جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش
تهیه و تنظیم در دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب درسی

اصول اندازه‌گیری الکتریکی

فنی و حرفه‌ای (رشته‌های الکترونیک ـ الکتروتکنیک)

نظام جدید آموزش متوسطه

۳۵۹/۹۳

بسم الله الرحمن الرحیم

اصول اندازه‌گیری الکتریکی

رشته‌های الکترونیک ـ الکتروتکنیک

زمینه‌ی صنعت

شاخه‌ی آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره‌ی درس ۲۰۹۱

۵۳۷
/۰۲۸
الف۵۱۲ ن
۱۳۸۴

نظریان، فتح‌الله
اصول اندازه‌گیری الکتریکی / مؤلف: فتح‌الله نظریان. ـ تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۸۴.
۱۷۲ص. :مصور. ـ (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شماره‌ی درس ۲۰۹۱)
متون درسی رشته‌های الکترونیک ـ الکتروتکنیک، زمینه‌ی صنعت.
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته‌های الکترونیک ـ الکتروتکنیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش.
۱. برق ـ اندازه‌گیری. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته‌های الکترونیک ـ الکتروتکنیک. ب. عنوان. ج. فروست.

۱۳۸۴

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز:

پیشنهادات و نظرات خود را درباره‌ی محتوای این کتاب به نشانی تهران ـ صندوق پستی شماره‌ی ۴۸۷۴/۱۵ دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پست الکترونیکی info@tvoccd.sch.ir

آدرس الکترونیکی www.tvoccd.sch.ir

جداول هدف ـ محتوای این کتاب در کمیسیون تخصصی رشته‌های الکترونیک ـ الکروتکنیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش تهیه و سپس در گردهمایی هنرآموزان منتخب سراسر کشور در مردادماه سال ۱۳۷۹ مورد بررسی و تجدیدنظر قرار گرفته است.

وزارت آموزش و پرورش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش

نام کتاب: اصول اندازه‌گیری الکتریکی ـ ۳۵۹/۹۳

مؤلف: فتح‌الله نظریان

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ: اداره‌ی کل چاپ و توزیع کتاب‌های درسی

رسام: مریم دهقان‌زاده، سروش ذوالریاستین

صفحه‌آرا: مریم نصرتی

طراح جلد: مریم گیوان

ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جاده‌ی مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارویخش)

تلفن: ۴ ـ ۶۰۲۶۴۴۱، دورنگار: ۶۰۲۶۲۴۰، صندوق پستی: ۱۳۴۲۵/۶۸۴

چاپخانه: دانش‌پژوه

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ پنجم ۱۳۸۴

حق چاپ محفوظ است.

شابک ۱-۰۹۰۵-۰۵-۹۶۴ ISBN 964-05-0905-1

شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آیید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدّس سرّه‌الشریف»

فهرست مطالب

کلیات و تعاریف ۲

فصل اوّل ــ اندازه‌گیری جریان، ولتاژ، مقاومت اهمی، ضریب خودالقایی سلف و ظرفیت خازن ۵

فصل دوم ــ اندازه‌گیری توان، انرژی و اختلاف فاز ۲۷

فصل سوم ــ ساختمان دستگاه‌های اندازه‌گیری ۳۷

فصل چهارم ــ آشنایی با اسیلوسکوپ و کاربرد آن ۸۲

فصل پنجم ــ اندازه‌گیری کمیت‌های غیرالکتریکی قابل تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی ۱۲۶

منابع مورد استفاده ۱۷۲

سخنی با همکاران ارجمند

همکاران گرامی، کتاب «اصول اندازه‌گیری الکتریکی» براساس مصوبات کمیسیون تخصصی رشته‌ی الکترونیک و الکتروتکنیک و همچنین نظرات و مصوبات نمایندگان منتخب رشته‌های الکترونیک و الکتروتکنیک استان‌های کشور در گردهمایی تابستان ۱۳۷۹، در تهران، و براساس اهداف رفتاری پیش‌بینی شده به مرحله‌ی تدوین و تألیف درآمده است.

همکاران ارجمند! همان‌طور که می‌دانید در روش اجرایی سالی ـ واحدی، در سال دوّم، به طور همزمان تعدادی از دروس فنی مانند مبانی برق، الکترونیک عمومی (۱) و درس اصول اندازه‌گیری الکتریکی در برنامه‌ی دانش‌آموزان قرار دارد. از طرفی می‌دانیم که برای بیان یک مبحث فنی در رشته‌ی برق و الکترونیک لازم است دانش‌آموزان برخی از اصول و مبانی برق را بدانند که این مبانی در درس فیزیک (۱) در حد نیاز گفته شده است. با این حال تعریف بعضی از کمیت‌های الکتریکی، که احتمال می‌رود هنرجو هنوز آن‌ها را نخوانده باشد، قبل از نحوه‌ی اندازه‌گیری به صورت خیلی خلاصه آورده شده است. بنابراین تقاضا می‌شود ابتدا تعریف کمیت الکتریکی مورد نظر را برای هنرجویان خود تشریح کنید و سپس نحوه‌ی اندازه‌گیری آن را تدریس نمایید. در خاتمه توجه همکاران ارجمند را به موارد ذیل جلب می‌نماید.

الف ـ فصل اول با این که در فیزیک سال اول مفهوم ولتاژ، جریان و مقاومت اهمی آموزش داده شده است، به منظور یادآوری و یادگیری بهتر هنرجویان، یک بار دیگر این مفاهیم را در این کتاب بیان کرده‌ایم. همچنین توضیحات ما راجع به اندازه‌گیری سلف و خازن خیلی مختصر بیان شده است، لذا از همکاران محترم تقاضا می‌شود قبل از بررسی نحوه‌ی اندازه‌گیری سلف و خازن مختصری راجع به این دو عنصر برای هنرجویان توضیح دهند.

ب ـ مفاهیم توان، انرژی و اختلاف فاز در فصل دوّم به طور خلاصه بیان شده است، در این‌جا نیز از شما تقاضا می‌شود مفهوم ولتاژ و جریان سینوسی، همچنین مقادیر مؤثر را برای هنرجویان تشریح نمایید.

ج ـ در فصل چهارم، دستگاه اسیلوسکوپ را به طور کامل شرح داده‌ایم. در صورت امکان همزمان با تدریس، دستگاه اسیلوسکوپ را از نزدیک در معرض دید هنرجویان قرار دهید و بعضی از مطالب درسی را به‌وسیله‌ی آن، در کلاس مورد آزمایش قرار دهید تا مطالب بهتر تفهیم شود.

د ـ در گردهمایی مذکور بحث اندازه‌گیری کمیت‌های غیر الکتریکی قابل تبدیل به سیگنال الکتریکی مطرح گردید و مورد تأیید کلیه‌ی نمایندگان استان‌ها قرار گرفت و قرار شد این مبحث در کتاب اصول اندازه‌گیری الکتریکی آورده شود. براین اساس فصل انتهایی این کتاب به مبحث مورد نظر اختصاص یافته است.

در خاتمه ضمن پذیرش نظریات همکاران ارجمند، از همکاری آنان در امر تدریس این کتاب صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نماییم.

مؤلف

کلیات و تعاریف

تعریف اندازه‌گیری

اصولاً، اندازه‌گیری، نتیجه‌ی یک مقایسه‌ی کلی است بین یک استاندارد (شاخص) تعریف شده و یک اندازه‌ی (مقدار) نامعلوم. برای این که نتیجه‌ی عمل اندازه‌گیری، به طور عمومی، با معنی باشد دو شرط لازم است : الف ـ استانداردی که برای مقایسه به کار برده می‌شود به طور دقیق معلوم و عموماً مورد پذیرش باشد. ب ـ روش اندازه‌گیری قابل تکرار باشد و نیز بتوان صحت و دقت دستگاه اندازه‌گیری را امتحان نمود.

اولین شرط بدین معنی است که مثلاً : یک جسم نمی‌تواند فقط سنگین باشد بلکه سنگینی آن در مقایسه با سنگینی یک جسم دیگر (استاندارد) با معنی است. به عبارت دیگر مقایسه‌ای باید انجام شود، و این مقایسه نسبت به یک استاندارد شناخته شده انجام گیرد. وگرنه اندازه‌گیری ما مفهومی نخواهد داشت.

شرط دوم نیز بدین معنی است، که دستگاه اندازه‌گیری باید بتواند، در دفعات مختلف، اندازه‌ی یک کمیت معین را یک مقدار بخواند. به علاوه باید بتوان توانایی دستگاه را برای انجام اندازه‌گیری صحیح امتحان نمود.

اهمیت اندازه‌گیری الکتریکی

با توسعه‌ی روزافزون دستگاه‌های الکتریکی و الکترونیکی و با ازدیاد انواع سیستم‌ها و پیچیدگی آن‌ها، اهمیت اندازه‌گیری روزبه‌روز بیش‌تر می‌شود. برای عیب‌یابی و آزمایش سیستم‌های الکتریکی، اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی همچون ولتاژ، جریان، مقاومت اهمی، انرژی، توان، اختلاف فاز و... لازم است. حتی در اکثر سیستم‌های اندازه‌گیری غیرالکتریکی برای اندازه‌گیری کمیت‌های مختلف فیزیکی مانند حرارت، فشار، سرعت و غیره، ابتدا کمیت فیزیکی به یک کمیت الکتریکی که با کمیت اصلی دارای رابطه‌ی مشخصی است، مانند جریان یا ولتاژ، تبدیل می‌گردد و سپس با اندازه‌گیری کمیت الکتریکی، کمیت فیزیکی اولیه اندازه‌گیری می‌شود.

کوچکی نسبی حجم و وزن دستگاه‌های الکتریکی و آسانی انتقال سیگنال‌های الکتریکی از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر و همچنین سهولت نسبی تقویت سیگنال‌های الکتریکی سبب شده است که در اکثر دستگاه‌های اندازه‌گیری، یک قسمت الکتریکی وجود داشته باشد. بنابراین اهمیت اندازه‌گیری الکتریکی محدود به رشته‌های فیزیک یا برق نیست و شامل تمام رشته‌های فنی و حتی غیرفنی نیز می‌شود.

خطا در اندازه‌گیری

هنگام اندازه‌گیری و استفاده از دستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری، همیشه این احتمال وجود دارد که کمیت اندازه‌گیری شده نسبت به کمیت واقعی درصدی بیش‌تر و یا کم‌تر باشد؛ این تفاوت را خطای اندازه‌گیری می‌نامند.

خطای اندازه‌گیری به دو صورت ممکن است اتفاق بیفتد:

الف ــ خطای شخصی: این نوع خطا مربوط به اشتباهاتی است که شخص، در موقع اندازه‌گیری، به طور ناآگاه انجام می‌دهد. مثلاً ممکن است هنگام خواندن عدد یا رقم، به رنج کلید سلکتور توجهی نداشته باشد و یا ضریب ثابت سنجش را اشتباه محاسبه کرده باشد.

ب ــ خطای دستگاه: عواملی که باعث این نوع خطا می‌شوند نسبت به خطای قبلی بیش‌ترند و در بعضی موارد جلوگیری از تأثیر این عوامل تقریباً ناممکن است. تعدادی از این عوامل عبارت‌اند از: کیفیّت فنّی خود دستگاه، فرکانس، اصطکاک، حوزه‌های الکترومغناطیسی و خطای ناشی از حرارت محیط. یکی دیگر از عواملی که باعث خطا می‌شود وجود خود دستگاه در مدار است. مثلاً با قرار دادن یک آمپرمتر در مدار مقاومت ناخواسته‌ای به مدار اضافه شده و جریان آن کاهش می‌یابد، در نتیجه اندازه‌گیری با خطا همراه خواهد بود.

در حال حاضر با پیشرفت تکنولوژی، دستگاه‌های اندازه‌گیری را عموماً به صورت الکترونیک و فاقد قطعات متحرک می‌سازند لذا بسیار دقیق بوده و تقریباً مستقل از شرایط محیط عمل می‌کنند؛ یعنی اگر مثلاً حرارت محیط تغییر کند، در مقدار اندازه‌گیری شده تأثیری نمی‌گذارد. به خاطر دقت بسیار بالایی که در اکثر دستگاه‌های اندازه‌گیری، حتی نوع ارزان قیمت، وجود دارد معمولاً در عمل خطا وجود ندارد، بویژه این که دستگاه‌ها را اکثراً دیجیتالی (رقمی) می‌سازند که سبب می‌شود خطای قرائت نیز از بین برود.

طبقه‌بندی سیستم‌های اندازه‌گیری

دستگاه‌های اندازه‌گیری را به صورت‌های مختلف می‌توان طبقه‌بندی کرد. در یک طبقه‌بندی، این دستگاه‌ها را به دستگاه‌های آنالوگ و دیجیتال تقسیم می‌کنند. دستگاه‌های آنالوگ دارای یک خروجی هستند که این خروجی مشابه (آنالوگ) ورودی دستگاه می‌باشد به عنوان مثال می‌توان از سرعت‌سنج اتومبیل، ولت‌مترهای عقربه‌ای و... به عنوان دستگاه‌های آنالوگ نام برد.

اما دستگاه‌های دیجیتال، کمیت اندازه‌گیری شده را به صورت رقم یا ارقام نشان می‌دهند، یعنی برخلاف دستگاه‌های آنالوگ قادر به نشان دادن کمیت به صورت پیوسته نیستند. ولت‌متر دیجیتالی و

فرکانس متر دیجیتالی از دستگاه‌های نوع دیجیتال می‌باشند.

دسته‌بندی دیگری وجود دارد که دستگاه‌های اندازه‌گیری را به دستگاه‌های اندازه‌گیری DC و AC تقسیم می‌کند. دستگاه‌های DC فقط مقادیر ثابت را می‌توانند اندازه بگیرند و دستگاه‌های AC کمیت‌های متغیّر با زمان را اندازه‌گیری می‌کنند.

در تقسیم‌بندی سوم، دستگاه‌های اندازه‌گیری را بر حسب روشی که دستگاه براساس آن کار می‌کند تقسیم می‌کنند. دستگاه‌های اندازه‌گیری مستقیم و غیرمستقیم یا دستگاه‌های اندازه‌گیری انحرافی و دستگاه‌های اندازه‌گیری نول. در دستگاه از نوع انحرافی مقدار انحراف، معرّف کمیت مورد اندازه‌گیری است ولی در دستگاه نوع نول (صفر)، دستگاه معرّف مقدار کمیت مورد اندازه‌گیری نمی‌باشد.

دستگاه‌های اندازه‌گیری را می‌توان به دستگاه‌های الکترواستاتیکی و الکترومغناطیسی نیز تقسیم‌بندی نمود. دستگاه‌های نوع اول از نیروی میدان الکتریکی برای ایجاد انحراف استفاده می‌کنند و دستگاه‌های نوع دوم از نیروی میدان مغناطیسی. علاوه بر آنچه گفته شد تقسیم‌بندی‌های دیگری نیز برای این دستگاه‌ها وجود دارد مانند دستگاه‌های اندازه‌گیری برای ولتاژهای بالا، درجه حرارت‌های خیلی بالا و غیره.

فصل اوّل

اندازه‌گیری جریان، ولتاژ، مقاومت اهمی، ضریب خودالقایی سلف و ظرفیت خازن

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

ـ جریان الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.

ـ نحوه‌ی قرار گرفتن آمپرمتر در مدار و چگونگی قرائت مقدار جریان را شرح دهد.

ـ به هنگام اندازه‌گیری جریان نکات ایمنی را رعایت نماید.

ـ نحوه‌ی اندازه‌گیری جریان AC را شرح دهد.

ـ اختلاف پتانسیل الکتریکی و واحد آن را تعریف نموده و طرز قرار گرفتن ولت‌متر در مدار را تشریح کند.

ـ نحوه‌ی قرائت مقدار ولتاژ را بیان نماید.

ـ نحوه‌ی اندازه‌گیری ولتاژهای زیاد را شرح دهد.

ـ مقاومت اهمی و واحد آن را تعریف کرده، انواع روش‌های اندازه‌گیری مقاومت اهمی را شرح دهد.

ـ پل وتستون و کاربرد آن را بیان کند.

ـ نحوه‌ی اندازه‌گیری ضریب خودالقایی سلف و ظرفیت خازن را شرح دهد.

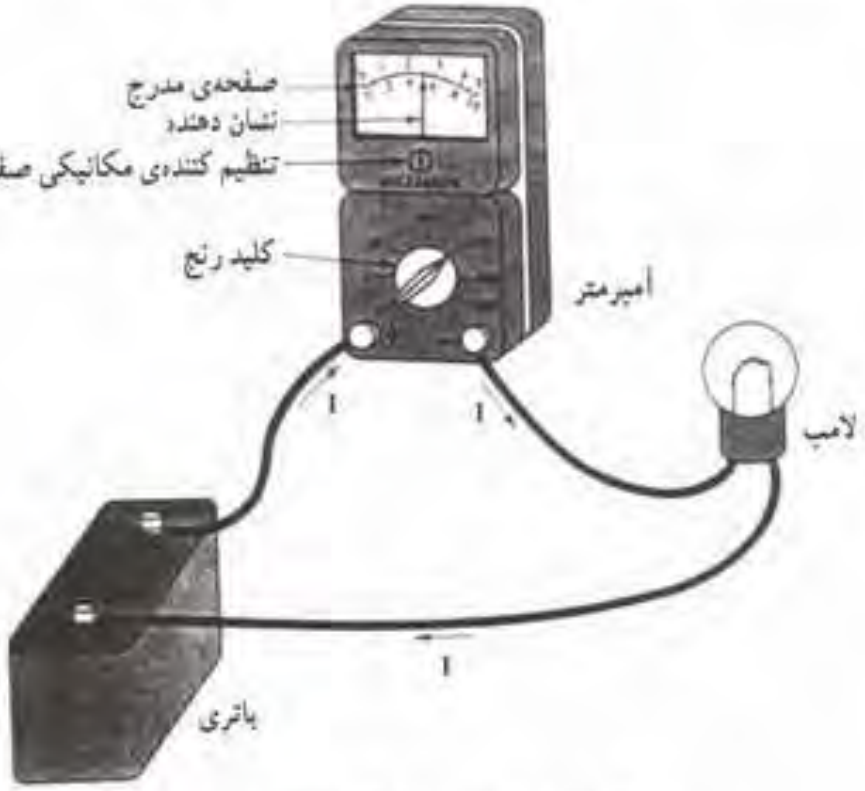
ـ نکات ایمنی را در مورد کار با دستگاه‌های اندازه‌گیری شرح دهد.

۱ـ۱ـ اندازه‌گیری جریان

۱ـ۱ـ۱ـ اندازه‌گیری جریان DC: همان‌طور که در دروس دیگر نیز خوانده‌اید جابه‌جایی بارهای الکتریکی نسبت به زمان در یک هادی را جریان الکتریکی می‌نامند. اگر این جابه‌جایی در یک جهت باشد جریان الکتریکی را جریان DC می‌نامند. واحد شدت جریان الکتریکی آمپر نام دارد. در

الکترونیک از واحدهای کوچک‌تری مانند میلی‌آمپر ($\frac{۱}{۱۰۰۰}$ آمپر) و میکرو آمپر ($\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰۰}$ آمپر)، و در برق صنعتی از واحدهای بزرگ‌تر از آمپر نظیر کیلوآمپر (۱۰۰۰ آمپر) استفاده می‌شود.

دستگاهی که جریان الکتریکی را اندازه می‌گیرد آمپرمتر نام دارد. آمپرمتر در مدار به‌طور سری قرار می‌گیرد تا جریان مصرف کننده و جریان عبوری از آمپرمتر یکی باشند. شکل ۱ـ۱ نحوه‌ی قرار گرفتن یک آمپرمتر را، در یک مدار ساده‌ی الکتریکی، نشان می‌دهد.



شکل ۱ـ۱ـ نحوه‌ی قرار گرفتن آمپرمتر در مدار

برای قرائت مقدار جریانی که آمپرمتر نشان می‌دهد باید به طریق زیر عمل کرد:

الف ـ حدود اندازه‌گیری یا ضریب کلید رنج (مثلاً در شکل ۱ـ۱ ۱۰۰mA می‌باشد) را به ماکزیمم عدد روی صفحه‌ی مدرج (مثلاً در شکل ۱ـ۱ یکی از تقسیمات ۱۰ می‌باشد) تقسیم می‌کنیم. عدد به دست آمده را ضریب ثابت صفحه نامیده و آن‌را با حرف C نشان می‌دهیم؛ با توجه به شکل ۱ـ۱ داریم:

$$C = \frac{\text{ضریب کلید رنج}}{\text{آخرین عدد روی صفحه}} = \frac{۱۰۰}{۱۰} = ۱۰\text{mA/هر تقسیمات}$$

ب ـ مقدار انحراف عقربه را در ضریب ثابت صفحه ضرب می‌کنیم. در شکل ۱ـ۱ عقربه

به‌اندازه‌ی ۵ قسمت از تقسیمات منحرف شده است، لذا مقدار جریانی که عقربه نشان می‌دهد برابر است با :

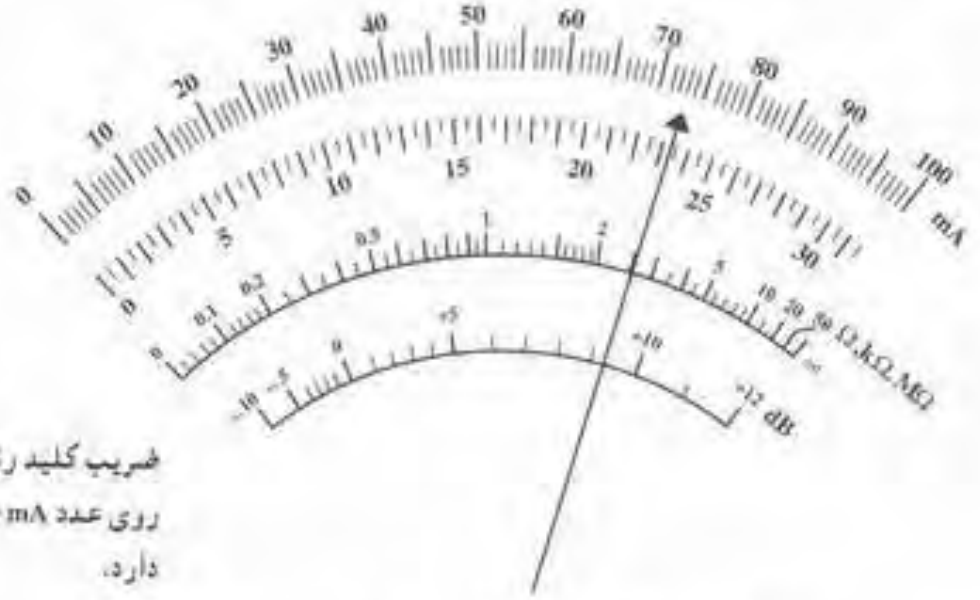
مقدار جریانی که آمپرمتر نشان می‌دهد = C × عدد خوانده شده = ۱۰ × ۵ = ۵۰mA

مثال ۱ : بیش‌ترین عدد درج شده روی یک میلی‌آمپرمتر ۶۰ می‌باشد (صفحه‌ی مدرج به ۶۰ قسمت تقسیم شده است) اگر حدود اندازه‌گیری (ضریب کلیدرنج) روی عدد ۳۰۰ mA بوده و عقربه‌ی آمپرمتر به اندازه‌ی ۴۲/۵ قسمت منحرف شده باشد، آمپرمتر مقدار جریان را ۲۱۲/۵ mA نشان می‌دهد زیرا :

$$C = \frac{۳۰۰mA}{۶۰} = ۵mA$$

مقدار جریانی که میلی‌آمپرمتر نشان می‌دهد = ۴۲/۵ × C = ۴۲/۵ × ۵mA = ۲۱۲/۵mA

مثال ۲: در شکل ۲ـ۱ میلی‌آمپرمتر ۱۸۲/۵ میلی‌آمپر را نشان می‌دهد.



ضریب کلید رنج جریان روی عدد ۲۵۰mA قرار دارد.

شکل ۲ـ۱ـ میلی‌آمپرمتر ۱۸۲/۵ میلی‌آمپر را نشان می‌دهد.

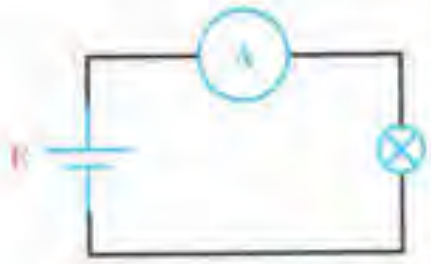
$$C = \frac{۲۵۰}{۱۰۰} = ۲/۵mA$$

مقدار جریانی که میلی‌آمپرمتر نشان می‌دهد = C × ۷۳ = ۲/۵ × ۷۳ = ۱۸۲/۵mA

در مدارات الکتریکی آمپرمتر را با علامت یا نماد شکل ۳ـ۱ نمایش می‌دهند.

شکل ۳ـ۱ ـ نماد یک آمپرمتر

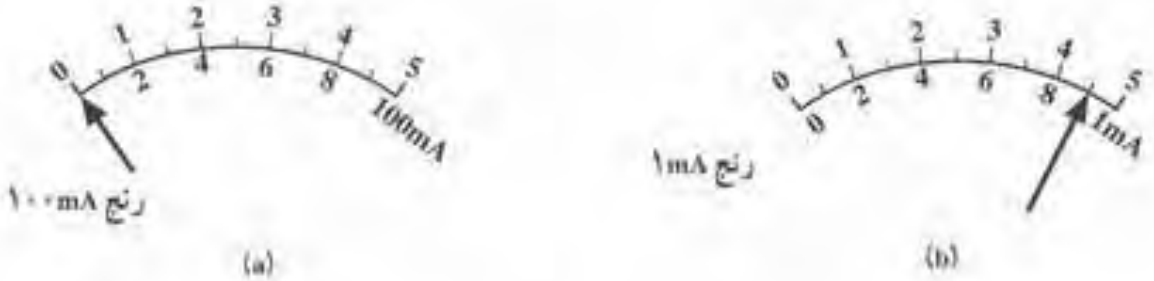
شکل ۴ـ۱ یک مدار الکتریکی را که آمپرمتر در آن قرار گرفته است نشان می‌دهد.



شکل ۴ـ۱ـ آمپرمتر مقدار جریان
گذرنده از لامپ را نشان می‌دهد.

برای دقیق‌تر خواندن جریانی که آمپرمتر نشان می‌دهد باید حدود اندازه‌گیری (ضریب کلیدرنج) را طوری انتخاب کنیم که انحراف عقربه بیش‌ترین مقدار را داشته باشد.

شکل ۵ـ۱ جریان ۰/۹۲ میلی‌آمپر را در محدوده‌ی اندازه‌گیری ۱mA و ۱۰۰mA نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل نیز پیداست اندازه‌گیری جریان ۰/۹۲mA در رنج ۱mA دقیق‌تر است.



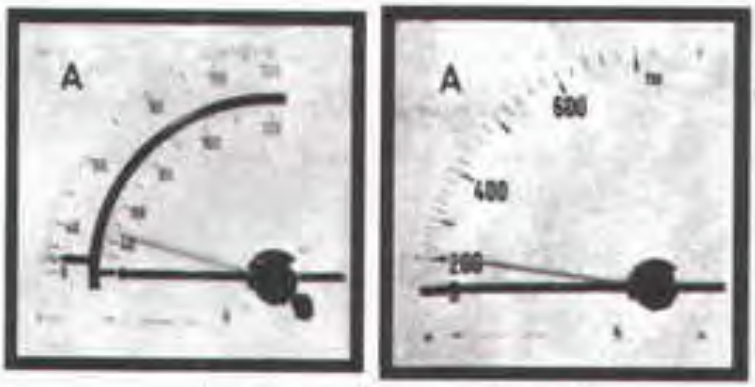
شکل ۵ـ۱ـ ادرات انتخاب رنج مناسب برای قرائت مقادیر

توجه: هنگام تعویض رنج آمپرمتر سعی کنید ابتدا دو سر آمپرمتر را اتصال کوتاه نموده، سپس رنج را عوض کرده و آن‌گاه آن را از اتصال کوتاه خارج کنید. در ضمن چنانچه مقدار جریان مورد اندازه‌گیری نامشخص است رنج آمپرمتر را در بیش‌ترین مقدار خود قرار دهید.

آمپرمترها یا میلی‌آمپرمترهای DC به صورت‌های آزمایشگاهی، تابلویی و یا به صورت قسمتی از آوومتر (اهم‌متر ـ ولت‌متر ـ آمپرمتر) ساخته می‌شوند. شکل‌های ۶ـ۱ و ۷ـ۱ چند نمونه از میلی‌آمپرمترهای آزمایشگاهی و تابلویی را نشان می‌دهد.

شکل ۶ــ۱ــ نمونه‌هایی از میلی‌آمپرمترهای آزمایشگاهی

شکل ۷ــ۱ نشان دهنده‌ی دو نمونه از آمپرمترهای تابلویی می‌باشد.



شکل ۷ــ۱ــ دو نمونه آمپرمترهای تابلویی

شکل ۸ ــ۱ یک نمونه آوومتر را نشان می‌دهد که قسمتی از آن میلی‌آمپرمتر DC است.

شکل ۸ــ۱ــ نمونه‌ای از
آوومتر عقربه‌ای

آوومتر یک دستگاه نسبتاً پرکاربرد در برق و الکترونیک است که در فصل سوم همین کتاب ساختمان آن به طور کامل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

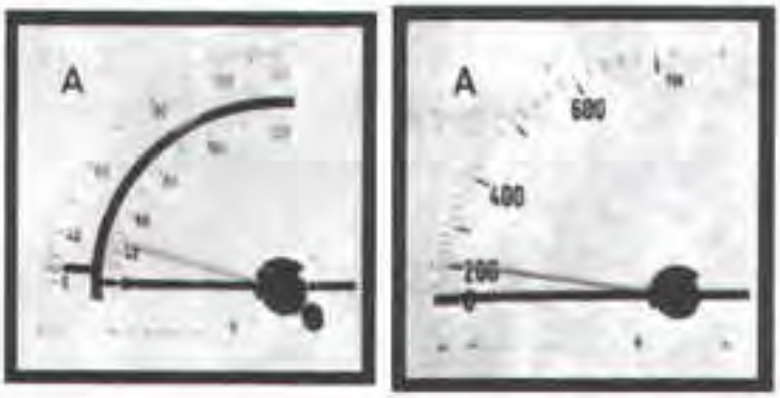
نوع دیگری از آوومتر وجود دارد که به آوومتر دیجیتالی موسوم است. این نوع آوومتر نیز دارای رنج جریان DC است و مقدار اندازه‌گیری شده را به صورت رقمی روی صفحه‌ی نمایش نشان می‌دهد. در شکل ۹ــ۱ دو نمونه از این آوومترها را مشاهده می‌کنید.

شکل ۹ــ۱ــ دو نمونه آوومتر دیجیتالی

۲ــ۱ــ۱ــ اندازه‌گیری جریان AC: اگر در یک مدار جهت جابه‌جایی بارهای الکتریکی دائماً تغییر کند و این تغییرات دارای نظم خاصی در زمان‌های مساوی باشد، این جریان را جریان AC می‌نامند. شکل ۱۰ــ۱ نمونه‌ای از جریان AC را، که تغییرات آن به شکل سینوسی است، نشان می‌دهد.

شکل ۱۰ــ۱ــ نمونه‌ای از جریان AC

برای اندازه‌گیری جریان AC حتماً باید از آمپرمترهای AC استفاده کرد. پس با آمپرمترهایی که فقط دارای رنج DC می‌باشند نمی‌توان جریان AC را اندازه گرفت. بعضی دیگر از آمپرمترها توانایی اندازه‌گیری جریان‌های DC و AC را تواماً دارا هستند که با کلید انتخاب (DC ـ AC) می‌توان در هر لحظه جریان مورد نظر را اندازه گرفت. آمپرمترهای AC بیش‌تر به صورت تابلویی ساخته می‌شوند. شکل ۱۱ـ۱ دو نمونه از آمپرمترهای AC تابلویی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ـ۱ـ دو نمونه از آمپرمترهای تابلویی AC

شکل ۱۲ـ۱ سه نمونه آمپرمتر AC آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

شکل ۱۲ـ۱ـ سه نمونه آمپرمتر AC آزمایشگاهی

شکل ۱۳ـ۱ یک آمپرمتر آزمایشگاهی را نشان می‌دهد که دارای رنج جریان متناوب AC و DC می‌باشد.

شکل ۱۳ـ۱ـ یک نمونه آمپرمتر آزمایشگاهی DC و AC

آوومترهای عقربه‌ای معمولاً فاقد رنج اندازه‌گیری جریان AC هستند. امّا کلیه‌ی آوومترهای دیجیتالی رنج اندازه‌گیری جریان AC را دارا می‌باشند. برای اندازه‌گیری جریان AC توسط آوومتر دیجیتالی، کافی است که ترمینال‌های مخصوص جریان را با مدارْ سری نموده و کلید AC آن‌را فعال کنیم تا روی صفحه‌ی نمایش آوومتر علامت AC ظاهر گردد. در این صورت مقدار جریان AC به‌صورت رقمی روی صفحه‌ی نمایش نوشته می‌شود.

علاوه بر آمپرمترهای آزمایشگاهی و تابلویی و آوومترها، نوع دیگری از آمپرمترهای AC وجود دارند که به آمپرمتر انبری معروفند. برای اندازه‌گیری جریان کافی است سیم حامل جریان AC را وسط هسته‌ی این آوومتر که با اهرمی باز می‌شود قرار دهیم تا مقدار جریان را نشان دهد. توجه داشته باشید که در این حالت فقط یک رشته سیم باید از هسته عبور داده شود شکل ۱۴ـ۱ یک نمونه آمپرمتر انبری را نشان می‌دهد.

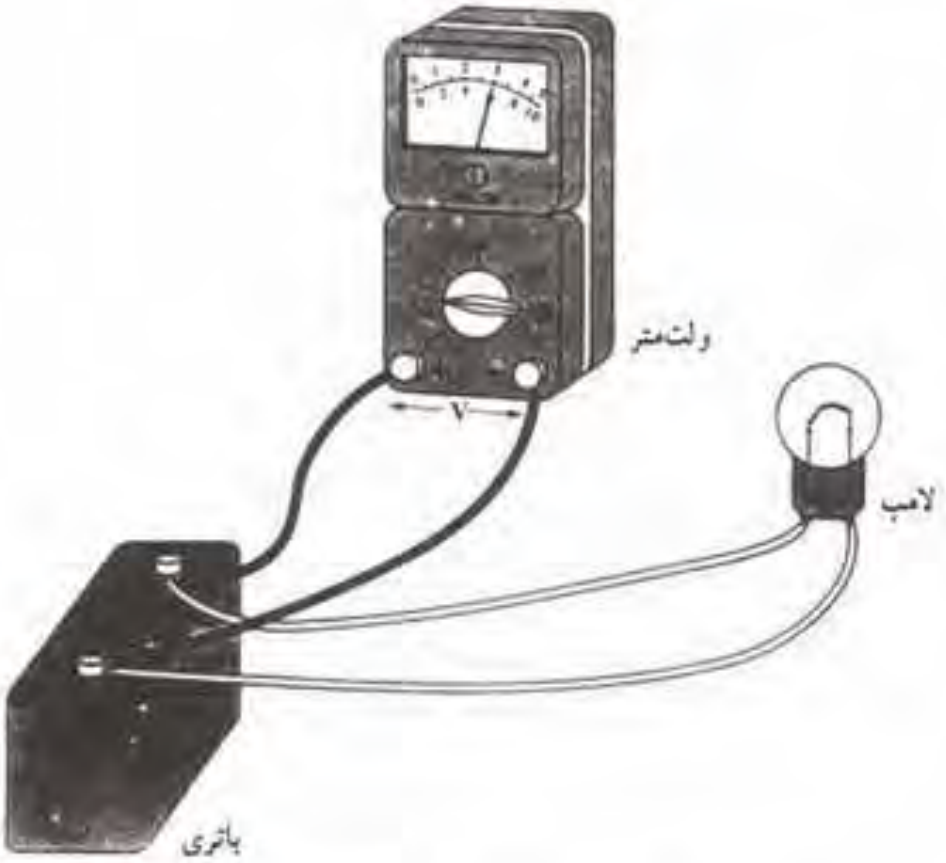
شکل ۱۴ـ۱ـ یک نمونه آمپرمتر انبری

۲ـ۱ـ اندازه‌گیری ولتاژ

۱ـ۲ـ۱ـ اندازه‌گیری ولتاژ DC: اختلاف تعداد بارهای الکتریکی بین دو نقطه از یک مدار را اختلاف پتانسیل الکتریکی بین آن دو نقطه می‌نامند. اگر این اختلاف در هر لحظه ثابت باشد اختلاف پتانسیل مدار ثابت است. به اختلاف پتانسیل الکتریکی معمولاً ولتاژ (Voltage) نیز می‌گویند.

واحد اختلاف پتانسیل الکتریکی ولت است. در الکترونیک از واحدهای کوچک‌تر ولت یعنی میلی‌ولت ($\frac{۱}{۱۰۰۰}$ ولت) و میکروولت ($\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰۰}$ ولت) و در برق صنعتی از واحد بزرگ‌تر از ولت مانند کیلوولت (۱۰۰۰ ولت) نیز استفاده می‌شود.

دستگاهی که ولتاژ را اندازه می‌گیرد ولت‌متر نام دارد. از آن‌جایی که ولت‌متر اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل دو نقطه را بر عهده دارد باید، هنگام قرار گرفتن در مدار، با آن دو نقطه به طور موازی قرار گیرد. شکل ۱۵ـ۱ نحوه‌ی قرار گرفتن یک ولت‌متر را در یک مدار ساده الکتریکی، نشان می‌دهد.



شکل ۱۵ــ۱ــ نحوه‌ی قرار گرفتن ولت‌متر در مدار

برای خواندن مقدار ولتاژی که ولت‌متر نشان می‌دهد، همانند خواندن آمپرمتر، ابتدا ضریب ثابت سنجش را به دست آورده و آن‌گاه این عدد را در مقدار انحراف عقربه بر حسب تقسیمات ضرب می‌کنیم.

مثال۱: با توجه به شکل ۱۵ــ۱ یکی از تقسیمات را (مثلاً ۵) در نظر گرفته و ضریب ثابت سنجش را محاسبه می‌نماییم :

$$C = \frac{۵}{۵} = ۱$$

۳ = ۳ × ۱ = تعداد تقسیماتی که عقربه منحرف شده است × C = مقداری را که ولت‌متر نشان می‌دهد

سؤال: چرا در مثال ۱ که صفحه‌ی مدرج ولت‌متر، هم دارای درجه‌بندی ۱۰ قسمتی و هم ۵قسمتی است، درجه‌بندی ۵ قسمتی انتخاب ما می‌باشد؟

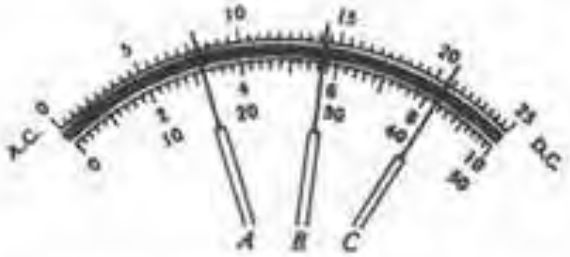
مثال ۲: در شکل ۱۶ــ۱ ولت‌متر ولتاژی به اندازه‌ی ۳۸۰ ولت را نشان می‌دهد زیرا :

$$C = \frac{۵۰۰}{۵۰} = ۱۰$$

۳۸۰ = ۳۸ × ۱۰ = تعداد خانه‌های منحرف شده × C = مقدار ولتاژ

شکل ۱۶ــ۱

سؤال: در شکل ۱۷ــ۱ عقربه‌ی ولت‌متر در حالت A ، B و C چه مقدار را نشان می‌دهد؟

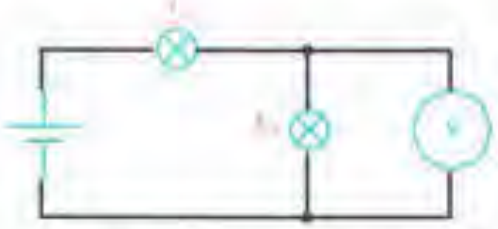


شکل ۱۷ــ۱ــ حدود اندازه‌گیری (ضریب کلید رنج) روی عدد ۲۵۰ قرار دارد.

در مدارهای الکتریکی ولت‌متر را با نماد شکل ۱۸ــ۱ نشان می‌دهند.

شکل ۱۸ــ۱ــ نماد یک ولت‌متر

شکل ۱۹ــ۱ یک مدار الکتریکی را، که ولت‌متر آن در حال اندازه‌گیری ولتاژ دو سر یک لامپ می‌باشد، نشان می‌دهد.



شکل ۱۹ــ۱ــ ولت‌متر ولتاژ دو سر لامپ L_2

برای دقیق‌تر خواندن مقدار ولتاژی که ولت‌متر نشان می‌دهد باید حدود اندازه‌گیری (ضریب کلید رنج) را طوری انتخاب نماییم که انحراف عقربه بیش‌ترین مقدار را داشته باشد.

ولت‌مترهای DC به صورت‌های آزمایشگاهی، تابلویی و یا به صورت قسمتی از آومتر ساخته می‌شوند. شکل ۲۰ـ۱ یک نمونه از میلی‌ولت‌متر آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

شکل ۲۰ـ۱ـ یک نمونه میلی‌ولت‌متر آزمایشگاهی

شکل ۲۱ـ۱ یک نمونه ولت‌متر DC تابلویی را نشان می‌دهد.

شکل ۲۱ـ۱ـ یک نمونه ولت‌متر DC تابلویی

شکل ۲۲ـ۱ یک نمونه آوومتر را که قسمتی از آن به عنوان ولت‌متر DC است نشان می‌دهد.

شکل ۲۲ـ۱ـ یک نمونه از اوومتر

آوومترهای دیجیتالی نیز قادر به اندازه‌گیری ولتاژ DC هستند. نمونه‌هایی از این آوومترها در شکل ۹ـ۱ نشان داده شده است.

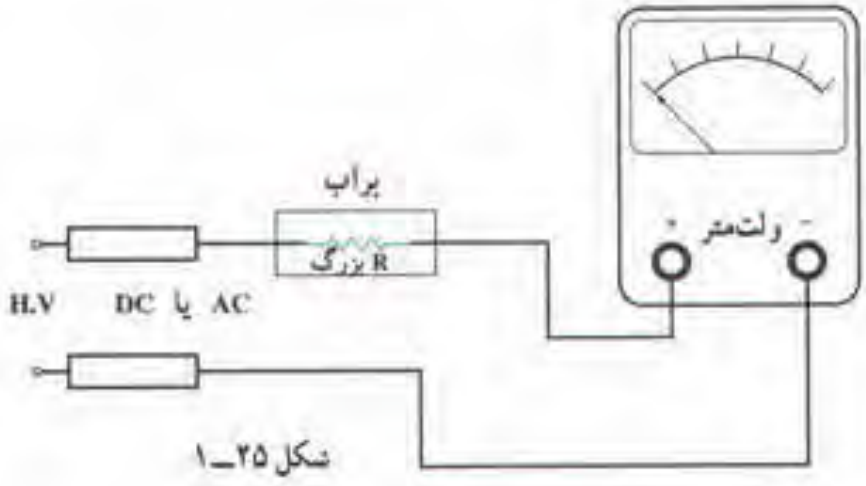
۲ـ۲ـ۱ـ اندازه‌گیری ولتاژ AC: برای اندازه‌گیری ولتاژ AC از ولت‌متر AC استفاده می‌شود. اکثر ولت‌مترهای آزمایشگاهی هر دو ولتاژ DC و AC را اندازه می‌گیرند. شکل ۲۳ـ۱ یک ولت‌متر آزمایشگاهی را نشان می‌دهد که دارای قابلیت اندازه‌گیری هر دو ولتاژ DC و AC می‌باشد. به همین منظور بر روی ولت‌مترها کلید انتخاب DC و AC وجود داشته و یا سلکتور حدود اندازه‌گیری DC با AC تفاوت دارد.

شکل ۲۳ـ۱

شکل ۲۴ـ۱ یک نمونه ولت‌متر تابلویی AC را نشان می‌دهد.

شکل ۲۴ـ۱ـ یک نمونه ولت‌متر تابلویی AC

همه‌ی آوومترها، اعم از عقربه‌ای و دیجیتالی، قادر به اندازه‌گیری ولتاژ AC می‌باشند. نحوه‌ی قرائت ولتاژ AC روی ولت‌مترهای AC همانند ولت‌مترهای DC است، و در مورد ولت‌مترهای دیجیتالی، مقدار ولتاژ به صورت رقم روی صفحه‌ی نمایش (Display) نوشته می‌شود. لازم به یادآوری است که ولت‌مترهای عقربه‌ای و یا آوومترهای معمولی به هیچ عنوان قادر به اندازه‌گیری ولتاژهای AC کم (کم‌تر از یک ولت) به صورت دقیق نیستند ولی آوومترها و یا ولت‌مترهای دیجیتالی، ولتاژهای AC خیلی کم (حدود یک میلی ولت) را با دقت کافی اندازه‌گیری می‌کنند. برای اندازه‌گیری ولتاژهای زیاد AC و یا DC (۱۰۰۰ ولت به بالا) از پراب‌های مخصوص ولتاژ زیاد استفاده می‌شود. این پراب‌ها دارای مقاومت بسیار بزرگ بوده و با ولت‌متر سری می‌شوند تا قسمت اعظم ولتاژ مورد اندازه‌گیری در آن‌ها افت کند. شکل ۲۵ـ۱ نمونه‌ای از پراب را که با ولت‌متر، جهت اندازه‌گیری ولتاژ زیاد، سری شده است نشان می‌دهد.



شکل ۲۵ـ۱

۳ــ۱ــ اندازه‌گیری مقاومت اهمی

مقاومت الکتریکی عبارت است از «مخالفت در مقابل عبور جریان الکتریکی» فلزات، بسته به نوع، طول و سطح مقطعی که دارند در مقابل عبور جریان مقاومت می‌کنند. مثلاً مقاومت الکتریکی یک سیم ضخیم و کوتاه از یک نوع فلز، کم‌تر از مقاومت الکتریکی یک سیم نازک و بلند از همان فلز است؛ و یا فلز مس، در مقابل جریان برق از خود مقاومت کم‌تری نشان می‌دهد تا فلز آهن.

واحد مقاومت اهم است و به صورت امگای یونانی (Ω) نشان داده می‌شود. در الکترونیک و برق صنعتی از واحدهای کوچک‌تر از اهم مانند میلی اهم ($\frac{۱}{۱۰۰۰}$ اهم) و واحدهای بزرگ‌تر از اهم نظیر کیلواهم (۱۰۰۰ اهم) و مگااهم (۱۰۰۰۰۰۰ اهم) نیز به وفور استفاده می‌شود.

مقاومت اهمی را با علامت فنی شکل ۲۶ــ۱ نشان می‌دهند.

شکل ۲۶ــ۱ــ مقاومت اهمی

برای اندازه‌گیری مقاومت اهمی دو روش کلی وجود دارد:

الف ــ روش مستقیم

ب ــ روش غیرمستقیم

الف ــ روش مستقیم: در این روش از دستگاهی به نام اهم‌متر استفاده می‌شود.

شکل ۲۷ــ۱ یک نمونه اهم‌متر آزمایشگاهی را که در حال اندازه‌گیری یک مقاومت اهمی است نشان می‌دهد.

شکل ۲۷ــ۱ــ اهم متر در حال اندازه‌گیری یک مقاومت ۳۰۰ Ω

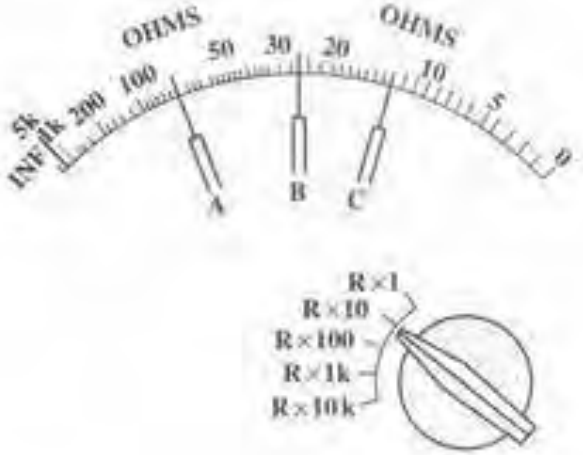
تمامی آوومترهای دیجیتالی و عقربه‌ای مجهز به اهم‌متر هستند. امروزه اهم‌مترها دیگر به صورت یک دستگاه مستقل ساخته نمی‌شوند. با ساختمان اهم‌متر در فصل سوم این کتاب آشنا خواهید شد. درجه‌بندی اهم‌متر عکس درجه‌بندی ولت‌متر و آمپرمتر است؛ یعنی صفر آن در سمت راست صفحه‌ی مدرج قرار دارد، ضمناً درجه‌بندی آن خطی نیست.

برای خواندن مقدار مقاومت اهمی از روی اهم‌متر کافی است که مقدار خوانده شده‌ی روی صفحه‌ی مدرج را در ضریب کلید رنج اهم‌متر ضرب کنیم. به عنوان مثال در شکل ۲۸ـ۱ عقربه‌های A و B و C مقادیر زیر را نشان می‌دهند.

(A) $۶۷/۵ \times ۱۰ = ۶۷۵\Omega$

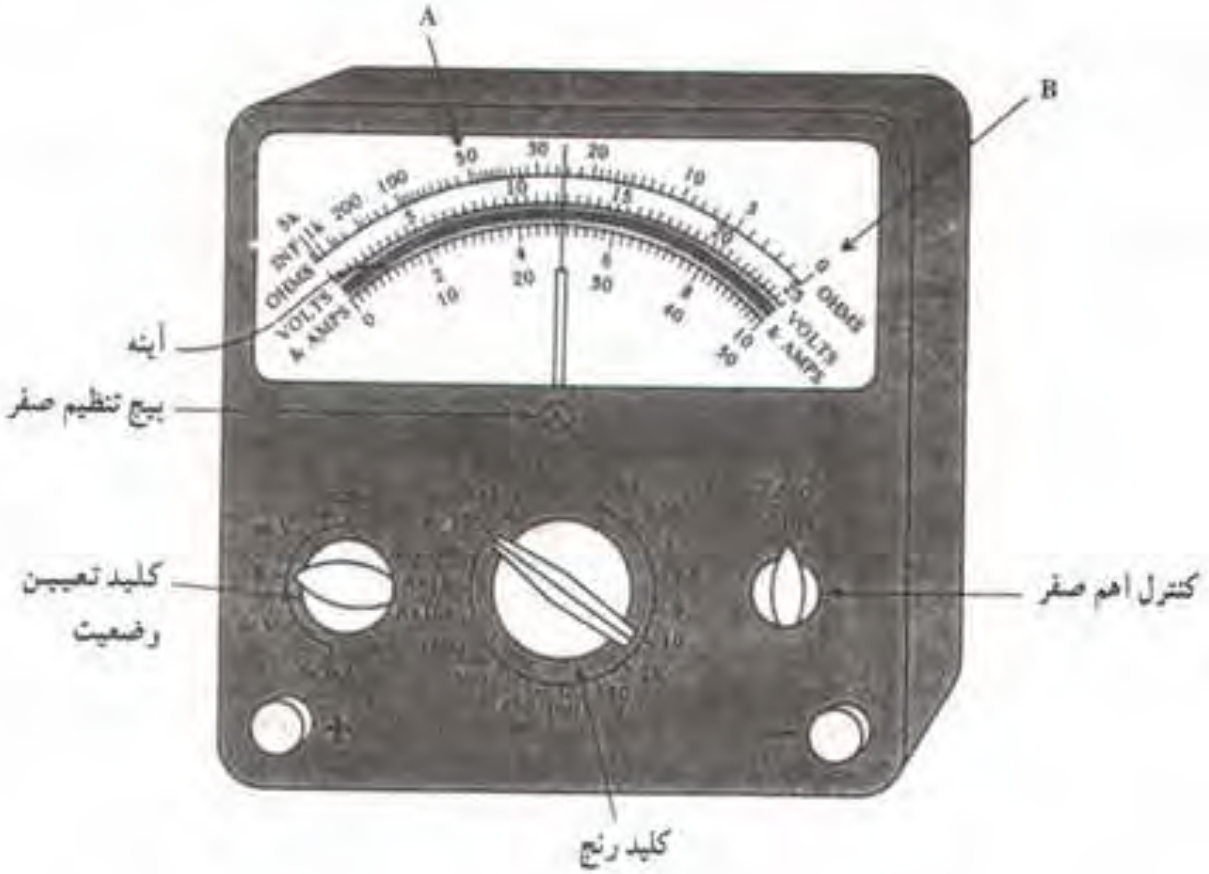
(B) $۲۴/۷۵ \times ۱۰ = ۲۴۷/۵\Omega$

(C) $۱۳ \times ۱۰ = ۱۳۰\Omega$



شکل ۲۸ـ۱

همان‌طور که در شکل ۲۹ـ۱ نیز می‌بینید درجه‌بندی اهم‌متر از سمت راست به تدریج فشرده می‌شود. به عنوان مثال مقاومت‌های ۲Ω، ۳Ω، ۱۰Ω، ۱۵Ω، ... و تا حدود ۵۰Ω، تقریباً به‌راحتی قابل خواندن هستند، امّا از حدود ۵۰Ω تا آخرین حد تقسیمات، درجه‌بندی بسیار فشرده می‌شود چنان‌که مثلاً مقاومت ۲۲۰Ω به طور دقیق قابل خواندن نیست. بنابراین برای دقیق خواندن مقدار مقاومت‌ها باید کلید رنج را طوری تنظیم کنیم که عقربه روی اعدادی که مقدار مقاومت را بسیار دقیق و واضح نشان می‌دهند قرار گیرد (اگر انحراف عقربه از سمت چپ پیش‌تر از ۴۰٪ باشد مقدار مقاومت واضح خوانده می‌شود). در شکل ۲۹ـ۱ خواندن مقاومت بین دو نقطه‌ی A و B می‌تواند دقیق باشد.



شکل ۲۹ــ۱ــ نمونه‌ای از آوومتر

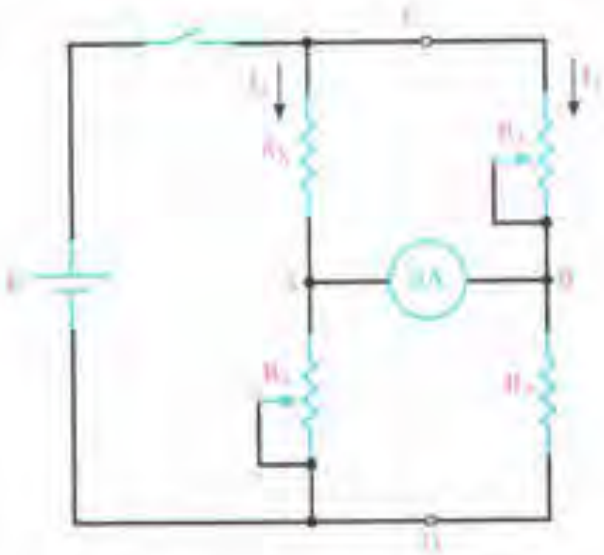
ب ــ روش غیرمستقیم: یکی از روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری مقاومت اهمی، استفاده از پل وتستون می‌باشد. پل وتستون به صورت یک دستگاه مستقل در بازار وجود دارد. به کمک پل وتستون می‌توان مقاومت‌های کوچکتر از یک اهم تا چندین مگااهم را با دقت قابل قبول اندازه گرفت.

شکل ۳۰ــ۱ دو نمونه از پل وتستون را نشان می‌دهد.

شکل ۳۰ــ۱ــ دو نمونه پل وتستون

طرز کار پل وتستون: این پل دارای چهار بازو است که در یک بازوی آن کمیت مجهول (مقاومت اهمی که اندازه‌گیری آن مورد نظر است) قرار می‌گیرد و در سه بازوی دیگر آن کمیت‌های معلوم (مقاومت‌های معلوم و استاندارد) قرار دارند.

مدار الکتریکی پل وتستون به‌صورت شکل ۳۱ـ۱ می‌باشد.



شکل ۳۱ـ۱ـ مدار الکتریکی پل وتستون

پل وتستون براساس مقایسه کار می‌کند؛ یعنی مقاومت مجهول با تعدادی از مقاومت‌های معلوم مقایسه می‌شود. بنابراین دقت اندازه‌گیری در پل، به دقت مقاومت‌های معلوم بستگی دارد.

نقش گالوانومتر در پل وتستون فقط اعلام برابری پتانسیل دو نقطه است، یعنی درجه‌بندی آن اهمیت ندارد و فقط مکان صفر آن برای ما مهم است.

مطالعه‌ی آزاد

با توجه به شکل ۳۱ـ۱، اگر از گالوانومتر جریانی عبور نکند (عقربه‌ی گالوانومتر روی صفر قرار گیرد) پتانسیل A با پتانسیل B برابر خواهد بود (در عمل وقتی مقاومت مجهول را وصل کردیم به قدری مقاومت‌های R_1 و R_2 را تغییر می‌دهیم تا جریانی از گالوانومتر عبور نکند). در این صورت خواهیم داشت:

$$\begin{cases} V_A = V_B \\ \begin{cases} V_{CA} = V_{CB} \\ V_{AD} = V_{BD} \end{cases} \end{cases}$$

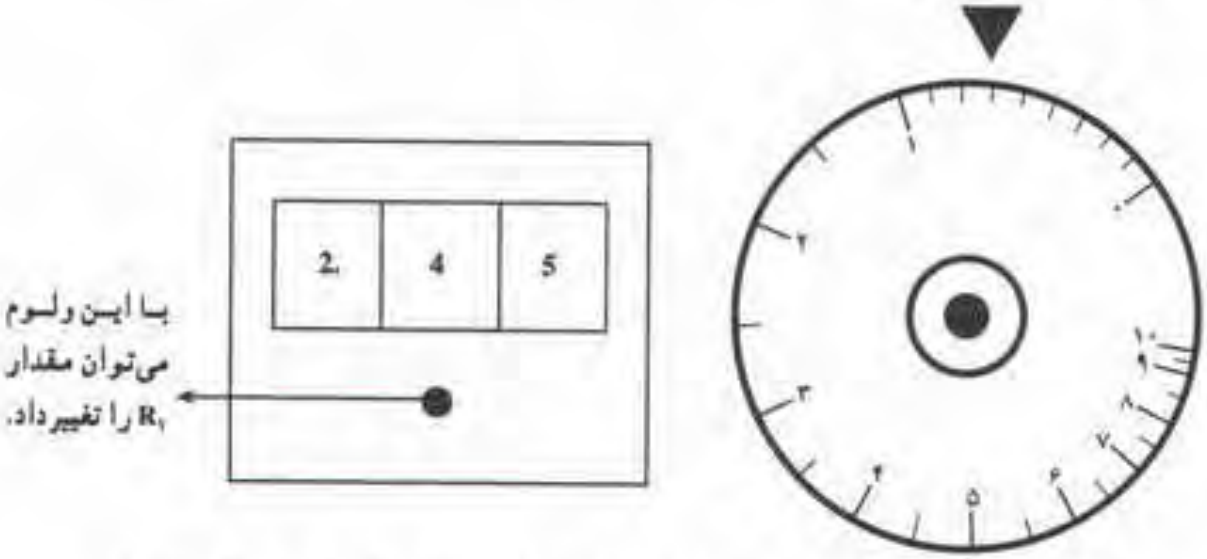
$$\begin{cases} V_{CA} = R_x . I_1 & V_{CB} = R_2 . I_2 \\ V_{AD} = R_1 . I_1 & V_{BD} = R_3 . I_2 \end{cases}$$

$$\frac{V_{CA}}{V_{AD}} = \frac{V_{CB}}{V_{BD}}$$

$$\frac{R_x . I_1}{R_1 . I_1} = \frac{R_2 . I_2}{R_3 . I_2} \qquad \boxed{R_x = \frac{R_1 . R_2}{R_3}}$$

همان‌طور که رابطه‌ی اخیر نشان می‌دهد مقاومت R_x با مقاومت‌های R_1 و R_2 و R_3 مقایسه شده است.

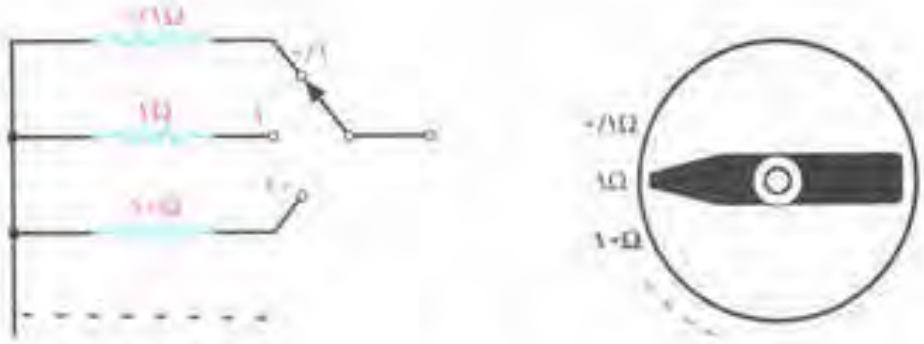
در عمل مقاومت R_3 ثابت است (آن‌را برابر $10\,\Omega$ یا $100\,\Omega$ انتخاب می‌کنند) و مقاومت R_1 می‌تواند به طور پیوسته تغییر کند. به طوری‌که در هر لحظه به کمک یک شمارنده‌ی مکانیکی و یا یک دیسک مدرج شده که به وسیله‌ی یک محور به مقاومت متصل شده است مطابق شکل ۳۲ـ۱ می‌توانیم مقدار آن‌را قرائت نماییم.



شکل ۳۲ـ۱ـ نحوه‌ی قرائت مقدار مقاومت R_1 (با توجه به مدار الکتریکی بل شکل ۳۱ـ۱)

مقاومت R_2 به‌صورت پله‌ای و مضربی از ۱۰ تغییر می‌کند. مثلاً ۰/۱، ۱، ۱۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰ و... شکل ۳۳ـ۱ نمونه‌ای از یک مقاومت پله‌ای را نشان می‌دهد.

بنابراین با مشخص بودن R_1 و R_2 و R_3 می‌توان مقدار R_x را مشخص نمود. در عمل برای خواندن R_x کافی است که عدد نشان داده شده روی یک دیسک مدرج یا نمراتور مکانیکی را در ضریبی که بر روی سلکتور مقاومت R_2 نوشته شده ضرب کنیم.



شکل ۳۳ـ۱ـ نحوه‌ی تغییر مقاومت R_x به صورت پله‌ای در پل وتستون

۴ـ۱ـ اندازه‌گیری ضریب خودالقایی سیم‌پیچ و ظرفیت خازن

به غیر از پل وتستون پل‌های دیگری نیز ساخته شده‌اند که قادرند ضریب خودالقایی سیم‌پیچ و ظرفیت خازن را اندازه بگیرند. شکل ۳۴ـ۱ نمونه‌ای از این پل‌ها را که برای اندازه‌گیری مقاومت اهمی، ضریب خودالقایی سیم‌پیچ و ظرفیت‌خازن به کار می‌رود نشان می‌دهد.

شکل ۳۴ـ۱ـ نمونه‌ای از پل LCR

برای اندازه‌گیری ضریب خودالقایی سیم‌پیچ مجهول یا ظرفیت خازن مجهول، ابتدا یکی از این ابزارها (سیم‌پیچ، خازن) را به دستگاه وصل نموده و بعد از تنظیمات لازم ضریب خودالقایی مربوط به آن را به دست می‌آورند.

پل دیگری نیز وجود دارد که به محض اتصال سیم‌پیچ، مقاومت یا خازن به آن، بلافاصله مقدار کمیت را روی صفحه‌ی نمایش خود (display) نشان می‌دهد. در شکل ۳۵ـ۱ نمونه‌ای از این پل را مشاهده می‌کنید.

شکل ۳۵ـ۱ـ نمونه‌ای از پل دیجیتالی

نکات ایمنی هنگام استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری

هم قبل از استفاده و هم هنگام استفاده از هر دستگاه اندازه‌گیری بایستی نکات ایمنی زیر رعایت شود:

ـ قرار دادن دستگاه در مدار بر حسب کمیت مورد اندازه‌گیری (ولت، آمپر و یا ...)،

ـ نوع جریان (DC یا AC)،

ـ طرز قرار گرفتن آن در سطح کار (افقی ـ عمودی و یا با زاویه)،

ـ انتخاب بالاترین رنج دستگاه به هنگام اندازه‌گیری یک کمیت نامشخص،

ـ جای‌گزینی فیوز مشابه در هنگام تعویض فیوض دستگاه،

ـ خودداری از ضربه زدن به دستگاه،

ـ توجه به درجه حرارت مجاز برای دستگاه در محیط کار،

ـ هنگام اندازه‌گیری جریان یا ولتاژ (زمانی که مدار جریان دارد) فیش سیم‌های رابط از دستگاه بیرون کشیده نشود.

ـ استفاده از سیم‌های مخصوص خود دستگاه.

پرسش

۱ـ جریان الکتریکی و واحد آن را تعریف کنید.

۲ـ آمپرمتر چگونه در مدار قرار می‌گیرد و چرا؟

۳ـ نحوه‌ی خواندن مقادیر از روی صفحه‌ی مدرج آوومتر چگونه است؟

۴ـ جریان سینوسی را تعریف کنید.

۵ـ فرق آمپرمتر تابلویی با آمپرمتر انبری کدام است؟
۶ـ اختلاف پتانسیل الکتریکی را تعریف کنید.
۷ـ ولت‌متر چگونه در مدار قرار می‌گیرد و چرا؟
۸ـ ولتاژهای خیلی زیاد را چگونه با ولت‌مترهای معمولی اندازه می‌گیرند؟
۹ـ مقاومت‌های اهمی را چگونه اندازه می‌گیرند؟
۱۰ـ طرز کار پل وتستون را به طور کامل شرح دهید.
۱۱ـ هنگام استفاده از یک دستگاه اندازه‌گیر، کدام نکات را باید به دقت مدّ نظر داشت؟

فصل دوم

اندازه‌گیری توان، انرژی و اختلاف فاز

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

- توان الکتریکی و واحد آن را تعریف نماید.
- نحوه‌ی بستن وات‌متر در مدار را شرح دهد.
- انتخاب صحیح رنج‌ها را در یک وات‌متر، توضیح دهد.
- نکات ایمنی برای حفاظت وات‌متر در برابر خطرات را بیان کند.
- بتواند مقدار توان اندازه‌گیری شده توسط وات‌متر را بخواند.
- تفاوت بین توان DC و AC را شرح دهد.
- انرژی الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- نحوه‌ی اتصال کنتور را، در یک مدار، شرح دهد.
- اختلاف فاز را تعریف نماید.
- عوامل ایجاد اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان را، در یک مدار، شرح دهد.

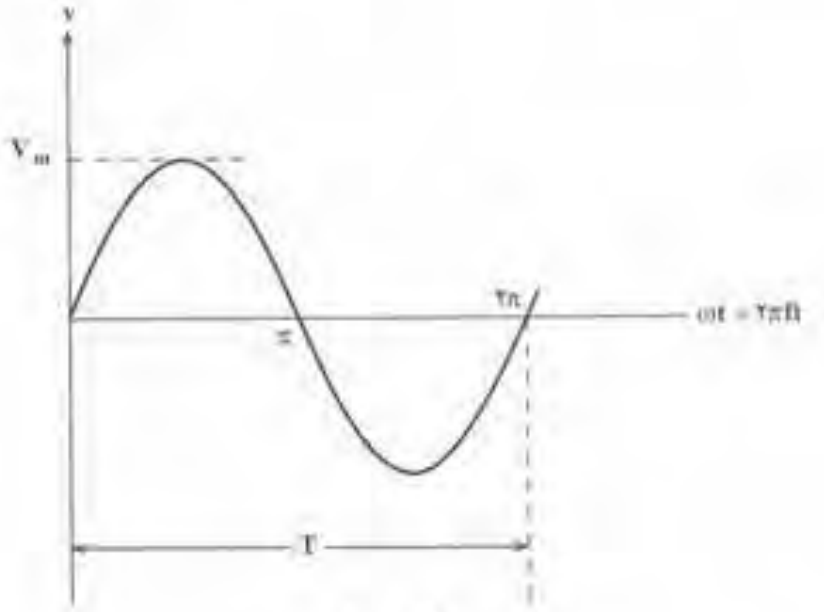
مقدمه

همه‌ی ما در زندگی روزمره خود از برق استفاده می‌کنیم. از یک منزل مسکونی ساده، تا صنایع عظیم چون فولادسازی، همه جا، برق یک نیروی حیاتی است. برق در نیروگاه‌ها تولید می‌شود و بین مصرف‌کننده‌ها در سراسر کشور توزیع می‌شود. شکل ولتاژ تولید شده در تمامی نیروگاه‌ها به صورت سینوسی بوده و همین شکل موج ولتاژ بین تمامی مصرف‌کننده‌ها توزیع می‌گردد.

رابطه‌ی ریاضی و شکل موج ولتاژ سینوسی به صورت شکل ۱ـ۲ می‌باشد.

$$v = V_m . \sin 2\pi ft \qquad (۲ـ۱)$$

در رابطه‌ی ۱ـ۲، v مقدار ولتاژ در هر لحظه برحسب ولت، و V_m دامنه‌ی ولتاژ یا ماکزیمم مقدار ولتاژ برحسب ولت ـ که در شکل نشان داده شده است ـ و f فرکانس یا تعداد سیکل‌ها در ثانیه است. در شکل ۱ـ۲ یک سیکل کامل از برق شهر نشان داده شده است که واحد آن سیکل بر ثانیه



شکل ۱ـ۲

یا هرتز است. فرکانس برق شهر در ایران ۵۰ هرتز است.

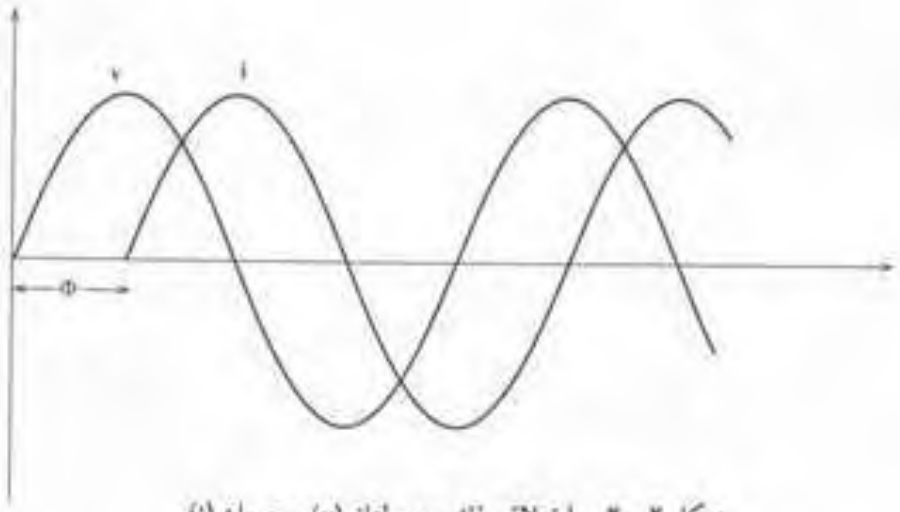
مدت زمانی را که طول می‌کشد تا جریان یک سیکل کامل طی کند زمان تناوب می‌نامند و آن را با حرف T نشان می‌دهند. رابطه‌ی T و f به صورت زیر است:

$$f = \frac{1}{T} \qquad (۲ـ۲)$$

با توجه به این‌که مقدار ولتاژ در هر لحظه تغییر می‌کند برای بیان مقدار ولتاژ، از پارامتری به‌نام مقدار مؤثر استفاده می‌کنند. مقدار مؤثر هر ولتاژ متناوب، برابر است با مقدار ولتاژ مستقیم یا DC که به همان مقدار کار، حرارت و ... تولید می‌نماید؛ به عبارت دیگر، مقدار جریان مستقیمی را که اثر حرارتی آن در یک مدت معین برابر اثر حرارتی ولتاژ متناوب موردنظر باشد، مقدار مؤثر (Effective) آن ولتاژ متناوب می‌گویند. رابطه‌ی ولتاژ مؤثر و دامنه (پیک) به صورت زیر است:

$$V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = ۰/۷۰۷\ V_m \qquad (۲ـ۳)$$

اگر به یک مدار ولتاژ متناوب سینوسی اعمال گردد در آن مدار جریان سینوسی جاری می‌گردد؛ فقط ممکن است به خاطر بعضی از عناصر موجود در مدار مانند سلف و یا خازن، شکل جریان مدار با شکل ولتاژ مدار، که هر دو سینوسی هستند، روی هم منطبق نباشند یعنی هر دو در یک لحظه با هم صفر و ماکزیمم نشوند؛ در این صورت گوییم بین جریان و ولتاژ سینوسی اختلاف فاز وجود دارد. شکل ۲ـ۲ دو شکل موج سینوسی را نشان می‌دهد که با یکدیگر اختلاف فاز (به اندازه‌ی Φ) دارند:



شکل ۲ــ۲ــ اختلاف فاز بین ولتاژ (v) و جریان (i)

اختلاف فاز را با حرف Φ (فی) نشان می‌دهند و واحد آن معمولاً درجه یا رادیان است.

مطالعه‌ی آزاد

حال اگر بخواهیم رابطه‌ی ریاضی بین ولتاژ و جریان را در ارتباط با یکدیگر نشان دهیم آن را باید به صورت زیر بنویسیم :

$$v = V_m \sin(2\pi ft) \qquad (۲_۴)$$

$$i = I_m \sin(2\pi ft \pm \Phi) \qquad (۲_۵)$$

۱ــ۲ــ اندازه‌گیری توان

حاصل‌ضرب ولتاژ لحظه‌ای در جریان لحظه‌ای را **توان الکتریکی** گویند. اگر جریان و ولتاژ از نوع DC باشند رابطه‌ی توان به صورت زیر در می‌آید :

$$P = V.I \qquad (۲_۶)$$

مطالعه‌ی آزاد

اگر ولتاژ و جریان هر دو سینوسی، با اختلاف فاز (Φ) باشند رابطه‌ی توان به صورت زیر خواهد بود :

$$P = v.i = V_m \sin\omega t . I_m \sin(\omega t \pm \Phi) \qquad (۲_۷)$$

و برای توان متوسط خواهیم داشت :

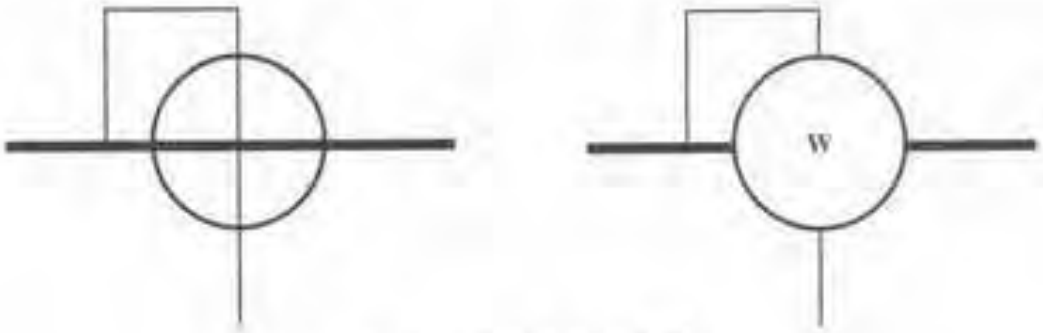
$$P = V_{eff} . I_{eff} . \cos(\Phi) \qquad (۲_۸)$$

واحد توان الکتریکی وات می‌باشد. در الکترونیک از واحدهای کوچک‌تر این واحد چون میلی‌وات ($\frac{1}{1000}$ W) و در الکترونکنیک از واحدهای بزرگ‌تر آن مانند کیلووات (۱۰۰۰ W) و مگاوات (۱،۰۰۰،۰۰۰ W) نیز فراوان استفاده می‌شود.

دستگاهی که توان را اندازه می‌گیرد **وات‌متر** نام دارد. شکل ۳ـ۲ دو نمونه وات‌متر را نشان می‌دهد.

شکل ۳ـ۲ ـ دو نمونه وات‌متر

علامت فنی وات‌متر در مدارها به صورتی است که در شکل ۴ـ۲ نشان داده شده است.

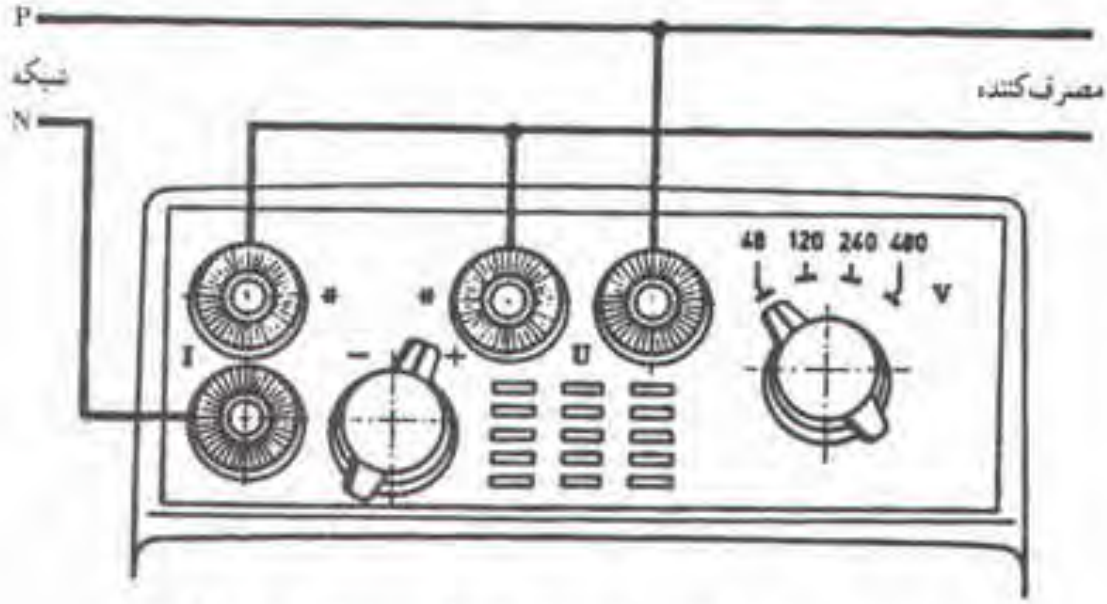


شکل ۴ـ۲ـ علامت فنی وات‌متر

چنانچه ولتاژ دو سر بار و جریان آن، هر دو DC باشند انحراف عقربه‌ی وات‌متر نشان‌دهنده‌ی حاصل‌ضرب این دو کمیت است، و اگر ولتاژ و جریان سینوسی باشند این انحراف حاصل‌ضرب دو کمیتی را که رابطه‌ی آن قبلاً بیان شد نشان می‌دهد.

بنابراین به هر وات‌متر باید ولتاژ دو سر بار و نیز جریان مصرف‌کننده را اعمال نمود. به همین منظور روی وات‌متر دو ترمینال، هر دو به نام I، که جریان مصرف‌کننده را با آن سری می‌کنند و دو

ترمینال دیگر هر دو به نام ۷، که ولتاژ دو سر مصرف‌کننده را (به صورت موازی) به آن اعمال می‌نمایند وجود دارد. شکل ۵ـ۲ نحوه‌ی ارتباط یک وات‌متر به شبکه‌ی برق شهر و مصرف‌کننده را نشان می‌دهد.



شکل ۵ـ۲ـ نحوه‌ی اتصال یک وات‌متر به شبکه‌ی برق شهر و مصرف‌کننده

روی اکثر وات‌مترها سلکتوری (کلید ولت‌متر) وجود دارد که با توجه به ولتاژ مصرف‌کننده‌ها تنظیم می‌گردد. مثلاً در شکل ۵ـ۲ رنج ولتاژ این کلید به صورت ۴۸، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ ولت می‌باشد. روی برخی از وات‌مترها سلکتور جریان نیز وجود دارد که هنگام کار، با توجه به جریان مصرف‌کننده، باید روی عدد مناسبی قرار گیرد؛ امّا امروزه تعداد زیادی از وات‌مترها فاقد کلید جریان بوده و معمولاً دارای جریان نامی ۵ آمپر می‌باشند.

هر وات‌متر در هر رنج ولتاژ معمولاً دارای یک مقدار ماکزیمم ولتاژ نیز می‌باشد، مثلاً در رنج ۴۸۰ ولت، ممکن است وات‌متر بتواند تا ۷۵۰ ولت را نیز تحمل نماید. به این مقدار ولتاژ، مقدار ماکزیمم مجاز می‌گویند. در کاتالوگ هر وات متر برای هر رنج مقدار ماکزیمم آن نیز قید شده است و همین‌طور برای هر رنج جریان، یک مقدار ماکزیمم در نظر گرفته می‌شود. در وات‌مترهایی که فقط دارای یک رنج جریان (۵A) می‌باشند مقدار ماکزیمم جریان معمولاً ۷ آمپر است.

برای خواندن توان مصرف‌کننده از روی صفحه‌ی مدرج وات‌متر، از ضریب ثابت‌سنجش استفاده می‌شود. در ابتدا باید ببینیم هر قسمت درجه‌بندی، چند وات را نشان می‌دهد. برای این کار رنج ولتاژ ولت‌متر را در عدد رنج جریان وات‌متر (در صورت نداشتن رنج جریان همان ۵A را درنظر می‌گیریم) ضرب می‌کنیم. عددی که به دست می‌آید نشان دهنده‌ی حداکثر توانی است که در انحراف

کامل حاصل می‌شود. حال اگر این عدد را برتعداد کل تقسیمات وات‌متر تقسیم نماییم، مقدار توان را به ازای انحراف هر قسمت یافته‌ایم که به آن **ضریب ثابت‌سنجش** می‌گویند. در روی صفحه‌ی مدرج اکثر وات‌مترها ضریب ثابت سنجش به ازای هر ولتاژ نوشته شده است. بنابراین می‌توان با توجه به انحراف عقربه مقدار توان مصرف‌کننده را به صورت رابطه‌ی زیر بدست آورد :

(۹ـ۲)تعداد قسمت‌های منحرف شده‌ی عقربه × ضریب ثابت سنجش = مقدار توانی که وات‌متر نشان می‌دهد

مثال: در یک وات‌متر کل صفحه به ۱۲۰ قسمت تقسیم شده است و کلید ولت‌متر روی ۴۸۰ولت قرار دارد. اگر جریان نامی روی عدد ۵A باشند و عقربه ۳۸/۵ قسمت منحرف شده باشد وات‌متر چه توانی را نشان می‌دهد :

حل:

$$P = ۴۸۰ \times ۵ = ۲۴۰۰W$$

$$\text{ضریب ثابت سنجش } C = \frac{۲۴۰۰}{۱۲۰} = ۲۰W$$

$$\text{مقدار توانی که وات‌متر نشان می‌دهد } P = ۳۸/۵ \times ۲۰ = ۷۷۰W$$

اگر هنگام اتصال وات‌متر به شبکه و مصرف‌کننده، ولتاژ خط و یا جریان مصرف‌کننده مشخص نباشد باید رنج ولتاژ را در حداکثر مقدار خود قرار داد، و چنانچه رنج جریان قابل تنظیم باشد باید حداکثر رنج را برای آن در نظر گرفت تا آسیبی به وات‌متر وارد نیاید.

۲ـ۲ـ اندازه‌گیری مقدار انرژی

انرژی الکتریکی عبارت است از حاصل‌ضرب توان در زمان یعنی :

$$W = P.t \qquad (۱۰ـ۲)$$

در رابطه‌ی فوق P توان الکتریکی برحسب وات، t زمان برحسب ثانیه، W مقدار انرژی بر حسب وات ـ ثانیه یا ژول می‌باشد.

در عمل از واحدهای بزرگ‌تری مانند کیلووات ساعت (P بر حسب کیلووات و t بر حسب ساعت) و یا مگاوات ساعت (P بر حسب مگاوات و t بر حسب ساعت) نیز استفاده می‌کنند.

برای اندازه‌گیری مقدار انرژی مصرف شده توسط یک مصرف‌کننده‌ی الکتریکی، احتیاج به یک شمارنده داریم، زیرا با توجه به رابطه‌ی

$$W = P.t$$

مقدار W نسبت به زمان دائماً در حال زیاد شدن است. کار این شمارنده شمارش و نمایش مقدار انرژی مصرف شده از یک لحظه‌ی به‌خصوص تا زمان حال می‌باشد.

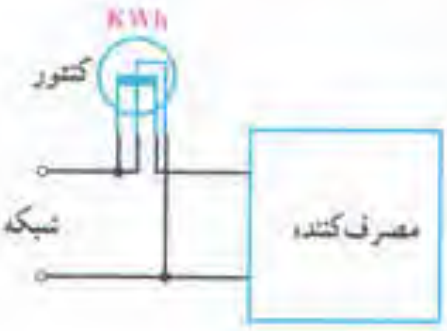
اگر بتوانیم یک محور و یا یک صفحه‌ی دوار داشته باشیم به طوری که سرعت آن متناسب با توان باشد، تعداد دورهایی که این محور یا صفحه‌ی دوار در یک فاصله‌ی زمانی می‌زند متناسب با کل انرژی مصرف شده در آن مدت می‌باشد که این دستگاه خود نمونه‌ای از یک شمارشگر است.

معمول‌ترین وسیله‌ی اندازه‌گیری انرژی الکتریکی، دستگاه **کیلووات ساعت متر** یا **کنتور** می‌باشد. شکل ۶ـ۲ یک نمونه از کنتور تک‌فازه را، که در منازل برای اندازه‌گیری انرژی مصرف شده به کار می‌رود، نشان می‌دهد.

شکل ۶ـ۲ـ یک نمونه کنتور تک‌فازه

کنتور انرژی الکتریکی را برحسب کیلووات ساعت به کمک رقم‌های یک شمارنده‌ی مکانیکی که در روی آن نصب شده است، نشان می‌دهد. نحوه‌ی اتصال کنتور به شبکه و مصرف‌کننده، همانند وات‌متر است، به این معنی که باید ولتاژ و جریان مصرف‌کننده را به آن اعمال نمود؛ زیرا سرعت چرخش صفحه‌ی گردان متناسب با توان مصرف‌کننده می‌باشد.

شکل ۷ـ۲ شمای الکتریکی (سمبل) کنتور را، همراه با یک مصرف کننده و شبکه‌ی برق شهر، نشان می‌دهد.



شکل ۷ـ۲ـ نحوه‌ی اتصال کنتور به شبکه‌ی برق و مصرف‌کننده

کنتورها، برای جریان‌ها و ولتاژهای مختلف، به صورت تک‌فازه و سه فازه ساخته می‌شوند. معمول‌ترین آن‌ها کنتور ۲۲۰ ولت تک‌فازه ۲۵A است که اداره‌ی برق در منازل مسکونی جهت اندازه‌گیری مصرف برق نصب می‌کند.

۳ــ۲ــ اندازه‌گیری اختلاف فاز

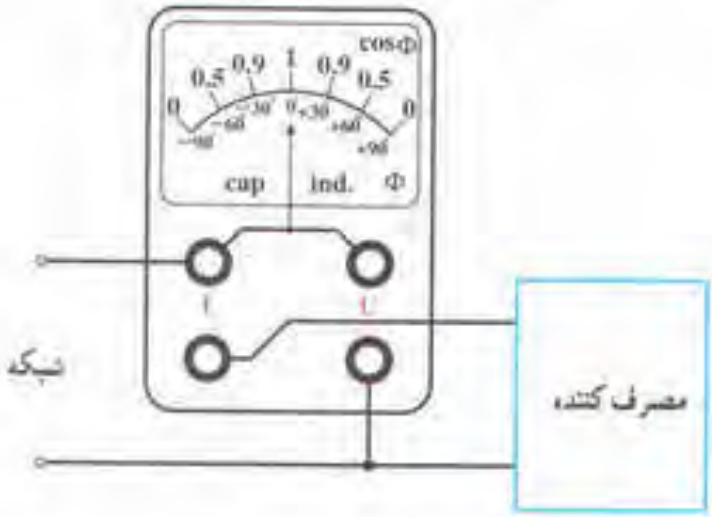
اختلاف زمانی بین دو کمیت الکتریکی را اختلاف فاز می‌نامند. چون اختلاف فاز بین دو سیگنال سینوسی هم فرکانس مطرح می‌باشد (مفهوم می‌دهد) و از طرفی هر سیکل کامل سینوسی را می‌توان معادل ۳۶۰° یا 2π رادیان در نظر گرفت (روی محور زمان) لذا اختلاف زمانی بین دو کمیت الکتریکی را نیز می‌توان برحسب درجه یا رادیان مطرح نمود. بحث ما در اینجا اندازه‌گیری اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در یک مدار الکتریکی می‌باشد، همان‌طور که می‌دانید وجود بارهای سلفی (مانند موتورهای الکتریکی و ...) و یا وجود بارهای خازنی (در عمل، بار، به ندرت خازنی است) باعث ایجاد اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ می‌شود.

دستگاهی که می‌تواند اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را اندازه بگیرد **CosΦ متر** نام دارد. پس می‌توان گفت : کسینوس فی‌متر دستگاهی است که حرکت عقربه‌ی آن نشان دهنده‌ی مقدار اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ می‌باشد. بر روی صفحه‌ی مدرّج کسینوس فی‌مترها، معمولاً مقدار اختلاف فاز برحسب درجه و نیز کسینوس اختلاف فاز را می‌نویسند. شکل ۸ــ۲ دو نمونه کسینوس فی‌متر را نشان می‌دهد.

شکل ۸ــ۲ــ دو نمونه CosΦ متر

با توجه به این‌که کسینوس فی‌متر باید اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را اندازه بگیرد لذا باید نمونه‌ی جریان مصرف‌کننده و نیز نمونه‌ی ولتاژ را به آن اعمال نمود.

شکل ۹ـ۲ نحوه‌ی اتصال کسینوس فی‌متر به مصرف‌کننده و شبکه‌ی برق شهر را نشان می‌دهد. این اتصال همانند وات‌متر می‌باشد.



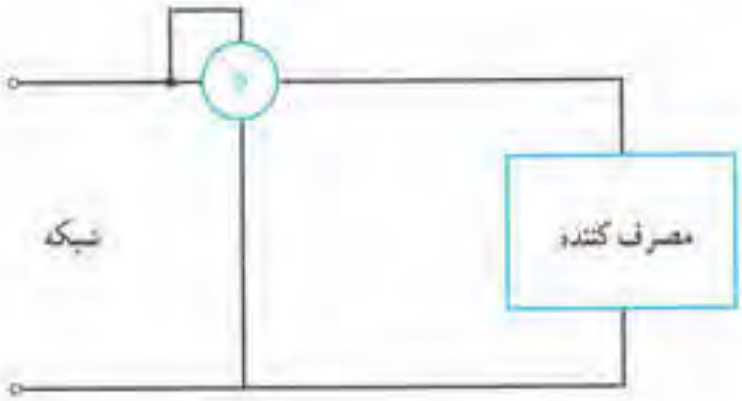
شکل ۹ـ۲ـ نحوه‌ی اتصال کسینوس فی‌متر به شبکه‌ی برق شهر و مصرف‌کننده

اکثر کسینوس فی‌مترها ضمن نشان دادن اختلاف فاز، نوع بار (سلفی یا خازنی) را نیز مشخص می‌کنند. اگر عقربه از وسط صفحه به سمت راست یا سمت (ind) حرکت کند نوع بار سلفی است، یعنی جریان به اندازه‌ی Φ درجه، که عقربه نشان می‌دهد، عقب‌تر است (تأخیر فاز دارد) و چنانچه عقربه از وسط صفحه به سمت چپ یا سمت (cap) حرکت نماید جریان از ولتاژ به اندازه‌ی Φ درجه، که عقربه نشان می‌دهد، جلوتر است (تقدم فاز دارد).

کسینوس فی‌مترها را در مدارهای الکتریکی به صورت شکل ۱۰ـ۲ نمایش می‌دهند.

شکل ۱۰ـ۲ـ علامت فنی کسینوس فی‌متر

شکل ۱۱ـ۲ نمای الکتریکی اتصال یک کسینوس‌فی‌متر را به یک مصرف‌کننده و شبکه‌ی برق شهر نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ـ۲

پرسش

۱ـ توان الکتریکی و واحد آن را تعریف کنید.

۲ـ نحوه‌ی اتصال یک وات‌متر به یک شبکه‌ی الکتریکی و مصرف‌کننده را رسم کنید و درباره‌ی آن توضیح دهید.

۳ـ نحوه‌ی خواندن مقادیر روی صفحه‌ی مدرّج وات‌متر چگونه است؟

۴ـ انرژی و واحد آن را تعریف کنید.

۵ـ نحوه‌ی اتصال کنتور به شبکه‌ی برق و مصرف کننده را رسم کرده و آن را شرح دهید.

۶ـ اختلاف فاز را تعریف کنید.

۷ـ نحوه‌ی اتصال یک کسینوس فی‌متر به یک شبکه‌ی الکتریکی و مصرف کننده را رسم نموده و راجع به آن توضیح دهید.

فصل سوم

ساختمان دستگاه‌های اندازه‌گیری

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که :

ـ ساختمان و طرز کار دستگاه اندازه‌گیری با قاب‌گردان را شرح دهد.

ـ حساسیت گالوانومتر را تعریف کند.

ـ چگونگی استفاده از دستگاه اندازه‌گیری با قاب‌گردان (گالوانومتر دآرسونوال) را به‌صورت ولت‌متر DC و آمپرمتر DC شرح دهد.

ـ چگونگی استفاده از دستگاه اندازه‌گیری با قاب‌گردان را به‌صورت ولت‌متر AC شرح دهد.

ـ چگونگی توسعه‌ی رنج اندازه‌گیری جریان ولتاژ را با استفاده از گالوانومتر دآرسونوال بیان نماید.

ـ چگونگی اندازه‌گیری جریان‌های زیاد DC را به کمک آوومتر شرح دهد.

ـ چگونگی استفاده از گالوانومتر دآرسونوال را به‌صورت اهم‌متر سری شرح دهد.

ـ ساختمان و طرز کار انواع دستگاه اندازه‌گیری آهن نرم‌گردان را شرح دهد.

ـ فرق ولت‌متر و آمپرمتر آهن نرم‌گردان را شرح دهد.

ـ ساختمان وات‌متر را شرح داده و فرق آن را با گالوانومتر دآرسونوال بیان نماید.

ـ ساختمان آوومتر دیجیتالی را شرح دهد.

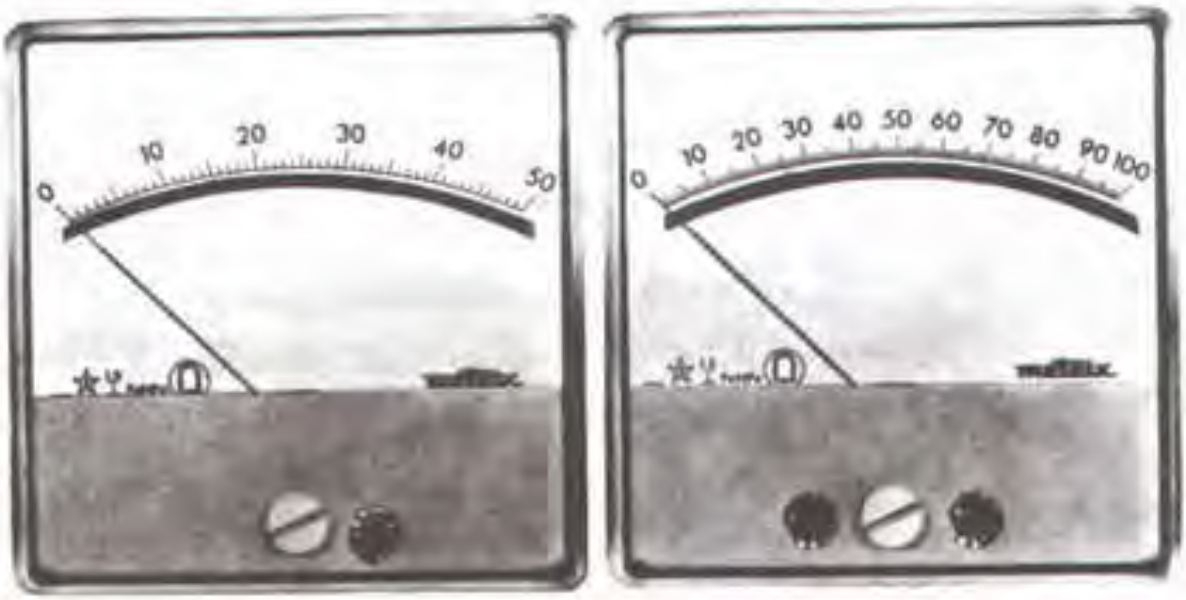
ـ چگونگی استفاده از ولت‌متر دیجیتالی را به‌عنوان اهم‌متر و آمپر دیجیتالی بیان نماید.

ـ مزایای یک آوومتر دیجیتالی را بر آوومتر عقربه‌ای شرح دهد.

۱ــ۳ــ دستگاه اندازه‌گیری با قاب‌گردان و آهن‌ربای دائمی

دستگاه اندازه‌گیری با قاب‌گردان و آهن‌ربای دائمی همان میکروآمپرمتر یا گالوانومتر است که می‌تواند جریان‌های حدود میکروآمپر (حتی کسری از میکروآمپر) را با دقت بسیار بالا اندازه بگیرد. از این‌رو از این دستگاه در ساخت ولت‌مترها و آمپرمترهای بسیار دقیق و آوومتر (اهم‌متر ــ ولت‌متر و آمپرمتر در یک بسته‌بندی) استفاده می‌شود. در حقیقت تمامی دستگاه‌های اندازه‌گیری که دارای درجه‌بندی خطی هستند و با جریان‌های خیلی کم کار می‌کنند نشان‌دهنده‌ی اصلی همان گالوانومتر می‌باشد.

۱ــ۱ــ۳ــ ساختمان گالوانومتر دآرسونوال: شکل ۱ــ۳ دو نمونه از گالوانومتر دآرسونوال را که در ساختمان دستگاه‌های اندازه‌گیری به‌کار می‌رود نشان می‌دهد.

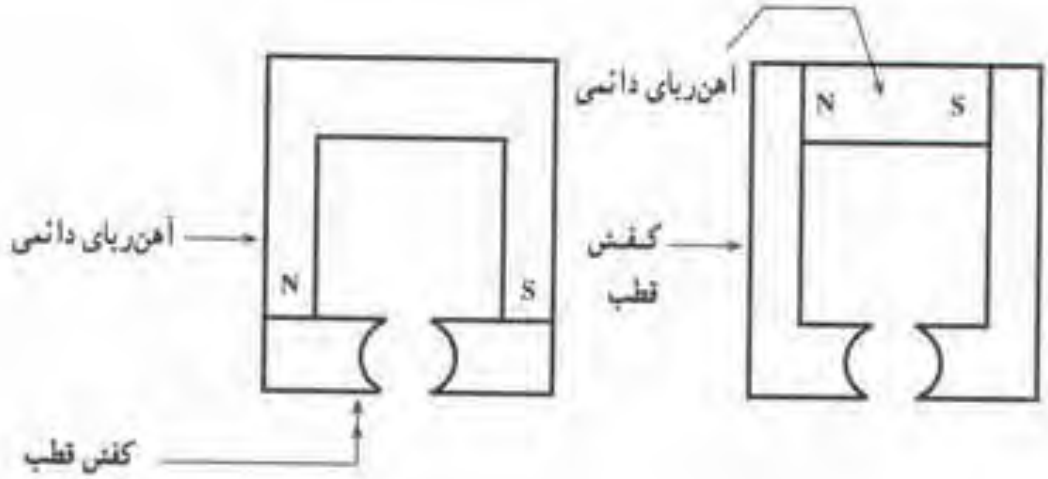


شکل ۱ــ۳

دآرسونوال (D'arsonval) فردی است که اولین بار، در سال ۱۸۸۴، این گالوانومتر را ساخت. گالوانومتر دآرسونوال از یک آهن‌ربای دائمی، کفش قطب‌ها، استوانه‌ی آهن نرم و یک سیم‌پیچ، که قادر است حول استوانه‌ی آهن نرم بچرخد، تشکیل شده است.

ــ ***آهن‌ربای دائمی و کفش قطب‌ها:*** نقش آهن‌ربای دائمی در گالوانومتر دآرسونوال، ایجاد میدان مغناطیسی در یک فاصله‌ی هوایی است و کفش قطب‌ها وظیفه‌ی یک‌نواخت کردن این میدان مغناطیسی را به عهده دارند. شکل ۲ــ۳ دو نمونه آهن‌ربای دائمی همراه با کفش قطب‌ها را نشان می‌دهد.

با پیشرفتی که در تکنولوژی حاصل شده است، مجموعه‌های شکل ۲ــ۳ را به‌صورت یک‌پارچه



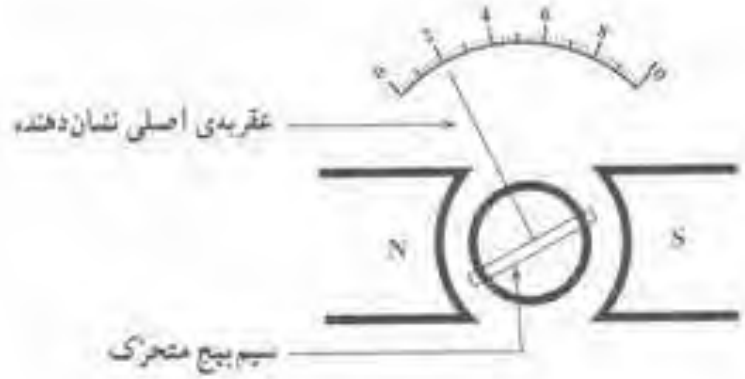
شکل ۲ـ۳ـ دو نمونه از آهن‌ربای دائمی و کفش قطب‌ها

از آهن‌ربای دائمی می‌سازند. در گالوانومتر دآرسونوال برای خطی نمودن درجات، نیاز به میدان یک‌نواخت و شعاعی در فاصله‌ی هوایی است. برای به‌وجود آوردن چنین میدانی (یک‌نواخت و شعاعی) یک استوانه‌ی آهن نرم را بین کفش قطب‌ها قرار می‌دهند. در شکل ۳ـ۳ یک نمونه از یک‌نواخت و شعاعی نمودن میدان در یک فاصله‌ی هوایی نشان داده شده است.

شکل ۳ـ۳ـ چگونگی ایجاد میدان مغناطیسی یک‌نواخت و شعاعی

اخیراً بعضی از کارخانه‌های سازنده، فرم آهن‌ربا را طوری می‌سازند که نیازی به استوانه‌ی آهن نرم نباشد و درضمن، در فواصل مورد نیاز، میدان یک‌نواخت را برای ما ایجاد کند.

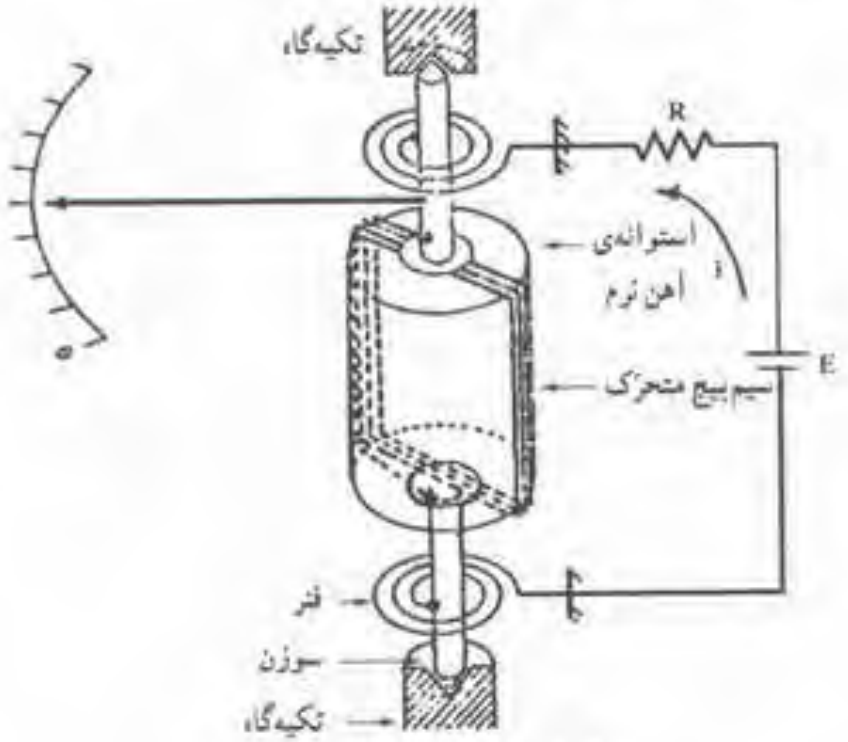
ـ **سیم‌پیچ متحرک:** همان‌طور که گفته شد گالوانومتر برای اندازه‌گیری جریان‌های با مقدار بسیار کم به‌کار می‌رود. برای اندازه‌گیری مقدار جریان وارد شده به گالوانومتر باید مقدار انحراف عقربه‌ی گالوانومتر را سنجید. عقربه‌ی دستگاه نیز به یک سیم‌پیچ که قادر است حول استوانه‌ی آهن نرم بچرخد وصل شده است. سیم‌پیچ از چندین دور سیم لاکی بسیار نازک که روی یک نوار آلومینیومی پیچیده شده تشکیل شده است. شکل ۴ـ۳ نمای عمودی وضعیت قرار گرفتن سیم‌پیچ حول استوانه‌ی آهنی را نشان می‌دهد.



شکل ۲ـ۳ـ نمای عمودی طرز قرار گرفتن سیم‌پیچ حول استوانه‌ی آهن نرم

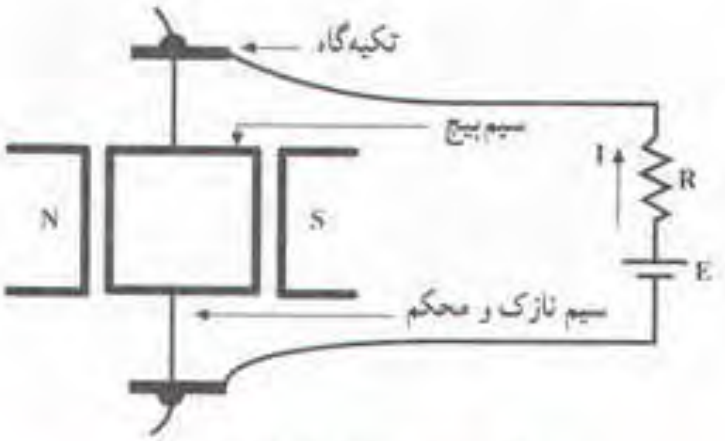
چون سیم‌پیچ باید حرکت کند لذا با دو سوزن (در مدل‌های قدیمی‌تر) که در دوطرف سیم‌پیچ تعبیه شده‌اند، توسط دو تکیه‌گاه، نگه‌داشته می‌شود و قادر است حول این دو تکیه‌گاه بچرخد. درضمن دو فنر نیز جهت ایجاد کویل مقاوم و برگرداندن سیم‌پیچ بعد از قطع جریان به‌جای اوّل (نقطه‌ی صفر) نیز به دو سوزن، وصل شده‌اند. درضمن فنرها نقش هدایت جریان به سیم‌پیچ متحرّک را نیز به عهده دارند (درصورتی که از فنرها برای هدایت جریان استفاده نکنیم، چون سیم‌پیچ حرکت می‌کند باید از تیغه‌های کلکتور استفاده نماییم که این کار باعث ایجاد اصطکاک شده از حسّاسیت دستگاه کاسته می‌شود و آن را نیز تا حدودی غیرخطّی می‌نماید).

شکل ۵ـ۳ ساختمان یک گالوانومتر را نشان می‌دهد.



شکل ۵ـ۳ـ ساختمان یک گالوانومتر

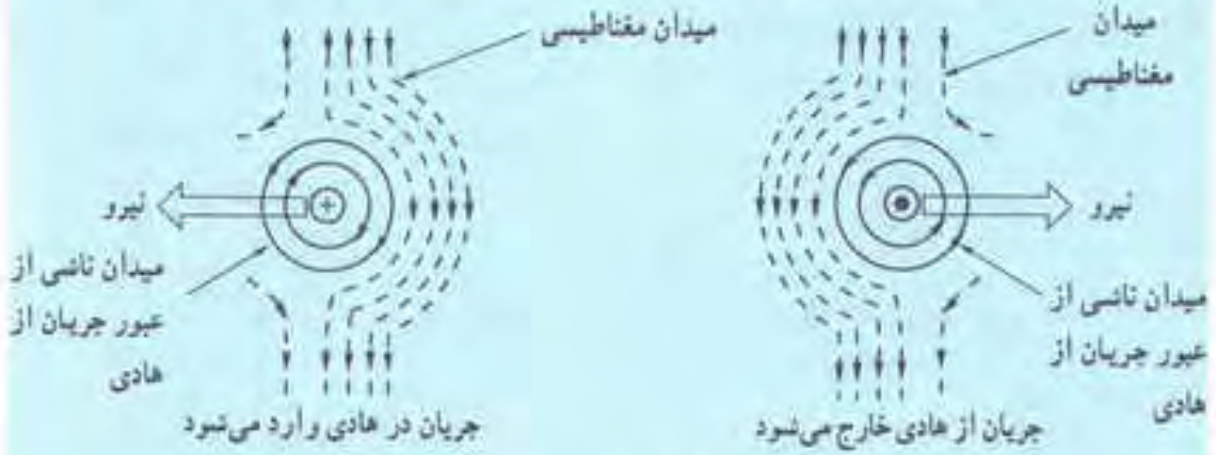
در گالوانومترهای جدیدتر، برای حساس‌تر کردن و همچنین ساده‌تر نمودن ساختمان آن، به‌جای دو عدد سوزن، دو فنر و دو تکیه‌گاه، سیم‌پیچ را با دو مفتول بسیار نازک (معمولاً از آلیاژ برنز یا نقره) یا مقطع گرد و یا مستطیلی شکل به دو تکیه‌گاه ثابت وصل می‌کنند. هدایت جریان به سیم‌پیچ متحرک، از طریق دو تکیه‌گاه صورت می‌گیرد. همچنین اگر سیم‌پیچ بچرخد، مفتول نازک نیز تاب خورده ایجاد کوپل مقاوم می‌کند و بعد از قطع جریان مجدداً سیم‌پیچ را به حالت اولیه برمی‌گرداند. عقربه‌ی نشان‌دهنده روی سیم‌پیچ متحرک قرار می‌گیرد. شکل ۶ـ۳ ساختمان این نوع گالوانومتر را نشان می‌دهد.



شکل ۶ـ۳ـ مقطع یک گالوانومتر

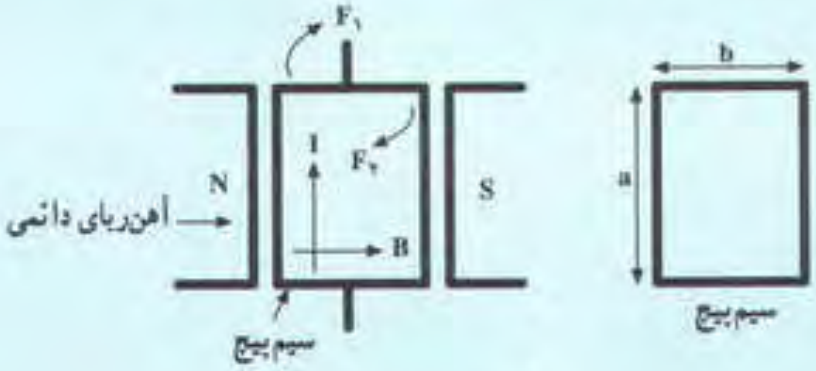
مطالعه‌ی آزاد

۲ـ۱ـ۳ـ طرز کار گالوانومتر دآرسونوال: طبق قانون بیوساوار، اگر یک سیم حامل جریان در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد به هر جزء این سیم نیرو وارد می‌شود. شکل ۷ـ۳ چگونگی وارد شدن نیرو به یک سیم حامل جریان را نشان می‌دهد.



شکل ۷ـ۳ـ چگونگی وارد شدن نیرو به سیم حامل جریان

در گالوانومتر دآرسونوال، جریان از طریق مفتول نگه‌دارنده‌ی سیم‌پیچ و یا فنرهای تعبیه شده روی سوزن‌های دوطرف سیم‌پیچ، به سیم‌پیچ منتقل می‌شود. از طرفی این سیم‌پیچ که جریان در آن وارد شده است (سیم‌های حامل جریان) در یک میدان مغناطیسی قرار گرفته است (میدان آهن‌ربای دائمی) بنابراین، طبق قانون بیوساوار به سیم‌پیچ نیرو وارد می‌شود. مقطع سیم‌پیچ و میدان و همچنین جهت نیروی وارد به سیم‌پیچ، در شکل ۸ـ۳ نشان داده شده است.



شکل ۸ـ۳

چون چگالی شار (B) و جریان (I) عمود بر یکدیگرند نیروی وارد به هر ضلع سیم‌پیچ، طبق رابطه‌ی ۱ـ۳ به‌دست می‌آید :

$$F_1 = B.I.a \qquad (۳_۱)$$

در رابطه‌ی ۱ـ۳، a طول سیم‌پیچ است. اگر تعداد هادی‌ها N باشد مقدار نیروی ایجاد شده N برابر خواهد شد و مقدار آن طبق رابطه‌ی ۲ـ۳ به‌دست می‌آید.

$$F_1 = B.I.a.N \qquad (۳_۲)$$

نیروی وارد به هادی‌های سیم‌پیچ، نسبت به مرکز سیم‌پیچ، ایجاد یک گشتاور نموده باعث می‌شود که سیم‌پیچ بچرخد. گشتاور وارد به ضلع سیم‌پیچ در زیر هر قطب مغناطیسی، از رابطه‌ی ۳ـ۳ به‌دست می‌آید.

$$T_{c1} = F_1 . \frac{b}{2} \qquad (۳_۳)$$

در رابطه‌ی ۳ـ۳، T_c گشتاورِ وارد به سیم‌پیچ، نسبت به مرکز سیم‌پیچ، است و $\frac{b}{2}$ فاصله‌ی ضلع سیم‌پیچ تا مرکز سیم‌پیچ می‌باشد.

چون به سیم‌پیچ دو نیرو وارد می‌شود (F_1 و F_2) بنابراین گشتاور حاصل از هر

کدام از این نیروها با یکدیگر جمع می‌شوند بنابراین گشتاور کل وارد بر سیم‌پیچ از رابطه‌ی ۴ـ۳ به‌دست می‌آید.

$$T_e = F_1 \cdot \frac{b}{2} + F_2 \cdot \frac{b}{2} \qquad (۳_۴)$$

چون شرایط فیزیکی F_1 و F_2 یکی است لذا گشتاور کل را می‌توان به‌صورت رابطه‌ی ۵ـ۳ نوشت.

$$T_e = 2F\frac{b}{2} = F.b \qquad (۳_۵)$$

$$T_e = N.B.a.I.b \qquad (۳_۶)$$

$$a.b = A \qquad \text{سطح سیم‌پیچ} \qquad (۳_۷)$$

$$T_e = N.B.A.I \qquad (۳_۸)$$

در یک گالوانومتر حاصل‌ضرب N.B.A ثابت است و آن را با K_e نشان می‌دهیم لذا گشتاور (T_e) به‌صورت رابطه‌ی ۹ـ۳ به‌دست خواهد آمد.

$$T_e = K_e.I \qquad (۳_۹)$$

اگر جریانی به گالوانومتر اعمال نماییم سیم‌پیچ می‌چرخد. همزمان با چرخش سیم‌پیچ فنرها نیز جمع می‌شوند، لذا یک گشتاور مخالف (مقاوم) ایجاد می‌نمایند. مقدار گشتاور مقاوم فنرها از رابطه‌ی ۱۰ـ۳ به‌دست می‌آید.

$$T_f = S.\theta \qquad (۳_۱۰)$$

در رابطه‌ی ۱۰ـ۳، T_f گشتاور مقاوم، S ضریب ثابت فنر (که برای هر فنر مقداری است ثابت که توسط سازنده‌ی فنرها به مشتری داده می‌شود) و θ زاویه‌ی گردش قاب می‌باشد.

هرگاه دو گشتاور T_e (که باعث چرخش قاب می‌شود) و T_f (که ایجاد کویل مقاوم می‌نماید) برابر شدند، حرکت سیم‌پیچ متوقف می‌گردد. در این صورت طبق رابطه‌ی ۱۱ـ۳ داریم:

$$T_e = T_f \qquad (۳_۱۱)$$

$$K_e.I = S.\theta \qquad (۳_۱۲)$$

$$\theta = \frac{K_e}{S}.I \quad \frac{K_e}{S} = \text{ثابت} = K \qquad (۳_۱۳)$$

$$\theta = K.I \quad \text{زاویه‌ی گردش قاب} \qquad (۳_۱۴)$$

رابطه‌ی ۱۴ـ۳ نشان می‌دهد که حرکت عقربه (چرخش قاب) با جریان عبوری از آن رابطه‌ی خطّی دارد. از این‌رو درجه‌بندی گالوانومتر دآرسونوال، همیشه خطّی است. مثلاً اگر به‌ازای یک میکروآمپر جریان، عقربه یک درجه منحرف شود به‌ازای دو میکروآمپر جریان دو درجه منحرف خواهد شد. گالوانومتر دآرسونوال تنها دستگاه اندازه‌گیری است که درجه‌بندی آن کاملاً خطی است.

مطالعه‌ی آزاد

۳ـ۱ـ۳ـ حسّاسیت گالوانومتر: در گالوانومتر دآرسونوال، اندکسیون مغناطیسی در فاصله‌ی هوایی برابر ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ گوس می‌باشد، لذا با توجّه به رابطه‌ی ۱۵ـ۳:

$$T = \overset{\text{ثابت}}{\overbrace{N.B.A}}.I \qquad (۱۵ـ۳)$$

بزرگی

به‌ازای مقدار جریان عبوری بسیار کم و در حدود میکروآمپر، گشتاور بزرگی ایجاد خواهد شد و سیم‌پیچ (قاب) را به حرکت درمی‌آورد. از این‌رو نوع گالوانومترها قادرند جریان‌های میکروآمپر را اندازه بگیرند.

بر طبق تعریف، حساسیت عبارت است از نسبت زاویه‌ی گردش به جریان عبوری از سیم‌پیچ و طبق رابطه‌ی ۱۶ـ۳ نوشته می‌شود.

$$S' = \frac{\theta}{I} \left(\frac{\text{رادیان}}{\text{آمپر}} \text{ یا } \frac{\text{درجه}}{\text{میکروآمپر}} \text{ و} \ldots \right) \qquad (۱۶ـ۳)$$

مطالعه‌ی آزاد

$$S' = \frac{N.B.A.I}{S.I} = \frac{N.B.A}{S} \qquad (۱۷ـ۳)$$

با توجّه به رابطه‌ی ۱۷ـ۳ برای بالا بردن حسّاسیت یک گالوانومتر، می‌توان B یا N و یا A را افزایش داد و یا این‌که S را کاهش داد (فنر را شل کرد). تغییرات هرکدام از این پارامترها دارای محدودیّتی است، لذا در عمل سعی می‌شود که مقادیر بهینه را برای این پارامترها به‌دست آورند.

حساسیت یک امر نسبی است، یعنی اگر بخواهیم ببینیم که این دستگاه حساس است یا نه، باید آن را با دستگاه دیگری مقایسه کنیم؛ لذا می‌توان گفت که از دو گالوانومتر موجود، به‌ازای عبور جریان برابر، آن که انحرافش بیش‌تر است، حساس‌تر است.

برای ولت‌مترها حساسیت را معمولاً برحسب $(\frac{\Omega}{V})$ مشخص می‌نمایند. مقدار عددی $\frac{\Omega}{V}$، معکوس مقدار عددی جریان انحراف کامل گالوانومتر برحسب آمپر می‌باشد. مثلاً اگر در یک گالوانومتر حساسیت $۲۰\frac{K\Omega}{V}$ باشد برای انحراف کامل آن نیاز به $۵۰\mu A = \frac{۱}{۲۰K\Omega}$ جریان دارد.

حال اگر در گالوانومتر دیگری حساسیت $۱۰۰\frac{K\Omega}{V}$ باشد، برای انحراف کامل آن نیاز به $۱۰\mu A = \frac{۱}{۱۰۰K\Omega}$ جریان دارد. از دو مثال بالا این نتیجه به‌دست می‌آید که هر قدر عدد $\frac{\Omega}{V}$ یک گالوانومتر بیش‌تر باشد، دستگاه حساس‌تر است. اگر بخواهیم از این دستگاه به‌عنوان ولت‌متر استفاده کنیم هر قدر عدد $\frac{\Omega}{V}$ آن بیش‌تر باشد (در حقیقت امپدانس ورودی آن بیش‌تر باشد) خطای اندازه‌گیری کم‌تر می‌شود.

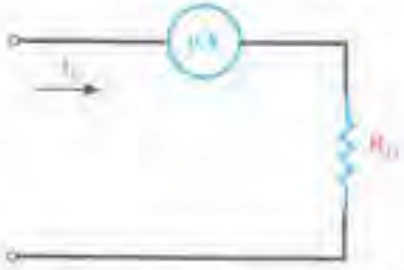
۴ـ۱ـ۳ـ ساختمان ولت‌متر DC: همان‌طور که دیدیم حرکت عقربه‌ی گالوانومتر به‌صورت خطی با عبور جریان از سیم‌پیچ رابطه داشت و طبق رابطه‌ی ۱۸ـ۳ به‌دست می‌آمد.

$$\theta = K.I \qquad (۳ـ۱۸)$$

به‌عنوان مثال، اگر یک گالوانومتر $۵۰\mu A$ داشته باشیم بدین‌معنی است که به‌ازای عبور جریان $۵۰\mu A$، انحراف آن کامل بوده، (۱۰۰٪ انحراف کامل) و به‌ازای عبور جریان $۲۵\mu A$ انحراف آن نصف (۵۰٪ انحراف کامل) خواهد بود.

اگر مقاومت داخلی گالوانومتر، R_G، باشد و جریان عبور از گالوانومتر I_G، هنگام عبور جریان I_G از گالوانومتر، در دو سر گالوانومتر افت ولتاژی معادل $I_G.R_G$ به‌وجود خواهد آمد.

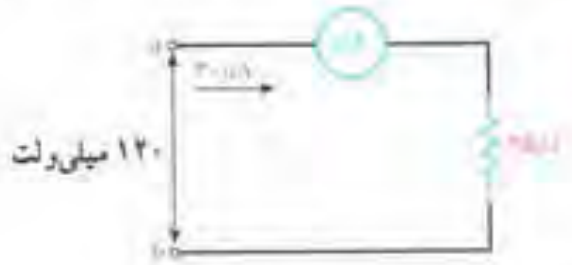
شکل ۹ـ۳ علامت فنی یک گالوانومتر را نشان می‌دهد.



شکل ۹ـ۳ـ علامت فنی گالوانومتر دارسوتوال

مقدار R_G در گالوانومترها معمولاً بین ۲۰۰ تا ۵۰۰۰ اهم است (البته این مقدار مقاومت، اندکی مربوط به مقاومت اهمی سیم‌پیچ است و مابقی را به‌خاطر مسائل دینامیکی گالوانومتر به‌طور مصنوعی با سیم‌پیچی سری می‌نمایند).

فرض کنید در یک گالوانومتر $R_G = 4K\Omega$ و جریان انحراف تمام اشل آن $30\mu A$ باشد. به‌ازای عبور جریان $30\mu A$، دو سر گالوانومتر ۱۲۰ میلی‌ولت ولتاژ افت می‌کند.



شکل ۱۰ـ۳ـ به‌ازای عبور جریان ۳۰μA از گالوانومتر، دو سر آن ۱۲۰ میلی‌ولت ولتاژ افت می‌کند.

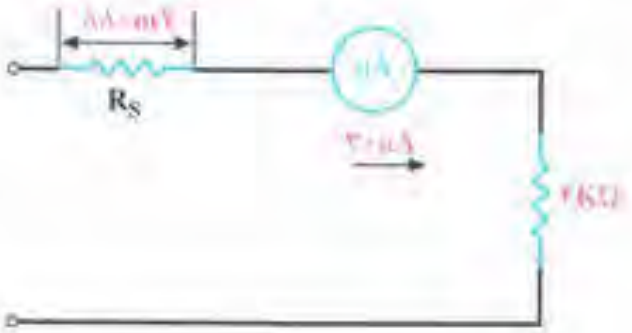
حال اگر به‌جای $30\mu A$، $15\mu A$ جریان را به گالوانومتر اعمال نماییم، اولاً عقربه ۵۰٪ مقدار قبلی حرکت می‌کند و ثانیاً افت ولتاژ دو سر گالوانومتر ۶۰ میلی‌ولت خواهد شد ($4K\Omega \times 15\mu A = 60mV$).

حال اگر مطابق شکل ۱۱ـ۳ به ورودی گالوانومتر با مشخصات فوق $R_G = 4K\Omega$ و $I_G = 30\mu A$ (جریان انحراف تمام اشل) یک منبع ولتاژ ۶۰ میلی‌ولتی وصل کنیم، جریان عبوری از مدار $60mV / 4K\Omega = 15\mu A$ خواهد شد و عقربه ۵۰٪ انحراف خواهد داشت. حال اگر به‌جای ۶۰ میلی‌ولت، ۱۲۰ میلی‌ولت را اعمال نماییم جریان عبوری از گالوانومتر $120mV / 4K\Omega = 30\mu A$ خواهد شد و انحراف عقربه ۱۰۰٪ خواهد شد.

مجموعه‌ی گالوانومتر فوق را می‌توان به‌عنوان یک میلی‌ولت‌متر $0 - 120mV$ درنظر گرفت. همچنان که می‌توان مجموعه‌ی گالوانومتر را به‌عنوان میکروآمپرمتر $0 - 30\mu A$ نیز درنظر گرفت.

شکل ۱۱ـ۳ـ به‌ازای اعمال ۶۰mV ولتاژ به گالوانومتر، انحراف ۵۰٪ خواهد بود.

اگر گالوانومتر، با مشخصات فوق، را به‌عنوان میلی‌ولت‌متر ۱۲۰mV ـ۰ درنظر بگیریم و بخواهیم ولتاژهای بیش‌تر از ۱۲۰mV را با آن اندازه بگیریم، باید مازاد ۱۲۰mV را در یک مقاومت اهمی که با گالوانومتر سری می‌کنیم افت بدهیم. در هر حال جریان عبوری از گالوانومتر نباید از ۳۰μA تجاوز کند. فرض کنید می‌خواهیم ولتاژ ۱V ـ۰ را با میلی‌ولت‌متر ۱۲۰mV ـ۰ اندازه بگیریم. برای این‌کار باید ۸۸۰ میلی‌ولت ولتاژ را در مقاومت سری شده با گالوانومتر افت دهیم و از طرفی باید جریان مدار همان ۳۰μA باشد لذا می‌توان مطابق شکل ۱۲ـ۳ مقاومت سری شده با گالوانومتر (R_s) را محاسبه نمود.



شکل ۱۲ـ۳ـ یک ولت‌متر ۱ـ۰ ولت به کمک
یک میلی‌ولت‌متر ۱۲۰mV ـ۰

با توجه به شکل ۱۲ـ۳ محاسبه‌ی R_s مطابق رابطه‌ی ۱۹ـ۳ خواهد بود.

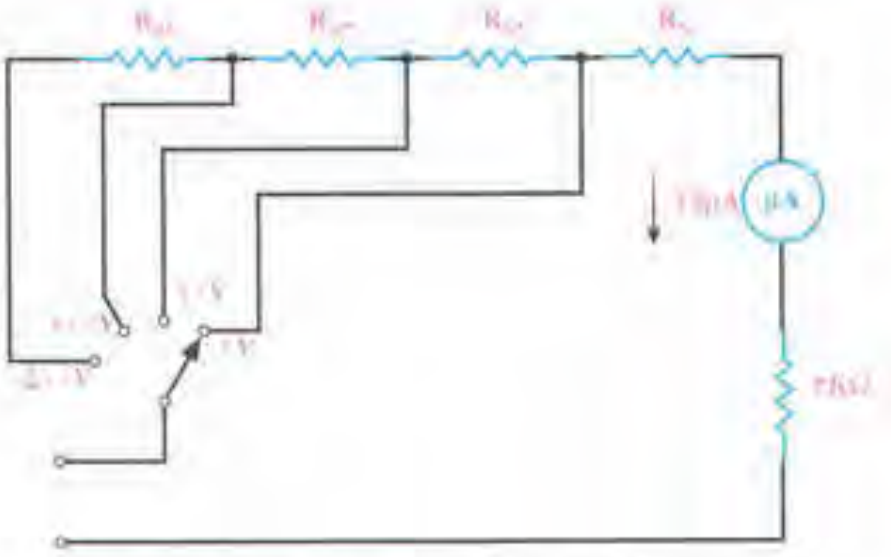
$$R_s = \frac{۸۸۰mV}{۳۰\mu A} = ۲۹/۳۳K\Omega \qquad (۳-۱۹)$$

توجه داشته باشید که در محاسبات، برای حداکثر ولتاژ، حداکثر انحراف درنظر گرفته می‌شود.

با اضافه نمودن مقاومت‌های دیگر، می‌توان یک ولت‌متر چند رنج (مولتی‌رنج) ساخت.

مثال ۱: یک گالوانومتر با مشخصات $R_G = ۳K\Omega$ و $I_G = ۲۵\mu A$ (جریان انحراف تمام اشل) در دسترس است، می‌خواهیم یک ولت‌متر با رنج‌های ۱V ـ۰، ۱۰V ـ۰، ۱۰۰V ـ۰، ۵۰۰V ـ۰ داشته باشیم، مقاومت‌هایی را که باید با این گالوانومتر سری شوند محاسبه نمایید.

حل: ابتدا شکل ولت‌متر را رسم می‌کنیم:



شکل ۱۳ـ۳ـ ساختمان ولت‌متر مثال ۱

ولتاژی که دو سر گالوانومتر افت می‌نماید

$$V_G = R_G . I_G = ۳K\Omega \times ۲۵\mu A = ۷۵mV$$

$$R_{s۱} = \frac{۱۰۰۰mV - ۷۵mV}{۲۵\mu A} = ۳۷K\Omega$$

$$R_{s۲} = \frac{۱۰V - ۱V}{۲۵\mu A} = ۳۶۰K\Omega$$

$$R_{s۳} = \frac{۱۰۰V - ۱۰V}{۲۵\mu A} = ۳/۶M\Omega$$

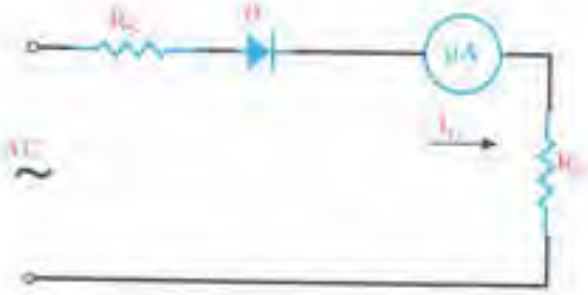
$$R_{s۴} = \frac{۵۰۰V - ۱۰۰V}{۲۵\mu A} = ۱۶M\Omega$$

۵ـ۱ـ۳ـ ساختمان ولت‌متر AC: رابطه‌ی انحراف عقربه با جریان عبوری از سیم‌پیچ متحرک (قاب) به‌صورت $\theta = KI$ بود. حال اگر به‌جای جریان DC، جریان AC به سیم‌پیچ اعمال نماییم حرکت قاب نیز به‌صورت متناوب خواهد شد زیرا طبق رابطه‌ی ۲۰ـ۳ خواهیم داشت:

$$KI = KI_m \sin \omega t = \theta_m \sin \omega t \qquad (۳ـ۲۰)$$

بنابراین، عقربه‌ی نشان‌دهنده باید نوسان کند. پس اگر مستقیماً ولتاژ AC را به گالوانومتر اعمال کنیم امکان اندازه‌گیری آن وجود ندارد (در عمل، قاب را طوری می‌سازند که اگر ولتاژ ۵۰Hz را به آن اعمال نماییم عقربه نتواند از این سرعت زیاد تبعیت و نوسان کند، لذا از جای خودش هیچ حرکتی نمی‌کند).

برای اندازه‌گیری ولتاژ AC، ابتدا آن را تبدیل به DC نموده سپس اندازه می‌گیرند. شکل ۱۴ـ۳ یک نمونه ولت‌متر AC را نشان می‌دهد.

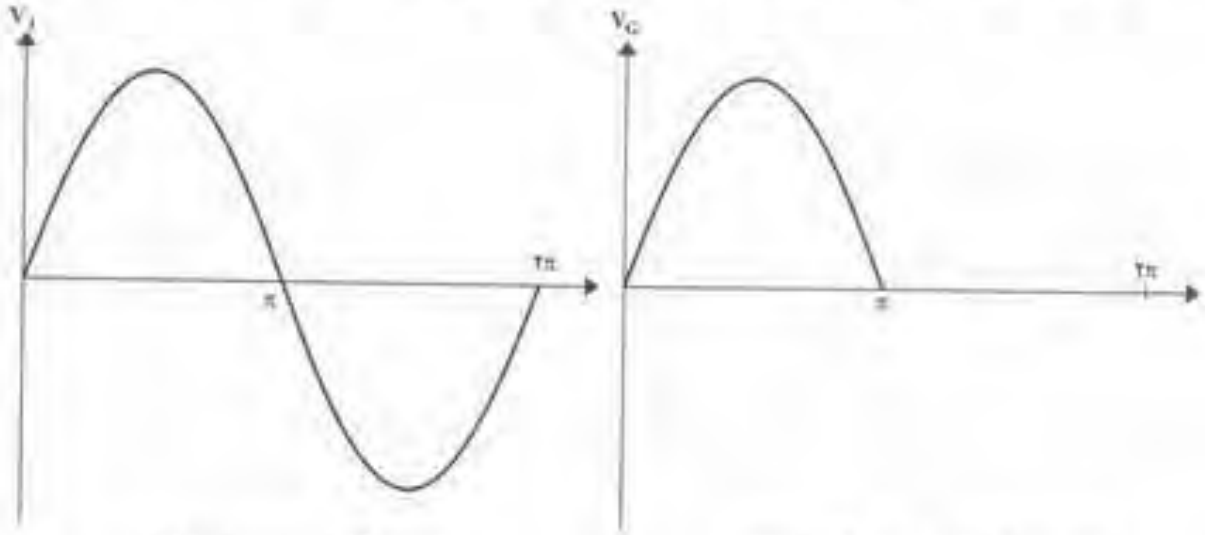


شکل ۱۴ـ۳ـ یک نمونه‌ی ساده‌ی ولت‌متر AC

چون برای هدایت دیود، ولتاژی حدود ۰/۶ ولت (۶۰۰mV) لازم است و از طرفی این ۰/۶ ولت با تغییرات دمای محیط نیز تغییر می‌کند، لذا ولت‌مترهای AC معمولی قادر به اندازه‌گیری ولتاژهای کم نیستند؛ از این‌رو، این‌گونه ولت‌مترها برای کم‌تر از یک ولت معمولاً درجه‌بندی نمی‌شوند.

برای محاسبه‌ی مقاومت‌های سری شده با گالوانومتر در ولت‌متر AC، باید دو نکته را درنظر داشت. اوّل این که ولتاژ AC برحسب مؤثّر سنجیده می‌شود و درجه‌بندی گالوانومتر باید مقدار مؤثّر ورودی را نشان دهد و دوم این‌که خود گالوانومتر با جریان DC کار می‌کند، یعنی باید مقدار DC جریان (یا ولتاژ) بعد از یک‌سو شدن را درنظر گرفت و یا به‌عبارتی رابطه‌ی بین مؤثّر ورودی و متوسّط (DC) دو سر گالوانومتر را مدّنظر قرار داد.

شکل ۱۵ـ۳ شکل موج ورودی ولت‌متر و شکل موج دو سر گالوانومتر را نشان می‌دهد.



ب ـ شکل موج ورودی ولت‌متر

الف ـ شکل موج دو سر گالوانومتر

شکل ۱۵ـ۳

از طرفی می‌دانیم :

$$V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \qquad V_m = \sqrt{2}\, V_{eff} \qquad (۳_۲۱)$$

مقدار متوسط شکل موج دو سر گالوانومتر از رابطه‌ی ۲۲ـ۳ به‌دست می‌آید.

$$V_{av} = \frac{V_m}{\pi} = \frac{\sqrt{2}V_{eff}}{\pi} = ۰/۴۵V_{eff} \qquad (۳_۲۲)$$

رابطه‌ی ۲۲ـ۳ بیان می‌کند که اگر ولتاژ مؤثر ورودی، یک ولت باشد ولتاژ متوسط برابر ۰/۴۵ ولت می‌باشد. از رابطه‌ی ۲۲ـ۳ برای محاسبه‌ی مقاومت‌های R_s استفاده می‌شود.

افت ولتاژ دو سر دیود نیز به‌دلیل غیرخطی بودن رفتار دیود به‌سادگی قابل محاسبه نیست و به‌طور تجربی به‌جای محاسبه‌ی افت ولتاژ دو سر دیود، یک مقاومت حدود ۳KΩ را به‌جای آن درنظر می‌گیرند.

مثال ۲: یک گالوانومتر به مشخصات $R_G = ۴K\Omega$ و $I_G = ۳۰\mu A$ در دسترس است می‌خواهیم با آن یک ولت‌متر AC، با رنج ۱۰ـ۰ ولت، بسازیم. مقاومتی را که باید با گالوانومتر سری کنیم محاسبه نمایید.

حل: ابتدا ولتاژ DC مدار را محاسبه می‌کنیم :

$$V_{av} = ۰/۴۵V_{eff} = ۰/۴۵ \times ۱۰ = ۴/۵V$$

حال فرض می‌کنیم می‌خواهیم یک ولت‌متر DC مونتاژ کنیم که ولتاژ ماکزیمم ما ۴/۵ ولت است، لذا داریم :

$$R_s' = \frac{۴/۵ - (۴K\Omega \times ۳۰\mu A)}{۳۰\mu A} = ۱۴۶K\Omega \qquad \text{(بدون احتساب دیود)}$$

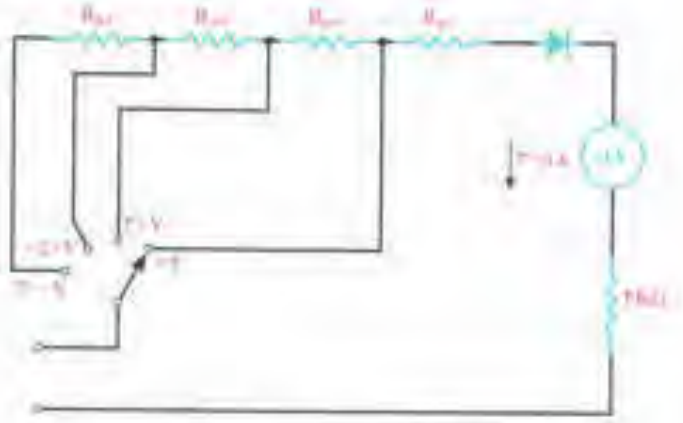
به‌جای دیود یک مقاومت ۳KΩ درنظر می‌گیریم لذا :

$$R_s = ۱۴۶ - ۳ = ۱۴۳K\Omega$$

مثال ۳: مقاومت‌هایی را که باید با یک گالوانومتر ($I_G = ۳۰\mu A$ و $R_G = ۴K\Omega$) سری نمود تا بتوان رنج‌های ۶V ـ ۰، ۳۰V ـ ۰، ۱۲۰V ـ ۰، ۳۰۰V ـ ۰ را در ولت‌متر ایجاد نمود.

حل: ابتدا شکل ولت‌متر را رسم می‌کنیم. ولت‌متر یاد شده در شکل ۱۶ـ۳ رسم شده است.

$$R_{S1}' = \frac{۰/۴۵ \times ۶ - (۴K\Omega \times ۳۰\mu A)}{۳۰\mu A} = ۸۶K\Omega$$



شکل ۱۶ـ۳ـ ولت‌متر مثال ۳

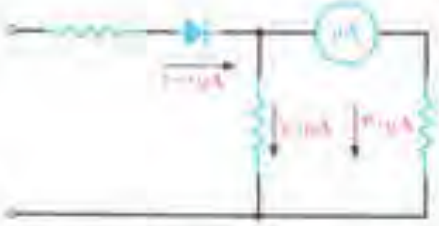
$$R_{S1} = ۸۶K\Omega - (\text{به‌جای دیود یک مقاومت } ۳K\Omega \text{ درنظر می‌گیریم}) = ۸۳K\Omega$$

$$R_{S2} = \frac{۰/۴۵ \times ۳۰ - ۶ \times ۰/۴۵}{۳۰\mu A} = ۳۶۰K\Omega$$

$$R_{S3} = \frac{۱۵۰ \times ۰/۴۵ - ۳۰ \times ۰/۴۵}{۳۰\mu A} = ۱/۸M\Omega$$

$$R_{S4} = \frac{۳۰۰ \times ۰/۴۵ - ۱۵۰ \times ۰/۴۵}{۳۰\mu A} = ۲/۲۵M\Omega$$

همان‌طور که گفته شد در ولت‌متر AC از دیود به‌عنوان یک‌سوکننده استفاده می‌شود. اگر دیود از جنس سیلیسیم باشد ولتاژی برابر حداقل ۶۰۰ میلی‌ولت لازم است تا دیود را هادی کند. البته این مقدار ولتاژ مطلق نبوده بلکه با حرارت تغییر می‌کند، ضمن این‌که تغییر حرارت باعث تغییر امپدانس استاتیکی و دینامیکی دیود می‌گردد. از طرفی چون جریان دیود خیلی کم است (حدود μA) این امر باعث می‌گردد تا تغییرات امپدانس با تغییر درجه حرارت بیش‌تر گردد. یکی از راه‌های کاهش تغییرات امپدانس دیود نسبت به تغییر درجه حرارت، افزایش جریان دیود است. از طرفی چون جریان گالوانومتر محدود است ابتدا از دیود جریان بیش‌تری عبور داده و سپس بعد از دیود، مقدار جریان اضافی را از یک مقاومت که با گالوانومتر به‌صورت موازی بسته شده است عبور می‌دهند. شکل ۱۷ـ۳ چگونگی انجام این کار را نشان می‌دهد.

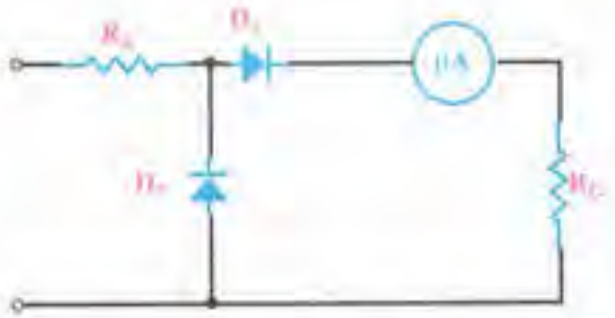


شکل ۱۷ـ۳ـ روش بهبود تغییر امپدانس دیود در مقابل تغییرات درجه حرارت

عمل فوق باعث کاهش تغییرات امپدانس دیود می‌شود در عین این‌که باعث کاهش امپدانس ورودی ولت‌متر نیز می‌گردد. در بعضی از آوومترها که عمل فوق را انجام می‌دهند معمولاً بر روی صفحه‌ی پانل، به‌عنوان مثال، آن را به‌صورت اعداد رابطه‌ی ۲۳ـ۳ می‌نویسند :

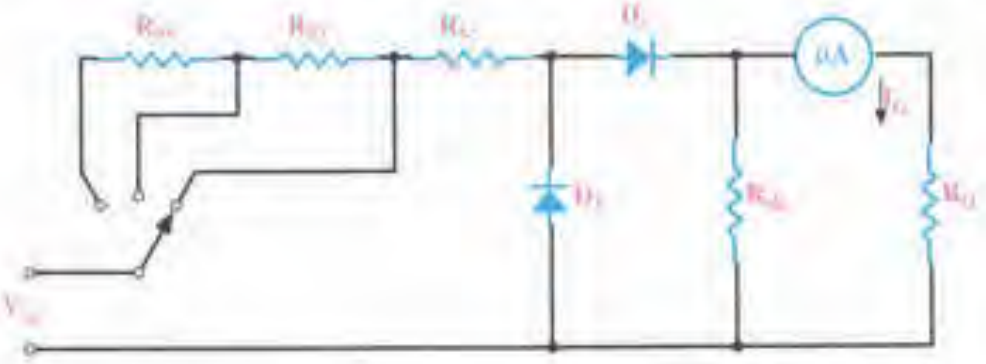
$$DC \quad ۳۰K\Omega / V$$
$$AC \quad ۱۰K\Omega / V \qquad (۳_۲۳)$$

مسأله‌ی دیگر در ولت‌متر AC، محافظت از دیود یک‌سوکننده است. به‌عنوان مثال در شکل ۱۷ـ۳ در نیم‌سیکل منفی تمامی ولتاژ دو سر دیود افت می‌کند و اگر ولتاژ ورودی اندکی بیش‌تر شود احتمال دارد که دیود بسوزد. برای محافظت از دیود اصلی یک‌سوکننده، مطابق شکل ۱۸ـ۳ از دیود دیگری استفاده می‌نمایند.



شکل ۱۸ـ۳ـ چگونگی محافظت از دیود اصلی در ولت‌متر AC

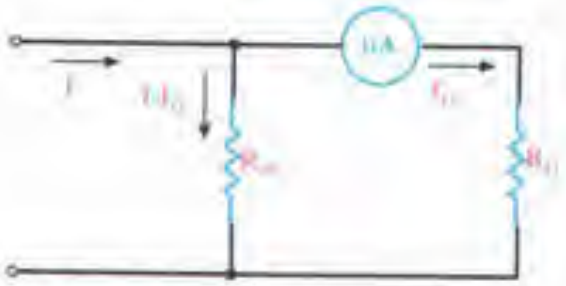
طرز کار مدار به این صورت است که در نیم سیکل مثبت، دیود D_1 هادی بوده و چون دیود D_2 در بایاس معکوس قرار می‌گیرد حداکثر ولتاژ معکوس دو سر دیود D_2 در هیچ شرایطی از یک ولت تجاوز نمی‌کند. بنابراین دیود D_2 که خود برای محافظت D_1 به‌کار رفته است توسّط دیود D_1 محافظت می‌شود و امّا در نیم‌سیکل منفی، دیود D_2 هادی و D_1 قطع است لکن به علت قطع بودن



شکل ۱۹ـ۳ـ نمونه‌ای از ولت‌متر AC که در اکثر آوومترها به‌کار می‌رود.

D_1 ، هیچ جریانی از گالوانومتر نمی‌گذرد ؛ درضمن حداکثر ولتاژ معکوس دو سر D_1 نیز از ۰/۶ ولت تجاوز نمی‌کند، یعنی ولتاژ معکوس هر یک از دیودها تحت هیچ شرایطی از ۰/۶ الی ۱ ولت تجاوز نمی‌کند و هر دو دیود توسط یکدیگر محافظت می‌شوند و امکان سوختن آن‌ها وجود ندارد. شکل ۱۹ـ۳ یک نمونه‌ی کامل ولت‌متر AC را که در آوومترها به‌کار می‌رود نشان می‌دهد.

۶ـ۱ـ۳ـ آمپرمتر DC: گالوانومتر دآرسونوال خود یک میکروآمپرمتر است که معمولاً در رنج ۳۰μA ـ ۰ و یا ۵۰μA ـ ۰ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. امّا در عمل نیاز به اندازه‌گیری جریان‌های بیش‌تری است. برای اندازه‌گیری جریان‌های بیش‌تر از جریان گالوانومتر، باید جریان اضافه‌تر از جریان گالوانومتر را از مسیر دیگری عبور داد. برای این‌کار از یک مقاومت موازی با گالوانومتر استفاده می‌نماییم. شکل ۲۰ـ۳ یک نمونه آمپرمتر با جریان قابل اندازه‌گیری بیش‌تر از جریان گالوانومتر را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰ـ۳ـ یک آمپرمتر DC با جریان قابل اندازه‌گیری I

مثال ۴: یک گالوانومتر با مشخّصات $R_G = 4K\Omega$ و $I_G = 30\mu A$ (جریان انحراف تمام اشل) در دسترس است. می‌خواهیم با قرار دادن یک مقاومت شنت، جریان ۱۰mA ـ ۰ را با آن اندازه بگیریم. مقدار مقاومت شنت باید چند اهم باشد؟

حل: از مقاومت شنت باید جریان ۳۰μA ـ ۱۰mA عبور کند. از طرفی ولتاژ دو سر مقاومت شنت برابر ۳۰μA × ۴KΩ می‌باشد، لذا R_{sh} از رابطه‌ی ۲۴ـ۳ به‌دست می‌آید.

شکل ۲۱ـ۳ـ میلی‌آمپرمتر ۱۰mA ـ ۰

$$R_{sh} = \frac{U_{sh}}{I_{sh}} = \frac{R_G \cdot I_G}{I - I_G} = \frac{4K\Omega \times 30\mu A}{10mA - 30\mu A} = 12\Omega \qquad (3_24)$$

توجّه داشته باشید که جریان گالوانومتر از رابطه‌ی ۲۵ـ۳ به‌دست می‌آید (تقسیم جریان به دو شاخه‌ی موازی).

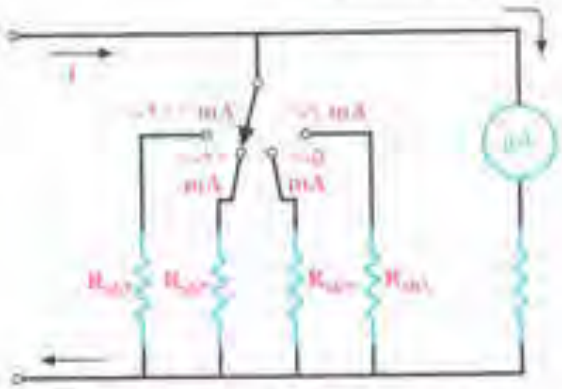
$$I_G = I\frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_G} \qquad (3_25)$$

نسبت $\frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_G}$ عددی ثابت است (همواره کوچک‌تر از ۱) لذا طبق رابطه‌ی ۲۶ـ۳ خواهیم داشت:

$$I_G = K_1 . I \qquad (3_26)$$

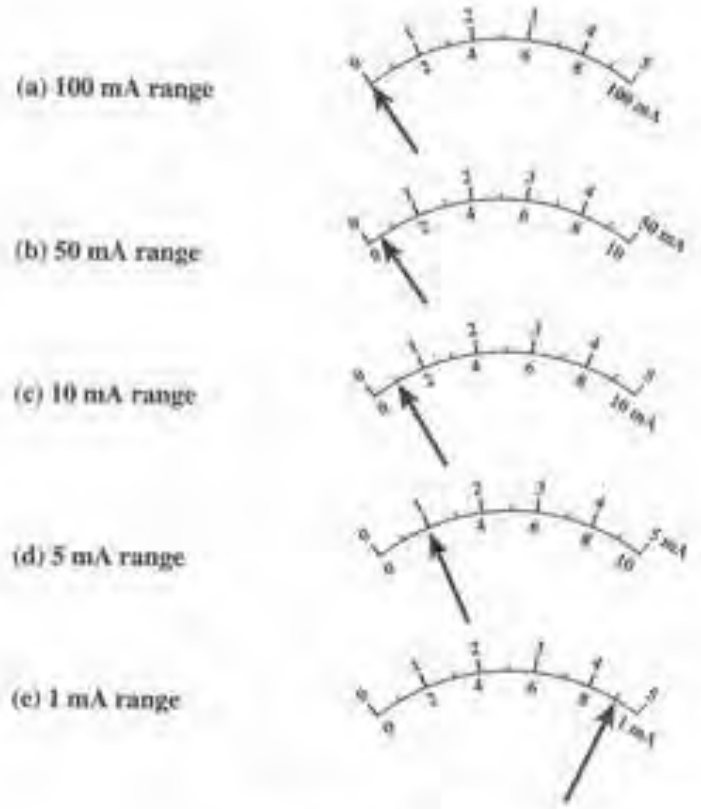
مفهوم رابطه‌ی ۲۶ـ۳ این است که تغییرات I مستقیماً و به‌صورت خطّی روی I_G اثر می‌گذارد. یعنی اگر به‌عنوان مثال I نصف شود I_G نیز نصف خواهد شد و انحراف ۵۰٪ قبلی خواهیم داشت. لذا گالوانومتر را برحسب I درجه‌بندی خواهیم کرد. اگر بخواهیم آمپرمتر دارای چندین رنج باشد می‌توانیم از چندین شنت مختلف همراه با یک کلید انتخاب استفاده کنیم. شکل ۲۲ـ۳ یک آمپرمتر چند رنج را نشان می‌دهد.

برای محاسبه‌ی هر یک از مقاومت‌های شنت، به‌طور جداگانه برای هر شنت مقدار R را محاسبه می‌کنیم (چون Rها مستقل از یکدیگرند).



شکل ۲۲ـ۳ـ یک آمپرمتر مولتی‌رنج

قبل از ادامه‌ی بحث، به یک سؤال جواب می‌دهیم و آن این است که چرا از آمپرمتر یا ولت‌متر و یا... مولتی‌رنج استفاده می‌کنیم. فرض کنید بخواهیم یک جریان ۰/۹۱mA را اندازه بگیریم. در شکل ۲۳ـ۳ نحوه‌ی قرائت و مقدار حرکت عقربه‌ی میلی‌آمپرمتر را، به‌ازای اعمال جریان ۰/۹۱mA در پنج رنج (۱mA، ۵mA، ۱۰mA، ۵۰mA و ۱۰۰mA)، نشان داده شده است.

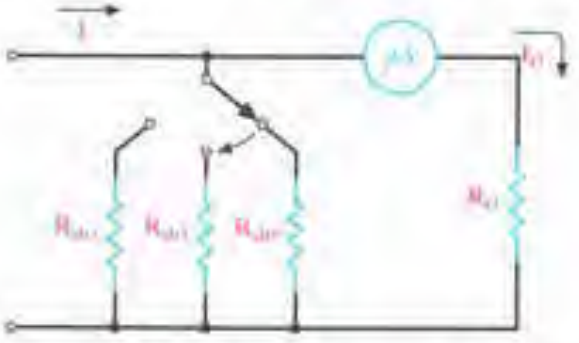


شکل ۲۳ـ۳ـ ادوات انتخاب رنج روی قرائت مقادیر

همان‌طورکه از شکل ۲۳ـ۳ پیداست زمانی که کلید رنج جریان روی ۱۰۰mA باشد به‌ازای ۰/۹۱mA جریان، حرکت عقربه تقریباً یک درصد بوده و لذا قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد؛ اگر کلید رنج روی ۵۰mA باشد حرکت عقربه دو درصد است که باز هم با دقت قابل قرائت نیست.

زمانی که کلید رنج روی ۱mA باشد به دقت کافی می‌توان مقدار ۰/۹۱mA را قرائت کرد. در عمل همیشه کلید رنج را طوری انتخاب می‌کنیم که حداکثر انحراف ممکن را داشته باشیم.

آمپرمتر مولتی‌رنج شکل ۲۲ـ۳ دارای یک عیب است و آن این‌که هنگام عوض کردن رنج، یک لحظه شنت از مدار قطع می‌شود و تمامی جریان I از گالوانومتر می‌گذرد که در این‌صورت ممکن است صدمه‌ی جدی به گالوانومتر وارد آید. این حالت در شکل ۲۴ـ۳ نشان داده شده است.

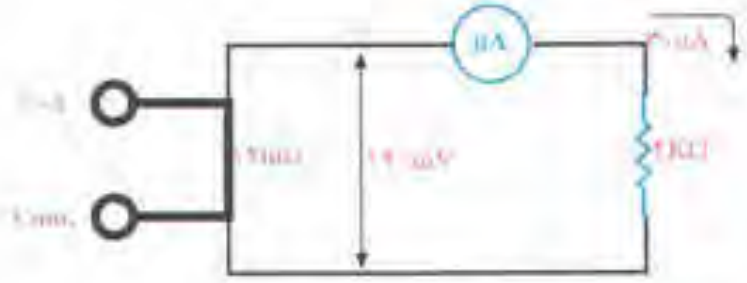


شکل ۲۴ـ۳ـ هنگام عوض کردن کلید، در یک لحظه شنت از مدار قطع می‌شود.

در آوومترها برای رفع عیب فوق، مدار جایی را طوری می‌سازند که در هنگام عوض کردن کلید رنج، ابتدا مقاومت دوم وصل شود و سپس مقاومت اوّل قطع گردد؛ به عبارتی در یک لحظه‌ی کوتاه دو مقاومت شنت موازی می‌شوند. شکل ۲۵ـ۳ چگونگی این عمل را نشان می‌دهد.

شکل ۲۵ـ۳ـ چگونگی عوض کردن کلید رنج به‌طوری که یک لحظه‌ی کوتاه حالت قطع پیش نیاید.

برای اندازه‌گیری جریان‌های زیاد به کمک آوومتر، از جریان نمونه‌برداری می‌کنند. چون اتصالات آوومتر توسّط مدار جایی تأمین می‌شود لذا عبور جریان زیاد از مدار جایی، درصورتی که بهنای آن زیاد نباشد، سریعاً گرم شده و می‌سوزد. از طرفی کلید سلکتور آوومتر توانایی قطع و وصل جریان زیاد را ندارد. درصورتی‌که بخواهند کلیدی بسازند که قدرت قطع و وصل جریان زیاد را داشته باشد، حجم آن خیلی بزرگ خواهد شد. از این‌رو ترمینال جریان زیاد را در روی آوومترها به‌صورت جداگانه ساخته، بین ترمینال منفی و ترمینال جریان زیاد یک مقاومت بسیار کم ولی پرقدرت قرار می‌دهند. بر اثر عبور جریان از مقاومت، ولتاژ دو سر آن افت می‌کند. حال این ولتاژ که متناسب با جریان است اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۲۶ـ۳ چگونگی این عمل را نشان می‌دهد.

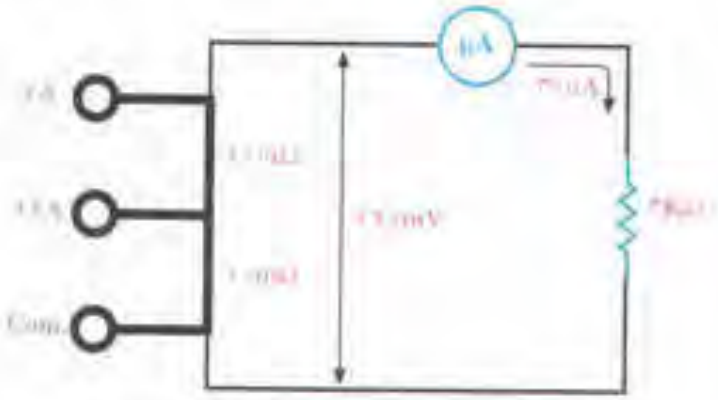


شکل ۲۶ـ۳ـ چگونگی اندازه‌گیری جریان‌های زیاد با آوومتر

در شکل ۲۶ـ۳ اگر از مقاومت ۱۲mΩ، جریان ۱۰A عبور کند ولتاژ دو سر مقاومت ۱۲۰mV افت می‌کند و میلی‌ولت‌متر صد و بیست میلی‌ولتی، انحراف تمام اشل را خواهد داشت. حال اگر

به‌جای ۱۰A، ۵A جریان از مدار عبور کند، ولتاژ دو سر مقاومت ۱۲mΩ، برابر ۶۰mV خواهد شد و انحراف عقربه ۵۰٪ خواهد شد. در روی صفحه‌ی سنجش آوومتر به‌صورت خطّی از صفر تا ۱۰A را مدرّج می‌کنند.

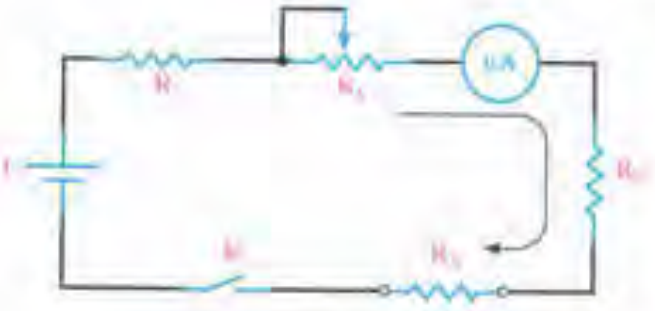
درصورتی که آوومتر دارای دو رنج جریان زیاد باشد دو ترمینال جداگانه روی آوومتر قرار می‌دهند. شکل ۲۷ـ۳ یک نمونه از این آوومتر را که دارای دو رنج جریان زیاد است نشان می‌دهد.



شکل ۲۷ـ۳ـ امپرمتر جریان زیاد با دو رنج ۶ و ۱۲ آمپر

۷ـ۱ـ۳ـ اهم‌متر سری: اگر در یک مدار سری که شامل یک باتری، تعدادی مقاومت‌های اهمی و یک گالوانومتر دآرسونوال است مقدار مقاومت اهمی مدار تغییر کند، جریان مدار تغییر نموده باعث تغییر انحراف عقربه‌ی گالوانومتر خواهد شد. می‌توان رابطه‌ای بین تغییرات حرکت عقربه‌ی گالوانومتر، برحسب تغییرات مقاومت اهمی پیدا کرد. در این صورت خواهیم توانست صفحه‌ی مدرّج آوومتر را برحسب مقاومت اهمی مدرّج نماییم.

اهم‌متر سری از یک گالوانومتر دآرسونوال، یک مقاومت ثابت، یک مقاومت متغیّر و یک منبع تشکیل شده است که همگی به‌صورت سری وصل شده‌اند. شکل ۲۸ـ۳ ساختمان ساده‌ی یک اهم‌متر سری را نشان می‌دهد.

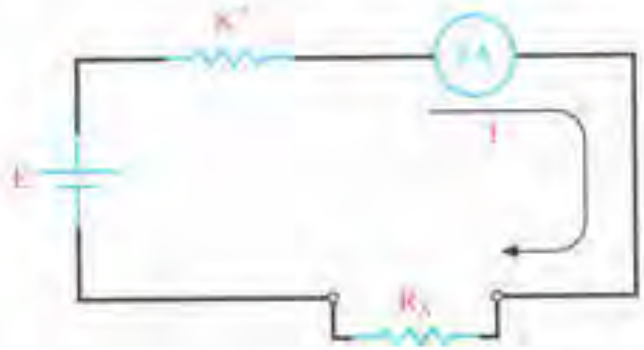


شکل ۲۸ـ۳ـ ساختمان یک اهم‌متر سری

مدار اهم‌متر عملی، اندکی با مدار شکل ۲۸ـ۳ تفاوت دارد. در مدار شکل ۲۸ـ۳ اگر $R_x = 0$ (مقاومت مجهول) حداکثر جریان از مدار عبور می‌کند. بنابراین با قرار دادن مقاومت R جریان مدار را در حدّ جریان گالوانومتر دآرسونوال ثابت می‌کنند (مثلاً حدود ۳۰μA) چون به مرور زمان مقدار ولتاژ منبع (باتری) تغییر می‌کند برای تنظیم جریان به میزان ۳۰μA مقدار R_γ را (که مقاومتی متغیّر است و از روی پانل اهم‌متر در دسترس است) کم می‌کنیم. به‌هر حال مقاومت R و R_γ و R_G هر سه، نقش کنترل جریان را در مدار به عهده دارند. مثلاً اگر ولتاژ باتری ۱/۵ ولت $R_G = 4K\Omega$ باشد جمع مقدار R و R_γ باید ۴۶KΩ باشد تا جریان مدار ۳۰μA گردد. حال اگر ولتاژ دو سر باتری برابر ۱/۴ ولت باشد مقدار R_γ را باید حدود ۳/۳ کیلواهم کم کرد تا جریان مدار ۳۰μA ثابت بماند. برای بررسی طرز کار اهم‌متر فرض می‌کنیم ولتاژ دو سر باتری همواره ثابت بماند. لذا مجموع مقاومت‌های R و R_γ و R_G نیز ثابت می‌باشد و با حرف K' نشان می‌دهیم.

$$K' = R + R_\gamma + R_G \qquad (۳ـ۲۷)$$

مدار اهم‌متر را به‌صورت ساده‌تر مطابق شکل ۲۹ـ۳ نمایش می‌دهیم:



شکل ۲۹ـ۳ـ مدار ساده‌ی یک اهم‌متر سری

جریان حداکثر، باعث انحراف حداکثر می‌شود، و جریان حداکثر را زمانی در مدار داریم که $R_x = 0$ باشد لذا طبق رابطه‌ی ۲۸ـ۳ داریم:

$$I_\gamma = \frac{E}{K'} \quad \text{است} \quad \%۱۰۰ \quad \text{به‌ازای این جریان، انحراف عقربه} \qquad (۳ـ۲۸)$$

اگر $R_x \neq 0$ باشد جریان مدار مطابق رابطه‌ی ۲۹ـ۳ خواهد شد.

$$I = \frac{E}{K' + R_x} \quad \text{به‌ازای این جریان عقربه درصدی منحرف می‌شود} \qquad (۳ـ۲۹)$$

به‌عنوان مثال اگر $I_0 = ۳۰\mu A$ باشد (به‌ازای $۳۰\mu A$ جریان انحراف عقربه ٪۱۰۰ خواهد بود) و اگر $I = ۱۰\mu A$ باشد انحراف عقربه، $\frac{۱}{۳}$ حالت قبل (یا ٪۳۳ انحراف کامل) خواهد شد. از این‌رو انحراف عقربه را می‌توان مطابق رابطه‌ی ۳۰ـ۳ نوشت :

$$\rho = \frac{I}{I_0} \times ۱۰۰ \qquad (۳_۳۰)$$

از قبل، روابط ۳۱ـ۳ و ۳۲ـ۳ را داشتیم :

$$I = \frac{E}{K' + R_x} \qquad (۳_۳۱)$$

$$I_0 = \frac{E}{K'} \qquad (۳_۳۲)$$

$$\rho = \frac{\frac{E}{K' + R_x}}{\frac{E}{K'}} \times ۱۰۰ = \frac{K' \times ۱۰۰}{K' + R_x} = \frac{۱}{۱ + \frac{R_x}{K'}} \times ۱۰۰ \qquad (۳_۳۳)$$

در رابطه‌ی ۳۳ـ۳ اگر نسبت $\frac{R_x}{K'}$ را برابر α بگیریم، رابطه‌ی ۳۳ـ۳ تبدیل به ۳۴ـ۳ خواهد شد.

$$\rho = \frac{۱}{۱ + \alpha} \times ۱۰۰ \qquad (۳_۳۴)$$

اگر $\alpha = ۰$ باشد معنی آن این است که $R_x = ۰$ است ($\frac{R_x}{K'} = ۰$ درنتیجه $R_x = ۰$) لذا رابطه‌ی انحراف، مطابق فرمول ۳۵ـ۳ خواهد شد :

$$\rho = \frac{۱}{۱ + ۰} \times ۱۰۰ = ٪۱۰۰ \qquad (۳_۳۵)$$

یعنی به‌ازای $R_x = ۰$ انحراف ٪۱۰۰ است. لذا صفر درجه‌بندی اهم‌متر برخلاف آمپرمتر و ولت‌متر که در سمت چپ بود در سمت راست قرار دارد. اگر $\alpha = \infty$ باشد (یعنی $R_x = \infty$ باشد زیرا $\alpha = \frac{R_x}{K'} = \infty$) رابطه‌ی انحراف به‌صورت فرمول ۳۶ـ۳ بیان خواهد شد.

$$\rho = \frac{۱ \times ۱۰۰}{۱ + \infty} = ٪۰ \qquad (۳_۳۶)$$

اگر $\alpha = ۱$ باشد یعنی $R_x = K'$ شود در این‌صورت انحراف عقربه، مطابق رابطه‌ی ۳ـ۳۷، برابر ٪۵۰ خواهد شد.

$$\rho = \frac{۱}{۱+۱} \times ۱۰۰ = ٪۵۰ \qquad (۳ـ۳۷)$$

از بحث فوق نتیجه می‌گیریم که صفر درجه‌بندی اهم‌متر، برخلاف ولت‌متر و آمپرمتر که در سمت چپ قرار داشتند، در سمت راست و ∞ درجه‌بندی اهم‌متر در سمت چپ قرار دارد و همچنین وسط درجه‌بندی، برابر K' می‌گردد. شکل ۳ـ۳۰ درجه‌بندی ابتدا ـ وسط و انتهای صفحه‌ی مدرّج مربوط به قسمت اهم را نشان می‌دهد.

شکل ۳ـ۳۰ـ درجه‌بندی ابتدا، وسط و انتهای صفحه‌ی مدرّج مربوط به اندازه‌گیری مقاومت اهمی

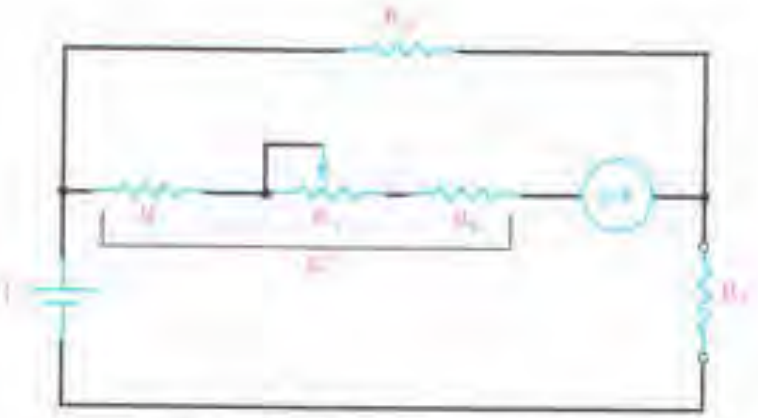
همان‌طور که از شکل ۳ـ۳۰ نیز پیداست درجه‌بندی اهم‌متر خطی نیست، بلکه با توجّه به‌رابطه‌ی ۳ـ۳۴، درجه‌بندی بر مبنای یک تابع هموگرافیک است.

برای درجه‌بندی صفحه‌ی مدرّج آوومتر با استفاده از رابطه‌ی ۳ـ۳۴ و با متغیّر قرار دادن R_x (از قبل مقدار K' مشخص است) می‌توان به‌ازای R_x های مختلف، انحراف‌های مختلف را به‌دست آورد و صفحه را درجه‌بندی کرد.

یکی از اشکال‌های اهم‌متر شکل ۳ـ۲۹ این است که چون K' معمولاً بزرگ است (حدود ۵۰ـ۴۰ کیلواهم) لذا درجه‌بندی اهم‌متر از صفر (سمت راست درجه‌بندی) تا وسط، به اندازه‌ی ۴۰ تا ۵۰ کیلواهم است و امکان اندازه‌گیری مقاومت‌های کم (مثلاً چند ده‌اهم) وجود ندارد (درجه‌بندی فوق‌العاده فشرده است). اشکال دوم و مهم‌تر اهم‌متر شکل ۳ـ۲۹ این است که اگر ولتاژ باتری تغییر کند K' تغییر نموده درجه‌بندی اهم‌متر به هم می‌خورد.

برای رفع هر دو اشکال فوق، یک مقاومت را با K' به‌طور موازی مطابق شکل ۳ـ۳۱ می‌بندند.

با موازی نمودن R_{sh}، صفر و ∞ درجه‌بندی فرقی نمی‌کند زیرا $R_x = ۰$ حداکثر جریان از گالوانومتر عبور می‌کند (دو عنصری که با هم موازی شده‌اند ولتاژ دو سر آن‌ها یکی است). زمانی که $R_x = \infty$ است هیچ‌گونه جریانی از مدار عبور نمی‌کند لذا عقربه‌ی گالوانومتر هیچ حرکتی نخواهد داشت.



شکل ۳۱ـ۳ـ یک نمونه‌ی عملی‌تر اهم‌متر سری

در اهم‌متر بدون شنت، درجه‌بندی وسط صفحه‌ی مدرّج برابر $R_x = K'$ بود. درحقیقت هرگاه جریان عبوری از گالوانومتر نصف گردد عقربه نیز ۵۰٪ انحراف دارد. به عبارت واضح‌تر هرگاه ولتاژ دو سر R_x و یا K' نصف ولتاژ منبع گردد جریان عبوری از گالوانومتر نیز نصف شده و عقربه ۵۰٪ انحراف دارد.

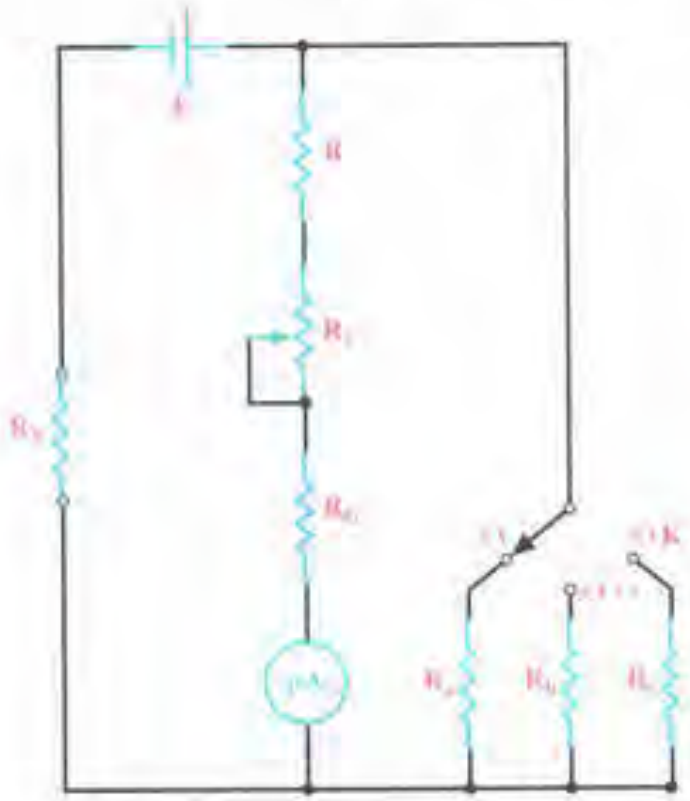
در اهم‌متر با شنت، زمانی ولتاژ دو سر R_x نصف می‌گردد که مقدار R_x با $K' \| R_{sh}$ برابر شود. به عبارت دیگر، اگر ولتاژ دو سر $K' \| R_{sh}$ نصف شود جریان گالوانومتر نیز نصف خواهد شد و عقربه ۵۰٪ انحراف خواهد داشت.

مقدار R_{sh} را معمولاً کم و حدود ۲۰Ω تا ۱۰۰Ω درنظر می‌گیرند، حال اگر فرض کنیم $R_{sh} = ۳۰\Omega$ باشد و $K' = ۴۵K\Omega$ حاصل $K = K' \| R_{sh} = ۴۵K\Omega \| ۳۰\Omega \cong ۳۰\Omega$ لذا اهم‌متر از سمت راست تا وسط از صفر تا ۳۰Ω با استفاده از رابطه‌ی $\rho = \frac{۱}{۱ + \frac{R_x}{۳۰}} \times ۱۰۰$ مدرّج می‌شود.

در این صورت مقاومت‌های حدود یک اهم تا چند دهم اهم به‌راحتی و به‌وضوح قابل قرائت خواهند بود. شکل ۳۲ـ۳ درجه‌بندی یک اهم‌متر را همراه با درجه‌بندی ولتاژ و جریان نشان می‌دهد.

شکل ۳۲ـ۳ـ درجه‌بندی‌های ولتاژ، جریان و مقاومت اهمی روی یک صفحه‌ی مدرّج یک اُومتر

همان‌طور که از درجه‌بندی قسمت مقاومت اهمی شکل ۳۲ـ۳ پیداست حداکثر تا مقاومت ۱۰Ω را تقریباً می‌توان با دقّت اندازه گرفت و مقاومت‌های چندکیلو و یا چند ده کیلو اهم را به‌هیچ‌عنوان نمی‌توان اندازه گرفت. برای رفع این عیب از اهم‌متر مولتی رنج، یعنی از شنت‌های مختلف، استفاده می‌کنند. در انتخاب رنج‌های دیگر، R_{sh} را طوری انتخاب می‌کنند که مضرب ۱ و یا ۱۰۰ و یا ۱K و یا ۱۰K از درجه‌بندی اهم‌متر باشند. در این‌صورت رنج وسیعی از مقاومت‌ها از حدود یک اهم تا چند صد کیلواهم را می‌توان با دقّت اندازه گرفت. شکل ۳۳ـ۳ یک نمونه از اهم‌متر مولتی‌رنج با رنج ۱×، ۱۰۰× و ۱K× را نشان می‌دهد.



شکل ۳۳ـ۳ـ ساختمان یک اهم‌متر مولتی‌رنج

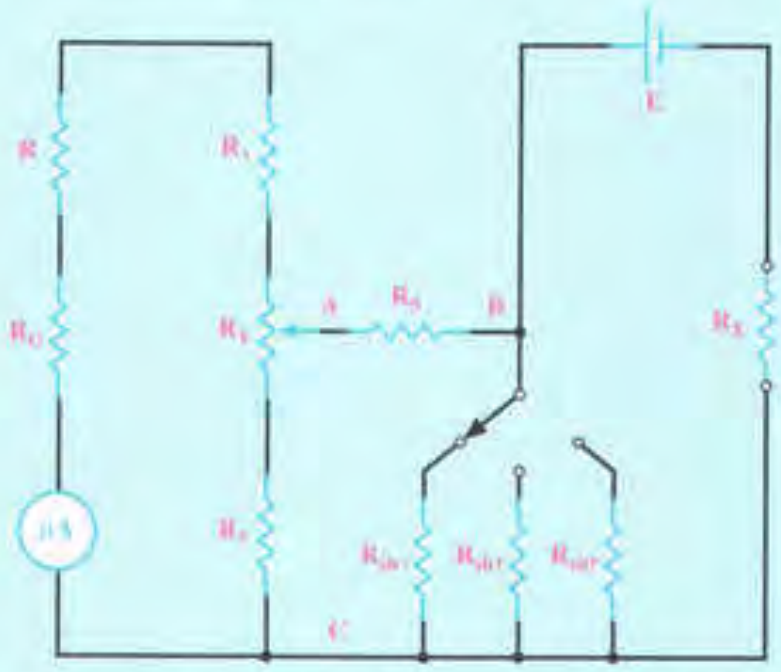
در اهم‌متر مولتی‌رنج، در رنج ۱×، R_{sha} طوری محاسبه می‌کنند که حاصل $K'\|R_{sha}$ برابر عدد وسط اهم‌متر گردد (در مثال قبلی ۳۰Ω) و در رنج ۱۰۰×، R_{shb} را طوری محاسبه می‌کنند که حاصل $K'\|R_{shb}$ برابر (۳۰×۱۰۰) گردد. به همین ترتیب R_{shc} را در رنج ۱K×، طوری محاسبه می‌نمایند که حاصل $K'\|R_{shc}$ برابر (۳۰×۱K) گردد و الی آخر.

در رنج‌های ۱۰۰× و ۱K×، معمولاً مقدار R_{sh} بزرگ می‌شود و زمانی که با K' موازی می‌شود حاصل آن یعنی مقدار $K(K=K'\|R_{sh})$ با تغییرات K' (در حقیقت تغییر R_v برای جبران

ولتاژ باتری) اندکی تغییر می‌کند. بنابراین درجه‌بندی باید تابع K' باشد. یکی از راه‌های عملی برای جلوگیری از تغییرات K' بر روی K، استفاده از مدار شکل ۳۴ـ۳ است.

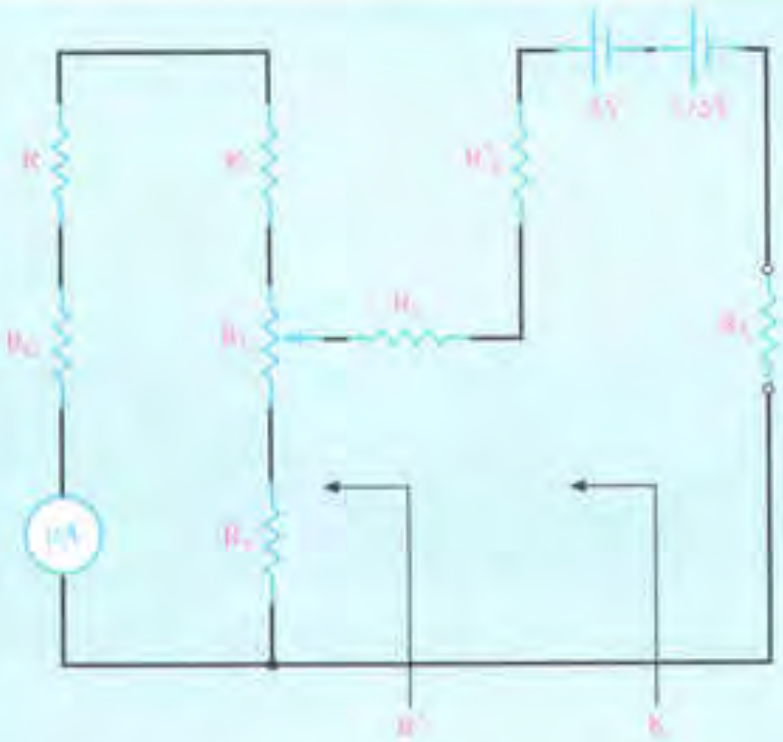
مطالعه‌ی آزاد

مدار شکل ۳۴ـ۳ یک مدار عملی اهم‌متر است و امروزه در تمامی اهم‌مترهایی که ساخته می‌شوند به‌کار می‌رود. در مدار شکل ۳۴ـ۳ مقاومت R_5 یک مقاومت نسبتاً بزرگ (۵۰ـ۳۰ کیلواهم) می‌باشد. مقاومت‌های R_1 و R_2 را طوری تعیین می‌کنند که با تغییر R_5 (برای جبران تغییرات ولتاژ باتری) در دو سر A و C (در شکل ۳۴ـ۳) حداقل تغییرات را داشته باشیم (به‌عنوان مثال اگر R_5، ۳ کیلواهم تغییر کند مقاومت معادل بین A و C فقط ۵۰۰Ω تغییر می‌کند). این تغییرات با یک مقاومت بزرگ (R_4) سری شده در دو نقطه‌ی C و B نسبت تغییرات به مقدار مقاومت دیده شده، بسیار بسیار کم می‌گردد و بدین‌سان اثرات تغییر R_5 بر روی K از بین می‌رود.



شکل ۳۴ـ۳ـ مدار عملی برای جلوگیری از تغییرات K' بر روی K

برای اندازه‌گیری مقاومت‌های خیلی زیاد، دیگر نمی‌توان از مقاومت‌های شنت استفاده کرد، زیرا هرقدر هم R_{sh} را بزرگ انتخاب کنیم حاصل موازی $K' \| R_{sh}$ به‌هیچ‌وجه بیش‌تر از K' نخواهد شد. لذا با این روش اندازه‌گیری مقاومت‌های بزرگ امکان ندارد.



شکل ۳۵ـ۳ـ روش اندازه‌گیری مقاومت‌های بزرگ با اهم‌متر

در عمل برای اندازه‌گیری مقاومت‌های بزرگ به‌جای R_{sh} که آن را موازی با K' می‌کردیم این بار مقاومت بزرگ R'_s را سری با K' می‌بندیم. شکل ۳۵ـ۲ یک نمونه از این روش را نشان می‌دهد.

وقتی یک مقاومت بزرگ را با K' سری می‌نماییم دیگر باطری قبلی قادر به تأمین جریان گالوانومتر نمی‌باشد. لذا در این حالت منبع دیگری را معمولاً (۹ یا ۱۰/۵ یا ۲۲/۵ ولت) با ولتاژ قبلی (۱/۵ ولت) سری می‌نمایند تا جمع دو منبع، قادر به تأمین جریان گالوانومتر باشد. مقدار K در اهم‌متر (شکل ۳۵ـ۳) از رابطه‌ی ۳۸ـ۳ به‌دست می‌آید:

$$K = R'_s + R_s + R' \qquad (۳ـ۳۸)$$

۲ـ۳ـ دستگاه اندازه‌گیری آهن نرم گردان

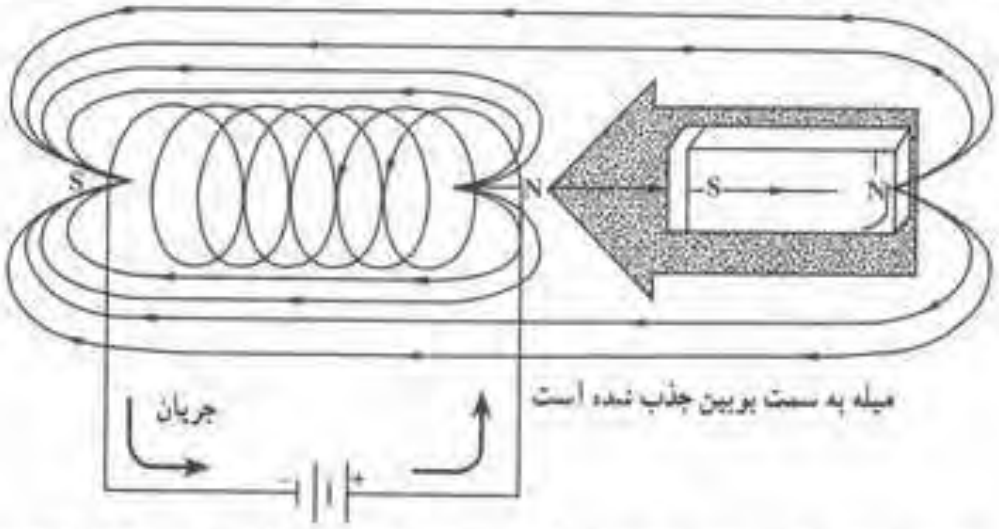
از این دستگاه بیش‌تر برای وسایل اندازه‌گیری تابلویی مانند ولت‌متر و آمپرمتر استفاده می‌شود. درجه‌بندی این نوع دستگاه به‌خودی خود خطی نیست ولی با تغییراتی که در ساختمان آن می‌دهند در محدوده‌ای از رنج اندازه‌گیری آن تقریباً به‌صورت خطی درمی‌آورند. آمپرمتر شکل ۳۶ـ۳ از نوع آهن نرم گردان می‌باشد. به درجه‌بندی آن توجه نمایید.

شکل ۳۶ـ۳ـ یک نمونه آمپرمتر تابلویی

ساختمان ولت‌متر و آمپرمتر آن دقیقاً یکی است فقط در ولت‌متر تعداد دور بوبین آن زیاد و قطر آن کم و در آمپرمتر برعکس یعنی تعداد دور کم و قطر سیم بوبین زیاد است.

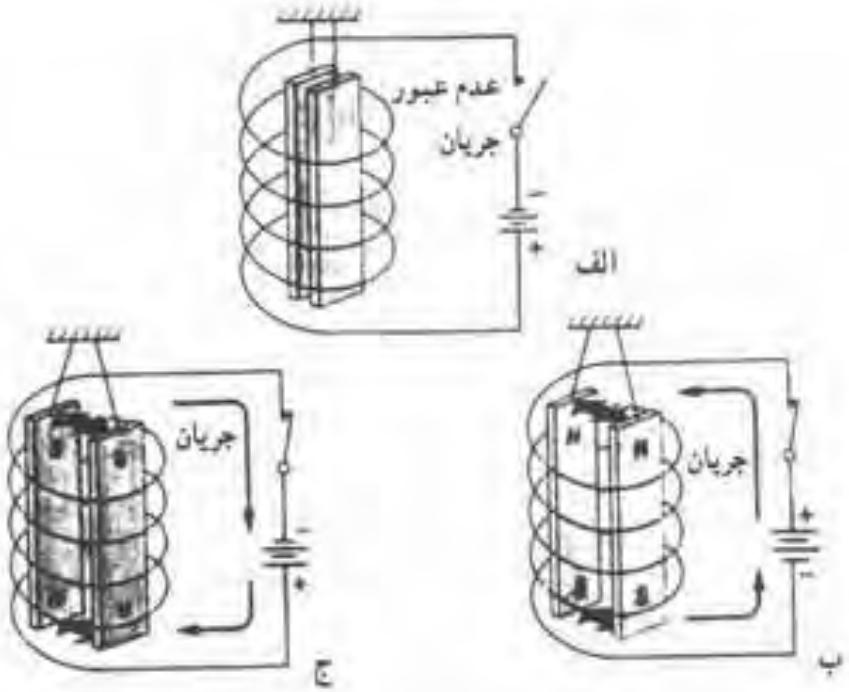
اصول کار این دستگاه اندازه‌گیری بر مبنای جاذبه و دافعه‌ی مغناطیسی است که در زیر به اختصار توضیح داده می‌شود:

۱ـ۲ـ۳ـ جاذبه‌ی الکترومغناطیسی: اگر یک میله‌ی آهنی نرم را در مجاورت یک سلونوئید (سیم‌پیچ) مغناطیسی قرار دهیم، ملاحظه می‌کنیم که میله‌ی آهنی مغناطیس شده و خطوط نیروی مغناطیسی در آن با خطوط مغناطیسی ناشی از سلونوئید هم‌جهت‌اند. بنابراین قطب‌های سلونوئید و میله‌ی آهنی که در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند ناهمنام خواهند بود. از آن‌جایی که قطب‌های مخالف یکدیگر را جذب می‌کنند، میله‌ی آهنی به‌طرف سلونوئید کشیده می‌شود. این پدیده اساس تشکیل دستگاه اندازه‌گیری با آهن گردان را به‌وجود می‌آورد که بعداً توضیح داده خواهد شد (شکل ۳۷ـ۳).



شکل ۳۷ـ۳ـ از آن‌جایی که قطب‌های ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند، میله‌ی آهنی که در شکل با بلاریته نشان داده شده است مغناطیس شده و توسط سیم‌پیچ جذب می‌شود.

۲ــ۲ــ۳ــ دافعه‌ی الکترومغناطیسی: حال اگر دو صفحه‌ی آهنی نرم را در داخل یک سیم‌پیچ (سلونوئید) در مقابل یکدیگر قرار دهیم چه اتفاقی می‌افتد؟ با توجه به شکل ۳۸ــ۳ الف اگر کلید مدار بسته شود، هر دو صفحه با قطبیت یکسان مغناطیس می‌شوند. به همین علت قطب‌های همنام ایجاد شده و یکدیگر را دفع می‌کنند و درنتیجه دو صفحه از یکدیگر دور می‌شوند. حال اگر جهت جریان در سیم‌پیچ عوض شود چه اتفاقی می‌افتد؟



الف ــ در صورتی که مدار قطع باشد جریان مدار صفر است و هیچ میدان مغناطیسی ایجاد نخواهد شد.
ب ــ در اثر عبور جریان از بوبین هر دو صفحه پلاریته‌ی همنام پیدا می‌کنند و یکدیگر را دفع می‌کنند.
ج ــ اگر جهت جریان را در شکل ب عوض کنیم با توجه به این‌که جای قطب‌های شمال و جنوب عوض می‌شود، باز هم صفحه‌ها یکدیگر را دفع می‌کنند.

شکل ۳۸ــ۳

دستگاه اندازه‌گیری آهن نرم گردان به سه شکل ساخته می‌شود که عبارت‌اند از :

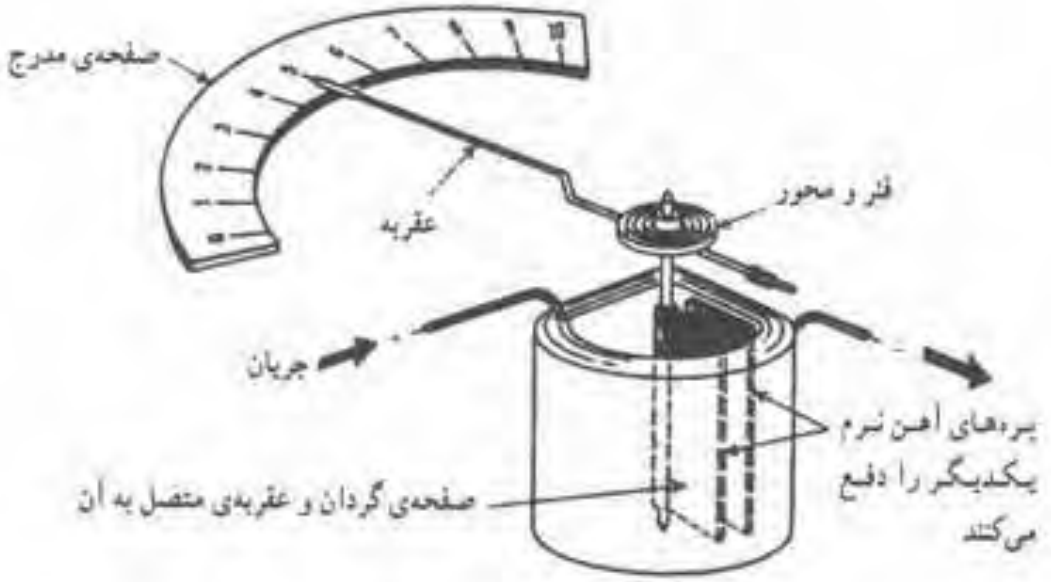
الف ــ با پره‌های شعاعی

ب ــ با پره‌های متمرکز

ج ــ با هسته‌ی متحرک

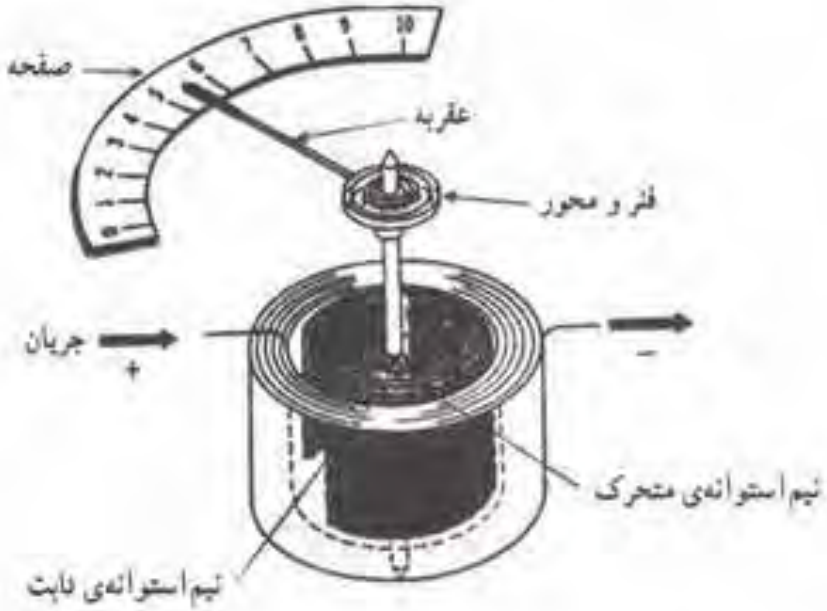
الف ــ دستگاه اندازه‌گیری با پره‌های شعاعی: دستگاه اندازه‌گیری با پره‌های شعاعی

به‌طور ساده از دو ورقه‌ی مستطیلی شکل آهنی به‌نام پره تشکیل شده‌اند که در داخل یک بوبین قرار دارند. یکی از این پره‌ها ثابت و دیگری آزاد است تا بتواند از یک طرف به دور محور دوران کند و یک حرکت متغیر شعاعی انجام دهد. عقربه‌ی دستگاه به پره‌ی دوار متصل است به‌طوری که وقتی که جریان از بوبین می‌گذرد میدان مغناطیسی هم‌جهتی در پره‌ها القا می‌شود و این باعث می‌شود که دو پره یکدیگر را دفع کنند و درنتیجه پره‌ی متحرک با عقربه‌اش مسافتی متناسب با شدت جریان دوران کند (شکل ۳۹ـ۳).



شکل ۳۹ـ۳ـ در این نوع دستگاه‌های اندازه‌گیری مقدار تعیین شده، توسط عقربه بستگی به شدت دافعه‌ی مغناطیسی بین دو صفحه دارد و این شدت دافعه‌ی مغناطیسی خود بستگی به جریانی دارد که از داخل بوبین عبور می‌کند.

پ ـ دستگاه اندازه‌گیری با پره‌های متمرکز (بوبین گرد): این دستگاه نیز مشابه دستگاه اندازه‌گیری با پره‌های شعاعی کار می‌کند، و تنها تفاوت بین آن‌ها شکل پره‌ها و وضعیت آن‌ها نسبت به یکدیگر است. پره‌ها در این نوع دستگاه‌های اندازه‌گیری به‌صورت نیم‌استوانه هستند که یک پره به موازات پره‌ی دیگر و حول یک محور مشترک و طوری در داخل بوبین استوانه‌ای قرار گرفته‌اند که با عبور جریان از بوبین پره‌ی مرکزی (متحرک) حول محور خود نسبت به پره‌ی ثابت شروع به حرکت می‌کند و درنتیجه عقربه‌ی دستگاه را همراه خود در طول صفحه‌ی مدرج جابه‌جا می‌کند. مقدار این جابه‌جایی بستگی به جریان بوبین خواهد داشت (شکل ۴۰ـ۳).

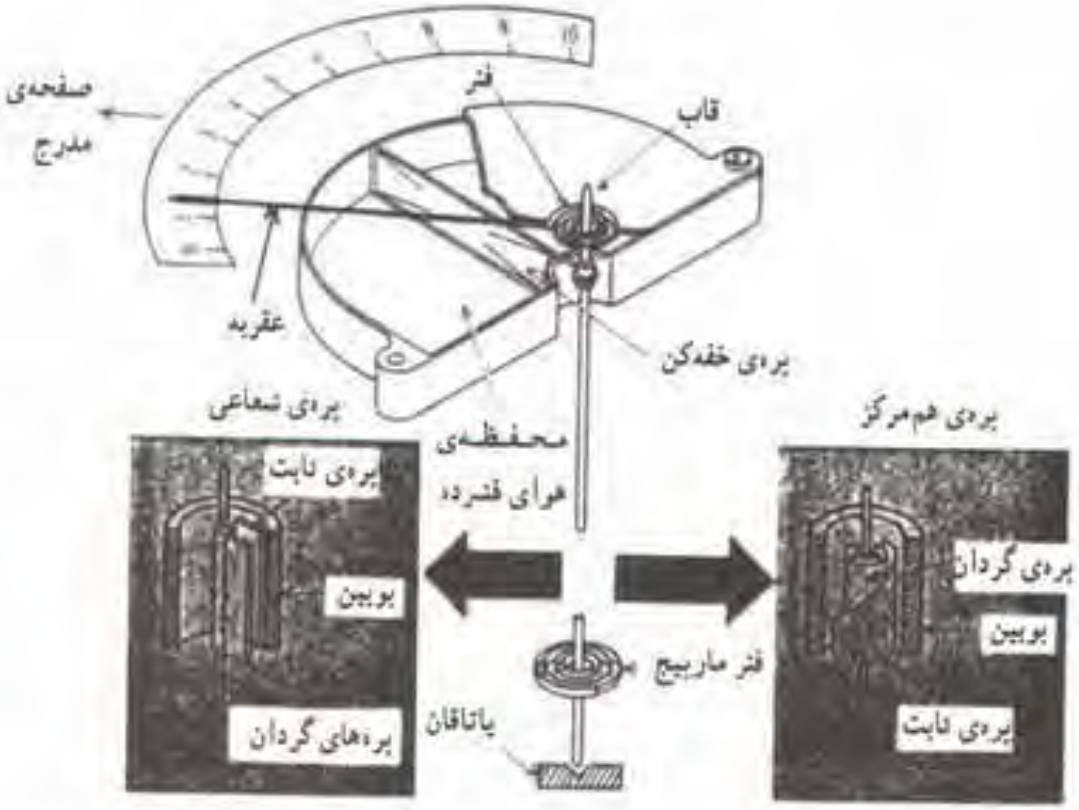


شکل ۴۰ـ۳ـ دافعه‌ی مغناطیسی بین دو نیم‌استوانه باعث می‌شود که نیم‌استوانه‌ی داخلی (متحرک) حول محور خود در داخل بوبین نسبت به نیم‌استوانه ساکن حرکت کند و توسط عقربه، مقدار موردنظر را روی صفحه‌ی دستگاه نشان دهد.

معمولاً پره‌ی ثابت این نوع دستگاه‌ها را از یک طرف به شکل شیب‌دار می‌سازند تا هنگامی که جریان از بوبین می‌گذرد خطوط قوایی که دو پره را قطع می‌کنند به‌طور یکسان نباشند؛ بنابراین در پره‌ی متحرک خطوط قوا به‌صورت یک‌نواخت توزیع می‌شوند، چرا که ابعاد آن یکسان است، اما در پره‌ی ثابت به‌دلیل یکسان نبودن ابعاد، این خطوط یک‌نواخت نیستند و از لبه‌ی مخروطی، خطوط قوای کم‌تری عبور خواهد کرد؛ زیرا در این قسمت مقاومت مغناطیسی (رلاکتانس) بیش‌تری وجود دارد (شکل ۴۱ـ۳).

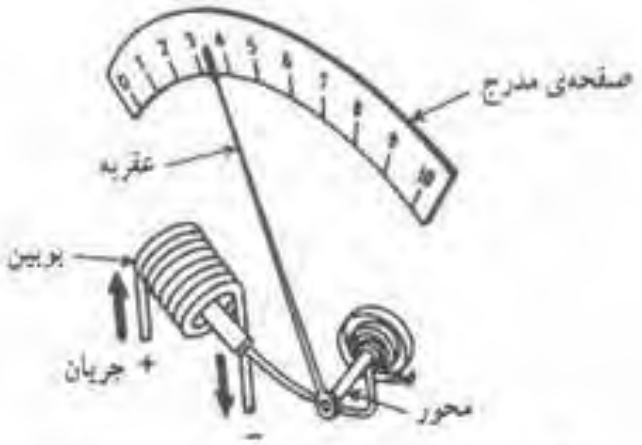
شکل ۴۱ـ۳ـ پره‌ی ثابت از یک شیب برخوردار است تا یک میدان غیر یک‌نواخت بین دو پره به‌وجود آورد.

دستگاه‌های اندازه‌گیری با آهن گردان (پره‌ای و شعاعی) دارای قسمت‌های مشابه‌اند که در شکل ۴۲ـ۳ نشان داده شده است.



شکل ۴۲ـ۳ـ قطعات اصلی دستگاه اندازه‌گیری آهن گردان (پره‌ای و شعاعی) مانند دستگاه با بوبین متحرک، از خفه‌کن بادی، پیچ تنظیم صفر و فنر تشکیل می‌شود.

ج ـ دستگاه اندازه‌گیری با هسته‌ی متحرک: این نوع دستگاه اندازه‌گیری از یک هسته‌ی آهنی متحرک که قسمتی از آن در داخل یک بوبین ثابت قرار گرفته ساخته شده است. این هسته، به یک بازوی محوری متصل است که توسط آن به داخل و خارج بوبین حرکت می‌کند. عقربه‌ای نیز به محور چنان متصل است که با هسته‌ی متحرک حرکت می‌کند. هنگامی که جریان از بوبین می‌گذرد، میدان مغناطیسی‌ای در بوبین ایجاد می‌شود و همان‌طوری که قبلاً گفتیم، این میدان باعث می‌شود که هسته‌ی مغناطیسی شده به‌طرف داخل بوبین کشیده شود. مقدار مسافتی که این هسته به داخل بوبین حرکت می‌کند، به مقدار جریانی که از بوبین می‌گذرد نیز بستگی دارد. از آن‌جایی که عقربه به محور هسته متصل است مقدار حرکت آن بر صفحه‌ی مدرج مقدار موردنظر را نشان خواهد داد (شکل ۴۳ـ۳).



شکل ۴۳ـ۳ـ دستگاه اندازه‌گیری با هسته‌ی متحرک

این نوع دستگاه اندازه‌گیری اولین اختراعی بود که در زمینه‌ی دستگاه‌های اندازه‌گیری با آهن متحرک ساخته شد که بعداً به‌صورت کامل‌تر ساخته شد و مورد استفاده قرار گرفت.

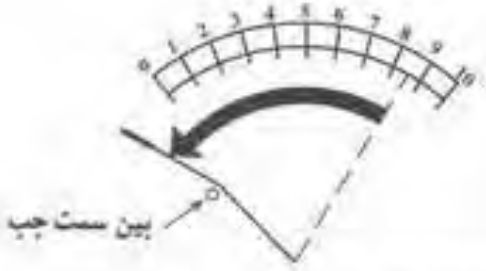
۳ـ۲ـ۳ـ خفه‌کن‌ها (Dampers): همان‌طوری که قبلاً دیدید تمام قسمت‌های دوار دستگاه‌های اندازه‌گیری تا حد امکان سبک ساخته می‌شوند. بخصوص عقربه‌ی دستگاه که هرچه سبک‌تر باشد نسبت به عبور جریان حساس‌تر خواهد بود. اما در مقابل این حساسیت نسبتاً زیاد، در موقع عبور جریان مشکلی بروز خواهد کرد که عبارت است از عدم تثبیت عقربه در موقع اندازه‌گیری؛ زیرا هنگامی که دستگاه اندازه‌گیری در مدار قرار می‌گیرد، عقربه باید فوراً در طول صفحه حرکت کند و در مقابل عدد صحیح متوقف شود. حال این که به سبب اصطکاک خیلی کم، قسمت‌های دوار بلافاصله متوقف نمی‌شوند و به علت نیروی وزن در حال سکون (اینرسی) و سپس کشش فنر عقربه تا مدتی روی مقدار موردنظر نوسان می‌کند که این خود باعث بروز اشکال خواهد شد (شکل ۴۴ـ۳).

شکل ۴۴ـ۳ـ عقربه، قبل از این‌که مقدار صحیح را نشان دهد چندین بار در طول آن نوسان می‌کند.

برای برطرف کردن این مشکل از وسایلی استفاده می‌شود که در اصطلاح «خفه‌کن» یا نوسان‌گیر خوانده می‌شوند. عملکرد این وسایل طوری است که به‌صورت ترمزی عمل کرده و اجسام دوار را

بدون کوچک‌ترین لرزشی در جایگاه درست خود ثابت می‌کند.

یکی دیگر از عملکردهای خفه‌کن این است که هنگام برگشت عقربه به سمت صفر، حرکت بازگشت آن را طوری تنظیم می‌کند تا با پین سمت چپ به شدت برخورد نکند، در غیر این صورت عقربه کج می‌شود و یا احتمالاً می‌شکند (شکل ۴۵ـ۳).



شکل ۴۵ـ۳ـ پس از قطع جریان ممکن است
عقربه آن‌قدر سریع به سمت صفر حرکت کند که
باعث برخورد خود با پین سمت چپ گردد.

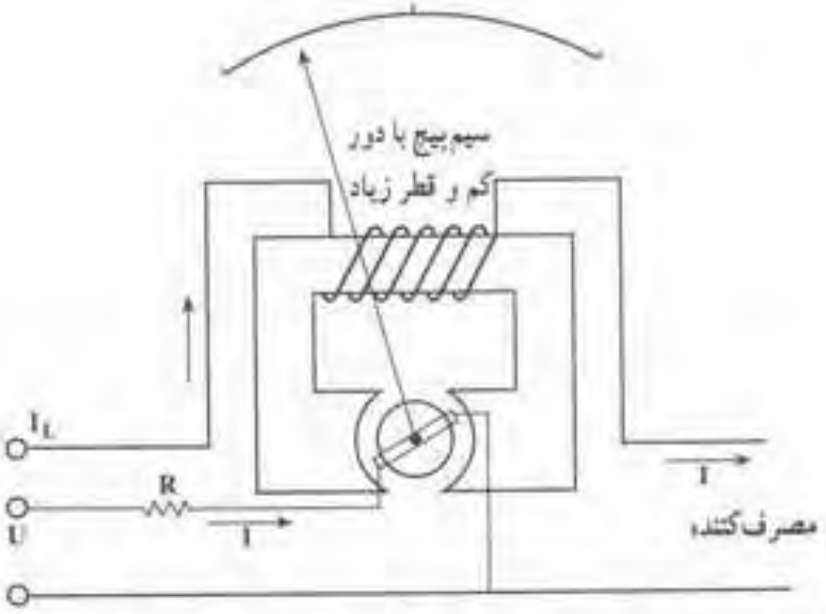
ساختمان این نوع خفه‌کن از یک پره‌ی متحرک و یک اتاقک بسته (شکل ۴۶ـ۳) تشکیل شده است، به‌طوری که محفظه‌ی مسدود در محلی ثابت شده و پره بر روی محور دستگاه قرار گرفته

شکل ۴۶ـ۳ـ حرکت محور باعث گردش عقربه و پره می‌شود. به‌تدریج که هوا در قسمت جلوی محفظه فشرده می‌شود عقربه با مانع برخورد می‌کند. این موضوع باعث کند شدن عقربه و درنتیجه کاهش نوسانات می‌شود.

است؛ در اثر حرکت و یا چرخش محور پره ثابت می‌شود و در داخل اتاقک حرکت می‌کند به‌طوری که هوای جلوی پره فشرده می‌شود و از سوراخ کوچکی که در دو سمت اتاقک قرار دارد به آرامی تخلیه و یا مکیده می‌شود. این عمل، از حرکات اضافی عقربه جلوگیری می‌کند و عقربه فوراً در جایگاه خود ثابت می‌ایستد.

۳ـ۳ـ ساختمان داخلی وات‌متر

ساختمان وات‌متر، شبیه گالوانومتر دآرسونوال می‌باشد، تنها اختلاف آن‌ها در آهن‌ربای دائمی است. اگر به‌جای آهن‌ربای دائمی در گالوانومتر دآرسونوال، یک سیم‌پیچ قرار دهیم، گالوانومتر دآرسونوال تبدیل به وات‌متر خواهد شد. بنابراین در این‌جا از ذکر جزئیات دستگاه خودداری می‌کنیم زیرا در قسمت اول این فصل آن را به‌طور مفصل مورد بحث قرار دادیم. ساختمان داخلی وات‌متر مطابق شکل ۴۷ـ۳ است.



شکل ۴۷ـ۳ـ ساختمان داخلی وات‌متر. ساختمان وات‌متر همان ساختمان گالوانومتر دآرسونوال است که فقط به‌جای آهن‌ربای دائمی، یک سیم‌پیچ با دور کم و قطر زیاد قرار گرفته است.

حرکت عقربه، در شکل ۴۷ـ۳، نشان‌دهنده‌ی مقدار توان مصرفی مصرف‌کننده‌ها می‌باشد. زیرا داریم:

مطالعه‌ی آزاد

با توجه به گالوانومتر دآرسونوال داشتیم $T_e = N.B.A.I$

I از روی شکل ۴۷ـ۳ برابر $\frac{U}{R}$ می‌باشد.

B اندوکسیون مغناطیسی

در وات‌متر به‌ازای عبور جریان مصرف‌کننده‌ی B (اندوکسیون مغناطیسی) به‌وجود می‌آید بنابراین مقدار آن متناسب با I_L می‌باشد.

$$T_e = N.(K_1.I_L).A.(\frac{U}{R}) \qquad (۳_۳۹)$$

$$T_e = \frac{N.K_1.A}{R}.I_L.U = K_2.I_L.U \qquad (۳_۴۰)$$

زمانی عقربه از حرکت می‌ایستد که : $T_e = S.\theta$ شود، لذا داریم :

$$K_2.I_L.U = S.\theta \qquad (۳_۴۱)$$

$$\theta = \frac{K_2}{S}.I_L.U = K I_L.U \qquad (۳_۴۲)$$

همان‌طور که رابطه‌ی ۴۲ـ۳ نشان می‌دهد، حرکت عقربه متناسب است با حاصل‌ضرب جریان، ضرب‌در ولتاژ ؛ یعنی حرکت عقربه متناسب با توان مصرف‌کننده است. اگر ولتاژ و جریان سینوسی بوده و با هم اختلاف فاز φ داشته باشند، حرکت عقربه متناسب با رابطه‌ی ۴۳ـ۳ می‌باشد.

$$\theta = K.U_L.I_L.\cos\varphi \qquad (۳_۴۳)$$

همان‌طور که از شکل ۴۷ـ۳ مشخّص است، وات‌متر دارای دو سیم‌پیچ است. یک سیم‌پیچ با دور کم و قطر زیاد که با جریان مصرف‌کننده به‌صورت سری و سیم‌پیچ گالوانومتر همراه با یک مقاومت به‌صورت موازی با بار قرار می‌گیرد. در روی صفحه‌ی جلویی وات‌متر، ترمینال سیم‌پیچ جریان را با حرف I و ترمینال سیم‌پیچ ولتاژ را با حرف U مشخّص می‌نمایند.

۴ـ۳ـ آوومتر دیجیتالی

دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتالی مقادیر اندازه‌گیری شده را به‌صورت رقم یا ارقام روی صفحه‌ی نمایش (Display) نشان می‌دهند و معمولاً واحد کمیت اندازه‌گیری شده مانند ولت، آمپر، میلی‌آمپر، درجه‌ی سانتی‌گراد و غیره را نیز به طریق مناسبی نمایش می‌دهند.

از جمله دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتالی می‌توان به ولت‌متر، آمپرمتر، وات‌متر ـ $\cos\varphi$ متر، فرکانس‌متر، دورشمارها، حرارت‌سنج و آوومتر اشاره نمود.

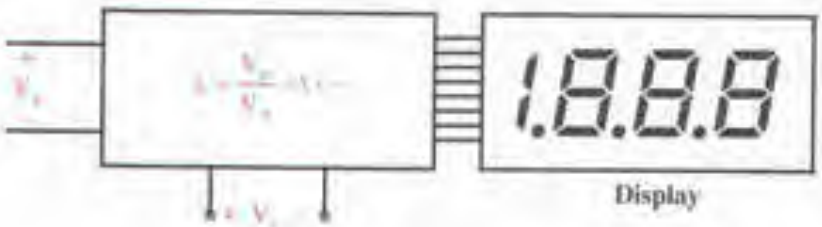
دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتالی به‌دلیل نداشتن قطعات متحرک، از طول عمر بسیار بالایی (در صورت بکار بردن صحیح آن‌ها) برخوردار هستند و به عوامل فیزیکی همچون لرزش، درصدرطوبت، میزان تمیزی هوا و... حساس نیستند ضمن آن‌که با پیشرفت تکنولوژی الکترونیک دستگاه‌های ساخته شده‌ی امروزی بسیار دقیق‌تر هستند علاوه بر این بعضی از این دستگاه‌ها را

می‌توان به کامپیوتر متصل کرد. به‌طوری که کامپیوتر مقدار کمیتی را که دستگاه روی صفحه نمایش می‌دهد ضمن نشان دادن ــ در صورت نیاز آن را در فواصل زمانی معینی که تنظیم می‌کنیم ــ ثبت می‌کند. از دیگر مزایای اندازه‌گیری یک کمیت توسط سیستم دیجیتالی این است که وقتی مقدار این کمیت به کامپیوتر منتقل می‌گردد کامپیوتر می‌تواند در مورد مقدار این کمیت تصمیم‌گیری لازم را اتخاذ نماید مثلاً اگر مقدار آن کم‌تر از حدی است که قبلاً تنظیم شده است کامپیوتر می‌تواند فرمان خاصی را برای این منظور صادر نماید. شکل ۴۸ـ۳ دو نمونه آوومتر دیجیتالی را نشان می‌دهد.

شکل ۴۸ـ۳ـ دو نمونه آوومتر دیجیتالی

قسمت اصلی یک آوومتر دیجیتالی ولت‌متر DC است، و این همانند آوومتر عقربه‌ای (آنالوگ) است چنان‌که می‌دانید، قسمت اصلی آن گالوانومتر دآرسونوال می‌باشد. اساس کار یک ولت‌متر DC دیجیتالی بر مبنای مقایسه است یعنی ولتاژ اعمال شده به ولت‌متر، با یک ولتاژ مرجع (معمولاً ۱۰۰ میلی‌ولت و در بعضی از آوومترها در رنج AC یک ولت) مقایسه می‌شود و نتیجه‌ی مقایسه به کمک مدارات الکترونیکی و دیجیتالی به‌صورت ارقام که مبین مقدار ولتاژ DC اعمالی به ولت‌متر است روی صفحه‌ی نمایش آن ظاهر می‌گردد.

یک ولت‌متر DC دیجیتالی را به‌صورت شکل ۴۹ـ۳ می‌توان نشان داد.

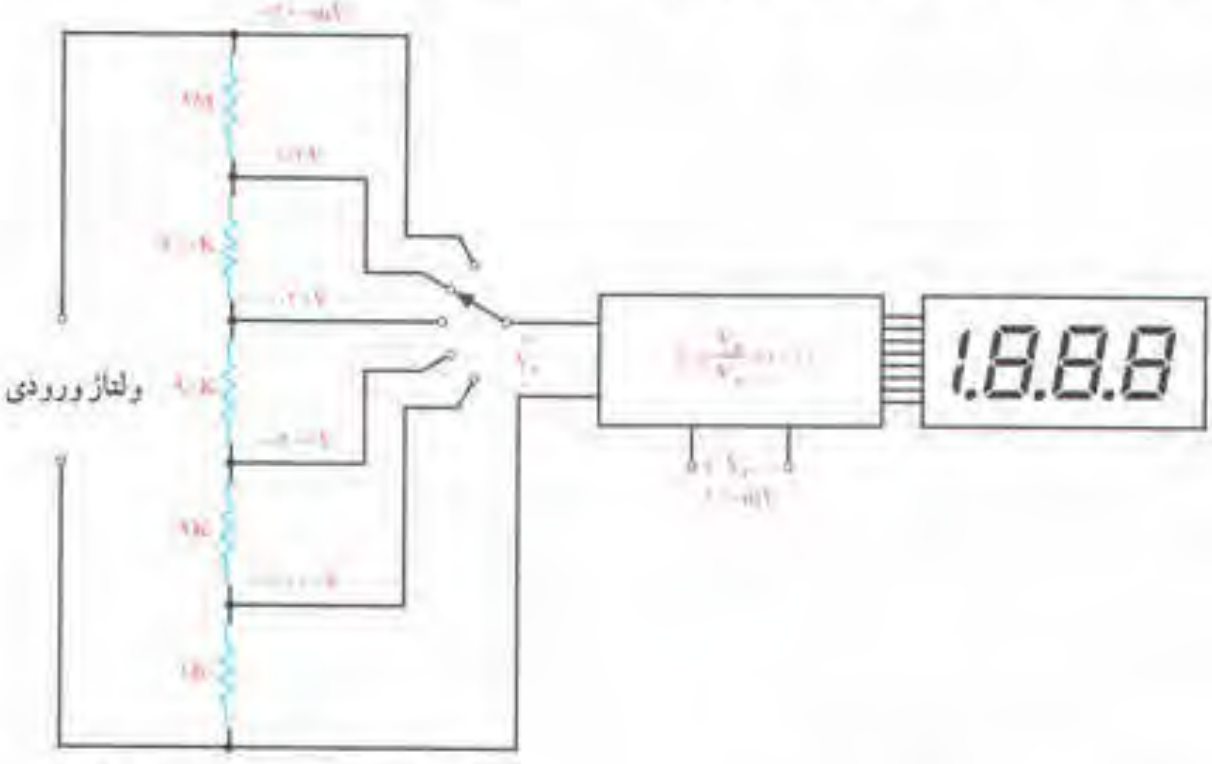


شکل ۴۹ـ۳ـ بلوک دیاگرام ساده‌ی یک ولت‌متر دیجیتالی

در بلوک دیاگرام شکل ۴۹ـ۳، V_a ولتاژ ورودی برای اندازه‌گیری است و V_r ولتاژ مرجع است که معمولاً مقدار آن را برابر ۱۰۰mV درنظر می‌گیرند. λ مقدار نمایش اعداد روی صفحه‌ی نمایش (Display) می‌باشد. با $V_r = ۱۰۰mV$ ، مقدار شمارش برابر :

$$\lambda = \frac{V_a}{V_r} \times ۱۰۰۰ = \frac{V_a}{۱۰۰mV} \times ۱۰۰۰ = ۱۰V_a(mV) \qquad (۳_۴۴)$$

چون حداکثر نمایش ارقام ۱۹۹۹ می‌باشد لذا V_a حداکثر می‌تواند ۱۹۹/۹ میلی‌ولت باشد. در حقیقت با ولت‌متر فوق می‌توان ولتاژ از صفر تا ۱۹۹/۹ میلی‌ولت را اندازه گرفت. اکثر ولت‌مترهای دیجیتالی برای اندازه‌گیری ولتاژ از صفر تا ۱۹۹/۹ میلی‌ولت ساخته می‌شوند. برای اندازه‌گیری ولتاژهای بیش‌تر از ۱۹۹/۹ میلی‌ولت، ولتاژ را در یک یا چند مقاومت اهمی افت می‌دهند شکل ۵۰ـ۳ یک نمونه‌ی عملی ولت‌متر مولتی‌رنج (Multirange) را نشان می‌دهد.



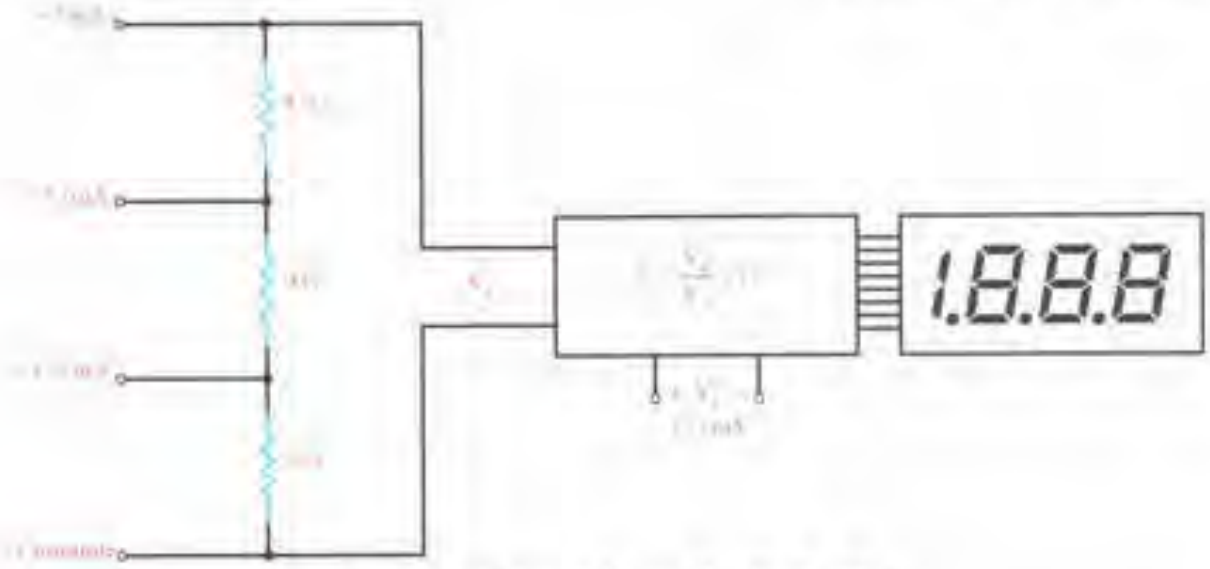
شکل ۵۰ـ۳ـ ولت‌متر دیجیتالی مولتی‌رنج

امپدانس ورودی این ولت‌متر در تمامی رنج‌ها ثابت و برابر ۱۰MΩ است.

امروزه اکثر ولت‌مترهای دیجیتالی دارای رنج اتوماتیک (Auto Range) هستند. رنج اتوماتیک به این صورت است که بعد از اعمال ولتاژ DC به ولت‌متر، ولت‌متر ابتدا به‌طور اتوماتیک رنج اول را انتخاب می‌کند. چنانچه ولتاژ مورد اندازه‌گیری در این رنج بود مقدار آن را نشان می‌دهد. چنانچه مقدار ولتاژ مورد اندازه‌گیری در این رنج نبود، ولت‌متر به‌صورت اتوماتیک، یک رنج بالاتر را انتخاب می‌کند و چنانچه ولتاژ مورد اندازه‌گیری در این رنج بود، مقدار آن را اندازه می‌گیرد و اگر نبود مجدداً رنج بالاتر را انتخاب می‌کند تا این‌که مقدار ولتاژ مورد اندازه‌گیری در رنج مورد انتخاب ولت‌متر باشد.

چنان‌چه ولتاژ مورد اندازه‌گیری AC باشد بعد از کلید سلکتور و قبل از ورودی ولت‌متر، یک یکسوکننده همراه با یک فیلتر قرار می‌گیرد تا ابتدا برق AC را تبدیل به DC نموده سپس به ولت‌متر اعمال کند. برای اندازه‌گیری جریان‌های DC، ابتدا جریان موردنظر را از یک مقاومت اهمی عبور می‌دهند و سپس افت ولتاژ دو سر آن را اندازه می‌گیرند. شکل ۵۱ــ۳ یک نمونه آمپرمتر را که در عمل ساخته می‌شود نشان می‌دهد.

آمپرمترهای دیجیتالی معمولاً به‌صورت رنج اتوماتیک نیستند، بلکه با کلید سلکتور باید رنج مناسب را انتخاب نمود. درضمن چنان‌چه جریان مورد اندازه‌گیری AC باشد، بعد از کلید سلکتور توسط یک‌سوکننده‌های الکترونیکی، ولتاژ افت داده شده در دو سر مقاومت‌ها ابتدا یک‌سو شده و سپس به ولت‌متر اعمال می‌شود.



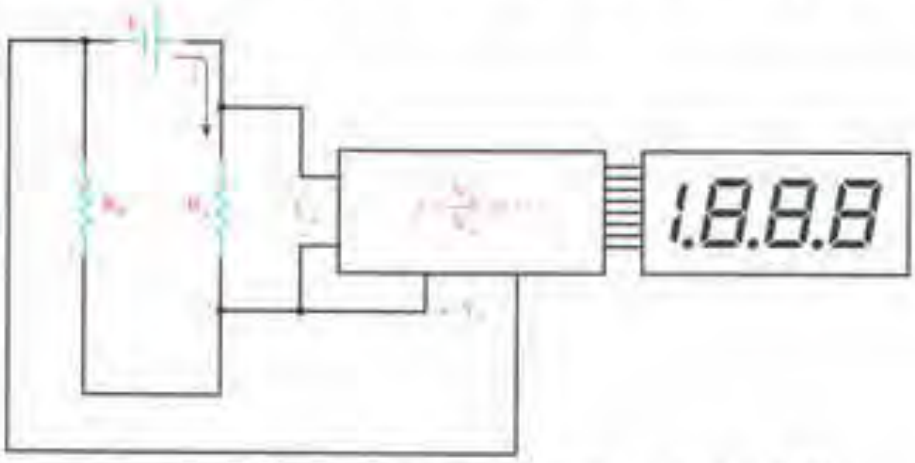
شکل ۵۱ــ۳ــ یک نمونه آمپرمتر مولتی‌رنج دیجیتالی

برای اندازه‌گیری مقاومت اهمی، ابتدا یک جریان از مقاومت مجهول (R_x) و یک جریان از مقاومت معلوم (R_s) عبور می‌کند، سپس ولتاژ دو سر مقاومت مجهول ($R_x.i$) به ورودی ولت‌متر

دیجیتالی (V_x) و ولتاژ دو سر مقاومت معلوم ($R_s.i$) به ترمینال ولتاژ مرجع اعمال می‌شود. براساس رابطه‌ی ۴۴ـ۳، مقدار شمارش، متناسب با مقاومت مجهول می‌باشد.

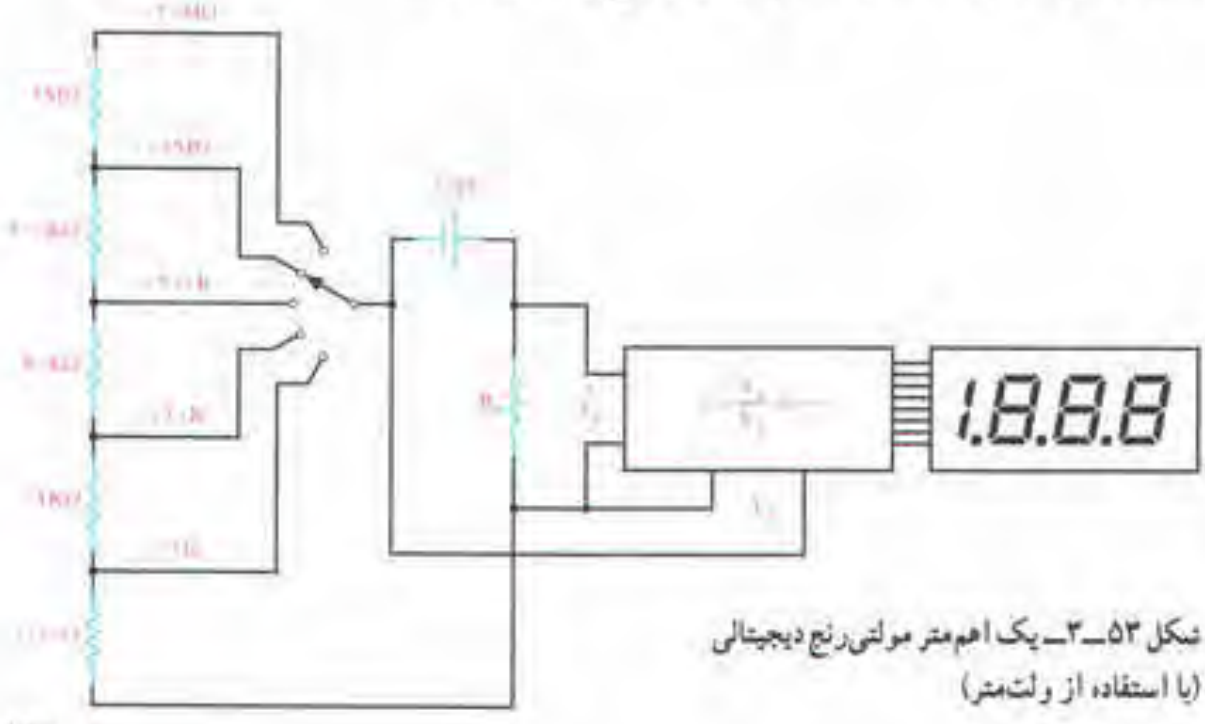
$$\lambda = \frac{V_x}{V_r} \times ۱۰۰۰ = \frac{R_x.i}{R_s.i} \times ۱۰۰۰ \qquad (۳_۴۵)$$

مدار اندازه‌گیری مقاومت اهمی مطابق شکل ۵۲ـ۳ می‌باشد.



شکل ۵۲ـ۳ـ نحوه‌ی اندازه‌گیری مقاومت اهمی به کمک ولت‌متر دیجیتال

بنابر رابطه‌ی ۴۵ـ۳، اگر $R_s = ۱۰۰\Omega$ باشد مقدار λ برابر $۱۰R_x$ می‌شود. از طرفی ماکزیمم λ برابر ۱۹۹۹ است لذا ولت‌متر می‌تواند مقدار (R_x) صفر تا $۱۹۹/۹\Omega$ را با $R_s = ۱۰۰\Omega$ اندازه بگیرد. اگر به‌جای یک مقاومت R_x، از چندین مقاومت استفاده نماییم می‌توانیم یک اهم‌متر مولتی‌رنج داشته باشیم. شکل ۵۳ـ۳ یک اهم‌متر مولتی‌رنج را نشان می‌دهد.



شکل ۵۳ـ۳ـ یک اهم‌متر مولتی‌رنج دیجیتالی
(با استفاده از ولت‌متر)

در یک آوومتر دیجیتالی، اگر ولت‌متر آن دارای رنج اتوماتیک باشد (Auto Range) اهم‌متر آن نیز قطعاً اتورنج خواهد بود.

اکثر آوومترهای دیجیتالی، دارای رنج اتوماتیک، مجهز به کلیدی هستند که هرگاه بخواهیم می‌توانیم آوومتر را از رنج اتوماتیک خارج می‌نماییم و آن را به‌صورت دستی درمی‌آوریم.

حال که مختصری با اصول کار آوومتر دیجیتالی آشنا شدیم، در ذیل، پانل یک آوومتر دیجیتالی تشریح می‌شود تا بتوانیم صحیح‌تر از این دستگاه استفاده نماییم.

در شکل ۵۴ـ۳، یک نمونه آوومتر دیجیتالی آمده است که دکمه‌های پانل آن تشریح شده‌اند.

شکل ۵۴ـ۳ـ یک نمونه آوومتر دیجیتالی

① کلید انتخاب نوع جریان یا ولتاژ (DC یا AC)؛ آوومتر را که روشن می‌کنیم، این کلید خودبه خود در حالت DC قرار می‌گیرد. حال برای اندازه‌گیری جریان یا ولتاژ AC کافی است این کلید را یک‌بار فشار دهیم، روی صفحه‌ی نمایش (Display) حروف AC ظاهر می‌شود که بیانگر آماده بودن آوومتر برای اندازه‌گیری جریان و یا ولتاژ AC است.

② کلید HOLD که برای ضبط کردن مقادیر خوانده شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعد از اندازه گرفتن مقادیر، اگر این دکمه را فشار دهیم، مقدار اندازه‌گیری شده روی صفحه‌ی نمایش ثابت می‌ماند. لازم به یادآوری است که تا زمانی که مقدار اندازه‌گیری شده با دوباره فشار دادن این دکمه پاک نشده است مقدار جدیدی را نمی‌توان اندازه گرفت. همچنین تا زمانی که اطلاعات ثابت نگه‌داشته شده است، لغت HOLD روی صفحه‌ی نمایش نمایان است.

③ کلید سلکتور؛ اگر این کلید روی Off باشد، کلاً آوومتر خاموش است و اگر روی V قرار گیرد، فقط قسمت ولت‌متر آن فعال است و می‌تواند ولتاژ DC یا AC را اندازه بگیرد. اگر کلید روی Ω قرار بگیرد، فقط قسمت اهم‌متر آوومتر فعال خواهد بود و اگر روی علامت ⊣⊢ قرار گیرد، در دو سر ترمینال مشترک و ترمینال ⊣⊢ حدود ۱۵۰۰mV (که مقدار دقیق آن روی صفحه‌ی نمایش نشان داده می‌شود) ولتاژ برقرار می‌شود. حال اگر دو ترمینال ⊣⊢ و مشترک را به هم اتصال کوتاه کنیم، بوق آوومتر صدا می‌دهد. بنابراین یکی از کاربردهای ⊣⊢ می‌تواند نشان دادن اتصال دو نقطه به یکدیگر باشد (نشان‌دهنده‌ی حالت پیوستگی). کاربرد دیگر آن، تست دیودهاست. چنان‌چه آند دیود را به ترمینال ⊣⊢ و کاتد آن را به ترمینال Com وصل کنیم، در صورت سالم بودن دیود، اگر جنس آن از سیلیکون باشد صفحه‌ی نمایش ولتاژی حدود ۵۰۰mV را نشان می‌دهد و چنانچه دیود از جنس ژرمانیوم باشد، حدود ۱۸۰mV روی صفحه نمایش نشان داده می‌شود. اگر قطب‌های دیود را نسبت به حالت فوق معکوس کنیم، آوومتر هیچ‌گونه واکنشی از خود نشان نمی‌دهد (به شرط سالم بودن دیود). اگر دیود سوخته باشد، دستگاه حالت اتصال کوتاه را نشان می‌دهد. به‌طور کلی اگر کلید سلکتور در حالت ⊣⊢ باشد و دو سر سیم‌های رابط به هر عنصری که متصل باشد عدد نشان‌دهنده روی صفحه‌ی نمایش، مقدار ولتاژ دو سر عنصر برحسب میلی‌ولت است. قسمت بعدی کلید سلکتور مربوط به آمپرمتر است. در حالت آمپرمتر، سیستم به‌صورت رنج اتوماتیک (AUTO RANGER) نیست، بلکه به‌صورت دستی است. اگر در هر یک از رنج‌های ۲۰۰μA، ۲۰۰۰μA، ۲۰۰mA و ۲۰۰۰mA، جریانی بیشتر از این اعداد به آوومتر اعمال کنیم، ضمن این‌که آوومتر چیزی را نشان نمی‌دهد بیزر آوومتر به علامت اضافه بار (Over Load) به صدا درمی‌آید. در تمامی رنج‌های فوق، جریان می‌تواند DC و یا AC باشد. و بالاخره ترمینال ۱۰A نیز برای اندازه‌گیری جریان‌های DC و

AC از صفر تا ده آمپر به‌کار می‌رود. **توجه داشته باشید که در حالت A ۱۰ــ۰ حداکثر یک دقیقه مجازید که آمپرمتر را در مدار قرار دهید.**

④ ترمینال مخصوص اندازه‌گیری ولتاژ، چنانچه کمیّت مورد اندازه‌گیری ولتاژ، اعم از DC یا AC باشد، باید از این ترمینال و ترمینال مشترک (Common) استفاده نماییم.

⑤ ترمینال مشترک برای کلیّه‌ی اندازه‌گیری‌ها (ولتاژ ـ جریان ـ مقاومت اهمی و تست اتّصال دو نقطه).

⑥ ترمینال مخصوص اندازه‌گیری مقاومت اهمی، جریان و حالت پیوستگی مدار.

⑦ ترمینال مخصوص اندازه‌گیری جریان A ۱۰ برای جریان‌های DC و AC.

⑧ همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد، اکثر آوومترها دارای سیستم رنج اتوماتیک هستند لکن این امکان را نیز در اختیار مصرف‌کننده می‌گذارند که مصرف‌کننده بتواند به‌صورت دستی نیز رنج را انتخاب نماید. با فشار دادن بر روی این شستی، اهم‌متر و یا ولت‌متر این آوومتر از حالت رنج اتوماتیک خارج شده و به‌صورت دستی قابل انتخاب خواهد بود. لازم به یادآوری است که با هر بار فشار دادن روی این شستی، رنج دستگاه یک پله افزایش می‌یابد.

⑨ این کلید برای تنظیم صفر به‌کار می‌رود؛ به این صورت که قبل از هر اندازه‌گیری ابتدا دو سیم رابط را به هم متّصل می‌نمایند، اگر عددی غیر از صفر روی صفحه‌ی نمایش ظاهر شد این دکمه را فشار می‌دهند تا عدد صفر روی صفحه‌ی نمایش ظاهر گردد.

⑩ این علامت، تشانهٔ متّصل بودن دو نقطه به یکدیگر است. چنانچه مقاومت اهمی دو نقطه زیاد نباشد و دو سیم رابط هنگامی که کلید سلکتور در حالت Ω قرار دارد با یک مقاومت نسبتاً کم به هم متّصل گردند، این علامت روی صفحه‌ی نمایش ظاهر می‌گردد.

⑪ این آوومتر به دو عدد باتری قلمی ۱/۵ ولت نیاز دارد. چنانچه ولتاژ باتری‌ها از مقدار مشخّصی کم‌تر شود، این علامت (BATT) روی صفحه‌ی نمایش ظاهر می‌گردد، در این حالت باید سریعاً باتری‌ها را تعویض کرد.

⑫ اگر کلید ⑨ (تنظیم صفر) را فشار دهیم این علامت روی صفحه‌ی نمایش ظاهر می‌گردد.

⑬ اگر شستی HOLD را برای ضبط مقادیر اندازه‌گیری شده فشار دهیم، این علامت روی صفحه‌ی نمایش ظاهر می‌گردد.

⑭ زمانی که مقاومت اهمی یک مدار را اندازه می‌گیریم، اگر ولتاژ دو سر مقاومت اهمی بیش‌تر از ۸۰ ولت باشد، این لامپ کوچک نئون روشن می‌شود.

⑮ در هنگام اندازه‌گیری ولتاژ DC، اگر قطب مثبت ولتاژ به ترمینال ④ و قطب منفی ولتاژ به ترمینال ⑤ وصل شده باشد، این علامت را روی صفحه‌ی نمایش نداریم ولی اگر قطب‌ها را برعکس کنیم، این علامت به نشانه‌ی مثبت‌تر بودن ولتاژ ترمینال ⑤ نسبت به ④ روی صفحه‌ی نمایش ظاهر می‌شود.

پرسش

۱ـ ساختمان گالوانومتر را به‌طور خلاصه همراه با اجزای تشکیل شده از آن شرح دهید.

۲ـ حساسیت گالوانومتر را تعریف کنید.

۳ـ ساختمان یک ولت‌متر DC را شرح دهید.

۴ـ ساختمان یک ولت‌متر DC چند رنج را شرح دهید.

۵ـ ساختمان ولت‌متر AC را شرح دهید.

۶ـ ساختمان ولت‌متر AC چند رنج را شرح دهید.

۷ـ چگونه با استفاده از گالوانومتر دآرسونوال، آمپرمتر DC می‌سازند؟

۸ـ اثرات انتخاب رنج مناسب در یک آمپرمتر کدام است؟

۹ـ جریان‌های خیلی زیاد را در عمل چگونه اندازه می‌گیرند؟

۱۰ـ ساختمان یک اهم‌متر سری را به‌طور کامل شرح دهید.

۱۱ـ ساختمان و کاربرد دستگاه اندازه‌گیری آهن نرم گردان را شرح دهید.

۱۲ـ نقش خفه‌کن در یک دستگاه اندازه‌گیری چیست؟

۱۳ـ ساختمان یک وات‌متر را به‌طور خلاصه شرح دهید.

۱۴ـ مزایای آوومتر دیجیتالی بر آوومتر عقربه‌ای (آنالوگ) کدام است؟

۱۵ـ بلوک دیاگرام یک آوومتر دیجیتالی را رسم و مختصری راجع به آن توضیح دهید.

۱۶ـ نحوه‌ی اندازه‌گیری انواع کمیت‌ها را (ولتاژ، جریان و مقاومت اهمی) با آوومتر دیجیتالی شرح دهید.

۱۷ـ در شکل ۵۳ـ۳، اگر ولتاژ دو سر R_2 را به V_2 ولتاژ دو سر R_3 را به V_3 وصل کنیم کدام کمیت اندازه‌گیری می‌شود؟

فصل چهارم

آشنایی با اسیلوسکوپ و کاربرد آن

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

ـ ساختمان و قسمت‌های اصلی یک اسیلوسکوپ را به‌طور خلاصه شرح دهد.

ـ نحوه‌ی اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی (دامنه، زمان تناوب، اختلاف فاز و...) را بیان نماید.

ـ مقدار کمیت‌های قابل اندازه‌گیری در صفحه‌ی نمایش اسیلوسکوپ را قرائت نموده و محاسبات لازم را انجام دهد.

ـ منحنی مشخصه‌ی دیود معمولی را با اسیلوسکوپ اندازه‌گیری کند.

ساختمان و طرز کار و کاربرد اسیلوسکوپ

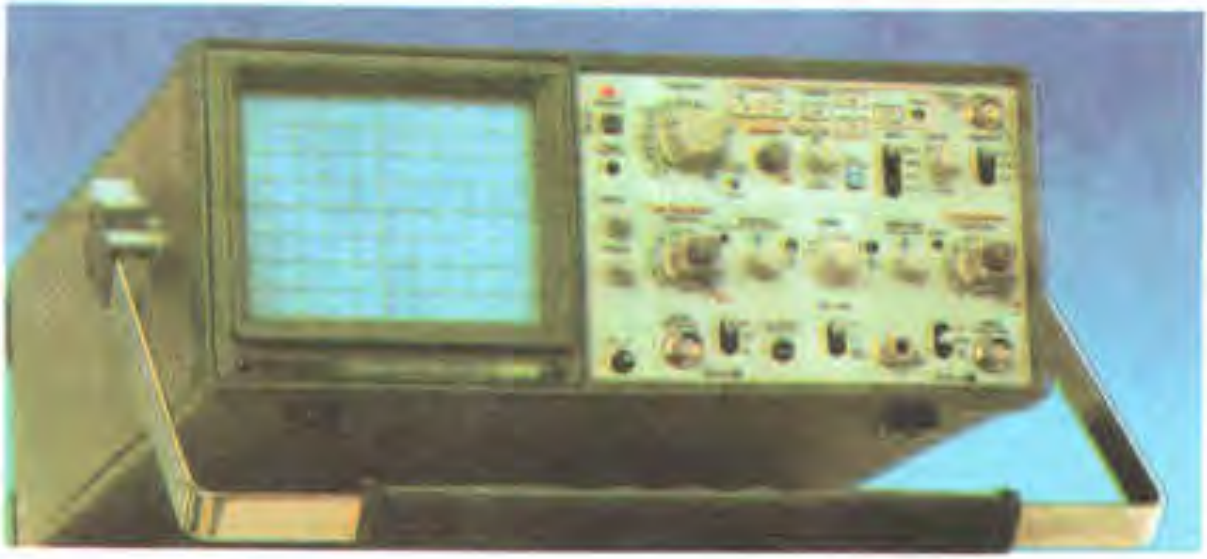
اسیلوسکوپ یک دستگاه اندازه‌گیری است که از آن برای مشاهده‌ی شکل موج‌ها و اندازه‌گیری ولتاژ، زمان تناوب، اختلاف فاز، و همچنین مشخصه‌های ولت ـ آمپرِ عناصر نیمه هادی، مانند

دیودها، ترانزیستورها و ...، استفاده می‌شود.

اسیلوسکوپ یک ولت‌متر بسیار دقیق است که می‌تواند ولتاژهای تا حدود یک هزارم ولت (mV) متناوب را در فرکانس‌های خیلی بالا (حتّی چند صدمگاهرتز) اندازه‌گیری نماید، حال آنکه، ولت‌مترهای ساخته شده‌ی امروزی قادر به اندازه‌گیری ولتاژهای کم در این فرکانس نیستند.

اندازه‌گیری و مشاهده‌ی شکل موج‌ها در اسیلوسکوپ از ولتاژ با فرکانس صفر (DC) شروع و به فرکانس مشخّصی (به خاطر محدودیت پهنای باند تقویت‌کننده‌ها) ختم می‌گردد که معمولاً اسیلوسکوپ را با این فرکانس، مشخّص می‌نماید. مثلاً اسیلوسکوپ ۲۰ مگاهرتز، یعنی اسیلوسکوپی که می‌تواند ولتاژهای DC تا ۲۰MHz را نمایش دهد.

شکل ۱ـ۴ یک نمونه اسیلوسکوپ معمولی را نشان می‌دهد.



شکل ۱ـ۴ـ یک نمونه اسیلوسکوپ معمولی

ساختمان اسیلوسکوپ از دو قسمت اصلی تشکیل شده است:

الف: لامپ اشعه‌ی کاتدیک (CRT)[1]

ب: مدارهای آماده‌سازی لامپ و سیگنال

در زیر توضیح مختصری راجع به هر کدام داده می‌شود.

۱ـ۴ـ لامپ اشعه‌ی کاتدیک

لامپ اشعه‌ی کاتدیک امروزه قسمت اصلی مونیتورهای کامپیوتر، تلویزیون، دستگاه‌های

۱ـ Cathode Ray Tube

کنترل کننده‌ی وضعیت ضربان قلب در پزشکی و ... را تشکیل می‌دهد. در حقیقت با اعمال هر سیگنال الکتریکی به دستگاه‌های نامبرده، آن سیگنال روی صفحه‌ی حساس لامپ اشعه‌ی کاتدیک نقش می‌بندد. لامپ اشعه‌ی کاتدیک که در اسیلوسکوپ‌ها کاربرد دارد در صفحات بعد مورد بحث قرار خواهد گرفت. البته اساس کار همه‌ی لامپ‌ها تقریباً یکسان بوده، فقط تفاوت جزیی دارند.

شکل ۲ـ۴ نمای ظاهری یک لامپ اشعه‌ی کاتدیک را نشان می‌دهد.

شکل ۲ـ۴ـ نمای ظاهری یک لامپ اشعه‌ی کاتدیک

اساس کار لامپ اشعه‌ی کاتدیک، بمباران یک صفحه‌ی حساس با یک دسته اشعه‌ی الکترونی می‌باشد. بر اثر بمباران صفحه‌ی حساس، آن قسمت از صفحه که بمباران شده است از خود نور ساطع می‌کند. **منظور از اشعه‌ی الکترونی تعداد زیادی الکترون می‌باشد که به صورت یک اشعه‌ی فوق‌العاده باریک درآمده و با سرعت بسیار زیاد (چند هزار کیلومتر در ثانیه) در حرکت است.**

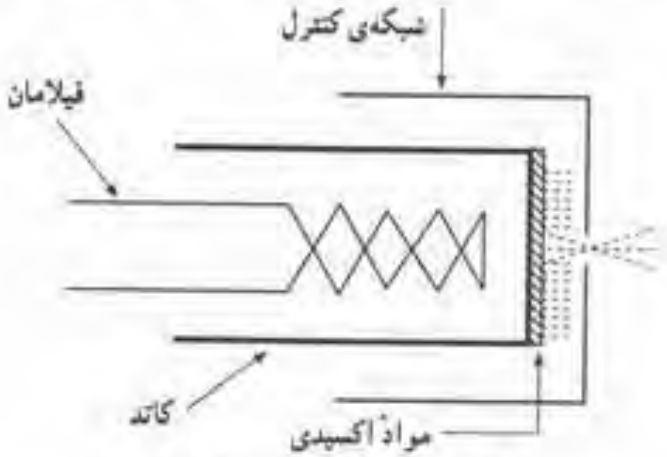
مقدار نور ایجاد شده روی صفحه‌ی حساس به دو عامل، **سرعت الکترون‌ها و تعداد الکترون‌ها**، بستگی دارد؛ به عبارتی هر قدر تعداد الکترون‌های اشعه‌ی الکترونی و سرعت الکترون‌ها زیادتر باشد نورایجاد شده بیش‌تر خواهد بود. درعمل برای کنترل مقدار نور ایجاد شده تعداد الکترون‌های اشعه را تغییر می‌دهند، زیرا این عمل به سهولت امکان‌پذیر است.

صفحه‌ی حساس که شکل موج روی آن نقش می‌بندد، از یک شیشه‌ی معمولی که پشت آن از موادّ فسفرسانس (ترکیب روی و فسفر) پوشیده شده تشکیل می‌گردد. شکل ۳ـ۴، صفحه‌ی حساس لامپ اشعه‌ی کاتدیک را نشان می‌دهد.

شکل ۳ـ۴ـ صفحه‌ی حساس لامپ اشعه‌ی کاتدیک

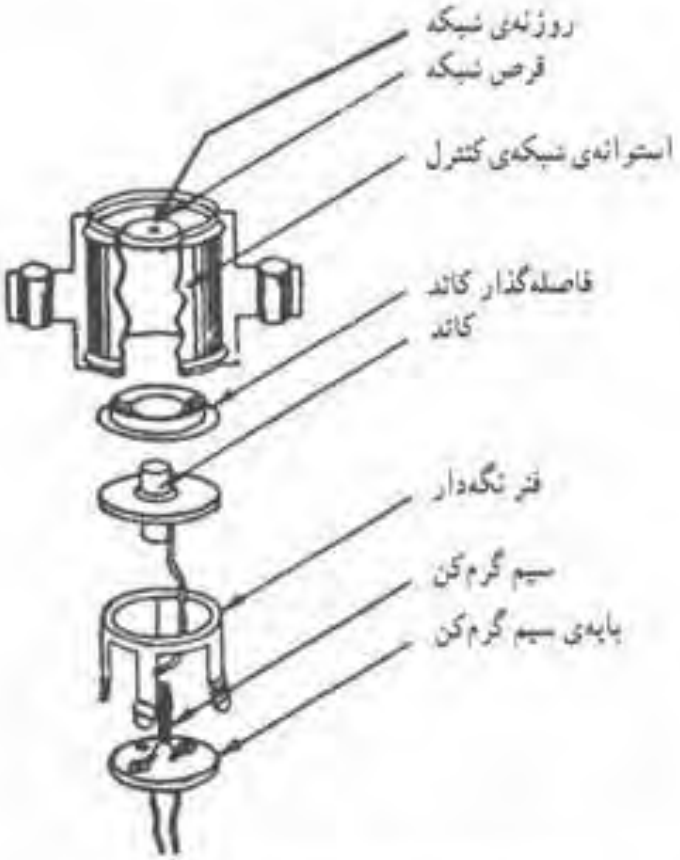
رنگ نور ایجاد شده بستگی به درصد ترکیب روی و فسفر دارد.

تولید اشعه‌ی الکترونی به‌وسیله‌ی گرم کردن یک استوانه‌ی فلزی که قسمت جلوی آن از مواد اکسیدی (معمولاً ۵۰٪ اکسید باریم و ۵۰٪ اکسید استرانسیوم) پوشانده شده است، صورت می‌گیرد. نحوه‌ی کار بدین صورت است که ابتدا فیلامان داخل استوانه را با عبور جریان الکتریکی از آن گرم می‌کنند. گرمای فیلامان منجر به گرم شدن استوانه شده در نتیجه موادّ اکسیدی گرم می‌شوند و بر اثر این گرما از خود الکترون ساطع می‌کنند. در جلوی این استوانه یک شبکه که دارای روزنه‌ی بسیار کوچکی است (حدود کسری از میلی‌متر) قرار گرفته است. این کار مقدّمه‌ی تولید اشعه به‌صورت باریک می‌باشد. شبکه‌ی جلوی این استوانه، شبکه‌ی کنترل و استوانه‌ای که مواد اکسیدی، صفحه‌ی جلوی آن را پوشانده است کاتد نام دارد. شکل ۴ـ۴ این مجموعه را نشان می‌دهد.



شکل ۴ـ۴ـ تولید اشعه‌ی اولیه

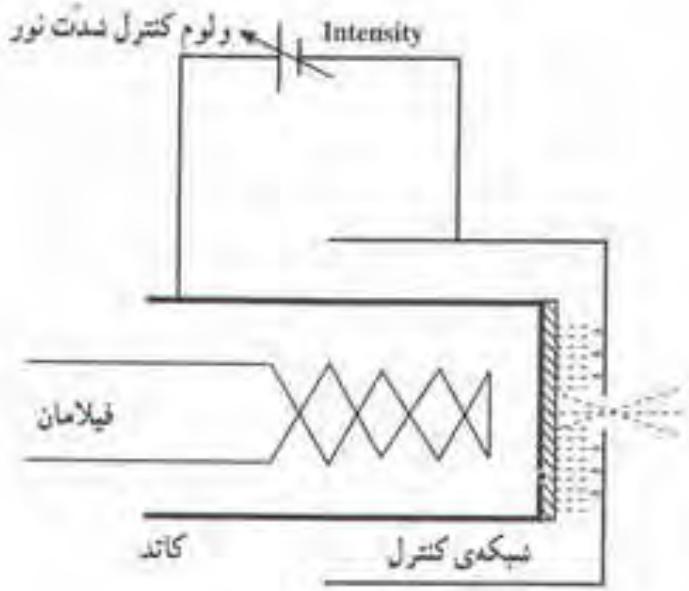
شکل واقعی مجموعه‌ی فوق، که **استوانه‌ی وهنلت** نام دارد، همراه با اجزای آن در شکل ۵ــ۴ نشان داده شده است.



شکل ۵ــ۴ــ اجزای استوانه‌ی وهنلت

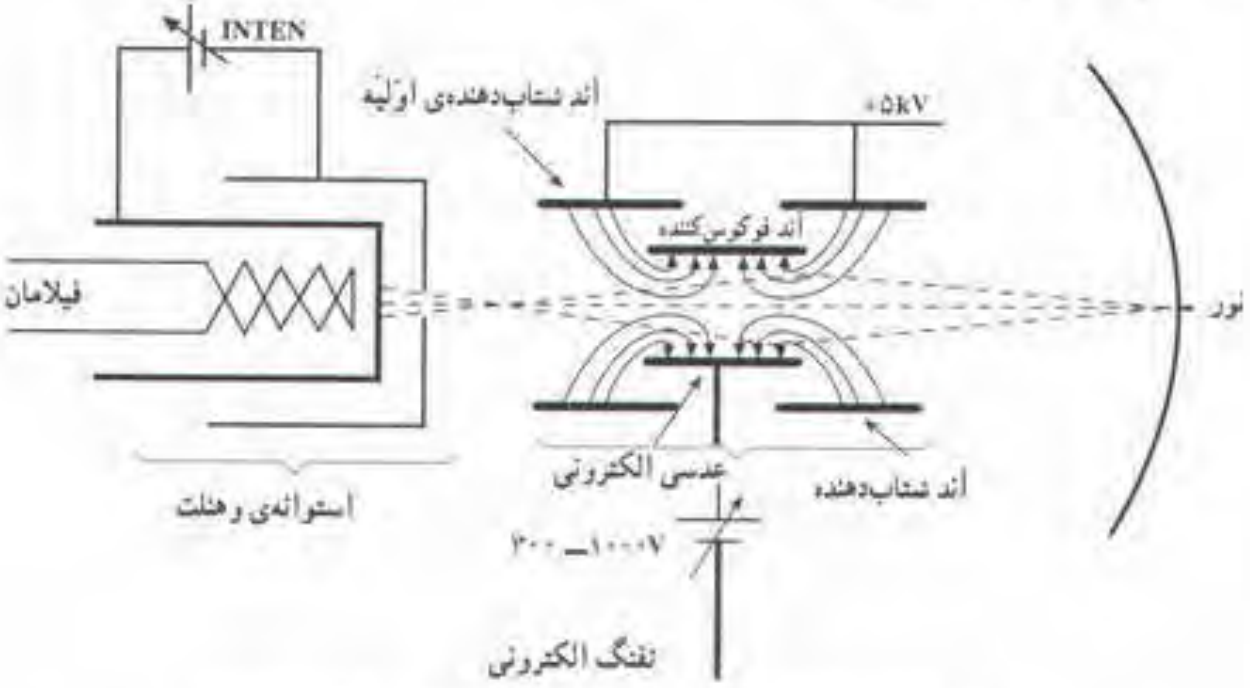
اگر بین شبکه‌ی کنترل و کاتد، یک منبع ولتاژ یا پلاریته‌ی شبکه‌ی منفی‌تر از کاتد قرار دهیم، ولتاژ منفی شبکه باعث دفع الکترون‌ها شده در نتیجه الکترون‌های کم‌تری از روزنه خارج می‌گردند؛ هر قدر این ولتاژ بیش‌تر باشد، تعداد الکترون‌های خارج شده کم‌تر می‌شود.

همان‌طور که قبلاً گفته شد، مقدار نور ایجاد شده به دو عامل سرعت و تعداد الکترون‌ها بستگی دارد. در عمل برای تنظیم مقدار نور از تغییر تعداد الکترون‌ها استفاده می‌کنند، لذا برای کنترل مقدار نور ایجاد شده در روی صفحه‌ی حساس (شدت نور) می‌توان بین شبکه‌ی کنترل و کاتد یک پتانسیل قرار داد و آن را کنترل نمود. به همین منظور در روی صفحه‌ی جلوی اسیلوسکوپ ولومی تعبیه شده که با تغییر آن در حقیقت پتانسیل بین شبکه‌ی کنترل و کاتد تغییر نموده و در نتیجه شدّت نور روی صفحه‌ی حساس تغییر می‌کند. این ولوم با کلمه‌ی (INTEN) روی اسیلوسکوپ مشخص می‌شود. عملکرد ولوم INTEN در شکل ۶ــ۴ نشان داده شده است.



شکل ۶ ــ۴ــ عملکرد ولوم INTEN

بعد از تولید اشعه‌ی اولیه باید این اشعه را روی صفحه‌ی حسّاس متمرکز کرد و به آن جنان شتابی داد که سرعت لازم را جهت برخورد با موادّ فسفرسانس و ایجاد نور در روی آن به‌دست آورد. برای این کار از سه استوانه‌ی فلزی که به ولتاژ زیاد وصل شده‌اند استفاده می‌شود. این مجموعه، ضمن این که به الکترون‌ها (اشعه) سرعت لازم را می‌دهد، در عین حال اشعه را روی صفحه‌ی حسّاس متمرکز می‌کند، به این جهت به این مجموعه، عدسی الکترونی اطلاق می‌گردد. شکل ۷ــ۴ عدسی الکترونی را نشان می‌دهد.

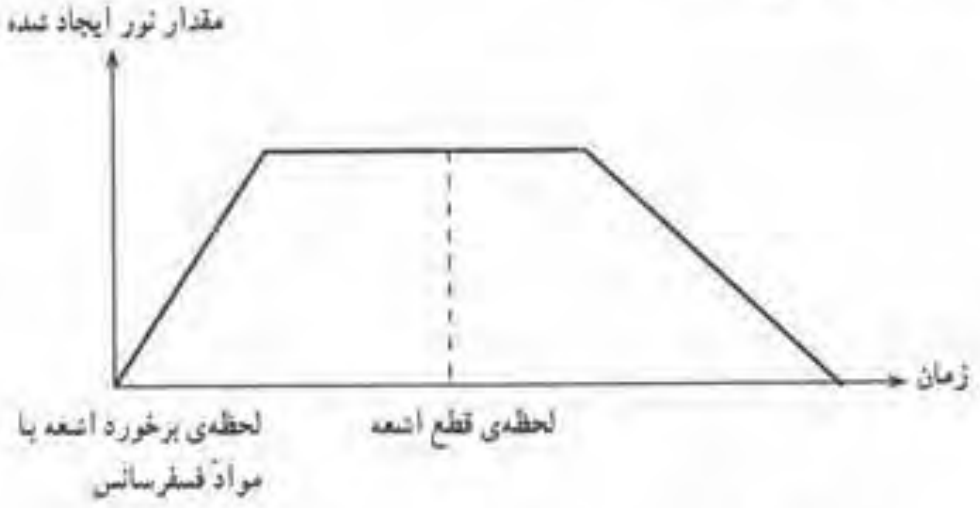


شکل ۷ــ۴ــ عدسی الکترونی همراه با تولید اشعه‌ی اوّلیه (تفنگ الکترونی)

منبع ولتاژ ۱۰۰۰ـ۳۰۰۰ ولتی که در شکل ۷ـ۴ نشان داده شده است به‌صورت یک ولوم در پانل اسیلوسکوپ به نام FOCUS و معمولاً در کنار ولوم INTEN قرار دارد.

مجموعه‌ی عدسی الکترونی و استوانه‌ی وهنلت را تفنگ الکترونی (Electron Gun) می‌نامند. بنابراین وظیفه‌ی تفنگ الکترونی ایجاد یک اشعه‌ی الکترونی با قابلیّت تنظیم نقطه‌ی کانونی (فوکوس) روی صفحه‌ی حسّاس، و همچنین تنظیم شدّت نور می‌باشد.

تا زمانی که اشعه بر روی موادّ فسفرسانس می‌تابد، در آن نقطه نور وجود خواهد داشت و زمانی که اشعه قطع می‌شود (یا به نقطه‌ی دیگری می‌تابد) نور نقطه‌ی قبلی محو می‌شود (یا به نقطه‌ی جدید منتقل می‌گردد) به عبارت دیگر در هر لحظه، اشعه به هر نقطه‌ای بتابد، فقط در آن نقطه نور ایجاد می‌شود. پس بر روی صفحه‌ی حسّاس، فقط یک نقطه‌ی نورانی ظاهر می‌گردد. در این‌جا باید به یک نکته اشاره کرد و آن این که به محض برخورد اشعه به موادّ فسفرسانس، نور ایجاد نمی‌شود، بلکه حدود چند نانو و یا میکرو ثانیه طول می‌کشد و از طرفی بعد از قطع اشعه، نقطه‌ی نورانی محو نمی‌گردد بلکه مدّت زمان کوتاهی طول می‌کشد این مدّت بستگی به نوع فسفرسانس به کار رفته در لامپ دارد. شکل ۸ـ۴ منحنی لحظه‌ی برخورد اشعه را با مواد فسفرسانس، و مدت زمانی که طول می‌کشد تا نور ایجاد شود، همچنین لحظه‌ی قطع اشعه و مدّت زمان روشن ماندن نقطه‌ی بمباران شده، بعد از قطع اشعه را، نشان می‌دهد.

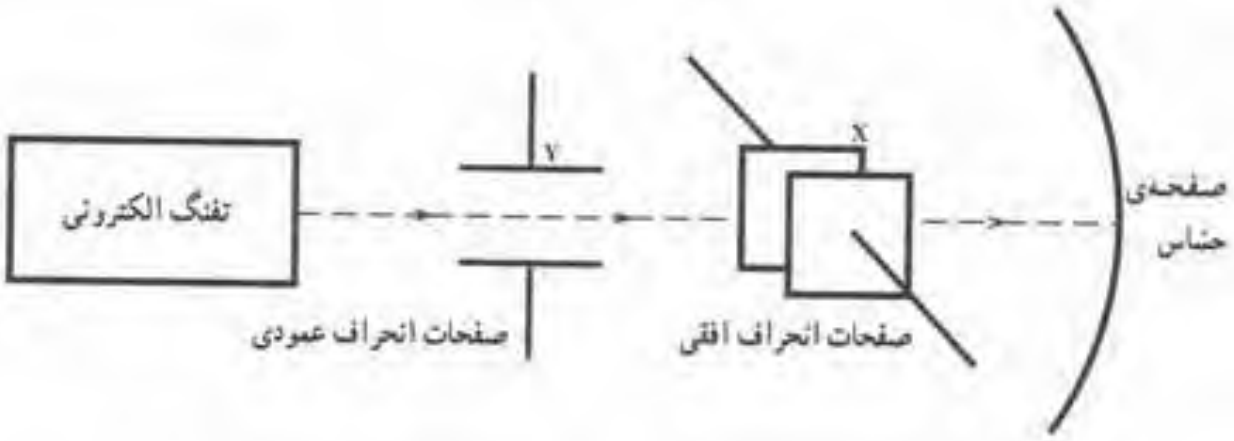


شکل ۸ـ۴ـ منحنی نور ایجاد شده به صورت تابعی از زمان
(زمان قطع و برخورد اشعه روی موادّ فسفرسانس صفحه‌ی حسّاس)

شکل موجی که روی صفحه‌ی حسّاس نقش می‌بندد ناشی از برخورد اشعه‌ی الکترونی به‌صفحه‌ی حسّاس و حرکت آن در جهات مختلف (متناسب با نوع سیگنال) می‌باشد. به عنوان مثال

وقتی شکل موجی سینوسی را روی صفحه‌ی حساس می‌بینیم، حرکت اشعه حتماً به صورت سینوسی بوده است. سؤالی که در این جا پیش می‌آید این است که با توجه به این که در هر لحظه فقط یک نقطه از صفحه‌ی حسّاس بمباران می‌شود و در این صورت ما باید فقط یک نقطه را روی صفحه‌ی حسّاس ببینیم چرا یک موج سینوسی یا موج دیگر را به‌صورت پیوسته روی صفحه‌ی حساس می‌بینیم؟ پاسخ این است که اولاً اشعه زمانی که از یک نقطه به نقطه‌ی مجاور حرکت می‌کند، اثر آن تا مدّت زمان کوتاهی در چشم ما باقی می‌ماند، ثانیاً همان‌طور که قبلاً گفته شده بعد از قطع اشعه، نور تولید شده فوراً قطع نمی‌گردد و از طرف دیگر باید در زمان‌های مساوی این عمل (جاروب موج روی صفحه‌ی حسّاس) تکرار گردد. از این روست که اسیلوسکوپ‌های معمولی فقط شکل موج‌های متناوب را می‌توانند نشان دهند.

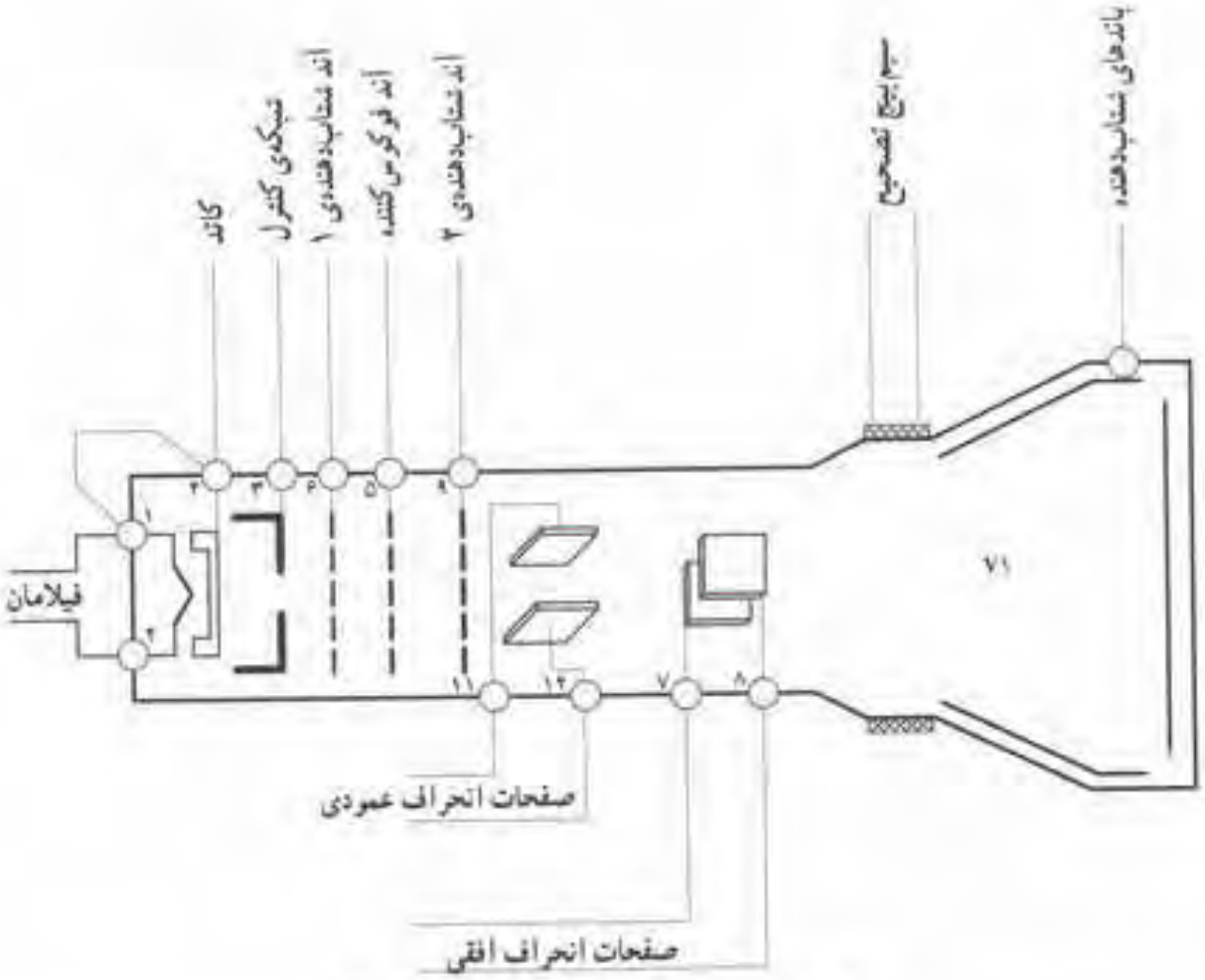
هر نقطه از صفحه‌ی حسّاس اسیلوسکوپ، دارای دو مختصّ (عمودی و افقی) است و با توجه به این که کلیه‌ی موج‌ها به‌صورت دو بعدی نشان داده می‌شوند پس هر نقطه از شکل موج را می‌توان به دو مؤلّفه‌ی فوق تجزیه کرد. بنابراین هر نقطه از شکل موج در اثر حرکت اشعه، در مختصاتی که دارای دو جهت افقی و عمودی است قرار می‌گیرد. برای حرکت اشعه در جهت عمودی، بعد از تفنگ الکترونی دو صفحه قرار می‌دهند. هنگامی که اشعه از میان این دو صفحه عبور می‌کند، اگر هر یک از صفحات نسبت به دیگری مثبت‌تر گردد، اشعه در جهت آن صفحه منحرف می‌شود. این صفحات را صفحات انحراف عمودی می‌نامند. بعد از این صفحات، دو صفحه‌ی دیگر جهت انحراف اشعه، در جهت افقی قرار می‌دهند که به صفحات انحراف افقی موسوم‌اند. شکل ۹ـ۴ صفحات انحراف افقی و عمودی را نشان می‌دهد.



شکل ۹ـ۴ـ نحوه‌ی قرار گرفتن صفحات انحراف افقی و عمودی بین تفنگ الکترونی و صفحه‌ی حساس

برای بالا بردن حساسیت، صفحات انحراف عمودی لامپ اشعه‌ی کاتدیک را قبل از صفحات انحراف افقی آن قرار می‌دهند.

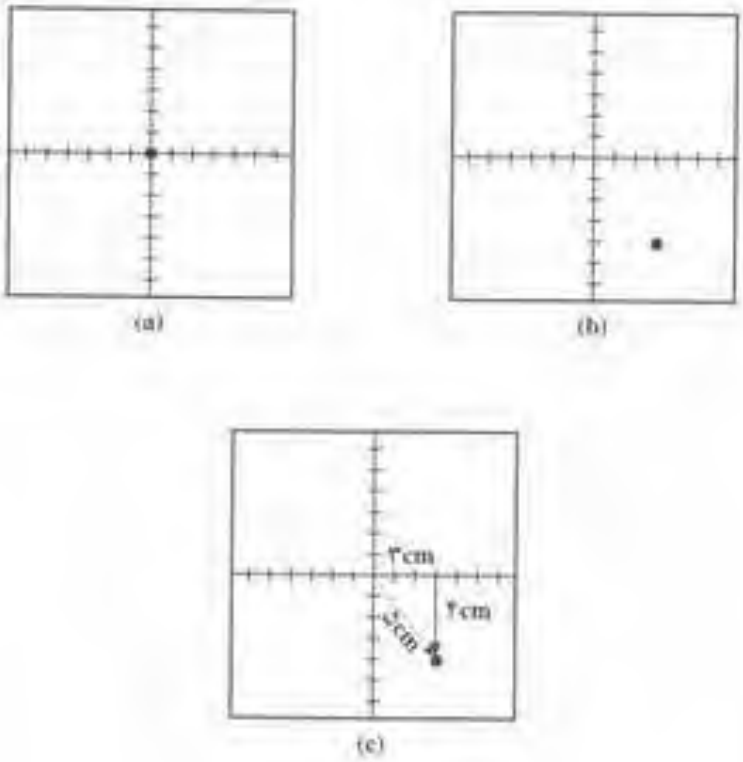
بعد از صفحات انحراف عمودی و افقی، یک سری باندهای شتاب‌دهنده در لامپ قرار دارد. این باندها معمولاً به صورت اندودی از گرافیت بوده و به ولتاژ زیاد وصل می‌شوند. نقش این باندها، دادن سرعت بیش‌تر به الکترون‌ها و جمع‌آوری الکترون‌های آزاد شده‌ی مواد فسفرسانسی در اثر بمباران اشعه می‌باشد. در شکل ۱۰ــ۴ ساختمان داخلی لامپ اشعه‌ی کاتدیک نشان داده شده است.



شکل ۱۰ــ۴ــ ساختمان داخلی لامپ اشعه‌ی کاتدیک

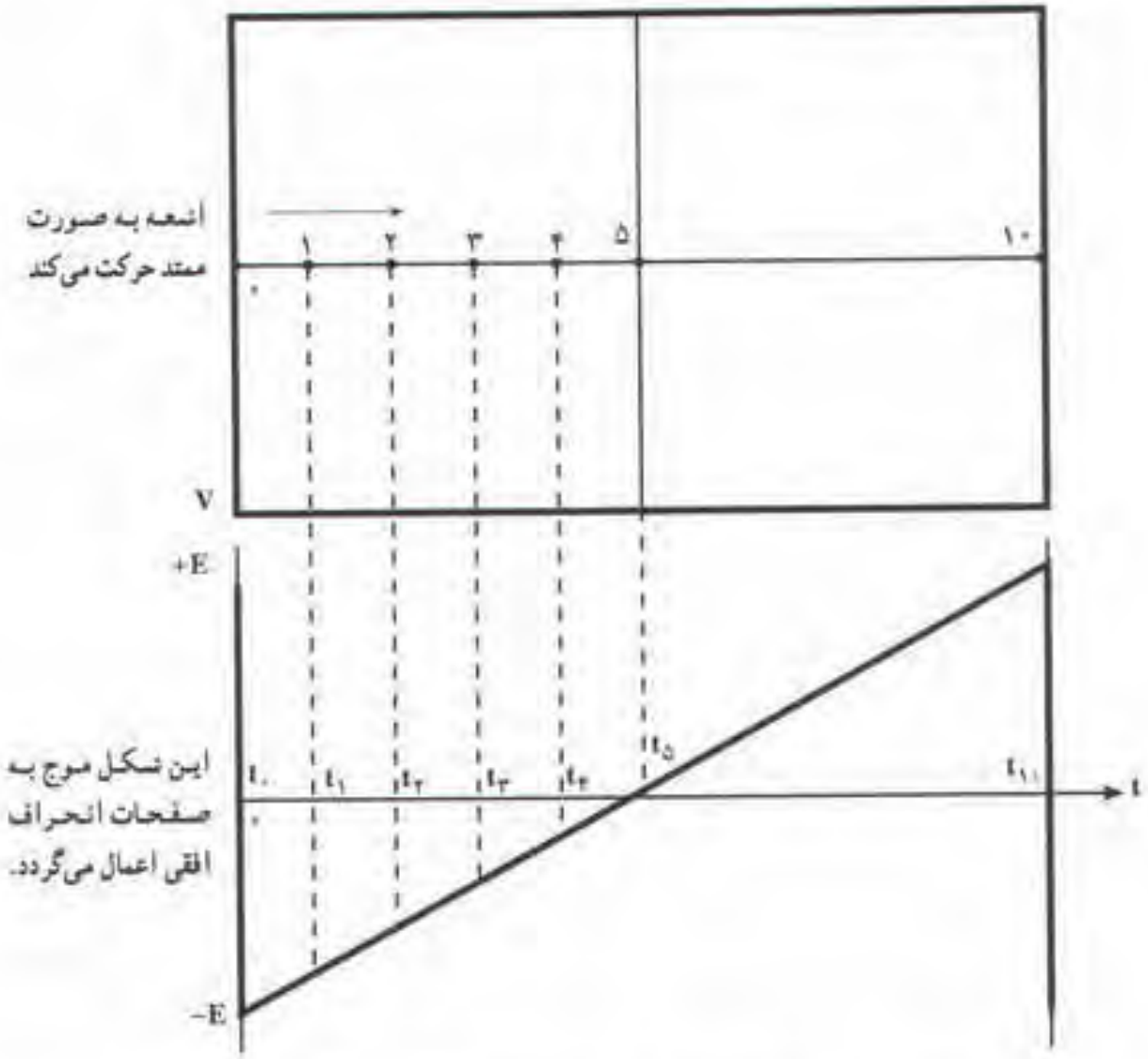
همان‌طور که قبلاً بیان شد، شکل موج نقش بسته بر روی صفحه‌ی حساس لامپ اشعه‌ی کاتدیک، در واقع حرکت نقطه به نقطه‌ی اشعه‌ی الکترونی بر روی آن است. همچنین گفته شد که هر نقطه از شکل موج روی صفحه، به دو مؤلفه‌ی افقی و عمودی قابل تجزیه است (در حقیقت طول و عرض یک نقطه روی صفحه در مختصات دکارتی) به عبارت دیگر با دو حرکت، در جهت

افقی و عمودی، اشعه را به هر نقطه از صفحه می‌توان منتقل کرد. اگر به هر دو صفحه‌ی انحراف افقی و عمودی ولتاژ صفر ولت را وصل کنیم، اشعه درست به مرکز صفحه‌ی حساس تابیده و نقطه‌ی نورانی در مرکز صفحه قرار خواهد گرفت (شکل a ـ۱۱ـ۴)، و اگر به صفحات به عنوان مثال به انحراف عمودی ۴- ولت و به صفحات انحراف افقی ۳+ ولت وصل کنیم، اشعه در نقطه‌ای به مختصات ۴- و ۳ ظاهر خواهد شد. شکل c ـ۱۱ـ۴ و bـ۱۱ـ۴ مکان این اشعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ـ۴ـ ولتاژ اعمالی به صفحات انحراف افقی و عمودی (۰ و ۰) a و (۴- و ۳) b و (۴- و ۳) c

اگر یک شکل موج با تغییرات خطی مانند شکل ۱۲ـ۴ را به صفحات انحراف افقی اعمال نماییم، اشعه از منتهی‌الیه سمت چپ به منتهی‌الیه سمت راست منحرف خواهد شد. یعنی در زمان $t = t_0$ اشعه در نقطه‌ی ۰، در زمان $t = t_1$ اشعه در نقطه‌ی ۱، در زمان $t = t_2$ اشعه در نقطه‌ی ۲ و...، در زمان $t = t_5$ اشعه در نقطه‌ی ۵ و بالاخره در زمان $t = t_{10}$ اشعه در نقطه‌ی ۱۰ قرار خواهد گرفت. چون موج اعمال شده به صفحات انحراف افقی کاملاً خطی است لذا حرکت اشعه کاملاً یک‌نواخت می‌باشد.

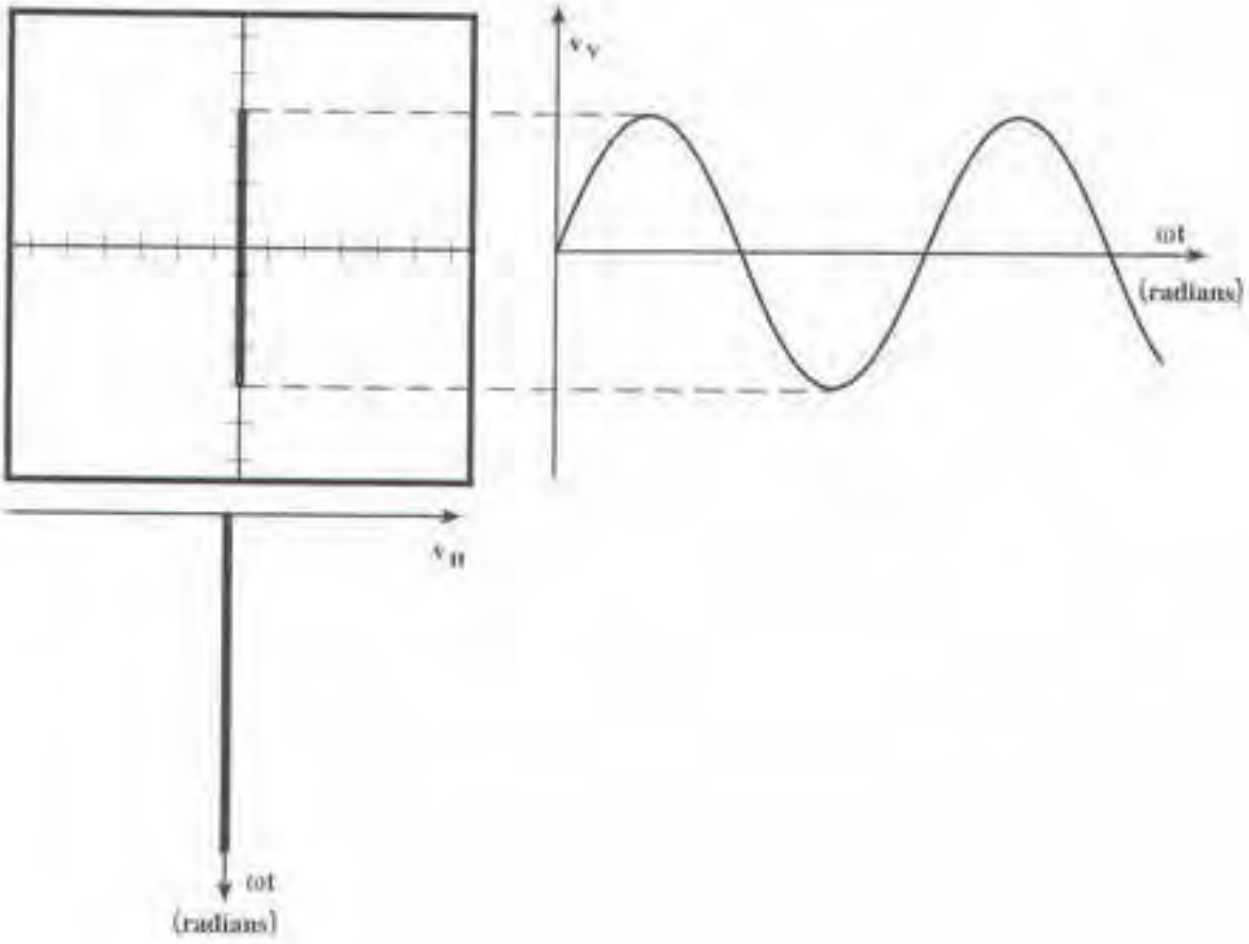


شکل ۱۲ـ۴ـ اعمال یک موج خطّی به صفحات انحراف افقی باعث حرکت اشعه از سمت چپ به سمت راست می‌شود.

اگر یک موج متناوب خطّی با فرکانس بالای ۴۰ هرتز را به صفحات انحراف افقی اعمال نماییم، حرکت اشعه به صورت پیوسته مشاهده شده، در نتیجه روی صفحه‌ی حساس، یک خطّ راست افقی می‌بینیم.

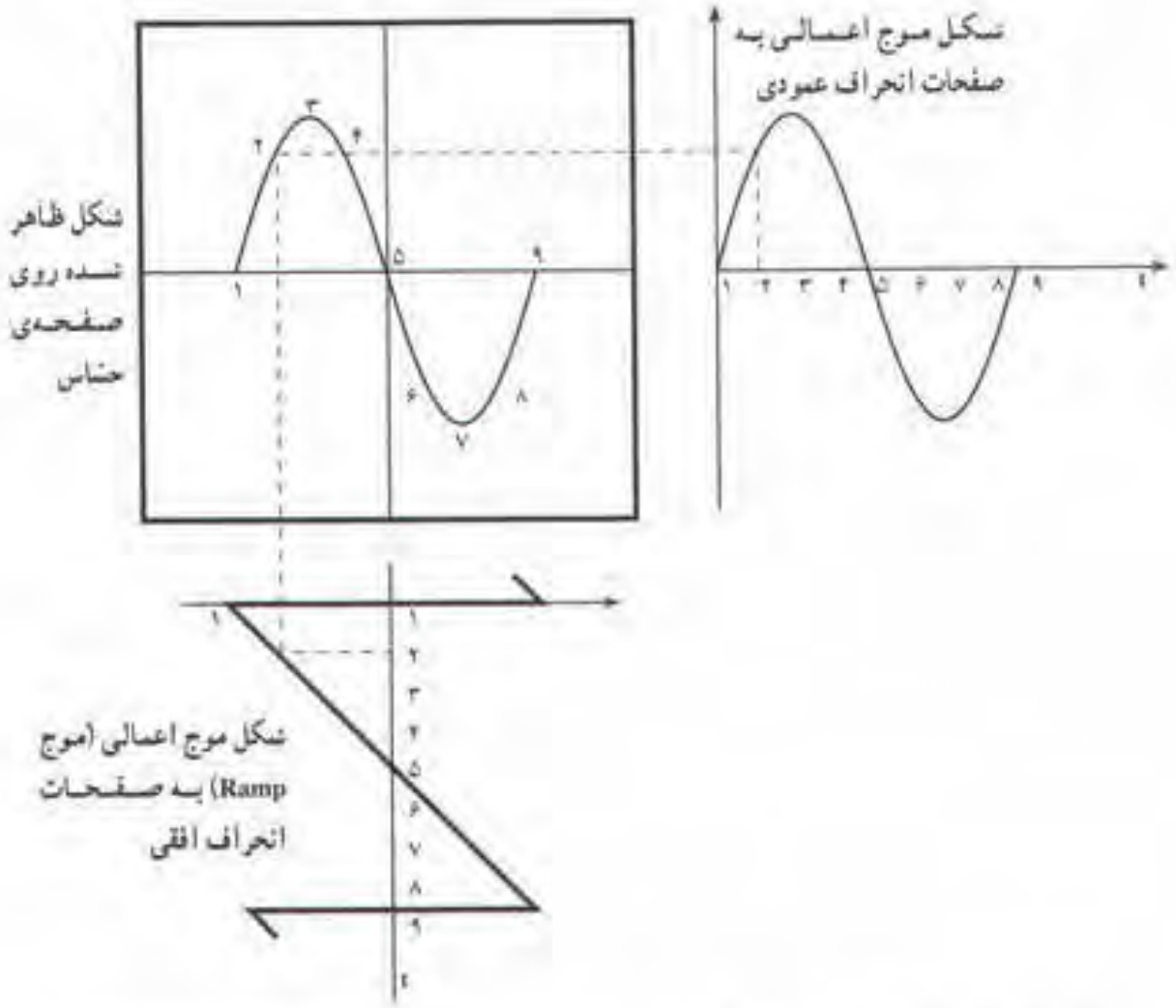
اگر به صفحات انحراف عمودی شکل، موجی سینوسی اعمال کرده و به صفحات انحراف افقی ولتاژی را اعمال نکنیم، روی صفحه‌ی حسّاس، فقط یک خطّ مستقیم در جهت عمودی مشاهده خواهد شد. زیرا ولتاژ سینوسی اعمال شده به این صفحات فقط باعث به حرکت درآوردن اشعه در جهت عمودی می‌شود. یعنی مثل این است که در هر لحظه یک ولتاژ به صفحات

انحراف عمودی اعمال نماییم. بنابراین اشعه فقط در جهت عمودی حرکت خواهد داشت. شکل ۱۳ـ۴ حرکت اشعه را به ازای اعمال ولتاژ سینوسی به صفحات انحراف عمودی نشان می‌دهد.



شکل ۱۳ـ۴ـ با اعمال ولتاژ سینوسی به صفحات انحراف عمودی، روی صفحه‌ی حساس فقط یک خط در جهت عمودی مشاهده می‌شود.

درعمل وقتی بخواهیم شکل موج اعمال شده را روی صفحه‌ی حسّاس مشاهده کنیم، حرکت افقی اشعه را توسّط یک موج با تغییرات خطّی (Ramp) و حرکت عمودی اشعه را با شکل موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی لامپ ایجاد می‌کنیم. برای بررسی دقیق‌تر این موضوع که چگونه با اعمال یک موج به صفحات انحراف عمودی و اعمال موج Ramp به صفحات انحراف افقی، شکل موج اعمال شده روی صفحه‌ی حسّاس نمایان می‌شود، به شکل ۱۴ـ۴ توجّه نمایید.



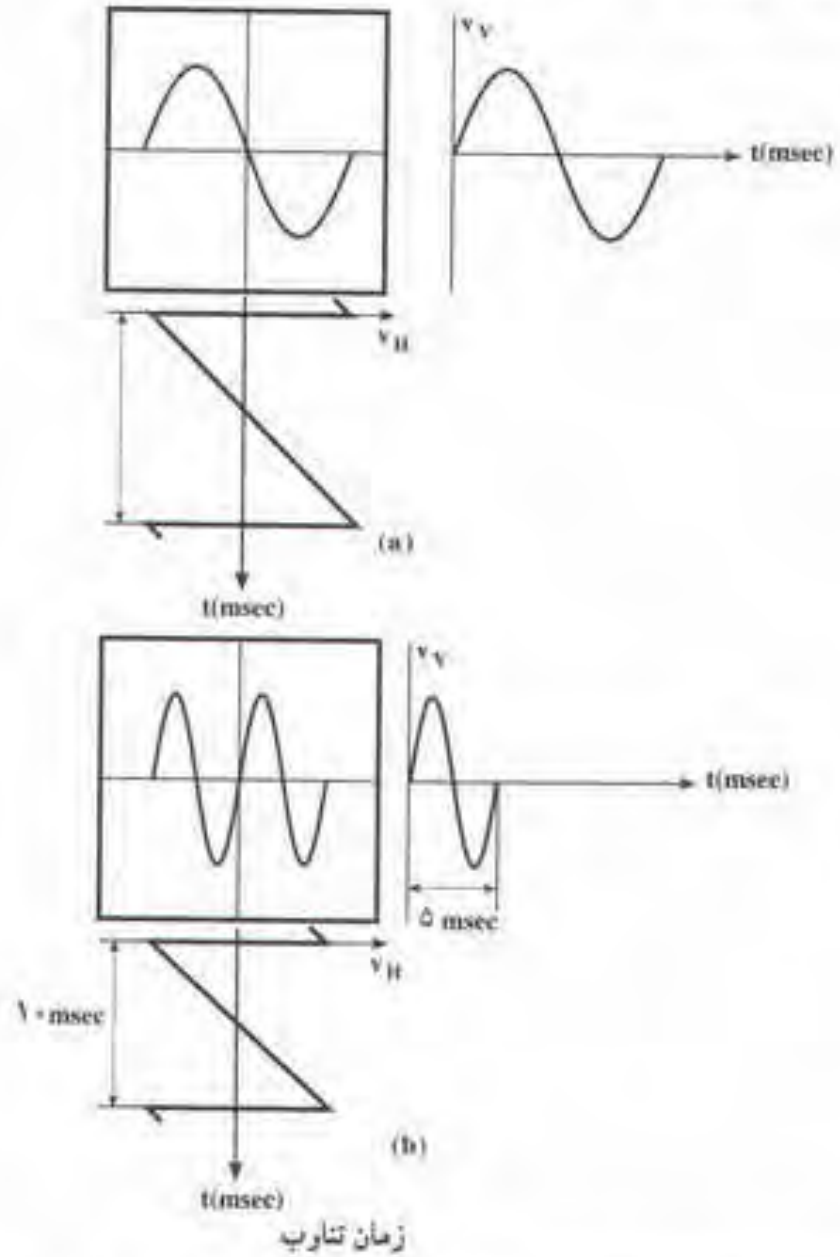
شکل ۱۴ـ۴ـ چگونگی نقش بستن شکل موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی روی صفحه‌ی حساس

در زمان۱، اشعه در منتهی‌الیه سمت چپ قرار دارد (ولتاژ اعمالی به صفحات انحراف افقی و عمودی در این لحظه برابر صفر است). در زمان ۲، ولتاژ اعمالی به صفحات انحراف افقی باعث حرکت اشعه به سمت راست شده و همزمان با آن ولتاژ اعمالی به صفحات انحراف عمودی باعث حرکت اشعه در راستای قائم می‌گردد تا این که اشعه روی صفحه‌ی حساس در نقطه‌ی ۲ قرار می‌گیرد.

این عمل برای بقیه‌ی لحظات نیز صادق است، یعنی ضمن این که موج Ramp حرکت افقی اشعه را به عهده دارد، موج اعمال شده به صفحات انحراف عمودی باعث حرکت عمودی اشعه شده و در نهایت شکل موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌گردد.

اگر بخواهیم روی صفحه‌ی نمایش فقط یک سیکل مشاهده شود، کافی است که زمان تناوب موج Ramp با زمان تناوب موج اعمالی به صفحاتِ انحرافِ عمودی برابر باشد، و اگر بخواهیم n سیکل را مشاهده کنیم باید زمان تناوب Ramp، n برابر زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی باشد. در شکل ۱۵ـ۴ زمان تناوب موج Ramp و زمان تناوب موج اعمالی به صفحات

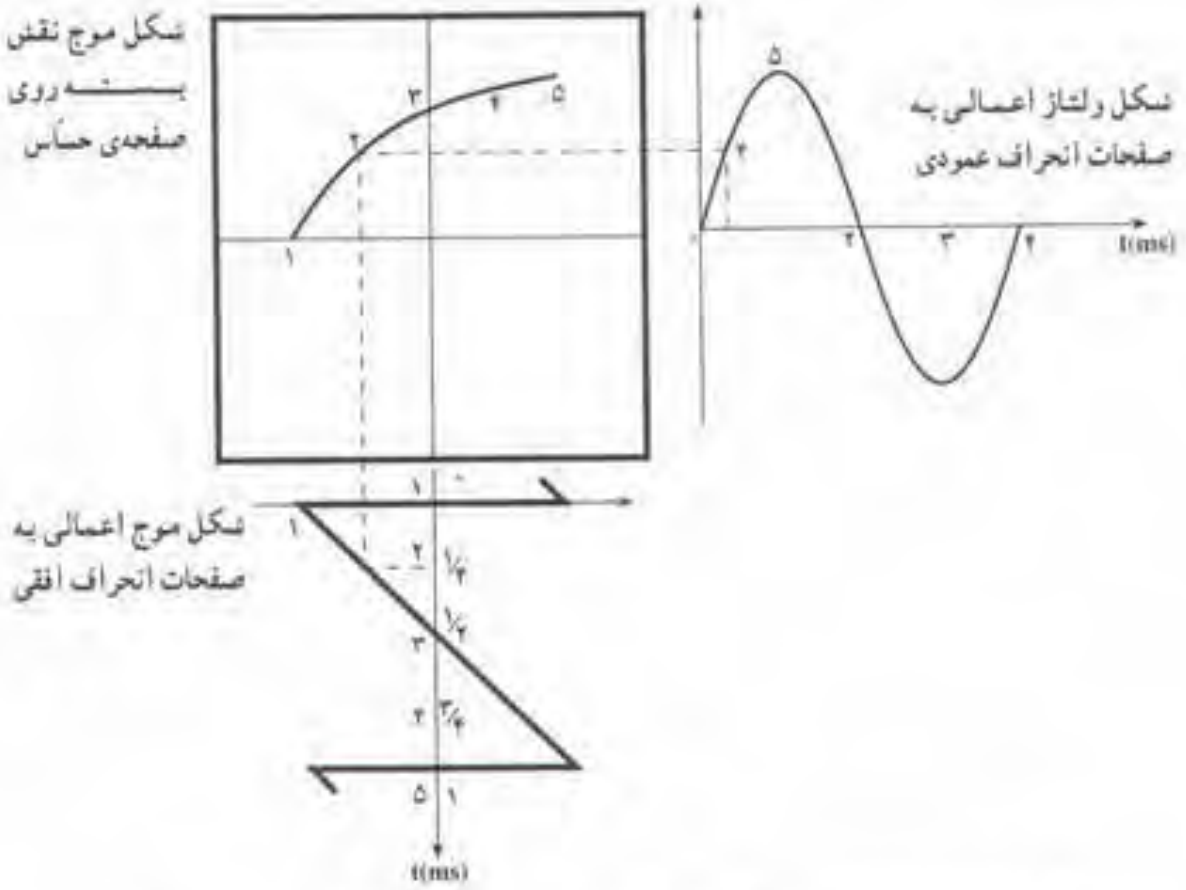
انحراف عمودی برابر است،لذا فقط یک سیکل را روی صفحه‌ی حساس مشاهده می‌کنیم. در شکل b ـ۱۵ـ۴ زمان تناوب موج Ramp دو برابر زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی است، لذا دو سیکل کامل روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌گردد.



شکل ۱۵ـ۴ـ تناسب زمان تناوب موج Ramp با زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف افقی و در نتیجه ظاهر شدن تعداد سیکل‌ها در روی صفحه‌ی حساس

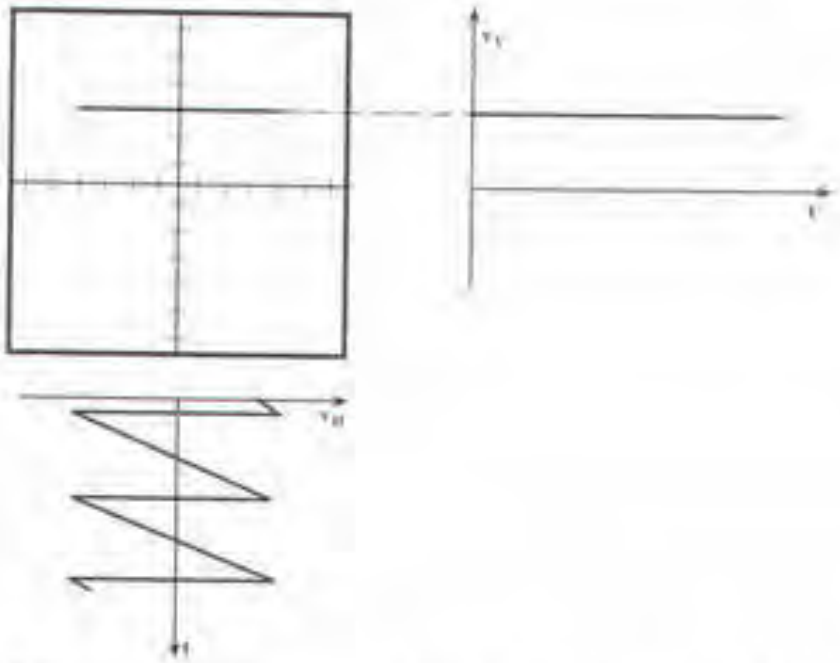
اگر زمان تناوب شکل موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی بیش‌تر از زمان تناوب موج Ramp باشد، در این صورت فقط قسمتی از شکل موج، روی صفحه‌ی حساس آشکار می‌شود. شکل ۱۶ـ۴، حالتی را نشان می‌دهد که زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی،

چهاربرابر زمان تناوب موج Ramp می‌باشد که در این صورت فقط یک چهارم از سیکل روی صفحه‌ی حسّاس نقش بسته است.



شکل ۱۶ـ۴ـ زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی چهار برابر زمان تناوب موج Ramp است لذا فقط یک چهارم از سیکل روی صفحه‌ی حسّاس ظاهر می‌گردد.

همان‌طور که قبلاً نیز توضیح داده شد شرط آن که بتوانیم شکل موجی را روی صفحه‌ی حسّاس ببینیم آن است که موج متناوب باشد، یعنی در فواصل زمانی معیّنی تکرار گردد. در غیر این صورت، اسیلوسکوپ‌های معمولی قادر به نمایش آن نخواهند بود. در ضمن اگر ولتاژ اعمال شده به صفحات انحراف عمودی DC باشد، اشعه در جهت عمودی تغییر مکان خواهد داد. حال اگر در این حالت موج Ramp را نیز به صفحات انحراف افقی وصل کنیم، روی صفحه‌ی حسّاس یک خطّ مستقیم خواهیم دید. شکل ۱۷ـ۴ این مطلب را نشان می‌دهد.

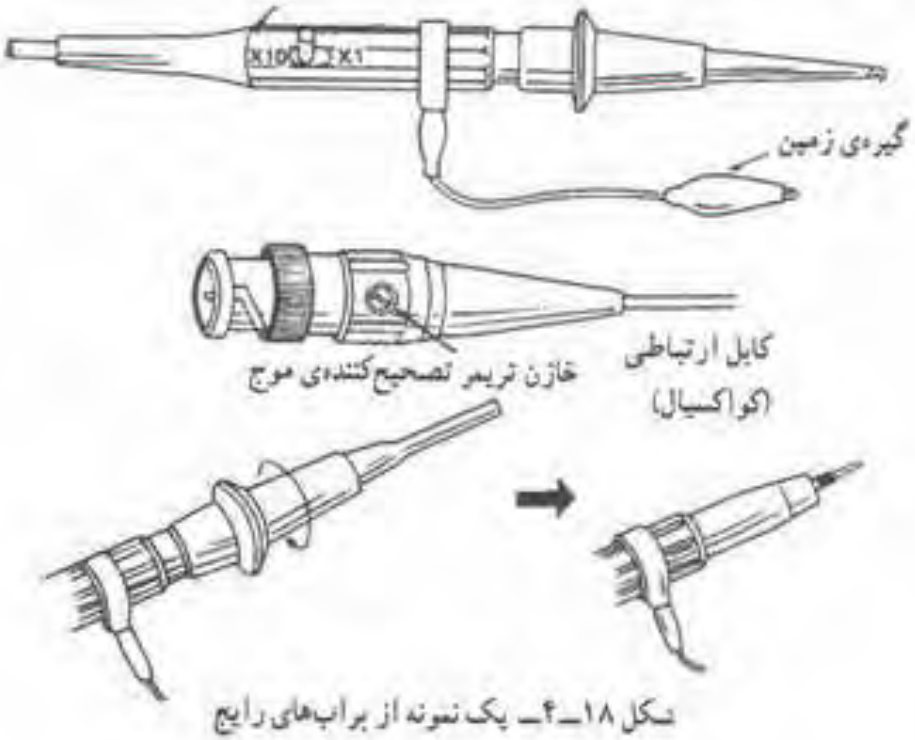


شکل ۱۷ــ۴ــ ولتاژ DC به صورت یک خطّ مستقیم روی صفحه‌ی حسّاس ظاهر می‌گردد.

۲ــ۴ــ مدارات آماده‌سازی لامپ و سیگنال

۱ــ۲ــ۴ــ ساختمان پراب (Probe): برای اعمال سیگنال الکتریکی به اسیلوسکوپ، از پراب استفاده می‌شود. شکل ۱۸ــ۴ یک نمونه از پراب‌های رایج را نشان می‌دهد. سیم رابط پراب معمولاً از کابل کواکسیال می‌باشد تا میزان نویز به حدّاقل برسد.

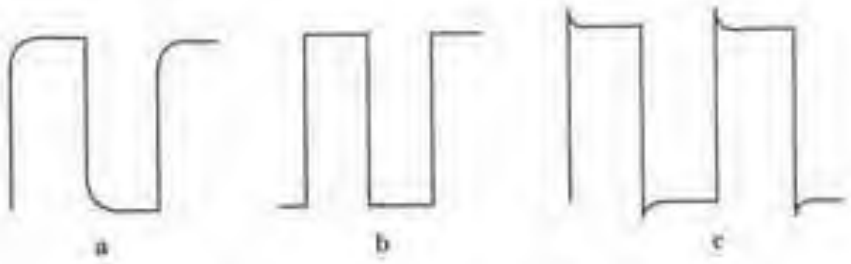
مدار الکتریکی پراب به صورت شکل ۲۰ــ۴ می‌باشد.



شکل ۱۸ــ۴ــ یک نمونه از پراب‌های رایج

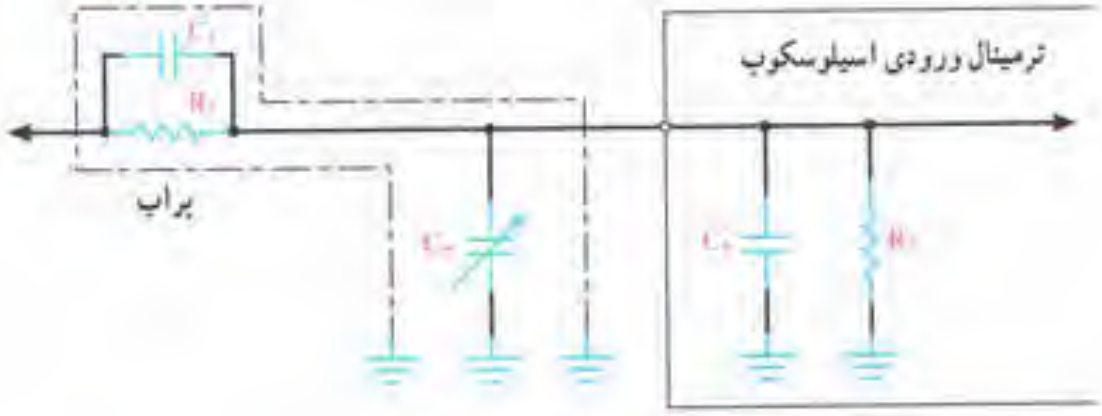
نوک پراب به صورت گیره‌ای فنری است که می‌توان آن را به یک نقطه از مدار وصل کرد. اگر پوشش پلاستیکی نوک پراب را برداریم، نوک آن به صورت سوزنی بوده که در بعضی مواقع از آن استفاده می‌شود. در شکل ۱۸ــ۴ این موارد نشان داده شده است. انتهای فلزی سیم رابط که به‌ورودی اسیلوسکوپ وصل می‌شود BNC نام دارد (BNC، سه حرف اوّل نام مخترع آلمانی این قطعه است). BNC دارای یک شیار مورب است که وقتی آن را به ورودی اسیلوسکوپ وصل کنیم و تقریباً ۹۰ درجه بچرخانیم این قطعه کاملاً به اسیلوسکوپ متّصل می‌گردد. کمی بالاتر از BNC یک خازن اصلاح‌کننده‌ی شکل موج نیز وجود دارد. برای تنظیم پراب، یک شکل موج مربعی توسط آن به اسیلوسکوپ اعمال می‌کنند (این موج مربعی معمولاً در اسیلوسکوپ تولید شده و از طریق پانل اسیلوسکوپ در اختیار ما قرار می‌گیرد).

شکل موج مربعی نقش بسته روی صفحه‌ی حساس باید مانند شکل b ــ۱۹ــ۴ باشند در صورتی که شکل موج، مانند a ــ۱۹ــ۴ و c ــ۱۹ــ۴ باشند با تنظیم این خازن، آن را به فرم b درمی‌آوریم.



شکل ۱۹ــ۴ــ شکل‌های ناشی از تنظیم و عدم تنظیم پراب

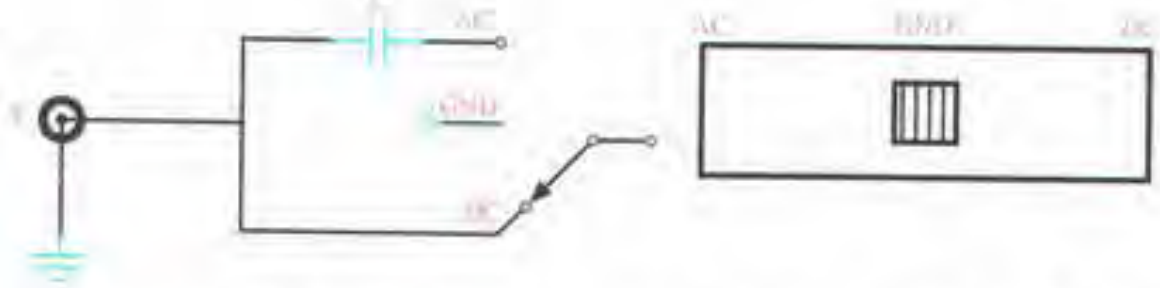
در شکل ۲۰ــ۴ مدار الکتریکی پراب نشان داده شده است. با توجه به این شکل، در پراب تنظیم شده، رابطه‌ی $R_1C_1 = R_2(C_3 + C_4)$ صادق است.



شکل ۲۰ــ۴ــ مدار الکتریکی پراب

همچنین روی پراب کلید ۱× و ۱۰× قرار دارد که در حالت ۱× سیگنال از طریق پراب، بدون تضعیف به اسیلوسکوپ، اعمال می‌شود. اما درحالت ۱۰×، ابتدا سیگنال در داخل پراب، ۱۰ برابر تضعیف شده سپس به اسیلوسکوپ اعمال می‌گردد. باید توجه داشته باشید که اگر از حالت ۱۰× پراب برای اندازه‌گیری استفاده می‌کنید مقادیر قرائت شده‌ی دامنه را در عدد ۱۰ ضرب کنید. موارد کاربرد ۱۰× برای سیگنال‌های با دامنه‌ی زیاد می‌باشد.

۲ـ۲ـ۴ـ کلید انتخاب ورودی: بعد از ترمینال ورودی اسیلوسکوپ مطابق شکل ۲۱ـ۴ یک کلید انتخاب وجود دارد.



الف: شکل ظاهری کلید انتخاب روی پانل اسیلوسکوپ　　ب: مدار الکتریکی　　ترمینال ورودی اسیلوسکوپ

شکل ۲۱ـ۴

اگر کلید انتخاب روی حالت AC قرار گیرد فقط سیگنال‌های متناوب وارد مدار اسیلوسکوپ می‌شوند و از ورود ولتاژ DC (یا مؤلفه‌ی DC یک موج) به اسیلوسکوپ جلوگیری به عمل می‌آید.

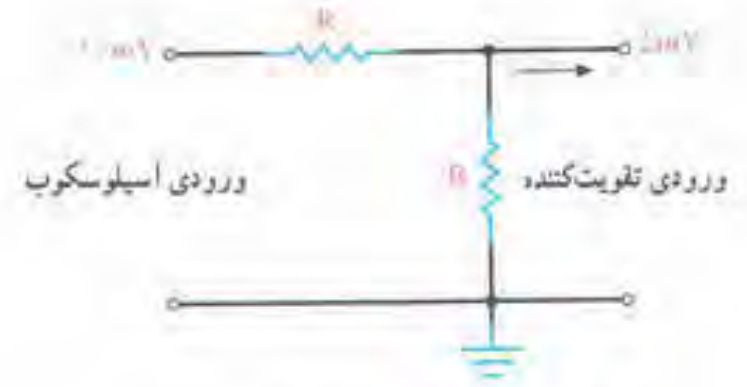
اگر کلید انتخاب روی GND قرار گیرد، ورودی اسیلوسکوپ به زمین وصل شده و ارتباط الکتریکی بین پراب و اسیلوسکوپ قطع می‌گردد. این حالت برای تنظیم صفر اسیلوسکوپ کاربرد دارد. اما اگر کلید انتخاب روی حالت DC قرار گیرد، سیگنال ورودی هرچه باشد (اعمّ از DC و یا AC و یا ترکیبی از این دو) به مدارهای ورودی اسیلوسکوپ رسیده و سپس روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌گردد.

۳ـ۲ـ۴ـ مدارهای تضعیف‌کننده: صفحات انحراف عمودی برای ایجاد انحراف در اشعه، نیاز به ولتاژ زیادی دارند. (حدوداً ۲۰ ولت برای انحراف یک سانتی‌متر روی صفحه‌ی حساس) از طرفی، دامنه‌ی سیگنال ورودی گاهی حدود میلی‌ولت بوده و ممکن است به ده‌ها ولت برسد، لذا زمانی که دامنه‌ی سیگنال ورودی حدود میلی‌ولت است باید این سیگنال جهت اعمال به صفحات انحراف عمودی تقویت گردد و زمانی که دامنه‌ی آن حدود چند ده ولت است باید تضعیف

شود. بنابراین ما تقویت‌کننده‌ای لازم داریم که دامنه‌ی ورودی را تشخیص داده، عمل تضعیف و یا تقویت را انجام دهد ولی ***این امر درعمل غیرممکن است*** لذا برای این که بتوانیم هم سیگنال‌های حدود mV و هم سیگنال‌های حدود ده‌ها ولت را مشاهده کنیم، ابتدا تقویت‌کننده‌ای می‌سازیم که مثلاً سیگنال ۵mV را تبدیل به سیگنال مورد نیاز صفحات انحراف عمودی نماید. شکل ۲۲ـ۴ بلوک دیاگرام این تقویت‌کننده را نشان می‌دهد.

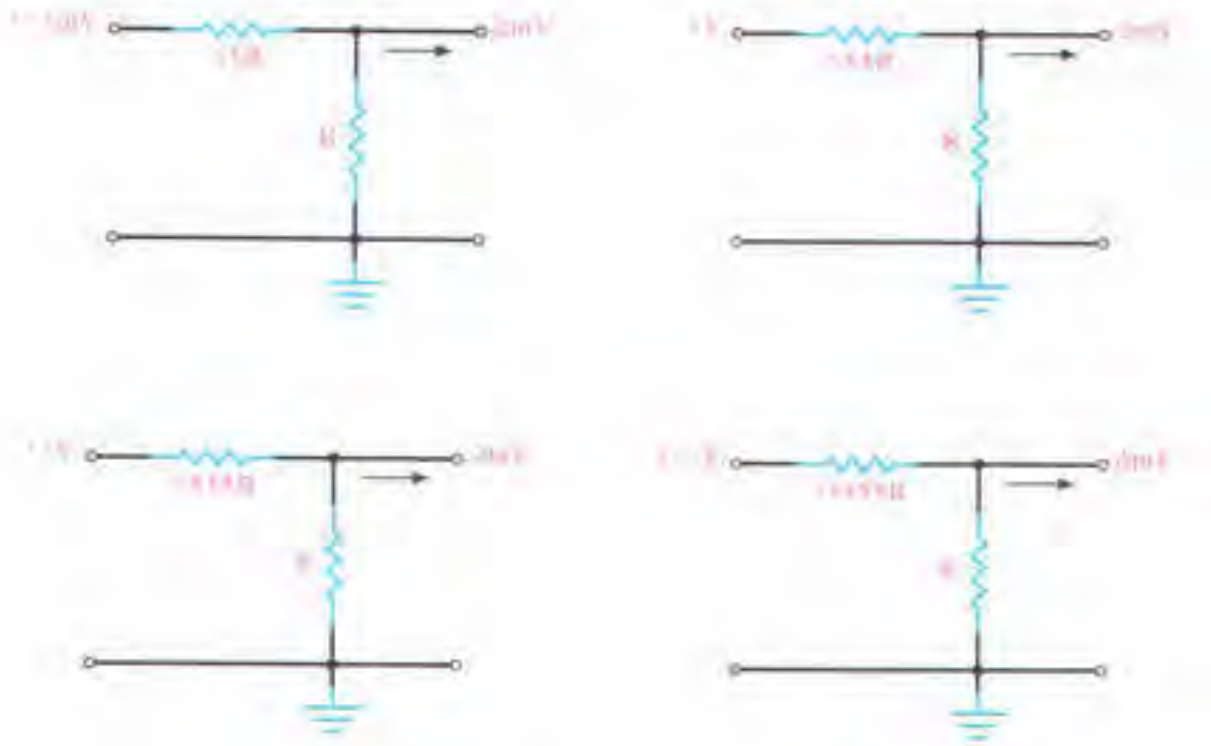
شکل ۲۲ـ۴ـ تقویت‌کننده‌های اسیلوسکوپ

حال اگر دامنه‌ی سیگنال، ۵mV یا کم‌تر بود مستقیماً آن را به ورودی تقویت‌کننده‌ی اولیه وصل می‌کنیم. دامنه‌ی سیگنال ۱۰mV را توسّط دو مقاومت مساوی مطابق شکل ۲۳ـ۴ نصف می‌کنیم تا به ورودی تقویت‌کننده فقط ۵mV اعمال شود.



شکل ۲۳ـ۴ـ مدار تضعیف‌کننده

اگر دامنه‌ی سیگنال ورودی ۱۰۰mV، یک ولت، ۱۰ ولت و یا ۱۰۰ ولت و یا ... باشد به‌ترتیب مدارهای شکل ۲۴ـ۴ را به‌کار می‌بریم.



شکل ۲۴ـ۴ـ مدارهای تضعیف‌کننده‌ی ولتاژ

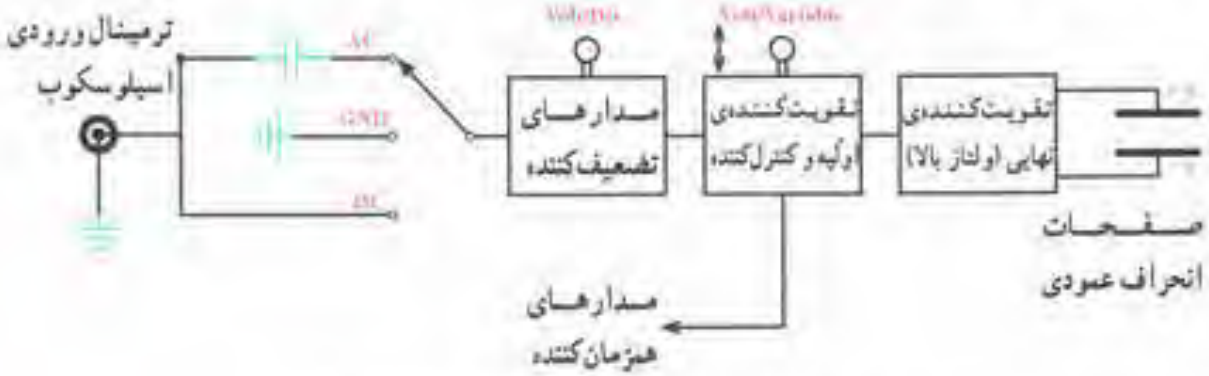
بنابراین سیگنال‌های اعمالی به اسیلوسکوپ را به دلایلی که گفته شد ابتدا تضعیف و سپس تقویت می‌کنند تا بتوانند تمامی سیگنال‌ها (اعم از دامنه‌های mV تا چند ده ولت) را روی صفحه‌ی حساس با حداکثر اندازه (به‌طوری‌که هر سیگنال ورودی تمامی صفحه‌ی حساس را در برگیرد تا مشاهده و اندازه‌گیری لازم به روی سیگنال با دقت بیش‌تری انجام شود) مشاهده نمایند. عمل تضعیف‌کردن به‌وسیله‌ی کلید Volt / Div که روی پانل اسیلوسکوپ قرار دارد انجام می‌شود. شکل ۲۵ـ۴ نمای ظاهری این کلید را روی پانل اسیلوسکوپ نشان می‌دهد.

شکل ۲۵ـ۴ـ نمای ظاهری کلید تضعیف‌کننده

ضرایب کلید Volt / Div با توجّه به مقدار تضعیف و تقویت سیگنال، بیان‌کننده‌ی مقدار ولتاژ لازم جهت انحراف اشعه به اندازه‌ی یک خانه می‌باشد. معمولاً بر روی این سلکتور (Volt / Div)

و یا در کنار آن، ولومی به نام Volt Variable قرار دارد که این ولوم معمولاً قادر است بهره‌ی تقویت‌کننده را تضعیف کند. اگر این ولوم را تا آخر در جهت عقربه‌های ساعت بچرخانیم (در حالت .Cal قرار دهیم) ضرایب کلید Volt / Div دقیقاً، مقدار ولتاژ لازم را، جهت انحراف اشعه‌ی روی صفحه‌ی حساس، به اندازه‌ی یک خانه می‌رساند؛ حال آن که اگر این ولوم را از حالت .Cal خارج کنیم دیگر این ضرایب بیان‌کننده‌ی مقدار ولتاژ لازم جهت انحراف اشعه به‌طور دقیق نیستند. تضعیف به کمک این ولوم، در انواع اسیلوسکوپ‌ها فرق می‌کند ولی همه‌ی اسیلوسکوپ‌ها به‌طور متوسط قادرند تا ۲/۵ برابر عمل تضعیف را انجام دهند. کاربرد این ولوم پیش‌تر در مواردی است که اندازه‌گیری دامنه مدنظر نباشد بلکه هدف فقط مشاهده‌ی شکل موج باشد. فرض کنید می‌خواهیم شکل یک ولتاژ را دقیقاً در ۶ خانه ببینیم. ابتدا اگر نتوانیم با کلید Volt / Div این شکل موج را در ۶ خانه تنظیم کنیم، با کم کردن رنج Volt / Div سعی می‌کنیم شکل موج بیش از ۶ خانه را در برگیرد و آنگاه با ولوم Volt Variable شکل موج ورودی را در ۶ خانه روی صفحه‌ی نمایش تنظیم می‌کنیم.

۴ـ۲ـ۴ـ تقویت‌کننده‌ی عمودی: پس از تضعیف نمودن سیگنال ورودی آن را تقویت می‌کنند. عمل تقویت، معمولاً در دو مرحله صورت می‌گیرد. مرحله‌ی اوّل با ولتاژ کم (حدود چندین ولت) و مرحله‌ی دوم با ولتاژ زیاد (چند ده ولت). در مرحله‌ی اول ضمن تقویت سیگنال اصلی، کنترل‌هایی مانند حرکت عمودی سیگنال ظاهر شده روی صفحه‌ی حساس و یا ولوم Volt Variavle روی آن انجام می‌شود و همچنین بعد از تقویت اوّلیه‌ی سیگنال، یک نمونه از سیگنال برای سنکرونیزاسیون از قسمت تقویت‌کننده دریافت می‌گردد. با توجه به این که صفحات انحراف عمودی برای انحراف اشعه روی صفحه‌ی حساس نیاز به ولتاژی حدود چند ده ولت دارند، بعد از تقویت اوّلیه‌ی سیگنال، سیگنال وارد تقویت‌کننده‌ی نهایی ــ که دارای ولتاژ زیاد است ــ می‌شود و پس از تقویت نهایی به صفحات انحراف عمودی اعمال می‌گردد. بلوک دیاگرام شکل ۲۶ـ۴ مراحل ورود سیگنال به اسیلوسکوپ را تا اعمال آن به صفحات انحراف عمودی نشان می‌دهد.

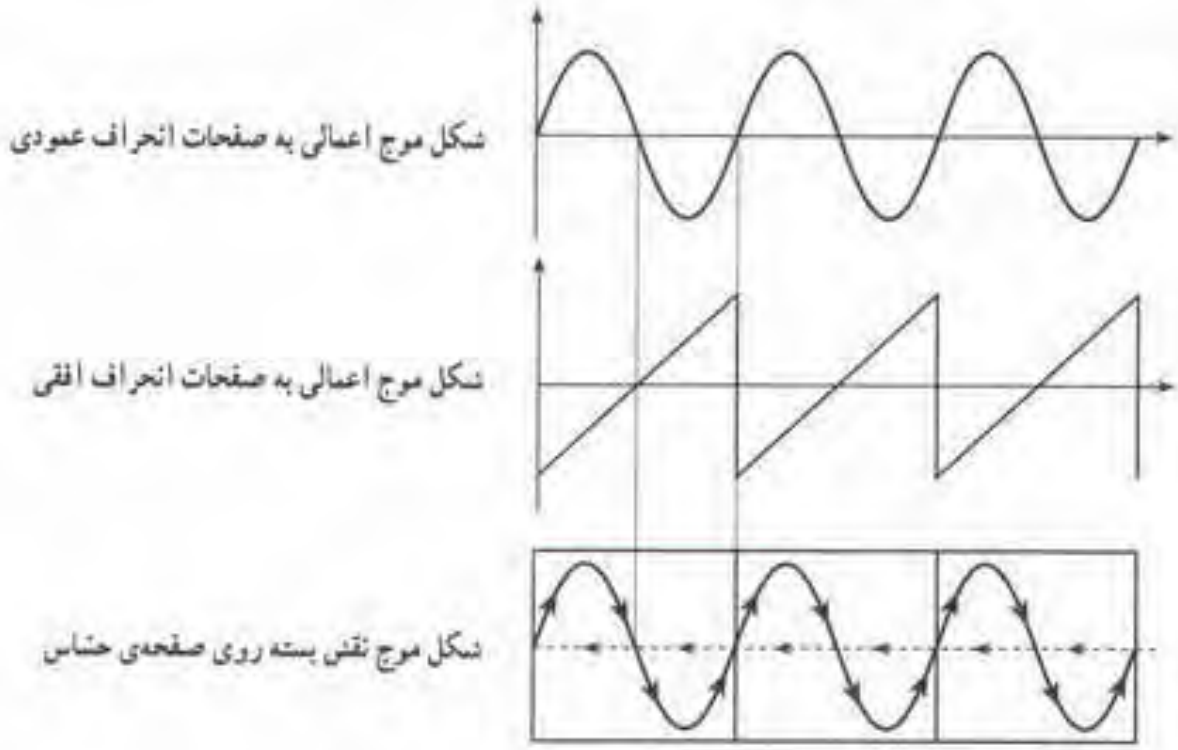


شکل ۲۶ـ۴ـ بلوک دیاگرام قسمت آماده‌سازی سیگنال

۵ــ۲ــ۴ــ سنکرونیزاسیون و تریگر: همان‌طور که در قسمت لامپ اشعه‌ی کاتدیک گفته شد با تنظیم زمانِ موجِ جاروب می‌توان یک سیکل، بخشی از یک سیکل و یا هر تعداد از سیکل‌های سیگنال ورودی را روی صفحه‌ی حسّاس نشان داد.

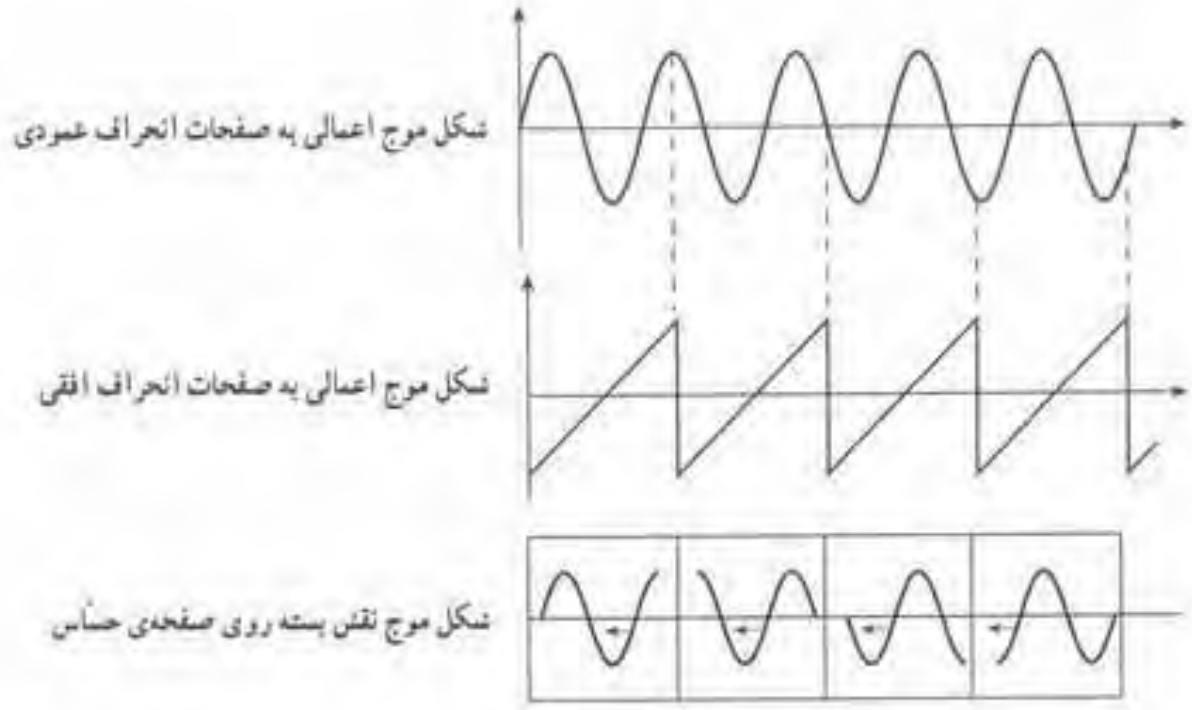
می‌دانیم برای مشاهده‌ی شکل سیگنال اعمالی به اسیلوسکوپ باید این سیگنال را به صفحات انحراف عمودی داده و از طرف دیگر موج Ramp را به صفحات انحراف افقی اعمال کرد. (درحقیقت برای مشاهده‌ی سیگنال الکتریکی باید این سیگنال، متناوب باشد زیرا اشعه باید مرتّباً برروی حالت قبلی جاروب شود تا شکل سیگنال به صورت ثابت روی صفحه‌ی حسّاس مشاهده گردد).

برای تحقّق موارد بالا لازم است که سیگنال اوّل از هر کجای سیکل اوّل شروع شد، بقیّه نیز از همان نقطه جاروب شوند. در غیر این صورت شکل سیگنال نشان داده شده روی صفحه‌ی حسّاس مرتباً به سمت چپ یا راست حرکت می‌کند. در شکل ۲۷ــ۴ تمامی سیکل‌ها از نقطه‌ی صفر شروع شده‌اند، لذا موج به صورت ثابت روی صفحه‌ی حسّاس ظاهر می‌شود.



شکل ۲۷ــ۴ــ اگر تمامی سیکل‌ها روی صفحه‌ی حساس از یک نقطه جاروب شوند موج روی صفحه‌ی حساس به صورت کاملاً ثابت دیده می‌شود.

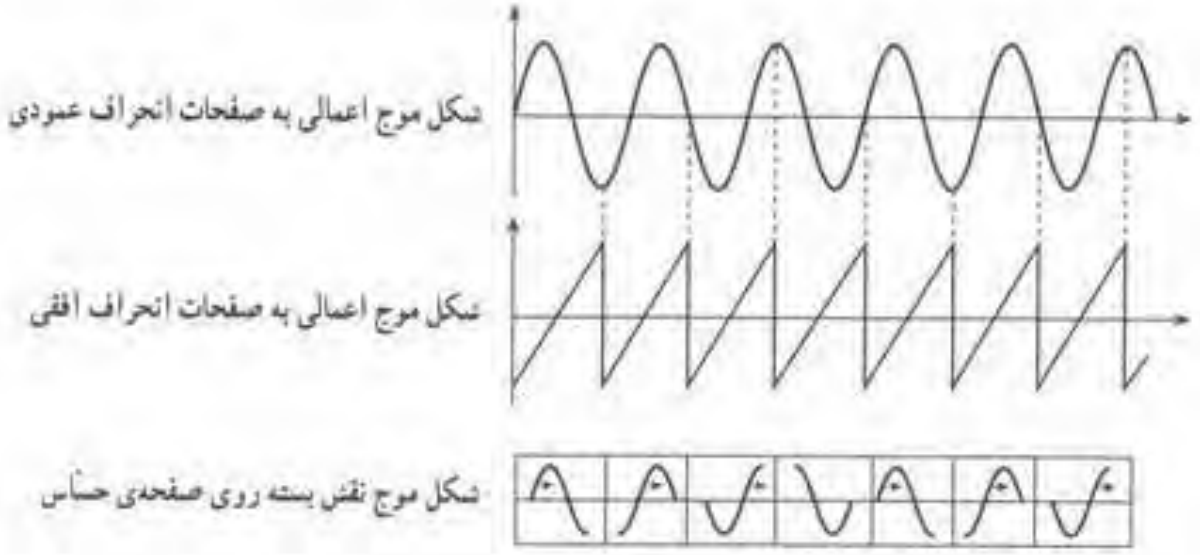
همان‌طور که از شکل ۲۷ـ۴ پیداست زمان تناوب موج Ramp (موج جاروب) با زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی برابر است. حال اگر این زمان‌ها با هم برابر نباشند، مثلاً زمان تناوب موج جاروب اندکی بیش‌تر از زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی باشد، دراین صورت در تمامی سیکل‌ها موج از یک نقطه شروع نشده و به صورت ثابت روی صفحه‌ی حسّاس ظاهر نمی‌گردد، بلکه به صورت موجی متحرک که به سمت چپ حرکت دارد روی صفحه‌ی حسّاس مشاهده می‌گردد. شکل ۲۸ـ۴ این مطلب را نشان می‌دهد.



شکل ۲۸ـ۴ـ اگر زمان تناوب موج Ramp بیش‌تر از زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی باشد، شکل موج روی صفحه‌ی حسّاس به سمت چپ حرکت می‌کند.

اگر زمان تناوب موج جاروب کم‌تر از زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی باشد باز هم تمامی سیکل‌ها از یک نقطه شروع نمی‌شوند. موج این بار از سمت چپ به راست، روی صفحه‌ی حسّاس به حرکت درمی‌آید. شکل ۲۹ـ۴ این موضوع را نشان می‌دهد.

با توجّه به مطالبی که گفته شد فقط در حالت اوّل (حالتی که زمان تناوب موج جاروب با زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی برابر باشد) موج به صورت ثابت (بدون حرکت) روی صفحه‌ی حسّاس ظاهر می‌گردد. لکن درعمل امکان این که زمان تناوب این دو موج یکی شود، یا



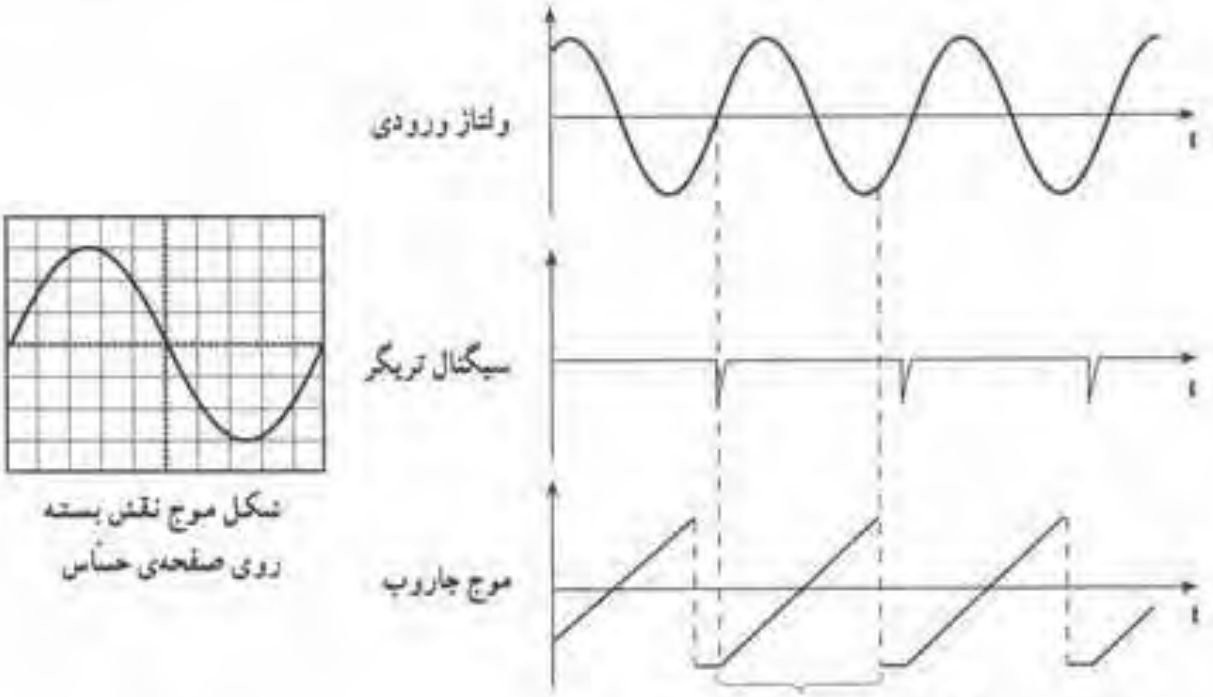
شکل ۲۹ــ۴ــ اگر زمان تناوب موج Ramp کم‌تر از زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی باشد، شکل موج روی صفحه‌ی حساس از سمت چپ به سمت راست حرکت می‌کند.

وجود ندارد و یا خیلی به‌ندرت پیش می‌آید. از طرف دیگر ما باید بتوانیم قسمتی از یک سیکل و یا یک سیکل و اندی از شکل موج را روی صفحه‌ی حساس ببینیم.

برای تحقق این امر، شکل موج ورودی را با یک سطح ولتاژ DC مقایسه می‌کنند؛ در لحظه‌ای که این دو ولتاژ برابر شدند مقایسه‌کننده یک پالس (علامت) را به نشانه‌ی اعلام برابری دو ولتاژ در اختیار می‌گذارد. از طرفی مولد موج Ramp را طوری می‌سازند که فقط با اعمال این پالس‌ها به آن، شروع به تولید موج کند؛ پس به‌طور خلاصه، شروع موج Ramp به‌وسیله‌ی پالس‌های مقایسه‌کننده، صورت می‌گیرد که زمان تناوب آن از روی پانل اسیلوسکوپ قابل کنترل است. لحظه‌ی شروع موج نیز روی صفحه‌ی حساس قابل کنترل بوده و هر تعداد سیکل و حتّی قسمتی از یک سیکل قابل رؤیت می‌باشد. شکل ۳۰ــ۴ مدار مقایسه‌کننده را نشان می‌دهد.

شکل ۳۰ــ۴ــ بلوک دیاگرام مدار مقایسه‌کننده‌ی سیگنال ورودی با یک ولتاژ DC

سطح ولتاژ DC(Level) می‌تواند مقداری مثبت، منفی و یا صفر باشد. در شکل ۳۱ـ۴ سیگنال ورودی با یک ولتاژ صفر ولت مقایسه شده، پالس‌های خروجی مقایسه‌کننده به‌عنوان سیگنال فرمان (Trigger Signal) به مولّد موج Ramp اعمال شده و مولّد موج Ramp بلافاصله پس از دریافت این پالس‌ها شروع به تولید موج مذکور نموده است.



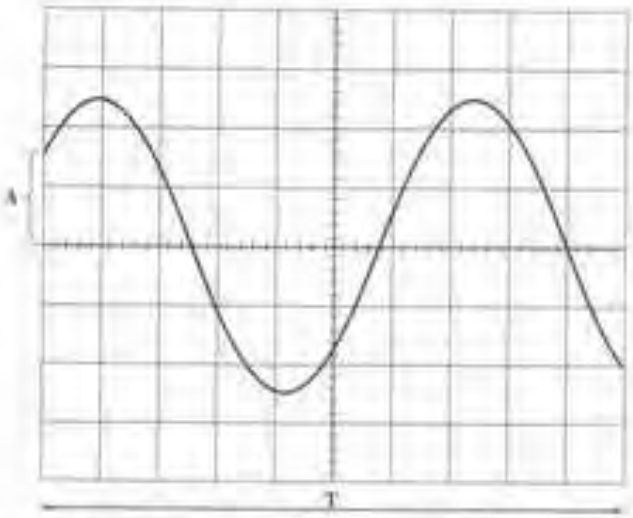
شکل موج نقش بسته
روی صفحه‌ی حساس

طول موج جاروب که با کلید سلکتور
Time/Div قابل کنترل است.

شکل ۳۱ـ۴ـ سیگنال ورودی با ولتاژ صفر مقایسه شده، در نتیجه سیگنال روی صفحه‌ی حساس از نقطه‌ی صفر شروع می‌شود.

روی پانل اسیلوسکوپ، ولومی به نام Level وجود دارد که نقش آن شرح داده شد. بدین‌صورت که با استفاده از این ولوم مقدار ولتاژ (منفی ـ صفر یا مثبت) DC با سیگنال ورودی مقایسه شده و پالس‌های تریگر تولید می‌شود. سپس این پالس‌های تریگر به مولّد موج Ramp اعمال گشته و از این لحظه مولّد شروع به تولید موج می‌کند.

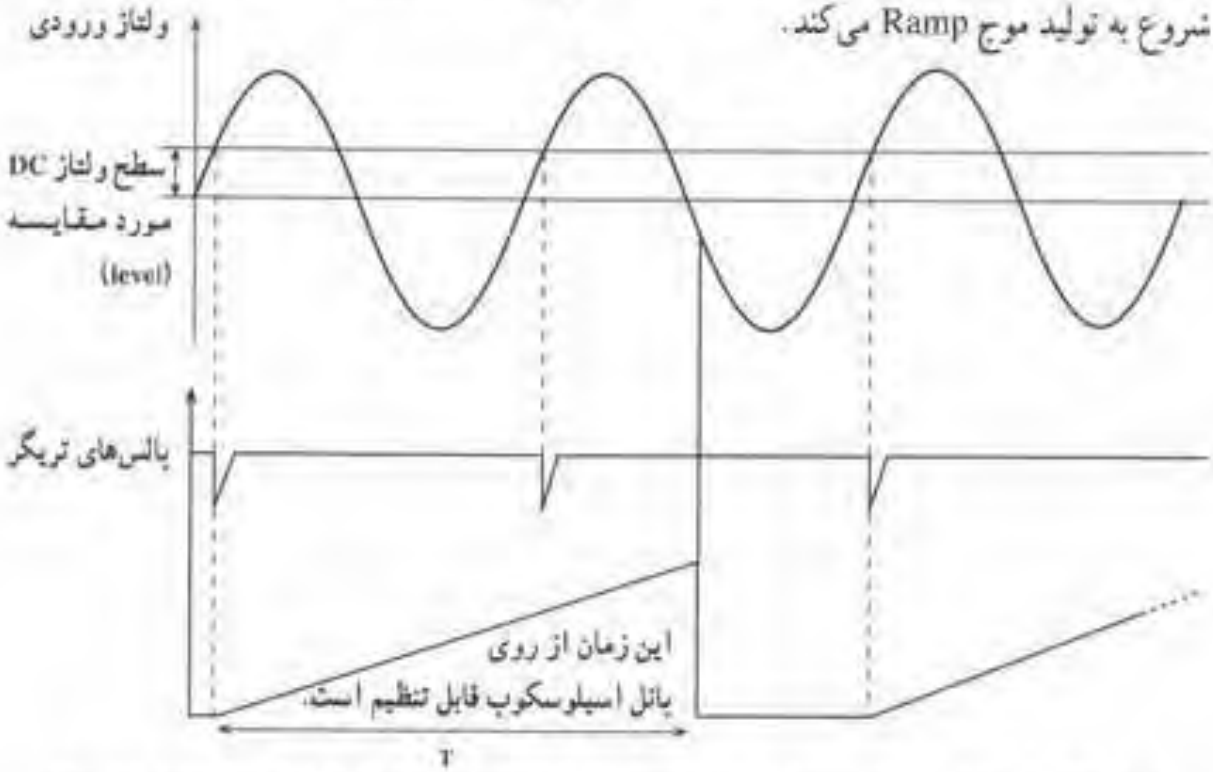
فرض کنید می‌خواهیم شکل موج نشان داده شده در شکل ۳۲ـ۴ را، روی صفحه‌ی حساس ببینیم.



شکل ۳۲ـ۴ـ این شکل موج را می‌خواهیم روی صفحه‌ی حساس ببینیم

برای تحقّق این امر، ولتاژ ورودی را با سطح ولتاژی مثبت به اندازه‌ی A (شکل۳۲ـ۴) مقایسه می‌کنیم و زمان تناوب موج Ramp را نیز از روی بائل اسیلوسکوپ به اندازه‌ی T تنظیم می‌نماییم. شکل ۳۳ـ۴ نتیجه‌ی مقایسه‌ی ولتاژ ورودی با ولتاژ DC و همچنین لحظه‌ی تولید موج Ramp و لحظه‌ی ختم موج Ramp را نشان می‌دهد.

هنگامی که مولّد موج Ramp در حال تولید موج است پالس‌های تریگر، روی آن اثر نمی‌گذارند و فقط زمانی که مولّد خاموش است (در حال تولید موج نیست) این پالس‌ها روی آن اثر گذاشته، مولّد شروع به تولید موج Ramp می‌کند.



شکل ۳۳ـ۴ـ تنظیم به دلخواه نقطه‌ی متنوع و خاتمه‌ی هر تعداد از سیکل‌ها، به کمک مقایسه با ولتاژ DC، انجام‌پذیر بوده و تنظیم زمان تناوب موج Ramp نیز تحقّق می‌یابد.

۶ــ۲ــ۴ــ منابع تریگر: همان طور که در صفحات قبل توضیح داده شد برای دیدن فاصله‌ی میان دو نقطه‌ی مشخص از یک سیگنال الکتریکی، این سیگنال باید با ولتاژ DC مقایسه شود و هنگام برابری این دو سیگنال با ایجاد یک پالس (Trigger Signal) و اعمال آن به مولد موج Ramp، مولد شروع به تولید موج نماید. در این صورت با زمانی که ما از بیرون آن را کنترل می‌کنیم، مکان اتمام موج نیز قابل تعیین می‌باشد.

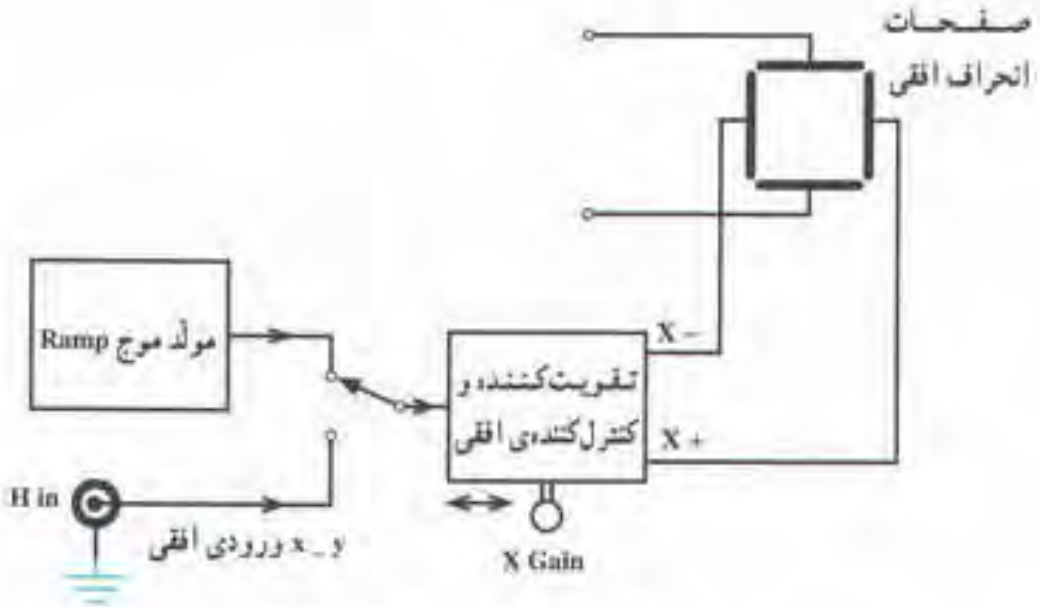
سیگنالی که قرار است با ولتاژ DC مقایسه شود از منابع دیگری نیز ممکن است تأمین گردد (البته فرکانس منبع باید با فرکانس این سیگنال برابر و یا هر یک از دو فرکانس مضرب صحیحی از یکدیگر باشند). بر روی پانل اسیلوسکوپ‌ها (بیش‌تر در اسیلوسکوپ‌های یک کاناله) یک کلید به‌نام INT-EXT وجود دارد که INT بیان‌کننده‌ی آن است که سیگنال ارسالی به مدار مقایسه‌کننده از داخل خود اسکوپ (نمونه‌ی سیگنال ورودی به اسیلوسکوپ) تأمین می‌گردد. علامت INT خلاصه‌ی کلمه‌ی INTERNAL یعنی داخلی می‌باشد و حالت EXT کلید نیز بدین معنی است که سیگنال فرستاده شده به مدار مقایسه‌کننده، جهت سنکرون کردن موج جاروب، از خارج اسیلوسکوپ تأمین می‌گردد. علامت EXT خلاصه‌ی کلمه‌ی EXTERNAL به معنای خارجی است. برای این که بتوانیم از بیرون یک سیگنال به‌ورودی مدار مقایسه‌کننده‌ی اسیلوسکوپ اعمال کنیم، نیاز به یک ترمینال ورودی داریم. این ترمینال ورودی روی همه‌ی اسیلوسکوپ‌ها وجود دارد و به‌نام Ext.Trig. Input روی پانل آن اسیلوسکوپ مشخص شده است.

اگر اسیلوسکوپ دو کاناله باشد به‌جای INT، CH۱ و CH۲ (کانال ۱ و کانال ۲) را قید می‌کنند.

همچنین اگر هدف، نمایش سیگنال برق شهر (ولتاژی که به اسیلوسکوپ وصل شده است) باشد، روی اکثر اسیلوسکوپ‌ها حالت Line Trig وجود دارد که دراین حالت خود اسیلوسکوپ یک سیگنال الکتریکی با فرکانس ۵۰Hz (برق شهر) به ورودی مدار مقایسه‌کننده می‌فرستد. بنابراین، تااین‌جا، چهار منبع برای تأمین سیگنال ارسالی به مقایسه‌کننده جهت مقایسه با ولتاژ DCمشخص نمودیم (CH۱، CH۲، EXT و Line). بلوک شکل ۳۴ــ۴ مطالب بالا را نشان می‌دهد.

شکل ۳۴ــ۴ــ بلوک دیاگرام منبع تأمین پالس‌های فرمان به مولد موج Ramp

۷ـ۲ـ۴ـ تقویت‌کننده‌ی افقی: برای تقویت موج Ramp، از یک تقویت‌کننده به نام تقویت‌کننده‌ی افقی استفاده می‌شود، معمولاً خروجی این تقویت‌کننده مستقیماً به صفحات انحراف افقی وصل می‌شود، از این رو ولتاژ کار این تقویت‌کننده‌ها معمولاً ۱۰۰ تا ۲۰۰ ولت می‌باشد. زمانی که اسیلوسکوپ را در حالت X-Y قرار می‌دهیم، این تقویت‌کننده به تقویت‌کننده‌ی موجی که به‌صفحات انحراف افقی متّصل می‌گردد، تبدیل می‌شود. بلوک دیاگرام شکل ۳۵ـ۴ تقویت‌کننده‌ی افقی را نشان می‌دهد. در ضمن بخش کنترل حرکت سیگنال نقش بسته روی صفحه‌ی حسّاس، در جهت افقی در قسمت تقویت‌کننده‌ی افقی قرار دارد.



شکل ۳۵ـ۴ـ بلوک دیاگرام تقویت‌کننده‌ی افقی

در بسیاری از اسیلوسکوپ‌های یک کاناله ولومی به‌نام X Gain وجود دارد که می‌تواند در حالت X-Y (حالتی که موج Ramp به صفحات انحراف افقی اعمال نمی‌شود) بهره‌ی تقویت‌کننده را تغییر دهد.

۳ـ۴ـ اسیلوسکوپ دو کاناله

اسیلوسکوپ دو کاناله، اسیلوسکوپی است که می‌تواند دو شکل موج را به‌طور همزمان نشان دهد. شکل ۳۶ـ۴ یک اسیلوسکوپ دو کاناله را که به‌طور همزمان دو شکل موج روی صفحه‌ی حسّاس آن نقش بسته است نشان می‌دهد.

اگر بخواهیم دو سیگنال را به‌طور همزمان با اسیلوسکوپ دو کاناله مشاهده کنیم باید این دو

شکل ۳۶ـ۴ـ یک اسیلوسکوپ دو کاناله که به طور همزمان دو شکل موج را روی صفحه‌ی حسّاس خود نشان می‌دهد.

سیگنال، هم‌فرکانس باشند و یا فرکانس آن‌ها مضرب صحیحی از یکدیگر باشد.

با مشاهده‌ی دو شکل موج در یک اسیلوسکوپ دو کاناله می‌توان این دو موج را با یکدیگر از نظر شکل، دامنه و یا اختلاف فاز و یا ... به‌طور همزمان مقایسه نمود.

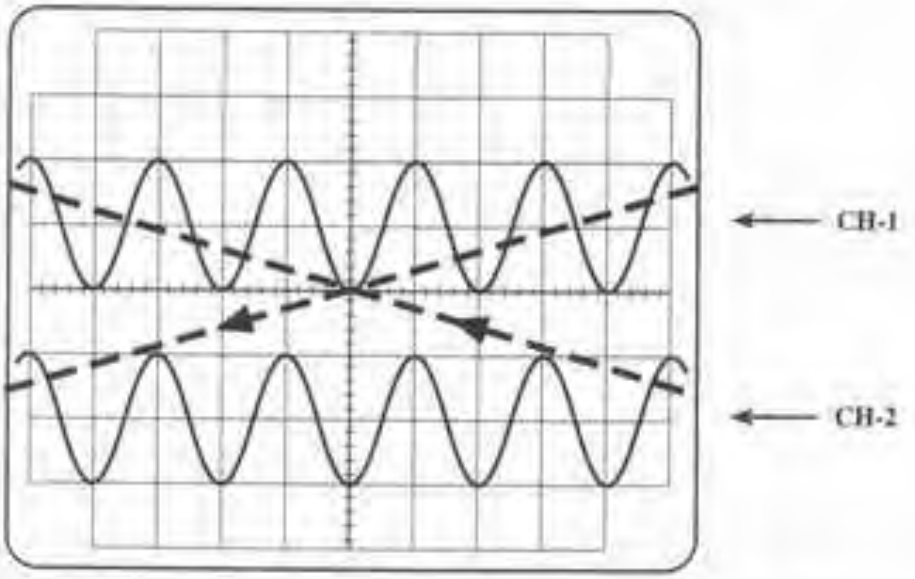
در اسیلوسکوپ‌های دو کاناله، کنترل فوکوس، شدّت نور و Time / Div هر دو کانال یکی است. فقط قسمت کنترل و تقویت‌کننده‌ی اوّلیه‌ی عمودی سیگنال‌های ورودی دو کانال با یکدیگر تفاوت دارد.

همان‌طور که می‌دانیم، لامپ اشعه‌ی کاتدیک، فقط یک اشعه تولید می‌کند، لذا برای مشاهده‌ی دو شکل موج نیاز به دو اشعه داریم. اسیلوسکوپ‌های قدیمی‌تر، دو اشعه تولید می‌کردند و هر اشعه مربوط به یک کانال می‌شد. این نوع اسیلوسکوپ‌ها را Dual Beam می‌نامیدند. امّا در حال حاضر، همان یک اشعه دو سیگنال را نشان می‌دهد. به این نوع اسیلوسکوپ‌ها Dual Trace می‌گویند.

اگر فرکانس سیگنال زیاد باشد (حدود ۱kHz به بالا) اسیلوسکوپ ابتدا سیگنال کانال ۱ (در یک تناوب) را نشان داده و سپس در تناوب دیگر سیگنال، کانال ۲ را به همین صورت نمایش می‌دهد و پس از آن به‌طور متناوب کانال ۱ و ۲ را نشان می‌دهد. چون فرکانس کار زیاد است، زمانی که

کانال۱ نشان داده می‌شود کانال ۲ قطع است و برعکس، که ما به دلیل سرعت قطع و وصل زیاد این مورد را احساس نمی‌کنیم لذا دو شکل موج را به‌طور همزمان می‌بینیم.

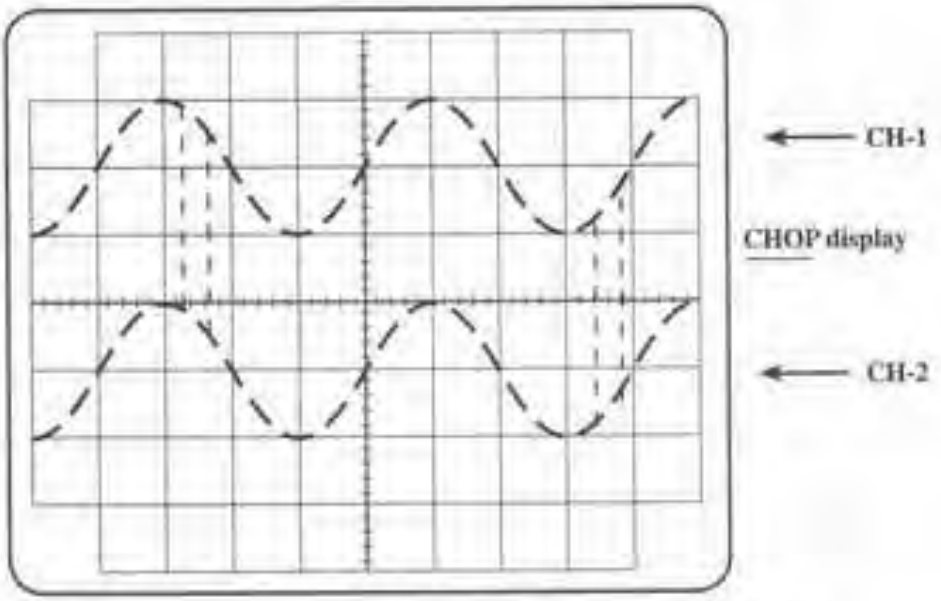
شکل ۳۷ـ۴ سیگنال کانال ۱ را در تناوب اول و در تناوب بعد، سیگنال کانال ۲ را نشان می‌دهد.



شکل ۳۷ـ۴ـ نمایش دو سیگنال در اسیلوسکوپ دو کاناله، به صورت متناوب.

در روی اسیلوسکوپ، کلیدی به نام ALT وجود دارد ؛ چنانچه فرکانس سیگنال‌های دو کانال، بیش‌تر از ۱kHz باشد با استفاده از این کلید، می‌توانیم دو شکل موج را به‌طور همزمان ببینیم.

اگر فرکانس سیگنال کم باشد، مشاهده‌ی دو شکل موج به‌طور همزمان با استفاده از کلید (ALT) امکان‌پذیر نخواهد بود. زیرا اسیلوسکوپ، وقتی سیگنال کانال ۱ را نمایش می‌دهد، (چون فرکانس کم و زمان تناوب زیاد است) سیگنال کانال ۲ از دید محو می‌شود و دو موج به صورت چشمک‌زن، روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌گردند. برای نمایش سیگنال‌های با فرکانس کم، از روش دیگری به نام Chopping استفاده می‌کنند. در این روش، یک نقطه‌ی کوچک از سیگنال کانال ۱ و یک نقطه‌ی کوچک از سیگنال کانال ۲ و به همین ترتیب تا آخر، نمایش داده می‌شود. دراین روش، لحظه‌ای که سیگنال کانال ۱ نمایش داده می‌شود کانال ۲ قطع است و برعکس ؛ چون این نقاط، فوق‌العاده کوچک‌اند ما آن‌ها را کنار هم و به‌صورت پیوسته می‌بینیم. شکل ۳۸ـ۴ دو شکل موج سینوسی هم فرکانس را به‌صورت Chopping نشان می‌دهد.



شکل ۳۸ــ۴ــ نمایش دو سیگنال روی صفحه‌ی حساس به صورت Chopping

روی اکثر اسیلوسکوپ‌ها، کلیدی به همین نام (CHOP) وجود دارد که برای نمایش دو سیگنال به‌طور همزمان در فرکانس کم، از این کلید استفاده می‌شود.

در اسیلوسکوپ‌های دو کاناله در حالت X-Y، یکی از کانال‌ها کنترل محور عمودی (Y) و کانال دیگر کنترل محور افقی (X) را به‌عهده دارد.

روی پانل اسیلوسکوپ‌های دو کاناله کلیدهایی برای نمایش سیگنال یک کانال یا سیگنال دو کانال به‌طور همزمان وجود دارد که در ذیل به تعدادی از آن‌ها اشاره خواهد شد.

الف ــ CH1: اگر کلید، در این حالت باشد، فقط سیگنال اعمالی به کانال ۱ روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌گردد (کانال دوّم قطع است).

ب ــ CH2 : در صورت قرار داشتن کلید، در این حالت فقط سیگنال اعمال شده به کانال ۲ روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌گردد (کانال اوّل قطع است).

ج ــ ALT : در این حالت از کلید، سیگنال کانال ۱ و سیگنال کانال ۲ به‌طور همزمان به روش تناوبی یا Alternation روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌شوند. (برای فرکانس‌های بالاتر از ۱kHz)

د ــ CHOP: اگر کلید در حالت CHOP باشد، سیگنال کانال ۱ و سیگنال کانال ۲ به‌طور همزمان به‌صورت شکل موج‌های قطعه‌قطعه شده با Chopping روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌شوند. (کم‌تر از ۱kHz)

هـ ــ Dual: در بعضی از اسیلوسکوپ‌ها به‌جای کلیدهای ALT و CHOP کلید Dual

وجود دارد که هر دو سیگنال اعمالی به کانال ۱ و ۲ را به‌طور همزمان نشان می‌دهد.

و ــ **ADD** : با قرار دادن کلید در این حالت، دو سیگنال کانال ۱ و ۲ که روی صفحه‌ی حساس نقش بسته‌اند با یکدیگر جمع لحظه‌ای می‌شوند.

ز ــ **DIFF**: این کلید فقط در بعضی از اسیلوسکوپ‌های دوکاناله وجود دارد. در این حالت دو سیگنال کانال ۱ و کانال ۲ که روی صفحه‌ی حساس نقش بسته‌اند با یکدیگر تفریق لحظه‌ای شده و روی صفحه‌ی حساس نمایان می‌شوند.

ح ــ **CH2INV**: این کلید، سیگنال مربوط به کانال ۲ را ۱۸۰ درجه تغییر فاز می‌دهد.

همچنین بعضی دگمه‌های خاص روی اسیلوسکوپ وجود دارند که در قسمت بعد (تشریح پانل یک اسیلوسکوپ دوکاناله) توضیح داده خواهند شد.

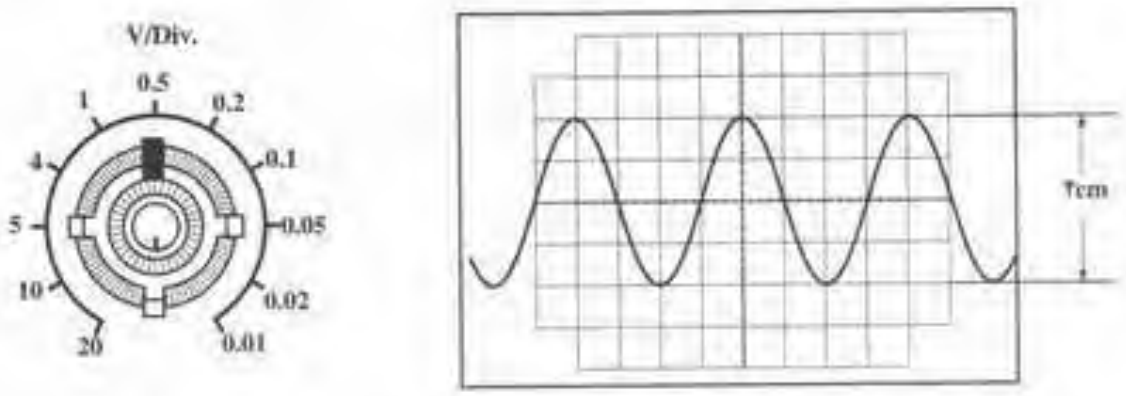
۴ــ۴ــ کاربردهای عمومی اسیلوسکوپ

حال که طرز کار اسیلوسکوپ را تا حدودی یاد گرفتیم جای آن دارد که اشاره‌ای مختصر به‌بعضی از کاربردهای آن داشته باشیم.

۱ــ۴ــ۴ــ اندازه‌گیری دامنه: صفحه‌ی حساس اسیلوسکوپ، در جهت افقی به ۱۰ قسمت و در جهت عمودی به ۸ قسمت تقسیم شده است. در برخی از اسیلوسکوپ‌ها اندازه‌ی هر قسمت یک سانتی‌متر و در بعضی دیگر حدود ۹ میلی‌متر است. خط افقی و عمودی وسط، علاوه بر تقسیمات ۸ و ۱۰ قسمتی دارای درجه‌بندی ریزتری نیز می‌باشد، به‌طوری‌که هر خانه به پنج قسمت تقسیم شده و هر قسمت معادل ۰/۲cm و یا ۰/۲ خانه می‌باشد.

برای اندازه‌گیری دامنه، ابتدا ولوم Volt Variable را تا انتها در جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخانیم، آنگاه با قرار دادن کلید AC-GND-DC، روی حالت GND اشعه را ترجیحاً در وسط صفحه تنظیم کرده و کلید فوق را در حالت DC قرار می‌دهیم تا شکل موج اعمالی به اسیلوسکوپ روی صفحه‌ی حساس ظاهر شود (با تنظیم سلکتور Time / Div می‌توان حدوداً یک یا دو سیکل کامل را روی صفحه‌ی حساس نشان داد). سپس با شمارش تعداد خانه‌هایی که پیک تا پیک، یا پیک یک ولتاژ AC، و یا مقدار ولتاژ DC موج در برگرفته و از ضرب این تعداد خانه در رنج سلکتور Volt / Div ، مقدار ولتاژ پیک تا پیک، یا پیک AC یا DC به‌دست می‌آید.

مثال ۱: در شکل ۳۹ــ۴ دامنه‌ی پیک تا پیک ولتاژ برابر ۲V = ۰/۵ Volt / Div ×(۴خانه) یا (۲cm) می‌شود.



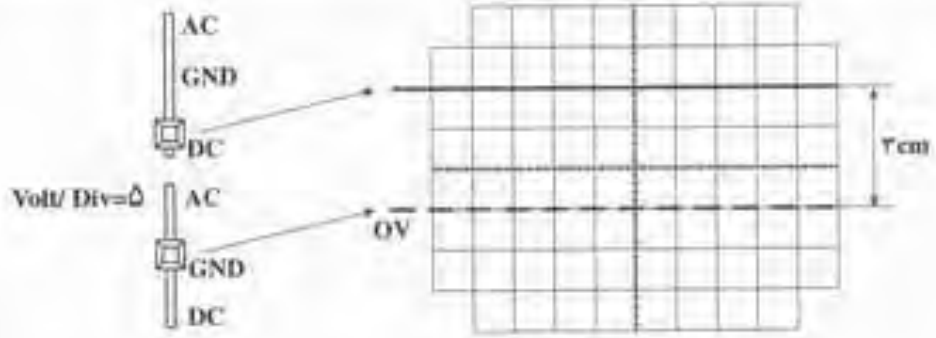
شکل ۳۹ـ۴ـ اندازه‌گیری دامنه

اگر مقدار پیک ولتاژی را خواسته باشیم، باید مقدار پیک تا پیک را محاسبه کرده آن را بر دو تقسیم نماییم و اگر مقدار مؤثر ولتاژ مدنظر باشد، چون موج سینوسی است، می‌توان برای این منظور مقدار پیک را بر $\sqrt{۲}$ تقسیم نمود.

$$V_p = \frac{V_{p-p}}{۲} = ۱ \text{ ولت}$$

$$V_{eff} = \frac{V_p}{\sqrt{۲}} = \frac{۱}{\sqrt{۲}} = ۰/۷۰۷ \text{ ولت (به خاطر سینوسی بودن)}$$

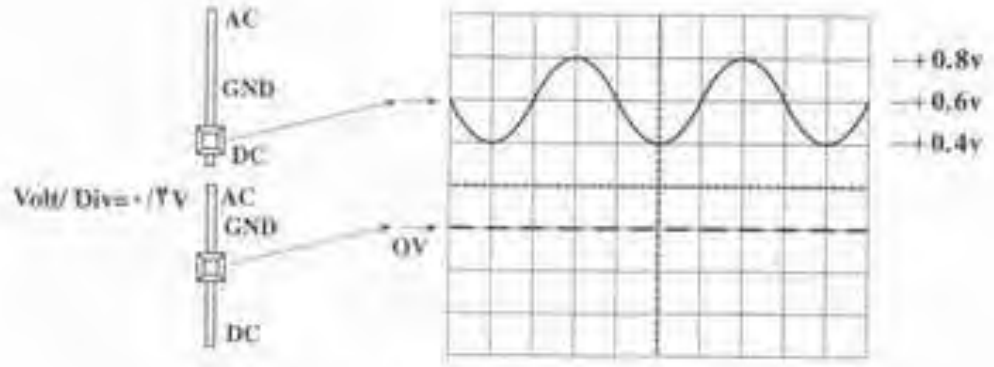
مثال ۲: مقدار ولتاژ DC شکل ۴۰ـ۴ برابر $۵ \text{ Volt / Div} = ۱۵V$ ×۵ (۳خانه) می‌باشد.



شکل ۴۰ـ۴ـ اندازه‌گیری ولتاژ DC

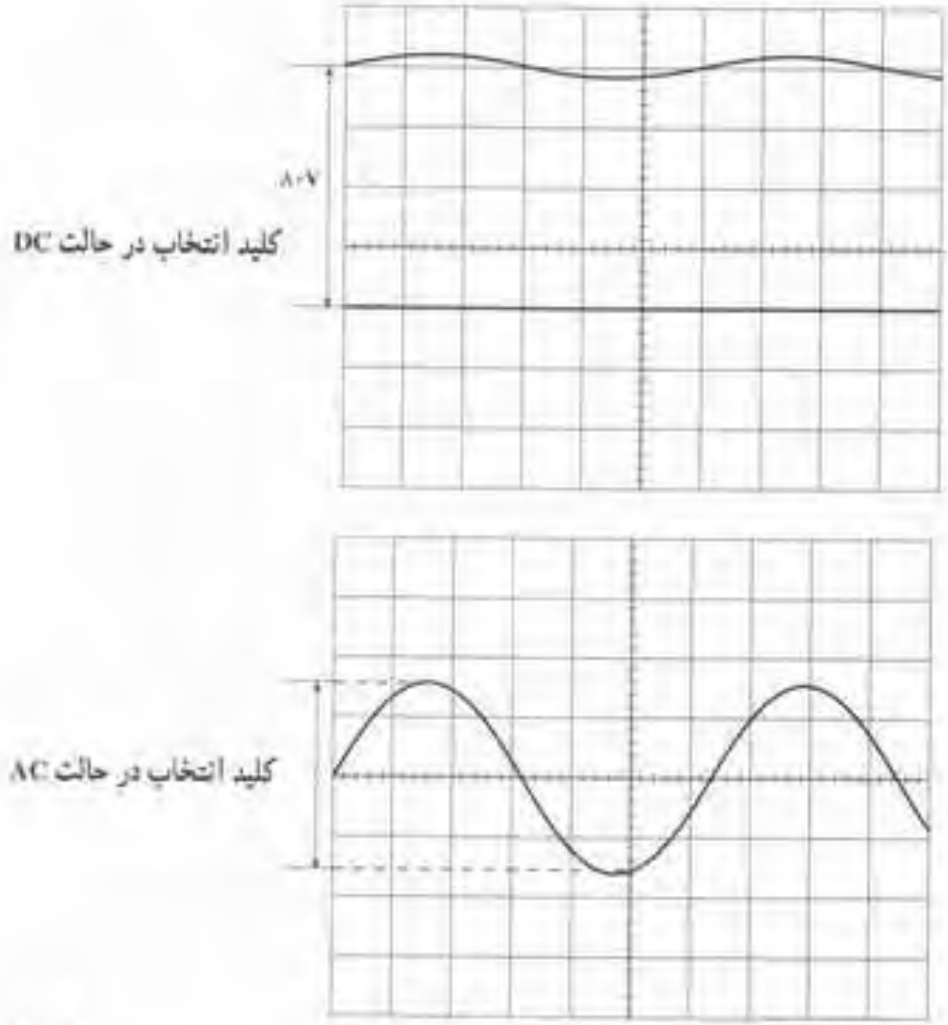
اگر ولتاژ مورد اندازه‌گیری ترکیب DC با AC بوده (AC سوار بر DC) و در ضمن دامنه‌ی AC به‌راحتی قابل اندازه‌گیری باشد، دامنه‌ی AC مطابق آنچه که گفته شد و دامنه‌ی DC با شمارش خانه‌ها، از خطّ صفر تا نقطه‌ی صفر موج AC، اندازه‌گیری می‌شود.

مثال ۳: در شکل ۴۱ـ۴ دامنه‌ی DC برابر ۰/۶ ولت و دامنه‌ی پیک AC برابر ۰/۲ ولت می‌باشد.



شکل ۴۱ـ۴ـ اندازه‌گیری دامنه‌های AC و DC (AC سوار بر DC)

اگر در اندازه‌گیری ولتاژ مرکب از AC و DC تنوان دامنه‌ی AC را درست اندازه گرفت، دراین حالت، ابتدا با قرار دادن کلید در حالت GND اسعه را در مرکز صفحه‌ی حساس تنظیم نموده، سپس کلید انتخاب را در حالت AC قرار می‌دهیم و ضریب Volt / Div را کم می‌کنیم، در این حالت به راحتی مقدار AC قابل اندازه‌گیری خواهد بود. با قرار دادن کلید انتخاب در حالت DC، می‌توان مقدار DC را نیز اندازه گرفت. شکل ۴۲ـ۴ اسیلوسکوپ یک موج با پیک تا پیک ۳/۱ ولتی را، که بر روی یک ولتاژ ۸۰ ولتی سوار است، نشان می‌دهد.

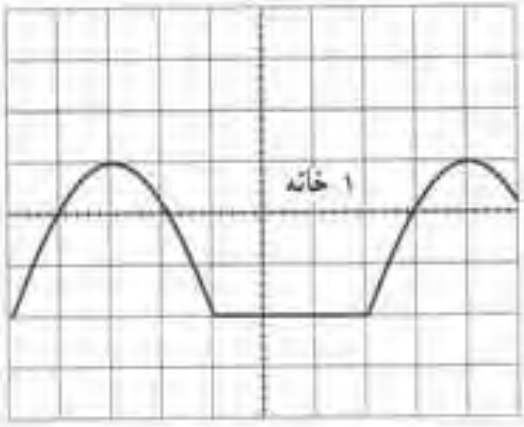


شکل ۴۲ـ۴ـ نحوه‌ی اندازه‌گیری ولتاژ AC سوار بر DC

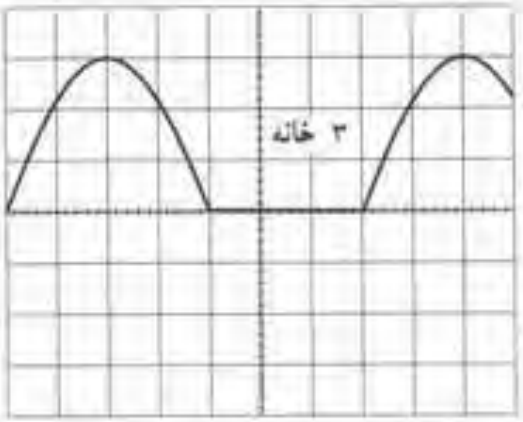
برای اندازه‌گیری مقدار متوسّط یک شکل موج، ابتدا کلید انتخاب را در حالت DC قرار داده، مکان آن را روی صفحه‌ی حسّاس به خاطر می‌سپاریم، سپس کلید انتخاب را در حالت AC قرار می‌دهیم، در این صورت شکل موج نقش بسته روی صفحه‌ی حسّاس جابه‌جا شده و مقدار DC (متوسّط) آن از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

رنج کلید Volt / Div × تعداد خانه‌های جابه‌جا شده در دو حالت DC و AC = مقدار متوسط

شکل ۴۳ـ۴ اندازه‌گیری مقدار متوسّط یک شکل موج یک‌سو شده‌ی سینوسی را نشان می‌دهد.



کلید انتخاب در حالت AC



کلید انتخاب درحالت DC

شکل ۴۳ـ۴ـ ۵Volt / Div = ۱۰V × (۲خانه) شکل جابه جا شده است = مقدار متوسط ولتاژ

۲ـ۴ـ۴ـ اندازه‌گیری زمان تناوب: ضرایب کلید Time / Div ، نشان‌دهنده‌ی مدّت زمان لازم جهت حرکت اشعه به اندازه‌ی یک خانه (=۱cm) می‌باشد مثلاً اگر سلکتور Time / Div بر روی ۵۰µs / Div باشد، ۵۰µs طول می‌کشد تا اشعه مسیر یک خانه را بپیماید. با استفاده از این ضرایب می‌توان زمان تناوب شکل موج‌ها را مطابق ذیل محاسبه نمود :

= زمان تناوب یک شکل موج نقش بسته روی صفحه‌ی حسّاس

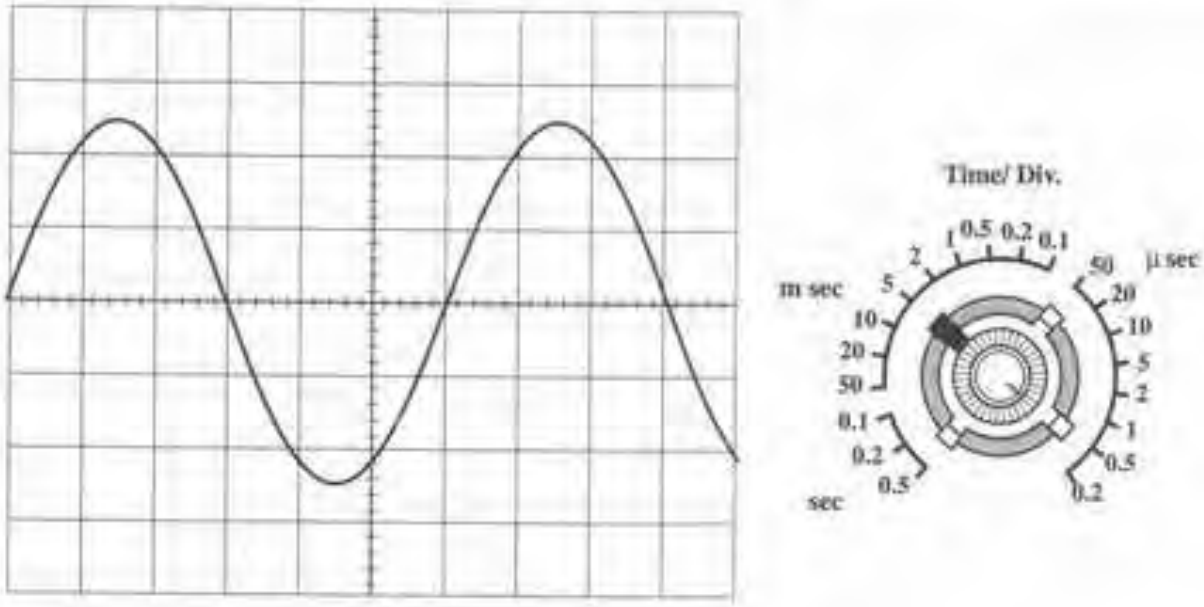
رنج سلکتور Time / Div × تعداد خانه‌های در برگرفته شده توسط یک سیکل

مثلاً زمان تناوب شکل ۴۴ـ۴ برابر ۳۰ms می‌باشد زیرا :

زمان تناوب = ۶Div × ۵ms / Div = ۳۰ms

برای اندازه‌گیری زمان تناوب یک شکل موج باید ولوم Time Variable در حالت Cal. باشد (در جهت عقربه‌های ساعت تا آخر پیچانده شده باشد). برای دقت بیش‌تر باید سعی کنیم حتّی‌الامکان

یک تناوب از شکل، خانه‌های بیش‌تری را در بربگیرد.



شکل ۴۴ـ۴

اسیلوسکوپ‌های معمولی قادر به نشان دادن مقدار فرکانس سیگنال اعمالی نیستند؛ لذا برای اندازه‌گیری فرکانس ابتدا باید زمان تناوب آن را اندازه گرفت و سپس با استفاده از رابطه‌ی $f = \frac{1}{T}$ مقدار فرکانس را محاسبه نمود. در اسیلوسکوپ‌های پیشرفته‌تر، مقدار فرکانس روی صفحه‌ی حسّاس نوشته می‌شود.

مقدار فرکانس سیگنال شکل ۴۴ـ۴ برابر ۳۳/۳Hz می‌باشد زیرا:

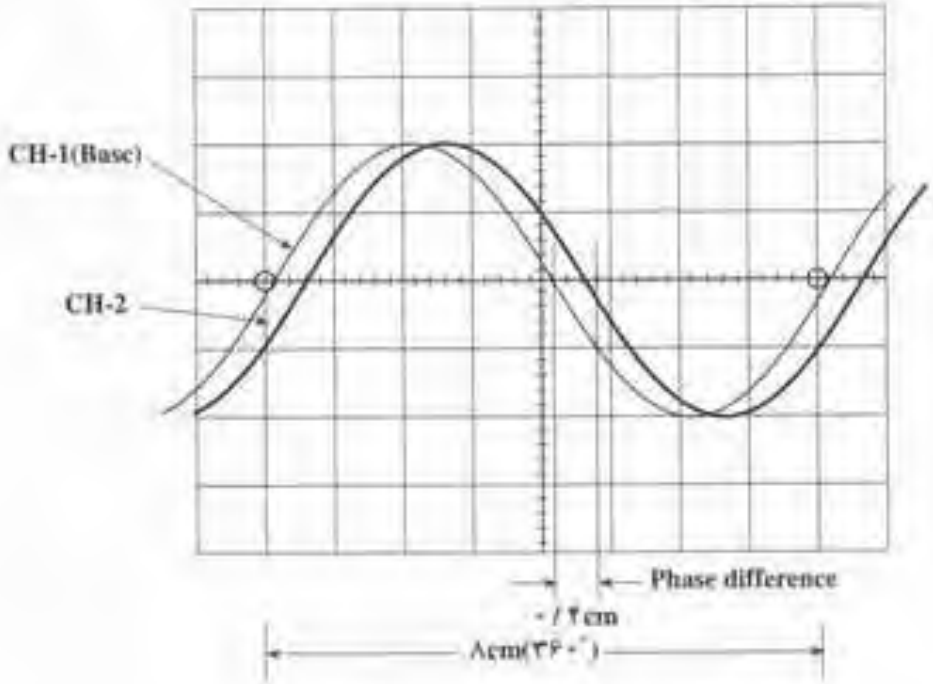
$$f = \frac{1}{30 \times 10^{-3}} = \frac{1000}{30} = 33/3\,Hz$$

۳ـ۴ـ۴ـ اندازه‌گیری اختلاف فاز: با توجه به این که اسیلوسکوپ‌های دو کاناله قادرند به‌طور همزمان دو شکل موج را نمایش دهند، اندازه‌گیری اختلاف فاز میان دو سیگنال امکان‌پذیر خواهد بود. بدین صورت که ابتدا سعی می‌کنیم به کمک سلکتور Time / Div و ولوم Time Variable یک سیکل از شکل موج، تعداد خانه‌های زیادی را در بربگیرد (در اندازه‌گیری اختلاف فاز، نیازی به تنظیم زمان موج جاروب نیست یعنی می‌توان ولوم Time Variable را از حالت .Cal خارج کرد). سپس عدد ۳۶۰ را بر تعداد خانه‌های در برگرفته شده‌ی یک سیکل تقسیم می‌کنیم تامقدار زاویه‌ی هر خانه مشخّص شود (Div/ درجه). سپس تعداد خانه‌های اختلاف فاز را در این عدد ضرب می‌نماییم.

مثلاً در شکل ۴۵ـ۴ اختلاف فاز برابر °۱۸ می‌باشد زیرا :

$$\text{درجه / Div} = \frac{۳۶۰}{۸} = ۴۵^{\circ}$$

اختلاف فاز در سیگنال $۰/۴ \times ۴۵ = ۱۸^{\circ}$ (تعداد خانه‌های اختلاف فاز)



شکل ۴۵ـ۴ـ اختلاف فاز دو سیگنال برابر ۳۱/۵ درجه باشد.

۴ـ۴ـ۴ـ مشاهده و اندازه‌گیری منحنی‌های مشخصه‌ی ولت ـ آمپر عناصر نیمه هادی

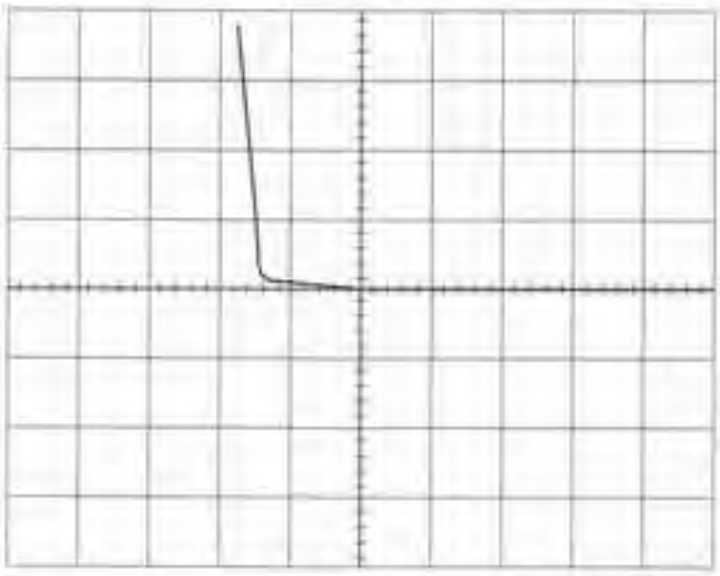
الف ـ دیود معمولی: برای مشاهده و اندازه‌گیری‌های لازم (مانند امپدانس استاتیکی یا دینامیکی دیود در یک نقطه و یا ...) می‌توان با مونتاژ مدار شکل ۴۶ـ۴ و وصل کردن آن به‌اسیلوسکوپ، منحنی مشخصه‌ی دیود را مشاهده نمود و در صورت نیاز پارامترهای لازم را از روی آن اندازه گرفت.

با توجّه به این که اساساً اسیلوسکوپ ولت‌متر است (جریان را نمی‌تواند اندازه بگیرد) و از طرفی مشخصه‌ی دیود در حقیقت «جریانِ دیود برحسب ولتاژ دو سر آن» است لذا با عبور دادن جریان دیود از یک مقاومت (مثلاً ۱ kΩ)، جریان را تبدیل به ولتاژ نموده است.

شکل ۴۶ـ۴ـ مدار مورد نیاز برای مشاهده‌ی منحنی مشخصه‌ی ولت ـ آمپر دیود

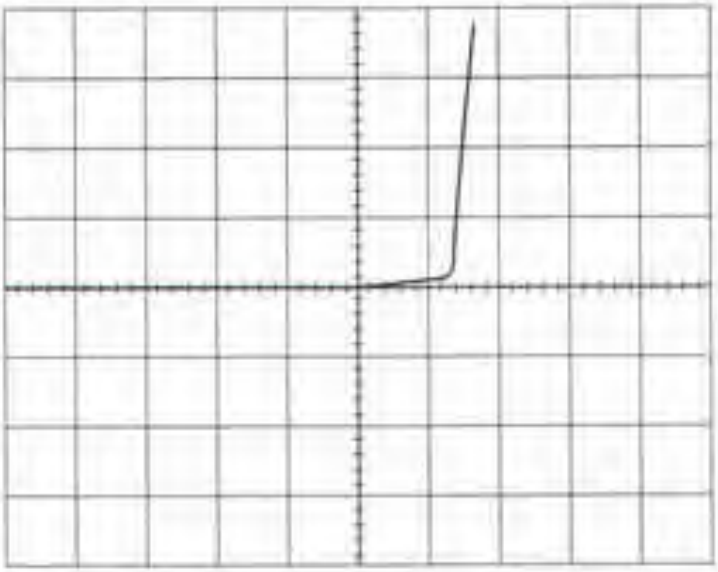
حال با اندازه‌گیری ولتاژ می‌توانیم مقدار جریان را نیز اندازه بگیریم. در مدار فوق چون به‌ازای هر یک میلی‌آمپر جریان ولتاژی دو سر مقاومت به اندازه‌ی یک ولت افت می‌کند، لذا هر یک ولت ولتاژ روی صفحه‌ی حساس را معادل یک میلی‌آمپر جریان برای دیود محسوب می‌کنیم.

برای مشاهده‌ی شکل منحنی مشخصه‌ی دیود، ابتدا اسیلوسکوپ را در حالت X-Y (قطع موج جاروب) قرار می‌دهیم. اگر اسیلوسکوپ دو کاناله باشد Y و X (که روی کانال نیز نوشته شده است) نشان داده شده در مدار فوق را به دو کانال اسیلوسکوپ وصل می‌کنیم و اگر اسیلوسکوپ یک‌کاناله باشد ورودی اصلی، ترمینال Y بوده و X را به ترمینال Hinput (ورودی افقی) وصل می‌کنیم؛ در این صورت با تنظیم مناسب Volt / Div و قرار دادن ولوم Volt Variable روی حالت Cal. شکل ۴۷ـ۴ روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌شود.



شکل ۴۷ـ۴ـ با اتصال مدار شکل ۴۱ـ ۴ به اسیلوسکوپ، منحنی فوق روی صفحه‌ی حساس مشاهده می‌شود.

دلیل این که منحنی مشخّصه‌ی دیود مطابق شکل ۴۷ـ۴ نمایان می‌شود این است که ولتاژ محور Y نسبت به زمین مثبت‌تر و ولتاژ X نسبت به زمین (دو سر دیود) منفی‌تر می‌باشد، لذا اشعه به سمت بالا (به سبب ولتاژ محور Y) حرکت کرده و در نیم صفحه‌ی سمت چپ نمایشگر (به سبب ولتاژ X) قرار می‌گیرد و در نهایت منحنی مشخّصه‌ی دیود در ربع دوّم صفحه‌ی حسّاس نقش می‌بندد. چنانچه اسیلوسکوپ دوکاناله بوده و دکمه CH2INV نیز داشته باشد و با فشار دادن این دکمه درداخل اسیلوسکوپ و در قسمت تقویت‌کننده‌ی افقی، جای قطب‌های ولتاژی که در نهایت به‌صفحات انحراف افقی اعمال می‌گردند عوض می‌شود لذا منحنی مشخصه‌ی دیود به صورت شکل ۴۸ـ۴ روی صفحه‌ی حسّاس ظاهر می‌گردد.

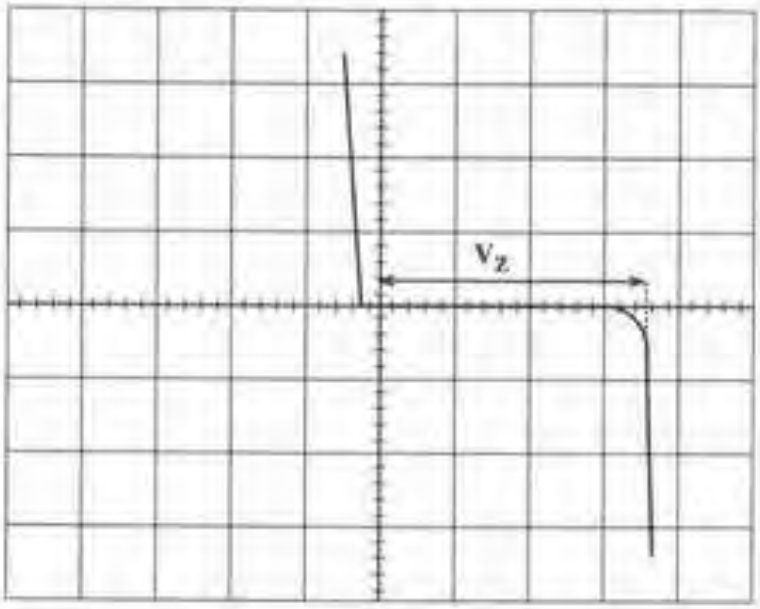


شکل ۴۸ـ۴ـ منحنی مشخصه‌ی دیود در حالتی که دکمه CH2 INV را فشار می‌دهیم.

ب ـ دیود زنر: برای مشاهده‌ی منحنّصه‌ی ولت ـ آمپر یک دیود زنر روی صفحه‌ی حسّاس، و انجام اندازه‌گیری‌های لازم بر روی آن می‌توان از مدار شکل ۴۹ـ۴ استفاده نمود.

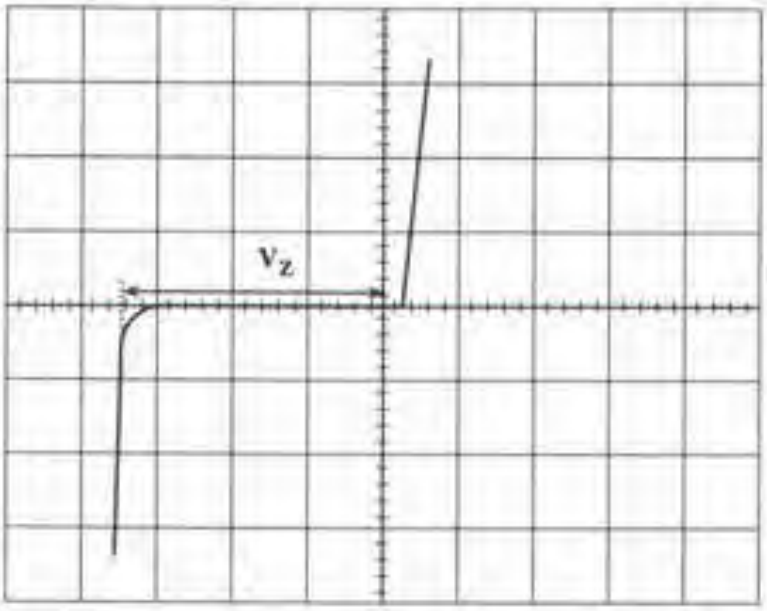
شکل ۴۹ـ۴ـ مدار مورد نیاز برای مشاهده‌ی منحنی منحّصه‌ی ولت ـ آمپر دیود زنر

بعد از اتّصال مدار شکل ۴۹ـ۴ به اسیلوسکوپ و قرار دادن اسیلوسکوپ در حالت X-Y و تنظیم سلکتور Volt / Div ، شکل ۵۰ ـ۴ روی صفحه‌ی حسّاس ظاهر می‌گردد.



شکل ۵۰ ـ۴

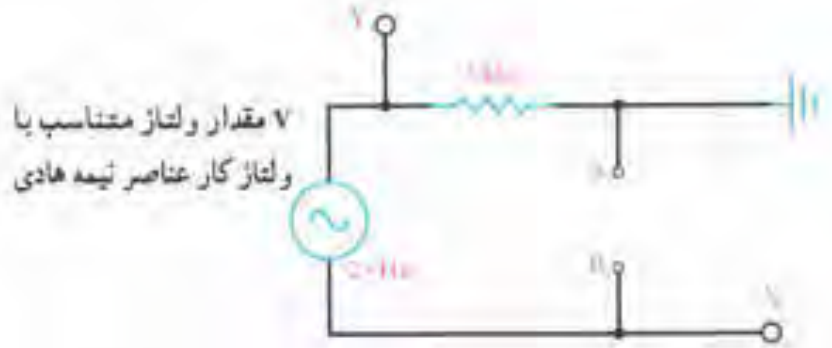
چنانچه اسیلوسکوپ مجهّز به دکمه‌ی CH2 INV باشد با فشار دادن این دکمه، شکل ۵۱ـ۴ روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌شود.



شکل ۵۱ ـ۴ـ اگر کلید CH2 INV را فشار دهیم این شکل روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌شود.

از روی شکل ۵۱ ـ۴ که روی صفحه‌ی نمایش نقش بسته است می‌توان ولتاژ دو سر دیود زنر در بایاس مستقیم، جریان آن در همین بایاس و همچنین ولتاژ شکست زنر را اندازه‌گیری کرد و همان‌طور که در قسمت دیود معمولی گفته شد، محور عمودی در مشخصه‌ی ولت ـ آمپر نشان‌دهنده‌ی جریان دیود می‌باشد و با توجه به این‌که اسیلوسکوپ مقدار ولتاژ را اندازه می‌گیرد لذا هر وقت ولتاژ معادل یک میلی‌آمپر جریان برای دیود می‌باشد (به دلیل استفاده از مقاومت ۱ kΩ)، ولتاژ شکست دیود زنر را بهتر است در جریان ۵ mA، اندازه‌گیری نماییم. همچنین می‌توانیم اثرات حرارت بر دیود زنر را نیز روی صفحه‌ی حساس مشاهده کنیم؛ برای این کار کافی است که اندکی دیود زنر را با هویه گرم کنیم.

به‌طورکلی هرعنصر دو پایه‌ی نیمه هادی را می‌توان به دو نقطه‌ی A و B شکل ۵۲ ـ۴ متصل کرد و سپس مدار را به اسیلوسکوپ اعمال نمود. فقط باید به یک نکته توجه داشت و آن مقدار ولتاژ ورودی با توجّه به عنصر نیمه هادی است. مثلاً اگر از یک دیود زنر با ولتاژ شکست ۱۵ ولت به عنوان عنصر نیمه هادی استفاده شود باید ولتاژ ورودی حداقل ۱۸ ولت باشد تا بتواند زنر را در ناحیه‌ی شکست قرار دهد.



شکل ۵۲ ـ۴ـ مدار جهت مشاهده‌ی منحنی مشخصه‌ی عناصر نیمه هادی دو پایه

پرسش

۱ـ اشعه‌ی الکترونی چیست؟

۲ـ تولید اشعه‌ی الکترونی چگونه صورت می‌گیرد؟

۳ـ صفحه‌ی حساس چیست؟

۴ـ شکل موج چگونه بر روی صفحه‌ی حساس نقش می‌بندد؟

۵ ـ نقش عدسی الکترونی در لامپ اشعه‌ی کاتدیک چیست؟

۶ــ فوکوس کردن چه مفهومی دارد؟

۷ــ چگونه مقدار نور را روی صفحه‌ی حساس تنظیم می‌کنند؟

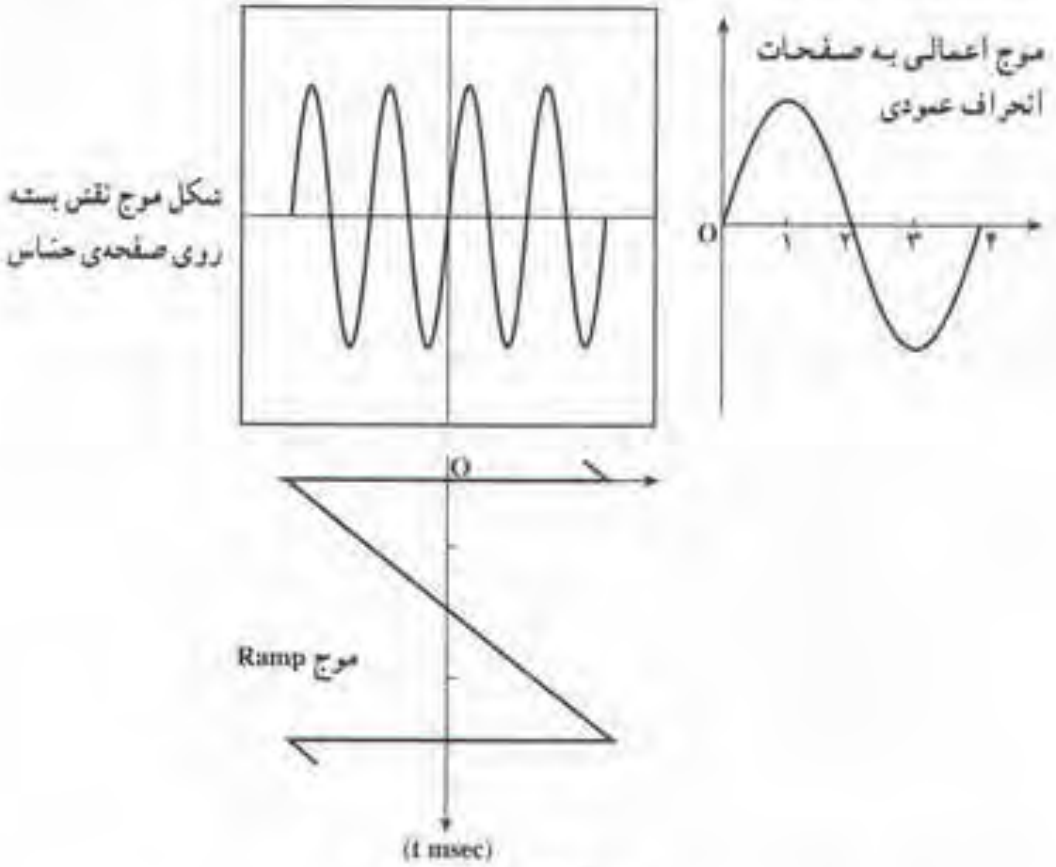
۸ ــ نقش صفحات انحراف افقی و عمودی در لامپ اشعه‌ی کاتدیک چیست؟

۹ــ اگر یک شکل موج سینوسی به صفحات انحراف عمودی و یک ولتاژ DC به صفحات انحراف افقی وصل کنیم روی صفحه‌ی حساس شکل موج چگونه ظاهر می‌شود؟

۱۰ــ اگر زمان تناوب موج Ramp برابر ۱۵ ms و زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی برابر ۱۰ ms باشد، شکل موج نقش بسته روی صفحه‌ی حساس چگونه است؟

۱۱ــ در شکل ۵۳ ــ۴ زمان تناوب موج جاروب چقدر باید باشد تا شکل موج نشان داده شده، روی صفحه‌ی حساس ظاهر شود؟

۱۲ــ به‌طور کلی تشریح کنید که وقتی یک موج را به صفحات انحراف عمودی و یک موج جاروب با زمان تناوب مناسب به صفحات انحراف افقی می‌دهیم، چگونه شکل موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی روی صفحه‌ی حساس آشکار می‌شود.



شکل ۵۳ ــ ۴

۱۳ــ اسیلوسکوپ چه نوع دستگاهی است؟

۱۴ــ منظور از اسیلوسکوپ ۱۰۰MHz چیست؟

۱۵ـ مدار الکتریکی یک پراب را رسم نموده طرز کار آن را به‌طور خلاصه شرح دهید.

۱۶ـ چرا برای تنظیم پراب، از موج مربعی استفاده می‌کنند؟

۱۷ـ فرق حالت DC و AC در کلید انتخاب کدام است؟

۱۸ـ شکل یک مدار تضعیف‌کننده را رسم کرده و طرز کار آن را توضیح دهید.

۱۹ـ ضرایب کلید Volt/Div ، بیان‌کننده‌ی چیست؟

۲۰ـ ولوم Volt Variable چه عملی انجام می‌دهد؟

۲۱ـ چرا در تقویت‌کننده‌ی نهایی از ولتاژهای بالا استفاده می‌کنند؟

۲۲ـ اگر زمان تناوب موج جاروب با زمان موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی برابر نباشد چه اشکالی پیش می‌آید؟ دقیقاً توضیح دهید.

۲۳ـ برای داشتن شکل موجی کاملاً ثابت و پایدار، روی صفحه‌ی حساس اسیلوسکوپ چه باید کرد؟

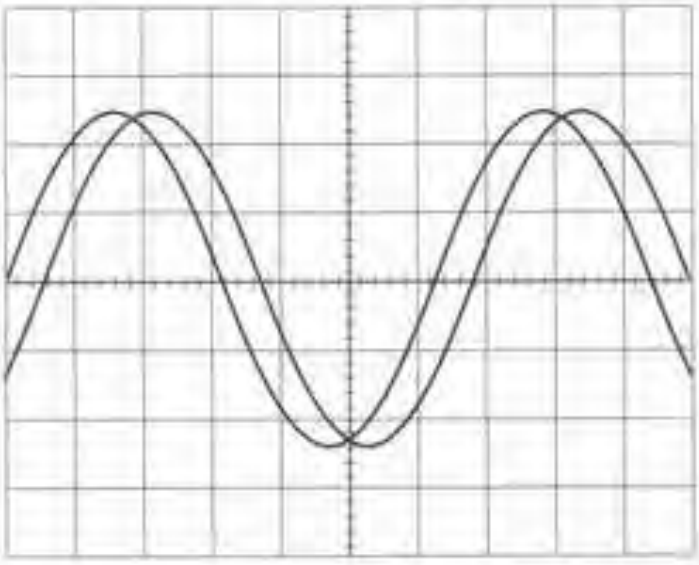
۲۴ـ نقش ولوم Level روی پانل اسیلوسکوپ کدام است؟

۲۵ـ ضرایب سلکتور Time/Div بیان‌کننده‌ی چیست؟

۲۶ـ اسیلوسکوپ دو کاناله چگونه دو شکل موج را به طور همزمان نشان می‌دهد (سیستم ALT و CHOP را به‌طور کامل توضیح دهید)؟

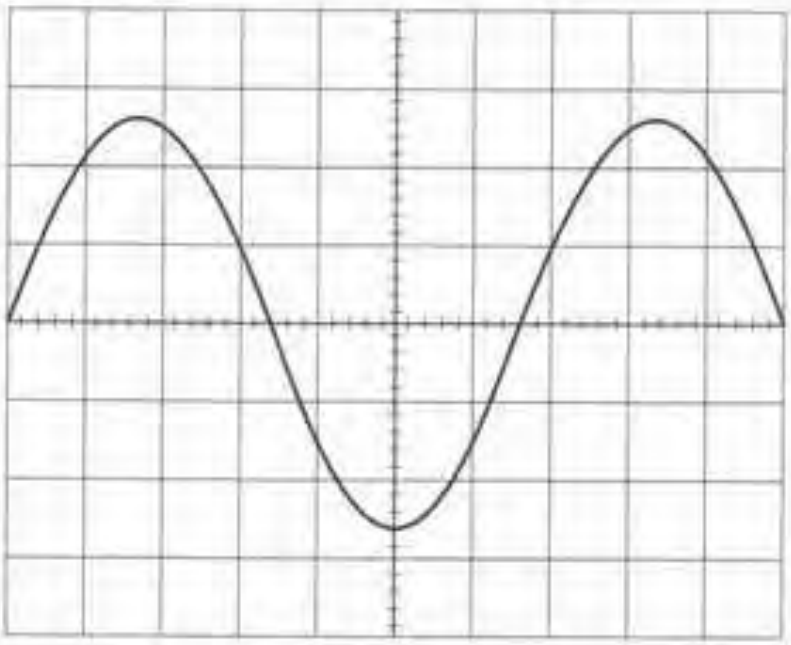
۲۷ـ چگونه می‌توان با استفاده از اسیلوسکوپ ولتاژ AC و CD یک موج AC سوار بر DC را با دقت اندازه گرفت؟

۲۸ـ اختلاف فاز بین دو سیگنال نمایش داده شده روی صفحه‌ی حساس شکل ۵۴ ـ۴ چند درجه است؟



شکل ۵۴ ـ۴

۲۹ـ در شکل ۵۵ ـ۴ مقدار مؤثر ولتاژ و فرکانس سیگنال را به‌دست آورید.



شکل ۵۵ ـ۴

۳۰ـ برای مشاهده‌ی منحنی مشخصه‌ی ولت ـ آمپریک دیود زنر، چه مداری را باید مونتاژ کنیم؟

۳۱ـ چرا منحنی مشخصه‌ی ولت ـ آمپر دیود به‌طور معکوس روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌شود؟

فصل پنجم

اندازه‌گیری کمیت‌های غیرالکتریکی قابل تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که :

ـ کمیت‌هایی نظیر تغییر مکان‌های طولی، فشار، حرارت، ضخامت، ارتفاع، سطح مایع، نور و وزن را تعریف کند.

ـ نحوه‌ی اندازه‌گیری کمیت‌های غیرالکتریکی (تغییر مکان طولی، فشار، حرارت، ضخامت، ارتفاع سطح مایع، نور و وزن) را شرح دهد.

مقدمه

در صنعت به منظور کنترل مراحل کار علاوه بر اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی (مانند ولتاژ، جریان، توان و...) کمیت‌های غیرالکتریکی نظیر فشار، حرارت، ارتفاع سطح مایع و ... نیز باید اندازه‌گیری شوند. مقدار این کمیت‌ها غالباً توسط وسایل مکانیکی یا کارت‌های الکترونیکی و یا کامپیوتر و ... مورد سنجش قرار گرفته و تصمیمات لازم در مورد آن‌ها به صورت اتوماتیک گرفته می‌شود ؛ به عنوان مثال، اگر در یک کمپرسور، که در حال تولید هوای فشرده (باد) است، فشار باد تولید شده به حد مورد نظر برسد، موتور کمپرسور باید به صورت اتوماتیک قطع گردد ؛ و یا اگر حرارت یک کوره خواست از مقدار مشخصی کم‌تر یا بیش‌تر شود باید میزان سوخت آن، به‌طور اتوماتیک، اندکی افزایش یا کاهش پیدا کند تا حرارت کوره در حد معیّنی ثابت بماند.

از مثال‌های بالا می‌توان دریافت که ما به ابزار یا عناصری نیازمندیم که بتوانند کمیت‌های غیرالکتریکی را حس کنند ؛ و چون در بیش‌تر موارد، مثلاً در یک کارخانه، مقدار این کمیت‌ها جهت تصمیم‌گیری، به شکل سیگنال‌های الکتریکی به اتاق کنترل مرکزی انتقال می‌یابند لذا در عمل باید این کمیت‌ها توسط انواع مختلف حس کننده‌ها یا سنسورها (Sensor) از طریق یک مدار الکترونیکی به کمیت‌های الکتریکی تبدیل شوند. بنابراین انتقال کمیت‌های الکتریکی مثل ولتاژ، جریان و ... از یک

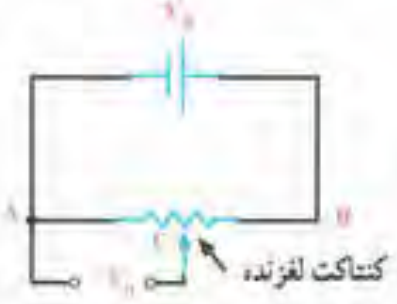
نقطه به نقطه‌ی دیگر با سیم یا بدون سیم امکان‌پذیر است و از طرفی مقایسه‌ی کمیت‌های الکتریکی با مقادیر مرجع (استاندارد) توسط مدارات الکترونیکی بسیار آسان بوده و ثبت این کمیت‌ها، در زمان‌های قابل تنظیم، با کامپیوتر میسّر است. بنابراین برای اندازه‌گیری یک کمیّت غیرالکتریکی (مانند نور، فشار، حرارت و ...) ابتدا آن کمیّت را به وسیله‌ی یک سنسور و مدارهای مربوط به یک سیگنال (علامت) الکتریکی تبدیل می‌نمایند و سپس آن را، برای اندازه‌گیری یا نمایش، توسط سیم و یا فرستنده‌ای به مکان مورد نظر انتقال می‌دهند. در این‌جا به بررسی روش‌های معمول در اندازه‌گیری برخی از کمیت‌های غیرالکتریکی می‌پردازیم.

۱ــ۵ــ اندازه‌گیری تغییر مکان طولی

برای اندازه‌گیری تغییر مکان طولی (از حدود میکرومتر تا چندین سانتی‌متر و یا متر) با توجه به دقتی که مورد نیاز است از شیوه‌های مختلفی استفاده می‌کنند.

اندازه‌گیر تغییر مکان طولی وسیله‌ای است که میزان جابه‌جایی یک جسم را بین دو نقطه، در امتداد خط مستقیم، مورد سنجش قرار می‌دهد. علاوه بر این، از این وسیله در سنجش تغییر مکان طولی یک جسم به طور مستقیم و سنجش کمیت‌هایی چون فشار، نیرو، شتاب، حرارت و ... که قادر به ایجاد تغییر مکان هستند نیز استفاده می‌شود. انواع مختلفی از این وسیله در صنعت وجود دارد که در زیر به طور خلاصه به بعضی از آن‌ها اشاره می‌کنیم:

۱ــ۱ــ۵ــ پتانسیومتر مقاومتی: پتانسیومتر مقاومتی دارای مقاومتی است که یک کنتاکت یا اتصال لغزنده بر روی آن قرار دارد.



شکل ۱ــ۵

مطابق شکل ۱ــ۵ ولتاژ V_i به دو سر پتانسیومتر اعمال می‌شود (دو نقطه‌ی A و B) که در نتیجه‌ی آن ولتاژ خروجی V_o بین دو نقطه‌ی A و C (اتصال منحرک) ایجاد می‌گردد. یک رابطه‌ی

خطی بین ولتاژ خروجی و فاصله‌ی AC به صورت زیر وجود دارد.

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{AC}{AB}$$

جسمی که تغییر مکان آن اندازه‌گیری می‌شود به کنتاکت لغزنده متصل می‌گردد. بنابراین هر تغییر مکانی که جسم داشته باشد باعث تغییر مکان لغزنده و در نتیجه تغییر V_o می‌گردد. از نظر ساختمانی سه نوع پتانسیومتر وجود دارد :

الف : پتانسیومتر سیمی

ب : پتانسیومتر زغالی

ج : پتانسیومتر پلاستیکی

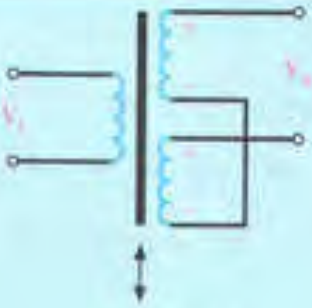
اسامی فوق متناسب با نام المان مقاومتی (سیم، زغال، پلاستیک) انتخاب شده است. پتانسیومتر سیمی، سیم نازکی است که به دور یک شئ غیرهادی پیچیده شده و یک لغزنده می‌تواند در نقاط دلخواه با سیم ارتباط الکتریکی داشته باشد. با جابه‌جا شدن لغزنده، مقاومت بین آن و کنتاکت‌های ثابت تغییر می‌کند. حداقل این تغییر مقاومت برابر با مقاومت یک حلقه است ؛ بنابراین، مقاومت سیمی قدرت تمیز دادن مقادیر بسیار کم حرکت را نخواهد داشت. بدین جهت برای داشتن تغییرات بسیار کم مقاومت و در نتیجه تغییر مکان کم در جسم، باید از پتانسیومتر زغالی یا پلاستیکی استفاده شود. قدرت تمیز این دو نوع مقاومت بستگی به اندازه‌ی دانه‌بندی زغال یا پلاستیک دارد، ولی معمولاً قدرت تمیز آن‌ها تا $\frac{1}{10000}$ اهم می‌تواند باشد. در عمل قدرت تشخیص یک پتانسیومتر، علاوه بر جنس ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی آن، به ساختمان مکانیکی فنری که لغزنده را به مقاومت تماس می‌دهد بستگی دارد.

مطالعه‌ی آزاد

۲ـ۱ـ۵ـ ترانسفورماتور تفاضلی خطی(LVDT)[1] : ترانسفورماتور تفاضلی خطی، که با حروف اختصاری LVDT نشان داده می‌شود، ترانسفورماتوری است دارای یک سیم پیچ اولیه و دو سیم پیچ یکسان ثانویه که در آن سیم پیچ‌های ثانویه به‌طور سری و با پلاریته‌ی یکسان به یکدیگر متصل شده‌اند.

اگر هسته‌ی آهنی به میزان مساوی مقابل سیم پیچ‌های ثانویه (کاملاً در وسط) قرار گیرد ولتاژ القایی در دو سیم‌پیچ ثانویه برابر شده و چون با پلاریته‌ی یکسان به یکدیگر

۱ـ Linear Variable Differential Transformer



شکل ۲ـ۵

متصل شده‌اند ولتاژ خروجی صفر خواهد بود.

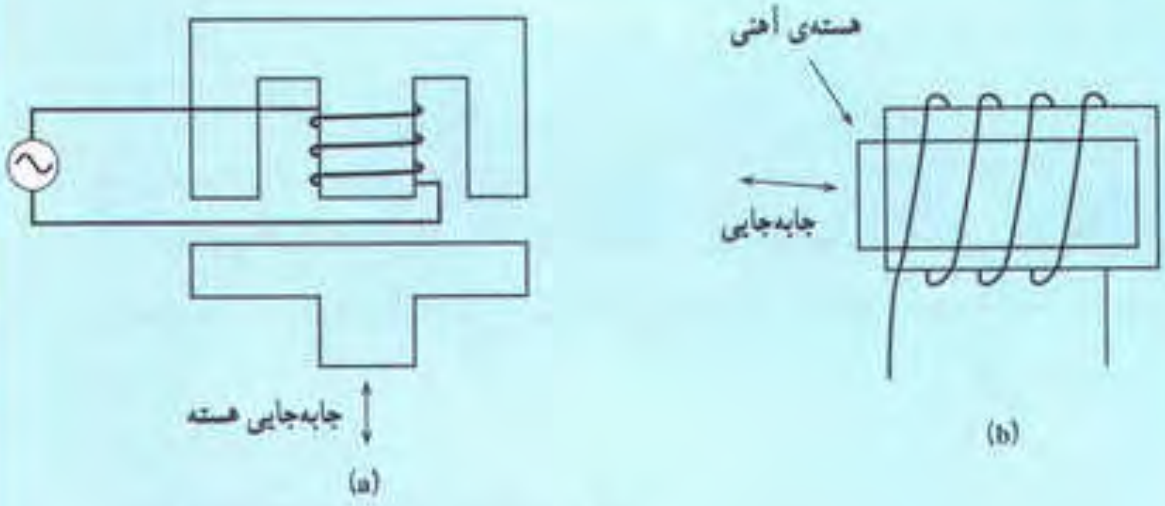
جسمی که تغییر مکان آن مورد سنجش است به هسته‌ی آهنی متحرک ترانسفورماتور متصل می‌گردد، به‌طوری‌که با هر تغییر مکانی که جسم پیدا کند این هسته نیز جابه‌جا می‌شود. تغییر مکان هسته باعث می‌شود که یکی از سیم پیچ‌ها بخش بیش‌تری از هسته را در میان خود داشته و فوران مغناطیسی بیش‌تری را دربر بگیرد و این امر موجب به‌هم خوردن حالت تعادل (تساوی) ولتاژ سیم پیچ‌های ثانویه می‌گردد که در این صورت جمع برداری ولتاژهای ثانویه صفر نخواهد شد و **ولتاژ منتجه متناسب با میزان تغییر مکان خواهد بود.** لذا با اندازه‌گیری ولتاژ می‌توان به میزان تغییر مکان پی‌برد.

لازم به ذکر است که سیم پیچ اولیه‌ی ترانسفورماتور با جریان متناوبی با فرکانس بین ۵۰HZ تا ۱۵kHZ و دامنه‌ای تا حدود ۱۰ ولت تغذیه می‌شود. این وسیله متناسب با جهت تغییر مکان، ولتاژهایی با زاویه‌ی فازی مختلف ایجاد می‌نماید و از این لحاظ که می‌تواند جهت تغییر مکان را نیز مشخص نماید حائز اهمیت است.

به دلیل حرکت هسته در فاصله‌ی هوایی و عدم وجود اصطکاک زیاد، عمر این نوع دستگاه‌ها بسیار زیاد بوده و تا حدود ۲۰۰ سال کارآیی خواهد داشت لازم به ذکر است که دقت این‌گونه دستگاه‌ها ٪0.5± در تغییر مکان کامل است. در حالت کلی محدوده‌ی سنجش تغییر مکان توسط این وسایل می‌تواند از ۱۰۰µm± تا ۱۰۰mm± باشد.

۳ـ۱ـ۵ـ اندوکتانس متغیر: همان‌طور که در درس مبانی برق نیز خوانده‌اید ضریب خودالقایی یک سلف (L) به عوامل مختلفی بستگی دارد. یکی از این عوامل هسته‌ی خود القا می‌باشد. حال اگر تمامی پارامترهای مربوط به یک سلف (مانند تعداد

دور سیم‌پیچ، قطر استوانه‌ای که سیم‌پیچ دور آن پیچیده شده است و ...) را ثابت نگه‌داریم و فقط هسته‌ی آن متغیر باشد، می‌توان با جابجایی هسته مقدار ضریب خودالقایی سلف (L) را تغییر داد ؛ در نتیجه امپدانس سلف با تغییر هسته تغییر می‌کند. شکل ۳ـ۵ نمونه‌هایی از سلف‌های با هسته‌های متغیر را نشان می‌دهد.



شکل ۳ـ۵

در نوع (a) سیم روی بازوی میانی هسته‌ی آهنی (به شکل E) پیچیده می‌شود و با ولتاژ مناسب متناوبی، تغذیه می‌گردد. تغییر مکان به صفحه‌ای از جنس فرومغناطیس منتقل می‌گردد. تغییر مکان هسته‌ی آهنی، باعث تغییر ضریب خودالقایی سلف شده و در نتیجه امپدانس سلف و به دنبال آن جریان سیم‌پیچ تغییر می‌کند.

$$I = \frac{V}{L\omega}$$

v و ω (در یک فرکانس مشخص) ثابت هستند پس خواهیم داشت :

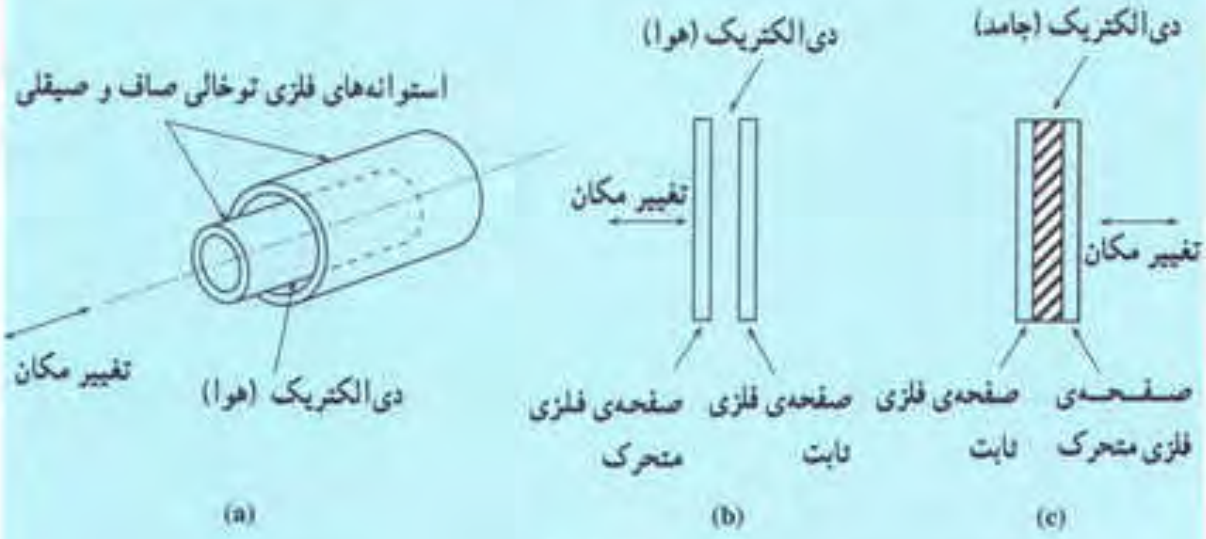
$$K = \frac{\omega}{V} \quad و \quad I = \frac{1}{KL}$$

توجه داشته باشید که از مقاومت اهمی سیم‌پیچ صرف‌نظر کرده‌ایم. که در این‌صورت رابطه‌ی بین تغییر مکان (تغییر L) و جریان به صورت $(\frac{1}{L})$ به دست می‌آید.

در نوع (b) نیز تغییر مکان هسته باعث تغییر L و در نتیجه تغییر امپدانس سلف می‌گردد و جریان عبوری از سلف نیز متناسب با تغییر مکان هسته خواهد بود. در هر دو

مدار a و b با اندازه‌گیری جریان و محاسبات لازم می‌توان به مقدار تغییر مکان پی‌برد.

۴ــ ۱ــ۵ــ خازن متغیر: روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری تغییر مکان طولی با استفاده از تغییر ظرفیت خازن وجود دارد. سه نوع متفاوت آن در شکل ۴ــ۵ نشان داده شده است:



شکل ۴ــ۵

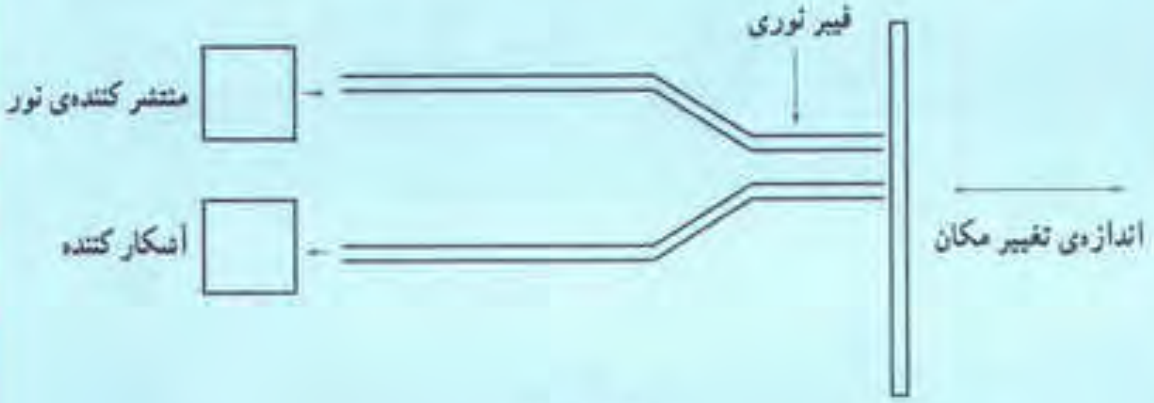
در نمونه‌ی a صفحات خازن به صورت استوانه‌ای بوده و با تغییر سطح صفحات، ظرفیت خازن تغییر می‌کند. تغییر مکان استوانه‌ی داخلی موجب تغییر ظرفیت خازن می‌گردد.

در نوع b خازن از دو صفحه‌ی موازی تشکیل یافته است که یکی ساکن و دیگری متحرک است. تغییر مکان صفحه‌ی متحرک ظرفیت خازن را تغییر می‌دهد و در نتیجه باعث بروز تغییرات در سیگنال الکتریکی خروجی می‌گردد.

همان‌طور که در شکل دیده می‌شود دی‌الکتریک نوع a و b هوا می‌باشد. خازن نوع c کاملاً مشابه با نوع b بوده با این تفاوت که دی‌الکتریک آن هوا نیست بلکه عایق (جامد) دیگری است که تغییرات مکان باعث جابه‌جایی آن می‌گردد.

این نوع وسایل سنجش تغییر مکان طولی دارای دقت ۰/۰۱٪± بوده و قدرت تمیز آن‌ها $1\mu m = \frac{1}{1000000}\,m$ می‌باشد. با این نوع وسایل می‌توان تغییر مکان‌هایی از 10^{-11} تا ۱ متر را سنجید. این وسایل به دلیل نداشتن کنتاکت از عمر زیادی بهره‌مند هستند به طوری که می‌توانند تا ۲۰۰ سال کار کنند.

۵ــ۱ــ۵ــ اندازه‌گیر تغییر مکان نوری: این وسیله از یک منبع نور و آشکارساز آن و یک فیبر نوری (Optical fibers) برای انتقال نور تشکیل یافته است. در ضمن صفحه‌ای به جسم متحرک متصل است که همراه با آن حرکت می‌کند.



شکل ۵ــ۵

نور از طریق یکی از فیبرهای نوری (بالایی) تابانیده می‌شود و پس از عبور از فاصله‌ی هوایی به صفحه برخورد می‌کند. نور منعکس شده از صفحه، توسط فیبرنوری به آشکارساز می‌رسد که در این‌صورت از میزان نور برگشتی موقعیت صفحه شناسایی می‌شود. هر قدر صفحه به وسیله نزدیک‌تر شود شدت نور برگشتی بیش‌تر شده و به این ترتیب مقدار تغییر مکان مشخص می‌گردد.

شیوه‌های اندازه‌گیری تغییر مکان طولی که در فوق توضیح داده شد به عنوان قسمتی از روش‌های اندازه‌گیری تغییر مکان طولی که در عمل مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌باشد. شیوه‌های دیگری نیز وجود دارد که فعلاً، در این دوره‌ی تحصیلی قابل بررسی نخواهد بود.

۲ــ۵ــ اندازه‌گیری فشار

۱ــ۲ــ۵ــ تعریف فشار: همه‌ی مواد موجود در طبیعت از مولکول ساخته شده‌اند، و خود مولکول متشکل از اتم‌های مختلف است. مولکول‌های یک جسم سیال (مایع یا گاز) با سرعت زیاد در تمام جهات حرکت می‌کنند که در نتیجه‌ی این حرکت با یکدیگر یا با دیواره‌ی ظرفی که در آن قرار دارند برخورد می‌نمایند. در اثر برخورد مولکول‌ها به دیواره‌ی ظرف نیرویی به آن وارد می‌شود که

هرچه مولکول با سرعت زیادتری به ظرف برخورد نماید یا هر چقدر که تعداد مولکول‌های برخورد کرده با دیواره بیش‌تر و یا مولکول سنگین‌تر باشد این نیرو بیش‌تر خواهد بود بنابراین مقدار نیروی وارده بر دیواره‌ی ظرف به عوامل زیر بستگی دارد.

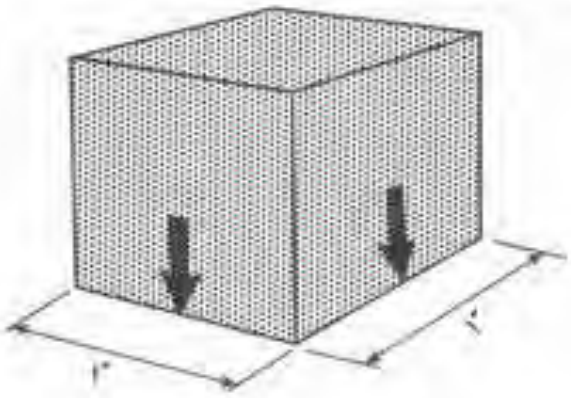
الف : سرعت مولکول‌ها

ب : تعداد مولکول‌ها

ج : وزن مولکول‌ها

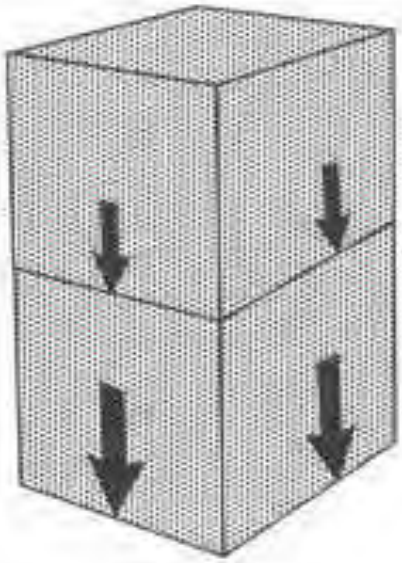
نیروی وارد شده به واحد سطح را فشار گویند.

شکل ۶ـ۵ مکعبی را نشان می‌دهد که دارای سطح تماسی برابر یک اینچ مربع است. در این صورت هر نیرویی که بر این سطح وارد آید فشار نامیده می‌شود.



شکل ۶ـ۵

اگر مکعب دیگری از همان جنس یا با همان وزن روی مکعب اولی قرار دهیم مقدار فشاری که به همان سطح یک اینچ مربع وارد می‌شود دو برابر خواهد شد.



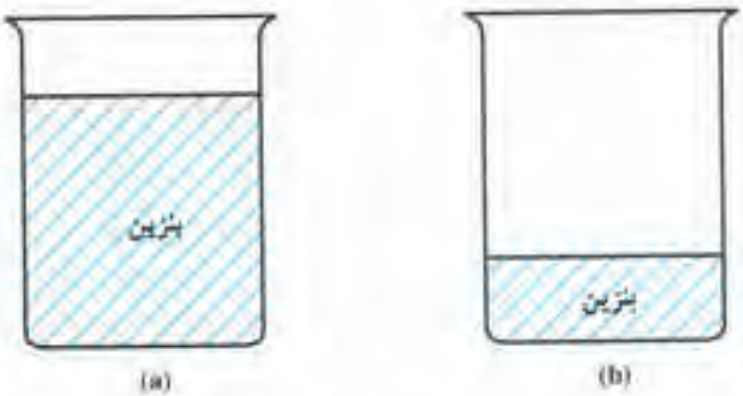
شکل ۷ـ۵

چون هر دو جسم از یک جنس ساخته شده‌اند لذا مقدار فشار را ارتفاع تعیین خواهد کرد، یعنی چون سطح ثابت مانده و ارتفاع دو برابر شده است پس فشار نیز دو برابر گشته است. بنابراین می‌توان گفت فشاری که از طرف جسم برسطحی وارد می‌شود بستگی دارد به :

الف : وزن آن جسم

ب : ارتفاع آن جسم، به شرطی که مساحت پایه تغییر نکند.

به شکل ۸ــ۵ توجه کنید :

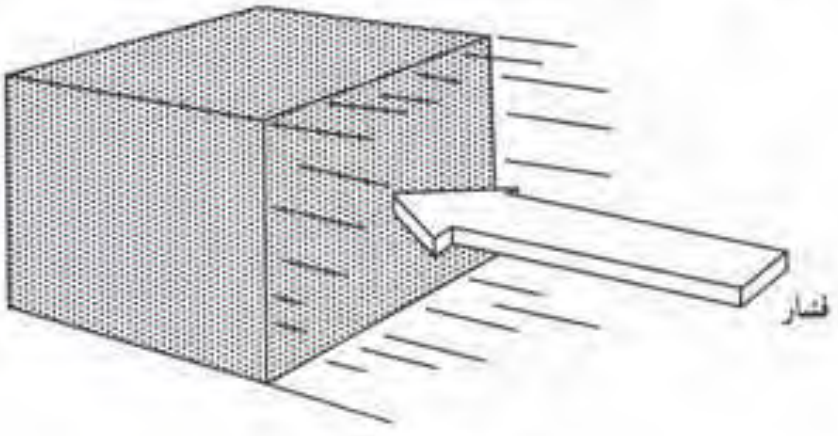


شکل ۸ــ۵

مایع و ظرف هر دو شکل a و b یک‌سان است اما به دلیل بالاتر بودن سطح مایع ظرف a، فشاری که به ته آن وارد می‌شود از فشار وارده به ته ظرف b بیش‌تر است.

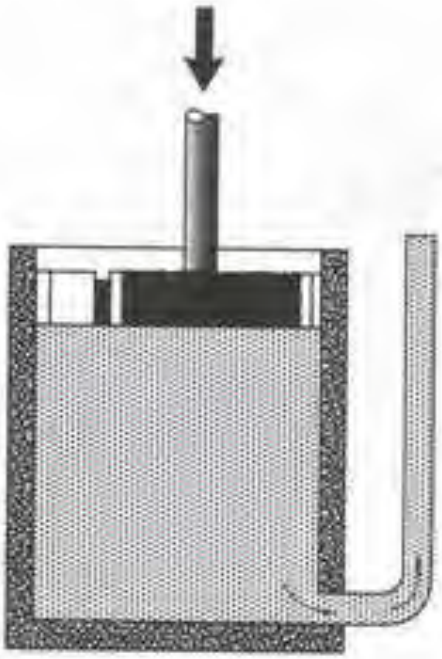
معمولاً واحد فشار را برحسب **پوند بر اینچ مربع** (PSI) اندازه می‌گیرند ولی گاهی آن را برحسب کیلوگرم بر مترمربع نیز تعیین می‌نمایند.

۲ــ۲ــ۵ــ کاربردهای فشار: به‌وسیله‌ی فشار می‌توان اجسام را به حرکت درآورد (شکل ۹ــ۵).



شکل ۹ــ۵

اما بیش‌ترین مورد استفاده‌ی فشار برای حرکت دادن مایعات می‌باشد (شکل ۱۰ـ۵).



شکل ۱۰ـ۵

مایعات، غیرقابل تراکم (به هم فشردن) می‌باشند، بنابراین در شکل ۱۰ـ۵ پیستون هنگام پایین آمدن نیرویی بر تمام سطح مایع وارد می‌کند. این کار سبب می‌شود که مایع از لوله‌ی کناری ظرف بیرون بریزد. بنابراین فشار می‌تواند مایع را در لوله نگه‌داشته یا آن را به حرکت درآورد.

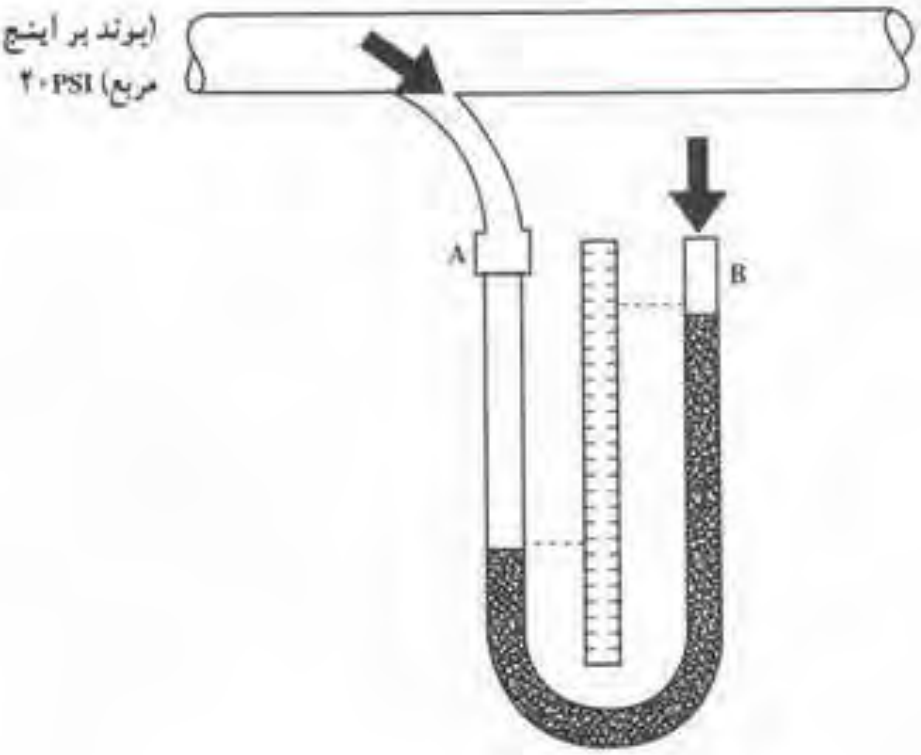
کاربردهای فشار در صنعت بسیار زیاد است منجمله پرس‌های سبک و سنگینی که با فشار و روغن‌های مخصوص کار می‌کنند و یا جک‌های بالابر هیدرولیکی و ده‌ها وسیله‌ی صنعتی دیگر که بحث ما در این‌جا نحوه‌ی تولید فشار و یا کاربرد آن نیست بلکه فقط به بررسی شیوه‌های اندازه‌گیری مقدار فشار می‌پردازیم.

۳ـ۲ـ۵ـ اندازه‌گیری فشار

اندازه‌گیری فشار به کمک فشارسنج لوله‌ای: این دستگاه به‌طور ساده از یک لوله‌ی U شکل تشکیل شده که دو انتهای آن باز است.

شکل ۱۱ـ۵

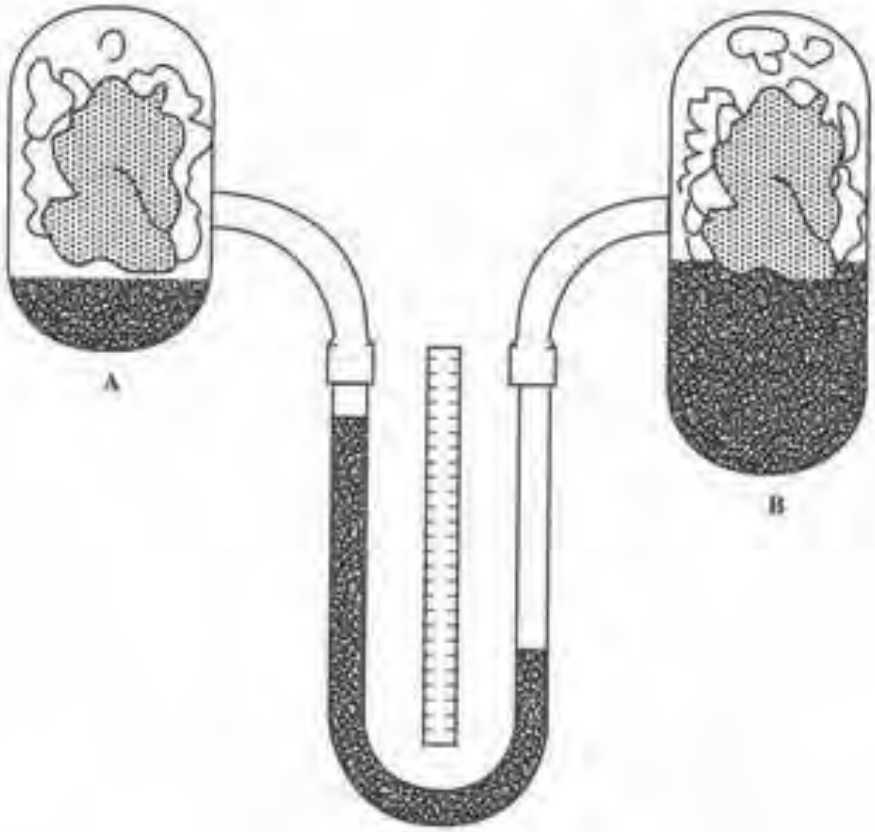
می‌دانیم که اگر فشار وارده روی سطح مایع در هر دو لوله یک‌سان باشد در این صورت هیچ‌گونه اختلاف فشاری وجود نداشته و سطح مایع در هر دو لوله برابر است. حال اگر یک سر لوله را به ظرفی محتوی گاز یا مایع تحت فشار وصل کنیم اختلاف فشار به‌وجود می‌آید (شکل ۱۲ـ۵).



شکل ۱۲ـ۵

با استفاده از تغییرات سطح مایع می‌توان تغییرات فشار را اندازه گرفت. برای این کار از یک وسیله‌ی مدرج که بتوان اختلاف فشار را روی آن خواند استفاده می‌کنیم، با وارد کردن فشار در یک طرف لوله‌ی U شکل مایع در طرف دیگر بالا می‌رود، یعنی هرقدر فشار بیش‌تر باشد لوله‌ای که برای نشان‌دادن تغییرات فشار لازم است باید دارای طول بزرگ‌تری باشد. این لوله ممکن است از جنس شیشه باشد، بدین لحاظ این‌گونه فشارسنج‌های لوله‌ای برای اندازه‌گیری فشار در جاهای مختلف، مخصوصاً مکان‌هایی که امکان شکستن لوله وجود دارد، مناسب نیست.

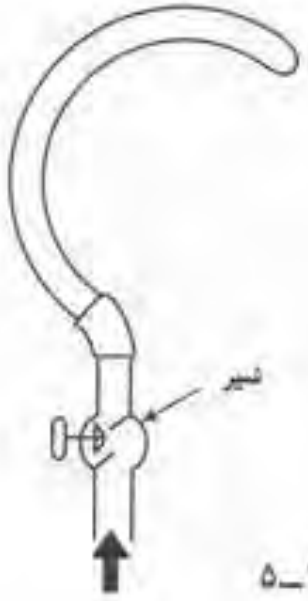
در شکل ۱۳ـ۵ تصویر یک فشارسنج لوله‌ای را که **اختلاف فشار** دو مخزن را نشان می‌دهد، مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۳ـ۵

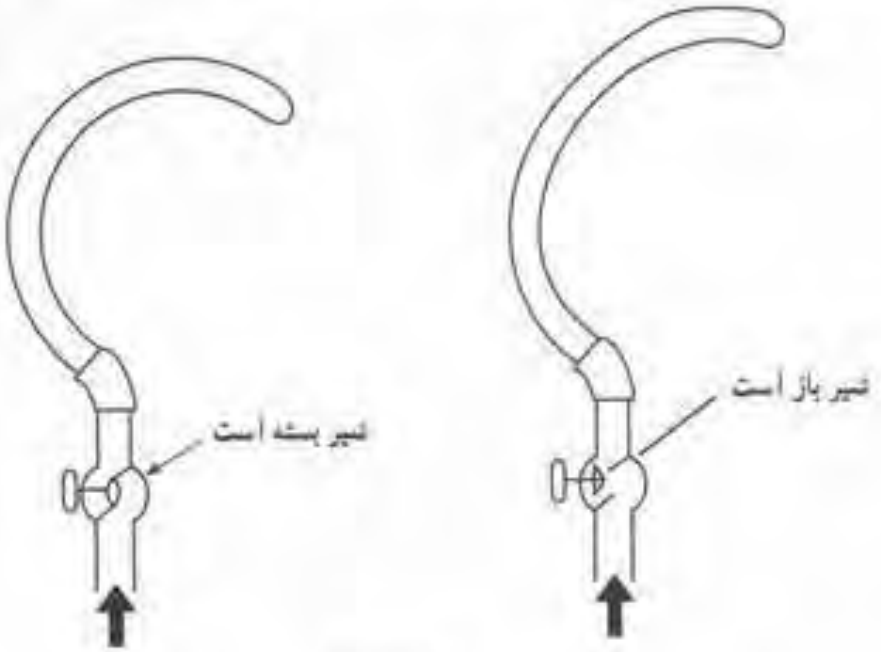
اندازه‌گیری فشار با لوله‌ی منبسط شونده:

الف ـ لوله‌ی بوردون C شکل: این فشارسنج معمول‌ترین نوعی است که در صنعت از آن استفاده می‌شود و از یک لوله‌ی توخالی خمیده و فلزی با خاصیت فنری، تشکیل شده است. یک طرف این لوله بسته و طرف دیگر آن توسط شیری به مخزن فشار متصل می‌گردد (شکل ۱۴ـ۵).



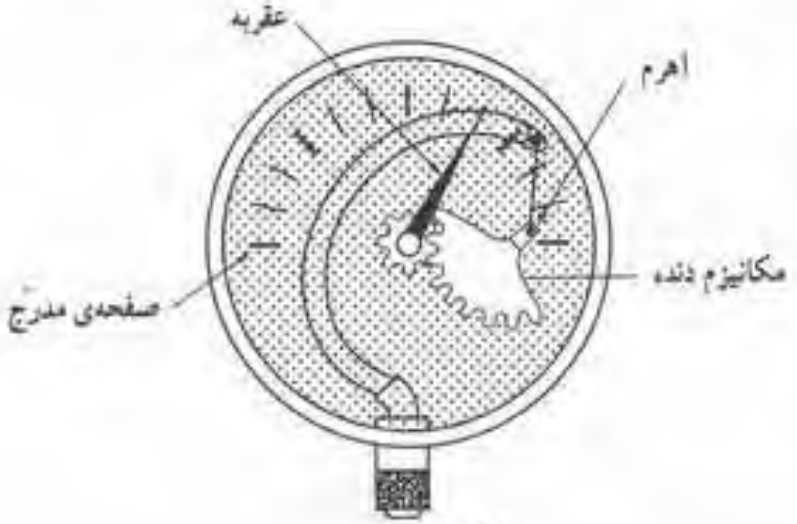
شکل ۱۴ـ۵

تا زمانی که شیر بسته است فشار داخل لوله کم و لوله به حالت خمیده است، اما وقتی شیر را باز می‌کنیم فشار داخل لوله زیاد شده و به تدریج از انحنای لوله می‌کاهد تا آن را به حالت مستقیم درآورد. از این خاصیت می‌توان برای تعیین مقدار فشار استفاده کرد، بدین صورت که با اندازه گرفتن مقدار تغییر شکل لوله می‌توان میزان فشار وارده را نیز اندازه گرفت (شکل ۱۵ـ۵).



شکل ۱۵ـ۵

این کار را می‌توان با متصل نمودن لوله به یک عقربه‌ی چرخ دنده‌دار انجام داد. مطابق شکل ۱۶ـ۵، همان‌طور که گفتیم زیاد شدن فشار باعث می‌گردد که لوله‌ی خمیده کمی بازگردد، این کار سبب حرکت دادن چرخ دنده‌ها و در نتیجه حرکت عقربه روی صفحه‌ی مدرّج و نشان دادن میزان فشار خواهد شد.

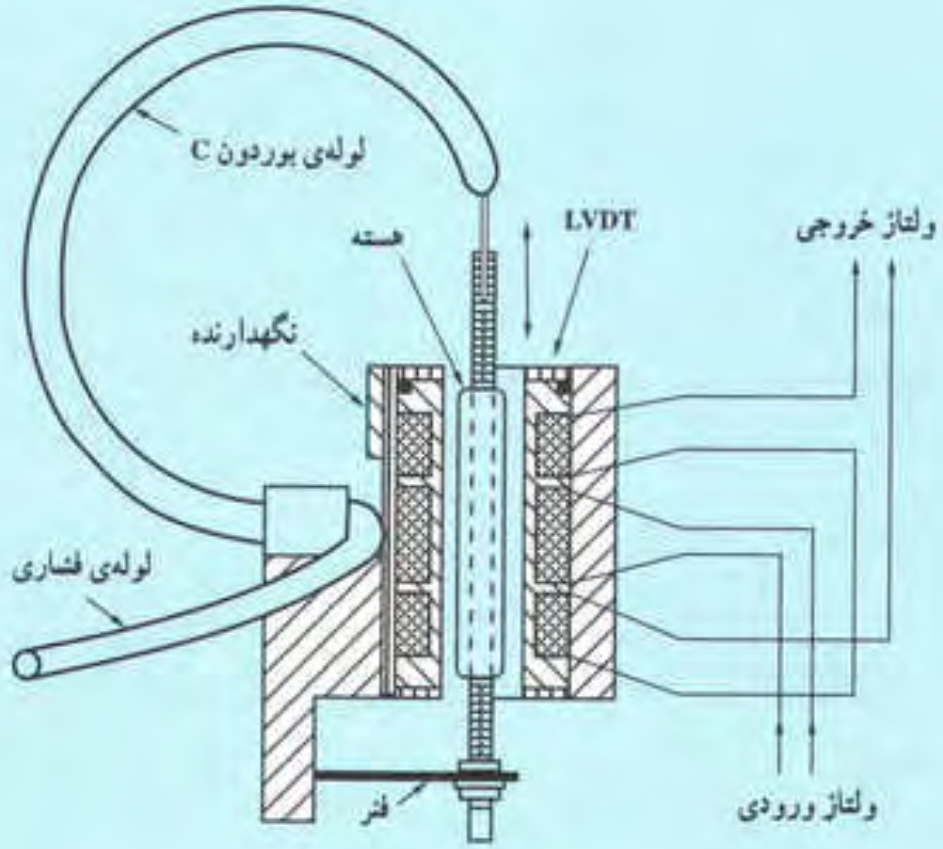


شکل ۱۶ـ۵

از آن‌جا که شکل لوله تقریباً به فرم C می‌باشد آن را لوله‌ی C شکل نیز می‌نامند.

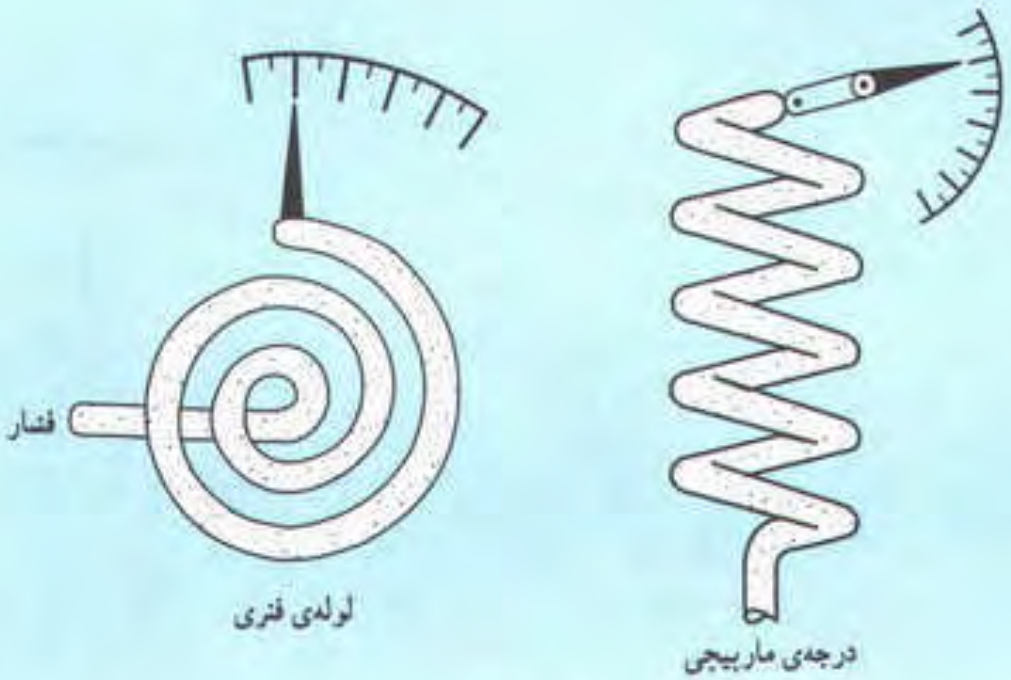
مطالعه‌ی آزاد

برای بالا بردن حساسیت فشارسنج، می‌توان به جای مکانیزم چرخ دنده، از یک LVDT استفاده کرد. در این روش تغییر شکل لوله‌ی C باعث جابه‌جایی هسته در LVDT شده و ولتاژی متناسب با فشار ورودی در خروجی LVDT ایجاد می‌کند. آن‌گاه برای اندازه‌گیری و کنترل فشار این ولتاژ را به اتاق کنترل یا مدارات کنترلی اعمال می‌کنند (شکل ۱۷ـ۵).



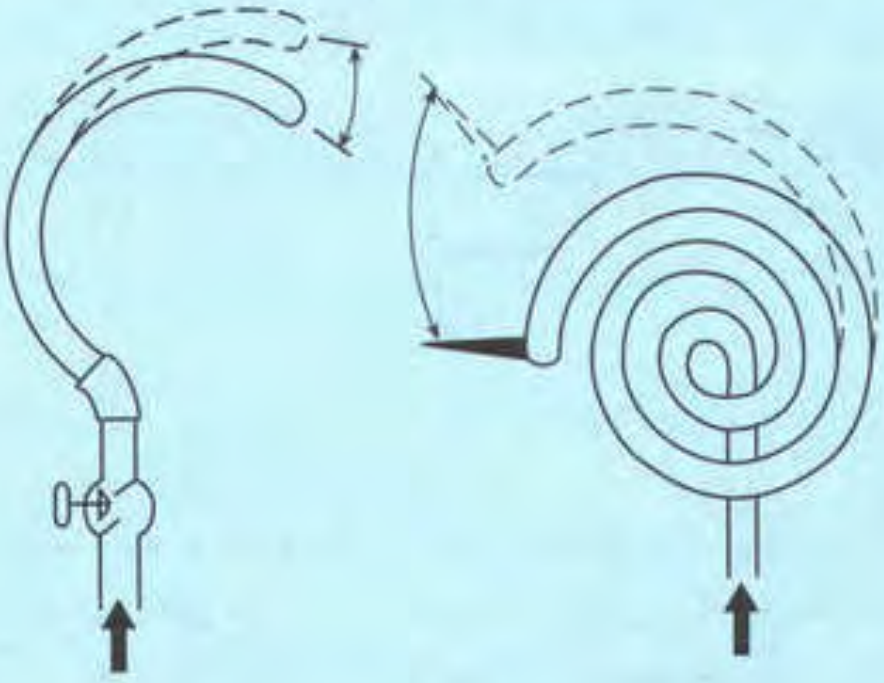
شکل ۱۷ـ۵

ب ـ لوله بوردون فنری شکل و مارپیچ: با افزایش طول و تغییر دادن شکل لوله می‌توان فشارسنج‌های حساس‌تری ساخت. اصول کار این نوع فشارسنج‌ها مانند لوله‌ی بوردون C شکل می‌باشد. در عمل بیش‌تر از فشارسنج‌های نشان داده شده در شکل ۱۸ـ۵ استفاده می‌شود.



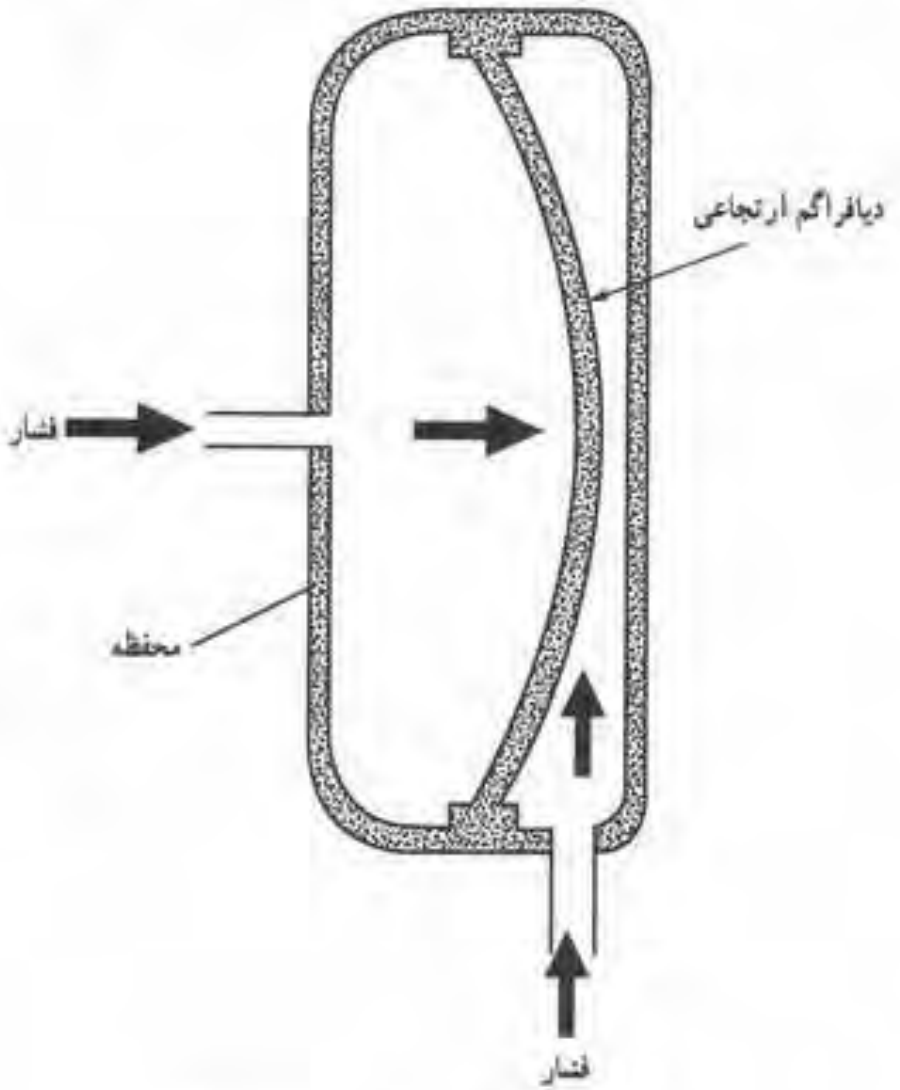
شکل ۱۸ـ۵

شکل ۱۹ـ۵ تغییر مکان ناشی از اعمال فشار یکسان به یک لوله‌ی بوردون C شکل و لوله‌ی بوردون فنری را نشان می‌دهد. همان‌گونه که شکل نشان می‌دهد مقدار تغییر مکان لوله‌ی بوردون فنری بیش‌تر از لوله‌ی بوردون C شکل است.



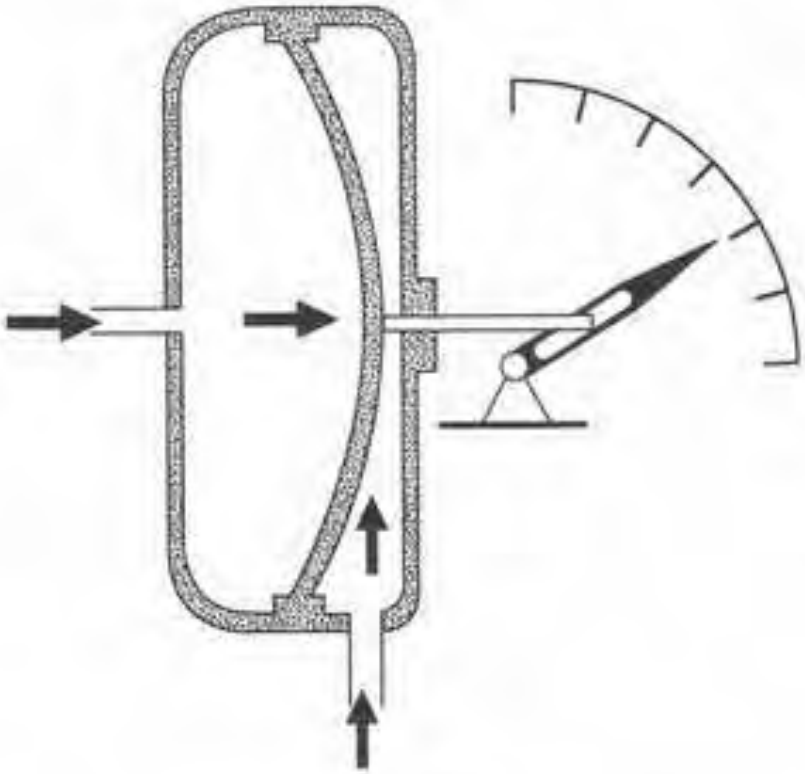
شکل ۱۹ـ۵

فشارسنج دیافراگمی: به‌طور خلاصه می‌توان گفت که این نوع فشارسنج از یک محفظه‌ی (قوطی) کاملاً آب‌بندی شده، با دو مجرای ورود فشار در دو طرف، تشکیل شده است. در وسط محفظه پرده‌ای (دیافراگم) از لاستیک یا ماده‌ی ارتجاعی دیگری قرار دارد که در صورت وجود اختلاف فشار در دو طرف آن به طرفی که فشار کم‌تری دارد متمایل می‌شود (شکل ۲۰ـ۵).



شکل ۲۰ـ۵ـ اصول کار فشارسنج دیافراگمی

این دستگاه، فشارسنج تفاضلی نام دارد و برای سنجش اختلاف فشار به کار می‌رود. با توجه به شکل ۲۱ـ۵ می‌بینید که فشار حاصل از گاز در سمت چپ دیافراگم بیش‌تر بوده و لذا دیافراگم به‌طرف راست خمیده شده است. وسط دیافراگم به یک عقربه متصل است که حرکت (جابه‌جایی) دیافراگم را روی یک صفحه‌ی مدرج نشان می‌دهد.



شکل ۲۱ـ۵

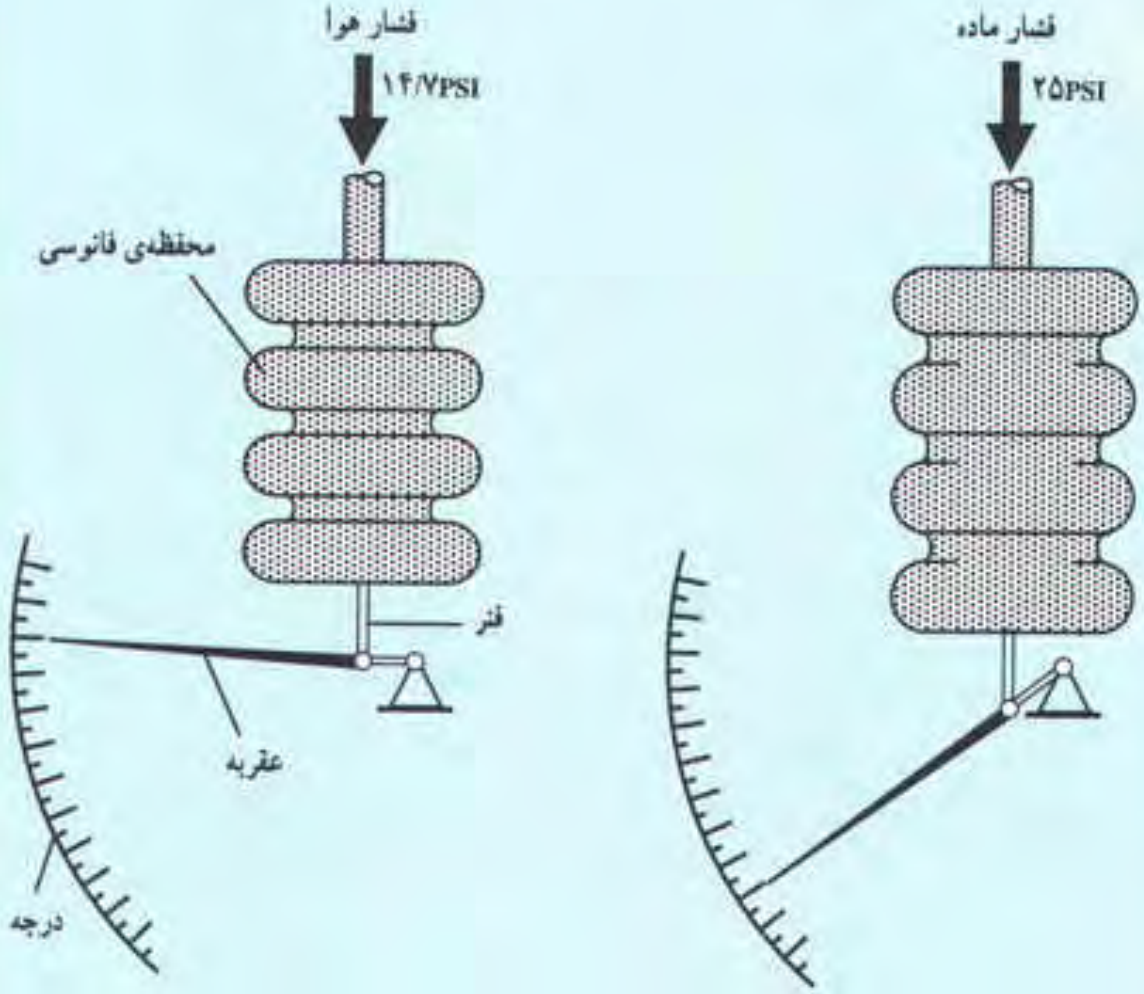
حدود فشاری که دیافراگم می‌تواند تحمل کند بستگی به اندازه و ضخامت آن دارد. مثلاً برای سنجش اختلاف فشارهای زیاد نباید از دیافراگم‌های نازک استفاده نمود. از آن‌جایی که برای ساخت دیافراگم از موادی که قابلیت ارتجاعی زیاد دارند استفاده می‌شود لذا حتی اختلاف فشارهای کم جابه‌جایی قابل ملاحظه‌ای در دیافراگم ایجاد می‌کند؛ بدین ترتیب می‌توان اختلاف فشارهای بسیار جزیی را نیز اندازه گرفت.

مطالعه‌ی آزاد

فشارسنج فانوسی: اصول کار این نوع فشارسنج‌ها شبیه به فشارسنج دیافراگمی است ولی به خاطر داشتن **سطح زیاد، حساسیت آن از فشارسنج دیافراگمی بیش‌تر است.**

فشاری را که اندازه‌گیری آن مورد نظر است به محفظه‌ی فانوسی شکل که خود به عقربه‌ای وصل شده است هدایت می‌کنیم. این امر باعث انبساط و افزایش طول آن می‌شود و عقربه را به حرکت درمی‌آورد. بدین ترتیب کوچک‌ترین حرکت محفظه‌ی فانوسی شکل سبب حرکت عقربه روی صفحه‌ی مدرّج می‌شود.

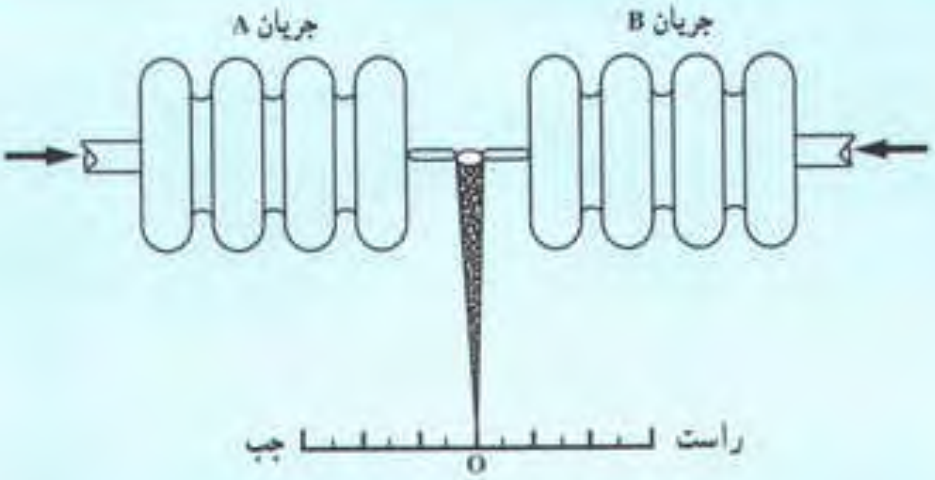
از آن‌جا که میزان حرکت عقربه در فشارسنج فانوسی بیش از نوع دیافراگمی می‌باشد (در فشار یک‌سان برای هر دو فشارسنج) بنابراین فشارسنج فانوسی دقیق‌تر از فشارسنج دیافراگمی است.



شکل ۲۲ـ۵

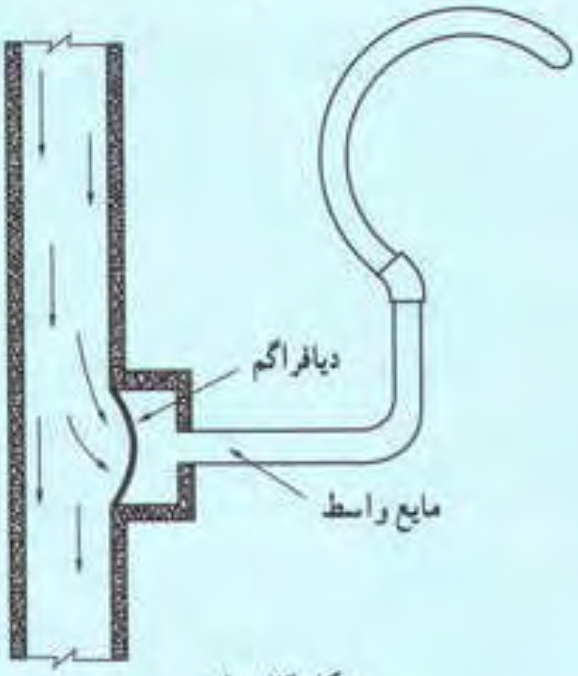
نکته‌ی قابل توجّه این‌که فشار هوای خارج نیز بر سطح فانوسی اثر گذاشته لذا مقدار اختلاف فشار به کمک فشار اتمسفر برای ما تعیین می‌گردد. فشار هوا در شرایط عادی حدود ۱۴/۷PSI می‌باشد.

از فشارسنج فانوسی می‌توان برای تعیین اختلاف فشار دو محفظه نیز استفاده نمود، بدین صورت که محفظه‌ی دارای فشار بیش‌تر، باعث حرکت عقربه به سمت دیگر شده و بدین‌ترتیب اختلاف فشار دو محفظه نشان داده می‌شود (شکل ۲۳ـ۵).



شکل ۲۳ـ۵

۴ـ۲ـ۵ـ فشارسنج‌های آب‌بندی شده: از آن‌جا که در برخی موارد ماده‌ای که فشار آن مورد سنجش است باعث خوردگی یا ساییدگی فلز به‌کار برده شده در فشارسنج می‌گردد. فشارسنج باید طوری ساخته شود که ماده با آن تماس مستقیم نداشته باشد. برای این منظور فشار را به طریق غیرمستقیم به فشارسنج منتقل می‌سازند که این کار از راه‌های مختلفی میسّر است. شکل ۲۴ـ۵ یکی از این روش‌ها را نشان می‌دهد. در این شکل فشار ماده‌ی اصلی ابتدا به دیافراگم وارد شده و از آن طریق به مایع واسط منتقل می‌گردد و لوله‌ی C شکل را تغییر حالت می‌دهد. بدین ترتیب فشارسنج، فشار حاصل از ماده را نشان خواهد داد.



شکل ۲۴ـ۵

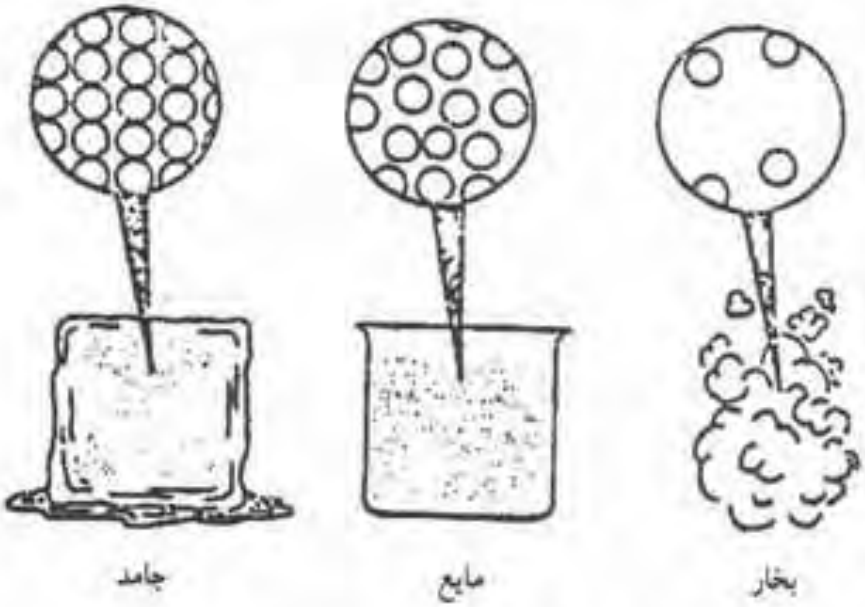
۵ــ۲ــ۵ــ انواع فشارسنج‌ها: آنچه که تا به‌حال گفته شد درباره‌ی پاره‌ای از فشارسنج‌ها بود که در عمل برای اندازه‌گیری فشارهای بسیار کم به کار می‌رود اما فشارهای بسیار زیاد توسط فشارسنج‌هایی با ساختمان متفاوت از آنچه که گفته شد سنجیده می‌شوند. این فشارسنج‌ها در دوره‌های تحصیلی بالاتر بررسی و مطالعه می‌شوند.

۳ــ۵ــ اندازه‌گیری درجه حرارت

۱ــ۳ــ۵ ــ مقدمه: می‌دانیم که مولکول‌های اجسام دائماً در حال حرکت هستند و این موضوع در مورد هر سه حالت ماده یعنی جامد، مایع و گاز صادق است. همان‌طور که می‌دانید جسم جامد دارای شکل معینی است حال آن‌که مایعات شکل ظرفی را که در آن ریخته شده‌اند به‌خود می‌گیرند و گازها تا آن‌جا که فضای محیط اجازه بدهد پراکنده می‌شوند.

البته هر جسمی می‌تواند تغییر یافته و به صورت جامد یا مایع و یا گاز درآید. به عنوان مثال آب هم به صورت مایع و هم به صورت جامد و هم به صورت گاز (بخار) موجود می‌باشد یخ را می‌توان به‌وسیله‌ی حرارت به آب و به همین ترتیب آب را به بخار تبدیل کرد. برعکس، برای تبدیل بخار به آب و سپس یخ لازم است حرارت زیادی از آن گرفته شود.

شکل ۲۵ــ۵ فاصله‌ی بین مولکول‌ها را در یک جسم جامد، مایع و گاز نشان می‌دهد.



شکل ۲۵ــ۵ــ فاصله‌ی بین مولکول‌های جامد، مایع و بخار

اکسیژن در درجه حرارت‌های معمولی به صورت گاز است ولی اگر حرارت از آن گرفته شود تبدیل به مایع می‌شود و چنانچه حرارت بیش‌تری از آن گرفته شود تبدیل به جسم جامد خواهد شد. از طرف دیگر یک جسم مایع مانند روغن چنانچه تدریجاً گرم شود تبخیر شده و تبدیل به گاز می گردد. نتیجه‌ی مهمی که از شرح بالا به‌دست می‌آید این است که حالت یک ماده را می‌توان با کاستن از دمای آن یا افزودن بر دمای آن از حالتی به حالت دیگر تغییر داد. ازدیاد دمای جسم باعث سرعت حرکت مولکول‌های آن شده و بالعکس کاهش دمای آن موجب کندی در حرکت مولکول‌ها می‌گردد؛ این بدان معنی است که مولکول‌هایی با حرکت سریع‌تر دارای انرژی بیش‌تری خواهند بود چون حرارت خود یک نوع انرژی به شمار می‌رود.

درجه حرارت عبارت است از اندازه‌گیری معیار انرژی‌ای که مولکول‌های در حال حرکت دارا می‌باشند و هرچه انرژی مولکول‌ها و برخورد آن‌ها به شیئی بیش‌تر باشد به همان نسبت درجه حرارت آن بالاتر خواهد بود.

بین میزان حرارت و فشار رابطه‌ی مستقیمی وجود دارد. چرا که افزایش هر دو سبب می‌شود مولکول‌ها نیروی بیش‌تری به دیواره‌ی ظرف وارد نمایند؛ بنابراین فشار نتیجه‌ی دیگری از انرژی حرارتی محسوب می‌شود.

برای پی‌بردن به رابطه‌ی بین انرژی حرارتی و انرژی فشار به مثال زیر توجه کنید:

اگر مخزنی حاوی آب را گرم کنیم آب به جوش آمده و به تدریج تبدیل به بخار خواهد شد. با جوشش آب مولکول‌ها از سطح آب جدا شده و در فضای مخزن به گردش درخواهند آمد و چون فضا بسته است و بخار نمی‌تواند از محیط خارج شود فشار محیط افزایش می‌یابد (شکل ۲۶ـ۵).

شکل ۲۶ـ۵ـ بر اثر حرارت، مولکول‌های آب از سطح آن جدا می‌شوند.

از آن‌جایی که مولکول‌های بخار (گاز) در تمام جهات به ظرف فشار وارد می‌سازند لذا بر روی سطح آب نیز فشار وارد شده و این امر باعث می‌شود که مولکول‌ها به سختی بتوانند از سطح آب جدا شوند (شکل ۲۷ـ۵).

شکل ۲۷ـ۵ـ مولکول‌های جدا شده از آب بر سطح آب به شدت فشار می‌آورند.

سرانجام شدت فشار به حدی خواهد رسید که مولکول‌ها دیگر نتوانند از سطح آب جدا شوند و در این هنگام آب از جوشیدن باز می‌ایستد. اگر باز هم بر میزان حرارت بیفزاییم در اثر زیاد شدن جنبش مولکولی، مولکول‌ها از سطح آب جدا شده و آب دوباره به‌جوش می‌آید که در این‌صورت اگر اجازه دهیم مولکول‌های بخار از ظرف خارج شوند، جوشش آب ادامه خواهد یافت.

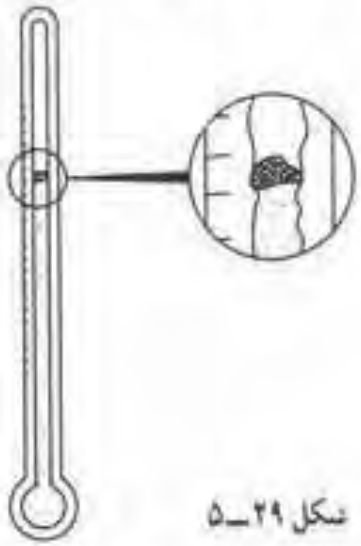
۲ـ۳ـ۵ـ انواع وسایل اندازه‌گیری درجه حرارت

دماسنج با ماده‌ی قابل انبساط: از دماسنج برای بی‌بردن به تغییرات درجه حرارت استفاده می‌شود. ارتفاع ستون جیوه در یک لوله‌ی بسیار نازک می‌تواند نشان‌دهنده‌ی تغییرات دما باشد (شکل ۲۸ـ۵).

شکل ۲۸ـ۵

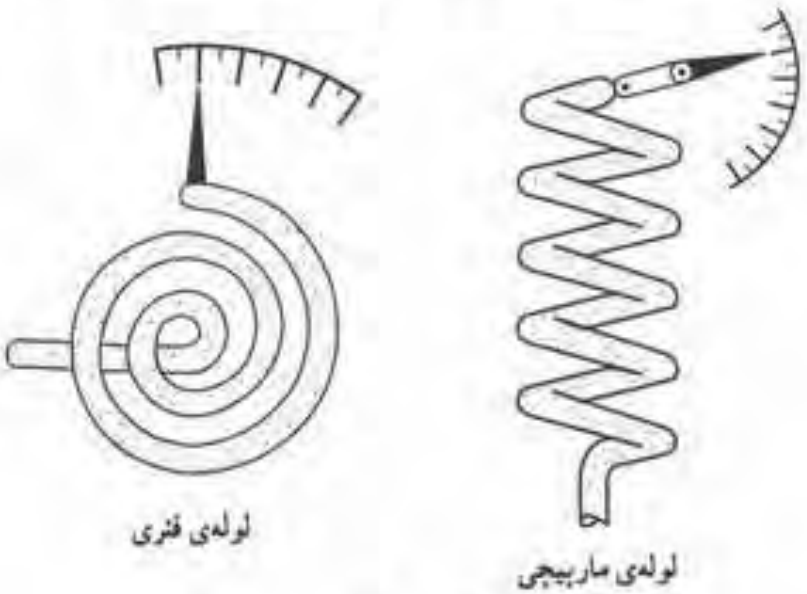
به نسبت بالا رفتن و یا پایین آمدن درجه حرارت، جیوه منبسط و یا منقبض شده و با حرکت در طول لوله، با توجه به صفحه‌ی مدرّج روی آن درجه حرارت را نشان خواهد داد.

یکی از اشکالات این نوع دماسنج‌ها بلند بودن طول لوله برای سنجش‌های وسیع درجه حرارت می‌باشد که مسلماً امکان شکستن لوله‌ی بزرگ و نازک شیشه‌ای بسیار زیاد است. از طرفی ساختن لوله‌ای که قطر داخل آن کاملاً یک‌سان باشد بسیار مشکل است، در نتیجه فاصله‌ای که نشان دهنده‌ی بالا رفتن یک درجه حرارت می‌باشد در سرتاسر لوله متفاوت خواهد بود. شکل ۲۹ـ۵ این نکته را نشان می‌دهد.



شکل ۲۹ـ۵

دماسنج فشاری: همان‌طور که قبلاً گفته شد با بالارفتن درجه حرارت فشار نیز افزایش می‌یابد. لذا می‌توان با اندازه گرفتن فشار یک جسم (مایع یا گاز) توسط فشارسنج به‌طور **غیر مستقیم** به میزان درجه حرارت نیز پی‌برد. شکل ۳۰ـ۵ دو نوع لوله‌ی بوردون را که در اثر ازدیاد فشار مایع

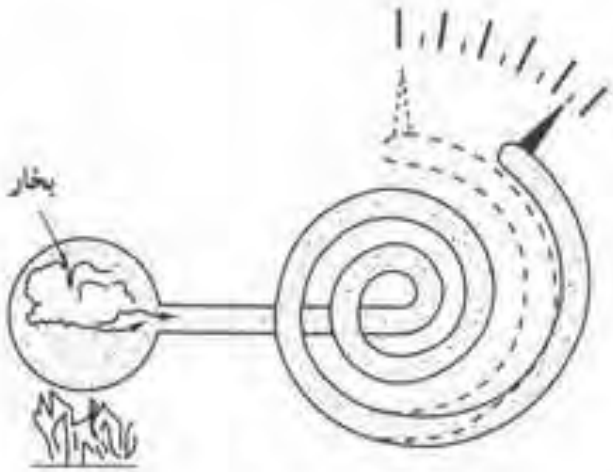


لوله‌ی فنری

لوله‌ی مارپیچی

شکل ۳۰ـ۵

یا گاز درون آن، شروع به باز شدن کرده‌اند نشان می‌دهد و چون فشار با حرارت در رابطه است لذا می‌توان سیستم را برحسب حرارت مدرّج نمود. به شکل ۳۱ـ۵ توجّه کنید، با افزایش حرارت آب بخار می‌شود و در نتیجه میزان فشار داخل لوله بوردون زیاد می‌گردد. در این صورت لوله باز شده و عقربه به سمت راست حرکت کرده و با حرکت خود روی صفحه‌ی مدرّج، بالا رفتن درجه حرارت را نشان می‌دهد.

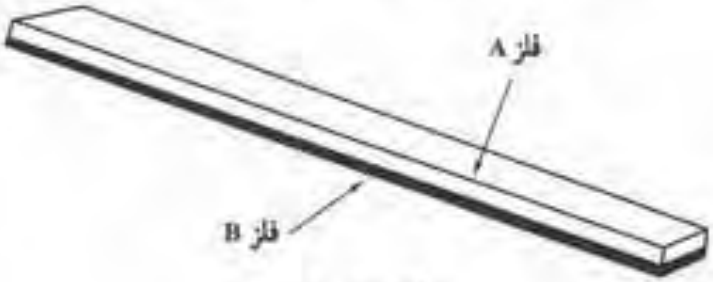


شکل ۳۱ـ۵

هنگامی که درجه حرارت پایین می‌آید طبیعتاً میزان فشار کاهش یافته و لوله مجدداً به صورت اوّل بازمی‌گردد.

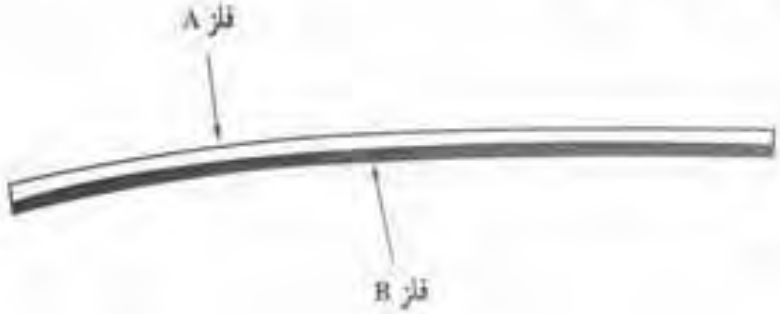
گاهی ممکن است در دماسنج‌ها از مایعاتی استفاده شود که در نتیجه‌ی گرم شدن فوراً تبدیل به‌بخار گردند اگر حرارت بیش‌تری به این مایعات داده شود بخار بیش‌تری نیز تولید می‌شود و به همان نسبت میزان فشار زیادتر شده و لوله‌ی بوردون بیش‌تر باز می‌شود و عقربه، درجه حرارت بیش‌تری را نشان خواهد داد.

دماسنج دو فلزی: همان‌طور که می‌دانید حرارت باعث انبساط فلزات می‌شود، ولی در اثر افزایش حرارت، مثلاً مس بیش‌تر از فولاد منبسط می‌گردد. شکل ۳۲ـ۵ دو نوع فلز مختلف را که به‌یک‌دیگر متصل شده و یک تیغه‌ی دو فلزی تشکیل داده‌اند نشان می‌دهد.



شکل ۳۲ـ۵

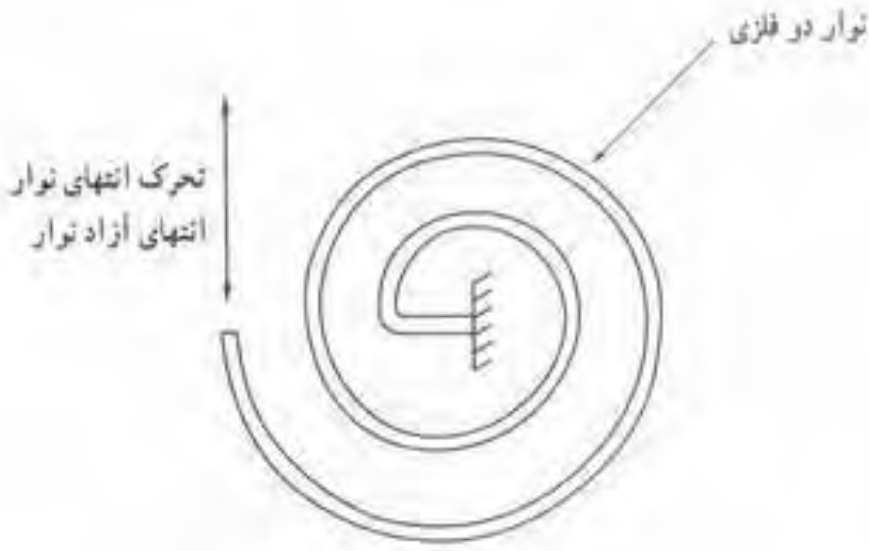
اگر به این تیغه حرارت داده شود، در اثر حرارت یکی از این دو فلز پیش‌تر از دیگری منبسط شده و همین امر باعث خم‌شدن تیغه می‌گردد به طوری‌که فلز با قابلیت انبساط بیش‌تر در سمت خارج انحنا قرار می‌گیرد (شکل ۳۳ـ۵).



شکل ۳۳ـ۵

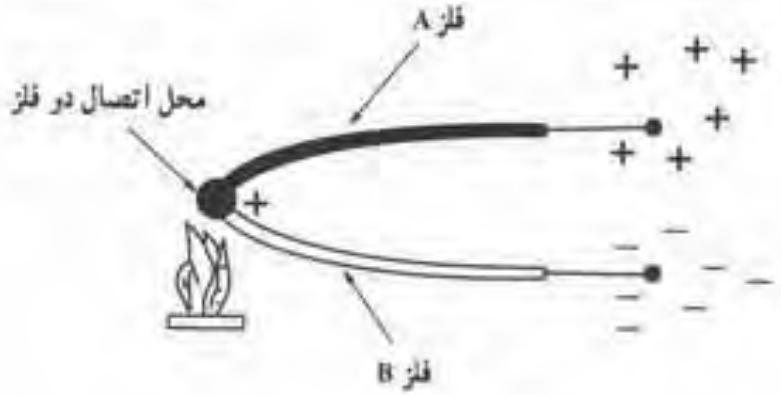
اگر این انحنا باعث قطع و وصل‌شدن کلیدی گردد این وسیله را ترموستات و چنانچه میزان انحراف تیغه در اثر حرارت به‌وسیله‌ی نشان دهنده‌ای منتقل گردد، دستگاه دماسنج نامیده می‌شود. سیستمی که میزان انحراف تیغه‌ها را اندازه‌گیری می‌کند لازم است بسیار دقیق باشد و هیچ‌گونه مانع مکانیکی در مقابل انحراف ایجاد نکند. در مواردی که نتیجه‌ی انحراف به عقربه‌ای منتقل می‌گردد تغییرات دما قابل رؤیت خواهد بود. از LVDT نیز می‌توان جهت سنجش تغییر مکان صورت گرفته متناسب با دما استفاده کرد. محدوده‌ی کار این نوع دماسنج‌ها از $-75^{\circ}C$ تا $1500^{\circ}C$ بوده و دقت بهترین نوع آن ٪۰/۵ می‌باشد.

ساختمان عملی یک نمونه از بی‌متال که در دماسنج‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد در شکل ۳۴ـ۵ نشان داده شده است.



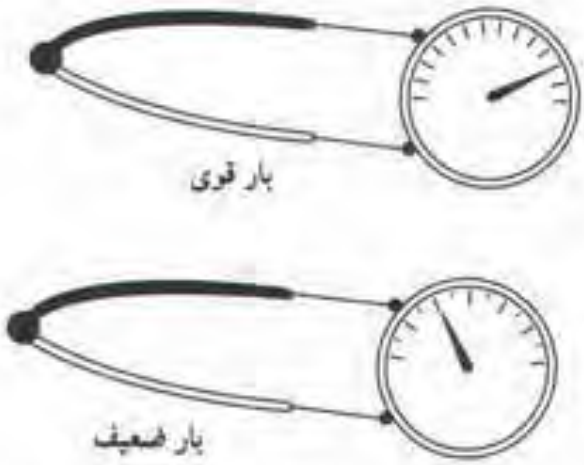
شکل ۳۴ـ۵

دماسنج ترموکوپلی: می‌دانیم که هر تغییری در درجه حرارت یک فلز باعث به حرکت درآمدن الکترون‌های آن می‌گردد هر قدر این تغییر دما، در یک فلز خاص، بیش‌تر باشد به همان نسبت جریان الکترون‌ها بیش‌تر خواهد بود که خود باعث تغییر بارالکتریکی در یک نقطه می‌شود. با استفاده از این خاصیت و یا اندازه‌گیری میزان اختلاف بارالکتریکی می‌توان تغییرات درجه حرارت را تعیین نمود. این همان اصلی است که در ترموکوپل مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین برای این کار سرهای دو تیغه از دو جنس مختلف را به یکدیگر متصل نموده و محل اتصال را گرم می‌کنیم. در این هنگام الکترون‌ها جریان پیدا کرده در نتیجه سر یک تیغه تراکم بار مثبت و سر تیغه‌ی دیگر تراکم بار منفی پیدا می‌کند.



شکل ۳۵ـ۵

هر قدر اختلاف درجه حرارت بین نقطه‌ی اتصال و سرهای آزاد این دو فلز، بیش‌تر باشد به‌همان نسبت بارالکتریکی دو سر تیغه‌ها زیادتر خواهد بود. بنابراین با اندازه‌گیری اختلاف بارالکتریکی (اختلاف پتانسیل الکتریکی) دو سر آزاد تیغه‌ها (دو سر ترموکوپل)، درجه حرارت نقطه‌ی اتصال مشخص خواهد شد.

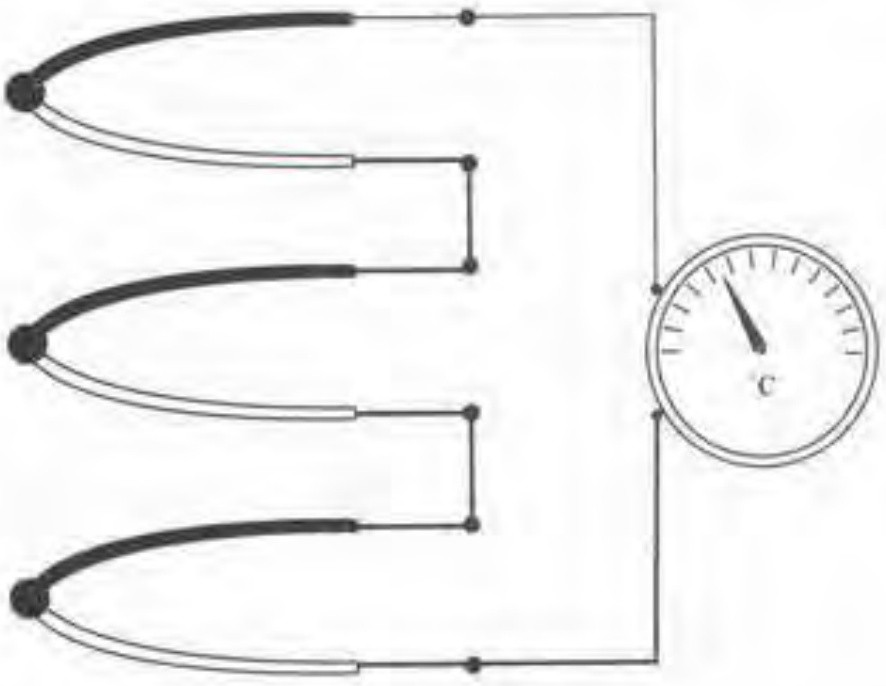


شکل ۳۶ـ۵ـ هر قدر حرارت نقطه‌ی اتصال بیش‌تر باشد اختلاف پتانسیل دو سر تیغه‌ها بیش‌تر خواهد بود.

چنانچه به نقطه‌ی اتصال و سرهای آزاد دو فلز، حرارت یک‌سان داده شود، پارالکتریکی دو فلز مساوی شده و در نتیجه اختلاف پتانسیل نیز صفر خواهد بود بنابراین قابلیت استفاده‌ی ترموکوپل فقط در صورت وجود اختلاف درجه حرارت بین نقطه‌ی اتصال و سرهای آزاد تیغه‌های فلزی می‌باشد. بنابراین در عمل **درجه حرارت سرهای آزاد ثابت نگه‌داشته می‌شود** که آن را «درجه حرارت مبنا» می‌نامیم.

مقدار ولتاژ ایجاد شده در دو سر تیغه‌ها بستگی به جنس تیغه‌ها داشته و به‌طور معمول بین $۱۰\mu V/^\circ C$ تا $۸۰\mu V/^\circ C$ است. در ضمن حداکثر درجه حرارت مجاز ترموکوپل نیز بستگی به‌جنس تیغه‌ها دارد.

چنانچه تعدادی ترموکوپل به صورت سری بسته شود، مجموعه، **ترموپیل** نام می‌گیرد. شکل ۳۷ـ۵ نمونه‌ای از ترموپیل را نشان می‌دهد.



شکل ۳۷ـ۵ ـ ترموپیل

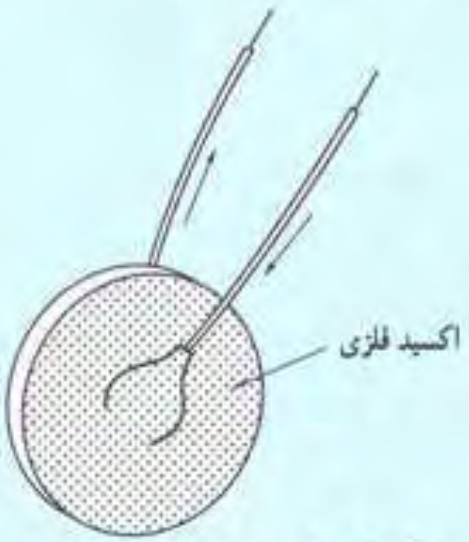
اگر در ترموپیل دمای محیط کلیه‌ی اتصالات و همچنین سیم‌های اتصال یک‌سان باشد در این صورت حساسیت مجموعه بالا رفته و قدرت تمیز آن نیز بیش‌تر خواهد شد.

به عنوان مثال با سری کردن ۲۵ ترموکوپل از نوع کنستانتان ـ کرمل قدرت تمیز تا $۰/۰۰۱^\circ C$ بالا خواهد رفت.

از دیگر موارد استفاده‌ی ترموکوپل کاربرد آن در اندازه‌گیری درجه حرارت متوسط اگزوز توربین می‌باشد. این ترموکوپل‌ها به‌طور جداگانه در نقاط مختلف اگزوز قرار داده می‌شوند و با اندازه‌گیری ولتاژ دو سر ترموپیل می‌توان اندازه‌ی متوسط درجه حرارت اگزوز را مشخص کرد.

مطالعه‌ی آزاد

وسایل اندازه‌گیر دما شامل مقاومت‌های تابع حرارت: این وسایل دارای المان‌هایی هستند که مقاومت الکتریکی آن‌ها در مقابل حرارت تغییر می‌کند. در صورتی که ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی مقاومت از جنس فلز باشد دستگاه ترمومتر مقاومتی و چنانچه این ماده از جنس نیمه هادی باشد وسیله، ترمومتر ترمیستوری نامیده می‌شود. روش معمول سنجش مقاومت استفاده از پل اندازه‌گیری می‌باشد. با اندازه‌گیری مقدار مقاومت و یا ولتاژ دو سر آشکارساز در پل می‌توان درجه حرارت را اندازه گرفت. شکل ۳۸ـ۵ یک نمونه ترمیستور را نشان می‌دهد.



شکل ۳۸ـ۵ـ یک نمونه ترمیستور

آی ـ سی‌های (IC) سنسور درجه حرارت: با پیشرفت تکنولوژی الکترونیک در ساخت قطعات الکترونیکی، قطعاتی ساخته شده‌اند که می‌توانند حرارت را حس نموده و متناسب با درجه حرارت در خروجی خود ولتاژ یا جریانی را تولید نمایند. محدوده‌ی اندازه‌گیری حرارت در این گونه قطعات از $-60^{\circ}C$ تا $180^{\circ}C$ می‌باشد. البته سنسور حرارتی تنها یک قطعه نیست بلکه یک قطعه‌ی حس کننده‌ی حرارت همراه با یک مدار الکترونیکی است که همگی به‌صورت یک مدار مجتمع ساخته شده و

به صورت یک قطعه‌ی سه پایه شبیه یک ترانزیستور در اختیار ما قرار می‌گیرد.

خروجی این ICها ولتاژ یا جریان بوده و از مهم‌ترین مزایای آن‌ها، خطی بودن ولتاژ یا جریان خروجی نسبت به درجه حرارت می‌باشد : به عنوان مثال، خروجی یک IC به ازای هر درجه‌ی سانتی‌گراد دما ۱۰mV ولتاژ در اختیار ما قرار می‌دهد.

از مشهورترین ICها، LM335 و LM336 و LM34 و LM35 و AD590 می‌باشند.

فهرست این آی‌سی‌ها را به همراه مقدار ولتاژهای خروجی آن‌ها در زیر می‌بینید :

LM335 ، ۱۰mV/°K

LM336 ، ۱μA/°K

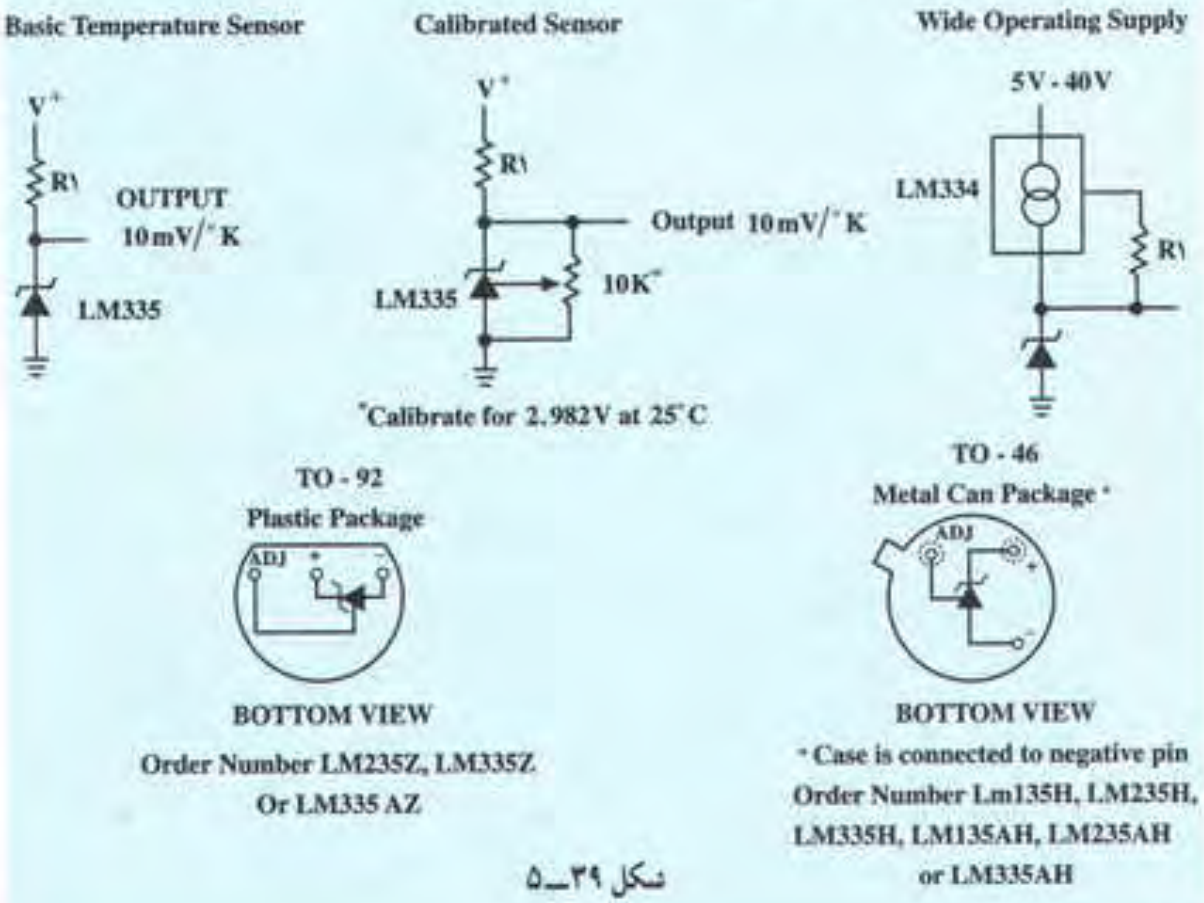
LM34 ، ۱۰mV/°F

LM35 ، ۱۰mV/°C

AD590 ، ۱μA/°C

تغذیه‌ی این ICها از حدود ۴ ولت الی ۳۰ ولت می‌باشد.

شکل ۳۹ـ۵، شکل ظاهری و مقطع IC شماره‌ی LM35 و همچنین دو نمونه از مدارهای عملی آن را نشان می‌دهد.



شکل ۳۹ـ۵

شیوه‌های اندازه‌گیری درجه حرارت که در صفحات قبل مورد بررسی اجمالی قرار گرفت تنها قسمتی از روش‌هایی است که در صنعت از آن‌ها استفاده می‌شود. قابل‌ذکر است که روش‌های دیگری نیز برای اندازه‌گیری درجه حرارت وجود دارند.

۴ــ۵ــ اندازه‌گیری ضخامت

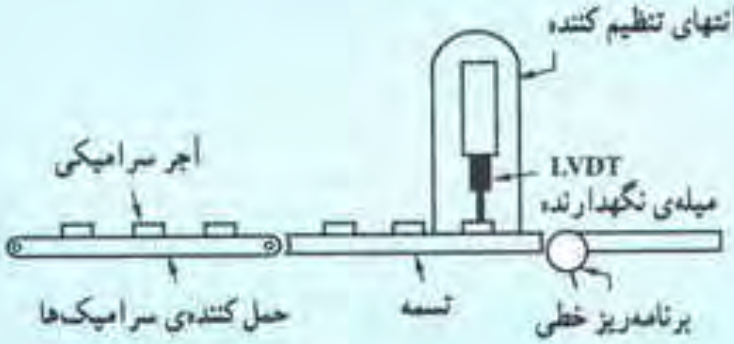
برای اندازه‌گیری ضخامت در عمل از چندین شیوه استفاده می‌شود که در این‌جا یکی از رایج‌ترین شیوه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. همان‌طور که قبلاً نیز توضیح داده شد LVDT قادر به اندازه‌گیری هرگونه تغییر مکان حتی در حدود میکرومتر می‌باشد. بنابراین برای اندازه‌گیری ضخامت اجسام ساکن و یا در حال حرکت (مانند ورق رول یا ورق‌های پرس شده) از LVDT استفاده می‌شود.

به عنوان مثال غلتک ریلی دستگاهی است که در کارخانه‌ی فولاد فلز را به‌صورت ورقه درمی‌آورد. به عبارت دیگر در کارخانه ابتدا فلز را ذوب و سپس پرس کرده و با غلتک ریلی به صورت ورقه‌های فلزی با ضخامت یک‌سان درمی‌آورند. بخش کنترل کیفیت این کارخانه جهت اطمینان حاصل کردن از قابل قبول بودن ضخامت ورقه‌ها ضخامت آن‌ها را مورد اندازه‌گیری قرار می‌دهد. عنصری که این کار را انجام می‌دهد LVDT می‌باشد.

هسته‌ی LVDT به یک پراب کرومیم ــ فولاد تیز شده متصل می‌شود. پراب LVDT تغییر مکان حاصل از فلز را حس کرده و یک کامپیوتر معمولاً محاسبات مربوط به ضخامت را انجام می‌دهد.

شکل ۴۰ــ۵ــ کاربرد LVDT در غلتک ریلی به عنوان اندازه‌گیر ضخامت ورق نورد شده

شکل ۴۱ـ۵ کاربرد دیگر دستگاه ضخامت‌سنج LVDT را نشان می‌دهد که به‌کمک آن آجرهای سرامیکی برطبق ضخامت مرتب می‌شوند.



شکل ۴۱ـ۵ـ اندازه‌گیری ضخامت آجرهای سرامیک به کمک LVDT

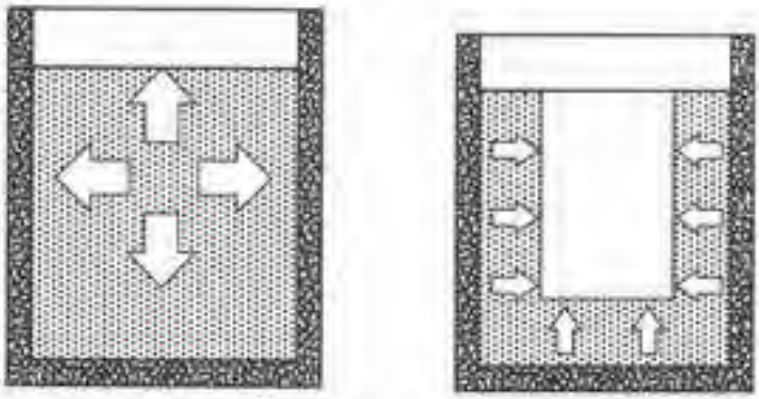
پراب LVDT بالای یک تسمه نقاله‌ی متحرک نصب شده است. وقتی هسته‌ی LVDT روی آجر فشار وارد می‌کند، ضخامت آجرها اندازه‌گیری می‌شود و هنگامی که آجرها به دقت اندازه‌گیری شد می‌توانند به‌طور مناسب بر طبق ضخامت مرتب شوند. LVDTها در چنین کاربردهایی تا هزارم‌های یک اینچ را نیز مورد سنجش قرار می‌دهند.

۵ـ۵ـ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات

منظور از سطح مایع حدفاصل مایع با بخار خود یا محیط گازی که روی آن را احاطه کرده است می‌باشد.

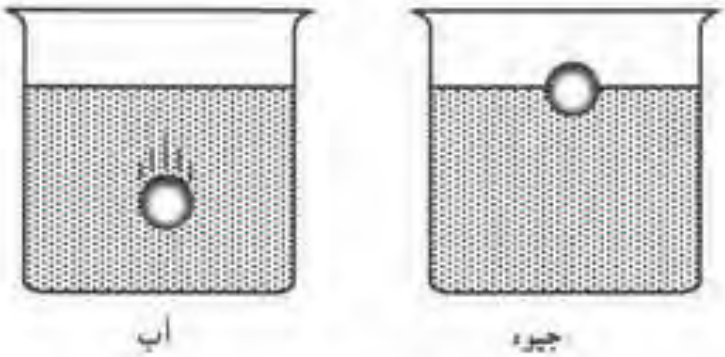
ساده‌ترین روش اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع استفاده از ظرف شیشه‌ای یا شفاف است که بتوان مایع داخل آن را از بیرون به‌خوبی دید، اما چون نمی‌توان مخزن‌ها را از شیشه یا جسم شفاف ساخت، لذا اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع به طرق دیگری انجام می‌پذیرد که در زیر به بعضی از آن‌ها اشاره‌ای مختصر خواهد شد.

۱ـ۵ـ۵ـ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع به کمک اجسام شناور: مایعات همواره به‌خود و دیوارهای ظرفی که در آن ریخته می‌شوند. فشار وارد می‌آورند مثلاً اگر یک جسم خارجی را در یک ظرف مایع قرار دهیم از طرف مایع فشاری به این جسم وارد می‌شود.



شکل ۴۲ـ۵

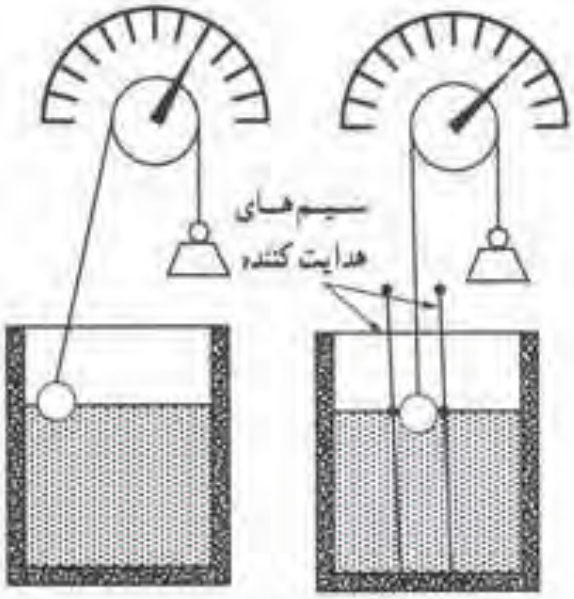
به شکل ۴۲ـ۵ نگاه کنید. فشاری که از دو پهلو به جسم شناور وارد می‌شود یکدیگر را خنثی می‌کنند. امّا فشار وارده از پایین که بیش‌تر از فشار وارده از بالاست سعی بر آن دارد که جسم را به‌طرف بالا براند و همین فشار است که باعث سبک شدن اجسام شناور می‌شود (قانون ارشمیدس). هر قدر وزن مخصوص مایع بیش‌تر باشد این فشار بیش‌تر خواهد بود. مثلاً ممکن است جسمی در آب غوطه‌ور شود امّا در جیوه (مایع) فرو نرود. زیرا وزن مخصوص جیوه زیاد بوده و فشار زیادی از پایین به آن جسم وارد می‌نماید و آن را در سطح خود شناور نگه می‌دارد.



شکل ۴۳ـ۵

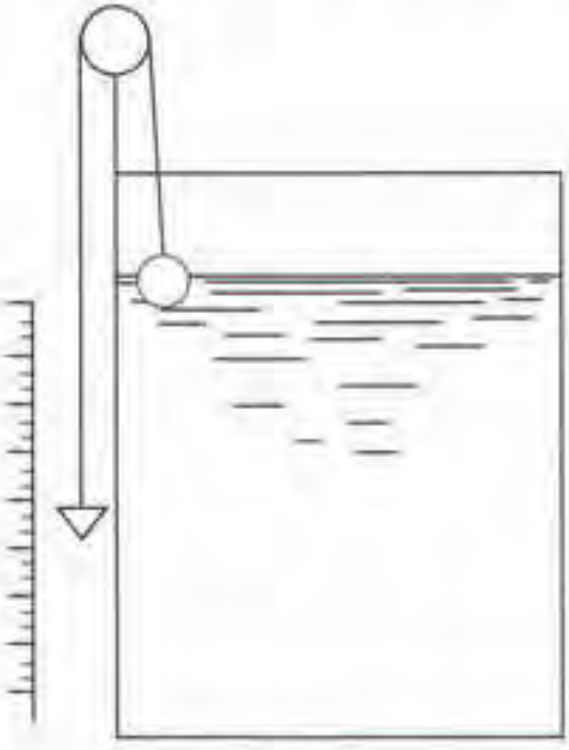
پس از ذکر مقدمه‌ی فوق، ساده‌ترین روش استفاده از اجسام شناور را در شکل ۴۴ـ۵ نشان می‌دهیم. با بالا یا پایین رفتن سطح مایع توپی نیز به سمت بالا و پایین حرکت می‌کند و این امر باعث حرکت عقربه شده و عقربه (حرکت عقربه) ارتفاع سطح مایع را مشخص می‌کند.

برای این‌که توپی شناور روی سطح مایع حرکت آزاد نداشته باشد معمولاً آن را به‌وسیله‌ی دو



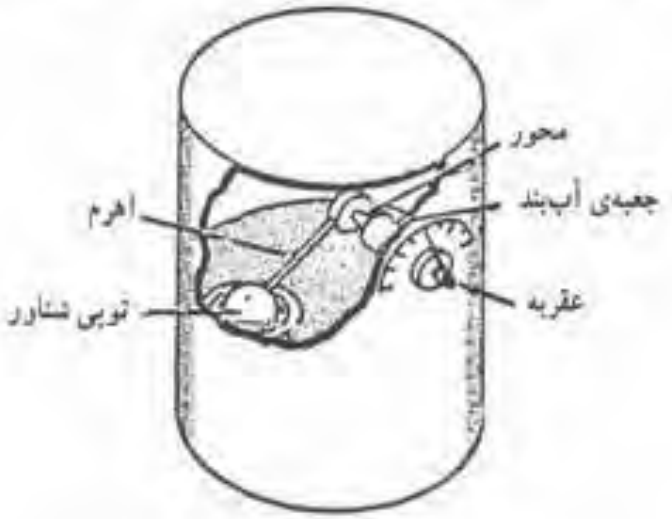
شکل ۴۴ـ۵

میله مهار می‌کنند. در این روش می‌توان به‌جای عقربه و صفحه‌ی مدرّج از یک شاغول و یک خط‌کش مدرج بلند، مطابق شکل ۴۵ـ۵، استفاده نمود. در این طریقه نوبی شناور به‌وسیله‌ی نخی که از روی قرقره عبور کرده است به وزنه‌ی شاغول متصل است. این وزنه در کنار مقیاس مدرّجی حرکت می‌کند و ارتفاع سطح مایع را اندازه می‌گیرد.



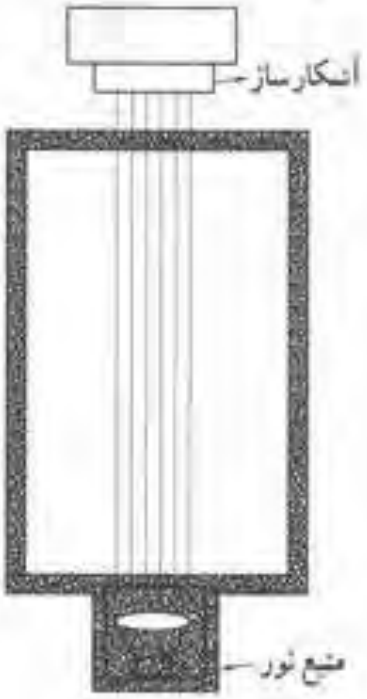
شکل ۴۵ـ۵

شکل ۴۶ـ۵ استفاده‌ی دیگری از توپی شناور را نشان می‌دهد. با حرکت توپی، اهرم، میله‌ی متحرک و عقربه حرکت کرده و ارتفاع سطح مایع را روی صفحه‌ی مدرّج نشان می‌دهد.



شکل ۴۶ـ۵

۲ـ۵ـ۵ـ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات به کمک امواج: اگر نوری بر سطح مایع شفافی تابانده شود مقدار کمی از آن هنگام برخورد با مایع منعکس گشته و مقداری دیگر جذب مایع می‌گردد امّا قسمت اعظم آن از مایع عبور می‌کند. در این عمل هر چه ضخامت مایع بیش‌تر باشد مقدار نور جذب شده افزایش یافته و نور خارج شده کم می‌شود. بنابراین از روی نور خارج شده می‌توان ضخامت یا ارتفاع مایع را معین نمود. این شیوه‌ی اندازه‌گیری مطابق شکل ۴۷ـ۵ برای اندازه‌گیری ارتفاع مایعات شفاف به‌کار می‌رود.



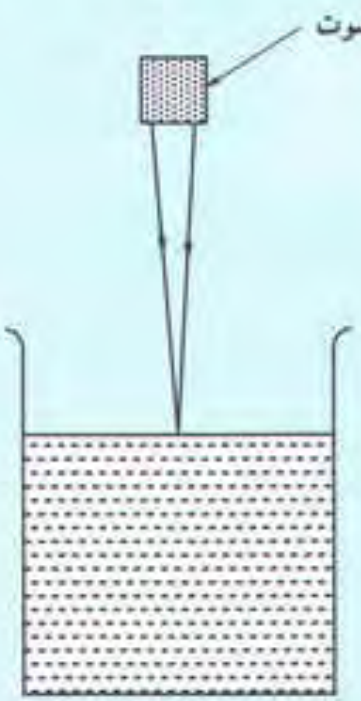
شکل ۴۷ـ۵

مطالعه‌ی آزاد

عامل جذب نور در بالای مخزن با مقدار نوری که جذب می‌کند مقدار ارتفاع مایع را مشخص می‌سازد، مسلم است که هر چه مقدار نور جذب شده زیادتر باشد ارتفاع مایع کم‌تر خواهد بود.

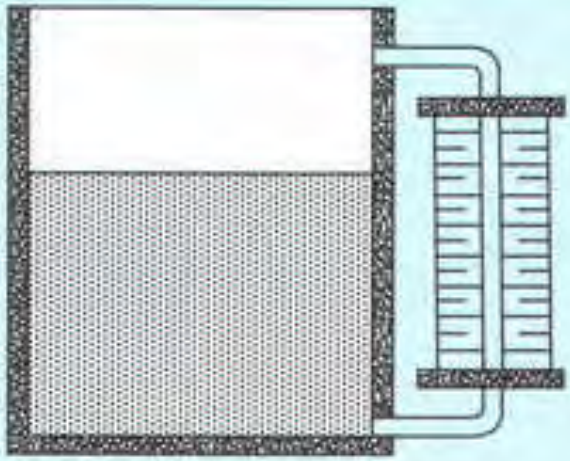
اگر مایع تیره و غلیظ باشد به‌جای نور از اشعه‌ی x یا γ (گاما) استفاده می‌شود. مقدار اشعه‌ای که توسط جاذب اشعه جذب می‌شود ارتفاع مایع را معین می‌سازد.

شیوه‌ی دیگر اندازه‌گیری، استفاده از امواج مافوق صوت (اولتراسونیک) است. در این روش یک منبع اولتراسونیک از بالاترین نقطه‌ی مخزن امواجی را ارسال می‌کند. امواج پس از برخورد با سطح مایع منعکس شده و توسط یک آشکارساز شناسایی می‌گردند. از مقایسه‌ی شکل موج ارسالی و موج دریافتی و زمان رفت‌و برگشت، فاصله تا سطح مایع و در نتیجه ارتفاع آن اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۴۸ــ۵

۳ــ۵ــ۵ــ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات با استفاده از لوله‌ی اندازه‌گیری: می‌دانیم مایع در تمام ظرف‌های مرتبط با یکدیگر در یک سطح قرار می‌گیرد، از این خاصیت برای اندازه‌گیری سطح مایع مطابق شکل ۴۹ــ۵ استفاده می‌شود.

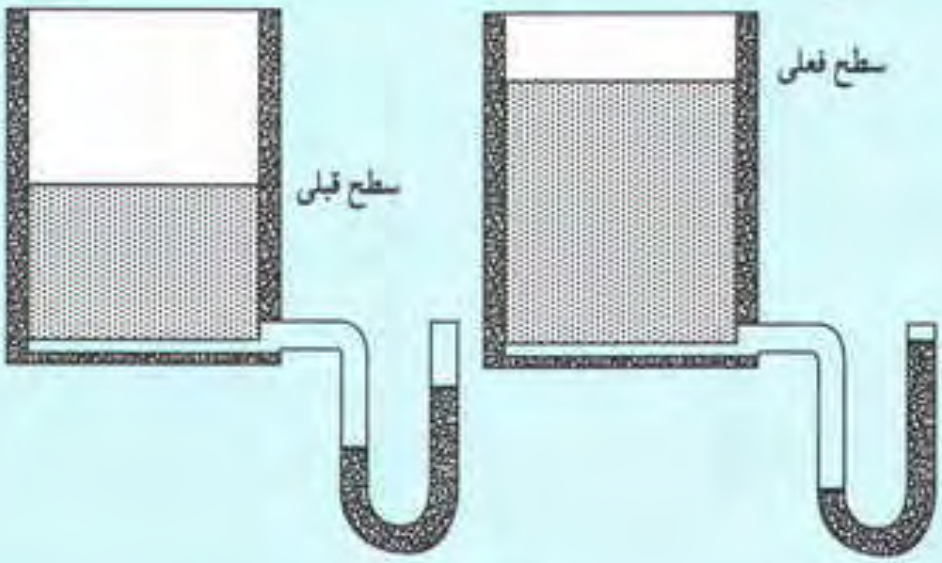


شکل ۴۹ـ۵

لوله‌ی شیشه‌ای از یک طرف به پایین‌ترین قسمت مخزن و از طرف دیگر به قسمت بالایی آن متصل شده است. می‌دانیم که سطح مایع در این لوله با سطح مایع در مخزن برابر است. برای جلوگیری از شکسته‌شدن این نوع لوله‌ها، در اطراف آن چند میله‌ی محافظ نصب شده است و برای مخزن‌هایی که دارای فشار بالا هستند از لوله‌های شیشه‌ای استفاده نمی‌شود.

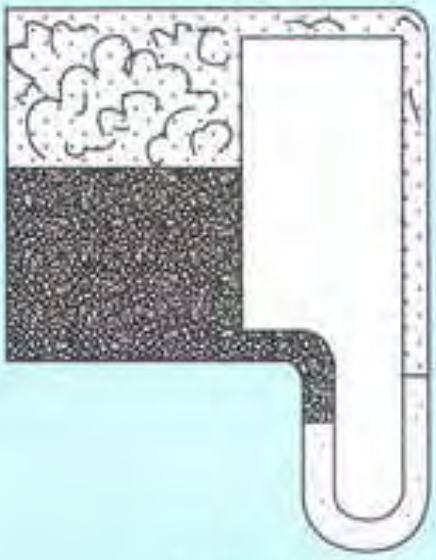
۴ـ۵ـ۵ـ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات با استفاده از فشارسنج‌ها:

فشار یک مایع با عمق مایع رابطه‌ی مستقیم دارد یعنی هرقدر عمق‌مایع (ارتفاع مایع) بیش‌تر باشد فشار وارده بر جداره‌های ظرف و ته‌ظرف بیش‌تر خواهد بود. بنابراین با اندازه‌گیری فشار (معمولاً ته ظرف) می‌توان به ارتفاع مایع پی‌برد. شکل ۵۰ـ۵ سنجش ارتفاع سطح مایع به کمک فشارسنج U شکل را نشان می‌دهد.



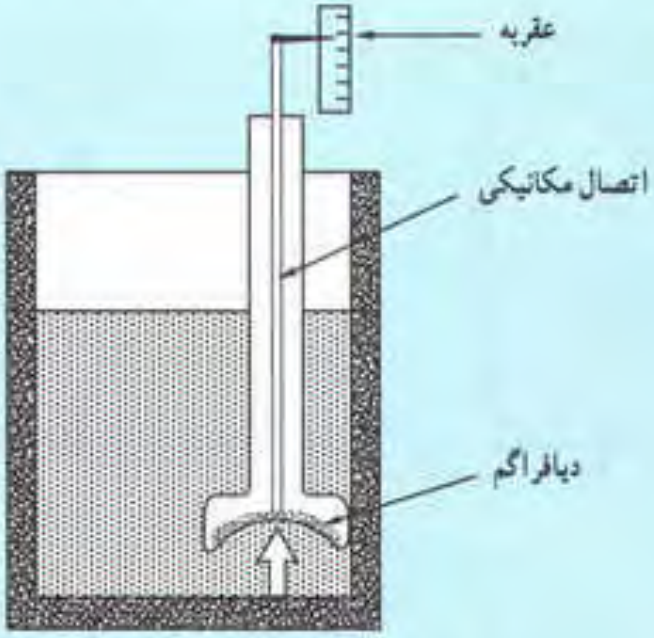
شکل ۵۰ـ۵

در مخزن‌هایی که فشار داخل آن‌ها زیاد است یک سر فشارسنج (مانومتر) به انتهای مخزن و سر دیگر آن به بالای مخزن وصل می‌شود. در ضمن معمولاً روی دو سطح جیوه‌ی داخل فشارسنج را با مایع دیگری می‌پوشانند تا از نفوذ مایع اصلی مخزن به داخل جیوه جلوگیری به عمل آید.



شکل ۵ـ۵۱

نوع دیگری از فشارسنج‌ها که در سنجش ارتفاع مورد استفاده قرار می‌گیرد فشارسنج دیافراگمی است که در شکل ۵ـ۵۲ نمونه‌ای از آن نشان داده شده است.



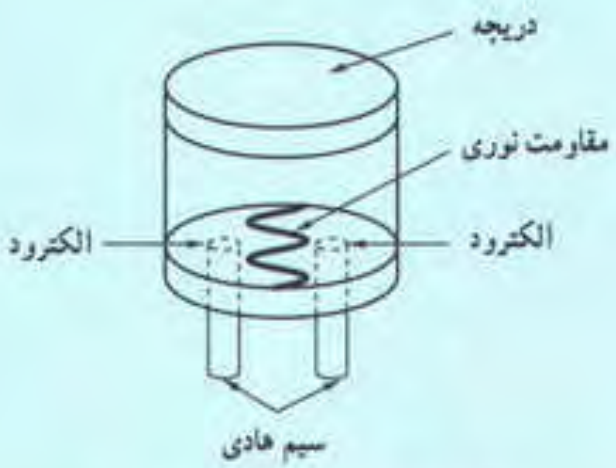
شکل ۵ـ۵۲

همان‌طور که در شکل ۵۲ـ۵ دیده می‌شود اختلاف فشار ستون مایع و فشار هوا که به دو طرف دیافراگم وارد می‌شود دیافراگم را به طرف داخل رانده و سبب حرکت عقربه بر روی صفحه‌ی مدرّج می‌گردد. این نوع سطح نما برای مخازنی به‌کار می‌رود که فشاری معادل فشار هوا داشته باشد و برای مخازن تحت‌فشار از نوع دیگری از فشارسنج‌های دیافراگمی استفاده می‌شود.

۶ـ۵ـ اندازه‌گیری نور

نورمرئی یکی از امواج الکترومغناطیس است که طول موج آن بین ۳۸۰ تا ۷۸۰ نانومتر می‌باشد هر نور رنگی دارای طول‌موج مشخصی است. مثلاً نور قرمز دارای طول موج ۷۰۰ نانومتر و نور سبز دارای طول موج تقریباً ۵۵۰ نانومتر می‌باشد. برای اندازه‌گیری مقدار نور از سنسورهایی استفاده می‌شود که کمیت‌های فیزیکی آن‌ها نظیر مقاومت اهمی و ... با تاباندن نور تغییر می‌کند. سنسورهای نوری فقط برای اندازه‌گیری مقدار دقیق نور به کار نمی‌روند بلکه در صنعت می‌توانند به‌عنوان قطعه‌ای که وجود یا عدم وجود نور را مشخص می‌کند کاربرد داشته باشند. در زیر به برخی از سنسورهای پرکاربرد در اندازه‌گیری مقدار نور اشاره‌ی مختصری خواهد شد.

۱ـ۶ـ۵ـ مقاومت‌های نوری: دانشمند مشهور **ویلوبی اسمیت** هنگام کار متوجه شد که مقاومت یک بلوک سلنیوم با قرار گرفتن در معرض نور کاهش می‌یابد. این همان اثر مورد استفاده در مقاومت نوری می‌باشد. نمونه‌ای از مقاومت نوری در شکل ۵۳ـ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵۳ـ۵ـ برش یک مقاومت نوری

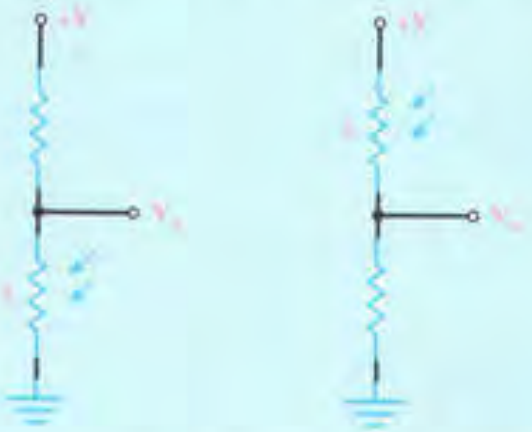
عنصر مورد استفاده در مقاومت‌های نوری از کادمیم سولفید (CdS) و یا کادمیم سلنید (CdSe) می‌باشد. این مواد به صورت بخار روی یک پایه‌ی شیشه‌ای یا سرامیکی نشانده (Coat) شده و سپس به صورت غیرقابل نفوذی در پلاستیک یا شیشه پایدار می‌گردند. هنگامی که نور به مقاومت نوری برخورد می‌نماید الکترون‌ها آزاد می‌شوند و به صورت عبور جریان عمل می‌نمایند که در این صورت مقاومت کاهش می‌یابد. هرچه تابش نور بیش‌تر باشد کاهش مقاومت بیش‌تر خواهد بود. پاسخ طیف مقاومت نوری (چگونگی عکس‌العمل این قطعه نسبت به طول موج‌های مختلف نوری) به نوع ماده‌ی مورد استفاده بستگی دارد. در شکل ۵۴ـ۵ پاسخ طیف مقاومت نوری CdS با پاسخ چشم انسان مطابقت بیش‌تری دارد و پاسخ طیف CdSe به طرف مادون قرمز جابه‌جا شده است.

ماده‌ی مشخصه‌ی مورد استفاده، نسبت مقاومت تاریک به روشن که رنجی از ۱ به ۱۰۰ تا ۱ به ۱۰۰،۰۰۰ را دارد تعیین می‌کند. مقاومت نوری نسبت به تغییرات نور بسیار حساس بوده و استفاده‌ی از آن در مدارات ساده و از نظر قیمت نسبتاً ارزان می‌باشد.

شکل ۵۴ـ۵ـ پاسخ طیف کادمیم سولفید (CdS) و کادمیم سلنید (CdSe) در مقایسه با پاسخ چشم انسان

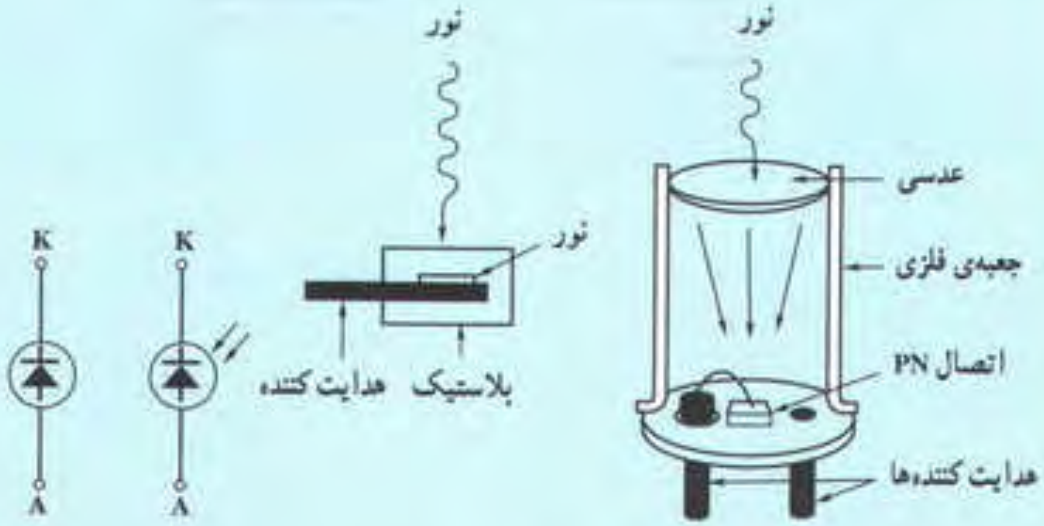
یکی از معایب اساسی این قطعه، عکس‌العمل بسیار کند آن در مقابل تغییرات نور می‌باشد. با توجه به این‌که مقاومت نوری نسبت به تغییرات نور بسیار حساس است معمولاً نیازی به تقویت کنندگی ندارد. شکل ۵۵ـ۵ چگونگی کاربرد این قطعه را در

مدارات نشان می‌دهد. در این مدار ساده تغییرات نور به تغییرات ولتاژ تبدیل می‌گردد.



شکل ۵۵ــ۵ــ مقاومت‌های نوری مورد استفاده در مدارات مقسم ولتاژ

۲ــ۶ــ۵ــ دیود نوری (Photo diode): دیودهای نوری (فتودیودها)، دیودهای PN هستند که محل اتصال P و N آن‌ها در معرض نور قرار می‌گیرد. این دیودها در بایاس معکوس کاربرد داشته و تابیدن نور به محل اتصال N و P، باعث شکسته شدن پیوندها شده و جریان اشباع معکوس آن را زیاد می‌کند که مقدار این جریان بستگی به مقدار نور تابانیده شده به محل اتصال دارد.



شکل ۵۶ــ۵ــ ساختمان یک دیود نوری همراه با علامت فنی آن

دیودهای نوری تحت وضعیت‌های روشنایی کامل نیز، جریان‌های نسبتاً کوچکی را تولید می‌کنند. برخی از سازندگان این‌گونه دیودها در همان محفظه‌ی دیود نوری تقویت کننده‌ای جهت افزایش حساسیت دیود اضافه می‌نمایند. عناصر نیمه‌هادی دیگری مانند فتوترانزیستور و ... نیز وجود دارند که می‌توانند برای تشخیص نور در مدارات مورد استفاده قرار گیرند.

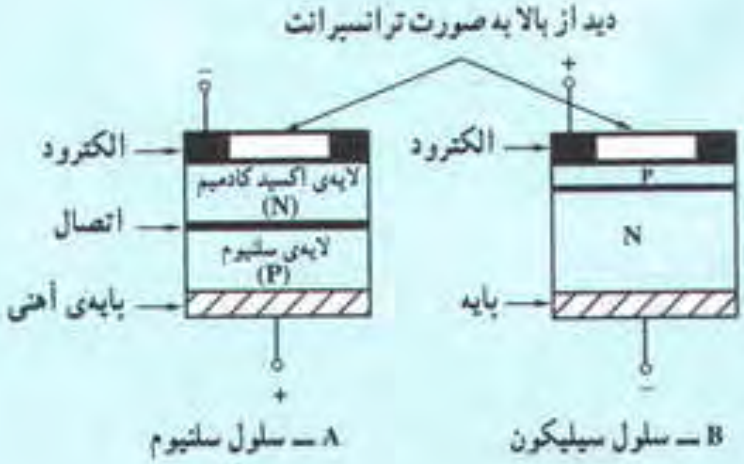
۳ـ۶ـ۵ـ فتوولتیک (Photo Voltaic): فتوولتیک وسیله‌ای است که به‌هنگام قرار گرفتن در معرض تابش نور ولتاژی در دو سر آن تولید می‌گردد این پدیده را اثر فتوالکتریک می‌نامند که در سال ۱۸۸۷ هنریک هرتز آن را کشف کرد. عنصر اصلی این وسیله نیمه‌هادی است.

به طور کلی از نظر ساختمانی سلول‌های ولتاژ نوری در دو نوع ساخته می‌شوند :

۱ـ سلول‌های سیلیکون

۲ـ سلول‌های سلنیوم

شکل ۵ـ۵۷ ساختمان هر دو نوع سلول را نشان می‌دهد.



شکل ۵ـ۵۷ـ سلول‌های ولتاژ نوری

در سلول سلنیوم (شکل ۵ـ۵۷A) یک لایه‌ی نازک از سلنیوم روی پایه‌ای فلزی نشانده می‌شود، سپس لایه‌ای از کادمیم در بالای سلنیوم (Selenium) قرار می‌دهند که در این‌صورت بین کادمیم و سلنیوم یک اتصال PN شکل می‌یابد. در سلول سیلیکون (شکل ۵ـ۵۷B) یک لایه‌ی نازک با ناخالصی نوع P و باقی‌مانده با نوع N می‌باشند.

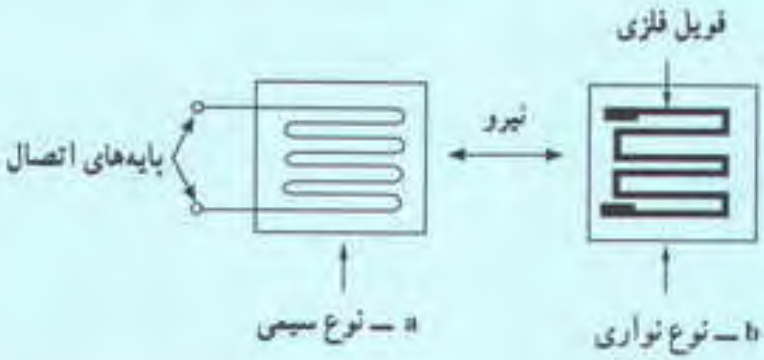
مقاومت داخلی سلول ولتاژ نوری را معمولاً کم در نظر می‌گیرند تا هنگام جریان‌دهی ولتاژ دو سر آن تغییرات چندانی نداشته باشد.

بین پایه‌های سلول سیلیکون در شدت نور زیاد، حدود ۰/۵ ولت ولتاژ و جریانی حدود ۱۰۰mA تولید می‌شود. از این سلول‌ها به عنوان سلول‌های خورشیدی استفاده می‌گردد تا انرژی تابشی خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل نمایند. برای افزایش ولتاژ و جریان خروجی اغلب این سلول‌ها را به صورت‌های سری، موازی و یا سری ـ موازی به یکدیگر متصل می‌کنند. سلول‌های سلنیوم پاسخ طیفی بهتری دارند امّا جریان‌دهی آن‌ها بسیار ضعیف است. از این سلول‌ها در نورسنج‌ها جهت سنجش مقدار نور بیش‌تر استفاده می‌شود.

۵ـ۷ـ اندازه‌گیری وزن

برای اندازه‌گیری وزن، نیرو، کشش، خمش، پیچش، شتاب، گشتاور و ... از عنصری به نام استرین گیج (Strain Gauge) استفاده می‌شود.

استرین‌گیج‌ها نوارهای بسیار باریکی هستند که در مقابل کشیدگی یا فشار، مقدار مقاومت‌شان تغییر می‌کند. به دلیل طویل بودن طول استرین‌گیج‌ها، نوارهای آن را به شکل فنری درمی‌آورند تا جای کم‌تری را اشغال کنند. جنس این سنسورها معمولاً از کنستانتان (آلیاژی از مس و نیکل) است و به صورت نوارهایی به ضخامت تقریباً ۵μm، که روی لایه‌ی حاملی از اپوکسی (Epoxy) قرار گرفته‌اند، ساخته می‌شوند. در مواردی که دمای محیط زیاد است از لایه‌ی حامل سرامیکی استفاده می‌کنند. شکل ۵۸ـ۵ دو نمونه استرین‌گیج را نشان می‌دهد.



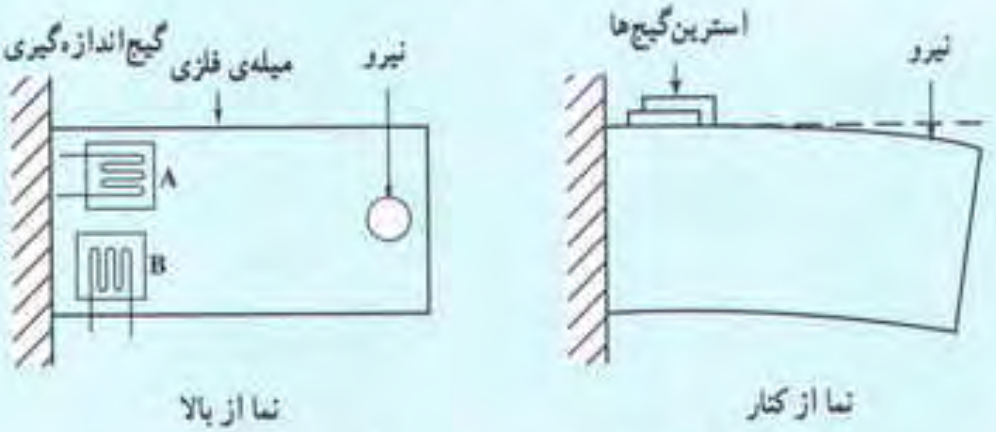
شکل ۵۸ـ۵ـ انواع استرین‌گیج‌ها

برای این که بتوان از استرین گیج‌ها به خوبی برای اندازه‌گیری استفاده نمود باید بتوان آن‌ها را به دقت و به طور صحیح در محل مناسبی روی بدنه‌ی جسم نصب کرد. در ضمن باید آن‌ها را از هرگونه ضربه و آسیب مکانیکی محفوظ داشت. برای این منظور از پوشش سیلیکونی و محفظه‌ی فلزی بر روی آن استفاده می‌شود. همان‌طور که گفته شد استرین گیج نواری است با طول l و سطح مقطع A و مقاومت مخصوص ρ که مقاومت کل آن از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید :

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

در اثر اعمال نیرو به جسم، سطح خارجی آن تغییر می‌یابد و چون استرین گیج روی سطح جسم قرار دارد لذا آن نیز تغییر کرده و طول و سطح مقطع و مقاومت مخصوص آن و در کل مقاومت آن نیز تغییر خواهد کرد و چنانچه به جسم فشار وارد آید (به خاطر وزن) باز هم مشخصات فیزیکی استرین گیج تغییر نموده و در نهایت مقاومت الکتریکی آن تغییر خواهد یافت. لازم به یادآوری است که این **تغییر مقاومت در حدود میلی اهم می‌باشد.**

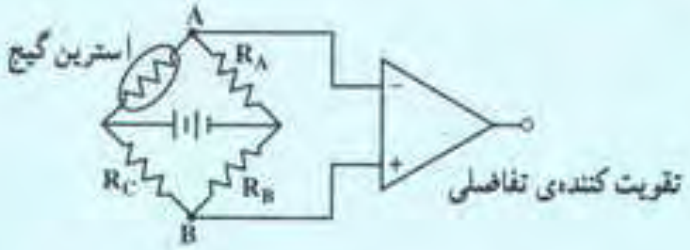
شکل ۵۹ـ۵ نحوه‌ی اندازه گیری مقدار نیرو را نشان می‌دهد. بر اثر نیرو سطح خارجی میله زیاد شده در نتیجه استرین گیج کشیده می‌شود و مقاومت آن تغییر می‌کند. با اندازه‌گیری این تغییر مقاومت می‌توان به مقدار نیرو پی‌برد.



شکل ۵۹ـ۵ـ نحوه‌ی اندازه‌گیری

اگر نیرو کم‌باشد تغییرات مقاومت استرین گیج نیز بسیار کم خواهد بود، لذا برای آشکار کردن این تغییرات بسیار کوچک مقاومت، از پل وتستون استفاده می‌شود و

خروجی پل به یک تقویت کننده‌ی تفاضلی متصل می‌گردد تا بتوان در خروجی آن متناسب با نیرو، ولتاژ DC دریافت کرد. شکل ۶۰ـ۵ یک پل وتستون را که در یک بازوی آن استرین‌گیج و در سه بازوی دیگر آن سه مقاومت استاندارد قرار دارد و خروجی این پل به یک تقویت‌کننده تفاضلی متصل است، نشان می‌دهد :



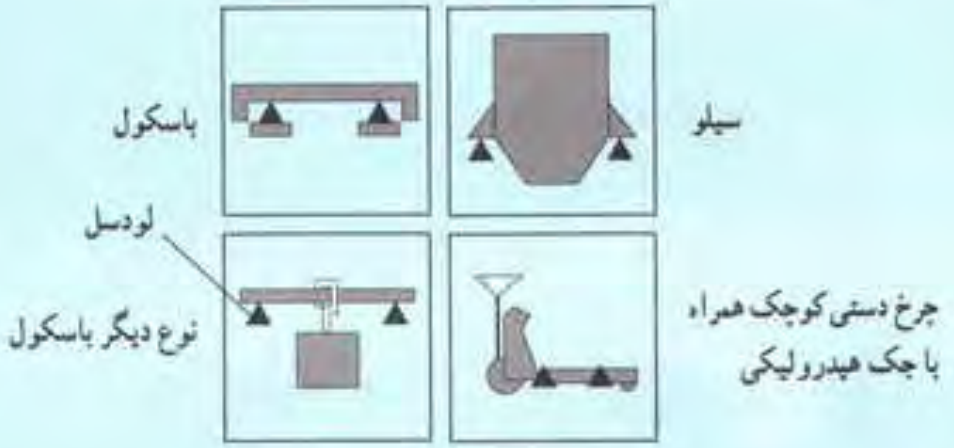
شکل ۶۰ـ۵ـ نحوه‌ی قرار گرفتن استرین‌گیج در یک پل

استرین‌گیج‌هایی نیز وجود دارند که با عناصر نیمه‌هادی ساخته می‌شوند و از حساسیت بسیار بالایی برخوردارند.

۱ـ۷ـ۵ـ اندازه‌گیری وزن به کمک لود سل (Load Cell): برای اندازه‌گیری وزن عناصری ساخته و به بازار عرضه شده‌اند که لودسل نامیده می‌شوند. به کمک این لودسل‌ها می‌توان وزن‌های بسیار کم تا بسیار زیاد (حتی بالای ۱۰۰ تن) را اندازه گرفت. داخل یک لودسل پل وتستون قرار دارد که در یک بازوی آن استرین‌گیج قرار می‌گیرد. بنابراین هر لودسل دارای چهار رشته سیم است که دوتای آن ورودی و مربوط به تغذیه‌ی پل و دو تای دیگر آن خروجی جهت اتصال به تقویت کننده می‌باشند. شکل ۶۱ـ۵ نمونه‌هایی از لودسل‌ها را نشان می‌دهد.

شکل ۶۱ـ۵ـ نمونه‌هایی از لودسل‌ها که در ساختن ترازوها و باسکول‌ها از آن‌ها استفاده می‌شود.

شکل ۶۲ـ۵ نحوه‌ی قرار گرفتن لودسل‌ها را زیر باسکول و یا درجایی که قرار است وزن آن اندازه گرفته شود نشان می‌دهد. علامت فنی لودسل مثلث است.



شکل ۶۲ـ۵

اندازه‌گیری وزن، ضمن این که وزن یک جسم نامشخص را معین می‌کند، کاربردهای دیگری منجمله در جرثقیل‌ها دارد، بدین صورت که اگر یک جرثقیل بخواهد به عنوان مثال جسمی به وزن ۱۰ تن را از زمین بلند کند ابتدا وزن این جسم را با اندکی بلند کردن اندازه می‌گیرد و چنانچه کم‌تر از ۱۰ تن باشد به کار عادی خود ادامه خواهد داد ولی اگر بیش‌تر از ۱۰ تن باشد آن را به زمین گذاشته و حرکت نمی‌دهد.

پرسش

۱ـ چرا در صنعت کمیت‌های غیرالکتریکی مانند درجه حرارت و ... را ابتدا تبدیل به یک کمیت الکتریکی کرده و سپس آن را انتقال می‌دهند؟

۲ـ کاربرد اندازه‌گیری تغییر مکان طولی کدام است؟

۳ـ فشار و واحد آن را تعریف کنید.

۴ـ ۳ مورد کاربرد فشار را نام ببرید.

۵ـ کاربرد فشارسنج دیافراگمی در کجاست؟

۶ـ درجه حرارت را تعریف کنید.
۷ـ ساختمان دماسنج فشاری را به‌طور کامل شرح دهید.
۸ـ دماسنج ترموکوپلی و کاربرد آن را به‌طور کامل شرح دهید.

منابع مورد استفاده

۱ـ دستگاه‌های اندازه‌گیری، تألیف فتح‌الله نظریان ـ انتشارات شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۲ـ اصول اندازه‌گیری الکتریکی، تألیف فتح‌الله نظریان، فریدون قیطرانی، انتشارات شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۳ـ آشنایی با ابزار دقیق، تألیف آقای مشتاقی از انتشارات شرکت ملی گاز ایران.

۴ـ استفاده از کاتالوگ‌های مختلف دستگاه‌های اندازه‌گیری.

شابک ۱-۰۵-۰۹۰۵-۹۶۴
ISBN 964-05-0905-1

۱۳۸۴