

اصول تجزیه دستگاہی

ویرایش پنجم

جلد اول

«چاپ دوم»

تألیف:

دی.ا. اسکوک

اف. جی. هولر

تی.ا. نیمن

ترجمه:

دکتر ناصر دلالی

دکتر علی اصغر ترابی

انتشارات دانشگاه زنجان

پاییز ۱۳۹۰

اسکوگ، داگلاس آرکید، ۱۹۱۸ م - *Skoog, Douglas Arvid*
اصول تجزیه دستگاهی / داگلاس. ا. اسکوگ، جیمز هولر، تی. ا. نیمن، ناصر دلالی، علی اصغر ترابی. — زنجان:
دانشگاه زنجان، ۱۳۸۳ -

ج: ۱۲، ۴۷۲ ص: مصور.

ISBN: 964-94821-8-0 (ج. ۱) ریال: ۵۹۰۰۰

ص. ع. به انگلیسی *Principles of Instrumental Analysis, Fifth Edition, 1998*

این کتاب در سالهای مختلف توسط مترجمان و ناشران متفاوت منتشر شده است.

فهرست نویسی براساس اطلاعات فیبا.

واژه نامه.

۱. تجزیه دستگاهی. الف. هولر، جیمز، *Holler, F. James*. ب. نیمن، تیموتی، *Nieman, Timothy A.* ج. دلالی،

ناصر، ۱۳۳۷ - مترجم. د. ترابی، علی اصغر، ۱۳۲۹ - مترجم. ه. دانشگاه زنجان. و. عنوان.

۵ الف ۵ د / ۷۹ QD ۱۹/۵۴۳

۱۳۸۳

۸۳-۴۱۰۳۲ م

کتابخانه ملی ایران

Principles of Instrumental Analysis

Fifth Edition

Douglas A. Skoog, F. James Holler, Timothy A. Nieman

Saunders College publishing, 1998

این کتاب ترجمه اثر ذیل می باشد

عنوان کتاب: اصول تجزیه دستگاهی (ویرایش پنجم - جلد اول)

تألیف: دی. ا. اسکوگ، اف. جی. هولر، تی. ا. نیمن

ترجمه: دکتر ناصر دلالی، دکتر علی اصغر ترابی

ویراستار علمی: دکتر محمد رضا یافتیان

ناشر: انتشارات دانشگاه زنجان

امور فنی و چاپ: رسا

نوبت چاپ: دوم / ۱۳۹۰

شمارگان: ۲۰۰۰ نسخه

قیمت: ریال

شابک: ۹۶۴-۹۴۸۲۱-۸-۰

ISBN: 964-94821-8-0

آدرس: زنجان - بلوار دانشگاه - دانشگاه زنجان - صندوق پستی ۳۱۳-۴۵۱۹۵

تلفن: ۵۱۵۲۵۹۳ - ۵۱۵۲۳۳۴ نمابر ۵۲۸۳۰۷۷ - ۰۲۴۱

مرکز پخش: کتابیران: تهران، خیابان انقلاب، بین فروردین و فخر رازی، مجتمع فرهنگی فروزنده، طبقه همکف، واحد ۳۱۶ و ۳۱۹

تلفن: ۶۶۹۵۲۹۳۳-۴ ؛ ۶۶۹۶۳۵۵۴

بنام خداوند جان و خرد

پیشگفتار چاپ دوم

از پرسنل محترم موسسه رسا، بویژه جناب آقای عباسی به خاطر مساعدت هایشان در امر چاپ این اثر سپاسگزاری نموده، از خداوند منان برای تمامی عزیزان توفیق روز افزون مسئلت دارم.

ناصر دلالی

دانشیار گروه شیمی دانشگاه زنجان

مرداد ۱۳۸۹

نظر به مقبولیت و استقبال شایان تقدیر از چاپ اول این کتاب، نسبت به تهیه چاپ دوم پس از بازنگری و رفع اشتباهات تایپی و نوشتاری چاپ اول اقدام گردید. از دانشجویان و دانش پژوهان گرامی که با طرح سوالات خود اینجانب را متوجه جزئیات بیشتر و اشتباهات در چاپ اول نمودند، سپاسگزاری می نماید. همچنین از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه زنجان و کارشناسان محترم پژوهشی که با تجدید چاپ این کتاب موافقت و در انجام امور اداری مساعدت نمودند تشکر می نماید.

پیشگفتار مترجمان (در چاپ اول)

خواهد گردید. ترجمه فصول ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ کتاب حاضر توسط همکار ارجمند دکتر علی اصغر ترابی انجام و مابقی مطالب کتاب توسط اینجانب ناصر دلالی ترجمه گردیده است. در برخی فصول به دلیل نیافتن واژه‌های فارسی مناسب از واژه‌های اصلی استفاده شده امید است که کار حاضر مورد توجه اساتید محترم و دانشجویان عزیز قرار گرفته و با هرگونه پیشنهادی در مورد واژه‌های مناسبتر و اظهار نظر درباره ترجمه ما بهره‌مند سازند. در خاتمه با سپاس از عنایت حق تعالی در انتشار این مجموعه و ضمن تقدیم اثر به والدین گرامی، از آقای مهندس مسعود دلالی به لحاظ ارسال کتاب اصلی از انگلستان و مساعدت معاونت محترم پژوهشی جناب آقای دکتر حسین صارمی و اعضای محترم شورای انتشارات دانشگاه به خاطر تصویب چاپ کتاب، همکاری آقای دکتر محمد رضا یافتیان در ویراستاری علمی اثر، زحمات آقای مجید قنبری به جهت اهتمام و پیگیری انتشار اثر و همکاران موسسه انتشاراتی سلاله به جهت تایپ و تحریر مجموعه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

دکتر علی اصغر ترابی

دکتر ناصر دلالی

با پیشرفت روز افزون صنعت در جهان، نیاز انسان به کنترل کیفی محصولات و جلوگیری از آلودگی محیط زیست بیش از پیش مشهود و ملموس گردیده و این امر از طریق تجزیه‌های شیمیایی و کمک روشهای دستگاهی قابل اندازه‌گیری و کنترل می‌باشد و از آنجائیکه جهت افزایش کارایی و حساسیت دستگاهها ابداعات جدیدی انجام شده و اصول روشهای تجزیه‌ای اصلاح گردیده‌اند ما نیز که عضوی از جوامع صنعتی آینده به شمار خواهیم رفت نیاز به دانش این روشها داریم. با توجه به اینکه کتاب حاضر در این زمینه، یک کتاب استاندارد و کامل بوده و به عنوان یک منبع درسی معتبر در دانشگاههای جهان تدریس می‌شود می‌تواند پاسخگوی نیاز فوق باشد، لذا ویرایش پنجم کتاب اصول تجزیه دستگاهی که در حال حاضر جدیدترین ویرایش این کتاب است، به فارسی ترجمه شده تا بدین ترتیب بخشی از رسالت خود را بجا آورده باشیم. با توجه به حجیم بودن مطالب کتاب اصلی و تألیف اثر در ۳۲ فصل علمی و جهت استفاده مناسب اساتید، دانش پژوهان و محققین کشور ترجمه فارسی این کتاب در دو جلد منتشر می‌شود. جلد اول شامل سه بخش: مبانی الکترونیک و کامپیوتر، طیف بینی اتمی، و طیف سنجی مولکولی می‌باشد که در ۱۸ فصل تنظیم و تقدیم می‌گردد. جلد دوم شامل سه بخش در ۱۵ فصل تنظیم و تقدیم

پیشگفتار مؤلفان

هسته و طیف سنجی جرمی را مورد توجه قرار می‌دهد. این بخش با فصلی که تکنیک‌های طیف بینی و میکروسکوپی برای شناسایی سطح را ارائه می‌دهد پایان می‌یابد.

* بخش چهارم شامل ۴ فصل درباره تکنیک‌های الکترو شیمی تجزیه‌ای از جمله پتانسیومتری، کولومتری و ولتامتری می‌باشد.

* بخش پنجم با ۵ فصل در مورد انواع مختلف کروماتوگرافی و الکترو فورز می‌باشد.

* بخش ششم شامل ۳ فصل است که در مورد روشهای متفرقه برای حل مسائل تجزیه‌ای، از جمله روشهای گرمایی، رادیو شیمیایی و خودکار، بحث می‌کند.

از زمان ظهور اولین ویرایش این کتاب در ۱۹۷۱، زمینه تجزیه دستگاهی چنان رشد زیاد و متفاوتی نموده که بررسی تمام تکنیک‌های جدید دستگاهی برای تجزیه شیمیایی در یک یا دو ترم غیر ممکن است. بعلاوه، در بین مدرسین از این جهت که کدام روشها باید مورد بحث قرار گرفته و کدام حذف شوند، نظرات مختلفی مشاهده شده، به این دلیل، در این کتاب مطالب را خیلی بیشتر از آن که بتواند در یک دوره تجزیه دستگاهی تدریس شود، در نظر گرفته‌ایم؛ معذالک مطالب را طوری تنظیم نموده‌ایم که مدرس بتواند عناوین خاصی را برای تدریس انتخاب نماید. بنابراین مثل ویرایش چهارم، فصل‌های مقدماتی درباره طیف بینی نوری، الکترو شیمی تجزیه‌ای، و کروماتوگرافی پیش از فصل‌هایی که در مورد روشهای ویژه بحث می‌کند، قرار دارد. پس از آنکه دانشجویان این مطالب مقدماتی مهارت یافت، هر یک از فصل‌های بعدی با هر ترتیبی می‌تواند در نظر گرفته شود. جهت کمک به اساتید و دانشجویان در استفاده از این کتاب، یک راهنمای مدرس در دسترس می‌باشد، که محتوی پاسخ به تمام سؤالات و راه حل برای تمام مسائل است.

مطالب جدید در ویرایش پنجم:

* فصل جدید درباره الکتروفورزموتین (فصل ۳۰).

* فصل جدید اختصاص یافته به کروماتوگرافی و استخراج سیال فوق بحرانی (فصل ۲۹).

* فصل جدید مربوط به طیف سنجی جرمی اتمی (فصل ۱۱).

* الحاقی به فصل مربوط به توصیف سطح که در مورد تونل زنی

دانشمندان فیزیک، بیولوژی و مهندسین، مجموعه مؤثری از وسایل قوی و زیبا برای جمع آوری اطلاعات کمی و کیفی درباره ترکیب و ساختار ماده دارند. دانشجویان شیمی، بیوشیمی، فیزیک، زمین‌شناسی، علوم بهداشتی، مهندسی و علوم محیط زیست باید اطلاعاتی در مورد این وسایل و چگونگی کاربرد آنها در حل مسائل تجزیه‌ای داشته باشند. این کتاب برای چنین دانشجویانی در نظر گرفته شده است.

ما اعتقاد داریم که انتخاب صحیح و استفاده مؤثر از دستگاههای تجزیه‌ای نیاز به فهم اصول بنیادی عملکرد این دستگاههای اندازه‌گیری دارد. تنها زمانیکه دانشجو و تجزیه گر چنین درکی را بدست آورد، انتخاب مناسب از بین وسایل دیگر برای حل مسئله تجزیه‌ای می‌تواند صورت گیرد؛ فقط در این صورت دانشجو مواظب خطرات همراه با اندازه‌گیری‌های فیزیکی خواهد بود و تنها در این صورت دانشجو به حد کافی نسبت به محدودیت‌های حساسیت، دقت و صحت اندازه‌گیری‌های دستگاهی هماهنگ خواهد بود. با این افکار هدف ما در این کتاب درسی آشنایی دانشجویان با اصول روشهای طیف بینی، الکترومتری و کروماتوگرافی می‌باشد. با مطالعه دقیق و کامل این متن، دانشجو با انواع دستگاههایی که در حال حاضر در دسترس می‌باشند و نیز توانایی‌ها و محدودیت‌های آنها آشنا می‌شود.

ترتیب ویرایش پنجم:

خوانندگان ویرایشهای قبلی این کتاب خواهند دید که این ویرایش به سبک متفاوتی نسبت به ویرایش‌های قبل ترتیب یافته است. بعد از یک فصل مقدمه کوتاه که اکنون شامل بخشی در مورد کالیبراسیون می‌باشد، کتاب به شش بخش اصلی تقسیم شده است:

* بخش اول شامل ۴ فصل در مورد مبانی مدار الکترونیکی، تقویت کننده‌های عملکردی، الکترونیک دیجیتال و کامپیوتر، سیگنال‌ها، نویز، تکنیک‌های بهبود داده‌ها و ارقام شایسته است.

* بخش دوم شامل ۷ فصل در مورد شاخه‌های مختلف طیف بینی اتمی از جمله جذب نوری، نشر نوری، طیف سنجی فلورسانس نوری، طیف سنجی جرمی اتمی و طیف سنجی پرتو X - اتمی می‌باشد.

* بخش سوم بررسی طیف بینی مولکولی در ۹ فصل است که جذب، نشر، لومینسانس، مادون قرمز، رامان، رزونانس مغناطیسی

James E. O'Reilly دانشگاه کنتاکی

یک بار دیگر، گروه ما از همکاری کتابدار عالی مرجع، خانم مگی جانسون، مدیر کتابخانه شیمی و فیزیک در دانشگاه کنتاکی بهره‌مند شد. ایشان در انجام بسیاری از امور در تولید این کتاب کمک نموده‌اند از جمله، چک کردن مراجع، انجام جستجوی نوشتجات و فراهم نمودن اطلاعات زمینه برای خیلی از فصول. از شایستگی، شور و ذوق و خوش خلقی ایشان سپاسگزاریم. سازندگان متعدد دستگاههای تجزیه‌ای و دیگر محصولات مربوط به شیمی تجزیه با ارائه نمودارها، یادداشتهای مربوط به کاربرد و عکس محصولات خود در نوشتن این کتاب کمک نموده‌اند. بویژه از شرکت‌های پرکین - المر، نیکولت، سیستمهای بیوتجزیه و متلر برای فراهم نمودن عکس‌هایی جهت سرآغاز بخش‌ها و هم چنین از صنایع گالاتیک، و مت سافت برای در دسترس قرار دادن نرم افزارهایشان جهت اجرای کارهای مربوط به تولید شکلها ممنون هستیم. مؤلفان هم چنین مرهون جان - تی - فولی از دپارتمان فیزیک و اخترشناسی در دانشگاه ایالتی می‌سی‌سی‌پی برای فراهم نمودن تصویر دیجیتالی در طراحی روی جلد این کتاب می‌باشند. شایان ذکر است که برخی از قسمتهای این کتاب در دو کتاب دیگر با همکاری دو تن از مولفان این کتاب و پرفسور دونالد. ام. وست از دانشگاه ایالت سن جوز، وجود دارد. همپوشانی اصلی در فصل‌های الکتروشیمی و مقدار کمتری در طیف بینی فرابنفش، مرئی، اتمی و کرمانوگرافی گازی و مایع رخ می‌دهد. از کمک‌های پرفسور وست در این فصول و در این ویرایش جدید قدردانی نموده و بویژه از ایشان برای تهیه نامه عالی در این جلد و برای پیشنهادات و نظرات بسیار ایشان سپاسگزار هستیم هم چنین می‌خواهیم از افراد متعددی در انتشارات دانشگاهی ساندرس به جهت همکاری دوستانه شان در تکمیل این پروژه تحت شرایط سخت تشکر نمائیم از جمله سر دبیر پروژه آقای فرانک مسینا که با جزئیات روز به روز تولید این کتاب تقلا نموده، کمک سر دبیر، مارک شرمین؛ کارگردان هنری، لیزا کارو؛ و مدیر تولید چارلین کاتلت اسکویب تشکر نمائیم. در پایان تشکر خود را از سردبیر پژوهشگر و ناشر آقای جان واندلینگ که شکیبایی و ادراک او موجب انگیزه مؤلفان گردید، ابراز می‌نمائیم.

داگلاس. آ. اسکوگ، دانشگاه استانفورد

اف. جیمز. هولر، دانشگاه کنتاکی

تیموتی. آ. نیمن، دانشگاه ایلی نوز

پیمایشی و میکروسکوپی نیروی اتمی بحث می‌کند. (فصل ۲۱).

* یک بخش بزرگتر ترتیب یافته در مورد روشهای اتم سازی در طیف سنجی اتمی (فصل ۸).

* توضیحی درباره اثر پیزوالکتریک و میکرو ترازو بلور کوارتز (فصل ۱).

* مقدمه‌ای بر مفهوم حوزه‌های داده‌ها (فصل ۱)

* یک بحث اصلاح شده و به روز شده از معادله وان دیمتر (فصل ۲۶).

* بخش جدیدی درباره تصویر رزونانس مغناطیسی (فصل ۱۹).

* بحث در مورد بعضی کاربردهای نرم‌افزاری که در تجزیه مفید هستند (فصل ۴).

* جدول داده‌های باز بینی و به روز شده فیزیکو شیمیایی (پیوست ۳ و صفحات انتهای کتاب)

* لیست جامع از اصطلاحات و اختصارات که در شیمی تجزیه با آنها برخورد می‌کنیم (پیوست ۵).

تشکر و قدر دانی

از کمک قابل توجه همکاران زیر که تمام یا بخشی از کتاب را خوانده و پیشنهادات و تصحیحات مفیدی ارائه داده‌اند، تشکر و قدر دانی می‌نمائیم:

I. D. A. skoog, D. M. West, and F. J. Holler, Fundamentals of Analytical chemistry, 7th. ed. philadelphia: Saunders College publishing 1996; and Analytical Chemistry: An Introduction, 6th ed., philadelphia: saunders College Publishing, 1994.,

دانشگاه تگزاس، آستین Jennifer Brodbelt

دانشگاه نیومکزیکو Christie G. Enke

دانشگاه لوئیس وایل Peter W. Faguy

مؤسسه تکنولوژی روچستر Thomas Gennett

دانشگاه مارکوت James R. Kincaid

دانشگاه کنتاکی Robert W. Kiser

دانشگاه ایالتی بال Robert J. Morris

دانشگاه ایلی نوز Alexander Scheeline

دانشگاه کنتاکی Stanford L. Smith

کالج سنت اولاف John Walters

دانشگاه فلوریدا Kathryn Williams

دانشگاه کنتاکی Steven W. Yates

فهرست مطالب

فصل ۱ مقدمه

۱۳.....	الف طبقه بندی روشهای تجزیه ای
۱۳.....	الف ۱- روشهای کلاسیک
۱۴.....	الف ۲- روشهای دستگاهی
۱۴.....	ب انواع روشهای دستگاهی
۱۵.....	ج دستگاهها برای تجزیه
۱۵.....	ج ۱- حوزه‌های داده‌ها (اطلاعات)
۱۶.....	ج ۲- حوزه‌های غیر الکتریکی
۱۶.....	ج ۳- حوزه‌های الکتریکی
۲۱.....	ج ۴- آشکار سازها، مبدل‌ها و حس‌گرها
۲۲.....	ج ۵- ابزار قرائت
۲۲.....	ج ۶- میکرو پردازشگرها و کامپیوتر در دستگاهها
۲۲.....	د انتخاب یک روش تجزیه ای
۲۲.....	د ۱- تعریف مسئله
۲۲.....	د ۲- مشخصات کارایی دستگاهها، ارقام شایستگی
۲۷.....	هـ درجه بندی روشهای دستگاهی
۲۷.....	هـ ۱- منحنی‌های درجه بندی
۲۷.....	هـ ۲- روش افزایش استاندارد
۲۹.....	هـ ۳- روش استاندارد داخلی
۳۰.....	و پرسشها و مسائل

بخش اول مبانی اندازه گیری

فصل ۲ اجزاء الکتریکی و مدارها

۵۱.....	ج ۱- خواص نیمه هادی‌های سیلیکون و ژرمانیم
۵۲.....	ج ۲- دیودهای نیمه هادی
۵۴.....	ج ۳- ترانزیستورها
۵۶.....	د منابع نیرو و تنظیم کننده ها
۵۶.....	د ۱- مبدل ها
۵۷.....	د ۲- یکسو کننده‌ها و صافی ها
۵۷.....	د ۳- تنظیم کننده‌های ولتاژ
۵۸.....	هـ وسایل قرائت
۵۸.....	هـ ۱- نوسان نماها
۶۰.....	هـ ۲- ثبات ها
۶۱.....	هـ ۳- نمایش‌های عددی حرفی
۶۱.....	ز پرسشها و مسائل
۳۵.....	الف مدارهای جریان مستقیم و اندازه‌گیری ها
۳۵.....	الف ۱- قوانین الکتریسته
۳۶.....	الف ۲- مدارهای جریان مستقیم پایه
۳۹.....	الف ۳- اندازه‌گیری‌های جریان DC ولتاژ و مقاومت
۴۱.....	ب مدارهای جریان متناوب
۴۱.....	ب ۱- جریان‌های سینوسی
۴۳.....	ب ۲- راکتانس در مدارهای الکتریکی
۴۳.....	ب ۳- ظرفیت و خازن
۴۶.....	ب ۴- پاسخ مدارهای سری RC به ورودی سینوسی
۴۸.....	ب ۵- صافیهای بر مبنای مدارهای RC
۵۰.....	ب ۶- پاسخ مدارهای RC به ورودی ضربه‌ای (پالس)
۵۰.....	ب ۷- اندازه‌گیری‌های جریان AC ، ولتاژ و آمپدانس
۵۱.....	ج نیمه هادی‌ها و وسایل نیمه هادی

فصل ۳ تقویت کننده عملیاتی در دستگاههای شیمیایی

۷۵.....	د کاربرد تقویت کننده‌های عملیاتی برای کنترل ولتاژ و جریان
۷۵.....	د ۱- منابع ولتاژ ثابت
۷۶.....	د ۲- منابع جریان ثابت
۷۶.....	ه کاربرد تقویت کننده‌های عملیاتی در اعمال ریاضی
۷۶.....	ه ۱- ضرب و تقسیم به یک مقدار ثابت
۷۶.....	ه ۲- جمع و تفریق
۷۷.....	ه ۳- انتگرال گیری
۷۸.....	ه ۴- مشتق گیری
۷۹.....	ه ۵- پیدایش لگاریتم‌ها و آنتی لگاریتم‌ها
۷۹.....	و کاربرد تقویت کننده‌های عملیاتی در سوچ کردن
۷۹.....	ز پرسشها و مسائل
۶۵.....	الف خواص تقویت کننده‌های عملیاتی
۶۵.....	الف ۱- نمادهای تقویت کننده‌های عملیاتی
۶۶.....	الف ۲- حالت عمومی تقویت کننده‌های عملیاتی
۶۷.....	ب مدارهای تقویت کننده عملیاتی
۶۷.....	ب ۱- مدارهای بازخورد
۶۹.....	ب ۲- حساسیت فرکانس یک مدار با بازخورد منفی
۷۰.....	ب ۳- مدار دنبال کننده ولتاژ
۷۰.....	ج تقویت و اندازه‌گیری سیگنال مبدل ها
۷۰.....	ج ۱- اندازه‌گیری جریان
۷۲.....	ج ۲- اندازه‌گیری پتانسیل
۷۲.....	ج ۳- اندازه‌گیری‌های مقاومت یا هدایت
۷۴.....	ج ۴- مقایسه خروجی‌های مبدل

فصل ۴ الکترونیک دیجیتال و میکرو کامپیوترها

الف سیگنال‌های آنالوگی و دیجیتالی.....	۸۴
ب شمارش و محاسبه توسط اعداد دودویی.....	۸۴
ب-۱ سیستم اعداد دو دویی.....	۸۵
ب-۲ تبدیل اعداد دو دویی و ده دهی.....	۸۵
ب-۳ محاسبه در مبنای دو.....	۸۶
ج اجزاء اصلی مدارهای دیجیتال.....	۸۶
ج-۱ شکل دهنده‌های سیگنال.....	۸۷
ج-۲ شمارنده‌های دو دویی.....	۸۷
ج-۳ شمارش در ده دهی.....	۸۸
ج-۴ تنظیم کننده ها.....	۸۹
ج-۵ زمان سنج ها.....	۸۹
ج-۶ تبدیل دیجیتال به آنالوگ (DAC).....	۸۹
ج-۷ مبدل آنالوگ به دیجیتال.....	۹۲
د ریز پردازنده‌ها و میکرو کامپیوترها.....	۹۳
د-۱ اصطلاحات کامپیوتری.....	۹۴
د-۲ شیوه‌های عملیاتی دستگاه‌های رایانه ای.....	۹۵
د-۳ اجزاء یک کامپیوتر.....	۹۵
د-۴ واحد پردازشگر مرکزی (CPU).....	۹۵
د-۵ مسیرها.....	۹۵
د-۶ حافظه.....	۹۶
د-۷ سیستم‌های ورودی و خروجی.....	۹۷
ه نرم افزارهای کامپیوتری.....	۹۸
ه-۱ برنامه ریزی.....	۹۸
ه-۲ کاربرد نرم افزارهای سطح بالا.....	۹۹
ز کاربردهای کامپیوتر.....	۱۰۲
ز-۱ کاربرد کامپیوترهای غیر فعال.....	۱۰۳
ز-۲ کاربرد کامپیوترهای فعال.....	۱۰۳
ح شبکه‌های کامپیوتری.....	۱۰۴
ط پرسشها و مسائل.....	۱۰۶

فصل ۵ سیگنال و نویز

الف نسبت سیگنال به نویز.....	۱۰۷
ب منابع تولید نویز در تجزیه‌های دستگاهی.....	۱۰۸
ب-۱ نویز شیمیایی.....	۱۰۸
ب-۲ نویزهای دستگاهی.....	۱۰۹
ج افزایش نسبت سیگنال به نویز.....	۱۱۰
ج-۱ برخی از وسایل سخت‌افزاری برای کاهش نویز.....	۱۱۱
ج-۲ روشهای نرم‌افزاری.....	۱۱۴
د پرسشها و مسائل.....	۱۲۱

بخش دوم طیف بینی اتمی

فصل ۶ مقدمه‌ای بر روشهای طیف سنجی

الف خواص عمومی تابش الکترو مغناطیسی.....	۱۲۶
ب خواص موجی تابش الکترو مغناطیسی.....	۱۲۶
ب-۱ پارامترهای موج.....	۱۲۶
ب-۲ طیف الکترو مغناطیس.....	۱۲۷
ب-۳ تشریح ریاضی یک موج.....	۱۲۸
ب-۴ بر هم نهی موج (انطباق موج).....	۱۲۸
ب-۵ پراش تابش.....	۱۳۰
ب-۶ تابش هم‌دوس.....	۱۳۲
ب-۷ عبور تابش.....	۱۳۳
ب-۸ شکست نور.....	۱۳۴
ب-۹ بازتابش.....	۱۳۴
ب-۱۰ پراکندگی تابش.....	۱۳۵
ب-۱۱ قطبش تابش.....	۱۳۶
ج خواص مکانیک کوانتومی تابش.....	۱۳۶
ج-۱ اثر فوتو الکتریک.....	۱۳۶
ج-۲ حالت‌های انرژی گونه‌های شیمیایی.....	۱۳۸
ج-۳ نشر تابش.....	۱۳۹
ج-۴ جذب تابش.....	۱۴۲
ج-۵ فرایندهای آسایش.....	۱۴۵
ج-۶ اصل عدم قطعیت.....	۱۴۶
د جنبه‌های کمی اندازه‌گیری اسپکترو شیمیایی.....	۱۴۶
د-۱ روش‌های نشر، لومینسانس و پراکندگی.....	۱۴۷
د-۲ روش‌های جذبی.....	۱۴۷
ه پرسشها و مسائل.....	۱۴۷

فصل ۷ اجزاء دستگاه‌های نوری

الف طرح‌های عمومی دستگاه‌های نوری.....	۱۵۱
ب منابع تابش.....	۱۵۳
ب-۱ منابع پیوسته.....	۱۵۴
ب-۲ منابع خطی (ناپیوسته).....	۱۵۴
ب-۳ منابع لیزری.....	۱۵۵
ج انتخاب گرهای طول موج.....	۱۶۱
ج-۱ صافی ها.....	۱۶۲
ج-۲ تک فام سازها.....	۱۶۴
ج-۳ شکافهای تک فام سازها.....	۱۷۰
د ظروف نمونه.....	۱۷۲

۱۸۴.....	۷ز- ۲- حس گرهای فیبر نوری	۱۷۳.....	۵۷ مبدل‌های تابشی
۱۸۴.....	۷ز- ۳- فیبرهای نوری برای تشخیص فاصله زمانی میان سیگنال‌ها	۱۷۳.....	۱- مقدمه
۱۸۵.....	۷ح انواع دستگاه‌های نوری	۱۷۴.....	۲- مبدل‌های فوتونی
۱۸۶.....	۷ط مبانی اندازه‌گیری تبدیل فوریه نوری	۱۷۶.....	۳- مبدل‌های فوتونی چند کانالی
۱۸۷.....	۷ط- ۱- برتریهای ذاتی طیف سنجی تبدیل فوریه	۱۷۶.....	۴- مبدل‌های فوتورسانا
۱۸۹.....	۷ط- ۲- طیف بینی در حوزه زمان	۱۸۰.....	۵- مبدل‌های گرمایی
۱۸۹.....	۷ط- ۳- روش‌های بدست آوردن طیف‌های حوزه زمان توسط تداخل سنج مایکلسون	۱۸۱.....	۷و پردازش گر و قرائت گر سیگنالی
۱۹۳.....	۷ی پرسشها و مسائل	۱۸۳.....	۷و- ۱- شمارش فوتون
		۱۸۳.....	۷ز فیبرهای نوری
		۱۸۴.....	۷ز- ۱- خواص فیبرهای نوری

فصل ۸ مقدمه‌ای بر طیف سنجی اتمی نوری

۲۰۸.....	۸ج روش‌های وارد کردن نمونه	۱۹۸.....	الف ۸ طیف‌های اتمی نوری
۲۰۸.....	۸ج- ۱- وارد کردن نمونه‌های محلول	۱۹۸.....	الف ۱- نمودارهای تراز انرژی
۲۱۰.....	۸ج- ۲- وارد کردن نمونه‌های جامد	۲۰۱.....	الف ۲- پهنای خطوط اتمی
۲۱۱.....	۸د پرسشها و مسائل	۲۰۴.....	الف ۳- اثر دما بر طیف‌های اتمی
		۲۰۵.....	الف ۴- طیف‌های نواری و پیوسته همراه با طیف‌های اتمی
		۲۰۶.....	ب ۸ روش‌های اتم سازی

فصل ۹ طیف سنجی جذب اتمی و فلورسانس اتمی

۲۲۷.....	۹د- ۱- تهیه نمونه	۲۱۱.....	الف ۹ روش‌های اتمی شدن نمونه
۲۲۷.....	۹د- ۲- حلال‌های آلی	۲۱۲.....	الف ۹- ۱- اتمی شدن شعله ای
۲۲۸.....	۹د- ۳- منحنی‌های درجه بندی	۲۱۵.....	الف ۹- ۲- اتم سازی الکترو گرمایی
۲۲۸.....	۹د- ۴- روش‌های افزایش استاندارد	۲۱۷.....	الف ۹- ۳- روش‌های مخصوص اتم سازی
۲۲۸.....	۹د- ۵- کاربردهای طیف سنجی جذب اتمی	۲۱۸.....	ب ۹ تجهیزات دستگاه جذب اتمی
۲۲۹.....	۹ه- طیف بینی فلورسانس اتمی	۲۱۸.....	ب ۹- ۱- منبع تابش
۲۳۱.....	۹ه- ۱- دستگاه وری	۲۲۰.....	ب ۹- ۲- اسپکترو فوتومتر
۲۳۰.....	۹ه- ۲- مزاحمت‌ها	۲۲۱.....	ج ۹ مزاحمت‌ها در طیف سنجی جذب اتمی
۲۳۰.....	۹ه- ۳- کاربردها	۲۲۱.....	ج ۹- ۱- مزاحمت‌های طیفی
۲۳۰.....	۹و پرسشها و مسائل	۲۲۴.....	ج ۹- ۲- تداخل شیمیایی
		۲۲۷.....	د ۹ روش‌های آنالیز جذب اتمی

فصل ۱۰ طیف سنجی نشر اتمی

۲۵۱.....	۱۰ب- ۳- طیف بینی نشری با منبع قوس	۲۳۶.....	الف ۱۰ طیف بینی نشری بر اساس منابع پلاسما
۲۵۲.....	۱۰ب- ۴- منابع و طیف‌های جرقه	۲۳۶.....	الف ۱۰- ۱- منبع پلاسما جفت شده القایی
۲۵۳.....	۱۰ج منابع دیگر برای طیف بینی نشر نوری	۲۳۹.....	الف ۱۰- ۲- منبع پلاسما جریان مستقیم
۲۵۳.....	۱۰ج- ۱- منابع نشر شعله‌ای	۲۳۹.....	الف ۱۰- ۳- طیف سنج‌های منبع پلاسما
۲۵۴.....	۱۰ج- ۲- منابع تخلیه افروزش	۲۴۶.....	الف ۱۰- ۴- کاربرد منابع پلاسما
۲۵۴.....	۱۰ج- ۳- منابع ریز کاوش لیزری	۲۴۸.....	ب ۱۰ طیف بینی نشری بر اساس منابع قوس و جرقه
۲۵۴.....	۱۰د پرسشها و مسائل	۲۴۹.....	ب ۱۰- ۱- انواع نمونه و بکارگیری آنها
		۲۴۹.....	ب ۱۰- ۲- دستگاههای طیف بینی با منبع قوس و جرقه

فصل ۱۱ طیف سنجی جرمی اتمی

۲۵۹.....	الف ۱۱ ویژگیهای عمومی طیف سنجی جرمی اتمی	۲۵۷.....	الف ۱۱ ویزگیهای عمومی طیف سنجی جرمی اتمی
۲۶۰.....	الف ۱۱- ۱- اوزان اتمی در طیف سنجی جرمی	۲۵۸.....	الف ۱۱- ۱- اوزان اتمی در طیف سنجی جرمی
۲۶۱.....	الف ۱۱- ۲- نسبت جرم به بار	۲۵۸.....	الف ۱۱- ۲- نسبت جرم به بار
۲۶۳.....	الف ۱۱- ۳- انواع طیف سنجی جرمی اتمی	۲۵۹.....	الف ۱۱- ۳- انواع طیف سنجی جرمی اتمی
			الف ۱۱- ۱- اوزان اتمی در طیف سنجی جرمی
			الف ۱۱- ۲- نسبت جرم به بار
			الف ۱۱- ۳- انواع طیف سنجی جرمی اتمی

۲۷۱ ۱۱-۲ کاربردهای کیفی
 ۲۷۲ ۱۱-۳ کاربردهای کمی
 ۲۷۲ ۱۱-ه طیف سنجی جرمی تخلیه افروزش
 ۲۷۲ ۱۱-ا تجزیه سطح عنصری توسط طیف سنجی جرمی
 ۲۷۲ ۱۱-از پرسشها و مسائل

۲۶۴ ۱۱-ب ۴ تجزیه گره‌های دو کانونی ساز
 ۲۶۴ ۱۱-ج طیف سنجی جرمی پلاسما جفت شده القایی
 ۲۶۵ ۱۱-ا۱-۱ دستگاههای بکار رفته برای ICPMS
 ۲۶۶ ۱۱-ج ۲- طیف‌های جرمی اتمی و مزاحمت‌ها
 ۲۶۸ ۱۱-ج ۳- کاربردهای ICPMS
 ۲۷۱ ۱۱-د طیف سنجی جرمی منبع جرقه
 ۲۷۱ ۱۱-ا۱-۱ طیف‌ها

فصل ۱۲ طیف سنجی پرتو X- اتمی

۲۹۰ ۱۲-ج روشهای فلئورسانس پرتو X-
 ۲۹۰ ۱۲-ا۱-۱ دستگاهها
 ۲۹۲ ۱۲-ج ۲- تجزیه کیفی و نیمه کمی
 ۲۹۳ ۱۲-ج ۳- تجزیه کمی
 ۲۹۵ ۱۲-د روشهای جذب پرتو X-
 ۲۹۵ ۱۲-ه روشهای پراش پرتو X-
 ۲۹۶ ۱۲-ا۱-۱ شناسایی ترکیبات بلوری
 ۲۹۶ ۱۲-ا۱-۲ تفسیر الگوهای پراش
 ۲۹۹ ۱۲-ا و میکرو پروب الکترونی
 ۲۹۷ ۱۲-از پرسشها و مسائل

۲۷۵ ۱۲-الف اصول بنیادی
 ۲۷۵ ۱۲-الف ۱- نشر پرتوهای X-
 ۲۷۹ ۱۲-الف ۲- طیف‌های جذبی
 ۲۸۰ ۱۲-الف ۳- فلورسانس پرتو X-
 ۲۸۱ ۱۲-الف ۴- پراش پرتوهای X-
 ۲۸۱ ۱۲-ب اجزاء دستگاه
 ۲۸۱ ۱۲-ب ۱- منابع
 ۲۸۳ ۱۲-ب ۲- صافی‌ها برای پرتوهای X-
 ۲۸۳ ۱۲-ب ۳- تکفام سازهای پرتو X-
 ۲۸۴ ۱۲-ب ۴- مبدل‌های پرتو X- و پردازشگرهای سیگنال
 ۲۸۴ ۱۲-ب ۵- پردازشگر سیگنال

بخش سوم طیف سنجی مولکولی

فصل ۱۳ مقدمه‌ای بر طیف سنجی جذب مولکولی فرابنفش / مرئی

۳۱۳ ۱۳-ج ۴- اثر تابش پراکنده در طول موج‌های انتهای یک دستگاه
 ۳۱۳ ۱۳-د دستگاهوری
 ۳۱۴ ۱۳-ا۱-۱ اجزای دستگاه
 ۳۱۷ ۱۳-ا۱-۲ انواع دستگاه‌ها
 ۳۱۸ ۱۳-ا۱-۳ بعضی دستگاه‌های نوعی
 ۳۲۴ ۱۳-ه پرسشها و مسائل

۳۰۳ ۱۳-الف اندازه‌گیری عبور و جذب
 ۳۰۴ ۱۳-ب قانون بیر
 ۳۰۵ ۱۳-ب ۱- کاربرد قانون بیر در مخلوط‌ها
 ۳۰۵ ۱۳-ب ۲- محدودیت‌های قانون بیر
 ۳۰۹ ۱۳-ج آثار نویز دستگاهی در تجزیه‌های طیف سنجی نوری
 ۳۰۹ ۱۳-ج ۱- نویز دستگاهی به عنوان تابعی از عبور
 ۳۱۰ ۱۳-ج ۲- منبع نویز دستگاهی
 ۳۱۲ ۱۳-ج ۳- اثر عرض شکاف در اندازه‌گیری‌های جذب

فصل ۱۴ کاربردهای طیف بینی جذب مولکولی ماوراء بنفش / مرئی

۳۴۴ ۱۴-د ۳- طیف نور سنجی مشتقی و طول موج مضاعف
 ۳۴۶ ۱۴-ه تیتراسیون‌های نور سنجی
 ۳۴۶ ۱۴-ا۱-۱ منحنی‌های تیتراسیون
 ۳۴۶ ۱۴-ا۱-۲ دستگاهوری
 ۳۴۷ ۱۴-ا۱-۳ کاربرد تیتراسیون‌های نورسنجی
 ۳۴۸ ۱۴-ا و طیف بینی فوتوآکاستیک (نور - صوتی)
 ۳۴۸ ۱۴-ا و ۱- اثر نور - صوتی
 ۳۴۸ ۱۴-ا و ۲- طیف‌های نور - صوتی
 ۳۴۸ ۱۴-ا و ۳- دستگاه‌ها
 ۳۴۹ ۱۴-ا و ۴- کاربردها
 ۳۵۰ ۱۴-از پرسشها و مسائل

۳۲۹ ۱۴-الف بزرگی ضریب جذب مولی
 ۳۳۰ ۱۴-ب گونه‌های جذب
 ۳۳۰ ۱۴-ب ۱- گونه‌های جاذب محتوی الکترون‌های n, σ, π
 ۳۳۵ ۱۴-ب ۲- جذب شامل الکترون‌های F, d
 ۳۳۸ ۱۴-ب ۳- جذب انتقال بار
 ۳۳۹ ۱۴-ج کاربرد اندازه‌گیری جذبی در تجزیه کیفی
 ۳۳۹ ۱۴-ج ۱- روش‌های رسم داده‌های طیفی
 ۳۴۰ ۱۴-ج ۲- حلال‌ها
 ۳۴۰ ۱۴-ج ۳- آشکار سازی گروه‌های عاملی
 ۳۴۰ ۱۴-د تجزیه‌های کمی بوسیله اندازه‌گیری‌های جذبی
 ۳۴۱ ۱۴-د ۱- دامنه کار
 ۳۴۲ ۱۴-د ۲- جزئیات روش

فصل ۱۵ طیف سنجی لومینسانس مولکولی

۱۵الف نظریه فلوئورسانس و فسفرسانس..... ۳۵۶	۱۵ج کاربرد ها و روش های فوتولومینسانس..... ۳۶۹
۱۵الف-۱ حالت های برانگیخته تولید کننده فلوئورسانس و فسفرسانس..... ۳۵۶	۱۵ج-۱ اندازه گیری فلوئورسانس سنجی گونه های معدنی..... ۳۷۰
۱۵الف-۲ سرعت های جذب و نشر..... ۳۵۸	۱۵ج-۲ اندازه گیری فلوئورسانس گونه های آلی..... ۳۷۰
۱۵الف-۳ فرایندهای غیر فعال سازی..... ۳۵۸	۱۵ج-۳ روش های فسفرسانس سنجی..... ۳۷۱
۱۵الف-۴ متغیرهای مؤثر بر فلوئورسانس و فسفرسانس..... ۳۶۰	۱۵ج-۴ کاربرد فلوئورسانس سنجی و فسفرسانس سنجی برای آشکار سازی در کروماتوگرافی مایع..... ۳۷۱
۱۵الف-۵ طیف های نشر و برانگیختگی..... ۳۶۴	۱۵ج-۵ اندازه گیری های نیمه عمر..... ۳۷۲
۱۵ب دستگاه ها برای اندازه گیری فلوئورسانس و فسفرسانس..... ۳۶۵	۱۵د لومینسانس شیمیایی..... ۳۷۲
۱۵ب-۱ اجزاء فلوئورسانس سنج ها و طیف فلوئورسانس سنج ها..... ۳۶۶	۱۵د-۱ پدیده لومینسانس شیمیایی..... ۳۷۲
۱۵ب-۲ طراحی دستگاه فلوئورسانس سنج ها..... ۳۶۷	۱۵د-۲ اندازه گیری لومینسانس شیمیایی..... ۳۷۳
۱۵ب-۳ استاندارد کردن دستگاه..... ۳۶۹	۱۵د-۳ کاربردهای تجزیه ای لومینسانس شیمیایی..... ۳۷۳
	۱۵هـ پرسشها و مسائل..... ۳۷۵

فصل ۱۶ مقدمه ای بر طیف سنجی مادون قرمز

۱۶الف نظریه طیف سنجی جذب مادون قرمز..... ۳۸۰	۱۶ب-۱ منابع..... ۳۸۸
۱۶الف-۱ مقدمه..... ۳۸۰	۱۶ب-۲ آشکار سازهای مادون قرمز..... ۳۹۰
۱۶الف-۲ مدل مکانیکی یک ارتعاش کششی در مولکول دواتمی..... ۳۸۲	۱۶ج دستگاه های مادون قرمز..... ۳۹۱
۱۶الف-۳ بررسی کوانتومی ارتعاشات..... ۳۸۲	۱۶ج-۱ طیف سنج های تبدیل فوریه..... ۳۹۲
۱۶الف-۴ شیوه های ارتعاشی..... ۳۸۶	۱۶ج-۲ دستگاه های پاشنده..... ۳۹۶
۱۶الف-۵ جفت شدن ارتعاشی..... ۳۸۷	۱۶ج-۳ دستگاه های غیر پاشنده..... ۳۹۷
۱۶ب منابع و آشکار سازهای مادون قرمز..... ۳۸۸	۱۶ج-۴ دستگاه های اتوماتیک (خودکار) برای تجزیه کمی..... ۳۹۸
	۱۶د پرسشها و مسائل..... ۳۹۹

فصل ۱۷ کاربردهای طیف سنجی مادون قرمز

۱۷الف طیف سنجی جذب مادون قرمز متوسط..... ۴۰۲	۱۷د-۱ دستگاهوری..... ۴۱۵
۱۷الف-۱ تهیه نمونه..... ۴۰۲	۱۷د-۲ کاربردهای طیف سنجی مادون قرمز - نزدیک..... ۴۱۶
۱۷الف-۲ تجزیه کیفی..... ۴۰۴	۱۷د-۳ کاربردهای طیف سنجی بازتابش مادون قرمز - نزدیک..... ۴۱۶
۱۷الف-۳ کاربردهای کمی..... ۴۱۰	۱۷هـ طیف بینی مادون قرمز - دور..... ۴۱۸
۱۷ب طیف سنجی بازتابش مادون قرمز متوسط..... ۴۱۲	۱۷و طیف بینی نشر مادون قرمز..... ۴۱۸
۱۷ب-۱ انواع بازتابش..... ۴۱۲	۱۷ز میکرو طیف سنجی مادون قرمز..... ۴۱۸
۱۷ب-۲ طیف سنجی بازتابش نفوذی..... ۴۱۳	۱۷ح پرسشها و مسائل..... ۴۱۹
۱۷ب-۳ طیف سنجی بازتابش تضعیف شده کل..... ۴۱۴	
۱۷ج طیف بینی مادون قرمز فوتوآکاستیک..... ۴۱۵	
۱۷د طیف بینی مادون قرمز - نزدیک..... ۴۱۵	

فصل ۱۸ طیف بینی رامان

۱۸الف تئوری طیف بینی رامان..... ۲۴۴	۱۸ب-۱ طیف سنج های رامان..... ۴۳۰
۱۸الف-۱ برانگیختگی طیف رامان..... ۴۲۴	۱۸ج کاربرد های طیف بینی رامان..... ۴۳۲
۱۸الف-۲ مکانیسم پراکندگی رامان و رایلی..... ۴۲۵	۱۸ج-۱ طیف رامان گونه های معدنی..... ۴۳۲
۱۸الف-۳ مدل موجی پراکندگی رامان و رایلی..... ۴۲۵	۱۸ج-۲ طیف رامان گونه های آلی..... ۴۳۲
۱۸الف-۴ شدت پیک های رامان معمولی..... ۴۲۷	۱۸ج-۳ کاربردهای بیولوژیکی طیف بینی رامان..... ۴۳۲
۱۸الف-۵ نسبت های قطبش زدایی رامان..... ۴۲۷	۱۸ج-۴ کاربردهای کمی..... ۴۳۳
۱۸ب دستگاهوری..... ۴۲۸	۱۸د انواع دیگر طیف بینی رامان..... ۴۳۳
۱۸ب-۱ منابع..... ۴۲۸	۱۸د-۱ طیف بینی رامان رزونانسی..... ۴۳۳
۱۸ب-۲ سیستم نور دهی نمونه..... ۴۲۹	۱۸د-۲ طیف بینی رامان به روش افزایش سطح (SERS)..... ۴۳۴

۱۸- پرسشها و مسائل ۴۳۴

۱۸-۳ طیف بینی رامان غیر خطی ۴۳۴

پیوست‌ها

۴۶۵ برخی عناصر متداول
پیوست ۵ علائم اختصاری و مخفف‌های قابل توجه در
۴۶۷ شیمی تجزیه
۴۷۱ پاسخ سؤالات انتخاب شده

پیوست ۱ ارزیابی داده‌های تجزیه‌ای ۴۳۹
پیوست ۲ ضرایب فعالیت ۴۵۹
پیوست ۳ برخی از پتانسیل‌های استاندارد الکترودی ۴۶۱
پیوست ۴ ترکیبات بکار رفته برای تهیه محلول‌های استاندارد

فصل ۱

مقدمه

شیمی تجزیه با روشهای تعیین ترکیب شیمیایی نمونه‌ای از یک ماده سرو کار دارد. یک روش کیفی اطلاعاتی در مورد هویت گونه‌های اتمی یا مولکولی یا گروههای عاملی در نمونه به دست می‌دهد. روش کمی برعکس، اطلاعات عددی را به صورت مقدار نسبی یک یا چند تا از این اجزاء در اختیار می‌گذارد.

۱ الف طبقه بندی روشهای تجزیه‌ای

روشهای تجزیه‌ای اغلب برحسب اینکه کلاسیک یا دستگاهی هستند طبقه بندی می‌شوند. این طبقه بندی بیشتر از نظر تاریخی بوده و شامل روشهای کلاسیک، که گاهی روشهای شیمیایی «تر» نامیده می‌شوند، و یک قرن یا بیشتر قبل از روشهای دستگاهی وجود داشته‌اند، می‌شود.

۱ الف - ۱ روشهای کلاسیک

در سالهای اولیه شیمی، اکثر تجزیه‌ها توسط جداسازی اجزاء مورد نظر (آنالیت‌ها) در یک نمونه به وسیله رسوبگیری، استخراج یا تقطیر انجام می‌شدند. برای تجزیه کیفی، اجزاء جدا شده با معرفهایی ترکیب شده و محصولات را تولید می‌کردند که از طریق رنگ، نقاط ذوب یا جوش، حلالیت در یک سری حلال، بو، فعالیت نوری یا ضریب شکست آنها شناسایی می‌شدند. برای تجزیه کمی، مقدار آنالیت با اندازه‌گیری وزن سنجی یا تیتراژ سنجی (حجم سنجی) تعیین می‌شد. در اندازه‌گیری‌های وزن سنجی، جرم آنالیت یا ترکیب حاصل از آنالیت تعیین می‌شد. در روشهای تیتراژ سنجی، حجم یا جرم یک واکنشگر استاندارد لازم برای واکنش کامل با آنالیت اندازه‌گیری می‌شد.

این روشهای کلاسیک برای جداسازی و تعیین آنالیت‌ها هنوز هم در بسیاری از آزمایشگاهها بکار می‌روند. دامنه کاربرد عمومی آنها به

جدول ۱-۱ خواص شیمیایی و فیزیکی به کار رفته در روشهای دستگاهی

خواص مشخصه	روشهای دستگاهی
نشر تابش	طیف بیسنی نشری (اشعه X ، UV ، مرئی، الکترون، اوژه)، فلورسانس، فسفرسانس و لومی نسانس (اشعه X ، UV و مرئی)
جذب تابش	طیف نورسنجی و نورسنجی (اشعه X ، UV ، مرئی، IR)، طیف بیسنی فوتوآکوستیک، تشدید مغناطیسی هسته و تشدید اسپین الکترون
پراکندگی تابش	کدری سنجی، نفلومتری: طیف بینی رامان
شکست تابش	شکست سنجی، تداخل سنجی
پراش تابش	روشهای پراش اشعه X و الکترون
چرخش تابش	قطبش سنجی، پاشندگی چرخش نوری، دو رنگ، نمایی دورانی
پتانسیل الکتریکی	پتانسیل سنجی، کروم پتانسیل سنجی
بار الکتریکی	کولن سنجی
جریان الکتریکی	آمپرو متری، پلاروگرافی
مقاومت الکتریکی	رسانایی سنجی
جرم	وزن سنجی (میکروتراز و بلورکواتر)
نسبت جرم به بار	طیف سنجی جرمی
سرعت واکنش	روشهای سینتیکی
خواص گرمایی	وزن سنجی و تیترو سنجی گرمایی، کالری سنجی
	تفاضلی پیمایشی، تجزیه گرمایی تفاضلی، روشهای گرما رسانایی سنجی
راديو اکتیویته	روشهای فعالسازی و رقیق کردن ایزوتوپ

در خاصیت اول، انرژی تابشی توسط آنالیت تولید می شود. پنج خاصیت بعدی شامل تغییرات در تابش الکترومغناطیسی ناشی از برهمکنش آن با نمونه می باشند. سپس چهار خاصیت الکتریکی به دنبال می آیند. در آخر چهار خاصیت متفرقه با هم گروهی را تشکیل می دهند. که عبارتند از نسبت جرم به بار، سرعت واکنش، خواص گرمایی و رادیواکتیویته. در ستون دوم جدول ۱-۱ اسامی روشهای دستگاهی که براساس خواص فیزیکی و شیمیایی مختلف می باشند فهرست شده، باید توجه کرد که همیشه انتخاب یک روش بهینه از بین تکنیکهای دستگاهی موجود و مشابه کلاسیک آنها ساده نیست. بعضی از تکنیکهای دستگاهی حساستر از تکنیکهای کلاسیک بوده ولی بقیه اینطور نیستند. با آمیزه خاصی از عناصر یا ترکیبات، ممکن است یک روش دستگاهی گزینش پذیرتر باشد. با آمیزه های دیگر ممکن است روش وزن سنجی یا حجم سنجی مزاحمت کمتری داشته باشد. مشکل بتوان گفت کدام روش از نظر صحت، راحتی و صرف زمان برتر است. این مسئله هم درست نیست که روشهای دستگاهی الزاماً

هرحال با گذشت زمان و با ظهور روشهای دستگاهی و جانشین شدن آنها کاهش می یابد.

الف ۲- روشهای دستگاهی

در اوایل قرن بیستم، شیمیدانان برای حل مسائل تجزیه ای شروع به بهره گیری از پدیده هایی غیر از پدیده های بکار رفته در روشهای کلاسیک نمودند. به این ترتیب، کاربرد اندازه گیری خواص فیزیکی آنالیت ها از جمله رسانایی، پتانسیل الکترودی، جذب یا نشر نور، نسبت جرم به بار و فلورسانس، برای تجزیه کمی انواع آنالیت های معدنی، آلی و بیوشیمیایی شروع شد. بعلاوه، تکنیکهای مؤثرتر کروماتوگرافی و الکتروفورز برای جداسازی اجزاء مخلوطهای پیچیده قبل از تعیین کیفی یا کمی آنها جایگزین تقطیر، استخراج و رسوبگیری می شوند. این روشهای جدیدتر برای جداسازی و تعیین گونه های شیمیایی مجموعاً به روشهای تجزیه دستگاهی معروفند.

بسیاری از پدیده هایی که اساس روشهای دستگاهی را تشکیل می دهند مدت یک قرن یا بیشتر است که شناخته شده اند. به هر حال، کاربرد آنها به واسطه نبود دستگاههای ساده و قابل اعتماد به تأخیر افتاده است. در واقع، روشهای دستگاهی جدید تجزیه به موازات توسعه الکترونیک و کامپیوتر بوده است.

ب ۱ انواع روشهای دستگاهی

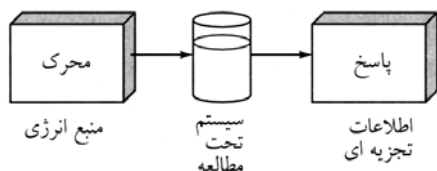
برای این بحث، بررسی مشخصه های شیمیایی و فیزیکی که برای تجزیه کمی یا کیفی مناسب هستند، مفید می باشد. جدول ۱-۱ اکثر خواص مشخصه ای را که در حال حاضر برای تجزیه دستگاهی به کار می روند نشان می دهد. بیشتر مشخصات فهرست شده در جدول به یک منبع انرژی نیاز دارند تا یک پاسخ قابل اندازه گیری از آنالیت را ایجاد کنند. مثلاً در نشر اتمی، افزایش دمای آنالیت لازم است تا در ابتدا اتمهای گازی آنالیت را تولید و بعد این اتمها را به ترازهای انرژی بالاتر برانگیخته کند. سپس اتمهای برانگیخته تابش الکترومغناطیسی مشخصه خود را که کمیت مورد اندازه گیری توسط دستگاه می باشد، نشر کنند. منبع انرژی تحریک ممکن است به شکل تغییر سریع گرمایی مانند مثال قبل، تابش الکترومغناطیسی از یک محدوده انتخاب شده طیفی، بکارگیری یکی از کمیتهای الکتریکی مثل ولتاژ، جریان یا بار و یا شاید شکلهای پیچیده تر ذاتی خود آنالیت باشد. توجه کنید که شش مورد اول در جدول ۱-۱ شامل برهمکنش آنالیت با تابش الکترومغناطیسی می باشد.

شده توسط دستگاه، جستجوی مفهوم حوزه داده‌ها آموزنده می‌باشد.

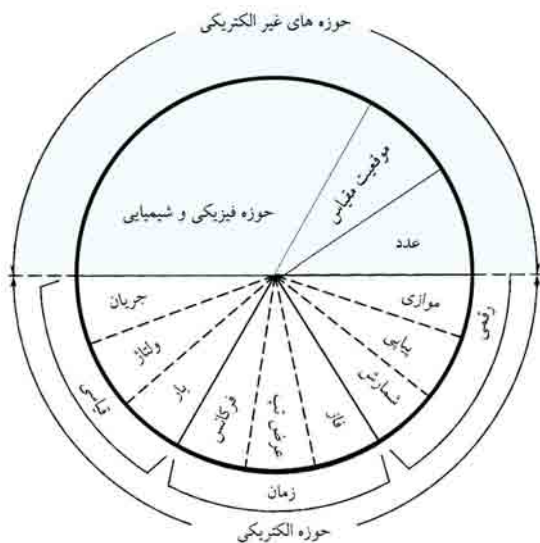
اج ۱- حوزه‌های داده‌ها (اطلاعات)

مرحله اندازه‌گیری به کمک وسایل مختلفی که اطلاعات را از یک شکل به شکل دیگر تبدیل می‌کنند، انجام می‌شود. برای بررسی اینکه چگونه دستگاهها کار می‌کنند، درک چگونگی تدوین اطلاعات، یا انتقال اطلاعات از یک سیستم اطلاعاتی به سیستم دیگر بصورت علائم الکتریکی، یعنی به صورت ولتاژ، جریان، بار، یا تغییراتی در این کمیتها مهم است. شیوه‌های گوناگون رمز دار کردن الکتریکی اطلاعات را حوزه‌های داده‌ها نامیده‌اند. یک طرح طبقه بندی براساس این نظریه که کاملاً تجزیه دستگاهی را ساده کرده و درک چگونگی اندازه‌گیری را بالا می‌برد، توسعه یافته است. [۱]

همانطور که در نقشه حوزه داده‌ها در شکل ۱-۲ نشان داده شده، حوزه داده‌ها ممکن است به دو حوزه الکتریکی و غیر الکتریکی تقسیم بندی شود.



شکل ۱-۱: شمای فرآیند کلی یک اندازه‌گیری دستگاهی



شکل ۱-۲: نقشه حوزه داده‌ها، نیمه بالایی (بخش تیره) نقشه شامل حوزه‌های غیر الکتریکی می‌باشد. نیمه پائین متشکل از حوزه‌های الکتریکی است. توجه کنید که حوزه دیجیتالی، هر دو حوزه الکتریکی و غیر الکتریکی

دستگاههایی گرانتر یا پیچیده‌تر را بکار می‌گیرند، در واقع یک ترازوی الکترونیکی تجزیه‌ای جدید بکار رفته برای اندازه‌گیری وزن سنجی، دستگاهی پیچیده‌تر و ظریف‌تر از بعضی روشهای دیگر است که در جدول ۱-۱ فهرست شده‌اند. همانطور که قبلاً اشاره شد علاوه بر روشهای گوناگون فهرست شده در ستون دوم جدول ۱-۱، گروهی از روشهای دستگاهی وجود دارد که برای جداسازی و تفکیک ترکیبات نزدیک به هم به کار می‌روند. اکثر این روشها براساس کروماتوگرافی یا الکتروفورز می‌باشند. یکی از خواص درج شده در جدول ۱-۱ معمولاً پس از جداسازی کروماتوگرافی برای تکمیل تجزیه به کار می‌رود. لذا برای این منظور مثلاً رسانایی گرمایی، جذب فرابنفش و مادون قرمز، ضریب شکست و رسانایی الکتریکی بکار رفته‌اند. در این کتاب اصول، کاربرد و مشخصه‌های اجزاء روشهای دستگاهی درج شده در جدول ۱-۱ و همچنین روشهای جدا سازی کروماتوگرافی الکتروفورزی بررسی می‌شود.

اج دستگاهها برای تجزیه

یک دستگاه تجزیه شیمیایی، اطلاعات ذخیره شده از خواص فیزیکی یا شیمیایی آنالیت را به اطلاعاتی که ممکن است توسط انسان ایجاد و تفسیر شوند تبدیل می‌کند. لذا یک دستگاه تجزیه‌ای می‌تواند به عنوان یک وسیله ارتباطی بین سیستم تحت مطالعه و محقق در نظر گرفته شود. همانطور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است برای به دست آوردن اطلاعات مطلوب از آنالیت، یک محرک که اغلب به شکل الکترومغناطیسی، الکتریکی، مکانیکی یا هسته‌ای است لازم می‌باشد. محرک، پاسخی را از سیستم تحت مطالعه، که ماهیت و بزرگی آن توسط قوانین بنیادی شیمی و فیزیک تأیید شده، استخراج می‌کند. پدیده‌های ناشی از برهمکنش محرک با آنالیت محتوی اطلاعات حاصله می‌باشند. یک مثال متداول عبور نوار باریکی از طول موجهای نور مرئی از یک نمونه می‌باشد. برای اندازه‌گیری مقدار جذب تابش توسط آنالیت، شدت نور قبل و بعد از برهمکنش آن با نمونه اندازه‌گیری می‌شود. نسبت این شدت‌ها میزانی از غلظت آنالیت را در اختیار می‌گذارد.

بطور کلی دستگاههای تجزیه شیمیایی شامل فقط چند جزء اساسی می‌باشند که بعضی از آنها در جدول ۱-۲ فهرست شده‌اند. برای درک روابط بین این اجزاء و جریان اطلاعات حاصل از مشخصه‌های آنالیت از طریق اجزاء به خروجی عددی یا ترسیمی ایجاد

را در بر می‌گیرد.

جدول ۱-۲ مثالهایی از اجزاء دستگاهی

دستگاه	منبع انرژی (محرک)	اطلاعات تجزیه ای	مبدل ورودی	حوزه داده‌های اطلاعات تبدیل شده	پردازشگر اطلاعات	قرائت
فوتومتر	لامپ تنگستن، صافی شیشه ای	پرتو نور تضعیف شده	فوتوسل	جریان الکتریکی	مقیاس سنج	جریان سنج
طیف سنج نشر اتمی	شعله	تابش UV یا مرئی	لوله فوتو تکثیر کننده	پتانسیل الکتریکی	تقویت کننده تعدیل زدا، تکفامساز، برشگر	ثبات نگاره
کولن سنج pH متر	منبع DC نمونه / الکتروود شیشه	جریان سل فعالیت یون هیدروژن	الکتروودها الکترودهای شیشه - کالومل	جریان الکتریکی پتانسیل الکتریکی	تقویت کننده، رقم ساز	ثبات نگاره واحد دیجیتالی
پراش سنج پودری اشعه X- مقایسه گر رنگ	لوله اشعه X- نمونه نور خورشید	تابش پراشیده شده رنگ	فیلم عکاسی چشم	تصویر نگاتیو علامت عصب مغز نوری	داروی ظهور	تصویر سیاه روی فیلم پاسخ رنگ قابل رؤیت

اج ۲- حوزه‌های غیر الکتریکی

فرایند اندازه‌گیری در حوزه‌های غیر الکتریکی شروع و تمام می‌شود. خواص فیزیکی و شیمیایی که در یک آزمایش معین مورد توجه می‌باشند در این حوزه‌ها قرار دارند. طول، چگالی، ترکیب شیمیایی، شدت نور، فشار و خواصی که در ستون اول جدول ۱-۱ فهرست شده‌اند در بین این خواص می‌باشند.

امکان دارد یک اندازه‌گیری بطور کامل در حوزه‌های غیر الکتریکی انجام شود. برای مثال، تعیین جرم یک جسم به کمک یک ترازوی مکانیکی دو کفه‌ای شامل مقایسه جرم جسم در یک کفه با جرمهای استاندارد در کفه دیگر می‌باشد.

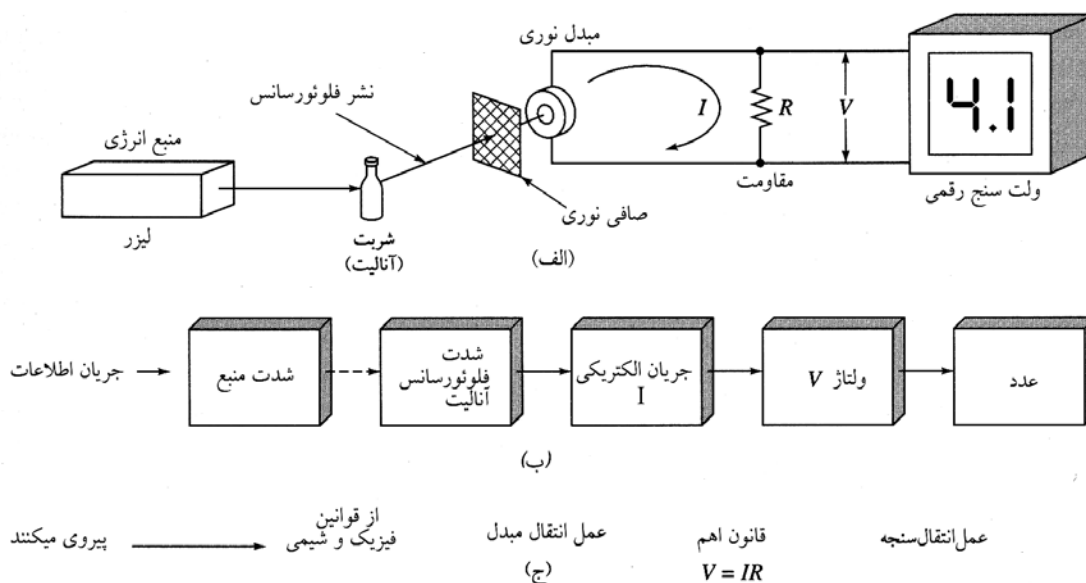
اطلاعات مربوط به جرم جسم در واحدهای استاندارد، مستقیماً توسط آزمایش کننده که پردازش اطلاعات را با جمع زدن جرم‌ها برای رسیدن به یک عدد فراهم می‌کند تدوین می‌شود. در بعضی ترازوهای مکانیکی دیگر، نیروی وزن بر روی جرم بطور مکانیکی با بلندتر کردن یکی از بازوهای ترازو نسبت به دیگری تقویت می‌شود، بنابراین قدرت تفکیک اندازه‌گیری را افزایش می‌دهد.

تعیین ابعاد خطی یک جسم با یک خط کش و اندازه‌گیری حجم یک نمونه مایع با یک استوانه مدرج مثالهای دیگری از اندازه‌گیریهای منحصر انجام شده در حوزه غیر الکتریکی می‌باشند. چنین اندازه‌گیریهایی اغلب با روشهای کلاسیک تجزیه همراه هستند. ظهور پردازشگرهای علامت الکتریکی ارزان قیمت، مبدل‌های

حساس و طرح سنج‌ها منجر به توسعه گروهی از دستگاههای الکترونیکی شده، که اطلاعات را از حوزه‌های غیر الکتریکی کسب کرده، آن را در حوزه الکتریکی پردازش کرده و در نهایت آن را دوباره در حوزه غیر الکتریکی ارائه می‌دهد. ابزار الکترونیکی به طریقی شبیه به افزایش جرم در ترازوهای مکانیکی دارای بازوهای غیر مساوی اطلاعات را پردازش کرده و آن را از یک حوزه به حوزه دیگر انتقال می‌دهند. در نتیجه دسترسی به این اسباب الکترونیکی با پردازش سریع و دقیق اطلاعات، دستگاههایی که منحصرأ متکی به انتقال اطلاعات غیر الکتریکی هستند خیلی سریع به وسایلی قدیمی تبدیل شده‌اند. با اینحال اطلاعاتی که به دنبال آن هستیم از خواص آنالیت شروع شده و به یک عدد ختم می‌شود، که هر دو حوزه‌های غیر الکتریکی می‌باشند. هدف نهایی در تمام اندازه‌گیریها این است که باید نتیجه عددی نهایی به نوعی متناسب با مشخصه‌های شیمیایی یا فیزیکی آنالیت باشد.

اج ۳- حوزه‌های الکتریکی

شیوه‌های تدوین اطلاعات به شکل کمیتهای الکتریکی می‌تواند به حوزه قیاسی، حوزه زمان و حوزه رقمی تقسیم بندی شوند. همانطور که در نیمه پائینی نقشه دوار در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. توجه کنید که حوزه دیجیتال، سه حوزه الکتریکی و یک حوزه غیر الکتریکی را در بر می‌گیرد چون اعداد ارائه شده روی هر نوع



شکل ۳-۱ شمای یک فلورومتر نشان دهنده (الف) نمودار کلی دستگاه (ب) نمایش نموداری انتقال اطلاعات از طریق حوزه‌های مختلف داده‌ها در دستگاه، و (ج) قوانین حاکم بر تبدیلات حوزه داده‌ها در طول فرآیند اندازه‌گیری.

می‌شود. نوع مبدلی که در این آزمایش بکار رفته یک مبدل نوری می‌باشد که چند نوع آن وجود داشته و بعضی از آنها در فصل ۷ مورد بحث قرار گرفته‌اند. در این مثال، مبدل ورودی فلوروسانس حاصل از محلول را به یک جریان الکتریکی، I ، متناسب با شدت تابش تبدیل می‌کند. رابطه ریاضی بین خروجی الکتریکی و توان تابش ورودی که به سطح آن برخورد می‌کند عمل انتقال مبدل نامیده می‌شود.

جریان حاصل از مبدل نوری سپس از یک مقاومت R عبور می‌کند که طبق قانون اهم ولتاژ V را که متناسب با I می‌باشد تولید و آن هم به نوبه خود با شدت فلوروسانس متناسب می‌باشد. در نهایت V توسط ولت سنج دیجیتالی برای ارائه نتایج متناسب با غلظت کوئینین در نمونه اندازه‌گیری می‌شود.

ولت سنج‌ها، نمایش‌های عددی حرفی، موتورهای الکتریکی، صفحه‌های کامپیوتر و بسیاری اسباب دیگر که تبدیل داده‌ها از حوزه الکتریکی به غیر الکتریکی را انجام می‌دهند، مبدل‌های خروجی نامیده می‌شوند. ولت سنج دیجیتالی در فلورومتر در شکل ۳-۱ الف یک مبدل خروجی پیچیده می‌باشد که ولتاژ V را به یک عدد روی نمایش بلور مایع تبدیل می‌کند تا به این ترتیب توسط استفاده کننده از دستگاه خوانده شده و تفسیر شود. جزئیات ماهیت ولت سنج دیجیتالی و مدارها و سیگنال‌های الکتریکی متعدد دیگر را در فصل‌های ۲ تا ۴ بررسی خواهیم کرد.

نمایش، اطلاعات دیجیتالی را انتقال داده و همچنین می‌تواند بطور الکتریکی تدوین شود.

هر عمل اندازه‌گیری می‌تواند بصورت یک سری تبدیلات بین حوزه‌های نشان داده شود. برای مثال، شکل ۳-۱ اندازه‌گیری شدت فلوروسانس مولکولی یک نمونه از محلول تقویت کننده محتوی مقدار کمی کوئینین و بطور کلی بعضی از تبدیلات حوزه داده را که برای رسیدن به یک عدد بیان کننده شدت ضروری اند، را نشان می‌دهد. شدت فلوروسانس در این زمینه مهم است چون متناسب با غلظت کوئینین در محلول تقویت کننده می‌باشد، که در نهایت اطلاعات مورد نظر ما است. اطلاعات در محلول تقویت کننده بصورت غلظت کوئینین آغاز می‌شود. این اطلاعات از نمونه با اعمال محرکی بصورت انرژی الکترومغناطیسی از لیزر نشان داده شده در شکل ۳-۱ بدست آمده است.

تابش با مولکولهای کوئینین در محلول برهمکنش می‌دهد تا نشر فلوروسانس را در ناحیه‌ای از طیف مشخصه کوئینین و با مقداری متناسب با غلظت آن، تولید کند. تابش و در نتیجه اطلاعاتی که ارتباطی با غلظت کوئینین ندارد از پرتو نور به وسیله صافی نوری خارج می‌شود، همانطور که در شکل ۳-۱ الف نشان داده شده است. شدت نشر فلوروسانس که یک حوزه غیر الکتریکی می‌باشد توسط وسیله مخصوصی به نام مبدل ورودی به یک حوزه الکتریکی تبدیل

حوزه‌های آنالوگ

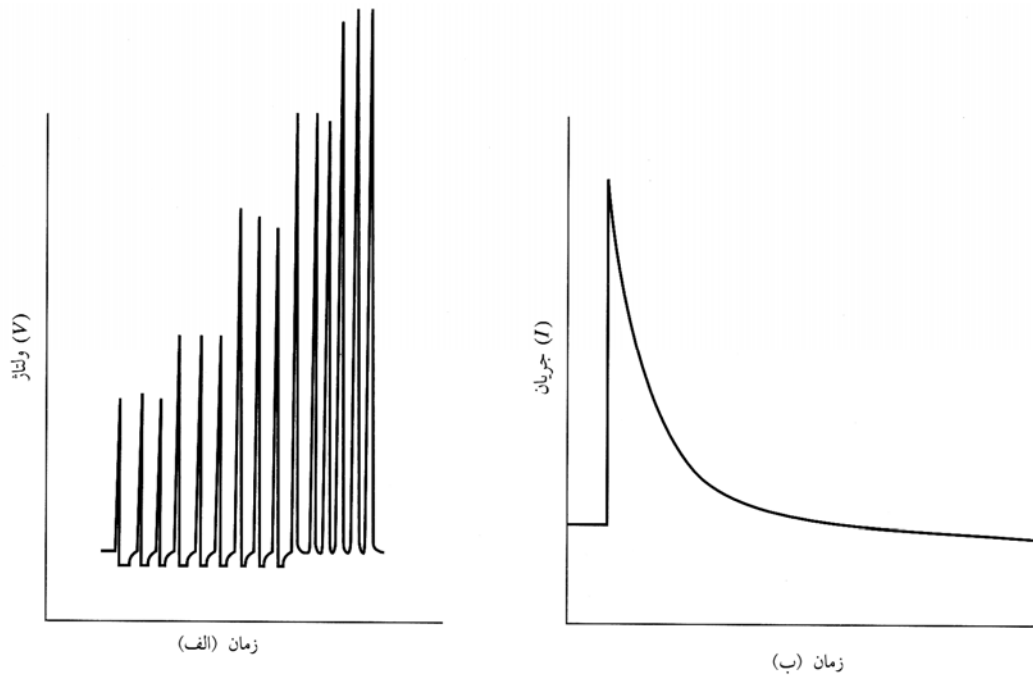
اطلاعات در حوزه آنالوگ به صورت مقدار یکی از کمیت‌های الکتریکی (ولتاژ، جریان، بار یا توان) تدوین می‌شود. این کمیت‌ها از نظر وسعت و زمان پیوسته هستند، همانطور که توسط سیگنال‌های آنالوگ نوعی در شکل ۱-۴ نشان داده شده است. بزرگی کمیت‌های آنالوگ می‌تواند بطور پیوسته اندازه‌گیری شوند یا می‌توانند در زمان‌های معین براساس نیازهای یک آزمایش یا روش دستگاهی خاص همانطور که در فصل ۴ اشاره شده نمونه برداری شوند. اگر چه داده‌های شکل ۱-۴ بصورت تابع زمان ثبت شده‌اند هر متغیری مثل طول موج، قدرت میدان مغناطیسی یا دما ممکن است تحت شرایط مناسب متغیر مستقل باشد. ارتباط دو سیگنال آنالوگ که از خواص شیمیایی یا فیزیکی اندازه‌گیری شده حاصل می‌شوند، در انواع تکنیک‌های دستگاهی، مثل طیف بینی تشدید مغناطیسی هسته، طیف بینی مادون قرمز و تجزیه گرمایی تفاضلی، مهم می‌باشد.

سیگنال‌های آنالوگ بویژه نسبت به نویز الکتریکی که از برهمکنش‌های داخل مدار اندازه‌گیری یا از دیگر وسایل الکتریکی در مجاورت سیستم اندازه‌گیری حاصل می‌شود، مستعد می‌باشند. چنین نویز نامطلوب رابطه‌ای با اطلاعات مورد نظر ندارد و روش‌هایی برای کاهش دادن آثار چنین اطلاعات ناخواسته‌ای توسعه یافته‌اند،

سیگنال‌ها، نویز و بهینه سازی عکس العمل دستگاهی در فصل ۵ بحث شده‌اند.

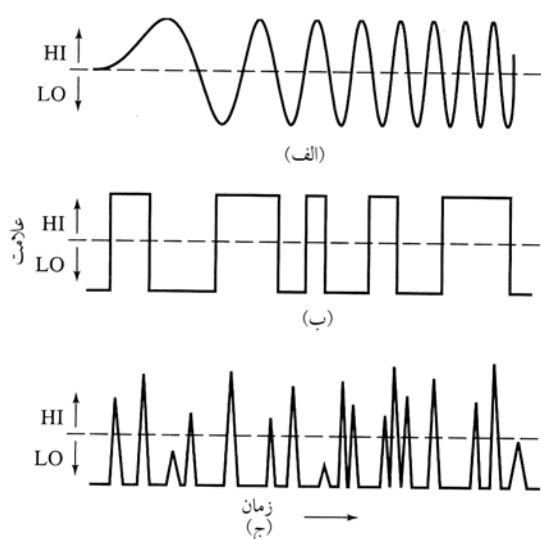
حوزه‌های زمان

اطلاعات در حوزه زمان به صورت رابطه زمانی نوسانهای سیگنال و نه بصورت دامنه سیگنال ذخیره می‌شود. شکل ۱-۵ سه سیگنال مختلف حوزه زمان ثبت شده به شکل یک کمیت آنالوگ برحسب زمان را نشان می‌دهد. خطوط بریده افقی یک سیگنال آستانه اختیاری را نشان می‌دهد، که برای تصمیم‌گیری اینکه آیا علامت HI (بالای آستانه) یا LO (پائین آستانه) می‌باشد بکار برده شده است. روابط زمانی بین انتقالات سیگنال از HI به LO یا از LO به HI محتوی اطلاعات مورد توجه می‌باشند. برای دستگاههایی که سیگنال‌های تناوبی تولید می‌کنند، تعداد تناوب سیگنال در واحد زمان فرکانس بوده و زمان لازم برای هر سیکل، زمان تناوب آن می‌باشد. طیف بینی رامان و تجزیه دستگاهی فعالسازی نوترون دو مثال از سیستم‌های دستگاهی که تولید اطلاعات در حوزه فرکانس می‌نمایند هستند. در این روشها، فرکانس رسیدن فوتونها به آشکار ساز بطور مستقیم با شدت نشر از آنالیت، که به نوبه خود با غلظت آن متناسب است، مربوط می‌باشد.



شکل ۱-۴ سیگنال‌های آنالوگ، (الف) پاسخ دستگاه از سیستم آشکار ساز فوتومتری یک آزمایش تجزیه جریان تزریقی. یک جریان از مخلوط واکنش شامل محلول $Fe(SCN)^{2+}$ قرمز از یک منبع نور تکفام و یک مبدل نور، که یک ولتاژ متغیر برحسب غلظت متغیر نمونه ایجاد می‌کند عبور می‌کند. (ب) جریان پاسخ یک لوله فوتونکثیر کننده وقتی نور از یک منبع تپی به فوتوکاتد دستگاه برخورد می‌کند.

HI-LO و تدوین اطلاعات در حوزه دیجیتال پی گیری خواهیم کرد.



شکل ۱-۵ سیگنالهای حوزه زمان. خط چین‌های افقی آستانه سیگنال را نشان می‌دهند، وقتی هر سیگنال بالاتر از آستانه باشد سیگنال HI بوده، و وقتی پائین‌تر از آستانه باشد، سیگنال LO می‌باشد.

همانطور که در نقشه حوزه داده‌های شکل ۱-۲ پیشنهاد شده است، حوزه دیجیتال، حوزه‌های الکتریکی و غیر الکتریکی را در بر می‌گیرد. در مثالی که ذکر شد حوادث هسته‌ای با استفاده از یک شمارش گر الکترونیکی جمع آوری شده و روی یک وسیله قرائت دیجیتالی نشان داده می‌شوند. وقتی شخص آزمایش کننده صفحه نمایش را خوانده و تفسیر می‌کند، عددی که کمیت اندازه گیری شده را نشان می‌دهد یک بار دیگر در حوزه غیر الکتریکی می‌باشد. هر قطعه از داده HI-LO که یک واقعه هسته‌ای را نشان می‌دهد بخشی از اطلاعات است که واحد بنیادی اطلاعات در حوزه دیجیتال می‌باشد.

بخشهای اطلاعات که در طول یک کانال یا سیم الکترونیکی منفرد منتقل می‌شوند ممکن است توسط یک مشاهده گر یا یک وسیله الکترونیکی که کانال را نمایش می‌دهد شمرده شوند، چنین داده‌های انباشته شده، داده‌های دیجیتالی شمارش نامیده می‌شوند. که در نقشه حوزه داده‌های شکل ۱-۲ ظاهر می‌شود. برای مثال سیگنال در شکل ۱-۵ الف مربوط به عدد $n = 8$ می‌باشد چون هشت چرخه کامل در سیگنال وجود دارند سیگنال در شکل ۱-۵ ب مربوط به $n = 5$ می‌باشد. و سیگنال در شکل ۱-۵ ج مربوط به $n = 14$ است. هر چند که این وسیله انتقال اطلاعات مؤثر بوده ولی خیلی کارآمد نیست.

یک راه خیلی کارآتر برای به رمز در آوردن اطلاعات استفاده از اعداد دوتائی برای نشان دادن داده‌های عددی و حرفی می‌باشد. برای

زمان بین انتقالات مرحله‌ای LO به HI، دوره و زمان بین یک

انتقال LO به HI و HI به LO عرض تب^۱ نامیده می‌شوند.

وسایلی مثل مبدل ولتاژ به فرکانس و فرکانس به ولتاژ ممکن است برای تبدیل سیگنال‌های حوزه زمان به سیگنال‌های حوزه آنالوگ و بالعکس بکار روند. اینها و دیگر مبدل‌های حوزه داده این گونه در فصول ۳ و ۴ به عنوان بخشی از بررسی ما از وسایل الکترونیکی بحث شده و در زمینه‌های دیگر در طول این کتاب به آن مراجعه خواهد شد.

حوزه دیجیتال

در حوزه دیجیتال، داده‌ها در یک طرح دو ترازوی تدوین شده‌اند. اطلاعات می‌توانند به عنوان مثال به وسیله حالت یک لامپ نور، یک دیود نشر کننده نور، یک کلید فشاری یا یک سیگنال سطح منطقی نشان داده شوند. مشخصه مشترک بین این وسایل این است که هر یک باید فقط در یکی از دو حالت باشد، مثلاً چراغها و کلیدها فقط ممکن است روشن یا خاموش بوده و سیگنال‌های سطح منطقی ممکن است فقط HI یا LO باشند. تعریف اینکه چه چیزی روشن و خاموش را برای کلیدها و چراغها تشکیل می‌دهد درک شده، ولی در مورد سیگنال‌های الکتریکی مثل مورد سیگنال‌های حوزه زمان، یک سطح سیگنال اختیاری که بین HI و LO تمایز قائل می‌شود باید تعریف گردد. چنین تعریفی ممکن است به شرایط آزمایش و یا به مشخصات وسایل الکترونیکی به کار رفته بستگی داشته باشد. برای مثال علامت نشان داده شده در شکل ۱-۵ ج قطاری از تپ‌ها از یک آشکار ساز هسته‌ای می‌باشد. وظیفه اندازه گیری، شمارش تپ‌ها در طی یک دوره ثابت از زمان برای دستیابی به اندازه‌ای از شدت تابش می‌باشد. خط چین نشان دهنده یک سطح سیگنال است که نه تنها به حد کافی پائین است تا اطمینان از اینکه هیچ تپی از دست نرفته بوجود آید بلکه همچنین به حد کافی بالاست تا نوسانات تصادفی در سیگنال را که ربطی به پدیده‌های هسته‌ای مورد نظر ندارند، رد کند. اگر سیگنال، چهارده بار از آستانه بگذرد، مثل مورد شکل ۱-۵ ج، می‌توانیم مطمئن باشیم که چهارده حادثه هسته‌ای رخ داده است. بعد از اینکه حوادث شمرده شدند، داده‌ها در حوزه دیجیتال به شکل عدد ۱۴ رمزگذاری می‌شوند. در فصل ۴، وسایلی را برای تصمیم گیری الکترونیکی

است.

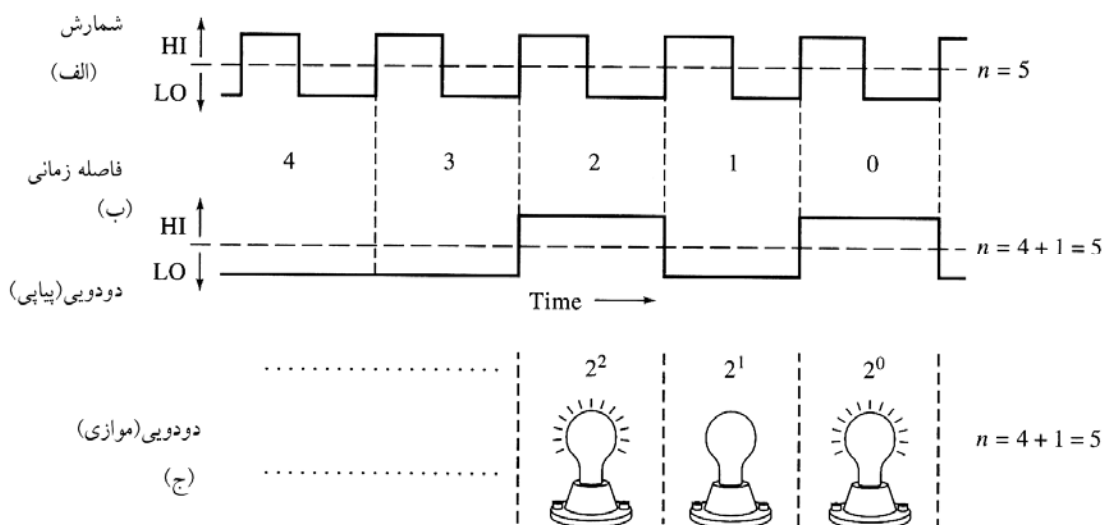
در مثال دیجیتال شماری سیگنال در شکل ۶-۱ الف، برای تعیین همان عدد، پنج فاصله زمانی نیاز بود.

در این مثال محدود، سری داده‌های رمزی شده دوتایی تقریباً دو برابر کارآمدتر از سری داده‌های شمارشی می‌باشد. یک مثال تأسف بارت‌تر می‌تواند در شمارش $n = 10$ نوسان شبیه به مورد سیگنال شکل ۶-۱ الف، دیده شود. در همان ده فاصله زمانی، ده قطعه HI-LO از اطلاعات در طرح رمزدار کردن ردیفی دوتایی ارائه اعداد دوتایی از $2^1 = 2$ تا $2^4 = 16$ ، یا 00000000 تا 11111111 را امکان‌پذیر می‌نماید.

بهبود در کارایی عبارت است از $10/24$ یا حدود ۱۰۰ باره به عبارت دیگر، طرح ردیفی شمارش نیاز به $24/10$ فاصله زمانی دارد برای ارائه عدد $24/10$ در حالیکه طرح رمزدار کردن دوتایی فقط به ده فاصله زمانی نیاز دارد. در نتیجه کارایی طرح‌های رمزدار کردن دوتایی، اغلب داده‌های دیجیتالی، به یکی از شکل‌های دوتایی، رمز دار، انتقال، پردازش، و رمز زدایی می‌شوند. داده‌های ارائه شده توسط رمز دوتایی بر روی یک خط عبور منفرد به نام داده‌های دوتایی متداول از عبور داده‌های ردیفی مودم کامپیوتر می‌باشد که وسیله‌ای است برای انتقال داده‌ها بین کامپیوترها به وسیله تلفن از طریق یک

مشاهده اینکه چگونه چنین رمزدار کردنی می‌تواند با موفقیت انجام شود. سیگنال‌ها در شکل ۶-۱ را در نظر می‌گیریم. داده‌های دیجیتالی شمارش سیگنال در شکل ۶-۱ الف عدد $n = 5$ را مثل قبل نشان می‌دهد. سیگنال‌ها را مشخص کرده و تعداد نوسانات کامل را می‌شماریم. فرآیند احتیاج به یک فاصله زمانی دارد که متناسب با تعداد چرخه‌های سیگنال باشد، یا در این مورد پنج برابر طول یک فاصله زمانی تک همانطور که در شکل ۶-۱ نشان داده شده است دارد. توجه کنید که فواصل زمانی به ترتیب با شروع از صفر شماره گذاری شده‌اند. در یک طرح رمزدار کردن دوتایی، مثل مورد نشان داده شده در شکل ۶-۱ ب، به هر فاصله زمانی مرحله‌ای یک مقدار عددی اختصاص می‌دهیم. برای مثال، فاصله زمانی صفر نشانگر $2^0 = 1$ ، فاصله زمانی اول نشانگر $2^1 = 2$ ، فاصله زمانی دوم نشانگر $2^2 = 4$ و غیره می‌باشد. همانطور که در شکل ۶-۱ نشان داده شده، در طی هر فاصله زمانی، فقط باید بدانیم که آیا علامت HI است یا LO. اگر علامت در طی هر فاصله زمانی معین HI باشد، مقدار مربوط به آن فاصله به کل اضافه می‌شود. تمام فواصل LO سهم صفر در کل دارند.

در شکل ۶-۱ ب، فقط در فواصل ۰ و ۲ علامت HI می‌باشد، لذا مقدار کل نشان داده شده عبارت است از $2^2 \times 2^0 + 2^1 \times 0 + 2^0 \times 1 = 5$. در نتیجه، در فضای فقط سه فاصله زمانی، عدد $n = 5$ تعیین شده



شکل ۶-۱ نمودار نشان دهنده سه نوع داده دیجیتالی: (الف) داده شمارش ردیفی، (ب) داده ردیفی رمزدار شده دوتایی و (ج) داده دوتایی موازی، در هر سه مورد، داده‌ها نشانگر عدد $n = 5$ می‌باشند.

هادی منفرد (و زمین).

یک روش مؤثرتر برای رمزگذاری داده‌ها در حوزه دیجیتال، در سیگنال ۱-۶ج مشاهده می‌شود. در اینجا از سه لامپ استفاده شده برای نشان دادن سه رقم دوتایی: $۱ = ۲^۰$; $۲ = ۲^۱$ و $۴ = ۲^۲$. به هر حال می‌توانستیم از کلیدها، سیم‌ها، دیوهای نشر کننده نور، یا یکی از وسایل الکترونیکی مختلف برای رمزدار کردن اطلاعات استفاده کنیم. در این طرح، روشن = ۱ و خاموش = ۰، به این ترتیب عدد ما به صورتی که در شکل ۱-۶ نشان داده شده با لامپ اول و سوم روشن و لامپ وسطی خاموش که نشان دهنده $۵ = ۱ + ۰ + ۴$ می‌باشد، تدوین می‌شود.

این طرح کارایی بالایی دارد چون تمام اطلاعات مطلوب به طور همزمان به ما داده می‌شوند، درست همانطور که تمام ارقام روی ولت سنج دیجیتالی در شکل ۱-۳ الف همزمان ظاهر می‌شوند. داده‌های ارائه شده از این طریق به عنوان داده‌های دیجیتالی موازی مطرح می‌شوند. داده‌ها در داخل دستگاههای تجزیه‌ای و کامپیوترها توسط انتقال موازی داده‌ها منتقل می‌شوند. از آنجایی که معمولاً داده‌ها فواصل نسبتاً کوتاهی را در داخل این وسایل طی می‌کنند، استفاده از انتقال موازی اطلاعات با صرفه و مؤثر می‌باشد. این صرفه داشتن فواصل کوتاه برخلاف موقعیتی است که در آن باید داده‌ها از طریق فاصله‌های بلند دستگاه به دستگاه یا کامپیوتر به کامپیوتر منتقل شوند. در چنین مواردی، با استفاده از مودم یا طرحهای انتقال داده ردیفی سریعتر یا پیچیده‌تر ارتباط برقرار می‌شود. جزئیات بیشتر این نظریات در فصل ۴ بررسی خواهند شد.

اج ۴- آشکار سازها، مبدلها و حس گرها

واژه‌های آشکار ساز، مبدل و حس گر اغلب به جای هم و مترادف یکدیگر بکار می‌روند. ولی در واقع این اصطلاحات دارای معنای کمی متفاوت هستند. عمومی‌ترین اصطلاح از سه اصطلاح یعنی آشکار ساز، مربوط به وسیله مکانیکی، الکتریکی یا شیمیایی است که تغییری در یکی از متغیرهای محیط خود مثل فشار، دما، بار الکتریکی، تابش الکترو مغناطیسی، تابش هسته‌ای، ذرات یا مولکول‌ها را شناسائی، ثبت یا نشان دهد.

این واژه به اندازه‌ای عمومی شده است که تمام دستگاهها اغلب از آن استفاده می‌کنند. در مفهوم تجزیه دستگاهی، جمله آشکار ساز را به معنی کلی که الان تعریف شد، بکار خواهیم برد و برای مطرح کردن کل مجموعه که کمیت‌های فیزیکی یا شیمیایی را

نشان داده یا ثبت می‌کنند از سیستم آشکار سازی استفاده می‌کنیم. یک مثال، آشکار ساز UV (فرابنفش) می‌باشد که اغلب برای نشان دادن و ثبت حضور آنالیت‌های شسته شده در کروماتوگرافی مایع به کار می‌رود.

واژه مبدل بویژه برای آن وسایلی به کار می‌رود که اطلاعات در حوزه‌های غیر الکتریکی را به اطلاعات حوزه الکتریکی و بالعکس تبدیل می‌کنند. بطور مثال دیوهای نوری، تکثیر کننده فوتونی و دیگر آشکارسازهای الکترونیکی نوری جریان یا ولتاژی را متناسب با انرژی تابش الکترومغناطیسی که روی سطح آنها می‌افتد تولید می‌کنند. مثالهای دیگر شامل ترمیستورها، وسایل اندازه‌گیری کشش، و مبدل‌های قدرت میدان مغناطیسی اثر هال (اثر صوتی) می‌باشند.

همانطور که قبلاً پیشنهاد شد رابطه ریاضی بین خروجی الکتریکی و توان تابش ورودی، دما، نیرو یا قدرت میدان مغناطیسی عمل انتقال برای مبدل نامیده می‌شود.

واژه حس گر نیز عمومی شده اما در این کتاب بطور عمده این واژه را برای دسته‌ای از وسایل تجزیه‌ای که قادر به نمایش گونه‌های شیمیایی بطور پیوسته و برگشت پذیر می‌باشند. در نظر می‌گیریم. مثالهای متعددی از حس گرها در این کتاب وجود دارند. از جمله الکتروود شیشه و دیگر الکتروودهای یون گزین که در فصل ۲۳ بررسی می‌شوند، الکتروود اکسیژن کلارک^۱ که در فصل ۲۵ توضیح داده می‌شود، و اوپترودها^۲ یا حسگرهای فیبر نوری که در فصل ۷ مطرح می‌شوند.

حس گرها شامل یک مبدل هستند که با یک فاز شناسایی گزینش شیمیایی جفت شده است. بنابراین، مثلاً اوپترودها شامل یک مبدل فوتونی جفت شده با یک فیبر نوری هستند که در انتهای روبروی مبدل با یک ماده‌ای پوشیده شده که بطور ویژه نسبت به یک خاصیت مشخص فیزیکی یا شیمیایی از آنالیت پاسخ می‌دهد.

حس گری که به ویژه جالب توجه و سازنده می‌باشد، میکروتراز و بلور کوارتز یا QCM است. این وسیله براساس خواص پیزو الکتریکی^۳ کوارتز می‌باشد. وقتی کوارتز تغییر شکل مکانیکی می‌دهد، یک پتانسیل الکتریکی در سرتاسر سطح آن ایجاد می‌شود. بعلاوه

1- Clark.

2- optrodes.

۳- از خواص بلورها می‌باشد که در اثر کشش یا فشار، بار مثبت یا منفی پیدا می‌کند.

اج ۵- ابزار قرائت

یک وسیله قرائت مبدلی است که اطلاعات را از حوزه الکتریکی به حوزه‌ای که توسط شخص مشاهده کننده قابل درک باشد تبدیل می‌کند. معمولاً علامت تبدیل شده به شکل حرف عددی یا خروجی نموداری یک لوله اشعه کاتدی، یک سری اعداد بر روی صفحه دیجیتال، موقعیت عقربه روی یک صفحه مدرج یا گاهی سیاه شدن یک صفحه عکاسی، یا اثری بر یک کاغذ ثبات در می‌آید. در بعضی موارد، وسیله قرائت برای ارائه مستقیم غلظت آنالیت می‌تواند بکار رود.

اج ۶- میکروپردازشگرها و کامپیوتر در دستگاهها

بیشتر دستگاههای تجزیه‌ای جدید شامل یا وصل شده به یک یا چند وسیله الکترونیکی پیچیده و تبدیل گره‌های حوزه داده، مثل تقویت کننده‌ها، مدارهای مجتمع (IC)، تبدیل گره‌های آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ، شمارگرها، میکروپردازشگرها و کامپیوترها می‌باشند. به منظور درک توان و محدودیت‌های چنین دستگاههایی، لازم است که دانشمند حداقل یک درک کیفی از اینکه چگونه این ابزارها عمل می‌کنند و چه می‌توانند انجام دهند داشته باشند. فصول ۳ و ۴ بررسی مختصری از این بحث‌های مهم را در اختیار می‌گذارند.

د ۱ انتخاب یک روش تجزیه‌ای

از ستون ۲ جدول ۱-۱ مشهود است که یک شیمیدان امروزی با تعداد زیادی از ابزارها برای انجام یک تجزیه مواجه است. در واقع چنین تنوعی انتخاب را بین آنها غالباً دشوار می‌سازد.

د ۱-۱ تعریف مسئله

به منظور انتخاب هوشمندانه یک روش تجزیه‌ای شفاف ماهیت مسئله تجزیه‌ای اهمیت اساسی دارد. چنین تعریفی نیازمند پاسخ به سئوالهای زیر است:

- ۱- صحت مورد نیاز چیست؟
- ۲- چه مقدار از نمونه در دسترس است؟
- ۳- محدوده غلظت آنالیت چیست؟
- ۴- چه اجزایی از نمونه موجب مزاحمت خواهند بود؟
- ۵- خواص فیزیکی و شیمیایی بافت نمونه چه هستند؟
- ۶- چه تعداد نمونه باید تجزیه شوند؟

وقتی ولتاژی در سرتاسر سطوح یک بلور کوارتز اثر داده شود، بلور تغییر شکل می‌دهد. بلوری که در یک مدار الکتریکی مناسب وصل شده در فرکانسی که مشخصه جرم و شکل بلور است نوسان کرده و آن هم بطور عجیبی ثابت است به شرط اینکه جرم بلور ثابت باشد. این خاصیت بعضی از مواد بلوری اثر پیزوالکتریک نامیده می‌شود و اساس میکروترازوی بلور کوارتز را تشکیل می‌دهد. بعلاوه فرکانس ثابت مشخصه بلور کوارتز پایه‌ای است برای ساعت‌های جدید با دقت بالا، شمارگرها، زمان سنج‌ها و فرکانس سنج‌ها که در عوض منجر به خیلی از سیستمهای دستگاهی تجزیه‌ای صحیح و دقیق شده‌اند. اگر یک بلور کوارتز با یک پلیمر که به طور گزینشی بعضی مولکولها را جذب سطح می‌کند اندوده شود، در صورت حضور مولکولها جرم بلور افزایش یافته و لذا فرکانس زرونانسی بلور کاهش می‌یابد. وقتی مولکولها از سطح دفع شوند، بلور به فرکانس اولیه خود بر می‌گردد. رابطه بین تغییر فرکانس بلور ΔF و تغییر جرم بلور ΔM به این صورت است:

$$\Delta F = \frac{CF^2 \Delta M}{A}$$

M جرم بلور، A سطح تماس، F فرکانس نوسان بلور و C ثابت تناسب هستند. رابطه بالا بیان می‌دارد که اگر فرکانس بلور را بتوان بطور دقیق اندازه‌گیری کرد، امکان اندازه‌گیری تغییرات خیلی کوچک در جرم بلور وجود دارد. معلوم شده است که اندازه‌گیری تغییرات فرکانس به سادگی با دستگاههای ارزان و با دقت یک قسمت در 10^7 ، امکان‌پذیر است. حد آشکار سازی برای یک حس گر پیزوالکتریک از این نوع، حدود یک پیکو گرم یا 10^{-12} گرم تخمین زده شده است. این حس گرها برای آشکار سازی انواع آنالیت‌های فاز گازی از جمله فرمالدهید، هیدروژن کلرید، هیدروژن سولفید و بنزن بکار رفته‌اند. آنها همچنین بعنوان حس گر برای سلاح‌های شیمیایی مثل گاز خردل و فسژن پیشنهاد شده‌اند.

حس گر جرمی پیزوالکتریک مثال خوب از یک مبدل در تبدیل خاصیتی از آنالیت (که در این مورد خاصیت مورد نظر جرم است) یک تغییر در کمیت الکتریکی، فرکانس تشدید یک بلور کوارتز را ارائه می‌دهد. این مثال همچنین تمایز بین مبدل و حس گر را نشان می‌دهد. در میکروتراز و بلور کوارتز، مبدل بلور کوارتز است، و فاز دوم گزینش‌پذیر روکش پلیمری است. ترکیب مبدل و فاز گزینشی، حس گر را تشکیل می‌دهد.

جدول ۱-۳ معیارهای عددی برای انتخاب روشهای تجزیه‌ای

معیار	عدد شایستگی
۱. دقت	انحراف استاندارد مطلق و انحراف استاندارد نسبی، ضریب تغییر واریانس
۲. انحراف	خطای طبقه بندی شده مطلق، خطای طبقه بندی شده نسبی
۳. حساسیت	حساسیت درجه بندی، حساسیت تجزیه ای
۴. حد تشخیص	شاهد به علاوه سه برابر انحراف استاندارد شاهد
۵. محدوده غلظت	حد غلظت اندازه گیری کمی (LOQ) تا حد غلظت خطی بودن (LOL)
۶. انتخاب پذیری	ضریب انتخاب پذیری

دقت

همانطور که در بخش پ.الف در پیوست ۱ نشان داده‌ایم دقت داده‌های تجزیه درجه‌ای از سازگاری دو طرفه بین داده است که از یک روش بدست آمده‌اند، دقت میزانی از خطای اتفاقی یا نامعین یک تجزیه را به دست می‌دهد. ارقام برای دقت شامل انحراف استاندارد مطلق، انحراف استاندارد نسبی، ضریب تغییر و واریانس می‌باشند. این اصطلاحات در جدول ۱-۵ تعریف شده‌اند.

جدول ۱-۴ خواص دیگری که باید در انتخاب روش مورد توجه قرار گیرند

۱. سرعت
۲. سهولت و راحتی
۳. مهارت لازم برای اپراتور
۴. هزینه و در دسترس بودن وسایل
۵. هزینه به ازاء نمونه

جدول ۱-۵ ارقام شایستگی برای دقت روشهای تجزیه ای

اصطلاح	تعریف*
انحراف استاندارد مطلق، S	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$
انحراف استاندارد نسبی (RSD)	$RSD = \frac{S}{\bar{X}}$
انحراف استاندارد میانگین S_m	$\sqrt{N} S_m = S$
ضریب تغییر CV	$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\%$
واریانس S^2	

* مقدار عددی i امین اندازه گیری $X_i =$

پاسخ به سوال ۱ از آن جهت اهمیت حیاتی دارد که معین می‌کند که چه مقدار از زمان و دقت برای تجزیه نیاز خواهد بود. جواب به سئوالات ۲ و ۳ تعیین می‌کند که روش باید چقدر حساس باشد و چه محدوده غلظتی باید بکار رود. پاسخ به سوال ۴ تعیین کننده گزینش پذیری لازم برای روش است. پاسخ به سوال ۵ از آن جهت با اهمیت است که برخی روشهای تجزیه‌ای جدول ۱-۱ قابل اندازه گیری برای محلول‌های آنالیت (معمولاً آبی) می‌باشند. روشهای دیگر برای نمونه‌های گازی راحت تر به کار برده می‌شوند در حالیکه تعدادی دیگر از روشها برای تجزیه مستقیم جامدات مناسب هستند.

همچنین تعداد نمونه هایی که می‌بایست تجزیه شوند (سؤال ۶) از نقطه نظر اقتصادی یک جنبه با اهمیت است. اگر این تعداد زیاد باشد زمان و پول قابل توجهی می‌تواند صرف دستگاهوری، بسط روش و درجه بندی شود. از این گذشته اگر تعداد نمونه‌ها زیاد باشد، روشی می‌بایست انتخاب شود که نیازمند حداقل زمان اپراتوری به ازاء نمونه باشد. به عبارت دیگر اگر تنها یک تعداد کم از نمونه می‌بایست تجزیه شود، روشی ساده تر اما وقت گیرتر که نیازمند مقدار کم و یا هیچ کار آماده سازی اولیه نباشد غالباً انتخاب منطقی تری است. به شرط آنکه مشخصات کارآیی دستگاههای مختلف نشان داده شده در جدول ۱-۱ شناخته شده باشند. با پاسخ به شش سوال ذکر شده یک روش می‌تواند انتخاب شود.

۵-۲ مشخصات کارآیی دستگاهها، ارقام شایستگی

جدول ۱-۳ شرایط کارآیی کیفی دستگاهها که می‌توانند در تصمیم گیری در مورد دستگاهی مناسب برای حمله به یک مسئله تجزیه‌ای مورد استفاده قرار گیرند را فهرست کرده است. این خواص بصورت اعدادی که ارقام شایستگی نامیده می‌شوند بیان می‌گردند.

ارقام شایستگی اجازه می‌دهد تا انتخاب دستگاه برای یک مسئله تجزیه‌ای به تعداد نسبتاً کمی محدود شود. سپس انتخاب در بین این چند روش می‌تواند براساس ضوابط کارآیی کیفی که در جدول ۱-۴ فهرست شده‌اند، انجام گیرد.

در این بخش هر شش رقم شایستگی عنوان شده در جدول ۱-۳ را تعریف می‌کنیم. این ارقام در طول متن در بحث دستگاهها و روشهای دستگاهی مختلف بکار برده می‌شوند.

روش که دارای دقت یکسان هستند روشی که منحنی درجه بندی تیزتری دارد حساستر خواهد بود. مترادف با این جمله می توان گفت اگر دو روش دارای منحنی های درجه بندی با شیب یکسان باشند، روشی که دقت بهتری نشان دهد حساستر خواهد بود.

تعریف کمی حساسیت که توسط انجمن بین المللی شیمی دانان محض و کاربردی (IUPAC) پذیرفته شده است درجه بندی حساسیت است که شیب منحنی درجه بندی غلظت گونه مورد نظر است. غالب منحنی های درجه بندی که در شیمی تجزیه بکار برده می شوند خطی بوده و می توانند با معادله زیر نمایش داده شوند:

$$S = mc + S_{b1} \quad (2-1)$$

که در آن S سیگنال اندازه گیری شده، c غلظت آنالیت، S_{b1} سیگنال دستگاهی برای شاهد، و m شیب خط راست است. مقدار S_{b1} باید عرض از مبدأ خط راست روی محور Y باشد. با چنین منحنی هایی حساسیت درجه بندی مستقل از غلظت c و برابر m خواهد بود. حساسیت درجه بندی به عنوان ارقام شایستگی بواسطه ناتوانی آنها برای در نظر گرفتن دقت اندازه گیری های انفرادی دچار مشکل است.

مدل و استیپلر^۱ نیاز به دخالت دقت در یک جمله ریاضی دارای مفهوم حساسیت را تشخیص داده و تعریف زیر را برای حساسیت تجزیه ای γ پیشنهاد کرده اند:

$$\gamma = m / s_s \quad (3-1)$$

در اینجا m شیب منحنی درجه بندی و s_s انحراف استاندارد اندازه گیری است.

حساسیت تجزیه ای در برگیرنده این امتیاز است که به ضرایب تقویت غیر حساس است. برای مثال، افزایش میزان حساسیت یک دستگاه به میزان ۵ برابر، افزایشی به همان مقدار بر روی m خواهد داشت. بهر حال این افزایش معمولاً همراه با یک افزایش در s_s خواهد بود. لذا حساسیت تجزیه ای بدست آمده کم و بیش ثابت باقی خواهد ماند. امتیاز دوم حساسیت تجزیه ای در این است که مستقل از واحد اندازه گیری S است.

یک ضعف حساسیت تجزیه ای این است که غالباً مستقل از غلظت است زیرا s_s با غلظت تغییر می یابد.

حد تشخیص

پذیرفته شده ترین تعریف کیفی برای حد تشخیص عبارت است

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = \text{میانگین } N \text{ اندازه گیری}$$

انحراف

همانطور که در بخش پ ۱- الف ۲- در پیوست ۱ نشان داده شده است، انحراف میزانی از خطای طبقه بندی شده یا معین در یک روش تجزیه ای را ارائه می دهد. انحراف با معادله زیر تعریف می شود:

$$(1-1) \quad \mu - x_i = \text{انحراف}$$

که در آن μ میانگین توده برای غلظت آنالیت در یک نمونه است که دارای غلظت واقعی x_i می باشد. تعیین انحراف شامل تجزیه یک یا چند ماده مرجع استاندارد است که در آنها غلظت آنالیت معلوم است. منابع چنین مواردی در مراجع ۳ و ۴ بخش پ ۱- الف ۲- پیوست ۱، داده شده اند. بهر حال نتایج حاصل از چنین تجزیه ای حاوی دو نوع خطای اتفاقی و معین خواهند بود. اما اگر تعداد کافی تجزیه صورت گیرد، مقدار متوسط می تواند در یک سطح اطمینان معین تعیین شود. همانگونه که در بخش پ ۱- ب - ۲ پیوست ۲، نشان داده شده است متوسط ۲۰ تا ۳۰ تجزیه تکراری معمولاً تخمین خوبی از میانگین جمعیت $\mu - x_i$ در معادله ۱-۱ می تواند باشد، هر اختلافی بین این میانگین و مقدار شناخته شده غلظت آنالیت در ماده مرجع استاندارد می تواند به انحراف نسبت داده شود.

در صورتی که انجام ۲۰ تجزیه تکراری روی یک ماده استاندارد امکان پذیر نباشد، حضور احتمالی انحراف همانطور که در مثال پ ۱-۷ در پیوست ۱ نشان داده شده است، می تواند ارزیابی شود.

معمولاً در بسط یک روش تجزیه ای، تمامی تلاشها صورت می گیرد تا منبع انحراف شناسایی و با استفاده از شاهد و توسط درجه بندی کردن دستگاه حذف یا تصحیح گردد.

حساسیت

این توافق کلی وجود دارد که حساسیت یک دستگاه یا یک روش میزانی از توانایی آن در تمایز بین غلظتهای آنالیت با اختلافات کوچک است. دو عامل محدود کننده حساسیت عبارتند از: شیب منحنی درجه بندی و تکرار پذیری یا دقت وسیله اندازه گیری، بین دو

۱. Mandel and stiehler.

مثال ۱-۱

تحلیل حداقل مربعات داده‌های درجه بندی برای اندازه‌گیری سرب براساس طیف نشر شعله‌ای معادله زیر را داده است:

$$S = 1/12c_{pb} + 0/312$$

که در آن c_{pb} غلظت سرب برحسب قسمت در میلیون و S میزانی از شدت نسبی خط نشری سرب است. نتایج زیر از تکرار چند آزمایش بدست آمده‌اند:

غلظت، pb, ppm	تعداد تکرار	متوسط مقدار S	S
۱۰/۰	۱۰	۱۱/۶۲	۰/۱۵
۱/۰۰	۱۰	۱/۱۲	۰/۰۲۵
۰/۰۰۰	۲۴	۰/۰۲۹۶	۰/۰۰۸۲

(الف) حساسیت درجه بندی، (ب) حساسیت تجزیه‌ای سرب با مقدار ۱ و $10 ppm$ ، (ج) حد تشخیص را محاسبه کنید.

(الف) طبق تعریف، حساسیت درجه بندی m شیب خط راست است. بنابراین $m = 1/12$ می‌باشد.

(ب) حساسیت تجزیه‌ای برای نمونه $10 ppm$ سرب، $7/5 = 1/12 / 0/15$

$\gamma = m/s_s = 1/22 = 45$ سرب $1 ppm$ برای نمونه $10 ppm$ سرب γ است.

(ج) با بکارگیری معادله ۱-۴، $0/054 = 0/0296 + 3 \times 0/0082$

S_m است. با قرار دادن در معادله ۱-۵ می‌دهد.

$$c_m = \frac{0/054 - 0/0296}{1/12} = 0/022 \text{ ppm سرب}$$

محدوده پویا (محدوده خطی بودن)

شکل ۱-۷ تعریف محدوده پویای یک روش تجزیه‌ای را نمایش می‌دهد که از حداقل غلظتی که در آن اندازه‌گیری کمی می‌تواند انجام شود (حد کمی یا LOQ) تا غلظتی که در آن منحنی درجه بندی از خطی بودن انحراف پیدا می‌کند (حد خطی بودن یا LOL) گسترش یافته است. حد پایین اندازه گیریهای کمی معمولاً ده برابر انحراف استاندارد اندازه‌گیری تکراری روی یک شاهد یا $10s_{b1}$ در نظر گرفته می‌شود. در این نقطه انحراف استاندارد نسبی حدود ۳۰ درصد بوده و با افزایش غلظت، سریعاً کاهش می‌یابد. در حد

از حداقل غلظت یا جرم آنالیت که در یک سطح اطمینان معلوم می‌تواند تشخیص داده شود. این حد وابسته به نسبت مقدار سیگنال تجزیه‌ای به اندازه نوسان آماری در سیگنال شاهد است. یعنی تشخیص سیگنال تجزیه‌ای با قطعیت غیر ممکن است مگر اینکه سیگنال تجزیه‌ای با ضریب k تغییر در شاهد مربوط به خطای اتفاقی، بزرگتر از شاهد باشد. بدین ترتیب، با نزدیک شدن به حد تشخیص، سیگنال تجزیه‌ای و انحراف استاندارد آن به سیگنال شاهد S_{b1} و انحراف استاندارد آن S_{b1} می‌رسد. بنابراین حداقل علامت تجزیه‌ای قابل تشخیص S_m بصورت مجموع مقدار میانگین سیگنال شاهد S_{b1} بعلاوه ضریب k از انحراف استاندارد شاهد در نظر گرفته می‌شود:

$$S_m = \bar{S}_{b1} + kS_{b1} \quad (1-4)$$

بطور تجربی، S_m می‌تواند با ۲۰ تا ۳۰ اندازه‌گیری روی نمونه شاهد و ترجیحاً در یک زمان طولانی بدست آید. سپس بر روی اطلاعات بدست آمده عملیات آماری صورت می‌گیرد تا S_{b1} و \bar{S}_{b1} بدست آید. در نهایت، شیب معادله ۱-۴ برای تبدیل S_m به c_m مورد استفاده قرار می‌گیرد که به عنوان حد تشخیص تعریف می‌شود. حد تشخیص با رابطه زیر داده می‌شود:

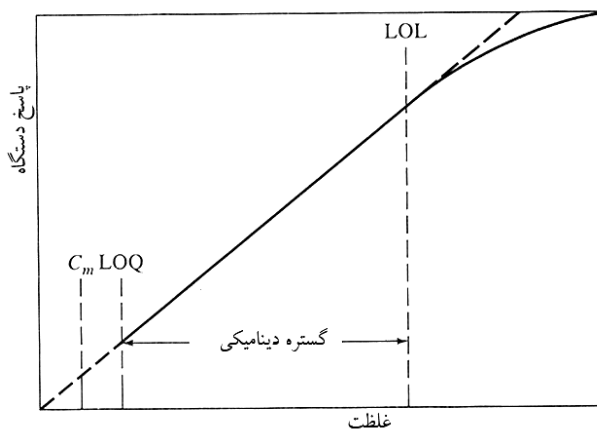
$$c_m = \frac{S_m - \bar{S}_{b1}}{m} \quad (5-1)$$

همانطور که توسط اینگل^۱ [۲] بیان شده است تعداد زیادی جایگزین، بنا شده به طور صحیح یا غلط بر روی آمار t و z (بخش پ ۱ - ب - ۲، پیوست ۱) برای تعیین مقدار k در معادله ۱-۴ بکار گرفته شده است. کیزر^۲ [۳] مقدار قابل قبول برای این ثابت را $k = 3$ بیان می‌کند. او می‌گوید که اشتباه است یک توزیع دقیقاً نرمال برای نتایج اندازه‌گیری روی شاهد در نظر گرفته شده، و اینکه وقتی $k = 3$ است، سطح اطمینان تشخیص در اکثر موارد ۹۵ درصد خواهد بود. او بعلاوه بیان می‌دارد که به ندرت اتفاق می‌افتد که سطح اطمینان بزرگتری با بکارگیری k بزرگتر بدست آید. لانگ و واین فوردر^۳ [۴] در بحث حدود تشخیص مقدار $k = 3$ را پیشنهاد می‌کنند.

1- Ingle.
2- Kaiser.
3- Long and wineFordner.

تشخیص، انحراف استاندارد نسبی ۱۰۰ درصد است.

برای اینکه یک روش تجزیه‌ای خیلی مفید باشد، باید بزرگی محدوده پویا حداقل توانی از دو باشد. تعدادی از روشها دارای قابلیت بکارگیری در محدوده غلظتی با توانهایی از پنج تا شش می‌باشند.



شکل ۷-۱، ناحیه قابل استفاده یک روش تجزیه‌ای، $LOD = \text{حد آشکارسازی}$ ، $LOQ = \text{حد اندازه‌گیری کمی}$ و $LOL = \text{حد پاسخ خطی}$

گزینش پذیری

گزینش پذیری یک روش تجزیه‌ای بیانگر درجه‌ای از عاری بودن آن روش از مزاحمت دیگر اجزا، موجود در بافت یک نمونه است. متأسفانه هیچ روش تجزیه‌ای بطور کامل عاری از مزاحمت سایر اجزا نیست و مراحل متعددی باید به کار گرفته شود تا اثر این مزاحمتها حداقل شود. برای مثال در نظر بگیرید که یک نمونه شامل آنالیت A و همچنین گونه‌های مزاحم B و C باشد. اگر c_C ، c_B ، c_A غلظت سه گونه و m_C ، m_B ، m_A حساسیت درجه بندی آنها باشند، سیگنال دستگاه باشکلی تصحیح شده معادله ۳-۱ داده می‌شود:

$$S = m_A c_A + m_B c_B + m_C c_C + S_b \quad (6-1)$$

حال اجازه دهید تا ضریب گزینش پذیری برای A نسبت به B را بصورت زیر تعریف کنیم:

$$k_{B,A} = m_B / m_A \quad (7-1)$$

بنابراین ضریب گزینش پذیری پاسخ نسبی روش به گونه B در مقایسه با A را می‌دهد. ضریب مشابهی برای A در مقایسه با C عبارت است از:

$$k_{C,A} = m_C / m_A \quad (8-1)$$

قرار دادن این روابط در معادله ۴-۱ رابطه زیر را می‌دهد:

$$S = m_A (c_A + k_{B,ACB} + k_{C,ACC}) + S_b \quad (9-1)$$

ضرایب گزینش پذیری می‌توانند از صفر (بدون مزاحمت) تا مقادیر خیلی بزرگتر از واحد باشند. توجه کنید که زمانی که مزاحمت موجب کاهش شدت علامت آنالیت شود ضریب منفی خواهد بود. برای مثال اگر حضور مزاحم B موجب کاهش S در معادله ۷-۱ شود. m_B هم چنین $K_{B,A}$ دارای یک علامت منفی خواهد بود. ضرایب گزینش پذیری، ارقام شایستگی سودمندی برای توصیف گزینش پذیری روشهای تجزیه‌ای هستند. متأسفانه آنها بطور وسیع مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. مگر برای مشخص کردن کارایی الکترودهای یون گزین (فصل ۲۳). مثال ۲-۱ کاربرد ضرایب گزینش پذیری را زمانی که در دسترس باشند نمایش می‌دهد.

مثال ۲-۱

ضریب گزینش پذیری برای یک الکتروود یون گزین K^+ در مقایسه با Na^+ برابر 0.052 گزارش شده است. خطای نسبی در اندازه‌گیری K^+ در محلولی که غلظت K^+ در آن $3/00 \times 10^{-3} M$ است، در صورتیکه غلظت Na^+ برابر (الف) $2 \times 10^{-2} M$ ، (ب) $2/00 \times 10^{-3} M$ و (ج) $2 \times 10^{-4} M$ باشد، محاسبه کنید. فرض کنید که S_b برای یک سری از نمونه‌های شاهد تقریباً صفر است. (الف) قرار دادن اطلاعات در معادله ۹-۱ نتیجه می‌دهد:

$$S = m_K + (c_K + K_{Na^+}, K^+ c_{Na^+}) + 0$$

$$S/m_K = 3/00 \times 10^{-3} + 0.052 \times 2/00 \times 10^{-2} = 4/04 \times 10^{-3}$$

اگر Na^+ حضور نداشته باشد:

$$S/m_K = 3/00 \times 10^{-3}$$

خطای نسبی در c_K با خطای نسبی در S/m_K یکسان خواهد بود (بخش پ ۱ ب - ۵ پیوست ۱ را نگاه کنید). بدین ترتیب

$$E \text{ نسبی} = \frac{4/04 \times 10^{-3} - 3/00 \times 10^{-3}}{3/00 \times 10^{-3}} \times 100 = 35\%$$

با بکارگیری همین روش برای قسمت (ب) E نسبی = ۳/۵٪ و

برای قسمت (ج) E نسبی = ۰/۳۵٪ را بدست می‌آوریم.

می‌گردد. به منظور حداقل سازی اثر ماتریس غالباً نیاز به جداسازی آنالیت از مزاحمها قبل از اندازه‌گیری پاسخ دستگاه می‌باشد.

۵۱-۲ روش افزایش استاندارد

روشهای افزایش استاندارد به ویژه برای تجزیه نمونه‌هایی که در آنها احتمال اثرات ماتریس قابل توجه است مفید هستند. روش افزایش استاندارد به اشکال گوناگونی می‌تواند باشد. [۶] یکی از متداولترین اشکال آن شامل افزایش یک یا چند بخش از محلول استاندارد به محلول‌های یکسان نمونه می‌باشد.

این فرآیند اغلب «نشاندار» کردن نمونه نامیده می‌شود. سپس هر محلول قبل از اندازه‌گیری به یک حجم ثابت رقیق می‌شود. باید توجه شود زمانی که مقدار نمونه محدود است، محلولهای استاندارد می‌توانند با افزایش پی در پی به یک حجم اندازه‌گیری شده از مجهول اضافه گردند. اندازه‌گیری روی نمونه اصلی و روی نمونه‌های حاوی استاندارد پس از هر افزایش انجام می‌گیرد. در اکثر بیان‌های روش افزایش استاندارد، ماتریس نمونه پس از هر افزایش تقریباً یکسان است و تنها اختلاف، غلظت آنالیت یا در مواردی که با افزایش یک مقدار زیادی از یک واکنشگر تجزیه‌ای سروکار داریم، غلظت آن واکنشگر است. تمامی اجزاء دیگر مخلوط واکنش باید یکسان باشند چرا که استانداردها در محلولهایی از نمونه تهیه شده‌اند غلظت c_x به بالنها حجمی با حجم V_t منتقل شده باشند. به هر کدام از این بالنها حجم متغیر V_s میلی لیتر از یک محلول استاندارد آنالیت با غلظت مشخص c_x اضافه می‌شود.

سپس واکنش گرهای مناسب اضافه شده و محلول‌ها تا حجم بالن رقیق می‌شوند. اندازه‌گیریهای دستگاهی روی این محلول انجام می‌گیرد تا پاسخ دستگاه S بدست آید. اگر پاسخ دستگاه متناسب با غلظت باشد، چنانکه در صورت قابل اعمال بودن روش افزایش استاندارد باید باشد. می‌توانیم بنویسیم:

$$S = \frac{kV_s c_s}{V_t} + \frac{kV_x c_x}{V_t} \quad (10-1)$$

که در آن k ثابت تناسب است. رسم منحنی S بصورت تابعی از V_s خط راستی است به شکل:

$$S = mV_s + b$$

۵۱ درجه بندی روشهای دستگاهی

به استثناء دو روش، تمامی روشهای تجزیه‌ای نیازمند درجه بندی هستند که فرآیند ارتباط سیگنال تجزیه‌ای اندازه‌گیری شده به غلظت آنالیت است.^۱ سه روش از متداولترین روشهای درجه بندی عبارتند از تهیه و بکارگیری منحنی‌های درجه بندی، روش افزایش استاندارد و روش استاندارد داخلی.

۵۱-۱ منحنی‌های درجه بندی

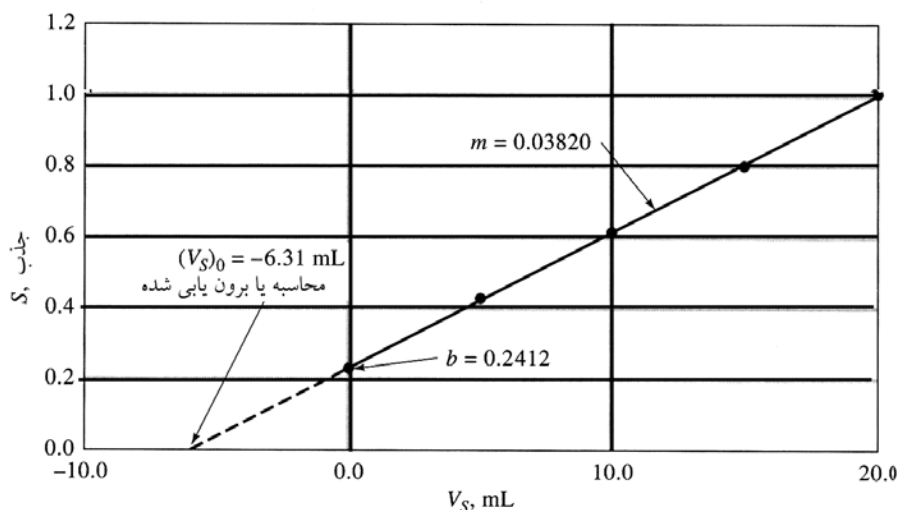
به منظور بکارگیری روش منحنی درجه بندی، تعدادی استاندارد با غلظتهای دقیقاً مشخص از آنالیت به دستگاه ارائه می‌شوند و پاسخ دستگاه ثبت می‌گردد. معمولاً این پاسخ با توجه به خروجی دستگاه برای یک نمونه شاهد تصحیح شده است. بطور ایده آل، شاهد شامل تمامی اجزاء نمونه اصلی غیر از آنالیت خواهد بود. سپس نتایج بدست آمده در یک منحنی به شکل پاسخ تصحیح شده دستگاه برحسب غلظت آنالیت رسم می‌گردد.

شکل ۱-۸ یک منحنی درجه بندی نوعی (که منحنی کار یا منحنی تجزیه‌ای نیز نامیده می‌شود) را نشان می‌دهد. غالباً چنین منحنی‌هایی که در یک محدوده قابل توجه از غلظت خطی هستند (محدوده پویا) بدست می‌آید که مطلوب هستند زیرا آنها در معرض خطای کمتری نسبت به منحنی‌های غیر خطی هستند. بهر حال، مشاهده منحنی‌های غیر خطی که نیازمند تعداد بیشتری از اطلاعات درجه بندی به منظور برقرار ساختن رابطه دقیق بین پاسخ دستگاه و غلظت می‌باشند غیر عادی نخواهد بود. معمولاً برای منحنی‌های درجه بندی با استفاده از روش حداقل مربعات یک معادله ایجاد می‌شود (پیوست پ ۱ - ج) بطوری که غلظت نمونه‌ها می‌تواند بطور مستقیم محاسبه گردد.

موفقیت روش منحنی کالیبراسیون شدیداً وابسته به مقدار دقت غلظت استانداردها و میزان نزدیکی ماتریس^۲ استانداردها به نمونه‌های مورد تجزیه می‌باشد. متأسفانه، مطابقت ماتریس پیچیده نمونه‌ها غالباً دشوار یا غیر ممکن بوده و اثر ماتریس منجر به خطاهای مزاحم

۱- دو استثناء عبارتند از روش‌های وزن سنجی و کولن سنجی در هر دو این موارد، رابطه بین مقدار اندازه‌گیری شده و غلظت آنالیت می‌تواند دقیقاً با آگاهی از ثابت‌های فیزیکی محاسبه گردد.

۲- اصطلاح ماتریس بازگو کننده مجموعه تمامی اجزاء مختلف است که یک نمونه تجزیه‌ای را می‌سازند. علاوه بر آنالیت، ماتریس نمونه شامل تمام اجزاء تشکیل دهنده نمونه است.



شکل ۸-۱ منحنی درجه بندی خطی برای روش افزایش استاندارد. غلظت محلول مجهول می‌تواند از روی شیب خط m و عرض از مبدأ b یا برون یابی توضیح داده شده در متن تعیین شود.

که در آن شیب m و عرض از مبدأ b با روابط زیر داده می‌شود:

$$m = \frac{kc_s}{V_t}$$

و

$$b = \frac{kV_x c_x}{V_t}$$

دقیقا همانطور که در منحنی شکل ۸-۱ نشان داده شده است.

برای تعیین m و b روش حداقل مربعات (بخش پ ۱-ج پیوست) می‌تواند بکار برده شود، سپس c_x می‌تواند از روی نسبت این دو مقدار و مقادیر مشخص c_s و V_x و V_s بدست آید. بنابراین:

$$\frac{b}{m} = \frac{kV_x c_x / V_t}{kc_s / V_t} = \frac{V_x c_x}{c_s}$$

یا

$$c_x = \frac{bc_s}{mV_x} \quad (11-1)$$

سپس مقدار انحراف استاندارد در c_x می‌تواند با فرض اینکه عدم قطعیت در c_s و V_s و V_t در مقایسه با عدم قطعیت مربوط به m و b قابل اغماض است بدست آید. متعاقبا واریانس نسبی نتیجه (s_c / c_x) برابر با مجموع واریانسهای نسبی m و b در نظر گرفته می‌شود:

یعنی

$$\left(\frac{s_c}{c_x}\right)^2 = \left(\frac{s_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{s_b}{b}\right)^2$$

در آن s_m انحراف استاندارد شیب و s_b انحراف استاندارد عرض از مبدأ هستند. ریشه دوم این معادله نتیجه می‌دهد:

$$S_c = C_x \sqrt{\left(\frac{s_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{s_b}{b}\right)^2}$$

راه دیگر بنا نهادن یک منحنی از داده‌ها و برون یابی بخش خطی منحنی تا قسمت چپ مبدأ است. همانطور که خط منقطع در شکل ۸-۱ داده‌ها نشان می‌دهد. اختلاف بین حجم استاندارد اضافه شده در مبدأ (صفر) و حجم در محل تقاطع خط مستقیم با محور x یا عرض از مبدأ x حجم واکنشگر استاندارد معادل با مقدار آنالیت در نمونه است. به علاوه عرض از مبدأ محور x متناظر با پاسخ صفر دستگاه است، بنابراین می‌توانیم بنویسیم:

$$S = \frac{kV_s c_s}{V_t} + \frac{kV_x c_x}{V_t} = 0 \quad (13-1)$$

با حل معادله ۱۳-۱ برای c_x خواهیم داشت:

$$c_x = -\frac{(V_s)0C_s}{V_x}$$

مثال ۳-۱

قسمتهای ده میلی لیتری از یک نمونه آب طبیعی به درون بالن‌های حجم سنجی ۵۰ میلی لیتری انتقال داده شد. مقادیر دقیق Fe^{2+} به ۰/۰۰، ۵/۰۰، ۱۵/۰۰، ۲۰/۰۰ میلی لیتر محلول استاندارد Fe^{2+} به غلظت ۱۱/۱ ppm به هر کدام از آنها افزوده شده و سپس مقدار

$$S_r = \frac{kV_x c_x}{V_t} + \frac{kV_s c_s}{V_t}$$

که S_1 و S_2 به ترتیب سیگنالهای تجزیه‌ای حاصل از نمونه رقیق شده و نمونه رقیق شده بعلاوه استاندارد هستند. با تقسیم معادله دوم بر معادله اول و نوآرایی آن، c_x تعیین می‌گردد:

$$c_x = \frac{S_1 c_s V_s}{(S_r - S_1) V_x}$$

۵-۳ روش استاندارد داخلی

یک استاندارد داخلی جسمی است که به مقدار ثابت به تمامی نمونه‌ها، شاهد و استانداردهای درجه بندی در یک تجزیه اضافه می‌شود. از سوی دیگر استاندارد داخلی می‌تواند جزء اصلی نمونه‌ها و استانداردهایی باشد که مقدار آن به اندازه‌ای زیاد است که غلظت آن می‌تواند در همه موارد یکسان فرض شود. بدین ترتیب، درجه بندی شامل ترسیم نسبت سیگنال آنالیت به سیگنال استاندارد داخلی بصورت تابعی از غلظت آنالیت در استانداردها است سپس این نسبت‌ها در نمونه‌ها برای تعیین غلظت آنالیت از روی یک منحنی بکار گرفته می‌شوند.

یک استاندارد داخلی اگر بطور صحیح انتخاب و بکار گرفته شود می‌تواند برطرف کننده انواع خطای اتفاقی و سیستماتیک باشد. بدین ترتیب اگر سیگنالهای آنالیت و استاندارد داخلی بطور متناسب به نوسانات دستگاه و روش پاسخ دهد نسبت این سیگنالها مستقل از این نوسانات خواهد بود. اگر دو سیگنال به یک شیوه تحت تأثیر اثر ماتریس باشند این اثرات نیز برطرف خواهند شد. در مواردی که استاندارد داخلی جزء اصلی نمونه و استانداردها را تشکیل می‌دهد خطاهایی که در تهیه نمونه، محلول و حین تمیز کردن حاصل شده‌اند می‌توانند برطرف شوند.

مشکل اصلی در بکارگیری روش استاندارد داخلی یافتن جسمی مناسب است که بتواند به عنوان استاندارد داخلی مورد استفاده قرار گرفته و بطور تکرارپذیر هم به نمونه‌ها و هم استانداردها اضافه گردد. استاندارد داخلی باید سیگنالی در اختیار بگذارد که در عین داشتن تشابه کافی با سیگنال آنالیت، به حد کافی نیز با آن تفاوت داشته باشد تا دو سیگنال توسط دستگاه قابل تفکیک شوند. استاندارد داخلی باید در ماتریس نمونه وجود نداشته باشد به این ترتیب تنها منبع استاندارد مقدار افزوده شده باشد. برای مثال، لیتیم استاندارد

اضافی از یون تیوسیانات به آنها اضافه شد تا کمپلکس قرمز $Fe(SCN)^{2+}$ تشکیل شود. پس از رقیق کردن محلولها تا حجم بالنها، پاسخ دستگاه s بدست آمده برای هر یک از پنج محلول اندازه‌گیری شده به روش رنگ سنجی بترتیب عبارت بودند از 0.621 ، 0.809 ، 1.009 (الف) غلظت Fe^{3+} در نمونه آب چه بوده است؟ (ب) انحراف استاندارد شیب و عرض از مبدأ انحراف استاندارد برای غلظت استاندارد Fe^{3+} را محاسبه کنید.

(الف) در این مسئله $cs = 11/1 ppm$; $V_x = 10/0 mL$ و $V_s = 50/0 mL$ است. رسم داده‌های نشان داده شده (شکل ۸-۱)، نشان می‌دهد که رابطه خطی بین پاسخ دستگاه و غلظت آهن وجود دارد. برای بدست آوردن معادله خط در شکل ۸-۱ $(s = mVs + b)$ روش نشان داده شده در مثال پ ۱-۱۲ در پیوست ۱، را دنبال می‌کنیم. نتیجه عبارت است از:

$$b = 0.2412 \text{ و } m = 0.3820$$

$$s = 0.3820 V_s + 0.2412$$

قراردادن این معادله در ۱-۱۱ می‌دهد:

$$c_x = \frac{0.2412 \times 11/1}{0.3820 \times 10/0} = 7.01 ppm Fe^{3+}$$

این مقدار می‌تواند با استفاده از برون یابی ترسیمی همانطور که در شکل نشان داده شده است تعیین شود. مقدار برون یابی شده نمایش دهنده حجم واکنشگر متناظر با پاسخ صفر دستگاه است که در این مورد مقدار $6.31 ml$ است. غلظت مجهول آنالیت در محلول اصلی بطریق زیر محاسبه می‌گردد.

$$c_x = -\frac{(Vs)_0 c_s}{V_x} = \frac{6.31 mL \times 11/1 ppm}{10/0 mL} = 7.01 ppm Fe^{3+}$$

(ب) معادلات پ ۱-۳۵ و پ ۱-۳۶ انحراف استاندارد عرض از مبدأ و شیب را می‌دهند که مقدار آنها برابر $sm = 3/1 \times 10^{-4}$ و $s = 3/8 \times 10^{-4}$ می‌دهد:

$$S_c = 7/0 \sqrt{\left(\frac{3/8 \times 10^{-4}}{0.2412}\right)^2 + \left(\frac{3/0 \times 10^{-4}}{0.3820}\right)^2} = 0.12 ppm Fe^{3+}$$

جائی که صرفه جویی در زمان مورد توجه است این امکان وجود دارد که تجزیه به روش استاندارد با بکارگیری تنها دو نمونه انجام شود. در اینجا یک افزایش V_s میلی لیتر از محلول استاندارد بر روی یکی از دو نمونه انجام می‌شود و می‌توانیم بنویسیم:

$$S_1 = \frac{kV_x c_x}{V_t}$$

غلظت c_x	تعداد تکرار اندازه گیریها	میانگین سیگنال تجزیه ای	انحراف استاندارد،
ppm	N	S	ppm
۰/۰۰	۲۵	۰/۰۳۱	۰/۰۰۷۹
۲/۰۰	۵	۰/۱۷۳	۰/۰۰۹۴
۶/۰۰	۵	۰/۴۲۲	۰/۰۰۸۴
۱۰/۰۰	۵	۰/۷۰۲	۰/۰۰۸۴
۱۴/۰۰	۵	۰/۹۵۶	۰/۰۰۸۵
۱۸/۰۰	۵	۱/۲۴۸	۰/۰۱۱۰

(الف) حساسیت درجه بندی را محاسبه کنید.

(ب) حساسیت تجزیه ای را در هر غلظت محاسبه کنید.

(ج) ضریب تغییر را برای میانگین هر دسته اندازه گیری تکراری محاسبه کنید.

(د) حد تشخیص روش چیست؟

(۱۰-۱) یک نمونه ۲۵ میلی لیتری حاوی Cu^{2+} سیگنال دستگاهی ۲۳/۶ واحد (تصحیح شده برای شاهد) را داده است. زمانی که دقیقاً ۰/۵ میلی لیتر از محلول ۰/۰۲۸۷ مولار $Cu(NO_3)_2$ به محلول اضافه شد سیگنال به ۳۷/۹ واحد افزایش یافت. غلظت مولار Cu^{2+} را با فرض اینکه سیگنال مستقیماً با غلظت آنالیت متناسب است محاسبه کنید.

(۱۱-۱) ۵ دقیقه ۵ میلی لیتر محلول حاوی فنوباریتال به بالن های حجم سنجی ۵۰ میلی لیتری منتقل و با KOH بازی شدند. حجم های زیر از یک محلول استاندارد باریتال شامل ۲/۰۰ میکرو گرم بر میلی لیتر فنوباریتال به هر کدام از بالن ها اضافه شده و مخلوط تا حجم بالن رقیق شد: ۰/۰۰، ۰/۵۰۰، ۱/۰۰، ۱/۵۰ و ۲/۰۰ میلی لیتر. نتایج خوانده شده توسط یک فلورومتر برای محلولها بترتیب عبارت بودن از: ۳/۲۶، ۴/۸۰، ۶/۴۱، ۸/۰۲ و ۹/۵۶.

(الف) داده ها را رسم کنید.

(ب) با بکار بردن منحنی (الف) غلظت فنوباریتال را در مجهول محاسبه کنید.

(ج) معادله حداقل مربعات را برای این داده ها بدست آورید.

(د) غلظت فنوباریتال را از معادله (ج) محاسبه کنید.

(ه) انحراف استاندارد را برای غلظت بدست آمده در قسمت (د) برآورد کنید.

داخلی مناسبی برای اندازه گیری سدیم یا پتاسیم در سرم خون است زیرا رفتار شیمیایی لیتیم شبیه هر دو آنالیت بوده و بطور طبیعی در خون یافت نمی شود.

به عنوان یک مثال روش استاندارد داخلی اغلب در اندازه گیری عناصر ناچیز در فلزات به روش طیف بینی نشری بکار برده می شود. بنابراین در تعیین قسمت در میلیون آنتیموان و قلع در سرب بکار رفته برای تهیه باطریهای انباره، شدت نسبی یک خط قوی برای هر جزء فرعی (جزء با غلظت کمتر) یا شدت یک خط ضعیف سرب مقایسه می شود. معمولاً این نسبتها کمتر تحت تأثیر متغیرهایی که موجب اختلال در نشر تابش نمونه ها می شوند هستند. برای توسعه یک روش جدید استاندارد داخلی باید بررسی شود که تغییرات در غلظت آنالیت شدت سیگنال نتیجه شده از استاندارد داخلی را تحت تأثیر قرار ندهد. برای اینکه چنین روشی موفقیت آمیز باشد نیاز به صرف زمان و تلاش زیاد در تهیه یک دسته از نمونه های سرب خالص که حاوی دقیقاً غلظت های معلوم از آنتیموان و قلع باشند می باشد.

۱۰ پرسشها و مسائل

(۱-۱) مبدل در یک دستگاه تجزیه ای چیست؟

(۲-۱) پردازشگر اطلاعات در یک دستگاه اندازه گیری رنگ قابل رؤیت یک محلول چیست؟

(۳-۱) آشکار ساز در یک طیف نگار که در آن خطوط طیفی به طریق عسکبرداری ثبت می شود چیست؟

(۴-۱) مبدل در یک آشکار ساز دود چیست؟

(۵-۱) حوزه داده ها چیست؟

(۶-۱) حوزه های آنالوگ چه هستند؟ چگونه اطلاعات در یک حوزه آنالوگ رمزدار می شوند؟

(۷-۱) چهار مبدل خروجی نام برده و بگوئید هر کدام از آنها چگونه مورد استفاده قرار می گیرند؟

(۸-۱) رقم شایستگی چیست؟

(۹-۱) اطلاعات درجه بندی زیر توسط یک روش دستگاهی برای اندازه گیری گونه x در محلول آبی بدست آمده اند.

مراجع

- [1] C.G. Enke, Anal. Chem. **1971**/43/69A.
- [2] J. Mondel and R. F. D. Stiehler, J. Res. Natl. Bur. Std. **1964**. A53, 155.
- [3] J. D. Ingle Kr., J. Chem. Educ., **1970**, 42, 100.
- [4] H. Kaiser, Anal. Chem. **1987**, 42, 53A.
- [5] G. L. Long and J.D. Winefordner, Anal. Chem., **1983**, 55, 712A.
- [6] M. Bader, J. Chem. Educ., **1980**, 57, 703.

بخش اول

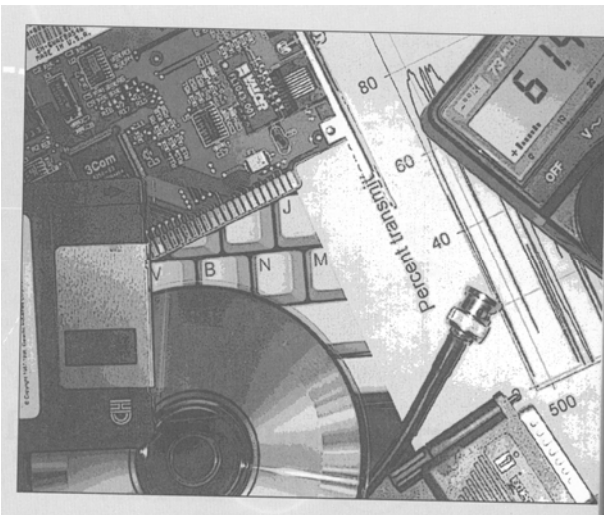
مبانی اندازه گیری

۲- اجزاء الکتریکی و مدارها

۳- تقویت کننده عملیاتی در دستگاههای شیمیایی

۴- الکترونیک دیجیتال و میکرو کامپیوترها

۵- سیگنال ها و نویز



زندگی ما عمیقاً تحت تأثیر انقلاب میکرو الکترونیک قرار گرفته است. تعجب آور نیست که تجزیه دستگاهی دچار انقلاب مشابهی شده باشد. مونتاژ کامپیوتر و اجزاء الکترونیکی نشان داده شده فوق سمبلی از طبیعت و گام تغییراتی است که رخ میدهد. در زمانی که شما این جملات را می خوانید یک یا چند جزء این تصویر توسط فن آوری پیشرفته تر جایگزین شده یا منسوخ خواهد بود.

فصل ۱ بنای مطالعه تجزیه شیمیایی دستگاهی را نهاده است. در ۴ فصل بخش اول، اصول بنیادی الکترونیک آنالوگ، الکترونیک دیجیتال، کامپیوتر و تغییر داده ها ارائه شده اند که برای درک چگونگی اندازه گیری های دستگاهی ضروری می باشند. فصل ۲ مقدمه ای کوتاه در مورد اجزاء و اصول عملیات مدارهای ac و dc آنالوگ را در اختیار می گذارد. فصل ۳ بررسی حوزه آنالوگ را با ارائه اصول عملیات و مثالهای مفید بسیاری در مورد مدارهای تقویت کننده عملیاتی ادامه می دهد. الکترونیک دیجیتال و مرز بین حوزه های آنالوگ و دیجیتال همانند طبیعت کامپیوترها و نقش آنها در تجزیه دستگاهی در فصل ۴ پیگیری و بررسی شده است. و فصل ۵ بررسی مبانی اندازه گیری با امتحان ماهیت سیگنالها و نویز، هم چنین روشهای سخت افزاری و نرم افزاری برای افزایش نسبت سیگنال به نویز، را تکمیل می نماید.

فصل ۲

اجزاء الکتریکی و مدارها

در فصل ۱، مفاهیم مربوط به حوزه داده‌ها را معرفی نموده و اشاره کردیم که دستگاههای جدید از طریق تبدیل داده‌ها از یک حوزه به حوزه دیگر عمل می‌کنند. اکثر این تبدیلات بین حوزه‌های الکتریکی می‌باشند. برای درک این تبدیلات، و اینکه چگونه دستگاههای جدید الکترونیکی کار می‌کنند. اطلاعاتی در مورد اجزاء مدارهای پایه جریان مستقیم (dc) و جریان متناوب (ac) لازم می‌باشد. هدف این فصل مطالعه این موضوعات جهت آمادگی برای دو فصل بعدی که با مدارهای مجتمع (IC) و میکرو کامپیوترها در دستگاههای تجزیه شیمیایی سروکار دارند، می‌باشد. با داشتن این دانش توابع سیستمهای مختلف اندازه‌گیری و روشهای مورد بحث در بخش‌های دیگر این کتاب را درک و ارزیابی خواهید کرد.

۲ الف مدارهای جریان مستقیم و اندازه‌گیری‌ها

در این بخش بعضی از مدارهای جریان مستقیم ابتدایی و چگونگی استفاده از آنها برای اندازه‌گیری جریان، ولتاژ و مقاومت را مورد توجه قرار می‌دهیم. یک تعریف عمومی مدار عبارت است از یک مسیر بسته که توسط جریان الکتریکی پیموده شود. ما بحث خود را در مورد مدارها با مطالعه چهار قانون مهم الکتریسته شروع می‌نماییم.

۲ الف - ۱ قوانین الکتریسته

قانون اهم

قانون اهم رابطه بین پتانسیل، مقاومت و جریان را در مدار با مقاومت‌های سری توصیف می‌کند. در یک مدار سری تمام عناصر مدار بصورت متوالی و در امتداد یک مسیر واحد بصورت سر به دم

$$I_4 - I_3 = 0$$

$$I_4 = I_3 \quad \text{یا}$$

توجه کنید که جریان خروجی D می‌باید با جریان ورودی دارای علامت مخالف باشد. بطور مشابه کاربرد این قانون برای نقطه C می‌دهد:

$$I_3 = I_2$$

بنابراین در یک مدار سری، جریان در تمام نقاط یکسان است،

یعنی:

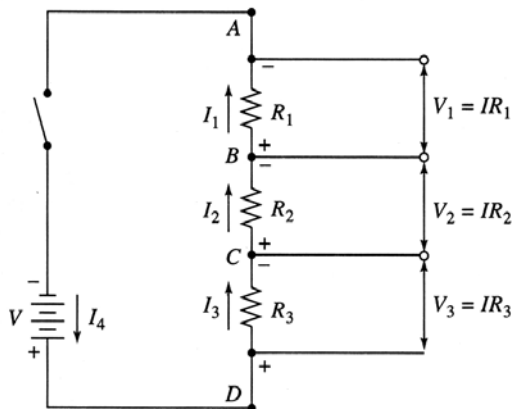
$$I = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 \quad (4-2)$$

کاربرد قانون ولتاژ کیرشهوف برای مدار در شکل ۱-۲ نتیجه می‌دهد:

$$V - V_1 - V_2 - V_3 = 0$$

یا

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (5-2)$$



$$I = I_1 = I_2 = I_3 = I_4$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

شکل ۱-۲ مقاومت‌های سری، یک تقسیم‌کننده ولتاژ جریان در هر مقاومت با جریان در یک مدار سری یکسان است.

توجه کنید که نقطه D نسبت به نقطه C مثبت است، که آن هم به نوبه خود نسبت به نقطه B مثبت است، سرانجام B نسبت به A مثبت است. بنابراین سه ولتاژ با ولتاژ باطری مخالف بوده و باید علامتهایی مخالف V به آنها داده شود. جایگزینی قانون اهم در معادله (۵-۲) می‌دهد:

$$V = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR_s \quad (6-2)$$

توجه کنید که مقاومت کل R_s یک مدار سری برابر است با

(انتها) متصل شده‌اند، مانند باطری و سه مقاومت نشان داده شده در شکل ۱-۲. قانون اهم می‌تواند به صورت زیر نوشته شود.

$$V = IR \quad (1-2)$$

V اختلاف پتانسیل بین دو نقطه در مدار برحسب ولت، R مقاومت بین دو نقطه برحسب اهم و I جریان برحسب آمپر می‌باشد.^۱

قانون کیرشهوف

قانون جریان کیرشهوف بیان می‌کند که جمع جبری جریانها در اطراف یک نقطه در مدار صفر است، قانون ولتاژ کیرشهوف بیان می‌کند که جمع جبری ولتاژها در اطراف یک حلقه الکتریکی بسته صفر است. کاربرد قوانین کیرشهوف و اهم برای مدارهای dc پایه در بخش ۲ الف - ۲ مورد توجه قرار می‌گیرد.

قانون توان

توان P برحسب وات، که در یک مقاومت مصرف می‌شود (تلف می‌شود) بصورت حاصلضرب جریان بر حسب آمپر و اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت برحسب ولت داده می‌شود:

$$P = IV \quad (2-2)$$

جایگزینی قانون اهم می‌دهد:

$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad (3-2)$$

۱۲ الف - ۲ مدارهای جریان مستقیم پایه

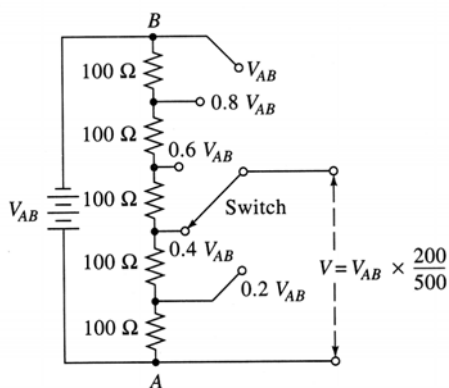
در این بخش دو نوع از مدارهای dc پایه را تشریح می‌کنیم که کاربرد وسیعی در وسایل الکتریکی یافته‌اند به نامهای مدار مقاومتیهای سری و مدار مقاومتیهای موازی و به تجزیه و تحلیل خواص آنها به کمک قوانین تشریح شده در بخش قبل می‌پردازیم.

مدارهای سری

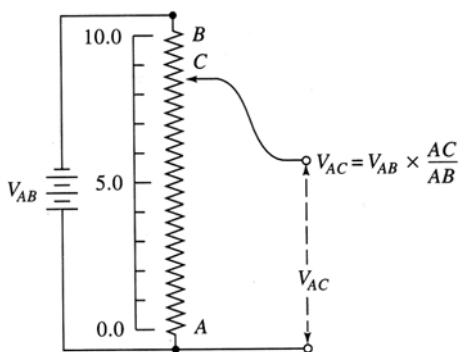
شکل ۱-۲ مدار سری پایه را نشان می‌دهد که شامل یک باطری، کلید و سه مقاومت بصورت سری می‌باشد. کاربرد قانون جریان کیرشهوف برای نقطه D در این مدار می‌دهد:

۱- در سرتاسر کتاب نشانه V جهت اختلاف پتانسیل الکتریکی مدار بکار رفته است، در فصل ۲۲ تا ۲۴ به هر حال قرارداد الکتروشمی پیروی خواهد شد که در آن نیروی الکتروموتوری با نماد E نمایش داده می‌شود.

در پتانسیومترهای تجارتي، عموماً یک مقاومت سیمی متحرک است که در یک سیم پیچ مارپیچی تشکیل می‌شود. یک تماس متحرک که کلید لغزنده (وایپر)^۲ نامیده می‌شود، میتواند از یک انتهای مارپیچ به انتهای دیگر حرکت کرده و اجازه تغییر V_{AC} بطور پیوسته از صفر تا V_{AB} را می‌دهد.



(a)



(b)

شکل ۲-۲: تقسیم کننده‌های ولتاژ: (الف) نوع انتخاب کننده و (ب) نوع متغیر پیوسته (پتانسیومتر)

مدارهای موازی

شکل ۲-۳ یک مدار dc موازی را نشان می‌دهد. با کاربرد قانون جریان کیرشهوف برای نقطه A در این شکل، خواهیم داشت:

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

یا

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 \quad (۱۰-۲)$$

کاربرد قانون ولتاژ کیرشهوف در این مدار سه معادله مستقل می‌دهد. بنابراین ممکن است برای حلقه‌ای که محتوی باتری و R_1 است بنویسیم:

مجموع مقاومت‌های اجزاء منفرد، یعنی:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \quad (۷-۲)$$

بکارگیری قانون اهم برای بخشی از مدار از B تا A می‌دهد:

$$V_1 = I_1 R_1 = IR_1$$

با تقسیم بر معادله (۶-۲) می‌دهد:

$$\frac{V_1}{V} = \frac{IR_1}{I(R_1 + R_2 + R_3)}$$

یا

$$V_1 = \frac{VR_1}{R_1 + R_2 + R_3} = V \left(\frac{R_1}{R_T} \right) \quad (۸-۲)$$

بطور مشابه ممکن است بنویسیم:

$$V_2 = V \frac{R_2}{R_T}$$

و

$$V_3 = V \frac{R_3}{R_T}$$

تقسیم کننده‌های ولتاژ

مقاومت‌های سری بطور وسیعی در مدارهای الکتریکی بکار می‌روند تا پتانسیلی را فراهم کنند که توابع متغیری از ولتاژ ورودی هستند. چنین وسایلی، تقسیم کننده ولتاژ نامیده می‌شوند. چنانکه در شکل ۲-۲ الف نشان داده شده است، یک نوع از تقسیم کننده ولتاژ، ولتاژ را بصورت منقطع افزایش می‌دهد. در حالی که نوع دوم (شکل ۲-۲ ب) بنام پتانسیومتر^۱، پتانسیلی در اختیار می‌گذارد که پیوسته متغیر است.

در اکثر پتانسیومترها نظیر آنچه که در شکل ۲-۲ ب نشان داده شده، مقاومت خطی است، یعنی مقاومت بین یک انتها، A و هر نقطه‌ای مثل C مستقیماً متناسب است با طول، AC آن قسمت از مقاومت، پس $R_{AC} = k_{AC}$ در حالی که AC برحسب واحدهای راحت‌تر طول بوده و k ثابت تناسب است. بطور مشابه $R_{AB} = k_{AB}$ ترکیب این روابط با معادله ۸-۲ نتیجه می‌دهد.

$$V_{AC} = V_{AB} \frac{R_{AC}}{R_{AB}} = V_{AB} \frac{AC}{AB} \quad (۹-۲)$$

۱- کلمه پتانسیومتر همچنین در مفهومی دیگر به دستگاه کاملی که از تقسیم کننده جریان خطی برای اندازه‌گیری دقیق پتانسیل استفاده می‌کند بکار رفته است.

$$\frac{I_1}{I_t} = \frac{V/R}{V/R_p} = \frac{\sqrt{R_1}}{\sqrt{R_p}} = \frac{G_1}{G_t}$$

یا

$$I_1 = I_t \frac{R_p}{R_1} = I_t \frac{G_1}{G_p} \quad (۱۳-۲)$$

یک مورد ویژه جالب توجه زمانی رخ می‌دهد که دو مقاومت R_1 و R_2 یک مدار موازی تشکیل دهند. کسری از جریان در R_1 توسط رابطه زیر داده می‌شود:

$$\frac{I_1}{I_t} = \frac{G_1}{G_t} = \frac{\sqrt{R_1}}{\sqrt{R_p}} = \frac{\sqrt{R_1}}{\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2}} =$$

$$\frac{R_2 / R_1 R_2}{R_2 / R_1 R_2 + R_1 / R_1 R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

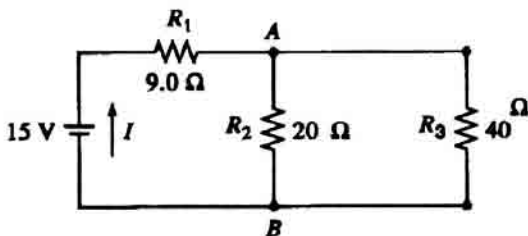
بطور مشابه می‌توانیم نشان دهیم:

$$\frac{I_2}{I_t} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

بعبارت دیگر برای دو مقاومت موازی، کسر جریان در یک مقاومت فقط نسبت مقاومت دوم بر مجموع مقاومت‌های دو مقاومت است. معادله فوق اغلب معادله شکافتگی جریان نامیده می‌شود.

مثال ۱-۲

برای مدار زیر، الف) مقاومت کل، ب) جریان گرفته شده از باتری، ج) جریان در هر یک از مقاومتها و د) اختلاف پتانسیل در عرض هر مقاومت را حساب کنید.



R_2 و R_3 مقاومت‌های موازی هستند. بنابراین مقاومت $R_{2,3}$ بین دو نقطه A و B به وسیله معادله ۱۱-۲ بدست می‌آید.

$$V - I_1 R_1 = 0$$

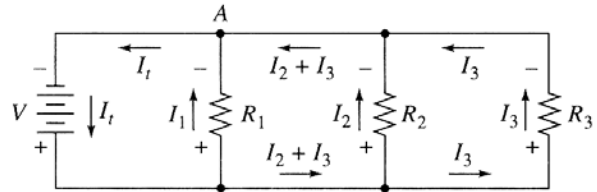
$$V = I_1 R_1$$

برای حلقه‌ای محتوی V و R_2

$$V = I_2 R_2$$

و برای حلقه‌ای که محتوی V و R_3 است

$$V = I_3 R_3$$



شکل ۳-۲ مقاومتها بصورت موازی. ولتاژ در عرض هر مقاومت برابر V ، ولتاژ باتری می‌باشد.

ما می‌توانیم یک معادله اضافی برای حلقه‌ای شامل R_1 و R_2 و یا حلقه‌ای شامل R_2 و R_3 بنویسیم. با وجود این، معادله‌ها مستقل از معادله قبلی نیستند با قرار دادن سه معادله در رابطه ۲-۱۰ رابطه زیر بدست می‌آید:

$$I_t = \frac{V}{R_p} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

با تقسیم این معادله بر V بدست می‌آید:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (۱۱-۲)$$

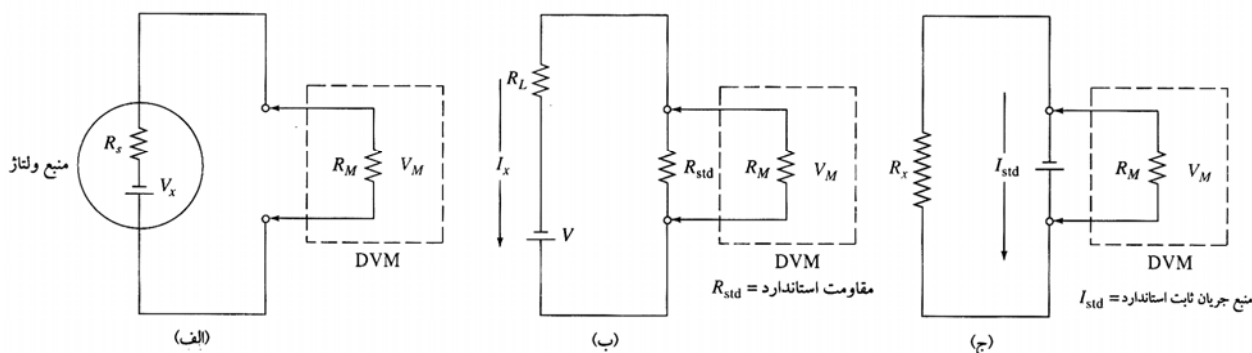
از آنجائی که هدایت G برای مقاومت R بصورت $G = \frac{1}{R}$ می‌باشد می‌توان نوشت:

$$G_p = G_1 + G_2 + G_3 \quad (۱۲-۲)$$

معادله ۱۲-۲ نشان می‌دهد که در مدار موازی برخلاف مدار سری، هدایت G بجای مقاومت افزایشی است.

تقسیم کننده‌های جریان از مدارهای موازی

همانطور که مقاومت‌های سری تشکیل تقسیم کننده ولتاژ می‌دهند، مقاومت‌های موازی تقسیم کننده جریان را ایجاد می‌کنند. کسری از جریان کل I_t که در R_1 در شکل ۳-۲ حضور دارد عبارت است از:



شکل ۲-۴ استفاده‌های ولت سنج دیجیتالی. (الف) اندازه‌گیری خروجی V_x یک منبع ولتاژ، (ب) اندازه‌گیری جریان I_x عبوری از مقاومت بار R_L یک عنصر مدار نامعلوم

$$I_r = \frac{9/0V}{20\Omega} = 0/45A$$

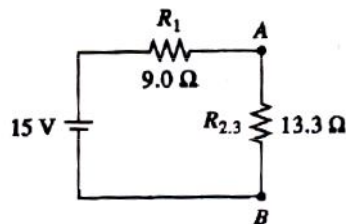
$$I_r = \frac{9/0V}{40\Omega} = 0/22A$$

توجه کنید که دو جریان به هم اضافه شده‌اند تا جریان خالصی بدست آید، چنانکه توسط قانون کیرشهوف لازم هستند.

$$\frac{1}{R_{r,3}} = \frac{1}{20\Omega} + \frac{1}{40\Omega}$$

$$R_{r,3} = 13/3\Omega \quad \text{یا}$$

هم اکنون می‌توانیم مدار اصلی را به مدار معادل زیر تبدیل کنیم.



در اینجا معادل دو سری مقاومت را داریم، و

$$R_r = R_1 + R_{r,3} = 9\Omega + 13/3\Omega = 22/3\Omega$$

از قانون اهم، جریان I به این شکل بدست می‌آید:

$$I = \frac{15V}{22/3\Omega} = 0/67A$$

با بکارگیری معادله ۲-۸، ولتاژ V_1 در عرض مقاومت R_1 عبارت است از:

$$V = 15V \times 9\Omega / (9\Omega + 13/3\Omega) = 6/0V$$

بطور مشابه ولتاژ دو سر مقاومت R_r و R_2 عبارت است از:

$$V_r = V_r = V_{r,3} = 15V \times 13/3\Omega / 22/3\Omega = 8/95V = 9/0V$$

توجه کنید چنانکه توسط قانون کیرشهوف نیاز است، مجموع

دو ولتاژ $15V$ می‌باشد. جریان R_1 بصورت $I_1 = I = 0/67A$ داده

شده. جریانهای عبوری از R_2 و R_3 از قانون اهم بدست می‌آیند.

الف ۳- اندازه‌گیری‌های جریان DC، ولتاژ و مقاومت

در این بخش (۱) چگونگی اندازه‌گیری جریان، پتانسیل و مقاومت در مدارهای DC و (۲) عدم قطعیت‌های همراه با این اندازه‌گیری‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد.

ولت سنج‌های دیجیتالی

تقریباً تا ۳۰ سال پیش، اندازه‌گیری الکتریکی DC توسط یک سیم بیچ متحرک دی. آر سونوال^۱ که بیش از یک قرن پیش اختراع شده بود انجام می‌شد، امروزه چنین سنجهایی اصلاً بکار نرفته و توسط ولت سنج دیجیتالی (DVM) و مالتی متر دیجیتالی (DMM) جایگزین شده‌اند.

یک ولت سنج دیجیتالی معمولاً شامل یک مدار مجتمع، یک منبع نیرو که اغلب باتری است و یک نمایشگر دیجیتالی که بلور مایع است می‌باشد. قلب این مدار مجتمع یک تبدیل‌گر آنالوگ به دیجیتالی می‌باشد که سیگنال آنالوگ ورودی را به عددی که متناسب

ولت سنج دیجیتال جدید را نمایش می‌دهد. برای این کاربرد، دستگاه مجهز به یک منبع dc می‌باشد که یک جریان ثابت I_{std} تولید می‌کند که از داخل یک مقاومت نامعلوم R_x عبور می‌کند. DVM اختلاف پتانسیل در عرض R_x را زمانی که جریان I_{std} از داخل مقاومت عبور می‌کند مشخص می‌نماید. برای مثال اگر جریان استاندارد $0/0100A$ باشد، سپس $0/945V$ نشان داده شده توسط DVM یک مقاومت اندازه‌گیری شده $94/5\Omega = \frac{0/945V}{0/0100A}$ را می‌دهد. یک بار دیگر فقط محل اعشار را تغییر می‌دهیم تا مقدار مقاومت را مستقیماً بدست آوریم. دستگاهی که محتوی مدارهایی برای اندازه‌گیری ولتاژ، جریان و مقاومت هستند، معمولاً مالتی متر دیجیتالی نامیده می‌شوند (DMM).

خطای بارگیری در اندازه‌گیری پتانسیل

وقتی یک سنجه جهت اندازه‌گیری پتانسیل بکار می‌رود، حضور سنجه منجر به مختل شدن مدار بصورتی که خطای بارگیری را ایجاد نماید می‌شود. این موقعیت مخصوص اندازه‌گیری پتانسیل نیست. در واقع، این مثالی است از یک محدودیت بنیادی برای هر اندازه‌گیری فیزیکی. یعنی، فرآیند اندازه‌گیری، حتماً مزاحم سیستم مورد نظر می‌شود، به این ترتیب کمیت اندازه‌گیری شده با مقدار پیش از اندازه‌گیری تفاوت می‌کند. این نوع خطا هرگز بطور کامل حذف نمی‌شود. به هر حال اغلب می‌تواند به نسبت‌های قابل اغماض کاهش داده شود.

بزرگی خطای بارگیری در اندازه‌گیری پتانسیل به نسبت مقاومت داخلی سنجه به مقاومت مدار مورد بررسی بستگی دارد. درصد خطای بارگیری نسبی E_r همراه با پتانسیل اندازه‌گیری شده V_M در شکل ۲-۴ الف با رابطه زیر داده شده است:

$$E_r = \frac{V_M - V_x}{V_x} \times 100\%$$

V_x عبارت از ولتاژ حقیقی منبع است. با بکارگیری معادله ۲-۹ برای یک تقسیم کننده ولتاژ می‌توانیم بنویسیم:

$$V_M = V_x \left(\frac{R_M}{R_M + R_S} \right)$$

با جایگزینی این معادله در معادله قبلی و نوآرایی نتیجه، بدست خواهیم آورد:

با بزرگی ولتاژ ورودی است تبدیل می‌کند.^۱ تبدیلات دیجیتال به آنالوگ در بخش ۴-۷ آورده شده است.

ولت سنجه‌های دیجیتال تجارتمی جدید، می‌توانند کوچک باشند، اغلب ارزان بوده (کمتر از ۱۰۰ دلار). و معمولاً مقاومت داخلی بالایی مثل 10^{11} تا 10^{12} اهم دارند.

شکل ۲-۴ نشان می‌دهد که چگونه ولت سنج دیجیتالی که بصورت DVM نشان داده می‌شود، می‌تواند برای اندازه‌گیری پتانسیل DC ، جریان و مقاومت بکار رود. در هر شکل، مقداری که روی نمایشگر ولت سنج خوانده می‌شود V_M بوده و مقاومت درونی DVM عبارت است از R_M . آرایش نشان داده شده در شکل ۲-۴ الف برای تعیین یک پتانسیل نامعلوم V_x یک منبع ولتاژ که مقاومت داخلی R_S دارد، بکار می‌رود. پتانسیل V_M نمایش داده شده توسط دستگاه ممکن است. بخاطر خطای بارگیری که در بخش بعد مورد بحث قرار می‌گیرد. مقداری با پتانسیل حقیقی منبع تفاوت داشته باشد. یک تقسیم کننده ولتاژ نظیر آنچه در شکل ۲-۲ الف نشان داده شده معمولاً به ورودی یک ولت سنج دیجیتالی متصل است تا برای آن چندین دامنه عمل فراهم نماید.

ولت سنجه‌های دیجیتالی ممکن است همچنین برای اندازه‌گیری محدوده‌های گوناگون جریان بکار روند. جریان نامعلوم از داخل یکی از چندین مقاومت استاندارد کوچک در داخل دستگاه می‌گذرد. اختلاف پتانسیل در عرض این مقاومت سپس اندازه‌گیری شده و متناسب با جریان می‌باشد. شکل ۲-۴ ب نشان می‌دهد که چگونه یک جریان نامعلوم I_x در مداری شامل یک منبع DC و یک مقاومت بار، R_L اندازه‌گیری می‌شود. دقت مقاومت‌های R_{std} در دستگاه معمولاً از $0/1$ اهم یا کمتر تا چند صد اهم، می‌رسند، لذا محدوده‌های مختلف جریان را می‌دهند. برای مثال اگر $R_{std} = 1/000W$ بوده و $1/456V$ را بخواند، جریان اندازه‌گیری شده $1/456A$ خواهد بود. با انتخاب مقاومت‌های استاندارد که حتی با توانهایی از ده باشند و آرایش مدار برای تغییر محل ممیز منطبق با مقاومت DVM مستقیماً جریان را می‌خواند.

شکل ۲-۴ ج چگونه تعیین یک مقاومت نامعلوم R_x با یک

۱- یک سیگنال آنالوگ عبارت است از سیگنالی که بطور پیوسته با زمان تغییر کرده و می‌تواند هر مقداری را در یک محدوده خاص در برگیرد.

برابر $I = \frac{V}{R_L}$ خواهد بود. با مقاومت R_{std} در محل،
 $I_M = \frac{V}{(R_L + R_{std})}$ خواهد بود.

بنابراین، خطای بارگیری توسط رابطه زیر داده می‌شود:

$$E_r = \frac{I_M - I_X}{I_X} \times 100\% = \frac{\frac{V}{(R_L + R_{std})} - \frac{V}{R_L}}{\frac{V}{R_L}} \times 100\%$$

که می‌توان به شکل زیر ساده کرد:

$$E_r = -\frac{R_{std}}{R_L + R_{std}} \times 100\% \quad (15-2)$$

جدول ۲-۲ گویای آن است که با کوچکتر شدن نسبت R_{std} به R_L ، خطای بارگیری در اندازه‌گیری جریان کوچکتر خواهد شد.

۲ ب مدارهای جریان متناوب

خروجی الکتریکی از مبدل‌های سیگنال تجزیه‌ای اغلب به صورت دوره‌ای نوسان می‌کنند. این نوسانات می‌توانند به وسیله نمودار جریان یا ولتاژ خود بخودی بصورت تابعی از زمان نشان داده شوند. دوره t_p سیگنال عبارت از زمان لازم برای کامل شدن یک چرخه است. عکس دوره، فرکانس سیگنال می‌باشد، یعنی:

$$f = \frac{1}{t_p} \quad (16-2)$$

واحد فرکانس هرتز، Hz می‌باشد که بصورت یک چرخه در ثانیه تعریف می‌شود.

۲-۱ جریان‌های سینوسی

موج سینوسی (شکل ۲-۵ الف) متداولترین نوع علامت الکتریکی دوره‌ای می‌باشد. مثال متداول عبارت است از جریان متناوب حاصل از چرخش یک سیم پیچ در میدان مغناطیسی (مثل مورد مولد الکتریکی). بنابراین اگر جریان خودبخودی یا ولتاژ حاصل توسط یک مولد در مقابل زمان رسم شود، یک موج سینوسی حاصل می‌شود.

$$E_r = \frac{R_s}{R_M + R_s} \times 100\% \quad (14-2)$$

این معادله نشان می‌دهد که با بزرگتر شدن مقاومت سنج R_M نسبت به مقاومت منبع R_s ، خطای بارگیری نسبی کوچکتر می‌شود. جدول ۲-۱ این اثر را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱ اثر مقاومت سنج بر صحت اندازه‌گیری پتانسیل*

خطای نسبی %	R_M / R_s	مقاومت استاندارد R_s, Ω	مقاومت مدار R_M, Ω
-۶۷	۰/۵۰	۲۰	۱۰
-۲۹	۲/۵	۲۰	۵۰
-۳/۸	۲۵	۲۰	۵۰۰
-۲/۰	۵۰	۲۰	$1/0 \times 10^3$
-۰/۲۰	۵۰۰	۲۰	$1/0 \times 10^4$

* شکل ۲-۴ الف را ببینید.

مزیت مهم ولت سنج‌های دیجیتالی آن است که مقاومت‌های بالایی بین 10^{11} تا 10^{12} اهم را در اختیار می‌گذارند و بنابراین به استثناء مدارهایی که دارای مقاومتی بزرگتر از حدود 10^9 اهم است از خطاهای بارگیری در آنها اجتناب می‌شوند. یک مثال مهم از خطاهای بارگیری ممکن است در اندازه‌گیری ولتاژ الکتروود pH شیشه رخ دهد، که مقاومت‌های 10^6 تا 10^9 اهم یا بیشتر دارند. دستگاههایی چون pH مترها و P یون مترها برای محافظت در مقابل این نوع خطاهای بارگیری ورودی‌های مقاومت خیلی بالایی دارند.

باید توجه داشت که به هر حال در یک DVM بکار رفته برای اندازه‌گیری ولتاژ، تقسیم کننده ولتاژ ورودی بکار برده شده برای ایجاد محدوده‌های چندگانه، مقاومت داخلی سنج را به مقدار نوعی 10 مگا اهم کاهش می‌دهد. بنابراین، اندازه‌گیری ولتاژ در دستگاههایی با مقاومت بیش از 10 کیلو اهم، بسته به مقاومت داخلی دقیق خطایی به اندازه $0/1$ درصد یا بیشتر خواهد داشت.

خطای بارگیری در اندازه‌گیری جریان

چنانچه در شکل ۲-۴ ب نشان داده شده در یک اندازه‌گیری جریان، یک مقاومت استاندارد کوچک، خیلی دقیق با مقاومت R_{std} در مدار بکار رفته است. در غیاب این مقاومت، جریان در مدار

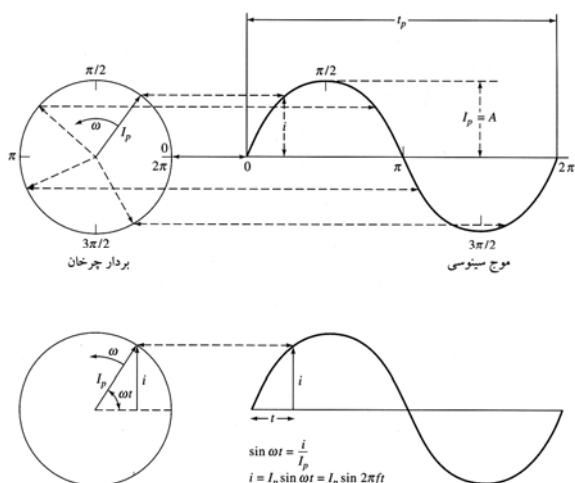
ولتاژ خودبخودی V در زمان t به این صورت داده می‌شود (شکل ۶-۲ را ببینید).

$$i = I_p \sin \omega t = I_p \sin 2\pi f t \quad (18-2)$$

یا به عبارت دیگر،

$$v = V_p \sin \omega t = V_p \sin 2\pi f t \quad (19-2)$$

I_p و V_p جریان و ولتاژ ماکزیمم یا پیک بوده و دامنه A موج سینوسی نامیده می‌شوند.



شکل ۶-۲ رابطه بین یک موج سینوسی با دوره t_p و دامنه I_p و بردار مربوطه با طول I_p که با سرعت زاویه‌ای $\omega = 2\pi f$ رادیان / ثانیه یا فرکانس f هرتز می‌چرخد.

شکل ۷-۲ دو موج سینوسی با دامنه مختلف را نشان می‌دهد. دو موج هم چنین ۹۰ درجه یا $\frac{\pi}{2}$ رادیان خارج از فاز هستند. اختلاف فاز زاویه فاز نامیده می‌شود، و زمانی به وجود می‌آید که یک بردار به همین مقدار تأخیر یا تقدم داشته باشد. یک معادله عمومی تر برای موج سینوسی، عبارت است از:

$$i = I_p \sin(\omega t + \phi) = I_p \sin(2\pi f t + \phi) \quad (20-2)$$

ϕ زاویه فاز از یک موج سینوسی مرجع می‌باشد. یک معادله همراه بر حسب ولتاژ می‌تواند نوشته شود:

$$v = V_p \sin(2\pi f t + \phi) \quad (21-2)$$

۱- مفید است که مقدار لحظه‌ای جریان، ولتاژ یا بار متغیر با زمان با حروف کوچک i, v, q ، نماد گذاری شوند. از سوی دیگر، حروف بزرگ برای جریان، ولتاژ یا بار ایستا، یا برای یک کمیت متغیر مخصوص مثل ولتاژ و جریان پیک، یعنی V_p و I_p بکار می‌روند.

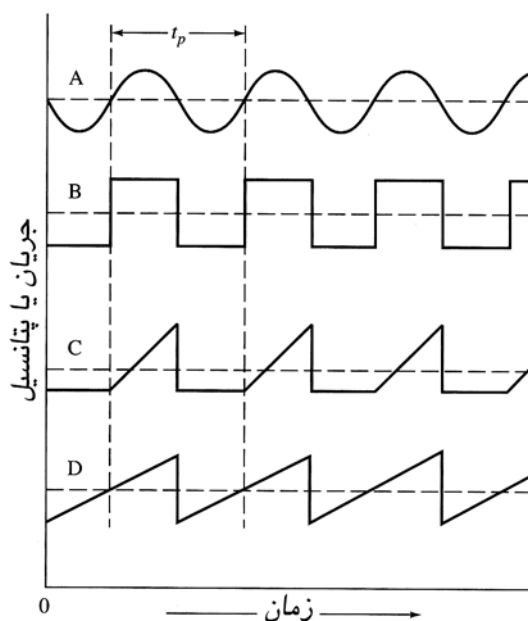
جدول ۲-۲ اثر مقاومت یک مقاومت استاندارد، R_{std} بر صحت اندازه‌گیری جریان*

مقاومت مدار R_L, Ω	مقاومت استاندارد R_{std}, Ω	R_{std} / R_L	خطای نسبی %
۱/۰	۱/۰	۱/۰	-۵۰
۱۰	۱/۰	۰/۱۰	-۹/۱
۱۰۰	۱/۰	۰/۰۱۰	-۰/۹۹
۱۰۰۰	۱/۰	۰/۰۰۱۰	-۰/۱۰

* شکل ۲-۴ ب را ببینید.

یک موج سینوسی خالص به راحتی به صورت برداری با طول I_p (یا V_p) که در یک سرعت زاویه‌ای ثابت ω خلاف جهت عقربه ساعت می‌چرخد، نشان داده می‌شود. رابطه بین نمایش برداری و نمودار موج سینوسی در شکل ۶-۲ نشان داده شده است. بردار در یک رادیان 2π در دوره t_p می‌چرخد، بنابراین فرکانس زاویه‌ای توسط رابطه زیر داده می‌شود:

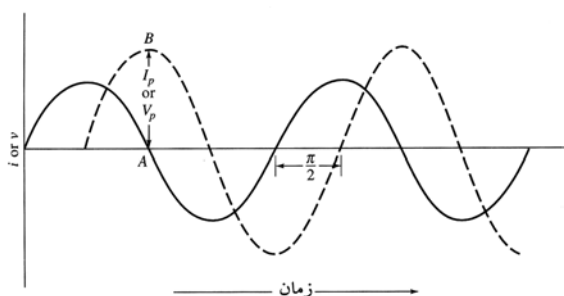
$$\omega = \frac{2\pi}{t_p} = 2\pi f \quad (17-2)$$



شکل ۵-۲ مثالهایی از سیگنال‌های تناوبی (الف) سینوسی، (ب) موج مربع، (ج) جهشی، و (د) دندان‌اره‌ای.

اگر کمیت بردار جریان یا ولتاژ باشد، جریان خودبخودی i یا

کردن مقدار و بنابراین آثار آن انجام می‌گیرد. کاپاسیتانس و اینداکتانس اغلب با احتیاط توسط خازن و سلف در یک مدار وارد می‌شوند. این وسایل نقش مهمی را در کارهای مفیدی از جمله تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم یا برعکس و نیز در تشخیص سیگنالها با فرکانس متفاوت، جدا سازی سیگنالهای ac و dc مشتق‌گیری یا انتگرال‌گیری از سیگنالها بازی می‌کنند.



شکل ۲-۷ موجهای سینوسی با دامنه‌های متفاوت (I_p یا V_p) و با اختلاف فاز ۹۰ درجه یا $\pi/2$ رادیان.

ب-۳ ظرفیت و خازن مدارهای RC سری

یک خازن نوعی شامل یک جفت هادی است که توسط یک لایه نازک دی الکتریک یعنی توسط یک عایق الکتریکی که ضرورتاً محتوی گونه متحرک، حامل جریان دارای بار نمی‌باشد، از هم جدا شده‌اند.

ساده‌ترین خازن شامل دو نوار فلزی است که توسط یک لایه دی الکتریک مثل هوا، روغن، پلاستیک، میکا، کاغذ، سرامیک یا اکسید فلزی جدا شده‌اند. با استثناء خازنهای هوا و میکا، دو لایه نواری و عایق معمولاً بصورت یک بسته متراکم تا و یا لوله شده و برای جلوگیری از آثار مضر جوی مهر و موم شده‌اند.

به منظور تشریح خواص خازن، یک مدار RC که در شکل ۲-۸ الف نشان داده شده و شامل باطری V_i ، مقاومت R و خازن C که بطور سری قرار دارند را در نظر بگیرید. خازن توسط یک جفت خط موازی با طول مساوی نشان داده می‌شود. هنگامی که کلید S از وضعیت ۲ به وضعیت ۱ حرکت می‌کند. الکترونها از پایانه منفی باطری از طریق مقاومت R به هادی پائین‌تر یا صفحه خازن جاری می‌شوند. همزمان الکترونها از صفحه بالا دفع شده و به سمت پایانه

جریان یا ولتاژ همراه با یک جریان سینوسی می‌تواند از چند طریق بیان شود. ساده‌ترین آن عبارت است از دامنه پیک، I_p یا (V_p) که ماکزیمم جریان یا ولتاژ خودبخودی در طی یک چرخه می‌باشد. مقدار پیک به پیک که $2I_p$ یا $2V_p$ می‌باشد نیز اغلب بکار می‌رود. میانگین جذر یا rms جریان در یک مدار ac ، همان گرمایی را در یک مقاومت تولید می‌کند که جریان مستقیم با مقدار مساوی تولید می‌کند. بنابراین، جریان rms در محاسبات توان مهم است (معادلات ۲-۲ و ۲-۳). جریان rms توسط رابطه زیر داده می‌شود.

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{I_p^2}{2}} = 0.707 I_p$$

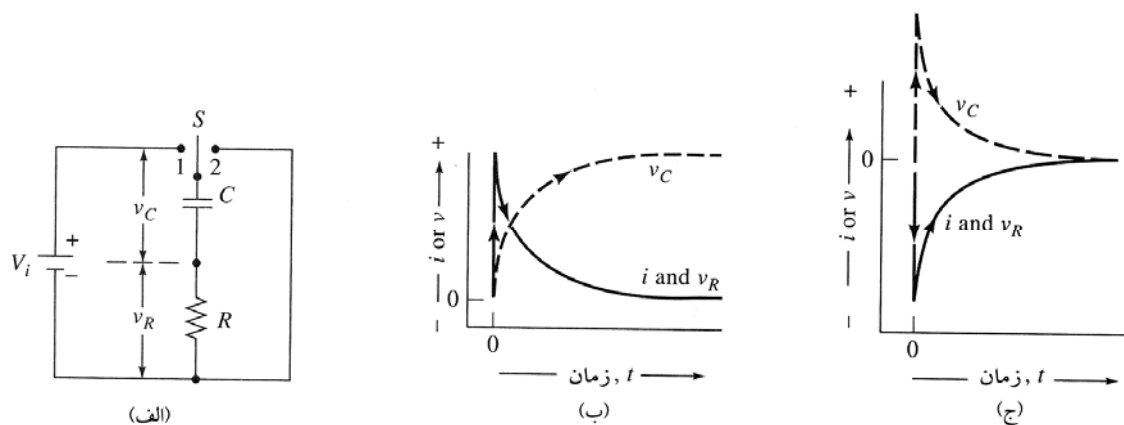
و

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{V_p^2}{2}} = 0.707 V_p \quad (2-2)$$

ب-۲ راکتانس در مدارهای الکتریکی

هنگامی که جریان در یک مدار الکتریکی افزایش یا کاهش می‌یابد، برای تغییر میدانهای الکتریکی و مغناطیسی همراه با جریان شارژ انرژی نیاز است. برای مثال اگر مدار شامل یک سیم پیچ مسی یا یک سلف (القاگر) باشد، با ذخیره شدن انرژی در میدان مغناطیسی سلف (القاگر) سیم پیچ در مقابل تغییر جریان مقاومت می‌کند. با معکوس شدن جریان، انرژی به سمت منبع ac بر می‌گردد، و با کامل شدن نیم دور دوم، انرژی مجدداً در میدان مغناطیسی عکس حالت قبل ذخیره می‌شود. بطور مشابه خازنی در یک مدار ac در مقابل تغییرات ولتاژ مقاومت می‌کند. مقاومت سلف (القاگر) در مقابل تغییرات جریان و مقاومت خازن در مقابل تغییر ولتاژ، راکتانس نامیده می‌شود.

همانطور که خواهیم دید راکتانس‌ها در مدار ac اختلاف فاز (جابجایی فاز) در سیگنال ac ایجاد می‌کنند. دو نوع راکتانس که خازن‌ها و سلف‌ها را مشخص می‌کنند عبارتند از راکتانس خازنی و راکتانس سلفی. هر دو راکتانس خازنی و سلفی کمیتهای وابسته به فرکانس هستند. در فرکانس پائین زمانی که سرعت تغییر جریان پائین است اثرات راکتانس در اغلب مؤلفه‌های مدار آنقدر کم است که صرف نظر می‌شود. با تغییرات سریع، از طرف دیگر، المانهای مدار مثل کلیدها، اتصالات و مقاومتها ممکن است راکتانس داشته باشند. وقتی آثار این نوع راکتانس مطلوب نباشند تلاش زیادی جهت کم



شکل ۸-۲ (الف) یک مدار سری RC پاسخ زمان مدار وقتی کلید S (ب) در وضعیت ۱ و (ج) در وضعیت ۲ باشد.

ذخیره می‌کند. اکثر خازن‌های بکار رفته در مدارهای الکترونیکی دارای ظرفیت در محدوده میکروفاراد (10^{-6} تا پیکوفاراد (10^{-12} F)) می‌باشند. در یک مدار ac ظرفیت مهم است. به ویژه چون ولتاژی که با زمان تغییر می‌کند منجر به یک بار متغیر با زمان یعنی جریان می‌شود. این رفتار با مشتق‌گیری از معادله ۲-۲۳ دیده می‌شود که می‌دهد:

$$\frac{dq}{dt} = C \frac{dv_C}{dt} \quad (2-24)$$

طبق تعریف، جریان i عبارت است از تغییرات بار نسبت به

زمان، یعنی:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

بنابراین،

$$i = C \frac{dv_C}{dt} \quad (2-25)$$

توجه به این نکته مهم است که وقتی ولتاژ مستقل از زمان باشد یعنی وقتی ولتاژ خازن ثابت باشد جریان در یک خازن صفر است. همچنین باید توجه کرد که برای ایجاد یک تغییر سریع در ولتاژ خازن، جریان زیادی لازم است. این نتیجه یک محدودیت قابل توجه در روشهای الکترو تجزیه‌ای خاصی ایجاد می‌کند، چنانکه در فصل ۲۵ بحث شده است.

سرعت تغییر جریان در یک مدار RC

سرعتی که با آن یک خازن باردار یا تخلیه می‌شود محدود است. برای مثال مدار نشان داده شده در شکل ۸-۲ الف را در نظر

مثبت باطری جاری می‌شوند. این جابجایی باعث جریان لحظه‌ای می‌گردد که سریعاً به صفر کاهش می‌یابد تا اینکه اختلاف پتانسیل عبوری از صفحه‌های خازن به پتانسیل باطری V_i برسد. در این هنگام گفته می‌شود که خازن شارژ شده است.

اگر کلید از موقعیت ۱ به موقعیت ۲ تغییر کند، الکترون‌ها از صفحه پایین دارای بار منفی خازن از طریق مقاومت R به صفحه بالایی مثبت جاری می‌شوند. مجدداً با این جابجایی جریان ایجاد می‌شود که با ناپدید شدن اختلاف پتانسیل بین دو صفحه، به صفر کاهش می‌یابد. در این حالت گفته می‌شود خازن تخلیه شده است. خاصیت مفید خازن توانایی آن در ذخیره سازی بار الکتریکی برای یک مدت زمان و سپس آزاد کردن این بار ذخیره شده در صورت نیاز می‌باشد. لذا اگر S در شکل ۸-۲ الف اول در وضعیت ۱ باشد تا آنکه C شارژ شود و سپس در وضعیت بین ۱ و ۲ قرار داده شود خازن برای مدت بیشتری در حالت شارژ بوده و زمانی که S به وضعیت ۲ تغییر یابد عمل تخلیه درست به همان شکلی که در صورت تغییر سریع کلید از ۱ به ۲ می‌توانست رخ دهد، اتفاق می‌افتد. کمیت الکتریکی لازم جهت باردار شدن کامل خازن بستگی به سطح صفحه‌ها، شکل آنها، فضای بین آنها و ثابت دی الکتریک ماده‌ای که آنها را از هم جدا می‌کند دارد. بعلاوه بار Q بطور مستقیم متناسب با ولتاژ اعمال شده است. یعنی:

$$Q = CV \quad (2-23)$$

V پتانسیل اعمال شده بر حسب ولت و Q مقدار بار بر حسب کولن بوده، ثابت تناسب C ، ظرفیت خازن بر حسب فاراد F می‌باشد. پس خازن یک فاراد، به ازاء هر ولت اعمال شده یک کولن بار

واحد زمان دارد، از آنجائیکه $R = v_R / i$ و $C = q / v_c$.

$$RC = \frac{V_R}{i} \times \frac{q}{v_c} \text{ و } \frac{\text{ولت}}{\text{کولن}} \times \frac{\text{ثانیه}}{\text{کولن}} = \text{ثانیه}$$

حاصلضرب RC ثابت زمان برای مدار نامیده شده و میزانی از زمان لازم برای خازن جهت باردار شدن یا تخلیه می‌باشد. این وابستگی زمان باردار شدن به RC می‌تواند از شکل معادله ۲-۳۲ توجیه شود. چون نسبت t/RC در این معادله نما می‌باشد، RC سرعت تغییرات نمایی ولتاژ در طول خازن را تعیین می‌کند. مثال زیر کاربرد معادلات فوق را نشان می‌دهد.

مثال ۲-۲

مقادیر مؤلفه‌ها در شکل ۲-۸ الف عبارت از: ولت $V_i = 10/0$ ، $R = 1000 \Omega$ ، $C = 1000 \mu F$ یا $10^{-6} F$ می‌باشند. (الف) ثابت زمان برای مدار و (ب) i و v_c را بعد از دو ثابت زمانی ($t = RC$) = محاسبه کنید.

حل: (الف)

$$ms \ 1/00 \text{ یا } 10^{-3} \text{ یا } 10^{-6} = 1000 \times 1000 \times 10^{-6} = RC = \text{ثابت زمان}$$

(ب) با جایگزینی قانون اهم، $I_{init} = V_i / R$ و $t = 2/00 ms$ در

داخل معادله ۲-۳۰ منجر به روابط زیر می‌شود:

$$i = \frac{V}{R} e^{-t/RC} = \frac{10/0}{1000} e^{-2/00/1/00} \\ = 1/35 \times 10^{-3} A \text{ یا } 1/35 mA$$

از معادله ۲-۳۱ خواهیم داشت:

$$v_R = 10/0 \cdot e^{-2/00/1/00} = 1/35 V$$

و با جایگزینی در معادله ۲-۲۶ خواهیم یافت که

$$v_c = V_i - v_R = 10/00 - 1/35 = 10/0 \cdot (1 - e^{-2/00/1/00}) = 8/65 V$$

بگیرید. از قانون کیرشهوف می‌دانیم که در هر لحظه بعد از تغییر کلید به وضعیت ۱ جمع ولتاژهای عبوری از C و R (یعنی v_c و v_R) باید برابر با ولتاژ ورودی V_i باشد. لذا،

$$V_i = v_c + v_R \quad (2-26)$$

از آنجائیکه V_i ثابت است، افزایش در v_c که ولتاژ شارژ خازن است باید دقیقاً با کاهش v_R همراه باشد. با جایگزینی دو معادله ۲-۱ و ۲-۲۳ در این معادله و نورآرایی آن خواهیم داشت:

$$V_i = \frac{q}{c} + iR \quad (2-27)$$

به منظور تعیین اینکه چطور جریان در یک مدار RC بصورت تابعی از زمان تغییر می‌کند، باید معادله دیفرانسیلی (۲-۲۷) را نسبت به زمان حل کنیم. با ملاحظه اینکه V_i ثابت است داریم:

$$\frac{dV_i}{dt} = 0 = \frac{dq/dt}{C} + R \frac{di}{dt} \quad (2-28)$$

در اینجا دوباره برای در نظر گرفتن بار و جریان لحظه‌ای از حروف کوچک استفاده نموده‌ایم. همانطور که قبلاً دیده شد، $dq/dt = i$ و با جایگزینی این عبارت در معادله ۲-۲۸ و نورآرایی داریم:

$$\frac{di}{i} = - \frac{dt}{RC}$$

با انتگرال‌گیری در محدوده جریان اولیه I_{init} و i می‌دهد:

$$\int_{I_{init}}^t \frac{di}{i} = - \int_0^t \frac{dt}{RC} \quad (2-29)$$

و

$$i = I_{init} e^{-t/RC} \quad (2-30)$$

این معادله نشان می‌دهد که جریان در مدار RC بطور نمایی با زمان کاهش می‌یابد.

سرعت تغییر ولتاژ در یک مدار RC

به منظور بدست آوردن عبارتی برای ولتاژ لحظه‌ای عبوری از مقاومت v_R ، از قانون اهم برای جایگزین کردن $i = v_R / R$ و $I_{init} = v_R / R$ در معادله ۲-۳۰ استفاده کرده و با نورآرایی خواهیم داشت:

$$v_R = V_i e^{-t/RC} \quad (2-31)$$

جایگزینی این عبارت در معادله (۲-۲۶) و نورآرایی آن عبارتی برای ولتاژ لحظه‌ای v_c خازن می‌دهد:

$$v_c = V_i (1 - e^{-t/RC}) \quad (2-32)$$

توجه کنید که حاصلضرب RC ظاهر شده در سه معادله اخیر

روابط فاز بین جریان و ولتاژ در یک مدار RC

شکل ۲-۸ ب تغییرات در i و v_c را که در طی چرخه باردار شدن یک مدار RC ایجاد می‌شود نشان می‌دهد. این نمودارها در واحدهای دلخواه ارائه شده‌اند چون شکل منحنی مستقل از ثابت زمان مدار می‌باشد. توجه کنید لحظه‌ای که کلید در شکل ۲-۸ الف به موقعیت ۱ حرکت داده می‌شود، v_R و I حداکثر مقدار خود را دارند. از طرف دیگر در همان لحظه ولتاژ عبوری از خازن به

و ولتاژ در نتیجه زمان محدود لازم برای شارژ کردن و تخلیه خازن ایجاد می‌شود (شکل ۸-۲ ب و ۸-۲ ج را ببینید). ممکن است بتوانیم مقدار جابجایی فاز را با در نظر گرفتن یک خازن در یک مدار ایده آل که هیچ مقاومتی ندارد تعیین نماییم. اول معادلات ۱۸-۲ و ۲۵-۲ را تلفیق نموده و بعد از نوآرایی در زمان $t = 0$ و $v_c = 0$ خواهیم داشت:

$$= I_p \sin C \frac{dv_c}{dt} = 2\pi f t \quad (37-2)$$

بنابراین اگر این معادله را نوآرایی کرده و بعد بین زمانهای صفر و t انتگرال بگیریم، خواهیم داشت:

$$v_c = \frac{I_p}{C} \int_0^t \sin 2\pi f t dt = \frac{I_p}{2\pi f C} = (-\cos 2\pi f t)$$

اما در مثلثات داریم:

$$-\cos x = \sin(x - 90)$$

بنابراین می‌توان نوشت:

$$v_c = \frac{I_p}{2\pi f C} \sin(2\pi f t - 90) \quad (38-2)$$

با مقایسه معادلات ۳۸-۲ و ۲۱-۲، می‌بینیم که $\frac{I_p}{2\pi f C} = V_p$

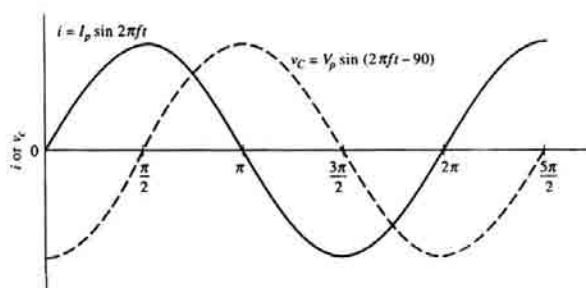
بنابراین معادله ۳۸-۲ می‌تواند به شکل زیر نوشته شود:

$$v_c = V_p \sin(2\pi f t - 90) \quad (39-2)$$

به هر حال، جریان لحظه‌ای توسط معادله ۱۸-۲ داده می‌شود. یعنی:

$$i = I_p \sin 2\pi f t$$

وقتی دو معادله اخیر را مقایسه می‌کنیم در می‌یابیم که ولتاژ عبوری از یک خازن خالص که خود از یک سیگنال ورودی سینوسی حاصل شده، سینوسی بوده اما به اندازه 90 درجه عقب‌تر از جریان است (شکل ۹-۲ را مشاهده کنید).



شکل ۹-۲ سیگنال‌های سینوسی جریان i و ولتاژ v_c در یک خازن

سرعت از صفر افزایش یافته و در نهایت به یک مقدار ثابت می‌رسد. برای هدفهای عملی فرض می‌شود که بعد از 5 ثابت زمانی یا بعد از $5RC$ خازن بطور کامل باردار شده باشد. در این نقطه جریان به کمتر از 1 درصد مقدار اولیه خود کاهش می‌یابد ($e^{-5RC/RC} = e^{-5} = 0.0067 \approx 0.01$).

زمانی که کلید در شکل ۸-۲ الف به موقعیت ۲ حرکت کند، باتری از مدار خارج شده و خازن به یک منبع جریان تبدیل می‌شود. به هر حال جاری شدن بار در جهت عکس حالت شارژ شدن خواهد بود. بنابراین

$$\frac{dq}{dt} = -i$$

پتانسیل اولیه خازن همان ولتاژ باتری است یعنی:

$$V_c = V_i$$

با استفاده از این معادله‌ها و اقدام کردن مثل مورد قبل در

می‌یابیم که برای چرخه تخلیه

$$i = -\frac{V_c}{R} e^{-t/RC} \quad (33-2)$$

$$v_R = -v_c e^{-t/RC} \quad (34-2)$$

و از آنجائی که $v_c = 0 = v_c + v_R$ (معادله ۲۶-۲) خواهیم داشت.

$$v_c = v_c e^{-t/RC} \quad (35-2)$$

شکل ۸-۲ ج چگونگی تغییرات V_c و V_R را نشان می‌دهد. مهم اینکه توجه کنیم در هر چرخه تغییرات ولتاژ عبوری از خازن خارج از فاز بوده و نسبت به جریان و پتانسیل عبوری از مقاومت، تاخیر دارد.

۲-۴ پاسخ مدارهای سری RC به ورودی سینوسی

در بخشهای زیر، پاسخ مدارهای RC سری به سیگنال ولتاژ سینوسی ac بررسی خواهد شد. سیگنال ورودی V_s توسط معادله ۱۹-۲ تشریح شده، یعنی:

$$v_s = V_p \sin \omega t = V_p \sin 2\pi f t \quad (36-2)$$

تغییرات فاز در مدارهای خازنی

اگر کلید و باتری در مدار RC نشان داده شده در شکل ۸-۲ الف با یک منبع ac سینوسی جایگزین شوند، خازن پیوسته بار را ذخیره و آزاد می‌کند، لذا منجر به جریانی می‌شود که جهت آن عوض شده و بطور پیوسته تغییر می‌کند. اختلاف فاز ϕ بین جریان

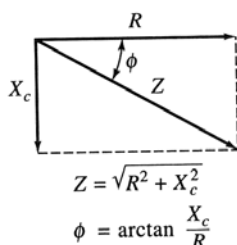
$$X_c = \frac{1}{2 \times 3 / 14 \times 3 / 0 \times 10^6 \times 2 / 0 \times 10^{-8}} = 2 / 7 \Omega$$

(ب) در $3 / 0 \text{ kHz}$ یا $3 \times 10^3 \text{ Hz}$

$$X_c = \frac{1}{2 \times 3 / 14 \times 3 / 0 \times 10^7 \times 2 / 0 \times 10^{-8}} = 2700 \Omega \text{ یا } 2 / 7 \text{ k} \Omega$$

امپدانس در یک مدار RC سری

امپدانس، Z یک مدار RC از دو مؤلفه تشکیل شده است:



شکل ۲-۱۰ نمودار برداری برای یک مدار RC سری.

مقاومت یک مقاومت و راکتانس خازن. به هر حال به خاطر جابجایی فاز در مورد دوم، این دو نمی‌توانند مستقیماً ترکیب شوند ولی باید بصورت برداری جمع شوند، چنانکه که در شکل ۲-۱۰ نشان داده شده است. در اینجا، زاویه فاز برای R صفر انتخاب شده است. همانطور که نشان داده‌ایم، زاویه فاز برای خازن خالص 90° - درجه است. لذا بردار X_c در زاویه قائم نسبت به R رسم شده است. به کمک نظریه فیثاغورثی کمیت Z که امپدانس نامیده می‌شود با رابطه زیر داده شده است:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} \quad (2-42)$$

زاویه فاز برابر است با:

$$\phi = \arctan \frac{X_c}{R} \quad (2-43)$$

برای نشان دادن وابستگی امپدانس و زاویه فاز به فرکانس، می‌توانیم معادله ۲-۴۱ را در ۲-۴۲ و ۲-۴۳ جایگزین نماییم که می‌دهد:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f c}\right)^2} \quad (2-44)$$

و

$$\phi = \arctan \frac{1}{2\pi f R c} \quad (2-45)$$

چنانکه بعداً خواهیم دید، در یک مدار حقیقی که محتوی مقاومت نیز است، این عقب افتادن کمتر از 90° درجه می‌باشد.

راکتانس خازنی

یک خازن، مانند یک مقاومت در طی باردار شدن مانع از جریان بار می‌شود، که منجر به یک کاهش پیوسته در مقدار جریان می‌شود. این اثر از ظرفیت محدود شده وسیله برای نگه داری بار در یک ولتاژ معین همانگونه که توسط رابطه $Q = CV$ توصیف شده است نتیجه شده است. برخلاف یک مقاومت، به هر حال، باردار کردن یک خازن ایجاد اتلاف دائم انرژی مثل گرما نمی‌نماید. در اینجا، انرژی ذخیره شده در طول فرآیند باردار شدن، در طی تخلیه به سیستم آزاد می‌شود.

قانون اهم می‌تواند برای مدارهای ac خازنی اعمال شده و به شکل زیر در آید:

$$V_p = I_p X_c \quad (2-46)$$

که در آن X_c راکتانس خازنی می‌باشد، خاصیتی از یک خازن که شبیه به مقاومت در یک مدار اهمی است. به هر حال مقایسه معادلات ۲-۳۸ و ۲-۳۹ نشان می‌دهد که

$$V_p = \frac{I_p}{2\pi f c} = \frac{I_p}{\omega c}$$

لذا راکتانس خازنی توسط معادله زیر داده می‌شود:

$$X_c = \frac{V_p}{I_p} = \frac{I_p}{I_p 2\pi f c} = \frac{1}{2\pi f c} = 1 / \omega c \quad (2-47)$$

و X_c دارای بُعد اهمی است.

همچنین باید توجه شود که برخلاف مقاومت، راکتانس خازنی وابسته به فرکانس بوده و در فرکانس بالاتر کوچکتر شده، در فرکانس صفر X_c بسیار بزرگ می‌شود، طوری که یک خازن مثل یک عایق نسبت به جریان مستقیم عمل می‌کند (با صرف نظر از جریان باردار شدن اولیه).

مثال ۲-۳

راکتانس خازن $0.2 \mu F$ یا $(2/0 \times 10^{-6} F)$ را در فرکانسهای

(الف) $3/0 \text{ MHz}$ و (ب) $3/0 \text{ kHz}$ محاسبه کنید.

(الف) جایگزینی $3/0 \text{ MHz}$ یا $3 \times 10^6 \text{ Hz}$ در معادله ۲-۴۷

می‌دهد:

مقاومت و خازن، (ب) با روش مشابه، داده‌های زیر برای $75kHz$ بدست می‌آید:

$$\begin{aligned} X_C &= 2/65 \times 10^{-2} \Omega & \phi &= 1/01 \text{ درجه} \\ Z &= 1/50 \times 10^{-4} \Omega & (V_p)_R &= 20/0V \\ I_p &= 1/33 \times 10^{-2} A & (V_p)_C &= 0/353V \end{aligned}$$

چندین خاصیت مهم مدار RC سری به کمک نتایج بدست آمده در مثال ۲-۴ نشان داده شده است. اول، مجموع ولتاژهای ماکزیمم برای مقاومت و خازن برابر با ماکزیمم ولتاژ منبع نمی‌باشد. برای مثال در فرکانس پایین‌تر مجموع برابر $27/2$ ولت در مقایسه با $20/7$ ولت منبع است. وقتی در نظر گرفته شود که ولتاژ ماکزیمم در مقاومت در زمان زودتر نسبت به خازن به وقوع می‌پیوندد این امر به ظاهر غیر عادی، قابل درک خواهد بود. به هر حال در هر زمان، مجموع ولتاژهای لحظه‌ای عبور کرده از دو عنصر برابر با ولتاژ لحظه‌ای منبع می‌باشد.

دومین نکته مهم نشان داده شده در مثال ۲-۴ این است که راکتانس خازن در فرکانس پایین‌تر دو برابر بزرگتر است. در نتیجه، در فرکانس بالاتر، آمپدانس شدیداً با مقاومت همراه است و جریان بطور قابل توجهی بزرگتر است در فرکانس بالاتر، همراه با راکتانس کاهش یافته ولتاژ خیلی کوچکتتر $0/35V$ در مقایسه با $17/4V$ در فرکانس پایین‌تر از خازن عبور می‌کند.

در نهایت، مقدار تأخیر ولتاژ در خازن جالب توجه است. در فرکانس پایین‌تر مقدار این تأخیر تقریباً 60 درجه است در حالیکه در فرکانس بالاتر فقط حدود 1 درجه بود.

۲-۵ صافیهای بر مبنای مدارهای RC

مدارهای RC سری اغلب بعنوان صافی جهت تضعیف سیگنالهای فرکانس بالا ولی عبور دادن مؤلفه‌های فرکانس پایین (یک صافی پایین - گذر) بکار می‌روند یا از طرفی برای کاهش مؤلفه‌های فرکانس پایین ولی عبور دادن فرکانس‌های بالا (یک صافی بالا - گذر) بکار می‌روند. شکل ۲-۱۱ نشان می‌دهد که چطور یک مدار RC سری می‌تواند چیده شود تا یک صافی بالا - گذر و پایین - گذر بدهد. در هر مورد ورودی و خروجی به عنوان ولتاژهای $(V_p)_i$ و $(V_p)_o$ مشخص شده‌اند.

توجه کنید که مقدار تأخیر فاز ولتاژ نسبت به جریان ϕ در یک مدار RC بستگی به فرکانس f ، مقاومت R و ظرفیت C مدار دارد. قانون اهم برای یک مدار RC می‌تواند بصورت زیر نوشته شود:

$$I_p = \frac{V_p}{Z} = \frac{VP}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi fc}\right)^2}} \quad (2-6)$$

یا

$$V_p = I_p Z = I_p \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi fc}\right)^2}$$

مثال ۲-۴

یک منبع ac سینوسی با ماکزیمم ولتاژ $20V$ بطور سری با یک مقاومت $1/5 \times 10^{-4} \Omega$ و یک خازن $0/0080 \mu F$ متصل شده است. ماکزیمم جریان، زاویه فاز، و اختلاف پتانسیل عبوری از هریک از مؤلفه‌ها را اگر فرکانس منبع (الف) $750Hz$ و (ب) $75kHz$ باشد محاسبه کنید. (الف) در $750Hz$ ، با جایگزین کردن در معادله ۲-۴ خواهیم داشت:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fc} = \frac{1}{2\pi \times 750Hz \times 80 \times 10^{-9} F} = 2/7 \times 10^{-4} \Omega$$

از معادله ۲-۴ بدست می‌آوریم:

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{(1/5 \times 10^{-4})^2 + (2/7 \times 10^{-4})^2} \\ &= 3/0 \times 10^{-4} \Omega \end{aligned}$$

با جایگزینی در معادله ۲-۴ می‌دهد:

$$I_p = \frac{20V}{3/0} \times 10^{-4} \Omega = 6/7 \times 10^{-2} A$$

برای بدست آوردن ϕ ، معادله ۲-۴ را بکار می‌بریم. بنابراین،

$$\phi = \arctan \frac{X_C}{R} = \arctan \frac{2/7 \times 10^{-4} \Omega}{1/5 \times 10^{-4} \Omega} = 61 \text{ درجه}$$

کاربرد معادله مربوط به تقسیم کننده ولتاژ می‌دهد:

$$(V_p)_R = V_p \times \frac{R}{Z} = \frac{20V \times 1/5 \times 10^{-4} \Omega}{3/0 \times 10^{-4} \Omega} = 10/0V$$

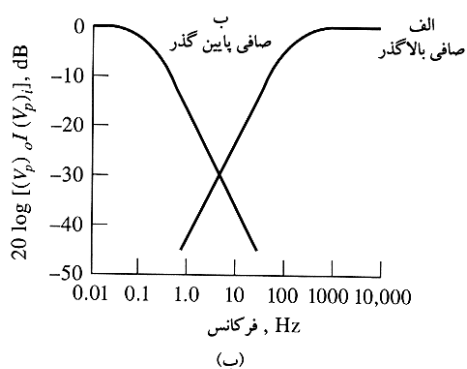
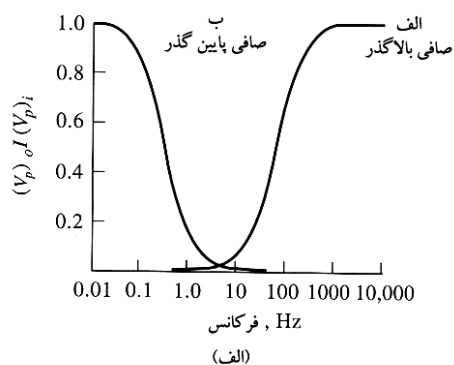
$$(V_p)_C = V_p \times \frac{X_C}{Z} = \frac{20V \times 2/7 \times 10^{-4} \Omega}{3/0 \times 10^{-4} \Omega} = 118V$$

$(V_p)_C$ و $(V_p)_R$ به ترتیب عبارتند از ماکزیمم ولتاژ عبوری از

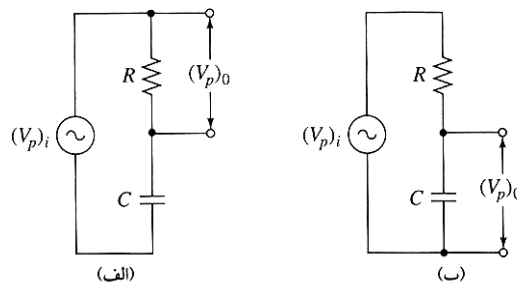
جایگزینی معادله ۲-۴۷ و نورآرایی می دهد:

$$\frac{(V_p)_o}{(V_p)_i} = \frac{1/\omega C}{\sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2}} = \frac{X_C}{Z}$$

منحنی ب در شکل ۲-۱۲ الف پاسخ فرکانس یک صافی پائین - گذر را نشان می دهد، داده ها برای نمودار، به کمک معادله ۲-۴۹ بدست آمده اند. در این مورد، مؤلفه های فرکانس پایین و مستقیم سیگنال های ورودی به خروجی مدار منتقل شده در حالی که مؤلفه های فرکانس بالا بطور مؤثری جدا می شوند.



شکل ۲-۱۲. (الف) پاسخ فرکانس صافی های بالا - گذر و پایین - گذر. (ب) نمودار بود^۲ برای صافی های بالا - گذر و پائین - گذر برای صافی بالا - گذر، $R = 10K\Omega$ و $C = 0.1\mu F$. برای صافی پائین گذر، $R = 1M\Omega$ و $C = 1\mu F$



شکل ۱۱-۲ مدارهای صافی: (الف) یک صافی بالا - گذر و (ب) یک صافی پایین - گذر

صافی های بالا - گذر

به منظور استفاده از یک مدار RC بعنوان یک صافی بالا - گذر، ولتاژ خروجی از عرض مقاومت R گرفته می شود (شکل ۱۱-۲ الف را ببینید). ماکزیمم جریان در این مدار می تواند با جایگزینی در معادله ۲-۴۶ بدست آید. لذا،

$$I_p = \frac{(V_p)_i}{Z} = \frac{(V_p)_i}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (2-47)$$

از آنجائیکه ولتاژ عبوری از مقاومت با جریان هم فاز است،

$$I_p = \frac{(V_p)_o}{R}$$

نسبت ماکزیمم ولتاژ خروجی به ورودی از تقسیم معادله دوم بر معادله اول و نورآرایی بدست می آید. لذا،

$$\frac{(V_p)_o}{(V_p)_i} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{R}{Z} \quad (2-48)$$

ترسیم این نسبت بصورت تابعی از فرکانس برای یک صافی بالا - گذر نوعی بصورت منحنی الف در شکل ۲-۱۲ الف نشان داده شده است. توجه کنید که فرکانسهای پایین ۲۰HZ به مقدار زیادی از سیگنالهای ورودی جدا می شوند.

صافی های پائین - گذر

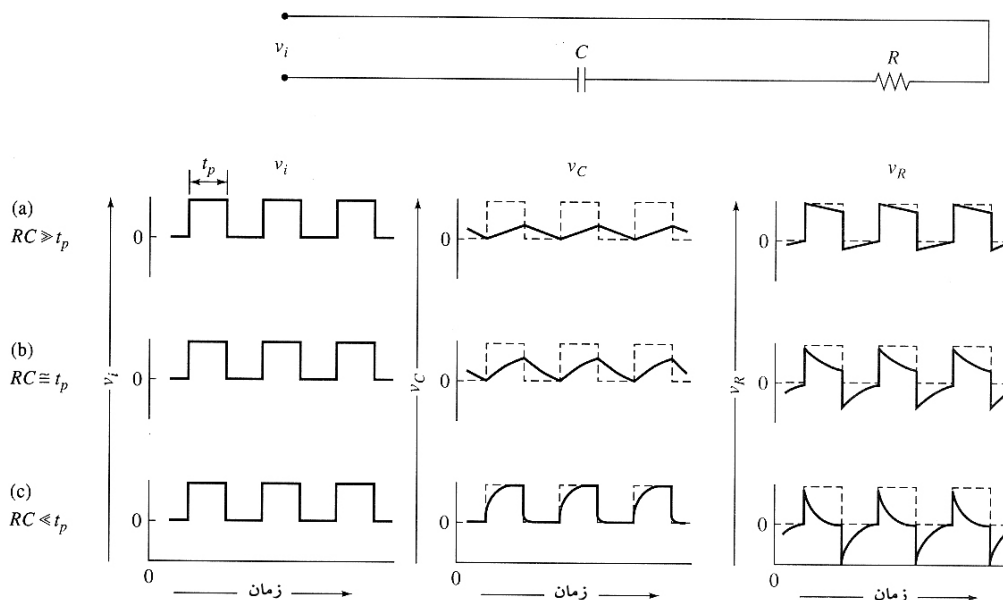
برای صافی پائین - گذر نشان داده شده در شکل ۲-۱۱ ب، می توانیم بنویسیم:

$$(V_p)_o = I_p X_C$$

جایگزینی معادله ۲-۴۱ و نورآرایی آن می دهد:

$$I_p = \omega C (V_p)_o$$

* در کتاب اصلی جایگزینی معادله ۲-۲۷ نوشته شده است که به نظر مترجم معادله ۲-۴۷ صحیح می باشد.



شکل ۲-۱۳ سیگنال‌های خروجی v_C و v_R برای سیگنال ورودی ضربه‌ای v (الف) ثابت زمان \ll پهنای ضربه t_p ؛ (ب) ثابت زمان $= t_p$ ؛ (ج) ثابت زمان $\gg t_p$.

شود. سپس با رسیدن پتانسیل ورودی به صفر خازن تخلیه شده و یک خروجی دندانه دار حاصل می‌شود. ولتاژ عبوری از مقاومت تحت این شرایط بطور لحظه‌ای به مقدار ماکزیمم رسیده و سپس تقریباً بطور خطی در طی عمر ضربه کاهش می‌یابد.

ردیف پایین نمودارها (شکل ۲-۱۳ ج) دو خروجی را زمانی که ثابت زمان مدار خیلی کوتاهتر از پهنای ضربه است، نشان می‌دهد. در اینجا بار در خازن به سرعت افزایش یافته و نزدیک پایان ضربه به پرشدن کامل می‌رسد. در نتیجه، پتانسیل عبوری از مقاومت بعد از افزایش اولیه آن، سریعاً به صفر کاهش می‌یابد و وقتی v_i به صفر می‌رسد، خازن بلافاصله تخلیه می‌شود؛ خروجی عبوری از مقاومت در جهت منفی ماکزیمم شده و سپس سریعاً به صفر می‌رسد.

این خروجی‌های مختلف موجی شکل در مدار الکترونیکی کاربردهایی دارند. خروجی ماکزیمم ولتاژ نشان داده شده در شکل ۲-۱۳ ج بویژه در مدارهای تریگر^۲ و زمان بندی مهم هستند.

۲-۷ اندازه‌گیری‌های جریان AC ، ولتاژ و آمپدانس

اندازه‌گیری جریان متناوب، ولتاژ و آمپدانس می‌تواند با یک مالتی متر دیجیتالی انجام شود. مالتی مترهای دیجیتالی دستگاههای پیچیده‌ای هستند که امکان اندازه‌گیری ولتاژ و جریان ac و dc و

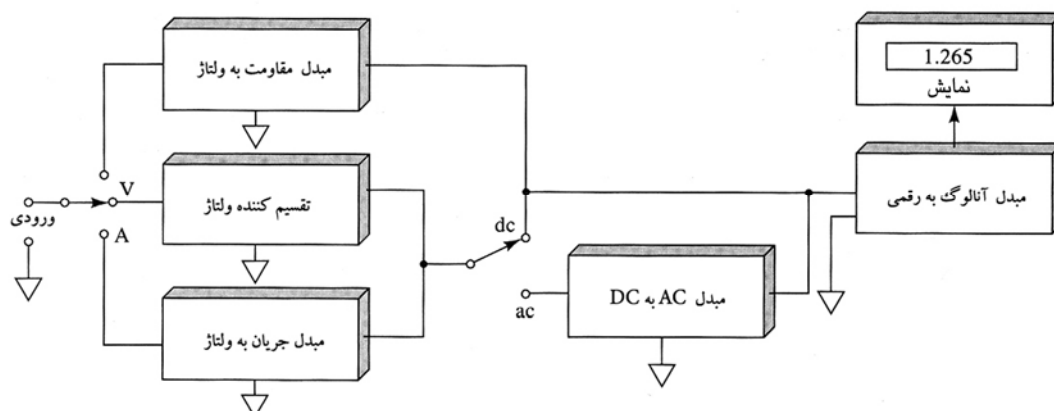
شکل ۲-۱۲ ب نمودارها یا ترسیم‌های «بُود» را برای دو صافی مورد بحث فوق نشان می‌دهد. منحنی‌های «بُود» بطور وسیعی در مقوله‌های الکترونیک جهت نشان دادن وابستگی فرکانس نسبت‌های ورودی / خروجی برای مدارهای مختلف، تقویت کننده‌ها و صافی‌ها بکار می‌روند. کمیت $\log [(Vp)o / (Vp)i]$ بهره تقویت کننده یا صافی را برجسب دسی بل^۱، dB می‌دهد. صافی‌های پائین - گذر و بالا - گذر دارای اهمیت زیادی در طراحی مدارهای الکترونیکی می‌باشند.

۲-۶ پاسخ مدارهای RC به ورودی ضربه‌ای (پالس)

زمانی که ورودی ضربه‌ای به مدار RC اعمال می‌شود، ولتاژهای عبوری از خازن و مقاومت بسته به رابطه بین عرض ضربه و ثابت زمان مدار شکل‌های متفاوتی خواهند داشت. این آثار در شکل ۲-۱۳ نشان داده شده‌اند که در آن ورودی یک موج مربعی با پهنای ضربه t_p ثانیه است. ستون دوم تغییرات در ولتاژ خازن را بصورت تابعی از زمان نشان می‌دهد، در حالیکه ستون سوم تغییر در ولتاژ مقاومت را در همان زمان نشان می‌دهد. در ردیف بالای شکل‌ها (شکل ۲-۱۳ الف)، ثابت زمان مدار خیلی بیشتر از پهنای ضربه ورودی است. تحت این شرایط، خازن می‌تواند در طی هر ضربه فقط بطور جزئی باردار

^۲ - Trigger

^۱ - decibels.



شکل ۲-۱۴ نمودار یک مالتی متر دیجیتال

قابل توجهی کوتاه بوده و اکنون الکترونیک شدیداً براساس مدارهای مجتمع که شامل چیزی حدود یک میلیون ترانزیستور، مقاومت، خازن و رسانا بر روی یک تراشه تک نیمه هادی نازک است، استوار است. مدارهای مجتمع به دانشمندان یا مهندسان اجازه طراحی و ساخت دستگاههای نسبتاً پیچیده را می‌دهند. که مسلح به فقط خواص عملکردی آنها و مشخصات ورودی و خروجی بوده ولی بدون دانش کافی از مدارهای الکترونیکی داخلی در هر یک از تراشه‌ها می‌باشند. در این بخش بعضی از متداولترین مؤلفه‌ها که مدارهای الکترونیکی

را تشکیک می‌دهند را امتحان خواهیم کرد. سپس چند وسیله که بخش‌های مهمی از اکثر دستگاههای الکترونیکی می‌باشند را امتحان خواهیم نمود. یک نیمه هادی عبارت است از ماده بلوری که رسانایی آن حد واسط بین یک رسانا و یک عایق باشد. انواع زیادی از مواد نیمه هادی وجود دارند که از جمله سیلیکون و ژرمانیم عنصری؛ ترکیبات بین فلزی مثل سیلیکون کربید و گالیم آرسیند و انواع ترکیبات آلی را می‌توان ذکر کرد. دو ماده نیمه هادی، که وسیعترین کاربرد را برای وسایل الکترونیکی دارند عبارتند از سیلیکون و ژرمانیم بلوری، ما بحث خود را به این مواد محدود می‌کنیم.

۲-۱ خواص نیمه هادی‌های سیلیکون و ژرمانیم

سیلیکون و ژرمانیم از عناصر گروه IV بوده و لذا دارای چهار الکترون والانس قابل دسترس برای تشکیل پیوند می‌باشند. در یک بلور سیلیکون، هر یک از این الکترون‌ها توسط تلفیق با یک الکترون از اتم سیلیکون دیگر مستقر می‌شود تا یک پیوند کووالانسی تشکیل دهد. بنابراین در اصل، در سیلیکون بلوری الکترون آزاد وجود ندارد، و

همچنین مقاومت یا آمپدانس خیلی بزرگ را امکان پذیر می‌کنند. همانطور که در شکل ۲-۱۴ نشان داده شده است. مالتی مترهای دیجیتال در اطراف ولت مترهای دیجیتال dc که در بخش ۲ الف-۳ بررسی شدند، قرار می‌گیرند. در این نوع سنجه، مدارهایی مشابه آنچه در شکل ۲-۴ نشان داده شده، بکار می‌روند. خروجی این مدارها قبل از دیجیتالی شدن و نمایش از داخل یک مبدل ac به dc عبور می‌کند.

۲-۲ نیمه هادیها و وسایل نیمه هادی

مدارهای الکترونیکی معمولاً شامل یک یا چند وسیله غیر خطی، مثل ترانزیستورها، دیودهای نیمه هادی و لوله‌های خلاء یا پر شده از گاز می‌باشند [۱]. برخلاف مؤلفه‌های مدار مثل مقاومت‌ها، خازن‌ها و سلف‌ها، ولتاژها یا جریانهای ورودی و خروجی وسایل غیر خطی، نسبت خطی با یکدیگر ندارند. در نتیجه مؤلفه‌های غیر خطی می‌توانند برای تغییر یک سیگنال الکتریکی از ac به dc (یکسو کنندگی) یا برعکس، برای تقویت یا تضعیف ولتاژ یا جریان (تعدیل دامنه)، یا برای تغییر فرکانس یک سیگنال ac (تعدیل فرکانس) ساخته شوند.

از نقطه نظر تاریخی، لوله خلاء وسیله غیر خطی شاخص بکار رفته در مدار الکترونیکی بوده است.

به هر حال در سالهای ۱۹۵۰ ناگهان و بطور کامل لوله‌ها توسط دیودها و ترانزیستورهای نیمه هادی جایگزین شدند که دارای مزایای ارزانی قیمت، مصرف برق کم، تولید گرمای کم، عمر زیاد و فشردگی می‌باشند. به هر حال عصر ترانزیستور منفرد یا گسسته بطور

قبلاً توضیح داده شد، جریانی تشکیل می‌دهد که در آن اکثریت حامل مثبت است. حفره‌ها کمتر از الکترون‌ها متحرک اند، لذا هدایت یک نیمه هادی نوع p ذاتاً کمتر از هدایت در نوع n می‌باشد.

۲-۲ دیوهای نیمه هادی

دیود یک وسیله غیر خطی می‌باشد که هدایت آن در یک جهت بیشتر از جهت دیگر است. دیوهای مفید با تشکیل نواحی نوع n و نوع p مجاور هم در یک بلور منفرد ژرمانیم یا سیلیکون ساخته می‌شوند؛ فصل مشترک بین این دو ناحیه یک اتصال pn نامیده می‌شود.

خواص یک اتصال pn

شکل ۲-۱۵ الف سطح مقطعی از یک نوع اتصال pn است که به وسیله نفوذ یک مقدار اضافی از ناخالصی نوع p مثل ایندیم به یک تراشه کوچک سیلیکون که دارای ناخالصی نوع n مثل آنتیموان می‌باشد، تشکیل شده است. چنین اتصالی اجازه حرکت حفره‌ها را از ناحیه p به ناحیه n و الکترون‌ها را در جهت عکس می‌دهد. با نفوذ حفره‌ها و الکترون‌ها در جهت مخالف، ناحیه‌ای ایجاد می‌شود که خالی از حامل‌های متحرک بار بوده و لذا دارای مقاومت خیلی بالا می‌باشد. این ناحیه که ناحیه خالی شدن نامیده می‌شود در شکل ۲-۱۵ نشان داده شده است. از آنجائی که در عرض ناحیه خالی جداسازی بار وجود دارد، در عرض ناحیه اختلاف پتانسیلی ایجاد می‌شود که منجر به مهاجرت حفره‌ها و الکترون‌ها در جهت مخالف می‌گردد. جریانی که از نفوذ حفره‌ها و الکترون‌ها حاصل می‌شود توسط جریان حاصل از مهاجرت حاملها در میدان الکتریکی موازنه می‌شود و لذا جریان خالصی وجود ندارد. مقدار اختلاف پتانسیل در عرض ناحیه خالی بستگی دارد به ترکیب ماده بکار رفته در اتصال pn . برای دیوهای سیلیکون این اختلاف حدود $0.6V$ و برای ژرمانیم حدود $0.3V$ است. وقتی یک پتانسیل مثبت در عرض اتصال pn اعمال شود، مقاومت کمی در مقابل جریان در جهت ماده نوع p به نوع n وجود دارد.

از طرفی اتصال pn مقاومت زیادی در مقابل حرکت حفره‌ها در جهت مخالف ایجاد کرده لذا یکسو کننده جریان می‌باشد. شکل ۲-۱۵ ب نماد یک دیود را نمایش می‌دهد. پیکان جهت مقاومت کم را نسبت به جریانهای مثبت نشان می‌دهد. قسمت مثلثی نماد دیود ممکن است رای نشان دادن جهت جریان در یک دیود هادی در نظر گرفته شود.

انتظار می‌رود که این ماده یک عایق باشد. به هر حال در واقع، در دمای اطاق آشفستگی گرمایی کافی برای آزاد کردن یک الکترون اتفاقی از حالت پیوند شده‌اش رخ می‌دهد و آزادی حرکت در داخل شبکه بلور موجب هدایت الکتریکی می‌شود. این تهیج حرارتی الکترون یک ناحیه دارای بار مثبت را بجای می‌گذارد که حفره نامیده شده و مربوط به اتم سیلیکون است. به هر حال، حفره مثل الکترون متحرک بوده و لذا در رسانایی بلور نیز سهیم است. مکانیزم حرکت حفره مرحله‌ای است؛ یک الکترون پیوند شده از یک اتم سیلیکون مجاور به ناحیه دارای کمبود الکترون پریده و بدین ترتیب یک حفره مثبت بجای خود ایجاد می‌کند. بنابراین، رسانایی توسط یک نیمه هادی شامل حرکت الکترونهای گرمایی در یک جهت و حفره‌ها در جهت دیگر می‌باشد. رسانایی یک بلور سیلیکون یا ژرمانیم می‌تواند توسط دوپینگ^۱ کردن (فرآیندی که در آن یک مقدار جزئی و کنترل شده از یک ناخالصی معمولاً توسط نفوذ، به بلور گرم شده ژرمانیم یا سیلیکون وارد می‌شود)، قویاً بهبود یابد. نوعاً یک نیمه هادی سیلیکون یا ژرمانیم با عنصری از گروه V مثل آرسنیک یا آنتیموان و یا با عنصری از گروه III مثل ایندیم یا گالیوم دوپینگ می‌شود. وقتی اتمی از عناصر گروه V جایگزین اتم سیلیکون در شبکه شود، یک الکترون پیوند نشده با ساختار اضافه می‌شود، سپس فقط یک مقدار کمی انرژی گرمایی برای رسانا کردن این الکترون لازم است. توجه کنید که یون مثبت گروه V حاصل، حفره متحرک فراهم نمی‌کند، چون الکترون‌ها تمایل کمی برای حرکت از یک پیوند کووالانسی سیلیکون به این موقعیت غیر پیوندی دارند.

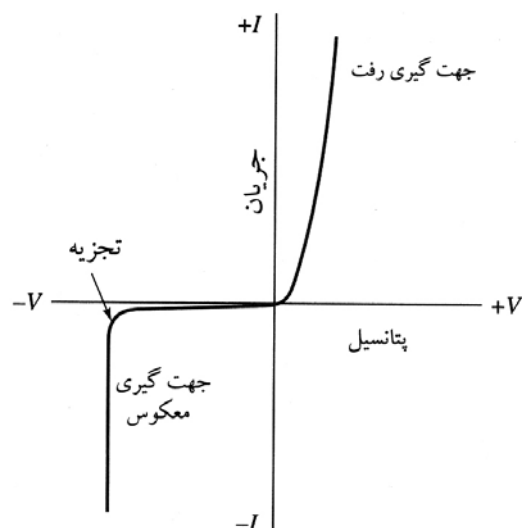
یک نیمه هادی که محتوی ناخالصی الکترونهای غیر پیوندی است، نوع n (نوع منفی) نامیده می‌شود چون الکترون‌ها منفی حاملهای اصلی بار هستند. حفره‌ها هنوز هم مثل بلور خالص (در غیاب ناخالصی) وجود دارند که با اتمهای سیلیکون همراه بوده ولی تعداد آنها نسبت به تعداد الکترون‌ها کم بوده، بنابراین در نیمه هادی نوع n حفره‌ها حاملهای اقلیت محسوب می‌شوند.

یک نیمه هادی نوع p (نوع مثبت) زمانی تشکیل می‌شود که ژرمانیم یا سیلیکون همراه عنصری از گروه III که شامل فقط سه الکترون والانس است، باشد. در اینجا وقتی الکترون‌ها از اتمهای سیلیکون مجاور به اوربیتال خالی اتم ناخالصی جهش کنند، حفره‌ها ایجاد شوند. توجه کنید که این فرآیند یک بار منفی را به اتمهای گروه III می‌دهد. حرکت حفره‌ها از اتم سیلیکون به اتم سیلیکون، چنانکه

اتصال حرکت کرده و بنابراین ایجاد جریان می‌کنند. نتیجتاً هدایت در جهت‌گیری معکوس نوعاً 10^{-6} تا 10^{-8} بار کمتر از هدایت در جهت‌گیری مستقیم است.

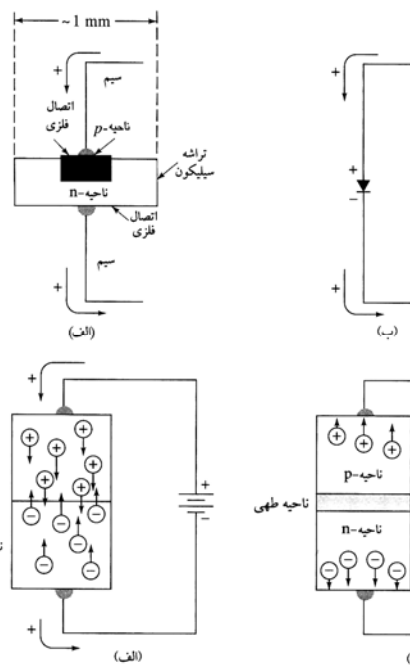
منحنی‌های جریان - ولتاژ برای دیودهای نیمه هادی

شکل ۲-۱۶ رفتار یک دیود نیمه هادی نوعی را در جهت‌گیری مستقیم و معکوس نشان می‌دهد. در جهت‌گیری مستقیم جریان تقریباً بطور نمایی با ولتاژ افزایش می‌یابد؛ اغلب جریان چندین آمپر حاصل می‌شود. برای دیود ژرمانیم در جهت‌گیری معکوس، جریانی در حد دهها میکروآمپر در دامنه قابل توجهی از ولتاژ مشاهده می‌شود. این جریان برای دیود سیلیکون حدود دهها نانوآمپر است. در این ناحیه از منحنی مشخصه دیود، رسانایی توسط حاملهای اقلیت می‌باشد. معمولاً این جریان معکوس اهمیتی ندارد.



شکل ۲-۱۶ مشخصات جریان - ولتاژ در یک دیود نیمه هادی سیلیکون (توجه: جهت شفاف بودن مطلب، جریان کم در زیر جهت‌گیری معکوس قبل از تجزیه، مبالغه شده است).

با افزایش پتانسیل معکوس به هر حال، نهایتاً یک ولتاژ تجزیه می‌رسد که در آن جریان معکوس به سرعت به مقادیر خیلی زیادی افزایش می‌یابد. در اینجا، حفره‌ها و الکترونهای تشکیل شده توسط شکستن پیوندهای کووالانسی نیمه هادی، توسط میدان شتاب داده می‌شوند تا در اثر برخورد، الکترونها و حفره‌های اضافی تولید کنند. بعلاوه، تونل زنی کوانتوم مکانیکی الکترونها از طریق لایه اتصال به بهبود رسانایی کمک می‌کند. این رسانایی اگر به حد کافی بزرگ باشد ممکن است منجر به گرم شدن و صدمه دیدن دیود شود. ولتاژی



شکل ۲-۱۵ یک دیود اتصال pn

(الف) ظاهر فیزیکی یک نوع تشکیل شده از طریق نفوذ یک ناخالصی نوع p به داخل نیمه هادی نوع n (ب) نماد برای یک دیود، (ج) جریان تحت جهت‌گیری روبه جلو، (د) مقاومت در برابر جریان تحت جهت‌گیری معکوس.

شکل ۲-۱۵ ج مکانیزم رسانایی بار را زمانی که ناحیه p نسبت به ناحیه n با اعمال پتانسیل مثبت شود، نشان می‌دهد؛ این فرآیند جهت‌گیری رو به جلو نامیده می‌شود.

در اینجا حفره‌ها در ناحیه p و الکترونهای اضافی در ناحیه n که اکثریت حاملها در دو ناحیه هستند، تحت تأثیر میدان الکتريکی به سمت اتصال حرکت می‌کنند که در آنجا ترکیب شده و بنابراین یکدیگر را از بین می‌برند. پایانه منفی باتری، الکترونهای جدیدی را به داخل ناحیه n تزریق می‌کند که بعد می‌تواند رسانایی را ادامه دهد. از طرف دیگر پایانه مثبت، الکترونها را از ناحیه p استخراج کرده لذا حفره‌های جدیدی ایجاد می‌کند که برای مهاجرت به سمت اتصال pn آزادند.

زمانی که دیود دارای جهت‌گیری معکوس است چنانکه در شکل ۲-۱۵ د می‌باشد، حاملهای اکثریت در هر ناحیه از محل اتصال دور می‌شوند تا لایه خالی را که بار خیلی کمی دارد تشکیل دهند. فقط غلظت کوچکی از حاملهای اقلیت موجود در هر ناحیه به سمت

آرایش امکان دارد:

یک نشر کننده مشترک، یک جمع کننده مشترک، و یک پایه مشترک. آرایش نشر کننده مشترک وسیعترین کاربرد را در تقویت داشته و ما جزئیات آن را بررسی خواهیم کرد.

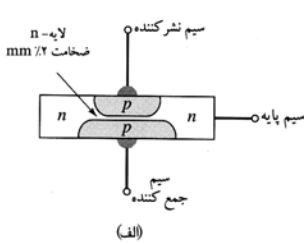
شکل ۲-۱۸ تقویت جریان ایجاد شده را زمانی که یک ترانزیستور *pnp* در شیوه نشر کننده مشترک به کار رفته، نشان می دهد. در اینجا یک جریان ورودی *dc* کوچک I_B که باید تقویت شود. در مدار نشر کننده - پایه وارد می شود، در شکل این جریان بعنوان جریان پایه نامیده شده. همانطور که بعداً نشان خواهیم داد، یک جریان *ac* نیز می تواند با سوار کردن آن بر روی I_B تقویت شود. بعد از تقویت، جزء *dc* می تواند توسط یک صافی شود.

مدار نشر کننده - جمع کننده از یک منبع نیروی *dc* نیرو می گیرد، مثل موردی که در بخش ۲ د تشریح شده است. نوعاً، منبع تغذیه پتانسیلی بین ۹ تا ۳۰ ولت در اختیار می گذارد.

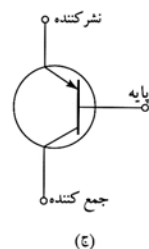
توجه کنید، چنانکه توسط پهنای پیکانها نشان داده شده است، جریان جمع کننده یا جریان خروجی I_C بطور قابل توجهی بزرگتر از جریان ورودی پایه I_B می باشد. بعلاوه مقدار جریان جمع کننده مستقیماً متناسب است با جریان ورودی. یعنی،

$$I_C = \beta I_B (50-2)$$

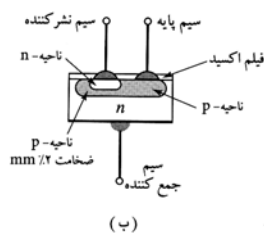
ثابت تناسب β ، بهره جریان است، و میزانی از تقویت جریان است که رخ داده. مقدار β برای ترانزیستورهای نوعی بین ۲۰ تا ۲۰۰ می باشد.



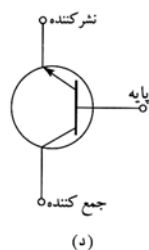
(الف)



(ع)



(ب)



(د)

که در آن تحت جهت گیری معکوس افزایش تیزی در جریان رخ می دهد، ولتاژ تجزیه زینر^۱ نامیده می شود. با کنترل ضخامت و نوع لایه اتصال، ولتاژ تجزیه زینر که دامنه ای بین چند ولت تا چند صد ولت دارد، می تواند تشخیص داده شود. چنانکه خواهیم دید، این پدیده دارای کاربردهای عملی مهمی در منابع ولتاژ دقیق می باشد.

ج-۳ ترانزیستورها

ترانزیستور یک وسیله تقویت و کلید زنی نیمه هادی اساسی است. این وسیله همان عمل را انجام می دهد که لوله خلاء تقویت کننده قدیمی، یعنی یک سیگنال خروجی در اختیار می گذارد که مقدار آن معمولاً خیلی بیشتر از سیگنال ورودی می باشد. چندین نوع ترانزیستور در دسترس می باشند؛ دو نوع از متداولترین آنها، ترانزیستور اتصال دو قطبی و ترانزیستور اثر میدان، در اینجا بررسی می شوند.

ترانزیستورهای اتصال دو قطبی

ترانزیستورهای اتصال دو قطبی (*BJT*) را ممکن است بصورت دو دیود نیمه هادی پشت به پشت به پشته نمایش داد. ترانزیستور *pnp* شامل یک ناحیه نوع *n* بسیار نازک ساندویچ شده بین دو ناحیه نوع *p* - می باشد، نوع *npn* ساختمان معکوس دارد. ترانزیستورهای اتصال دو قطبی به طرق مختلف ساخته می شوند، که دو تا از آنها در شکل ۲-۱۷ نشان داده شده اند. نماد ترانزیستورهای نوع *npn* و *pnp* در سمت راست شکل ۲-۱۷ نشان داده شده اند. در این نمادها، پیکان بر روی اتصال نشر کننده جهت جریان مستقیم را مشخص می کند. بنابراین در نوع *pnp* یک جریان مستقیم از نشر کننده به پایه وجود دارد، در مورد نوع *npn* حالت عکس صادق است.

مشخصات الکتریکی یک ترانزیستور اتصال دو قطبی^۲

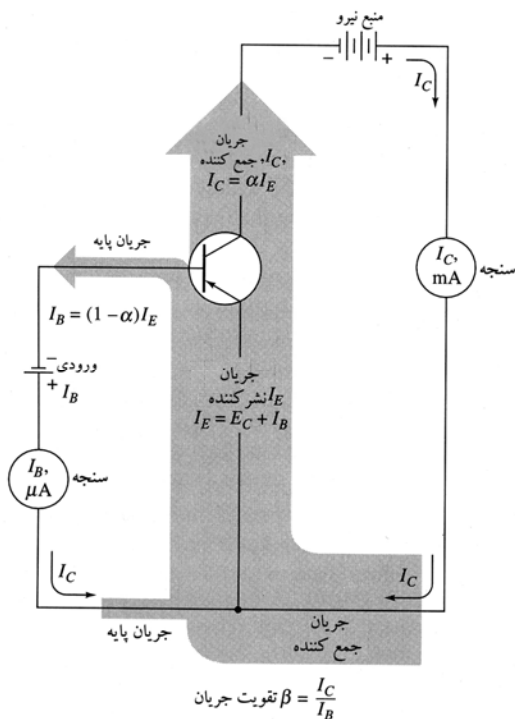
بحث زیر بر روی رفتار یک ترانزیستور اتصال دو قطبی نوع *pnp* متمرکز خواهد بود. باید خاطر نشان کرد که نوع *npn* بصورت مشابه عمل می کند جز اینکه جهت جریان برخلاف جهت جریان در ترانزیستور نوع *pnp* است. زمان استفاده از ترانزیستور در یک وسیله الکترونیکی، یکی از پایانه های آن به ورودی، دیگری به خروجی و پایانه سوم به هر دو متصل شده و پایانه مشترک است. بنابراین سه

شکل ۲-۱۷ دو نوع ترانزیستور اتصال دو قطبی

مسطح. (الف) نوع *PnP* و (ب) نوع *npn*. نمادها برای *BJT* نوع *pnp* و

۱- Zener
۲- BJT

تعداد مضرب ثابتی از تعداد الکترونهاي فراهم شده توسط جريان ورودی پایه می‌باشد. لذا وقتی جريان پایه دو برابر شود، جريان جمع کننده نیز دو برابر می‌شود. این رابطه منجر به تقویت جريان نشان داده شده توسط یک ترانزیستور دو قطبی می‌شود.



شکل ۱۸-۲ جريان در یک مدار نشر کننده متداول با یک ترانزیستور. عموماً

$$\beta = 0.995 \text{ تا } 200 \text{ و } \alpha = 0.995 \text{ تا } 200$$

ترانزیستورهای اثر میدان

انواع مختلفی از ترانزیستورهای اثر میدان، تاکنون توسعه یافته و بطور وسیعی در مدارهای مجتمع بکار رفته‌اند، یکی از اینها ترانزیستور اثر میدان ورودی^۱ عایق شده است که نتیجه نیاز به افزایش مقاومت ورودی تقویت کننده‌ها است. ترانزیستورهای اثر میدان ورودی عایق شده نوعی دارای امپدانس‌های ورودی از ۹۱۰ تا ۱۶۱۰ اهم می‌باشند. این نوع ترانزیستور معمولاً MOSFET^۲ نامیده می‌شوند، که مخفف ترانزیستور اثر میدان نیمه هادی اکسید فلز است.^۳ شکل ۱۹-۲ الف ترکیب ساختمانی یک MOSFET کانال n را نشان می‌دهد.

npn به ترتیب در (ج) و (د) نشان داده شده‌اند.

قابل توجه است که برای شروع رسانش بین نشر کننده و جمع کننده، باید BJT جريان را به داخل پایه یا از پایه به خارج منتقل نماید. در نتیجه مدارهای تشکیل شده از BJT جريان چشمگیری از منبع خود در طی کارکرد می‌کشند. بزودی نوع دیگری از ترانزیستور را بنام ترانزیستور اثر میدان که برای کار کردن تقریباً به جريان صفر نیاز دارد شرح خواهیم داد.

مکانیزم تقویت با یک ترانزیستور اتصال دو قطبی

باید توجه داشت که فصل مشترک نشر کننده - پایه ترانزیستور نشان داده شده در شکل ۲-۱۸ ایجاد یک اتصال pn جهت‌گیری مستقیم می‌کند با رفتاری مشابه چیزی که در شکل ۲-۱۵ ج نشان داده شده است. در حالیکه ناحیه پایه - جمع کننده یک اتصال pn جهت‌گیری معکوس می‌باشد مشابه مداری که در شکل ۲-۱۵ نشان داده شده است. تحت جهت‌گیری مستقیم، وقتی یک سیگنال ورودی در حد چند دهم ولت اعمال شود، یک جريان قابل توجه I_B ایجاد می‌شود (شکل ۲-۱۶ را ببینید).

برعکس، تحت جهت‌گیری معکوس، چنانکه در شکل ۲-۱۵ د نشان داده شده است. جريان در اتصال جمع کننده - پایه توسط مهاجرت حاملهای اکثریت از اتصال دور می‌شود.

در ساخت ترانزیستور pnp ناحیه p عمداً خیلی بیشتر از ناحیه n ناخالصی دارد. در نتیجه غلظت حفره‌ها در ناحیه p ۱۰۰ بار بیشتر از غلظت الکترونهاي متحرک در لایه n است. بنابراین کسر جريان حمل شده توسط حفره‌ها احتمالاً ۱۰۰ برابر کسر جريان حمل شده توسط الکترونها باشد.

دوباره برگردیم به شکل ۲-۱۸، در اتصال نشر کننده نوع p، حفره‌ها از طریق خارج کردن الکترونها توسط دو منبع dc به نامهای سیگنال علامت ورودی و منبع تغذیه تشکیل می‌شوند. این حفره‌ها سپس می‌توانند به داخل یک ناحیه پایه نوع n خیلی نازک حرکت کنند که بعضی با الکترونهاي منبع ورودی ترکیب شده و جريان پایه I_B نتیجه می‌شود. به هر حال اکثریت حفره‌ها از داخل لایه باریک پایه رانده شده و جذب اتصال منفی جمع کننده می‌شوند در آنجا با الکترونهاي حاصل از منبع نیرو ترکیب شده و جريان جمع کننده I_C حاصل می‌شود.

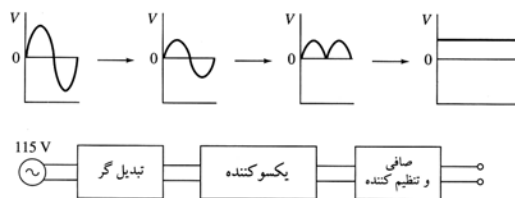
باید تصدیق کرد که مقدار جريان جمع کننده توسط تعداد حفره‌های حامل جريان موجود در نشر کننده تعیین می‌شود. به هر حال این

۱- gate.

۲- در متن اصلی MOSFET نگاشته شده که به این ترتیب تصحیح می‌شود.

۳- MOSFET = Metal oxide semiconductor field - effect transistor.

طراحی شده‌اند. یک *MOSFET* کانال n از این نوع از نظر ساختمان مشابه ترانزیستور نشان داده شده در شکل ۲-۱۹ الف می‌باشد. به استثناء اینکه دو ناحیه n اکنون توسط یک کانال باریک از نیمه هادی نوع n متصل شده‌اند. کاربرد ولتاژ منفی در *VDS* الکترون‌ها را به خارج کامل دفع کرده و لذا هدایت در داخل کانال را کاهش می‌دهد. اشاره به این نکته مهم است که در ورودی وسیله *MOSFET* واقعا جریان صفر نیاز است تا هدایت بین منبع و محل تخلیه شروع شود. این نیاز نیروی کم برخلاف نیاز نیروی زیاد در ترانزیستورهای *BJT* می‌باشد. مصرف نیروی کم مشخص در وسایل اثر - میدان آنها را برای کاربردهای قابل حمل که نیاز به نیروی باتری دارند، مطلوب می‌سازد.



شکل ۲-۲۰ نمودار اجزاء یک منبع نیرو و اثر آنها را بر روی یک سیگنال نشان می‌دهد.

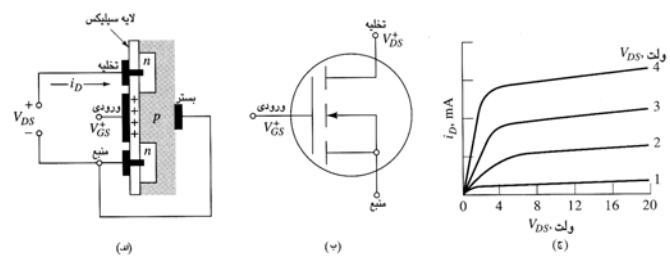
۴-۵ منابع نیرو و تنظیم کننده‌ها

عموما، دستگاه‌های آزمایشگاهی برای کار افتادن تقویت کننده‌ها و دیگر اجزاء فعال نیاز به نیروی *dc* دارند. به هر حال مناسبترین منبع نیروی الکتریکی، *ac* ۱۱۰ ولت ایجاد شده توسط شرکت‌های مصارف عمومی می‌باشد.

همانطور که در شکل ۲-۲۰ نشان داده شده، واحدهای منبع نیروی آزمایشگاهی پتانسیل را از منبع خانگی کمتر یا بیشتر نموده، جریان را یکسو می‌کنند طوری که دارای قطبیت تکی می‌شود و نهایتا خروجی را ملایم می‌کنند تا سیگنالی بدهند که تقریبا *dc* است. اکثر منابع نیرو همچنین محتوی یک تنظیم کننده ولتاژ هستند که ولتاژ خروجی را در یک سطح ثابت مطلوب حفظ می‌کند.

۴-۱-۵ مبدل‌ها

جریان متناوب توسط یک مبدل نیرو چنانکه در شکل ۲-۲۱ بطور شمایی نشان داده شده است، به راحتی افزایش یا کاهش می‌یابد. میدان مغناطیسی متغیر تشکیل شده در اطراف سیم پیچ اولیه در این وسیله از جریان متناوب ۱۱۰V، جریانی متناوب در سیم



شکل ۲-۱۹. یک *MOSFET* با شیوه افزایش کانال n - (الف) ساختمان، (ب) نماد، (ج) مشخصات عملکردی.

در اینجا دو ناحیه n عایق شده در یک بستر نوع p تشکیل شده‌اند. پوشش هر دو ناحیه یک لایه نازکی از عایق قوی دی اکسید سیلیکون است که ممکن است با یک لایه محافظ نیتريد سیلیکون دوباره پوشانده شود. از داخل این لایه‌ها سوراخهایی ایجاد می‌شوند طوری که اتصال الکتریکی می‌تواند با دو ناحیه n برقرار شود. دو اتصال اضافی تشکیل می‌شوند، یکی به بستر و دیگری به سطح لایه عایق. اتصال با لایه عایق، ورودی (*gate*) نامیده می‌شود چون پتانسیل این اتصال تعیین کننده مقدار جریان مثبت بین محل تخلیه و منبع می‌باشد. توجه کنید که لایه عایق دی اکسید سیلیکون بین سیم دروازه و بستر علت امپدانس بالا در یک *MOSFET* می‌باشد.

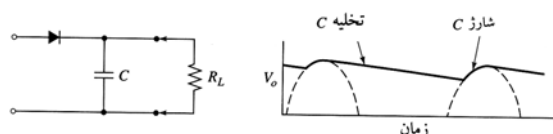
در غیاب یک پتانسیل دروازه، بین محل تخلیه و منبع هیچ جریانی ایجاد نمی‌شود. چون یکی از دو اتصال *pn* بدون توجه به علامت پتانسیل *VDS*، همیشه جهت گیری معکوس می‌باشد. وسایل *MOSFET* برای کار در یک شیوه افزایش یا یک مد کاهش طراحی شده‌اند. نوع اول در شکل ۲-۱۹ الف نشان داده شده. که در آن افزایش جریان بوسیله اعمال یک پتانسیل مثبت به ورودی حاصل می‌شود. همانطور که نشان داده شده، این پتانسیل مثبت یک کانال بستر منفی را بلافاصله زیر لایه سیلیکون دی اکسید که الکترون ورودی را می‌پوشاند، القاء می‌کند. با افزایش ولتاژ ورودی *VGS* تعداد بارهای منفی در اینجا و بنابراین جریان افزایش می‌یابد. بزرگی این اثر در شکل ۲-۱۹ ج نشان داده شده. همچنین وسایل *MOSFET* شیوه افزایش کانال p - در دسترس هستند که در آنها نواحی p و n نسبت به شکل ۲-۱۹ الف معکوس شده‌اند.

وسایل *MOSFET* شیوه کاهش برای هدایت در غیاب یک ولتاژ ورودی و برای اینکه با اعمال پتانسیل به ورودی غیر هادی شوند،

شکل ۲-۲۲ سه نوع یکسو کننده

۲-۵۲ یکسو کننده‌ها و صافی‌ها

شکل ۲-۲۲ سه نوع یکسو کننده و شکل سیگنالهای خروجی آنها را نشان می‌دهد. هر یک از آنها با استفاده از دیودهای نیمه هادی (بخش ۲-۲) جریان در یک جهت را مسدود نموده در حالیکه در جهت مخالف را اجازه عبور می‌دهد. برای به حداقل رساندن نوسانات نشان داده شده در شکل ۲-۱۴، معمولاً با وارد کردن یک خازن بزرگ بطور موازی با بار R_L چنانکه در شکل ۲-۲۳ نشان داده شده، خروجی یکسو کننده صاف می‌شود. بار دار شدن و تخلیه خازن تغییرات را به یک موج نسبتاً کوچک کاهش می‌دهد. در بعضی کاربردها، یک سلف (القاگر) بطور سری و یک خازن بطور موازی با بار بعنوان صافی عمل می‌کنند؛ این نوع صافی بخش L نامیده می‌شود. با انتخاب مناسب ظرفیت و القاء، موج پیک تا پیک می‌تواند به محدوده میلی ولت یا پائین‌تر کاهش یابد.



شکل ۲-۲۳ صاف کردن خروجی حاصل از یکسو کننده

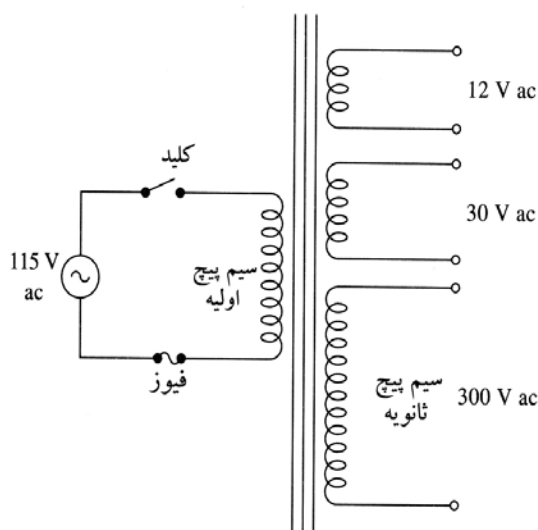
۳-۵۲ تنظیم کننده‌های ولتاژ

اغلب، اجزاء دستگاه نیاز به ولتاژ dc دارند که ثابت بوده و مستقل از جریان است. تنظیم کننده‌های ولتاژ این نیاز را برآورده می‌کنند.

شکل ۲-۲۴ یک تنظیم کننده ولتاژ ساده را نشان می‌دهد که از دیود «زنر» استفاده می‌کند، یعنی یک اتصال pn که برای کار در شرایط تجزیه طراحی شده، به نماد خاص برای این نوع دیود توجه کنید. در شکل ۲-۱۶ دیده می‌شود که در یک جهت‌گیری معکوس معین، یک دیود نیمه هادی دچار تجزیه ناگهانی می‌شود که در نتیجه جریان با شیب تندی تغییر می‌کند. برای مثال تحت شرایط تجزیه، یک تغییر جریان ۲۰ الی ۳۰ میلی آمپر ممکن است از یک تغییر پتانسیل ۰/۱۷ یا کمتر حاصل شود. دیودهای «زنر» با ولتاژهای تجزیه مشخص بطور تجاری در دسترس هستند. برای تنظیم کننده‌های ولتاژ، یک دیود «زنر» انتخاب می‌شود طوری که همیشه در شرایط تجزیه کار می‌کند؛ یعنی ولتاژ ورودی که باید

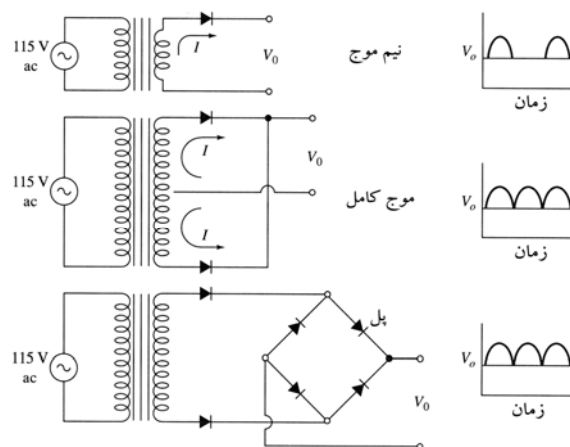
پیچهای ثانویه القاء می‌کند؛ پتانسیل V_x در عرض هر یک بصورت زیر داده می‌شود:

$$V_x = 115 \times \frac{N_2}{N_1}$$



شکل ۲-۲۱

در اینجا N_1 و N_2 به ترتیب تعداد دورها در سیم پیچهای ثانویه اولیه می‌باشند. منابع نیرو با چندین شیر مثل شکل ۲-۲۱، بطور تجاری در دسترس هستند، ممکن است ترکیبات ولتاژ زیادی بدست آیند. لذا یک مبدل تنها می‌تواند بعنوان منبع نیرو برای چندین مؤلفه یک دستگاه عمل کند.



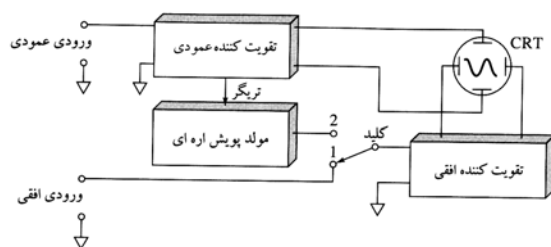
ابتدای این فصل مورد بحث قرار گرفته است.

۵۲ وسایل قرائت

در این بخش، سه نوع وسیله متداول قرائت تشریح شده‌اند، بنام لوله اشعه کاتدی (CRT)، ثبات آزمایشگاهی، و واحد نمایش الفبایی عددی.

۵۲-۱ نوسان نماها

نوسان نما مفیدترین و فراگیرترین دستگاه آزمایشگاهی است که از یک لوله اشعه کاتدی بعنوان وسیله قرائت استفاده می‌کند. هر دو نوسان نماهای آنالوگ و دیجیتال ساخته شده‌اند. زمانی که پردازش علامت پیشرفته نیاز باشد، نوسان نماهای دیجیتال بکار می‌روند. نوسان نماهای آنالوگ عموماً ساده‌تر از نوع دیجیتال بوده، معمولاً قابل حمل، کاربری ساده داشته و ارزاتر (حدود ۵۰۰ دلار) هستند، ما بحث خود را محدود به دستگاههای آنالوگ ساده خواهیم کرد. نمودار شمائی در شکل ۲-۲۵ مهمترین اجزاء چنین دستگاهی و مسیر سیگنال برای اجزاء مختلف را نشان می‌دهد. نمایش واقعی توسط یک لوله اشعه کاتدی فراهم می‌شود.



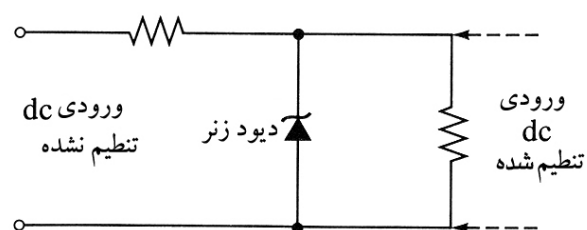
شکل ۲-۲۵ اجزاء نوسان نما آنالوگ پایه.

لوله‌های اشعه کاتدی

شکل ۲-۲۶ یک نمودار شمائی است که مولفه‌های اصلی یک لوله اشعه کاتدی را نشان می‌دهد. در اینجا، نمایش به وسیله برهمکنش الکترونها بصورت پرتو متمرکز شده با یک پوشش فسفرسان بر روی کل سطح منحنی لوله تخلیه شده، تشکیل می‌شود. پرتو الکترون در یک کاند گرم شده تشکیل می‌شود که در یک پتانسیل پایه نگه داشته می‌شود. یک آرایه متمرکز کننده آندی چندتایی تولید یک پرتو باریک از الکترونها می‌کند که از طریق یک پتانسیل چندین هزار ولتی شتاب گرفته‌اند. درغیاب سیگنالهای ورودی، پرتو بصورت یک نقطه کوچک روشن در مرکز پرده ظاهر می‌شود.

تنظیم شود بزرگتر از ولتاژ تجزیه است. برای تنظیم کننده نشان داده شده در شکل ۲-۲۴، افزایش ولتاژ منجر به افزایش در جریان داخل دیود می‌شود. به هر حال به علت تندی شیب منحنی جریان - ولتاژ در ناحیه تجزیه (شکل ۲-۱۶) افت ولتاژ در سرتاسر دیود و لذا بار، واقعا ثابت است.

تنظیم کننده‌های مدار مجتمع جدید، برای فراهم نمودن ولتاژهای مرجع پایدار، خواص دیودهای «زنر» را بکار می‌گیرند. این ولتاژها به ضمیمه مدار بازخورد و ترانزیستورهای قدرت برای تنظیم کننده‌های مدار مجتمع جدید، برای فراهم نمودن ایجاد منابع تغذیه تنظیم شده تا 10 mV یا بهتر بکار می‌روند. چنین تنظیم کننده‌هایی سه پایانه دارند: ورودی، خروجی و مدار مشترک. خروجی خام از یک منبع تغذیه یکسو و صاف شده ممکن است به تنظیم کننده ولتاژ سه پایانه‌ای وصل شود تا منبعی تولید کند که نسبت به نوسانات دما پایدار بوده و اینکه وقتی جریان بار بیش از ماکزیمم شد که نوعاً در اکثر مدارها یک آمپر است، بطور خودکار خاموش شود. تنظیم کننده‌های ولتاژ مدار مجتمع در منابع تغذیه اکثر دستگاههای الکتریکی یافت می‌شوند. این نوع تنظیم کننده‌ها دارای اشکال اتلاف قابل توجه توان می‌باشند، به این ترتیب با ازدیاد کامپیوتر و دستگاههای دیگر الکترونیکی، تنظیم کننده‌های کارآمدتر مطلوب شده‌اند.



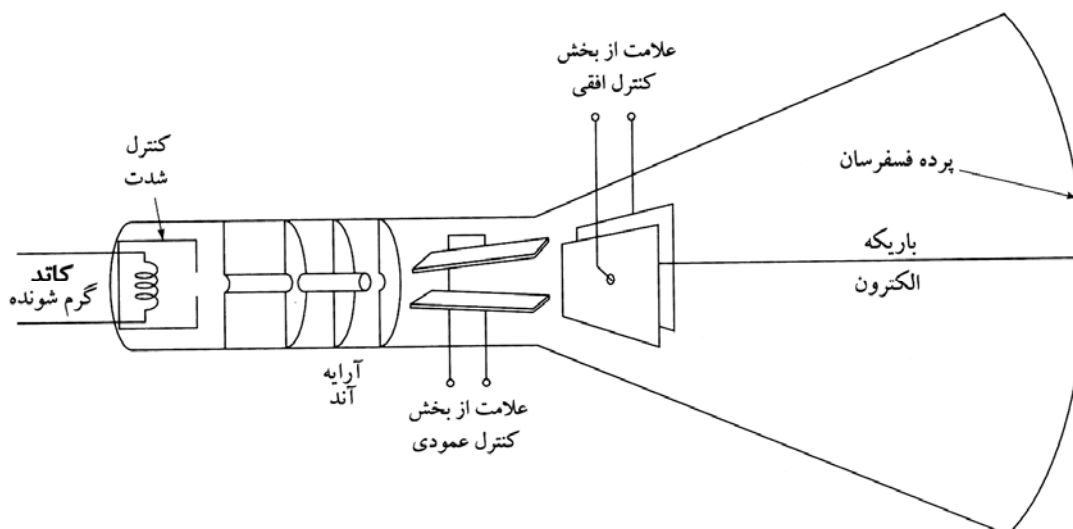
شکل ۲-۲۴

راه حل این مشکل ظهور تنظیم کننده‌های کلید زنی^۱ است که اجازه بار شدن تغذیه را در زمان مورد نیاز می‌دهند در حالی که ولتاژ را ثابت نگه می‌دارند. اکثر منابع تغذیه در کامپیوترها محتوی تنظیم کننده‌های کلیدی هستند.

جزئیات عملکرد منابع تغذیه کلیدی خارج از محدوده بحث می‌باشد، ولی اصول کارکرد آنها در مراجع عمومی داده شده که در

۱- Feedback.

۲- Swithing regulators.



شکل ۲-۲ شمای یک لوله اشعه کاتدی

توسط یک سیگنال خارجی به جای سیگنال داخلی دنداندار، رانده شود. در این شیوه عملیاتی، نوسان نما یک ترسیم کننده $X - Y$ می شود که رابطه تابعی بین دو سیگنال ورودی را نمایش می دهد.

کنترل تریگر^۱

به منظور آشکار سازی یک سیگنال تکراری مثل یک موج سینوسی، بطور ثابت روی پرده، باید هر جاروب در یک جای یکسان بر روی پروفیل سیگنال شروع شود، برای مثال، در یک ماکزیمم، در یک می نیموم، عبور صفر، یا یک تغییر ناگهانی در سیگنال. همزمان سازی معمولاً توسط مخلوط کردن قسمتی از سیگنال آزمایشی با سیگنال جاروب انجام می شود، طوری که یک میخ ولتاژ برای هر ماکزیمم یا مضربی از آن تولید شود. سپس این میخ برای راه انداختن جاروب عمل می کند. لذا شکل موجی می تواند بصورت تصویری بی حرکت بر روی پرده مشاهده شود.

نوسان نماها در انواع نمایش و کاربردهای تشخیصی، بسیار مفید هستند. آنها ممکن است برای مشاهده پروفیل زمان سیگنالها از مبدلها، برای مقایسه روابط بین انواع اشکال موجی مکرر در مدارهای پردازش سیگنال آنالوگ، یا برای نشان دادن نویز با فرکانس بالا یا سیگنالهای دیگر مورد علاقه که نمی تواند با استفاده از DMM یا وسایل اندازه گیری dc دیگر مشاهده شوند، بکار روند. نوسان نما

صفحه های کنترل کننده افقی و عمودی

سیگنالهای ورودی به دو سری صفحه اعمال می شوند، که یکی از آنها پرتو را به طور افقی و دیگری به طور عمودی منحرف می کند. بنابراین، امکان نمایش یک نمودار $X - Y$ از دو سیگنال مرتبط روی سطح لوله اشعه کاتدی (CRT) وقتی که کلید در شکل ۲-۲۵ در وضعیت ۱ باشد، وجود دارد. چون پرده فسفرسان است، حرکت نقطه بصورت یک لکه پیوسته نورانی ظاهر می شود که بعد از مدت کوتاهی کمرنگ می شود.

متداولترین راه کارکرد لوله اشعه کاتدی این است که باعث جاروب متناوب نقطه با سرعتی ثابت در طول محور افقی مرکزی لوله توسط اعمال یک سیگنال جاروب دنداندار به صفحات انحراف افقی، شود. زمانی که کلید در شکل ۲-۲۵ به وضعیت ۲ حرکت کند، نوسان نما ممکن است به این ترتیب عمل کند. وقتی به این شکل کار کند، محور افقی نمایش مربوط به زمان است. اعمال یک سیگنال متناوب به صفحات نمایش عمودی یک نمایش موجی شکل از سیگنال تناوبی را فراهم می کند. اکثر نوسان نماهای آنالوگ سرعتهای جاروبی در محدوده $1 \mu s/Cm$ تا $1 ns/Cm$ دارند. معمولاً سرعت جاروب می تواند با ضریب ۱۰ کم شود تا وقتی که سرعت در محدوده ثانیه بر سانتیمتر شود.

بخش کنترل افقی اکثر نوسان نماها، اگر مطلوب باشد، می تواند

^۱ - Trigger control.

می‌چرخد (روتور) ۲. یکی از اینها، مثلاً روتور از خط ۱۱۰ ولت نیرو می‌گیرد و لذا یک میدان مغناطیسی همراه با آن می‌باشد که پیوسته نوسان می‌کند. از طرف دیگر خروجی از تقویت کننده ac به سیم پیچ‌های استاتور خورنده می‌شود. میدان مغناطیسی القاء شده در اینجا با میدان روتور برهمکنش نموده و باعث چرخش روتور می‌شود. جهت حرکت بستگی دارد به فاز جریان استاتور نسبت به جریان روتور، فاز جریان استاتور به هر حال به اندازه 180° درجه تفاوت دارد بسته به اینکه آیا V_x بزرگتر یا کوچکتر از سیگنال V_{ref} است. بنابراین سیگنال تفاوت تقویت شده می‌تواند موجب راندن مکانیزم خود مهار به وضعیت صفر از هر جهت شود.

در اکثر ثباتهای آزمایشگاهی، کاغذ با یک سرعت ثابت حرکت می‌کند. لذا نموداری از شدن سیگنال بصورت تابعی از زمان بدست می‌آید. چون کاغذ ثبات از یک نوار بلند، یا یک باریکه تغذیه می‌شود، این نوع ثبات آزمایشگاهی یک ثبات نگاره باریکه نامیده می‌شود. در ثباتهای $X-Y$ ، کاغذ بصورت یک صفحه تک سوار شده بر روی یک بستر مسطح، ثابت می‌شود، کاغذ توسط یک بازو که در طول محور X حرکت می‌کند به جلو رانده می‌شود. قلم در طول بازو در جهت Y حرکت می‌کند. حرکت بازو و حرکت قلم به ترتیب به ورودی‌های X و Y متصل هستند، لذا به هر دو اجازه تغییر پیوسته می‌دهد. اغلب ثباتهای این چنینی مجهز به دو قلم می‌باشند، بنابراین اجازه ترسیم دو تابع را بر روی محور Y می‌دهند. مثالی از این کاربرد در کروماتوگرافی است که در آن رسم خروجی آشکار ساز بصورت تابعی از زمان و نیز انتگرال زمان این خروجی مطلوب است. در یک روش جایگزین یک ثبات دو قلمی برای نمایش خروجی‌های دو آشکار ساز مختلف که سیال خروجی از ستون کروماتوگرافی یکسان را نمایش می‌دهند، بکار برده می‌شود.

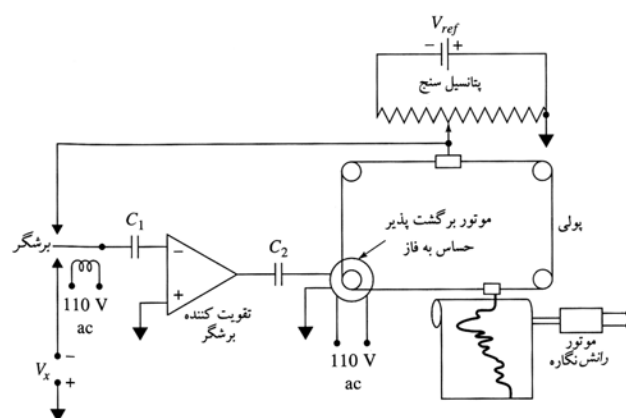
یک ثبات نگاره باریکه آزمایشگاهی جدید دارای چندین سرعت نگاره است که نوعاً بین 0.1 تا 20 سانتیمتر بر دقیقه می‌باشد. اکثراً امکان انتخاب چندین محدوده ولتاژ از 1mV تا چندین ولت را دارند. عموماً دقت این دستگاهها به اندازه چند دهم درصد از مقیاس کامل است.

ثبات‌ها و ترسیم کننده‌های دیجیتالی بطور وسیعی بکار رفته‌اند. در اینجا قلم ممکن است توسط یک موتور مرحله‌ای که نسبت به سیگنالهای ولتاژ دیجیتالی شده پاسخ می‌دهد، از طریق برگرداندن کسر دقیقی از چرخش برای هر تپ ولتاژ رانده شود. ترسیم

یک وسیله ضروری تشخیص در آزمایشگاه دستگاهی می‌باشد.

۲-۵۲ ثبات‌ها [۲]

ثبات آزمایشگاهی نوعی، مثالی از یک سیستم خود مهار، یک وسیله نوع صفر که دو علامت را مقایسه کرده و سپس یک تنظیم مکانیکی انجام می‌دهد که اختلاف آنها را به صفر می‌رساند، یعنی یک سیستم خودمهار بطور پیوسته در جستجوی شرایط صفر است.



شکل ۲-۲۷ شمای یک پتانسیومتر ثبات خود توازن

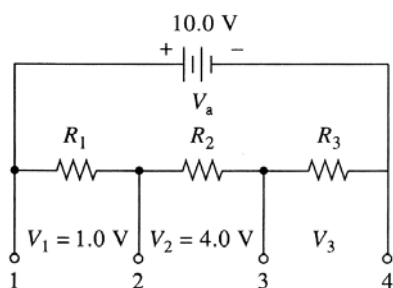
در ثبات آزمایشگاهی که در شکل ۲-۲۷ بطور شمایی نشان داده شده، سیگنالی که باید ثبت شود V_x ، بطور پیوسته با خروجی از یک پتانسیومتر که به وسیله یک سیگنال مرجع V_{ref} تغذیه می‌شود، مقایسه می‌گردد. در اکثر ثباتهای جدید، سیگنال مرجع توسط یک مدار مرجع ولتاژ دیود «زنر» از نوع جبران دمایی که یک پتانسیل مرجع پایدار فراهم می‌کند، تولید می‌شود. هر اختلاف پتانسیل بین خروجی پتانسیومتر و V_x توسط یک برشگر الکترونیکی به یک سیگنال ac 60 دور تبدیل می‌شود، سپس سیگنال حاصل به حد کافی تقویت می‌شود تا یک موتور الکتریکی فاز - حساس کوچک را که بطور مکانیکی به قلم ثبات و اتصال سُر خورنده پتانسیومتر (توسط یک قرقره در شکل ۲-۲۷) وصل شده، فعال کند. جهت چرخش موتور طوری است که اختلاف پتانسیل بین پتانسیومتر و V_x به صفر کاهش می‌یابد، که باعث ایستادن موتور می‌شود. برای درک کنترل جهت موتور، مهم است توجه کنیم که یک موتور برگشت پذیر ac دو سری سیم پیچ دارد که یکی از آنها ثابت بوده (استاتور) ۱ و دیگری

سل نوری نازک و مسطح که دیواره‌های آن با یک فیلم رسانا پوشش داده شده، وجود دارد. اعمال یک میدان الکتریکی به ناحیه خاصی از سل باعث تغییری در ترتیب مولکولها در بلور مایع و متعاقباً تغییر در ظاهر نوری آن می‌شود [۳]. هم LED و هم LCD در بسیاری از انواع مختلف دستگاهها کاربرد دارد و هر نوع وسیله قرائت الکترونیکی مزایای آن را دارد.

LCD ها به ویژه برای دستگاههایی که با باتری کار می‌کنند مفیدند چون مصرف برق خیلی کمی دارند، اما نه در نور خیلی شدید و نه در نور خیلی کم محیط، مفید نیستند. از طرف دیگر LED ها در نور کم محیط و همچنین در نور نسبتاً شدید قابل قرائت هستند، ولی به طور قابل توجهی توان بیشتری مصرف می‌کنند و لذا معمولاً در کاربردهایی که از باتری استفاده می‌کنند، بکار نمی‌روند.

۲ پرسشها و مسائل

۲-۱ در نظر بود که تقسیم کننده ولتاژ نشان داده شده در زیر سر هم شود. دو تا از هر یک از مقاومت‌های زیر در دسترس بودند: ۲۰۰Ω و ۱۰۰Ω و ۵۰Ω .



(الف) یک ترکیب مناسب از مقاومت‌ها را تشریح کنید که بتواند ولتاژهای نشان داده شده را بدهد.

(ب) افت IR در طول R_2 چه خواهد بود؟

(ج) چه جریانی از منبع کشیده خواهد شد؟

(د) چه توانی توسط مدار تلف شده است؟

۲-۲ به فرض برای مداری مشابه مسئله ۲-۱، $R_1 = 200\Omega$ ، $R_2 = 500\Omega$ ، $R_3 = 1000\Omega$ و $V_b = 15V$ باشد،

(الف) ولتاژ V_b را حساب کنید. (ب) اتلاف توان در مقاومت R_2 چه خواهد بود؟

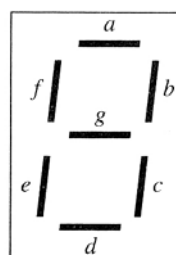
(ج) چه کسری از کل نیروی تلف شده توسط مدار در مقاومت R_2 پراکنده می‌شود؟

کننده‌های $X-Y$ کامپیوتری جدید اغلب برای حرکت دادن قلم، کاغذ و یا هر دو از موتورهای خود مهار dc جهت رسم نمودار داده‌ها از دستگاههای تجزیه‌ای استفاده می‌کنند.

هم چنین، چاپگرهای حرارتی مشابه آنهایی که در ماشینهای حساب وجود دارند ممکن است برای رسم داده‌ها بطور پیوسته و هم چنین برای فراهم کردن نتایج عددی چاپ شده مربوط به منحنی‌های رسم شده مختلف بکار روند.

۳-۵۲ نمایش‌های عددی - حرفی

خروجی از تجهیزات دیجیتالی به راحت‌ترین شکل برحسب اعداد اعشاری و حروف نمایش داده می‌شود، یعنی به شکل عددی - حرفی. وسیله قرائت هفت بخشی براساس این اصل می‌باشد که هر کاراکتر عددی - حرفی می‌تواند توسط روشن کردن یک ترکیب مناسب از هفت بخش چنانکه در شکل ۲-۲۸ نشان داده شده، ارائه شود. در اینجا برای مثال وقتی بخشهای a, c, g, f, a روشن شوند یک پنج تشکیل می‌شود؛ حرف c زمانی مشاهده می‌شود که بخشهای a, d, a, e, f نمایش داده شوند. احتمالاً متداولترین روش روشن کردن یک نمایش هفت بخشی این است که هر بخش بصورت یک دیود نشر کننده نور در آورده شود. یک LED نوعی شامل یک اتصال pn به شکل یکی از بخشها بوده و از گالیم آرسنید حاوی فسفر ساخته شده است.

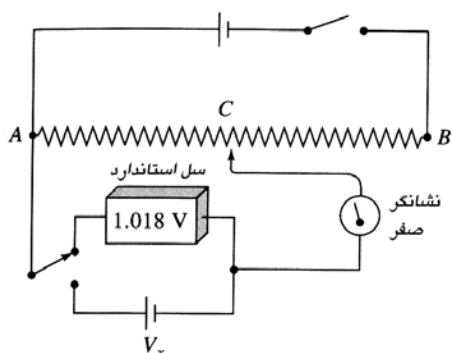


شکل ۲-۲۸

تحت جهت گیری مستقیم، اتصال تابش قرمز را بعنوان نتیجه ترکیب مجدد حاملهای اقلیت در ناحیه اتصال، تابش قرمز را نشر می‌کند. هر یک از هفت بخش به یک مدار منطقی رمز گشا وصل شده و به این ترتیب در زمان مناسب فعال می‌شود.

نمایشگرهای هفت - بخشی بلور - مایع یا LCD ها نیز بطور وسیعی بکار می‌روند. در اینجا مقدار کمی از یک بلور مایع در یک

مقاومت AB یک سیم لغزنده است که مقاومت آن مستقیماً متناسب با طول آن است. با سل استاندارد وستون $(1/0.18V)$ در مدار، وقتی اتصال C به موقعیت $84/3$ سانتی متر از نقطه A حرکت داده شود، نقطه صفر مشاهده می‌شود. وقتی سل وستون با ولتاژ مجهول جایگزین شود، نقطه صفر در $44/3$ سانتی متر مشاهده می‌شود. پتانسیل مجهول را محاسبه کنید.



۸-۲ نشان دهید که داده‌های ستون دوم جدول ۱-۲ صحیح هستند.
 ۹-۲ نشان دهید که داده‌های ستون دوم جدول ۲-۲ صحیح هستند.
 ۱۰-۲ جریان در یک مدار باید توسط اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل در طول یک مقاومت دقتی بطوری سری با مدار، تعیین شود.
 الف) اگر $1/0V$ با $50\mu A$ مطابق باشد، مقدار مقاومت برحسب اهم در مقاومت باید چقدر باشد؟

ب) برای اینکه مقدار خطا در اندازه‌گیری جریان کمتر از $1/0\%$ نسبی باشد، مقاومت وسیله اندازه‌گیری ولتاژ چقدر باید باشد؟
 ۱۱-۲ الکترولیز در یک جریان تقریباً ثابت می‌تواند با ترتیب زیر انجام شود:

منبع $90V$ شامل باتری های خشک است که می‌توان فرض کرد پتانسیلهای آنها برای مدت کوتاه ثابت باقی می‌ماند. در طی الکترولیز، به علت تخلیه گونه‌های یونی، مقاومت سل از 20Ω به 40Ω افزایش می‌یابد.

۱۲-۲ با فرض اینکه $V_B = 9/0V$ و $R = 0/5k\Omega$ باشد، محاسبات مسئله ۱۱-۲ را تکرار نمایید.

۱۳-۲ یک پتانسیل dc 24 ولت در طول یک مقاومت و خازن بطور سری اعمال شده. حساب کنید جریان را بعد از $0/00$ ، $0/010$ ، $0/010$ و $1/0$ ثانیه اگر مقاومت $10\mu\Omega$ و ظرفیت $20\mu F$ می‌باشد.

۳-۲ برای مداری شبیه آنکه در مسئله ۱-۲ الف) نشان داده شده، $V_B = 12/0V$ و $R_1 = 1/00k\Omega$ ، $R_2 = 2/50k\Omega$ ، $R_3 = 4/00k\Omega$ می‌باشد. یک ولت متر در طول اتصالات ۱ و ۲ قرار داده شده. خطای نسبی در مشاهده ولتاژ را در صورتی که مقاومت داخلی ولت متر الف) 5000Ω ، ب) $50k\Omega$ و ج) $500k\Omega$ باشد، محاسبه کنید.

۴-۲ برای اندازه‌گیری پتانسیل یک سل از ولت متری با مقاومت داخلی 750Ω استفاده شده، برای اینکه خطای نسبی در اندازه‌گیری کمتر از الف) $1/0\%$ و ب) $0/1\%$ باشد، مقاومت داخلی ولت متر باید چقدر باشد؟

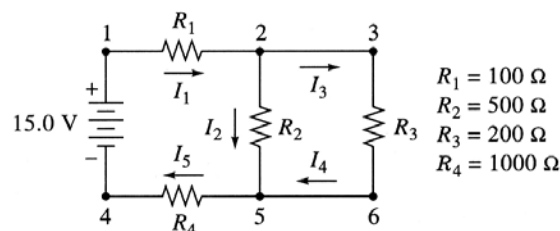
۵-۲ برای مدار زیر حساب کنید:

الف) اختلاف پتانسیل در طول هر یک از مقاومتها.

ب) مقدار هر یک از جریانهای نشان داده شده.

ج) توان پراکنده شده توسط مقاومت R_3 .

د) اختلاف پتانسیل بین نقاط ۳ و ۴.



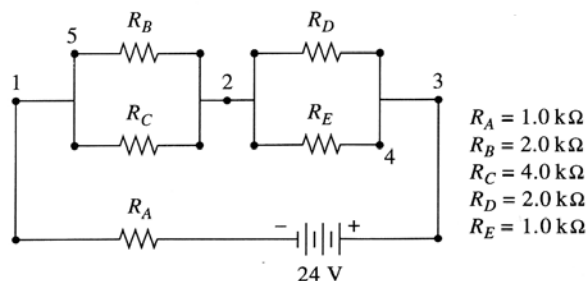
۶-۲ برای مدار نشان داده شده در زیر، حساب کنید:

الف) توان پراکنده شده بین نقاط ۱ و ۲.

ب) جریان کشیده شده از منبع.

ج) اختلاف پتانسیل در طول مقاومت R_A .

ه) اختلاف پتانسیل بین نقاط ۵ و ۴.



۷-۲ مداری که در زیر آمده مربوط به یک پتانسیومتر آزمایشگاهی برای اندازه‌گیری پتانسیل مجهول V_x می‌باشد. فرض کنید

$C, \mu F$	R و Ω	فرکانس, Hz	
۰/۰۳۳	۲۰/۰۰۰	۱	الف
۰/۰۳۳	۲۰/۰۰۰	۱۰ ^۲	ب
۰/۰۳۳	۲۰/۰۰۰	۱۰ ^۶	ج
۰/۰۰۳۳	۲۰۰	۱	د
۰/۰۰۳۳	۲۰۰	۱۰ ^۲	ه
۰/۰۰۳۳	۲۰۰	۱۰ ^۶	و
۰/۳۳	۲/۰۰۰	۱	ز
۰/۳۳	۲/۰۰۰	۱۰ ^۳	ح
۰/۳۳	۲/۰۰۰	۱۰ ^۶	ط

۲-۱۹ یک منحنی پاسخ فرکانس برای یک صافی RC پائین - گذر که در آن $R=2/5 \times 10^3 \Omega$ و $C=0/015 \mu F$ می باشد را استخراج کنید که محدوده $(V_p)_o / (V_p)_i$ بین ۰/۰۱ تا ۰/۹۹ را در برگیرد. (۲۰-۲) یک منحنی پاسخ فرکانس برای یک صافی RC بالا - گذر که در آن $R=5/0 \times 10^5 \Omega$ و $C = pF(1pF = 10^{-12} F)$ باشد را استخراج کنید و یک محدوده $(V_p)_o / (V_p)_i$ بین ۰/۰۱ تا ۰/۹۹ را در برگیرد.

۲-۱۴ چه مدت طول می کشد تا یک خازن $0/015 \mu F$ به ۱٪ شارژ کل خود از طریق مقاومت الف ($10 \mu W$ ، ب) $1 \mu W$ و ج) $1 k\Omega$ تخلیه شود؟

۲-۱۵ ثابتهای زمان را برای هر یک از مدارهای RC تشریح شده در مسئله ۲-۱۴ حساب کنید.

۲-۱۶ یک مدار RC سری شامل یک منبع dc ۲۵-۷، یک مقاومت $50 k\Omega$ و یک خازن $0/035 \mu F$ می باشد.

الف) ثابت زمان برای مدار را حساب کنید.

ب) حساب کنید اختلاف جریان و اختلاف پتانسیل در طول خازن و مقاومت را در طی یک چرخه باردار شدن؛ زمانهای ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۱۰ ms را بکار برید.

ج) برای یک چرخه تخلیه، محاسبات قسمت (ب) را تکرار کنید.

۲-۱۷ با فرض اینکه پتانسیل برابر $15V$ ، مقاومت برابر $20 \mu \Omega$ و ظرفیت برابر $0/050 \mu F$ باشد، محاسبات مسئله ۲-۱۶ را تکرار کنید، مقادیر ۰/۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۱۰ ثانیه را به عنوان زمان بکار برید.

۲-۱۸ راکتانس خازنی، امپدانس و زاویه فاز ϕ را برای مدارهای سری زیر را حساب کنید.

* * * * *

مراجع

- [1]. H. V. Malmstadt, C. G. Enke, and S. R. Crouch, Micro computers and Electronic Instrumentation: Making the Right connections. Washington, DC: American Chemical Society. 1994; A. J. Diefenderfer and B. E. Holton, principles of Electronic Instrumentation, 3rd ed. Philadelphia: Saunders College publishing, 1994; J. J. Brophy, Basic Electronics for Scientists, 5th ed. New York: Mc Graw Hill 1990; P. Horowitz and W. Hill, The Art of Electronics, 2nd ed. New York: Cambridge University press, 1989.
- [2] G.W. Ewing. J. Chem. Educ., 53, A361, A407.
- [3] G. H. Brown and P. P. Crooker, Chem. Eng News, 1983, Jan. 31, 24; G. H. Brown, J. Chem. Educ., 1983, 60, 900.

فصل ۳

تقویت کننده عملیاتی در دستگاههای شیمیایی

را توضیح خواهیم داد. [۱].

۳ الف خواص تقویت کننده‌های عملیاتی

تقویت کننده‌های عملیاتی همانطور که از نامشان پیداست کاربردهای اصلی در رایانه‌های آنالوگی دارند و در جایی مورد بهره برداری قرار می‌گیرند که نیاز به انجام یک سری از اعمال ریاضی مانند ضرب، جمع، تفریق کردن باشد. تقویت کننده‌های عملیاتی همچنین دارای کاربرد عمومی دیگری، از جمله در اندازه‌گیری دقیق ولتاژ، جریان و مقاومت، بطوری که تغییرات در القاء کننده‌هایی که در دستگاه‌های شیمیایی کاربرد دارند را نیز اندازه‌گیری می‌کنند.

سیگنال اکثر مدارهای جدید موفقیت خود را مدیون تکامل مداراتی هستند که بنام تقویت کننده‌های عملیاتی شناخته می‌شوند که ترجیح داده می‌شود به صورت *OP* یا *OAS* نشان داده شوند. تقویت کننده‌های عملیاتی در همه جا وجود دارند. با باز کردن هر وسیله‌ای یا قسمتی از لوازم الکترونیکی و یا دقت بر روی طراحی یک دستگاه به سادگی یک یا چند تقویت کننده عملیاتی را در آن مشاهده خواهیم کرد. این واقعیت در کنار سادگی عملیات پیچیده‌ای که توسط آنها قابل انجام هستند براهمیت درک اصول و عملکرد آنها تأکید دارد. در این فصل تعدادی از مدارهای تقویت کننده‌های عملیاتی، کاربرد آنها، بررسی خواص آنها، مزایا و محدودیت‌های آنها

در شکل ۲-۳ دو نمونه جایگزین نشان داده شده در شکل ۱-۳ که در نمودارهای مداری به عنوان نماد تقویت کننده‌های عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد را نشان می‌دهد. نمادی که در شکل ۲-۳ الف به صورت کامل نشان داده شده از نوع اتصالات موقت است و در شکل ۲-۳ ب حالت ساده شده و خاص آن می‌باشد. در این جا اتصالات زمینی حذف شده است.

الف ۲- حالت عمومی تقویت کننده‌های عملیاتی

همانطوریکه در شکل ۳-۳ نشان داده شده است تقویت کننده‌های عملیاتی یک وسیله آنالوگی می‌باشد که تقریباً شامل ۲۰ ترانزیستور و مقاومت می‌باشند، و به صورت مجموعه‌ای کامل از تراشه‌های مداری ساخته شده‌اند. اجزاء دیگری نظیر خازن‌ها و لامپ‌های دو قطبی می‌توانند تکمیل کننده دستگاه باشند. ابعاد فیزیکی یک تقویت کننده عملیاتی به جزء تأمین کننده نیرو معمولاً به اندازه یک سانتی متر یا کمتر است. تقویت کننده‌های عملیاتی پیشرفته علاوه بر کم حجم بودن به طور قابل ملاحظه‌ای قابل اعتماد و ارزان نیز می‌باشند. قیمت آنها از چند سنت تا شاید یک صد دلار برسد. انواع مختلف تقویت کننده‌های عملیاتی قابل دسترس بوده و تفاوت آنها در ظرفیت ورودی و خروجی و ولتاژ عملکرد، و توان ماکزیمم می‌باشد. یک نوع تقویت کننده عملیاتی تجاری که در منازل نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد و از یک اپوکسی هشت پایه یا بسته‌های سرامیکی ساخته شده است در شکل ۲-۳ ج نشان داده شده است.

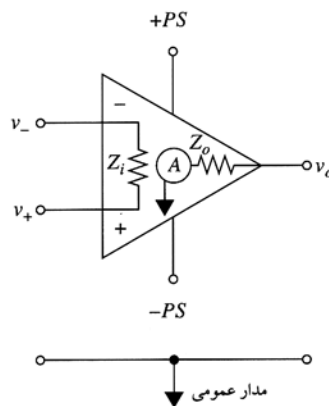
تقویت کننده‌های عملیاتی دارای خواص زیر هستند: (۱) با بهره حلقه بزرگ (10^6 تا 10^4). (۲) مقاومت ظاهری ورودی بالا (اهم 10^3 تا $10^6 M$ تا 10^7). (۳) مقاومت ظاهری خروجی پایین (اهم 10 تا 1 $Z_o \geq 1$) و اصولاً خروجی صفر برای ورودی صفر است (خروجی $0/1mV <$ حالت ایده آل). در حقیقت اغلب تقویت کننده‌های عملیاتی با ولتاژ خروجی پائین و با ورودی صفر نسبت به خصوصیات مدار و یا ناپایداری نسبت به اجزاء تشکیل دهنده را نشان می‌دهد. تنظیم ولتاژ برای یک تقویت کننده عملیاتی براساس ولتاژ ورودی است که برای ایجاد پتانسیل نیاز به خروجی صفر است. اغلب در تقویت کننده‌های عملیاتی از یک تنظیم کننده حذف ولتاژ اضافی برای تنظیم دستگاه استفاده می‌شود (به شکل ۲-۳ ج نگاه کنید).

تقویت کننده‌های عملیاتی در جریان‌ها و ولتاژهای ثابت بطور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲].

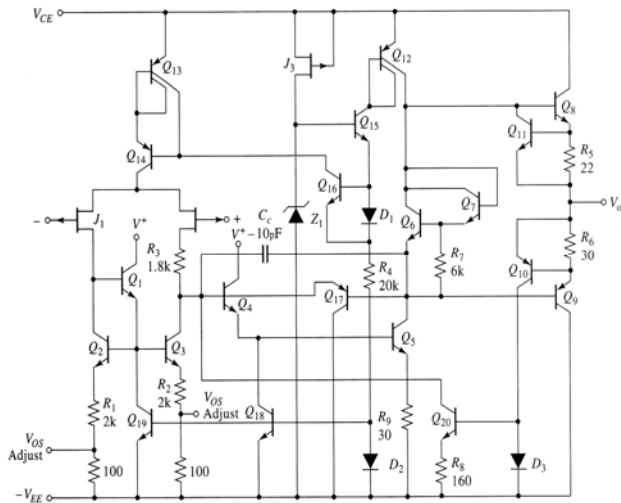
الف ۱- نمادهای تقویت کننده‌های عملیاتی

شکل ۱-۳ یک تقویت کننده عملیاتی با جریان متعادل را نشان می‌دهد. در این شکل پتانسیل‌ها ورودی با علامت V_+ و V_- نشان داده شده‌اند. v_s تفاسیل بین ولتاژهای ورودی است و اختلاف بین دو پتانسیل به صورت $v_s = v_+ - v_-$ می‌باشد. در ارتباط با منبع انرژی از علامت‌های $P_s, -P_s$ استفاده شده که معمولاً بین $+15$ تا -15 ولت dc می‌باشد که بهره حلقه باز نامیده شده و در تقویت کننده عملیاتی با علامت A نشان داده می‌شود. بنابراین ولتاژ خروجی v_o به صورت $V_o = -AV_s$ نوشته خواهد شد، و سرانجام Z_i, Z_o مقاومت‌های ظاهری ورودی و خروجی تقویت کننده عملیاتی می‌باشند. تشخیص اینکه سیگنال ورودی ممکن است dc یا ac باشد، بستگی به نوع سیگنال خروجی خواهد داشت؟ باید توجه داشت که کلیه پتانسیل‌ها در تقویت کننده‌های عملیاتی نسبت به مدار عمومی اندازه‌گیری می‌شوند که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. اصولاً ترجیح داده می‌شود که خطا در مدار عمومی، به حداقل برسد و بدین منظور این موضوع به دقت تعریف خواهد شد. این اصطلاحات بطور دقیقی تعریف و اهمیت آنها در بخش الف - ۲ بحث خواهیم نمود.

(۱) خارج از این کتاب برای سهولت از حروف بزرگ V, d, Q برای نشان دادن جریان، ولتاژ و بار برای dc و از حروف کوچک v, i, q و برای ac استفاده می‌شود. در صورتی که از سیگنال‌های ورودی و خروجی تقویت کننده عملیاتی چه به صورت dc و یا ac از حروف کوچک استفاده می‌شود مگر اینکه سیگنال‌های تحت مطالعه دقیقاً مربوط به dc باشند.



شکل ۱-۳: نمودار مدار تعادلی یک تقویت کننده عملیاتی



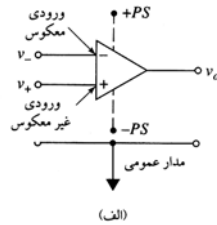
شکل ۳-۳ طرح مدار برای یک نوع تقویت کننده عملیاتی

ورودی‌های معکوس و غیر معکوس

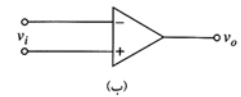
در شکل ۲-۳ علامت‌های مثبت و منفی معکوس و غیر معکوس بودن ورودی‌های تقویت کننده‌ها را مشخص می‌کند و لزوماً دلالت به داشتن ارتباط با علامت مثبت یا منفی را نمی‌کند. ورودی را می‌توان در رابطه با علامت‌های مثبت یا منفی متناسب با کاربرد مدار مشخص کرد. بنابراین اگر یک ولتاژ منفی به ورودی معکوس نسبت داده شود با در نظر گرفتن ورودی، خروجی تقویت کننده مثبت است. از طرف دیگر، اگر یک ولتاژ مثبت به ورودی معکوس تقویت کننده نسبت داده شود در نتیجه خروجی آن منفی است سیگنال یک جریان متناوب (ac) متصل به ورودی معکوس، خروجی آن 180° درجه نسبت به سیگنال ورودی خارج از فاز است. در نتیجه ورودی غیر معکوس یک تقویت کننده در فاز خواهد بود. در این صورت سیگنال جریان مستقیم در ورودی غیر معکوس با سیگنال خروجی جریان مستقیم قطبیت یکسانی را نشان می‌دهد.

۳ مدارهای تقویت کننده عملیاتی

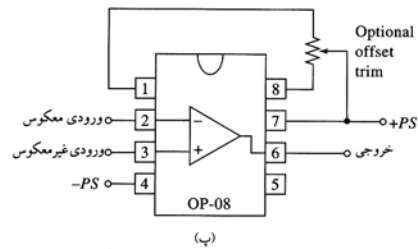
در تقویت کننده‌های عملیاتی در شبکه‌های مداری که شامل اجزاء مختلفی از قبیل خازن، مقاومت و اجزاء دیگر الکتریکی استفاده می‌شود، تحت شرایطی ایده آل، خروجی تقویت کننده به طور کامل با در نظر گرفتن وضعیت شبکه و اجزاء آن مستقل از تقویت کننده عملیاتی اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین مهم است که تعدادی از شبکه‌های تقویت کننده عملیاتی مورد مطالعه قرار گیرند.



(الف)



(ب)



(پ)

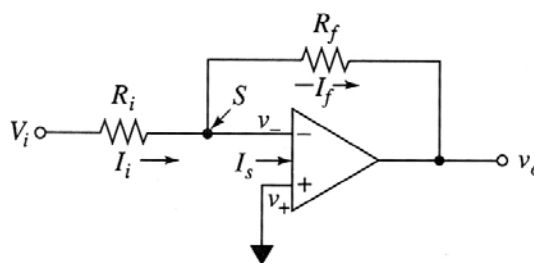
شکل ۲-۳ نمادهای مربوط به تقویت کننده عملیاتی توضیحات بیشتر در مورد شکل بعدا خواهد آمد. (الف) توجه داشته باشید دو پتانسیل ورودی V_0^- و V_0^+ نظیر پتانسیل خروجی نسبت به مدار معمولی اندازه‌گیری می‌شود که معمولاً بر روی یا نزدیکی پتانسیل زمین است. (ب) روش معمولی نشان دادن یک تقویت کننده عملیاتی در نمودارهای مداری است. (ج) نمایش یک نوع تقویت کننده عملیاتی ۸ پایه‌ای تجارتمی باشد.

مدار عمومی و پتانسیل زمینی

همانطور که در شکل ۲-۳ الف ملاحظه می‌کنید هر یک از دو پتانسیل ورودی و همچنین پتانسیل خروجی توسط یک نوع تقویت کننده‌های عملیاتی با در نظر گرفتن مدار عمومی اندازه‌گیری می‌شوند که از یک علامت مثلثی شکل (∇) استفاده می‌شود. مدار عمومی، یک هادی است که برگشت مشترک برای همه جریان‌های از آن تأمین می‌شود. در نتیجه همه ولتاژها در مداری که نسبت به مدار عمومی جریان دارد اندازه‌گیری می‌شوند. وسائل الکترونیکی معمولی مستقیماً به زمین وصل نمی‌شوند که با علامت (\perp) نشان داده می‌شود. معمولاً پتانسیل مدار عمومی تفاوت چندانی با پتانسیل زمینی نداشته اما مهم این است که بدانیم که مدار عمومی لازم نیست با پتانسیل زمینی برابر باشد. قابل ذکر است که شکل ۲-۳ ب یک مدار عمومی را نشان نمی‌دهد بلکه می‌توان فرض کرد که نسبت به پتانسیل قابل اندازه‌گیری کلیه مدارها یک مدار عمومی است.

۳-۱ مدارهای بازخورد

مراجعه به سیگنال خروجی و یا کسری از سیگنال خروجی در یک تقویت کننده عملیاتی در یکی از دو ورودی اغلب مطلوب به نظر می‌رسد. وقتی سیگنال خروجی یک تقویت کننده عملیاتی با یکی از ورودی هایش مرتبط است، این سیگنال بازخورد نامیده می‌شود. شکل ۴۳ یک تقویت کننده عملیاتی با یک حلقه بازخورد را نشان می‌دهد که شامل مقاومت بازخورد R_f که به ورودی S مربوط می‌شود و به نقطه تجمع معروف است. لازم به ذکر است که علامت بازخورد مخالف علامت ورودی یعنی v_i می‌باشد که در نتیجه خصوصیت ورودی معکوس را داشته و بازخورد منفی نامیده می‌شود.



شکل ۴۳ مدار یک تقویت کننده عملیاتی بازخورد منفی در تقویت کننده‌های معکوس

ولتاژ خروجی تقویت کننده عملیاتی v_o برابر با اختلاف ولتاژ بین v_+ و v_- و مضربی از بهره حلقه باز تقویت کننده عملیاتی، n می‌باشد.

که داریم:

$$v_o = -A v_s = -A (v_- - v_+) \quad (۱-۳)$$

با حل این معادله برای v_- خواهیم داشت:

$$v_- = v_+ - \frac{v_o}{A} \quad (۲-۳)$$

چون مقدار A بسیار بزرگ است (10^6 تا 10^4) رابطه (۲-۳) به صورت ساده زیر خواهد شد.

$$v_- \approx v_+ \quad (۳-۳)$$

زیرا ورودی غیر معکوس به مدار عمومی اتصال داشته و پتانسیل به صفر ولت نمی‌رسد. پتانسیل در نقطه S باید تقریباً برابر پتانسیل مدار عمومی باشد در نتیجه، گفته می‌شود که نقطه تجمع S حالت مجازی داشته و یا حالت مجازی زمینی است. به عبارت دیگر اگر چه حالت مجازی در مدار عمومی حقیقت ندارد با این وجود از

خصوصیات حالت عمومی است.

این نتیجه ما را به این واقعیت راهنمایی می‌کند که می‌توان با تفکیک تعداد زیادی از مدارهای تقویت کننده عملیاتی آن را ساده کرد. یک مدار تقویت کننده عملیاتی با باز خورد منفی (v_o بطور مستقیم و یا غیر مستقیم با v_- اتصال دارد) آنچه را که برای ایجاد شرایط ویژه در رابطه (۳-۳) ضروری است به وجود می‌آورد. یادآوری می‌شود که مدار داخلی تقویت کننده عملیاتی در ارتباط با توانایی مدار در گرفتن نیرو از قسمت تغذیه کننده برای تقویت کننده عملیاتی نقش مهمی دارد و بکارگیری این روش آن را ممکن می‌سازد.

قانون اهم برای جریان ورودی i_i در مداری که در شکل ۴۳

نشان داده شده به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$i_i = \frac{v_i - v_-}{R_i} \quad (۴-۳)$$

که در آن ولتاژ ورودی نسبت به حالت عمومی است. به همین

ترتیب بازخورد جریان i_f نیز از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$i_f = \frac{v_- - v_o}{R_f} \quad (۵-۳)$$

همان طور که قبلاً ذکر کردیم یکی از مشخصه‌های تقویت کننده

عملیاتی مقاومت بسیار بالای ورودی است. بنابراین جریان در تقویت کننده عملیاتی i_s نسبت به i_i و i_f قابل صرف نظر کردن می‌باشد. پس بنا به قانون کیرشهوف دو جریان بعدی باید ضرورتاً مساوی باشند که در این صورت $i_i = i_f$ بوده و

$$\frac{v_i - v_-}{R_i} = \frac{v_- - v_o}{R_f} \quad (۶-۳)$$

با جاگذاری v_- در رابطه (۶-۳) خواهیم داشت:

$$\frac{v_i - (v_+ - \frac{v_o}{A})}{R_i} = \frac{(v_+ - \frac{v_o}{A}) - v_o}{R_f}$$

اهمیت دارد که تأکید شود به عنوان یک نتیجه از معادله (۲-۳)

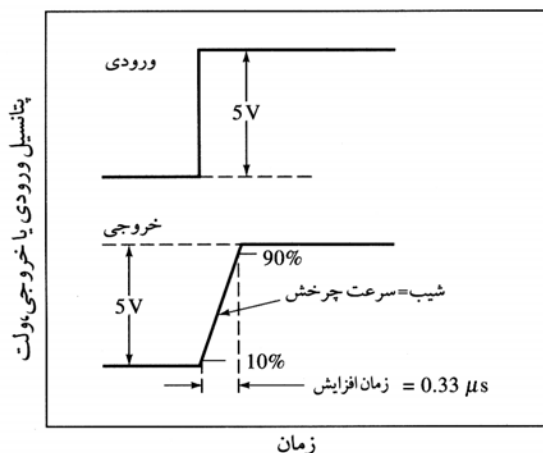
ولتاژ v_- در نقطه تجمع S نسبت به مدار عمومی در مقایسه با v_i و v_o لزوماً قابل صرف نظر کردن باشد. به عبارت دیگر از آنجا که A خیلی بزرگ است (10^6 تا 10^4) و $\frac{v_o}{A}$ بی‌نهایت کوچک و

$v_+ = 0$ است در نتیجه مقدار $(v_+ - \frac{v_o}{A})$ در معادله (۵-۳) به صفر

خیلی نزدیک شده و رابطه قبلی بسیار ساده خواهد شد.

فرکانس سیگنال ورودی پائین $A = 10^5$ یا ۱۰۰ دسی بل (dB) است اما با افزایش فرکانس به بیش از 10 Hz حلقه باز بهره‌ای تا $(\frac{dB}{\text{تلاقی}} - 20)$ گسترده شده و شبیه حالتی است که از صافی با گذر پایین عبور کند. محدوده فرکانس dc (جریان مستقیم) نسبت به فرکانس در $A = 1$ یا 0 dB واحد بهره نوار عرضی نامیده می‌شود که برای تقویت کننده برابر 1 MHz می‌باشد. در نقطه $A=1$ ثابت نگهداشتن بهره نوار عرضی در 1 MHz که به عنوان یک ثابت معین برای تقویت کننده عملیاتی بکار می‌رود برای فرکانس‌های بالاتر از 10 Hz ضروری است. این خاصیت اجازه می‌دهد که محاسبه نوار عرضی یک تقویت کننده انجام پذیرد.

برای مثال تقویت کننده شکل ۳-۴ با بهره $A_1 = \frac{R_f}{R_i} = 1000$ که به صورت خط چین در قسمت بالای شکل ۳-۵ نشان داده شده است، عرض نوار تقویت کننده سپس برابر با $1 \text{ KHz} = \frac{1 \text{ MHz}}{1000}$ شده که در محل تقاطع خط و خط چین بالایی با منحنی حلقه باز بدست آمده ارتباط پیدا می‌کند. یک تقویت کننده مشابه با $A = 10$ دارای عرض نوار 100 KHz که توسط خط چین پایین نشان داده شده و برای سایر مقادیر سیگنال ادامه داشته و ممکن است برای یک تقویت کننده عملیاتی انتخاب شود. از این رو می‌بینیم که بازخورد منفی نوار عرضی تقویت کننده افزایش می‌یابد که می‌توان از سیگنال داده‌ها و نوار عرضی داده‌های واحد تقویت کننده عملیاتی محاسبه نمود.



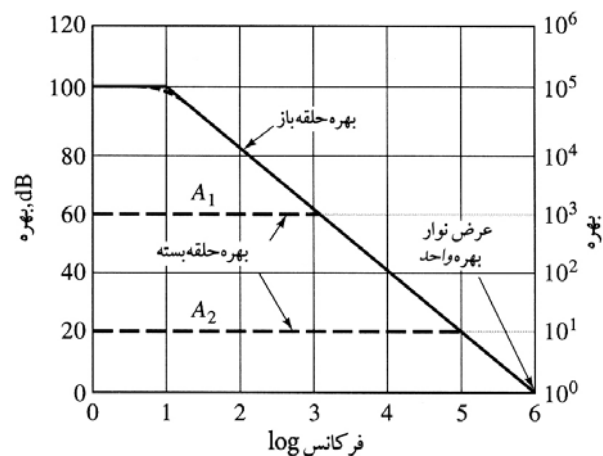
شکل ۳-۶: پاسخ تقویت کننده عملیاتی نسبت به تغییر ولتاژ ورودی. شیب قسمت متغیر سیگنال خروجی سرعت چرخش است و زمان لازم برای تغییر خروجی از ۱۰ درصد به ۹۰ درصد کل تغییر عبارتست از زمان افزایش.

$$(3-7) \quad \frac{v_o}{v_i} \cong -\frac{R_f}{R_i}$$

بنابراین با به دست آوردن $\frac{v_o}{v_i}$ که یک نوع تقویت کننده عملیاتی مداری است با بازخورد منفی فقط به R_f و R_i بستگی خواهد داشت و به ماهیت نوسانات خود تقویت کننده عملیاتی که در شکل (۳-۴) آمده است وابسته نیست و اصولاً به عنوان یک تقویت کننده عملیاتی معکوس و یا به عنوان یک مبدل عمل می‌کند و این وقتی اتفاق می‌افتد که $R_i = R_f$ باشد زیرا علامت ولتاژ ورودی معکوس شده است.

۳-۲- حساسیت فرکانس یک مدار با بازخورد منفی

بهره یک نوع تقویت کننده عملیاتی به سرعت در پاسخ به فرکانس بالای یک سیگنال ورودی کاهش می‌یابد. این فرکانس ناشی از ظرفیت‌های کوچکی است که توسط ترانزیستورهای درون تقویت کننده عملیاتی به وجود می‌آید. نمودار پاسخ فرکانسی برای یک تقویت کننده معمولاً با نمودار «بود» (Bode) به دست می‌آید، همان طوری که در شکل (۳-۵) نشان داده شده است. در اینجا منحنی پر رنگ مدرج شده بهره حلقه باز رفتار یک تقویت کننده در غیاب مقاومت بازخورد R_f را در شکل (۳-۴) نشان می‌دهد. باید توجه داشت که هر دو محور مختصات بر حسب لگاریتمی بوده و بهره بر حسب دسی بل (dB) نشان داده شده است، بطوری که

$$20 \log\left(\frac{v_o}{v_i}\right) = 1 \text{ dB} \text{ می‌باشد.}$$


شکل ۳-۷ یک نمودار «بود» (Bode) پاسخ فرکانسی در یک نوع تقویت کننده عملیاتی را نشان می‌دهد: تقویت کننده عملیاتی با بهره حلقه باز بدون بازخورد منفی است: خطوط نقطه چین: اشکال مختلف تقویت کننده معکوس در شکل ۳-۴ با $A_1 = 1000$ و $A_2 = 10$ می‌باشند.

بنابراین، اگر چه این مدار دارای یک واحد ولتاژ با بهره $(V_o/V_i) = 1$ می باشد ولی می تواند دارای یک توان خروجی بسیار قوی باشد، زیرا تقویت کننده عملیاتی دارای مقاومت های ظاهری بالا در ورودی و مقاومت ظاهری کوچک در خروجی می باشد. برای نشان دادن اثر این اختلاف زیاد در مقاومت لازم است که توان بهره را به صورت $\frac{P_o}{P_i}$ تعریف کرده به طوری که P_o توان خروجی تقویت کننده عملیاتی و P_i توان ورودی می باشند. با استفاده از رابطه توان که به صورت $(p = iv = \frac{v^2}{R})$ نوشته می شود، و قانون اهم و با توجه به اینکه از v_i و v_o تقریباً در تقویت کننده های عملیاتی یکسان هستند به رابطه زیر خواهیم رسید.

$$\text{توان بهره} = \frac{P_o}{P_i} = \frac{i_o \cdot v_o}{i_i \cdot v_i} = \frac{v_o^2 / Z_o}{v_i^2 / Z_i} = \frac{Z_i}{Z_o}$$

که در آن Z_i و Z_o به ترتیب مقاومت ظاهری ورودی و خروجی یک تقویت کننده عملیاتی می باشند و این نتیجه بسیار مهم است زیرا بدین مفهوم است که دنبال کننده ولتاژ تقریباً جریانی را از ورودی نمی گیرد؛ جریان درونی تقویت کننده عملیاتی و منبع تغذیه آن می تواند مقدار زیادی از جریان های خروجی تقویت کننده های عملیاتی را تأمین کند. بطوریکه بعداً نشان داده خواهد شد، این خاصیت گرانبها و ارزشمند در اندازه گیری منابع مقاومت ظاهری بالا و پایین به کار برده می شوند. به عنوان یک مثال مهم می توان به اندازه گیری هایی در آشکار سازهایی با الکترودهای شیشه ای با نوارهای ثبات اشاره کرد.

۳-ج تقویت و اندازه گیری سیگنال مبدل ها

تقویت کننده های عملیاتی کاربرد عمومی در تقویت و اندازه گیری سیگنال های الکتریکی در مبدل ها پیدا کرده اند. این سیگنال ها اغلب مربوط به وسائل تجزیه ای شامل جریان، پتانسیل و بار می باشند. در این بخش کاربردهای اساسی تقویت کننده های عملیاتی در اندازه گیری انواع سیگنال ها توضیح داده خواهد شد.

۳-ج-۱ اندازه گیری جریان

اندازه گیری دقیق جریان های کوچک در روش های تجزیه ای نظیر ولت سنج، کولن سنجی، نور سنجی و آشکار سازهای یونیزه کننده عمومی در کروماتوگرافی گازی می باشند. همانطور که در فصل دوم

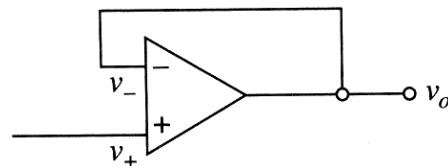
دو پارامتر دیگر که با سرعت نوار عرضی Δf یک تقویت کننده عملیاتی ارتباط دارد در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. مقدار خروجی یک ولتاژ دنبال کننده (در بخش بعدی بحث خواهد شد) که یک مرحله پس از ورودی مشخص می شود با افزایش زمان t_r که زمان لازم برای تغییر خروجی از ۱۰ درصد به ۹۰ درصد در کل تغییرات می باشد به صورت زیر نشان داده می شود:

$$t_r = \frac{1}{\Delta f} \quad (8-3)$$

برای تقویت کننده ای با $A_v = 10$ که در بالا بحث شد، داریم $t_r = \frac{1}{3 \times MHz} = 0.33 \mu s$ دامنه تغییرات ولتاژ خروجی از زمانی که ولتاژ از ۵V به ۱۰V تغییر می کند نسبت تغییر را می توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\text{سرعت چرخش} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{5V}{0.33 ms} = 15 \frac{V}{ms} \quad (9-3)$$

سرعت چرخش وقتی ماکزیمم است که تغییر خروجی یک دستگام تقویت کننده به مراحل تغییر در وردی پاسخ دهد. مقادیر خاص سرعت چرخش متناسب است با تغییر ولت در میکرو ثانیه اما تقویت کننده های عملیاتی خاص می توانند به سرعت های چرخش تا صدها ولت بر میکرو ثانیه پاسخ دهند.



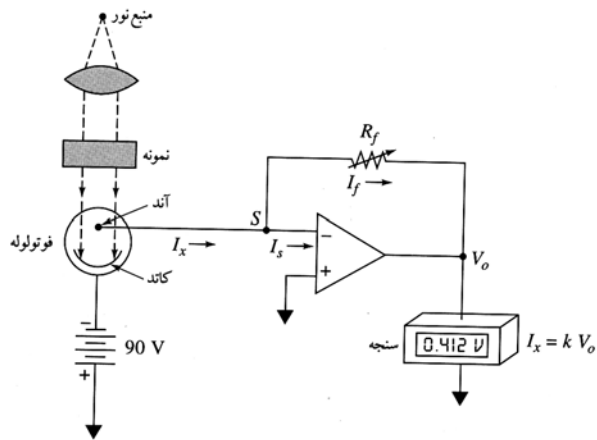
شکل ۳-۳ دنبال کننده ولتاژ تقویت کننده عملیاتی.

۳-ب-۳ مدار دنبال کننده ولتاژ

شکل ۳-۷ طرح یک ولتاژ دنبال کننده و مداری که در آن ورودی وارد ورودی غیرمعکوس شده و یک حلقه بازخورد از خروجی به ورودی برگشت داده شده است را نشان می دهد. شرایط خاص توسط تقویت کننده عملیاتی اعمال می شود، شرط لازم برای این عمل این است که v_o مساوی v_+ باشد و با توجه به این که v_- و v_o هم مرتبط هستند در این صورت می توان تساوی زیر را نوشت:

$$v_i = v_+ \approx v_- = v_o$$

شکل ۸-۳ با مقاومت پایین نسبت به جریان مبدل تعیین می‌گردد. بنابراین سنجش نه به وسیله مبدل بلکه توسط تقویت کننده جریان و با استفاده از توان خارجی تقویت کننده عملیاتی انجام می‌پذیرد. نتیجه آن که خطای اندازه‌گیری بسیار کوچک است.



شکل ۸-۳ کاربرد یک تقویت کننده عملیاتی برای اندازه‌گیری جریان نوری کوچک I_x

مثال ۳-۱

فرض کنید که R_f در شکل ۸-۳ برابر ۲۰۰ کیلو اهم باشد و مقاومت درونی فتولوله (phototube) 5×10^4 اهم باشد و اگر بهره حلقه باز تقویت کننده 1×10^5 باشد. خطای نسبی اندازه‌گیری جریانی را محاسبه کنید.

در اینجا مقاومت مؤثر مدار R_m مقدار واقعی بین مجموع نقاط S و مدار عمومی است، این مقاومت با استفاده از قانون اهم به دست می‌آید.

$$R_m = \frac{v_-}{I_x} = \frac{v_+ - \frac{V_o}{A}}{I_x} = \frac{V_o}{I_x A}$$

که در آن v_+ پتانسیل غیر معکوس ورودی v_- پتانسیل در معکوس خروجی و A بهره حلقه باز می‌باشد. پس رابطه (۳-۵) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$I_f = \frac{v_- - V_o}{R_f} = \frac{v_+ - \frac{V_o}{A} - V_o}{R_f} = \frac{\frac{V_o}{A} - V_o}{R_f} = I_x$$

اشاره شد یک دلیل مهم استفاده از آنها در رابطه با روش‌های اندازه‌گیری فیزیکی است که شامل عبور جریان می‌باشد و آن اینکه آیا اندازه‌گیری خود تغییر عمده‌ای در سیگنال اندازه‌گیری می‌گذارد و یا به طور کلی آیا در افزایش خطا مؤثر است. به هر حال در هر عملی خطا وجود دارد و این اجتناب‌ناپذیر است. در یک سیستم تحت مطالعه در چنین شرایطی مقدار اندازه‌گیری شده با مقدار واقعی آن تفاوت خواهد داشت و می‌بایست سعی کنیم و مطمئن شویم که خطا را به حداقل مقدار خودش برسانیم. برای یک جریان اندازه‌گیری شده این گونه رسیدگی ضروری است. برای اندازه‌گیری یک جریان لازم است که مقاومت درون سیستم از نظر طراحی برای اندازه‌گیری به حداقل رسیده باشد، بنابراین هیچ تغییر عمده‌ای در جریان به وجود نخواهد آمد.

طراحی مقاومت پایین برای اندازه‌گیری جریان با حذف مقاومت R_i که در شکل ۳-۴ آمده است با اندازه‌گیری جریان به صورت سیگنال ورودی به آسانی قابل حل است. مرتب کردن چنین کارهایی همانطور که در شکل ۸-۳ نشان داده شده است توسط یک جریان کوچک مستقیم I_x که توسط یک لامپ انجام می‌شود و یا توسط یک مبدل که انرژی تابشی مثل نور را به جریان الکتریکی تبدیل می‌کند امکان‌پذیر است. وقتی از لامپ کاتدی، تابشی با پتانسیلی در حدود ۹۰ ولت را می‌گذرانیم با جذب تابش به وسیله سطح کاتد باعث خروج الکترون‌ها شده سپس آند مرتعش می‌کند. میزان جریان رابطه مستقیم با قدرت پرتو تابشی دارد.

اگر نتایج حاصل در بحث پس خور در این مدار بکار گرفته شود خواهیم داشت:

$$I_x = I_f + I_s \approx I_f$$

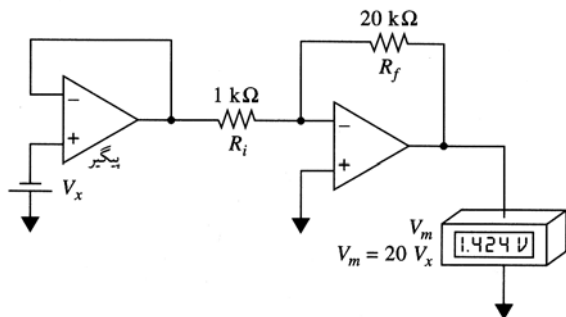
در این حالت، نقطه S حالت حقیقی است، بنابراین v_o متناسب است با اختلاف پتانسیل بین مقاومت‌های R_f ، بنابراین از قانون اهم خواهیم داشت.

$$V_o = -I_f R_f = -I_x R_f$$

بدین ترتیب، پتانسیل اندازه‌گیری شده V_o اندازه جریان را نشان می‌دهد، مشروط بر آنکه R_f به مقدار قابل توجهی بزرگ باشد، دقت در اندازه‌گیری جریانهای کوچک علمی خواهد شد. برای مثال اگر $100 R_f$ کیلو اهم باشد یک جریان یک میکرو آمپری، ($1 \mu A$) یک پتانسیل 0.1 ولتی در خروجی را به وجود خواهد آورد که مقدار آن با دقت بسیار زیاد به آسانی اندازه‌گیری می‌شود.

در مثال ۳-۱ یک خصلت مهم مربوط به مدار نشان داده شده در

رابطه ۲-۱۴ نشان می‌دهد که اندازه‌گیری دقیق پتانسیل نیاز به اندازه‌گیری مقاومت دستگاه که نسبت به مقاومت درونی منبع ولتاژ بزرگ است بستگی دارد. برای افزایش حساسیت اندازه‌گیری نیاز به دقت خاص در تعیین pH با الکتروود شیشه‌ای می‌باشد که برخی از آنها دارای یک نوع مقاومت داخلی هستند که به ده‌ها تا صدها مگا اهم می‌رسند. زیرا مقاومت بالا در تقویت کننده معکوس که در شکل ۳-۴ نشان داده شده است شامل یک مقاومت داخلی تقریباً 10^9 اهم می‌باشد و ولتاژ اندازه‌گیری شده رضایت بخش نمی‌باشد. از طرف دیگر تقویت کننده معکوس می‌تواند با ولتاژ مدار دنبال کننده نشان داده شده در شکل ۳-۷ ترکیب شده و اندازه‌گیری ولتاژ با مقاومت ظاهری بالا را فراهم کند. برای مثال یک چنین مداری در شکل ۳-۹ نشان داده شده است. قسمت اول شامل ولتاژ دنبال کننده که معمولاً یک مقاومت ظاهری ورودی بیش از 10^{12} اهم را ایجاد می‌کند. یک مدار تقویت کننده معکوس پس از آن قرار دارد تا اینکه ورودی را به نسبت $\frac{R_f}{R_i}$ و یا ۲۰ برابر این حالت تقویت کند. یک تقویت کننده از این نوع با مقاومت ۱۰۰ میکرو اهمی یا بیشتر الکترومتر نامیده می‌شود. تقویت کننده‌های عملیاتی براساس الکترومترها به دقت طراحی شده و در بازار قابل دسترس می‌باشند.



شکل ۳-۹ یک مدار مقاومت ظاهری بالا برای ولتاژ تقویت کننده

۳-۳ اندازه‌گیری‌های مقاومت یا هدایت

سلول‌های الکترولیتی و وسایل حساس به دما نظیر ترمیستورها (*Thermistors*) و بولومترها (*Bolometers*) مثال‌هایی متداول از مبدل‌هایی هستند که در آنها مقاومت الکتریکی یا تغییرات هدایت به صورت یک علامت تجزیه‌ای مشخص می‌شود. این وسایل برای تیتیر کردن‌های گرماسنجی و هدایت‌سنجی، برای اندازه‌گیری‌های جذب و نشر مادون قرمز و برای کنترل درجه حرارت در انواع دستگاه‌های

از ترکیب این رابطه، رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$R_m = \frac{V_o}{\left(\frac{V_o}{A} - V_o\right) / R_f}$$

اما چون $v_o \approx \frac{v_o}{A} - v_o$ در مخرج کسر می‌باشد رابطه فوق به صورت زیر در می‌آید:

$$R_m = \frac{R_f}{A}$$

با عدد گذاری در این رابطه خواهیم داشت:

$$R_m = \frac{200 \times 10^3 \text{ اهم}}{1 \times 10^5} = 2/0 \text{ اهم}$$

رابطه (۲-۱۵) نشان می‌دهد که نسبت خطا در اندازه‌گیری جریان به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{خطای نسبی} = \frac{-R_m}{R_L + R_m}$$

که در آن R_L مقاومت فتو لایپ و با صرف نظر کردن از مقاومت دستگاه خطای نسبی برابر $-0/004$ خواهد شد.

$$\text{خطای نسبی} = \frac{-2/0 \text{ اهم}}{5 \times 10^4 \text{ اهم} + 2/0 \text{ اهم}} = -4 \times 10^{-6} \text{ یا } -0/0004\%$$

دستگاهی که در شکل ۳-۸ نشان داده شده است نورسنج (فتومتر) نامیده می‌شود که با آن نورهای کم‌رنگ (ضعیف) توسط عمل جذب و با استفاده از رنگ‌سنجی در محلول اندازه‌گیری می‌شود. این پارامتر با غلظت گونه‌های مختلف و میزان جذب آنها رابطه دارد. جزئیات فتومترها در بخش ۳-۱۳ (د) به تفصیل شرح داده خواهد شد.

۳-۲ اندازه‌گیری پتانسیل

اندازه‌گیری پتانسیل به طور گسترده‌ای برای مشخص کردن دما و غلظت یونها و محلول کاربرد دارد. در ابزارهای قدیمی مبدل به صورت ترموکوپل بودند. امروزه از الکتروود حساس یونی استفاده می‌شود.

تجزیه‌ای کاربرد دارد.

مدار نشان داده شده در شکل (۳-۴) وسیله مناسبی برای اندازه‌گیری مقاومت و هدایت در مبدل‌ها می‌باشد. از یک منبع ولتاژ ثابت برای V_i استفاده می‌شود و مبدل جایگزین R_i یا R_f در مدار می‌شود. پتانسیل خروجی تقویت کننده پس از اصلاح و پالایش توسط یک وسیله سنجش مثل پتانسیومتر و یا یک سیستم دریافت کننده اطلاعات کامپیوتری اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین اگر مبدل به جای R_f در شکل ۳-۴ جایگزین شود خروجی مانند آنچه که در رابطه ۳-۷ بازنگری شده مشاهده خواهد شد:

$$R_x = -\frac{v_o R_i}{V_i} = k v_o \quad (10-3)$$

که در آن R_x مقاومت اندازه‌گیری شده و k مقداری ثابت است که قابل اندازه‌گیری است. اگر R_i و v_i معلوم باشد پس از آن می‌توان k را توسط درجه بندی، در جایی که R_x با یک مقاومت استاندارد جایگزین شده است تعیین کرد. اگر هدایت به مقاومت ترجیح داده شود مبدل به راحتی با R_i در مدار تعویض شده و از رابطه ۳-۷ به دست می‌آید:

$$\frac{I}{R_x} = G_x = -\frac{V_o}{V_i R_f} = k' V_o \quad (11-3)$$

که در آن G_x هدایت مورد نظر می‌باشد. باید توجه داشت که در هر نوع اندازه‌گیری مقدار k نسبت به روش اندازه‌گیری می‌تواند به آسانی با استفاده از یک مقاومت متغیر R_f یا R_i تغییر کند.

شکل ۳-۱۰ دو کاربرد اساسی از تقویت کننده‌های عملیاتی برای اندازه‌گیری مقاومت و هدایت را نشان می‌دهد. شکل (۳-۱۰ الف) هدایت یک سلول برای تیتر کردن هدایت سنجی مورد نظر را نشان می‌دهد. در این جا یک جریان ورودی متناوب v_i در حدود ۵ تا ۱۰ ولت توسط یک مولد متناوب تولید می‌شود. سیگنال خروجی سپس تنظیم و اصلاح شده و به عنوان یک پتانسیل جریان مستقیم اندازه‌گیری می‌شود. مقاومت متغیر R_f وسیله‌ای برای تغییر محدوده هدایت می‌باشد که می‌تواند ثابت و یا خوانده شود. درجه بندی با تغییر مقاومت استاندارد R_i در مدار در جایی که سلول هدایتی کار گذاشته انجام می‌پذیرد.

شکل ۳-۱۰ ب چگونه مدار در شکل ۳-۴ را روشن می‌سازد و می‌تواند برای اندازه‌گیری مقاومت یا هدایت به کار گرفته شود. سپس جذب انرژی تابشی توسط یک نمونه با جذب یک محلول مرجع مورد مقایسه قرار می‌گیرد. دو مبدل هدایت نوری، وسایلی هستند که

مقاومت آنها با شدت تابش برخورد کنند به سطوح فعال رابطه معکوس دارد و جایگزین R_f و R_i در شکل ۳-۴ شده‌اند. از یک منبع قدرتی جریان مستقیم dc به عنوان منبع قدرت استفاده می‌شود و پتانسیل خروجی M همان طور که مشاهده می‌شود از در رابطه ۳-۷ بدست می‌آید.

$$M = V_o = -V_i \frac{R_o}{R}$$

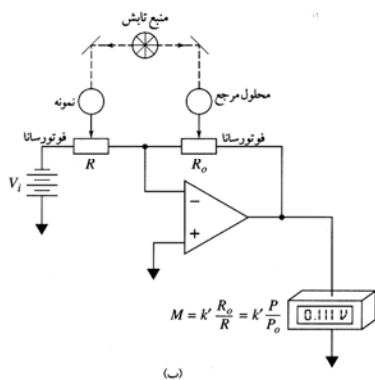
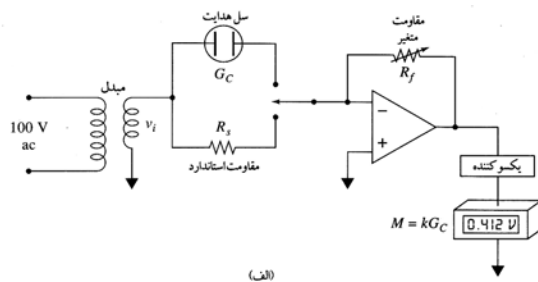
اصولاً مقاومت سلول هدایت نوری با عکس قدرت تابشی P اشعه برخورد کننده متناسب است. اگر R و R_o هدایت‌های نوری متناظر باشند داریم:

$$R = C \times \frac{1}{P} \quad \text{و} \quad R_o = C \times \frac{1}{P_o}$$

به طوری که C مقداری ثابت و برای هر دو سلول هدایتی یکسان است پس داریم:

$$V_o = M = -V_i \frac{C/P_o}{C/P} = -V_i \frac{P}{P_o} \quad (12-3)$$

بنابراین مقدار M متناسب با نسبت توان دو تابش نوری $\left(\frac{P}{P_o}\right)$ است.



شکل ۳-۱۰ دو مدار برای مبدل‌هایی که مقاومت یا هدایت آنها متغیرهای تجربی مورد نظر هستند. (الف) خروجی سلول متناسب با هدایت الکترولیت است. (ب) میزان مقاومت سلول‌های هدایت نوری متناسب با واحد سنجش است.

$$V_o = \frac{R_k}{R_i} (V_r - V_i) \quad (15-3)$$

بنابراین اختلاف دو سیگنال تقویت شده، هر پتانسیل فرعی غیر مربوط به دو خروجی که در شکل ۱۰-۳ نشان داده شده است حذف خواهند شد و در خروجی ظاهر نخواهد شد. بنابراین هر تغییر آرام در خروجی مبدل‌ها و یا در هر ۶۰ دور کاهش جریان یافته در خطوط قدرت آزمایشگاه از v_o کسر خواهد شد. این خاصیت مفید استفاده گسترده‌ای در مرتبه اول در مدارهای تقویت کننده و در مرتبه دوم در سایر دستگاه‌ها دارد. یک ویژگی مهم در مدارهای تقویت کننده عملیاتی مثل آنچه که در تقویت کننده‌های مختلف که قبلاً بحث شده وجود دارد و آن روش عمومی نسبت به برگشت یا $CMRR$ می‌باشد. در روش عمومی نسبت به برگشت در هر یک از تقویت کننده‌های تفاسلی چگونگی اندازه‌گیری سیگنال برگشت را معین می‌کنند که در هر دو ورودی معمول است. نسبت آن تفاسل بازده A_d به بهره روش عمومی A_{cm} است. بنابراین داریم

$$CMRR = \frac{A_d}{A_{cm}}$$

فرض کنید که می‌خواهیم سیگنال مشخصی را برای ورودی‌های V_1 و V_2 که $R_k = 1000 R_i$ و $V_o = 0.1 V_r$ می‌باشد را تعیین کنیم. اگر تفاسل در یک تقویت کنند ایده آل باشد V_o باید صفر گردد. در این صورت تفاسل تقویت کننده‌ها کسری از V_r بوده و سیگنال برگشت داده می‌شود و در خروجی ظاهر می‌گردد. در این حالت V_r برگشت داده شده می‌باشد و یا سیگنال روش عمومی است، بنابراین بهره روش عمومی خواهد شد، $A_{cm} = \frac{V_o}{V_r} = 0.1$. اختلاف بهره (A_d) درست برابر با بهره تقویت کننده تفاسلی بوده که در این صورت $A_d = \frac{R_k}{R_i} = 1000$ می‌باشد. نسبت $CMRR$ برای این حالت خواهد شد.

$$CMRR = \frac{A_d}{A_{cm}} = \frac{1000}{0.1} = 10000$$

هر چه نسبت $CMRR$ تقویت کننده بزرگتر باشد، سیگنال‌های شیوه عمومی برگشتی را بهتر نشان می‌دهد. مبدل‌های نشان داده شده در شکل (۱۱-۳) یک جفت ترموکوپل اتصالی هستند که یکی از مبدل‌ها به عنوان نمونه نشان داده شده است و مبدل دیگر در محلول استاندارد برای ثابت نگه داشتن دما

۳-۴ مقایسه خروجی‌های مبدل

اغلب ترجیح داده می‌شود که سیگنال‌های تولید شده توسط یک آنالیت نسبت به یک سیگنال مرجع مانند آنچه که در شکل ۱۰-۳ ب نشان داده شده است اندازه‌گیری شود. یک تقویت کننده تفاسلی نظیر آنچه که در شکل ۱۱-۳ نشان داده شده است می‌تواند بدین منظور بکار گرفته شود. در این جا تقویت کننده برای اندازه‌گیری حرارت بکار برده می‌شود. توجه داشته باشید که دو مقاومت ورودی دارای مقاومت یکسان R_i هستند، همین طور مقاومت بازخورد و مقاومت بین زمین و ورودی غیر برگشتی که هر دو با R_k نشان داده می‌شوند نیز مشابه هستند. اگر از قانون اهم استفاده شود برای مدار نشان داده شده در شکل ۱۱-۳ خواهیم داشت (به روابط ۵-۳ و ۶-۳ نگاه کنید).

$$I_l = \frac{V_l - v_-}{R_i}$$

و

$$I_f = \frac{v_- - V_o}{R_k}$$

از آن جایی که تقویت کننده عملیاتی دارای ورودی با مقاومت ظاهری بالا است. بنابراین I_l و I_f تقریباً برابر هستند.

$$I_l \approx I_f$$

$$\frac{V_l - v_-}{R_i} = \frac{v_- - V_o}{R_k}$$

با حل این رابطه v_- خواهد شد:

$$v_- = \frac{V_l R_k + V_o R_i}{R_k + R_i} \quad (13-3)$$

پتانسیل V_+ را می‌توان به جای V_r قرار داد. با استفاده از رابطه تقسیم ولتاژ و رابطه (۹-۲) داریم:

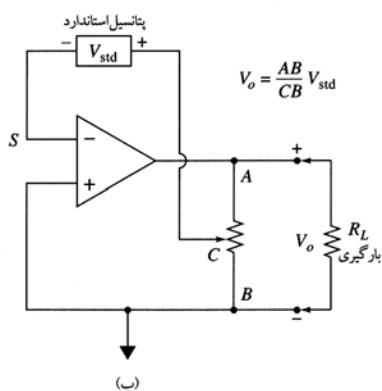
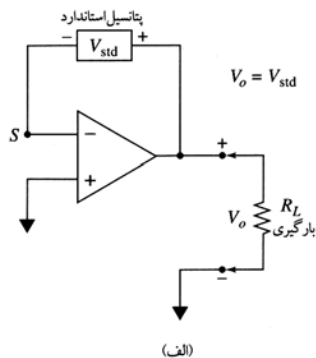
$$v_+ = V_2 \left(\frac{R_k}{R_k + R_i} \right) \quad (14-3)$$

یاد آوری می‌شود که یک تقویت کننده عملیاتی با یک حلقه بازخورد منفی آنچه که برای برقراری رابطه V_1 و V_2 لازم است را انجام می‌دهد. وقتی که روابط (۱۳-۳) و (۱۴-۳) در این رابطه جایگزین شدند، بعد از نوآرایی خواهیم داشت:

در صد ثابت است. چنین منبعی به هر حال ثابت باقی نمی‌ماند. ولتاژ در هر حالت تا حتی وقتی که به جریانهای قوی می‌رسد باید ثابت باقی بماند.

با یادآوری مباحث قبلی که نقطه S در شکل ۱۲-۳ الف در یک حالت واقعی قرار دارد و برای این که این شرط برقرار باشد لازم است که $V_o = V_{std}$ باشد. بنابراین جریان با افزایش مقاومت R_L باید آنچنان باشد که $I_L R_L = V_{std}$ گردد. مهم است که بپذیریم که این جریان از منبع تقویت کننده عملیاتی ناشی می‌شود و نه از منبع ولتاژ استاندارد. هیچ جریانی در حلقه بازخورد ضرورتاً وجود ندارد زیرا مقاومت ظاهری برگشتی ورودی بسیار بالا است. بنابراین سلول استاندارد V_o را کنترل می‌کند ولی اساساً هیچ جریانی افزایش پیدا نمی‌کند.

شکل ۱۲-۳ ب یک تغییر و تحول در مدار شکل الف را نشان می‌دهد، که اجازه می‌دهد ولتاژ خروجی پتانسیواستات (*potentiostat*) در سطحی که به عنوان چندگانگی ولتاژ خروجی منبع پتانسیل استاندارد شناخته می‌شود استقرار یابد.

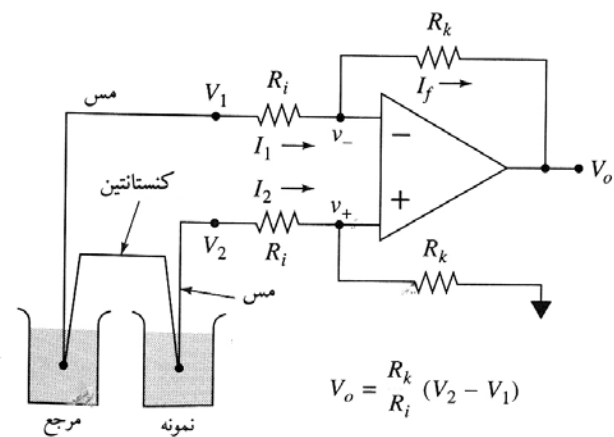


شکل ۱۲-۳ منبع با ولتاژ ثابت

غوطه ور است (معمولاً یک حمام یخی است). برای اتصال سیم‌های مسی از آلیاژی بنام گنستانتن^۱ استفاده می‌شود که پتانسیل تماسی وابسته به دما ایجاد می‌کند. (از دیگر جفت‌های فلزی نیز استفاده می‌شود). تفاضل $(V_2 - V_1)$ تقریباً ۵ میلی ولت برای هر ۱۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد.

۳- کاربرد تقویت کننده‌های عملیاتی برای کنترل ولتاژ و جریان

تقویت کننده‌های عملیاتی به آسانی برای تولید سیگنال‌های جریان ثابت یا پتانسیل ثابت مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۱۲-۳ یک تقویت کننده عملیاتی تقابلی برای اندازه‌گیری ولتاژ خروجی یک جفت ترموکوپل

۳-۱- منابع ولتاژ ثابت

بسیاری از روش‌های دستگاهی نیازمند به یک منبع تغذیه جریان مستقیم (*dc*) که پتانسیل آن بطور دقیق مشخص بوده و از آن جریان‌های قابل قبولی بدون آنکه پتانسیل تغییری کند می‌باشند. مداری که این چنین خواصی دارد «پتانسیومتر» نامیده می‌شود.

دو نوع پتانسیومتر در شکل ۱۲-۳ نشان داده شده است. هر دو از منبع پتانسیل استاندارد در مدار باز خورد استفاده می‌برند. این منبع معمولاً گران قیمت نیست و در بازار قابل خریداری است. نوعی از آن بنام زیرین (*Zener*) مدار کامل داشته (به بخش ۲-۳ در فصل ۲ مراجعه شود) و دارای قابلیت تولید یک ولتاژ خروجی است که صد

۱- آلیاژی که جهت اتصال دادن سیم‌های مسی در تقویت کننده بکار می‌رود.

۳ تقویت کننده‌های عملیاتی شماره ۲ در شکل ۱۲-۳ ب در حقیقت یک ولتاژ دنبال کننده می‌باشد، که به حلقه بازخورد تقویت کننده عملیاتی شماره ۱ متصل شده است. ولتاژ دنبال کننده در این شکل اغلب یک تقویت کننده تلمبه‌ای غیر معکوس نامیده می‌شود زیرا می‌تواند جریان نسبتاً بالایی را در صورت نیاز از آمپرواستات فراهم نماید.

۵ کاربرد تقویت کننده‌های عملیاتی در اعمال ریاضی

همانطور که در شکل ۱۴-۳ نشان داده شده است، با جایگزینی برخی عناصر مداری برای R_f و R_i که در مدار شکل ۴-۳ نشان داده شده است، اجازه می‌یابیم که اعمال ریاضی مختلف بر روی سیگنال الکترونیکی به وجود آوریم، همانند آنچه که توسط یک دستگاه تجزیه‌ای انجام می‌شود. برای مثال خروجی یک ستون کروماتوگرافی معمولاً زمانی، که سیگنال الکترونیکی از یک شناساگر بصورت تابعی از زمان رسم شود بصورت یک پیک تشکیل می‌گردد. انتگرال‌گیری از این پیک برای یافتن سطح زیر منحنی برای بدست آوردن غلظت آنالیت ضروری است. تقویت کننده‌های عملیاتی نشان داده شده در شکل ۱۴-۳ ج به طور خودکار برای انجام دادن این گونه انتگرال‌گیری‌ها ساخته شده‌اند، بنابراین سیگنال داده شده رابطه مستقیم با غلظت آنالیت مورد آزمایش دارد.

۱-۵۳ ضرب و تقسیم به یک مقدار ثابت

شکل ۱۴-۳ الف نشان می‌دهد که چگونه یک سیگنال ورودی v_i می‌تواند در یک ثابت که مقدارش برابر $(-\frac{R_f}{R_i})$ است ضرب شود. حاصل تقسیم به یک مقدار ثابت است و زمانی اتفاق می‌افتد که این نسبت کمتر از واحد باشد.

۲-۵۳ جمع و تفریق

شکل ۱۴-۳ ب نشان می‌دهد که چگونه یک تقویت کننده عملیاتی می‌تواند یک سیگنال خروجی تولید کند که مساوی جمع جبری سیگنال‌های ورودی باشد. چون مقاومت ظاهری تقویت کننده بسیار بالا است و به همین دلیل است که خروجی باید یک جریان متناسب برابر i_f را ایجاد کند تا این که نقطه تجمع S را در یک حالت حقیقی نگه دارند. پس می‌توان نوشت:

$$i_f \approx i_1 + i_2 + i_3 + i_4 \quad (16-3)$$

۲-۵۳ منابع جریان ثابت

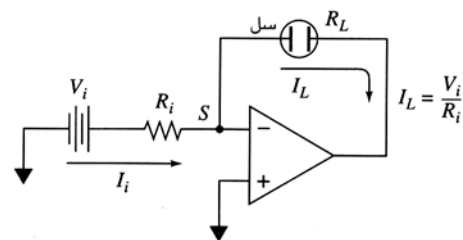
جریان ثابت از منابع dc به نام آمپرواستات (*Amprostat*) در بسیاری از دستگاههای تجزیه‌ای کاربرد دارد ناشی می‌شود. این وسایل معمولاً برای حفظ یک جریان دائم، از طریق یک سلول الکترو شیمیایی مورد بهره برداری قرار می‌گیرند. آمپرواستات با تغییر دادن قدرت ورودی یا با تغییر دادن مقاومت درونی در سلول با تغییر پتانسیل خروجی از طریق حفظ جریان در یک سطح پیش بینی شده از خود عکس العمل نشان می‌دهد.

$$I_L - I_i = \frac{V_i}{R_i}$$

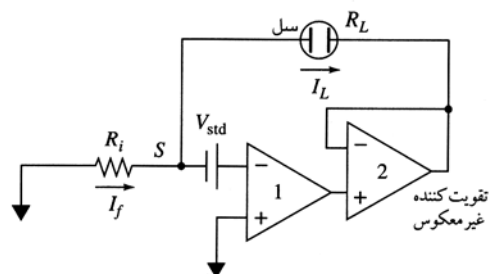
بنابراین، جریان ثابت و غیر وابسته به مقاومت سلول فراهم می‌گردد تا V_i و R_i ثابت باقی بماند. شکل ۱۳-۳ ب یک آمپرواستات را نشان می‌دهد که از ولتاژ استاندارد V_{std} برای ثابت نگه داشتن جریان به کار گرفته شده می‌باشد. توجه داشته باشید که تقویت کننده عملیاتی شماره ۱ یک حلقه بازخورد منفی دارد که شامل تقویت کننده عملیاتی شماره ۲ نیز می‌باشد. برای برقراری شرط $v_- = v_+$ ولتاژ در نقطه تجمع S باید مساوی $-V_{std}$ باشد. علاوه بر این در نقطه S می‌توان نوشت:

$$I_i R_i = I_L R_i = -V_{std}$$

در حالی که R_i و V_{std} در این رابطه ثابت هستند، اعمال تقویت کننده عملیاتی در چنین روشی برای حفظ I_L در یک سطح ثابت که به وسیله R_i تعیین می‌شود می‌باشد.

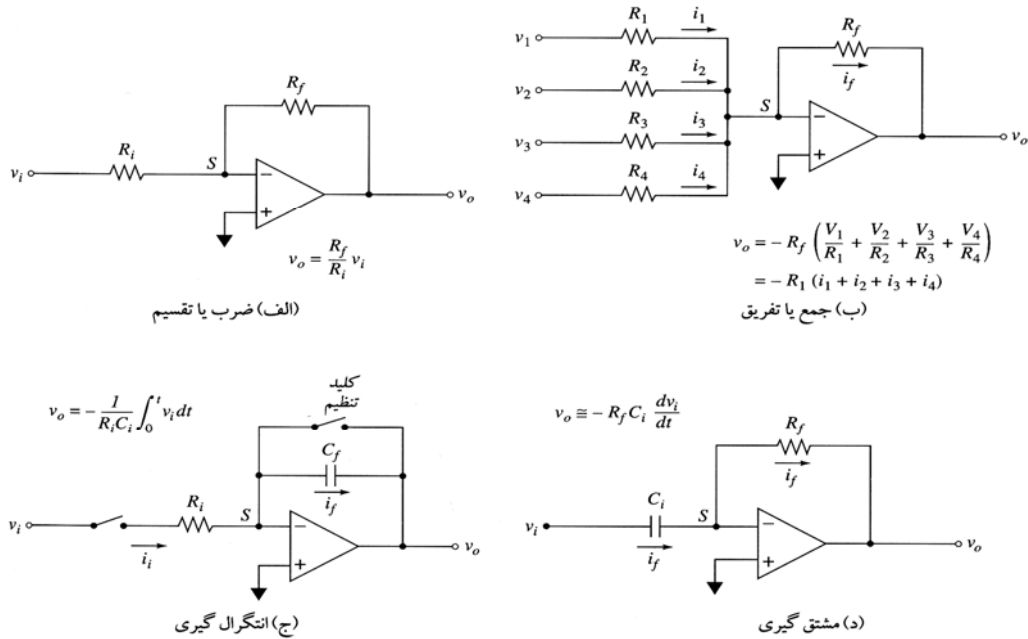


(الف)



(ب)

شکل ۱۳-۳ منبع با جریان ثابت.



شکل ۱۴۳ اعمال ریاضی توسط تقویت کننده‌های عملیاتی

۳-۵۳ انتگرال گیری

اما اگر $I_f = -v_o/R_f$ باشد می‌توان نوشت:

شکل ۱۴-۳ ج یک مدار برای انتگرال‌گیری را با علامت ورودی متغیر v_i نسبت به زمان را نشان می‌دهد. وقتی که کلید شروع مجدد روشن می‌شود و کلید محافظ خاموش می‌شود.

اگر $R_f = R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ باشد، آنگاه ولتاژ خروجی جمع چهار ورودی می‌باشد، ولی علامت آن برعکس است. سیگنال اجازه دهید بنویسیم $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ و با قرار دادن این مقدار در رابطه ۱۷-۳ خواهیم داشت:

$$i_f = -C \frac{dv_o}{dt}$$

$$v_o = -\frac{R}{f} \left(\frac{v_1}{R} + \frac{v_2}{R} + \frac{v_3}{R} + \frac{v_4}{R} \right)$$

با استفاده از قانون اهم i_i توسط رابطه $i_i = \frac{v_i}{R_i}$ به دست می‌آید، بنابراین می‌توان نوشت

و V_o برابر میانگین چهار ورودی است، بنابراین

$$\frac{v_i}{R_i} = -\frac{C dv_o}{dt}$$

$$v_o = -\frac{(v_1 + v_2 + v_3 + v_4)}{f} \quad (18-3)$$

یا

با روش مشابه، میانگین مقداری را می‌تواند به وسیله تغییر نسبت مقاومت‌ها به، مقاومت کننده‌های ورودی به دست آورد.

$$dv_o = -\frac{v_i}{R_i C} dt \quad (19-3)$$

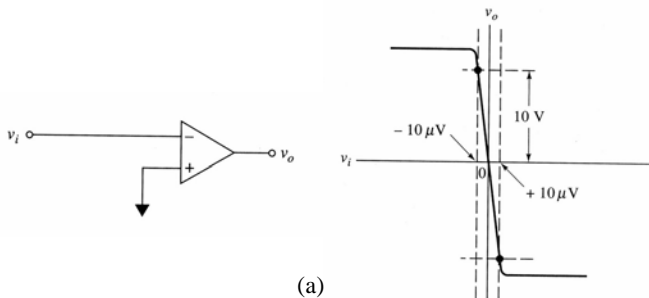
سپس از رابطه (۱۹-۳) انتگرال گرفته تا رابطه‌ای برای ولتاژ خروجی v_o به دست آید.

تفریق می‌تواند به وسیله مدار شکل ۱۴-۳ ب با معرفی یک مبدل $R_i = R_f$ به صورت سری با یک یا چند مقاومت کننده انجام شود، بنابراین با تغییر دادن علامت یک یا چند ورودی صورت می‌گیرد.

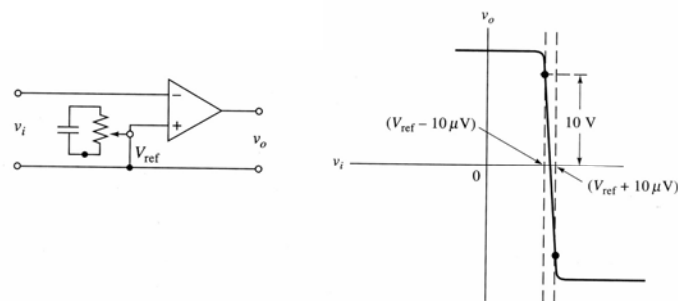
$$\int_{v_{o1}}^{v_{o2}} dv_o = -\frac{1}{R_i C} \int_{t_1}^{t_2} v_i dt \quad (20-3)$$

یا حتی بزرگتر از سیگنال مبدل با فرکانس پایین است، بطوریکه مقدار ولتاژ قبلی از بعدی کوچکتر است.

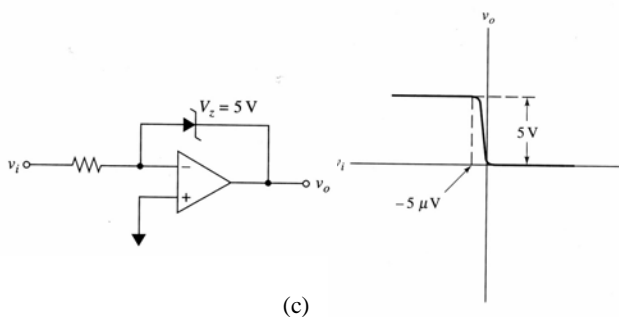
این مسئله با قرار دادن یک خازن موازی کوچک C_f در مدار برگشتی و یک سری مقاومت کوچک R_i در مدار ورودی برای بهینه سازی ولتاژهای فرکانس بالا تا حدودی قابل حل است. این عوامل اضافی به اندازه کافی کوچک در نظر گرفته می شوند تا این که کاهش قابل توجهی در سیگنال تجزیه ای اتفاق نیافتد. به طور کلی، تفکیک کننده ها دارای مدارهای شلوعی هستند، در حالی که انتگرال ها این مزاحمت ها را متعادل می کنند. بنابراین انتگرال گیرهای آنالوگ به طور گسترده ای در تفکیک کننده ها استفاده می شوند. اگر تفکیک یک سیگنال مورد نیاز باشد این عمل به طور دیجیتالی انجام گرفته که در فصل پنجم بحث خواهد شد.



(a)



(b)



(c)

شکل ۱۵-۳ مدارهای قطع و وصل تقویت کننده های عملیاتی و انتقالی

یا

$$v_{o2} - v_{o1} = \frac{1}{R_i C} \int_{t_1}^{t_2} v_i dt \quad (21-3)$$

انتگرال معمولاً توسط باز شدن کلید محافظ (*hold*) و بسته شدن کلید شروع مجدد (*reset*) برای تخلیه خازن انجام می شود. بنابراین $v_{o1} = 0$ است وقتی که $t_1 = 0$ است. رابطه (۲۱-۳) ساده شده به رابطه (۲۲-۳) تبدیل می شود.

$$v_o = -\frac{1}{R_i C} \int_0^t v_i dt \quad (22-3)$$

برای شروع انتگرال گیری کلید شروع مجدد (*reset*) روشن و کلید محافظ (*hold*) خاموش می شود. انتگرال گیری در زمان t با روشن کردن کلید محافظ (*hold*) متوقف می شود. انتگرال در محدوده زمانی صفر تا t برابر v_o است.

۵-۳ مشتق گیری

شکل ۱۴-۳ د، یک مدار پایه را برای مشتق گیری نشان می دهد. این عمل وقتی مفید است که سرعت تغییر کمیت نمونه آزمایشی مطلوب باشد. توجه داشته باشید که تفاوت آن با مدار انتگرال گیری تنها در جابجائی مکان های R و C است. روش عمل همانند مشتق گیری معمولی است که می توان نوشت:

$$C \frac{dv_i}{dt} = -\frac{v_o}{R_f}$$

یا

$$v_o = -R_f C \frac{dv_i}{dt} \quad (23-3)$$

در واقع بدلیل کندی تغییر سرعت در سیگنال مبدل، مدار نشان داده شده در شکل ۱۴-۳ عملاً کاربرد شیمیایی ندارد.

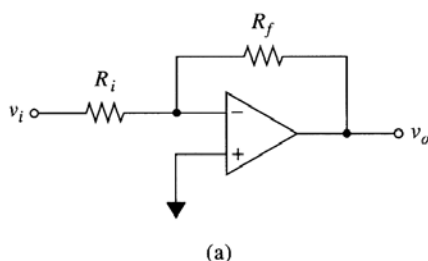
به عنوان مثال مشتق گیری روش مناسبی برای بکارگیری داده ها در یک پتانسیل سنجی می باشد. تغییر پتانسیل وقتی جالب است که زمان انجام عمل یک دقیقه و یا بیش از آن باشد ($f \leq 1 Hz$). به هر حال سیگنال ورودی حاوی اجزاء غیر مرتبط ۶۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ هرتز می باشد. (شکل ۳-۵ را نگاه کنید)، که از طریق منبع تغذیه کننده *ac* تأمین می شود. بعلاوه نوسانات سیگنال اغلب در اثر مخلوط شدن ناقص محلول های الکترولیت و معرف رخ می دهد. متأسفانه، خروجی مدار در شکل ۱۴-۳ (د) یک نوع وابستگی به فرکانس را نشان می دهد. در نتیجه ولتاژ خروجی سیگنال غیر عادی و اغلب به بزرگی

وقتی شروع به شکسته شدن می‌کند که ولتاژ ورودی بزرگتر از حدودا (10^6) میکرو ولت و یا ولتاژهای خروجی بیش از ۱۰ ولت باشد. بالاخره این که ولتاژ خروجی به ولتاژ ورودی وابسته نبوده و به حد مثبت و یا منفی خروجی می‌رسد. برخی از تقویت کننده عملیاتی تمایل دارند در محدوده ولتاژ حداقل به طور دائم باقی بمانند، حتی پس از اینکه ولتاژ ورودی به صفر می‌رسد. برای رفع این مشکل و اطمینان از اینکه تقویت کننده عملیاتی در حد بالایی در رابطه $(3-5)$ صدق می‌کنند با یک لامپ دو قطبی زینر (*Zener*) (بخش ۲-۳) و با کاهش ولتاژ به کمتر از ۱۰ ولت و وارد شدن در حلقه بازخورد همانطور که در شکل ۳-۱۵ ج نشان داده شده است عملی می‌گردد. برای مثال تغییر ۵ میکرو ولتی در ولتاژ ورودی باعث می‌شود تا مدار از یک حالت هدایت جریان اساسا به حالت غیر هدایتی جریان تبدیل شود. بنابراین مدار دارای یک سویچ الکترونیکی است که تنها دو حالت دارد: حالت اول زمانی است که خروجی ۵ ولت است و حالت دوم زمانی است که ولتاژ خروجی نزدیک به صفر است.

سویچ‌های الکترونیکی، از جمله آنهایی که در این بخش مورد بحث قرار گرفتند حداقل دارای دو مزیت مهم نسبت به همتای مکانیکی خود دارند. اول اینکه آنها بسیار حساس هستند زیرا A بسیار بزرگ دارند و دوم اینکه آنها به سرعت عکس العمل نشان می‌دهند. مدارهای خاص که برای سویچ کردن بکار برده می‌شوند مقایسه‌گرها اطلاق می‌شوند. این دستگاه‌ها بهره‌ای به اندازه ۱۰۶ یا بیشتر و زمانهای ۲۰۰ نانو ثانیه یا کمتر را نشان می‌دهند. این ویژگی‌ها هستند که این مدارها را برای کاربردهای کامپیوتری و سایر کاربردها نظیر سویچ کردن با اهمیت می‌سازد.

۳ پرسشها و مسائل

۳-۱) یک ولتاژ با موج سینوسی و با فرکانس پایین دارای مدارهای ورودی زیر است. خروجی قابل پیش بینی برای هر مدار را رسم کنید:



(a)

۵-۵۳ پیدایش لگاریتم‌ها و آنتی لگاریتم‌ها

اتصال ترانزیستور خارجی به مدار تقویت کننده عملیاتی این امکان را می‌دهد که ولتاژهای خروجی را تأمین کند که یا لگاریتمی و یا آنتی لگاریتمی ولتاژ ورودی هستند و به مدار بستگی دارد. مدارهای تقویت کننده عملیاتی از این نوع اگر چه به شدت به فرکانس و دما وابسته است ولی دقت آن تنها در حدود چند درصد است. در ضمن ولتاژ آنها یک تا دو دهم ولتاژ ورودی می‌باشد. طرح‌های ترکیبی دما و فرکانس برای به دست آوردن لگاریتم‌ها و آنتی لگاریتم‌ها با دقت چند دهم به صورت تجاری به قیمت ۲۰ تا ۱۰۰ دلار در بازار موجود است. این مدارها جهت تولید سیگنال متناسب برای جذب در اسپکتروفتومترها به کار برده می‌شوند و در جمع آوری اطلاعات نیز کاربرد دارند. اخیرا لگاریتم و آنتی لگاریتم به روش عددی توسط کامپیوترهای کوچک به جای تبدیل کننده‌های عملیاتی نیز انجام می‌شود.

۳ کاربرد تقویت کننده‌های عملیاتی در سویچ کردن

تقویت کننده‌های عملیاتی کاربرد زیاد و گسترده دیگری در سویچ کردن پیدا کرده‌اند. در چنین مدارهایی سطوح سیگنال‌ها نمایش داده می‌شوند و با ولتاژهای استاندارد مقایسه می‌گردند نظیر مدارهای نمونه از قبیل، مدارهای پیک یاب، زمان یاب آنالوگ و مدارهای طراحی شده برای تولید سطوح حد سیگنال و مدارهایی مرز بین دامنه‌های آنالوگ و دیجیتال. شکل‌های ۳-۱۵ (الف) و ۳-۱۵ (ب) دو مدار مقایسه گر و خروجی را بر حسب ولتاژهای ورودی نشان می‌دهند. در مدار شکل ۳-۱۵ (الف) ولتاژ ورودی با یک ولتاژ مشترک در مدار مقایسه می‌شود، در حالی که در شکل ۳-۱۵ (ب) مقایسه با ولتاژ v_{ref} استاندارد صورت می‌گیرد. رفتار اولین مقایسه گر توسط رابطه ۳-۱۲ مشخص می‌گردد، زیرا ورودی بطور مستقیم به مدار عمومی وصل است ($v_+ = 0$) پس داریم:

$$v_o = -A(v_- - v_+) = -Av_- = -Av_{in}$$

همان طوری که در منحنی سمت راست شکل ۳-۱۵ الف نشان داده شده، رابطه فوق در یک ناحیه محدود که در هر دو سوی ولتاژ ورودی معادل صفر است بکار می‌رود. برای یک مدار تقویت کننده عملیاتی معمولی با بهره حلقه باز 10^6 ، تغییرات ولتاژ خروجی v_{out} از ۰ تا ۱۰ ولت خواهد بود و این در صورتی است که تغییرات ولتاژ ورودی v_{in} از 10^{-6} تا 10^{-5} ولت (۱۰ میکروولت) می‌باشد. همانطور که در این منحنی نشان داده شده، خطی بودن ولتاژهای ورودی و خروجی

$$-y = \frac{1}{10}(\Delta x_1 + 3x_2)$$

۸۳ مدار برای حل رابطه زیر رسم کنید:

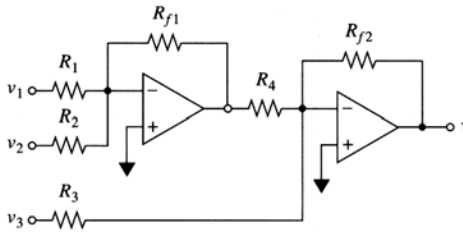
$$-v = 4v_i + 1/100 \times 10^3 I_i$$

۹۳ برای مدار زیر: (الف) عبارتی بنویسید که ولتاژ خروجی را در

سه جمله، ولتاژ ورودی و مقاومت‌ها را نشان بدهد:

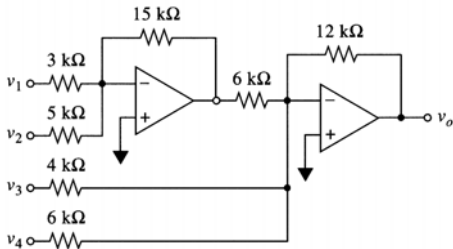
(ب) رابطه ریاضی را برای مدار که $R_1 = R_2 = 200$ کیلو اهم و

$R_3 = R_4 = 10$ کیلو اهم و $R_5 = R_6 = 400$ کیلو اهم باشد بنویسید.



۱۰۳ رابطه جبری بین ولتاژ ورودی و خروجی را برای مدار زیر

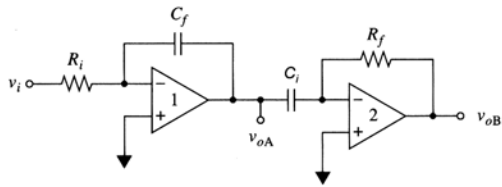
بنویسید:



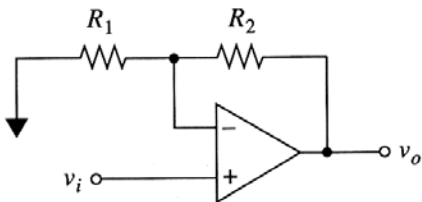
۱۱۳ برای مدار زیر: وقتی که ورودی در ابتدا صفر اما پس از سوئیچ

شدن در یک ولتاژ ثابت مثبت در زمان صفر دارد و خروجی‌ها

v_{0A} و v_{0B} داشته باشد رسم کنید.

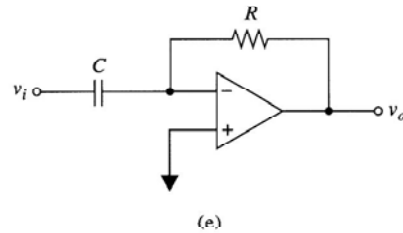
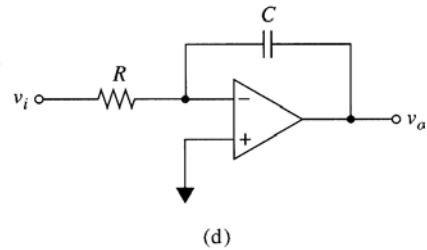
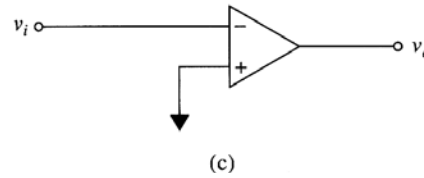
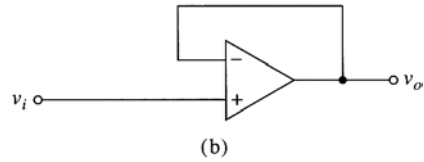


۱۲۳ رابطه بین v_{out} و v_{in} برای مدار زیر بنویسید:



۱۳۳ در مدار زیر، R یک مقاومت متغیر است مشتق معادله‌ای را که

U_{out} تابعی از U_{in} و مکان اتصال ولتاژ متحرک تقسیم کننده



۲۳ مقادیر زیر را برای اجزاء مدار در شکل ۳-۴ در نظر بگیرید: ۱

$R_f = 3$ کیلو اهم، $A = 200$ و $v_i = 0.910$ میلی

ولت و جریان به صورت dc می‌باشد. (الف): v . (ب): I_i و (ج)

f_r محاسبه کنید.

۳۳ نسبت تغییر و افزایش زمان را برای یک تقویت کننده عملیاتی با

باند عرضی ۵۰ مگاهرتز محاسبه کنید.

۴۳ خطای نسبی را با استفاده از معادله ۳-۶ تعیین کنید. همچنین v_0

را با استفاده از معادلات مربوطه محاسبه کنید. اگر $R_i = 2$ مگا

اهم، $R_f = 40$ مگا اهم و $A = 5 \times 10^4$ باشد.

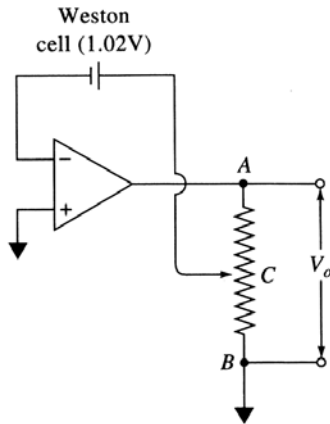
۵۳ مداری با یک خروجی و با استفاده از رابطه زیر رسم کنید:

$$-v = 3v_1 + 5v_2 - 6v_3$$

۶۳ مداری را که برای محاسبه مقدار متوسط ۳ ولتاژ ورودی ضربدر

۱۰۰۰ را رسم کنید.

۷۳ مداری جهت محاسبه رابطه زیر رسم کنید:



(۱۷۳) مداری طرح کنید که خروجی زیر را ایجاد کند:

$$v_o = 4/0.0 \int_0^t v_1 dt + \int_0^t v_2 dt$$

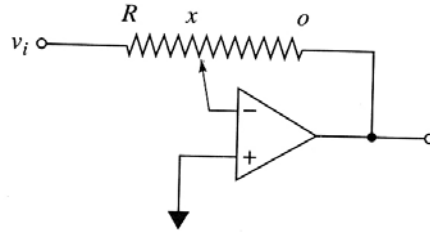
(۱۸۳) مداری با خروجی زیر طراحی کنید:

$$v_o = 2/0.0 \int_0^t v_1 dt - 6/0.0 (v_2 + v_3)$$

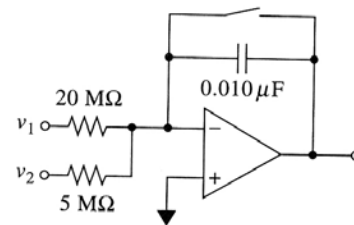
(۱۹۳) ولتاژ خروجی یک جمع کننده پس از مدت زمان ۱، ۳، ۵ و ۷

ثانیه بعد از شروع رسم کنید. اگر مقاومت ورودی ۲/۰ مگا اهم، ظرفیت خازن بازخورد ۲۵ میکروفاراد و ولتاژ ورودی ۴/۰ میلی ولت باشد.

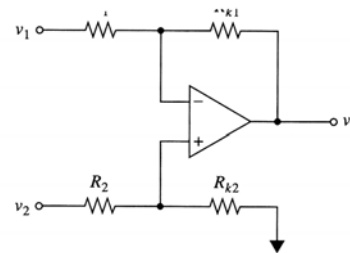
(x) بنویسید. مشتقی را برحسب x بنویسید، در صورتی که مقاومت در حلقه بازخورد نیز صفر باشد.



(۱۴۳) توضیحی برای پتانسیل خروجی مدار زیر بنویسید.



(۱۵۳) نشان دهید که چه موقعی چهار مقاومت برابر هستند و مدار زیر یک مدار تفاضلی است:



(۱۶۳) سیم لغزنده خطی AB: طولی برابر ۱۰ سانتی متر دارد. چه قسمتی از طول آن برای ایجاد پتانسیل دقیقاً ۳ ولت برقرار می‌شود. پتانسیل سلول و ستون ۱/۰۱۸۶ ولت است.

* * * * *

مراجع

[1] H. V. Malastadt, C. G. Enke and S. R. Crouch, *Microcomputers and electronic Instrumentation: Making the Right Connections*, Washington, DC: America Chemical Society, 1994; A. J. Die fenderfer and B. E. Holton, *Principles of electronic Instrumentation*, 3rd. ed. Philafel phia: Saunders college publication, 1994, J. I. Brophy

Basic Electronics for Scientists, 5th ed. New York McGeaw-Hill, 1990, p. Horowitz and W. Hill, *The Art of Electronics*, 2nd ed. New York: Cambridge University press, 1989.
[2]. R. Kalvida, *operational, Amplifrsers in Chemical Instrumentational*, New York: Halsted press, 1975.

فصل ۴

الکترونیک دیجیتال و میکرو کامپیوترها

را مجبور می‌کند تا دانسته‌های خود را با توجه به امتیازات و محدودیتهای وسایل الکترونیک جدید و کامپیوترها بسط دهند. اگر چه فراگیری علم الکترونیک و کامپیوتر در حد طراحی برای همه شیمیدان‌ها غیر ممکن یا شاید مناسب نباشد ولی توسعه و تکامل مدارها با عملکرد و امکانات بالا و بهره مندی از داده‌های سخت‌افزاری اجازه داشتن یک تصویر ذهنی روشن از فراز و نشیب ابزارهای الکترونیکی را در راستای بکارگیری از تکنولوژی الکترونیک و کامپیوتر را امکانپذیر می‌سازد. از نظر فراز و نشیب فرض بر این است که یک وسیله مجموعه ایست از توابع مدولی که ممکن است در شکل شمایی به صورت قطعه‌هایی نمایش داده شود،

سرعت پیشرفت تکنولوژی الکترونیک، استفاده از ابزارهای الکترونیکی و تکنولوژی میکرو کامپیوترها به طور باور نکردنی در حال رشد است. در دو دهه قبل کامپیوترها جزء وسایل گران قیمت محسوب می‌شدند، اما در دهه گذشته با تولید فراوان میکرو کامپیوترهای ارزان قیمت، همراه با مجموعه‌ای از وسایل جانبی، کامپیوترها را که نایاب بودند به حالت عمومی در آورد. میکرو کامپیوترها یا ریز پردازنده‌ها امروزه در بیشتر ابزارهای آزمایشگاهی مثل ترازو، pH متر یافت می‌شود. در بخش ۴-د تفاوت بین ریزپردازنده‌ها و میکرو کامپیوترها شرح داده خواهد شد. توسعه دستگاههای خودکار و مجهز شده به کامپیوتر شیمیدان‌ها

می‌باشد.

درک این موضوع مهم است که آیا سیگنال از یک پدیده شیمیایی پیوسته بوجود آمده و یا از یک پدیده ناپیوسته که می‌تواند به شدت سیگنال و چگونگی مشاهده آن بستگی داشته باشد. برای مثال تابش زرد تولید شده از حرارت دادن یونهای سدیم در یک شعله که اغلب توسط دستگاه نورسنجی اندازه‌گیری می‌شود و انرژی نورانی را به یک جریان آنالوگ تبدیل می‌کند که می‌توان با تغییراتی در محدوده مورد نظر به صورت پیوسته ایجاد کرد. با این حال در شدت تابش پایین می‌توان مبدلی را به صورت کامل طراحی کرد که بتواند نسبت به فوتونهای منفرد واکنش نشان داده و تولید سیگنالی کند که حاوی یک سری پالسهای آنالوگ باشد و به پالسهای دیجیتالی تبدیل و سپس شمارش شوند.

اغلب در وسائل جدید همانطور که در شکل ۱-۴ الف نشان داده شده است، یک علامت آنالوگ به علامت دیجیتالی تبدیل می‌شود (شکل ۱-۴ ب). با استفاده از نمونه برداری ثبت آنالوگ خروجی در فاصله‌های زمانی معین انجام می‌گیرد. چگونگی تبدیل آنالوگ به دیجیتال با استفاده از یک مبدل یا DAC در بخش بعدی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

۴ ب شمارش و محاسبه توسط اعداد دو دویی

در یک اندازه‌گیری دیجیتال نوعی از یک شمارشگر با سرعت بالا به منظور شمارش تعداد حوادثی که در یک سری خاص و در شرایط بینا بینی اتفاق می‌افتد استفاده می‌شود. مثالهایی برای اینگونه سیگنال شامل یک تعداد فوتونها یا ذرات آلفای گسیل شده در یک فرآیند تجزیه در هر ثانیه، یا تعداد قطرات معرف یا شمارش مراحل آزاد شدن معرف از سرنگ با استفاده از یک شمارنده می‌پردازیم. حالت مرزی باید شامل یک فاصله زمانی در حدود یک ثانیه باشد تا اینکه فرکانس علامت به حسب هرترز به دست آید و یا تغییرات حاصله در متغیرهای آزمایشی مثل pH قدرت جذب جریان یا ولتاژ نیز تعیین شود.

شمارش سیگنالهای الکترونیکی ضروری است زیرا آنها در ابتدا به سیگنالهای دیجیتالی تبدیل شده تا اینکه زمینه لازم برای ایجاد یک سری پالسهای معادل با ولتاژ شمارشگر مدار دیجیتالی را فراهم می‌آورد. سرانجام این پالسها بوسیله شمارشگر برای پردازش با کامپیوتر به سیستم اعداد دودویی و یا برای نمایش سیستم ده دهی تبدیل می‌شوند. شمارشگر الکترونیکی در سیستم اعداد دودویی رمز

همانطوریکه در شکل‌های ۲-۴ و ۱۳-۴ نشان داده شده است، استفاده از این روش، این امکان را می‌دهد که اندازه‌گیری‌های پیچیده شیمی فیزیکی را با ارتباط چندین توابع مدولی از مدارهای کامل شده یا در کامپیوترها که بطور صحیحی در پی یکدیگر قرار گرفته باشند را انجام داد. معمولاً داشتن دانش عمیق در طراحی تک تک اجزاء یک سیستم چندان ضروری نیست. علاوه بر این برای سهولت فرآیند آموزش روش شکل و آسان در تشخیص سیستمی که اشتباه عمل می‌کند و در بکارگیری هوشمندانه از سیستم‌های ابزاری و پیشرفته برای حل مسائل و مشکلات علم شیمی کمک گرفت.

مدارهای دیجیتالی مزیت بیشتری نسبت به هم‌تای آنالوگ خود دارند. برای مثال مدارهای دیجیتالی نسبت به مزاحمت‌های محیطی کمتر حساسند و سیگنالهای دیجیتالی رمزی معمولاً قادر به ارسال علائم دقیقی با کیفیت بالاتر می‌باشند. ثانیاً سیگنال‌های دیجیتالی می‌توانند مستقیماً به کامپیوترهای دیجیتالی فرستاده شوند. این کار بدین معنی است که نرم‌افزار قادر به استخراج اطلاعات از علامت‌های خروجی دستگاههای شیمیایی است.

این فصل همانند بستری خواهد بود برای مطالعه بیشتر و استفاده از سیستمهای ابزاری جدید و هدفهای آن که عبارتند از (۱) ایجاد یک دید مختصر از چگونه اطلاعات دیجیتالی که می‌توانند رمز شوند (۲) معرفی تعدادی از اجزاء اصلی مدارهای دیجیتالی و میکرو کامپیوترها (۳) تشریح تعدادی از تقابل بسیار عادی بین اجزاء کامپیوتر (۴) شرح چگونگی استفاده از کامپیوترها و نرم افزارها در آزمایشگاههای تجزیه [۱].

۴ الف سیگنال‌های آنالوگ و دیجیتالی

همانطور که در فصل اول شرح داده شده داده‌های شیمیایی به صورت دیجیتال، آنالوگ و یا براساس زمان، کد گذاری می‌شوند. یک مثال از طیف گسسته در محیط غیر الکترونیکی که به آسانی می‌تواند به دیجیتالی تبدیل شود، انرژی نورانی تولید شده در اثر تجزیه مواد رادیواکتیو می‌باشد. در اینجا اطلاعاتی از یک سری پالسهای انرژی که توسط یک اتم مجرد در حال تجزیه به وجود می‌آید را نیز شامل می‌شود. این پالسها را می‌توان با استفاده از یک مبدل مخصوص ورودی به یک محیط الکترونیکی تبدیل کرد. برای این کار اول پالسهای آنالوگ و سپس پالسهای دیجیتالی را می‌توان در نظر گرفت. اطلاعات حاصله را می‌توان به صورت یک عدد صحیح تفسیر کرده و به کاربرد. این شکل از اطلاعات غیر الکترونیکی

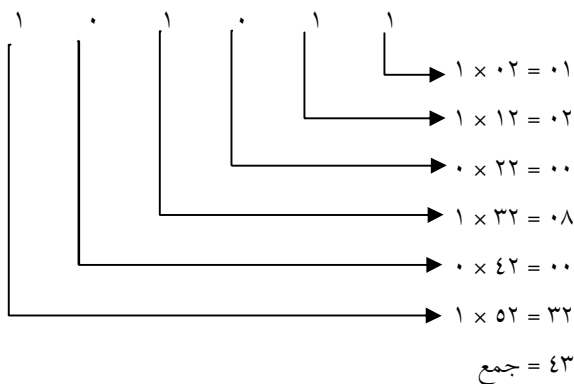
به همین ترتیب ارقام در سیستم دودویی با ضربی از توان ۲ نشان داده می‌شود.

ع-۲ تبدیل اعداد دودویی و دهی

جدول ۱-۴ رابطه بین چند عدد دهی و دودویی را نشان می‌دهد. مثالهای زیر روش تبدیل بین این دو سیستم را روشن می‌سازد.

مثال ۴-۱

۱۰۱۰۱۱ را از سیستم دودویی به سیستم دهی تبدیل کنید. اعداد دودویی براساس پایه دو بیان شده است. بنابراین



مثال ۴-۲

۷۱۰ را به سیستم دودویی تبدیل کنید:

در مرحله اول بالاترین توان ۲ را که کمتر از ۷۱۰ است تعیین می‌کنیم بنابراین از $2^9 = 512$ شروع خواهد شد.

$$710 - 512 = 198 \quad \text{و} \quad 2^9 = 512$$

عمل برای ۱۹۸ تکرار می‌شود.

$$198 - 128 = 70 \quad \text{و} \quad 2^7 = 128$$

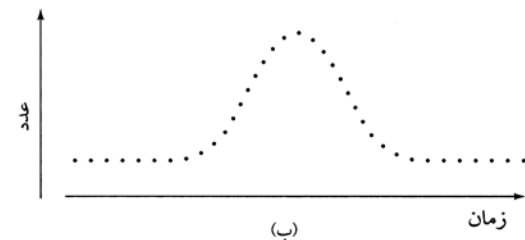
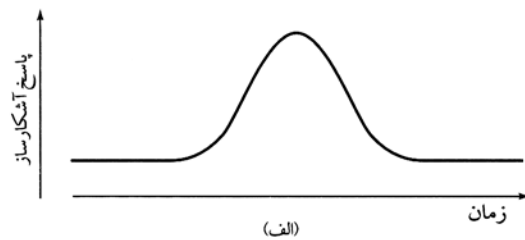
در ادامه خواهد شد

$$70 - 64 = 6 \quad \text{و} \quad 2^6 = 64$$

$$6 - 4 = 2 \quad \text{و} \quad 2^2 = 4$$

$$2 - 2 = 0 \quad \text{و} \quad 2^1 = 2$$

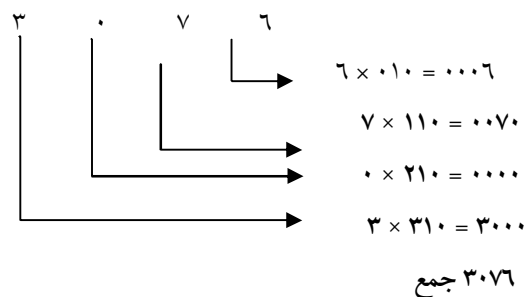
شده در دهی یا سیستم اعداد دودویی اجرا می‌شود. در هر دو برنامه کد بندی فقط به دو رقم ۰ و ۱ برای نشان دادن هر عددی نیاز دارند. در شمارنده الکترونیکی صفر معمولاً به وسیله یک سیگنال حدوداً صفر ولت و برای یک، معمولاً ولتاژی برابر ۵ ولت نمایش داده می‌شود. دانستن این نکته که سطح این ولتاژها وابسته به تکنولوژی جریان و برای گروههای منطقی مختلف مهم است. برای مثال در دانش رمز پردازها در بیشتر حالات از ولتاژ حدوداً ۳ ولت برای نمایش یک استفاده و صفر ولت نمایانگر صفر است.



شکل ۱-۴ تغییرات جوابهای آشکار ساز نسبت به زمان سیگنالهای یکسان (الف): در حوزه آنالوک، (ب): در حوزه دیجیتال

ع-۱ سیستم اعداد دودویی

هر رقمی در سیستم اعداد دهی با ضربی از توانهای ده نشان داده می‌شود. بنابراین عدد ۳۰۷۶ را می‌توان به این صورت نمایش داد.



$$\begin{array}{r} 1 \\ \times 1 \\ \hline 10 \\ 1 \\ \hline 11 \end{array}$$

مثال زیر روش استفاده از این اعمال را نشان می‌دهد.

مثال ۴-۳

محاسبات زیر را در مبنای دو انجام دهید (الف) $۷+۳$ ، (ب)

$۱۹+۶$ ، (ج) ۷×۳ و (د) ۲۲×۵

	۷	۱۱۱	(ب) ۱۹	۱۰۰۱۱
(الف)	+ ۳	+ ۱۱	+ ۶	۱۱۰
	۱۰	۱۰۱۰	۲۵	۱۱۰۰۱
	۷	۱۱۱	(د) ۲۲	۱۰۱۱۰
	۳	۱۱	۵	۱۰۱
	۲۱	۱۱۱	۱۱۰	۱۰۱۱۰
(ج)		۱۱۱		۰۰۰۰
		۱۰۱۰۱		۱۰۱۱۰
				۱۱۰۱۱۱۰

توجه داشته باشید که عمل همانند روشی است که در سیستم ده دهی استفاده می‌شود. بنابراین (الف) جمع دو عدد یک در سمت راست برابر صفر است و بعلاوه ۱ به ستون بعدی اضافه می‌شود. در اینجا جمع سه عدد یک برابر یک و بعلاوه یک می‌شود که یک دوم به ستون بعدی انتقال می‌یابد، سرانجام این یک در ستون بعدی به صورت صفر بعلاوه یک در می‌آید که در این حالت یک عدد با معنی خواهد بود.

۴ ج اجزاء اصلی مدارهای دیجیتال

شکل ۴-۲ نمای کلی از یک دستگاه شمارش گر الکترونیکی را نشان می‌دهد که از مبدلی در واحد زمان دریافت می‌کند. ولتاژ سیگنال مبدل ابتدا از یک دهنده عبور کرده که سیگنالهای زمینه کوچک را حذف می‌کند. سپس سیگنال بزرگ پالسی به پالسهای مستطیلی تبدیل می‌کند. که فرکانس مشابه با فرکانس سیگنال ورودی

سپس اعداد دودویی به صورت زیر محاسبه خواهد شد.

$$\begin{array}{r} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ - \\ 2^1 \\ 2^2 \\ - \\ 2^6 \\ 2^7 \\ - \\ 2^9 \end{array}$$

جدول ۴-۱: رابطه بین چند عدد در مبنای دودویی و دهی

اعداد مبنای ده	اعداد مبنای دو
۰	۰
۱	۱
۲	۱۰
۳	۱۱
۴	۱۰۰
۵	۱۰۱
۶	۱۱۰
۷	۱۱۱
۸	۱۰۰۰
۹	۱۰۰۱
۱۰	۱۰۱۰
۱۱	۱۰۱۱
۱۲	۱۱۰۰
۱۳	۱۱۰۱
۱۴	۱۱۱۰
۱۵	۱۱۱۱
۱۶	۱۰۰۰۰
۱۷	۱۰۰۰۱
۱۸	۱۰۰۱۰
۱۹	۱۰۰۱۱
۲۰	۱۰۱۰۰
۲۱	۱۰۱۰۱
۲۲	۱۰۱۱۰
۲۳	۱۰۱۱۱
۲۴	۱۱۰۰۰
۲۵	۱۱۰۰۱
۲۶	۱۱۰۱۰
۲۷	۱۱۰۱۱
۲۸	۱۱۱۰۰
۲۹	۱۱۱۰۱
۳۰	۱۱۱۱۰
۳۱	۱۱۱۱۱

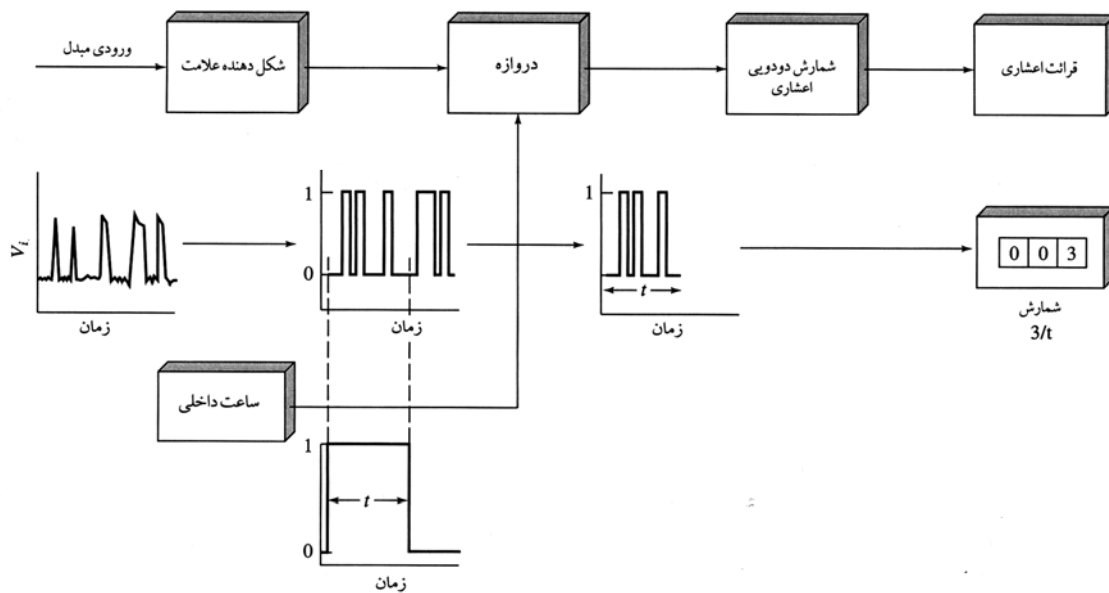
توجه به این نکته با ارزش است که در سیستم ده دهی یک رقم با ارزش و یک رقم بی ارزش وجود دارد. رقمی که در سمت راست یک عدد قرار دارد قسمت کم ارزش بیت یا *LSB* است. رقمی که در سمت چپ یک عدد قرار دارد قسمت با ارزش بیت یا *MSB* است.

۴ب-۳ محاسبه در مبنای دو

محاسبه اعداد در دودویی شبیه به محاسبات ده دهی و ساده‌تر از آن است برای جمع کردن فقط چهار ترکیب امکان‌پذیر است.

$$\begin{array}{r} 0 \\ + 0 \\ \hline 0 \\ 0 \\ + 1 \\ \hline 1 \\ 0 \\ + 0 \\ \hline 1 \\ 0 \\ + 1 \\ \hline 10 \end{array}$$

توجه داشته باشید که در آخرین عمل جمع ۱ با بالاترین توان یعنی دو ظاهر شد. شبیه این اعمال برای ضرب هم وجود دارد.



شکل ۴-۲ یک شمارشگر برای تعیین ولتاژ پالسها در هر ثانیه

نادیده گرفته می‌شوند تا اینکه سیگنالها زیر V_{ref} باقی بمانند.

۴-ج-۲ شمارنده‌های دودویی

در شمارنده‌های الکترونیکی از یک سری مدارهای دودویی برای شمارش پالسهای الکترونیکی استفاده می‌شود. این مدارها اساساً سوئیچ الکترونیکی می‌باشند که تنها امکان دو حالت منطقی HI و LO یا یک و صفر دارند. هر مدار می‌تواند برای نشان دادن یک بیت از شماره‌های دودویی استفاده شود (یا ضریبی از توان دو) دو مدار می‌تواند چهار خروجی داشته باشد که عبارتند از $0/1$ ، $1/0$ ، $0/1$ و $1/1$ و می‌توان به آسانی نشان داد که سه تا از این مدارها هشت حالت مختلف داشته در حالی که برای چهار مدار شانزده حالت وجود دارد. به این ترتیب برای ۸ مدار 2^n ترکیب خروجی مجزا و مختلف وجود خواهد داشت. با بکارگیری اعداد کافی در مراحل مختلف مدار، تعداد بیت‌های کافی در یک شمارش بوجود می‌آیند که بزرگ و مطلوب هستند. بنابراین هفت مرحله ۱۲۷ حالت دارد که می‌تواند یک شمارش دقیق به صورت یک قسمت از ۱۲۸ قسمت یا چیزی بهتر از ۱٪ نسبی را ایجاد کند.

یک مدار مناسب برای شمارش جی.کی.فیلپ - فلوپ ($JK - Flip Flop$) نامیده می‌شود. این مدار درجات خروجی اش را وقتی که سیگنال ورودی از حالت منطقی یک به صفر تغییر می‌یابد تغییر می‌دهد. هیچ تغییری در خروجی با تغییر صفر به یک در

دارند. سپس سیگنال‌های حاصله وارد منبعی می‌شوند که در آن زمان سنجی تعبیه شده که در فاصله‌های زمانی معین (t) اجازه می‌دهد پالسهای ورودی شمرده شده و از آن خارج شوند. سرانجام در خروجی رمز از مبنای دو به ده توسط شمارشگر، رمز گشایی شده و عدد در مبنای ده نمایش داده می‌شود.

۴-ج-۱ شکل دهنده‌های سیگنال

این مدار استفاده از یک مقایسه کننده ولتاژ جهت تبدیل یک علامت ورودی به شکل موج مربعی نشان داده شده در شکل ۴-۳ ج را مهیا می‌سازد. شکل ۳-۱۵ ج خروجی دستگاه اندازه‌گیری، در یکی از دو سطح ولتاژ $+5$ یا صفر نشان می‌دهد. این دو سطح اغلب حالت‌های منطقی نامیده می‌شوند که به ترتیب بین یک و صفر طراحی شده‌اند که در شکل‌های ۴-۲ و ۴-۳ نشان داده شده‌اند. دستگاه‌های اندازه‌گیری تجاری نظیر $LM 311$ طوری طراحی شده‌اند که حالت خروجی آنها صفر ولت (LO یا صفر) یا 5 ولت (HI یا یک) دارند. این سطوح منطقی با مدارهای بسیار پیشرفته دیجیتالی قابل مقایسه می‌باشند. وقتی که ولتاژ ورودی V_i بزرگتر از ولتاژ شاهد V_{ref} باشد خروجی در حالت منطقی است به عبارت دیگر خروجی در حالت صفر است. توجه داشته باشید که دستگاه اندازه‌گیری فقط به سیگنال‌هایی که بزرگتر از V_{ref} باشند پاسخ می‌دهد. نوسانهای ناشی از سیگنال‌های زمینه یا مزاحم به اندازه کافی کوچک، معمولاً

قبل از اینکه شمارش آغاز شود کلیه فلیپ فلوپ‌ها، پاک شده، این عمل آنها را به حالت صفر بر می‌گرداند. در این مرحله دیوهای ناشر نور یا LEDها که در شکل ۴-۴ نشان داده شده‌اند خاموش می‌شوند. در شروع شمارش، فلیپ فلوپ A از حالت صفر به یک میرسد، این عمل در نتیجه تغییر در سیگنال ماشین اندازه‌گیری از صفر به یک است (به اولین خط عمودی نقطه چین شده در شکل ۴-۵ نگاه کنید). در این حالت A روشن شده و روشن باقی می‌ماند تا اینکه علامت S دوباره از صفر به یک برسد (به دومین خط عمودی نگاه کنید). روشن و خاموش شدن A، تا زمان t_2 ادامه می‌یابد. توجه کنید که A در این مرحله خاموش است. همانطور که در شکل ۴-۵ مشاهده می‌شود خروجی فلیپ فلوپ A دارای فرکانس موج مربعی است که دقیقاً نصف سیگنال ورودی S است. این وقتی ظاهر می‌شود که فلیپ فلوپ B به سیگنال ناشی از فلیپ فلوپ A که دقیقاً مشابه عکس A نسبت به سیگنال S است پاسخ دهد. با این وجود B یک موج مربعی است که فرکانسی دقیقاً مساوی نصف فرکانس A و $\frac{1}{4}$ فرکانس S دارد و همین طور خروجی دودویی C دارای فرکانس معادل با $\frac{1}{8}$ فرکانس S دارد وقتی که علامت D یک شانزدهم S است. این روش در برخی موارد برای اندازه‌گیری فرکانس یک سیگنال بکار برده می‌شود. توضیحات لازم در بخش ۴-۴ داده شده است.

بعد از زمان t_2 مشاهده می‌شود که فلیپ فلوپ C و D به پایان حالت منطقی یک رسیده‌اند و A و B در شرایط صفر قرار دارند. این حالات با عدد دودویی ۱۱۰۰ یا ۱۲ در دهی متناسب هستند و شکل ۴-۴ چگونگی شمارش در دودویی را که مستقیماً بوسیله منبع LED قابل خواندن است را نشان می‌دهد.

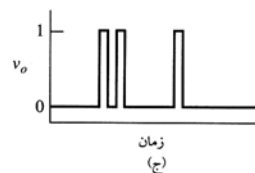
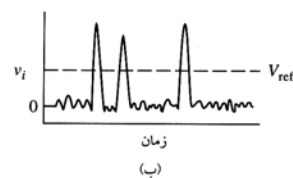
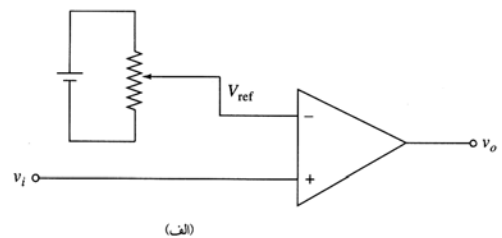
۴-۳ شمارش در دهی

برای بیشتر شمارنده‌ها، نمایش بشکل اعداد در مبنای دو نشان داده شده توسط LEDها در شکل ۴-۴ نیست، بلکه نمایش در دستگاهی دهی است که متداولتر و با درک ساده‌تری همراه است. چندین سیستم برای تبدیل دودویی به دهی وجود دارد. ساده‌ترین سیستم ۸۴۲۱ نامیده می‌شود و یا سیستم دودویی کد شده برای دهی می‌باشد (BCD). در اینجا هر رقم در سیستم اعداد دهی نشان داده می‌شود که با مجموعه‌ای از چهار فلیپ فلوپ همانطور که در شکل ۴-۴ نشان داده شده است تنظیم می‌گردد و فقط ده حالت از

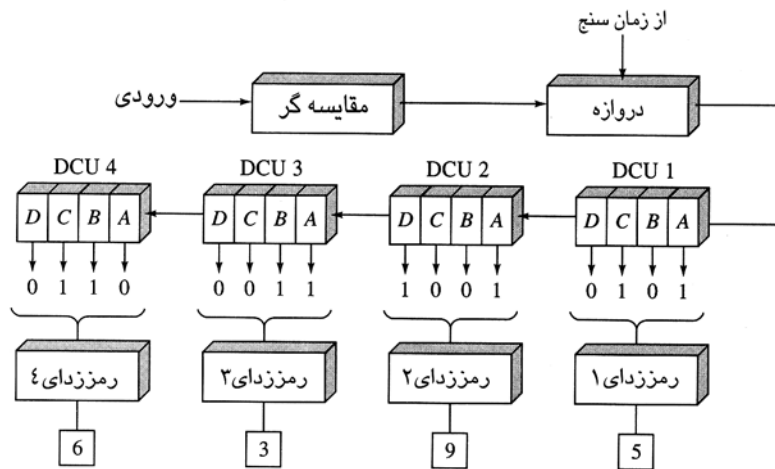
ورودی را باعث نمی‌شود. فلیپ - فلوپ مجموعه کاملی از مدارها است که از ترکیب مناسبی از دیود، مقاومت و ترانزیستورها ساخته شده است.

شکل ۴-۴ چگونگی آرایش چهار فلیپ فلوپ را به عنوان یک سیستم شمارشگر که می‌تواند از صفر تا ۱۵ را شمارش کند نشان می‌دهد. بعلاوه فلیپ فلوپ‌ها برای اعداد بزرگتر از ۱۵ نیز ساخته شده‌اند. بنابراین ۵ فلیپ فلوپ امکان شمارش صفر تا ۳۱ و شش فلیپ فلوپ امکان شمارش تا ۶۳ را فراهم می‌آورد. شکل ۴-۴ فرم موجی سیگنال‌های ایجاد شده در فلیپ فلوپ‌های A، B، C، D را نشان می‌دهد، همچنین شمارشگر آن در شکل ۴-۴ نشان داده شده است. همانطور که از نقطه اوج موج شکل ۴-۵ پیداست سیگنال ورودی در I که از یک سری پالسها با فرکانس یکسان در ابتدا هستند در خروجی به صورت موج مستطیلی شکل در آمده که به صورت سیگنال‌های S نشان داده شده می‌شود و با ورود سیگنال G شمارش آغاز می‌شود و به عنوان پالس ۱ و در خروجی دستگاه به صورت یک تا صفر را نشان داده می‌شود.

سرانجام با ورود سیگنال نهایی شمارش بعدی پس از یک وقفه زمانی t_4 که در شکل نیز نشان داده شده است و معادل ۱۲ شمارش است در خروجی ظاهر می‌شود.



شکل ۴-۴ شکل دهانه سیگنال (الف) مدار (ب) سیگنال ورودی (ج) سیگنال خروجی



شکل ۶-۴ یک شمارنده رمز دودویی به دهی با استفاده از چهار واحد شمارنده دهی

می‌دهد. روشهای بیشماری برای این نوع از تبدیل شدن به کار برده می‌شود. دو نوع متداول برای ADC بانوع نردبانی و نوع تقریب پی در پی در این جا توضیح داده خواهد شد. استفاده می‌شود که N نشان دهنده خروجی دیجیتال است.

جدول ۶-۴ خروجی آنالوگ از تبدیل کننده دیجیتال به آنالوگ در

شکل ۶-۴

اعداد دو دویی DCBA	معادل در مبنای دهی	V_i^*
۰۰۰۰	۰	$0V$
۰۰۰۱	۱	$-1/10 V$
۰۰۱۰	۲	$-2/10 V$
۰۰۱۱	۳	$-3/10 V$
۰۱۰۰	۴	$-4/10 V$
۰۱۰۱	۵	$-5/10 V$

* در این جا حالت منطقی متناسب با +۵ ولت است.

مبدل نردبانی آنالوگ به دیجیتال

شکل ۸-۴ شمایی ساده‌ای از دستگاه تبدیل که ولتاژ آنالوگ V_i نا معین را با عدد دیجیتالی N نشان می‌دهد. در اینجا یک شمارنده دودویی n بیتی که توسط یک سیگنال که توسط یک ساعت کوارتزی کنترل می‌شود، برای راه اندازی یک DAC، n بیتی مشابه آنچه که در قسمت قبلی بحث شد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شده است. قابل ذکر است که این مدار شبیه به مدار تجمعی نشان داده شده در شکل ۳-۱۳ ب با چهار مقاومت با نسبت‌های ۸:۴:۲:۱ می‌باشد. با توجه به بحث مدارهای تجمعی می‌توان نشان داد که خروجی V_{DAC} از رابط زیر بدست می‌آید.

$$V_{DAC} = -V_{ref} \left(\frac{D}{1} + \frac{C}{2} + \frac{B}{4} + \frac{A}{8} \right) \quad (1-4)$$

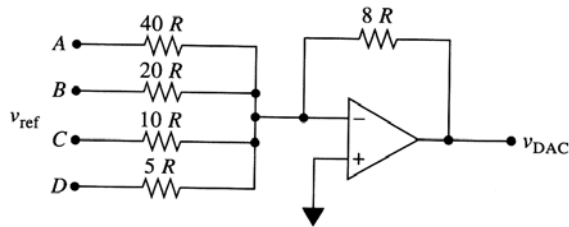
که در آن ولتاژ منطبق با حالت منطقی A, B, C, D برای حالت منطقی (صفر یا ۱) طراحی شده است. برای یک چهار بیتی دودویی A کم اهمیت‌ترین بیت و D پرارزشترین آنهاست. جدول ۶-۴ آنالوگ خروجی مقادیر نردبانی را نشان می‌دهد همچنین در شکل ۶-۴ ولتی که V برابر ۵ ولت است را نشان می‌دهد:

میزان تبدیل دیجیتال به آنالوگ بستگی به مقدار بیت‌های ورودی که در دستگاه تعبیه شده دارد. یک دستگاه n بیتی دارای یک تحلیل گر 2^n ولتی است. پس یک DAC ده بیتی دارای 2^{10} یا به عبارتی ۱۰۲۴ ولتاژ خروجی است. بنابراین ده بیتی یک تحلیل گر ۱۰۲۴ ولتی و یک ۱۲ بیتی DAC دارای یک تحلیل گر ۴۰۹۶ ولتی است.

باید توجه داشت که در بحث مربوط به DAC ها و ADC ها از علامت n برای نمایش تعداد بیت‌ها در تحلیل گر دستگاه‌ها

۴-۷ مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

خروجی بیشتر مبدل‌ها در دستگاه‌های تجربه از علائم آنالوگ استفاده می‌شود. برای درک مزایای دیجیتال الکترونیکی و پردازش اطلاعات کامپیوتری، تبدیل سیگنال آنالوگ از حوزه آنالوگ به حوزه دیجیتالی ضروری است. شکل ۱-۴ روند دیجیتالی شدن را نشان



شکل ۴-۷ یک مبدل ۴ بیتی دیجیتال به آنالوگ را نشان می‌دهد (DAC). در اینجا A، B، C و D برابر +۵ ولت برای حالت منطقی ۱ هستند و صفر ولت برای حالت منطقی صفر است.

برای درک چگونگی کار تقریب پی در پی ADC سوال زیر را مورد بررسی قرار می‌دهیم. سوال این است که کمترین تعداد آزمون لازم برای برآورد عدد N بین صفر تا ۱۵ چقدر است؟ فرض کنید برای هر جواب به دست آمده امکان دارد جواب شما بالاتر از عدد مورد نظر یا پایین‌تر از آن باشد. برای به دست آوردن جواب احتیاجی به بیش از چهار بار حدس زدن نیست. برای روشن شدن مطلب فرض کنید که ۱۰ عدد مورد نظر باشد. بنابراین اول محدوده را نصف کرده و عدد هفت را حدس می‌زنیم. عدد هفت کمتر از ۱۰ است پس در نصف به بالای محدوده قرار گرفته سپس عدد حدسی را نصف کرده و به عدد هفت اضافه کنید تا این که دومین عدد آزمون به دست آوريد. $N = 7 + 4 = 11$. این عدد خیلی بزرگتر است پس چهار را کنار گذاشته نصف چهار را به هفت اضافه می‌کنیم در نتیجه $N = 9$ می‌شود که عدد کوچک‌تری است و بالاخره نصف ۲ را به ۹ اضافه کرده و مقدار $N = 10$ به دست می‌آید. این روش گام به گام نزدیک شدن به مقدار نهایی است که در شکل ۴-۹ الف نشان داده شده است. قوانین مربوط به روش تقریب پی در پی در ذیل آمده است.

۱- با حدس نصف کامل دوره شروع کنید.

۲- اگر عدد حدس زده شده خیلی بزرگ باشد حدس را رها کنید.

۳- اگر عدد حدسی کوچک باشد دوباره بر می‌گردیم به حدس زدن.

۴- نصف عدد حدس زده شده در مرحله اول را به عددی که حدس زده‌ایم اضافه کنید.

۵- مراحل ۲ تا ۴ را برای رسیدن به عدد مورد نظر ادامه دهید.

قابل ذکر است که n بار حدس برای به دست آوردن عددی در محدوده بین صفر تا 2^{n-1} لازم است. برای مثال ۱۲ بار حدس برای تعیین قطعی عددی بین صفر تا ۴۰۹۵ مورد نیاز است.

خروجی یک DAC یک ولتاژ خروجی نردبانی V_{DAC} است که در قسمت پایین شکل نشان داده شده است. هر پله از این سیگنال به قسمتی از افزایش ولتاژ که معادل یک میلی ولت است مربوط می‌شود. خروجی DAC با ولتاژ نا معین توسط یک ورودی V_i به وسیله یک مقایسه گر، سنجش می‌شود. وقتی که مقادیر این دو ولتاژ توسط تحلیل گر DAC تعیین شدند مقایسه گر از حالت منطقی یک به صفر انتقال می‌یابد که در این صورت شمارنده متوقف می‌شود. عدد N سپس وابسته به مقدار ولتاژ ورودی برحسب میلی ولت می‌شود. با زدن کلید برگشت (reset) شمارنده به صفر بر می‌گردد تا برای خواندن یک ولتاژ جدید آماده شود و روند تبدیل با زدن کلید برگشت (reset) شروع می‌شود. ولتاژ ورودی V_i می‌بایست در تمام مدت تبدیل، ثابت مانده تا مطمئن شویم که دیجیتال خروجی به ولتاژ مورد نظر برسد.

هر چه دقت DAC بالاتر باشد عددی که V_i را نشان می‌دهد دقیقتر خواهد بود. این نوع مبدل روند اندازه‌گیری را به وضوح نشان می‌دهد. DAC همانند یک سنجشگر عمل می‌کند که V_i را توسط تغییرات موج یاب می‌سنجد. زمان تبدیل $t_c = Nt_p$ است که در آن N شمارنده خروجی است که با V_i تغییر می‌کند. این زمان تبدیل مفید است. اگر V_i کوچک باشد زمان کوتاه است و اگر V_i بزرگ باشد آنگاه t_c هم به همان اندازه طولانی‌تر خواهد شد. این نوع ADCها اغلب در طیف‌بینی هسته‌ای و در رشته‌های مشابه در جایی که زمینه سیگنال‌های شدت کمتری دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

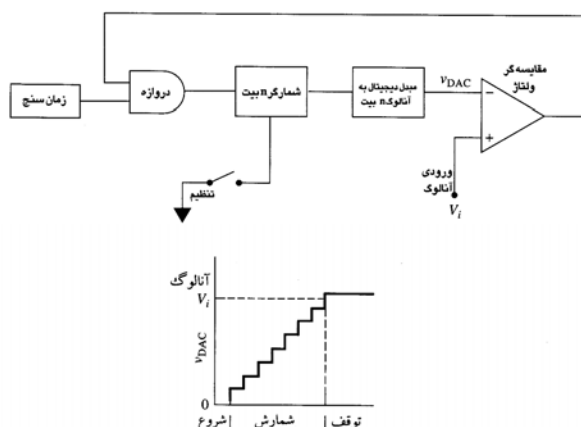
فرکانس می‌تواند به بزرگی 100 MHz باشد وقتی که از شمارشگرها با سرعت بالا، ADCها و مقایسه گر استفاده می‌شود. ADC نردبانی را می‌توان با قرار دادن یک شمارگر کنترل شونده متغیر توسط مقایسه گر به جای شمارنده‌های ساده به کاربرد. اگر V_i زیاد شود خروجی مقایسه گر به سمت مقدار یک پیش می‌رود و شمارنده افزایش را نشان می‌دهد و اگر V_i کاهش یابد شمارنده نیز کاهش را نشان می‌دهد. وقتی خروجی DAC از V_i رد شد شمارنده بین N و $N-1$ در محدوده $\pm \frac{1}{2} LSB$ (کوچکترین بیت قابل ملاحظه) از V_i نوسان می‌کند. این نوع DAC خوب عمل می‌کند وقتی که V_i به آرامی نسبت به زمان تبدیل، تغییر کند یا وقتی که پاسخ خروجی مهم باشد.

می‌دهد. خروجی دستگاه اندازه‌گیری به صفر میل کرده بنابراین SAR ، 2^1 بیت را نشان می‌دهد. سرانجام وقتی که SAR در $2 = 1$ قرار گیرد. $V_{DAC} = 5V > V_i$ را می‌دهد و $2 = 1$ را حفظ می‌کند. در نتیجه عدد در دودویی، 0101 را نشان داده و ولتاژ ورودی $0.5V \pm 1/4 LSB$ است. توجه داشته باشید که دقت عمل برابر $1/4 LSB$ بوده که در این حالت برابر $0.5V$ است.

برای افزایش دقت در ADC و DAC لازم است که SAR به تناسب دارای تعداد بیشتر از بیت‌ها باشد. ADC ‌های دوازده بیت با ورودی در محدوده $5V$ تا $10V$ یا صفر تا 10 ولت متناسب می‌باشند. چنین مدل‌هایی دارای زمان تبدیل ثابتی هستند که معمولاً بین 2 تا 8 میکرو ثانیه برای 12 بیت می‌باشند. مدل‌های تقریب پی در پی از این نوع، به طور گسترده‌ای در کامپیوتری شدن زمانی کسب داده‌ها کاربرد دارند. زیرا اهمیت عدم تغییر ولتاژ اندازه‌گیری در هنگام انجام فرآیند تبدیل در یک تقویت کننده با سرعت بالا تقریباً همیشه از نمونه‌ای که دارای سیگنال مورد توجه را دارند قبل از این که از تقریب پی در پی ADC بگذرد استفاده می‌شود.

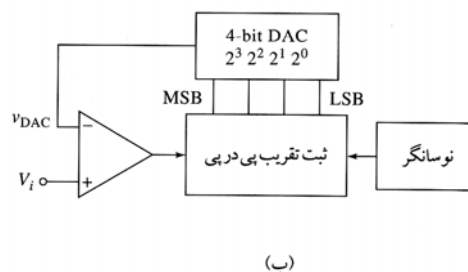
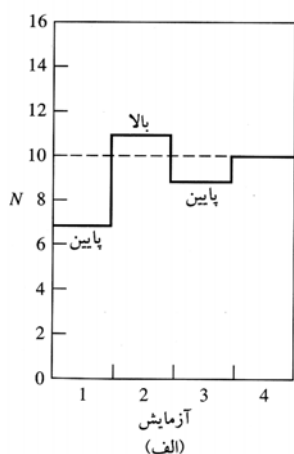
۴۴ ریز پردازنده‌ها و میکرو کامپیوترها

ریز پردازنده‌ها یک مدار تجمعی مقیاس بزرگ است که نه تنها از هزاران بلکه از میلیون‌ها ترانزیستور، مقاومت، دیود و سایر مدارهای کوچک تشکیل شده بر روی یک تراشه سیلیکاتی به ابعاد چند میلی متر ساخته شده‌اند. یک ریز پردازنده اغلب همانند یک ترکیب ریاضی با اجزاء منطقی که به آن واحد پردازش مرکزی (CPU) یک کامپیوتر اطلاق می‌شود کار می‌کند. ریز پردازنده همچنین استفاده



شکل ۴۴ یک مدل نردبانی آنالوگ به دیجیتال (ADC) روش تقریب پی در پی برای تبدیل آنالوگ به دیجیتال

در روش تقریب پی در پی ADC دقیقاً از همان روشی که برای رسیدن به عددی دودویی یا BCD برای نشان دادن ولتاژ نا معین i به کار گرفته شده استفاده می‌شود. مثل آنچه که در شکل ۴۴ ب نشان داده شده است. در اینجا چهار بیت DAC با توجه به شکل ۴۴-۷ برای نشان دادن چگونگی انجام مراحل روش تقریب پی در پی لازم است. فرض کنید $V_i = 5/1$ ولت و مقدار اولیه تمام بیت‌ها صفر باشد، در اولین دوره، نوسان سنج (MSD) بین 2^3 تا 1 تنظیم شده که باعث می‌شود ولتاژ DAC ، V_{DAC} به هشت ولت تغییر می‌کند. زیرا $V_{DAC} > V_i$ در ثبت تقریب پی در پی (SAR) 2^3 بیت را نشان می‌دهند. در دور بعدی نوسان سنج در 2^2 بیت تنظیم شده و $V_{DAC} = 4V > V_i$ را می‌دهد که باعث می‌شود خروجی مقایسه گر مقدار حقیقی 1 را بدهد. سپس SAR قبل از شروع دور بعدی در $2^1 = 1$ بیت تنظیم شده و وقتی که در $2^1 = 1$ بیت تنظیم باشد



شکل ۴۴-۹: تقریب پی در پی DAC : (الف) خروجی DAC هنگام فرآیند تبدیل، (ب) شمای کلی از DAC

میانگین گیری سیگنال‌ها و روش‌های مربوط به طیف بینی در استخراج سیگنال کوچک تجزیه‌ای در چنین محیط‌های شلوغی را به وجود می‌آورد.

اتصال این وسایل به دستگاهها، جزء مواردی است که در این کتاب به تفصیل آمده است و بسیار طولانی و پیچیده می‌باشد. بنابراین بحث در این فصل محدود می‌شود با یک نگاه کلی به فنآوری کامپیوتر، به معماری و خصوصیات ریز پرداز و میکرو کامپیوترها و بعضی از نرم افزارهای مفید که در ابزارهای آزمایشگاهی کاربرد دارند و مزایای آنها که با استفاده از این دستگاه‌ها نتایج قابل توجه و عالی حاصل می‌شود.

۴-۱ اصطلاحات کامپیوتری

یکی از مسائل جدیدی که در حوزه کامپیوترها و کاربردهای آنها شایع شده است، عبارات، اصطلاحات و حروف برگرفته شده از چند کلمه نظیر *CPU, ALU, PROM* و *SSIC* می‌باشند.

متأسفانه این اصطلاحات اغلب به خوبی معرفی و حتی تعریف نمی‌شوند. برخی از این اصطلاحات بسیار مهم و کلمات اختصاری در این فصل تعریف خواهند شد. بقیه هم در فصول بعد هر جا که به آنها نیاز باشد توضیح داده خواهند شد. لیست متعارف‌ترین اختصارات در ضمیمه ۵ آمده است.

بیت، بایت و کلمات

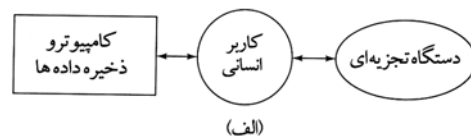
بیت‌ها در کامپیوترها به دو حالت الکتریکی که یکی از دیگری ۲ تا ۵ ولت اختلاف دارند تعریف می‌شود. یکی گروه هشت بیتی یک بایت خوانده می‌شود. یک سری از بایت‌ها به طور متوالی کنار هم قرار می‌گیرند که یک قطعه از داده‌ها یا یک دستورالعمل را نشان می‌دهند که به آن کلمه اطلاق می‌شود. تعداد بایت‌ها در هر کلمه بستگی به کامپیوتر دارد. ابعاد معمولی آنها ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴ بیت یا ۱، ۲، ۴، ۸ بایت می‌باشند.

ذخیره سازها

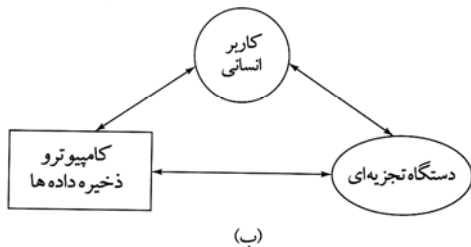
اساس ساختار یک کامپیوتر دیجیتالی قسمت ذخیره ساز آن است. ذخیره ساز یک وسیله فیزیکی است که می‌تواند یک بایت یا یک کلمه را ذخیره کند. یک شمارنده دو دویی ۱۶ بیتی به عنوان مثال می‌تواند مثل یک ذخیره ساز که توانایی نگهداری ۱۶ بیت را دارد عمل کند.

گسترده‌ای برای کنترل کار ابزارهای مختلف پیدا کرده است، از قبیل دستگاه‌های مختلف تجزیه، ماشین‌های حرارتی، اجاق‌های ریز موج، ثبت خریدها و بازیهای الکترونیکی.

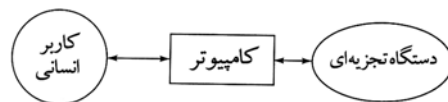
میکرو کامپیوترها مرکب از یک یا چند ریز پرداز همراه با اجزاء مدارهای دیگر هستند که عملکرد حافظه، زمان ورودی و خروجی را موجب می‌گردند. میکرو کامپیوترها کاربردهای روز افزونی برای کنترل ابزارهای تجزیه‌ای، برای پردازش، ذخیره سازی و نمایش داده‌ها پیدا کرده است. حداقل دو دلیل برای اتصال کامپیوتر به یک ابزار تجزیه‌ای وجود دارد. اول این که امکان تغییرات جزئی یا کلی را برای خودکار کردن دستگاهها مهیا می‌سازد. به طور کلی خودکار کردن باعث افزایش سرعت در استفاده از داده‌ها، کاهش زمان لازم برای انجام کار در تجزیه و یا موجب افزایش دقت به خاطر در اختیار گذاردن زمان اضافی برای تکرار عمل می‌باشد. خودکار ساختن اغلب باعث کنترل بهتر و سرعت بیشتر در کارهای تجربی نسبت به کارهایی که توسط انسان انجام می‌پذیرد شده، دقت، صحت بیشتر در نتایج دلیل بر این مدعا است.



(الف)



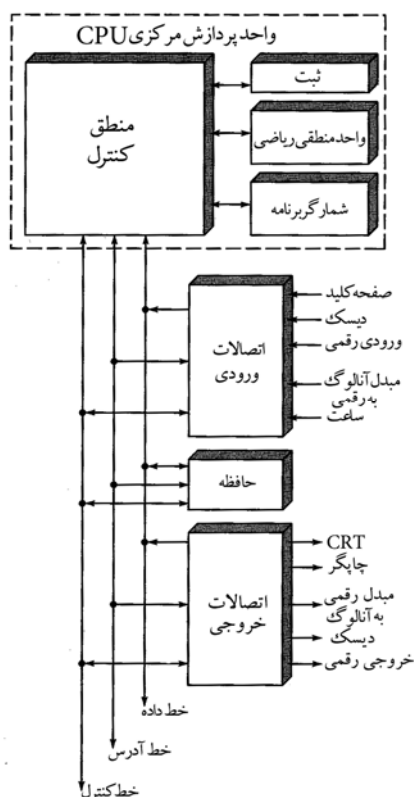
(ب)



شکل ۴-۱ سه روش استفاده از کامپیوترها در اندازه‌گیری‌های تجزیه (الف) خارج از خط (ب) بر روی خط و (ج) در خط

دلیل دوم: با اتصال کامپیوتر به دستگاهها، استفاده از مزایای وسیع آن و توانایی لمس داده‌ها است. این قابلیت‌ها امکان استفاده از روشهایی را امکان‌پذیر می‌سازد که در حالت عادی غیر عملی است زیرا زمان محاسباتی طولانی خواهد شد. قابل ذکر است که در بین کاربردهایی که از این دست در محاسبات استفاده از تبدیل فوریه،

داده‌های موجود در یک ثابت می‌توانند به چند روش عمل کنند. به عنوان مثال یک ذخیره ساز می‌تواند با یک عمل اجرایی کلیه اجزاء را به صفر برگرداند و یک ذخیره ساز با عمل اضافی می‌تواند هر ۱ را به صفر و هر صفری را به یک تغییر دهد. محتویات یک ذخیره ساز می‌تواند به ذخیره ساز دیگری انتقال یابد. محتویات یک ذخیره ساز می‌تواند با محتویات ذخیره ساز دیگر جمع، ضرب، تقسیم و کسر شود. ذخیره سازی که چنین مراحل در آن طی می‌شود معمولاً نیاز به یک انباره دارد.



شکل ۱۱-۴ اجزاء اصلی یک کامپیوتر دیجیتال شامل ابزارهای بیرونی

۵-۲ شیوه‌های عملیاتی دستگاه‌های رایانه‌ای

شکل ۴-۱۰ سه روش در رابطه با کامپیوترها و دستگاه‌های تجزیه‌ای را پیشنهاد می‌کند در روش خارج از خط (*off - Line*) که در شکل ۴-۱۰ الف نشان داده شده است داده‌ها به وسیله انسان جمع آوری شده و سپس برای پردازش داده‌ها به کامپیوتر انتقال یافته است. روش روی خط (*on - Line*) شکل ۴-۱۰ ب با روش (*off - Line*) متفاوت بوده و این تفاوت در ارتباط مستقیم بین دستگاه و کامپیوتر است که به کمک یک رابط الکترونیکی انجام می‌پذیرد و در آن علامت حاصل از وسیله بعد از شکل‌گیری تبدیل به علائم دیجیتالی شده و ذخیره می‌شوند. در اینجا ماهیت مجزای تهیه داده‌های خام و ذخیره حجم بزرگی از داده‌ها و دستورالعمل‌های مربوط به پردازش آنها برای کامپیوتر باقی می‌ماند. به این ترتیب است که عملکرد (*off - Line*) معین می‌گردد.

اکثر دستگاه‌های مدرن براساس آنچه که در شکل ۴-۱۱ ج آمده است شکل یافته‌اند. در روش در خط (*in - Line*) یک میکروکامپیوتر یا ریز پرداز، در درون دستگاه قرار می‌دهند. در این جا عمل کننده نه لزوماً ولی اغلب کامپیوتر را برنامه ریزی نمی‌کند، اگر چه این عمل نیز معمولاً برای انجام کار مهیا است. نرم افزارهای اولیه معمولاً

سخت افزار و نرم افزار

سخت‌افزار کامپیوتری شامل قسمتهای مختلف فیزیکی است که

۵۴ اجزاء یک کامپیوتر

شکل ۴-۱۲ شمایی کلی از قسمت‌های عمده سخت‌افزاری قسمت‌های خارجی یک کامپیوتر را نشان می‌دهد.

۵۴-۱ واحد پردازشگر مرکزی (CPU)

قلب کامپیوتر واحد پردازشگر مرکزی آن است. یک میکرو کامپیوتر دارای یک مدار ریز پردازنده است. یک ریز پردازنده از یک واحد کنترل و از یک واحد منطقی ریاضی تشکیل شده است. واحد کنترل اعمال پیوسته را همانند یک دستور برای یک برنامه ذخیره شده در حافظه کامپیوتر تعیین می‌کند. واحد کنترل اطلاعات را از دستگاه‌های ورودی و دستورات و داده‌ها را از حافظه کامپیوتر دریافت کرده و دستورات را به واحد منطقی ریاضی و خروجی و همچنین به حافظه انتقال می‌دهد.

واحد منطقی ریاضی یا *ALU* یک *CPU* از یک سری ذخیره سازها و انباشت گرها که در آن‌ها نتایج حد واسط دودویی ریاضی و اعمال منطقی جمع آوری می‌گردند ساخته شده است. آنچه که در مورد ریز پردازنده در این جا و در این فصل بیان شد در برگیرنده سه تا پنج میلیون ترانزیستور و همچنین توانایی اجرا کردن ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلیون دستور در هر ثانیه می‌باشد.

۴-۵ مسیرها

قسمت‌های مختلف کامپیوتر و حافظه و قسمت‌های خارجی به وسیله مسیرها به هم متصل می‌شوند که از تعدادی خطوط انتقال تشکیل یافته‌اند. برای ارتباط سریع بین قسمت‌های مختلف کامپیوتر، تمام علامت دیجیتالی که یک کلمه را می‌سازند معمولاً به وسیله خطوط موازی مسیر انتقال می‌یابند. تعداد خطوط مسیر داخلی یک *CPU* برابر است با اندازه کلمه‌ای که می‌خواهند انتقال پیدا کند. به عنوان مثال مسیر داخلی یک کلمه ۱۶ بیتی، ۱۶ خط انتقال موازی نیاز خواهد داشت که از هر خط یکی از ۱۶ بیت می‌گذرد، و داده‌ها به داخل یا خارج *CPU* توسط مسیر داده‌ها همان طوری که در شکل ۴-۱۱ نشان داده شد انتقال می‌یابند. سیگنال منبع و مقصد در خط مسیر داده‌ها توسط آدرس مسیر تعیین می‌شوند. یک میسر با ۳۲ خط می‌تواند مستقیماً با 2^{32} یا ۴۲۹۴۹۳۷۲۹۶ ثبات یا مکانهایی در درون کامپیوتر یا با ۴ گیگابایت حافظه ارتباط داشته باشند و مسیر کنترل و موقعیت اطلاعات از *CPU* صادر می‌گردد. این انتقالات توسط سیگنال‌ها به طور متوالی در مسیر انجام می‌پذیرد.

متناسب با وسایل تجاری به یک زبان برنامه نویسی طراحی می‌شوند. ولی اجرا کنندگان می‌توانند برای رسیدن به مقاصد مورد نظر خود آن را دستکاری کرده و یا استفاده کردن از داده‌ها را برنامه ریزی کنند. در روش‌های *in-Line* و *on-Line* داده‌ها اغلب به صورت همزمان و بلافاصله بعد از اجرا توسط دستگاه به کامپیوتر انتقال داده شده و پردازش می‌شوند. اغلب، سرعت تهیه داده‌ها توسط دستگاه به اندازه کافی پایین است که می‌توان فقط بخش کوچکی از کامپیوتر را برای نگهداری داده‌ها اشغال کرد. با این وجود زبان مورد استفاده برای جمع آوری داده‌ها برای تکمیل اطلاعات از راه‌های مختلفی امکان‌پذیر است. برای مثال فرایند تکامل اطلاعات می‌تواند شامل محاسبه متمرکز، هموار کردن یک منحنی، ترکیب اطلاعات همراه با جمع آوری‌ها مجزا و ذخیره داده‌های برای معدل‌گیری‌های بعدی، کشیدن نقشه و یا چاپ نتیجه باشد. پردازش بلادرنگ (*real time*) شامل طرز عمل داده‌ها که به طور همزمان با استفاده از داده‌ها دریافت می‌شوند، می‌باشد. پردازش بلادرنگ دو امتیاز اصلی دارد. یکی این که ممکن است فضای لازم برای ذخیره داده‌ها را کاهش دهد که عدم استفاده از کامپیوترهای پیشرفته و گران قیمت را ممکن می‌سازد. دوم اینکه: اگر زمان کافی بین دریافت داده وجود داشته باشد شاید فرآیند سیگنال‌ها را بتوان برای تنظیم پارامترهای وسایل برای بهبود کیفیت خروجی‌های بعدی مورد استفاده قرار داد. هر چه سرعت و توانایی ذخیره میکرو کامپیوترها بالا برود، توانایی برای انجام بلادرنگ یک فرآیند فراهم می‌گردد.

مثالی از سیستم پردازش بلادرنگ، دستگاه کنترل کننده ریز پردازنده برای تعیین تیتراسیونهای پتانسیومتری خودکار می‌باشد. معمولاً چنین دستگاه‌هایی قابلیت ذخیره سازی را داشته و در صورت لزوم منحنی یک فرم دیجیتالی از پتانسیل را نسبت به حجم معرف رسم کرده و بقیه اطلاعات گزارش شده که ممکن است در فرآیند اجرا مورد نیاز باشد را جهت تعیین عیار ذخیره کرد. معمولاً در چنین ابزارهایی اولین مشتق پتانسیل نسبت به حجم در زمان حقیقی محاسبه می‌گردد. برای کنترل سرعت اطلاعات معمولاً برای افزودن معرف از یک سرنگ اتوماتیک استفاده می‌شود. در بخش اولیه تیتراسیون وقتی سرعت تغییر پتانسیل کم است، مشتق کوچک است، بنابراین تیتراژ کننده با سرعت زیاد افزوده می‌شود. با نزدیک شدن به نقطه اکی‌ولان مشتق‌ها بزرگتر می‌شوند، و کامپیوتر سرعت افزایش تیتراژ کننده را کاهش می‌دهد. فرآیند معکوس پس از نقطه‌ای اکی‌ولان رخ خواهد داد.

معمولاً بین ۱ تا ۳۲ مگابایت وسعت حافظه دارند. اما تفاوت‌های ساختاری زیادی امکان دارد در آنها اتفاق افتد، زیرا مرحله آدرس‌گذاری و ذخیره‌سازی اطلاعات در زمان ساخت و نیز هنگام کنترل اطلاعات به وسیله CPU انجام می‌پذیرد. اغلب شیمی‌دانان احتیاج کمی به درک جزئیات برنامه‌ریزی حافظه دارند. به هر حال داشتن تجربه کافی از فناوری استفاده از کامپیوتر هنگام تفسیر و در انتخاب حافظه برای اجرای کار محاسباتی اغلب مفید است.

انواع حافظه

در اغلب میکرو کامپیوترها دو نوع حافظه وجود دارد. حافظه در دسترس تصادفی (RAM) و حافظه فقط خواندنی (ROM). اصطلاح دست‌یابی مستقیم یا تصادفی برای RAM گاهی اوقات گمراه‌کننده است. زیرا ROM نیز ممکن است دست‌یابی تصادفی باشد. واژه دست‌یابی تصادفی بدین معنی است که همه مکان‌ها در یک حافظه به طور یکسان قابل دسترس می‌باشند، بنابراین اصطلاح خواندنی و نوشتنی برای RAM مناسب‌تر است. نیمه‌هادی‌های قدیمی RAM «فرار» بودند. بدین معنی که اطلاعات نگه‌داشته نمی‌شدند مگر این که حافظه مرتباً بازیافت می‌شد. اکثر صفحات جدید RAM باتری پشتیبانی دارند که توان مورد نیاز را می‌توان برای جلوگیری از کاهش اطلاعات در صورت کاهش توان برای هشت ساعت و یا بیشتر تأمین نمایند. این نوع حافظه شبیه حافظه ماشین حساب‌های جیبی است که حتی می‌تواند اطلاعات و دستورالعملها را وقتی که کامپیوترها خاموش شود نگهداری کند.

حافظه فقط برای خواندن (ROM) شامل دستور دائم و نگهداری داده‌ها هنگام ساخت در آن‌ها کار گذاشته شده است را شامل می‌شوند. این نوع حافظه‌ها واقعا شبیه ماشین حساب‌های جیبی بودند که داده‌ها را نگه‌داری و بازسازی می‌کردند، حتی زمانی که خاموش باشند. گنجایش ROM با تغییر برنامه تغییر می‌کند. نوع دیگر ROM مربوط به قسمت پاک کردن حافظه (EPROM erasable PROM) می‌باشد. هنگامیکه محتویات برنامه در معرض تابش ماوراء بنفش قرار بگیرد پاک می‌شوند، که بعد از این عمل حافظه می‌تواند مجدداً به وسیله تجهیزات خاص برنامه‌ریزی شود. همچنین ROM‌هایی در دسترس هستند که بتوانند مجدداً به وسیله سیگنال‌های نسبتاً مستقیم منطقی برنامه‌ریزی شوند. این ROM‌ها به شکل EA ROMS طراحی شده‌اند (ROM‌های متغیر الکتریکی). برنامه راه‌اندازی شده مستقیم که راه‌اندازی سیستم

همچنین می‌بایست بین اجزاء دستگاه‌ها و خود دستگاه و CPU این نقل‌انتقالات انجام یابد: یک مسیر خارجی یا خطوط ارتباطی برای این گونه انتقال داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. جدول ۳-۴ برخی از خصوصیات را برای سه نوع ارتباط خارجی استاندارد به صورت خلاصه شده نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴ جدول مقایسه‌ای خصوصیات برای سه نوع ارتباط استاندارد متداول

	RS - ۲۳۲	IEEE - ۴۸۸	Ethernet
سریال	سریال	موازی	سریال
فاصله (m)	۳۰	۲۰	۲۵۰۰
حداکثر بعد*	۱۹/۲K	۱۰M	۱۰M
هم محور	سیم کشی	رشته پوشش دار	رشته تابیده شده

* Baud = یک نوع اندازه‌گیری سرعت است که اطلاعات می‌تواند انتقال یابد. واحدهای سرعت بعد تعداد بیت‌ها در واحد ثانیه می‌باشند.

۳-۴ حافظه

در یک میکرو کامپیوتر حافظه، مخزنی است که مستقیماً در دسترس CPU قرار می‌گیرد زیرا حافظه هم شامل داده‌ها و هم شامل اطلاعات برنامه‌ای است، که باید حداقل یک بار برای هر مرحله برنامه نویسی در دسترس CPU باشد. زمان لازم برای بازیافت یک قطعه از اطلاعات از حافظه زمان دستیابی نامیده می‌شود.

تراشه‌های حافظه (چیپ‌ها)

واحد اصلی یک تراشه حافظه یک سلول است که ممکن است یکی از دو حالت را داشته باشد. یک سلول توانایی ذخیره کردن یک بیت از اطلاعات را دارد. به طور نمونه بیش از چند بیلون از این سلول‌ها ممکن است بر روی یک تراشه ساده حافظه سیلیکون جای بگیرد. شکل ۱۲-۴ طرز کار یک سلول تک حافظه را نشان می‌دهد. با دستور خواندن CPU حالت منطقی (۱ یا صفر) به عنوان یکی از دو حالت ممکنه در خروجی ظاهر می‌شود. دستور نوشتن (WRITE) اجازه می‌دهد حالت یک یا صفر از ورودی برای جانشین کردن پیش فرض قبلی در سلول و ذخیره داده جدید را در مکان خودش به وجود آید.

سلول‌های منفرد با یک نظم خاصی روی تراشه حافظه طراحی می‌شوند که هنگام روشن کردن بر روی مدار چاپ برجسته می‌شوند که مستقیماً در ارتباط با کامپیوتر قرار می‌گیرند. کامپیوترهای شخصی

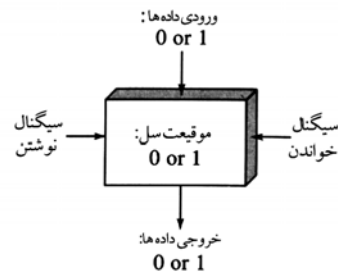
یک شیوه ذخیره سازی جالب است مخصوصاً به خاطر داشتن ظرفیت بالای جمع آوری، دایره المعارفها و سایر مراجع داده‌ها بدلیل گنجایش زیاد در آنها ذخیره می‌شود که در حدود ۷۵۰ مگابایت ظرفیت دارند. در حال حاضر دیسک‌های گردان که قادر به ذخیره شدن در لوح‌های فشرده هستند نسبتاً گران بوده اما با پیشرفت فناوری انتظار می‌رود که لوح‌های فشرده گردان و سایر شیوه‌های مشابه با ظرفیت بالا برای نوشتن و خواندن اطلاعات به طور وسیعی قابل دستیابی شوند.

۴-۵ سیستم‌های ورودی و خروجی

دستگاه‌های ورودی و خروجی توسط استفاده کننده یا دستگاه‌های جانبی با کامپیوتر ارتباط برقرار می‌کنند. دستگاه‌های ورودی شامل صفحه کلید، نوار مغناطیسی یا دیسک‌ها لوح‌های فشرده و مبدل سیگنال‌ها از دستگاه‌های تجزیه‌ای می‌باشند و دستگاه‌های خروجی شامل ثبات‌ها، چاپ گرها، راسام‌ها، لامپ‌های اشعه کاتدی و نوارهای مغناطیسی یا دیسک‌ها می‌باشند. درک این نکته مهم است که اغلب این وسایل با استفاده از سیگنال‌های آنالوگ کار می‌کنند و همانطور که اشاره شد کامپیوتر فقط می‌تواند به سیگنال‌های دیجیتالی پاسخ دهد. بنابراین یک بخش مهم سیستم‌های ورودی و خروجی تبدیل آنالوگ به دیجیتال است برای تبدیل داده‌ها به شکلی که کامپیوتر بتواند آنها را مورد استفاده قرار دهد، نیاز به یک مبدل دیجیتالی به آنالوگ جهت تبدیل خروجی کامپیوتر به شکل علامت آنالوگ می‌باشد.

قسمت مهم سخت‌افزاری، تجزیه و تحلیل داده‌های خروجی از واحد جمع آوری داده‌ها می‌باشد. این دستگاه‌ها ممکن است به طور مستقیم در مسیر میکروکامپیوتر قرار بگیرد و روشی را برای دریافت داده‌ها توسط مبدل آنالوگ به دیجیتال از منبع تغذیه برای ارزیابی توسط ADC تا تنظیم زمان بحران در فرآیند و انتقال مستقیم داده‌ها به کامپیوتر را فراهم کند. شکل ۴-۱۳ نمودار تابع بلوکی نوعی از واحدهای کسب اطلاعات را نشان می‌دهد که شامل یک ADC یا یک DAC، یک تقویت کننده با قابلیت برنامه ریزی، خطوط ورودی و خروجی دیجیتالی، حافظه برای نگهداری اطلاعات جمع آوری شده موقت و یک زمان سنج سریع و دقیق برای سنجش زمان بحرانی حصول داده‌ها می‌باشد. فرآیند کامل کسب اطلاعات بحرانی به وسیله یک ریز پردازنده قدرتمند انجام می‌گیرد و دریافت توسط قسمت‌های مختلف از طریق یک کامپیوتر اصلی که به آنها متصل شده است

کامپیوتر را در ابتدا به عهده دارند وقتی غیر فعال می‌شوند که در نوعی از ROMها ذخیره شوند. هنگام قطع برق اطلاعات ذخیره شده بعضاً باید مجدداً برنامه ریزی شود. چنین داده‌هایی معمولاً در باطری RAM ذخیره می‌شود.

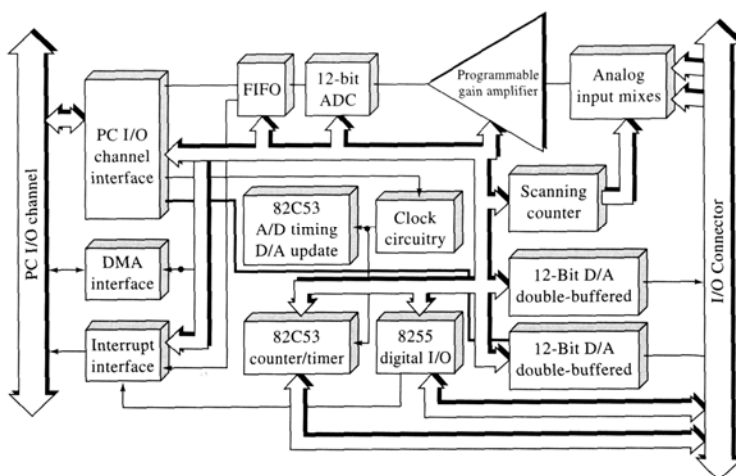


شکل ۱۳ یک سلول حافظه منفرد کامپیوتر برای ذخیره یک بیت

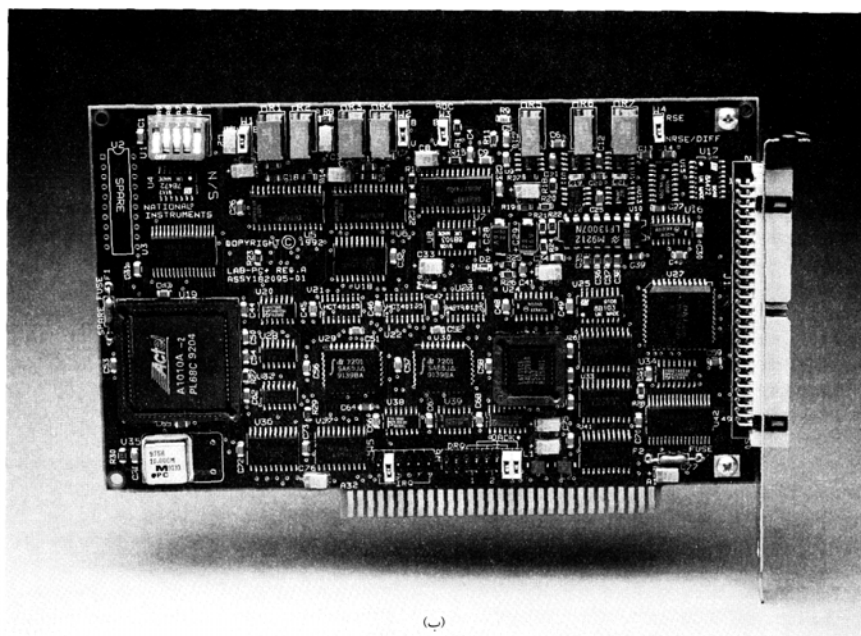
در میکرو کامپیوتر و ماشین حساب‌های دستی قسمت ROM برای ذخیره برنامه‌ها مورد نیاز جهت اجرای عملیات مختلف ریاضی، عملیاتی از قبیل لگاریتم، توان، توابع مثلثاتی، محاسبه مقادیر آماری مختلف از قبیل میانگین‌ها، انحراف معیار، حداقل مربعات و تشکیل داده‌ها در مکان ثابت و نکات علمی و مهندسی استفاده می‌شود.

وسایل ذخیره پر گنجایش

علاوه بر حافظه‌های نیمه هادی، کامپیوترها مجهز به دستگاه‌های ذخیره سازی پرگنجایش هستند. نوارهای مغناطیسی وسیله اصلی برای ذخیره سازی پرگنجایش برای سالیان طولانی بودند ولی امروزه دیسک‌ها و دیسک‌ها و دیسک‌های سخت جایگزین شده‌اند. نوارها در حال حاضر برای پشتیبانی از دیسک به کار می‌روند. ظرفیت ذخیره سازی دیسک دائماً در حال افزایش است. استفاده از دیسک‌های گردان با گنجایشی در حدود ۱/۴ تا ۱۰۰ مگابایت معمول شده است. دیسک‌های گردان سخت قابل تعویض با گنجایش چند مگابایت که بخوبی یک دیسک نرم سریع ۱۰۰ مگابایتی است و ZIP گردان نامیده می‌شوند، که با قیمت مناسب در دسترس می‌باشند. کوچکترین دیسک‌های سخت گردان ظرفیتی در حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ مگابایت دارند. اما دیسک‌های سخت با گنجایش چندین گیگابایت عمومی تر هستند. زمان لازم برای رسیدن به یک موقعیت تصادفی روی یک دیسک زمان دستیابی نامیده می‌شود و برای دیسک‌های سخت در حد ۱۰ تا ۳۰ میلی ثانیه است. لوح فشرده (CD ROM)



(الف)



(ب)

شکل ۴-۱۳: واحد کسب داده‌های کامپیوتری (الف) واحد نمودار بندی (ب) تصویر مدار چاپ

می‌سازد.

صورت می‌پذیرد. شمایی از واحد اتصال داده‌ها در شکل ۴-۱۳ ب نشان داده شده‌است.

۲-۱- نرم افزارهای کامپیوتری

ارتباط یک کامپیوتر مستلزم هماهنگی مجموعه بزرگی از سویچ‌های الکترونیکی است تا عمل مناسب با حالت‌های خاموش یا روشن (۰ و ۱) را برقرار سازد. یک برنامه شامل مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها است که چگونگی برقراری ارتباط در هر مرحله را معین می‌سازد. این دستورالعمل‌ها به شکلی می‌بایست نوشته

کامپیوترها کار آنالیز داده‌ها و ذخیره اطلاعات پرگنجایش دراز مدت را به وسیله نرم افزارهای گوناگونی از قبیل *Lab view National*, یا *Lab Windows* انجام می‌دهند. عمل کنترل در کلیه فرآیندهایی که برهم تأثیر متقابل دارند توسط کامپیوتر اصلی انجام می‌گیرد. استفاده از کامپیوترها و واحد اتصال داده‌ها و یا نظیر اینها امکان اتصال هر دستگاه یا آزمایشی را به یک کامپیوتر برای تجزیه تحلیل و گرفتن خروجی داده‌های دستگاهی را فراهم

سی یا فورترن	زبان اسمبلی	زبان اسمبلی
	LDA Z	۰ ۱۱۰ ۰۰۱ ۱۰۰ ۱۰۰ ۰۰۱
	ADA B	۰ ۱۰۰ ۰۰۱ ۱۰۰ ۱۰۰ ۰۱۰
D=Z+B+C مفسر	اسمبل کننده	
	ADA C	۰ ۱۰۰ ۰۰۱ ۱۰۰ ۱۰۰ ۰۰۱
	STA D	۰ ۱۱۱ ۰۰۱ ۱۰۰ ۱۰۰ ۱۰۰

شکل ۴-۱۴ رابطه بین زبان ماشین، زبان اسمبلی و زبان‌های سطح بالای فورترن و یا سی

(LDA) = بار کردن مقدار Z در ثبات A; ADA B = افزودن مقدار B به محتویات ثبات A; ADA C = افزودن مقدار C به محتویات ثبات A; STA D = ذخیره محتویات ثبات A به صورت (D)

۴-۲ کاربرد نرم افزارهای سطح بالا

یکی از نتایج فرعی عصر کامپیوترهای شخصی تنوع برنامه‌های در دسترس برای دانش‌آموزان، معلمان و محققان می‌باشد. زبان‌های کامپیوتر از قبیل بی‌سیک، فورترن، سی، واژه پردازها، کنترل کننده‌های گرامری، صفحه گسترهای گرامری، صفحه گسترها، وسایل رومیزی، سیستم مدیریت پایگاه داده‌ها، اینترنت و سایر وسایل بهره‌وری به تعداد زیادی تهیه شده‌اند. ظهور (Graphycal (Graphycal GUI (User Inter Face یا اتصال گرافیکی از طریق کامپیوترهای صفحه گستر کامپیوتر یک نرم‌افزار سطح بالا است که کاربردهای خاص برای شیمیدانها دارد. نرم‌افزار اکسل (Excel)، لوتوس (Lotus) ۱، ۲ و ۳ و کوآتروپرو سه نمونه برجسته از آن می‌باشند.

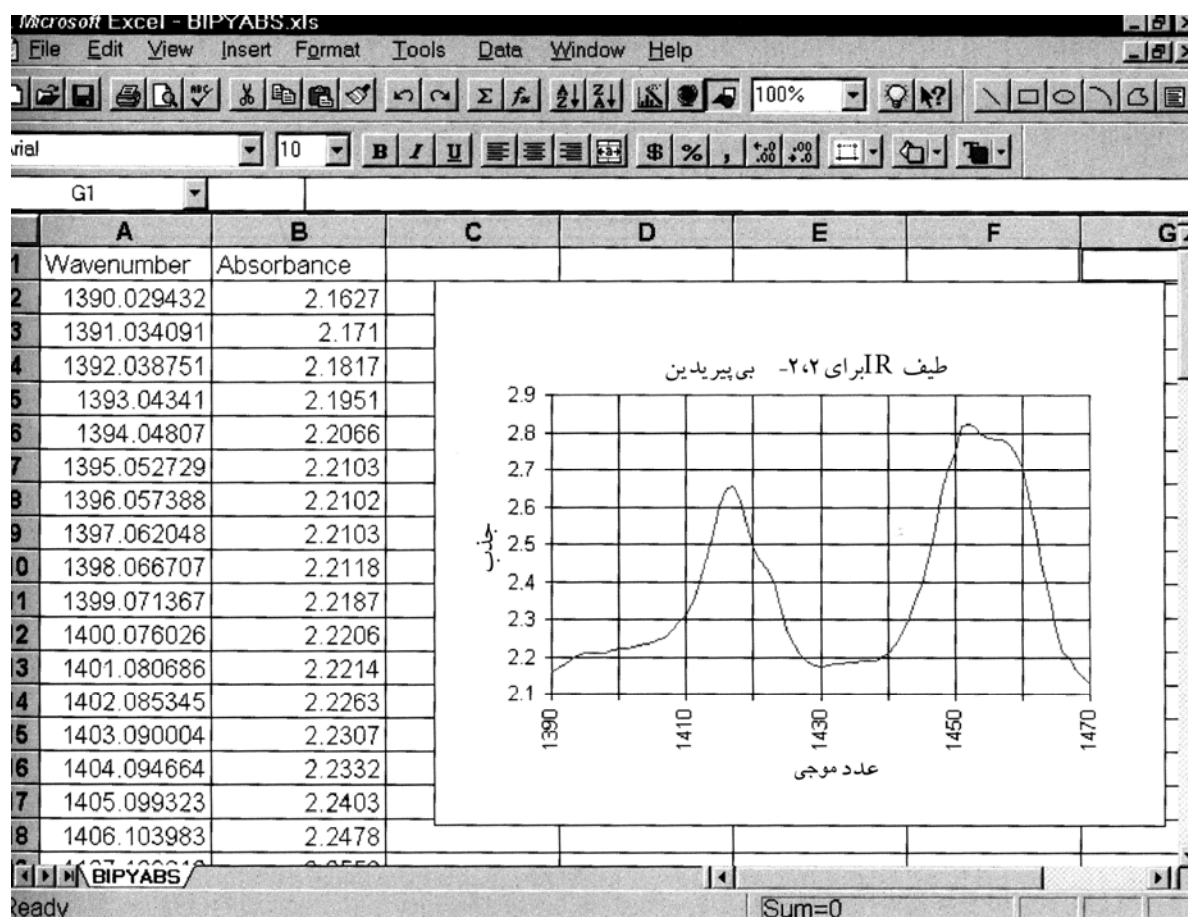
صفحه گسترها

صفحه گسترها در اصل به عنوان وسیله‌ای برای کارهای تجاری برنامه ریزی شدند اما با عامه پسند شدن و آسانی استفاده از آن‌ها، مردم با مشاغل مختلف شروع به استفاده از آنها کردند. وقتی سازنده نرم‌افزار نیازهای مختلف مشتریهایش را برآورده می‌سازند، آنها شروع به افزودن در سطح وسیعی از عوامل خاص و تخصصی در صفحه گسترده‌هایشان می‌کنند. به عنوان مثال نرم‌افزار اکسل اکنون شامل توابعی است که برای ذخیره مراحل تهیه آمارهای پیچیده یا آنالیزی مهندسی و همچنین شامل توابع آماری پایه‌ای از قبیل میان، انحراف معیار، میانگین، مُد، هیستوگرام و توابع آماری پیشرفته دیگر از قبیل

شوند که کامپیوتر بتواند پاسخ دهد و آن به صورت کد ماشینی دودویی در آورد. این عمل خسته کننده و وقت گیر و گاهی همراه با اشتباه است. به این دلیل زبان دستگاه‌ها توسعه یافته، به طوری که مراحل هماهنگ کننده گزینه‌ها بین گروه‌ها انجام گرفته تا بتواند به طریق نمادی برنامه ریزی شود. برای مثال نماد برای کسر کردن می‌تواند ساب (sub) باشد و ممکن است مربوط به ۱۰۱ در زبان ماشین باشد. واضح است که به خاطر سپردن ساب (Sub) برای یک برنامه نویس آسان‌تر است از به خاطر سپردن ۱۰۱ می‌باشد.

در حالی که برنامه نویسی اسمبلی ساده‌تر از برنامه نویسی ماشین است با این وجود باز هم خسته کننده است. اخیراً زبان‌های سطح بالا از قبیل فورترن، بی‌سیک آپل (APL)، پاسکال فورث (Forth) و سی (C) گسترش یافته‌اند. این زبانها برای ایجاد ارتباط با یک کامپیوتر به طور مستقیم برنامه ریزی شده‌اند. در این جا دستورات به زبان سطح بالا به وسیله یک برنامه کامپیوتری که به آن مفسر گفته می‌شود، به زبان اسمبلی و نهایتاً به زبان ماشین نوشته می‌شود که سپس توسط کامپیوتر خوانده و تفسیر می‌گردد. قبل از سال ۱۹۸۵ استفاده از زبان‌های سطح بالاتر ارتباط بین سیستم‌های در دسترس حافظه و زمان مورد نیاز به برنامه نویسی کامپیوتری را به زبان اسمبلی مشکل می‌کرد، زیرا برنامه ریزی به زبان اسمبلی با توجه به وجود حافظه به طور قابل ملاحظه‌ای ضرورت بیشتری نسبت به برنامه نویسی زبان سطح بالا دارد. به هر حال برای بیش از دو دهه گنجایش حافظه هر دو سال دو برابر شده و قیمت هر بیت از مخزن کاهش یافته است. بنابراین انتخاب یک زبان برنامه نویسی بستگی به سلیقه، مهارت و تناسب زبان نوشته شده به موضوع مورد نظر دارد. زبان اسمبلی برای کنترل جزئیات کامپیوتر و سخت‌افزار بسیار مهم است. برای داده‌های عادی ورودی و خروجی و توابع سطح بالای سخت‌افزاری زبان «سی» انتخاب خوبی برای محاسبات علمی است. زبان فورترن حدود ۴۰ سال قبل برنامه ریزی و نوشته شده و هنوز به عنوان یک زبان عمومی در موضوعات علمی کاربرد دارد. کتابخانه وسیع با مشخصات خوب برنامه‌های فرعی (Subroutines) فورترن علمی از امور عادی می‌باشد [۳].

شکل ۴-۱۴ کاربرد فورترن، سی و زبان ماشین را برای به دست آوردن یک حاصل جمع نشان می‌دهد.



شکل ۱۵۴ صفحه کامپیوتر یک صفحه اکسل را نمایش می‌دهد، صفحه گستر حاوی اطلاعات از طیف جذب بی ۲،۲ بی پیریدین می‌باشد.

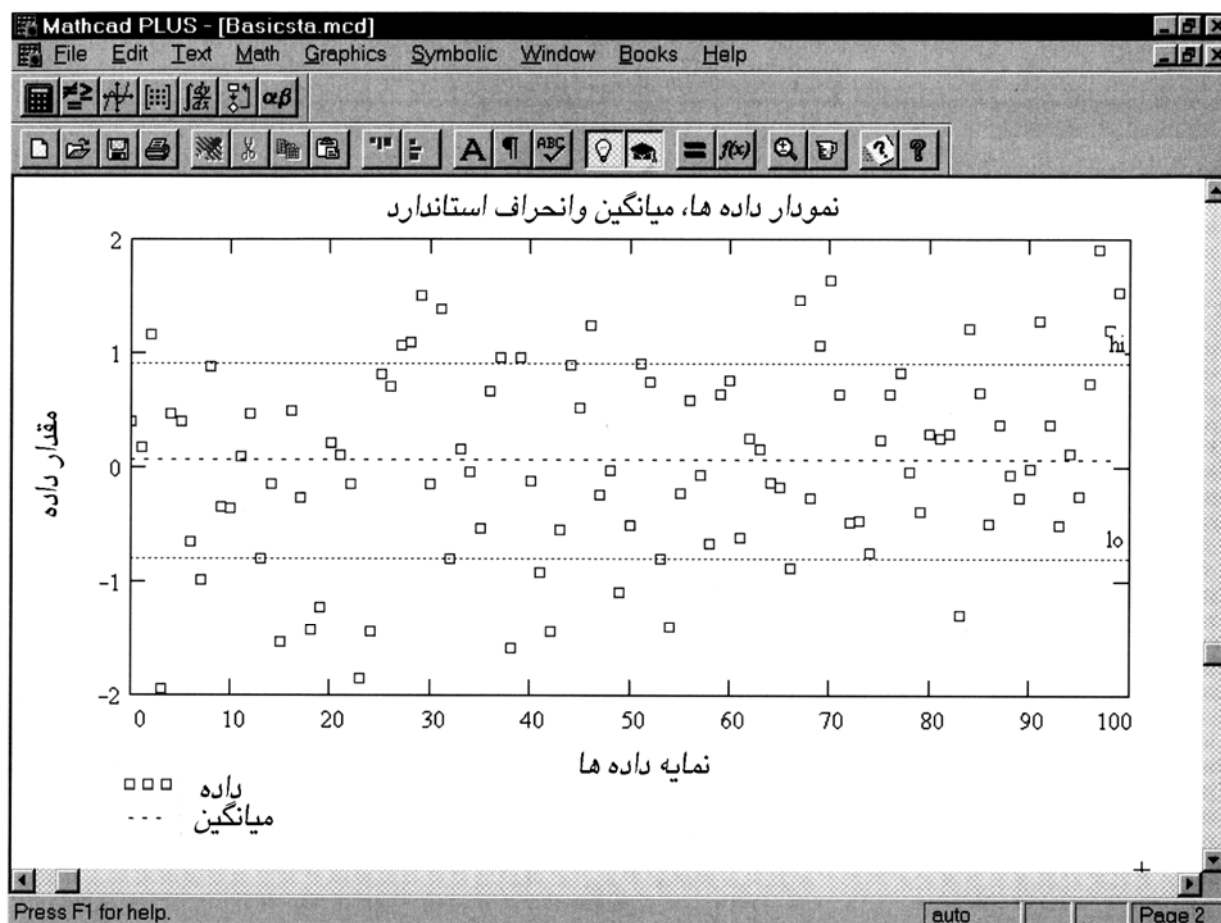
در مطالعه تعادل‌های چند گانه یافت می‌شود را حل می‌کند. روش مختلف حل معادله وجود دارد که شامل (TK Slower Plus)، (Mathematical)، (Maple)، (Math Cad) می‌باشند. این برنامه‌ها به طور وسیعی تهیه شده‌اند. بنابراین انتخاب آنها بستگی به کارایی و در دسترس بودن آنها دارد. زیرا قیمت پایین، توانایی بالا، راحتی در استفاده و فراگیر بودن آنها در نمایش روابط پیچیده ریاضی، برنامه (Cad Math) را عامه پسند در علوم مربوط به فیزیک و در رشته مختلف فنی برای حل مسائل متنوع محاسبه‌ای از نظر آماری تا مسائل مربوط به مقدار ویژه و بردار ویژه در شیمی کوانتومی کرده است.

شکل ۱۶۴ کاربرد (Math Cad) را برای تجزیه‌های آماری با داده‌های بسیار زیاد استخراج شده از دستگاه تجزیه یا تایپ شده توسط استفاده کننده را نشان می‌دهد. میانگین و انحراف معیار داده‌ها به صورت خودکار محاسبه و در یک ترسیم توزیعی برای مشخص

اریب دارها، کارتوسیس (Kurtosis) و توابع گوناگون توزیع و توابع پیشرفته دیگر از قبیل حداقل مربعات خطی و غیر خطی، آنالیز مربعات کای (X) و آنالیز واریانس مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۱۵۴ یک صفحه گستر اکسل میکرو سافت برای آنالیز و رسم فایل داده‌های طیفی را نشان می‌دهد. ستون‌های A و B صفحه گستر شامل داده‌های طیف مادون قرمز (IR) برای ترکیب ۲،۲ بی پیریدین می‌باشد. داده‌ها بر روی یک طیف سنتزی مادون قرمز با استفاده از تبدیل فوریه جمع آوری شده و بر روی یک دیسک نرم ذخیره می‌شود. سپس به شکل یک فایل متنی، وارد برنامه اکسل می‌شود که بر روی کامپیوتر دوم اجرا می‌گردد.

حل معادلات

روش حل معادله ابزاری سودمند برای یک شیمیدانها است، برنامه‌ای که به سرعت معادلات ریاضی پیچیده از قبیل معادلاتی که



شکل ۱۶۴ صفحه نمایش کامپیوتر یک (math Cad) براساس داده‌های تجربی آنالیز آماری را نشان می‌دهند.

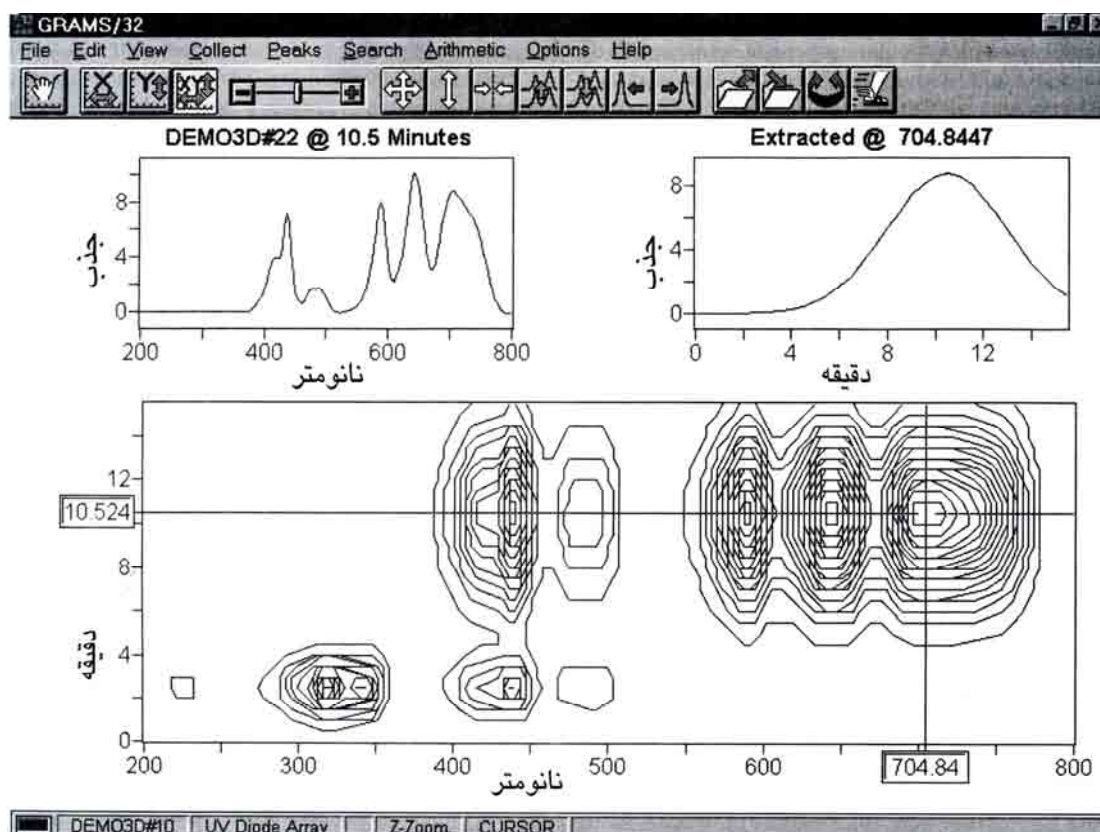
برای فرمول یابی و *Math Softs Axum* و *Scientifics Sigma plot* رسم منحنی از قبیل *andel scientifics Table Curve* و *Peak Fit* و برای تحلیل داده‌های اسپکتروسکوپی و رسم منحنی آنها از *Galactic Industries* و *GRAMS/32* می‌باشند.

برای بیان کارایی این گونه نرم افزارها در تحلیل داده‌ها مجبور هستیم به *GRAMS/۳۲* مراجعه نماییم. نام *GRAMS/۳۲* بیانگر سیستم مغناطیسی با کارایی گرافیکی است که اسپکتروگرام و کروماتوگرام‌ها را نیز شامل می‌شود. عدد ۳۲ در این جا نشان دهنده برنامه‌ای برای اجرا در ۳۲ بیت میکرو کامپیوتر از قبیل پنتیوم ایتل (*Intel pentium*) می‌باشد. *GRAMS/۳۲* قادر به خواندن، تجزیه و تحلیل، انتقال پرونده‌های اطلاعاتی تهیه شده به وسیله بیش از صد دستگاه شیمیایی مختلف و نرم افزارهای دیگر شامل طیف سنج، کروماتوگراف‌ها و دستگاههای دیگر را در بر می‌گیرد. فایل اطلاعاتی ممکن است به این فرمتهای فایل که شامل فرمت *ASCII*

کردن خطاهای سیستماتیک در داده‌ها نمایش داده می‌شود. میانه و انحراف معیارها به صورت خطی افقی رسم می‌شوند. نرم‌افزار کاربردی (*Math Cad*) در رشته‌های مختلف علوم، برای طراحی و یا یادگیری و یا دریافت از اینترنت مورد استفاده قرار می‌گیرد. مثلاً از (*Math Cad*) برای جمع آوری و نگهداری اسناد و مدارک و همچنین در شیمی تجزیه استفاده می‌شود. [۴].

نرم افزارهای علمی

تعداد بسیار زیادی نرم‌افزار برای استفاده در شیمی و علوم وابسته به آنها تهیه شده است. برنامه هایی که در دسترس هستند مثلاً برای کارهای مختلف رسم ساختار مولکول‌های ترکیبات آلی از قبیل (*Chem Draw*) برای محاسبات ترمودینامیکی از قبیل *HSC*، از ویندوز در شیمی، برای رسم داده‌های علمی از قبیل *Jande*



شکل ۱۷-۴ صفحه نمایش کامپیوتر یک طیف کروماتوگراف دو بعدی با استفاده از نرم‌افزار GRAMS/۳۲

در گوشه راست بالای صفحه رسم شده است. خط افقی نشان داده شده در خطوط گرانه‌ای برای نشان دادن مکان طیف و اثر کروماتوگرافی است. چنین نرم افزارهایی در پیدا کردن طیف اجزاء تشکیل دهنده یک مخلوط از ترکیبات و جداسازی ترکیبات به وسیله کروماتوگرافی ضروری می‌باشند. GRAMS/۳۲ و نرم افزارهای مشابه آن به سرعت به عنوان ابزارهای اصلی در کارهای تجزیه جزء و مسائل مورد نیاز یک شیمی دان محسوب می‌شوند.

۵ کاربردهای کامپیوتر

کامپیوترهایی که در دستگاههای تجزیه به کار می‌روند دو نوع هستند، غیر فعال و فعال. کاربرد کامپیوتر غیر فعال در کنترل آزمایش، دخالتی نداشته و فقط برای اداره داده‌ها، فرآیند، ذخیره سازی، جستجوی فایل‌ها یا نمایش آنها به کار می‌رود. کاربرد کامپیوتر فعال در خروجی است که مراحل مختلف مورد لزوم در انجام کار دستگاه را کنترل می‌کند. برای مثال در تعیین طیف سنجی، کامپیوتر ممکن است منع مناسب را انتخاب کرده و باعث فعال شدن این منبع گردد و

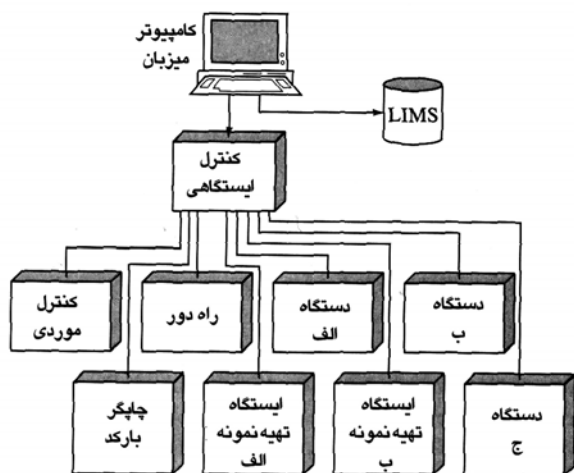
فرمت *Comma - Delimited* و فرمت‌های صفحه گستر گوناگون هم چنین فرمت‌های طیف بینی استاندارد از قبیل *JCAMP* انتقال می‌کند.

تبدیل فوری، ساده کردن داده‌ها، فیلتر کردن دیجیتالی، کاهش پیچیدگی، انطباق منحنی، اعمال مختلف ریاضی از قبیل دیفرانسیل، انتگرال، درون یابی، تبدیل جذب به عبور توسط GRAMS/۳۲ به راحتی انجام می‌گیرد. اغلب این توابع در فصل ۵ مورد بررسی قرار خواهد گرفت. با GRAMS/۳۲ می‌توان انواع مختلفی از رسم داده‌ها، شامل رسم انبوه، رسم مرکب، رسم سه بعدی، رسم نقشه، خطوط گرانه‌ای، آنالیز و تفسیر داده‌های شیمیایی را انجام داد. شکل ۱۷-۴ نمودار داده‌های یک نمونه جمع آوری شده توسط طیف سنج مرئی، ماوراء بنفش دیودی جفت شده با یک کروماتوگراف را نشان می‌دهد. داده‌های سه بعدی به سه صورت نشان داده می‌شوند: به صورت خطوط کرانه‌ای از داده‌های کامل روی نیمه پایینی صفحه و اثر کروماتوگرافی گرفته شده در ۷۰۴/۸۴ بر روی گوشه چپ بالای صفحه و یک اثر طیفی ۱۰/۵۲۴ دقیقه‌ای در آزمایش کروماتوگرافی

شدت آن را در یک سطح خاص تنظیم کند. همچنین باعث عبور تابش از میان نمونه شده و سپس تاریک شده و تکفام ساز را کنترل کند. بنابراین با انتخاب طول موج مناسب و حساسیت آشکار ساز را تنظیم کرده و شدت را ضبط می‌کنند. علاوه بر این کامپیوتر ممکن است برای استفاده از داده‌هایی که در اصل برای بسیاری از حالت‌های آزمایشگاهی از قبیل روش‌های بهبود میزان داده‌ها برنامه ریزی شود. به دستگاههایی که توسط کامپیوتر کنترل می‌شوند دستگاه‌های خودکار اطلاق می‌شوند.

۴-۲ کاربرد کامپیوترهای فعال

در کاربرد کامپیوتر فعال فقط قسمتی از زبان کامپیوتر برای دریافت داده‌ها به کار می‌رود، در حالی که بقیه زمان برای پردازش و کنترل داده‌ها به کار گرفته می‌شود. بنابراین کاربرد کامپیوتر فعال در رابطه با زمان واقعی هستند. اغلب دستگاههای پیشرفته دارای یک یا چند میکرو کامپیوترند که کنترل اعمال را به‌عهده دارند. برای مثال قسمت‌های مختلف شامل (۱) تنظیم عرض شکاف و هماهنگ کردن طول موج تک فامساز، (۲) دمای ستون کروماتوگرافی، (۳) پتانسیل لازم برای یک الکتروود، (۴) میزان افزودن یک واکنش گر، (۵) زمانی که انتگرال‌گیری پیک آغاز می‌شود. با مراجعه دوباره به دستگاه *GC/MS* در قسمت قبل و مطالعه آن می‌توان درک کرد یک کامپیوتر اغلب برای دریافت و جمع آوری داده‌های طیف جرمی در یک ترکیب و در هر لحظه در انتهای ستون کروماتوگرافی مورد نیاز است



شکل ۴۴ شکل عمومی سخت‌افزار LAN

کار با کامپیوتر می‌تواند نسبتاً ساده باشد. برای مثال تعیین غلظت عناصر از طریق نشر اتمی شامل اندازه‌گیری ارتفاع پیک نشر، که در طول موج‌هایی که برای هر عنصر مشخص شده‌اند پیدا می‌کنند. در این جا کامپیوتر می‌تواند باعث شود که تک فامساز با سرعت تعدادی از طول موج‌ها را کنارزده تا این که نقطه اوج مشخص شود. سرعت کنار زدن سپس کاهش یافته و بدین ترتیب طول موج دقیق که

۴-۱ کاربرد کامپیوترهای غیر فعال

پردازش داده‌ها به وسیله یک کامپیوتر ممکن است شامل عملیات ریاضی ساده از قبیل محاسبه غلظت‌ها، میانگین داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها، حداقل مربعات، تجزیه آماری و انتگرال‌گیری برای به دست آوردن سطح زیر منحنی، محاسبات پیچیده‌تر شامل راه حل معادلات چند مجهولی، رسم منحنی، میانگین‌گیری و تبدیل فوریه باشد.

ذخیره داده‌ها یکی دیگر از اعمال مهم کامپیوتر غیر فعال است. برای مثال یک وسیله قدرتمند برای تجزیه و تحلیل نتایج مخلوط‌های پیچیده هنگامی که کروماتوگرافی گازی (*GC*) به یک اسپکتروسکوپی جرمی (*MS*) وصل شده باشد، کامپیوتر می‌باشد. کروماتوگرافی گازی مخلوط‌ها را براساس زمان مورد نیاز برای رسیدن هر جزء به انتهای ستون پر شده جدا سازی می‌کند. اسپکتروسکوپی جرمی اجازه تعیین هویت هر جزء را براساس جرم هر جزء تشکیل دهنده به وسیله بمباران کردن ترکیب با ذرات اتمی مثال الکترون‌ها را می‌دهد. تجهیزات *GC/MS* می‌تواند ۱۰۰ طیف در عرض چند دقیقه برای داده‌ها تولید کند که هر طیف از ده‌ها تا صدها پیک تشکیل شده باشند. تبدیل این داده‌ها به یک شکل قابل تفسیر (منحنی) در زمان واقعی اغلب غیر ممکن است. بنابراین داده‌ها معمولاً به شکل دیجیتالی برای فرآیند بعدی ذخیره می‌شوند و به شکل گرافیکی نمایش داده می‌شوند.

تعیین ماهیت طیف جرمی آن‌ها از جمله بررسی پرونده‌های طیف برای ترکیبات خالص است تا این که در مخلوط پیدا شوند. این فرآیند به صورت دستی وقت گیر است اما می‌توان با استفاده از کامپیوتر به سرعت انجام داد. در این جا طیف ترکیب خالص در سخت فزار کامپیوتر ذخیره شده و مورد مطالعه قرار می‌گیرد تا این که طیف‌هایی شبیه آنالیت پیدا شوند. هزاران طیف می‌تواند در

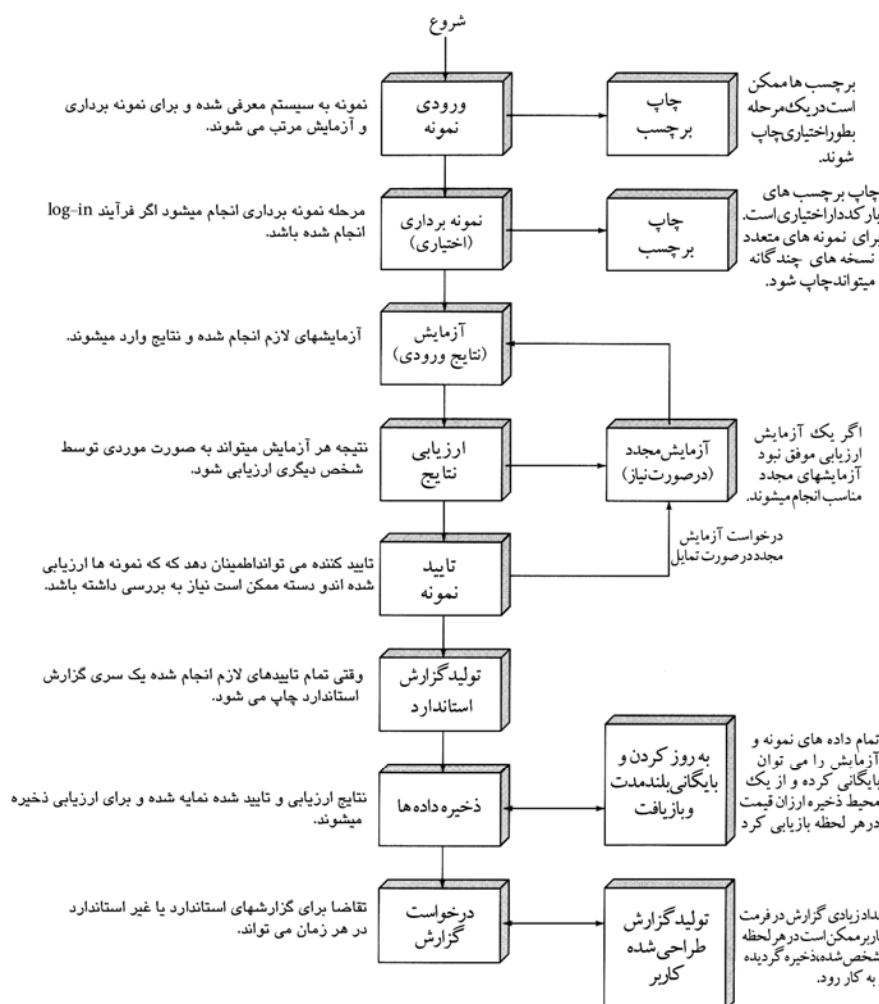
۴ شبکه‌های کامپیوتری

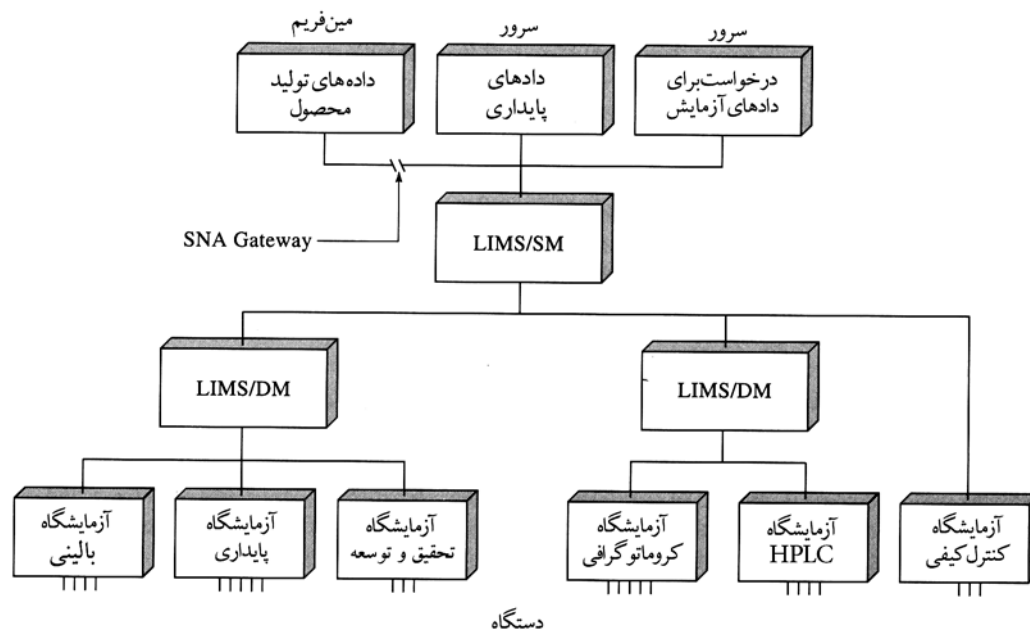
اتصال دو یا چند کامپیوتر یک شبکه کامپیوتری به زبان ساده‌تر یک شبکه را ایجاد می‌کند. اگر ارتباط بین کامپیوترها به صورت نرم‌افزاری کنترل شود میزان اطلاعاتی که می‌تواند انتقال یابد و در دسترس قرار گیرد به اندازه کافی افزایش می‌یابد. شبکه‌ها در برگرنده تعداد بیشماری ارتباط بین کامپیوترها می‌باشد. آنها می‌توانند به یک یا دو دسته اصلی طبقه بندی شوند. اولی اینترنت است که قادر است نمایش‌های دیجیتالی را به سرعت و به طرز باور نکردنی از انواع اطلاعات از جمله گرافیکی، متنی، صوتی و تصویری را به سرتاسر جهان انتقال دهد. اینترنت یک طرح دولتی در سال ۱۹۶۰ بود که آرپانت (ARPANET) نامیده شد. در اوایل دهه ۱۹۶۰ به دستور ارتش ایالات متحده آمریکا برای برقراری ارتباط سریع بین دولت و علوم مهندسی کامپیوتر نظامی و محققین آن به وجود آمد. زمانی که کامپیوترهای شخصی در اوایل دهه ۱۹۶۰ به بازار آمد و استفاده کنندگان متوجه قدرت و راحتی و فنآوری شبکه شدند و در دانشگاه‌ها

ماکزیمم خروجی سیگنال را نشان می‌دهد تعیین گردد. اندازه‌گیری شدت در این نقطه تکرار می‌شود تا این که یک مقدار میانگین نسبت به سیگنال متناسب و نسبت به عوامل مزاحم مشخص گردد. سپس کامپیوتر به دستگاه دستور می‌دهد تا این عمل را برای هر نقطه پیک در طیف تکرار کند. سرانجام کامپیوتر غلظت عناصر موجود را محاسبه و چاپ می‌کند.

یک کامپیوتر به دلیل داشتن سرعت زیاد اغلب می‌تواند متغیرها را با دقت بیشتری نسبت به آنچه که انسان می‌تواند انجام دهد کنترل کند. به علاوه، برای بعضی آزمایشات کامپیوتر می‌تواند برنامه ریزی شود و روش اندازه‌گیری براساس طبیعت اولیه داده‌ها انجام شود. در این جا یک حلقه بازخور مورد استفاده قرار می‌گیرد که تا سیگنال خروجی را به داده‌های دیجیتالی تبدیل کرده و به کامپیوتر برگشت بدهد تا برای کنترل، بهبود روش‌ها در اندازه‌گیری‌های بعدی به کار گرفته شود.

شکل ۱۹۴ داده‌های LIMS و نگاه کلی و ساده آرایش عوامل





شکل ۲۰۴: دیاگرام بلوکی از یک سیستم کامل آزمایشگاه خودکار را نشان می‌دهد.

باشید که تمامی قسمت‌های ارتباطی این سیستم با کنترل کننده سلولی یک میکرو کامپیوتر یا کامپیوتر شخصی در این شکل نشان داده نشده است. یک سیستم مدیریتی اطلاعات کتابخانه‌ای [۷] (LIMS) در گوشه بالای سمت راست این شکل آمده است. داده‌ها دستی یکی از کارهای اصلی در هر کتابخانه است و یک برنامه ریزی LIMS اطلاعات را در مورد همه نمونه‌ها و پروژه‌ها را که کامل شده یا در جریان است را به جریان می‌اندازد. شکل ۱۹-۴ تعدادی از فرآیندهای کنترل شده را به نمایش می‌گذارد. سرانجام شکل ۲۰-۴ یک دیاگرام کلی از سیستم کامپیوتری برنامه ریزی شده کاملاً خودکار یک آزمایشگاه کامل را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که در قسمت پائین این شکل آزمایشگاهها کاملی به صورت جعبه‌ای که در بین هر یک از این آزمایشگاهها یک شبکه محلی کار گذارده شده تا فعالیتها و ارتباطها را با قسمت بعدی به طور مرتب برقرار می‌کند نمایش می‌دهد. در این سیستم دو نوع متفاوت از LIMS مشاهده می‌کنیم که اولی به صورت DM برنامه ریزی و استاندارد شده است و برای اداره LIMS است که دست یابی به دادهها را کنترل می‌کند. روش ورودی SNA است که اتصال این مجموعه کتابخانه‌ای و کامپیوتری را با خدمات اولیه به مجموعه‌ای که در رابطه با قسمت مرکزی است نشان می‌دهد.

و شرکت‌های غیر دولتی شروع به برقراری ارتباط با شبکه کردند. وقتی دولت در سال ۱۹۸۹ حمایت خود را از شبکه قطع کرد طرحی برای تقویت و توسعه تجاری اینترنت تنظیم شد. با ادامه و گسترش کامپیوترهای شخصی فناوری آن برای ارتباط با شبکه و امکانات آن برای استفاده کننده‌های تجاری شبکه به وجود آمد، به طوری که عمومیت یافتن پست الکترونیکی یا W.W.W (World Wide Web) اجازه تشکیل اینترنت عظیم امروزی را داد. در نهایت اینترنت همانطور که انتظار می‌رفت به عنوان شاهراه اطلاعاتی شناخته شد که فناوری اینترنت را به هر خانه‌ای توسط کابل و یا خطوط تلفن با سرعت بالایی (صدها مگابایت در ثانیه) سرازیر کرد. بیشتر اطلاعات جهانی شامل داده‌های علمی، روزنامه‌ها، مجلات، انواع دگر گزارش‌ها در اینترنت قابل دسترس است.

به موازات گسترش اینترنت شبکه‌های محلی اینترنت یا LANها پیدا شد [۶]. LANها در اغلب سیستمها شامل آزمایشگاههای علمی در دانشگاهها، ارگانهای دولتی و شرکت‌های خصوصی مشاهده می‌شود. کاربری بسیار خوب LANها در زمینه علمی باعث شده که برای نیازهای آزمایشگاهی برنامه ریزی شوند. به طور کلی LANها ارتباط عمومی شبکه را جهت انتقال اطلاعات بین دستگاههای کامپیوتری و بخش ورودی و خروجی کامپیوترهای مختلف را برقرار می‌سازد. شکل ۱۸-۴ شکلی کلی LAN را نشان می‌دهد. توجه داشته

عط پرسشها و مسائل

۱۰ و ۱ ولت باشند؟

۶-۴) مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال سرعت‌های متفاوتی دیجیتالی می‌شوند. چه سرعت تبدیلی مورد نیاز است تا یک پیک کروماتوگرافی کامل شود و ۲۰ مرتبه بین اولین انحراف مثبت از خط پایه تا به نقطه اوج برگشتی فاصله باشد؟ مجموع فاصله زمانی بین نقطه اوج تا خط پایه برابر است با الف) Sec ۲۰، ب) $1Sec$

۷-۴) یک نوع ADC ۱۲ بیتی دارای زمان تبدیل میکرو ثانیه است. بالاترین فرکانس چقدر باید باشد تا بتوان با این دستگاه عمل ثبت با دقت بیشتر انجام داد. با فرض اینکه میزان نایکویست $Nyquist$ رضایت بخش است (به بخش ج-۵-۲ مراجعه شود).

۸-۴) تراشه پردازش گر پنتیوم $200 MHz$ توسط اینتل ۶۴ بیتی، ۳۶ بیتی در مسیر داده شده قادر به تشکیل بیش از ۲۰۰ میلیون دستور اجرایی در هر ثانیه می‌باشد. الف) چند موقعیت در حافظه می‌تواند به طور مستقیم توسط چنین دستگاهی در دسترس باشد. ب) چند دستورالعمل را پنتیوم می‌تواند اجرا کند؟

۱-۴) هر یک از اعداد ده دهی زیر را به دو دویی معادل آنها تبدیل کنید

الف) ۲۴ (ب) ۷۹ (ج) ۱۳۶ (د) ۵۸۱

۲-۴) هر یک از اعداد دودویی را به ده دهی معادل آنها تبدیل کنید؟

الف) ۱۰۱ (ب) ۱۰۱۰۱ (ج) ۱۱۱۰۰۰۱۰ (د) ۱۱۰۱۰۰۱۰۰۱

۳-۴) سه ADC (مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال) هر سه دارای ولتاژ بین ۰ تا ۱۰ ولت دارند. ماکزیمم عدم اطمینان در دیجیتالی شدن یک سیگنال ۱۰ ولتی چقدر است اگر مبدل‌ها دارای الف) ۸ بیت، ب) ۱۲ بیت، ج) ۱۶ بیت باشند؟

۴-۴) مسئله ۳-۴ را وقتی که یک سیگنال یک ولتی دیجیتالی می‌شود با سه مبدل یکسان حل کنید.

۵-۴) درصد خطای ماکزیمم ولتاژ یک فرآیند به وسیله یک ADC با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید.

$Max\% = \frac{خطا}{خطا} \times 100$ (ولتاژ اندازه‌گیری شده / ماکزیمم عدم اطمینان) = خطا/Max

اگر از ADC یکسانی استفاده شود چگونه درصد خطاها در اندازه‌گیری ولتاژ مقایسه می‌شود. اگر ولتاژهای اندازه‌گیری شده

* * * * *

مراجع

- [1]. H. V. Malmstast, C. G. Enke and S. R. Crouch. *Microcomputers and Electronic Instrumentation: Making the right connections*. Washington, DC. American Chemical Society, 1994; A. J. D. Diefenderfer and B. E. Holton, *Principles of Electronic Instrumentation to Computer Assisted Experimentation*. New York: Wiley, 1987; S. C. Gates and J. Becker, *Laboratory Automation using the IBM-PC*. New York: Prentice-Hall, 1989.
- [2]. R. E. Dessy, *Anal. Chem.*, 1983, 55, 540A, 756A.
- [3]. W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterlity, and B. P. Flannery, *Numerical recipes in FORTRAN: The Art of Scientific Computing*, 2nd ed., New York: Cambridge, 1992. These routines are available in versions for FORTRAN 77, FORTRAN 90, C, and Pascal.
- [4]. F. J. Holler, *Mathcad Applications for Analytical Chemistry*, Philadelphia: Saunders College publishing, 1994.
- [5]. A. P. Wade and S. R. Crouch, *Spectroscopy*, 1988, 5 (10), 24.
- [6]. R. E. Dessy *Anal. Chem.* 1982, 54, 1167A, 1295A.
- [7]. R. E. Dessy, *Anal. Chem.* 1983, 55, 70A, 277A; R. Megargle, *Anal. Chem.*, 1989, 61, 612A.

فصل ۵

سیگنال و نویز

اندازه‌گیری تجزیه‌ای از دو جزء تشکیل شده است. جزء اول سیگنال که حاوی اطلاعاتی در مورد آنالیت است و برای شیمی دان‌ها جالب توجه می‌باشد. جزء دوم نویز^۱ می‌باشد که از اطلاعات خارجی ناخواسته به وجود می‌آید، که دقت و صحت یک کار تجزیه‌ای را کاهش داده و باعث پایین آمدن دقت در میزان آنالیت از حد انتظار می‌گردد [۱]. در این فصل برخی از منابع متعارف و شناخته شده نویز و چگونگی به حداقل رساندن اثرات آن مورد بحث

۱- کلمه نویز از مهندسی رادیو گرفته شده است که در آن حضور یک سیگنال ناخواسته به صورت یک صدای ساکن یا نویز ظاهر می‌گردد. این عبارت هم اکنون در علوم و مهندسی برای توضیح نوسانهای اتفاقی مشاهده شده کاربرد پیدا کرده است. هر چند که در اندازه‌گیری‌های تکراری بر روی سیگنال‌ها به طور مداوم مشاهده می‌شود با این وجود این نوسانها تصادفی هستند و به همین خاطر می‌توان آنها را از طریق روش‌های آماری توضیح داد. به قسمت الف - ۱ - ب ضمیمه ۱ مراجعه شود.

قرار خواهد گرفت.

۵ الف نسبت سیگنال به نویز

اثر نویز بر روی سیگنال در شکل ۵-الف که ثبت یک نمودار — نواری برای یک جریان مستقیم و ضعیف در حدود ۱۰-۱۵ آمپر نشان می‌دهد. تفاوت بین این دو نمودار مربوط به نویز در آزمایش است. متأسفانه، اطلاعات مربوط به نویز را همان طور که در شکل ۵-۱ ب نشان داده شده است هرگز در آزمایشگاه نمی‌توان تشخیص داد زیرا بعضی از نویزها ناشی از تأثیرات ترمودینامیکی و کوانتومی در اندازه‌گیری اجتناب ناپذیرند.

در اغلب اندازه‌گیری‌ها، مقدار متوسط نویزهای قوی (N) ثابت است و مستقل از تعداد سیگنال (S) می‌باشد. بنابراین اثر نویز در خطای نسبی یک اندازه‌گیری به موازات کاهش تعداد اندازه‌گیری

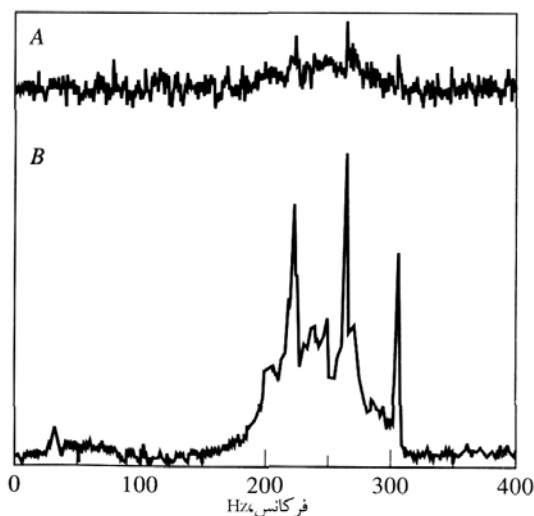
آن به نویز کمتر از حدود ۲ یا ۳ باشد آشکار کرد. شکل ۲-۵ این قانون را نشان می‌دهد. منحنی فوق یک طیف رزونانس مغناطیسی هسته‌ای را برای پروتسترون با نسبت سیگنال به نویز حدود ۴/۳ را نشان می‌دهد. در شکل پایین این نسبت ۴۳ می‌باشد. وقتی نسبت سیگنال به نویز کوچک باشد فقط تعداد کمی از پیک‌ها را می‌توان به طور دقیق تشخیص داد.

ب منابع تولید نویز در تجزیه‌های دستگاهی

تجزیه شیمیایی متأثر از دو نوع نویز شیمیایی و دستگاهی می‌باشد.

ب-۱ نویز شیمیایی

نویز شیمیایی متأثر از تعدادی عوامل متغیر غیر قابل کنترل که بر خواص شیمیایی سیستم مورد تجزیه اثر می‌گذارد را شامل می‌شود. عواملی مانند نوسانهای دما یا فشار که بر حالت تعادل شیمیایی اثر می‌گذارند، نوسانات رطوبت نسبی که باعث تغییر در میزان رطوبت نمونه‌ها می‌گردد، نوساناتی که موجب لایه بندی ذرات جامد می‌گردد، تغییرات شدت نور که بر روی مواد حساس نوری اثرگذار می‌باشد و گازهای آزمایشگاهی که با نمونه‌ها یا واکنشگرها بر هم کشش دارند. از جمله متغیرهای غیر قابل پیش بینی می‌باشند. جزئیات تأثیر نویزهای شیمیایی در فصل‌های بعدی خواهد آمد که در روش‌های خاص دستگاهی مورد بحث قرار خواهند گرفت. در این فصل فقط در مورد نویزهای خاص دستگاهی بحث خواهد شد.



شکل ۲-۵ تأثیر نسبت سیگنال به نویز در طیف NMR پروتسترون (الف) ۴/۳ S/N = (ب) ۴۳ S/N =

بیشتر و بیشتر خواهد شد. به همین دلیل نسبت سیگنال به نویز $(\frac{S}{N})$ شکل بسیار مفیدی در مقایسه با خود نویز و در تشریح کیفیت روش تجزیه‌ای یا کارایی یک دستگاه دارد.

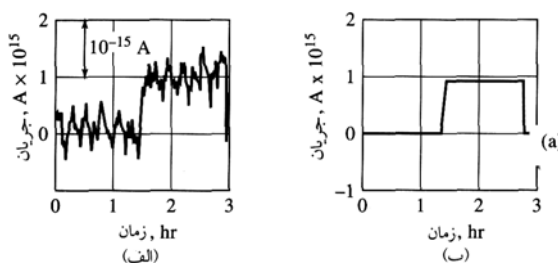
برای سیگنال dc همان طور که در شکل ۱-۵ الف مشاهده می‌شود میزان نویز به راحتی به صورت انحراف استاندارد (s) از محاسبات عددی سیگنال‌های قوی به دست می‌آید و در سیگنال از میانگین‌گیری x اندازه‌گیری می‌شود. پس $(\frac{S}{N})$ به صورت زیر خواهد شد:

$$(1-5) \quad \frac{S}{N} = \bar{x} / s = \text{انحراف استاندارد} / \text{میانگین}$$

توجه داشته باشید که نسبت سیگنال به نویز $\frac{\bar{x}}{s}$ عکس انحراف استاندارد نسبی RSD برای تعدادی از اندازه‌گیری‌ها می‌باشد (به قسمت اب-۱ و پیوست ۱ مراجعه شود)، بنابراین خواهیم داشت:

$$(2-5) \quad \frac{S}{N} = \frac{1}{RSD}$$

برای یک سیگنال ثبت شده مثل آنچه که در شکل ۱-۵ الف نشان داده شده است انحراف استاندارد را می‌توان به راحتی و با اطمینان ۹۹ درصد با تقسیم تفاضل بین بیشترین مقدار سیگنال و کمترین مقدار آن بر ۵ تخمین زد. در این جا فرض بر این است که انحراف از میانگین بوده و بدین ترتیب می‌توان از روش‌های آماری استفاده کرد. در شکل الف ۱-۵ پیوست ۱ به نظر می‌رسد که ۹۹ درصد از داده‌های زیر منحنی خطای نرمال در محدوده $\pm 2/5 \sigma$ از میانگین قرار دارند. بنابراین می‌توان گفت که مطمئناً ۹۹ درصد از اختلاف بین ماکزیمم و مینیمم شامل 5σ می‌شود. یک پنجم اختلاف در حقیقت تخمین خوبی از انحراف استاندارد است.



شکل ۵ تأثیر نویز بر روی یک جریان (الف) نمودار نواری تجربی از یک جریان مستقیم $10^{-15} \times 0.9$ آمپر ثبت شده (ب) میانگین نوسانها براساس یک قانون کلی، امکان ندارد سیگنالی را وقتی که نسبت

پدیده موقعی اتفاق می‌افتد که خروجی از ۱۰ تا ۹۰ درصد مقدار نهایی افزایش یابد. بنابراین اگر زمان صعود $0.1/0$ ثانیه باشد پهنای نوار ۳۳ هرتز می‌گردد. معادله (۳-۵) نشان می‌دهد که نویز گرمایی با باریک شدن پهنای نوار می‌تواند کاهش یابد. به هر حال باریک شدن پهنای نوار باعث می‌شود که دستگاه به تغییرات سیگنال کندتر پاسخ دهد و زمان بیشتری را برای انجام یک سنجش مطمئن نیاز خواهد داشت.

مثال ۱-۵

اثر نویز گرمایی در کاهش زمان پاسخگویی یک دستگاه از ۱ ثانیه به یک میکروثانیه چگونه می‌باشد؟

اگر فرض کنیم زمان پاسخگویی تقریباً برابر با افزایش زمان باشد در می‌پایم که پهنای نوار از ۱ هرتز به 10^6 هرتز تغییر یافته است و براساس معادله (۳-۵) چنین تغییری باعث افزایش نویز به اندازه $\left(\frac{10^6}{1}\right)^2$ یا ۱۰۰۰ برابر خواهد شد.

همانطور که معادله (۳-۵) نشان می‌دهد نویز گرمایی با کاهش مقاومت الکتریکی مدارهای دستگاه و با کاهش دمای اجزاء تشکیل دهنده دستگاه کاهش می‌یابد. نویز گرمایی در مبدل‌ها اغلب با سرد کردن کاهش می‌یابد. به عنوان مثال با کاهش دمای یک لامپ فرابنفش مرئی در آرایه دیود نوری از دمای $298K$ اتاق به دمای $77K$ که توسط نیتروژن مایع ایجاد می‌شود نویز گرمایی به نصف تقلیل خواهد یافت.

باید به این نکته مهم توجه داشت که نویز گرمایی به پهنای نوار فرکانسی بستگی دارد در صورتی که به خود فرکانس وابسته نیست. بنابراین گاهی اوقات اصطلاح نویز سفید مترادف نور سفید در نظر می‌گیرند که حاوی تمامی فرکانس‌های مرئی می‌باشد. این نکته را هم باید مد نظر داشت که نویز گرمایی عناصر مقاوم در برابر جریان به اندازه فیزیکی مقاومت بستگی ندارد.

نویز پرتابی

نویز پرتابی هنگامی به وجود می‌آید که الکترون‌ها یا سایر ذرات باردار به هم برخورد کنند. در نوعی از مدارهای الکتریکی این

ب-۲ نویزهای دستگاهی

نویز با هر جزء دستگاه همراه است و آن بدین معنی است که در منبع در ورودی مبدل، در تماس مراحل پردازش سیگنال در خروجی مبدل مشاهده می‌شود. به علاوه، نویز هر یک از عوامل بیان شده می‌تواند حالت‌های مختلف داشته باشد و نیز از منابع مختلف باشد. بنابراین نویز مشاهده شده مخلوط و پیچیده‌ای است که در نهایت نمی‌توان به طور کامل تشخیص داده شود. تعداد معینی از نویزهای دستگاهی قابل شناسایی هستند: (۱) نویز گرمایی یا جانسون (۲) نویز پرتابی (۳) نویز لرزشی یا $\frac{1}{f}$ و (۴) نویز محیطی، بررسی خواص چهارگانه مزاحمت کار مفیدی می‌تواند باشد.

نویز گرمایی، یا نویز جانسون

نویز گرمایی ناشی از آشفتگی گرمایی الکترون‌ها یا سایر ذرات باردار در مقاومت‌ها، خازن، مبدل‌های تابشی، پیل‌های الکتروشیمیایی و سایر عناصر مقاوم در دستگاه به وجود می‌آید. این آشفتگی ذرات باردار اتفاقی بوده و به طور متناوب ناهمگونی‌های باری را به وجود می‌آورد، که این هم به نوبه خود نوسانات ولتاژی به وجود آورده که به صورت نویز در بخش خروجی ظاهر می‌گردد. به این نکته مهم باید توجه داشت که نویز گرمایی حتی در غیاب جریان در یک عنصر مقاوم وجود دارد و فقط در صفر مطلق مقدار آن صفر می‌گردد. میزان نویز گرمایی در یک مدار مقاومتی ناشی از خواص ترمودینامیکی [۲] است و با رابطه زیر تعیین می‌شود:

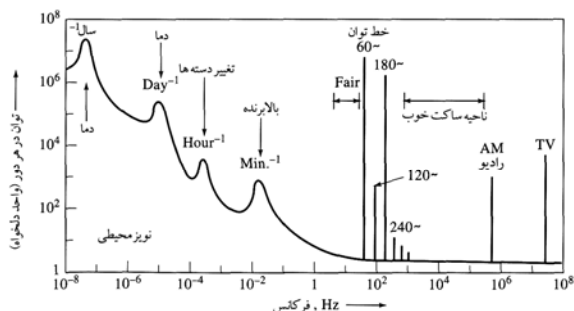
$$\bar{V}_{rms} = \sqrt{4kTR\Delta f} \quad (3-5)$$

که در آن \bar{V}_{rms} ریشه دوم مجذور نویز ولتاژ محدود در پهنای نوار فرکانسی Δf هرتز، k ثابت بولتزمن برابر $(1.38 \times 10^{-23} \frac{J}{K})$ و دما برحسب کلوین و R مقاومت بر حسب اهم در عنصر مقاوم می‌باشد. در بخش ۳-۲ رابطه بین افزایش زمان t_r و پهنای نوار Δf در یک تقویت کننده عملیاتی بحث گردید. این متغیرها اغلب در طبقه بندی دستگاه‌ها نسبت به توانایی آنها برای انتقال و ارسال اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. به یاد آوریم که:

$$\Delta f = \frac{1}{3t_r} \quad (4-5)$$

افزایش زمان در یک دستگاه عبارت است از زمان پاسخگویی برحسب ثانیه نسبت به یک متغیر ناگهانی در ورودی که معمولاً این

احتراقی بنزینی، کلیدهای جرقه‌ای، موتورهای الکتریکی، آذرخش و اغتشاشات یونسفری از جمله منابع تابشی الکترومغناطیسی در محیط عوامل ایجاد آن می‌باشند. توجه داشته باشید که بسیاری از این منابع مثل خطوط قدرت و ایستگاه رادیویی باعث نویز نسبتاً باریکی در پهنای نوار فرکانس می‌شوند. همچنین این نکته قابل توجه است که طیف اغتشاشی نشان داده شده در شکل ۳-۵ شامل ناحیه‌ای بزرگ و پیوسته در فرکانسهای پایین است. این نویز ویژگی‌های نویز لرزشی را دارد که منابع آن ناشناخته است. نویزهای سوسوزن با نوسانهای مرتبط با تغییرات دمایی سالیانه و روزانه و یا سایر پدیده‌های متناوبی که به ساختار آزمایشگاه مربوط هستند منطبق است. سرانجام دو ناحیه آرام فرکانسی با نویز محیطی پایین، در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. ناحیه‌ای که تقریباً از ۳ هرتز تا بیش از ۶۰ هرتز گسترش یافته و ناحیه‌ای که از یک کیلوهرتز تا حدود ۵۰۰ کیلوهرتز و یا فرکانسهای رادیویی AM از متداول‌ترین آنها می‌باشند. اغلب پیام‌ها در این ناحیه به فرکانس‌هایی تبدیل می‌شوند که در طول ارسال پیام نویز کاهش می‌یابد.



شکل ۳-۵ برخی از منابع تولید نویزهای محیطی یک آزمایشگاه دانشگاهی، توجه داشته باشید که وابستگی فرکانس به محیط در جایی است که انواع مختلف برخوردها اتفاق می‌افتد.

۵ ج افزایش نسبت سیگنال به نویز

در بسیاری از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی برای این که نسبت سیگنال به نویز در سطح قابل قبولی باقی بماند، تلاش بسیار اندکی لازم است. برای مثال تعیین وزن ترکیب شیمیایی در ستر شیمیایی یا رنگ سنجی در تعیین کلر آب استخر می‌باشند. در هر دو مثال سیگنال نسبت به نویز بزرگ است و نیاز به دقت در صحت عمل می‌نیم است. وقتی احتیاج به انتخاب گری و صحت عمل افزایش می‌یابد نسبت سیگنال به نویز اغلب عامل محدود کننده در دقت

برخوردها در فصل مشترک‌های pm می‌باشند؛ در سلول‌های فوتونی و لامپ‌های خلاء محل برخورد در فضای خالی بین آند و کاتد می‌باشد. جریان‌ها تشکیل شده‌اند از یک سری حوادث کوانتیده شده که وظیفه انتقال الکترون‌های منفرد را در محل برخورد برعهده دارند. بهر حال این حوادث اتفاقی بوده و سرعت در محل برخورد یک موضوع آماری است که از طریق معادله ۵-۵ توضیح داده می‌شود.

$$i_{rms} = \sqrt{Ie\Delta f} \quad (5-5)$$

در این معادله i_{rms} ریشه میانگین مجذور نوسان جریان است که با میانگین جریان مستقیم I و e باریک الکترون 1.6×10^{-19} کولن و Δf پهنای نوار فرکانس‌ها مرتبط می‌باشد.

معادله (۵-۵) نشان می‌دهد که نویز پرتابی یک جریان فقط با کاهش پهنای نوار فرکانسی می‌تواند به حداقل برسد.

نویز سوسوزن^۱

نویز سوسوزن به خاطر این که با فرکانس سیگنال مشاهده شده رابطه عکس دارد بنابراین از سایر نویزها متمایز است و به همین دلیل هم گاهی نویز $\frac{1}{f}$ می‌نامند. علت ایجاد نویز سوسوزن هنوز کاملاً شناخته شده نیست. به هر حال این نوع نویز در همه جا وجود داشته و فرکانس آن قابل شناسایی است. نویز سوسوزن در فرکانس‌های کمتر از حدود ۱۰۰ هرتز اهمیت پیدا می‌کند. مشاهده یک جریان بلند مدت از تقویت کننده‌های dc در مقیاس سنجش‌ها و گالوانومترها نویز سوسوزن را آشکار می‌سازد. نویز سوسوزن در موادی که در آنها از سیم پیچ یا ورقه فلزی در مقاومت‌ها استفاده شده باشد از نوع متداول ترکیبات کربنی کمتر است.

نویز محیطی

نویز محیطی ترکیبی از فرم‌های مختلف نویز که ناشی از محیط می‌باشد را شامل می‌شود. شکل (۳-۵) منابع نویزهای محیطی در یک آزمایشگاه دانشگاهی را نشان می‌دهد.

بسیاری از نویزهای محیطی به این علت به وجود می‌آیند که هر هادی در یک دستگاه مانند یک آنتن عمل کرده و پرتو الکترومغناطیس را گرفته و آن را به یک پیام الکتریکی تبدیل می‌کند خطوط برق ac ایستگاه‌های رادیویی و تلویزیونی، موتورهای

۱ - flicker معادل سوسوزن در نظر گرفته شد مترجمین

حتی اتفاقات جزئی در جریان باعث تولید ولتاژهای نسبتاً قوی و نوسانات در اندازه‌گیری سیگنال می‌شود.

تفاضل و تقویت کننده‌های دستگاہی

هر نویزی که در مدار مبدل به وجود می‌آید یک نقطه بحرانی دارد، زیرا همواره به صورت فرم تقویت شده در بخش ثبت ظاهر می‌گردد. برای کاستن از این نوع مزاحمت‌ها اغلب دستگاہ‌ها به یک تقویت کننده تفاضلی مجهز می‌گردند. نظیر شمایی که در شکل ۱۱-۳ نشان داده شده است که مرحله اول حالت تقویت کننده‌گی دارد. نویز معمولی در مدار مبدل عموماً در فاز معکوس و غیرمعکوس ورودی‌های تقویت کننده ظاهر می‌شود و آنقدر توسط مدار کاهش می‌یابد که نویز در خروجی به حداقل مقدار خود برسد. برای مواردی که تقویت کننده تفاضلی قادر به حذف نویز نباشد، از یک تقویت کننده دستگاہی نظیر آنچه که در شکل ۵-۴ نشان داده شده است استفاده می‌شود.

همان طور که در شکل ۵-۴ نشان داده شده تقویت کننده دستگاہی را می‌توان با استفاده از تقویت کننده عملیاتی ساخته شود. تقویت کننده عملیاتی A و تقویت کننده عملیاتی B در مرحله اول از یک ورودی که از دو تقویت کننده عملیاتی که با هم به صورت متقاطع جفت شده‌اند و از سه مقاومت R_1 ، R_1/a و R_1 که با هم در ارتباط هستند ساخته شده‌اند. دومین مرحله مدول تقویت کننده تفاضلی C می‌باشد. نمی‌توان از تابع تبدیلی تقویت کننده ابزاری مشتق گرفت، به هر حال کافی است که گفته شود بهره کل مدار از معادله زیر به دست آید:

$$v_o = K(\gamma a + 1)(v_2 - v_1) \quad (6-5)$$

معادله (۶-۵) دو امتیاز مهم را در تقویت کننده‌های ابزاری نشان می‌دهد:

(۱) روی هم رفته بهره تقویت کننده را می‌توان با تغییر سیگنال

$$\text{مقاومت } \frac{R_1}{a} \text{ کنترل کرد.}$$

(۲) مرحله تفاضل دوم سیگنالهای عمومی را تولید می‌کند. به علاوه، تقویت کننده‌های عملیاتی A و B از ولتاژ دنبال کننده‌ها با مقاومت ورودی بسیار بالا پیروی می‌کنند، بنابراین در تقویت کننده دستگاہی یک بار قابل صرف نظر کردن در مدار مبدل وجود دارد. با ترکیب دو مرحله می‌توان برگشت نویز معمولی را به وجود آورد، با ضریبی به اندازه 10^6 و یا بیشتر هنگامی که سیگنال بیش از ۱۰۰۰

اندازه‌گیری محسوب می‌شود.

با استفاده از دو روش مختلف سخت‌افزاری و نرم‌افزاری می‌توانیم نسبت سیگنال به نویز را در روش دستگاہی اصلاح نمود. نویز سخت‌افزاری با هماهنگ سازی در طراحی اجزاء دستگاہ با قرار دادن عواملی از قبیل فیلتر، برشگر، محافظه، تعدیل کننده و آشکار سازهای هم زمان می‌توان کاهش داد. این ادوات بدون این که تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی سیگنال تجزیه‌ای داشته باشد نویز را از بین برده و یا بسیار ضعیف می‌نماید. روش‌های نرم‌افزاری که بر اساس الگوریتم‌های مختلف کامپیوتری پایه ریزی شده این امکان را می‌دهد که از میان داده‌های سیگنال، نویز را جدا کرد. از حداقل نیازمندی روش‌های نرم‌افزاری داشتن سخت‌افزار کافی برای ایجاد شرایط لازم جهت سیگنال خروجی از دستگاہ و تبدیل آن از آنالوگ به دیجیتال است. اصولاً داده‌ها با استفاده از کامپیوتر گیرنده یا نوع دیگری از آن که از طریق شبکه به آن وصل است از نویزها جدا کرد.

۵-ج-۱ برخی از وسایل سخت‌افزاری برای کاهش نویز

این بخش شامل بحث مختصری در مورد انواع سخت افزارها و تکنیک‌های مود استفاده برای افزایش نسبت سیگنال به نویز می‌باشد.

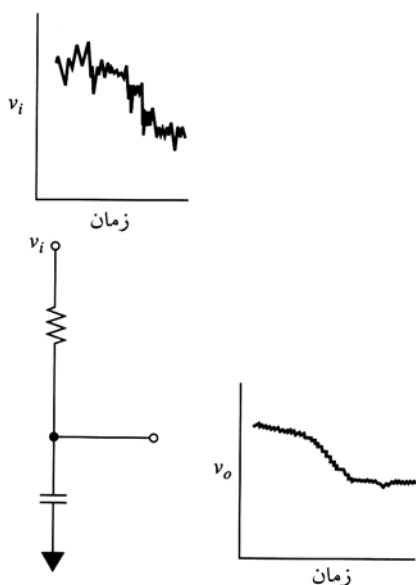
اتصال زمین و محافظ

نویز که از پرتوهای مغناطیسی محیط ایجاد می‌شوند که اغلب توسط محافظ، اتصال به زمین و یا با به حداقل رساندن طول هادی‌ها در سیستم دستگاہی کاهش می‌یابد. محافظت شامل در حفاظ قرار دادن مدار و یا اتصال حساس‌ترین سیم‌های یک مدار توسط هادی به زمین است، بدین طریق تابش الکترو مغناطیس توسط پوشش قبل از هادی جذب می‌شود. بدین ترتیب احیاء و احتمالاً تقویت نویز بوسیله مدار می‌تواند به حداقل می‌رسد. باید باید توجه داشته باشیم که تکنیک‌های به حداقل رساننده نویز با استفاده از اتصال زمین و یا محافظت بیشتر یک کار هنری است تا یک کار علمی، مخصوصاً در دستگاہ‌هایی که در آن‌ها هم مدارهای آنالوگی و هم دیجیتالی وجود دارد. بهترین شکل آن همیشه پس از چند آزمون و خطا به دست می‌آید. کتاب‌های راهنما می‌توانند به عنوان یک مرجع مورد استفاده قرار گیرند. [۳].

محافظت مخصوصاً زمانی اهمیت پیدا می‌کند که خروجی یک مبدل با مقاومت بالا مانند یک الکتروود شیشه‌ای زیاد باشد. در این جا

الف نشان داده شده است، همواره کاربرد قابل توجهی در وسایل تجزیه‌ای داشته، بطوری که سیگنال مربوط به آنالیت آنها در فرکانس‌های نسبتاً بالا باشد. صافی با عبوردهی بالا اثرات جمعی و سایر نویزهای لرزشی را کاهش می‌دهد.

صافی‌های باریک الکترونیکی جهت حذف نویزهای کوچک خارجی بر روی نوار سیگنال فرکانس‌ها قابل دسترس می‌باشد. همان طور که اشاره شد میزان نویز با جذر فرکانس پهنای نوار سیگنال رابطه مستقیم دارد. بنابراین به میزان قابل توجهی می‌توان نویز را با قرار دادن سیگنال ورودی در فرکانس‌هایی با نوار باریک و با استفاده از تقویت کننده‌ای که با این گونه نوار سازگار باشد کاهش داد. این مهم است که توجه داشته باشیم صافی عبور ده نواری باید به حد کافی پهن باشد تا بتواند کلیه فرکانس‌های مورد نیاز را عبور دهد.



شکل ۵۵ استفاده از یک صافی با عبوردهی پایین با یک ثابت زمانی بزرگ برای حذف نویز در یک ولتاژ dc با تغییر جزئی

تعدیل نویز

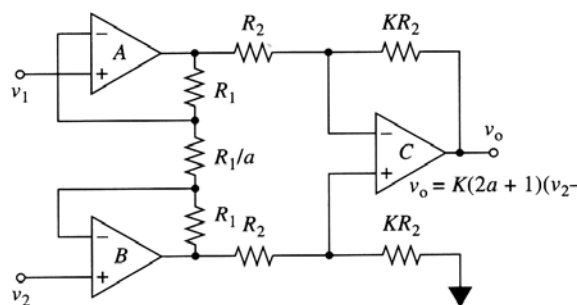
تقویت مستقیم یک سیگنال با فرکانس پایین یا سیگنال dc بویژه وقتی که دستگاه تقویت کننده قوی همراه با نویز لرزشی است کار بسیار پر زحمتی است چون $\frac{1}{f}$ (نویزه) چندین برابر بزرگتر از نویزهایی است که در فرکانس‌های بالا است، همان طوری که در طیف نویزی شکل ۳-۵ نشان داده شده است. به همین دلیل، سیگنال‌های فرکانس پایین dc در مبدل‌ها اغلب به فرکانس بالاتر

برابر تقویت می‌شود.

این وسایل اغلب با سیگنال سطح پائین در نویزهای محیطی به کار گرفته می‌شوند نظیر اندازه‌گیری سیگنال ارگانیک‌های زیستی که هر ارگانیک‌سی به عنوان یک گیرنده عمل می‌کند. دستگاه الکتروکاردیوگراف از مزایای تقویت کننده‌های دستگاهی برخوردار است. کاربرد دیگر آن در جمع‌آوری داده‌های کامپیوتری است نظیر قابلیت برنامه‌ریزی تقویت کننده که در شکل ۴-۱۳ نشان داده شده است.

بهره تقویت کننده ابزاری تحت کنترل کامپیوتر می‌باشد به طوری

که تغییر مقاومت $\frac{R_1}{a}$ نشان داده شده در شکل ۴-۵ با استفاده از سویچ‌های حالت جامد تحت کنترل دیجیتال انجام می‌گیرد.



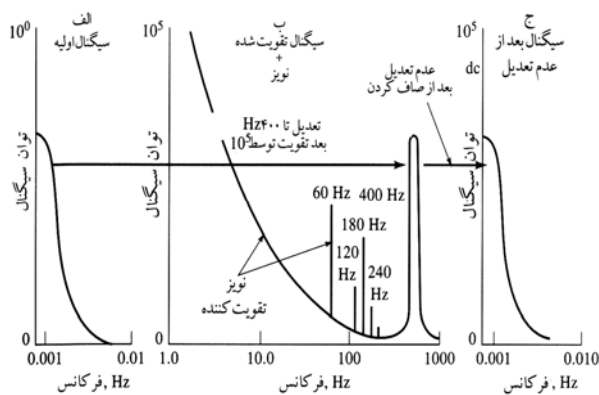
شکل ۵۶ یک تقویت کننده ابزاری برای کاهش اثرات نویز عمومی در هر دو حالت ورودی و خروجی مدار که توسط مقاومت‌های $\frac{R_1}{a}$ و KR_2 کنترل می‌شود.

فیلتر آنالوگی

یکی از معمول‌ترین روش‌ها برای بالا بردن نسبت سیگنال به نویز در دستگاه‌های تجزیه‌ای استفاده از صافی‌های آنالوگی با عبور دهی پائین می‌باشد که در شکل ۲-۱۱ ب نشان داده شده است. دلیل چنین کاربرد وسیعی در این است که سیگنال‌های بسیاری از دستگاه‌ها با فرکانس پائین و پهنای نواری گسترده در حدود چند هرتز قرار دارند. بنابراین عبور دهی پائین صافی با استفاده از دیگرام بود (Bode) که در شکل ۲-۱۲ ب نشان داده شده انجام می‌گیرد که بسیاری از اجزاء سیگنال با فرکانس بالا را که شامل نویزهای گرمایی و پرتابی می‌باشند را به طور مؤثر حذف می‌نماید. شکل ۵-۵ روش استفاده از صافی RC با عبوردهی پائین را برای کاهش نویز در یک سیگنال dc با تغییر جزئی را نشان می‌دهد.

صافی‌های آنالوگی با عبوردهی بالا نظیر آنچه که در شکل ۲-۱۱

شعله، سیگنال توسط مبدل به یک سیگنال الکتریکی موجی مربعی تبدیل شده که فرکانس آن بستگی به اندازه شکافها و سرعت صفحه‌های دوار دارد. نویز اصلی در شعله‌ها و دیگر وسایل اتم ساز اغلب در فرکانس‌های پائین بوده و می‌توان آن را با استفاده از صافی با عبور دهی بالا که قبلاً در تقویت سیگنال مبدل الکتریکی به کار رفته است کاهش داد.



شکل ۶-۵ تقویت یک سیگنال dc با یک تقویت کننده برشگر

مثال دیگری از موارد استفاده یک برشگر در طرح هم زمانی تعدیل و عدم تعدیل نشان داده شده در شکل ۷-۵ می‌باشد. این وسیله یک تقویت کننده برشگر است که در یک کلید الکترونیکی به کار گرفته می‌شود. به طوری که به صورت متناوب سیگنال‌های ورودی و خروجی تقویت کننده به سمت زمین را کوتاه کند. ظهور سیگنال در مراحل مختلف در نمودار مدار بالا نشان داده شده است. در این مثال سیگنال ورودی مبدل یک سیگنال ۶ میلی ولتی dc (A) می‌باشد. سوچ نوسان، ورودی را به سیگنال موج مربعی با یک دامنه ۶ میلی ولتی تبدیل می‌کند (B). تقویت با ضریب ۱۰۰۰، موج مربعی به اندازه ۶ ولت را ایجاد می‌کند (C). اگر چه بطور متناوب کوتاه می‌شود که به صورت (D) در شکل نشان داده شده و کوتاه شدن باعث کاهش اندازه سیگنال به ۳ ولت شده و سرانجام صافی RC سیگنال را غیر متناوب و سیگنال $1/5$ ولتی dc را در خروجی ایجاد می‌کند. فرایند غیر تعدیلی همزمان دارای اثر برگشت نویز بوده که در تقویت کننده تولید می‌شود.

تقویت کننده‌های قفل دار [۴]

تقویت کننده‌های با قفل درونی اجازه ترمیم سیگنال‌ها حتی

تبدیل می‌شوند به طوری که نویز $\frac{1}{f}$ مزاحمت کمتری داشته باشد، این فرآیند را تعدیل گویند. پس از تقویت، سیگنال تعدیل شده از نویز $\frac{1}{f}$ تقویت کننده با صافی کردن توسط فیلتری با عبور دهی بالا می‌تواند آزاد گردد. کشف رمز و صاف کردن توسط صافی با عبور دهی پائین انجام گرفته سپس تولید یک سیگنال dc تقویت شده متناسب با خروجی انجام می‌گیرد.

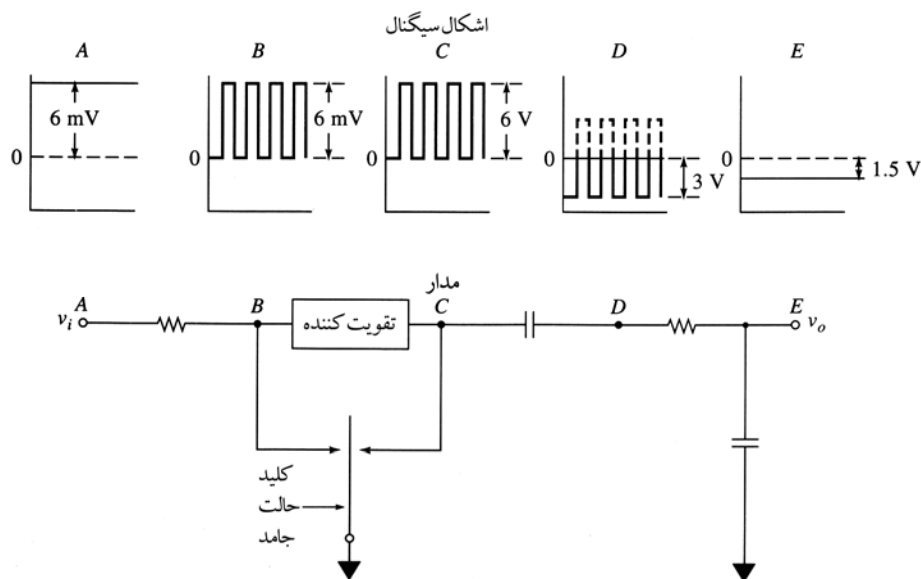
شکل ۶-۵ نموداری است که جریان اطلاعات را در چنین سیستمی نشان می‌دهد. سیگنال اصلی dc که در طیف توان A تعدیل یافته است سیگنالی در محدوده ۴۰۰ هرتز نشان می‌دهد که با ضریبی به اندازه 10^5 افزایش می‌یابد. بیشتر این گونه نویزها به کمک یک صافی با عبوردهی بالای متناسب: مثل نمونه‌ای که در شکل ۱۱-۲ الف نشان داده شده است، قابل حذف می‌باشند. بازیابی سیگنال‌های صاف شده توسط سیگنال dc تقویت یافته برای طیف‌های قوی در C نشان داده شده است.

برش سیگنال؛

تقویت کننده‌های برشگر

تقویت کننده برشگر وسیله‌ای است برای تکمیل جریان سیگنال که در شکل ۶-۵ نشان داده شده است. در این وسیله سیگنال ورودی توسط یک برشگر الکترونیکی یا مکانیکی به موج مربعی تبدیل می‌گردد. منقطع کردن می‌تواند یا به وسیله کمیت فیزیکی قابل اندازه‌گیری باشد یا به وسیله سیگنال الکترونیکی که از مبدل گرفته می‌شود، انجام گیرد. بطور معمول منقطع کردن سیگنال تا حد امکان در نزدیکی منبع آن مورد توجه است زیرا فقط نویزهایی که پس از منقطع شدن بوجود می‌آید با این فرآیند قابل حذف شدن است.

طیف سنجی جذب اتمی مثالی در زمینه استفاده از برشگر مکانیکی برای تعدیل سیگنال می‌باشد. نویز در رابطه با آشکار سازی و اندازه‌گیری سیگنال‌ها در جذب اتمی و در ارتباط با نوسانات فرکانس پائین درونی در شعله‌ها و سایر دستگاه‌های اتم ساز نقش عمده‌ای دارد. برای به حداقل رساندن مشکلات مربوط به نویزها اغلب یک صفحه دوار شکاف دار در مسیر پروتوهای نوری دستگاه‌های جذب اتمی قرار می‌دهند تا عمل قطع انجام پذیرد. همان طور که در شکل ۹-۱۳ ب نشان داده شده است. چرخش برشگر یک سیگنال تابشی ایجاد می‌کند که نوسانات تناوبی بین صفر تا شدت ماکزیمم را به وجود می‌آورد. پس از برخورد با نمونه‌ای در درون



شکل ۷-۵ یک تقویت کننده برشگر. فرم‌های سیگنالی به صورت فرم ایده آلی در نقاط مختلف مشخص شده در مدار را نشان می‌دهد.

داده شده است. هرگونه نویز با فرکانس بالا به وسیله صافی با عبور پائین حذف می‌شود.

قفل شدن در تقویت کننده به طور کلی نسبت به نویز آزاد بوده زیرا فقط این سیگنال‌ها هستند که نسبت به سیگنال مرجع قفل شده تقویت می‌شوند و بقیه فرکانس‌ها به وسیله سیستم برگشت داده می‌شوند.

ج-۲ روش‌های نرم افزاری

با دسترسی وسیع به ریز پردازنده‌ها و کامپیوترها در بسیاری از دستگاه‌ها افزایش نسبت سیگنال به نویز تشریح شده در بخش‌های قبلی توسط برنامه‌های کامپیوتری با جایگزینی یا تکمیل آن صورت می‌پذیرد. از جمله این برنامه‌ها برای انواع مختلف میانگین‌گیری، صافی‌های دیجیتالی، تبدیلات فوریه، هموار کننده‌ها و تکنیک‌های اصلاحی می‌باشد. این روش‌ها برای اشکال موجی غیر منظم و نامتناوب نظیر طیف جذبی، برای سیگنال‌های ناهماهنگ یا موج مرجع، همچنین برای سیگنال‌های متناوب قابل استفاده می‌باشند. برخی از این روش‌های نسبتاً ساده به طور خلاصه در این فصل توضیح داده خواهد شد.

میانگین یک مجموعه [۵]

در میانگین‌گیری جمعی، مجموعه‌ای متوالی از اطلاعات ذخیره

زمانی که نسبت سیگنال به نویز برابر واحد یا کمتر باشد را می‌دهد، در حقیقت تقویت کننده با قفل درونی احتیاج به یک سیگنال مرجع دارد که فرکانس و فاز یکسانی با سیگنال تقویت شده داشته باشد، و آن بدین معنی است که سیگنال مرجع باید فرکانس یکسانی با سیگنال تجزیه‌ای داشته باشد و این دو به یک اندازه مهم می‌باشند و باید یک فاز ثابت در رابطه با سیگنال تجزیه‌ای داشته باشد. شکل ۸-۵ الف سیستمی را نشان می‌دهد که از یک برشگر نوری برای ایجاد ارتباط بین سیگنال‌های مرجع و تجزیه‌ای بهره می‌برد. سیگنال مرجع از یک لامپ پر قدرت تشکیل شده است. بنابراین از مراکز نویزهای محیطی آزاد است. مرجع و سیگنال پرتوهای هم زمان به وسیله شیار صفحه چرخان قطع شده و سیگنال‌هایی که از نظر فرکانس قابل شناسایی هستند و فاز ثابتی نسبت به یکدیگر دارند تولید می‌نمایند.

اعمال غیر منظم در زمان‌های یکسان از رفتار مشابه سوئیچ دی پل با قطع کن دوگانه در شکل ۸-۵ ب نشان داده شده است. در این روش سیگنال مرجع سوئیچ را کنترل کرده بنابراین پلاریزاسیون سیگنال تجزیه‌ای به صورت تناوبی معکوس شده و یک سیگنال یک dc ایجاد می‌کند. همان طوری که در سمت راست شکل ۸-۵ ج نشان

۱- در حالت غیر تعدیلی سوئیچ مکانیکی تغییر حالت می‌دهد زیرا حالت بعدی سریع‌تر و با نویز کمتر است.

که در آن S_i و n و ۳ و ۲ و ۱ هر یک به طور جداگانه از طریق سیگنال حاوی نویز اندازه‌گیری شده‌اند. این نویز برای هر اندازه‌گیری به صورت تفاضل $S_x - S_i$ انجام می‌گیرد. اگر مربع و جمع انحراف معیار سیگنال از میانگین S_x در نظر گرفته و آن را به تعداد اندازه‌گیری‌ها (n) تقسیم کرده، در این صورت مربع متوسط نویز به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\text{میانگین مربعات نویز} = \frac{\sum_{i=1}^n (S_x - S_i)^2}{n} \quad (۸-۵)$$

مربع متوسط نویز اغلب به صورت واریانس سیگنال بیان شده و ریشه دوم میانگین مربعات یا rms نویز برابر انحراف معیار آن می‌باشد که به صورت زیر در می‌آید.

$$\text{نویز } rms = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_x - S_i)^2}{n}} \quad (۹-۵)$$

نسبت سیگنال به نویز برای اندازه‌گیری عبارت است از میانگین سیگنال تقسیم بر انحراف معیار یا

$$\frac{S}{N} = \frac{S_x}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_x - S_i)^2}{n}}} \quad (۱۰-۵)$$

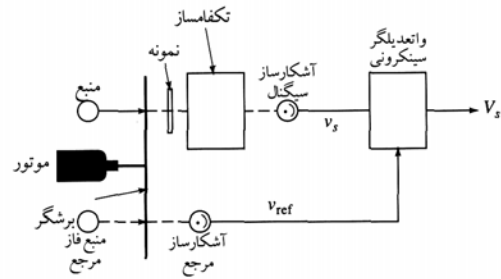
اگر صورت و مخرج را در n ضرب کنیم خواهیم داشت:

$$\frac{S}{N} = \frac{nS_x}{\frac{n}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_x - S_i)^2}}$$

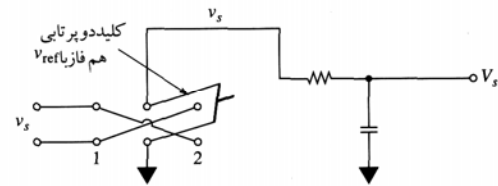
$$\frac{S}{N} = \sqrt{n} \frac{S_x}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (S_x - S_i)^2}} \quad (۱۱-۵)$$

آخرین معادله نشان می‌دهد که نسبت سیگنال به نویز متناسب با ریشه دوم تعداد اطلاعات جمع‌آوری شده برای تعیین میانگین مجموعه است. توجه داشته باشید افزایش یکسان سیگنال به نویز در هموار سازی میانگین‌گیری و صافی‌های دیجیتالی قابل درک بوده و در قسمت بعدی توضیح داده خواهد شد.

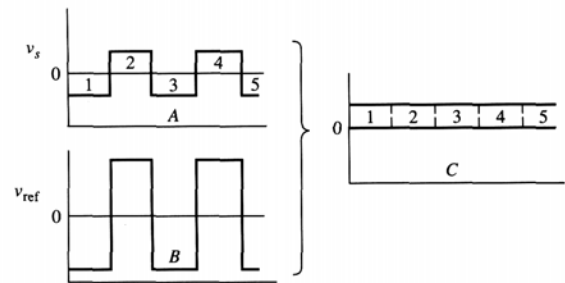
شده در حافظه به صورت منظم و نقطه جمع‌آوری شده و یا در سری از خازن‌ها برای میانگین‌گیری در سخت‌افزار جمع می‌شوند. این فرآیند را برخی اوقات کد گذاری می‌نامند. بعد از این که جمع‌آوری کامل شد داده با تقسیم بر مجموعه نقاط از طریق جاروب شکل گرفته متوسط‌گیری می‌شوند. شکل ۹-۵ میانگین‌گیری مجموعه را برای یک طیف جذبی نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۹-۵ یک قفل در سیستم تقویت کننده (الف) سیستم برای یک اسپکترومتر (ب) سیستم غیر تعادلی همزمان (سیستماتیک) و (ج) فرم‌های موجی سیگنال.

برای درک این که چرا میانگین‌گیری مجموعه به طور مثبت سیگنال نویز در سیگنال‌های دیجیتالی را افزایش می‌دهد. اجازه دهید که فرض کنیم که می‌خواهیم مقدار سیگنال $dc(S)$ را اندازه‌گیری نمائیم. n را مکرراً از طریق S اندازه‌گیری کرده و مقدار متوسط سیگنال را از طریق معادله زیر به دست می‌آوریم.

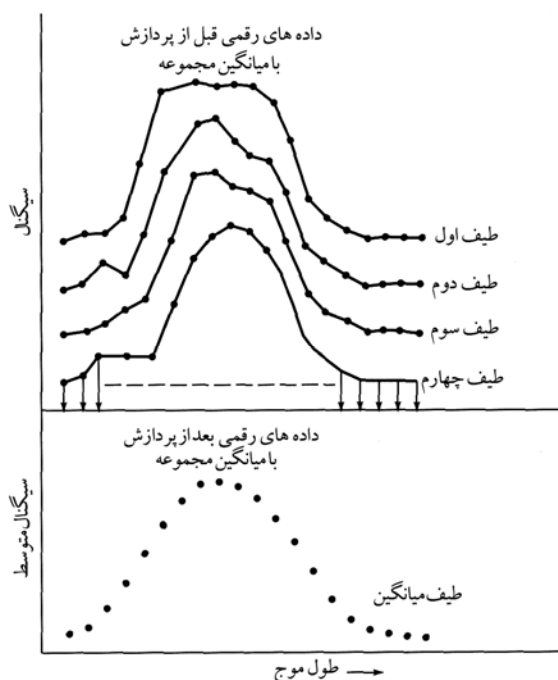
$$S_x = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n} \quad (۷-۵)$$

فرکانس‌های نمونه می‌بایست بزرگتر از فرکانس بای کویست (Byquist) باشد تا اطلاعات اضافی قابل توجهی تولید نکند و فرکانس‌ها می‌بایست به قدری بزرگ باشند تا نویزها قابل توجه ایجاد نکنند. به هر حال نمونه در فرکانسی در حدود ۱۰۰ برابر فرکانس نای کویست بدون ایراد است. به علاوه خیلی مهم است که شکل موجی نمونه‌گیری قابلیت تولید دوباره را داشته باشد. یعنی این که شکل موج می‌بایست دقیقاً در نمونه‌گیری‌ها پی در پی از یک نقطه آغاز شود. برای مثال اگر شکل موج را داشته باشیم بطوری که هر موج در هر نمونه متوالی در فاصله زمانی یکسان اتفاق افتد، همزمان سازی با پالس‌های همزمان اتفاق می‌افتد که خود شکل موجی در هر رویداد آزمایشی به شکل موج پالس لیزری یا پالس تابش فرکانس رادیویی ایجاد می‌کنند. این پالس سپس برای جمع آوری داده‌ها از هر جاروب به شکل موج آغاز می‌گردد.

میانگین‌گیری مجموعه می‌تواند بهبود زیادی در نسبت سیگنال به نویز تولید کند. همان طور که در سه طیف NMR در شکل ۵-۱۰ نشان داده شده است. در این جا فقط چند پیک جذبی برای سیگنال موج قابل تشخیص است زیرا مقادیر آنها تقریباً با سیگنال‌های میدان نوسان برابر است چون که نویز تصادفی دارند. برای بهبود نتایج طیف حاصله به عنوان یک میانگین سیگنال پی در پی ظاهر می‌گردد. طیف‌ها در شکل ۵-۱۰ نشان داده شده است. برای بحث بیشتر در مورد نظریه نمونه‌گیری نای کویست و نتایج آن می‌توان به رفتار تبدیل فوری در طیف سنجی رزونانس مغناطیس هسته‌ای به فصل ۱۹ مراجعه کرد.

هموار سازی میانگین

هموار سازی میانگین یک فرآیند دیجیتالی برای هموار کردن بی نظمی‌ها و افزایش نسبت سیگنال به نویز یک شکل موجی است، با فرض این که این بی نظمی‌ها حاصل نویز می‌باشد، بنابراین فرض بر این است که سیگنال آنالوگی تنها به آرامی نسبت به زمانی که میانگین یک تعداد کمی از نقاط مجاور دارای بهترین الگوی سنجش سیگنال نسبت به نقاط منفرد تغییر می‌کند. شکل ۵-۱۱ ب اثر این تکنیک را در داده‌های رسم شده در شکل ۵-۱۱ الف را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که مقیاس عمودی با افزایش تعداد اسکن‌ها کوچکتر می‌شود. نسبت سیگنال به نویز متناسب با n است. نوسان‌های تصادفی در نویز قابل حذف شدن می‌باشند. وقتی که تعداد جاروب‌ها افزایش یابد اما سیگنال‌ها جمع می‌شوند. در این



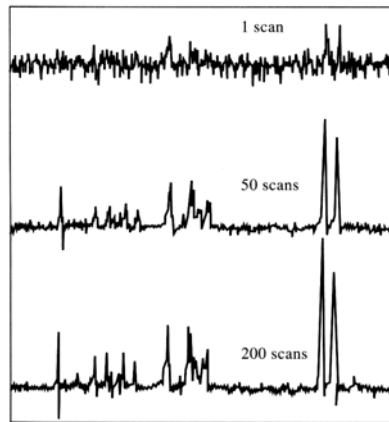
شکل ۹-۵ میانگین‌گیری مجموعه یک طیف جذبی

بهبود در $(\frac{S}{N})$ با میانگین‌گیری سیگنال قابل تشخیص بوده و در بخش‌های مختلف علوم کاربرد دارد. طیف بینی رزونانس مغناطیسی و طیف بینی مادون قرمز تبدیل فوری از مثالها خیلی برجسته در دستگاہ‌های شیمیایی می‌باشند. میانگین سیگنال و سایر زمینه‌های جمع آوری داده‌های دیجیتالی با جزئیات بیشتر را در فصل‌هایی که مربوطه بحث خواهد شد.

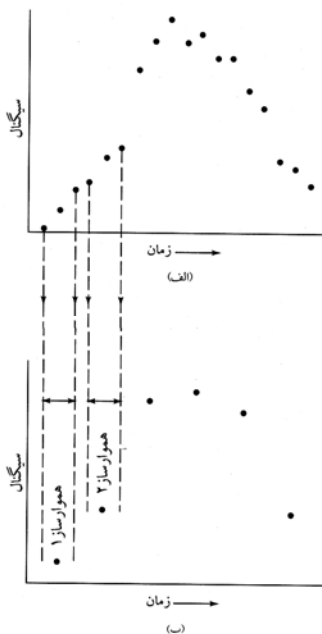
برای شناخت بیشتر از میانگین‌گیری مجموعه و استخراج همه اطلاعات قابل دسترس در سیگنال موجی لازم است در نقاطی با فرکانسی که حداقل دو برابر بزرگترین فرکانس اجزاء موج، اندازه‌گیری شود. این ادعا نتیجه‌ای از تئوری نمونه‌گیری نای کویست (Nyquist) می‌باشد که بیان می‌کند برای حصول سیگنال‌هایی با عرض نوار محدود، نمونه‌گیری می‌بایست در فرکانسی انجام گیرد که حداقل دو برابر بزرگترین فرکانس (f) از سیگنال مورد نظر باشد. لذا فرکانس جمع آوری داده‌ها می‌بایست حداقل $f = \frac{1}{2\Delta t}$ باشد که در آن Δt تفاضل زمانی بین دو نمونه برداری داده‌ها می‌باشد. برای مثال اگر فرکانس ماکزیمم یک سیگنال در دستگاہی ۱۵۰ هرتز باشد، داده‌ها می‌بایست حداقل با سرعت ۳۰۰ برابر در ثانیه نمونه‌گیری شود به شرط این که سیگنال بتواند به دقت دوباره تولید شود.

حالت SN افزایش می‌یابد.

گزینشی است و بوسیله تنظیم ثابت زمانی انتیگرال گیر و سرعت اسکن دریاچه نمونه‌گیری و زمانی که دریاچه به انتها می‌رسد. این دریاچه زمان گشودگی ($aperture\ time$) نامیده می‌شود.



شکل ۱۰۵ اثر میانگین‌گیری سیگنال



شکل ۱۱۵ اثر هموار سازی میانگین (الف) اطلاعات اولیه (ب) اطلاعات پس از هموار سازی میانگین

اولین نقطه در نمودار هموار سازی به صورت میانگین نقاط ۱ و ۲ و ۳ بر روی منحنی اصلی رسم شده است: نقطه ۲ میانگین نقاط ۴ و ۵ و ۶ است این عمل ادامه می‌یابد بطوری که در مرحله بعدی تا ۵۰ نقطه میانگین‌گیری می‌شود تا نقطه نهایی معین گردد. بسیاری از این نوع میانگین‌گیری‌ها اغلب به وسیله کامپیوتری هم زمان با جمع آوری اطلاعات انجام می‌شود (میانگین‌گیری یک مجموعه نیاز به ذخیره سازی اطلاعات برای پردازش بعدی دارد). همان طور که شکل ۱۱۵ نشان می‌دهد، جزئیات به وسیله هموارسازی میانگین از بین رفته و کاربرد آن محدود به سیگنال‌های پیچیده‌ای که به سهولت به صورت تابعی از زمان در می‌آید ظاهر می‌شود. بهرحال، برای خروجی‌های موج مربعی، یا پالسهای تکراری جائیکه تنها میانگین دامنه دارای اهمیت است، میانگین‌گیری واگتی (هموار سازی میانگین) اهمیت زیادی پیدا می‌کند.

هموار سازی میانگین می‌تواند در حوزه آنالوگی با استفاده از انتیگرال‌گیری هموار ساز انجام شود. وسیله انجام آن یک کلید الکترونیکی سریع است که نمونه موج مربعی را در یک فاصله زمانی معین قابل برنامه ریزی از موج اصلی شناسایی می‌کند. موج نمونه به یک انتیگرال گیر آنالوگی متصل است تا در فاصله زمانی تعیین شده سیگنال با فرکانس پائین را باز سازی نماید. دستگاه را می‌توان برای گرفتن اسکن از ابتدا تا انتهای سیگنال موج با نویز بالا برنامه ریزی کرد. با این روش یک نیمرخ از اطلاعات جمع آوری شده همراه با نسبت سیگنال به نویز به دست می‌آید که البته

انتگرال گیرها هموار ساز اغلب برای نمونه‌گیری و اندازه‌گیری شکل موج‌های در مقیاس‌های میکروثانیه تا میکروثانیه مورد استفاده قرار می‌گیرند. چنین انتگرال‌گیرهایی عملاً می‌توانند در ارتباط با سیستم لیزری پالسی در رخدادهای شیمیایی و فیزیکی برای زمان‌های بسیار کوتاه به کار گرفته می‌شوند، خروجی انتگرال‌گیری می‌تواند به یک سیستم جمع آوری اطلاعات کامپیوتری متصل شود، نظیر آنچه که در بخش ۴.۵-۲ برای الگوریتم‌گیری از اطلاعات و در نتیجه تحلیل‌های تجربی و به روز کردن آنها به کار برده می‌شود. مزایای سیگنال‌های حاصله از انتگرال گیر هموار ساز یک میانگین گیر زمانی از واحدها است که می‌تواند افزایش $(\frac{S}{N})$ را فراهم کند. نسبت سیگنال به نویز متناسب است با ریشه دوم زمان انجام انتگرال‌گیری سیگنال‌های حاصله در هر دریاچه زمانی از موج را به دست آورد. چنین پیشرفتی برابر با افزایش داده‌های دیجیتالی به دست آمده از میانگین‌گیری مجموعه است.

فیلتر کردن دیجیتالی

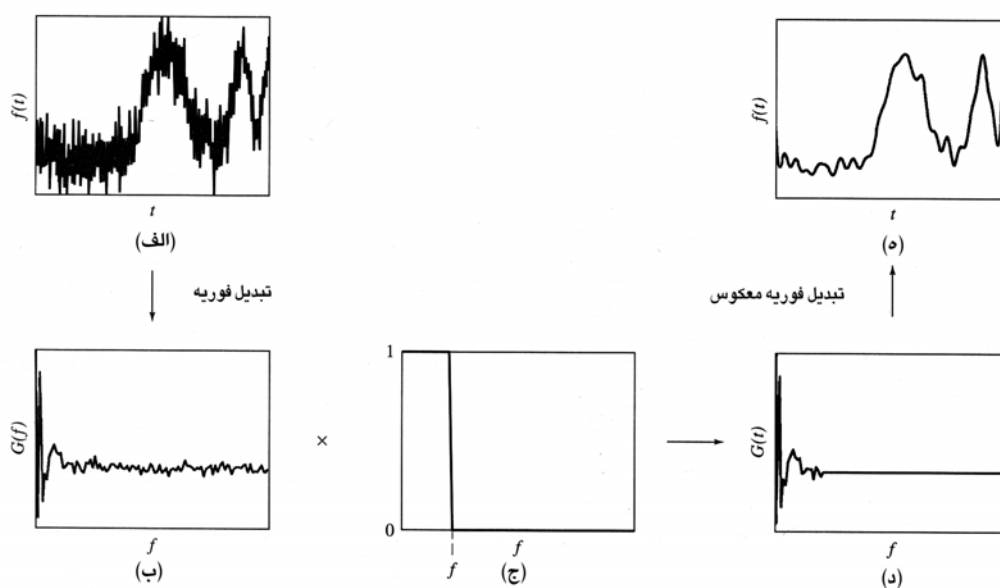
فیلتر کردن دیجیتالی می‌تواند به وسیله تعدادی از روش‌های عددی با خصوصیات متناسب و خوب انجام شود، که شامل میانگین‌گیری از یک مجموعه که در بخش قبلی توضیح داده شد، همچنین تبدیل فوریه، حداقل مربعات چند جمله‌ای مترادف و همبستگی باشد. در این بخش به طور خلاصه فرآیند تبدیل فوریه و هموارسازی چند جمله‌ای، حداقل مربعات که یکی از روش‌های عمومی افزایش داده‌های عددی است بحث خواهد شد.

در تبدیل فوریه یک سیگنال نظیر طیف نشان داده شده در شکل ۱۲-۵ الف که در یک دامنه زمانی به دست می‌آید، تبدیل به حوزه سیگنال فرکانس می‌شود که متغیری مستقل از فرکانس f نسبت به زمان دارد (شکل ۱۲-۵ ب). این تبدیل که با جزئیات بیشتر در بخش ۷ ط بحث خواهد شد، از نظر ریاضی به وسیله یک الگوریتم خیلی سریع و مؤثر بر روی کامپیوتر قابل اجرا است.

سیگنال دامنه فرکانس در b سپس به فرکانس حاصل از یک صافی با عبور پائین دیجیتالی همراه با یک فرکانس میان بر بالایی f_0 نشان داده شده در C ضرب می‌شود به طور قابل ملاحظه مؤثر در حذف همه فرکانس‌های اجزاء بالای تر از f_0 می‌باشد همان طوری که در d نشان داده شده است. معکوس تبدیل فوریه سپس دامنه زمانی طیف فیلتر شده را همان طور که در شکل ۱۲-۵ ه. نشان داده شده است، پوشش

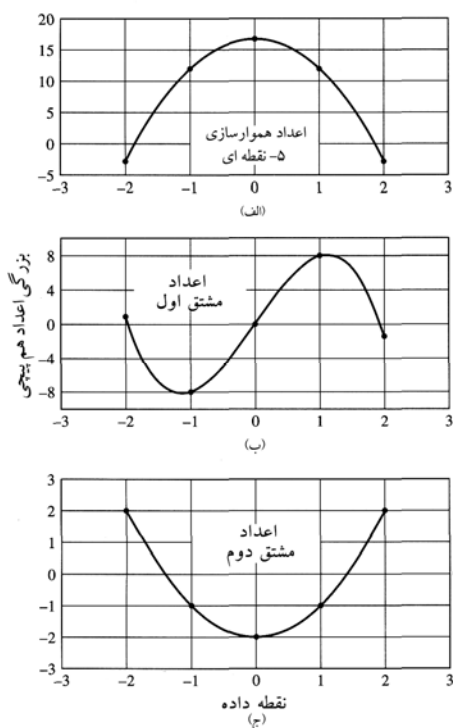
می‌دهد. تبدیل فوریه در بسیاری از اسپکترومترهای NMR و مادون قرمز پیشرفته و به طور کلی در یک سری از وسایل آزمایشگاهی و در اسپیلوسکوپ‌های دیجیتالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فرآیند اغلب به صورت نرم افزارهایی با اهداف عمومی نظیر مت کد و اکسل که به طور وسیعی در دسترس می‌باشد و به صورت نرم‌افزار زیر شاخه‌ای در بسیاری از زبان‌های کامپیوتری تهیه شده است.

آخرین و شاید وسیع‌ترین روش افزایش اطلاعات که در مورد آن بحث خواهد شد هموارسازی داده‌های چند جمله‌ای حداقل مربعات می‌باشد. ساده‌ترین شکل آن شبیه به هموار سازی میانگین است که در شکل ۱۱-۵ نشان داده شده است. شکل ۱۳-۵ چگونگی انجام هموار سازی اطلاعات ناموزون را نشان می‌دهد. یازده نقطه از داده‌ها توسط دایره‌های توپر به عنوان بخشی از یک طیف جذبی نوین دار داده شده است. پنج داده اول شامل براکت ۱ (در شکل) میانگین‌گیری شده و به صورت داده‌های نقطه ۳ یا مثلث ۱ ترسیم شده است. براکت بعدی یک نقطه به سمت راست حرکت کرده تا به موقعیت ۲ برسد و نقطه ۲ تا ۶ میانگین‌گیری شده و میانگین حاصله به صورت مثلث ۲ ترسیم می‌گردد. این فرآیند برای براکت‌های ۳ و ۴ و ۵ و پس از آنها تکرار شده تا این که کلیه نقاط به جز دو نقطه آخر میانگین‌گیری شده و یک منحنی جذب جدید



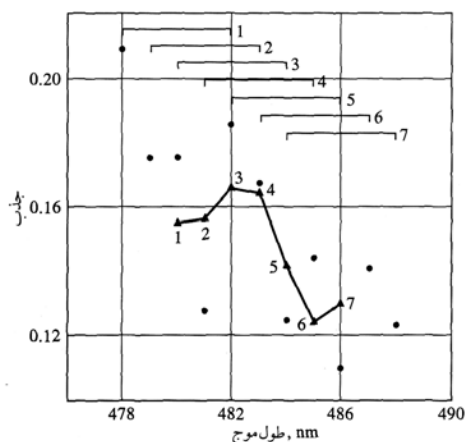
شکل ۱۲-۵ فیلتر دیجیتالی همراه با تبدیل فوریه. (الف) پیک طیف نوین دار (ب) طیف حوزه فرکانسی حاصل از تبدیل فوریه (ج) تابع فیلتر - دیجیتالی با عبور دهی پائین (د) نتیجه قسمت (ب) و زمان قسمت (ج)، (ه) تبدیل فوریه معکوس (با توجه به اینکه به میزان قابل توجهی از نوین حذف شده است).

روش مجموعه‌ای از اعداد صحیح به دست آورد و به عنوان ضریب موزون کننده عملیات هموار سازی استخراج گردد و مورد استفاده قرار داد [۶]. استفاده از این ضرایب موزون ساز در بعضی مواقع به عنوان اعداد صحیح هم پیشگی (همتابی) نامیده می‌شود که براساس داده‌های چند جمله‌ای است که قبلاً توضیح داده شد. اعداد صحیح هم پیشگی برای ۵ نقطه تابع هموار ساز درجه دوم تشکیل می‌دهد که در شکل ۵-۱۴ الف ترسیم شده است.



شکل ۵-۱۴ ضرایب هم پیشگی هموار ساز چند جمله‌ای حداقل مربعات. (الف) اعداد صحیح ۵ نقطه درجه دوم (ب) مشتق اول اعداد صحیح ۵ نقطه‌ای درجه سوم (ج) مشتق سوم اعداد صحیح ۵ نقطه‌ای درجه دوم.

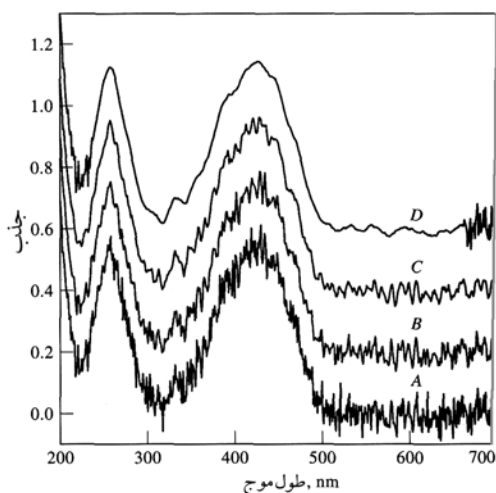
شکل ۵-۱۴ الف فرآیند هموار سازی را نشان می‌دهد که از داده‌های شکل ۵-۱۳ استفاده شده است. با بهینه سازی اعداد صحیح هم پیشگی در منتهی الیه سمت چپ که در این جا ۳- است و زمان جذب در نقطه است (شکل ۵-۱۳). عدد صحیح دوم که ۱۲ است سپس ضرب در دومین نقطه می‌کنیم و به نتیجه اضافه کرده تا حاصل آن برای اولین نقطه به دست آید. نقطه ۳ سپس به ۱۷ ضرب شده که مربوط به سومین عدد صحیح است و نتیجه دوباره جمع می‌شود. این فرآیند تکرار می‌شود تا این که همه ۵ داده به اعداد صحیح متناظرشان ضرب شود و مجموع نتایج پنج گانه به دست آید،



شکل ۵-۱۳ تابع عملیاتی هموار ساز برای داده‌های ناموزون نویزدار که هموار شده (•) داده‌های نویزدار، (Δ) داده‌های هموار شده. (برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد فرآیند هموار ساز به کتاب‌های درسی مراجعه نمایید).

توسط نقاط مثلثی شکل و خطوط ارتباطی آنها رسم گردد. منحنی جدید بعضی وقت‌ها دارای نویز کمتری نسبت به منحنی اولیه می‌باشد. این روش به عنوان هموار سازی ناموزون ۵ نقطه نامیده می‌شود. در این روش برای افزایش سیگنال به نویز در پهنای تابع هموار کننده همواره دارای تعدادی نقاط فرد بوده و نقاط زوج آن در انتهای هر دو طرف داده‌ها به صورت هموار نشده باقی می‌ماند. تعداد نقاط هموار شده برابر است با $\frac{n-1}{2}$ که در آن n پهنای منحنی هموار شده می‌باشد. برای یک طیف جذبی که شامل صدها یا شاید هزاران داده است حذف چند داده معمولاً بی اهمیت می‌باشد نسبت سیگنال به نویز داده‌ها ممکن است به وسیله افزایش پهنای تابع هموار کننده یا با هموار کردن داده‌ها ضرب در زمان افزایش یابد. اساس تابع هموار کننده این است که از نقاط ناموزون نقاط خیلی موزونی را می‌دهد که متأسفانه به راحتی از مرکز نقطه حذف می‌گردند. روش بهتر میانگین‌گیری بر روی نقاطی از منحنی داده‌ها با انجام حداقل مربعات و جفت شدن آن در بخش کوچکی از منحنی چند جمله‌ای به دست می‌آید و مرکز نقاط در منحنی‌های چند جمله‌ای محاسبه شده و به عنوان داده نقاط هموار ساز جدید در نظر گرفته می‌شود. این روش خیلی بهتر از روش میانگین‌گیری ناموزون است. اما دارای نقص است و آن این که نیاز شدید به کارهای کامپیوتری دارد و به طور قابل ملاحظه‌ای زمان بر می‌باشد. ساویتسکی Savitsky و گولی Golay نشان دادند که می‌توان با این

داده‌های شکل ۱۵-۵ نشان می‌دهند کاربرد هموار ساز چند جمله‌ای حداقل مربعات را برای طیف جذبی با بیش از ۵۰۱ نقطه نویز دار برای ترازین رنگی در قسمت پایین شکل در منحنی *A* نشان داده شده است. منحنی *B* یک هموار ساز ۵ نقطه‌ای درجه دوم از داده‌ها و منحنی *C* یک هموار ساز ۱۳ نقطه‌ای درجه چهارم و منحنی *D* یک هموار ساز ۷۷ نقطه‌ای درجه دهم می‌باشد. دقت داشته باشید که در منحنی *D* ۳۸ نقطه‌ای انتهای هر مجموعه از داده‌ها غیر هموار باقی مانده است. اثر فرآیند هموار سازی با گذر از منحنی *A* و *F* کاملاً مشخص می‌شود.



شکل ۱۵-۵ اثر هموارسازی بر روی طیف‌های جذبی پرنویز تارترازین (الف) طیف اولیه (ب) هموار ساز ۵ نقطه‌ای درجه دوم برای داده‌های *A* (ج) هموار ساز ۱۳ نقطه‌ای درجه چهارم بر روی همان داده‌ها، (د) هموار ساز ۷۷ نقطه درجه دهم بر روی داده‌ها.

به خاطر استفاده عمومی از هموار ساز و کاربرد وسیع آن، راهنمایی برای استفاده از آن تهیه شده است. روابط برای محاسبه ضرایب هموار سازی و به کار بردن آن برای داده‌های دو بعدی نظیر طیف‌های آرایه‌های دیودی قابل دسترس می‌باشند. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد ماهیت ضرایب هموار سازی و دستگاہ‌های مربوطه به مرجع [۷] مراجعه نمایید.

روش‌های تصحیح

روش‌های تصحیح اغلب برای بهبود داده‌های دستگاہی تجزیه‌ای بکار می‌رود. این روش‌های ابزار قدرتمندی برای استخراج سیگنال‌هایی است که در اثر نویز یا از بین رفته‌اند و یا داده‌هایی که نویزی شده‌اند می‌باشند که با طیف آنالیتی که از ماده خالص آن گرفته

سرانجام مجموعه به ۶ تقسیم می‌شود که عدد صحیح نرمال شده نامیده می‌شود. در این مثال برای هموار سازی معادله درجه دوم نقطه ۵ عدد ۳۵ می‌شود و خارج قسمت یک عدد جدید به عنوان مرکز فواصل هموار سازی در نظر گرفته می‌شود. عدد صحیح نرمال کردن از روش ساویتسکی - گولی نیز به دست می‌آید، برای سایر مجموعه‌ها اعداد صحیح مشابه هموار سازی از اولین و دومین مشتق داده‌ها حاصل می‌شود. اولین مشتق اعداد صحیح هم پیش‌نیاز برای منحنی هموار درجه ۳، ۵ نقطه‌ای در شکل ۱۴-۵ ب ترسیم شده است. این مجموعه از اعداد صحیح، ممکن است دقیقاً به همین طریق به صورت اعداد صحیح هموار ساز توسط مشتق چند جمله‌ای حداقل مربعات برای طیف‌های مستقل انجام می‌گیرد، زیرا همان طور که در دیفرانسیل‌های آنالوگی در بخش ۳-۵ بیان گردید، دیفرانسیل معمولاً یک فرآیند تولید کننده نویز می‌باشد. اثر مشتق هموار ساز به حداقل رساندن نویز تولید شده در دیفرانسیل می‌باشد. از آنجا که هموار ساز چند جمله‌ای حداقل مربعات به طور وسیعی برای افزایش کیفیت داده‌های تجزیه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، مهم است که به مزایا و محدودیت‌های این روش توجه داشته باشیم. روش کاهش نویز و عملکرد یک صافی با عبور پایین برای داده‌ها همانند هر فرآیند فیلتر کردن، سیگنال‌ها متحمل برخی واپیچش‌ها شوند، زیرا محدودیت پهنای نوار در این فرآیند ذاتی است. کاربران هموار سازها می‌بایست توجه داشته باشند که کاهش نویز به وسیله واپیچش‌ها احتمالی سیگنال‌ها موازنه شوند. مزیت این روش در متغیرهایی نظیر انواع هموار سازها، پهنای هموار ساز و متغیرهای زمانی است بطوری که اطلاعات هموار شده ممکن است پس از جمع آوری داده‌ها از دقت زیادی برخوردار شده باشند، به علاوه الگوریتم هموار ساز از نظر کامپیوتری کوچک بوده و به زمان کامپیوتری کمی نیاز دارد.

افزایش $\frac{S}{N}$ حاصل از هموار سازی نسبتاً کم بوده و اصولاً دارای

ضرری در حدود چهار برای طیف‌هایی که دارای پیک‌هایی با پهنای ۳۲ برای داده‌ها و با پهنای هموار سازی دو برابر می‌باشد. با این وجود محصول هموار سازی داده‌ها دقیق‌تر از داده‌های اولیه‌ای است که انسان آن را تفسیر می‌کند و به طور کلی برای این منظور آن را به کار می‌برند. وقتی که هموار سازی هدف برای داده‌های تجزیه کمی به کار برده می‌شود، انحراف کمترین تاثیر خود را بر روی نتایج کمی می‌گذارد، زیرا خطای بسیار کم است و نمونه‌ها و استانداردها از روش یکسانی هموار سازی می‌شوند.

الف) فرض کنید که نویزها تصادفی بوده و نسبت سیگنال به نویز ترازو را محاسبه کنید.

ب) چه تعداد اندازه‌گیری باید میانگین‌گیری شود تا اندازه SN برابر 500 شود؟

داده‌های زیر از یک اندازه‌گیری ولتاژ در مقیاس میلی ولت در یک سیستم نویز دار به دست آمده است:

$$1/37, 1/84, 1/35, 1/47, 1/10, 1/73, 1/54, 1/08$$

الف) فرض کنید داده‌ها تصادفی است. نسبت سیگنال به نویز چقدر است؟

ب) چه تعداد اندازه‌گیری باید میانگین‌گیری شود تا $\frac{S}{N}$ به 10 افزایش یابد.

۹-۵) ms نویز حرارتی همراه با مقاومت $1/0$ مگا اهم در دمای اطاق را حساب کنید اگر اسیلوسکوپ دارای پهنای نوار $1MHz$ باشد. اگر پهنای نوار به 100 هرتز کاهش یابد به چه نسبتی نویز کاهش می‌یابد؟

۱۰-۵) اگر طیف در شکل ۱۲-۵ الف در نتیجه اسکن و در شکل ۲-۵ ب در نتیجه میانگین‌گیری از یک مجموعه باشند. چه تعداد

طیف منفرد باید جمع شود تا $\frac{S}{N}$ از $\frac{3}{4}$ برسد؟

۱۱-۵) بهبود $\frac{S}{N}$ از طیف بالایی به پایینی در شکل ۱۰-۵ چقدر است؟

۱۲-۵) بهبود $\frac{S}{N}$ از A تا D در شکل ۱۵-۵ چقدر است؟

۱۳-۵) برای افزایش بهینه $\frac{S}{N}$ ، داده‌های طیفی باید هموار شوند، پهنای هموار سازی نباید بیشتر از دو برابر پهنای پیک طیف گرفته شده در نصف شدت ماکزیمم آن باشد، از داده‌های شکل ۱۵-۵ الف حدس بزنید:

الف) ماکزیمم پهنای هموار سازی را برای پیک طیف سمت چپ و ب) برای پیک سمت راست

شده است مقایسه می‌شوند. از این روش‌ها برای روشن شدن روی هم افتادگی پیک‌ها و پیک‌هایی که از طریق طیف بینی و گرماتوگرافی غیر قابل تشخیص مانده‌اند استفاده می‌شود. روش‌های تصحیح براساس ریاضی پیچیده‌ای است که داده‌های را بهبود بخشیده و براحتی توسط کامپیوتر و دستگاه‌های آنالوک قابل اجرا است.

روش‌های تصحیح در این کتاب بحث نخواهد شد. برای خوانندگانی که روش‌های تصحیح جالب باشد می‌توانند به مراجع شماره ۸ مراجعه نمایند.

۵۰ پرسشها و مسائل

۱-۵) چه نوعی از نویزها وابسته به فرکانس است؟ و چه نوعی به فرکانس وابسته نیست؟

۲-۵) نام و نوع نویز هایی را که می‌توان به وسیله روش‌های زیر کاهش داد کدامند؟

الف) کاهش دمای اندازه‌گیری

ب) کاهش فرکانس مورد استفاده برای اندازه‌گیری

ج) کاهش پهنای نوار برای اندازه‌گیری

۳-۵) گستره فرکانسی را معرفی کنید که برای حداقل کردن نویزها مناسب است. توضیح دهید.

۴-۵) چرا در طراحی الکترودهای شیشه‌ای پوشش واقعی می‌بایست مقاومت 10^6 اهم یا بیشتر داشته باشد؟

۵-۵) چه نوع نویز احتمالاً توسط اعمال زیر کاهش می‌یابد؟

الف) یک فیلتر با عبور دهی بالا

ب) یک فیلتر با عبور دهی پایین

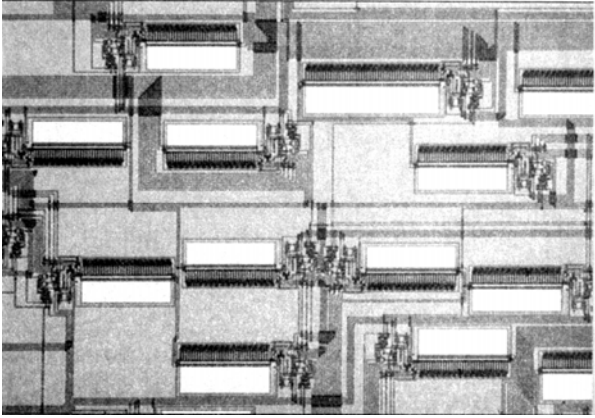
۶-۵) با یک تخمین تقریبی، نسبت سیگنال به نویز برای جریان $10^{10} \times 9$ آمپر که در شکل ۵-پ الف نشان داده شده است پیدا کنید.

۷-۵) داده‌های زیر از وزن کردن مکرر یک وزنه $1/004$ گرمی استاندارد توسط یک ترازوی حساس به دست آمده است.

۱/۰۰۳	۱/۰۰۰	۱/۰۰۱
۱/۰۰۴	۱/۰۰۵	۱/۰۰۶
۱/۰۰۱	۰/۹۹۹	۱/۰۰۷

مراجع

- [1]. T. Coor. *J. Chem. Educ.* 1968, 45, A533, A583, G. M. Hieftje, *Anal. Chem.*, 1972, 44(6), 81A; Bezeyh and J. Janata, *Anal. Chem.*, 1987 59, 494A; M. E. Green, *J. Chem Educ.*, 1984 61, 600; H. V. Malmstadt, C. G. Enke, and S. R. Crouch, *Microcomputers and Electronic Instrumentation: Making the Right Connections*, PP. 401-409. Washington. DC: American Chemical Society, 1994. A Venerable but valuable reference is R. Morrison *Grounding and Shielding Techniques in Instrumentation*. New York: Wiley – Inter Science, Interscience 1967.
- [2]. T. Coor. *J. Chem. Educ.* 1968, 45, A534.
- [3]. H. V. Malmstadt, C. G. Enke, and S. R. Crouch, *Microcomputers and Electronic Instrumentation: Making the Right Connections*, PP. 401-409. Washington. DC: American Chemical Society, 1994. A Venerable but valuable reference is R. Morrison *Grounding and Shielding Techniques in Instrumentation*. New York: Wiley – Inter Science, Interscience 1967.
- [4]. T. C. O. Haver, *J. Chem. Edt*, 1972, 49, A131, A211.
- [5]. D. Binkley and R. Dessy, *J. Chem. Educ.* 1979, 56, 148; R. L. Rowell, *J. Chem. Educ.*, 1978, 55, 148; G. Dulaney, *J. Chem. Educ.*, 1994.
- [6]. A. Savitzky and M. J. E. Golay, *Anal. Chem.*, 1964, 36, 1627.
- [7]. Y. Termonia, and J. Deltour, *Anal. Chem.*, 1972, 44, 1966; T. A. Nieman and C. G. Enke, *Anal. Chem.*, 1976, 48, 705A; H. H. Madden *Anal. Chem.*, 1978, 50, 1383; K. L. Patzlaff, *Introduction to Computer-Assisted Experimentation*. New York: Wiley, 1987.
- [8]. G. Hoelick and G. M. Hieftje, in *Contemporary Topics in Analytical and Clinical Chemistry*; D. M. Hercules, ed., Eds, Vol. 3, PP. 193-216. New York: Plenum Press, 1978. For briefer discussion, see G. M. Hieftje and G. Horlick, *American Laboratory*, 1981, 13(3), 76.
- Instrumentation: Making the Right Connections*. Washington, Dc; American Chemical Society, 1994.



بخش دوم

طیف بینی اتمی

شکل نشان داده شده در بالا قطعه‌ای از یک وسیله شارژ دو قطبی فوتو میگزوگراف است که به عنوان انتقال دهنده در نشر نوری اسپکتروسکوپی پرکین - المر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این دستگاه تابش به گونه‌ای نشر می‌گردد که در دو بعد از آرایه مستطیلی متفرق شود. ناحیه حساس به نور در آرایه‌ای که در عکس به صورت سفید بنظر می‌رسد در یک نگاه دقیق مکانهایی از صفحه‌اند که انتظار می‌رود نشر خطی در آنجا بشکند. این طرح و یا این دستگاه در قسمت ۱۰ الف - ۳ توضیح داده شده است. فوتو میگزوگراف نشان از اثر عمیق تکنولوژی میکرو الکترونیکی علوم بر وسائل قابل اندازه‌گیری است (عکس از شرکت پرکین - المر)

۶- مقدمه‌ای بر روش‌های طیف سنجی

۷- اجزاء دستگاه‌های نوری

۸- مقدمه‌ای بر طیف سنجی اتمی نوری

۹- دستگاه جذب اتمی و طیف سنجی فلورسانس اتمی

۱۰- طیف سنجی نشر اتمی

۱۱- طیف سنجی جرمی اتمی

۱۲- طیف سنجی پرتو X- اتمی

بخش دوم شامل اصول اساسی و روش‌های طیف سنجی اتمی است. در حالیکه فصل ششم طبیعت نور و تأثیر متقابل آن بر ماده را بررسی می‌کند. فصل هفتم دستگاه‌های نوری را به صورت الکترونیکی و مکانیکی معرفی می‌کند. این دو فصل همچنین اجزاء دستگاه را که در بحث طیف بینی مولکولی در بخش دوم مفید می‌باشند را مورد بحث قرار می‌دهد. خواص عمومی طیف بینی اتمی و جنبه عملی و مقدمه‌ای بر طیف سنجی اتمی نمونه‌ها در فصل هشتم مورد مطالعه قرار گرفته است. فصل نهم جنبه عملی جذب اتمی و طیف بینی فلورسانس اتمی را بررسی می‌کند. در حالیکه فصل ده رفتار مشابه طیف بینی نشر اتمی را مهیا می‌سازد. مقدمه‌ای در طیف سنجی جرمی در فصل یازده آمده است که وسایل و راه‌های مختلف طیف سنجی جرمی را توضیح می‌دهد. توضیحات ما از طیف بینی اتمی با شرح طیف سنجی پرتو X- در فصل دوازده کامل می‌گردد.

فصل ۶

مقدمه‌ای بر روش‌های طیف سنجی

موارد استفاده وسیع طیف بینی براساس تابش الکترو مغناطیس استوار است که از جنس انرژی است و اشکال مختلف دارد. از مثال‌های بارز آن نور و تابش گرمایی است و بخش کمتر قابل رویت آن اشعه گاما و تابش ایکس بوده، همچنین پرتوهای فرابنفش، ریز موج و امواج رادیویی می‌باشند.

در این فصل روش عمومی تاثیر تابش الکترو مغناطیس بر نمونه‌های اتمی و ملکولی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پس از آن در پنج فصل بعدی انواع مختلف راه‌های طیف سنجی را که توسط شیمیدانان برای تعیین و شناسایی درصد عناصر و روش‌های شناسایی مواد مختلف توضیح داده خواهد شد. فصل‌های ۱۳ تا ۲۱ نحوه

روش‌های طیف سنجی یک دسته بزرگ از روش‌های تجزیه‌ای است که برپایه طیف بینی اتمی و ملکولی استوار است. طیف بینی یک عبارت کلی در علوم است که با بر هم کنش‌های ماده و انواع مختلف تابش سرو کار دارد. از نظر تاریخی بر هم کنش مورد توجه بین تابش الکترو مغناطیسی و ماده بوده است. ولی امروزه طیف بینی شامل تاثیر متقابل بین ماده و صورت‌های دیگر انرژی است. مثال هایی از قبیل امواج صوتی و تابش ذرات مثل یون‌ها و الکترون‌ها را شامل می‌شود. طیف سنجی و روش‌های اسپکترومتری بیان کننده اندازه‌گیری شدت تابش توسط یک مبدل فوتو الکتریکی یا سایر وسایل الکترونیکی است.

الکتريکی عامل مؤثر غالب پدیده‌های مورد توجه، شامل عبور، انتقال، انعکاس، شکست و جذب است. توجه داشته باشید بردار مغناطیسی تابش عامل جذب امواج با فرکانس رادیویی در زرونانس مغناطیسی هسته می‌باشد.

استفاده از اسپکترومتری برای تعیین ساختار ملکولی ترکیبات را مورد بحث قرار داده و روش استفاده از اسپکترومتری را برای تعیین مقدار ذرات را مورد بحث قرار می‌دهد.

الف خواص عمومی تابش الکترو مغناطیسی

برای اینکه بتوانیم بسیاری از خواص تابش الکترو مغناطیس را مشخص نمائیم بهتر است که طبیعت موجی برای نشر آن در نظر بگیریم و این امواج را توسط پارامترهایی نظیر سرعت، فرکانس طول موج و دامنه ترسیم کنیم. بنابراین در مقایسه با سایر پدیده‌های موجی نظیر صدا، تابش الکترو مغناطیس احتیاجی به محیط مادی برای عبور ندارد و به آسانی از درون خلاء می‌گذرد.

الگوی موجی تابش در توجیه پدیده‌های مربوط به جذب نشر انرژی تابشی با شکست کامل روبرو است. برای توجیه این فرآیند لازم است که به تابش الکترو مغناطیس به صورت ذرات مجزای انرژی بنام فوتون بنگریم. انرژی فوتون متناسب با فرکانس تابش است، این نگرش دوگانه به تابش، به صورت ذره‌ای و موجی منحصر به فرد نیست. در واقع ظهور این دوگانگی توسط مکانیک موجی و به طور کامل به اثبات رسیده است. به علاوه خاصیت دوگانه موجی - ذره‌ای در مورد پدیده‌های دیگری نظیر رفتار جریانهای از الکترونها و یا ذرات بنیادی دیگر نیز صدق می‌کند و بطور کلی توسط مکانیک موجی توجیه شده‌اند.

ب خواص موجی تابش الکترو مغناطیس

در بسیاری از موارد تابش‌های الکترو مغناطیسی همانند یک میدان الکتريکی و مغناطیسی هم فاز که به صورت نوسانات سینوسی با زاویه ۹۰ درجه نسبت به یکدیگر انتشار می‌یابند نمایش داده می‌شود. شکل ۶-۱ الف تصویر یک اشعه منفرد تابش الکترو مغناطیسی در صفحه قطبیده را نشان می‌دهد. عبارت صفحه قطبیده در برگزیده کلیه نوسانات در میدان‌های الکتريکی و یا مغناطیسی است که بر روی یک صفحه قرار دارند. شکل ۶-۱ ب تصویر دو بعدی از تابش الکتريکی شکل ۶-۱ الف می‌باشد. قدرت میدان الکتريکی در شکل ۶-۱ به صورت برداری نشان داده شده است که طول آن با بزرگی آن متناسب است. محور طولی این ترسیم یا زمان است که تابش از یک نقطه ثابت در فضا عبور می‌کند و یا فاصله‌ای است که در آن زمان ثابت نگه داشته می‌شود. در این فصل و بیشتر بخش‌های باقی مانده این کتاب فقط به جزئیات الکتريکی پرداخته خواهد شد، زیرا میدان

ب-۱ پارامترهای موج

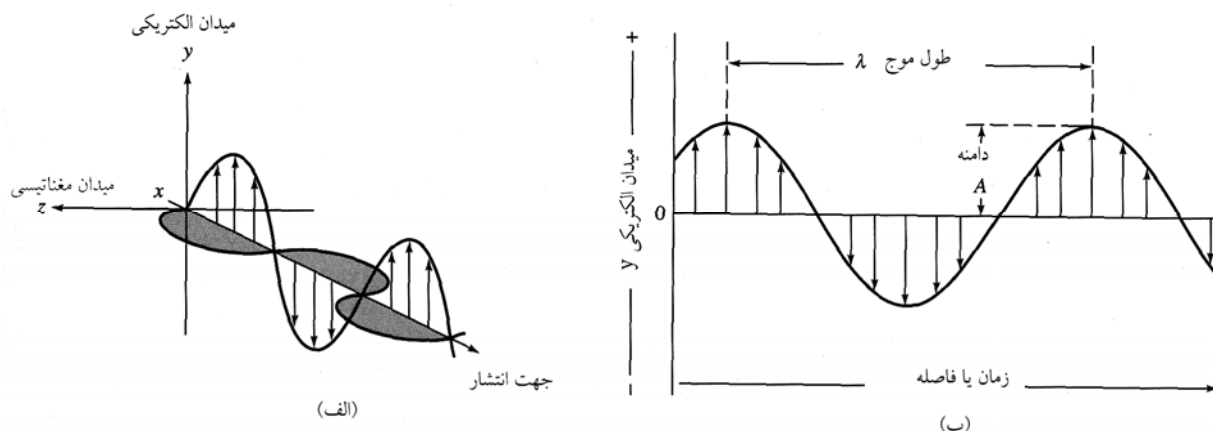
در شکل ۶-۱ ب دامنه A موج سینوسی به صورت بردار الکتريکی در ماکزیمم، موج نشان داده شده است. زمان لازم جهت عبور از دو ماکزیمم و یا دو مینیمم متوالی از یک نقطه ثابت برحسب ثانیه در فضا را تناوب p ، تابش می‌نامند. فرکانس ν تعداد نوسانهای میدان در هر ثانیه بوده و مساوی $\frac{1}{p}$ می‌باشد. پارامتر دیگر مورد توجه، طول موج λ است که فاصله خطی بین دو نقطه مشابه متوالی یک موج است (برای مثال دو ماکزیمم و یا دو مینیمم متوالی). حاصلضرب فرکانس برحسب سیکل بر ثانیه در طول موج برحسب متر بر سیکل سرعت انتشار را برحسب متر در ثانیه می‌دهد.

$$v_i = \nu \lambda_i \quad (1-6)$$

به این نکته مهم باید توجه شود که فرکانس پرتو تابشی توسط منبع تعیین می‌شود و بدون تغییر باقی می‌ماند و برعکس سرعت انتشار موج بستگی به ترکیب درون محیط مادی که تابش از آن عبور می‌کند دارد. بنابراین همان طور که معادله ۶-۱ نشان می‌دهد طول موج تابش نیز به محیط مادی بستگی دارد. زیر نویس i به همین دلیل در معادله ۶-۱ بکار گرفته شده است و نشان دهنده وابستگی‌ها است. در خلاء سرعت تابش مستقل از طول موج می‌باشد و بیشترین مقدار را دارد. این سرعت با علامت c نشان داده می‌شود که مقدار آن 2.9979×10^8 متر بر ثانیه می‌باشد. قابل ذکر است که سرعت تابش در هوا اختلاف کمی با c دارد (کمتر از ۰.۳ درصد). بنابراین برای هوا و هم برای خلاء معادله ۶-۱ را می‌توان با سه رقم با معنی به صورت زیر نوشت.

۱- واحد عمومی فرکانس عکس ثانیه $(S)^{-1}$ یا هرتز (HZ) است که دور در ثانیه می‌باشد.

۲- واحد عمومی استفاده شده برای طول موج در نواحی مختلف طیف بطور قابل ملاحظه‌ای متغیر می‌باشد. برای مثال برای تابش‌های ایکس و تابش‌های ماوراء بنفش با طول موج کوتاه واحد آنکسترم $(10^{-10} m)A$ ، برای تابش‌های مرئی و ماوراء بنفش، نانومتر (10^{-9} متر) و برای ناحیه زیر قرمز، میکرومتر (10^{-6} متر) بکار برده می‌شود. در نوشتارهای گذشته میکرومتر را میکرون می‌نامیدند و استفاده از آن امروزه رایج نیست.



شکل ۱-۶- نمایشی است از تابش تکفام، تابش قطبیده صفحه‌ای (الف) میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی نسبت به یکدیگر و نسبت به جهت انتشار زاویه ۹۰ درجه دارند (عمودند). (ب) نمایش دو بعدی از بردار الکتریکی تابش

دسته شعاع تابشی است که به یک سطح معین در هر ثانیه می‌رسد. شدت I برابر با توان در یک واحد زاویه فضایی است. این کمیت‌ها با مربع دامنه (A) دسته شعاع تابشی مرتبط است (شکل ۱-۶). توان و شدت غالباً بجای یکدیگر به کار برده می‌شوند اگر چه این عمل کار صحیحی نمی‌باشد.

۲-۶-۲ طیف الکترومغناطیس

همان‌طور که در شکل ۳-۶ نشان داده شده است طیف‌های الکترومغناطیس محدوده وسیعی از طول موج، فرکانس و انرژی را در بر می‌گیرد. در حقیقت گستره به قدری وسیع است که نیاز به تقسیم بندی لگاریتمی است. شکل ۳-۶ به طور کیفی نواحی اصلی از طیف را نشان می‌دهد. تقسیم بندی براساس روشی است که برای تولید و بوجود آوردن انواع مختلف تابش مورد نیاز است. بنابراین وجود چندین ناحیه مشترک بدیهی است توجه داشته باشید بخشی که چشم انسان به آن حساس است در مقایسه با سایر نواحی بسیار کوچک است.

اشاره به این نکته لازم است که روش‌های شیمیایی طیف‌سنجی نه تنها در ناحیه مرئی بلکه شامل نواحی فرابنفش و مادون قرمز نیز می‌گردد و روش‌های نوری نامیده می‌شوند علیرغم این واقعیت که چشم انسان به هیچ یک از این دو تابش اخیر حساس نیست. این تردید در نامگذاری ناشی از جنبه‌های مشترک زیاد دستگاهها در این سه ناحیه طیفی و شباهت‌هایی است که چگونگی برهم کنش‌های تابش‌های این سه ناحیه با ماده است که می‌بینیم.

$$C = v\lambda = 3 \times 10^8 \text{ m/s} = 3 \times 10^{10} \text{ cm/s} \quad (2-6)$$

در هر محیط مادی دیگر به علت تأثیر بین میدان الکترومغناطیس تابش با الکترون‌های پیوندی سرعت انتشار کندتر می‌گردد. از آنجائی که فرکانس تابش ثابت است و توسط منبع تثبیت می‌گردد. پس عبور تابش از خلاء به محیط مادی باعث کاهش طول موج می‌شود (معادله ۲-۶) این اثر برای تابش تکفام نورمرئی در شکل ۲-۶ نشان داده است.^۱

توجه داشته باشید که با کوتاه شدن طول موج تا میزان ۲۰۰ نانومتر یا بیشتر، ۳۰ درصد آن از درون شیشه عبور می‌کند و یک تغییر معکوس در مقدار تابش‌هایی که وارد هوا می‌شوند رخ می‌دهد. عدد موجی $\bar{\nu}$ معکوس طول موج و به صورت عکس سانتی متر تعریف می‌گردد و این راه دیگری برای تشریح، تابش الکترومغناطیس است. پس واحد $\bar{\nu}$ ، cm^{-1} می‌باشد. عدد موج بطور وسیع در طیف بینی زیر قرمز استفاده می‌شود. عدد موجی واحد مفیدی است زیرا، بر عکس طول موج رابطه مستقیم با فرکانس داشته، در نتیجه متناسب با انرژی تابشی است. پس می‌توان نوشت

$$E = h\nu = hc\bar{\nu} \quad (3-6)$$

به طوری که ثابت k به محیط مادی بستگی داشته و برابر با عکس سرعت است (معادله ۱-۶).

P توان یک دسته شعاع تابشی است و بیانگر مقدار انرژی این

۱- تابش تکفام دسته تابشی هستند که طول موج آنها یکسان است و تابش چند فام دسته تابشی هستند که طول موج‌های آنها یکسان نمی‌باشند.

جدول ۱-۶: روش‌های عمومی طیف بینی براساس تابش الکترو مغناطیس

نوع انتقال کوانتومی	محدوده عدد موج	محدوده طول موج*	نوع طیف بینی
هسته ای	-	$0/005 - 1/4 A$	نشر گاما
الکترون درونی	-	$0/1 - 100 A$	جذب و نشر تابش ایکس
الکترون‌های پیوندی	1×10^6 تا 5×10^4	$10 \times 180 \text{ nm}$	جذب فرابنفش در خلاء
الکترون‌های پیوندی	5×10^4 تا $1/3 \times 10^4$	$180 \times 780 \text{ nm}$	جذب و نشر مرئی، فرابنفشو فلورسانس
چرخش ارتعاش مولکول‌ها	$1/3 \times 10^4$ تا $3/3 \times 10^1$	$0/78 - 300 \mu\text{m}$	جذب مادون قرمز و انعکاس رامان
چرخش مولکول‌ها	۱۳ - ۲۷	$0/75 - 3/75 \text{ mm}$	جذب ماکرویز
اسپین الکترون‌ها در میدان مغناطیسی	۰/۳۳	۳ cm	رزونانس اسپین الکترون
اسپین هسته‌ای در میدان مغناطیسی	1×10^3 تا $1/7 \times 10^2$	$0/6 - 10 \text{ m}$	رزونانس مغناطیس هسته ای

$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-8} \text{ cm}$

$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ cm}$

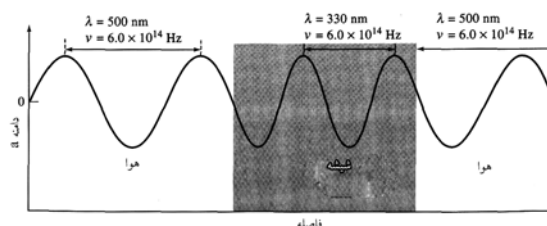
$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m} = 10^{-4} \text{ cm}$

** در متن اصلی کتاب $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ nm}$ نشان داده شده که در ترجمه تصحیح گردید

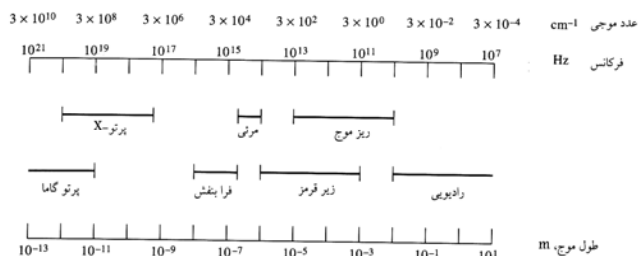
$\omega = 2\pi\nu$

با جانشینی این رابطه در معادله ۴-۶ معادله ۵-۶ بدست می‌آید

$y = A \sin(2\pi\nu t + \phi)$ (۵-۶)



شکل ۲-۶ اثر تغییر محیط بر روی تابش تکفام



شکل ۳-۶ نواحی طیف الکترو مغناطیسی

جدول ۱-۶ فهرست محدوده طول موج و فرکانس برای نواحی که برای اهداف تجزیه‌ای مهم‌اند. همچنین نام روش‌های مختلف طیف بینی مرتبط به آنها را نشان می‌دهد. ستون آخر جدول، فهرست انواع انتقالات کوانتومی هسته، اتمی یا مولکولی را نشان می‌دهد که اساس تکنیک‌های مختلف طیف بینی را در بر می‌گیرد.

۴-۶ ب-۴ برهم نهی موج (انطباق موج)

انطباق زمانی اتفاق می‌افتد که دو یا چند موج از یک مکان مشابه عبور کنند. آشفتگی عبارت است از مجموعه آشفتگی‌های حادث شده، توسط موجهای منفرد. این مسئله در موج‌های الکترو مغناطیسی اتفاق می‌افتد که در آنها آشفتگی در اثر میدان الکتریکی بوجود آید، نظیر موج‌هایی که توسط اتم‌ها و مولکول‌ها ایجاد می‌شوند. وقتی که n موج الکترو مغناطیس با فرکانس و دامنه‌های مختلف و زاویه فاز متفاوت از چند نقطه بطور همزمان عبور می‌کنند، بر هم نهی اتفاق افتاده و براساس معادله ۵-۶ می‌توان نوشت.

۳-۶ ب-۳ تشریح ریاضی یک موج

موج نشان داده شده در (شکل ۱-۶ ب) می‌تواند با معادله موج سینوسی به صورت تابعی از زمان توصیف شود.

$y = A \sin(\omega t + \phi)$ (۴-۶)

که در آن y میدان الکتریکی، A دامنه یا مقدار ماکزیمم y در زمان t و ϕ زاویه فاز است که در بخش ۲ ب ۱۰ صفحه ۲۸ تعریف شده‌اند. سرعت زاویه‌ای بردار ω در ارتباط با فرکانس تابش ν بوسیله معادله زیر تعریف می‌گردد.

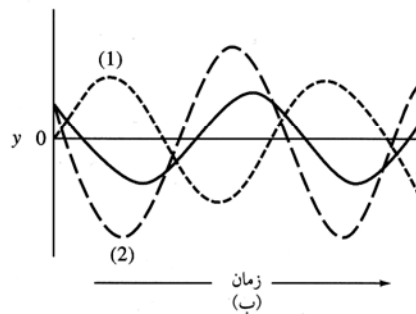
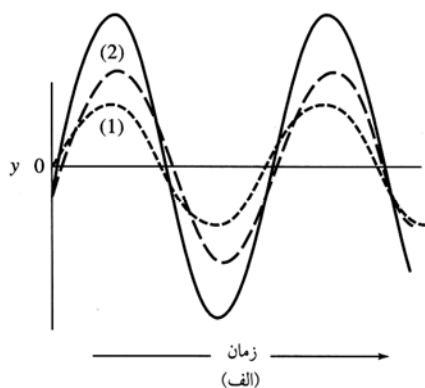
یک جنبه مهم از بر هم نهی این است که فرم پیچیده یک موج بوسیله عملیات ریاضی به اجزاء ساده تبدیل می‌شود که تبدیل فوریه نامیده می‌شود. جان فوریه از ریاضی دانان قدیمی فرانسه (۱۷۶۸ - ۱۸۳۰) یک تابع تناوبی را بدون توجه به پیچیدگی آن شرح داد که می‌تواند بوسیله مجموعه از عبارات سینوسی یا کسینوسی توضیح داد. برای مثال با مربع فرم موجی در الکترونیک به طور گسترده‌ای مواجه‌ایم که می‌توان توسط معادله‌ای به شکل زیر توضیح داد.

(۸-۶)

$$y = A (\sin \nu \pi \nu t + \frac{1}{3} \sin 3 \nu \pi \nu t + \frac{1}{5} \sin 5 \nu \pi \nu t + \dots + \frac{1}{n} \sin n \nu \pi \nu t)$$

که در آن n مقادیر ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و غیره را بخود می‌گیرد. یک نمایش گرافیکی از مجموعه مراحل مختلف در شکل ۶-۶ الف نشان داده شده است. منحنی پر رنگ در شکل ۶-۶ الف مجموع سه موج سینوسی است که اختلافی با دامنه‌ای به نسبت ۱:۳:۵ و فرکانسی به نسبت ۱:۳:۵ دارند. توجه داشته باشید که نتیجه پس از افزودن سه عبارت به معادله ۸-۶ به یک موج مربعی نزدیک می‌شوند. این حالت در شکل ۶-۶ ب به صورت یک خط پر رنگ نشان داده شده است، وقتی که ۹ موج با هم ترکیب شوند موج حاصله به یک موج مربعی نزدیک‌تر می‌شود.

تحلیل یک موج پیچیده با اجزاء سینوسی و کسینوسی به صورت دستی، کار بسیار مشکلی است. به هر حال، امکان تبدیلات فوریه بر روی یک کامپیوتر توسط یک نرم‌افزار کارآمد حاصل می‌شود. کاربرد این تکنیک در قسمت ۵-ج ذکر شد، و در بحث‌های مختلف طیف بینی مورد بحث قرار خواهد گرفت.



شکل ۶-۶ الف انطباق موج سینوسی (الف) $\nu_1 = \nu_2$ و $(\phi_1 - \phi_2) = -20^\circ$ و $A_1 < A_2$ در هر یک از دو شکل منحنی پر رنگ نتیجه ترکیب دو منحنی خط چین است.

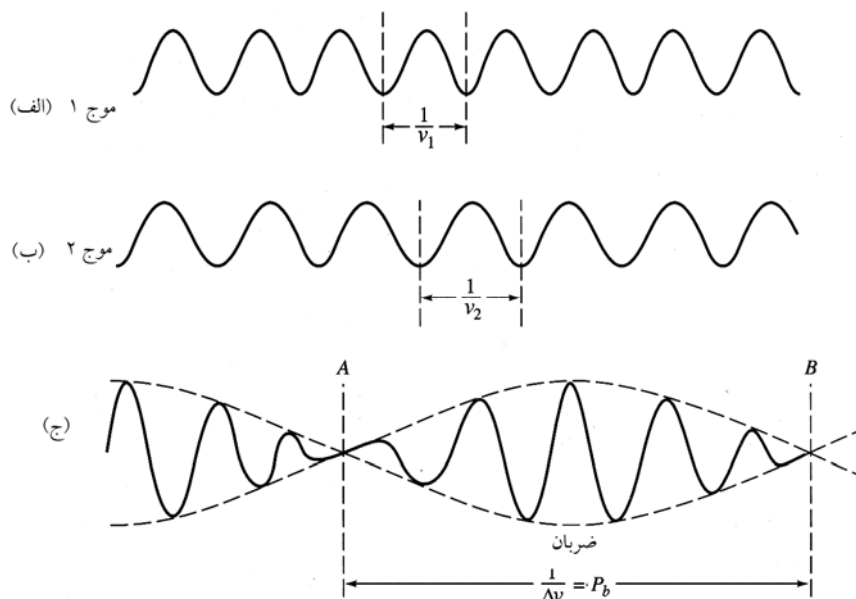
$$y = A_1 \sin(\nu \pi \nu_1 t + \phi_1) + A_2 \sin(\nu \pi \nu_2 t + \phi_2) + \dots + A_n \sin(\nu \pi \nu_n t + \phi_n)$$

که در آن y میدان برآیند است.

خط پر رنگ در شکل ۶-۶ الف کاربرد معادله ۶-۶ برای دو موج با فرکانس یکسان و با دامنه و زاویه فاز مختلف را نشان می‌دهد. نتیجه یک تابع تناوب با فرکانس یکسان است، اما دامنه بزرگتر از هر یک از موجها می‌باشد. شکل ۶-۶ ب با شکل ۶-۶ الف از نظر فاز تفاوت زیادی دارد. در این جا دامنه موج حاصله از دامنه موج‌های اولیه کوچکتر است. روشن است دامنه ماکزیمم در صورتی رخ می‌دهد که دو موج کاملاً هم فاز باشند و این وقتی اتفاق می‌افتد که اختلاف فاز بین دو موج یعنی $(\phi_1 - \phi_2)$ به صورت 0° یا 360° یا مضربی از 360° باشد. تحت این شرایط گفته می‌شود که ماکزیمم تداخل سازنده اتفاق می‌افتد. ماکزیمم تداخل تخریبی هنگامی اتفاق می‌افتد که اختلاف $(\phi_1 - \phi_2)$ مساوی 180° یا 180° درجه به اضافه مضربی از 360° درجه باشد. تداخل نقش بسیار مهمی را در بسیاری از روش‌های دستگاهی که براساس تابش الکترو مغناطیس استوار است بازی می‌کند.

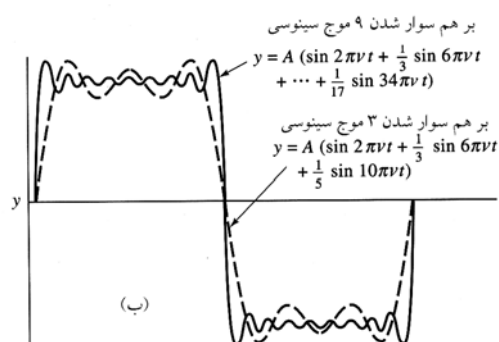
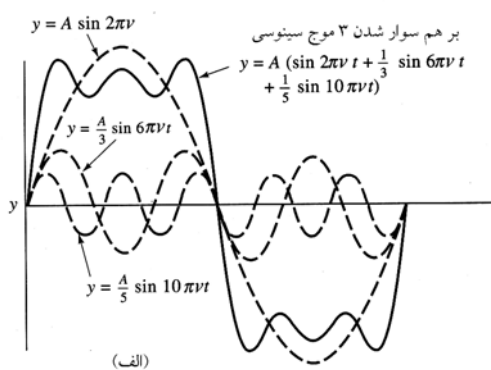
شکل ۶-۶ ب انطباق دو موج با دامنه یکسان اما فرکانس متفاوت را نشان می‌دهد. موج حاصله دیگر سینوسی نیست اما یک تناوب یا تکرار را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که دوره تناوب ضربه‌ای P_b عکس تفاسل فرکانس U بین دو موج می‌باشد. در این صورت داریم:

$$P_b = \frac{1}{\Delta U} = \frac{1}{\nu_2 - \nu_1} \quad (7-6)$$



شکل ۵-۶ انطباق دو موج با فرکانسهای متفاوت اما دامنه‌های یکسان. (الف) موج شماره ۱ با پریودی معادل $\frac{1}{v_1}$ ، (ب) موج شماره ۲ با پریودی

معادل $\frac{1}{v_2}$ ($v_2 = 1/2 v_1$)، (ج) ترکیب دو موج. توجه داشته باشید انطباق v_1 و v_2 موج منتهی‌ای را بوجود می‌آورد با پریودی برای $\frac{1}{\Delta v}$ که در آن $\Delta v = |v_1 - v_2|$



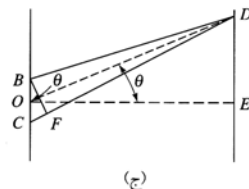
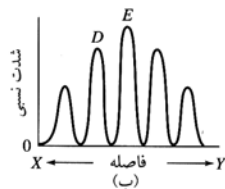
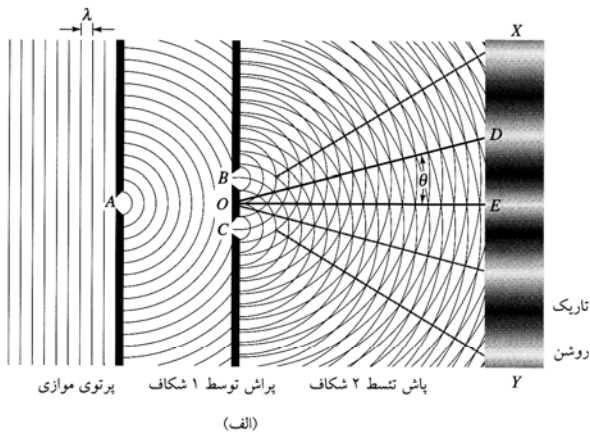
شکل ۶-۱ برهم نهی موج‌های سینوسی به شکل موج مربعی. (الف) ترکیب سه موج سینوسی (ب) ترکیب سه موج به صورت (الف) و ۹ موج سینوسی.

۵-۶ پراش تابش

تمامی تابش‌های الکترو مغناطیسی، فرآیندی را به نمایش می‌گذارند، که در آن یک دسته پرتو موازی معمولاً در مسیرهای مستقیم حرکت می‌کنند. بنابراین پس از عبور از یک مانع تیز یا از درون یک منفذ باریک از مسیر خود انحراف پیدا می‌کنند، شکل ۶-۷ فرآیند را نشان می‌دهد. پراش یک خصلت موجی است که نه تنها برای تابش‌های الکترو مغناطیس بلکه موج‌های مکانیکی یا صوتی نیز مشاهده شده است. برای مثال پراش موج‌های مکانیکی هم اکنون در آزمایشگاه توسط تولید کننده موج‌های مکانیکی با فرکانس ثابت در درون تانکرهای آب اجرا می‌شود که ابتدای موج قبل از عبور از یک دریچه چهارگوش یا شکاف مشاهده می‌شود وقتی که شکاف نسبت به طول موج عریض تر است شکل (۶-۷الف) پراش بسیار باریک بوده و مشاهده آن مشکل می‌باشد. از طرف دیگر در صورتی که طول موج شکاف از نظر بزرگی مشابه باشند مثل شکل (۶-۷ب) پراش به طور وضوح رخ می‌دهد. در این جا شکاف همانند یک منبع جدید برای موج‌های تابشی عمل می‌کند که یک سری موج با تابشی باندازه تقریباً ۱۸۰ درجه تابش می‌کند. بنابراین بنظر می‌رسد قسمت جلوی موج در نتیجه عبور از تیغه‌های شکاف انحناء پیدا می‌کند. پراش نتیجه تداخل است، این عمل با انجام یک آزمایش بسادگی

کمک شکل ۸-۶ شرایط ماکزیمم تداخل سازنده‌ها که نتیجه نوارهای ضعیف است می‌توان استنتاج کرد. در شکل ۸-۶ ج زاویه پراش (θ) از خط عمود که به صورت نقطه چین از نقطه O رسم شده است تشکیل می‌گردد، وسط بین شکاف‌ها نقطه D ماکزیمم شدت است. خطوط پر رنگ CD و BD نشان‌گر مسیر نور از شکاف‌های B و C تا نقطه D است. معمولاً فاصله OE خیلی طولی‌تر است نسبت به فاصله بین دو منفذ (یعنی BC) در نتیجه خطوط BD ، OD و CD برای روش‌های فرصی موازی هستند. خط BF عمود است بر خط CD و مثلث BCF را می‌سازد که تقریباً با مثلث DOE متشابه است، در نتیجه زاویه CBF برابر زاویه پراش θ است، پس داریم.

$$\overline{CF} = \overline{BC} \sin \theta$$



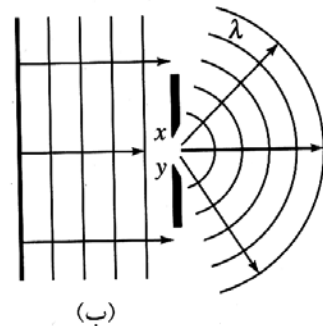
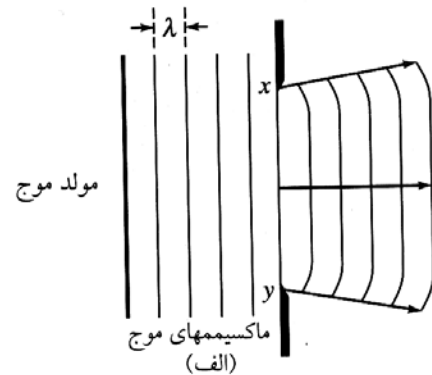
شکل ۸-۶ پراش تابش تکفام توسط شکاف‌ها

چون BC نسبت به OE و FD بسیار کوچک است و تقریباً برابر BD است و فاصله CF سنجش خوبی برای تفاضل بین طول مسیر دو دسته تابش BD و CD است، برای اینکه دو دسته تابش در D همفاز باشند لازم است که CF با طول موج تابش برابر باشد، یعنی

$$\lambda = \overline{CF} = \overline{BC} \sin \theta$$

همچنین تقویت مجدد زمانی اتفاق می‌افتد که طول مسیر ضریبی

قابل درک است و برای اولین بار در سال ۱۸۰۰ توسط توماس یانگ انجام گرفت بطوریکه در موج نور طبیعی به وضوح مشاهده شد. همان‌طور که در شکل ۸-۶ الف نشان داده شده است یک دسته پرتو موازی از نور اجازه داده شد که تا از میان یک شکاف باریک مثل A (یا مثل آزمایش یانگ، از یک منفذ سوزنی) عبور کرده، پراش حاصله تقریباً به اندازه دو برابر اندازه سوراخ و یا منفذ سوزنی B و C بود. تابش خروجی سپس بر روی پرده‌ای که بر روی صفحه xy قرار داشت مشاهده می‌گردد. اگر تابش تکفام باشد یک سری از تصاویر تیره و روشن عمود بر صفحه کاغذ مشاهده می‌گردد.



شکل ۷-۶ انتشار امواج از یک شکاف (الف)؛ $xy \gg \lambda$ ؛ (ب) $xy = \lambda$

شکل ۸-۶ ب نمودار شدت‌های نوارها را نشان می‌دهد که به صورت تابعی از فاصله در امتداد طول پرده می‌باشد. اگر در این نمودار عرض شکاف نزدیک به طول موج تابش باشد، شدت‌های پیوندی به تدریج با افزایش فواصل از مراکز پیوند کاهش پیدا می‌کنند. در شکاف‌های پهن‌تر کاهش بسیار زیاد خواهد بود.

در شکل ۸-۶ الف حضور نوار مرکزی E که در سایه جسم کدر با دو شکاف قرار گرفته، براحتی بوسیله علامتی که در مسیر B تا E و C تا E قرار دارد تشریح می‌شود. بنابراین تداخل سازنده‌های پراش، از طریق دو شکاف اتفاق می‌افتد و یک نوار شدید مشاهده می‌شود. به

فرکانس‌ها)، (۲) رابطه فازی بین پرتوها نسبت به زمان باید ثابت باقی بماند. شرط لازم برای انجام این کار را می‌توان با تابشی که از هر یک از شکاف‌های شکل ۸-۶ الف که توسط یک لامپ تنگستن ساطع می‌شود نمایش داد. در این شرایط قسمت‌های روشن به خوبی آشکار بوده و مکان‌های تاریک ناپدید می‌گردند و به صورت نقاط کم بیش روش یکنواخت در صفحه ظاهری شوند. این رفتار نتیجه اثر همدوس منبع رشته‌ای است (بسیاری از منبع‌های تابش الکترومغناطیس نیز غیر همدوس هستند)

منابع غیر همدوس، تابش‌های نشر شده توسط اتم‌ها و یا مولکول‌های خاص می‌باشد و پرتوهای بدست آمده مجموعه وقایع ویژه بی‌شماری را تشکیل می‌دهند و انتشار هر یک ۸-۱۰ ثانیه طول می‌کشد. بنابراین پرتوی تابشی حاصل از این نوع منابع پیوسته نیستند. ولی در عوض یکسری موج متوالی تشکیل می‌دهند، که بیشتر مواقع طول موج کوتاه دارند. زیرا نه تنها تابش توسط اتم‌های یک منبع تصادفی تولید می‌شود بلکه تفاوت‌های فازی در هر طول موج متوالی نیز باید متفاوت باشد. موج متوالی حاصل از شکاف B ممکن است به یک نقطه مورد نظر در روی صفحه برسد و فاز مشابهی با موج متوالی C داشته باشد که در این صورت تداخل سفیدی رخ می‌دهد. گاهی ممکن است موج‌های متوالی که به یک نقطه می‌رسند کاملاً غیر همفاز باشند و تداخل خوبی پدید نیآورند. بنابراین تابش‌ها در تمام نقاط بر روی صفحه بوسیله تغییرات فازی بین موج‌های متوالی تصادفی اداره نمی‌شود. پرتوهای متحدالشکل که به صورت میانگین برای سری متوالی نشان داده می‌شود حاصل می‌گردد.

منابعی وجود دارند که تابش الکترو مغناطیس را به شکل تابش‌های متوالی و با فرکانس ثابت تولید می‌کنند. مثال‌های عمده عبارتند از: لیزرهای نوری، زیر موج‌ها، نوسانگرهای رادیوئی. منابع مختلف مکانیکی مثل یک تکان دهنده جنبشی دو شاخه در درون اب که امواج ریز شبیه تابش همدوس ایجاد می‌کنند. وقتی که دو منبع تولید کننده همدوس جایگزین شکاف A نشان داده شده در شکل ۸-۶ الف شود، یک الگوی تداخلی منظم ایجاد می‌کند.

الگوهای تداخلی که می‌توانند بطور اتفاقی ایجاد شوند مثلاً از رشته‌های سیم‌های تنگستن شبیه آنچه که در شکل ۸-۶ الف نشان داده شده است. در این جا شکاف بسیار باریک A تابش‌های رسیده از B و C را منتشر کرده که خود به عنوان منبع بسیار کوچکی محسوب می‌شود. تحت این شرایط، امواج متوالی مختلف که از

برابر با 2λ و 3λ و ... باشد. بنابراین برای نوارهای نوری اطراف نوار مرکزی رابطه کلی به صورت زیر خواهد شد.

$$n\lambda = \overline{BC} \sin \theta \quad (9-6)$$

که در آن n عدد صحیح است که مرتبه تداخل نامیده می‌شود. جایجایی خطی DE پرتو پراشیده در طول صفحه، تابعی از فاصله، DE بین پرده و صفحه شکاف‌ها و همینطور فضای بین شکاف‌های از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\overline{DE} = \overline{OD} \sin \theta$$

با نوآرایی و جایگزینی در رابطه ۹-۶ رابطه به صورت زیر خواهد شد.

$$n\lambda = \frac{\overline{BC} \times \overline{DE}}{\overline{OD}} = \frac{\overline{BC} \times \overline{DE}}{\overline{OD}} \quad (10-6)$$

رابطه ۱۰-۶ اجازه میدهد که طول موج به کمک سه کمیت قابل اندازه‌گیری محاسبه گردد.

مثال ۱-۶

فرض کنید در شکل ۸-۶ پرده در فاصله ۲ متر قرار دارد و فاصله بین دو شکاف 0.3 میلی متر است. اگر نوار چهارم در فاصله $15/4$ میلی متر از نوار مرکزی قرار گیرد طول موج تابیده شده چقدر است.

با جاگذاری در رابطه ۱۰-۶ خواهیم داشت.

$$\epsilon \lambda = \frac{0.3 \text{ mm} \times 15/4 \text{ mm}}{2 \text{ m} \times (1000 \text{ mm/m})} = 23 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\lambda = 578 \text{ nm} \quad \text{یا} \quad \lambda = 578 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

۶-۶ تابش همدوس

برای اینکه پدیده پراش همان طور که در شکل ۸-۶ الف نشان داده شده است ایجاد گردد. لازم است که موج‌های الکترو مغناطیس که از شکاف‌های B و C به سوی هر نقطه از صفحه (مثل D یا E) حرکت می‌کنند، رابطه فازی آن‌ها نسبت به زمان کاملاً ثابت باقی بماند، بدین معنی که تابش از دو منبع B و C در این حالت باید همدوس باشند. شرایط همدوس بودن عبارتند از: (۱) دو منبع تابش باید دارای فرکانس و طول موج‌های برابر باشند (یا مجموعه

مولکول‌های نوسان کننده به عنوان مواد واسط در نظر گرفت. تابش از هر ذره قطبیده باید در تمام جهات منتشر گردد. بنابراین اگر ذرات کوچک باشند می‌تواند نشان داد که تداخل تخریبی مانع انتشار مقادیر قابل توجه تابش در هر جهتی به استثنای مسیر اولیه پرتو می‌گردد. از طرف دیگر اگر محیط مادی حاوی ذرات بزرگ باشد (نظیر مولکول‌های پلیمری یا ذرات کلئیدی) این اثر تخریب ناقص است و قسمتی از پرتو در تمام جهات در اثر برخورد مرحله‌ای پراکنده می‌شود. پراکنده‌گی در بخش‌های بعدی این فصل بررسی خواهد شد.

پاشندگی

از آنجایی که سرعت نور در ماده به طول موج بستگی دارد و از آن جاییکه c در معادله ۱۱-۶ به این عامل بستگی ندارد. بنابراین ضریب شکست مواد باید با طول موج تغییر کند. تغییر در ضریب شکست مواد در اثر تغییر فرکانس و یا طول موج پاشندگی نامند می‌شود. پاشندگی مواد مختلف در شکل ۹-۶ نشان داده شده است. واضح است که ارتباط پیچیده‌ای بین این عوامل برقرار است. منحنی‌های پاشندگی معمولاً در دو ناحیه مختلف را به نمایش گذاشته می‌شود. در ناحیه پاشندگی بهنجار با افزایش فرکانس (یا کاهش طول موج) افزایش تدریجی در ضریب شکست مشاهده می‌گردد. نواحی پاشندگی بی‌هنجار (غیر عادی) محدوده‌ای از فرکانس است که در آن‌ها تغییر ناگهانی در ضریب شکست مشاهده می‌گردد. پاشندگی بی‌هنجار در فرکانس‌های تابشی ای اتفاق می‌افتد که با فرکانس مربوط به قسمتی از ملکول، اتم یا یون ماده مطابقت دارد. در چنین فرکانسی انتقال دائمی انرژی از تابش به ماده اتفاق می‌افتد و جذب پرتو مشاهده می‌شود. جذب در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد.

منحنی‌های پاشندگی در انتخاب مواد برای دستگاه‌های نوری اهمیت زیادی دارند. ماده‌ای که در محدوده طول موج مورد نظر پاشندگی بهنجار نشان می‌دهد مناسب‌ترین ماده برای ساخت عدسی‌ها می‌باشد. برای ساخت عدسی‌ها، ضریب شکست بالا و نسبتاً ثابت مطلوب‌تر است و با انتخاب چنین موادی انحراف به حداقل می‌رسد. در صورتی که برای ساخت منشورها از موادی با ضریب شکست بالا و وابسته به فرکانس، انتخاب بهتر است. در این صورت ناحیه طول موج قابل استفاده برای منشور به ناحیه پاشندگی بی‌هنجار ماده نزدیک‌تر خواهد شد.

شکافهای B و C خارج می‌شوند فرکانس ثابتی دارند. بنابراین همدوس هستند. اگر شکاف A پهن‌تر شود قسمت عمده‌ای از منبع وارد محیط شده و عمل پراش کاهش می‌یابد. در این صورت دو تابش نوری بطور جزئی همدوس می‌گردند. اگر شکاف A به اندازه کافی عریض باشد تابش غیر همدوس نیز می‌تواند به اندازه کافی بزرگ باشد در این صورت یک روشی ثابت در سرتاسر صفحه ایجاد می‌نماید.

۶-۷ عبور تابش

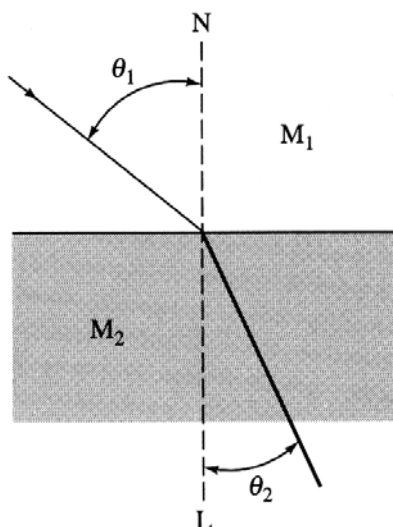
به طور تجربی مشاهده شده است، سرعتی که بوسیله اشعه در داخل یک ماده شفاف انتشار می‌یابد کمتر از سرعت آن در خلاء است. همین‌طور سرعت به نوع و غلظت اتم‌ها، یون‌ها و مولکول‌های موجود در ماده بستگی دارد. از این مشاهدات نتیجه گرفته می‌شود که تابش و ماده باید بطریقی بر یکدیگر تاثیر متقابل داشته باشند. زیرا تغییری در فرکانس مشاهده نمی‌شود، بنابراین تأثیر متقابل همراه یک انتقال دائم انرژی نمی‌تواند باشد. ضریب شکست یک محیط معیاری از تأثیر متقابل آن با تابش است و توسط معادله ۱۱-۶ تعریف می‌گردد.

$$\eta_i = \frac{c}{V_i} \quad (11-6)$$

در این معادله η_i ضریب شکست یک تابش مشخص و V_i سرعت تابش در محیط و c سرعت نور در خلاء است. معمولاً ضریب شکست برای بیشتر مایعات بین $1/3$ تا $1/8$ و در جامدات در محدوده $1/3$ تا $2/5$ یا بیشتر است. [۱] تأثیر متقابل در فرایند عبور را می‌توان به قطبی شدن‌های متناوب اتمی و گونه‌های مولکولی که محیط مادی تشکیل داده‌اند نسبت داد. قطبی شدن از به هم ریختن موقتی ابر الکترونی اتم‌ها یا مولکول‌ها که از طریق تابش در اطراف میدان الکترو مغناطیس متناوب حاصل می‌شود بوجود می‌آید. انرژی لازم برای قطبش فقط به طور لحظه‌ای (10^{-10} تا 10^{-14} ثانیه) توسط ذرات نگه داشته می‌شود به شرط اینکه تابش نشر شده جذب نشود وقتی که ماده به حالت اولیه بر می‌گردد این انرژی بدون تغییر دوباره نشر می‌گردد.

از آنجایی که هیچ تغییری انرژی در این فرایند وجود ندارد، فرکانس تابش نشر شده ثابت می‌ماند، ولی سرعت انتشار آن با گذشت زمان و انجام فرایند کند می‌شود. بنابراین عبور از درون یک محیط مادی ذره‌ای را می‌توان مانند یک فرایند مرحله‌ای شامل اتم‌ها، یون‌ها و یا

شده‌اند و به آسانی قابل تبدیل به ضریب شکست در خلاء با ضرب کردن در ضریبی از نسبت ضریب شکست هوا به خلاء انجام می‌پذیرد. این ضریب برابر: (هوا) $\eta = 1/0027\eta$ (خلاء) می‌باشد. چنین تبدیلی بندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱۰-۶ شکست نور در عبور از یک محیط مادی رقیق M_1 به محیط مادی با غلظت بیشتر M_2 که در این صورت سرعت نور کاهش می‌یابد.

۹-۶ بازتابش

وقتی که تابش از وجه سطح تماس محیط‌هایی که ضریب شکست مختلف دارند عبور می‌کند معمولاً بازتابش رخ می‌دهد، کسر بازتابیده از معادله ذیل بدست می‌آید.

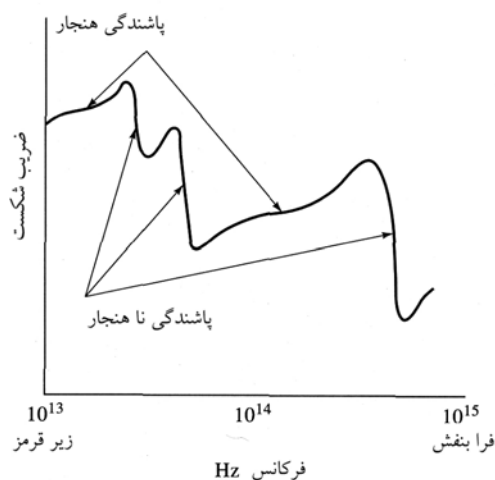
$$\frac{I_r}{I_o} = \frac{(\eta_r - \eta_i)^2}{(\eta_r + \eta_i)^2} \quad (15-6)$$

که در آن I_o شدت نور ورودی و I_r شدت نور بازتابیده شده می‌باشند. η_1, η_2 ضرایب شکست برای دو محیط می‌باشند.

مثال ۲-۶

درصد افت شدت نور ناشی از بازتابش پرتو نور زرد به هنگام عبور از یک سل شیشه‌ای حاوی آب را محاسبه کنید؟ اگر ضریب شکست پرتو زرد برای ظرف شیشه‌ای برابر $\eta = 1/5$ و برای آب $\eta = 1/33$ و برای هوا $\eta = 1$ باشد.

افت بازتابش برابر است با جمع کاهش هائیکه در هر سطح مشترک اتفاق می‌افتد. برای اولین سطح مشترک (هوا و شیشه) چنین



شکل ۹-۶ مثالی از منحنی پاشندگی

۸-۶ شکست نور

وقتی که تابش از یک محیط مادی به محیط دیگر با دانسیته‌های متفاوت وارد شود، تغییر شدیدی در جهت پرتو مشاهده می‌گردد، علت آن تفاوت در سرعت نور در دو محیط است. وقتی که پرتو از محیطی با دانسیته پائین به محیطی با دانسیته بالا وارد می‌شود، نظیر آنچه که در شکل ۱۰-۶ نشان داده شده است، انحراف به سمت خط عمود بر صفحه می‌باشد. دور شدن از خط عمود وقتی رخ می‌دهد که پرتو از یک محیط با دانسیته بالا وارد محیطی با دانسیته پائین گردد. اندازه شکست توسط قانون اسنل تعیین می‌گردد.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_r} = \frac{\eta_r}{\eta_i} = \frac{v_i}{v_r} \quad (12-6)$$

اگر در شکل ۱۰-۶ محیط M_1 خلاء باشد، v_i برابر c می‌باشد و η_i برابر واحد است (به معادله ۱۱-۶ مراجعه نمایند) با نورآرایی معادله ۱۲-۶ معادله‌ای به صورت ساده زیر خواهیم داشت.

$$(\eta_r)_{\text{خلاء}} = \frac{(\sin \theta_1)}{\sin \theta_r} \quad (13-6)$$

ضریب شکست در محیط M_2 را می‌توان از θ_1 (خلاء) و θ_2 که قابل اندازه‌گیری هستند بدست آورد. برای سهولت در اندازه‌گیری شکست نور معمولاً ترجیح داده می‌شود که نسبت به هوا سنجیده شود تا اینکه نسبت به خلاء، در این صورت ضریب شکست نور به صورت زیر خواهد بود.

$$(\eta_r)_{\text{هوا}} = \frac{(\sin \theta_1)}{\sin \theta_r} \quad (14-6)$$

اغلب ضریب شکست‌های موجود براساس معادله ۱۴-۶ محاسبه

می‌توان نوشت

۱۰-۶ پراکندگی تابش

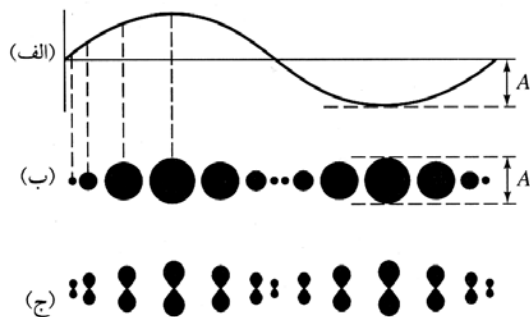
همان‌طور که قبلاً بیان شد عبور تابش از درون ماده را می‌توان به صورت بازدارنده لحظه‌ای انرژی تابشی بوسیله اتمها، یون‌ها یا مولکول‌ها تصور کرد و در پی آن همچنان که ذرات به حالت اولیه خود بر می‌گردند، تابش در تمام جهات مجدداً نشر می‌گردد. ذرات اتمی و مولکولی که نسبت به طول موج اشعه تابشی کوچک هستند، تداخل تخریبی تقریباً تمامی تابش‌های دوباره نشر شده را حذف می‌کند بجزء تابش‌هایی که در مسیر اصلی پرتو حرکت می‌کنند. به نظر می‌رسد که مسیر پرتو در نتیجه تأثیر متقابل تغییر نمی‌کند. مشاهدات دقیق نشان می‌دهد که یک بخش بسیار کوچک از تابش در تمام زوایا از مسیر اولیه خارج می‌گردد و شدت پراکندگی با افزایش اندازه ذرات افزایش می‌یابد.

پراکندگی رایلی

پراکندگی توسط مولکول‌ها یا مجموعه‌ای از مولکول‌ها که ابعاد کوچکتر از طول موج تابشی دارند پراکندگی رایلی گویند. شدت این پراکندگی با معکوس توان چهار طول موج، ابعاد ذرات پراکنده کننده و توان دوم قطبش پذیری ذرات متناسب است. تجلی هر روزه پدیده پراکندگی رایلی، آبی بودن رنگ آسمان است که در اثر پراکندگی بسیار زیاد طول موج‌های کوتاهتر طیف مرئی به وقوع می‌پیوندد.

پراکندگی توسط مولکول‌های بزرگ

در مورد ذراتی با ابعاد کلونیدی، پراکندگی به قدری افزایش می‌یابد که حتی با چشم غیر مسلح نیز دیده می‌شود (اثر تیندال). اندازه‌گیری بازتابش ذرات در تعیین اندازه و شکل مولکول‌های پلی مری و ذرات کلونیدی استفاده می‌شود.



شکل ۱۱-۶ تابش قطبیده شده و صفحه قطبیده شده (الف) نمای مقطع پرتو تکفام (ب) نمای انتهایی تابش قسمت الف اگر به صورت غیر قطبیده باشد، (ج) نمای تهتانی تابش قسمت الف روی صفحه قطبیده روی محور عمودی.

$$\frac{I_{r1}}{I_o} = \frac{(1/50 - 1/100)^2}{(1/50 + 1/100)^2} = 0.040$$

شدت پرتو به $0.960I_o = (I - 0.040I_o)$ کاهش یافته و افت بازتابش در سطح مشترک سل شیشه به آب خواهد بود.

$$\frac{I_{r2}}{0.960I_o} = \frac{(1/50 - 1/33)^2}{(1/50 + 1/33)^2} = 0.036$$

$$I_{r2} = 0.035I_o$$

شدت پرتو باز هم کاهش یافته به مقدار

$$0.957I_o = (0.960I_o - 0.035I_o) \text{ می‌رسد. در سطح مشترک آب}$$

به شیشه خواهیم داشت

$$\frac{I_{r3}}{0.957I_o} = \frac{(1/50 - 1/33)^2}{(1/50 + 1/33)^2} = 0.036$$

$$I_{r3} = 0.035I_o \text{ و شدت پرتو می‌شود } 0.953I_o.$$

سرانجام بازتاب در دومین سطح مشترک شیشه به هوا خواهد بود.

$$\frac{I_{r4}}{0.953I_o} = \frac{(1/50 - 1/100)^2}{(1/50 + 1/100)^2} = 0.040$$

$$I_{r4} = 0.038I_o$$

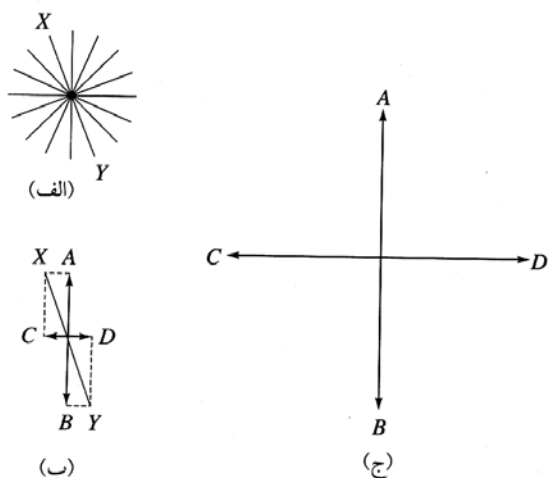
مقدار کل افت بازتابش I_{rt} هست:

$$I_{rt} = 0.040I_o + 0.035I_o + 0.035I_o + 0.038I_o = 0.148I_o$$

و

$$\frac{I_{rt}}{I_o} = 0.148 \text{ یا } 14.8\%$$

در فصول بعدی افت‌هایی بیان شده در مثال ۶-۲ را خواهیم دید. افت ناشی از بازتابش دو سطح صیقلی شده یا سطوح کوتازی با افزایش زاویه تابش تا زاویه ۶۰ درجه تنها به مقدار جزئی افزایش می‌یابد. بهر حال پس از این حالت درصد تابش بازتاب شده به سرعت افزایش می‌یابد و از ۹۰ درجه ۱۰۰ درجه می‌رسد.



شکل ۶-۱۲: الف چند بردار الکتریکی پرتو عمود بر صفحه کاغذ (ب) تفکیک یک بردار در صفحه XY به دو جزء سازنده عمود بر هم (ج) متوجه وقتی که تمام بردارها تفکیک شده‌اند (مقیاس رعایت نشده است)

تابش مرئی و فرابنفش قطبیده از طریق عبور تابش از میان محیط‌های که دارای جذب انتخابی، انعکاس و انکسار که بر روی یک سطح نوسان کنند، تولید می‌گردد.

۶ ج خواص مکانیک کوانتومی تابش

وقتی که تابش الکترو مغناطیسی نشر یا جذب می‌گردد یک انتقال دائم انرژی از جسم نشر کننده یا جذب کننده رخ می‌دهد. به منظور تشریح چنین پدیده‌هایی لازم است که تابش الکترو مغناطیس را به صورت مجموعه‌ای از موج تلقی نکنیم، بلکه بهتر است که آنها را به صورت بسته‌های مجزا از ذراتی بنام فوتون یا کوانتا در نظر بگیریم. با توجه به اثر فوتوالکتریک، نیاز به داشتن یک مول ذره‌ای حتمی بنظر می‌رسد.

۶ ج-۱ اثر فوتوالکتریک

اولین مشاهده اثر فوتوالکتریک در سال ۱۸۸۷ توسط هنریش هرتز صورت گرفت. او گزارش کرد که جرقه بین دو گره باردار زمانی که به سطح آن‌ها نور تابیده شود راحت‌تر ایجاد می‌گردد. در فاصله زمانی بین مشاهده این پدیده و بیان نظریه اثر فوتوالکتریک که در سال ۱۹۰۵ توسط انیشتین انجام گرفت، مطالعات مهمی در مورد اثر فوتوالکتریک صورت پذیرفت که هم اکنون به عنوان لامپ نوری در خلاء شناخته می‌شود. توضیحات انیشتین در مورد اثر فوتوالکتریک هم ساده بود و هم زیبا، ولی نسبت به آن زمان بسیار

پراکندگی رامان

اثر این پراکندگی با پراکندگی معمولی تفاوت دارد. بدین معنی که تابشی پراکنده شده کوانتیده و دارای فرکانس تغییر یافته می‌باشد. این تغییرات در اثر انتقالات بین ترازهای انرژی اتفاق می‌افتد، که در اثر فرایند قطبش در مولکول پدید می‌آیند. طیف بینی رامان در فصل ۱۸ توضیح داده خواهد شد.

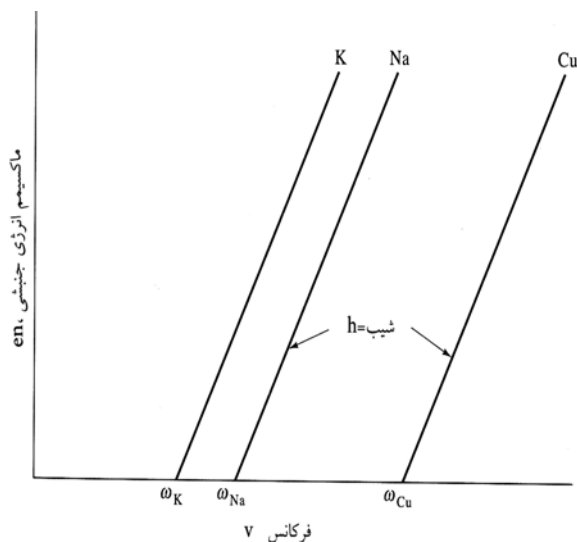
۶ ب-۱۱ قطبش تابش

تابش معمولی دسته‌ای از امواج الکترو مغناطیس است که در آنها ارتعاشات بطور یکسان بین یک سری صفحات که در طول مسیر تابش قرار دارند توزیع شده‌اند. اگر به قسمت انتهایی این دسته شعاع تک فام نگاه کنیم یک پرتو تک فام را می‌توان به صورت یک دسته بردارهای الکتریکی دید. که اندازه آن از صفر تا ماکزیمم دامنه نوسان A متغیر است. شکل ۶-۱۱ ب مقطع انتهایی چنین برداری را که در زمان‌های مختلف از یک موج تکفام در یک نقطه معین در فضا عبور می‌کند را نشان می‌دهد.

شکل ۶-۱۲ الف تعدادی از بردارهای شکل ۶-۱۱ الف را در لحظه‌ای که موج در حالت ماکزیمم است نشان می‌دهد. بردار در هر یک از این صفحات مثلاً XY ترسیم شده در شکل ۶-۱۱ الف را می‌تواند به دو جزء سازنده عمود بر هم مثل AB و CD تفکیک گردد. اگر این دو جزء سازنده برای تمام صفحات نشان داده شده در شکل ۶-۱۲ الف ترکیب شوند بر آیند آنها نمایی از شکل ۶-۱۲ ج خواهد داشت. حذف یکی از این دو صفحه ارتعاشی برآیندی را که در شکل ۶-۱۲ ج نشان داده شده است را ایجاد می‌کند که قطبیده مسطح است. بردار الکتریکی حاصل یک پرتو قطبیده مسطح، یک صفحه را در فضا اشغال می‌کند. شکل ۶-۱۱ ج مقطع انتهایی یک پرتو تابش قطبیده مسطح را در فواصل زمانی مختلف نشان می‌دهد.

تابش الکترو مغناطیس قطبیده مسطح توسط بعضی از منابع انرژی تابشی تولید می‌شود. برای مثال موج‌های رادیویی خارج شده از یک آنتن و زیر موج‌های حاصل از لوله کلیسترون^۱ هر دو قطبیده مسطح هستند. نور مرئی و فرابنفش حاصل از آسایش اتم یا مولکول برانگیخته تک نیز قطبیده می‌باشد. ولی پرتو حاصل از چنین منبعی قطبیت خالص ندارد چون خود از قطار موجهای مجزا تشکیل شده که آن نیز توسط اجزاء مولکولی یا اتمی مجزای متعدد ایجاد شده است.

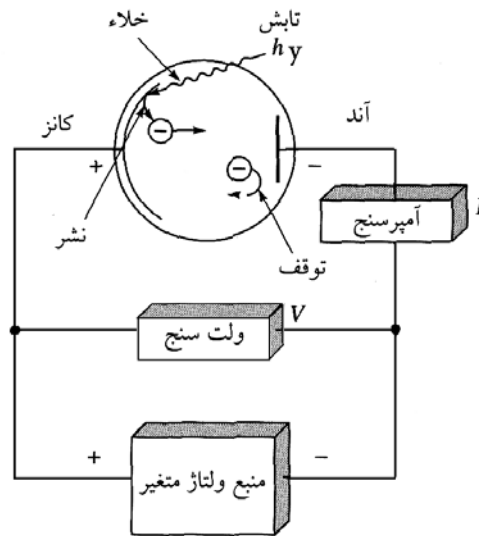
(V_0) یادداشت می‌گردد. ولتاژ منفی چنین جریان نوری زیر صفر است و ولتاژ متوقف‌کننده نام دارد و آن مربوط به پتانسیل الکترونی‌هایی با انرژی بسیار بالا است که از کاتد می‌آیند و توسط آند دفع می‌گردند. وقتی که ولتاژ متوقف‌کننده را دربار الکترون ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ کولن) ضرب کنیم، یک مقیاس برای اندازه‌گیری انرژی سیتیک برحسب ژول برای الکترون‌های نشر شده با انرژی بالا را می‌دهد. وقتی که این آزمایش برای یک پرتو تکفام در فرکانس‌های مختلف تکرار کرد، نتایج زیر مشاهده می‌گردد.



شکل ۶-۱۴ انرژی سیتیک ماکزیمم فتوالکترون‌های نشر شده از سطح سه فلز برحسب فرکانس تابشی

- ۱- هنگامی که تابشی با فرکانس ثابت بر روی آندی با پتانسیل اعمال شده کوچک منفی متمرکز شود جریان فوتون رابطه مستقیم با شدت تابش ورودی دارد.
- ۲- میزان متوقف‌کننده بستگی به فرکانس تابشی دارد که به کاتد برخورد می‌کند.
- ۳- ولتاژ متوقف‌کننده بستگی به ترکیب شیمیایی روکش فوتو کاتد دارد.
- ۴- ولتاژ متوقف‌کننده به شدت تابش برخورد کننده بستگی ندارد. مشاهدات بیانگر این است که تابش الکتروود مغناطیس شکلی از انرژی است که الکترون‌ها را از سطوح فلزی منتشر می‌کند و به این الکترون‌ها انرژی سیتیک لازم را می‌دهد تا باعث شود که الکترون‌ها به طرف الکتروود منفی بروند. بنابراین تعداد فوتو الکترونیایی که منتشر می‌گردند رابطه مستقیم با شدت تابش ورودی دارد.

پیشرفته بود، به طوری که تا سال ۱۹۱۶ به عنوان یک نظریه قابل پذیرش توسط عموم دانشمندان نبود. تا اینکه که مطالعات سیستماتیک میلیکان بحث و نتیجه‌گیری‌های نظریه انیشتین را با جزئیات آشکار کرد.



شکل ۶-۱۳ دستگاه مطالعه اثر فتوالکترونیک

شکل ۶-۱۳ نمایی از مدار لامپ نوری مشابه آنچه که میلیکان برای مطالعه اثر فتوالکترونیک بکار برده بود را نشان می‌دهد. سطح بزرگ کاتد در سمت چپ معمولاً با یک فلز قلیایی یا یکی از ترکیبات آن پوشیده می‌شود. از سایر فلزات نیز می‌توان استفاده کرد. وقتی که تابش تکفام به کاتد برخورد می‌کند الکترون‌ها از سطح آن خارج می‌شوند، که دارای انرژی سیتیک در محدوده معین هستند. هر گاه ولتاژ مثبتی به اندازه V بین کاتد و آند اعمال گردد، الکترون‌ها از سمت چپ به راست در درون لامپ نوری برای تولید جریان I در مدار حرکت می‌کند. اگر ولتاژی که از لامپ نوری عبور می‌کند طوری تنظیم شود که آند نسبت به کاتد کمی منفی تر باشد، فوتوالکترون‌ها بوسیله آند دفع می‌گردند و جریان نوری همان طور که انتظار می‌رود کاهش می‌یابد. در این قسمت از آزمایش بعضی از الکترون‌ها هنوز دارای انرژی سیتیک لازم برای مقابله با انرژی پتانسیل منفی اعمال شده در آند را داشته و جریان هنوز دیده می‌شود.

این آزمایش ممکن است که برای لامپ نوری با کاتدهای مختلف نیز انجام شود. در هر آزمایش جریان نور به عنوان تابعی از ولتاژ داده شده اندازه‌گیری می‌شود و ولتاژ زیر صفر چنین جریانی

باید توجه داشت، اگر چه انرژی فوتون مستقیماً به فرکانس بستگی دارد ولی با طول موج رابطه عکس دارد.

مثال ۳-۶

انرژی (الف) یک فوتون تابش ایکس با طول موج $5/3 \text{ \AA}$ و (ب) یک فوتون تابش مرئی با طول موج 530 nm را محاسبه کنید.

$$E = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

(الف)

$$E = \frac{(6/36 \times 10^{-27} \text{ J.s}) (3/0 \cdot 0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})}{(5/30 \text{ \AA}) (10^{-10} \text{ mA}^{-1})} = 3/75 \times 10^{-16} \text{ J}$$

انرژی تابشی ناحیه ایکس معمولاً به صورت الکترون ولت بیان می‌گردد. و آن مقدار انرژی است که یک الکترون لازم دارد تا بوسیله یک پتانسیل یک ولتی شتاب گرفته بگیرد. جدول تبدیل در پشت جلد این کتاب آمده است.

$$1 \text{ J} = 6/24 \times 10^{18} \text{ eV}$$

$$E = (3/75 \times 10^{-16} \text{ J}) (6/24 \times 10^{18} \text{ eV/J}) = 2/34 \times 10^3 \text{ eV}$$

(ب)

$$E = \frac{(6/63 \times 10^{-27} \text{ J.s}) (3/0 \cdot 0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})}{(530 \text{ nm}) (10^{-9} \text{ m/nm})} = 3/75 \times 10^{-19} \text{ J}$$

انرژی تابشی در ناحیه مرئی اغلب به صورت kJ/mol بیان می‌شود تا فوتون kJ/ هدف از این عمل بررسی رابطه بین انرژی جذب فوتون و انرژی پیوندهای شیمیایی می‌باشد.

$$E = (3/75 \times 10^{-19} \text{ J/فوتون}) \frac{(6/0 \cdot 22 \times 10^{23} \text{ فوتون})}{\text{mol}} \times 10^{-3} \text{ kJ/J}$$

$$E = 226 \text{ kJ/mol}$$

نتایج این آزمایشات با رسم خطوط در شکل ۱۴-۶ نشان داده شده است، که در آن انرژی سینتیک ماکزیمم یا انرژی متوقف کننده eV_0 فوتو الکترون‌ها بر حسب فرکانس برای فوتو کاتدهایی که سطح پوشیده از پتاسیم، سدیم، مس رسم شده‌اند. از طرفی خطوط رسم شده شیب یکسان، (h) اما محل برخورد مختلف، (w) را نشان می‌دهند. خطوط رسم شده در شکل ۱۴-۶ با استفاده از معادله ۱۶-۶ توصیف می‌شود.

$$eV_0 = hv + w \quad (16-6)$$

که در آن h ثابت پلانک و شیب معادله است که مساوی $6/6254 \times 10^{-34} \text{ ژول بر ثانیه}$ می‌باشد و محل تقاطع w تابع کار می‌باشد و ثابتی است که ماهیت سطح ماده را مشخص می‌کند. تقریباً ده سال قبل از میلاد که منجر به نوشتن معادله ۱۶-۶ شد، انیشتین رابطه بین فرکانس نور (v) و انرژی (E) را توسط معادله‌ای که امروزه بسیار معروف است و در زیر آمده است تشریح کرد.

$$E = hv \quad (17-6)$$

با جاگذاری معادله انیشتین در معادله ۱۶-۶ و نوآوری آن داریم.

$$E = hv = eV_0 - w \quad (18-6)$$

این معادله نشان داد که انرژی حاصل از یک فوتون مساوی است با انرژی سینتیک حاصل از فوتو الکترون خارجی منهای انرژی که لازم است تا فوتو الکترون از سطح خارجی جسم مورد تابش منتشر شود. اثر فوتو الکترونیک را نمی‌تواند با نظریه موجی تشریح گردد، و با مدل ذره‌ای توجیح می‌شود که در آن تابش همانند هاله‌ای از بخار دارای انرژی است. برای مثال محاسبات انجام شده نشان داده که هیچ الکترون منفردی نمی‌تواند انرژی کافی برای ترک سطح الکترون بدست آورد، مگر اینکه تابش برخورد کننده به سطح بطور یکنواخت در تمام سطوح الکترون پخش شود. این موضوع در نظریه موجی مطرح است که هیچ الکترونی نمی‌تواند به سرعت انرژی کافی برای برقراری جریان در یک زمان مناسب ذخیره کند. بنابراین لازم است که فرض کنیم توزیع انرژی در تابش بطور یکنواخت نبوده بلکه به صورت بسته یا دسته‌هایی از ذرات انرژی باشد.

معادله ۱۸-۶ می‌تواند با جانشین کردن معادله ۲-۶ به شکل موجی طرح گردد که در این صورت داریم.

$$E = h \frac{c}{\lambda} = eV_0 - w \quad (19-6)$$

ج-۲ حالت‌های انرژی گونه‌های شیمیایی

تئوری گوانتمی توسط ماکس پلانک فزیکدان آلمانی در سال ۱۹۹۰ مطرح گردید، او خواص تابش نشری را توسط اجسام گرم شده بیان نمود. این تئوری بعدها بسط داده شد تا سایر فرآیندهای نشر و جذب‌ها تفسیر گردد. دو فرضیه مهم نظریه کوانتومی عبارتند از:

تابعی از طول موج یا فرکانس تعیین می‌گردد. شکل ۶-۱۵ یک نوع طیف نوری را با تزریق محلول نمک در شعله اکسیژن - هیدروژن را نشان می‌دهد. سه نوع طیف خطی، نواری و یکنواخت پیوسته در شکل ۶-۱۵ نشان داده شده است. طیف خطی که تشکیل شده از یک سری پیک‌های تیز و کاملاً مشخص که از تحریک اتمهای مجزا بوجود می‌آیند. طیف نواری حاوی چندین گروه خطی است که خیلی به هم نزدیک اند، به طوری که کاملاً از هم تفکیک نشدنی هم نیستند. منبع طیف‌های نواری مولکول‌های کوچک یا رادیکال‌ها می‌باشند. سرانجام بخش پیوسته طیف مسئول افزایش زمینه می‌باشد که بالای تقریباً ۳۵۰ نانومتر آشکار می‌باشد. طیف‌های خطی و نواری بر روی طیف پیوسته یکنواخت منطبق بوده و منشاء طیف پیوسته یکنواخت در صفحه ۱۴۱ این کتاب توضیح داده شده است.

شکل ۶-۱۶ طیف نوری پرتو ایکس را که از بمباران مولبدن توسط جریان الکتریکی پر انرژی تولید شده است را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که در شکل ۶-۱۶ طیف خطی بر روی یک طیف پیوسته سوار است. منشاء طیف پیوسته در بخش ۱۲ الف - توضیح داده شده است.

طیف‌های خطی

طیف‌های خطی در ناحیه فرابنفش و مرئی هنگامی حاصل می‌شود که گونه‌های تابش کننده ذرات اتمی مجزا باشند و به خوبی در فاز گازی تفکیک شوند. ذرات مجزا در گاز رفتار مستقل نسبت به یکدیگر داشته و طیف‌ها حاوی یک سری خطوط تیز با پهنای 10^{-4} \AA دارند. در شکل ۶-۱۵ خطوط طیف برای فاز گازی سدیم، پتاسیم، استرانسیم و کلسیم رسم شده است.

نمودار سطوح انرژی در شکل ۶-۱۷ الف منبع دو خط از یک نوع طیف نوری یک عنصر را نشان می‌دهد. خط افقی که با E_0 نشان داده شده است مربوط به سطح انرژی پائین یا حالت پایه انرژی یک اتم است. خطوط افقی نشان داده شده با E_1 و E_2 مربوط به دو تراز الکترونی با انرژی بالاتر می‌باشد. برای مثال: انرژی الکترون فرد لایه خارجی در حالت پایه E_0 برای اتم سدیم در اوربیتال $3s$ قرار دارد. E_1 انرژی این اتم را وقتی که همین الکترون به اوربیتال $3p$ از طریق جذب انرژی حرارتی، الکتریکی و یا انرژی تابشی انتقال می‌یابد را نشان می‌دهد. این انتقال توسط خطوط زیگزاک پیکان دار در سمت چپ شکل ۶-۱۷ الف نشان داده شده است که پس از 10^{-8} ثانیه به حالت پایه اتمی خود برمی‌گردد. فرکانس و طول موج نشر یک فوتون از رابطه ۶-۲۰ بدست می‌آید.

۱- اتمها، یونها و مولکول‌ها تنها به دو حالت مجزا می‌توانند وجود داشته باشند و توسط مقادیر معین انرژی مشخص می‌گردند. وقتی که یکی از گونه‌ها تغییر حالت می‌دهد و یا یک مقدار از انرژی خود را نشر می‌کند این مقدار انرژی دقیقاً برابر با اختلاف انرژی بین حالات است.

۲- وقتی که اتمها و یا مولکول‌ها جذب یا نشر تابشی می‌کنند و از یک تراز انرژی به تراز دیگر می‌روند فرکانس ν یا طول موج λ تابش با اختلاف انرژی بین حالات رابطه داشته و توسط معادله زیر تعیین می‌گردد.

$$E_1 - E_0 = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (6-20)$$

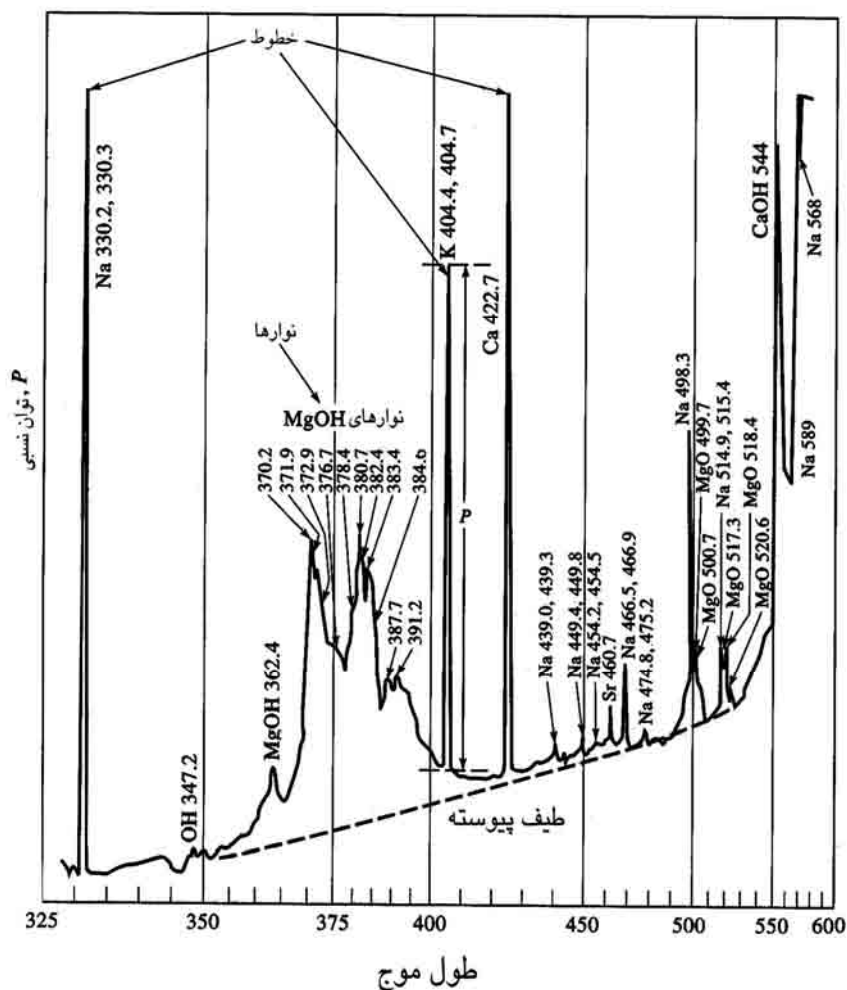
که در آن E_1 تراز انرژی بالاتر و E_0 تراز انرژی پائین تر می‌باشد. h و c به ترتیب سرعت نور و ثابت پلانک می‌باشند. برای اتمها و یونها در حالت پایه، انرژی داده شده باعث افزایش سرعت حرکت الکترونها به دور هسته می‌شود. در نتیجه حالات مختلف انرژی را حالات الکترونی می‌نامند. علاوه بر داشتن حالات الکترونی، مولکول‌ها دارای حالت ارتعاشی گوانته یا گسسته بوده که با انرژی ارتعاشات درونی و چرخشی گوانته که از چرخش مولکول‌ها حول مراکز ثقل ناشی می‌شود همراه است.

پائین‌ترین حالت انرژی یک اتم یا مولکول حالت پایه نامیده می‌شود. حالات انرژی بالاتر به عنوان حالت‌های برانگیخته نامیده می‌شود که عموماً در دمای اتاق ترکیبات شیمیایی در حالت پایه خودشان قرار دارند.

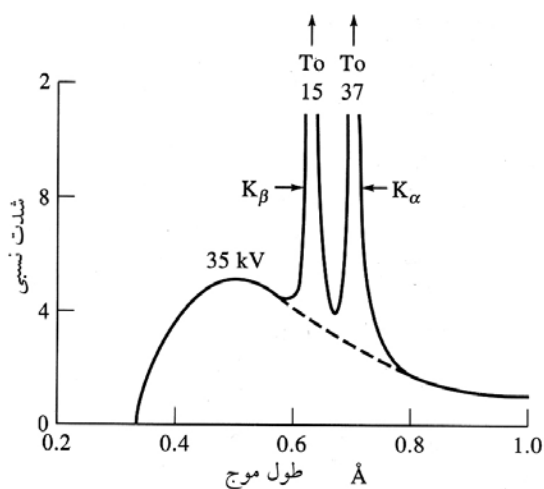
۶-۳- نشر تابش

زمانی که ذرات برانگیخته (اتم‌ها، یونها یا مولکول‌ها) با از دست دادن انرژی اضافی خود به صورت فوتون به ترازهای انرژی پایینتر بر می‌گردند، تابش الکترو مغناطیسی حاصل می‌شود. برانگیختگی می‌تواند به طرق مختلف ایجاد شود که عبارتند از (۱) بمباران کردن بوسیله الکترون‌ها و یا سایر ذرات بنیادی که عموماً منجر به تابش اشعه ایکس می‌شود؛ (۲) با قراردادن در معرض جرقه جریان الکتریکی ac یا گرمای شعله، قوس الکتریکی، یا کوره که تولید تابش ماوراء بنفش، مرئی، یا مادون قرمز می‌کند. (۳) تاباندن پرتوای از تابش الکترو مغناطیسی که تولید تابش فلورسانس می‌کند و یک واکنش شیمیایی گرمازا که تولید نورتابی شیمیایی می‌کند.

تابش از یک منبع برانگیخته به راحتی بوسیله طیف نوری که معمولاً به صورت نموداری از توان نسبی تابش نشر شده به صورت



شکل ۱۵-۶ طیف نشری یک محلول نمک به دست آمده با شعله اکسیژن - هیدروژن



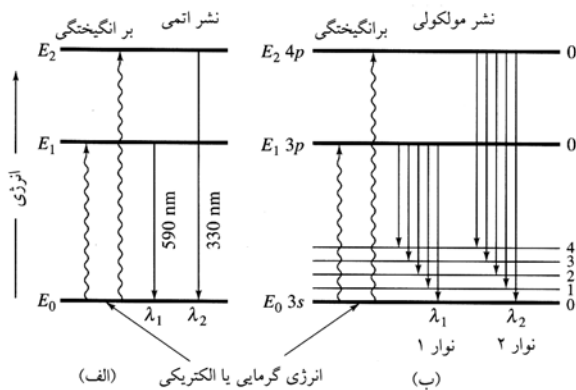
شکل ۱۶-۶ طیف نشری تابش ایکس فلز مولیبدن

$$\nu_1 = \frac{E_1 - E_0}{h}$$

$$\lambda_1 = \frac{hc}{E - E_0}$$

فرایند نشر توسط پیکانهای صاف در سمت راست شکل ۱۷-۶ الف مشخص شده است. E_2 برای اتم سدیم در شکل ۱۷-۶ برای حالت پر انرژی تر ϵp می باشد. نتیجه آنکه تابش نشر یافته به صورت λ_2 در طول موج های کوتاهتر یا فرکانس بالاتر ظاهر می شود. حدود ۳۳۰ نانومتر در شکل ۱۵-۶ مربوط به این نوع انتقال است و انتقال از $3p$ به $3s$ خطی در محدوده ۵۹۰ نانومتر را ایجاد می کند.

قدری آهسته است که آسایش با آزاد سازی فوتون همراه است. نمودار ترازهای انرژی در شکل ۱۷-۶ ب نشان می‌دهد که مکانیسم از طریق دو نوار تابشی که حاوی پنج خط طیفی نزدیک به هم به وسیله مولکول تحریک شده از طریق انرژی حرارتی و الکتریکی انتشار می‌یابد. برای مولکول‌های حقیقی تعداد خطوط مجزا خیلی بزرگتر است زیرا علاوه بر تعداد زیاد حالت‌های ارتعاشی چندین حالت چرخشی می‌تواند بر روی هم منطبق باشد. اختلاف میان انرژی ترازهای چرخشی شاید از لحاظ بزرگی کوچکتر از حالت ارتعاشی آن باشد. بنابراین طیف یک مولکول حقیقی ممکن است از تعداد بیشتری خطوط که در شکل ۱۷-۶ ب نشان داده شده است تشکیل شده باشد. این خطوط خیلی نزدیک به هم می‌باشند.



شکل ۱۷-۶ نمودارهای سطح انرژی برای (الف) یک طیف خطی اتم سدیم و (ب) یک طیف نواری یک مولکول ساده را نشان می‌دهد.

طیف‌های پیوسته یکنواخت

همانطور که در شکل ۱۸-۶ نشان داده شده است تابش یکنواخت پیوسته حقیقی وقتی ایجاد می‌شود که به جامدات حرارت داده می‌شود تا ملتهب شوند. تابش‌های حرارتی از این نوع را تابش جسم سیاه می‌نامند که دمای سطح نشر کننده مهم‌تر از ماده‌ای است که سطح نشر کننده از آن ساخته شده است. تابش جسم سیاه به وسیله تعدادی بیشماری اتم یا مولکول برانگیخته در اثر جذب انرژی حرارتی از یک جسم جامد متراکم تولید می‌شود. توجه داشته باشید انرژی ماکزیمم در شکل ۱۸-۶ به سمت طول موج‌های کوتاهتر با افزایش دما منتقل می‌شود. آشکار است که دمای بسیار بالا موجب برانگیختگی منبع حرارتی برای نشر قسمی از تابش خود به صورت تابش‌های فرابنفش می‌گردد.

خطوط طیفی تابش ایکس همچنین از طریق انتقالات الکترونی تولید می‌شود. در این حالت الکترون اوربیتال‌های درونی درگیر هستند، بنابراین برخلاف نشر فرابنفش و مرئی، طیف تابش ایکس برای یک عنصر مستقل از محیط اطراف خود می‌باشد. برای مثال طیف نشری برای مولیبدن بدون توجه به آنکه نمونه برانگیخته شده فلز مولیبدن یا مولیبدن سولفیت جامد، یا مولیبدن هگزا فلورئورید گازی یا محلول آبی کمپلکس‌های آنیونی فلز یکسان می‌باشد.

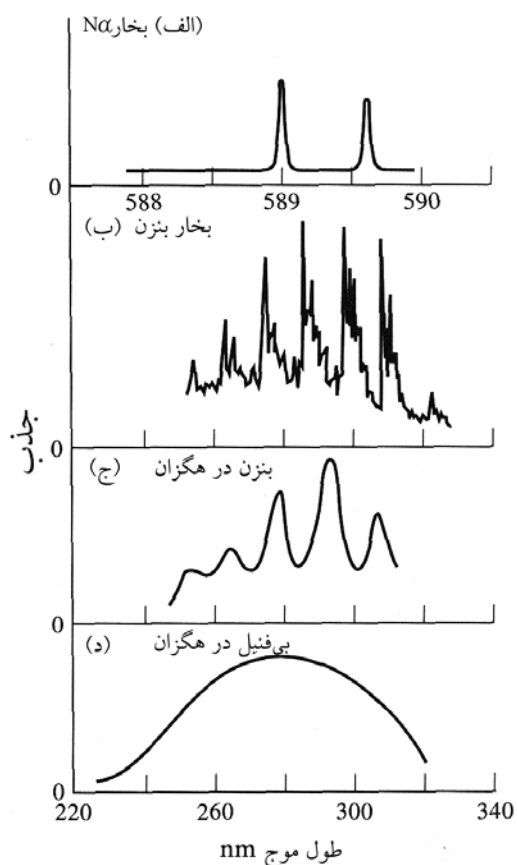
طیف‌های نواری

طیف‌های نواری اغلب از منابع طیفی همچون رادیکال‌های گازی یا مولکول‌های کوچک بروز و ظهور پیدا می‌کنند. برای مثال در شکل ۱۵-۶ نوارهای OH، MgOH، و MgO نشان داده شده است که از یک سری خطوط طیفی نزدیک بهم تشکیل شده‌اند و دستگاهی که برای طیف‌سنجی بکار گرفته شده است به خوبی تفکیک انجام نداده است. نوارها از تعدادی تراز ارتعاشی گوانتیده که سطح ترازهای الکترونی حالت پایه مولکولی است تشکیل شده‌اند.

شکل ۱۷-۶ ب: نمودار تراز انرژی فرعی برای یک مولکول که در حالت پایه خود E_0 قرار دارد و دو حالت از چندین حالت برانگیخته الکترونی E_1 و E_2 را نشان می‌دهد. چند تراز ارتعاشی هم به همراه حالت پایه نیز نشان داده شده است. ترازهای ارتعاشی همراه با دو حالت برانگیخته حذف شده است، زیرا طول عمر حالت‌های ارتعاشی برانگیخته در مقایسه با حالت‌های برانگیخته الکترونی (در حدود 10^{-15} ثانیه نسبت به 10^{-8} ثانیه) کوتاه است. علت این اختلاف زیاد این است، زمانیکه الکترون به یکی از سطوح ارتعاشی بالاتر برانگیخته می‌شود آسایش الکترونی آن به پائین تر سطح ارتعاشی آن که قبل از حالت انتقال الکترونی در حالت پایه داشت می‌رسد. بنابراین تابش توسط برانگیختگی الکترونی یا حرارتی در ترکیبات چند اتمی ایجاد شده و همیشه نتیجه انتقال از پائین‌ترین سطح ارتعاش حالت الکترونی برانگیخته به سمت ترازهای ارتعاشی حالت پایه است.

مکانیسمی که توسط آن یک گونه که از لحاظ ارتعاشی برانگیخته است به پائین‌ترین حالت الکترونی آسایش می‌رسد شامل انتقال انرژی اضافی به اتمهای دیگر سیستم از طریق یک سری برخورد است. باید توجه داشت که این فرایند در سرعت‌های بسیار بالا اتفاق می‌افتد. آسایش از یک حالت الکترونی به حالت دیگر نیز می‌تواند بوسیله برخورد و انتقال انرژی اتفاق بیافتد، اما سرعت این فرایند به

شکل ۱۹-۶ چهار نمونه از طیف‌های جذبی در اشکال بسیار متنوع را نشان می‌دهد. برخی از پیک‌های تیز هستند در حالی که سایرین دارای منحنی‌های پیوسته و هموار دارند. عموماً طبیعت یک طیف تحت تأثیر برخی عوامل متغییر و پیچیده فیزیکی و شرایط محیطی گونه جذب کننده قرار می‌گیرند، اساساً طیف‌های جذبی اتمها و طیف‌های جذبی ملکولها یکسان نیست.

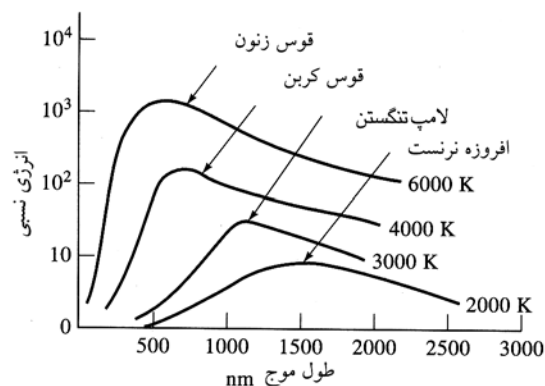


۱۹-۶ برخی طیف‌های جذبی فرابنفش نوعی

جذب اتمی

عبور تابش چند فام فرابنفش یا مرئی از ماده ای که حاوی ذرات تک اتمی مانند جیوه یا سدیم گازی می‌باشند جذب انجام شده و فرکانس‌های کاملاً مشخصی را میدهد (به شکل ۱۹-۶ الف نگاه کنید). سادگی نسبی چنین طیف‌هایی به خاطر تعداد کم حالت‌های مختلف انرژی برای ذرات جذب کننده است. تحریک فقط از طریق فرایندهای الکترونی که یک یا چند الکترون از اتم به تراز انرژی بالاتر صعود می‌کند، اتفاق می‌افتد. برای مثال بخار سدیم دو نوع پیک

همان طور که قبلاً اشاره شد بخشی از زمینه تابش پیوسته یکنواخت به صورت طیف شعله‌ای در شکل ۱۵-۶ نشان داده شد که احتمالاً نشر حرارتی است و فروختگی ذرات در شعله حادث می‌شود. توجه داشته باشید که برافروختگی با نزدیک شدن به سمت ناحیه فرابنفش سریعاً کاهش می‌یابد. اجسام حرارت دیده منابع مهمی برای تابش‌های زیر قرمز و مرئی هستند و طول موج بلندتر تابش فرابنفش، منبع خوبی برای دستگاه‌های تجربه‌ای می‌باشند.



شکل ۱۸-۶ منحنی تابش اجسام سیاه

ج-۴ جذب تابش

هنگامی که تابشی از یک لایه جامد، مایع و یا گاز عبور می‌کند، فرکانس‌های ویژه‌ای ممکن است به طور انتخابی توسط فرایند جذب حذف شوند، و این فرایندی است که در آن انرژی الکترو مغناطیس به اتمها، ملکولها و یونهای تشکیل دهنده نمونه منتقل می‌شود. جذب انرژی این ذرات را از حالت عادی در دمای اتاق یا حالت پایه به سمت حالت‌های برانگیخته با انرژی بیشتر ارتقاء می‌دهد.

طبق نظریه کوانتمی، اتمها، مولکول یا یونها تنها دارای تعداد محدودی سطح انرژی مجزا هستند. برای اینکه جذب تابشی اتفاق بیافتد انرژی برانگیختگی فوتون می‌بایست دقیقاً برابر اختلاف انرژی بین حالت پایه و حالت برانگیخته نمونه جذب کننده باشد. این اختلاف مبنای انرژی برای هر یک از نمونه‌ها است. مطالعه فرکانس‌های تابش جذب شده وسیله‌ای است برای تعیین ماهیت اجزاء تشکیل دهنده ماده مورد نظر و بدین منظور نمودار جذب را نسبت به طول موج یا فرکانس به طور تجربی تعیین می‌کنند (میزان جذب یا کاهش توان تابشی است از معادله ۶-۳۲ در بخش ۱۶-۲ بدست می‌آید). نمودارهایی از طیف جذبی در شکل ۱۹-۶ نشان داده شده است.

همین دلیل است که در ناحیه اشعه ایکس مشاهده می‌شود.

جذب مولکولی

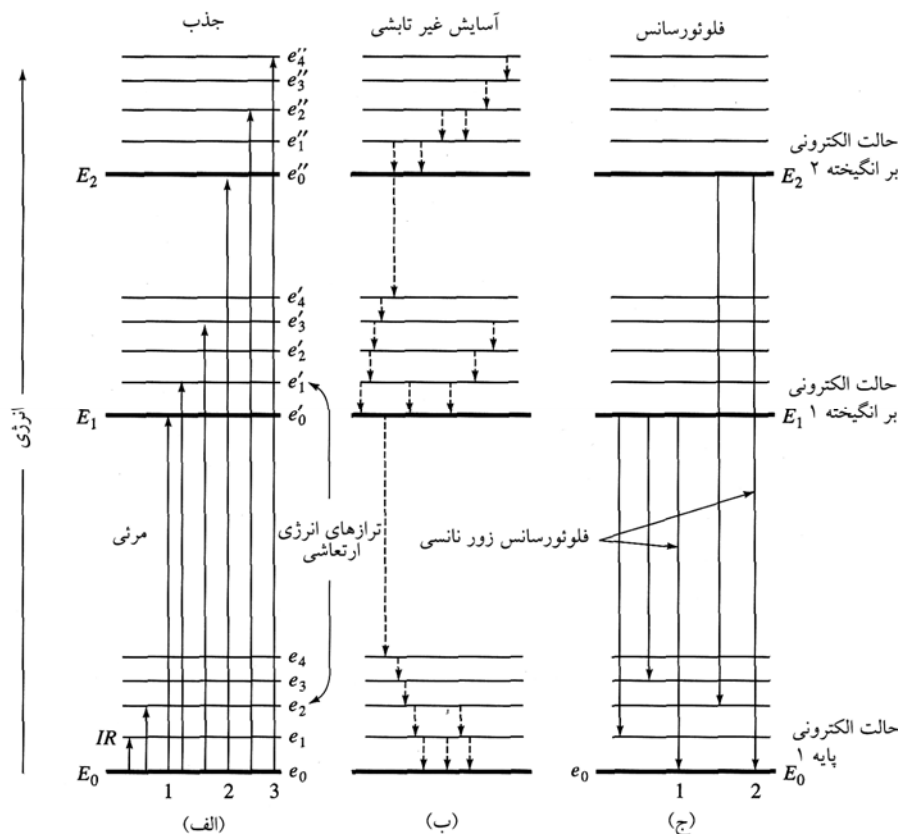
طیف‌های جذبی برای مولکول‌های چند اتمی به ویژه در حالت‌های فشرده به طور قابل ملاحظه‌ای پیچیده‌تر از طیف‌های اتمی می‌باشد، زیرا تعداد حالت‌های انرژی در مولکول‌ها در مقایسه با اتمهای منفرد بسیار زیاد است. E انرژی پیوندی یک مولکول است که از سه جزء تشکیل شده که به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$E = E_{\text{چرخشی}} + E_{\text{ارتعاشی}} + E_{\text{الکترونی}} \quad (۲۱-۶)$$

که در آن $E_{\text{الکترونی}}$ عبارت از انرژی الکترونی مولکول است و ناشی از حالت‌های مختلف انرژی چندین الکترون پیوندی می‌باشد. دومین عبارت در سمت راست مربوط به کل انرژی‌های ارتعاشی بین اتمی هر یک از مولکول‌ها است. معمولاً یک مولکول تعداد زیادی تراز ارتعاشی کوانتیده نسبت به ترازهای الکترونی دارد. سرانجام چرخش E ناشی از چرخش‌های گوناگون در مولکول می‌باشد. از طرف دیگر تعداد حالت‌های چرخشی خیلی بیشتر از حالت‌های

جذبی نزدیک به هم و تیز در ناحیه زرد در طیف مرئی (۵۸۹ و ۵۸۹/۶ نانومتر) که در اثر برانگیختگی الکترون $3S$ به دو حالت $3P$ که اختلاف خیلی جزئی در انرژی دارند را نشان می‌دهد. چندین خط جذبی باریک دیگر مربوط به انتقال الکترونی مجاز دیگر نیز مشاهده می‌شود. برای مثال یک پیک فرابنفش در حدود ۲۸۵ نانومتر در اثر برانگیختگی الکترون $3s$ در سدیم به حالت $5P$ است، فرایندی که نیاز به انرژی بیشتر دارد، بطوریکه بزرگتر از برانگیختگی حالت $3p$ است (همچنین پیک ۲۸۵ نانومتر به صورت دوگانه است، اختلاف انرژی بین دو پیک بسیار کوچک است بنابراین بسیاری از دستگاه‌ها نمی‌توانند این‌ها را از هم تفکیک کنند).

تابش فرابنفش و مرئی تنها دارای انرژی کافی برای انتقال الکترون‌های لایه خارجی و یا پیوندی را دارند. فرکانس‌های اشعه ایکس چندین مرتبه پر انرژی ترند و قادرند با نزدیک‌ترین الکترون‌ها به هسته اتم برهمکنش دهند. (به مثال ۶-۳ نگاه کنید) پیک‌های جذبی مربوط به انتقال الکترونی، الکترون‌های نزدیک به هسته به



شکل ۶-۲۰ نمودارهای تراز انرژی جزئی برای یک مولکول آلی فلورسان

این جا k فرکانس پتانسیل جذبی به وسیله k معادله داده می شود که می توان معادله آن را به صورت زیر نوشت.

$$v_i = \frac{1}{h}(e_i + e_o) \quad (24-6)$$

که در آن i مقادیر k و $3, 2, 1$ دارند.

اگر چه همه آنها نشان داده نشده است، چندین تراز انرژی چرخشی با هر یک از تراز ارتعاشی در شکل ۲۰-۶ ادغام شده و اختلاف انرژی بین ترازهای انرژی چرخشی نسبت به اختلاف انرژی بین ترازهای ارتعاشی کوچکتر است. انتقالات بین حالت پایه و یک حالت چرخشی برانگیخته در گستره‌ای بین 0.1 تا 1 سانتی متر می باشد که شامل ریز موجها و تابش هایی با طول موج بلندتر مادون قرمز می باشد.

در مقابل طیف های جذب اتمی که شامل یک سری خطوط تیز و قابل تشخیص می باشد. طیف های ملکولی در نواحی ماوراء بنفش و مرئی معمولاً مشخص شده و توسط نواحی جذبی که اغلب در یک گستره ای مشخص از طول موج واقعی محصور می باشند (به شکل ۱۹-۶ ب و ۱۹-۶ ج نگاه کنید). جذب های ملکولی حاوی انتقالات الکترونی است. همان طور که معادلات (۲۳-۶) و (۲۴-۶) نشان می دهند، چندین خط جذبی به فاصله خیلی نزدیک به هم در ارتباط اند بطوریکه هر یک از انتقالات الکترونی دارای تعدادی زیادی حالت های ارتعاشی می باشد. به علاوه همان طور که قبلاً ذکر شد بسیاری از سطوح انرژی چرخشی با هر یک از حالت های ارتعاشی ادغام شده طیف هایی را بوجود می آورند که معمولاً شامل یک سری خطوط جذبی و نشری نزدیک به هم بوده و یک نوار جذبی مانند آنچه که برای بخار بنزن در شکل ۱۹-۶ ب نشان داده شده است خواهد داشت، مگر اینکه از یک دستگاه با قدرت تفکیک بالا استفاده شود، در غیر این صورت امکان تشخیص پیک های جداگانه میسر نیست و طیف ها به صورت پیک های هموار و پهن نظیر آنچه که در شکل ۱۹-۶ ج نشان داده شده است ظاهر خواهند شد. سرانجام در حالت فشرده و در حضور مولکولهای حلال خطوط مجزا حتی تمایل به پهن شدن بیشتر دارند که در این حالت طیف پیوسته یکنواخت نظیر آنچه که در شکل ۱۹-۶ د نشان داده شده مشاهده خواهد شد. اثرات حلال در فصول بعد مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

جذب ارتعاشی خالص در ناحیه مادون قرمز مشاهده می شود، در جایی که انرژی تابش کافی برای انتقالات الکترونی وجود ندارد،

ارتعاشی است، بنابراین برای هر یک از انرژی الکترونی یک مولکول چندین حالت ارتعاشی ممکنه معمولاً وجود دارد و برای هر یک از حالت های ارتعاشی تعداد زیادی حالت چرخشی وجود دارد، در نتیجه تعداد ترازهای انرژی ممکنه برای یک مولکول معمولاً چندین مرتبه بزرگتر از تعداد ترازهای انرژی ممکنه برای ذرات اتمی است. شکل ۲۰-۶ یک نمایش گرافیکی از ترازهای انرژی همراه با چند مورد از حالت های الکترونی و ارتعاشی یک مولکول می باشد. خط پرنگ که با E_0 نشان داده شده است انرژی الکترونی مولکول در حالت پایه را نشان می دهد (که کمترین انرژی الکترونی را دارد). خطوطی که با E_1 و E_2 نشان داده دو حالت الکترونی برانگیخته را نشان می دهد. تعداد زیادی از ترازهای ارتعاشی (e_0, e_1, \dots, e_n) برای هر یک از این حالات الکترونی را نشان می دهد.

همان طور که در شکل ۲۰-۶ نشان داده شده است، اختلاف انرژی بین حالت پایه و حالت برانگیخته الکترونی نسبت به اختلاف انرژی بین ترازهای ارتعاشی و حالت الکترونی داده شده، نسبتاً زیاد است. (معموماً این اختلاف ضریبی بین 10 تا 100 دارد). پیکانها در شکل ۲۰-۶ الف برخی از انتقالات را که در نتیجه جذب تابشی حاصل می شود نشان می دهد. تابش مرئی موجب برانگیختگی یک الکترون از E_0 تا هر یک از n تراز ارتعاشی E_1 می شود (تنها پنج تراز از n تراز ارتعاشی در شکل ۲۰-۶ نشان داده شده است). فرکانس های پتانسیل جذبی برای n معادله به صورت زیر داده می شوند که هر یک از معادله ها به صورت معادله ۲۲-۶ می باشند.

$$v_i = \frac{1}{h}(E_1 + e_i - E_0) \quad (22-6)$$

که در آن n و $3, 2, 1$

به همین طریق دومین حالت الکترونی دارای m تراز انرژی ارتعاشی می باشد (چهار تراز نشان داده شده است). فرکانس های پتانسیل جذبی برای تابش فرابنفش به وسیله m معادله نظیر معادله زیر خواهد بود.

$$v_i = \frac{1}{h}(E_r + e_i - E_o) \quad (23-6)$$

که در آن i مقادیر m و $3, 2, 1$ دارند.

سرانجام همان طور که در شکل ۲۰-۶ الف نشان داده شده است تابش کم انرژی نزدیک به تابش متوسط مادون قرمز می تواند تنها موجب انتقالات بین k تراز ارتعاشی حالت الکترونی پایه گردد. در

می‌نماید.

همانطور که در شکل ۶-۲۰ ج نشان داده شده است آسایش می‌تواند از طریق نشر تابش فلورسانس بوجود آید. فرآیندهای دیگر آسایش در فصل‌های ۱۵-۱۸-۱۹ مورد بحث قرار خواهد گرفت.

آسایش فلورسانس و فسفورانس

فلورسانس و فسفورانس از نظر تجزیه فرایندهای نشری مهمی هستند که در آنها اتمها یا مولکولها با جذب تابش الکترو مغناطیس برانگیخته شده، سپس تابش نشری را هنگامی که گونه‌های برانگیخته شده به حالت پایه خود بر می‌گردند ساطع می‌نمایند. فلورسانس خیلی سریعتر از فسفورانس و عموماً بعد از 10^{-9} ثانیه از زمان برانگیختگی رخ میدهد. نشر فسفورانس پس از اتمام برانگیختگی و بیش از 10^{-5} ثانیه اتفاق می‌افتد و ممکن است چند دقیقه یا حتی ساعت‌ها پس از قطع تابش ادامه داشته باشد. فلورسانس و فسفورانس به راحتی با زاویه 90° درجه نسبت به پرتو برانگیخته مشاهده می‌شود.

فلورسانس رزونانسی به فرایندی اطلاق می‌شود که فرکانس تابش نشر شده با تابش بکار گرفته شده برای تحریک یکسان باشد. خطوط مشخص شده با شماره‌های ۱ و ۲ در اشکال ۶-۲۰ الف و ۶-۲۰ ج فلورسانس رزونانسی را نشان می‌دهند. در اینجا گونه‌ها توسط انرژی‌های E_1 و E_2 برانگیخته شده و دارای انرژی $(E_1 - E_2)$ و یا $(E_2 - E_1)$ می‌باشند که پس از یک زمان کوتاه نشر با انرژی یکسان منتشر می‌شود. همان طور که در شکل ۶-۲۰ ج نشان داده شده است. فلورسانس رزونانسی به راحتی توسط اتم‌ها در حالت گازی شکل که حالت ارتعاشی ندارند و منطبق بر ترازهای الکترونی نیستند تولید می‌شود. فلورسانس غیر رزونانسی با تحت تابش قرار گرفتن مولکول‌ها در یک محلول یا در یک حالت گازی شکل حادث می‌شود. همان طور که در شکل ۶-۲۰ الف نشان داده شده است تابش جذبی مولکول‌ها در هر یک از ترازهای انرژی ارتعاشی همراه با دو حالت برانگیختگی الکترونی است. طول عمر این حالت‌های برانگیختگی ارتعاشی اگر چه 10^{-10} ثانیه است و خیلی کوچکتر از طول عمر حالت‌های برانگیختگی الکترونی $(10^{-8}$ ثانیه) می‌باشد. بنابراین به طور متوسط آسایش ارتعاشی قبل از آسایش الکترونی اتفاق می‌افتد. در نتیجه انرژی تابش نشر شده کوچکتر از تابش جذب شده است که توسط مقادیر یکسان انرژی ارتعاشی در حالت برانگیختگی انجام می‌شود. برای مثال در جذب

چنین طیف‌هایی پیک‌های جذبی باریک و فشرده‌ای را نشان میدهند، در نتیجه انتقال بین ترازهای کوانتومی ارتعاشی مختلف است (برای دیدن انتقالات توسط IR به قسمت پائین شکل ۶-۲۰ الف مراجعه نمائید).

تغییر در سطوح چرخش ممکن است منشأ یک سری از پیک‌ها برای هر یک از حالت‌های ارتعاشی گردد، اما در نمونه‌های مایع و جامد اغلب از گسترش چرخش جلوگیری می‌شود بطوریکه اثرات این اختلاف انرژی کوچک بوده و معمولاً قابل رویت نیست. طیف‌های چرخشی خالص برای گازها را می‌توان در ناحیه ریز موج مشاهده کرد.

جذب القایی توسط میدان مغناطیسی

وقتی که هسته‌های برخی از عناصر در یک میدان مغناطیسی قوی قرار گیرند، ترازهای انرژی کوانتیده اضافی را می‌توان مشاهده کرد که نتیجه خاصیت مغناطیسی این ذرات بنیادی است. اختلاف انرژی بین حالت‌های القایی کوچک بوده و انتقالات بین حالت‌ها تنها توسط جذب تابش با طول موج‌های بلند (با فرکانس‌های کوتاه) انجام می‌شود. در امواج رادیویی با گستره‌ای بین 500 MHz - 30 cm (تا $60 = \lambda$) معمولاً نیاز به هسته است. و ریز موج‌ها با فرکانس 9500 MHz ($\lambda = 3\text{ cm}$) بوسیله الکترون‌ها جذب می‌شود. جذب به وسیله هسته یا به وسیله الکترون‌ها در میدان مغناطیسی به ترتیب از طریق تکنیک‌های رزونانس مغناطیسی هسته‌ای (NMR)، رزونانس اسپین الکترون (ESN) انجام می‌گیرد. روش رزونانس مغناطیسی هسته‌ای در فصل ۱۹ مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۶-۵- فرایندهای آسایش

معمولاً طول عمر یک اتم یا ملکول برانگیخته شده با جذب تابش کوتاه می‌شود. زیرا چندین فرآیند آسایش وجود دارند که اجازه برگشت به حالت پایه را به آنها می‌دهند.

آسایش غیر تابشی

همان طور که در شکل ۶-۲۰ ب نشان داده شده است آسایش غیر تابشی شامل از دست دادن انرژی طی یک سری مراحل کوچک است که انرژی برانگیختگی را به انرژی سینتیکی در اثر برخورد با سایر مولکول‌ها با افزایش مقدار ناچیزی در دمای سیستم تبدیل

$$\Delta t \geq \frac{1}{\Delta v}$$

$$\Delta t \times \Delta v \geq 1 \quad (25-6)$$

توجه داشته باشید برای تعیین Δv با عدم قطعیت صفر، زمان بی‌نهایت کوچک برای اندازه‌گیری نیاز است. اگر مشاهده بیش از این حد طول بکشد عدم قطعیت بزرگتر خواهد بود. اجازه دهید دو طرف معادله ۲۵-۶ را در ثابت پلاک ضرب کنیم.

$$\Delta t(h\Delta v) = h$$

از معادله ۱۷-۶ خواهیم داشت $\Delta E = h\Delta v$ و

$$\Delta t \cdot \Delta E = h \quad (26-6)$$

معادله (۲۶-۶) یکی از چندین روش فرموله کردن عدم قطعیت هایز نبرگ است. مفهوم این معادله به صورت زیر می‌باشد. اگر E برای مثال انرژی یک ذره با ذراتی از فوتون‌ها، الکترون‌ها، نوترون‌ها یا پرتون‌ها باشد پس برای شناخت دقیق مدت زمان Δt انرژی دارای یک عدم قطعیت به اندازه حداقل $\frac{h}{\Delta t}$ خواهد بود. بنابراین انرژی یک ذره با عدم قطعیتی برابر صفر تنها زمانی مواجه هستیم که آن را در یک مدت زمان نامحدودی مطالعه کنیم. چون زمان اندازه‌گیری انرژی محدود است هیچ وقت نمی‌تواند دقیق‌تر از $\frac{h}{\Delta t}$ باشد. نتیجه عملی این محدودیت در چندین فصل بعدی مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۴۶ جنبه‌های کمی اندازه‌گیری اسپکتر و شیمیایی

همان طور که در جدول ۲-۶ نشان داده شده است. روش‌های اسپکتر و شیمیایی به چهار گروه اصلی تقسیم می‌گردد. هر چهار روش نیاز به اندازه‌گیری توان تابش P دارند که برابر است با انرژی یک پرتو از تابش که به یک محل در هر ثانیه می‌رسد. در دستگاه‌های جدید و پیشرفته توان تابشی به وسیله آشکار ساز تعیین می‌شود و انرژی تابشی به سیگنال الکتریکی S تبدیل می‌شود. عموماً S یک ولتاژ یا جریان است که به طور ایده آل با توان تابش رابطه مستقیم دارد. بنابراین

$$S = kP \quad (27-6)$$

که در آن k یک مقدار ثابت است.

بسیاری از آشکار سازها حساسیتی به مقدار ثابت و کوچک تحت عنوان جریان باقی مانده در صورت عدم تابش از خود نشان

نشان داده شده با شماره ۳ در شکل ۲۰-۶ الف انرژی جذب شده برابر است با $(E_+ - E_-) e^{\epsilon}$ در حالی که انرژی تابش فلورسانس برابر با $(E_+ - E_-)$ می‌باشد. بنابراین تابش نشر شده دارای فرکانس نشر کمتر یا طول موج بیشتری نسبت به تابش برانگیخته فلورسانسی است. این جابجایی، طول موج فرکانس‌ها را به سمت فرکانس‌های کوتاه‌تر برده که بعضی وقت‌ها به نام جابجایی استوکس نامیده می‌شود. هر دو تابش (رزونانس و غیر رزونانسی) می‌توانند در فلورسانس مولکولها شرکت داشته باشند، اگر چه مورد اخیر پر دامنه‌تر است زیرا تعداد حالت‌های ارتعاشی برانگیخته بیشتر است.

فسفرسانس وقتی اتفاق می‌افتد که یک ملکول برانگیخته در حالت برانگیختگی به پایداری الکترونی و به آسایش برسد (که حالت سه گانه نامیده می‌شود) و دارای طول عمر متوسط بزرگتر از 10^{-9} ثانیه است. طبیعت این نوع از حالت‌های برانگیختگی در فصل پنجم توضیح داده شده است.

ج-۶ اصل عدم قطعیت

اصل عدم قطعیت اولین بار در سال ۱۹۲۷ توسط ورنر هایزنبرگ بیان شد، او فرض کرد که موقعیت مکانی، محدودیت‌هایی را در دقت اندازه‌گیری‌های فیزیکی به وجود آورد. اصل عدم قطعیت نقش مهم و گسترده‌ای در درک دستگاه‌های تجزیه‌ای دارد که به سهولت به این اصل انطباق دارد. این موضوع در بخش ۶-۴ توضیح داده شد. کاربرد این اصل در چند فصل بعدی همراه با روش‌های طیف بینی مورد بحث قرار خواهد گرفت. [۲]

اجاره دهید فرض کنیم که می‌خواهیم فرکانس ν_1 یک پرتو تکفام را تعیین کنیم. برای این کار آن را با خروجی یک نوسانگر استاندارد و تولید پرتو نوری با فرکانس ν_2 می‌کنند که به دقت اندازه‌گیری شده است مقایسه می‌کنیم. با تعیین و اندازه‌گیری اختلاف بین فرکانس‌های معلوم و مجهول $\Delta\nu = \nu_1 - \nu_2$ اجازه می‌یابیم دو پرتو همانند آنچه که در شکل ۵-۶ با هم تداخل کرده‌اند را در زمان برخورد مشخص کنیم (A تا B در شکل ۵-۶) حداقل زمان (Δt) مورد نیاز برای انجام این کار می‌بایست برابر یا بزرگتر از مدت زمان یک برخورد باشد. همان طور که در شکل ۵-۶ نشان داده شده است، آن زمان برابر با $\frac{1}{\Delta\nu}$ است. بنابراین حداقل زمان اندازه‌گیری از رابطه زیر بدست می‌آید.

میدهند. میزان این حساسیت از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$S = kP + k_d \quad (28-6)$$

که k_d جریان باقی مانده می‌باشد که معمولاً یک مقدار کوچک و ثابت برای یک زمان کوتاه می‌باشد. دستگاه‌های اسپکترو شیمیایی معمولاً مجهز به یک جریان جبران کننده می‌باشند که k_d را تا مقدار صفر در زمان اندازه‌گیری کاهش میدهند. در چنین دستگاه‌های معادله ۲۷-۶ کاربرد دارد.

عبور

شکل ۲۱-۶ یک پرتو موازی از نور را نشان می‌دهد که قبل و بعد از عبور از محیطی که دارای ضخامت b سانتی متر و c غلظت نمونه جاذب می‌باشد که در اثر برهمکنش بین فوتون‌ها با اتم‌ها و یا مولکول‌ها و عمل جذب توان پرتو از P_o به P می‌رسد. میزان عبور به صورت کسری از توان تابش عبور کرده به توان تابش ورودی می‌باشد.

$$T = \frac{P}{P_o} \quad (30-6)$$

عبور اغلب به صورت درصد بیان می‌شود.

$$\%T = \frac{P}{P_o} \times 100\% \quad (31-6)$$

جذب

جذب A در یک محیط به صورت معادله زیر بیان می‌شود

$$A = -\log_{10} T = \log_{10} \frac{P_o}{P} \quad (32-6)$$

توجه داشته باشید جذب برخلاف عبور با تضعیف پرتو افزایش می‌یابد.

قانون بیر

برای یک تابش تک فام جذب تناسب مستقیم با طول مسیر b و غلظت جذب کننده (c) دارد. این رابطه به صورت زیر نشان داده می‌شود

$$A = abc \quad (33-6)$$

که در آن a ثابت تناسب است که ضریب جذب نامیده می‌شود. مقدار a به وضوح به واحدهای مورد استفاده برای b و c بستگی دارد. برای محلول‌های جذب کننده اغلب b به صورت سانتی متر و c گرم بر لیتر بیان می‌شود. بنابراین ضریب جذب دارای واحد $Lg^{-1}cm^{-1}$ خواهد داشت.

وقتی که غلظت در معادله ۳۲-۶ به صورت مول بر لیتر تعریف شود و طول سلول دارای واحد سانتی متر، ضریب جذب ضریب جذب مولی نامیده شده و با نماد ϵ نشان داده می‌شود، بنابراین هر گاه b برحسب سانتی متر و c برحسب مول بر لیتر باشد داریم.

$$A = \epsilon bc \quad (34-6)$$

که در آن دارای واحد $Lmol^{-1}cm^{-1}$ است.

روابط ۳۳-۶ و ۳۴-۶ بنام قانون بیر نامیده شده که اساس کار آنالیز

۵۶-۱ روش‌های نشر، لومینسانس و پراکندگی

همان طور که در ستون سوم جدول ۲-۶ مشاهده می‌شود در روش‌های نشر، لومینسانس و پراکندگی توان تابش نشر شده به وسیله آنالیت پس از برانگیختگی معمولاً رابطه مستقیم با غلظت آنالیت c دارد ($P_e = kc$). با ترکیب این معادله با معادله ۲۸-۶ خواهیم داشت.

$$S = k'c \quad (29-6)$$

که در آن k' یک ثابت است که می‌توان به وسیله تابش آنالیت تحریک شده با یک یا تعداد بیشتری استاندارد و یا با اندازه‌گیری S ارزیابی کرد. رابطه مشابه دیگری برای روش‌های لومینسانس و پراکندگی نیز به کار می‌رود.

جدول ۲-۶ طبقه بندی عمده روش‌های اسپکترو شیمیایی

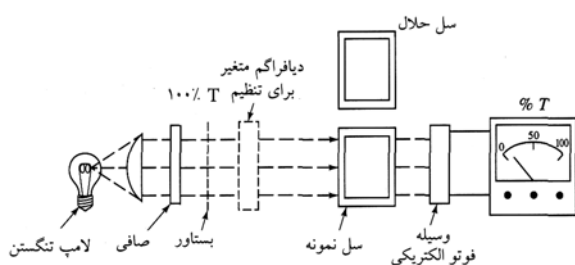
نوع	توان تابش اندازه‌گیری شده	رابطه غلظتی	انواع روش‌ها
نشر	نشر شده P_e	$P_e = kc$	نشر اتمی
لومینسانس	لومینسانس P_l	$P_l = kc$	فلورسانس اتمی و مولکولی، فسفرسانس و لومینسانس شیمیایی
پراکندگی	پراکندگی P_{sc}	$P_{sc} = kc$	پراکندگی رامان، کدر سنجی، نفلومتری
جذب	ورودی P_o عبوری P	$-\log \frac{P}{P_o} = kc$	جذب اتمی و ملکولی

۵۶-۲ روش‌های جذبی

همان طور که جدول ۲-۶ نشان می‌دهد، در روش‌های جذب کمی نیاز به اندازه‌گیری دو نوع توان می‌باشد. یکی قبل از آنکه پرتو از محیط حاوی آنالیت عبور کند (P_o) و دیگری پس از عبور آن (P) می‌باشد. دو عبارتی که به طور وسیع در اسپکترومتری جذبی به کار می‌روند با نسبت P_o و P رابطه دارند و عبارتند از عبور و جذب.

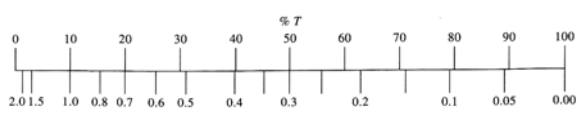
آنالیت تا حد امکان شناسایی شده، بنابراین تنظیم صد در صد (T) در این دستگاه همراه با تغییر پرتو به وسیله دیافراگم می‌باشد. در بعضی از دستگاه‌ها همین عمل با تغییر دادن توان خروجی منبع به طریق الکتریکی انجام می‌شود. واحد پردازش درصد عبور را مستقیماً نشان می‌دهد، همان طور که در معادله زیر نیز مشاهده می‌شود.

$$\%T = \frac{P}{P_0} \times 100\% = \frac{P}{100\%} \times 100\% = P$$



شکل ۲۲-۶ فتومتر تک پرتوی برای اندازه‌گیری‌های جذبی در ناحیه مرئی

مسلم است که می‌توان یک مقیاس جذبی در قسمت خروجی گذاشته شود. همان طوری که در شکل ۲۳-۶ نشان داده شده است. چنین مقیاس غیر خطی بوده مگر اینکه خروجی به تابع لگاریتمی تبدیل شود، البته این عمل از طریق سخت‌افزار یا نرم‌افزار مناسب انجام می‌شود.



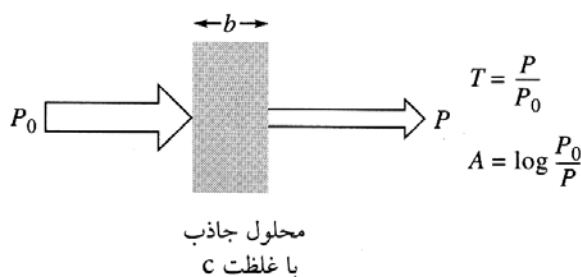
شکل ۲۳-۶ خروجی یک فتومتر ارزان قیمت

۵۶ پرسشها و مسائل

۱-۶ عبارات زیر را توضیح دهید

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| (الف) تابش همدوس | (ط) فلورسانس |
| (ب) پراکنگی یک ماده شفاف | (ی) فسفرسانس |
| (ج) پراکنده‌گی بی‌هنجار | (ک) فلورسانس زرونانسی |
| (د) تابع کار یک ماده | (ل) فوتون |
| (ه) اثر فتوالکتریکی | (م) ضریب جذب |
| (و) حالت پایه یک مولکول | (ن) عدد موج |

کمی برای اندازه‌گیری جذب اتمی و ملکولی است. محدودیت‌های معین در کاربرد قانون بیر وجود دارد که این محدودیت‌ها بطور مفصل در بخش ۱۳ ب توضیح داده خواهد شد.



شکل ۲۱-۶ رقت پرتو تابشی بوسیله محلول جذبی

اندازه‌گیری جذب و عبور

شکل ۲۲-۶ طرح یک دستگاه ساده است که فتومتر نامیده می‌شود. برای اندازه‌گیری جذب و عبور محلول‌های آبی یک پرتو فیلتر شده از تابش مرئی بکار می‌رود. در این جا تابش یک لامپ تنگستن از یک فیلتر شیشه رنگی عبور می‌کند تا به تابشی با نوار باریک و به طول موج نزدیک بهم محدود شود. این پرتو سپس از یک دیافراگم متغیر عبور کرده تا اجازه تنظیم توان تابشی برای رسیدن و عبور از سلولی که نمونه در آن قرار دارد را داشته باشد. یک بستاور (شاتر) در مقابل دیافراگم قرار داده شده به طوری که جلوی عبور پرتو را می‌گیرد. زمانی که دریچه باز می‌شود تابش به فتوالکتریک برخورد کرده و پرتو را به جریان dc تبدیل و شناسایی می‌کند، سپس با میکرو آمپرسنج اندازه‌گیری می‌شود. میزان خروجی S با استفاده از معادله ۲۸-۶ قابل توجیح است. توجه داشته باشید که آمپرسنج دارای یک مقیاس سنجش خطی است که از صفر تا ۱۰۰ درجه بندی شده است.

طرز کار چنین دستگاهی بدین صورت است که مستقیماً درصد عبور خوانده شده و دوباره تنظیم می‌شود. یعنی در صفر درصد (T) یا حالت خاموشی تنظیم و در صد درصد T نیز تنظیم می‌گردد، تنظیم عبور صفر درصد (T) به وسیله آشکار ساز انجام می‌شود و آن لحظه‌ای است که دریچه با عمل مکانیکی بسته می‌شود. هر جریان کوچک باقی مانده در آشکار ساز دارای جریان الکتریکی صفر است و بدین وسیله عقربه آشکار ساز صفر را نشان می‌دهد.

تنظیم عبور صد در صد (T) زمانی انجام می‌شود که شاتر باز باشد سیل و حلال در مسیر نور قرار گیرد معمولاً حلال درون سیل و

حاصلضرب درجه حرارت برحسب کلونین در طول موج ماکزیمم نشر، مقداری است ثابت و برابر $k = T \cdot \lambda_{max}$. طول موج ماکزیمم نشر برای یک منبع مادون قرمز (گلوبار) در ۱۴۰۰ کلونین محاسبه کنند. با استفاده از داده‌های شکل ۶-۱۸ برای افروزه نرنست (Nernst) مقدار ثابت را ارزیابی می‌کنید.

۱۱-۶ طول موج‌های زیر را حساب کنید.

الف) خط سدیم در ۸۵۹ نانومتر در یک محلول آبی که دارای ضریب شکست ۱/۳۵ است.

ب) خروجی لیزر یاقوت در $694/3$ هنگامیکه از میان یک قطعه کوارتز عبور می‌کند را حساب کنید در صورتی که ضریب شکست کوارتز ۱/۵۵ باشد.

۱۲-۶ کاهش انعکاس را وقتی که یک پرتو از میان یک سلول کوارتزی توخالی عبور می‌کند محاسبه کنید. در حالیکه ضریب شکست ۱/۵۵ است.

۱۲-۶ توضیح دهید که چرا با مدل موجی نمی‌توان اثر فتوالکتریک را توضیح داد.

۱۴-۶ داده‌های جذبی زیر را به درصد عبور تبدیل کنید.

الف) ۰/۳۷۵، ب) ۱/۳۲۵، ج) ۰/۱۲

۱۵-۶ درصد‌های عبوری زیر را به صورت جذبی در آورید

الف) ۳۳۰۶، ب) ۹۲/۱، ج) ۱/۷۵

۱۶-۶ درصد‌های عبوری را برای محلول‌های مسئله ۶-۱۴ با نصف جذب داده شده محاسبه کنید.

۱۷-۶ جذب محلول‌ها با نصف درصد عبوری آنها در مسئله ۶-۱۵ محاسبه کنید.

۱۸-۶ محلولی با غلظت $4/8 \times 10^{-3} M$ در X وقتی که در یک سلول ۲ سانتی متری اندازه‌گیری می‌شود عبوری معادل ۰/۱۲۶ نشان می‌دهد چه غلظتی از X برای افزایش عبور به اندازه سه برابر مورد نیاز است در صورتی که از سلول ۱ سانتی متری استفاده شود.

۱۹-۶ ترکیبی دارای جذب مولی برابر $21/7 \times 10^3 L/cm^{-1} mol^{-1}$ است چه غلظتی از ترکیب برای تهیه محلولی با عبوری برابر ۸/۴۲ درصد در یک سلول ۲/۵ سانتی متری لازم است؟

ز) تحریک الکترونی

س) آسایش

ح) تابش جسم سیاه

خ) جابجایی استوک

۲-۶ فرکانس برحسب هرترز، انرژی برحسب ژول و الکترون ولت برای فوتون تابش ایکس با طول موج $2/70 \text{ \AA}$ آنگستروم حساب کنید.

۳-۶ فرکانس برحسب هرترز، عدد موج، انرژی برحسب ژول و برحسب kJ/mol برای کتون آلیفاتیک با نوار جذبی ۵/۷۱۵ میکرومتر حساب کنید.

۴-۶ طول موج و انرژی را برحسب ژول در ارتباط با سیگنال NMR در 220 MHz محاسبه کنید.

۵-۶ سرعت، فرکانس و طول موج خط D سدیم ($\lambda = 589 \text{ nm}$) را هنگامی که تابش از محیطی عبور می‌کند که ضریب شکست آن $n_D = 1/43$ می‌باشد محاسبه کنید.

۶-۶ وقتی که خط D نور سدیم به سطح مشترک هوا و الماس تخت زاویه 30° درجه برخورد می‌کند زاویه شکست نور $11/9^\circ$ درجه است n_o الماس چقدر است.

۷-۶ طول موج فوتونی که انرژی آن ۳ برابر فوتونی با طول موج 500 nm چقدر است؟

۸-۶ انرژی باند پیوندی نقره یداید تقریباً در حدود 255 KJ/mol است. AgI یکی از ترکیبات فعال در عینک‌های فتوگرومیک است) بیشترین طول موج نوری که قادر است پیوند نقره یداید را بشکند چقدر است؟

۹-۶ سزیم بطور گسترده در فتوسل‌ها کاربرد دارد و در دوربین‌های تلویزیونی به دلیل این که دارای پائین‌ترین انرژی یونیزاسیون می‌باشد از تمامی عناصر پایدارتر است.

الف) حداکثر انرژی جنبشی یک فتو الکترون آزاد شده از سزیم بوسیله نور 500 nm چقدر است؟ توجه داشته باشید که اگر طول موج نور استفاده شده برای تابش سطح سزیم بیش از 660 نانومتر باشد، هیچ فتوالکترونی نشر نخواهد شد.

ب) با استفاده از جرم باقی مانده الکترون، سرعت فتوالکترون در قسمت الف را حساب کنید.

۱۰-۶ قانون جابجایی وین برای اجسام سیاه تابنده بیان می‌کند که

* * * * *

مراجع:

[1]. S. Z. Lewin and N. Bauer, in *Treatise on Analytical Chemistry*, I. M. Kolthoff and P. J. Eling, Eds. Part I, vol.

6, chapter 70, New York: Interscience, 1965.
[2]. L. S. Bartholl, *J. chem. Edu.* 1985, 62, 192.

فصل ۷

اجزاء دستگاه‌های نوری

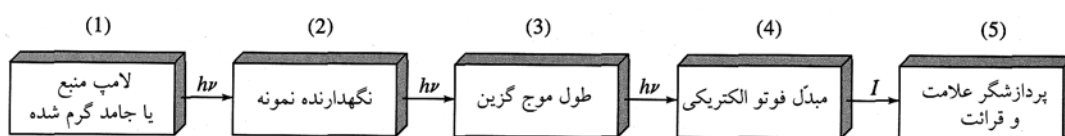
دستگاه‌های طیف بینی فرابنفش و مادون قرمز اختصاصات کافی و مشترک با دستگاه‌هایی را دارند که برای ناحیه مرئی طراحی شده که عموماً دستگاه‌های نوری نامیده می‌شوند، با وجود این که چشم انسان به طول موج‌های فرابنفش و مادون قرمز حساسیت ندارد. در این فصل عملکرد، نیازها و نقش اجزاء دستگاه‌های طیف بینی را با به کارگیری هر سه نوع تابش مورد بررسی قرار می‌دهیم. دستگاه‌هایی که برای مطالعه طیف بینی در مناطق پراورزی فرابنفش و کم انرژی مادون قرمز مورد استفاده قرار می‌گیرند. اساساً اختصاصاتی دارند که با دستگاه‌های نوری متفاوت است و به‌طور مجزادر فصل ۱۲ و ۱۹ بررسی خواهند شد.

۷ الف طرح‌های عمومی دستگاه‌های نوری

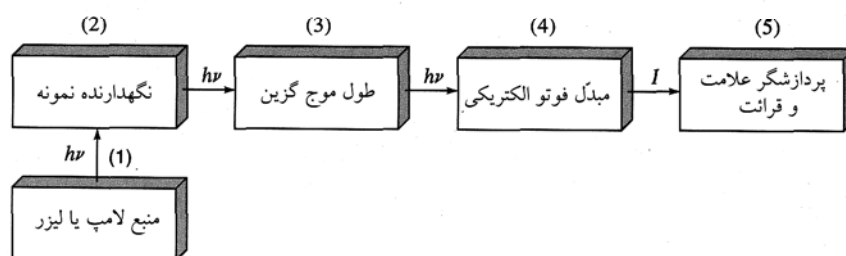
روش‌های طیف بینی نوری براساس شش پدیده استوارند: (۱)

جذب، (۲) فلورسانس، (۳) فسفورانسانس، (۴) پراکندگی، (۵) نشر و (۶) لومینسانس شیمیایی. در حالی که دستگاه‌های اندازه‌گیری هر کدام از نظر ترتیب قرارگیری قطعات در کنار هم با بقیه فرق دارد، اغلب قطعات اصلی آن‌ها شباهت‌های زیادی بهم دارند. بنابراین خصوصیت‌های هر یک از این قطعات بدون توجه به این که کدام یک از طیف‌های مادون قرمز، فرابنفش و یا مرئی طیف کاربرد دارند در نظر گرفته می‌شود. [۱]

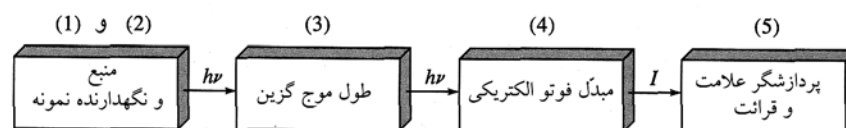
دستگاه‌های طیف بینی شامل پنج قسمت است (۱) منبع انرژی تابشی ثابت، (۲) ظرف شفاف برای نگهداری نمونه، (۳) وسیله‌ای که در منطقه منحصر به فرد طیف را برای اندازه‌گیری مجزا می‌کند [۲]، (۴) آشکارساز پرتوی که انرژی تابشی را به یک سیگنال قابل استفاده تبدیل می‌کند (معمولاً الکتریکی) و (۵) پردازش گر سیگنالی و قرائت گر که سیگنال‌های دریافتی را روی یک سنجش گر مدرج



(الف)



(ب)



(ج)

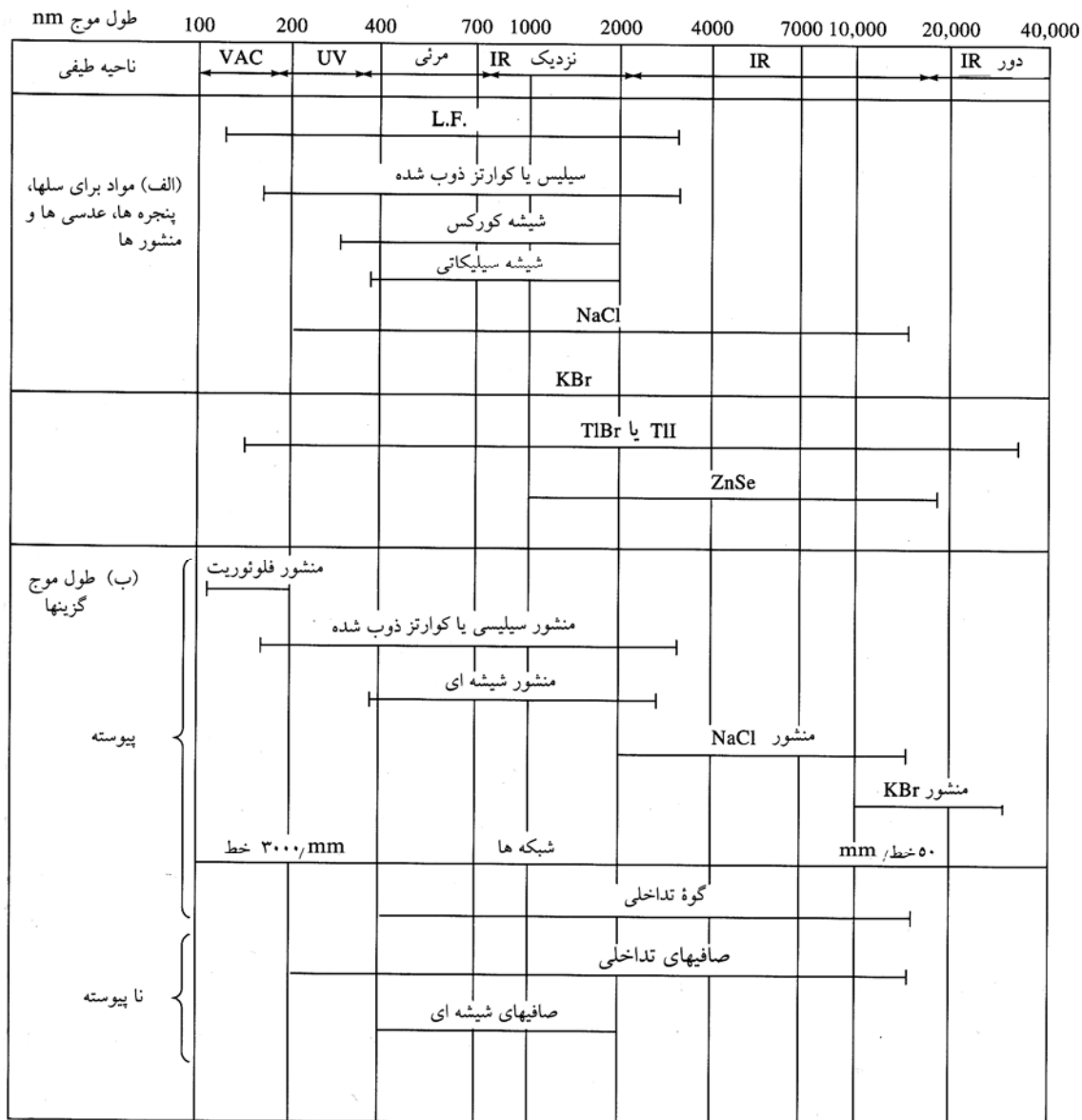
شکل ۱-۷ قطعات مختلف دستگاه‌ها برای طیف بینی نوری: (الف) جذب، (ب) فلورسانس، فسفورسانس و پراکندگی، (ج) نشر و لومینسانس شیمیایی.

(شکل ۱-۷ ج). در طیف بینی نشری، ظرف محتوی نمونه موگد قوس، جرقه زن یا شعله است و نمونه را در درون خود نگه می‌دارد و موجب نشر تابش مخصوص می‌گردد. در طیف بینی لومینسانس شیمیایی منبع تابش، آنالیت (جسم مورد اندازه‌گیری)، به اضافه مواد لازم برای انجام واکنش است. نشر ناشی از انرژی آزاد شده از یک واکنش شیمیایی است که آنالیت مستقیماً یا به طور غیر مستقیم در آن شرکت دارد.

شکل‌های ۲-۷ و ۳-۷ اختصاصات نوری تمام قطعات و قسمت‌های نوری را به طور خلاصه، به غیر از پیام گیر و قرائت‌گر را نشان می‌دهند. توجه داشته باشید که این قطعات از لحاظ جزئیات با هم متفاوت هستند و بستگی به ناحیه طول موج مورد استفاده دارند. تجهیزات آن بسته به اینکه دستگاه اساساً برای سنجش کمی و یا کیفی و یا برای طیف بینی اتمی یا مولکولی به مورد استفاده قرار می‌گیرند طراحی می‌شود. با این وجود عملکرد عمومی و نیازهای اجرایی هر یک از قطعات علیرغم متفاوت بودن طول موج کاربرد مشابه دارند.

نمایش می‌دهد که عبارتند از: یک صفحه اسپلوسکوپ، یک صفحه دیجیتال یا یک ثابت مدرج. شکل ۱-۷ این سه قسمت را نمایش می‌دهد، به طوری که این قطعات به منظور انجام شش نوع اندازه‌گیری طیف بینی که قبلاً ذکر شد با ترتیب و نظم خاصی در کنار هم قرار می‌گیرند. همانطور که در شکل نشان داده شده است، قطعات ۳، ۴ و ۵ به یک طریق برای همه نوع اندازه‌گیری تنظیم شده‌اند.

آرایش دستگاهی ردیف اول و دوم که برای اندازه‌گیری جذب نور، فلورسانس، فسفورسانس و پراکندگی مورد استفاده می‌باشد به یک منبع تابش خارجی نیاز دارند. برای جذب، پرتو حاصل از نور از میان نمونه عبور کرده و مستقیماً به انتخاب‌گر می‌رسد. همچنین در بعضی از وسایل وضعیت قرارگیری نمونه و انتخاب‌گر معکوس است. در آرایش سوم و مورد آخر، منبع نور موجب می‌شود که نمونه موجود در ظرف تابش فلورسانس، فسفورسانس و یا تابشی ساطع کند که معمولاً نسبت به منبع، زاویه ۹۰ درجه می‌سازد. طیف بینی نشری و لومینسانس شیمیایی با بقیه طیف بینی‌ها متفاوت است، زیرا به منبع تابش خارجی نیازی نیست و خود نمونه نشر کننده است



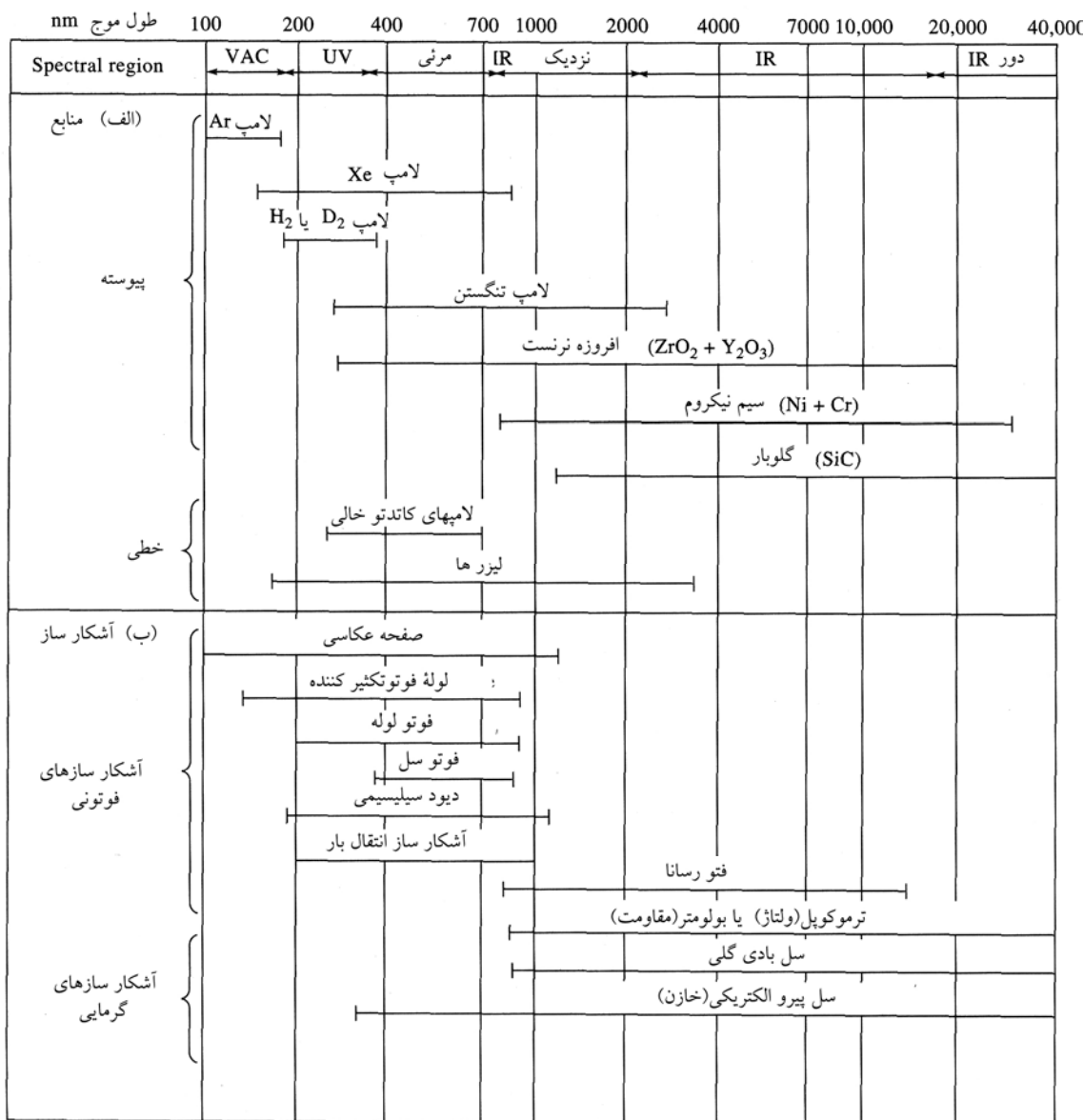
شکل ۷.۷ (الف) ساختار مواد (ب) انتخاب گرهای طول موج برای دستگاه‌های طیف بینی

۷ ب منابع تابش

در چنین طرح هایی شدت این دو پرتو به طور مشابه یا تقریبا بطور مشابه اندازه گیری می شوند به طوری که اثرات نوسانی خروج از منبع نور به طور چشم گیری از بین می رود.

شکل ۷-۳ الف فهرست منابع عمده مورد استفاده در طیف بینی را در بر دارد. توجه نمائید که این منابع دو نوع اند: منابع پیوسته که تابشی را نشر می کنند که تغییرات آنها به طور محسوس تابعی از طول موج است و منابع ناپیوسته (خطی) که تعداد محدودی خطوط یا نوار نشری که هر یک به طول موج معینی مربوط می شوند.

در مطالعات طیف بینی منبع بایستی پرتوی با قدرت کافی برای آشکار سازی و اندازه گیری آسان داشته باشد. به علاوه قدرت خروجی آن باید برای دوره های زمانی معقول پایدار باشد. در واقع، قدرت تابش یک منبع با توجه به ولتاژ منبع تغذیه متفاوت است. بنابراین یک منبع تغذیه منظم برای ایجاد یک منبع پایدار مورد نیاز است. مشکل پایدار بودن منبع نور با طرح های دو پرتوی به طور مشخصی برطرف شده، به طوری که نسبت سیگنال ناشی از نمونه به منبع بدون نمونه به عنوان متغیر تجزیه ای مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۳۷ (الف) منابع (ب) آشکار سازها برای دستگاه‌های طیف بینی

ب-۱ منابع پیوسته

منابع پیوسته در طیف بینی فلورسانس و جذبی کاربرد وسیعی دارند. برای ناحیه فرابنفش معروف‌ترین منبع لامپ دوتریم است. وقتی که یک منبع ویژه‌ای مورد نیاز باشد، لامپ‌های پر شده با فشار بالا از گازهای آرگون، گزنون یا جیوه مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای ناحیه مرئی از لامپ تنگستن استفاده می‌شود. منابع عمومی زیر قرمز جامدات بی اثری می‌باشند که تا دمای ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ کلوین گرم شده‌اند به طوری که در این دما تابش ماگزیمم بین ۱/۵ تا ۱/۹ میکرومتر تولید می‌شود (شکل ۱۸-۶). جزئیات، ساختمان و طرز کار

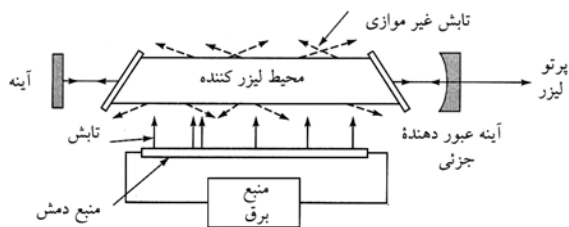
منابع پیوسته در فصل مربوط به روش‌های مختلف طیف بینی توضیح داده شده است.

ب-۲ منابع خطی (ناپیوسته)

منابعی که تعداد خطوط مجزا نشر می‌کنند به طور وسیع در طیف بینی جذب اتمی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در جذب اتمی، طیف بینی فلورسانس مولکولی و طیف بینی رامان کاربرد دارند (در رفاکترتری و پولاریمتری نیز از منابع خطی استفاده می‌شود). لامپ‌های معروف، بخار سدیم و جیوه در فرابنفش و مرئی تعدادی

است یک بلور جامد مانند یاقوت قرمز، یک نیمه هادی مانند آرسنید گالیم، یک محلول رنگی از ترکیبات آلی یا یک گاز مانند آرگون یا کریپتون باشد. مواد ایجاد کننده لیزر اغلب از طریق تابش یک منبع خارجی فعال شده و یا پمپ می‌شوند. به طوری که تعدادی از فوتون‌ها انرژی لازم جهت ایجاد جریان‌های فوتونی با همان انرژی را دارا می‌شوند. پمپ کردن می‌تواند از طریق جریان الکتریکی یا تخلیه الکتریکی هم انجام شود. بنابراین لیزرهای گازی معمولاً منبع تابش خارجی نشان داده شده در شکل ۷-۴ را ندارند. در عوض منبع تغذیه به یک جفت الکتروود وصل می‌شود که واقع در یک سلول پر شده از گاز می‌باشد.

یک لیزر معمولاً مانند نوسانگر یا یک ارتعاش گر عمل می‌نماید، به طوری که اشعه تولید شده از طریق لیزری شدن باعث پس و پیش رفتن به دفعات متعدد در محیط شده که با استفاده از یک جفت آینه انجام می‌شود. همان طور که در شکل ۷-۴ نشان داده شده است، با هر بار عبور فوتون‌های اضافی تولید می‌شود. در نتیجه منجر به تقویت بسیار زیاد محیط می‌گردد. تعداد عبورهای مکرر تولید پرتوی موازی قوی می‌کند، زیرا تابش‌های غیر موازی از اطراف محیط پس از چند بار انعکاس متفرق می‌شوند. یکی از ساده‌ترین راه‌های دستیابی به پرتو لیزر کاربردی، پوشش دادن یکی از آینه‌ها با لایه نازکی از مواد منعکس کننده است به طوری که پرتو ایجاد شده به جای انعکاس عبور می‌کند.



شکل ۷-۴ نمایی از یک منبع لیزری

مکانیسم عمل لیزر

درک عمل لیزر با توجه به چهار فرآیند توصیف شده در شکل ۷-۵ (عبارتند از الف) دمش، ب) نشر خود به خودی (فلورسانس) ج) نشر ترغیبی و د) جذب میسر می‌شود. در این شکل رفتار دو مولکول از سازه‌های محیط نشان داده شده است. دو تراز از سطوح انرژی الکترونی که هر یک به صورت E_x و E_y نشان داده شده‌اند ملاحظه می‌گردند. توجه داشته باشید در سطوح انرژی الکترونی بالاتر برای

خطوط تیز ایجاد می‌کنند و در چندین دستگاه طیف بینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. لامپ‌های کاتدی توخالی و لامپ‌های بدون الکتروود از مهم‌ترین منابع نوری برای جذب اتمی و روش‌های فلورسانس می‌باشند. توضیح بیشتر به طور مجزا در بخش ۹-ب آمده است.

۷-۳ منابع لیزری

لیزرها از منابع بسیار مفید برای دستگاه‌های تجزیه‌ای می‌باشند به علت این که از شدت بالایی برخوردارند، پهنای نوار آنها باریک است و خروجی‌های آنها پیوستگی طبیعی دارند [۳]. نخستین لیزر در سال ۱۹۶۰ آزمایش شد. در آن زمان شیمی دان‌ها اطلاعات کافی از این منابع داشتند و در طیف بینی با قدرت تفکیک بالا استفاده می‌گردند. در مطالعات سینتیک فرآیندهایی با طول عمر بین ۹-۱۰ تا ۱۲-۱۰ ثانیه برای آشکار سازی و اندازه‌گیری غلظت‌های بسیار کم گونه‌های شیمیایی موجود در اتمسفر و در واکنش‌ها انتخابی مورد استفاده قرار گرفت [۴]. به علاوه منابع لیزری در چندین روش تجزیه‌ای معمولی شامل طیف بینی رامان، طیف بینی جذب مولکولی، طیف بینی نشری و بخشی از دستگاه تبدیل فوریه مادون قرمز اهمیت پیدا کرده است.

اصطلاح لیزر اختصار برای تقویت نور از طریق ترغیب نشر تابش می‌باشد.^۱ با توجه به خاصیت تقویت سازی نور، لیزرها ایجاد پرتوهای نوری باریک و شدید می‌کنند (چند صدم میکرومتر). فرآیند نشر ترغیبی که بعداً به طور خلاصه توضیح داده خواهد شد، یک تابشی کاملاً تک فام (با پهنای باند ۰/۰۱ نانومتر یا کمتر) و همدوس ایجاد می‌کند (بخش ۶-ب). به خاطر این خصوصیات منحصر به فرد، لیزرها منابع مهم مورد استفاده در ناحیه‌های فرابنفش، و مرئی مادون قرمز طیف شناخته شده‌اند. یکی از محدودیت‌های لیزرهای قدیمی این بود که تابش حاصل از یک منبع خاص، محدود به فقط چند طول موج یا خط مجزا می‌باشد. امروزه با وجود لیزرهای رنگی که باندهای باریک تابشی در هر طول موجی با هرگونه منبع نوری ایجاد می‌کنند، قابل دسترس است.

اجزاء لیزر

شکل ۷-۴ شمایی از اجزاء یک منبع لیزر معمولی را نشان می‌دهد. قلب این دستگاه محل تولید لیزر است. این محیط ممکن

1. Light amplification by stimulated emission of radiation.

تابش تک فام منحصر به فردی می‌گردد.

نشر ترغیبی

نشر ترغیبی که اساس رفتار لیزر می‌باشد در شکل ۷-۵ نشان داده شده است. در این جا گونه‌های لیزر برانگیخته به وسیله فوتون‌های خارجی که دقیقاً انرژی $(E_y - E_x)$ را دارند. مورد برخورد قرار می‌گیرند. برخوردهایی از این نوع موجب می‌شوند که گونه‌های برانگیخته سریعاً به حالت پائین‌ترین سطح انرژی برسند و دقیقاً فوتونی به همان انرژی خود به خودی را نشر کنند که فوتون ایجاد شده فرآیند برانگیخته شدن است. مسئله مهم دیگر این است که فوتون نشر شده هم فاز با فوتونهای برخورد کننده حرکت کند یعنی نشر ترغیبی با تابش ورودی هم‌دوس باشد.

جذب

فرآیند جذب که با نشر ترغیبی رقابت می‌کند. در شکل ۷-۵ نشان داده شده است. در این جا دو فوتون با انرژی دقیقاً برابر با $(E_y - E_x)$ جذب می‌شوند تا مرحله نیمه پایداری را ایجاد کنند که در دیاگرام د-۳ نشان داده شده است. توجه نمائید که مرحله نشان داده شده در دیاگرام (۳) بیانگر همان حالت پمپ کردن است که در دیاگرام الف-۳ نشان داده شده است.

معکوس شدن جمعیت و تقویت نور

به منظور دست یابی و تقویت نور در یک لیزر ضروری به نظر می‌رسد که تعداد فوتون‌های ایجاد شده به وسیله نشر ترغیبی از تعداد فوتون‌های از دست رفته به طریق جذب پیشی بگیرد. این حالت فقط وقتی اتفاق می‌افتد که تعداد ذرات در حالت انرژی بالاتر از تعداد آنها در انرژی پائین‌تر برتری داشته باشد، به بیان دیگر نسبت به وضعیت‌های توزیع نرمال انرژی در حالت معکوس شدن تعدادی فوتون اضافی باید وجود داشته باشد. معکوس شدن تعداد فوتون‌ها به وسیله عمل پمپ کردن حاصل می‌شود. در شکل ۷-۶ اثر تابش حاصل روی یک جمعیت غیر معکوس به همراه حالت معکوس آن نشان داده شده است. در هر مورد تعداد آنها به صورتی نشان داده شده که متشکل از نه مولکول در محیط لیزری است. در سیستم غیر معکوس، سه مولکول در مرحله برانگیختگی و شش مولکول در سطوح انرژی پایین‌تر قرار دارند. همچنین این تابش نشر دو فوتون

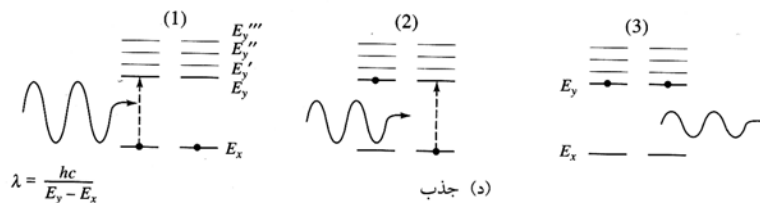
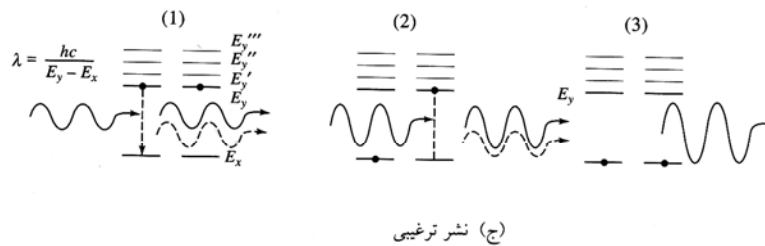
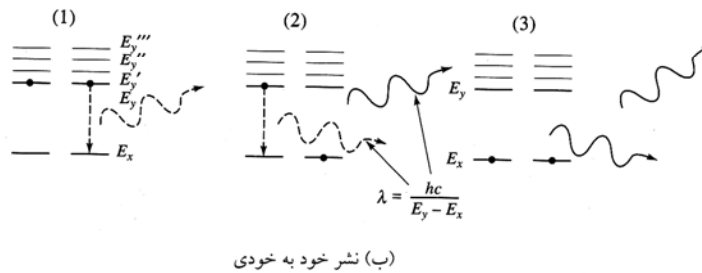
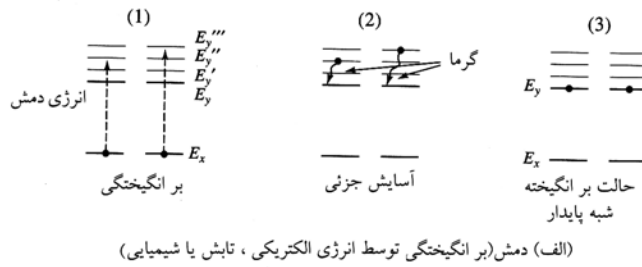
هر مولکول چندین سطح انرژی ارتعاشی مختلف وجود دارد که تحت عنوان E_y, E'_y, E''_y و مانند این‌ها نوشته می‌شود. در این جا سطوح اضافی برای حالت الکترونی پائین‌تر نشان داده نشده است، با این که چنین حالاتی معمولاً وجود دارند.

دمش

دمش برای عمل لیزر ضروری است. فرایندی که گونه‌های فعال یک لیزر با تخلیه الکتریکی، عبور دادن جریان الکتریکی یا با قرار گرفتن در معرض یک منبع پرتو شدید برانگیخته می‌شوند. در طی مرحله دمش سطوح انرژی الکترونی و ارتعاشی بالاتر گونه‌های فعال اشغال شده‌اند. دیاگرام ۱ شکل ۷-۵ الف یک مولکول را که انرژی E'_y دریافت کرده است را نشان می‌دهد و دومی به تراز کمی بالاتر ارتعاشی E''_y انتقال یافته است. طول عمر حالات ارتعاشی برانگیخته کوتاه است و بعد از 10^{-13} تا 10^{-10} ثانیه با از دست دادن مقداری انرژی گرمایی غیر قابل اندازه‌گیری به پایین‌ترین سطح انرژی بر می‌گردد (E_y در دیاگرام ۳ الف). بعضی از حالات الکترونی برانگیخته مربوط به مواد لیزری طول عمر قابل توجه طولانی‌تری را (اغلب یک میکروثانیه و یا بیشتر) نسبت به حالات ارتعاشی برانگیخته نشان می‌دهند. حالات طولانی عمر گاهی اوقات به عنوان شبه پایدار نامیده می‌شود.

نشر خود به خودی

همان طور که در بحث مربوط به فلورسانس اشاره شد (فصل ۶) یک گونه در یک حالت الکترونی برانگیخته ممکن است تمام یا بخشی از انرژی مازاد خود را با نشر پرتو نشری از دست بدهد. این فرآیند در ۳ دیاگرام در شکل ۷-۵ ب نشان داده شده است. توجه داشته باشید که طول موج تابش فلورسانس با توجه به رابطه $\lambda = \frac{hc}{E_y - E_x}$ که h ثابت پلانک و c سرعت نور می‌باشد به دست می‌آید. همچنین بهتر است توجه داشته باشیم وقتی که نشری اتفاق می‌افتد و مسیر فوتون حاصله از یک مولکول تحریک شده تا مولکول دیگر فرق می‌کند زیرا نشر خود به خودی یک فرایند تصادفی و اتفاقی است. بنابراین همانطور که در شکل ۷-۵ نشان داده شده، تابش فلورسانس ایجاد شده از لحاظ جهت و فاز با دیاگرام (۱) ب نسبت به تابش ایجاد شده توسط گونه‌های ثانوی متفاوت می‌باشد [دیاگرام (۲) ب]. پس نشر خود بخودی منجر به



شکل ۵-۷ چهار فرایند مهم در عمل لیزر (الف) دمش (بر انگیزشگی توسط الکتریسیته، تابش، یا انرژی شیمیایی) (ب) نشر خود به خودی (ج) نشر ترغیبی (د) جذب.

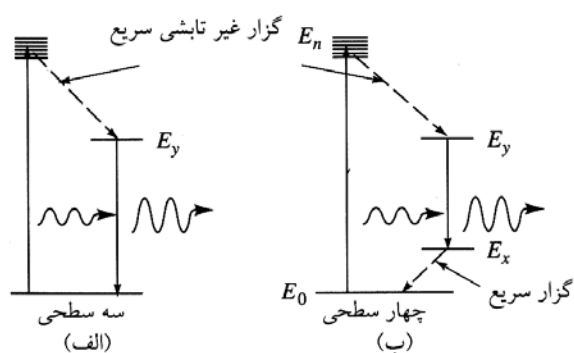
مسئول تابش لیزر بین یک حالت تحریک شده E_y و پایه E_0 می‌باشد. در سیستم چهار ترازی تابش از طریق یک انتقال از حالت E_y به E_x می‌رسد که نسبت به حالت پایه، انرژی بیشتری دارد. بنابراین، ضروری است که عبور از حالت E_x به حالت پایه سریع باشد. مزیت سیستم چهار ترازی در آن است که معکوس شدن تعداد فوتون‌های لازم برای عمل لیزر به راحتی قابل دستیابی است. برای پی بردن به این وضعیت توجه داشته باشید که در دمای اتاق تعداد زیادی از گونه‌های لیزری در سطح انرژی پایه E_0 می‌باشند که در هر

حاصل از مولکول برانگیخته شده را بر می‌انگیزد. بنابراین، این پرتو به وسیله یک فوتون تضعیف می‌شود. در شکل ۷-۵ یک شبکه حاصل از فوتون‌ها در سیستم معکوس مشاهده می‌شود، به دلیل این که نشر ترغیبی نسبت به جذب، گستردگی بیشتری پیدا می‌کند.

سیستم‌های لیزری سه و چهار ترازی

شکل ۷-۷ دیگرام‌های انرژی ساده شده را برای دو نوع از سیستم لیزری معروف نشان می‌دهد. در سیستم سه ترازی، انتقال

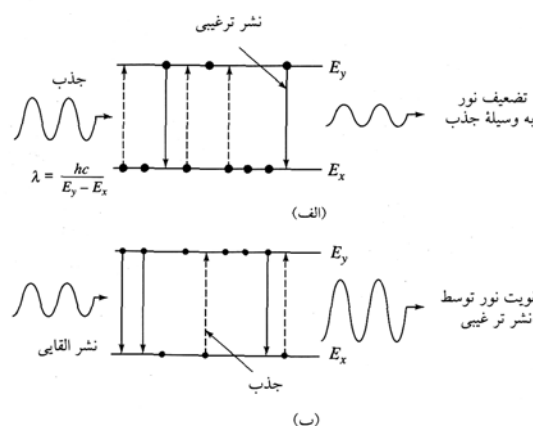
بلوری از آلیاژ آلومینیوم ایتیریم می‌باشد. این سیستم از دست آوردهای یک سیستم چهار ترازلی لیزری است که نسبت به لیزر یاقوت در دست یابی به معکوس شدن تعدادی از فوتون‌ها آسان‌تر عمل می‌کند. لیزریاک ($Nd: YAG$) قدرت تابش بسیار بالایی در حدود 1066 نانومتر را دارد که معمولاً برای ارائه یک خط شدید در 532 نانومتر متناوباً دو برابر می‌شود (به صفحه ۱۴۷ مراجعه شود) این تابش بیشتر برای لیزرهای رنگی پمپ‌دار مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۷-۷ دیاگرام تراز انرژی برای دو نوع از سیستم‌های لیزری

لیزرهای گازی: تنوعی از لیزرهای گازی از نظر تجاری قابل دسترس می‌باشند. این دستگاه‌ها چهار نوع‌اند: (۱) لیزرهای با اتم‌های خنثی مانند نئون / هلیم $[Ne/He]$ (۲) لیزرهای یونی که از گونه‌های فعال Ar^+ یا Kr^+ می‌باشد (۳) لیزرهای مولکولی که محیط لیزر ایجاد کننده CO_2 یا N_2 می‌باشد و (۴) لیزرهای اگزایمر. لیزرهای نئون / هلیم نسبت به بقیه لیزرها کاربرد وسیع‌تری دارند، علت آن سادگی و قیمت پائین تولید و نگهداری، اعتبار زیاد و مصرف انرژی پائین آنها می‌باشد [۶]. مهم‌تر از همه خطوط خروجی آن است که در 632.8 نانومتر است. عموماً به صورت پیوسته عمل می‌کند تا حالت پالسی. لیزر یون آرگون در ناحیه سبز (514.5 نانومتر) و آبی (488.0 نانومتر) تولید خطوط طیفی می‌نماید که مثال خوبی از لیزرهای یونی می‌باشد. این لیزر یک دستگاه لیزر چهار سطحی است که یون‌های آرگون به وسیله یک تخلیه الکتریکی یا رادیویی تولید می‌شوند. انرژی ورودی مورد نیاز بالاست به دلیل این که اتم‌های آرگون نخست باید یونیزه شود و سپس نسبت به حالت پایه برانگیخته شوند تا به عدد کوانتومی ۳ به حالات مختلف $4p$ برسند. فعالیت لیزری وقتی اتفاق می‌افتد که یون‌های برانگیخته شده به حالت $4s$ برگردند.

دو سیستم وجود دارد. پس باید انرژی کافی برای تبدیل بیش از ۵۰ درصد از گونه‌های لیزری به سطح E_y مربوط به سیستم سه ترازلی فراهم گردد. به طور خلاصه فقط ضرورت دارد که پمپ کردن به اندازه کافی انجام شود تا تعداد ذرات تولید شده در سطح انرژی E_y به تعداد آنها در تراز E_x موجود در سیستم چهار ترازلی پیشی گیرد. طول عمر یک ذره در حالت E_x کوتاه است، چون عبور به E_0 سریع می‌باشد، بنابراین تعداد ذرات در حالت E_x نسبت به تعداد آنها در E_0 و نیز E_y معمولاً قابل اغماض است. در نتیجه لیزر ۴ ترازلی با اعمال انرژی دمش مختصر، معمولاً به حالت معکوس فراوانی می‌رسد.



شکل ۷-۶ مسیر عبور تابش (الف) جمعیت غیر معکوس (ب) جمعیت معکوس

چند مثال از لیزرهای مفید [۵]

لیزرهای فاز جامد: نخستین لیزر موفق که یک مورد از آن هنوز استفاده وسیعی دارد، یک دستگاه سه ترازلی است که بلور یاقوت، عامل فعال آن می‌باشد. یاقوت اصولاً از Al_2O_3 تشکیل شده اما حدود 0.05 درصد کروم III بین شبکه جامد آلومینیوم III پخش شده است که به آن رنگ قرمز می‌دهد. یون‌های کروم III از مواد لیزری فعال هستند. در لیزرهای جدید یاقوت به صورت میله‌ای به طول حدوداً 4 سانتی متر و قطر 0.5 سانتی متر به صورت یک میله توخالی (اغلب یک لامپ گزنون با فشار پائین) دور سیلندر پیچیده شده تا فلاش‌های شدید نور (با طول موج 694.3 نانومتر) تولید کند. با قطع شدن عمل پمپ یک پرتو پالسی تولید می‌گردد. موج پیوسته یاقوت امروزه هم قابل استفاده می‌باشد.

لیزر Nd: YAG یکی از لیزرهای فاز جامد، لیزر یک است که بیشترین و وسیع‌ترین کاربرد را دارد. شامل یون‌های نئودیم در

پیوسته آشکار می‌شوند. پهنای باند این نوع لیزرها چند نانومتر یا کمتر است. مواد فعال در لیزرهای رنگی محلول‌های ترکیبات آلی هستند که فلورسانسی قابل استفاده در نواحی فرابنفش، مادون قرمز و مرئی دارند. لیزرهای رنگی سیستم‌های چهار ترازی داشته و در مقایسه با بقیه لیزرها که مورد بررسی قرار گرفت تراز انرژی پائین‌تری را برای عمل لیزر (E_4 در شکل ۷-۶) نیاز دارند. این انرژی یک انرژی منفرد نیست بلکه نواری از انرژی می‌باشد که از انطباق تعداد زیادی از حالات انرژی ارتعاشی و چرخشی ناشی می‌شود که بستگی به سطح انرژی الکترونی پایه دارد. الکترون‌ها در E_4 ممکن است اجباراً به هر یک از این حالات انتقال یابند. ایجاد نوسان در لیزرهای رنگی به آسانی با تعویض آینه نشان داده شده در شکل ۷-۴ توسط یک تک فام ساز مجهز به یک انعکاس دهنده شبکه‌ای یا یک منشور نوع لیترو (*Littrow*) انجام پذیرد است (شکل ۷-۱۶) که فقط یک باند با یکی از تابش‌ها را به محیط لیزری منعکس می‌کند. طول موج پیک با چرخش شبکه یا منشور قابل تغییر است. نشر حاصل برای بخشی از طیف فلورسانس برانگیخته شده که طول موج آن به وسیله تک فام ساز انتخاب می‌گردد.

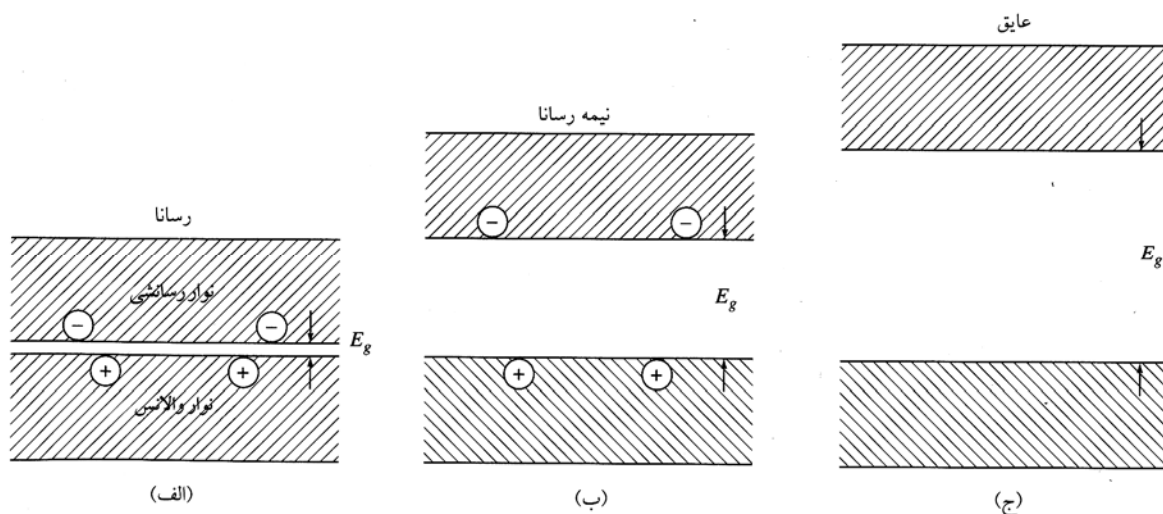
لیزرهای دیودی نیمه هادی [۸]: یک منبع خیلی مهم جدید تابش تک فام، لیزر دیودی می‌باشد. لیزرهای دیودی از محصولات تکنولوژی نیمه هادی‌های مدرن می‌باشند. مکانیسم کارشان شاید با بررسی خواص الکتریکی مواد مختلفی که در شکل ۷-۸ نشان داده شده است قابل درک باشد. یک هادی خوب مانند یک فلز شامل نظم

لیزر یون آرگون به عنوان یک منبع در فلورسانس و طیف بینی رامان مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا خطوط طیفی تولید شده از شدت بالایی برخوردار می‌باشد.

لیزر N_2 به صورت پالسی عمل می‌کند زیرا پمپ کردن با پتانسیل بالا منبعی برای جرقه زدن باشد و تابش پر شدتی در طول موج ۳۳۷/۱ نانومتر فراهم می‌آورد. این خروجی به طور ویژه برای مرحله برانگیختن فلورسانس در انواع مولکول‌ها مورد استفاده بوده و در پمپ کردن لیزرهای رنگی کاربرد دارد. لیزر گاز CO_2 برای تولید تابش تک فام مادون قرمز در ۱۰/۶ میکرومتر به کار می‌رود.

لیزرهای اگزایمر شامل مخلوطی از گازهای هلیم، فلئور و یکی از گازهای نادر، آرگون، کریپتون یا گزنون می‌باشد. گاز نادر به طور الکترونیکی به وسیله یک جریان الکتریکی برانگیخته می‌شود و با واکنش دادن با فلئور تشکیل یون‌های تحریک شده‌ای مانند: ArF^+ یا KrF^+ یا XeF^+ می‌نماید که اگزایمر نامیده می‌شود، که فقط در حالت برانگیخته پایدارند. به خاطر این که حالت پایه اگزایمر ناپایدار است. تفکیک سریع ترکیبات به وقوع می‌پیوندد و آن زمانی است که از فوتون‌ها جدا می‌شوند. بنابراین در طول مدت پمپ کردن تعدادی از فوتون‌ها یک حالت معکوس شدن به خود می‌گیرند. لیزرهای اگزایمر پالس‌های پر انرژی در ناحیه فرابنفش (در طول موج ۳۵۱ نانومتر برای XeF ، در طول موج ۲۴۸ نانومتر برای KrF و در ۱۹۳ نانومتر برای ArF) ایجاد می‌کنند.

لیزرهای رنگی [۷]: لیزرهای رنگی به خاطر منبع تابش‌شان در شیمی تجزیه کاربرد دارند زیرا در محدوده‌های ۲۰ تا ۵۰ نانومتر



شکل ۷-۸ نوارهای هدایتی و نوارهای ظرفیتی در سه نوع ماده

در سال‌های اخیر تکنیک ساختن نیمه هادی‌ها به حدی پیشرفت کرده که منجر به ساختن وسایل پیشرفته و پیچیده‌ای مانند دیود توزیع پراکنش براگ (DBR) لیزری شده است که در شکل ۷-۹ نشان داده شده است. این دستگاه دارای یک آرسنیدگالیم است که به np اتصال دیودی دارد و در طول موج حدوداً ۹۷۵ نانومتر تولید تابش مادون قرمز می‌کند. به علاوه نواری از ماده خاص بر روی تراشه اضافه شده که به عنوان حفره رزونانس برای تابش می‌باشد. و تقویت نور، داخل این حفره صورت می‌پذیرد. یک سیستم شبکه‌ای کامل، فضای انعکاس برگشتی را طوری فراهم می‌آورد که نتیجه آن تابش خیلی باریک در باند 10^{-6} نانومتر است. دیودهای لیزری از این نوع به قدرت خروجی پیوسته می‌رسند که بیش از ۱۰۰ میلی‌ولت را با یک پایداری گرمایی ۰/۱ نانومتر بر درجه را تحمل می‌کنند. دیودهای لیزری ممکن است در حالت پیوسته یا پالسی کار کنند که قابلیت آنها را در انواع مختلف تقویت کننده‌ها افزایش می‌دهد. توسعه سریع دیودهای لیزری و کاربرد آنها به عنوان منبع نور برای وسایل الکتریکی به صورت لوح فشرده (درایوهای $Cd - Rom$) اسکنرهای بار کد ($bar - code$) و بقیه وسایل نوری - الکتریکی مربوطه ناشی می‌شود و تولید انبوه دیودهای لیزری این اطمینان را می‌دهد که در آینده بهای آنها کاهش خواهد یافت.

یک اشکال بزرگ برای کاربرد دیودهای لیزری در وسایل طیف بینی محدود بودن طول موج شان در ناحیه قرمز و مادون می‌باشد. این عدم مزیت ممکن است با عمل دیود لیزر در حالت پالسی منجر به استفاده از آن برای دستیابی به توان کافی برای وضعیت غیر خطی نوری شود تا فرکانس دو برابر را مطابق شکل ۷-۱۰ ایجاد نماید. در این جا خروجی یک دیود لیزری در یک بلور دوتایی متمرکز است تا این که در ناحیه آبی - سبز طیف ظاهر شود (تقریباً ۴۹۰ نانومتر). با استفاده از وسایل نوری خارجی مناسب دیودهای لیزری را می‌توان به فرکانس دو برابر شده با توان‌های خروجی ۰/۵ تا ۱ ولت دست یافت که در محدوده طول موج حدوداً ۳۰ نانومتر طیفی واقع است. مزیت این نوع منابع نوری شامل غیر فشرده بودن، توان مؤثر، اعتبار بالا و ناهموار بودن می‌باشد. اضافه شدن وسایل نوری خارجی به دیود لیزری بهای دستگاه را افزایش می‌دهد. اما با لیزرهای گازی از لحاظ بزرگ بودن و کارایی کمتر و اعتبار کمتر قابل رقابت هستند.

اخیراً گزارش شده که دیودهای لیزری نیتريدگالیم تابشی ایجاد می‌کنند که مستقیماً در ناحیه آبی، سبز و زرد طیف ایجاد می‌کند [۹].

قرار گیری اتم‌هاست که در دریایی از الکترون‌های ظرفیتی غوطه‌ورند. اوربیتال‌های اتم‌های مجاور روی هم افتادگی پیدا می‌کنند. و نوار ظرفیت تشکیل می‌شود، که برای تمام فلزات اساساً اوربیتال مولکولی است و شامل الکترون‌های ظرفیت تمام اتم‌ها می‌باشد. همپوشانی اوربیتال‌های خالی خارجی، تشکیل نوار هدایت می‌دهند که از لحاظ انرژی نسبت به نوار ظرفیت دارای سطح انرژی بالاتری هستند. اختلاف انرژی بین نوار ظرفیت و نوار هدایت در انرژی فاصله نوار E_g می‌باشد. از آن جایی که انرژی فاصله نوار در هادی‌ها بسیار کم است (شکل ۷-۸ الف) الکترون‌های نوار ظرفیت به راحتی با دریافت انرژی گرمایی کافی به نوار هدایتی می‌روند. بنابراین حاملین بار برای هدایت را فراهم می‌کنند.

در مقابل، عایق‌ها دارای انرژی فاصله نوری بزرگی هستند، در نتیجه الکترون‌ها در نوار ظرفیت با دریافت انرژی گرمایی قادر نیستند به نوار هدایتی انتقال یابند. بنابراین عایق‌ها الکتريسته را هدایت نمی‌کنند (شکل ۷-۸ ج). نیمه هادی‌هایی مانند سیلیکون یا ژرمانیم انرژی فاصله نوری متوسط دارند، بنابراین ویژگی‌های هدایتی بین هادی‌ها و عایق‌ها می‌باشد (شکل ۷-۸ ب) باید توجه داشته باشیم که یک ماده آیا نیمه هادی است یا عایق، که این نه تنها بستگی به انرژی فاصله پیوندی دارد بلکه بستگی به دمای عمل و انرژی برانگیخته شدن ماده نیز بستگی دارد که البته به ولتاژ به کار رفته برای آن ماده نیز مربوط می‌شود.

وقتی که ولتاژ در عرض یک دیود نیمه هادی به جهت جلو اعمال می‌شود (بخش ۲-۲ ج) الکترون با برانگیخته شدن به باند هدایتی راه می‌یابد و در فضای جفت الکترون‌های ایجاد شده و دیود حرکت می‌کنند. در نهایت بعضی از این الکترون‌ها به پیوند والانس برمی‌گردند و انرژی آزاد می‌شود که مربوط به انرژی فاصله پیوندی، $E_g = hv$ می‌باشد. مقداری از انرژی به شکل فرکانس تابش الکترومغناطیسی آزاد می‌شود $v = \frac{E_g}{h}$. دیودهایی که نور تولید می‌کنند دیودهای نشر نور نام دارند یا LED نامیده می‌شوند. دیودهای نشر نور اغلب از آرسنیدگالیم ساخته شده که با سفر همراه است و انرژی فاصله پیوندی آن مربوط به طول موج ۶۶۰ نانومتر می‌باشد. این نوع دیودها استفاده وسیعی به عنوان شناساگر و قرائت‌گر در دستگاه‌های الکترونیکی دارند. متأسفانه به خاطر شدت کم آنها و طول موج نشری شان در ناحیه قرمز و مادون قرمز در طیف بینی کاربرد محدودی دارند.

کم می‌شود یا از بین می‌رود بخصوص وقتی که E به انرژی پیوندی الکترون‌ها نزدیک می‌شود، در این حالت اثرات نوری غیر خطی مشاهده می‌شود به طوری که ارتباط بین پلاریزه شدن و میدان الکتریکی با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P = \alpha E + \beta E^2 + \gamma E^3 + \dots \quad (1-7)$$

که مقدار این سه ثابت به صورت $\alpha > \beta > \gamma$ است. در شدت‌های تابشی عادی فقط اولین جمله سمت راست دارای اهمیت است و ارتباط بین پلاریزاسیون و قدرت میدان، خطی است. با لیزرهای خیلی شدید جمله دوم و گاهی اوقات حتی عبارت سوم برای درجه پلاریزاسیون مورد نیاز است. هنگامی که فقط دو عبارت لازم باشد، معادله ۷-۱ را می‌توان برحسب فرکانس زاویه‌ای ω و دامنه ماکزیم قدرت میدان E_m نوشت. بنابراین:

$$P = \alpha E_m \sin \omega t + \beta E_m^2 \sin^2 \omega t \quad (2-7)$$

با جایگزین کردن مقدار مثلثاتی $\sin^2 \cos \omega t = \frac{1}{2} (1 - \cos 2\omega t)$ معادله به صورت زیر خواهد شد.

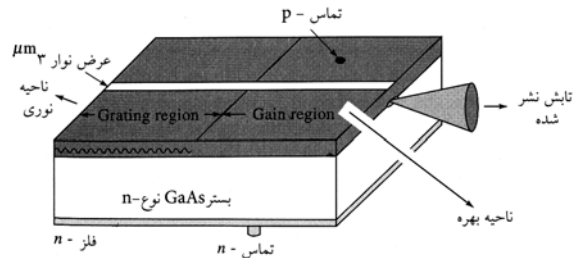
$$P = \alpha E_m \sin \omega t + \frac{\beta E_m^2}{2} (1 - \cos 2\omega t) \quad (3-7)$$

اولین عبارت در معادله ۷-۳ عبارت خطی نرمال است که مربوط به شدت‌های تابشی پائین تر است. در شدت‌های نسبتاً بالا دومین عبارت اهمیت پیدا می‌کند. در نتیجه تابش حاصله از فرکانس 2ω برخوردار است که نسبت به حالت تابش منفرد دو برابر می‌باشد. این فرآیند فرکانس دو برابر به طور وسیعی برای تولید فرکانس‌های لیزری با طول موج کوتاه استفاده می‌شود. برای مثال 1.064 نانومتر نزدیک تابش مادون قرمز ناشی از یک لیزر یاک ($Nd: YAG$) برای تولید 30 درصد از تابش سبز در طول موج 532 نانومتر قابل دو برابر شدن است که با عبور تابش از میان یک ماده بلورین مانند پتاسیم دی هیدروژن فسفات تولید می‌گردد. تابش 532 نانومتر با عبور دادن از میان یک بلور آمونیوم دی هیدروژن فسفات قابل دو برابر شدن بوده و منجر به تابش فرابنفش در طول موج 266 نانومتر می‌شود. تابش ناشی از منابع لیزری در حال به کارگیری در چندین نوع از طیف بینی‌های غیر خطی می‌باشد و بیشتر در طیف بینی رامان (به قسمت ۱۸-۳ مراجعه کنید) مورد توجه است.

۷ ج انتخاب‌گرهای طول موج

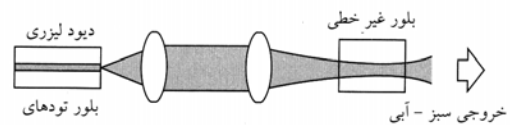
برای بیشتر تجزیه‌های اسپکتروسکوپی، تابشی که مشتمل بر

این دیودها در آینده ثابت خواهند کرد که برای مطالعات طیف بینی مفید خواهند بود یا نه.



شکل ۹-۷ توزیع پراکنش براگ دیود لیزری

استفاده از دیودهای لیزری برای کاربردهای طیف بینی در طیف سنجی جذب مولکولی، طیف سنجی فلورسانس مولکولی، طیف سنجی جذب اتمی و منابع نوری برای آشکار سازها در روش‌های کروماتوگرافی مختلف ثابت شده است. از آنجا که لیزرهای دیودی کاربرد وسیعی از لحاظ تجاری پیدا کرده‌اند، شکی در استفاده فراوان از آنها به عنوان منبع نور در سیستم‌های طیف سنجی تجاری وجود ندارد.



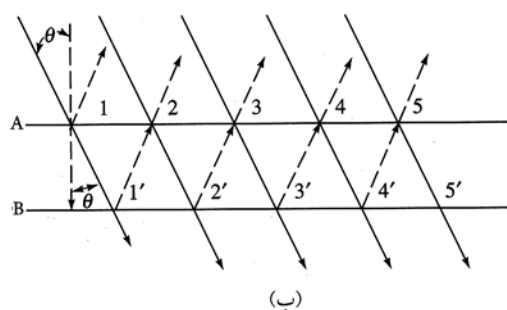
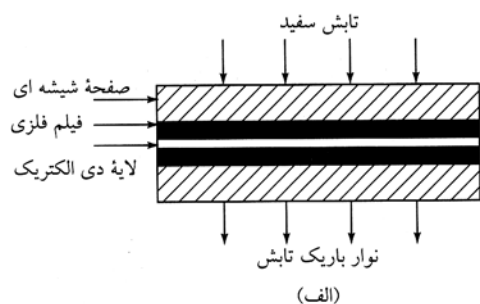
شکل ۷-۱۰ یک سیستم فرکانس دو برابر شده برای تبدیل خروجی لیزر 975 نانومتر به 490 نانومتر

اثرات نوری غیر خطی با لیزرها

همانطور که در بخش ۶-۷ خاطر نشان کردیم، وقتی که یک موج الکترومغناطیسی از میان یک محیط دی‌الکتریک عبور می‌کند [۱۰]، میدان الکترومغناطیسی تابش، باعث تغییر شکل موقتی یا پلاریزه شدن الکترون‌های والانس مولکول‌های سازنده محیط لیزری می‌گردد. برای تابش معمولی پلاریزه شدن (P) تناسب مستقیم با بزرگی میدان الکتریکی (E) تابش مربوطه دارد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$P = \alpha E$$

که در آن α ثابت تناسب می‌باشد. پدیده نوری وقتی اتفاق می‌افتد که این وضعیت حالت غالب داشته باشد که گفته می‌شود خطی شده است. در تابش‌های بسیار شدید مربوط به لیزر این ارتباط

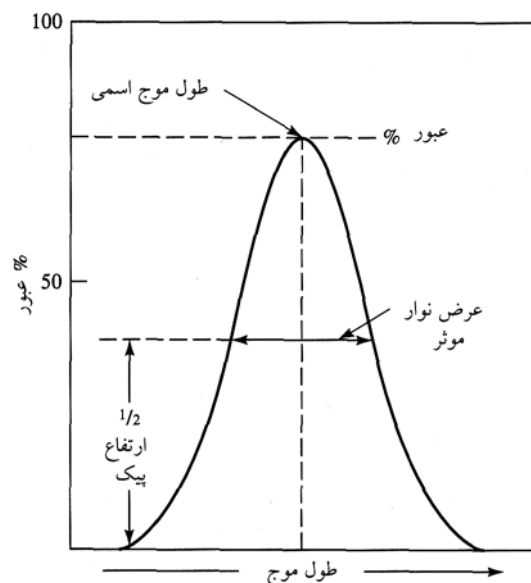


شکل ۷-۱۲: (الف) نمایی از برش عرضی یک صافی تداخلي، توجه داشته باشید که طراحی دارای مقیاس نیست و دارای سه مرکز نوری است که خیلی باریکتر از آنچه که نشان داده شده است می‌باشد (ب) نمایی از وضعیت ساختار صافی تداخلي را نشان می‌دهد.

صافی‌های تداخلي

همان طور که از اسم آنها پیداست صافی‌های تداخلي متکی به تداخل نوری هستند تا نوارهای باریک تابشی را ایجاد کنند. یک صافی تداخلي شامل یک دی الکتریک شفاف (اغلب کلسیم فلورید یا منیزیم فلورید) می‌باشد [۱۲]، که فضای بین دو فیلم فلزی نیمه شفاف را اشغال می‌کند. این آرایش بین دو صفحه شیشه یا دیگر مواد شفاف قرار گرفته است (شکل ۷-۱۲ الف). ضخامت لایه دی الکتریک کاملاً کنترل شده و طول موج تابش عبوری را تعیین می‌کند. وقتی یک پرتو عمودی از تابش موازی شده با این آرایش برخورد می‌کند، یک قسمت از آن از میان نخستین لایه فلزی عبور کرده، در حالیکه قسمت باقی مانده منعکس می‌شود. قسمت عبور کرده وقتی به لایه بعدی فلز برخورد می‌کند تقسیم مشابهی رخ می‌دهد. اگر قسمت منعکس شده از تداخل، طول موج مناسب با قسمت دوم داشته باشد، با انعکاس اولین لایه قسمت داخلی همراه است که طول موج یکسان با پرتو ورودی دارد. نتیجه کار آن است که این طول موج خاص تقویت می‌شود در حالیکه اغلب طول موج‌های دیگر خارج از فاز بوده و دستخوش تداخل مخرب قرار می‌گیرند.

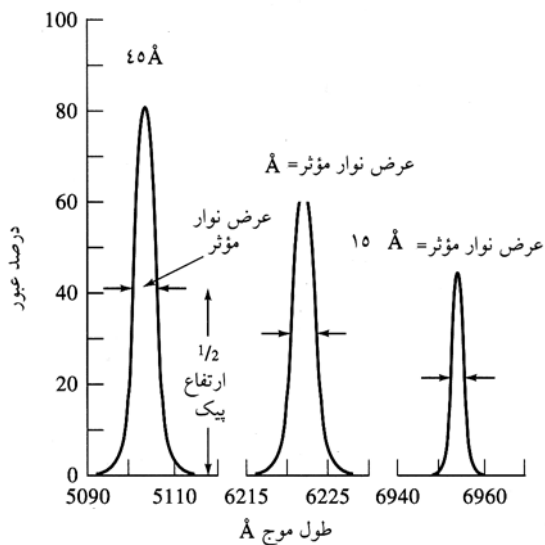
یک گروه از طول موج‌های پیوسته، باریک و محدود می‌باشد یک نوار نامیده می‌شود [۱۱]. یک نوار باریک حساسیت اندازه‌گیری‌های جذب را زیادتر می‌کند و امکان انتخاب روش نشر یا جذب را فراهم می‌آورد و نیاز به پیدا کردن یک رابطه خطی بین سیگنال‌های نوری و غلظت می‌باشد (معادله ۶-۳۴). به طور ایده آل تابش خروجی از یک انتخاب‌گر طول موج، تابشی با یک طول موج یا یک فرکانس است. هیچ انتخاب‌گر طول موج واقعی هرگز به این ایده آل نزدیک نمی‌شود. در عوض یک دسته مانند آنچه که در شکل ۷-۱۱ نشان داده شده حاصل می‌شود. در این جا درصدی از تابش برخورد کننده یک طول موج مشخص که توسط انتخاب‌گر عبور داده شده است بصورت تابعی از طول موج رسم شده است. پهنای مؤثر نوار که در شکل ۷-۱۱ نشان داده شده است عکس میزان کیفیت دستگاه می‌باشد، یک نوار باریک‌تر بیان‌گر کارایی بهتر است. دو نوع انتخاب‌گر طول موج وجود دارد که عبارتند از صافی‌ها و تک فام سازها.



شکل ۷-۱۱ خروجی یک نوع انتخاب‌گر طول موج

ج-۱ صافی‌ها

دو نوع صافی برای انتخاب طول موج به کار می‌رود. صافی‌های تداخلي و صافی‌های جذبی (در گذشته گاهی صافی‌های فابری — پروت نامیده می‌شدند). صافی‌های جذبی به منطقه طیف محدود می‌شوند. صافی‌های تداخلي برعکس در نواحی فرابنفش و مرئی و مادون قرمز کاربرد دارند.



شکل ۱۳-۷ مشخصات عبور صافی‌های تداخلی

گوه‌های تداخلی

گوه‌های تداخلی شامل یک جفت صفحه شفاف و صیقلی شده که توسط لایه‌های سه گوش شده از مواد دی‌الکتریک جدا شده‌اند. طول صفحه‌ها در حدود ۵۰ تا ۲۰۰ نانومتر می‌باشد. تابش عبوری به طور پیوسته از یک بعد تا بعد دیگر فرق می‌کند. به علت آن که ضخامت گره‌ها متفاوت می‌باشد با انتخاب وضعیت خطی مناسب در طول گره پهنایی در حدود ۲۰ نانومتر قابل جدا کردن است.

گره‌های تداخلی برای ناحیه مرئی (۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر)، مادون قرمز نزدیک (۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ نانومتر) و برای ناحیه مادون قرمز (۲/۵ تا ۱۴/۵ میکرومتر) کاربرد دارد. آنها را می‌توان بجای منشور یا شبکه در تک فام ساز استفاده کرد.

صافی‌های جذبی

صافی‌های جذبی که عموماً نسبت به صافی‌های تداخلی بهای کمتری دارند استفاده گسترده‌ای برای انتخاب نوار در ناحیه مرئی را دارند. این صافی‌ها با جذب کردن بخش مشخصی از طیف عمل می‌کنند. معروف‌ترین نوع آن شیشه رنگی یا تک رنگ به صورت سوسپانسیون در آمده در ژلاتین است و بین صفحات شیشه‌ای قرار داده می‌شوند. در بین شیشه رنگی از پایداری گرمایی بیشتر برخوردارند.

صافی‌های جذبی پهنای مؤثر بین ۳۰ تا ۲۵۰ نانومتر دارند (شکل ۷-۱۴ و ۷-۱۰). صافی‌هایی که باریک‌ترین پهنای تولید می‌کند

ارتباط بین ضخامت لایه (t) دی‌الکتریک و طول موج λ عبوری به کمک شکل ۷-۱۲ (ب) قابل درک است. به منظور واضح بودن پرتوهای برخوردی، آنها را طوری نشان می‌دهند که تحت زاویه θ از حالت عمود وارد شوند. در نقطه ۱ تابش به طور جزئی منعکس می‌شود و به طور جزئی به نقطه ۱ می‌رسد که انعکاس جزئی و عبور دوباره اتفاق می‌افتد. فرآیند مشابهی در نقاط ۲ و ۲' و نقاط دیگر به وقوع می‌پیوندد. برای اینکه تقویت مجدد در نقطه ۲ بوجود آید فاصله پیموده شده بوسیله پرتو انعکاسی از نقطه ۱ باید مضربی از طول موج آن λ در محیط باشد. چونکه طول مسیر عبور بین صفحات از رابطه $t/\cos\theta$ تبعیت می‌کند که شرط تقویت مجدد از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$n\lambda = 2t/\cos\theta$$

که در آن n یک عدد صحیح کوچک است. در کاربردهای عادی، θ مساوی صفر در نظر گرفته می‌شود و $\cos\theta$ برابر واحد خواهد شد. در این صورت معادله فوق به صورت زیر در می‌آید.

$$n\lambda \approx 2t \quad (۷-۴)$$

که در آن λ طول موج تابش دی‌الکتریک و t ضخامت دی‌الکتریک می‌باشد. طول موج مربوط به هوا برابر است با $\lambda = \lambda_0/n$ که در آن η ضریب انعکاس محیط دی‌الکتریک می‌باشد. پس طول موج تابش‌های عبوری با صافی عبارتند از:

$$\lambda = \frac{2t\eta}{n} \quad (۷-۵)$$

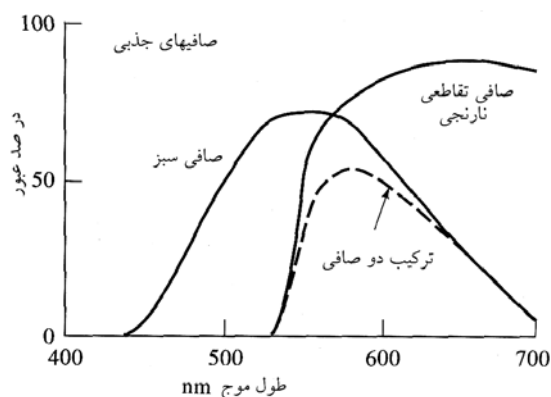
که در آن n درجه تداخل است، لایه‌های شیشه‌ای صافی اغلب برای جذب تمام نوارها، انتخابی بوده و فقط یک نوار را عبور می‌دهند. پس عبور، محدود به یک حالت منفرد می‌باشد. شکل ۷-۱۳ خصوصیات عملی صافی‌های تداخل نوری را نشان می‌دهد. معمولاً صافی‌ها همانطور که نشان داده شده است با طول موج پیک‌های عبوری و درصد تابش عبور کرده پیک (درصد عبور آنها از معادله ۶-۳۱ بدست می‌آید) و پهنای نوار مؤثرشان شناخته می‌شوند.

صافی‌های تداخلی با پیک‌های قابل عبور در سراسر ناحیه فرابنفش و مرئی و تا حدود ۱۴ میکرومتر در مادون قرمز در دسترس می‌باشند. بطور کلی پهنای نوار مؤثر ۱/۵ درصد از طول موج عبوری پیک است. با این وجود در این حالت در بعضی از صافی‌ها نوار باریک تا ۰/۱۵ درصد کاهش می‌یابد، این صافی‌ها دارای ماگزیم عبور برابر ۱۰ درصداند.

(شکل ۷-۲).

قطعات تک فام سازها

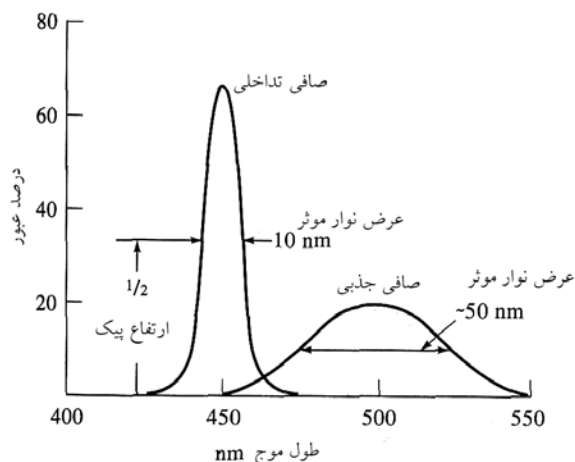
شکل ۷-۱۶ عناصر نوری موجود در تمام تک فام سازها را نشان می‌دهد که شامل موارد زیر است: (۱) یک شکاف ورودی که فراهم کننده یک تصویر چهارگوش است (۲) یک عدسی محدب یا آینه که تولید یک پرتو موازی از تابش می‌نماید (۳) یک منشور که تابش را به طول موج‌های تفکیک شده تبدیل می‌کند (۴) یک عنصر جمع کننده که تصویر سوراخ ورودی را تغییر می‌دهد و آنرا روی سطح تختی جمع می‌کند که صفحه جمع کننده نام دارد و (۵) یک منفذ خروجی در صفحه جمع کننده که باند طیفی دلخواه را جدا می‌نماید. به علاوه اغلب تک فام سازها منفذهای ورودی و خروجی دارند که آنها را از گرد و غبار و مواد خورنده آزمایشگاهی محافظت می‌نماید.



شکل ۷-۱۵ مقایسه انواع صافی‌ها برای پرتوهای مرئی

همانطور که در شکل ۷-۱۶ مشاهده می‌کنید دو نوع عنصر پاشنده در تک فام سازها یافت می‌شود، شبکه‌های انعکاسی و منشورها. برای روشن شدن مطلب یک پرتو متشکل از دو طول موج λ_1 ، λ_2 ($\lambda_1 > \lambda_2$) را در نظر می‌گیریم. این تابش از طریق یک منفذ یا شکاف مستطیل شکل وارد تک فام ساز شده و متمرکز می‌شود. سپس به سطح عنصر پاشنده برخورد کرده که تحت زاویه خاصی قرار دارد. در مورد تک فام سازهای شبکه‌ای موج‌های زاویه دار شده که ناشی از اختلاف آنها است که در سطح انعکاس به وقوع می‌پیوندد. در مورد منشورها همانطور که نشان داده شده انعکاس در دو سطح باعث تفرق زاویه دار تابش می‌گردد. هر دو تابش متفرق

قسمت قابل توجهی از تابش دلخواه را جذب می‌کند و ممکن است عبوری در حدود ۱۰ درصد یا کمتر در پیک‌های نوار خودشان داشته باشند. صافی‌های شیشه‌ای با ماگزیم عبور در تمام ناحیه مرئی وجود دارند و از نظر تجاری در دسترس می‌باشند.

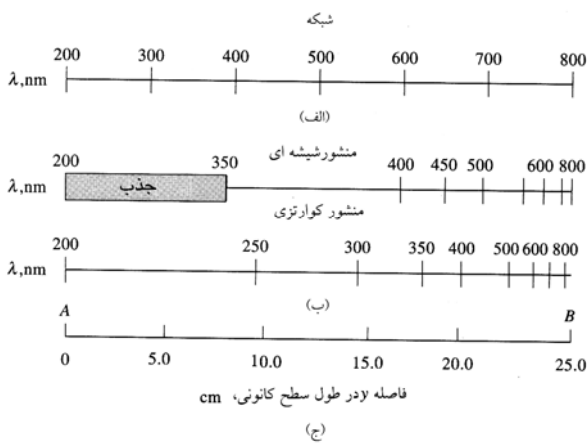


شکل ۷-۱۴ پهنای نوارهای مؤثر برای دو نوع صافی

صافی‌های تقاطعی دارای عبوری در حدود ۱۰۰ درصد در سراسر قسمت مرئی طیف اند اما برای قسمت باقی مانده سریعاً به عبور صفر تنزل می‌یابند. یک نوار طیفی باریک بوسیله صافی منقطع جفت شده با یک صافی ثانویه قابل تفکیک است (شکل ۷-۱۵). از شکل ۷-۱۴ چنین بر می‌آید که خصوصیات عملی صافی‌های تداخلی نسبت به صافی‌های نوع جذبی به طور قابل توجهی بهتر است. نه تنها پهنای نوار صافی جذبی بیشتر است، بلکه برای نوار باریک، کسر نور خروجی نیز کمتر است. با این وجود صافی‌های جذبی کلاً برای موارد زیادی از لحاظ کاربردی کفایت می‌کنند.

۷-۲ تک فام سازها

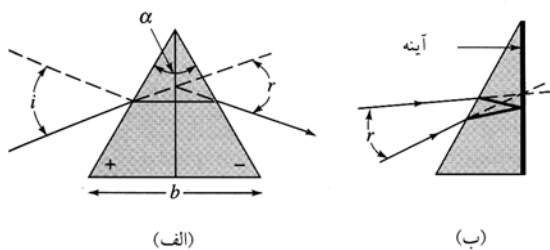
برای اکثر روش‌های طیف بینی ضروری به نظر می‌رسد و یا پسندیده است که قادر باشیم طول موج تابش را در دامنه قابل ملاحظه‌ای تغییر دهیم. این فرآیند جاروب کردن یک طیف نام دارد. تک فام سازها برای جاروب کردن طیف طراحی شده‌اند. تک فام سازها برای تابش فرابنفش، مرئی و مادون قرمز از نظر ساختار مکانیکی حساسیت مشابه دارند. شکاف‌های عبور نور، عدسی‌ها، آینه‌ها، منفذها و شبکه‌ها یا منشورها در همه آنها به کار رفته است. مواد مصرفی برای هر قسمت بسته به طول موج ناحیه متفاوت است



شکل ۷-۱۷: پاشندگی برای سه نوع تک فام ساز. نقاط A و B بر روی (ج) دارای مقیاس هستند که مربوط به نقاط نشان داده شده در شکل ۷-۱۶ می‌باشند.

شکل ۷-۱۸ طرح دو نوع منشور عمومی را نشان می‌دهد. اولی منشور 60° درجه است که معمولاً از یک نوع ماده ساخته می‌شود. کوارتز بلورین (نه ذوب شده) از مواد سازنده آن است، با این وجود منشورها معمولاً با چسباندن دو منشور 30° درجه بهم تشکیل می‌شوند، همانطور که در شکل ۷-۱۸ الف نشان داده شده. یکی از کوارتزها راست گردان و دیگری کوارتز چپ گردان است. در این روش کوارتز هیچگونه پلاریزاسیونی را بر تابش نشری تحمیل نمی‌کند. این نوع منشور، منشور کورنو نام دارد. شکل ۷-۱۶ ب تک فام ساز بونسن را نشان می‌دهد که یک منشور 60° درجه در آن بکار رفته است که از کوارتز ساخته می‌شود.

همانطور که در شکل ۷-۱۸ ب نشان داده شده منشور لیترو که به صورت تک فام ساز فشرده طراحی شده یک منشور 30° درجه است که قسمت پشتی آن آینه دار شده است، به این طریق، بازتابش از منشور، دو مرتبه در یک سطح مشترک انجام می‌شود، بنابراین خصوصیات عملی آن شبیه منشورهای 60° درجه از نوع بونسن می‌باشد.



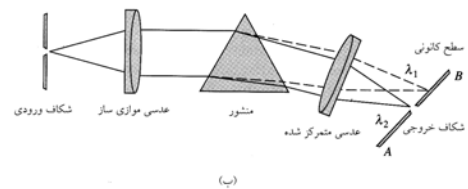
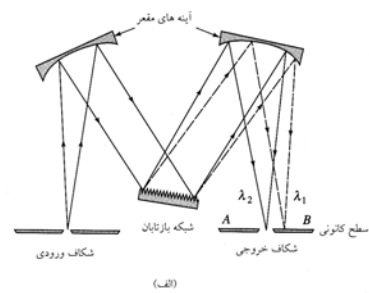
شکل ۷-۱۸: پاشندگی توسط یک منشور (الف) کوارتز نوع کورنو (ب) نوع لیترو.

شده روی یک صفحه AB متمرکز می‌شوند، جایی که در آن دو تصویر عمودی از شکاف ورودی (یکی برای λ_1 و دیگری برای λ_2) ظاهر می‌گردد. چرخش عنصر پاشنده نور یک نوار شکاف خروجی بوجود می‌آورد.

از لحاظ تاریخی اغلب تک فام سازها دستگاههای منشور دار بودند. امروزه تقریباً تمام تک فام سازهای تجاری براساس سیستم انعکاس شبکه‌ای کار می‌کنند زیرا هزینه تولید پایین‌تر است و جداسازی بهتری برای طول موج دارند و تابش را به طور خطی در طول متمرکز کننده متفرق می‌کنند. همانطور که در شکل ۷-۱۷ الف نشان داده شده پاشندگی خطی به این معنی است که وضعیت یک نوار در طول یک صفحه تمرکز برای یک شبکه از لحاظ خطی با طول موج آن فرق می‌کند. در وسایل منشوری، طول موج‌های کوتاه‌تر بر عکس نسبت به طول موج‌های بلندتر با زاویه بزرگتر متفرق می‌شوند. تفرق غیر خطی دو نوع از تک فام سازهای منشوری در شکل ۷-۱۷ ب نشان داده شده است. به علت کاربرد وسیع آنها سعی می‌کنیم بحث بیشتری را بر روی تک فام سازهای شبکه‌ای داشته باشیم.

تک فام سازهای منشوری

منشورها برای پاشیدن تابش فرابنفش، مرئی و مادون قرمز مورد استفاده قرار می‌گیرند. مواد مورد استفاده برای ساختن آنها متفاوت است اگر چه بستگی به طول موج دارد (به شکل ۷-۲ ب).



شکل ۷-۱۶: دو نوع تک فام ساز (الف) تک فام ساز شبکه‌ای چرنی - ترنر (ب) تک فام ساز منشوری بونسن (در هر دو $\lambda_1 < \lambda_2$ می‌باشد)

تک فام سازه‌های شبکه‌ای

پاشیدگی تابش فرابنفش، مرئی و مادون قرمز با عبور یک پرتو چند فام از میان یک شبکه عبوری یا از روی سطح یک شبکه بازتابشی حاصل می‌شود. حالت دوم بیشتر مورد استفاده است. شبکه‌های کپی شده که در بیشتر تک فام سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند از یک سیستم شبکه‌ای با تکنولوژی برتر ساخته شده‌اند [۱۳]. دومی متشکل از یک سطح براق، تخت نوری و سخت است که تعداد زیادی شیار موازی و نزدیک به هم دارند که بوسیله یک الماس شکل یافته و به طرز جالبی پیچیده شده است. یک شبکه برای ناحیه‌های فرابنفش و مرئی معمولاً شامل ۳۰۰ تا ۲۰۰۰ شیار در هر میلی‌متر می‌باشد که تعداد ۱۲۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ شیار در هر میلی‌متر عمومیت بیشتری دارد. برای ناحیه مادون قرمز ۱۰ تا ۲۰۰ شیار در هر میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. در طراحی طیف سنج‌هایی که مورد استفاده وسیع در دامنه ۵ تا ۱۵ میکرومتر در مادون قرمز دارند یک شبکه در حدود ۱۰۰ شیار به ازاء هر میلی‌متر مناسب است. ساختن سیستم شبکه‌ای بسیار خوب و کامل، خسته کننده، زمان بر، و گران است. به دلیل اینکه شیارها باید اندازه مشخص، دقیق و موازی داشته و طول شبکه را بپوشانند (۳ تا ۱۰ سانتیمتر). شبکه‌های کپی شده از یک شبکه عالی از یک رزین مایع ساخته شده است که بطور کامل دقت نوری شبکه اصلی را روی یک سطح رزین شفاف حفظ می‌کنند. این سطح معمولاً به صورت انعکاسی ساخته شده که پوششی از آلومینوم یا گاهی اوقات پوششی از طلا یا پلاتین دارد.

شبکه ایشلت

شکل ۷-۱۹ بیانگر نمایی از یک نوع شبکه ایشلت شیاردار یا تیغه دار است که دارای صفحات پهن برای انعکاس و صفحات باریک غیر قابل استفاده می‌باشد. این شکل هندسی ضریب پراکندگی تابش را بالا می‌برد. این صفحات پهن می‌توانند به عنوان منبع تابش در نظر گرفته شوند. بنابراین تداخل بین پرتوهای انعکاسی ۱ و ۲ و ۳ می‌تواند اتفاق بیفتد. برای اینکه تداخل سازنده باشد، ضروری است که طول مسیر ضریب صحیحی مانند n از طول موج (λ) پرتو باشد.

در شکل ۷-۱۹ پرتوهای موازی تابش تک فام ۱ و ۲ طوری نشان داده شده‌اند که با خط عمود بر شبکه زاویه i تشکیل می‌دهند. حداکثر تداخل در تابش انعکاسی در زاویه r اتفاق می‌افتد. ثابت شده که پرتو ۲ نسبت به پرتو ۱ فاصله زیادتری را می‌پیماید و اختلاف آن

برابر $(CB + BD)$ می‌باشد (به صورت یک خط تیره در شکل نشان داده شده است) برای اینکه تداخل مفید باشد، این تفاوت باید برابر ضریبی از λ باشد یعنی

$$n\lambda = (\overline{CB} + \overline{BD})$$

که در آن n عدد صحیح کوچک است و مرتبه پراش نام دارد. توجه داشته باشید که زاویه CAB برابر i و DAB برابر r می‌باشند. با استفاده از روابط ساده هندسی می‌توان نوشت

$$\overline{CB} = d \sin i$$

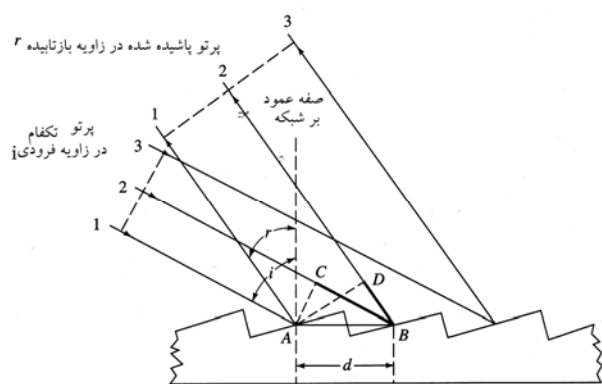
که در آن d فاصله بین سطوح انعکاس است، همچنین دیده می‌شود که

$$\overline{BD} = d \sin r$$

با جایگزین کردن دو معادله اخیر در معادله اول وضعیت تداخل مفید را خواهد داد، پس داریم

$$n\lambda = d(\sin i + \sin r) \quad (6-7)$$

معادله ۶-۷ بیان می‌کند که چندین عدد از λ برای یک زاویه پراش r وجود دارد پس برای خطوط مرتبه اول $(n = 1)$ در $r = 90^\circ$ نانومتر مشاهده می‌شود و برای خطوط مرتبه دوم (۴۵۰ نانومتر) و مرتبه سوم (در ۳۰۰ نانومتر) ظاهر می‌شوند. معمولاً خطوط مرتبه اول بیشترین شدت را دارند و در واقع این امکان وجود دارد که سیستم شبکه‌ای را طوری طراحی کنند که ۹۰ درصد از شدت فرودی در این مرتبه متمرکز گردد. خطوط لایه بالاتر عموماً بوسیله صافی‌ها قابل حذف می‌باشند. برای مثال شیشه که تابش زیر ۳۵۰ نانومتر را جذب می‌کند طیف درجات بالاتر مربوط به تابش لایه اول را در اغلب ناحیه مرئی حذف می‌کند. این مثال روشن گر این گونه مسائل می‌باشد.



شکل ۷-۱۹ مکانیسم پراش از یک نوع شبکه ایشلت

مثال ۱-۲

شبکه‌های تمام نگاری^۱ [۱۴]

یکی از محصولات فن آوری جدید لیزری تکنیک نوری است (فراتر از مکانیکی) که برای تهیه شبکه روی صفحه شیشه‌ای تخت و مقعر مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبکه‌های هولوگرافی تولید شده بدین طریق در وسایل نوری مدرن که از نظر تعداد در حال افزایش بوده و حتی قیمت بعضی از آنها ارزان نیز می‌باشد. شبکه‌های هولوگرافی به علت کامل‌تر بودن شان و با توجه به خطی بودن و ابعاد، طیفی را فراهم می‌آورند که در آنها از تابش‌های سرگردان و مجازی [دو تصویری] کمتر مشاهده می‌شود. در تهیه شبکه‌های هولوگرافی پرتوها از یک جفت لیزر مشخص با زاویه مناسب روی یک سطح شیشه‌ای پوشیده با مواد مقاوم نور تابیده می‌شود. شعاع‌های تداخلی حاصل از دو پرتو به ماده مقاوم نوری حساس هستند به طوریکه می‌توانند متفرق شوند و با ترک ساختارهای شکاری که با آلومینیم و یا مواد انعکاس دهنده دیگر پوشش داده شده‌اند یک شبکه انعکاسی را به وجود بیاورند. فاصله شیارها با تغییر زاویه پرتوهای دو لیزر نسبت به یکدیگر قابل تغییر است. شبکه تقریباً کامل و بزرگ (۵۰ سانتی متر) با تعداد ۶۰۰۰ خط در هر میلی متر با بهای بسیار کم قابل ساختن است. همانند شبکه‌های متداول، شبکه‌های کپی شده می‌توانند با استفاده از ریخته گری روی یک شبکه اصلی هولوگرافی تهیه شوند. گزارشات رسیده حاکی است که هیچ روش نوری وجود ندارد که فرق بین یک شبکه هولوگرافی اصلی و هولوگرافی کپی شده را مشخص نماید [۱۵].

مشخصات کارایی تک فام سازهای شبکه ای

کیفیت یک تک فام ساز به خلوص تابش خروجی آن، توانایی پراکنندگی طول موج‌های مجاور، قدرت تجمع نوری و پهنای نوار طیفی آن بستگی دارد. خصوصیت آخر در بخش ۷-۳ بحث خواهد شد.

خلوص طیفی

پرتو خروجی یک تک فام ساز معمولاً با تعداد کمی از تابش پراکنده یا سرگردان یا طول موجی که تفاوت زیادی با طول موج تنظیمی دستگاه دارد آلوده می‌شود. این تابش ناخواسته از چندین منبع می‌تواند ردیابی شود. از جمله انعکاس‌های پرتو از قسمت‌های مختلف نوری و بدنه تک فام ساز می‌باشد که از نقص مکانیکی ناشی

یک سیستم شبکه‌ای ایشلت که شامل ۱۴۵۰ شیار در هر میلی متر می‌باشد با یک پرتو چند فام با زاویه ۴۸ درجه با خط عمود بر شبکه نوردهی شد. محاسبه کنید طول موج‌های تابشی را که در زاویه انعکاسی ۲۰°، ۱۰° و ۰ درجه می‌سازند (زاویه r در شکل ۷-۱۹ داده شده است) برای بدست آوردن d از معادله ۷-۶ داریم.

$$d = \frac{1mm}{\text{شیار } 1450} \times 10^6 \frac{nm}{mm} = 689.7 \text{ nm/شیار}$$

که r در شکل ۷-۱۹ برابر ۲۰° درجه است.

$$\lambda = \frac{689.7}{n} nm (\sin 48 + \sin 20) = \frac{748.4}{n} nm$$

طول موج‌های مرتبه اول، دوم و سوم انعکاس‌ها به ترتیب برابرند با ۷۴۸ (n = ۱)، ۳۷۴ (n = ۲) و ۲۴۹ (n = ۳) نانومتر. با توجه به محاسبات انجام شده، نتایج زیر حاصل می‌شود.

طول موج بر حسب نانومتر			
درجه، r	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$
۲۰	۷۴۸	۳۷۴	۲۴۹
۱۰	۶۳۲	۳۱۶	۲۱۱
۰	۵۱۳	۲۵۶	۱۷۱

سیستم‌های شبکه‌ای مقعر

شبکه‌های روی یک سطح مقعر به همان طریقی که در سطح صاف عمل می‌کند ساخته می‌شوند. یک شبکه مقعر این امکان را فراهم می‌آورد که تک فام ساز، بدون آینه و عدسی‌های تمرکز دهنده و موازی ساز محوری طراحی شود. چون که سطح مقعر هم تابش را متفرق می‌کند و هم عمل متمرکز کردن، آن را بر روی شکاف خروجی انجام می‌دهد. بنابراین چنین طرحی از لحاظ قیمت مزیت دارد. به علاوه با کاهش در تعداد سطوح نوری، انرژی خروجی از یک تک فام ساز را افزایش می‌دهد.

$$D^{-1} = \frac{d\lambda}{dy} = \frac{d \cos r}{nF} \quad (10-7)$$

توجه داشته باشید که با کاهش فاصله بین خطوط و یا با افزایش تعداد خطوط در هر میلی متر پاشندگی زاویه‌ای هم به مرور افزایش می‌یابد. در زاویه‌های کوچک انکسار (کوچکتر از ۲۰) که $\cos r \approx 1$ است و معادله ۷-۱۰ تقریباً برابر معادله زیر خواهد شد.

$$D^{-1} = \frac{d}{nF} \quad (11-7)$$

توجه داشته باشید که در کلیه کارهای عملی، اگر زاویه r کوچک باشد، آنگاه پراکندگی خطی یک شبکه تک فام ساز ثابت خواهد ماند که این ویژگی طراحی تک فام سازها را بسیار ساده می‌کند.

قدرت تفکیک تک فام سازها

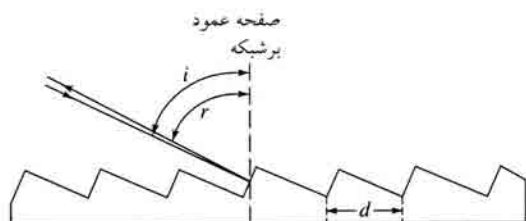
قدرت تفکیک یک تک فام ساز (R) حد توانایی آنها را در جداسازی تصاویری که اختلاف طول موجی ناچیزی دارند را توصیف می‌کند، که در این جا برحسب تعریف

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (12-7)$$

که در آن λ میانگین طول موج دو تصویر و $\Delta\lambda$ اختلاف آنهاست. قدرت تفکیک کنندگی نوعی از تک فام سازهای فرابنفش و مرئی در محدوده ۴۱۰ تا ۳۱۰ می‌باشد. می‌توان نشان داد که قدرت تفکیک کنندگی یک شبکه از معادله زیر بدست می‌آید [۱۷].

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = nN \quad (13-7)$$

که در آن n ضریب شکست و N تعداد تیغه‌های شبکه مورد تابش قرار گرفته توسط پرتوی که از شکاف ورودی وارد می‌شود می‌باشند. بنابراین، تفکیک بهتر از مشخصه‌های شبکه‌های بلندتر، فاصله کمتر تیغه‌ها و مرتبه پراش بالاتر است. این معادله برای شبکه‌های اشلت و اشلی کاربرد دارد.



شکل ۷-۲۰ شبکه اشلی: زاویه تابش = i ; زاویه بازتابش = r ; فاصله هر شیار = d در آزمایشات معمولی $26^\circ 73'$ $i r = b$

می‌شوند. به خصوص در شبکه‌ها، هنگام ساختن آنها در کارخانه بوجود می‌آیند. پراکندگی بوسیله ذرات غبار موجود در اتمسفر یا روی سطح دستگاههای نوری هم تا رسیدن پرتو به شکاف خروجی موجب پراکندگی آن می‌شوند. عموماً اثرات تابش غیر واقعی با قرار دادن مانع در نقاط مناسب تک فام ساز و با پوشش دادن سطوح داخلی با رنگ سیاه به حداقل رسانده می‌شود. به علاوه با قرار دادن تک فام ساز در پنجره‌ها و شکاف‌ها از ورود گرد و غبار و ذرات جلوگیری می‌کنند. علی‌رغم این همه دقت، تعدادی تابش ناجور و غیر واقعی هنوز هم نشر می‌شود. خواهیم دید که وجود آنها می‌تواند اثرات بارزی روی اندازه‌گیری‌های جذبی در موارد خاص داشته باشد [۱۶].

پاشندگی در تک فام سازهای شبکه‌ای

توانایی یک تک فام ساز در جدا کردن طول موج‌های مختلف بستگی به پراکنش آن دارد. زاویه تفرق با $\frac{dr}{d\lambda}$ نشان داده می‌شود که در آن dr تغییرات زاویه انعکاس یا انکسار با تغییر در طول موج $d\lambda$ می‌باشد. زاویه r در اشکال (۷-۱۸) و (۷-۱۹) نشان داده شده است. پاشندگی زاویه‌ای یک شبکه از دیفرانسیل معادله ۷-۶ با ثابت نگه داشتن i بدست می‌آید. پس برای هر زاویه داده شده داریم.

$$\frac{dr}{d\lambda} = \frac{n}{d \cos r} \quad (7-7)$$

پاشندگی خطی D ترجیحاً به تغییرات در طول موج به عنوان تابعی از y اشاره دارد که در طول خط AB در صفحات کانونی نشان داده شده در شکل (۷-۱۶) به وجود می‌آید. اگر F طول کانونی تک فام ساز باشد، پاشندگی خطی می‌تواند از طریق معادله زیر با پراکندگی زاویه‌ای ارتباط داشته باشد.

$$D = \frac{dy}{d\lambda} = \frac{Fdr}{d\lambda} \quad (8-7)$$

معکوس پاشندگی خطی راه مناسب دیگری برای محاسبه میزان پراکندگی می‌باشد که در آن

$$D^{-1} = \frac{d\lambda}{dy} = \frac{1}{F} \times \frac{d\lambda}{dr} \quad (9-7)$$

ابعاد D^{-1} معمولاً nm/mm یا \AA/mm می‌باشد. با جایگزین کردن معادله (۷-۷) در معادله (۹-۷) به معادله معکوس پاشندگی خطی برای یک شبکه تک فام ساز خواهیم رسید:

قدرت گردآوری نور توسط تک فام سازها

برای افزایش نسبت سیگنال به نویز در یک طیف سنج، ضروری است که انرژی تابشی که به اشکار ساز می‌رسد تا حد امکان بزرگ باشد. سرعت یا $\frac{f}{\text{تعداد}}$ ، مقیاسی برای محاسبه توانایی یک تک فام ساز در جمع آوری تابش عبور کرده از شکاف ورودی می‌باشد. $\frac{f}{\text{تعداد}}$ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$f = \frac{F}{d} \quad (14-7)$$

که در آن F فاصله کانونی آینه (یا لنز) جمع کننده و d قطر آن است. قدرت گردآوری نور توسط یک دستگاه نوری با افزایش مجذور معکوس $\frac{f}{\text{تعداد}}$ زیاد می‌گردد. پس یک لنز $\frac{f}{2}$ چهار برابر بیشتر از لنز $\frac{f}{4}$ جمع می‌کند. برای بسیاری از تک فام سازها در محدوده ۱ تا ۱۰ است.

تک فام ساز اشلی یا پله‌ای

تک فام سازهای اشلی دارای دو عنصر پاشنده می‌باشند که به طور سری بهم وصل شده‌اند. اولی یک نوع شبکه خاص است به نام شبکه اشلی و دومی که به دنبال اولی می‌آید، معمولاً یک منشور با پاشندگی پایین یا بعضی اوقات یک شبکه است. شبکه اشلی که برای اولین بار توسط جی. آر. هاریسون در سال ۱۹۴۹ میلادی پیشنهاد شد، دارای پاشندگی و تفکیک بالا نسبت به شبکه ایشلت هم اندازه خود است [۱۸]. شکل (۷-۲۰) نشان دهنده یک نوع برش عرضی از شبکه اشلی است و با شبکه ایشلت که در شکل (۷-۱۹) نشان داده شده از چند نقطه نظر تفاوت دارد. اول اینکه برخوردها با زاویه بازتری صورت می‌گیرد، زاویه تیغه یک شبکه اشلی به مراتب بزرگتر از دستگاه عادی است و سمت کوتاه تیغه بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد تا سمت بلندتر آن. بعلاوه شبکه نسبتاً درشت‌تر است که نوعاً دارای ۳۰۰ شیار یا اندکی کمتر در هر میلی متر برای تابش فرابنفش و مرئی است. قابل ذکر است که زاویه انکسار r در شبکه اشلی بیشتر از ایشلت است که تقریباً به زاویه تابش نزدیک است. یعنی $ri = b$ در چنین شرایطی، معادله (۷-۶) برای یک شبکه به معادله زیر تبدیل می‌شود:

$$n\lambda = 2d \sin \beta \quad (15-7)$$

در یک شبکه ایشلت معمولی، پاشندگی زیاد یا پاشندگی وارون

کم به وسیله کوچک کردن عرض شیار d و بزرگ کردن طول کانونی F به دست می‌آید. فاصله کانونی بزرگتر جذب نور را کم و تک فام ساز را بزرگ و بدقواره می‌کند. برعکس، در شبکه اشلی با بزرگ کردن زاویه β و بزرگ کردن مرتبه پراش n به پاشندگی بیشتری دست می‌یابیم. پاشندگی معکوس برای یک شبکه اشلی از نوآرایی معادله (۷-۱۰) به معادله (۷-۱۶) حاصل می‌شود.

$$D^{-1} = \frac{2d \cos \beta}{nF} \quad (16-7)$$

مزایای شبکه اشلی در جدول (۷-۱) نشان داده شده که نشان دهنده مشخصه‌های عملی برای دو نوع تک فام ساز می‌باشد. یکی با شبکه ایشلت ساده و دیگری برای یک شبکه ایشلت است. توجه داشته باشید که با فاصله کانونی یکسان، پراکندگی خطی و تفکیک مقادیر بزرگتری را برای شبکه اشلی نشان میدهد و قدرت گردآوری تابش نسبت به روش ایشلت به جهاتی نیز بسیار قوی می‌باشد.

یکی از مشکلاتی که در استفاده از شبکه اشلی با آن مواجه‌ایم این است که پراکندگی خطی در مرتبه‌های انکسار بالا به قدری زیاد است که برای پوشش دادن به گسترده‌ای از طیف‌ها لازم است که از مراحل تکراری استفاده نمائیم. به عنوان مثال، در دستگاهی برای پوشش دادن طیفی در محدوده ۲۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر نیاز به انکسار با مرتبه‌های ۲۸ تا ۱۱۸ (۹۰ درجه اختلاف) است. چون این مرتبه‌ها به ناچار روی هم افتادگی دارند پس ضروری است که یک مقطع پراکندگی همانند شکل (۷-۲۱ الف)، برای شبکه اشلی بکار بگیریم. در این جا تابش پراکنده شده توسط شبکه از منشوری عبور داده می‌شود (در بعضی از دستگاهها از شبکه دومی هم استفاده می‌شود) که محور منشور با شبکه زاویه قائمه می‌سازد. نتیجه این عملیات ایجاد یک محیط دوبعدی مانند نقشه شکل (۷-۲۱ ب) می‌باشد. این شکل ۸ مکان از ۷۰ توزیع را توسط خطوط قائم کوتاهی نشان می‌دهد. برای هر توزیع داده شده، پاشیدگی طول موج تقریباً خطی است. اما، همانطور که قابل ملاحظه است، پاشیدگی در مرتبه‌های پایین‌تر یا طول موج بلندتر کمتر می‌شود. یک طیف دو بعدی واقعی حاصل از یک تک فام ساز اشلی متشکل از یک سری خطوط عمودی کوتاه است که در محدوده ۵۰ تا ۱۰۰ محور افقی قرار دارند و هر محور مربوط به یک مرتبه پراش است. برای تغییر طول موج توسط یک تک فام ساز اشلی ضروری است که زاویه شبکه و منشور، هر دو تغییر کنند. اخیراً تولید کنندگان دستگاهها شروع به تولید طیف سنج هایی از نوع اشلی برای تعیین همزمان گروهی از

اثر پهنای شکاف بر روی تفکیک

شکل (۷-۲۲) وضعیت پرتوی تک فام با طول موج λ_2 را در حین برخورد به شکاف خروجی را نشان می‌دهد. در این جا تک فام ساز برای λ_2 تنظیم شده است و دو شکاف از نظر پهنای یکسان هستند. تصویر شکاف ورودی دقیقاً بر روی شکاف خروجی قرار دارد. حرکت تک فام ساز برای تنظیم طول موجهای λ_1 و λ_3 منجر به خارج شدن کامل تصویر از شکاف می‌گردد. نیمه پایین شکل (۷-۲۲) شمایی است از توان تابش نشر شده که به عنوان تابعی از تک فام ساز عمل می‌کند را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که پهنای نوار به عنوان مشخصه‌های دهانه دستگاه تک فام ساز شناخته می‌شود (در واحد طول موج یا گاهی اوقات براساس واحد cm^{-1}) که برای انتقال تصویر از شکاف ورودی در راستای شکاف خروجی لازم است. اگر از تابش چند فام استفاده شود، پهنای نوار همچنان نشان دهنده پهنای طول موجهای نشر شده از شکاف خروجی، در یک تنظیم مشخص تک فام ساز خواهد بود.

پهنای نوار مؤثر که نصف پهنای نوار است وقتی عرض دو شکاف یکسان باشند به نظر می‌رسد که محدوده‌ای از طول موج‌هایی که براساس مشخصه‌های طول موج داده شده از تک فام ساز خارج می‌شوند. پهنای نوار مؤثر، با معکوس خطی (پراکندگی) می‌تواند رابطه داشته باشد که براساس معادله ۷-۸ می‌توان نوشت:

$$D^{-1} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

همان طور که در شکل (۷-۲۲) نشان داده شده است، هر گاه $\Delta\lambda$ مساوی پهنای شکاف (W) باشد، پهنای مؤثر نوار خواهد بود، که در این صورت

$$\Delta\lambda_{\text{مؤثر}} = WD^{-1} \quad (۷-۱۷)$$

نمودار شکل ۷-۲۳ رابطه بین پهنای مؤثر نوار یک دستگاه و توانایی تجزیه و تحلیل پیک‌های طیفی را نشان می‌دهد. در این جا شکاف خروجی یک تک فام ساز شبکه‌ای، پرتویی که فقط مرکب از سه طول موج λ_1 و λ_2 و λ_3 می‌باشد را می‌تاباند و فرض می‌شود که هر یک از این سه موج شدت برابر دارند. در شکل بالایی پهنای مؤثر دستگاه دقیقاً برابر با تفاوت بین طول موجهای λ_1 و λ_2 یا λ_2 و λ_3 است. وقتی تک فام ساز روی λ_2 تنظیم شود، تابش طول موج، دقیقاً شکاف را پر می‌کند ولی شدت یکی دیگر از خطوط را با یک مقدار هم ارز افزایش می‌دهد. همان طور که در سمت راست نقشه با خط تیره نشان داده شده، هیچگونه نتیجه طیفی در سه طول موج مشاهده نمی‌شود.

عناصر توسط طیف بینی نشر اتمی کرده‌اند. طرح دو مورد از این دستگاهها در شکل‌های (۷-۱۰) و (۹-۱۰) نشان داده شده است.

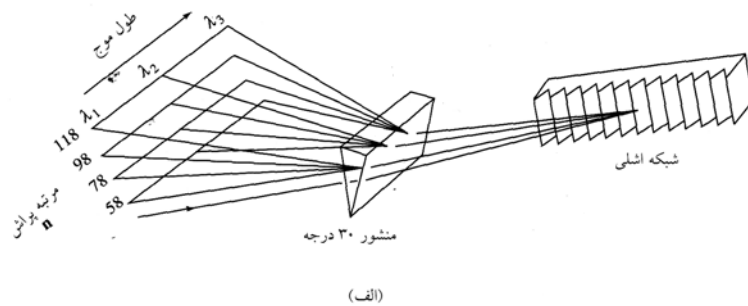
جدول ۷-۱ مقایسه مشخصه‌های عملی تک فام سازهای معمولی و اشلی*

اشلی	معمولی	اشلی
۰/۵M	۰/۵M	فاصله کانونی
۷۹/mm	۱۲۰۰/mm	چگالی شیار
۶۳° ۲۶'	۱۰° ۲۲'	زاویه پراش β
۷۵	۱	n ضریب شکست (در ۳۰۰ نانومتر)
۷۶۳.۰۰۰	۶۲.۴۰۰	تفکیکی (در ۳۰۰ نانومتر) $\frac{\lambda}{\Delta\lambda}$
۱/۵ Å/mm	۱۶ Å/mm	معکوس پاشندگی خطی، D^{-1}
f/۸/۸	f/۹/۸	قدرت گردآوری نور، f

* با اجازه از P.E. Keliber and C.C. Wohlers, Anal. Chem., 1976, 48,334A.

ج-۳ شکافهای تک فام سازها

شکاف‌های یک تک فام ساز نقش مهمی را در تعیین مشخصه‌های عملی و کیفی آن بازی می‌کنند. شکاف‌های دندانه‌ای با قرار دادن دو تکه فلز در کنار هم ایجاد می‌شوند. بایستی دقت شود که نوک شکاف دقیقاً به موازات یکدیگر باشند و هر دو روی یک صفحه قرار گیرند. در بعضی از تک فام سازها، دریچه‌های دو شکاف ثابت هستند، واضح است که اندازه دریچه‌ها می‌توانند توسط یک دستگاه میکرومتر تنظیم شوند. شکاف ورودی (شکل ۷-۱۶) یک تک فام ساز مانند یک منبع تابشی عمل می‌کند. تصویر آن در نهایت بر روی صفحه کانونی که دارای شکاف خروجی است متمرکز می‌شود. اگر منبع تابش متشکل از چند طول موج مجزا باشد، آنگاه یک سری تصاویر مستطیلی روی این سطح مانند خطوط درخشان تشکیل می‌شود که هر یک مربوط به طول موج داده شده است. یک خط مخصوص را می‌توان با چرخاندن عنصر پاشنده روی شکاف خروجی متمرکز کرد. اگر شکاف ورودی و خروجی هم اندازه باشند (که معمولاً اینگونه است)، تصویر شکاف ورودی بایستی طبق تئوری، دریچه شکاف خروجی را پر کند. حرکت پایه تک فام ساز در یک جهت یا در جهت دیگر، منجر به کاهش پیوسته‌ای در شدت نشر شده که اگر تصویر شکاف ورودی به اندازه عرض کامل آن جا به جا شود، شدت به صفر می‌رسد.



(الف)

	λ_3	λ_2	λ_1
118	260	240	220
108	300	280	260
98	340	320	300
88	400	380	360
78	500	480	460
68	620	600	580
58	780	760	740
48	800	720	700
	680	660	640

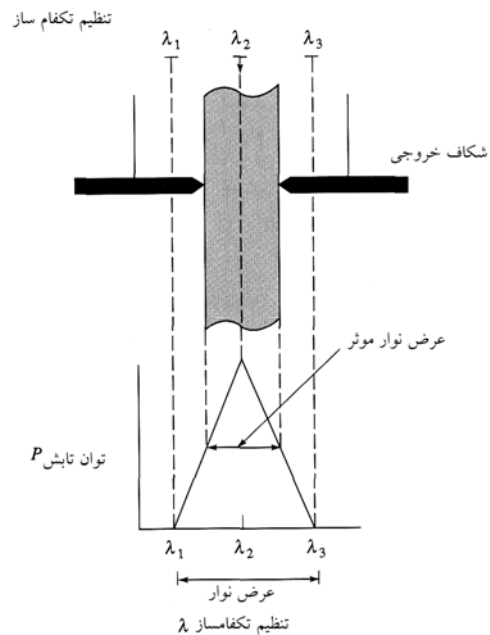
(ب)

شکل ۷-۲۱ یک تک فام ساز اشلی (الف) ترتیب عناصر پاشنده و (ب) شمایی از نمایش نهایی از پراکنش پرتو بر روی آشکار ساز

در بخش میانی نقشه شکل (۷-۲۲) پهنای مؤثر نوار دستگاه با باریک کردن دریچه شکاف ورودی و خروجی به سه چهارم ابعاد اولیه کاهش یافته است. خط تیره در نقشه سمت راست نشان می‌دهد که تفکیک جزئی سه خط حاصل شده است. زمانی که پهنای مؤثر نوار به نصف اختلال طول موجهای سه پرتو کاهش داده شود. همان طور که در نقشه پایین مشاهده می‌شود، تفکیک کامل صورت می‌گیرد. پس تفکیک کامل دو نوار وقتی که تنها پهنای شکاف تنظیم شده باشد، آنگاه پهنای مؤثر نوار تک فام ساز، $1/5$ برابر طول موج اختلاف دو نوار خواهد شد.

مثال ۲-۲

یک تک فام ساز شبکه‌ای با عکس پاشندگی خطی $1/2 \frac{nm}{mm}$ در جداسازی خطوط سدیم در $589/6$ و 589 نانومتر مورد استفاده قرار گرفته است. از نظر تئوری پهنای شکاف چقدر باید باشد؟ برای تفکیک کامل دو نوار لازم است که



شکل ۷-۲۲ تابش دهی شکاف خروجی توسط تابش تک فام λ_2 با مشخصه‌های مختلف تک فام ساز. شکاف خروجی و ورودی یکسان هستند.

شبکه و همچنین به پهنای شکافهای ورودی و خروجی بستگی دارد. بیشتر تک فام سازها مجهز به شکافهای قابل تغییرند به نحوی که پهنای نوار مؤثر می تواند تغییر کند. هر کجا که نیاز به نوارهای جذبی و یا نشری باریک باشد، استفاده از شکاف با پهنای حداقل توصیه می شود. از سوی دیگر هر چه شکاف باریکتر شود، کاهش در تابش نشر شده مشاهده می شود و اندازه گیری دقیق توان آن مشکل تر می شود. بنابراین می توان از شکافهای پهن تر برای تجزیه های کمی استفاده کرد. این برای کارهای کیفی که در آنها جزئیات طیفی اهمیت دارد توصیه نمی شود.

۴۷ ظروف نمونه

در کلیه مطالعات طیف بینی بجز طیف بینی نشر نیاز به ظروف نمونه است. بطور کلی تک فام سازها، سلولها یا کویتها می باشند که نمونه ها را در خود جای می دهند و باید از موادی ساخته شوند که تابش را در ناحیه مورد نظر از خود عبور دهند. بنابراین همان طور که در شکل ۷-۲ نشان داده شده، کوارتز یا سیلیکای گداخته برای ناحیه فرابنفش مورد نیاز است (زیر ۳۵۰ نانومتر). هر دوی این.

$$\Delta \lambda_{\text{مؤثر}} = \frac{1}{2} (589.6 - 589) = 0.3 \text{ نانومتر}$$

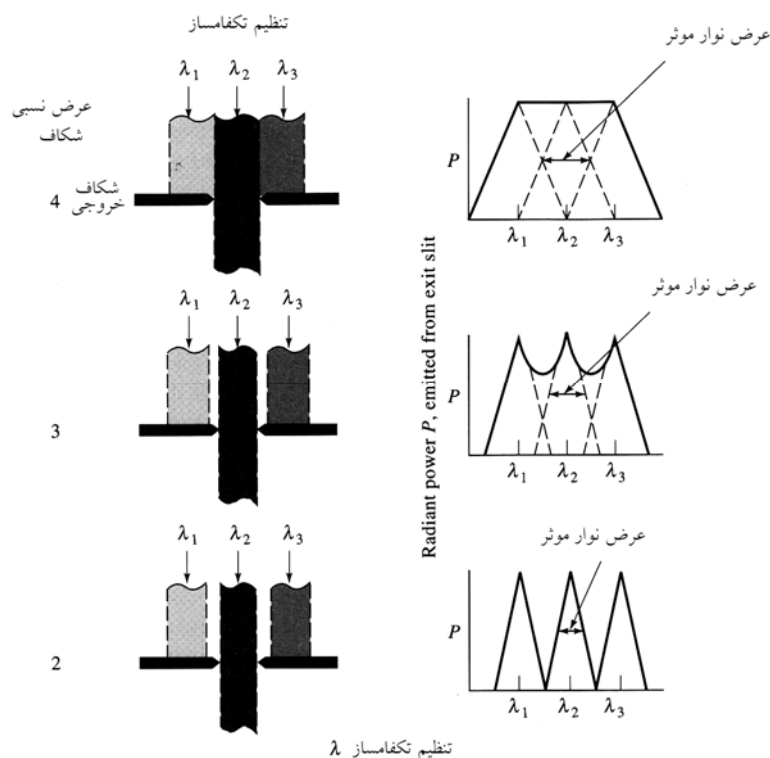
با جا گذاری در معادله ۷-۱۵ و پس از نوآرایی خواهد شد:

$$W = \frac{\Delta \lambda_{\text{مؤثر}}}{D^{-1}} = \frac{0.3 \text{ nm}}{1/2 \text{ nm/mm}} = 0.25 \text{ میلی متر}$$

باید توجه داشته باشید که پهنای شکاف اندازه گیری شده در مثال ۷-۲ اهمیت زیادی دارد. معایبی که در بسیاری از تک فام سازها وجود دارد، این است که پهنای نوار، باریک تر از مقدار نظری آن است که معمولاً برای بدست آوردن نتایج مورد نظر، مورد نیاز است. شکل (۷-۲۴) اثر پهنای نوار را بر روی طیف آزمایشی برابر بخاز بنزن نشان می دهد. قابل ذکر است که بسیاری از جزئیات طیف توسط باریک ترین نوار و در نتیجه از باریک ترین پهنای نوار تشخیص داده می شود.

انتخاب پهنای شکاف

پهنای نوار مؤثر یک تک فام ساز به قدرت پراکندگی منشور و یا



شکل ۷-۲۳ اثر پهنای شکاف بر روی طیف. شکاف ورودی فقط توسط λ_1 و λ_2 و λ_3 روشن می شود. شکاف ورودی و خروجی یکسان می باشند. منحنی های سمت راست تغییرات در توان نشر شده به عنوان مشخصه از تغییرات تک فام ساز را نشان می دهد.

k ضریب حساسیت است (بخش ۱۱ - ۲). بسیاری از مبدل‌ها در پاسخ به یک تابش، عکس العمل کوتاه، ثابت و شناخته شده مثل جریان تاریک از خود نشان می‌دهند. برای این گونه مبدل‌ها پاسخ توسط رابطه زیر قابل توضیح است:

$$S = k_p + k_d \quad (19-7)$$

که در آن k_d جریان تاریک را نشان می‌دهد که معمولاً در اندازه‌گیری کوتاه مدت ثابت است. دستگاه‌هایی که به این نوع مبدل‌ها مجهزند تولید جریان تاریک می‌کنند و معمولاً جریان طوری تنظیم می‌کنند که k_d تا حد صفر کاهش یابد. در این صورت است که در معادله ۷-۱۸ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

انواع مبدل‌های تابشی [۱۹]

همان طور که در شکل (۷-۲) نشان داده شده است، با دو نوع مبدل تابشی معمولی روبرو هستیم. یکی به فوتون حساسیت نشان می‌دهد و دیگری به گرما، همه مبدل‌های فوتونی (که فتوالکتتریک یا آشکار ساز کوانتومی نیز نامیده می‌شوند) یک صفحه فعال دارند که توانایی جذب تابش را دارند. در برخی انرژی جذب شده باعث نشر الکترونها و افزایش جریان فوتونها می‌گردد و در برخی دیگر، انرژی تابشی، الکترونها را به نوارهای هدایت کننده انتقال می‌دهند. آشکار سازی در این جا براساس افزایش رسانایی (هدایت نوری) عمل می‌کند. آشکار سازهای فوتونی برای اندازه‌گیری در ناحیه فرابنفش، مرئی و نزدیکی اشعه مادون قرمز، در سطح وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. وقتی که تابشی با طول موج بیش از ۳ میکرو متر مورد نیاز باشد، باید از یخ خشک یا نیتروژن مایع برای جلوگیری از اغتشاشات گرمایی زمینه‌ای استفاده کرد. آشکار سازهای فتوالکتتریک

مواد همچنین در ناحیه مرئی و تا حدود ۳ میکرون در ناحیه مادون قرمز نیز شفاف هستند. شیشه‌های سیلیکاتی می‌توانند در ناحیه بین ۳۵۰ و ۲۰۰۰ نانومتر نیز بکار گرفته شوند. از ظروف پلاستیکی در ناحیه مرئی نیز استفاده می‌شود. سدیم کلراید بلورین معمولی‌ترین ماده‌ای است که به عنوان سلول در ناحیه مادون قرمز مورد استفاده قرار می‌گیرد. مواد شفاف دیگری که می‌توانند بدین منظور در ناحیه مادون قرمز مورد استفاده قرار گیرند، در جدول (۷-۲) فهرست شده است

۵۷ مبدل‌های تابشی

۵۷-۱ مقدمه

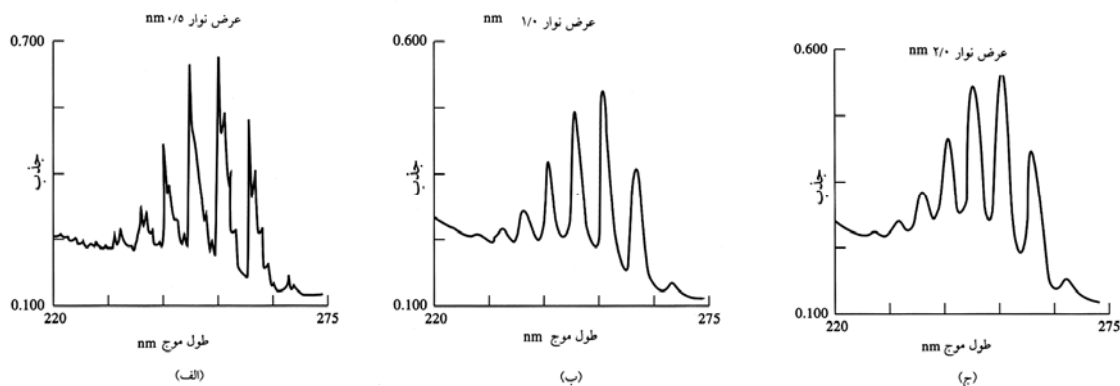
آشکار سازها برای دستگاه‌های طیف بینی قدیمی برای رویت توسط یا صفحات عکاسی یا یک فیلم عکاسی ساخته شدند. این آشکار سازها با مبدلهایی که انرژی تابشی را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کنند جایگزین شده‌اند. بحث ما بیشتر در مورد این گونه آشکار سازهای پیشرفته می‌باشد.

مشخصه‌های یک مبدل ایده آل

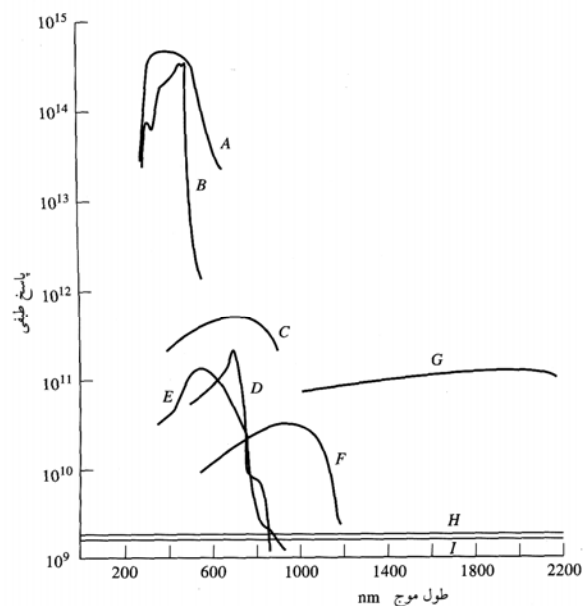
یک مبدل ایده آل باید دارای حساسیت بالا، نسبت سیگنال به نویز بالا و یک پاسخ ثابت با دامنه طول موج متناسب باشد. در نهایت یک مبدل باید پاسخ خود را بسیار سریع با سیگنال خروجی صفر در غیاب هرگونه تابشی نشان دهد و در نهایت سیگنال الکتریکی تولید شده توسط مبدل باید با توان تابش P رابطه مستقیم داشته باشد.

$$S = KP \quad (18-7)$$

که در آن S پاسخ الکتریکی بصورت جریان الکتریکی یا ولتاژ و



شکل ۷-۲۴ اثر پهنای نوار بر جزئیات طیف بخار بنزن (الف) ۰/۵ نانومتر (ب) ۱ نانومتر (ج) ۲ نانومتر



شکل ۷-۲۵ پاسخ نسبی انواع مختلف مبدل‌های فتوالکترونیک (A-G) و مبدل‌های حرارتی (I, H): A: لوله فوتوتکتیور کننده؛ B: فوتورسانا CdS ؛ C سلول فتوولتایی $GaAs$ ؛ D سلول فوتو رسانایی $CdSe$ ؛ E سلول فتوولتایی Se/SeO ؛ F دیود نوری سیلیکونی؛ G هادی نوری pbS ؛ H ترموکوپل؛ I سلول گولی.

سل‌های فتوولتایی یا سل‌های لایه سدی

وسیله ساده‌ای است که برای آشکار سازی و اندازه‌گیری در ناحیه مرئی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک نوع سل با ماگزیم حساسیت در حدود ۵۵۰ نانومتر دارد. عکس العمل آن شاید تا ۱۰٪ مقدار ماگزیم یعنی ۳۵۰ و ۷۵۰ نانومتر افت کند (شکل ۷-۲۵). این حدود دامنه تخمینی چشم انسان است.

سل فتوولتایی متشکل از یک الکترومسی یا آهنی صاف است که روی آن لایه‌ای از ماده نیمه رسانایی چون سلنیم رسوب داده شده است. (شکل ۷-۲۶). سطح خارجی نیمه رسانا از یک لایه نازک و شفاف فلزات عناصر واسطه مثل طلا و یا نقره که به عنوان الکترومسی دوم یا به عنوان جمع‌آوری کننده عمل می‌کند پوشیده شده است. قسمت درونی توسط پوششی شفاف محافظت می‌شود. وقتی که نیمه رسانا انرژی کافی از تابش را دریافت می‌کند پیوندهای کنوالاتی می‌شکنند، در نتیجه الکترون‌های هدایت کننده و حفره‌ها تشکیل می‌دهند. سپس الکترون‌ها به سمت لایه فلزی و حفره‌ها به سمت قاعده ایکه نیمه رسانا بر روی آن رسوب تشکیل داده است حرکت می‌کنند. الکترون‌های آزاد می‌توانند در مدار خارجی حرکت کرده و بر

با آشکار سازهای حرارتی از نظر تشکیل سیگنال‌های الکتریکی که در نتیجه یک سری تحولات انفرادی به وجود می‌آید (جذب فوتونهای منفرد) متفاوت هستند، که با استفاده از آمار قابل توجه و تفسیر است. برعکس مبدل‌های گرمایی که به میزان گسترده‌ای در آشکار سازی در ناحیه مادون قرمز بکار گرفته می‌شوند به تابش‌های برگشتی با توان متوسط حساسیت نشان می‌دهند.

همانطور که در بخش ۵-۲ بیان شد درک تفاوت بین مبدل‌های فوتونی و حرارتی بسیار مهم است، زیرا نویزهای فوتونی اغلب محدودیت اولیه‌ای را ایجاد می‌کنند، در حالی که نویزهای گرمایی گاهی زمینه محدودیت عوامل بعدی و فرعی را فراهم می‌سازند. در نتیجه خطاهای نامعین بوسیله دو نوع مبدل که اساساً با هم تفاوت دارند به هم مرتبط می‌شوند.

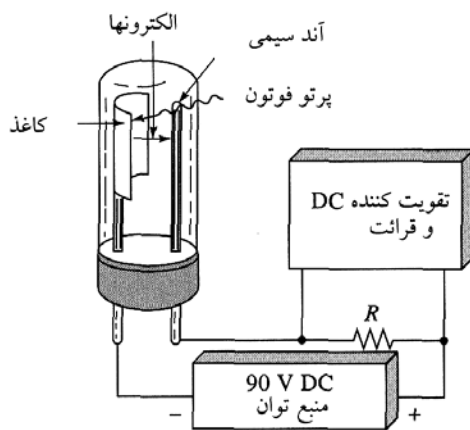
شکل ۷-۲۵ ارتباط نتایج طیفی انواع مختلف مبدل‌ها را که برای طیف بینی در نواحی فرابنفش، مرئی و مادون قرمز مناسب است را نشان می‌دهد. تابع عرضی بانویز مبدل‌ها رابطه معکوس و با ریشه دوم سطح میدان خودش رابطه مستقیم دارد. قابل ذکر است که حساسیت نسبی مبدل‌های حرارتی مستقل از طول موج است (منحنی H و I در شکل ۷-۲۵)، اما کمتر از حساسیت مبدل‌های فتوالکترونیک می‌باشد. از سوی دیگر، آشکار سازهای فوتونی اغلب از نظر عکس العمل ثابت در مقابل طول موجهای ایده آل نیستند.

۷-۲ مبدل‌های فوتونی

انواع مختلف مبدل‌ها در دسترس هستند که عبارتند از: (۱) سلولهای فتوولتایی که در آنها انرژی تابشی، جریانی را در سطح تماس بین یک نیمه رسانا و یک فلز ایجاد می‌کند. (۲) لوله‌های نوری که در آنها تابش باعث نشر الکترون‌ها از یک سطح جامد حساس نوری می‌شود. (۳) لوله‌های تکثیر کننده فوتون که حاوی سطح نشر دهنده نوری همراه با چندین سطح افزودنی که جریانهایی از الکترون‌ها را نشر می‌کنند، وقتی مورد اصابت الکترونی در محیط حساس نوری قرار می‌گیرند. (۴) مبدل‌های رسانای نوری که در آنها جذب تابش توسط یک نیمه رسانا باعث بوجود آمدن الکترون‌ها و حفره‌ها می‌شوند که منجر به هدایت شدیدتر می‌شود. (۵) فتودیودهای سیلیکون که فوتونها و رسانایی را در راستای یک اتصال Pn معکوس ولتاژ افزایش می‌دهند. (۶) مبدل‌های انتقال بار که بارها را در نتیجه جذب فوتونها در یک بلور سیلیکون تشکیل می‌گردند را جمع‌آوری کرده و اندازه‌گیری می‌کنند [۲۰].

در حدود یک دهم جریان سلول فتو ولتایی برای شدت معین می‌باشد. اما در مقابل، فوتو لوله‌ها که دارای مقاومت الکتریکی بسیار بالایی هستند به سادگی تقویت می‌شوند.

تعداد الکترونیایی که از یک سطح نشر کننده فوتونی به بیرون پرتاب می‌شوند رابطه مستقیم با توان تابشی پرتویی دارد که به آن سطح برخورد می‌کند با افزایش پتانسیل اعمال شده بین دو الکترود درون لامپ، بخشی از الکترونیهای نشر شده که به آند می‌رسند به سرعت افزایش می‌یابند و وقتی که پتانسیل به حالت اشباع رسید اصولاً تمام الکترونها در کاتد جمع می‌شوند. در این حالت جریان از پتانسیل مستقل شده و متناسب با توان تابشی می‌گردد. لامپ‌های فوتونی معمولاً در پتانسیل حدود ۹۰ ولت مورد استفاده قرار می‌گیرند که کاملاً در ناحیه اشباع قرار دارد.

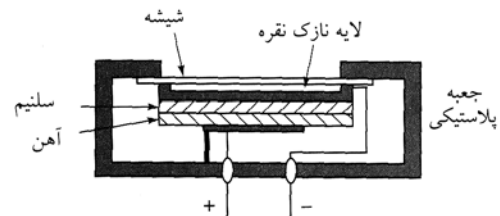


شکل ۷-۲۷ یک فوتولوله با متعلقات. جریان فوتونی که با کاهش پتانسیل در طول R مواجه است و سپس در محل اندازه‌گیری تقویت می‌شود.

صفحات نشر فوتون متفاوتی در لامپ‌های تجارتي مورد استفاده قرار می‌گیرند. چند نمونه در شکل ۷-۲۷ نشان داده شده است. از نظر استفاده کننده، سطوح نشر فوتون به چهار دسته طبقه بندی می‌شوند که عبارتند از: با حساسیت بالا، حساس به ناحیه قرمز، حساس به ناحیه فرابنفش و عکس العمل یکنواخت. از کاتدهای بسیار حساس، کاتدهای نوع دی الکالیدی می‌باشند. مانند شماره ۱۱۷ شکل ۷-۲۷ که از پتاسیم، سزیم و آنتیموان ساخته شده‌اند. مخلوطی از چند الکالید به ناحیه قرمز حساسند (برای مثال $Na/K/CS/Sb$ یا فرمولی مانند $Ag/O/CS$). عملکرد آخری در شکل به صورت ۱۱ - S نشان داده شده است. مخلوط $Ga/In/As$ ، حساسیت ناحیه قرمز را به

روی حفره‌ها اثر بگذارند. نتیجه اینکه یک مدار الکتریکی بزرگ با تعدادی فوتونهای متناسب در سطح نیمه رسانا شکل می‌گیرد. معمولاً مدارهای تولید شده توسط سل‌های فتوولتایی به اندازه کافی بزرگ هستند که بتوان آنها را با یک میکرومتر اندازه‌گیری کرد. اگر مقاومت مدار خارجی کوچک باشد ($400 < R$) مدار فوتونی با توان تابشی ورودی که به سطح سلول برخورد می‌کند نسبت مستقیم دارد. جریان در مدارها معمولاً ۱۰ تا ۱۰۰ میکروآمپر می‌باشد.

سل‌های با لایه جدا کننده وسیله‌ای است محکم و ارزان قیمت که برای اندازه‌گیری قدرت تابش ساخته شده‌اند و نیازی به هیچ منبع الکتریکی خارجی ندارند. از طرف دیگر مقاومت داخلی پایین سل، تقویت خروجی آن را با زحمت روبرو می‌سازد. اگر چه سل با لایه جدا کننده عکس العمل سریعی را برای اندازه‌گیری در تابش‌های سطوح بالا فراهم می‌آورد ولی حساسیت آن در سطوح پایین کم است. مشکل دیگر سل لایه مقاوم این است که کاهش تدریجی جریان خروجی در طول تابش فرسودگی در آن ایجاد می‌کند. طراحی درست مدار و انتخاب شرایط آزمایشگاهی این اثر را کاهش می‌دهد. استفاده از سل با لایه جدا کننده بسیار ساده است، این دستگاه قابل حمل، محکم و ارزان قیمت می‌باشد. این دستگاهها اغلب داده‌های تجزیه‌ای خوب و قابل اعتماد در کارهای عملی معمولی ارائه می‌دهند.

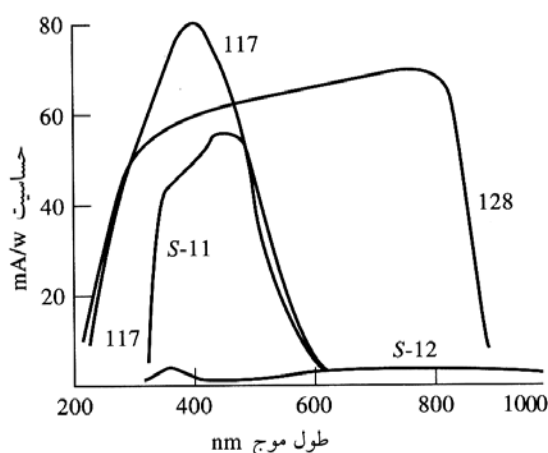


شکل ۷-۲۸ نمایی از سل لایه سدی

فوتولوله خلاء [۲۱]

دومین نوع دستگاههای فتوالکتریک فوتولوله خلاء می‌باشند که شامل یک کاتد نیم استوانه‌ای شکل و یک آند سیمی در درون یک پوشش شفاف تخلیه شده می‌باشند (شکل ۷-۲۷). سطح مقعر کاتد توسط لایه‌ای از ماده نشر کننده فوتون پوشانده شده است (بخش ج-۱) که در اثر تابش دهی تمایل به نشر الکترون دارد. وقتی پتانسیلی بین دو الکترود اعمال شود، الکترون‌های نشر شده به سمت آند جریان می‌یابند و یک جریان فوتونی را برقرار می‌کنند که معمولاً

لوله‌های فوتو تکثیر کننده در اندازه‌گیری توانهای پایین تابشی دارای محدودیت اند. چون نور شدید منجر به بروز خطر برای صفحه فتوالکتریک آن‌ها است. به همین خاطر باید دستگاه را همیشه در محفظه‌های غیر قابل نفوذ در برابر نور نصب کرد و باید دقت کرد که حتی لحظه‌ای هم در معرض نور خورشید یا سایر نورهای پراثری قرار نگیرند. با یک جریان خارجی لامپ‌ها تکثیر کننده فوتون می‌توانند برای آشکار سازی در حضور یک فوتون منفرد در کاتد مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ۲۸-۷ عکس العمل طیفی نوعی نشر کننده فوتونی.

مبدل‌های دیود سیلیکونی

یک مبدل سیلیکون دیودی از اتصال pn ولتاژ معکوس بر روی تراشه ای از سیلیکون ساخته می‌شود. همانطور که در شکل ۷-۳۰ نشان داده شده است، ولتاژ معکوس یک لایه تخلیه شده که خصلت رسانایی را تا نزدیکی صفر کاهش می‌دهد، اگر اجازه داده شود تا تابش با تراشه برخورد کند در نتیجه حفره الکترونی را در لایه تخلیه شده نگه داشته و باعث بوجود آمدن جریانی می‌گردد که با توان پرتو متناسب است. دیودهای سیلیکونی نسبت به لامپ‌های نوری در حلاء، حساس ترند، اما نسبت به تکثیر کننده‌های نوری، حساسیت کمتری را نشان می‌دهند (شکل ۷-۲۵). دیودهای نوری دامنه طیفی ۱۹۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر دارند.

۷-۳ مبدل‌های فوتونی چند کانالی [۲۳]

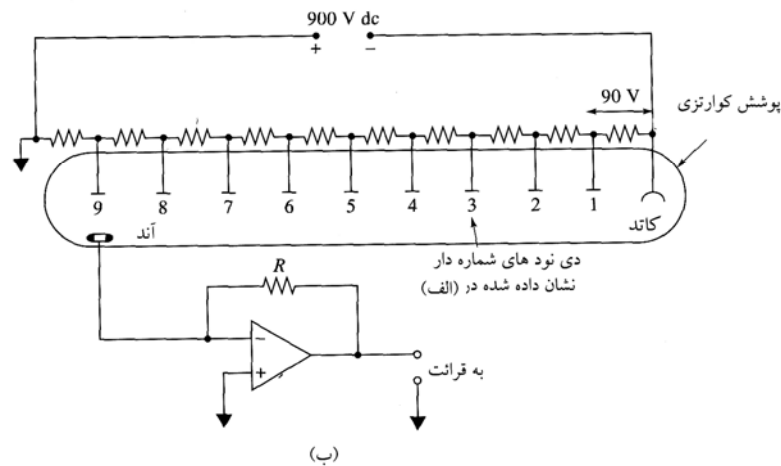
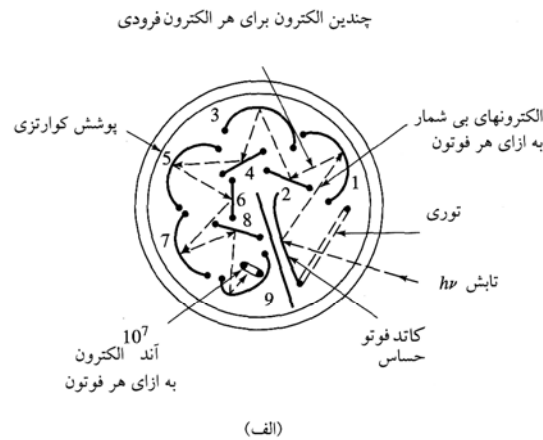
اولین آشکار ساز چند کانالی که در طیف سنجی به کار رفت، یک صفحه عکاسی یا یک نوار فیلم بود که بر روی صفحه کانونی یک طیف سنج قرار داده می‌شد تا تمام خطوط موجود در یک طیف

اندازه ۱/۱ میکرومتر افزایش می‌دهند. اغلب ترکیبات حساس به ماوراء بنفش که لامپ‌ها استفاده می‌شوند مجهز به دریچه‌های شفاف می‌باشند. نتایج و پاسخ‌های زیادی از ترکیبات Ga/As گرفته شده است، که در شکل ۷-۲۸ با علامت ۱۲۸ مشخص شده است. فوتو لوله‌ها به تدریج یک جریان تاریک کوچک ایجاد می‌کنند (معادله ۷-۱۹) که از نشر الکترونی و رادیو اکتیو طبیعی از $40K$ در محفظه شیشه‌ای حاصل می‌شود.

لوله‌های فوتو تکثیر کننده

برای اندازه‌گیری مقادیر ناچیز توان تابشی، لوله فوتو تکثیر کننده (PMT) ، محاسنی را نسبت به فوتولوله معمولی نشان می‌دهد. [۲۲]. شکل ۷-۲۹ نمایی از این دستگاه را نشان می‌دهد. سطح کاتدی آن از نظر ترکیب شبیه سطوح فوتو لوله‌هایی می‌باشد که در شکل (۷-۲۸) نشان داده شده است. این دستگاه وقتی در معرض تابش قرار می‌گیرد الکترون منتشر می‌کند. همچنین لوله، حاوی مجموعه‌ای از الکترودهایی است که دی نود نامیده می‌شود (نه عدد در شکل ۷-۲۹) دای نود ۱ با پتانسیل ۹۰ ولت مثبت‌تر از کاتد نگاه داشته می‌شود، در نتیجه الکترونها به سوی آن شتاب می‌گیرند. هر فوتوالکترون که به سطح دای نود برخورد می‌کند نشر چندین الکترون اضافی را موجب می‌شود. این الکترونها نیز به نوبه خود به سمت دای نود ۲ شتاب می‌گیرند که ۹۰ ولت مثبت‌تر از دای نود ۱ است. مجدداً به ازاء هر الکترونی که به سطح برخورد می‌کند، چندین الکترون منتشر می‌شود، زمانی که این فرایندها، نه مرتبه تکرار شوند هر فوتون 10^6 تا 10^7 الکترون جابجا می‌کند. این جریان الکترونی در خاتمه در آند جمع می‌شوند، سپس این جریان افزایش یافته از درون مقاومت عبور کرده تقویت شده و اندازه‌گیری می‌شود.

همانطور که در شکل ۷-۲۵ الف نشان داده شده، تکثیر کننده‌های فوتونی به تابش‌های فرابنفش و مرئی بسیار حساسند. بعلاوه آنها عکس العمل بسیار سریعی دارند. اغلب حساسیت یک دستگاه فوتو تکثیر کننده توسط جریان تاریک آن محدود می‌شود چون نشر گرمایی مهمترین عامل ایجاد الکترون‌های جریان تاریک است. حساسیت فوتو تکثیر کننده می‌تواند با خنک شدن افزایش یابد، در واقع جریان تاریک گرمایی می‌تواند با خنک کردن تا دمای منهای ۳۰ درجه سانتیگراد حذف شود. مبدل‌های خانگی که می‌توانند توسط یک جریان خنک کننده سرد شوند، از نظر تجاری به راحتی قابل دسترسی می‌باشند.



شکل ۷-۲۹ لوله فوتو تکثیر کننده (الف) مقطع سطحی لامپ و (ب) مدار الکتريکی

فتوالکتريکی یا به صورت همزمان و یا به صورت پیوسته شناسایی گردد. برای مطالعه طیف نهایی، یک مبدل به معمولاً در صفحه کانونی یک طیف سنج قرار داده می‌شود تا طیف نشر شده عناصر مختلف تولید و همزمان اندازه‌گیری شوند. در حال حاضر سه نوع وسیله چند کاناله در دستگاههای طیف سنجی تجاری به کار می‌رود. دیود نوری ردیفی (PDA)، دستگاه شارژ تزریقی (CIDs) و دستگاه شارژ جفتی (CCDs). دیودهای نوری ردیفی مبدل‌های یک بعدی هستند که عناصر حساس نوری بر روی صفحه مبدل به صورت خطی مرتب شده‌اند. در صورتی که عناصر فوتو حساس منفرد در وسایل تزریق و توزیع بار معمولاً به صورت آرایه‌های دو بعدی تشکیل می‌شوند. مبدل‌های تزریق بار و توزیع بار هر دو با جمع‌آوری بارهای فوتونی تولید شده در نواحی مختلف سطح مبدل عمل می‌کنند و سپس کمیت بار انباشته شده را در مدت کوتاهی اندازه‌گیری می‌کنند. در هر دو دستگاه اندازه‌گیری با انتقال بار از

را هم زمان ضبط کند. آشکار سازی از طریق عکسبرداری هنگام استفاده از کلودیون‌ها تنها به ۱۰ تا ۱۰۰ فوتون که عکس العمل نشان می‌دهند حساس‌اند. ابتدایی‌ترین محدودیت این نوع آشکار سازها، زمان لازم برای ظهور فیلم و تبدیل سیاهی‌های کلودیون به نقاط نورانی است.

مبدل‌های چند کاناله پیشرفته از عناصر کوچک حساس فوتوالکتريکی ساخته شده‌اند که یا به صورت خطی و یا به صورت دو بعدی بر روی یک تراشه نیمه هادی نصب می‌شوند. تراشه که معمولاً از سیلیکون است و ضخامتی در حدود چند میلی متری داشته و حاوی مدارهای الکترونیکی است که این امکان را به وجود می‌آورند تا سینگال خروجی الکتريکی هر یک از عناصر حساس

۱- کلودیون‌ها، محلول حساس به نور می‌باشند که عموماً به صورت لایه‌ای روی کاغذ یا فیلم قرار می‌دهند. کلودیون‌ها معمولاً از هالاید نقره در ژلاتین ساخته می‌شوند مترجمین.

تراشه از ۶۴ تا ۶۰۹۶ متغیر است که معمولاً از ۱۰۲۴ تراشه استفاده می‌شود.

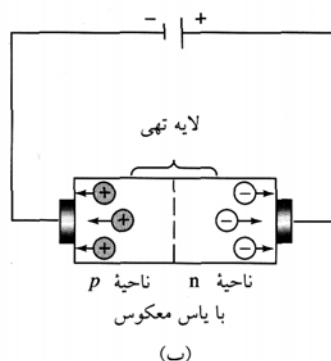
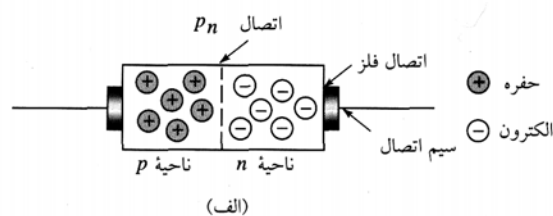
مدار مرکبی که یک دیود ردیفی را می‌سازد، دارای یک خازن و یک کلید برای هر دیود است، که در کنار آنها یک مدار خاص برای نظارت مداوم بر مدارهای خازن - دیودی است. شکل ۷-۳۲ یک دیگرام ساده نحوه قرار گرفتن این اجزاء را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که به موازات هر دیود نوری یک خازن ۱۰ پیکوفارادی وجود دارد که هر جفت خازن - دیودی به طور مداوم با جابجایی N بیت و با سوئیچ کردن ترانزیستور به خط خروجی متصل می‌شود. جابجایی به طور مداوم، هر یک از این کلیدها را به طور لحظه‌ای سوئیچ می‌کند که منجر به شارژ شدن خازن تا ۵- ولت می‌گردد، که سپس یک حالت ولتاژ معکوس در طول اتصال pn اشکار ساز بوجود می‌آورد. تابشی که بر یکی از نواحی p یا n برخورد کرده و تولید شارژ کند، (الکترون‌ها و حفره‌ها) جریانی را ایجاد می‌کند که تا حدی خازن موجود در مدار را تخلیه می‌کند. شارژی را که خازن در این حال از دست می‌دهد در جریان بعدی مجدداً بدست می‌آورد. شارژ حاصله توسط مدار تقویت کننده قبلی تکمیل شده، ولتاژی را ایجاد می‌کند که متناسب با شدت تابش است. پس از تقویت سیگنال آنالوگ توسط تقویت کننده قبلی از یک مبدل آنالوگ دیجیتال عبور کرده و به یک ریز پردازش گر می‌رود که خروجی‌ها را کنترل می‌کند.

در استفاده از مبدل دیود ردیفی، پهنای شکاف طیف سنج معمولاً تغییر داده می‌شود تا تصویر شکاف ورودی کاملاً سطح یکی از دیودهایی که به صورت ردیفی قرار دارد را پر کند. بنابراین اطلاعات بدست آمده معادل داده‌هایی است که در هنگام جاروب با طیف سنج معمولی به دست می‌آید. به هر حال در روش ردیفی اطلاعات درباره طیف به صورت همزمان جمع‌آوری و به صورت پیوسته انجام می‌گیرد. برخی از مبدل‌های نوری که در قسمت قبلی بدان‌ها اشاره شد جهت استفاده در ناحیه‌های مادون قرمز به صورت ردیفی استفاده می‌شود.

دستگاههای انتقال بار

آرایه‌های فوتودیودی نمی‌توانند عملکردهای قابل قیاس با لوله‌های فوتو تکثیر کننده نوری با توجه به حساسیت، محدوده دینامیکی و نسبت سیگنال به نویز شان داشته باشند. بنابراین در آزمایش‌هایی با حساسیت بالا کاربرد دارند. در مقابل مشخصه‌های کاری دستگاههای انتقال بار شبیه لوله‌های فوتو تکثیر کننده است و

ناحیه تجمع به ناحیه آشکار سازی انجام می‌گیرد. به همین دلیل است که هر دو نوع مبدل را گاهی اوقات دستگاه انتقال بار نیز می‌نامند (CTDs). این دستگاه‌ها کاربردهای فراوانی دارند از قبیل کاربری‌های تصویری در قسمت‌های مختلف تلویزیون و در فضا نوردی می‌باشد.



شکل ۷-۳۰ (الف) شمایی از یک دیود سیلیکونی (ب): تشکیل لایه خالی که از جریان الکتریسته تحت ولتاژ معکوس جلوگیری می‌کند.

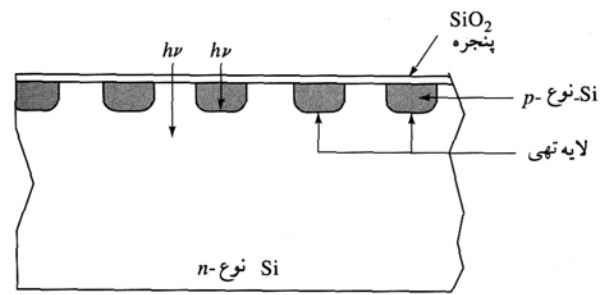
آرایه فوتودیودی

در آرایه فوتودیودی عناصر حساس نوری مخصوصی از دیودهای نوری کوچکی از جنس سیلیکون هستند، که هر یک متشکل از یک اتصال pn ولتاژ معکوس می‌باشند (به بخش‌های قبلی مراجعه شود). دیودهای نوری خاص قسمتی از یک مدار مرکب بزرگ مقیاس می‌باشند که بر روی یک تراشه سیلیکونی ساخته می‌شوند. شکل ۷-۳۱ طرز قرارگیری ناحیه سطحی چند عنصر تبدیل را نشان می‌دهد. هر عنصر متشکل از چند میله p -گونه بر روی یک سیلیکون n -گونه است که زمینه ایجاد یک ناحیه مسطح را برای تشکیل یک سری عناصر پهلو به پهلو با ابعاد $۲/۵$ در $۰/۰۲۵$ میلی‌متر را بوجود می‌آورد (شکل ۷-۳۱ ب). نوری که بر این عناصر می‌تابد در نواحی p و n شارژی را ایجاد می‌کند. شارژهای مثبت جمع‌آوری شده و در میله‌های p -گونه، برای انجام کارهای پیوسته ذخیره می‌گردند (شارژهای که در ناحیه‌های n -گونه ایجاد می‌گردد متناسب با شارژ بین دو ناحیه مجاور p است). تعداد عناصر تبدیل در یک

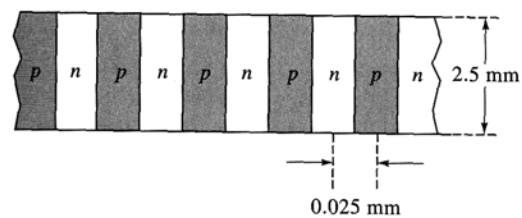
سیلیکونی جدا می‌کند. این مجموعه متشکل از یک خازن نیمه هادی اکسید فلزی است که بارهای تشکیل شده به هنگام برخورد پرتوها در لایه سیلیکونی ذخیره می‌گردد. وقتی که یک شارژ منفی به الکتروود داده می‌شود، یک ناحیه بار معکوس زیر الکتروودها تشکیل می‌شود که از نظر انرژی برای ذخیره حفره‌ها مناسب‌تر است. حفره‌های سیال که با جذب فوتونها پدید می‌آیند، مهاجرت کرده و در این محل جمع می‌شوند. این ناحیه که چاه پتانسیل نام دارد، قادر است 10^0 تا 10^6 بار را قبل از لبریز شدن به یک پیکسل مجاور در خود انتقال دهد. در شکل، الکتروود نشان داده شده منفی‌تر از بقیه می‌باشد و تجمع بار در این الکتروود بسیار مناسب‌تر است. میزان بار تولید شده به هنگام تابش را به یکی از دو طریق می‌توان محاسبه کرد. در یک دستگاه تزریق بار، تغییر ولتاژ از انتقال بار ناحیه زیرین یک الکتروود به ناحیه زیرین یک الکتروود دیگر اندازه‌گیری می‌شود. در یک دستگاه بار جفت شده، بار انتقال یافته توسط یک تقویت کننده حساس به بار اندازه‌گیری می‌شود.

دستگاه‌های تزریق بار

شکل ۷-۳۴ دیاگرام ساده ایست از مراحل جمع‌آوری، ذخیره و اندازه‌گیری بار تولید شده، وقتی که یک پیکسل یک نیمه رسانا در معرض تابش فوتون قرار می‌گیرد. پتانسیل‌هایی که به خازن‌ها اعمال می‌شوند نظیر مراحل (الف) تا (د) می‌باشند. در مرحله (الف) پتانسیل منفی به دو الکتروود اعمال می‌شود، که به پیدایش چاههای پتانسیل منجر می‌گردد که به جمع‌آوری، ذخیره در حفره‌های تشکیل شده در لایه n با جذب فوتونها خاتمه می‌یابد. زیرا الکتروود سمت راست پتانسیل منفی بیشتری را دارد. تمامی حفره‌ها در نهایت زیر این الکتروود گرد می‌آیند. اندازه بار جمع شده در محدوده زمانی معین و کوتاه مدت در مراحل (ب) و (ج) مشخص می‌شود. در (ب) پتانسیل خازن سمت چپ (V_1) پس حذف پتانسیل اعمال شده مشخص می‌شود. در مرحله (ج) حفره‌هایی که در سمت راست الکتروود جمع شده‌اند به چاه پتانسیلی که زیر الکتروود سمت چپ قرار دارد، با سوچ کردن پتانسیل اعمالی پیشین از منفی به مثبت، منتقل می‌گردند. پتانسیل جدید الکتروود (V_2) بعداً اندازه‌گیری می‌شود. بزرگی بار ذخیره شده از تفاضل پتانسیل‌ها ($V_1 - V_2$) به دست می‌آید. در مرحله (د)، آشکار ساز به حالت معمولی خود از طریق اعمال پتانسیل مثبت به دو الکتروود باز می‌گردد و باعث می‌شود که حفره به سمت پایه مهاجرت کند. نهایتاً در مرحله (د) آشکار ساز را می‌توان به حالات



(الف)



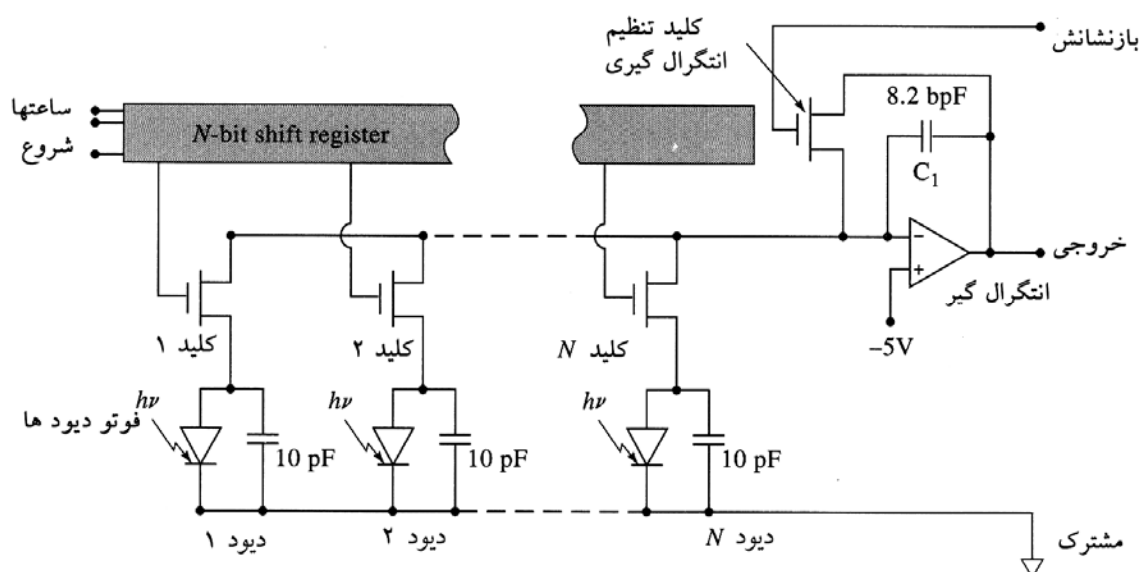
(ب)

شکل ۷-۳۱ یک آشکار ساز آرایه دیودی - خطی با ولتاژ معکوس (الف) برش عرضی و (ب) نمایی از قسمت بالا.

تقریباً مزایای لامپ‌های چند کانالی را دارا هستند. در نتیجه این گونه مبدل‌ها کاربرد زیادی در طیف سنج‌های مدرن دارند [۲۴]. مزایای دیگر دستگاه‌های انتقال بار این است که آنها دو بعدی بوده و در مبدل‌های خاص ردیفی و ستونی کاربرد دارند. به عنوان مثال، یک آشکار ساز که در قسمت بعدی توضیح داده خواهد شد حاوی ۲۴۴ ردیف عنصر تبدیلی است، هر ردیف هم ارز ۳۸۸ عنصر مبدل دارد که در ۱۹۶۷۲ مبدل خاص یا پیکسل بر روی تراشه سیلیکونی به ابعاد $6/5$ تا $8/7$ میلی متر به صورت دو بعدی ساخته شده‌اند. با این دستگاه امکان نمایش طیف کامل دو بعدی از یک طیف سنج اشلی به طور همزمان وجود دارد (شکل ۷ - ۲۱).

دستگاه انتقال بار بیشتر شبیه فیلم‌های عکاسی است که به هنگام برخورد نور اطلاعات سیگنالی را تولید می‌کنند. شکل ۷-۳۳ نمایش برش عرضی از یک پیکسل^۱ را نشان می‌دهد که یک انتقال بار ردیفی را تداعی می‌کند. در این حالت پیکسل دارای دو الکتروود تبدیل است که بر روی یک لایه سیلیکون قرار دارد (توجه داشته باشید که یک پیکسل در بعضی از دستگاه‌های انتقال بار بیشتر از دو الکتروود ساخته می‌شود). این لایه سیلیکونی الکتروودها را از یک ناحیه n گونه

۱- پیکسل: عنصر تصویر pixel مخفف Pictures + element



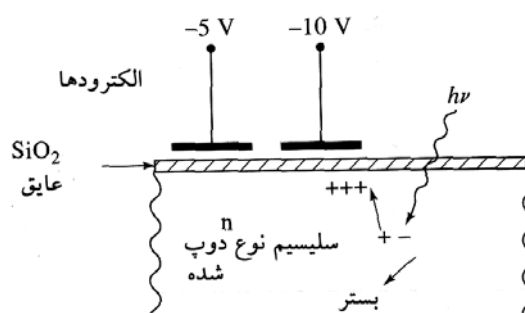
شکل ۷-۳۳ دیاگرام کلی از یک تراشه آشکار ساز آرایه فوتو دیودی

۷-۳۵ الف نشان داده شده است. توجه داشته باشید این نوع از یک نیمه هادی از سیلیکون نوع p ساخته شده و خازن با ولتاژ مثبت است و الکترونها حاصل از جذب تابش در چاه زیر الکتروود جمع می‌شوند در حالیکه حفره‌ها از لایه نوع n دور و به سمت پایه حرکت می‌کنند. همچنین باید توجه داشت که هر پیکسل از سه الکتروود (با شماره‌های ۱، ۲ و ۳ در شکل ۷-۳۵ ب) به جای دو الکتروود در وسایل تزریق بار ساخته شده است. برای اندازه‌گیری بار جمع شده از یک مدار ساعتی سه فازه استفاده می‌گردد تا بار را بصورت چند مرحله به راست و با بیشترین سرعت، مطابق شکل ۷-۳۵ الف انتقال دهد؛ سپس بارها به سمت پایین و به یک تقویت کننده منتقل می‌گردد و قرائت می‌شود. بنابراین، یک جاروب ردیفی در سطح آشکار ساز قرار دارد. در مقابل دستگاه تزریق بار در این حالت بار جمع شده را خنثی می‌کند. مزیت دستگاه بار جفت شده با حساسیت بیشتر در سطوح نوری پایین است. یکی از معایب آن در بعضی موارد، حالت تخریبی در فرآیند خروجی است.

۷-۴ مبدل‌های فوتو رسانا

از حساس‌ترین مبدل‌ها برای نظارت پرتو در ناحیه مادون قرمز نزدیک (۰/۷۵ تا ۳ میکرو متر) نیمه رساناهایی هستند که مقاومت آن‌ها با جذب پرتو در این ناحیه کاهش می‌یابد. ناحیه مفید برای

می‌توان به حالات نشان داده شده در قسمت (الف)، بدون از دست دادن باری که به تازگی جمع کرده باز گرداند. این فرایند مدل قرائت غیر تخریبی ($NDRO$) نامیده می‌شود. یکی از مزایای جالب توجه دستگاههای تزریق بار نسبت به دستگاههای بار جفت شده اندازه گیریهای است که می‌توان هنگام جدا سازی انجام داد. همانطور که در آشکار ساز دیود - ردیفی دیدیم، تراشه حاوی عناصر مبدل تزریق بار همچنین دارای مدارهای کامل متناسب برای انجام گردش مراحل اندازه‌گیری است.



شکل ۷-۳۳ برش عرضی یک آشکار ساز CTD مدل شارژ کامل، حفره مثبت توسط فوتون $h\nu$ جمع شده در زیر الکتروود منفی ایجاد شده است.

دستگاه تزویج بار

دستگاههای تزویج بار توسط چندین شرکت سازنده به شکلهای مختلف به بازار ارایه می‌شوند. آرایش آشکار سازهای منفرد در یک آرایه نوعی که از ۵۱۲×۳۲۰ پیکسل ساخته شده است در شکل

انجام واکنش با هوا مصون بماند. حساسیت و واکنش پذیری مبدل‌های سولفید کادمیوم، سلنید کادمیوم و سولفید سرب در منحنی‌های G, D, B در شکل ۷-۲۵ نشان داده شده است.

۵-۵۷ مبدل‌های گرمایی [۲۵]

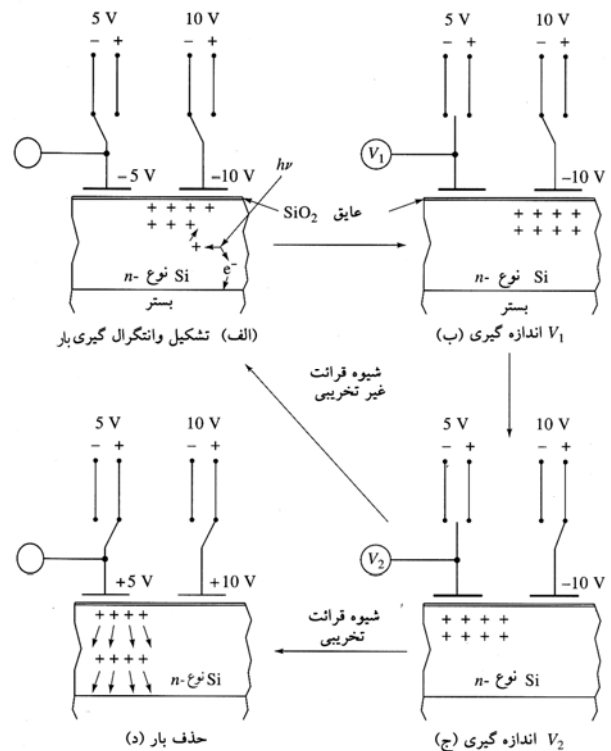
مبدل‌های نوری ساده بحث شده معمولاً در مادون قرمز قابل استفاده نمی‌باشند زیرا فوتون‌های این ناحیه برای نشر الکترون کمبود انرژی دارند، بنابراین از مبدل‌های گرمایی که براساس هدایت نوری کار می‌کنند (بخش ۷-۷) در این قسمت باید استفاده شوند و هیچ یک از این دو به اندازه مبدل‌های فوتونی راضی کننده نمی‌باشند. در مبدل‌های حرارتی تابش به آنها برخورد کرده و توسط جسم سیاه کوچکی جذب می‌گردد، سپس میزان افزایش دما اندازه‌گیری می‌گردد. قدرت تابش اشعه مادون قرمز بسیار ناچیز است (۷-۱۰ تا ۹-۱۰ وات)، بنابراین ظرفیت گرمایی عنصر جذب کننده باید تا حد امکان کوچک باشد تا تغییر دما قابل اندازه‌گیری باشد. سعی می‌شود تا اندازه و ضخامت عنصر جذب کننده به حداقل برسد، تا بتوان تمامی اشعه مادون قرمز را بر سطح آن متمرکز کرد. در بهترین شرایط تغییرات دما به چند هزار کلوین می‌رسد.

مشکل اندازه‌گیری تابش مادون قرمز توسط ابزاری بنام گرماسنج این است که با نوسان‌های حرارتی محیط مخلوط می‌شود. به همین علت است که آشکار سازهای گرمایی در یک ظرف خلاء قرار داده می‌شوند، تا از تابش‌های حرارتی که از اشیاء مجاور نشر می‌یابند محافظت کند. برای محدود کردن اثرات گرمایی خارجی، عموماً تابش را از منبع قطع می‌کنند. بدین طریق سیگنال آنالیت بعد از انتقال دارای برشگر فرکانسی است و به صورت خودکار می‌تواند از نوسان‌های خارجی رها گردد که معمولاً به کندی انجام گرفته و با زمان تغییر می‌کند.

ترموکوپل‌ها

ساده‌ترین شکل یک ترموکوپل متشکل از جفت شدن دو قطعه فلز غیر مشابه همچون مس و کونستانتین که در انتها بهم چسبیده که در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است. بین دو اتصال پتانسیلی ایجاد می‌گردد که با تغییر دمای اتصال‌ها قطع وصل می‌شوند.

محل اتصال مبدل برای تابش مادون قرمز از سیم‌های خیلی ظریف بیسموت و انتیموان استفاده می‌شود و یا گاهی از طریق بخار کردن فلزات با استفاده از غیر رساناها انجام می‌شود. برای بهتر کردن



شکل ۷-۳۴ گردش کار یک دستگاه تزریق بار: (الف) تولید و ذخیره بار (ب) اندازه‌گیری اولین بار (ج) دومین بار اندازه‌گیری شده پس از انتقال بار (د) تزریق دوباره بار به نیمه رسانا.

هدایت کننده‌های نوری را می‌تواند تا به ناحیه انتهایی مادون قرمز با سرد کردن برای کاهش نویزهای اضافی که در اثر القاء حرارتی که از طریق سطوح انرژی نزدیک بهم وجود می‌آید، گسترش داد. این کار هدایت کننده‌های نوری را ابزاری مفید در تبدیل فوریه مادون قرمز می‌سازد. نیمه رساناهای کریستالی از سولفیدها، سلنیدها و استنیدهای فلزات سرب، کادمیوم، گالیم و ایندیوم ساخته می‌شود. جذب پرتو توسط این مواد اجازه راهیابی الکترون‌های پیوندی در حالت پایه را به الکترون‌ها آزاد انتقال دهنده الکتریسته بوجود می‌آورد. نتیجه آنکه تغییر در هدایت قابل اندازه‌گیری توسط جریان می‌باشد، همانطوریکه در شکل ۳-۱۰ الف نشان داده شده است.

سولفید سرب از عمده‌ترین مواد قابل استفاده در فوتو رساناها می‌باشد و از مزایای آن قابل استفاده بودن آن در دمای اتاق است. مبدل‌های سولفید سرب در ناحیه بین ۰/۸ تا ۳ میکرومتر (۱- 10^3 cm تا ۳۳۰۰ cm) حساسیت نشان می‌دهند. برای تهیه سل از لایه نازکی از این ترکیب بر روی شیشه یا کوارتز قرار میدهند سپس سل ساخته شده را در ظرف خلاء قرار داده تا نیمه رسانا از

بولومتر

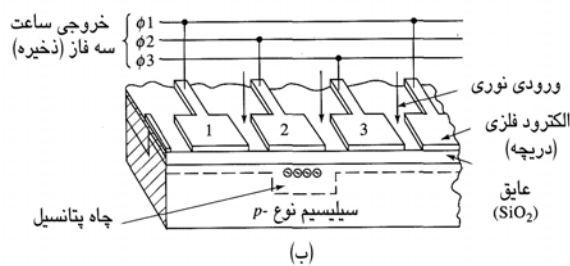
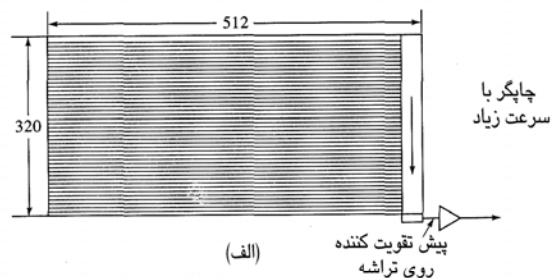
یک بولومتر نوعی گرماسنج مقاومتی است که از نوارهای فلزی نظیر پلاتین و یا نیکل یا از نیمه رساناها ساخته شده است. دستگاههایی که با نیمه رسانا ساخته شده‌اند ترمیستور نامیده می‌شوند. این مواد در مقابل تغییرات دما تغییرات مقاومتی زیادی را از خود نشان می‌دهند. عنصر حساس کوچک در آن قرار داده می‌شود و با دادن پوششی سیاه رنگ سعی در جذب تابش گرمایی می‌کنند. از بولومترها مثل سایر مبدل‌های مادون قرمز برای ناحیه مادون قرمز متوسط استفاده زیادی نمی‌شود. یک بولومتر ژرمانیم که در ۱/۵ کلون کار می‌کند تقریباً نظیر یک مبدل ایده آل برای تابش‌هایی در محدوده ۵ تا 400 cm^{-1} (۲۵ تا ۲۰۰۰ میکرومتر) عمل می‌کند.

مبدل‌های پیروالکترونیک

مبدل‌های پیروالکترونیک از تک بلورهای چسبناک مواد پیروالکترونیک ساخته شده‌اند که دارای خصوصیات الکتریکی و گرمایی خاص و نقش جدا کننده (مواد دی الکتریک) دارند. سولفات تری گلیسین $(NH_2CH_2COOH)_3 \cdot H_2SO_4$ (معمولاً ترکیب شده با دو تریم یا بجای قسمتی از گلیسین از آلانین استفاده می‌کنند) مهمترین ماده پیروالکترونیک است که در ساختن مبدل‌های مادون قرمز استفاده می‌شود.

وقتی که یک میدان الکتریکی در طول ماده دی الکتریک عبور داده می‌شود، قطبیت الکتریکی در ماده رخ می‌دهد که بزرگی آن تابعی از پایداری دی الکتریک آن می‌باشد. برای اغلب دی الکتریک‌ها، این قطبیت القایی سریعاً به صفر نزدیک می‌شود. وقتی که میدان خارجی برداشته شود، مواد پیروالکترونیک دارای قطبیت قوی وابسته به دما پس از حذف میدان هستند. بنابراین، از طریق قرار دادن بلور پیروالکترونیک بین دو الکترود (یکی از آنها شفاف به مادون قرمز است) یک خازن مستقل از دما بوجود می‌آید. تغییر دمای آن از طریق روشن کردن آن با تابش مادون قرمز با توزیع بار در سرتاسر خازن ایجاد جریان قابل اندازه‌گیری در یک مدار الکتریکی خارجی کرده که باعث اتصال دو طرف خازن می‌گردد. اندازه این جریان با سطح بلور و سرعت تغییر قطبیت با تغییر دما متناسب است. بلورهای پیروالکترونیک قطبیت باقی مانده خود را وقتی که به دمایی به نام نقطه کوری برسند از دست می‌دهند. برای سولفات تری گلی سین نقطه کوری ۴۷ درجه سانتی گراد می‌باشد.

مبدل‌های پیروالکترونیک زمانهای پاسخگویی به اندازه کافی سریع



شکل ۷-۳۵ یک دستگاه تزویج باز: (الف) مرتب شده پیکسل‌های مرتب شده 512×320 و (ب) شمایی از چهار آشکار ساز خاص

ظرفیت گرمایی محل‌های اتصال را سیاه می‌کنند و در یک محفظه خلاء با یک دریچه شفاف نسبت به تابش مادون قرمز است قرار می‌دهند.

محل اتصال معمولاً در محفظه‌ای که اتصال را فعال نگه می‌دارد گذاشته می‌شود. به نحوی طراحی می‌شود که ظرفیت گرمایی بالایی داشته باشد و به دقت از تابش ورودی محافظت می‌گردد، زیرا قطع سیگنال آنالیت تنها به اختلاف دمای بین دو اتصال بستگی دارد. بنابراین لازم نیست که مرکز اتصال در دمای ثابت نگه داشته شود. برای افزایش حساسیت چندین ترموکوپل را به صورت سری به یکدیگر متصل می‌کنند و ترموپیل می‌نامند.

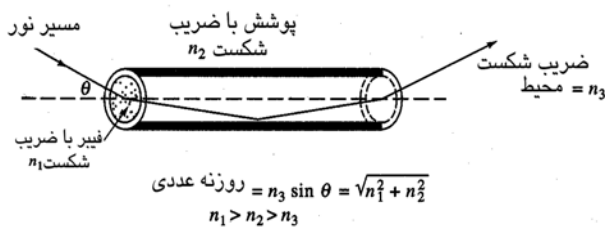
یک ترموکوپل خوب قادر است به اختلاف دماهایی تا حد ۶-۱۰ کلون پاسخ دهد. این اختلاف در اثر یک اختلاف پتانسیل در حدود ۶ تا ۸ میکرو ولت بوجود می‌آید. ترموکوپل یک آشکار ساز میکرو وات

مادون قرمز یک دستگاه با مقاومت کم است که معمولاً به تقویت کننده که دارای مقاومت بالایی می‌باشد، متصل می‌گردد، و مانند مدار ترانزیستور دارای اثر میدان است (شکل ۷-۳۶). یک فالوور پی گیر ولتاژ نظیر آنچه که در شکل ۳-۷ نشان داده شده عمل می‌کند. در مدارهای آشکار ساز از ترموکوپلی به عنوان یک نمایش گر سیگنال استفاده می‌گردد.

تبدیل کرد که براساس بحث قسمت ۴ ج امکان شمارش را هم بوجود آورد. در این جا، قدرت تابش نسبت به تعداد پالس در واحد زمان بر میانگین جریان یا پتانسیل اولویت داده می‌شود. این نوع اندازه‌گیری را شمارش فوتون می‌نامند.

از روش مختلف شمارش در سالیان گذشته برای اندازه‌گیری قدرت تابش اشعه‌های ایکس و تابش‌های تولیدی دیگر در اثر تلاشی مواد رادیواکتیو (این روش‌ها بطور دقیق در فصل ۱۲ و ۱۳ بررسی شده‌اند) استفاده شده است. از شمارش فوتون برای تابش مرئی و فرابنفش نیز استفاده می‌گردد [۲۶]. برای این کار از خروجی یک لامپ چند فوتونی استفاده می‌شود، همان طور که در قسمت قبلی اشاره شد وقتی در یک فوتون به کاتد تقویت کننده فوتونی برخورد می‌کند و در نهایت منجر به جریان 10^6 تا 10^7 الکترون می‌گردد و تولید یک جریان پالسی می‌کند که می‌توان آن را تقویت و مورد شمارش قرار داد.

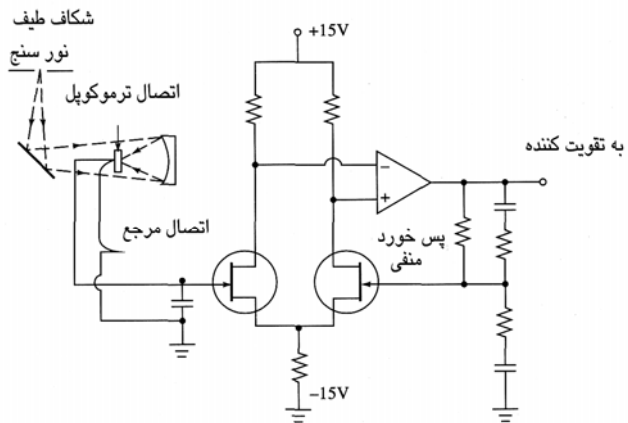
معمولاً تجهیزات برای شمارش فوتون شبیه وسایلی است که در شکل ۴-۲ نشان داده شده است که در آن پالس‌های کنترل شده برگشت داده می‌شود، مگر اینکه ولتاژی بیش از ولتاژ می‌نیم داشته باشند. کنترل کننده‌ها ابزار مفیدی برای این کار هستند، زیرا غالباً جریان تاریک و نویز دستگاه به میزان قابل توجهی از پالس سیگنال کوچکتر هستند و به همین خاطر نیازی به اصلاح نسبت سیگنال به نویز نمی‌باشد.



شکل ۷-۳۷ شمایی از مسیر نور از میان یک فیبر نوری

شمارش فوتون چندین مزیت در فرآیند سیگنال آنالوگ دارد. از جمله نسبت سیگنال به نویز را اصلاح می‌کند، حساسیت نسبت به سطوح پایین را افزایش می‌دهد، دقت بیشتر و بهتر در زمان اندازه‌گیری را باعث شده، حساسیت کمتر در ولتاژ و تغییرات دمایی در لامپ‌های فوتونی دارد. تجهیزات لازم به هر حال گران قیمت و پیچیده‌تر هستند، بنابراین از این تکنیک در روش‌های اندازه‌گیری جذب مولکولی در محیط‌های ماوراء بنفش و مرئی چندان استفاده نمی‌شود. هر چند که برای آشکار سازی در فلورسانس، لومینسانس

را ارائه می‌دهند تا آنها بتوانند ردگیری تغییرات در سیگنال وابسته به زمان یک تداخل سنسج را انجام دهند. به همین دلیل در غالب اسکپرمومترهای مادون قرمز تبدیل فوریه این نوع مبدل‌ها بکار گرفته می‌شود.



شکل ۷-۳۶: ترموکوپل و تقویت کننده

۷ و پردازشگر سیگنال و قرائت

پردازشگر سیگنال معمولاً دستگاهی است که سیگنال الکتریکی مبدل را تقویت می‌کند. بعلاوه ممکن است که سیگنال را از جریان مستقیم (dc) به جریان متناوب (ac) تبدیل کند (یا به عکس)، یعنی فاز سیگنال را تغییر داده و آن را اصلاح کرده و قسمت‌های ناخواسته را حذف می‌کند. از این گذشته، از پردازشگر سیگنال برای انجام عملیات ریاضی بر روی سیگنال به صورت دیفرانسیل، انتگرال‌گیری یا عملیات لگاریتمی استفاده می‌شود.

در ابزار مدرن انواع دستگاه‌های قرائت گر مشاهده می‌شود. بعضی از این دستگاه‌ها حاوی آرسونوال متر، دیجیتالی سنسج، پتانسیومتر ثبات و لامپ‌های اشعه کاتدی است.

۷-۱ شمارش فوتون

خروجی یک لوله فوتو تکثیر کننده شامل یک پالس الکترونی برای هر فوتون است که به سطح آشکار ساز می‌رسد. معمولاً این سیگنال آنالوگی از ارتعاشات ناخواسته مربوط به حضور فوتون‌ها در کاتد فوتونی و اندازه‌گیری آن‌ها به عنوان جریان یا ولتاژ جریان مستقیم پاک می‌گردد. هر چند، شدت تابش به قدری کم است که نسبت سیگنال به نویز دلخواه را نمی‌توان بوجود آورد، اما این امکان وجود دارد که سیگنال آنالوگ را به زنجیره‌ای از پالس‌های دیجیتالی

مرئی یا مادون قرمز را انتقال می‌دهند را می‌توان ساخت. مثالهای زیادی از کاربرد آنها را در دستگاههای تجزیه‌ای ساده در فصول آینده ملاحظه خواهید نمود.

۷-۲ حس گرهای فیبر نوری

حس گرهای فیبر نوری که آنها را آپتود هم می‌نامند، حاوی معرفی در فاز ثابت در انتهای فیبر نوری است [۲۸]. برهم کنش آنالیت با معرف ایجاد تغییر در جذب، بازتابش، فلورسانس یا لومینسانس می‌شود سپس به یک آشکار ساز از طریق فیبر نوری انتقال می‌یابد. فیبر نوری معمولاً، دستگاه‌های ساده و ارزان قیمتی هستند که به آسانی کوچک می‌شوند.

۷-۳ فیبرهای نوری برای تشخیص فاصله زمانی میان سیگنال‌ها

یکی از کاربردهای بسیار جالب فیبرهای نوری استفاده از رشته‌هایی با طول‌های مختلف است که زمان رسیدن سیگنال‌های نوری از منابع مختلف به آشکار ساز تک فام را میسر می‌سازد. کاهش زمان این اجازه را می‌دهد که میزان کمک به یک سیستم آشکار ساز افزایش یابد [۲۹]. شکل ۷-۳۸ الف چگونگی انجام چنین اندازه‌گیری را نمایش می‌دهد. مرکز سیستم آشکار ساز دارای یک جفت کننده ستاره شکل، یک دستگاه دو جهته برای جفت کردن دستجات فیبرهای نوری است، که در شکل نشان داده شده است. جفت کننده‌های ستاره‌ای در آرایش‌های $N \times N$ طراحی می‌شوند، که در آن N تعداد رشته‌های ورودی و خروجی می‌باشد. بنابراین، برای مثال یک جفت کننده 3×3 سه رشته فیبر نوری که به راحتی با سه جفت دیگر جفت شده‌اند را نشان می‌دهد. نور ورودی به هر یک از شش فیبر، تقریباً بطور مساوی ما بین کلیه فیبرهای جفتی از جمله فیبر ورودی گسترش می‌یابد. به عبارت دیگر نور که از طریق فیبر به جفت ستاره‌ای شکل وارد می‌شود به نمایش در می‌آید، تا اینکه $\frac{1}{2N}$ نور ورودی از هر یک از فیبرهای جفت شده خارج می‌شود. در عمل ضریب دستگاه کمتر از ۱۰۰ درصد است. زیرا بعضی از نورهای ورودی در درون صفحه جفتی از بین می‌روند. اما نور خروجی تقریباً به طور مساوی بین شش رشته فیبر نوری جفت شده تقسیم می‌گردد. این مهم است دریابیم که، اگر چه جفت کننده‌های ستاره‌ای بطور مکانیکی به صورت $N \times N$ شکل می‌گیرند و تمامی $2N$ روزنه از

شیمیایی و طیف سنجی رامان یا به طور کلی در تابش‌های سطوح پایین قدرت به عنوان روش انتخابی محسوب می‌شود.

۷ از فیبرهای نوری

در اواخر دهه ۱۹۶۰، وسایل تجزیه‌ای به بازار آمد که حاوی فیبرهای نوری بود که برای انتقال دادن تابش و تصاویر از یک قسمت دستگاه به قسمت دیگر استفاده می‌شود. این ابزار مفید تحولی جدیدی در طراحی وسایل نوری بوجود آورد [۲۷].

۷-۱ خواص فیبرهای نوری

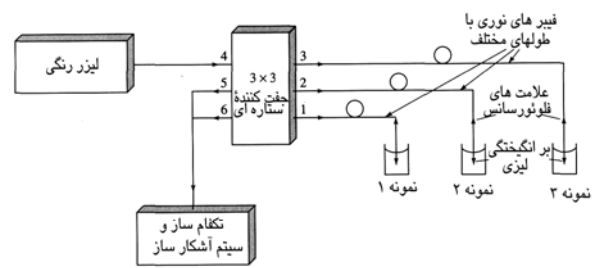
فیبرهای نوری رشته‌های باریک شیشه یا پلاستیکی هستند که قادر به انتقال تابش از مسافت‌های چند صد متری یا بیشتر می‌باشند. قطر فیبرهای نوری در محدوده‌ای از 0.05 میکرومتر تا به بزرگی 0.6 سانتی متر است. در جایی که تصاویر بایستی انتقال یابند، از دسته‌های فیبر، که بهم متصل هستند، استفاده می‌شود. یکی از زمینه‌های وسیع استفاده از این دسته‌های فیبری در علم پزشکی است، که ارتجاعی بودن آن این امکان را می‌دهد که تصاویر اعضاء بدن از مسیرهای پیچیده به راحتی در اختیار پزشک قرار گیرد. از فیبرهای نوری نه تنها برای نظارت بلکه برای روشن سازی اشیا استفاده می‌شود. در این جا است که توانایی روشن سازی بدون گرما اهمیت زیادی پیدا می‌کند.

انتقال نور در یک فیبر نوری از طریق بازتابش داخلی همانطور که در شکل ۷-۳۲ نشان داده شده انجام می‌شود. برای انجام بازتابش‌های داخلی ضروری است که فیبر انتقال دهنده توسط ماده‌ای که دارای خاصیت بازتابشی است و قدرت بازتابش آن از قدرت بازتابش ماده سازنده فیبر کمتر است، پوشانده شود. بنابراین یک نمونه از فیبر شیشه‌ای با ضریب شکستی در حدود 1.6 با پوشش شیشه‌ای با ضریب شکستی تقریباً 1.5 پوشانده می‌شود. نوعی از فیبرهای پلاستیکی دارای هسته پلی متیل متا کری لیت با ضریب بازتابش 1.5 دارای پوششی با ضریب بازتابش برابر 1.4 است.

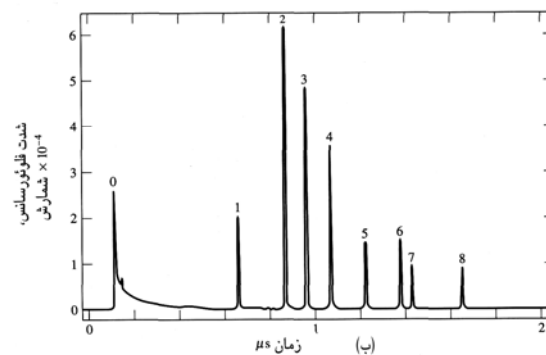
یک فیبر نظیر آنچه که در شکل ۷-۳۷ نشان داده شده است، تابشی را که حاوی تعداد محدودی مرکز برخورد با نیم زاویه‌ای مثل θ است (در شکل) انتقال خواهد داد. گشودگی رقمی یک فیبر اندازه‌ای از بزرگی مخروط پذیرش را به دست می‌دهد.

با انتخاب صحیح مواد سازنده فیبرهایی که تابش‌های فرابنفش،

نظر نوری یکسان دو جهت می‌باشند.



(الف)



شکل ۷-۳۸ دستگاهی برای تحریک و جداسازی سیگنال‌های فلورسانس براساس زمان رسیدن سیگنال‌ها به مقصد در یک مبدل. (الف) مراحل آزمایش (ب) خروجی دستگاه.

تقسیم می‌گردند. تابش فلورسانس حاصل از روزنه‌های ۵ و ۶ سپس از میان تک فام ساز عبور کرده پس از آن در مدت زمان یک نانوثانیه از سیستم آشکار ساز گستره زمان عبور می‌کند. در فاصله زمانی معین با تغییر طول فیبرهای شماره ۱ و ۲ و سرعت نور، تابش از نمونه شماره ۲ به جفت کننده ستاره‌ای می‌رسد و یکبار دیگر از مجموعه فیبرهای ۵ و ۶ عبور کرده وارد سیستم آشکار ساز می‌شود. این فرآیند برای هر نمونه فیبری تکرار می‌شود.

یک دیاگرام خروجی در رابطه با زمان سیستم آشکار ساز شمارشی، در شکل ۷-۳۸ ب به صورت آزمایشی نشان داده شده است که مشابه شکل ۷-۳۸ الف می‌باشد. تفاوت دستگاه نشان داده شده در شکل این است که از جفت کننده ستاره‌ای ۸×۸ استفاده شده و ۸ نمونه را تجزیه می‌کند. داده‌هایی شدت فلورسانس نسبت به زمان رسیدن فوتون به مبدل را نشان می‌دهند. توجه داشته باشید که ۹ پیک وجود دارد. اولین پیک (پیک ۰) مربوط به پالس‌های لیزر تحریک شده‌ای است که قبلاً ذکر شد. پیک ۱ به محلول مرجع مربوط می‌گردد و از آن موقعی استفاده می‌شود که نمونه در موقعیت ۱ باشد و نوسانات سایر پیک‌های شدتی توسط آن تصحیح می‌گردد. پیک ۲ تا ۸ نثر فلورسانس برای هفت نمونه می‌باشند. اندازه پیک‌ها به غلظت آنالیت، ۲- (۱- نفتیل) -۵- فنیلو اکزول در نمونه بستگی دارد. منحنی کالیبراسیون (سنجش) برای این فرم شناسایی به صورت خطی بروی سه محور رسم شده و محدودیت شناسایی برای کارهای تجزیه‌ای در حد میلی مولار و پایین‌تر است.

در آزمایشات اصلی از فیبرهای نوری متنوع به طول‌های ۴۱ متر تا ۱۴۲ متر استفاده می‌گردد. توجه داشته باشید که پالس لیزری برای هر ده متر از فیبر نوری در حدود ۵۰ نانوثانیه یا ۰/۰۵ میکروثانیه تأخیر دارد. سیستم الکترونیکی مدرن می‌تواند به راحتی در این فاصله زمانی قادر به شناسایی سیگنال‌های متفاوت است چندین آرایش جفت کننده ستاره‌ای برای تعیین کاربردی بودن طرح، تست شده است. در یک مورد در یک جفت کننده ۳×۴ استفاده شده بود که اجازه شناسایی تابش نور فلورسانس را برای چهار نمونه می‌داد. با ترکیب یک جفت کننده ۳×۳ با یک جفت کننده ۸×۸ اندازه‌گیری روی ده نمونه تقریباً به صورت همزمان انجام می‌گیرد.

۷-ج- انواع دستگاه‌های نوری

در این قسمت اصطلاحاتی را تعریف می‌کنیم که برای تشریح انواع وسایل نوری به کار خواهیم برد. لازم به ذکر است که بدانیم

یک اسپکترو فلورومتر نیز می‌نامند.

کلیه دستگاه‌هایی که در این قسمت از آنها نام برده شد، از صافی‌ها یا تک فام‌ها استفاده می‌کنند تا بخشی مجزا در اندازه‌گیری طیف بوجود آید. در مقابل یک دستگاه چند منظوره، حاوی اطلاعاتی طیفی، بدون پراکنش اولیه یا تصفیه تابشی است تا طول موج دلخواه را ایجاد کند. واژه چند منظوره از تئوری ارتباطات گرفته شده است، که از آن برای توضیح سیستم‌هایی استفاده می‌شود که یک سری اطلاعات را بطور همزمان به یک کانال منتقل می‌کند. دستگاه‌های تجزیه‌ای چند منظوره ابزار تک کاناله‌ای هستند که کلیه اجزاء آن در یک جا جمع شده‌اند. برای اندازه‌گیری مقدار هر یک از این اجزاء ضروری است که سیگنال آنالیتی را به نحوی مدل سازی کنیم که امکان رمز گشایی پی در پی هر یک از اجزا را به ما بدهد.

اکثر دستگاه‌های تجزیه‌ای چند منظوره برای رمز گشایی سیگنال به تبدیل فوریه (FT) نیاز دارند و معمولاً طیف سنجهای تبدیل فوریه نامیده می‌شوند. چنین ابزاری به هیچ عنوان به طیف بینی نوری محدود نمی‌شوند. البته، دستگاه‌های تبدیل فوریه‌ای به صورت طیف سنجهای زروانانس مغناطیسی هسته‌ای، جرمی و طیف بینی ریز موج طراحی شده‌اند. چند مورد از این دستگاهها در فصول بعدی به تفصیل توضیح داده خواهند شد. قسمتی که در ادامه می‌آید توضیح مبانی طیف سنجهای نوری تبدیل فوریه است.

۷ مبانی اندازه‌گیری تبدیل فوریه نوری

طیف بینی تبدیل فوریه برای اولین بار در اوایل دهه ۱۹۵۰ میلادی توسط ستاره شناسان به منظور مطالعه طیف مادون قرمز ستاره‌های دور دست شکل گرفت و فقط بوسیله تکنیک تبدیل فوریه بود که سیگنال‌های خیلی ضعیف رسیده از ستارگان را می‌توانستند از نویزهای پیرامون تفکیک نماید. اولین کاربرد شیمیایی از تبدیل فوریه تقریباً ده سال بعد گزارش گردید، که در زمینه کمبود انرژی در ناحیه دور مادون قرمز بود. در اواخر دهه ۱۹۶۰ ابزاری برای مطالعه دو ناحیه مادون قرمز دور (۱۰ تا 400 cm^{-1}) و مادون قرمز معمولی بصورت تجاری عرضه گردید. مشخصات دستگاه‌های تبدیل فوریه برای ناحیه‌های طیفی مرئی و فرابنفش را می‌توان در مقالات یافت ولی توسعه چندانی در این زمینه انجام نگرفته است [۳۰].

نامگذاری که در این قسمت انجام شده است همه دانشمندان توافق نظر ندارند. بطور کلی این یک نامگذاری ساده است که در این کتاب از آن استفاده شده است.

یک **طیف بین**، وسیله نوری است که برای شناسایی بصری تابش خطی یک اتم بکار می‌رود. طیف سنج حاوی یک تک فام ساز می‌باشد که مشابه آن در شکل ۷-۱۶ نشان داده شده است و در آن یک چشمی بجای شکاف خروجی قرار داده شده است، که توانایی جابجایی محور صفحه مرکزی را دارد. طول موج یک تابش خطی می‌تواند بوسیله زاویه میان اشعه تابشی و پراکنش، وقتی که خط بر روی قسمت چشمی متمرکز می‌شود تعیین گردد.

از واژه **رنگ سنج** به عنوان وسیله‌ای جهت اندازه‌گیری میزان جذب استفاده می‌کنیم بطوریکه از چشم انسان هم مثل یک آشکار ساز جهت شناسایی یک یا چند رنگ استفاده می‌شود. یک نور سنج شامل یک منبع، یک فیلتر و یک مبدل فوتوالکتریکی می‌باشد که در کنار این‌ها یک پردازشگر سیگنال و قرائت گر هم وجود دارد. به این نکته باید توجه کرد که بعضی از دانشمندان و سازندگان دستگاهها از فوتومترها بجای رنگ سنج یا رنگ سنج فوتوالکتریکی استفاده می‌کنند. فیلتر فوتومترها برای اندازه‌گیری جذب در نواحی فرابنفش، مرئی و مادون قرمز و حتی به خوبی نشر و فلورسانس در دو ناحیه فرابنفش و مرئی کارایی داشته و از نظر تجاری در دسترس می‌باشند. فوتومترهای طراحی شده برای اندازه‌گیری فلورسانس را **فلورومتر** نیز می‌گویند.

یک **طیف نگار**، ساختاری شبیه دو تک فام ساز همانند شکل ۷-۱۶ دارد که در آن شکافی بزرگتر شده و حاوی یک آشکار ساز یا مبدل است که مدام در معرض کل طیف تابش پاشیده قرار دارد. در گذشته، آشکار ساز، یک فیلم یا یک صفحه عکاسی بود. اما امروزه معمولاً دیودهای ردیفی یا دستگاه‌های انتقال بار بعنوان مبدل در طیف نگار به کار می‌روند. یک **طیف سنج** وسیله‌ای است که اطلاعاتی را در خصوص شدت نور به عنوان تابعی از طول موج یا فرکانس می‌دهد. طرح پاشنده در بعضی طیف سنجهای چند کاناله طراحی شده‌اند تا بتوان دو یا چند فرکانس را همزمان مشاهده کرد. چنین ابزاری را بعضی مواقع چند فام ساز می‌نامند. یک طیف نور سنج، طیف سنجی است که به یک یا چند شکاف خروجی و مبدل‌های فوتوالکتریکی مجهز می‌باشد که امکان محاسبه نسبت توان دو اشعه از نظر طول موج شان در طیف بینی جذبی را فراهم می‌آورد. یک طیف نور سنج برای آنالیز فلورسانس، را بعضی مواقع

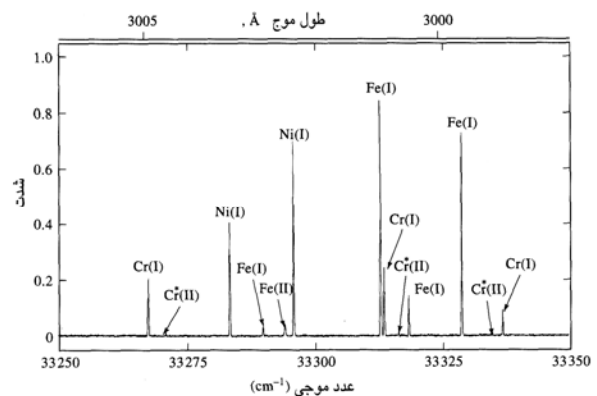
اندازه‌گیری‌ها بیشتر می‌شود [۳۱]. بنابراین، برای افزایش کیفیت m تعداد عناصر تفکیک بایستی افزایش یابد واضح است افزایش تعداد عناصر تفکیک باعث افزایش زمان لازم برای ایجاد طیف توسط دستگاه جاروب خواهد شد.

به عنوان مثال، محدوده طیف مادون قرمز را بین ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ cm^{-1} را در نظر بگیرید. اگر عناصر از هر ۳ cm^{-1} انتخاب شود، m معادل ۱۵۰۰ خواهد بود، اگر ۰/۵ ثانیه برای ضبط انتقال هر عنصر لازم باشد، ۷۵۰ ثانیه یا ۱۲/۵ دقیقه برای تهیه طیف احتیاج است. انتظار می‌رود کاستن پهنای عناصر تفکیک به اندازه ۱/۵ cm^{-1} اطلاعات طیفی عظیمی را در اختیار ما قرار دهد، همچنین منجر به دو برابر شدن تعداد عناصر تفکیک و زمان لازم برای اندازه‌گیری آنها می‌گردد.

برای اکثر دستگاه‌های نوری، مخصوصاً آنهایی که برای ناحیه مادون قرمز طراحی شده‌اند، کاهش پهنای عناصر تفکیک منجر به کاهش سیگنال به نویز می‌گردد. زیرا از شکاف‌های باریکتر استفاده می‌شوند که به منابع سیگنال ضعیف‌تری که می‌توانند با مبدل همخوانی داشته باشند، احتیاج است برای آشکار سازی مادون قرمز، کاهش در قدرت سیگنال همواره با کاهش نویز در آشکار ساز همراه نمی‌باشد، پس کاهش در نسبت سیگنال به نویز رخ خواهد داد. همانطور که در فصل ۵ خاطر نشان کردیم، اصلاح نسبت‌های سیگنال به نویز مربوط به میانگین سیگنال می‌شود که در معادله ۵-۱۱ آمده است و نسبت سیگنال به نویز $\frac{S}{N}$ برای n اندازه‌گیری از طریق معادله زیر بدست می‌آید:

$$\frac{S}{N} = \sqrt{n} \frac{S_x}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (S_x - S_i)^2}} = \frac{Sx}{Nx} \sqrt{n} \quad (۲۰-۷)$$

که در آن S_x و N_x به ترتیب متوسط سیگنال و نویز می‌باشند. متأسفانه بکارگیری سیگنال میانگین در مورد طیف بینی معمولی مادون قرمز بسیار وقت گیر است. در مثال مورد مطالعه برای گرفتن طیف از ۱۵۰۰ عنصر ۷۵۰ ثانیه زمان لازم است. به منظور افزایش نسبت سیگنال به نویز به میزان دو برابر لازم است از چهار طیف معادل‌گیری شود، بطوری که 4×750 ثانیه یا ۵۰ دقیقه زمان لازم است.



شکل ۷-۳۹ یک طیف نشری آهن که نشان دهنده قدرت تفکیک بالای طیف سنج نشری تبدیل فوریه است.

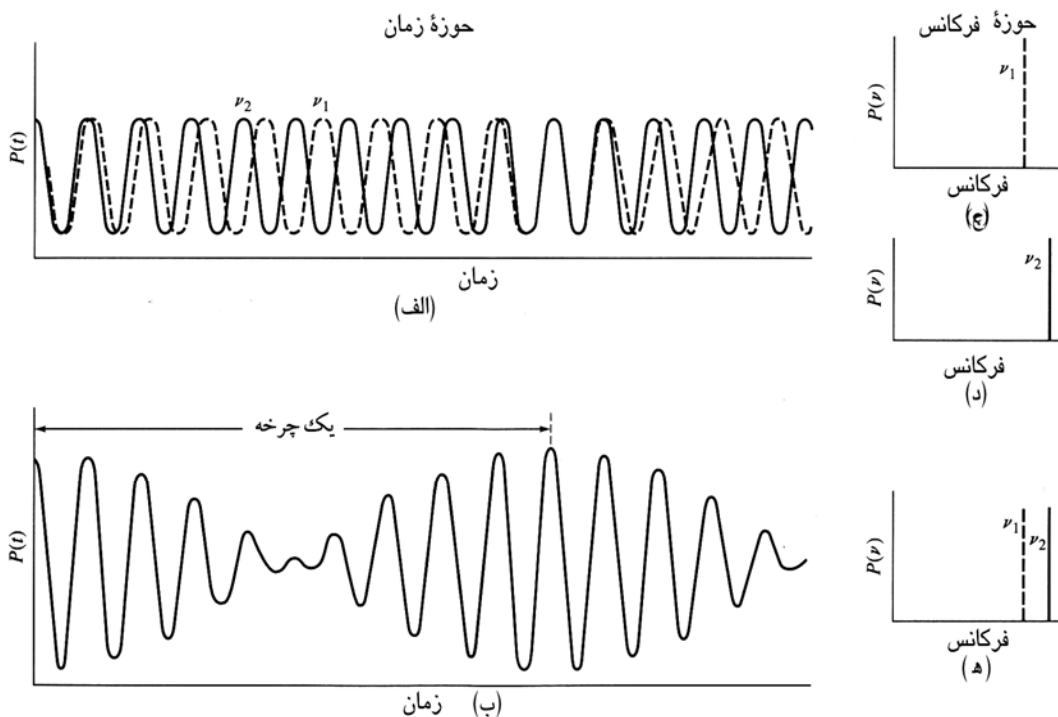
ط-۱- برتریهای ذاتی طیف سنجی تبدیلی

استفاده از دستگاه‌های تبدیل فوریه چند مزیت اساسی دارد. اولین مزیت آن میزان خروجی یا مزیت ژاکونیت است که به این دلیل به وقوع می‌پیوندد که دستگاه‌های تبدیل فوریه عنصر نوری کمی دارند و شکاف باریک سازی نوری ندارند. در نتیجه، قدرت نوری که به آشکار ساز می‌رسد به مراتب از قدرت نور سایر دستگاه‌های بیشتر است، و نسبت سیگنال به نویز هم خیلی بزرگتر است. دومین مزیت این دستگاه‌ها قدرت بسیار بالای تفکیک کنندگی و قدرت باز سازی طول موج آنهاست که امکان آنالیز طیف‌های پیچیده‌ای که خطوط تیز و روی هم افتادگی طیفی در آنها سبب سخت شدن محاسبات تصویر طیفی آنها می‌شود را فراهم می‌آورد. شکل ۷-۳۹، که قسمتی از نشر طیفی استیل است، که این مزیت‌ها را نشان می‌دهد. طیف شکل ۷-۳۹ از ۲۹۹/۸۵ تا ۳۰۰/۷۵ نانومتر گسترده است و حاوی ۱۳ خط مجزا برای سه عنصر است. قدرت تفکیک کنندگی طول موج $(\frac{\Delta\lambda}{\lambda})$ برای نزدیک‌ترین دو خط در حدود ۶ ppm است. سومین مزیت توانایی رسیدن همزمان طیف عناصر به آشکار ساز است. این مشخصه امکان دسترسی به اطلاعات یک طیف در یک ثانیه و یا کمتر را بوجود می‌آورد. بهتر است پیامدهای آخرین مزیت را بیشتر مورد مطالعه قرار دهیم.

برای باز شدن موضوع، بد نیست طیف‌های حاصله از m اندازه‌گیری خاص، که دارای فاصله‌های مساوی فرکانسی یا فواصل یکسان طول موجی دارند و به نام عناصر تفکیک می‌شناسند در نظر بگیریم کیفیت یک طیف همان میزان اطلاعات طیفی است که با افزایش تعداد عناصر تفکیک و یا با کم شدن فواصل فرکانس بین

روش مزیت چند جانبه به قدری زیاد است که تقریباً در تمامی طیف سنج‌های مادون قرمز از نوع تبدیل فوریه استفاده می‌کنند. دستگاه‌های تبدیل فوریه در نواحی فرابنفش، مرئی و نزدیک به مادون قرمز کمتر متداول است. زیرا محدودیت سیگنال به نویز برای اندازه‌گیری‌های طیف‌ها، برای این نوع تابش‌ها گاهی تحت تأثیر نویز آشکار ساز قرار می‌گیرد، اما در عوض نویزهای ضربه‌ای و لرزشی با منبع همراهی می‌کنند. در مقایسه با نویز آشکار ساز میزان نویز ضربه‌ای و لرزشی با افزایش قدرت سیگنال افزایش می‌یابد. علاوه بر این، مجموع نویز برای تمامی عناصر تفکیک در اندازه‌گیری تبدیل فوریه تمایل به میانگین‌گیری و پخش شدن هماهنگ در تمامی طیف تبدیلی دارد. بنابراین، نسبت سیگنال به نویز برای پیک‌های قوی در حضور پیک‌های ضعیف از طریق میانگین‌گیری بهبود می‌یابد. اما برای پیک‌های ضعیف کاهش نسبت رخ می‌دهد. برای نویز لرزشی همانند نویز تابش زمینه بسیاری از منابع طیفی کاهش SN برای تمامی پیک‌ها مشاهده می‌گردد. این اثر گاهی اوقات به عنوان معایب چند جانبه یاد می‌شود و به طور کلی علت عدم استفاده از تبدیل فوریه به طور گسترده در طیف بینی فرابنفش و مرئی به همین دلیل است.

طیف بینی تبدیل فوریه با طیف بینی معمولی تفاوت دارد و آن بدین گونه است که در طیف بینی تبدیل فوریه تمام عناصر تفکیک کننده برای یک طیف همزمان اندازه‌گیری می‌شوند. در نتیجه، کاهش عظیمی در زمان لازم جهت تولید طیف با نسبت سیگنال به نویز دلخواه بوجود می‌آید. زمان لازم برای ضبط کامل ۱۵۰۰ عنصر در روش فوریه برابر مشاهده یک عنصر در طیف بینی معمولی است (۰/۵ ثانیه در مثال قبلی) کاهش عظیم در زمان مشاهده، به میزان قابل توجهی در بهبود نسبت سیگنال به نویز در اندازه‌گیری‌های تبدیل فوریه می‌بخشد. به عنوان مثال در ۷۵۰ ثانیه برای تفکیک یک طیف از طریق جاروب کردن، ۱۵۰۰ طیف را می‌توان توسط تبدیل فوریه ضبط و میانگین‌گیری کرد. براساس معادله ۷-۲۰، میزان بهبود سیگنال به نویز برابر $\sqrt{1500}$ یا حدود ۳۹ خواهد بود. این مزیت، طیف بینی تبدیل فوریه اولین بار توسط فلژ در سال ۱۹۵۸ بیان شد که مزیت فلژ یا مزیت چند جانبه نامیده می‌شود. خالی از لطف نیست که در اینجا به این نکته اشاره شود که به چند دلیل، نظری، \sqrt{n} در بهبود $\frac{S}{N}$ بندرت قابل توجه می‌باشد. البته اکثر نتایج برای نسبت سیگنال به نویز معمولاً با روش تبدیل فوریه بدست می‌آید.



شکل ۷-۴ نمایش‌هایی از (۱) منحنی حوزه زمان در (الف) و (ب) (۲) منحنی حوزه فرکانس در (ج)، (د) و (ه).

ط-۲- طیف بینی در حوزه زمان

طیف بینی معمولی را می‌توان طیف بینی گستره فرکانس نام برد که در آن از داده‌های توان تابشی به عنوان تابعی از فرکانس یا عکس طول موج می‌توان یاد کرد. در مقابل، طیف بینی گستره زمانی با استفاده از تبدیل فوریه در رابطه با تغییرات توان تابشی با گذشت زمان را می‌توان به دست آورد. شکل ۷-۴۰ این تفاوت را نشان می‌دهد.

نقاط ترسیمی در اشکال ۷-۴۰ ج و ۷-۴۰ د، طیف‌های معمولی از دو منبع تک فام ساز با فرکانس‌های V_1 و V_2 بر حسب هر تتر را نشان می‌دهند. منحنی شکل ۷-۴۰ ه. حاوی هر دو منحنی از یک منبع طیفی است. در هر دو مورد مقدار توان تابش با $p(V)$ و توان زمانی تابش $p(t)$ نشان داده شده است.

منحنی‌های شکل ۷-۴۰ الف طیف گستره زمانی برای هر یک از منابع تک فام ساز را نشان می‌دهد. این دو در کنار یکدیگر ترسیم شده‌اند تا کوچکترین اختلاف فرکانس آنها واضح تر دیده شود. در این جا توان زمانی $P(t)$ به عنوان تابعی از زمان رسم شده است. منحنی شکل ۷-۴۰ ب طیف گستره زمانی منبعی است که حاوی دو فرکانس است. همان طور که پیکان افقی نشان می‌دهد، منحنی‌ها به صورت تناوبی یا ضربه‌ای رسم شده در حالیکه دو موج می‌روند که از فاز خارج گردند.

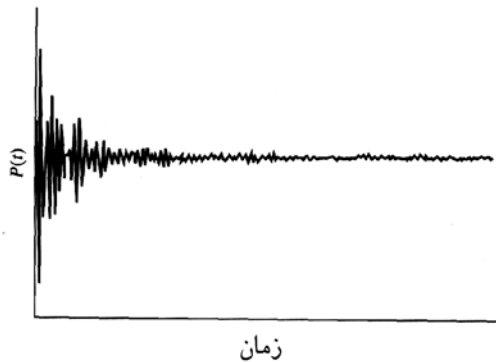
بررسی شکل ۷-۴۱ نشان می‌دهد که سیگنال گستره زمانی برای منبعی که حاوی چندین طول موج است به طور قابل توجهی پیچیده‌تر از آنهایی است که در شکل ۷-۴۰ نشان داده شده است. چون تعداد زیادی از طول موج‌ها دخالت دارند، هر دور کامل یک دوره تناوبی را نشان می‌دهد که عملاً تحقق نمی‌یابد. بطوری که عبور یک نمونه با طول موج‌های معین و خارج از فاز را می‌توان ملاحظه کرد. بطور کلی با گذشت زمان در اثر تغییر طول موج‌های نزدیک بهم بیشتر از فاز خارج شده و توان سیگنال کاهش خواهد یافت.

قابل ذکر است که یک سیگنال در گستره زمانی دارای همان اطلاعاتی است که یک طیف در گستره فرکانسی دارا می‌باشد. در حقیقت با استفاده از روابط ریاضی می‌توان یکی را به دیگری تبدیل کرد. بنابراین شکل ۷-۴۰ ب با استفاده از معادله زیر به شکل ۷-۴۰ د تبدیل شود.

$$P(t) = k \cos(2\pi\nu_1 t) + k \cos(2\pi\nu_2 t) \quad (7-21)$$

که در آن k مقداری است ثابت و t نشان دهنده زمان می‌باشد. اختلاف فرکانس بین دو خط تقریباً ۱۰٪ ν_2 می‌باشد. تبدیل سیگنال‌های حوزه زمان و فرکانس به یکدیگر وقتی که بیش از چند

خط وجود داشته باشد، بسیار پیچیده و از نظر ریاضی کسل‌کننده است؛ انجام چنین عملیاتی فقط از عهده یک کامپیوتر با سرعت بالا ساخته است.



شکل ۷-۴۱ سیگنال حوزه زمانی یک منبع که از چندین طول موج ساخته شده است.

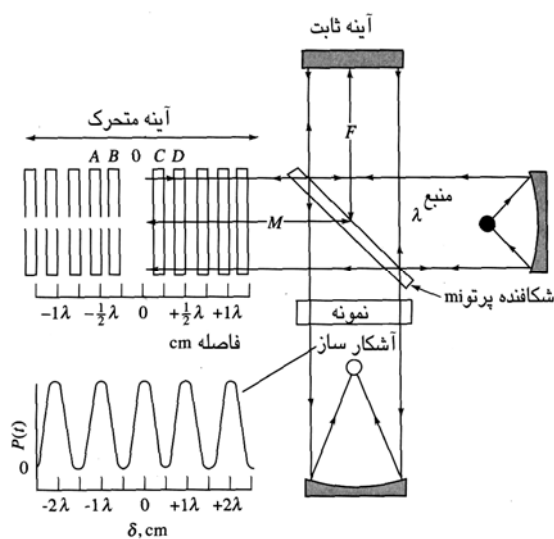
ط-۳- روش‌های بدست آوردن طیف‌های حوزه زمان توسط تداخل سنج مایکلسون

سیگنال‌های مربوط به گستره زمانی شبیه سیگنال‌های نشان داده شده در شکل‌های ۷-۴۰ و ۷-۴۱ می‌باشند که نمی‌توان بطور تجربی در محدوده فرکانس تابش در رابطه با طیف بینی نوری (10^{12} تا 10^{15} هرتز) به دست آورد، زیرا مبدلی وجود ندارد که بتواند در توان‌های متغیری در این محدوده فرکانسی را پاسخگو باشد. بنابراین، یک مبدل معمولی سیگنالی را می‌دهد که در رابطه با میانگین توان سیگنال فرکانس بالا باشد نه در رابطه با تغییرات تناوبی آن. برای به دست آوردن سیگنال گستره زمانی باید تبدیل (یا تعدیل) را بکار برد تا یک سیگنال فرکانس بالا را به یک فرکانس قابل اندازه‌گیری تبدیل کند بدون آنکه ارتباط زمانی موجود در سیگنال بهم بخورد. یعنی فرکانس‌های سیگنال تعدیل شده باید با فرکانس‌های اصلی رابطه مستقیم داشته باشند. روش‌های مختلف تعدیل سیگنال برای نواحی مختلف طول موج‌های طیف بکار می‌رود. برای تعدیل تابشی در ناحیه مرئی عمدتاً تداخل سنج مایکلسون بکار می‌رود. ابزاری که برای تعدیل تابش نوری به کار می‌رود تداخل سنجی است که از لحاظ طراحی شبیه به دستگاهی است که مایکلسون در اوایل سده نوزده بکار برد. تداخل سنج مایکلسون ابزاری است که پرتو تابشی را به دو تابش با توان تقریباً برابر تقسیم کرده و مجدداً آنها را به طریقی با هم ترکیب می‌کند که تغییرات شدت تابش ترکیب شده، به صورت تابعی از اختلاف طول، مسیرهای دو تابش قابل اندازه‌گیری باشد.

$$v_M \tau = \frac{\lambda}{\nu} \quad (22-7)$$

f فرکانس یک سیگنال، در آشکار ساز به سادگی عکس t می‌باشد، یا

$$f = \frac{1}{\tau} = \frac{v_M}{\lambda/2} = \frac{2v_M}{\lambda} \quad (23-7)$$



شکل ۴۲-۷ نمایی از تداخل سنج مایکلسون همراه با یک تک فام ساز

همچنین می‌توانیم این فرکانس را با عدد موجی تابش ربط دهیم.

$$f = 2\nu v_M \quad (24-7)$$

رابطه بین فرکانس تابشی و فرکانس تداخل نما براحتی با

جایگزین کردن $\frac{c}{\nu} \lambda =$ در معادله ۲۳-۷ بدست می‌آید.

$$f = \frac{2v_M}{c} \nu \quad (25-7)$$

که در آن ν فرکانس تابش و c سرعت نور $(3 \times 10^8) \frac{m}{s}$ می‌باشد. وقتی v_M ثابت است واضح که فرکانس تداخل نما f مستقیماً با فرکانس نور ν متناسب است. به علاوه ثابت تناسب نیز معمولاً عدد بسیار کوچکی خواهد بود. برای مثال اگر آینه با سرعت

$1/5 \text{ cm/s}$ حرکت داده شود، در این صورت داریم:

$$\frac{2v_M}{c} = \frac{2 \times 1/5 \text{ cm/s}}{3 \times 10^8 \text{ cm/s}} = 10^{-10}$$

$$f = 10^{-10} \nu \quad \text{و}$$

همان طور که در مثال زیر نشان داده شده است، فرکانس و تابش

شکل ۴۲-۷ نموداری از یک تداخل سنج است که در طیف بینی نوری تبدیل فوریه بکار می‌رود.

همان طوری که در شکل ۴۲-۷ نشان داده شده است، پرتو خروجی از منبع تنظیم شده به یک دستگاه تفکیک تابش برخورد می‌کند، که تقریباً نیمی از تابش را عبور داده و نیمه دیگر را باز می‌تاباند. سپس تابش‌های دوقلوی حاصله توسط آینه‌هایی که یکی از آنها ثابت و دیگری متحرک است بازتابیده می‌شوند. تابش‌ها مجدداً در تفکیک کننده‌ای به یکدیگر می‌رسند، که نیمی از هر تابش به سوی نمونه و آشکار ساز هدایت شده و نیمه دیگر به سوی منبع بر می‌گردد. فقط نیمه‌ای که از میان نمونه عبور کرده حرکت افقی یافته و آینه متحرک موجب می‌شود تابشی آن به آشکار ساز برسد و نوسان قابل ملاحظه داشته باشد. وقتی دو آینه در فاصله یکسان از جدا کننده قرار دارند (نقطه O در شکل ۴۲-۷)، دو قسمت تابش دوباره ترکیب شده کاملاً هم فاز بوده در این حالت توان به ماکزیمم می‌رسد. در مورد منبع تک فام، حرکت آینه متحرک در هر جهت دقیقاً برابر یک چهارم طول موج است (نقاط B یا C در شکل) که طول مسیر، تابش بازتابیده شده را به اندازه یک دوم طول موج تغییر می‌دهد (یک چهارم طول موج برای هر جهت). تحت این شرایط تداخل‌های مخرب توان تابشی پرتوهای ترکیب شده را به صفر کاهش می‌دهند. حرکت بیشتر آینه به سوی A و D مجدداً دو نیمه را هم فاز نموده بطوریکه تداخل سازنده مجدداً اتفاق می‌افتد. اختلاف طول مسیر برای دو پرتو در شکل $(M - F)$ می‌باشد که به نام تأخیر شناخته شده و با علامت d نشان داده می‌شود؛ منحنی نمایش توان خروجی آشکار ساز بر حسب d را تداخل نما می‌نامند. برای تابش تک فام تداخل نما به شکل منحنی کوسینوسی، مانند آنچه که در پایین سمت چپ شکل ۴۲-۷ نشان داده شده است می‌باشد (منحنی کوسینوسی است و نه سینوسی، بخاطر آنکه توان همواره وقتی d برابر صفر است و دو مسیر یکسان هستند ماکزیمم می‌باشد).

تابش پس از عبور از تداخل سنج مایکلسون، معمولاً دارای فرکانسی به مراتب پایین‌تر از فرکانس منبع می‌باشد. رابطه بین دو فرکانس از مشتق $P(t)$ نسبت به d بدست می‌آید که در شکل ۴۲-۷ نشان داده شده است. یک دور سیگنال هنگامی صورت می‌گیرد که آینه به اندازه‌ای حرکت کند که با $(\lambda/2)$ در رابطه باشد. اگر آینه با سرعت ثابت v_M حرکت کند، t را به عنوان زمان لازم برای حرکت آینه به اندازه $(\lambda/2)$ سانتی متر در نظر بگیریم، می‌توان نوشت:

بعضی از مبدل‌های مادون قرمز قابلیت دنبال کردن نوسان توان سیگنال‌هایی که در محدوده فرکانس رادیویی کار می‌کنند را دارند. بنابراین، امکان ثبت یک سیگنال گستره زمانی مدوله شده که دقیقاً سیگنال گستره زمانی یک منبع مادون قرمز یا مرئی با فرکانس‌های خیلی بالا را منعکس می‌کنند را فراهم می‌سازد. شکل ۷-۴۲ سه نمونه از چنین تداخل نمای گستره زمانی را در طرف چپ و گستره فرکانسی آنها را در طرف راست نشان می‌دهد.

تبدیل فوریه تداخل نما

موج کوسینوسی تداخل نمای نشان داده شده در شکل ۷-۴۳ الف (همچنین در شکل ۷-۴۲) می‌تواند از نظر تئوری به صورت معادله زیر نوشت

$$P(\delta) = \frac{1}{2} P(\bar{\nu}) \cos 2\pi f t$$

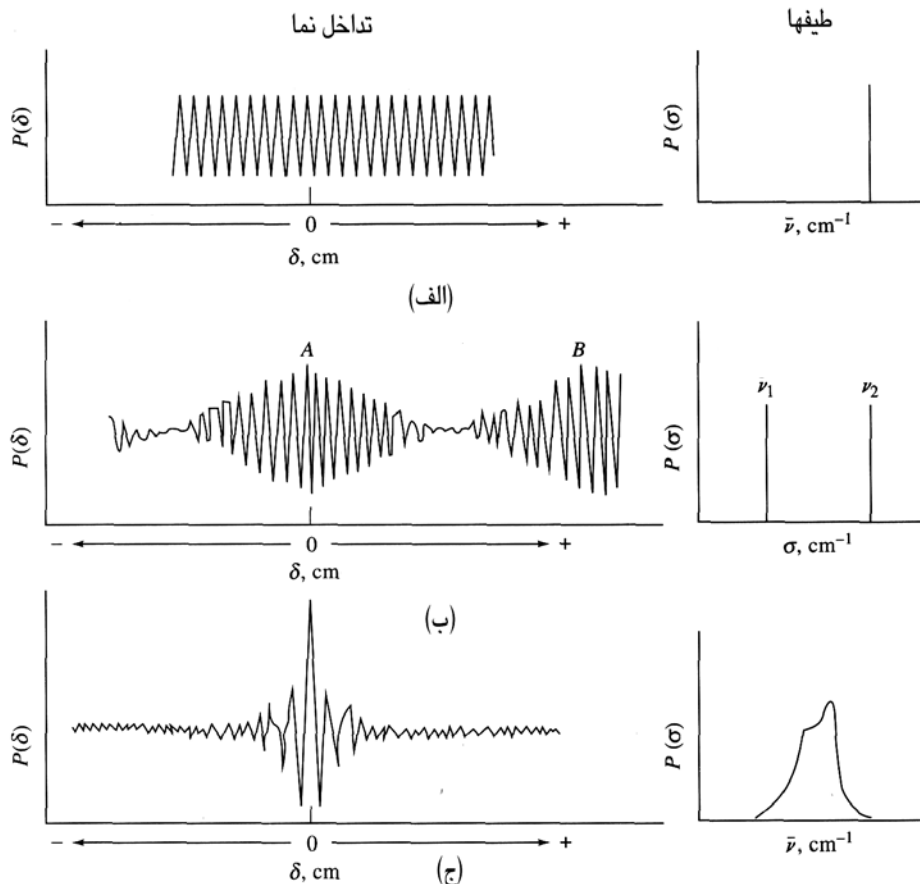
مرئی و مادون قرمز توسط تداخل سنج مایکلسون به فرکانس رادیویی تبدیل می‌شود.

مثال ۷-۳

محدوده فرکانس یک سیگنال تبدیل شده توسط تداخل سنج با آینه‌ای به سرعت $2 \times 10^8 \text{ cm/s}$ ، برای تابش مرئی با طول موج 700 nm تا نانومتر و برای تابش مادون قرمز $16 \text{ } \mu\text{m}$ (تا 1.9×10^{13}) می‌توان نوشت:

$$f_1 = \frac{2 \times 10^8 \text{ cm/s}}{700 \text{ nm} \times 10^{-9} \text{ cm/mm}} = 285.7 \text{ Hz}$$

$$f_2 = \frac{2 \times 10^8 \text{ cm/s}}{16 \text{ } \mu\text{m} \times 10^{-6} \text{ cm/}\mu\text{m}} = 12.5 \text{ Hz}$$



شکل ۷-۴۳ مقایسه تداخل نماها و طیف‌های نوری

که در آن $P\bar{\nu}$ توان تابشی پرتو ورودی تداخل سنج و $P(\delta)$ مقدار یا توان سیگنال تداخل نما است. نمادهای داخل پرانتز جهت

از صفر تا بی نهایت می باشد و آینه ای با طول حرکت نامحدود دارند. بعلاوه، انجام تبدیل فوریه با کامپیوتر نیاز به خروجی دیجیتال دارد. بدین معنی که خروجی باید به صورت متناوب نمونه گیری و به صورت دیجیتالی ذخیره شود. معادله ۷-۳۱ اگر چه مورد توجه است ولی در فواصل بسیار کوچک $d\delta$ قابل استفاده می باشد یعنی وقتی که $0 \rightarrow d\delta$ میل می کند. از نقطه نظر عملی، تنها فاصله نمونه گیری به میزان محدود را می توان جمع آوری نمود که تأخیر چند سانتی متری داشته باشد. این محدودیت ها اثر بر تفکیک دستگاه تبدیل فوریه داشته و ایجاد محدودیت در گستره فرکانس می نماید.

تفکیک

تفکیک طیف سنج تبدیل فوریه را می توان به صورت تفاوت دو عدد موجی ما بین دو خط که قابل جدا شدن توسط دستگاه می باشند توصیف کرد. یعنی:

$$\Delta \bar{v} = \bar{v}_1 - \bar{v}_2 \quad (32-7)$$

که در آن \bar{v}_1 و \bar{v}_2 عدد موج برای جفتی که به دو خط طیفی قابل تفکیک می باشند، است.

برای اینکه دو خط تفکیک شوند باید سیگنال حوزه زمان به حد کافی پیمایش شود تا یک دور کامل یا ضربه برای دو خط کامل شود. فقط به این ترتیب است که تمام اطلاعات موجود در طیف ثبت می شوند. برای مثال تفکیک دو خط طیفی \bar{v}_1 و \bar{v}_2 در شکل ۷-۴۳ ب احتیاج به ثبت تداخل نما از مقدار ماکزیم A با تأخیری برابر صفر تا ماکزیم B با دو موج حاصله در فاز می باشند. وقتی که δv_2 به اندازه یک واحد بزرگتر از δv_1 یک معادله ۷-۲۹ خواهد شد.

$$\delta \bar{v}_2 - \delta \bar{v}_1 = 1$$

یا

$$\bar{v}_2 - \bar{v}_1 = \frac{1}{\delta}$$

با جاگذاری در معادله ۷-۳۲ معادله به صورت زیر می شود.

$$\Delta \bar{v} = \bar{v}_2 - \bar{v}_1 = \frac{1}{\delta} \quad (33-7)$$

این معادله نشان می دهد که تفکیک در عدد موجی به صورت معکوس با فاصله طی شده آینه بهبود می یابد.

تأکید توان در گستره فرکانسی و دیگری در گستره زمان است. در عمل دیده می شود که تداخل نما کاملاً پرتو منبع را به دو نیمه تقسیم نکرده و پاسخ گویی آشکار ساز و رفتار تقویت کننده بستگی به فرکانس دارد بنابراین متغیر جدید $B(\bar{v})$ که بستگی به $P(\bar{v})$ دارد، ولی فاکتورهای دیگری نیز در آن دخالت دارند. بنابراین، معادله فوق به شکل دیگری نوشته می شود.

$$P(\delta) = B(\bar{v}) \cos 2\pi f t \quad (27-7)$$

با جانشین سازی معادله ۷-۲۴ در معادله ۷-۲۶ خواهیم داشت:

$$P(\delta) = B(\bar{v}) \cos \epsilon \pi v_M v_t \quad (28-7)$$

اما سرعت آینه را در حالت تأخیر به صورت زیر می توان نوشت:

$$\bar{v}_M = \frac{\delta}{2t}$$

با جایگزینی این رابطه در معادله ۷-۲۸ خواهیم داشت.

$$P(\delta) = B(\bar{v}) \cos 2\pi \delta \bar{v} \quad (29-7)$$

که بیانگر بزرگی تداخل نمای یک سیگنال، به عنوان تابعی از حالت تأخیر و شماره موج سیگنال تابش ورودی است. تداخل نمای نشان داده شده در شکل ۷-۴۳ ب را می توان توسط دو عبارت، که هر کدام می تواند شماره موجی را مشخص کند نشان داد، بنابراین داریم:

$$P(\delta) = B_1(\bar{v}) \cos 2\pi \delta + B_2(\bar{v}) \cos 2\pi \delta \bar{v}_2 \quad (29-7)$$

برای منبع پیوسته نظیر شکل ۷-۴۳ ج تداخل نما را می توان به عنوان مجموعه محدودی از تعداد عبارات کوسینوسی در نظر گرفت یعنی:

$$p(\delta) = \int_{-\infty}^{+\infty} B(\bar{v}) \cos 2\pi \bar{v} \delta d\bar{v} \quad (30-7)$$

تبدیل فوریه این انتگرال گیری خواهد بود.

$$p(\bar{v}) = \int_{-\infty}^{+\infty} P(\delta) \cos 2\pi \bar{v} \delta d\delta \quad (31-7)$$

یک تبدیل فوریه کامل احتیاج به هر دو مؤلفه، حقیقی (کوسینوسی) و مجازی (سینوسی) دارد؛ که فقط حقیقی آن یعنی کوسینوسی را در این جا نشان دادیم، که برای توابع حقیقی و توابع مزدوج کافی می باشد.

طیف بینی نوری تبدیل فوریه شامل ثبت $P(\delta)$ به صورت تابعی از δ (معادله ۷-۳۰) تبدیل ریاضی این رابطه به رابطه ای که $B(\bar{v})$ را به صورت تابعی از \bar{v} می دهد، (فرکانس طیف) است که به صورت معادله ۷-۳۱ نشان داده می شود. معادلات ۷-۳۰ و ۷-۳۱ به صورتی که نوشته شده اند را نمی توان بکار برد، زیرا آنها بر این فرض استوارند که پرتوها حاوی تابش هایی می باشند که عدد موجی آنها

مثال ۷-۴

زیر کمک کنند.

- (الف) طول موج ماکزیمم یک لامپ تنگستن در درجه حرارت معمولی ۲۸۷۰ کلوین و ۳۰۰۰ درجه کلوین محاسبه کنید؟
 (ب) انرژی خروجی کل لامپ را بر حسب Wcm^{-1} محاسبه کنید.
 ۶-۷ نشر خودبخودی و تحریک شده را مقایسه کنید.
 ۷-۷ مزیت سیستم لیزری چهار ترازوی بر سه ترازوی چیست؟
 ۸-۷ واژه پهنای نوار مؤثر یک صافی را تعریف کنید.
 ۹-۷ از یک صافی تداخلی برای تفکیک نور جذبی CS_2 در 4.054 میکرومتر استفاده شده است.

(الف) اگر قرار باشد براساس تداخل درجه اول تنظیم گردد، ضخامت لایه دی الکتریک چقدر باید باشد؟ (ضریب شکست 1.34).

- (ب) چه طول موج‌های دیگری عبور خواهند کرد؟
 ۷-۱۰ یک گره تداخلی 100 سانتی متری بسازید. بطوریکه دارای پراکنش خطی از 400 الی 700 نانومتر باشد. جزئیات ساخت آنرا توضیح دهید. فرض کنید ماده دی الکتریکی با ضریب شکست 1.32 قرار است بکار برده شود.
 ۷-۱۱ چرا بهتر است از شیشه بجای سیلیکا در ناحیه 400 تا 800 نانومتر به عنوان ماده سازنده منشور تک فام ساز استفاده می‌شود؟

۷-۱۲ برای یک شبکه چند خط طیفی در هر میلی متر لازم است تا اینکه اولین خط شکست برای طول موجی برابر 500 nm زاویه تابش 10 درجه مشاهده شود وقتی که زاویه برخورد 60 درجه باشد؟

۷-۱۳ یک شبکه مادون قرمز در ناحیه‌ای با 72 خط در هر میلی متر در یک ناحیه با روشنایی 10 نانومتر در نظر بگیرید. اولین درجه تفکیک $\frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ (این شبکه را محاسبه کنید. فاصله دو خط (بر حسب cm^{-1}) در هر $1000 cm^{-1}$ چقدر است؟ اگر قرار باشد مجدداً تفکیک انجام پذیرد.

۷-۱۴ برای شبکه مسئله ۷-۱۳، طول موج‌های اولین و دومین طیف انکساری را با زوایای بازتابی (الف) 20 درجه و (ب) صفر درجه چقدر است؟ با فرض اینکه زاویه برخورد 50 درجه باشد.
 ۷-۱۵ به کمک اشکال ۷-۲ و ۷-۳ که اجزاء و مواد لازم جهت ساخت دستگاه را نشان میدهند برای ساختن هر یک از اهداف زیر وسائل مناسب را پیشنهاد دهید.

چه طولی را آینه باید طی کند تا اینکه تفکیکی به اندازه $0.1 cm^{-1}$ بوجود آید. با جاگذاری در معادله ۷-۳۳ خواهیم داشت.

$$0.1 = \frac{1}{\delta}$$

$$\delta = 1.0 cm$$

حرکت آینه به اندازه نصف تأخیر است که برابر 5 سانتی متر

می‌شود.

دستگاه‌ها

جزئیات بیشتر در مورد طیف سنج‌های نوری تبدیل فوریه مدرن در بخش ۱۶ ج-۱ آمده است. قسمت مهم و کامل این دستگاه مربوط به کامپیوتر آن است که برای کنترل داده‌ها، ذخیره سازی داده‌ها، میانگین‌گیری سیگنال و برای عملیات تبدیل فوریه به کار برده می‌شود.

۷-۱ پرسشها و مسائل

- ۷-۱ چرا پهنای شکاف منشور تک فام ساز، برای تهیه پهنای نوار مؤثر ثابت بایستی تغییر کند، در صورتی که می‌توان از شبکه تک فام سازی با شکاف و پهنای تقریباً ثابت استفاده کرد؟
 ۷-۲ چرا کمیت و کیفیت‌های تجزیه غالباً نیازمند به تک فام سازی با شکاف و پهنای مختلف است؟
 ۷-۳ قانون جابجایی وین که طول موج ماکزیمم را در واحد میکرومتر برای جسم سیاه از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\lambda_{max} \times T = 290 \times 10^3$$

که در آن T درجه حرارت در واحد کلوین می‌باشد. طول موج ماکزیمم جسم سیاهی که تا دماهای: (الف) 4000 کلوین (ب) 2000 کلوین (ج) 1000 کلوین، حرارت داده شده است را محاسبه کنید؟
 ۷-۴ براساس قانون استفان، انرژی کل ($ET = aT^4$) نشر شده توسط یک جسم سیاه در واحد زمان و واحد سطح از رابطه بدست می‌آید. که در آن α برابر $5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$ می‌باشد را محاسبه کنید انرژی کل خروجی در واحد Wm^{-2} برای یک جسم سیاه که در مسئله ۷-۳ توضیح داده شده بود.

۷-۵ روابط داده شده در مسائل ۷-۴ و ۷-۳ می‌توانند در حل مسائل

- (الف) ساخت نوارهای جذبی خوب در ناحیه‌ای بین ۴۵۰ تا ۷۵۰ نانومتر
- (ب) برای تهیه طیف جذبی در ناحیه دور مادون قرمز (۲۰ تا ۵۰ نانومتر)
- (ج) دستگاه قابل حمل برای تعیین میزان آهن آب طبیعی براساس جذب تابشی توسط ترکیب قرمز رنگ $Fe(SCN)^{2+}$
- (د) روش تعیین نیتروبنزن موجود در نمونه‌هایی از هوا براساس جذب حداکثر $11/8$ میکرومتر
- (ه) تعیین طول موج خطوط نشر توسط شعله برای عناصر فلزی در ناحیه‌ای بین ۲۰۰ تا ۷۸۰ نانومتر
- (و) مطالعات طیف بینی در ناحیه فرا بنفش در خلاء
- (ز) مطالعات طیف بینی در ناحیه نزدیک به مادون قرمز
- (۱۶-۷) سرعت یک عدسی با قطر ۴۰۲ سانتی متر و فاصله کانونی ۸۰۲ سانتی متر چقدر است؟
- (۱۷-۷) قدرت گردآوری نور عدسی مسئله ۱۶-۷ با عدسی به قطر $2/6$ سانتی متر و فاصله کانونی $8/1$ سانتی متر را مقایسه نمایید.
- (۱۸-۷) تک فام سازی با فاصله کانونی $1/6$ متر دارای آینه‌ای تنظیم شده با قطر ۲ متر است. دستگاه پراکنش شبکه‌ای با 1250 خط طیفی در هر میلی متر است. برای اولین درجه تفکیک
- (الف) قدرت تفکیک تک فام ساز چقدر است؟ اگر پرتو تنظیمی ۲ سانتی متر از شبکه را روشن کرده باشد.
- (ب) اولین و دومین درجه تفکیک معکوس پراکنش خطی تک فام ساز شرح داده شده در بالا چقدر است؟
- ۱۹-۷ تک فام سازی با فاصله کانونی $0/65$ متر به طریق شبکه اشلت به 2000 تیغه در هر میلی متر مجهز شده است.
- (الف) معکوس پراکنش خطی دستگاه را برای اولین طیف محاسبه کنید.
- (ب) اگر به ۳ سانتی متر از شبکه‌ای روشنایی داده شود، قدرت اولین درجه تفکیک تک فام ساز چقدر است؟
- (ج) تقریباً در 560 نانومتر حداقل تفاوت طول موج از نظر تئوری تفکیک کامل بوسیله دستگاه چقدر است؟
- ۲۰-۷ اساس کار آشکار ساز تابشی با مبدل دیود سیلکونی را تشریح کنید.
- ۲۱-۷ تفاوت بین (الف) یک طیف بین (ب) یک طیف نگار (ج) یک طیف سنج را بنویسید.
- ۲۲-۷ یک تداخل سنج مایکلسون دارای آینه‌ای به سرعت $1/25$ سانتی متر بر ثانیه است. فرکانس تداخل نما را برای؛
- (الف) تابش فرابنفش در 300 نانومتر (ب) تابش مرئی در 700 نانومتر (ج) تابش مادون قرمز در $7/5$ میکرومتر و (د) تابش مادون قرمز در 20 میکرومتر چقدر است؟
- ۲۳-۷ آینه‌ای با چه طول رانش در تداخل سنج مایکلسون جهت تفکیک دلخواه برای موارد زیر لازم است؟
- (الف) پیک مادون قرمز در $20/34$ و $20/35$ میکرومتر؟
- (ب) پیک مادون قرمز در $2/5$ و $2/501$ میکرومتر؟

مراجع:

- [1]. R. P. Bauman, *Absorption spectroscopy, chapters 2 and 3*. New York: Wiley, 1962; E. J. Meehan, in *Treatise on Analytical Chemistry*; P. J. Elving E. J. Meehan and I. M. Kolthoff Eds., Part I, Vol 7. Chapter 3. New York: Wiley, 1981; J. D. Ingle Jr. and S. R. Crouch, *spectrochemical Analysis, chapter 3 and 4*. Englewood cliffs, Nj: Prentice Hall, 1988.
- [2] Fourier transform instruments, which are discussed in section 77-3, require no wavelength selecting device but instead use a frequency modulator that provides spectral data in a form that can be interpreted by a mathematical technique called a fourier transformation.
- [3]. J. Wilson and J. F. B. Hawkes, *lasers: Preinciples and Application* S. Englewood Cliffs. NJ: Prentice – Hall, 1987; D. L. Andrews, *laser in chemistry*. New York: Springer – Verlag, 1986; *Laser, Spectroscopy and its Applications*, L. Redziemski, R. Solarz, and J. Paisner. Eds. New York: Marcel Dekker 1987; *Applications of lasers*, E. Piepmeier, Ed. New York: Wiley 1986.
- [4]. J. C. Wright and M. J. Wirth, *Anal. Chem.*, 1980, 52, 988A. 1887 A; A. Schawlow, *Science*, 1982, 217, 9; E. W. Fendend and M. R. Ondeias, *J. Chem. Educ.*, 1986, 63, 479; R. N. Zare, *Science*, 1984, 226, 1198; C. P. Christensen, *Science*, 1984, 224, 117; J. K. Steenler, *J. Chem. Educ.*, 1990, 47, A37.
- [5]. J. C. Wright and M. J. Write, *Anal. Chem.*, 1980, 52, 1087 A.
- [6]. For details on the design of commercial He/Ne lasers, see B. Pater, *Photonics Spectra*, 1983 (1), 33.
- [7]. R. B. Green, *J. Chem. Educ.*, 1977, 54, A365, A407; M. J. Wirth, *Tunable laser systems in lasers in chemical Analysis*, Q > M. Hieftje, J. C. Travis, and F. E. Lytle, Eds. Clifton, NJ: Humana press, 1981.
- [8]. M. G. D. Bauman, J. C. Wright, A. B. Ellis, Kuech, and G. C. Lisensky, *J. Chem. Educ.*, 1992, 69, 89; T. Imasaka and N. Ishibashi, *anal. Chem.*, 1990, 62, 363A; A. L. Beyer, *Science*, 1989, 239, 742; K. Niemax, A. Zybin, C. Schnurer – Patschan, and H. Groll, *Anal. Chem.* 1996, 68, 351A.
- [9]. G. Fasol. *Science*, 1996, 272, 1751.
- [10]. Dielectrics are a class of substance that are conductors because they contain no free electrons. Generally, dielectrics it strongly.
- [11] Note that the term in this context has a some what different meaning from that used in describing types of spectra chapter 6.
- [12]. A dielectric material is an insulator that contains essentially no current – carrying charged particles. Dielectrics are generally transparent in most spectral regions.
- [13]. For an interesting informative discussion of the manufacture testing, and performance characteristics of gratings, see *Diffraction Grating Handbook*, Rochester, Ny: baush and Lomb, Inc. (now Milton Roy company), 1970. For a historical perspective on the importance of grating in the advancement of Science, see A. G. Ingalls, *sci.*, 1952, 186 (6) , 45.
- [14]. J. Flamand, A. Grillo, and G. Hayat, *Amer. Lab.*, 1975, 7(5), 47; and J. M. Lerner et al., *proc. Photo – opt. Instrum. Eng.*, 1980, 240, 72, 82.
- [15]. I. R. Altellose, *J. Chem. Educ.*, 1986, 63, A221.
- [16]. W. Kaye, *Anal. Chem.*, 1981, 53, 2201; M. R. Sharpe, *Anal. Chem.*, 1984, 56, 339A.
- [17]. R. A. Sawyer, *Experimental Spectroscopy*, 2nd ed., P. 130. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1951.
- [18]. P. N. Keliher and C. C. Wohles, *Anal. Chem.*, 1976, 48, 333A; D. L. Anderson, A. R. Dorster, and M. L. Parsons, *Anal. Chem.*, 1981, 53, 770; A. T. Zander and P. N. Keliher. *Appl. Spectrosc.* 1979, 33, 499.
- [19]. E. L. Dereniak and D. G. Crowe, *optical Radiation Detectors*, New York: Wiley, 1984; F. Grum and R. J. Becherer, *optical Radiation Measurements*, Vol. 1. New York: Academic press, 1979; J. D. Ingle Jr., and S. R. Crouch *Spectrochemical Analysis*, pp. 106-117, Englewood cliff, Nj: prentice Hall, 1988.
- [20]. For a comparison of the performance characteristics of the three most sensitive and widely used photon transducers, namely photo multipliers, silicon diodes, and charge – transfer devices, see W. E. L. Grossman, *J. Chem. Educ.*, 1989, 66, 697.
- [21] F. E. Lytle, *Anal. Chem.*, 1974, 46, 545A.
- [22]. R. W. Engstrom, *Photomultiplier Handbook*, Lancaster, PA: RCA Corporation, 1980.
- [23]. Y. Talmi, *Appl. Spectrosc.*, 1982, 36, 1: W. E. Grossman, *J. Chem. Educ.* 1989., 66, 697; J. V. Sweedler, *Crit. Rev. Anal. Chem.*, 1993, 34, 59; D. G. Hones, *Anal. Chem.*, 1985, 57, 1057A.
- [24] J. Sweedler, *Crit. Rev. Anal. Chem.* 1993, 24, 59; J. V. SWEEDLER, r. b. BILHORN, p. m. ePPERSON, G. R. Sims, and M. B. Denton *Anal Chem.*, 1988, 60, 282A, 327A; *Charge – Transfer Devices in Spectroscopy*, J. Sweedler, K. L. Ratzlaff, and M. B. Denton, Eds. New York: Wiley, 1994.
- [25] For a good discussion of optical radiation transducers of all types, including thermal detectors, see E. L. Dereniak and G. D. Crowe, *optical Radiation detectors*. New York: Wiley, 1984.
- [26]. H. J. Malmstadt, M. L. Franklin, and G. Horlick, *Anal. Chem.*, 1972, 44 (8), 63A.
- [27] I. Chabay, *Anal. Chem.*, 1982, 54, 1071 A and J. K. Crum, *Anal. Chem.*, 1969, 41, 26A.
- [28]. M. A. Arnold, *Chem.*, 1992, 64, 1015A; R. E. Dessy, *Anal. Chem.*, 1989, 61, 1079 A; W. R. Seitz, *Dessy, Anal. Chem.*, 1984, 56, 16A; S. Borman, *Acta*, 1987, 200, 491.
- [30] For more complete discussions of optical Fourier Transforms in NMR, Optical, and Mass Spectrometry. New York: Elsevier, 1990; A. G. Marshall, *Fouvier, Hadamard, and Hilbert Transforms in chemistry*. New York: Plenum press, 1978 *Transform Techniques in chemistry*, P. R. Griffiths, Ed. New York: Plenum Press, 1978. For brief reviews, see P. R. Griffiths, *Science*, 1983, 222, 297; W. D. Perkins, *J. Chem. Educ.*, 1986, 63, A5, A96; L. Glasser, *J. Chem. Educ.*, 1987, 64, A228, A260, A306.
- [31] with a recording spectrophotometer, of course, individual point – by – point measurements are not Marshall and F. R. Versun, *Fourier Transforms in NMR, optical, and Mass Spectrometry*, Chapter 5, New York: Elsevier, 1990. Made; never the less, the idea of a resolution elements is useful, and the ideas generated from it apply to recording instruments as well.
- [32] A. P. Thorne, *Anal. Chem.*, 1991, 63, 62A – 63A; A. G.

