

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اصول اندازه‌گیری الکتریکی

رشته‌های الکترونیک - الکتروتکنیک

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره درس ۲۰۹۱

نظریان، فتح‌الله	۵۳۷
اصول اندازه‌گیری الکتریکی / مؤلفان: فتح‌الله نظریان، محمود شبانی، سیدعلی صموتی. - تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۰.	/۰۲۸
۱۰۵ص. : مصور. - (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شماره درس ۲۰۹۱)	الف ۵۱۲ ن
متون درسی رشته‌های الکترونیک - الکتروتکنیک، زمینه صنعت.	۱۳۹۰
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته‌های الکترونیک - الکتروتکنیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش.	
۱. برق - اندازه‌گیری. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته‌های الکترونیک - الکتروتکنیک. ب. عنوان. ج. فروست.	

همکاران محترم و دانش آموزان عزیز:

پیشنهادهای و نظرات خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی
تهران - صندوق پستی شماره ۴۸۷۴/۱۵ دفتر برنامه ریزی و تألیف آموزش های
فنی و حرفه ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام نگار (ایمیل) info@tvoccd.sch.ir

وبگاه (وبسایت) www.tvoccd.sch.ir

پیام نگار (ایمیل) کمیسیون تخصصی رشته الکترونیک

nick@tvoccd.sch.ir

پیام نگار (ایمیل) کمیسیون تخصصی رشته الکتروتکنیک

Tech@tvoccd.sch.ir

با توجه به اجرای این کتاب در سال های متوالی و نشست های مجدد در کمیسیون های مربوطه
ابتدا در سال ۱۳۸۴ سپس در سال ۱۳۸۶ مورد تجدیدنظر و بازسازی کلی قرار گرفت. همچنین با توجه
به درخواست هنرآموزان سراسر کشور مبنی بر افزودن یک فصل تحت عنوان آموزش نرم افزار مولتی سیم،
این امر مورد تأیید کمیسیون های تخصصی رشته های الکترونیک و الکتروتکنیک قرار گرفت و به عنوان
فصل ششم به انتهای کتاب اضافه شد.

وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی

برنامه ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر برنامه ریزی و تألیف آموزش های فنی و حرفه ای و کاردانش
نام کتاب : اصول اندازه گیری الکتریکی - ۳۵۹/۹۳

مؤلفان : فتح الله نظریان (فصل اول تا پنجم) محمود شبانی و سیدعلی صموتی (فصل ششم)

آماده سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل چاپ و توزیع کتاب های درسی

تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وبسایت: www.chap.sch.ir

رسم: مریم دهقان زاده، سروش ذوالریاستین، محمد سیاحی و سیدعلی صموتی (فصل ششم)

صفحه آرا: صغری عابدی

طراح جلد: مریم کیوان

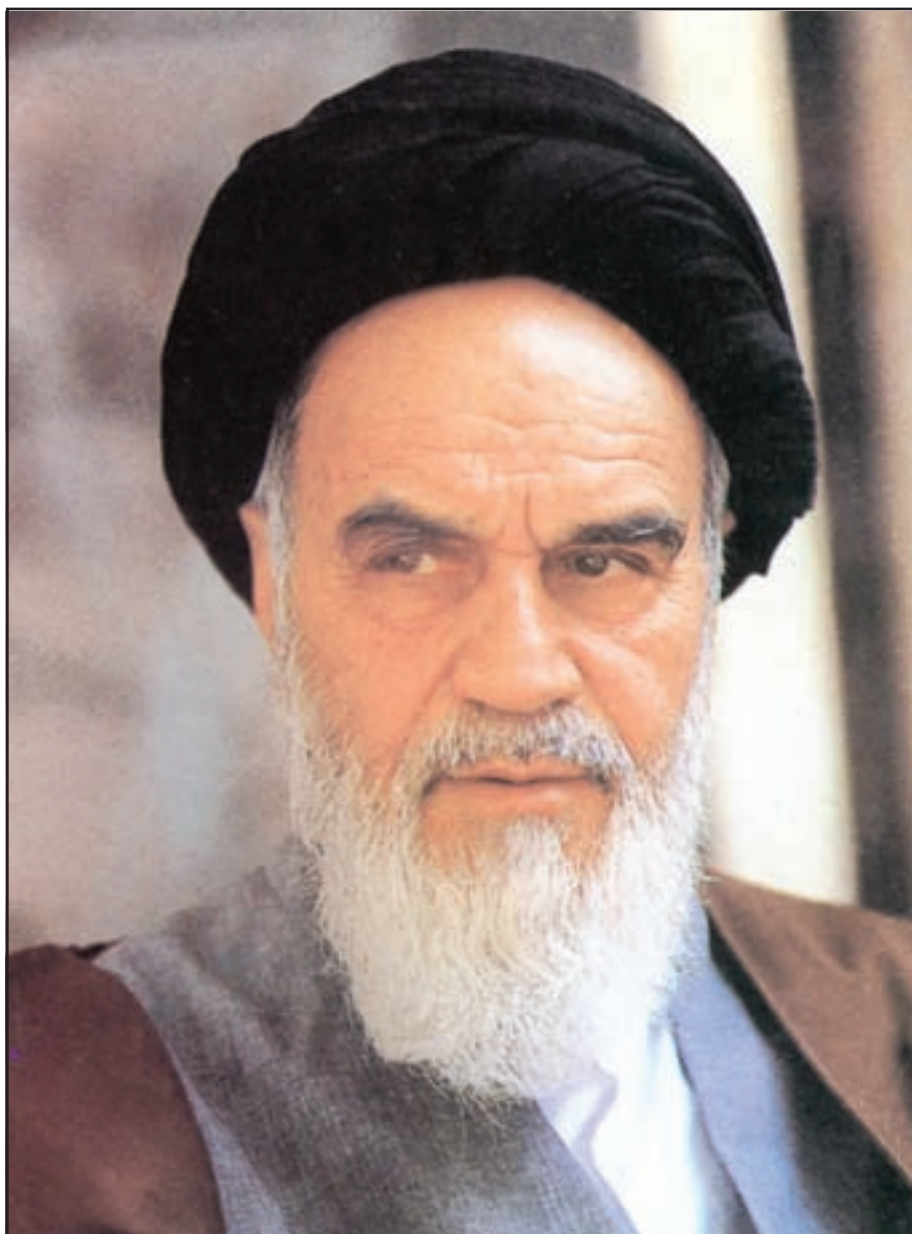
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

تلفن: ۵ - ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۴۴۵/۶۸۴

چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ یازدهم ۱۳۹۰

حق چاپ محفوظ است.



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

امام خمینی «قدس سرّه الشّریف»

جدول بودجه‌بندی زمان پیشنهادی برای اجرای درس اصول اندازه‌گیری الکتریکی		
فصل	عنوان	ساعت پیشنهادی
	کلیات و تعاریف	۲
۱	اندازه‌گیری کمیت‌های غیرالکتریکی قابل تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی	۱۰
۲	اندازه‌گیری جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی	۱۲
۳	اندازه‌گیری توان، انرژی و اختلاف فاز	۶
۴	آشنایی با اسیلوسکوپ و کاربرد آن	۱۸
۵	ساختمان دستگاه‌های اندازه‌گیری	۱۲

فهرست مطالب

۲	کلیات و تعاریف
۴	فصل ۱: اندازه‌گیری کمیت‌های غیرالکتریکی قابل تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی
۲۵	فصل ۲: اندازه‌گیری جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی
۳۹	فصل ۳: اندازه‌گیری توان، انرژی و اختلاف فاز
۴۸	فصل ۴: آشنایی با اسیلوسکوپ و کاربرد آن
۷۱	فصل ۵: ساختمان دستگاه‌های اندازه‌گیری
۹۱	فصل ۶: معرفی نرم‌افزار مولتی‌سیم (MultiSim)
۱۰۵	منابع مورد استفاده

قابل توجه هنرآموزان و هنجویان محترم

برای آموزش فصل‌هایی از این کتاب می‌توانید از نرم‌افزارهای Multisim ، EWB یا هر نرم‌افزار دیگری که در دسترس دارید استفاده کنید. در فصل ششم این کتاب خلاصه‌ای از نحوه کاربرد نرم‌افزار مولتی‌سیم آمده است.

سخنی با همکاران ارجمند

همکاران گرامی، کتاب «اصول اندازه‌گیری الکتریکی» براساس مصوبات کمیسیون تخصصی رشته‌های الکترونیک – الکتروتکنیک و همچنین نظرات و مصوبات نمایندگان منتخب رشته‌های الکترونیک – 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 – واحدی، در سال دوم، به طور همزمان تعدادی از دروس فنی مانند مبانی برق، الکترونیک عمومی (۱) و درس اصول اندازه‌گیری الکتریکی در برنامه‌ی هنجویان قرار دارد. از طرفی می‌دانیم که برای بیان یک مبحث فنی در رشته‌ی برق و الکترونیک لازم است هنجویان 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 هنجو 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 هنجویان خود تشریح کنید و سپس نحوه‌ی اندازه‌گیری آن را تدریس نمایید.

هم‌چنین در صورت امکان نمونه‌هایی از تجهیزات واقعی نام برده شده در کتاب را به کلاس درس ببرید و کاربرد آن را برای هنجویان آموزش دهید.

با توجه به پیشنهادهایی که هنرآموزان و سرگروه‌های آموزشی سراسر کشور در گردهمایی سال ۱۳۸۱ و همچنین نظرات ارسالی از طریق نامه و حضوری در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ و ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ مبنی بر جابه‌جایی فصول کتاب داشتند، به جهت هماهنگی با کتاب مبانی برق و براساس خواسته آنان فصول کتاب به شرح زیر شد.

فصل ۱- اندازه‌گیری کمیت‌های غیرالکتریکی قابل تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی

فصل ۲- اندازه‌گیری جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی

فصل ۳- اندازه‌گیری توان، انرژی و اختلاف فاز

فصل ۴- آشنایی با اسیلوسکوپ و کاربرد آن

فصل ۵- ساختمان دستگاه‌های اندازه‌گیری

فصل ۶- معرفی نرم‌افزار مولتی‌سیم (اختیاری)

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

مؤلفان

کلیات و تعاریف

تعریف اندازه‌گیری

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 درصدي بیش‌تر و یا کم‌تر باشد؛ این تفاوت را خطای اندازه‌گیری می‌نامند.

خطای اندازه‌گیری به دو صورت ممکن است اتفاق بیفتد:

الف - 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 - 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: کیفیت فنی 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 آمپر متر 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

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 - استاندارد که برای مقایسه به کار برده می‌شود به طور دقیق معلوم و عموماً مورد پذیرش باشد. ب - 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 و گرنه 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 روز به روز 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.

می‌سازند لذا بسیار دقیق بوده و تقریباً مستقل از شرایط محیط عمل می‌کند؛ 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 دیجیتال (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 متغیر 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، معرف کمیت مورد اندازه‌گیری است ولی در دستگاه نوع نول (صفر)، دستگاه معرف 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.

به منظور هماهنگی سطح علمی هنرجویان و حفظ ارتباط افقی و عمودی دروس اندازه‌گیری الکتریکی و مبانی برق بنا به درخواست هنرآموزان فصل اندازه‌گیری کمیت‌های غیر الکتریکی به فصل یک انتقال داده شد.

هدف کلی

آشنایی با ساختمان و طرز کار نمونه‌هایی از مبدل‌های کمیت‌های غیرالکتریکی به الکتریکی (حسگرها).

فصل ۱

اندازه‌گیری کمیت‌های غیرالکتریکی قابل تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی

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

- کنترل فرآیندهایی از قبیل تغییرات دما، ارتفاع سطح مایع، فشار، وزن را از یکدیگر تمیز دهد.
- ساختمان انواع حسگرهای صنعتی مبدل کمیت‌های فیزیکی، (طول، حرارت، فشار، ارتفاع سطح مایع و...) به سیگنال‌های الکتریکی را شرح دهد.
- نحوه‌ی اندازه‌گیری فشار را شرح دهد.
- نحوه‌ی عملکرد دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار را توضیح دهد.
- نحوه‌ی عملکرد انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری درجه حرارت را تشریح کند.
- روش‌های مختلف اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات را توضیح دهد.
- نحوه‌ی اندازه‌گیری نیرو و وزن را تشریح کند.
- فعالیت‌های کلاسی را با اعتماد به نفس و به طور دقیق انجام دهد.
- نظم و ترتیب و حضور به موقع در کلاس را رعایت کند.
- مسئولیت‌های واگذار شده را به طور دقیق اجرا کند.
- در موقعیت‌های مناسب از آزمایشگاه مجازی استفاده کند.
- از امکانات فراهم شده به خوبی حفاظت و نگهداری کند.
- ابهامات و سؤالات خود را در زمان مقتضی بپرسد.
- به سؤالات مطرح شده در زمان مقتضی پاسخ دهد. ۴
- حضور فعال و داوطلبانه در امور مختلف داشته باشد.
- توانمندی‌های خود را در موقعیت‌های مناسب بروز دهد.
- در کارگروهی مشارکت فعال و همکاری مؤثر داشته باشد.
- نسبت به حل مشکلات سایر هنجریان و... حساس و فعال باشد.
- سایر هنجریان را در ارتباط با اجرای نظم و مقررات راهنمایی و تشویق کند.

نکات اجرایی

۱- حتی الامکان سعی شود انواع سنسورهای واقعی جهت آشنایی هنرجویان در کلاس درس نشان داده شود.

۲- از هنرجویان خواسته شود در صورتی که دسترسی به این نوع حسگرها دارند آن‌ها را به کلاس ارائه

کنند.

۳- با مراجعه به منابع مختلف از جمله سایت‌های اینترنتی و نرم‌افزارهای مرتبط عملکرد این گونه حسگرها را

به صورت شبیه‌ساز برای هنرجویان به نمایش درآورند.

مقدمه

بسیار آسان بوده و ثبت این کمیت‌ها، در زمان‌های قابل تنظیم، با کامپیوتر میسر است. بنابراین برای اندازه‌گیری یک کمیت غیرالکتریکی (مانند نور، فشار، حرارت و...) ابتدا آن کمیت 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 این جا به بررسی روش‌های معمول در اندازه‌گیری برخی از کمیت‌های غیرالکتریکی می‌پردازیم.

۱-۱- 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:

۱-۱-۱- پتانسیومتر مقاومتی؛ پتانسیومتر مقاومتی

دارای مقاومتی است که یک کنتاکت یا اتصال لغزنده بر روی آن قرار دارد.

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، به طور اتوماتیک، اندکی افزایش یا کاهش پیدا کند تا حرارت کوره در حد معینی 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 حس‌کننده‌ها یا سنسورها (Sensors) از طریق یک مدار الکترونیکی به کمیت‌های الکتریکی تبدیل شوند. 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

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.

۱-۲-۱ اندازه‌گیری فشار

۱-۲-۱-۱ 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

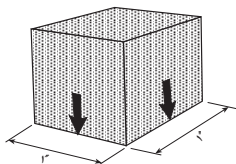
ب: تعداد مولکول‌ها

ج: وزن مولکول‌ها

نیروی وارد شده به واحد سطح را فشار گویند.

شکل ۱-۲ 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.



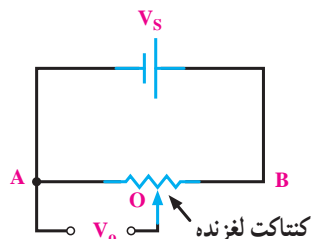
شکل ۱-۲-۱ فشار وارد شده به مکعبی با سطح تماس یک اینچ

اگر مکعب دیگری از همان جنس یا با همان وزن روی

پتانسیومتر یک قطعه الکترونیکی است که به‌عنوان مقاومت متغیر در مدارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در کتاب مبانی برق در این باره بیش‌تر خواهید آموخت.

مطابق شکل ۱-۱ ولتاژ V_s به دو سر پتانسیومتر اعمال می‌شود (دو نقطه‌ی A و B) که در نتیجه‌ی آن ولتاژ خروجی V_o بین دو نقطه‌ی A و O (اتصال متحرک) ایجاد می‌گردد. یک رابطه‌ی خطی بین ولتاژ خروجی و فاصله‌ی AB به صورت زیر وجود دارد.

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



شکل ۱-۱-۱ نحوه‌ی اتصال ولتاژ V_s به دو سر پتانسیومتر

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:

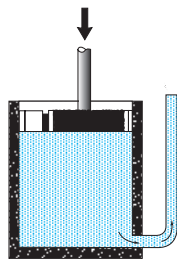
الف: پتانسیومتر سیمی

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 شیء 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

اما بیش‌ترین مورد استفاده‌ی فشار برای حرکت دادن مایعات می‌باشد (شکل ۱-۶).



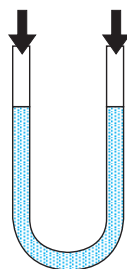
شکل ۱-۶- به حرکت درآوردن مایعات به کمک فشار

مایعات، غیرقابل تراکم (به هم فشردن) می‌باشند، بنابراین در شکل ۱-۶ 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 از جمله پرس‌های سبک و سنگینی که با فشار 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.

۱-۲-۳- دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار:

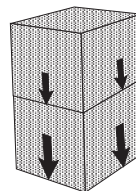
اندازه‌گیری فشار به کمک فشارسنج لوله‌ای: این دستگاه به‌طور ساده از یک لوله‌ی U شکل تشکیل شده که دو انتهای آن باز است.



شکل ۱-۷- به علت فشار یکسان سطح مایع در دو لوله یکسان است.

می‌دانیم که اگر فشار وارده روی سطح مایع در هر دو لوله یکسان باشد در این صورت هیچ‌گونه اختلاف فشاری

مکعب اولی قرار دهیم مقدار فشاری که به همان سطح یک اینچ مربع وارد می‌شود دو برابر خواهد شد (شکل ۱-۳).

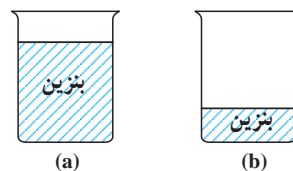


شکل ۱-۳- فشار وارد شده به دو مکعب با سطح یک اینچ دو برابر می‌شود.

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 بر سطحی وارد می‌شود بستگی دارد به:

الف: وزن آن جسم

ب: ارتفاع آن جسم، به شرطی که مساحت پایه تغییر نکند. به شکل ۱-۴ توجه کنید:



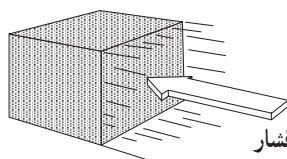
شکل ۱-۴- فشار وارد شده به ظرف a، بیش‌تر از ظرف b است.

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.

۱-۲-۲- کاربردهای فشار: به وسیله‌ی فشار می‌توان

اجسام را به حرکت درآورد (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۵- به حرکت درآوردن اجسام به کمک فشار

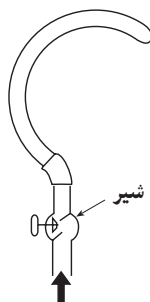
در شکل ۱-۱۰ یک نمونه فشارسنج دیجیتالی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱-۱۰ - فشارسنج دیجیتالی

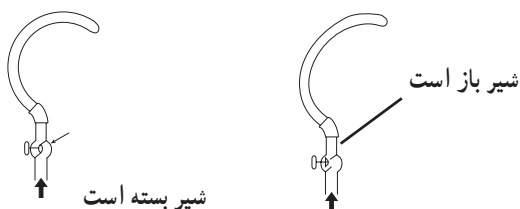
اندازه‌گیری فشار با لوله‌ی منبسط شونده:

الف - 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 ۱-۱۱).



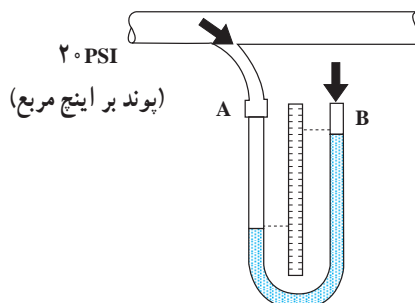
شکل ۱-۱۱ - لوله‌ی بوردون

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 انحنا 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 ۱-۱۲).



شکل ۱-۱۲ - تغییر فشار داخل لوله بوردون با باز کردن و بستن شیر آن.

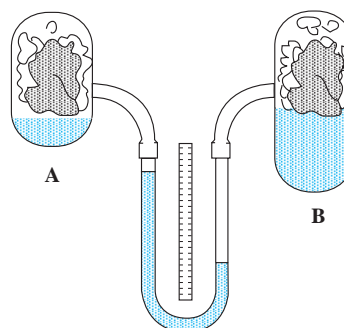
وجود نداشته و سطح مایع در هر دو لوله برابر است (شکل ۱-۷). حال اگر یک سر لوله را به ظرفی محتوی گاز یا مایع تحت فشار وصل کنیم اختلاف فشار به وجود می‌آید (شکل ۱-۸).



شکل ۱-۸ - تغییر سطح مایع در دو لوله به علت اختلاف فشار

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 هر قدر فشار بیش‌تر باشد لوله‌ای که برای نشان دادن تغییرات فشار لازم است باید دارای طول بزرگ‌تری باشد. این لوله ممکن است از جنس شیشه باشد، بدین لحاظ این گونه فشارسنج‌های لوله‌ای برای اندازه‌گیری فشار در جاهای مختلف، مخصوصاً مکان‌هایی که امکان شکستن لوله وجود دارد، مناسب نیست.

در شکل ۱-۹ تصویر یک فشارسنج لوله‌ای را که اختلاف فشار دو مخزن را نشان می‌دهد، مشاهده می‌کنید.



شکل ۱-۹

از آن جا که شکل لوله تقریباً به فرم C می باشد آن را لوله ی C شکل نیز می نامند.

یکی از کاربردهای اندازه گیری فشار با لوله منبسط شونده در نشان دهنده روغن موتور اتومبیل است. در شکل ۱-۱۴ تصویر



مجموعه نشان دهنده ها: ۱- درجه ی فشار روغن ۲- درجه ی دمای آب ۳- درجه ی بنزین ۴- درجه ی شارژ باتری ۵- دورسنج موتور ۶- صفحه کیلومتر شمار و سرعت سنج

شکل ۱-۱۴- داشبورد اتومبیل

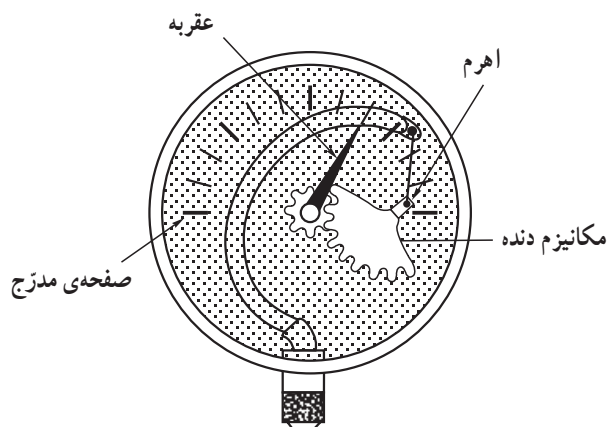
داشبورد اتومبیل که نشان دهنده روغن روی آن نصب است را ملاحظه می کنید. در شکل ۱-۱۵ تصویر موتور اتومبیل و محل نصب فشنگی یا سنسور روغن را مشاهده می کنید.



شکل ۱-۱۵- موتور اتومبیل و محل نصب شمع فشنگی یا سنسور روغن

یکی از انواع نشان دهنده روغن در اتومبیل، انبساطی است، در شکل ۱-۱۶ این نوع نشان دهنده را ملاحظه می کنید. در این نوع نشان دهنده، از یک لوله ی قابل انعطاف استفاده

این کار را می توان با متصل نمودن لوله به یک عقربه ی چرخ دنده دار انجام داد. مطابق شکل ۱-۱۳ الف همان طور که گفتیم زیاد شدن فشار باعث می گردد که لوله ی خمیده کمی بازگردد، این کار سبب حرکت دادن چرخ دنده ها و در نتیجه حرکت عقربه روی صفحه ی مدرج و نشان دادن میزان فشار خواهد شد. در شکل ۱-۱۳ انواع فشار سنج بردون را مشاهده می کنید.



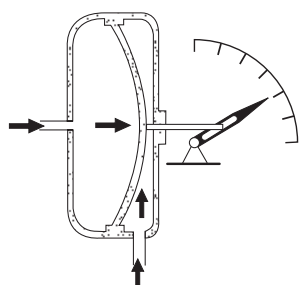
الف



ب

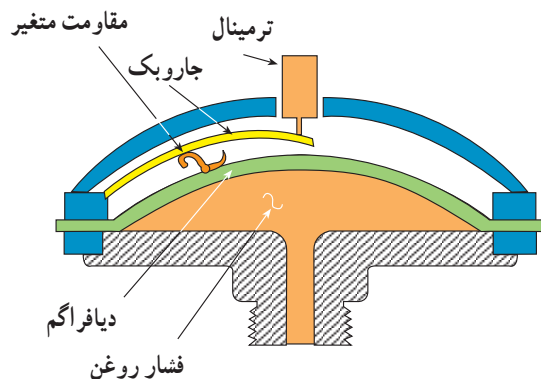
شکل ۱-۱۳- انواع فشار سنج بردون

فشار حاصل از گاز در سمت چپ دیافراگم بیش‌تر بوده و لذا دیافراگم به طرف راست خمیده شده است. وسط دیافراگم به یک عقربه متصل است که حرکت (جابه‌جایی) دیافراگم را روی یک صفحه‌ی مدرج نشان می‌دهد.



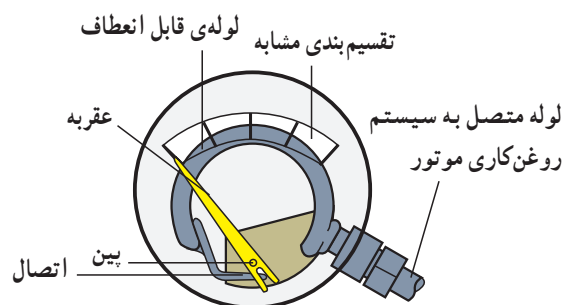
شکل ۱۸-۱- ساختمان فشارسنج دیافراگمی

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 جزئی را نیز اندازه گرفت. یکی از کاربردهای فشارسنج دیافراگمی در شمع روغن یا فشنگی فشار روغن موتور اتوموبیل است. در شکل ۱۹-۱ نمونه‌ای از این نوع فشارسنج دیافراگمی را ملاحظه می‌کنید.



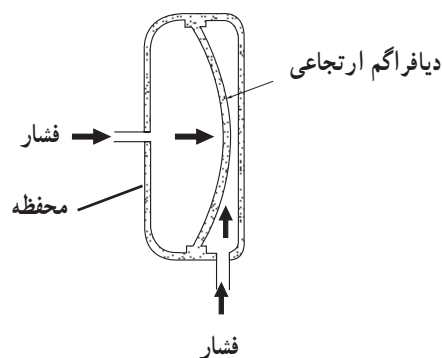
شکل ۱۹-۱- نمونه‌ای از فشنگی یا شمع روغن دیافراگمی

شده است که از یک طرف به وسیله لوله‌ای به مدار روغن کاری موتور وصل می‌شود و از طرف دیگر به عقربه‌ی نشان‌دهنده متصل است. در حالت خاموش بودن موتور، عقربه در ابتدای صفحه‌ی مدرج فشار روغن قرار می‌گیرد (شکل ۱۶-۱) و پس از روشن شدن موتور فشار مؤثر بر لوله‌ی قابل انعطاف، باعث انبساط لوله شده و با حرکت عقربه، مقدار فشار اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۱۶-۱- فشارسنج انبساطی که برای نشان دادن درجه فشار روغن در اتوموبیل به کار می‌رود.

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 ۱۷-۱).



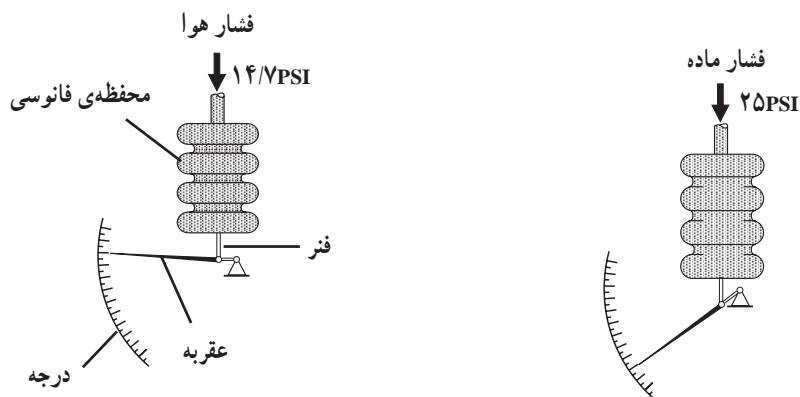
شکل ۱۷-۱- اصول کار فشارسنج دیافراگمی

این دستگاه، فشارسنج تفاضلی نام دارد و برای سنجش اختلاف فشار به کار می‌رود. با توجه به شکل ۱۸-۱ می‌بینید که

فشارسنج فانوسی: اصول کار این نوع فشارسنج ها شبیه به فشارسنج دیافراگمی است ولی به خاطر داشتن سطح زیاد، حساسیت آن از فشارسنج دیافراگمی بیش تر است. فشاری را که اندازه گیری آن مورد نظر است به محفظه ی فانوسی شکل که خود به عقربه ای وصل شده است هدایت می کنیم. این امر باعث انبساط و افزایش طول آن می شود و عقربه را به حرکت در می آورد. بدین ترتیب کوچک ترین حرکت

محفظه ی فانوسی شکل سبب حرکت عقربه روی صفحه ی مدرج می شود (شکل ۱-۲۰).

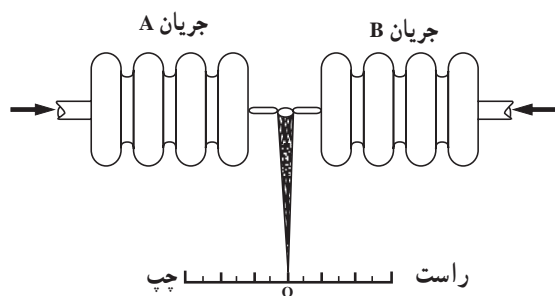
از آن جا که میزان حرکت عقربه در فشارسنج فانوسی بیش از نوع دیافراگمی می باشد (در فشار یک سان برای هر دو فشارسنج) بنابراین فشارسنج فانوسی دقیق تر از فشارسنج دیافراگمی است.



شکل ۱-۲۰- حرکت محفظه ی فشارسنج فانوسی باعث حرکت عقربه می شود.

ویژه هنرجویان علاقه مند

بررسی کنید کدام یک از حسگرهایی که تاکنون آموزش داده شده است (یا مشابه آن) در ماشین های لباسشویی و ظرف شویی ممکن است وجود داشته باشد و چه عملی را انجام می دهد.



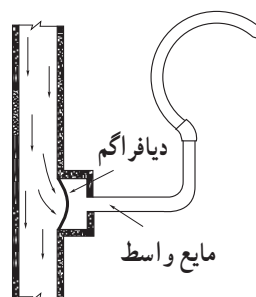
شکل ۱-۲۱- استفاده از فشارسنج فانوسی جهت تعیین اختلاف فشار دو محفظه

نکته ی قابل توجه این که فشار هوای خارج نیز بر سطح فانوسی اثر گذاشته لذا مقدار اختلاف فشار به کمک فشار اتمسفر برای ما تعیین می گردد. فشار هوا در شرایط عادی حدود ۱۴/۷PSI می باشد.

از فشارسنج فانوسی می توان برای تعیین اختلاف فشار دو محفظه نیز استفاده نمود، بدین صورت که محفظه ی دارای فشار بیش تر، باعث حرکت عقربه به سمت دیگر شده و بدین ترتیب اختلاف فشار دو محفظه نشان داده می شود (شکل ۱-۲۱).

۴-۲-۱- فشارسنج‌های آب‌بندی شده: از آن‌جا

که در برخی موارد ماده‌ای که فشار آن مورد سنجش است باعث خوردگی یا ساییدگی فلز به کار 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 میسر است. شکل ۲۲-۱ یکی از این روش‌ها را نشان می‌دهد. در این شکل فشار ماده‌ای 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 ۲۲-۱- یک نمونه فشارسنج آب‌بندی شده

۵-۲-۱- انواع فشارسنج‌ها: آنچه که تا به حال 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.

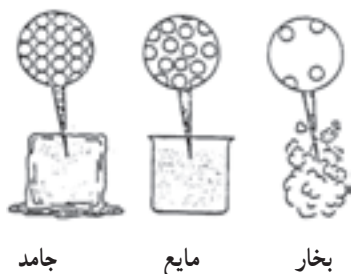
۳-۱- اندازه‌گیری درجه حرارت

۱-۳-۱- 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 به خود 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 به وسیله‌ی 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 ۲۳-۱ فاصله‌ی بین مولکول‌ها را در یک جسم جامد، مایع و گاز نشان می‌دهد.



شکل ۲۳-۱- 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 می‌گردد. نتیجه‌ی مهمی که از شرح بالا به دست می‌آید این است که حالت یک ماده را می‌توان با کاستن از دمای آن یا افزودن دمای آن از حالتی به حالت دیگر تغییر داد. ازدیاد دمای جسم باعث افزایش 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.

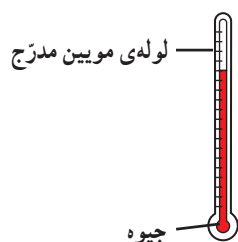
درجه حرارت عبارت است از اندازه‌گیری معیار انرژی‌ای که مولکول‌های در حال حرکت دارا می‌باشند و هرچه انرژی مولکول‌ها و برخورد آن‌ها به شیء بیش‌تر باشد به همان نسبت درجه حرارت آن بالاتر خواهد بود.

بین میزان حرارت و فشار رابطه‌ی مستقیمی وجود دارد.

و آب دوباره به جوش می‌آید که در این صورت اگر اجازه دهیم مولکول‌های بخار از ظرف خارج شوند، جوشش آب ادامه خواهد یافت.

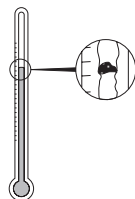
۲-۳-۱- انواع وسایل اندازه‌گیری درجه حرارت

دماسنج با ماده‌ی قابل انبساط: از دماسنج برای پی‌بردن به تغییرات درجه حرارت استفاده می‌شود. ارتفاع ستون جیوه در یک لوله‌ی بسیار نازک می‌تواند نشان‌دهنده‌ی تغییرات دما باشد (شکل ۲۶-۱).



شکل ۲۶-۱- دماسنج جیوه‌ای

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 مدرج 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 نشان‌دهنده‌ی بالا رفتن یک درجه حرارت می‌باشد در سرتاسر لوله متفاوت خواهد بود. شکل ۲۷-۱ این نکته را نشان می‌دهد.

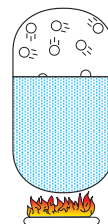


شکل ۲۷-۱- فاصله‌ی نشان‌دهنده بالا رفتن درجه حرارت در لوله یکنواخت نیست.

چرا که افزایش هر دو سبب می‌شود مولکول‌ها نیروی پیش‌تری به دیواره‌ی ظرف وارد نمایند؛ بنابراین فشار نتیجه‌ی دیگری از انرژی حرارتی محسوب می‌شود.

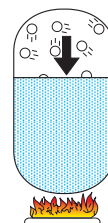
برای پی‌بردن به رابطه‌ی بین انرژی حرارتی و انرژی فشار به مثال زیر توجه کنید:

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 ۲۴-۱).



شکل ۲۴-۱- 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 ۲۵-۱).

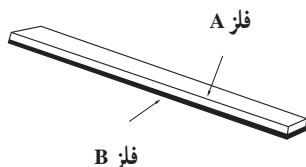


شکل ۲۵-۱- مولکول‌های جدا شده از آب بر سطح آب به شدت فشار می‌آورند.

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 اثر زیاد شدن جنبش مولکولی، مولکول‌ها از سطح آب جدا شده

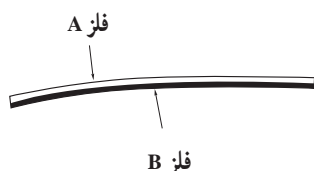
و به همان نسبت میزان فشار زیاده‌تر شده و لوله‌ی ورودی بیشتر باز می‌شود و عقربه، درجه حرارت بیشتری را نشان خواهد داد.

دماسنج دو فلزی: همان‌طور که می‌دانید حرارت باعث انبساط فلزات می‌شود، ولی در اثر افزایش حرارت، مثلاً مس بیش‌تر از فولاد منبسط می‌گردد. شکل ۱-۳۰ دو نوع فلز مختلف را که به یک‌دیگر متصل شده و یک تیغه‌ی دو فلزی تشکیل داده‌اند نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳۰ اتصال دو نوع فلز مختلف به یکدیگر

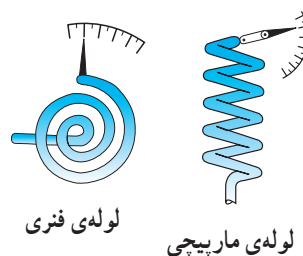
اگر به این تیغه حرارت داده شود، در اثر حرارت یکی از این دو فلز بیش‌تر از دیگری منبسط شده و همین امر باعث خم شدن تیغه می‌گردد به طوری که فلز با قابلیت انبساط بیش‌تر در سمت خارج انحنا قرار می‌گیرد (شکل ۱-۳۱).



شکل ۱-۳۱ فلز با قابلیت انبساط بیش‌تر در سمت خارج انحنا قرار می‌گیرد.

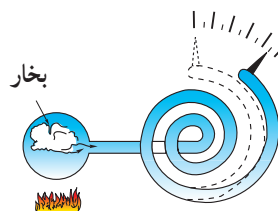
اگر این انحنا باعث قطع و وصل شدن کلیدی گردد این وسیله را ترموستات و چنانچه میزان انحراف تیغه در اثر حرارت به وسیله‌ی نشان دهنده‌ای منتقل گردد، دستگاه دماسنج نامیده می‌شود. سیستمی که میزان انحراف تیغه‌ها را اندازه‌گیری می‌کند لازم است بسیار دقیق باشد و هیچ‌گونه مانع مکانیکی در مقابل انحراف ایجاد نکند. در مواردی که نتیجه‌ی انحراف به عقربه‌ای منتقل می‌گردد تغییرات دما قابل رؤیت خواهد بود. از LVDT

دماسنج فشاری: همان‌طور که قبلاً گفته شد با بالا رفتن درجه حرارت فشار نیز افزایش می‌یابد. لذا می‌توان با اندازه گرفتن فشار یک جسم (مایع یا گاز) توسط فشارسنج به‌طور غیرمستقیم به میزان درجه حرارت نیز پی‌برد. شکل ۱-۲۸ دو نوع لوله‌ی ورودی را که در اثر ازدیاد فشار مایع یا گاز درون آن، شروع به باز شدن کرده‌اند نشان می‌دهد و چون فشار با



شکل ۱-۲۸ دماسنج فشاری با دو نوع لوله ورودی

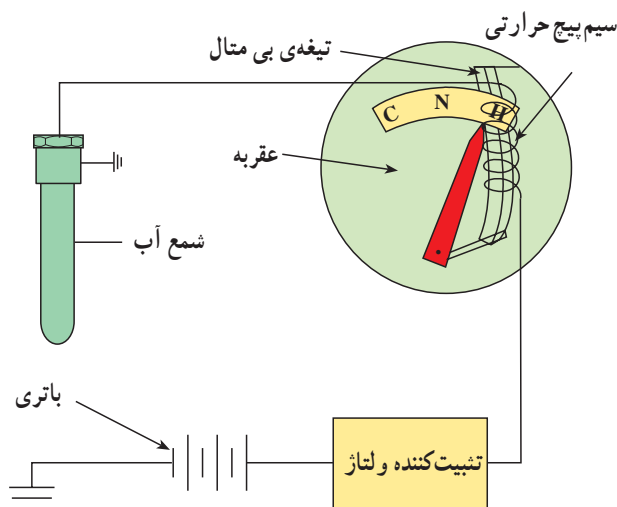
حرارت در رابطه است لذا می‌توان سیستم را برحسب حرارت مدرج نمود. به شکل ۱-۲۹ توجه کنید، با افزایش حرارت آب بخار می‌شود و در نتیجه میزان فشار داخل لوله ورودی زیاد می‌گردد. در این صورت لوله باز شده و عقربه به سمت راست حرکت کرده و با حرکت خود روی صفحه‌ی مدرج، بالا رفتن درجه حرارت را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲۹ نحوه‌ی تغییر عقربه در لوله‌ی فنری ورودی با افزایش حرارت.

هنگامی که درجه حرارت پایین می‌آید طبیعتاً میزان فشار کاهش یافته و لوله مجدداً به صورت اول بازمی‌گردد. گاهی ممکن است در دماسنج‌ها از مایعاتی استفاده شود که در نتیجه‌ی گرم شدن فوراً تبدیل به بخار گردند اگر حرارت بیش‌تری به این مایعات داده شود بخار بیش‌تری نیز تولید می‌شود

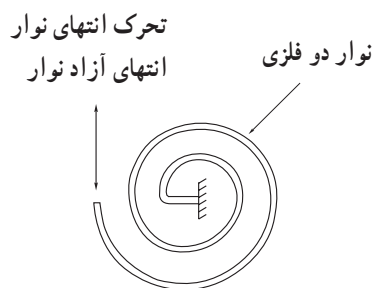
افزایش گرمای آب موتور باعث کاهش مقاومت الکتریکی در فشنگی آب نصب شده روی موتور می‌شود و متناسب با آن جریان مصرفی دستگاه افزایش می‌یابد. عبور جریان الکتریکی از سیم پیچ حرارتی باعث گرم شدن تیغه‌ی بی‌م탈 و در نتیجه افزایش طول آن می‌شود. افزایش طول تیغه باعث تغییر موقعیت عقربه‌ی دستگاه می‌شود و عقربه به سمت H (Hot - گرم شدن آب) حرکت می‌کند (شکل ۳۴-۱).



شکل ۳۴-۱ - افزایش گرمای آب باعث انحراف عقربه به سمت H می‌شود.

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 بار الکتریکی در یک نقطه می‌شود. با استفاده از این خاصیت و با اندازه‌گیری میزان اختلاف بار الکتریکی 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 سرب یک تیغه تراکم بار مثبت و سرب تیغه‌ی دیگر تراکم بار منفی پیدا می‌کند (شکل ۳۵-۱).

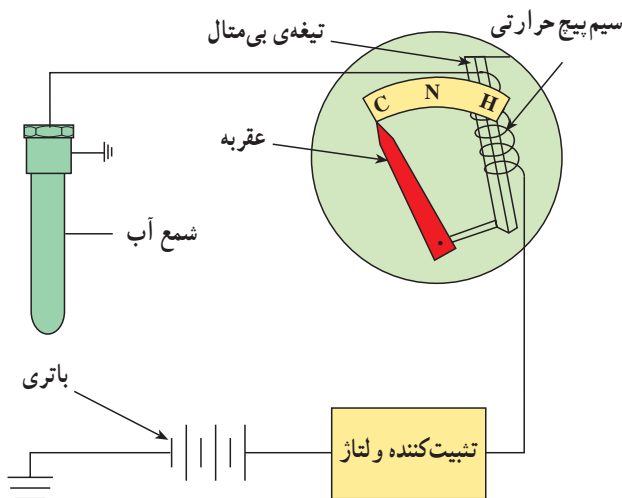
نیز می‌توان جهت سنجش تغییر مکان صورت گرفته متناسب با دما استفاده کرد. محدوده‌ی کار این نوع دماسنج‌ها از -75°C تا 150°C بوده و دقت بهترین نوع آن 0.5° می‌باشد. ساختمان عملی یک نمونه از بی‌م탈 که در دماسنج‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد در شکل ۳۲-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳۲-۱ - ساختمان عملی یک نمونه بی‌م탈

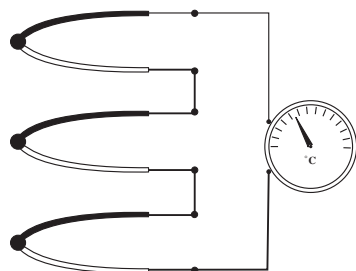
کاربرد این نوع دماسنج در نشان‌دهنده دمای آب موتور اتومبیل است که آن را به اصطلاح درجه آب می‌نامند. در ساختمان این نوع دماسنج از تیغه (نوار) بی‌متالی استفاده شده است که در مقابل حرارت حساس بوده و تغییر طول می‌دهد. سیم پیچ حرارتی نصب شده در روی تیغه تغییرات دمای لازم را بر حسب مقدار جریان الکتریکی مصرفی ایجاد می‌کند.

در حالت سرد بودن آب موتور به علت زیاد بودن مقاومت الکتریکی فشنگی آب، جریان بسیار کمی از سیم پیچ حرارتی عبور می‌کند و تغییر طول تیغه بی‌م탈 در حدی است که عقربه‌ی نشان‌دهنده روی C (Cold - سرد بودن آب) قرار می‌گیرد (شکل ۳۳-۱).



شکل ۳۳-۱ - سرد (C) نرمال (N) گرم (H)

چنانچه تعدادی ترموکوپل به صورت سری بسته شود، مجموعه، ترموپیل نام می‌گیرد. شکل ۳۷-۱ نمونه‌ای از ترموپیل را نشان می‌دهد.



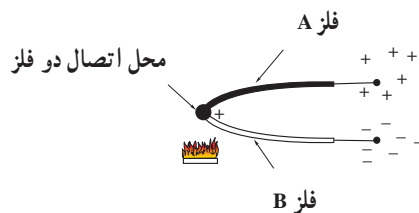
شکل ۳۷-۱ ترموپیل

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- کرمل قدرت تمیز تا 0.01°C بالا خواهد رفت. از دیگر موارد استفاده‌ی ترموکوپل کاربرد آن در اندازه‌گیری درجه حرارت متوسط آگروز توربین می‌باشد. این ترموکوپل‌ها به‌طور جداگانه در نقاط مختلف آگروز قرار داده می‌شوند و با اندازه‌گیری ولتاژ دو سر ترموپیل می‌توان اندازه‌ی متوسط درجه حرارت آگروز را مشخص کرد. در شکل ۳۸-۱ نمونه‌هایی از دماسنج دیجیتالی صنعتی را مشاهده می‌کنید.

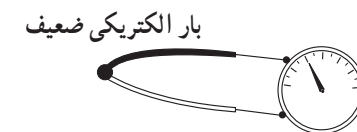
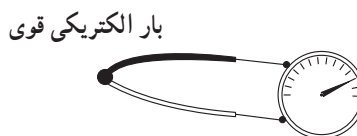


شکل ۳۸-۱ انواع دماسنج‌های دیجیتالی



شکل ۳۵-۱ تغییر درجه حرارت یک فلز باعث حرکت الکترون‌ها می‌شود.

هر قدر اختلاف درجه حرارت بین نقطه‌ی اتصال و سرهای آزاد این دو فلز، بیش‌تر باشد به همان 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 ۳۶-۱).



شکل ۳۶-۱ 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، بارالکتریکی 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 $1\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ تا $8\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ است. درضمن حداکثر درجه حرارت مجاز ترموکوپل نیز بستگی به جنس تیغه‌ها دارد.

مطالعه‌ی آزاد



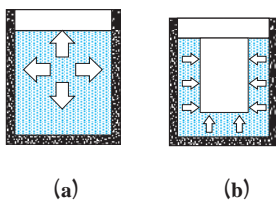
وسایل اندازه‌گیر دما شامل مقاومت‌های تابع حرارت: این وسایل دارای المان‌هایی هستند که مقاومت الکتریکی آن‌ها در مقابل حرارت تغییر می‌کند. در صورتی که ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی مقاومت از جنس فلز باشد دستگاه ترمومتر مقاومتی و چنانچه این ماده از جنس نیمه هادی باشد وسیله، ترمومتر ترمیستوری نامیده می‌شود. روش معمول 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 ۱-۳۹ یک نمونه ترمیستور را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۳۹ - یک نمونه ترمیستور

دیگری انجام می‌پذیرد که در زیر به بعضی از آن‌ها اشاره‌ای مختصر خواهد شد.

۱-۴-۱- اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع به کمک

اجسام شناور: مایعات همواره به خود 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 ۱-۴۰ - مایعات به دیواره‌ی ظرف (a) و جسم خارجی موجود در ظرف (b) فشار وارد می‌کنند.

به شکل ۱-۴۰ نگاه کنید. فشاری که از دو پهلو به جسم شناور وارد می‌شود یکدیگر را خنثی می‌کنند. اما فشار وارده از پایین که بیش‌تر از فشار وارده از بالاست سعی بر آن دارد که جسم را به طرف 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 اما در جیوه (مایع) فرو نرود. زیرا وزن مخصوص جیوه زیاد بوده و فشار زیادی از

آی - 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°C تا 180°C می‌باشد. البته سنسور حرارتی تنها یک قطعه نیست بلکه یک قطعه‌ی حس کننده‌ی حرارت همراه با یک مدار الکترونیکی است که همگی به صورت یک مدار مجتمع ساخته شده و به صورت یک قطعه‌ی سه پایه شبیه یک ترانزیستور در اختیار ما قرار می‌گیرد.

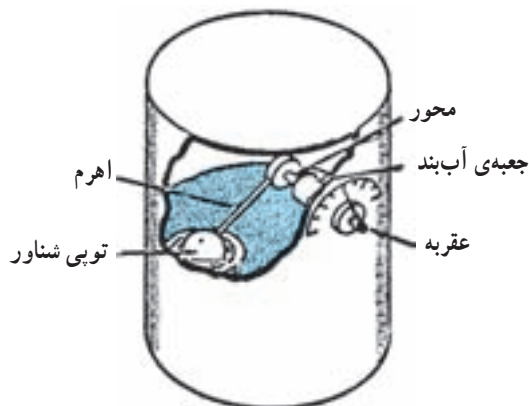
خروجی این ICها ولتاژ یا جریان بوده و از مهم‌ترین مزایای آن‌ها، خطی بودن ولتاژ یا جریان خروجی نسبت به درجه حرارت می‌باشد؛ به عنوان مثال، خروجی یک IC به ازای هر درجه‌ی سانتی‌گراد دما 10mV ولتاژ در اختیار ما قرار می‌دهد.

۱-۴-۲- اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات

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

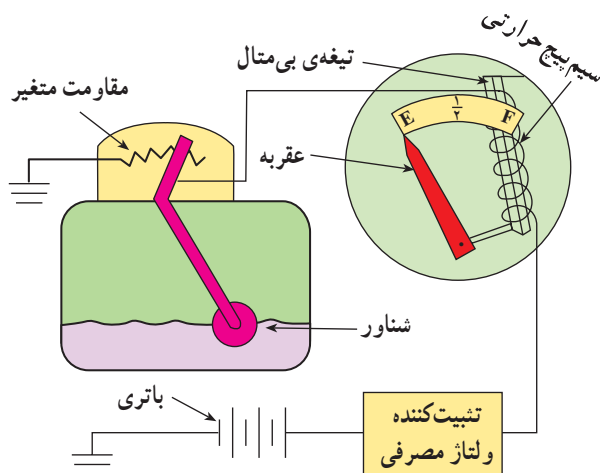
ساده‌ترین روش اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع استفاده از ظرف شیشه‌ای یا شفاف است که بتوان مایع داخل آن را از بیرون به خوبی دید، اما چون نمی‌توان مخزن‌ها را از شیشه یا جسم شفاف ساخت، لذا اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع به طرق

شکل ۴۴-۱ استفاده‌ی دیگری از تویی شناور را نشان می‌دهد. با حرکت تویی، اهرم، میله‌ی متحرک و عقربه حرکت کرده و ارتفاع سطح مایع را روی صفحه‌ی مدرج نشان می‌دهد.



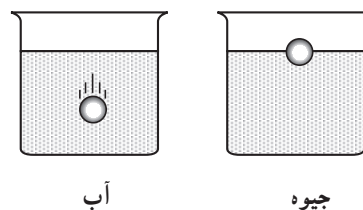
شکل ۴۴-۱ استفاده از تویی شناور برای تعیین ارتفاع سطح مایع

اصول کار یک نمونه از نشان‌دهنده سطح مایع که در باک اتومبیل به کار می‌رود را در شکل ۴۵-۱ ملاحظه می‌کنید. ساختمان سوخت‌نما مانند نشان‌دهنده‌ی درجه‌ی آب از نوع بی‌متالی است که در آن از تیغه‌ی بی‌متالی و سیم‌پیچ حرارتی استفاده شده است. در حالت‌های پُر و خالی بودن باک مقدار مقاومت باک تغییر می‌کند و برحسب مقدار جریان مصرفی و حرارت ایجادشده در سیم‌پیچ حرارتی، تیغه‌ی بی‌متالی تغییر طول داده و عقربه‌ی نشان‌دهنده در فاصله‌ی E (خالی بودن باک Empty) و F (پر بودن باک Full) مقدار حجم سوخت اندازه‌گیری شده‌ی داخل باک را نشان می‌دهد.



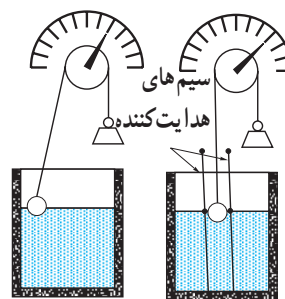
شکل ۴۵-۱ یک نمونه از نشان‌دهنده سطح مایع در باک اتومبیل

پایین به آن جسم وارد می‌نمایند و آن را در سطح خود شناور نگه می‌دارد (شکل ۴۱-۱).



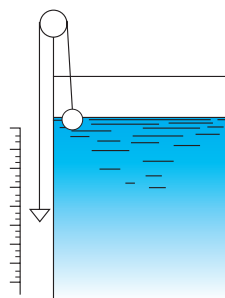
شکل ۴۱-۱ جسم در آب غوطه‌ور می‌شود و در جیوه فرو نمی‌رود.

پس از ذکر مقدمه‌ی فوق، ساده‌ترین روش استفاده از اجسام شناور را در شکل ۴۲-۱ نشان می‌دهیم. با بالا یا پایین رفتن سطح مایع تویی 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.



شکل ۴۲-۱ تغییر ارتفاع سطح مایع به کمک اجسام شناور

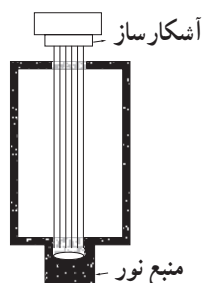
برای این که تویی شناور روی سطح مایع حرکت آزاد نداشته باشد معمولاً آن را به وسیله‌ی دو میله مهار می‌کنند. در این روش می‌توان به جای عقربه و صفحه‌ی مدرج از یک شاغول و یک خط‌کش مدرج بلند، مطابق شکل ۴۳-۱، استفاده نمود. در این طریقه تویی شناور به وسیله‌ی نخ‌ی که از روی قرقره عبور کرده است به وزنه‌ی شاغول متصل است. این وزنه در کنار مقیاس مدرج حرکت می‌کند و ارتفاع سطح مایع را اندازه می‌گیرد.



شکل ۴۳-۱ استفاده از یک شاغول و یک خط‌کش مدرج برای اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع

۲-۴-۱- اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات به

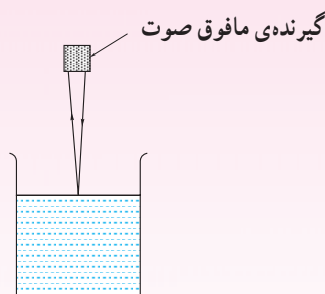
کمک امواج: اگر نوری بر سطح مایع شفاف تابانده شود مقدار کمی از آن هنگام برخورد با مایع منعکس گشته و مقداری دیگر جذب مایع می‌گردد اما قسمت اعظم آن از مایع عبور می‌کند. در این عمل هر چه ضخامت مایع بیش‌تر باشد مقدار نور جذب شده افزایش یافته و نور خارج شده کم می‌شود. بنابراین از روی نور خارج شده می‌توان ضخامت یا ارتفاع مایع را معین نمود. این شیوه‌ی اندازه‌گیری مطابق شکل ۱-۴۶ برای اندازه‌گیری ارتفاع مایعات شفاف به کار می‌رود.



شکل ۱-۴۶- اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات به کمک امواج

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 به جای 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 آشکار ساز شناسایی می‌گردند. از مقایسه‌ی شکل موج ارسالی و موج دریافتی و زمان رفت و برگشت، فاصله تا سطح مایع و در نتیجه ارتفاع آن اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۱-۴۷).

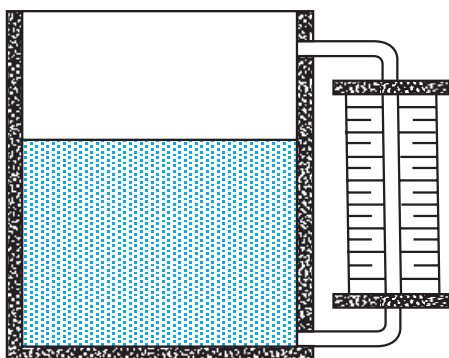


شکل ۱-۴۷- استفاده از امواج مافوق صوت برای تعیین ارتفاع مایع

۳-۴-۱- 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 ۱-۴۸ استفاده می‌شود. لوله‌ی شیشه‌ای از یک طرف به پایین‌ترین قسمت مخزن و از طرف دیگر به قسمت بالایی آن متصل شده است. می‌دانیم

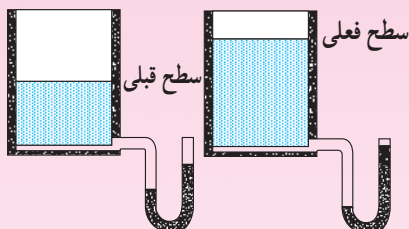


که سطح مایع در این لوله با سطح مایع در مخزن برابر است. برای جلوگیری از شکسته شدن این نوع لوله‌ها، در اطراف آن چند میله‌ی محافظ نصب شده است و برای مخزن‌هایی که دارای فشار بالا هستند از لوله‌های شیشه‌ای استفاده نمی‌شود.

شکل ۱-۴۸- اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات با استفاده از لوله‌ی اندازه‌گیری

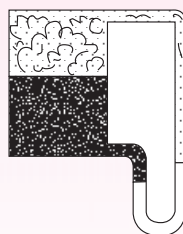
مطالعه‌ی آزاد

۱-۴-۴- اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات با استفاده از فشارسنج‌ها: فشار یک مایع با عمق مایع رابطه‌ی مستقیم دارد یعنی هر قدر عمق مایع (ارتفاع مایع) بیش‌تر باشد فشار وارده بر جداره‌های ظرف و ته ظرف بیش‌تر خواهد بود. بنابراین با اندازه‌گیری فشار (معمولاً ته ظرف) می‌توان به ارتفاع مایع پی‌برد. شکل ۱-۴۹- سنجش ارتفاع سطح مایع به کمک فشارسنج U شکل را نشان می‌دهد.



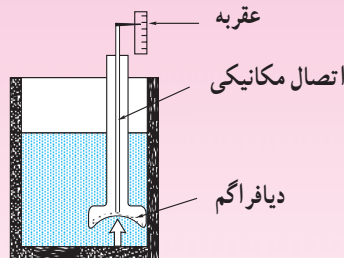
شکل ۱-۴۹- سنجش ارتفاع سطح مایع به کمک فشارسنج U شکل

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 ۱-۵۰).



شکل ۱-۵۰- نحوه‌ی طراحی مخزن‌هایی که فشار داخل آن‌ها زیاد است.

نوع دیگری از فشارسنج‌ها که در سنجش ارتفاع مورد استفاده قرار می‌گیرد فشارسنج دیافراگمی است که در شکل ۱-۵۱ نمونه‌ای از آن نشان داده شده است.



شکل ۱-۵۱- فشارسنج دیافراگمی

همان‌طور که در شکل ۱-۵۱ 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 مدرج می‌گردد. این نوع سطح نما برای مخازنی به کار می‌رود که فشاری معادل فشار هوا داشته باشد و برای مخازن تحت فشار از نوع دیگری از فشارسنج‌های دیافراگمی استفاده می‌شود.

۱-۵- اندازه‌گیری نور

اندازه‌گیری مقدار نور اشاره‌ی مختصری خواهد شد.
فتوولتیک (Photo Voltaic): فتوولتیک وسیله‌ای است که به هنگام 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.

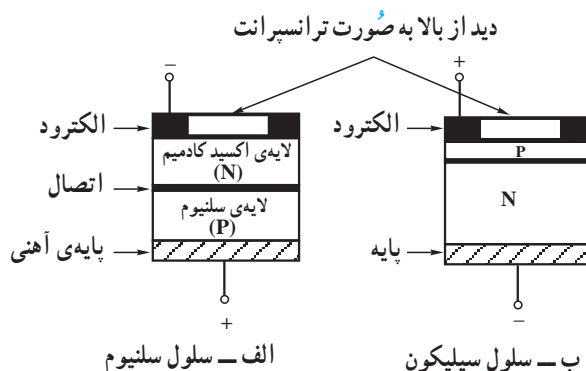
به طور کلی از نظر ساختمانی سلول‌های ولتاژ نوری در دو نوع ساخته می‌شوند:

۱- سلول‌های سیلیکون

۲- سلول‌های سلنیوم

شکل ۱-۵۲ ساختمان هر دو نوع سلول را نشان می‌دهد.

نور مرئی یکی از امواج الکترومغناطیس است که طول موج آن بین 380° تا 780° نانومتر می‌باشد هر نور رنگی دارای طول موج مشخصی است. مثلاً نور قرمز دارای طول موج 700° نانومتر و نور سبز دارای طول موج تقریباً 550° نانومتر می‌باشد. برای اندازه‌گیری مقدار نور از سنسورهای 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 به عنوان قطعه‌ای که وجود یا عدم وجود نور را مشخص می‌کند کاربرد داشته باشند. در زیر به برخی از سنسورهای پرکاربرد در



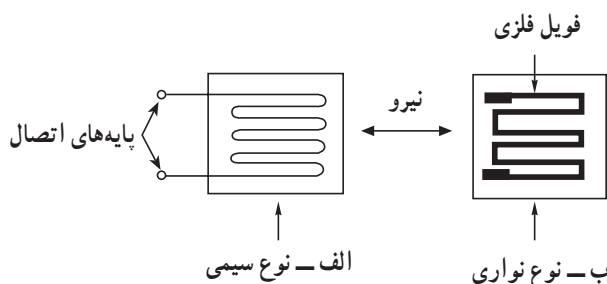
شکل ۱-۵۲- سلول‌های ولتاژ نوری

۱-۶- اندازه‌گیری وزن

در می‌آورند تا جای کم‌تری را اشغال کند. جنس این سنسورها معمولاً از کنستانتان (آلیاژی از مس و نیکل) است و به صورت نوارهایی به ضخامت تقریباً $5\mu\text{m}$ ، 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 ۱-۵۳ دو نمونه استرین گیج را نشان می‌دهد.

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

استرین گیج‌ها نوارهای بسیار باریکی هستند که در مقابل کشیدگی یا فشار، مقدار مقاومت‌شان تغییر می‌کند. به دلیل طویل بودن طول استرین گیج‌ها، نوارهای آن را به شکل فنری



شکل ۱-۵۳- انواع استرین گیج‌ها

می‌توان وزن‌های بسیار کم تا بسیار زیاد (حتی بالای 100 تن) را اندازه گرفت.

۱-۶-۱- اندازه‌گیری وزن به کمک لودسل

(Load Cell): برای اندازه‌گیری وزن عناصری ساخته و به بازار عرضه شده‌اند که لودسل نامیده می‌شوند. به کمک این لودسل‌ها

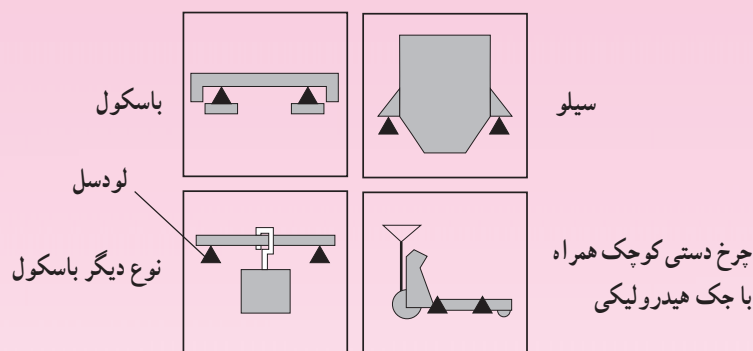
مطالعه‌ی آزاد



داخل یک لودسل پل وتستون قرار دارد که در یک بازوی آن استرین گیج قرار می‌گیرد. بنابراین هر لودسل دارای چهار رشته سیم است که دوتای آن ورودی و مربوط به تغذیه‌ی پل و دوتای دیگر آن خروجی جهت اتصال به تقویت کننده می‌باشند. شکل ۱-۵۴ نمونه‌هایی از لودسل‌ها را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۵۴- نمونه‌هایی از لودسل‌ها که در ساختن ترازوها و باسکول‌ها از آن‌ها استفاده می‌شود.

شکل ۱-۵۵ نحوه‌ی قرار گرفتن لودسل‌ها را زیر باسکول و یا در جایی که قرار است وزن آن اندازه گرفته شود نشان می‌دهد. علامت فنی لودسل مثلث است.



شکل ۱-۵۵- نحوه‌ی قرار گرفتن لودسل‌ها در زیر باسکول

اندازه‌گیری وزن، ضمن این که وزن یک جسم نامشخص را معین می‌کند، کاربردهای دیگری از جمله در جرثقیل‌ها دارد، بدین صورت که اگر یک جرثقیل بخواهد به عنوان مثال جسمی به وزن 10° تن را از زمین بلند کند ابتدا وزن این جسم را با اندکی بلند کردن اندازه می‌گیرد و چنانچه کم‌تر از 10° تن باشد به کار عادی خود ادامه خواهد داد ولی اگر بیش‌تر از 10° تن باشد آن را به زمین گذاشته و حرکت نمی‌دهد. در شکل ۱-۵۶ تصاویر دیگری از نحوه قرار گرفتن لودسل‌ها را برای سیلو، باسکول و باسکول آویز مشاهده می‌کنید.



شکل ۱-۵۶- نحوه‌ی قرار گرفتن لودسل‌ها برای سیلو، باسکول و باسکول آویز

ویژه هنرجویان علاقه‌مند

تحقیق کنید دستگاه‌های ترازوی الکترونیکی متداول در بازار میوه و سوپر مارکت‌ها بر چه اساسی کار می‌کنند.

- ۱- چرا در صنعت کمیت‌های غیرالکتریکی مانند درجه حرارت و ... را ابتدا تبدیل به یک کمیت الکتریکی کرده و سپس آن را انتقال می‌دهند؟
- ۲- کاربرد اندازه‌گیری تغییر مکان طولی کدام است؟
- ۳- فشار و واحد آن را تعریف کنید.
- ۴- سه مورد کاربرد فشار را نام ببرید.
- ۵- کاربرد فشارسنج دیافراگمی در کجاست؟
- ۶- درجه حرارت را تعریف کنید.
- ۷- ساختمان دماسنج فشاری را به‌طور کامل شرح دهید.
- ۸- دماسنج ترموکوپلی و کاربرد آن را به‌طور کامل شرح دهید.

هدف کلی

فراگیری مفاهیم جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی و نحوه‌ی اندازه‌گیری هریک از این کمیت‌ها.

فصل ۲

اندازه‌گیری جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی

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

- جریان الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- دستگاه اندازه‌گیری جریان را تشریح کند.
- تقسیمات صفحه‌ی مدرج را از یکدیگر تفکیک کند.
- به هنگام استفاده از آمپر متر برای اندازه‌گیری جریان الکتریکی نکات ایمنی را رعایت کند.
- نحوه‌ی اندازه‌گیری جریان AC با آمپر متر را شرح دهد.
- قسمت‌های مختلف یک مولتی متر عقربه‌ای را تمیز دهد.
- اختلاف پتانسیل الکتریکی (ولتاژ) و واحد آن را تعریف کند.
- طرز قرار گرفتن ولت متر را برای اندازه‌گیری ولتاژ را شرح دهد.
- نحوه‌ی خواندن مقدار ولتاژ را از روی صفحه‌ی مدرج ولت متر بیان کند.
- نحوه‌ی اندازه‌گیری ولتاژهای زیاد را شرح دهد.
- مقاومت اهمی و واحد آن را تعریف کند.
- روش‌های مختلف اندازه‌گیری مقاومت اهمی را شرح دهد.
- مدار الکتریکی پل وتستون و کاربرد آن را بیان کند.
- فعالیت‌های کلاسی را با اعتماد به نفس و به طور دقیق انجام دهد.
- نظم و ترتیب و حضور به موقع در کلاس را رعایت کند.
- مسئولیت‌های واگذار شده را به طور دقیق اجرا کند.
- در موقعیت‌های مناسب از آزمایشگاه مجازی استفاده کند.
- از امکانات فراهم شده به خوبی حفاظت و نگهداری کند.
- ابهامات و سؤالات خود در زمان مقتضی را بپرسد.
- به سؤالات مطرح شده در زمان مقتضی پاسخ دهد.

- حضور فعال و داوطلبانه در امور مختلف داشته باشد.
- توانمندی‌های خود در موقعیت‌های مناسب را بروز دهد.
- در کارگروهی مشارکت فعال و همکاری مؤثر داشته باشد.
- نسبت به حل مشکلات سایر هنرجویان و ... حساس و فعال باشد.
- سایر هنرجویان را در ارتباط با اجرای نظم و مقررات راهنمایی و تشویق کند.
- نکات ایمنی را در مورد کار با دستگاه‌های اندازه‌گیری شرح دهد.

قابل توجه هنرآموزان محترم

- در صورت امکان، نمونه‌هایی از مولتی‌متر عقربه‌ای و دیجیتالی را به کلاس درس بیاورید و اصول کار و نحوه‌ی استفاده از آن‌ها را به صورت عینی به هنرجویان آموزش دهید.
- با استفاده از نرم‌افزار مولتی‌سیم (multisim)، کاربرد انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری را برای هنرجویان به صورت آزمایشگاه مجازی به نمایش درآورید.

قبل از شروع این بحث مفاهیم زیر را به‌خاطر بسپارید.

- ۱- ولتاژ مستقیم یا DC: ولتاژی است که مقدار آن همواره ثابت باقی می‌ماند و با گذشت زمان تغییر نمی‌کند. مانند: ولتاژ باتری.
- ۲- ولتاژ متناوب یا AC: ولتاژی است که مقدار و جهت آن با زمان تغییر می‌کند. ولتاژ برق شهر یک ولتاژ متناوب سینوسی است. از ولتاژ متناوب جریان تناوب به‌وجود می‌آید.
- ۳- آمپر: واحد اندازه‌گیری جریان الکتریکی آمپر است و آن را با A نشان می‌دهند.
- ۴- آمپر متر: دستگاه اندازه‌گیری الکتریکی است که جریان الکتریکی را اندازه‌گیری می‌کند.
- ۵- ولت: واحد اندازه‌گیری ولتاژ است و آن را با V نشان می‌دهند.
- ۶- ولت متر: دستگاه اندازه‌گیری الکتریکی است که ولتاژ را اندازه‌گیری می‌کند.
- ۷- مقاومت الکتریکی: به هرگونه خاصیتی که در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت نشان دهد مقاومت الکتریکی گفته می‌شود.
- ۸- اهم: واحد اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی است و آن را با Ω نشان می‌دهند.
- ۹- اهم متر: دستگاه اندازه‌گیری الکتریکی است که مقاومت را اندازه‌گیری می‌کند.

۱-۲- اندازه‌گیری جریان

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

۱-۱-۲- اندازه‌گیری جریان DC: همان‌طور که

در درس فیزیک خوانده‌اید جابه‌جایی بارهای الکتریکی نسبت

آن را از اتصال کوتاه خارج کنید. در ضمن چنانچه مقدار جریان مورد اندازه گیری نامشخص است رنج آمپر متر را در بیشترین مقدار خود قرار دهید.

آمپر مترها و میلی آمپر مترهای DC به صورت های آزمایشگاهی، تابلویی و یا به صورت قسمتی از مولتی متر (اهم متر - ولت متر - آمپر متر) ساخته می شوند. شکل ۲-۶ چند نمونه از آمپر مترها و میلی آمپر مترهای آزمایشگاهی را نشان می دهد.



شکل ۲-۶ نمونه هایی از میلی آمپر مترهای آزمایشگاهی

شکل ۲-۷ نشان دهنده دو نمونه از آمپر مترهای تابلویی است.



شکل ۲-۷ دو نمونه آمپر مترهای تابلویی

$$C \times 73 = \text{مقدار جریانی که میلی آمپر متر نشان می دهد}$$

$$= 2/5 \times 73 = 146/5 \text{ mA}$$

در مدارات الکتریکی آمپر متر را با علامت یا نماد شکل

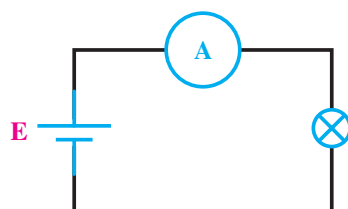
۲-۳ نمایش می دهند.



شکل ۲-۳ نماد یک آمپر متر

شکل ۲-۴ یک مدار الکتریکی را که آمپر متر در آن قرار

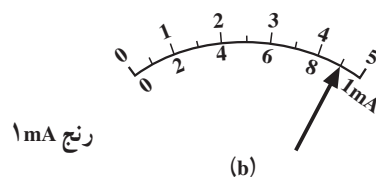
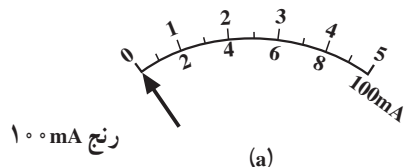
گرفته است نشان می دهد.



شکل ۲-۴ آمپر متر مقدار جریان گذرنده از لامپ را نشان می دهد.

برای دقیق تر خواندن جریانی که آمپر متر نشان می دهد باید حدود اندازه گیری (ضریب کلیدرنج) را طوری انتخاب کنیم که انحراف عقربه بیشترین مقدار را داشته باشد.

شکل ۲-۵ جریان ۹۲/۱۰ میلی آمپر را در محدوده ای اندازه گیری ۱ mA و ۱۰۰ mA نشان می دهد. همان طور که از شکل نیز پیداست اندازه گیری جریان ۹۲/۱۰ mA در رنج ۱ mA دقیق تر است.



شکل ۲-۵ اثرات انتخاب رنج مناسب برای قرائت مقادیر

توجه: هنگام تعویض رنج آمپر متر سعی کنید ابتدا دو سر آمپر متر را اتصال کوتاه نموده، سپس رنج را عوض کرده و آن گاه

شکل ۸-۲ یک نمونه مولتی متر را نشان می دهد که قسمتی از آن میلی آمپر متر DC است.



شکل ۸-۲ نمونه ای از مولتی متر عقربه ای

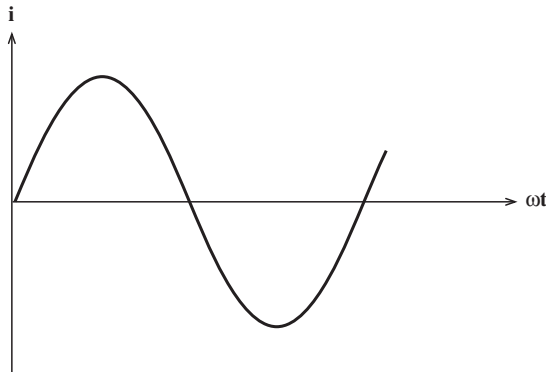
مولتی متر یک دستگاه نسبتاً پر کاربرد در برق و الکترونیک است که در فصل پنجم همین کتاب ساختمان آن به طور کامل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

نوع دیگری از مولتی متر وجود دارد که به آومتر دیجیتالی موسوم است. این نوع مولتی متر نیز دارای رنج جریان DC است و مقدار اندازه گیری شده را به صورت رقمی روی صفحه نمایش نشان می دهد. در شکل ۹-۲ یک نمونه از این مولتی مترها را مشاهده می کنید.



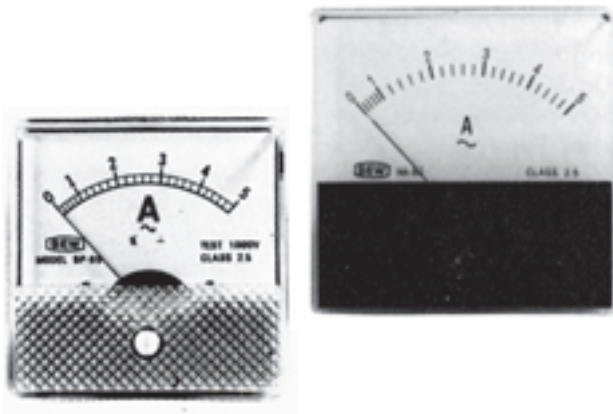
شکل ۹-۲ یک نمونه مولتی متر دیجیتالی

۲-۱-۲- اندازه گیری جریان AC: اگر در یک مدار جهت جابه جایی بارهای الکتریکی دائماً تغییر کند و این تغییرات دارای نظم خاصی در زمان های مساوی باشد، این جریان را جریان AC می نامند. شکل ۱۰-۲ نمونه ای از جریان AC را، که تغییرات آن به شکل سینوسی است، نشان می دهد.



شکل ۱۰-۲ نمونه ای از جریان AC

برای اندازه گیری جریان AC حتماً باید از آمپر مترهای AC استفاده کرد. پس با آمپر مترهایی که فقط دارای رنج DC می باشند نمی توان جریان AC را اندازه گرفت. بعضی دیگر از آمپر مترها توانایی اندازه گیری جریان های DC و AC را توأم دارند. آنها هستند که با کلید انتخاب (DC - AC) می توان در هر لحظه جریان مورد نظر را اندازه گرفت. آمپر مترهای AC بیش تر به صورت تابلویی ساخته می شوند. شکل ۱۱-۲ دو نمونه از آمپر مترهای AC تابلویی را نشان می دهد.



شکل ۱۱-۲ دو نمونه از آمپر مترهای تابلویی AC

شکل ۱۲-۲ دو نمونه آمپر متر AC آزمایشگاهی را نشان

می دهد.



شکل ۱۲-۲ دو نمونه آمپر متر AC آزمایشگاهی

شکل ۱۳-۲ یک مولتی متر دیجیتالی آزمایشگاهی را نشان

می دهد که دارای رنج جریان متناوب (AC) و مستقیم (DC) می باشد.



شکل ۱۳-۲ یک نمونه مولتی متر دیجیتالی آزمایشگاهی AC و DC

مولتی مترهای عقربه ای معمولاً فاقد رنج اندازه گیری جریان AC هستند. اما کلیه ی مولتی مترهای دیجیتالی رنج اندازه گیری جریان AC را دارا می باشند. برای اندازه گیری جریان AC توسط آمپر متر دیجیتالی، کافی است که ترمینال های مخصوص جریان را با مدار سری نموده و کلید AC آن را فعال کنیم تا روی صفحه ی نمایش مولتی متر علامت AC ظاهر گردد. در این صورت مقدار جریان AC به صورت رقمی روی صفحه ی نمایش نوشته می شود. علاوه بر آمپر مترهای آزمایشگاهی و تابلویی و مولتی مترها، نوع دیگری از آمپر مترهای AC وجود دارند که به آمپر متر انبری معروفند. برای اندازه گیری جریان کافی است سیم حامل جریان AC را وسط هسته ی این مولتی متر که با اهمی باز می شود 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. امروزه آمپر مترهای انبری را به صورت مولتی متر (ترکیبی) می سازند. شکل ۱۴-۲ دو نمونه آمپر متر انبری عقربه ای و دیجیتالی را نشان می دهد.



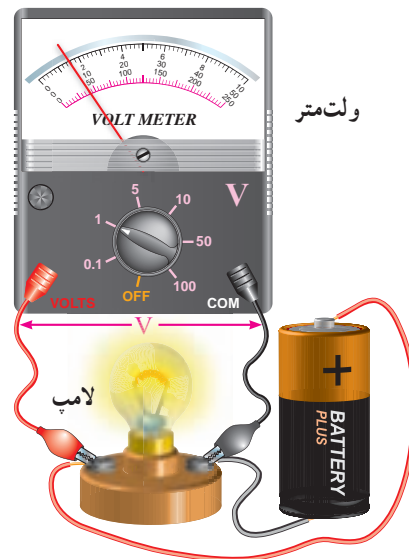
شکل ۱۴-۲ دو نمونه مولتی متر انبری عقربه ای و دیجیتالی

۲-۲-۲ اندازه گیری ولتاژ

۲-۲-۱- اندازه گیری ولتاژ DC: اختلاف تعداد

بارهای الکتریکی بین دو نقطه از یک مدار را اختلاف پتانسیل الکتریکی بین آن دو نقطه می نامند. اگر این اختلاف در هر لحظه ثابت باشد اختلاف پتانسیل مدار ثابت است. به اختلاف پتانسیل الکتریکی معمولاً ولتاژ (Voltage) نیز می گویند.

واحد اختلاف پتانسیل الکتریکی ولت است. در الکترونیک از واحدهای کوچک تر ولت یعنی میلی ولت ($\frac{1}{1000}$ ولت) و میکروولت ($\frac{1}{1000000}$ ولت) و در برق صنعتی از واحد بزرگ تر از ولت مانند کیلوولت (1000 ولت) نیز استفاده می شود. دستگاهی که ولتاژ را اندازه می گیرد ولت متر نام دارد. از آن جایی که ولت متر اندازه گیری اختلاف پتانسیل دو نقطه را بر عهده دارد باید، هنگام قرار گرفتن در مدار، با آن دو نقطه به طور موازی قرار گیرد. شکل ۱۵-۲ نحوه ی قرار گرفتن یک ولت متر را در یک مدار ساده الکتریکی، نشان می دهد.



شکل ۱۵-۲- نحوه ی قرار گرفتن ولت متر در مدار

برای خواندن مقدار ولتاژی که ولت متر نشان می دهد، همانند خواندن آمپر متر، ابتدا ضریب ثابت سنجش را به دست آورده و آن گاه این عدد را در مقدار انحراف عقربه بر حسب تقسیمات ضرب می کنیم.

مثال ۱: با توجه به شکل ۱۵-۲ یکی از تقسیمات را (مثلاً ۵) در نظر گرفته و ضریب ثابت سنجش را محاسبه می نمایم:

$$C = \frac{5}{5} = 1$$

مقداری که ولت متر نشان می دهد برابر است با:

$C \times$ تعداد تقسیماتی که عقربه منحرف شده است

بنابراین داریم: $1 \times 3 = 3$

سؤال: چرا در مثال ۱ که صفحه ی مدرج ولت متر، هم دارای درجه بندی 10° قسمتی و هم 5° قسمتی است، درجه بندی 5° قسمتی انتخاب ما می باشد؟

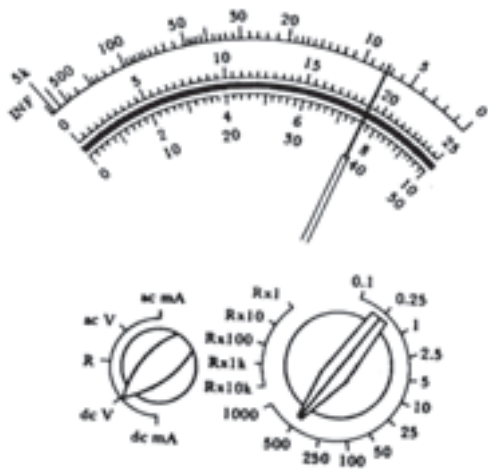
مثال ۲: در شکل ۱۶-۲ ولت متر ولتاژی به اندازه ی 38° ولت را نشان می دهد، زیرا:

$$C = \frac{5^\circ}{5^\circ} = 1$$

مقدار ولتاژ برابر است با:

$C \times$ تعداد خانه های منحرف شده = مقدار ولتاژ

$$38^\circ = 10^\circ \times 3.8 = 38^\circ \text{ مقدار ولتاژ}$$



شکل ۱۶-۲

سؤال: در شکل ۱۷-۲ عقربه ی ولت متر در حالت A، B و C چه مقدار را نشان می دهد؟



شکل ۱۷-۲- حدود اندازه گیری (ضریب کلید رنج) روی عدد 25° قرار دارد.

شکل ۲-۲۱ یک نمونه ولت‌متر DC تابلویی را نشان

می‌دهد.



شکل ۲-۲۱ یک نمونه ولت‌متر DC تابلویی

شکل ۲-۲۲ یک نمونه مولتی‌متر را که قسمتی از آن

به عنوان ولت‌متر DC است نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲۲ یک نمونه از مولتی‌متر

مولتی‌مترهای دیجیتالی نیز قادر به اندازه‌گیری ولتاژ DC

هستند. یک نمونه دیگر از این مولتی‌مترها در شکل ۲-۹ نشان داده شده است.

۲-۲-۲-۲ 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

۲-۲۳ یک ولت‌متر آزمایشگاهی را نشان می‌دهد که دارای قابلیت

در مدارهای الکتریکی ولت‌متر را با نماد شکل ۲-۱۸

نشان می‌دهند.

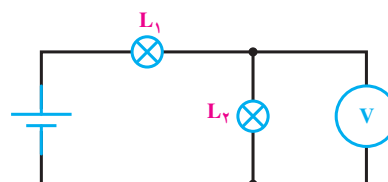


شکل ۲-۱۸ نماد یک ولت‌متر

شکل ۲-۱۹ یک مدار الکتریکی را، که ولت‌متر آن

در حال اندازه‌گیری ولتاژ دو سر یک لامپ می‌باشد، نشان

می‌دهد.



شکل ۲-۱۹ 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 مولتی‌متر ساخته می‌شوند. شکل ۲-۲۰

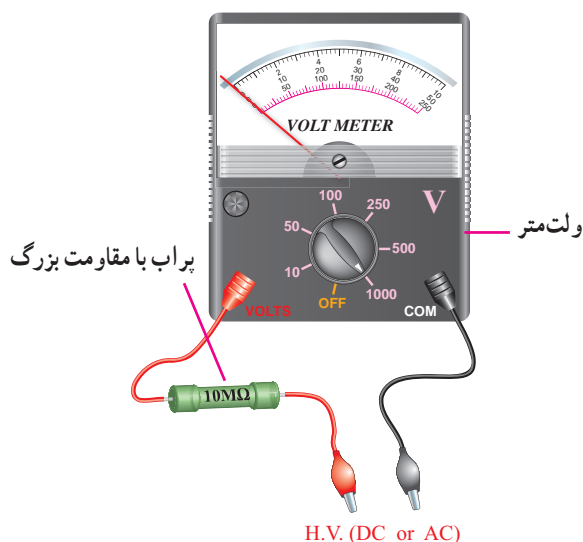
یک نمونه از میلی‌ولت‌متر آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲۰ یک نمونه میلی‌ولت‌متر آزمایشگاهی

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.

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 ۲۵-۲ نمونه‌ای از این نوع پراب را که با ولت‌متر، جهت اندازه‌گیری ولتاژ زیاد، سری شده است نشان می‌دهد.



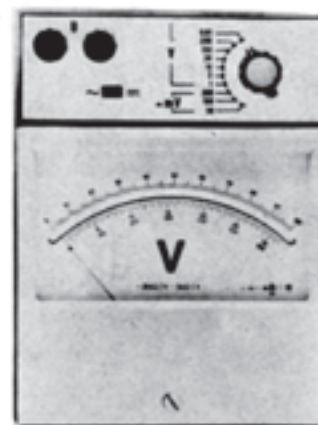
شکل ۲۵-۲ نمونه‌ای از پراب «ولتاژ زیاد» که با ولت‌متر، سری شده است.

۲-۳- 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 میلی‌اهم ($\frac{1}{1000}$ اهم) و واحدهای بزرگ‌تر از اهم نظیر کیلواهم (۱۰۰۰ اهم) و مگااهم (۱۰۰۰۰۰۰ اهم) نیز به وفور استفاده می‌شود.

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 ۲۳-۲ یک ولت‌متر آزمایشگاهی

شکل ۲۴-۲ یک نمونه ولت‌متر تابلویی AC را نشان

می‌دهد.



شکل ۲۴-۲ یک نمونه ولت‌متر تابلویی AC

همه‌ی مولتی‌مترها، 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 مولتی‌مترهای معمولی به هیچ عنوان قادر به اندازه‌گیری ولتاژهای AC کم (کم‌تر از یک ولت) به صورت دقیق نیستند ولی مولتی‌مترها و یا ولت‌مترهای دیجیتالی، ولتاژهای

مقاومت اهمی را با علامت فنی مطابق شکل ۲۶-۲ نشان می‌دهند.



شکل ۲۶-۲ - مقاومت اهمی

برای اندازه‌گیری مقاومت اهمی دو روش کلی وجود دارد:

الف - روش مستقیم

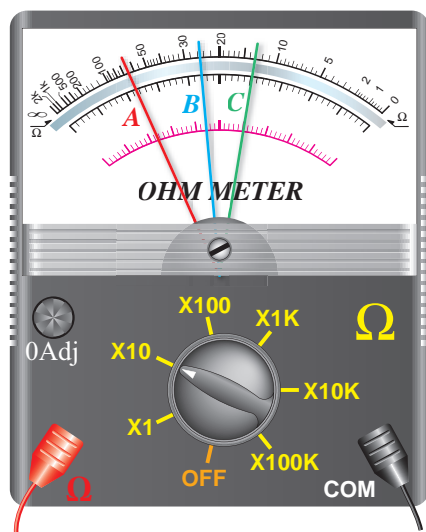
ب - روش غیرمستقیم

الف - روش مستقیم: در این روش از دستگاهی به نام

اهم‌تر استفاده می‌شود.

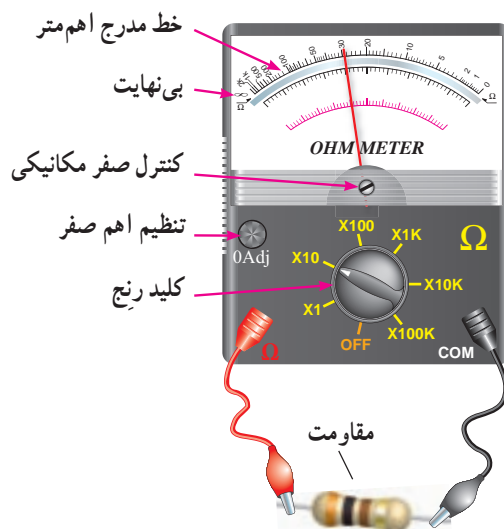
شکل ۲۷-۲ یک نمونه اهم‌تر آزمایشگاهی را که در

حال اندازه‌گیری یک مقاومت اهمی است، نشان می‌دهد.



شکل ۲۸-۲ - برای خواندن مقدار مقاومت اهمی، مقدار خوانده شده روی صفحه مدرج در رنج اهم‌تر ضرب می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۲۹-۲ نیز می‌بینید درجه‌بندی اهم‌تر از سمت راست به تدریج فشرده می‌شود. به عنوان مثال مقاومت‌های 2Ω ، 3Ω ، 10Ω ، 15Ω ، ... و تا حدود 50Ω ، تقریباً به راحتی قابل خواندن هستند، اما از حدود 50Ω تا آخرین حد تقسیمات، درجه‌بندی بسیار فشرده می‌شود چنان‌که مثلاً مقاومت 220Ω 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 بیش‌تر از 40% باشد مقدار مقاومت واضح خوانده می‌شود). در شکل ۲۹-۲ خواندن مقاومت بین دو نقطه‌ی A و B می‌تواند دقیق باشد.

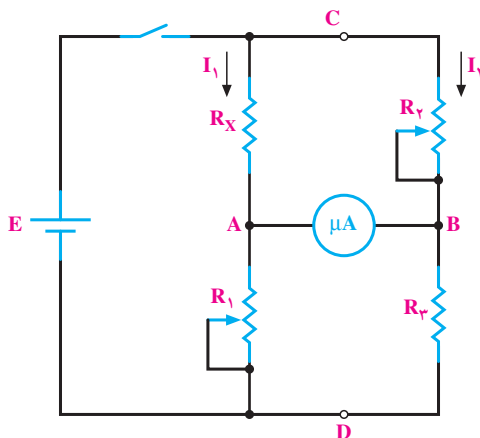


شکل ۲۷-۲ - اهم‌تر در حال اندازه‌گیری یک مقاومت

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

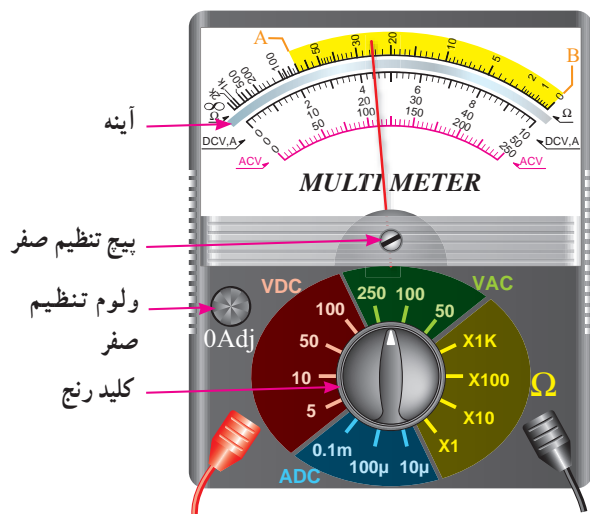
برای خواندن مقدار مقاومت اهمی از روی اهم‌تر کافی

طرز کار پل و تستون: این پل دارای چهار بازو است که در یک بازوی آن کمیت مجهول (مقاومت اهمی که اندازه گیری آن مورد نظر است) قرار می گیرد و در سه بازوی دیگر آن کمیت های معلوم (مقاومت های معلوم و استاندارد) قرار دارند. مدار الکتریکی پل و تستون به صورت شکل ۲-۳۱ می باشد.



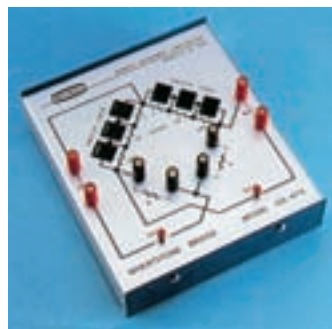
شکل ۲-۳۱- مدار الکتریکی پل و تستون

پل و تستون براساس مقایسه کار می کند؛ یعنی مقاومت مجهول با تعدادی از مقاومت های معلوم مقایسه می شود. بنابراین دقت اندازه گیری در پل، به دقت مقاومت های معلوم بستگی دارد. نقش گالوانومتر در پل و تستون فقط اعلام برابری پتانسیل دو نقطه است، یعنی درجه بندی آن اهمیت ندارد و فقط مکان صفر آن برای ما مهم است.



شکل ۲-۲۹- نمونه ای از مولتی متر

ب- روش غیرمستقیم: یکی از روش های غیرمستقیم اندازه گیری مقاومت اهمی، استفاده از پل و تستون می باشد. پل و تستون به صورت یک دستگاه مستقل در بازار وجود دارد. کمک پل و تستون می توان مقاومت های کوچکتر از یک اهم تا چندین مگا اهم را با دقت قابل قبول اندازه گرفت. شکل ۲-۳۰ یک نمونه پل و تستون را نشان می دهد.



شکل ۲-۳۰- یک نمونه پل و تستون

مطالعه ای آزاد

با توجه به شکل ۲-۳۱، اگر از گالوانومتر جریانی عبور نکند (عقربه ی گالوانومتر روی صفر قرار گیرد) پتانسیل A با پتانسیل B برابر خواهد بود (در عمل وقتی مقاومت مجهول را وصل کردیم به قدری مقاومت های R_1 و R_2 را تغییر می دهیم تا جریانی از گالوانومتر عبور نکند). در این صورت خواهیم داشت:

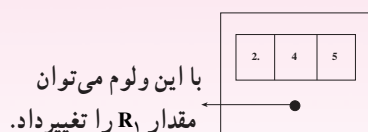
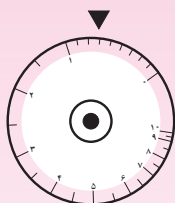
$$\begin{cases} V_A = V_B \\ V_{CA} = V_{CB} \\ V_{AD} = V_{BD} \end{cases}$$

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

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

$$\frac{R_x \cdot I_1}{R_1 \cdot I_1} = \frac{R_2 \cdot I_2}{R_3 \cdot I_2}$$

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3}$$

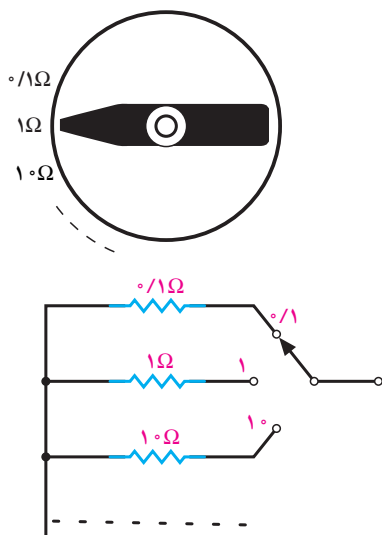


شکل ۲-۳۲- نحوه‌ی قرائت مقدار مقاومت R_1 (با توجه به مدار الکتریکی پل شکل ۲-۳۱)

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 (آن را برابر $10\ \Omega$ یا $100\ \Omega$ انتخاب می‌کنند) و مقاومت R_1 می‌تواند به‌طور پیوسته تغییر کند. به‌طوری‌که 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 ۲-۳۲ می‌توانیم مقدار آن را قرائت نماییم.

فعالیت اختیاری

با مراجعه به نرم‌افزار مولتی‌سیم، مولتی‌متر دیجیتالی را روی میز کار بیاورید و با آن کار کنید.



مقاومت R_2 به‌صورت پله‌ای و مضربی از 10° تغییر می‌کند. مثلاً $0.1, 1, 10, 100, 1000$ و... شکل ۲-۳۳ 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 ضربی که بر روی سلکتور مقاومت R_2 نوشته شده ضرب کنیم.

شکل ۲-۳۳- نحوه‌ی تغییر مقاومت R_2 به صورت پله‌ای در پل و تستون

۲-۴- اندازه‌گیری ضریب خودالقایی سیم‌پیچ و ظرفیت خازن

به غیر از پل و تستون پل‌های دیگری نیز ساخته شده‌اند که قادرند ضریب خودالقایی سیم‌پیچ و ظرفیت خازن را اندازه بگیرند. شکل ۲-۳۴ نمونه‌ای از این پل‌ها را که برای اندازه‌گیری مقاومت اهمی، ضریب خودالقایی سیم‌پیچ و ظرفیت خازن به کار می‌رود نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳۴- 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 ۲-۳۵ نمونه‌ای از این پل را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲-۳۵- 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 :
- قرار دادن دستگاه در مدار بر حسب کمیت مورد اندازه‌گیری (ولت، آمپر و یا ...) ،
- نوع جریان (DC یا AC) ،
- طرز قرار گرفتن آن در سطح کار (افقی، عمودی و یا با زاویه) ،
- انتخاب بالاترین رنج دستگاه به هنگام اندازه‌گیری یک کمیت نامشخص ،
- جای‌گزینی فیوز مشابه در هنگام تعویض فیوز دستگاه ،
- خودداری از ضربه زدن به دستگاه ،
- توجه به درجه حرارت مجاز برای دستگاه در محیط کار ،
- هنگام اندازه‌گیری جریان یا ولتاژ (زمانی که مدار جریان دارد) فیش سیم‌های رابط از دستگاه بیرون کشیده نشود .
- استفاده از سیم‌های مخصوص خود دستگاه .

پرسش

- ۱- جریان الکتریکی و واحد آن را تعریف کنید .
- ۲- آمپر متر چگونه در مدار قرار می‌گیرد و چرا؟
- ۳- نحوه‌ی خواندن مقادیر از روی صفحه‌ی مدرج مولتی متر چگونه است؟
- ۴- جریان سینوسی را تعریف کنید .
- ۵- فرق آمپر متر تابلویی با آمپر متر انبری کدام است؟
- ۶- اختلاف پتانسیل الکتریکی را تعریف کنید .
- ۷- ولت متر چگونه در مدار قرار می‌گیرد و چرا؟
- ۸- ولتاژهای خیلی زیاد را چگونه با ولت مترهای معمولی اندازه می‌گیرند؟
- ۹- مقاومت‌های اهمی را چگونه اندازه می‌گیرند؟
- ۱۰- طرز کار پل وتستون را به طور کامل شرح دهید .
- ۱۱- هنگام استفاده از یک دستگاه اندازه‌گیر، کدام نکات را باید به دقت مدّ نظر داشت؟

هدف کلی

فراگیری مفاهیم توان، انرژی و اختلاف فاز و نحوه‌ی اندازه‌گیری آن‌ها.

فصل ۳

اندازه‌گیری توان، انرژی و اختلاف فاز

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

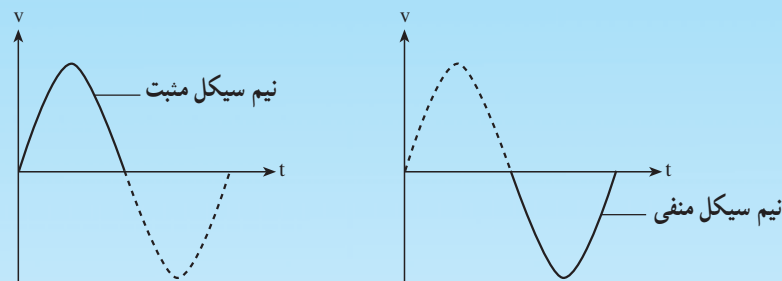
- توان الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- نحوه‌ی اتصال وات‌متر به مدار را شرح دهد.
- انتخاب صحیح حوزه‌ی کار (رنج) را در یک وات‌متر، توضیح دهد.
- نکات ایمنی برای حفاظت وات‌متر در برابر خطرات را بیان کند.
- مقدار توان اندازه‌گیری شده توسط وات‌متر را بخواند.
- تفاوت بین توان DC و AC را شرح دهد.
- انرژی الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- نحوه‌ی اتصال کنتور را، در یک مدار، شرح دهد.
- اختلاف فاز را تعریف کند.
- عوامل ایجاد اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان را، در یک مدار، شرح دهد.
- فعالیت‌های کلاسی را با اعتماد به نفس و به طور دقیق انجام دهد.
- نظم و ترتیب و حضور به موقع در کلاس را رعایت کند.
- مسئولیت‌های واگذار شده را به طور دقیق اجرا کند.
- در موقعیت‌های مناسب از آزمایشگاه مجازی استفاده کند.
- از امکانات فراهم شده به خوبی حفاظت و نگهداری کند.
- ابهامات و سؤالات خود را در زمان مقتضی بپرسد.
- به سؤالات مطرح شده در زمان مقتضی پاسخ دهد.
- حضور فعال و داوطلبانه را در امور مختلف داشته باشد.
- توانمندی‌های خود را در موقعیت‌های مناسب بروز دهد.
- در کار گروهی مشارکت فعال و همکاری مؤثر داشته باشد.

- نسبت به حل مشکلات سایر هنجریان و ... حساس و فعال باشد.
- سایر هنجریان را در ارتباط با اجرای نظم و مقررات راهنمایی و تشویق کند.

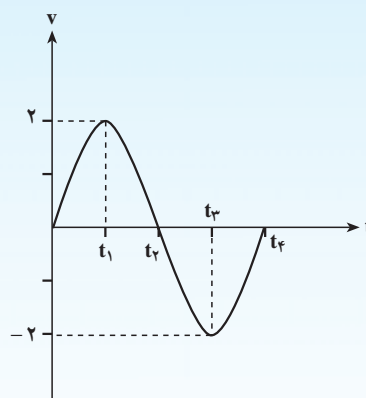
مفاهیم اساسی

قبل از شروع این مبحث مفاهیم زیر را به خاطر بسپارید :

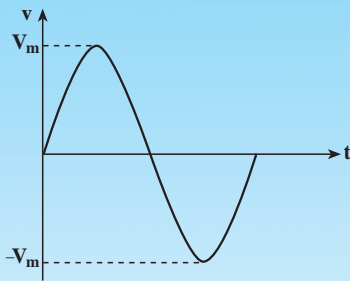
- ۱- موج سینوسی: همان طور که در مبحث قبل اشاره شد، موج سینوسی دارای قسمت مثبت و منفی است.
- ۲- معادله ریاضی موج سینوسی: معادله ریاضی موج سینوسی به صورت $V = V_m \sin 2\pi ft$ تعریف می شود. می خوانیم V مساوی است با V_m سینوس دویی ضربدر f ضربدر t . اگر با استفاده از قوانین ریاضی شکل موج معادله بالا را رسم کنیم یک شکل موج سینوسی به ما می دهد.
- ۳- هر موج سینوسی بعد از دو نیم سیکل (یک نیم سیکل مثبت و یک نیم سیکل منفی) تکرار می شود.
- ۴- نیم سیکل: عبارت است از فاصله ای که موج از صفر به ماکزیمم یا مینیمم و سپس به صفر می رسد.



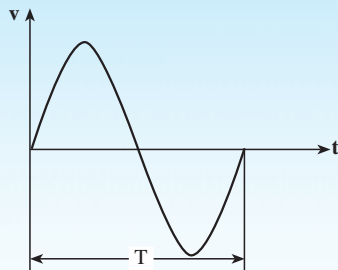
- ۵- سیکل: مجموعه ای یک نیم سیکل مثبت و یک نیم سیکل منفی را سیکل یا دوره ی تناوب می گویند.
- ۶- شکل موج: امواج می توانند شکل موج های مختلفی مانند: مربعی، مثلثی، دندانه اری و ... داشته باشند. این امواج نیز دارای نیم سیکل های مثبت و منفی هستند و تعریف سیکل نیز برای آن ها صدق می کند.
- ۷- فرکانس: تعداد سیکل ها در یک ثانیه را فرکانس می نامند و آن را با f نشان می دهند.
- ۸- مقدار لحظه ای: به مقدار موج در هر لحظه از زمان مقدار لحظه ای می گویند. مثلاً در شکل زیر در t_1 مقدار دامنه ۲ ولت و در لحظه t_3 مقدار دامنه ۲- ولت است.



۹- مقدار V_m : در لحظه‌ای از هر نیم سیکل که موج سینوسی بیشترین مقدار را دارد، آن را V_m یا ولتاژ ماکزیمم می‌نامند.



۱۰- زمان تناوب: زمان یک سیکل را زمان تناوب می‌نامند.

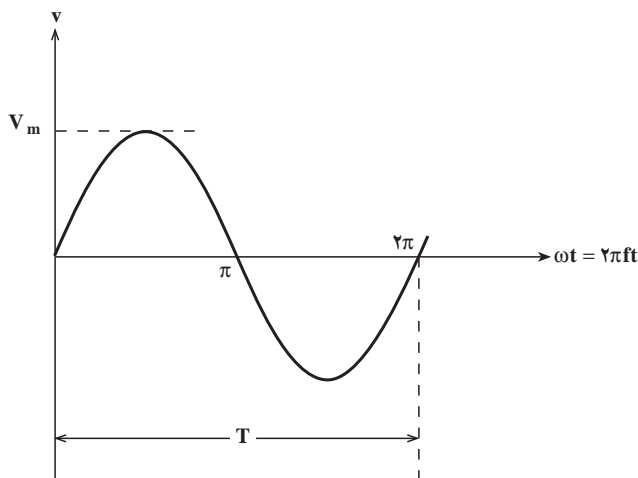


قابل توجه هنرآموزان محترم

در صورت امکان ضمن نشان دادن تجهیزات واقعی در کلاس و نحوه‌ی استفاده از آن‌ها، با استفاده از نرم افزار مولتی سیم موارد آموزش را برای هنرجویان به صورت آزمایشگاه مجازی به نمایش در آورید.

مقدمه

سیکل‌ها در ثانیه است. در شکل ۱-۳ یک سیکل کامل از برق شهر نشان داده شده است که واحد آن سیکل بر ثانیه یا هرتز است. فرکانس برق شهر در ایران ۵۰ هرتز است.



شکل ۱-۳ یک سیکل کامل برق شهر

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

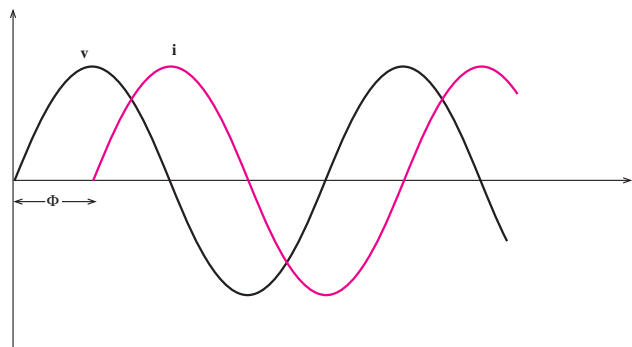
شکل ۱-۳ می‌باشد.

$$v = V_m \cdot \sin 2\pi ft \quad (3-1)$$

در رابطه‌ی ۱-۳، v مقدار ولتاژ در هر لحظه برحسب

ولت، و V_m دامنه‌ی ولتاژ یا ماکزیمم مقدار ولتاژ برحسب ولت - که در شکل نشان داده شده است - و f فرکانس یا تعداد

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 ۲-۳ دو شکل موج سینوسی را نشان می‌دهد که با یکدیگر اختلاف فاز (Φ) دارند: اختلاف فاز را با حرف Φ (فی) نشان می‌دهند و واحد آن معمولاً درجه یا رادیان است.



شکل ۲-۳ اختلاف فاز بین ولتاژ (v) و جریان (i)

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:

$$f = \frac{1}{T} \quad (3-2)$$

با توجه به این که مقدار ولتاژ در هر لحظه تغییر می‌کند برای بیان مقدار ولتاژ، از پارامتری به نام 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 مورد نظر باشد، مقدار مؤثر (Effective) آن ولتاژ متناوب می‌گویند. رابطه‌ی ولتاژ مؤثر و دامنه (پیک) به صورت زیر است:

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 V_m \quad (3-3)$$

اگر به یک مدار ولتاژ متناوب سینوسی اعمال گردد در آن مدار جریان سینوسی جاری می‌گردد؛ فقط ممکن است به

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:

$$v = V_m \sin(2\pi ft) \quad (3-4)$$

$$i = I_m \sin(2\pi ft - \Phi) \quad (3-5)$$

توان به صورت زیر در می‌آید:

$$P = V \cdot I \quad (3-6)$$

۳-۱- اندازه‌گیری توان

حاصل ضرب ولتاژ لحظه‌ای در جریان لحظه‌ای را توان الکتریکی گویند. اگر جریان و ولتاژ از نوع DC باشد رابطه‌ی

مطالعه‌ی آزاد

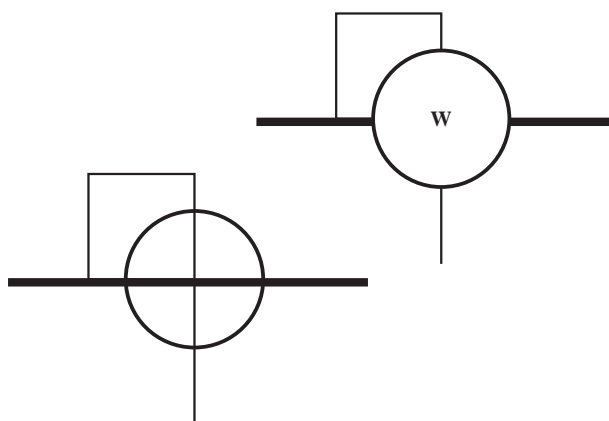
اگر ولتاژ و جریان هر دو سینوسی، با اختلاف فاز (Φ) باشند رابطه‌ی توان به صورت زیر خواهد بود :

$$P = v \cdot i = V_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \Phi) \quad (3-7)$$

و برای توان متوسط خواهیم داشت :

$$P = V_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos(\Phi) \quad (3-8)$$

علامت فنی وات‌متر در مدارها به صورتی است که در شکل ۳-۴ نشان داده شده است.



شکل ۳-۴- علامت فنی وات‌متر

چنانچه ولتاژ دو سر بار و جریان آن، هر دو DC باشند انحراف عقربه‌ی وات‌متر نشان‌دهنده‌ی حاصل ضرب این دو کمیت است، و اگر ولتاژ و جریان سینوسی باشند این انحراف حاصل ضرب 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 U ، (با V هم نشان داده می‌شود) که ولتاژ دو سر مصرف‌کننده را (به صورت موازی) به آن اعمال می‌نمایند وجود دارد. شکل ۳-۵ نحوه‌ی ارتباط یک وات‌متر به شبکه‌ی برق شهر و مصرف‌کننده را نشان می‌دهد.

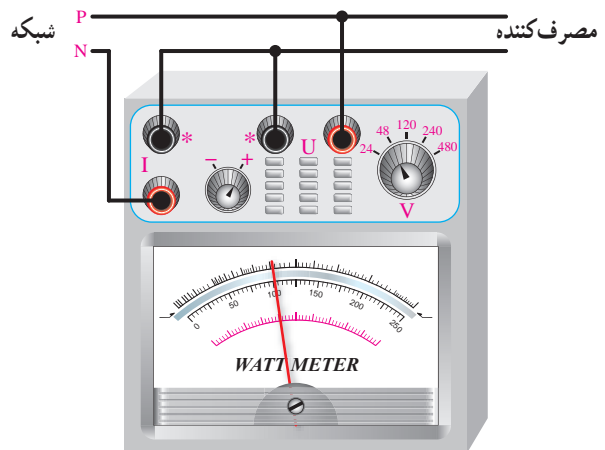
واحد توان الکتریکی وات می‌باشد. در الکترونیک از واحدهای کوچک‌تر این واحد چون میلی‌وات ($\frac{1}{1000} W$) و در الکتروتکنیک از واحدهای بزرگ‌تر آن مانند کیلووات ($1000 W$) و مگاوات ($1,000,000 W$) نیز فراوان استفاده می‌شود.

دستگاهی که توان را اندازه می‌گیرد **وات‌متر** نام دارد.

شکل ۳-۳ دو نمونه وات‌متر را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳- دو نمونه وات‌متر



شکل ۳-۵- نحوه‌ی اتصال یک وات‌متر به شبکه‌ی برق شهر و مصرف‌کننده

است که در انحراف کامل حاصل می‌شود. حال اگر این عدد را بر تعداد کل تقسیمات وات‌متر تقسیم نماییم، مقدار توان را به ازای انحراف هر قسمت یافته‌ایم که به آن **ضریب ثابت سنجش** 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:

مقدار توانی که وات‌متر نشان می‌دهد برابر است با:

تعداد قسمت‌های منحرف شده‌ی عقربه \times ضریب ثابت سنجش (۳-۹)

مثال: در یک وات‌متر کل صفحه به 120° قسمت تقسیم شده است و کلید ولت‌متر روی 48° ولت قرار دارد. اگر جریان نامی روی عدد $5A$ باشد و عقربه $38/5$ قسمت منحرف شده باشد وات‌متر چه توانی را نشان می‌دهد:

$$P = 48^\circ \times 5 = 240^\circ W \quad \text{حل:}$$

$$C = \frac{240^\circ}{120^\circ} = 2^\circ W \quad \text{ضریب ثابت سنجش}$$

مقدار توانی که وات‌متر نشان می‌دهد برابر است با:

$$P = 38/5 \times 2^\circ = 77^\circ W$$

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.

۳-۲- اندازه‌گیری مقدار انرژی

انرژی الکتریکی عبارت است از حاصل ضرب توان در

زمان یعنی:

$$W = P \cdot t \quad (3-10)$$

در رابطه‌ی فوق P توان الکتریکی بر حسب وات، t زمان

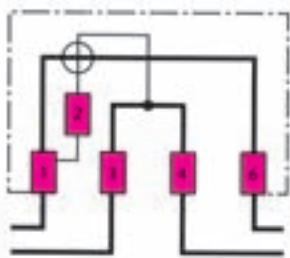
بر حسب ثانیه، W مقدار انرژی بر حسب وات-ثانیه یا ژول می‌باشد.

روی اکثر وات‌مترها سلکتوری (کلید ولت‌متر) وجود دارد که با توجه به ولتاژ مصرف‌کننده‌ها تنظیم می‌گردد. مثلاً در شکل ۳-۵ رنج ولتاژ این کلید به صورت 24° ، 48° ، 120° ، 240° و 480° 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؛ اما امروزه تعداد زیادی از وات‌مترها فاقد کلید جریان بوده و معمولاً دارای جریان نامی 5 آمپر می‌باشند. هر وات‌متر در هر رنج ولتاژ معمولاً دارای یک مقدار ماکزیمم ولتاژ نیز می‌باشد، مثلاً در رنج 48° ولت، ممکن است وات‌متر بتواند تا 75° ولت را نیز تحمل نماید. به این مقدار ولتاژ، مقدار ماکزیمم مجاز می‌گویند. در کاتالوگ هر وات‌متر 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 ($5A$) می‌باشند مقدار ماکزیمم جریان معمولاً 7 آمپر است.

برای خواندن توان مصرف‌کننده از روی صفحه‌ی مدرج وات‌متر، از ضریب ثابت سنجش استفاده می‌شود. در ابتدا باید ببینیم هر قسمت درجه‌بندی، چند وات را نشان می‌دهد. برای این کار رنج ولتاژ وات‌متر را در عدد رنج جریان وات‌متر (در صورت نداشتن رنج جریان همان $5A$ را در نظر می‌گیریم) ضرب می‌کنیم. عددی که به دست می‌آید نشان دهنده‌ی حداکثر توانی

مصرف کننده همانند وات متر است، به این معنی که باید ولتاژ و جریان مصرف کننده را به آن اعمال نمود؛ زیرا سرعت چرخش صفحه‌ی گردان متناسب با توان مصرف کننده می‌باشد.

شکل ۷-۳ شمای الکتریکی (سمبل) کنتور را، همراه با یک مصرف کننده و شبکه‌ی برق شهر، نشان می‌دهد.



شکل ۷-۳- نحوه‌ی اتصال کنتور به شبکه‌ی برق و مصرف کننده

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

۳-۳- 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 360° 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 $\cos\Phi$ متر نام دارد. پس می‌توان گفت: کسینوس فی متر دستگاهی است که حرکت عقربه‌ی آن نشان دهنده‌ی مقدار اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ می‌باشد. بر روی صفحه‌ی مدرج

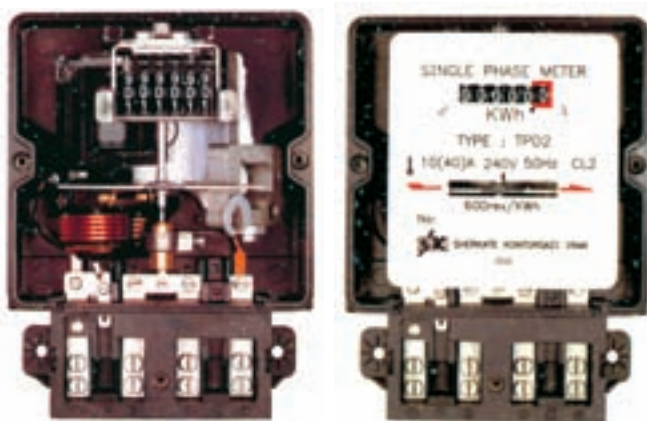
در عمل از واحدهای بزرگ‌تری مانند کیلووات ساعت (P) بر حسب کیلووات و t بر حسب ساعت) و یا مگاوات ساعت (P) بر حسب مگاوات و t بر حسب ساعت) نیز استفاده می‌کنند. برای اندازه‌گیری مقدار انرژی مصرف شده توسط یک مصرف کننده‌ی الکتریکی، احتیاج به یک شمارنده داریم، زیرا با توجه به رابطه‌ی

$$W = P \cdot t$$

مقدار W نسبت به زمان دائماً در حال زیاد شدن است. کار این شمارنده شمارش و نمایش مقدار انرژی مصرف شده از یک لحظه‌ی به خصوص 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 ۶-۳ نمای ظاهری و داخلی یک نمونه کنتور تک فاز را که در منازل برای اندازه‌گیری انرژی مصرف شده به کار می‌رود نشان می‌دهد.

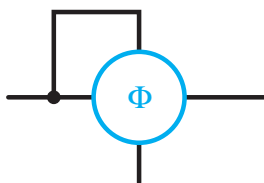


شکل ۶-۳- یک نمونه کنتور تک فاز

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

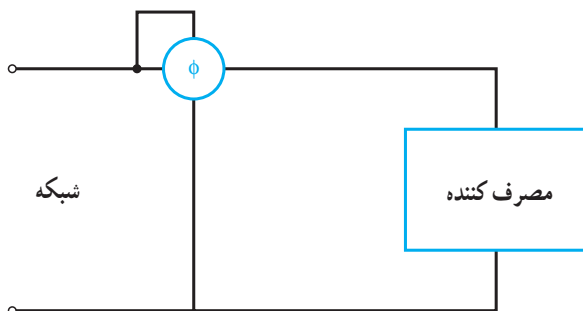
اکثر کسینوس فی مترها ضمن نشان دادن اختلاف فاز، نوع بار (سلفی یا خازنی) را نیز مشخص می کنند. اگر عقربه از وسط صفحه به سمت راست یا سمت (ind) حرکت کند نوع بار سلفی است، یعنی جریان به اندازه ی Φ درجه، که عقربه نشان می دهد، عقب تر است (تأخیر فاز دارد) و چنانچه عقربه از وسط صفحه به سمت چپ یا سمت (cap) حرکت نماید جریان از ولتاژ به اندازه ی Φ درجه، که عقربه نشان می دهد، جلوتر است (تقدم فاز دارد).

کسینوس فی مترها را در مدارهای الکتریکی به صورت شکل ۱۰-۳ نمایش می دهند.



شکل ۱۰-۳ علامت فنی کسینوس فی متر

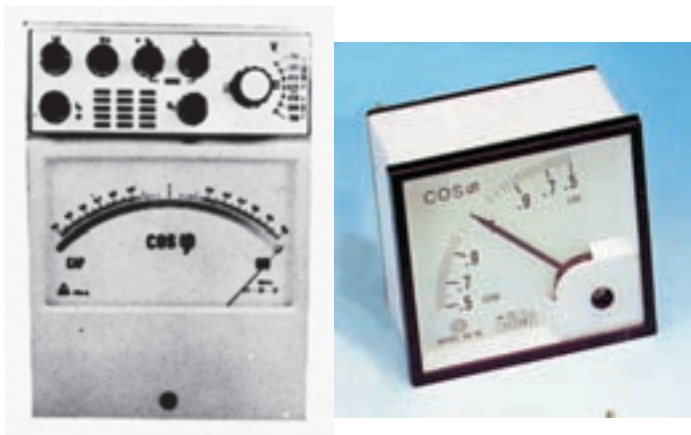
شکل ۱۱-۳ شمای الکتریکی اتصال یک کسینوس فی متر را به یک مصرف کننده و شبکه ی برق شهر نشان می دهد.



شکل ۱۱-۳ شمای الکتریکی اتصال یک کسینوس فی متر به مصرف کننده و برق شهر.

استفاده از آزمایشگاه های مجازی موجب عمیق بخشیدن به آموزش و صرفه جویی در زمان و تجهیزات می شود.

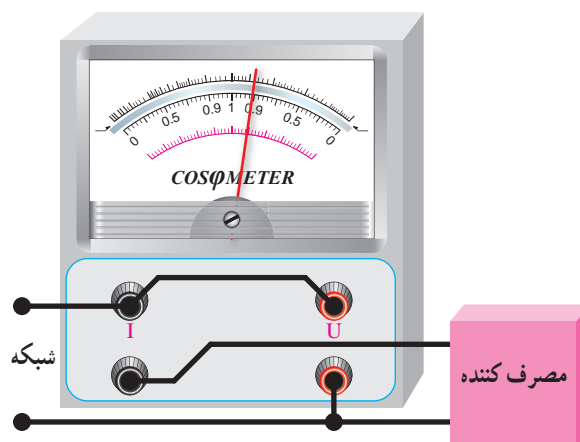
کسینوس فی مترها، معمولاً مقدار اختلاف فاز بر حسب درجه و نیز کسینوس اختلاف فاز را می نویسند. شکل ۸-۳ دو نمونه کسینوس فی متر را نشان می دهد.



شکل ۸-۳ دو نمونه $\cos \Phi$ متر

با توجه به این که کسینوس فی متر باید اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را اندازه بگیرد لذا باید نمونه ی جریان مصرف کننده و نیز نمونه ی ولتاژ را به آن اعمال نمود.

شکل ۹-۳ نحوه ی اتصال کسینوس فی متر به مصرف کننده و شبکه ی برق شهر را نشان می دهد. این اتصال همانند وات متر می باشد.



شکل ۹-۳ نحوه ی اتصال کسینوس فی متر به شبکه ی برق شهر و مصرف کننده

- ۱- توان الکتریکی و واحد آن را تعریف کنید.
- ۲- نحوه‌ی اتصال یک وات‌متر به یک شبکه‌ی الکتریکی و مصرف‌کننده را رسم کنید و درباره‌ی آن توضیح دهید.
- ۳- نحوه‌ی خواندن مقادیر روی صفحه‌ی مدرج وات‌متر چگونه است؟
- ۴- انرژی و واحد آن را تعریف کنید.
- ۵- نحوه‌ی اتصال کنتور به شبکه‌ی برق و مصرف‌کننده را رسم کرده و آن را شرح دهید.
- ۶- اختلاف فاز را تعریف کنید.
- ۷- نحوه‌ی اتصال یک کسینوس فی‌متر به یک شبکه‌ی الکتریکی و مصرف‌کننده را رسم نموده و راجع به آن توضیح دهید.

هدف کلی

آشنایی با ساختمان و قسمت‌های اصلی یک اسیلوسکوپ و نحوه‌ی اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی

فصل ۴

آشنایی با اسیلوسکوپ و کاربرد آن



قابل توجه هنرآموزان محترم

- به منظور افزایش کارایی و تسهیل در آموزش توصیه می‌شود، هنگام آموزش اسیلوسکوپ موارد زیر را در صورت امکان اجرا کنید :
- یک نمونه اسیلوسکوپ واقعی را به کلاس درس بیاورید و نحوه‌ی کار آن را آموزش دهید.
- با استفاده از نرم‌افزار مولتی‌سیم، اسیلوسکوپ آزمایشگاه مجازی و نحوه‌ی کاربرد آن را برای هنرجویان به نمایش درآورید.
- هنرجویان را در یک جلسه به آزمایشگاه ببرید و کاربرد اسیلوسکوپ را برای آنان نمایش دهید.

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

- ساختمان و قسمت‌های اصلی یک اسیلوسکوپ را به‌طور خلاصه شرح دهد.
- کلیدهای کنترل روی قاب جلوی دستگاه (پانل) اسیلوسکوپ را از یک‌دیگر تمیز دهد.
- وظیفه‌ی هر یک از کلیدهای کنترل را شرح دهد.
- نحوه‌ی اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی (دامنه ولتاژ، زمان تناوب، فرکانس، اختلاف فاز ...) را با استفاده

از اسیلوسکوپ بیان کند.

- مقدار کمیت‌های قابل اندازه‌گیری در صفحه‌ی نمایش اسیلوسکوپ را بخواند.
- مقدار اندازه‌گیری شده از روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ را محاسبه کند.
- فعالیت‌های کلاسی را با اعتماد به نفس و به طور دقیق انجام دهد.
- نظم و ترتیب و حضور به موقع در کلاس را رعایت کند.
- مسئولیت‌های واگذار شده را به طور دقیق اجرا کند.
- در موقعیت‌های مناسب از آزمایشگاه مجازی استفاده کند.
- از امکانات فراهم شده به خوبی حفاظت و نگهداری کند.
- ابهامات و سؤالات خود را در زمان مقتضی بپرسد.
- به سؤالات مطرح شده در زمان مقتضی پاسخ دهد.
- حضور فعال و داوطلبانه در امور مختلف داشته باشد.
- توانمندی‌های خود را در موقعیت‌های مناسب بروز دهد.
- در کارگروهی مشارکت فعال و همکاری مؤثر داشته باشد.
- نسبت به حل مشکلات سایر هنجریوان و ... حساس و فعال باشد.
- سایر هنجریوان را در ارتباط با اجرای نظم و مقررات راهنمایی و تشویق کند.

* نکته مهم اجرایی

برای آموزش اسیلوسکوپ لازم است هنرآموزان محترم یک نمونه اسیلوسکوپ را عملاً در کلاس مورد استفاده قرار داده و ضمن معرفی کلیدها شکل موج‌ها را نشان دهند.

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 – آمپر 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 (حتی چند صد مگاهرتز) اندازه‌گیری نماید، حال آن‌که، ولت‌مترهای ساخته شده‌ی امروزی قادر به اندازه‌گیری

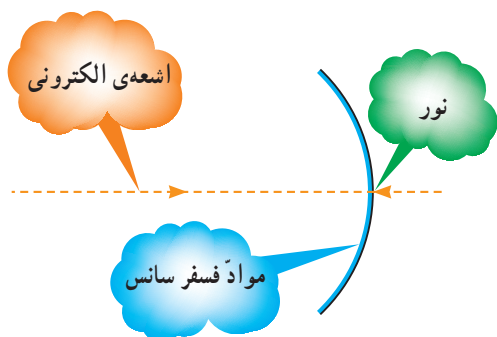
ولتاژهای کم در این فرکانس نیستند.

اندازه‌گیری و مشاهده‌ی شکل موج‌ها در اسیلوسکوپ از ولتاژ با فرکانس صفر (DC) شروع و به فرکانس مشخصی (به خاطر محدودیت پهنای باند تقویت‌کننده‌ها) ختم می‌گردد که معمولاً اسیلوسکوپ را با این فرکانس، مشخص می‌نماید. مثلاً اسیلوسکوپ ۲۰ مگاهرتز، یعنی اسیلوسکوپی که می‌تواند ولتاژهای AC و DC تا ۲۰MHz را نمایش دهد. شکل ۱-۴ یک نمونه اسیلوسکوپ معمولی را نشان می‌دهد.

اساس کار لامپ اشعه‌ی کاتدیک، بمباران یک صفحه‌ی حسّاس با یک دسته اشعه‌ی الکترونی می‌باشد. بر اثر بمباران صفحه‌ی حسّاس، 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 حسّاس به دو عامل، سرعت الکترون‌ها و تعداد الکترون‌ها، بستگی دارد؛ به عبارتی هر قدر تعداد الکترون‌های اشعه‌ی الکترونی و سرعت الکترون‌ها زیاده‌تر باشد نور ایجاد شده بیش‌تر خواهد بود. در عمل برای کنترل مقدار نور ایجاد شده تعداد الکترون‌های اشعه را تغییر می‌دهند، زیرا این عمل به سهولت امکان‌پذیر است.

صفحه‌ی حسّاس 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 ۴-۳، صفحه‌ی حسّاس لامپ اشعه‌ی کاتدیک را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۳ صفحه‌ی حسّاس لامپ اشعه‌ی کاتدیک



شکل ۴-۱ یک نمونه اسیلوسکوپ معمولی

ساختمان اسیلوسکوپ از دو قسمت اصلی تشکیل شده است:

الف: لامپ اشعه‌ی کاتدیک (CRT)^۱

ب: مدارهای آماده‌سازی لامپ و سیگنال

در زیر توضیح مختصری راجع به هر کدام داده می‌شود.

۴-۱- لامپ اشعه‌ی کاتدیک

لامپ اشعه‌ی کاتدیک امروزه قسمت اصلی مونیتورهای کامپیوتر، تلویزیون، دستگاه‌های کنترل‌کننده‌ی وضعیت ضربان قلب در پزشکی و ... را تشکیل می‌دهد. در حقیقت با اعمال هر سیگنال الکتریکی به دستگاه‌های نامبرده، آن سیگنال روی صفحه‌ی حسّاس 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 جزئی دارند.

شکل ۴-۲ نمای ظاهری یک لامپ اشعه‌ی کاتدیک را

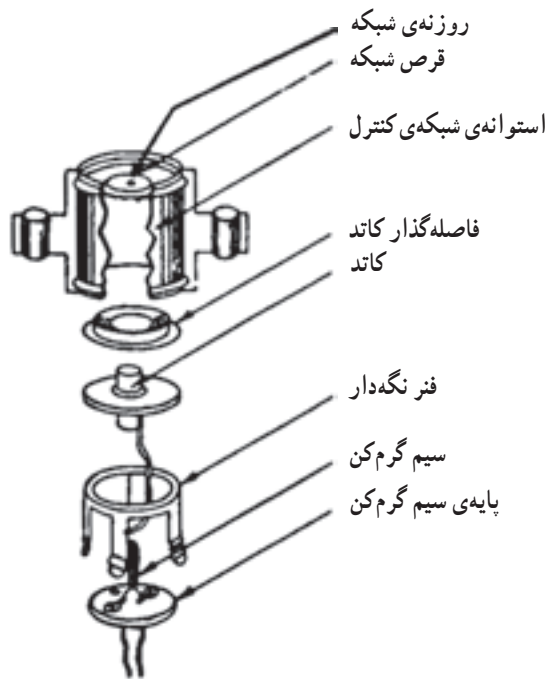
نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲ نمای ظاهری یک لامپ اشعه‌ی کاتدیک

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

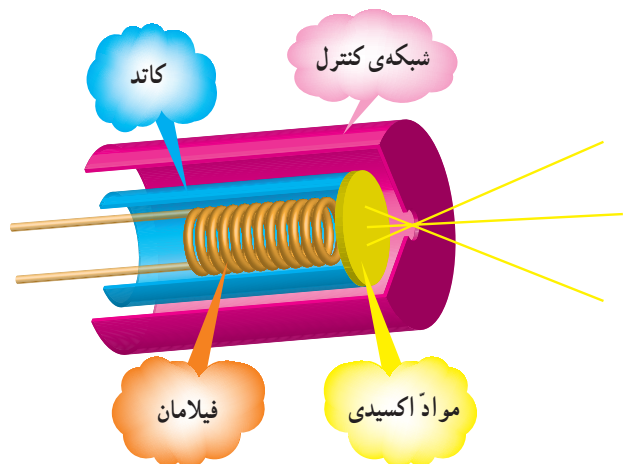
تولید اشعه‌ی الکترونی به وسیله‌ی گرم کردن یک استوانه‌ی فلزی که قسمت جلوی آن از مواد اکسیدی (معمولاً 50% اکسید باریم و 50% اکسید استرانسیوم) پوشانده شده است، صورت می‌گیرد. نحوه‌ی کار بدین صورت است که ابتدا فیلامان داخل استوانه را با عبور جریان الکتریکی از آن گرم می‌کنند. گرمای فیلامان منجر به گرم شدن استوانه شده در نتیجه مواد 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 مقدمه‌ی تولید اشعه به صورت باریک می‌باشد. شبکه‌ی جلوی این استوانه، شبکه‌ی کنترل و استوانه‌ای که مواد اکسیدی، صفحه‌ی جلوی آن را پوشانده است کاتد نام دارد. شکل ۴-۴ این مجموعه را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۴- اجزای استوانه‌ی و هنت

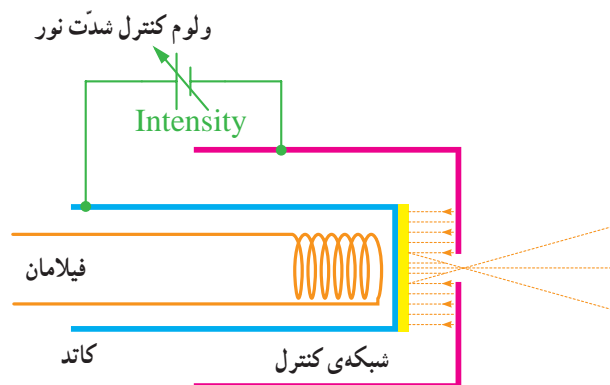
اگر بین شبکه‌ی کنترل و کاتد، یک منبع ولتاژ با پلاریته‌ی شبکه‌ی منفی‌تر از کاتد قرار دهیم، ولتاژ منفی شبکه باعث دفع الکترون‌ها شده در نتیجه الکترون‌های کم‌تری از روزنه خارج می‌گردند؛ هر قدر این ولتاژ بیش‌تر باشد، تعداد الکترون‌های خارج شده کم‌تر می‌شود.

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 شدت نور روی صفحه‌ی حساس تغییر می‌کند. این ولوم با کلمه‌ی (INTEN) روی اسیلوسکوپ مشخص می‌شود. عملکرد ولوم INTEN در شکل ۴-۶ نشان داده شده است.



شکل ۴-۴- تولید اشعه‌ی اولیه

شکل واقعی مجموعه‌ی فوق، که استوانه‌ی و هنت نام دارد، همراه با اجزای آن در شکل ۴-۵ نشان داده شده است.

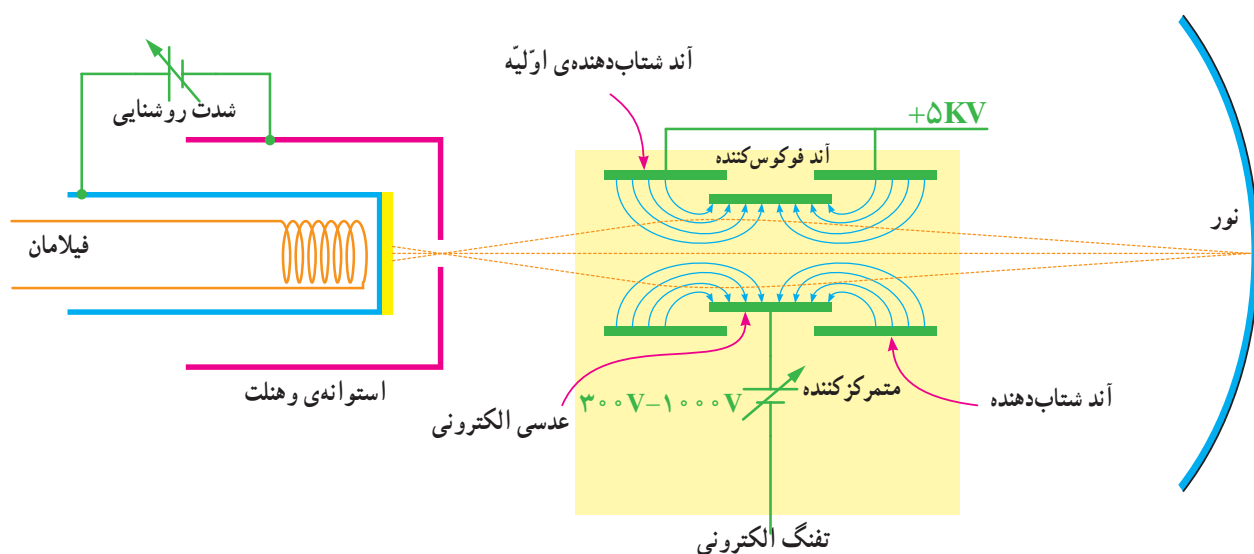


شکل ۴-۶ عملکرد ولوم INTEN

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 ۴-۷ عدسی الکترونی را نشان می‌دهد.

منبع ولتاژ ۱۰۰۰-۳۰۰ ولتی که در شکل ۴-۷ نشان داده شده است به صورت یک ولوم در پانل اسیلوسکوپ به نام FOCUS و معمولاً در کنار ولوم INTEN قرار دارد.

بعد از تولید اشعه‌ی اولیه باید این اشعه را روی صفحه‌ی حسّاس متمرکز کرد و به آن چنان شتابی داد که سرعت لازم را جهت برخورد با موادّ فسفرسانس و ایجاد نور در روی آن به دست



شکل ۴-۷ عدسی الکترونی همراه با تولید اشعه‌ی اولیه (تفنگ الکترونی)

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 این جا 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

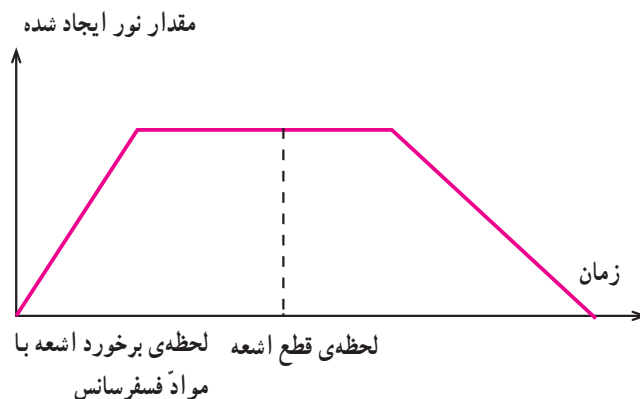
مجموعه‌ی عدسی الکترونی و استوانه‌ی وهنلت را تفنگ الکترونی (Electron Gun) می‌نامند. بنابراین وظیفه‌ی تفنگ الکترونی ایجاد یک اشعه‌ی الکترونی با قابلیت تنظیم نقطه‌ی کانونی (فوکوس) روی صفحه‌ی حسّاس، و همچنین تنظیم شدت نور می‌باشد.

تا زمانی که اشعه بر روی موادّ فسفرسانس می‌تابد، در آن نقطه نور وجود خواهد داشت و زمانی که اشعه قطع می‌شود (یا

صورت ما باید فقط یک نقطه را روی صفحه‌ی حساس ببینیم چرا یک موج سینوسی یا موج دیگر را به صورت پیوسته روی صفحه‌ی حساس می‌بینیم؟ پاسخ این است که اولاً اشعه زمانی که از یک نقطه به نقطه‌ی مجاور حرکت می‌کند، اثر آن تا مدت 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 حساس) تکرار گردد. از این روست که اسیلوسکوپ‌های معمولی فقط شکل موج‌های متناوب را می‌توانند نشان دهند.

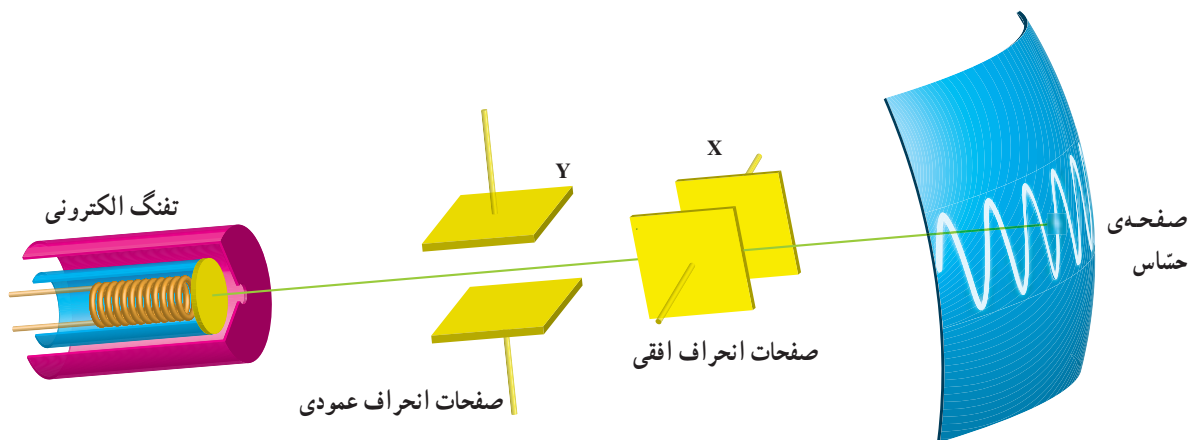
هر نقطه از صفحه‌ی حساس اسیلوسکوپ، دارای دو مختص (عمودی و افقی) است و با توجه به این که کلیه‌ی موج‌ها به صورت دو بعدی نشان داده می‌شوند پس هر نقطه از شکل موج را می‌توان به دو مؤلفه‌ی فوق تجزیه کرد. بنابراین هر نقطه از شکل موج در اثر حرکت اشعه، در مختصاتی که دارای دو جهت افقی و عمودی است قرار می‌گیرد. 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 ۹-۴ صفحات انحراف افقی و عمودی را نشان می‌دهد.

اشعه، نقطه‌ی نورانی محو نمی‌گردد بلکه مدت زمان کوتاهی طول می‌کشد این مدت بستگی به نوع فسفرسانس به کار رفته در لامپ دارد. شکل ۸-۴ منحنی لحظه‌ی برخورد اشعه را با مواد فسفرسانس، و مدت زمانی که طول می‌کشد تا نور ایجاد شود، همچنین لحظه‌ی قطع اشعه و مدت زمان روشن ماندن نقطه‌ی بمباران شده، بعد از قطع اشعه را، نشان می‌دهد.



شکل ۸-۴ منحنی نور ایجاد شده به صورت تابعی از زمان (زمان قطع و برخورد اشعه روی مواد فسفرسانس صفحه‌ی حساس)

شکل موجی که روی صفحه‌ی حساس نقش می‌بندد ناشی از برخورد اشعه‌ی الکترونی به صفحه‌ی حساس 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 حساس بمباران می‌شود و در این

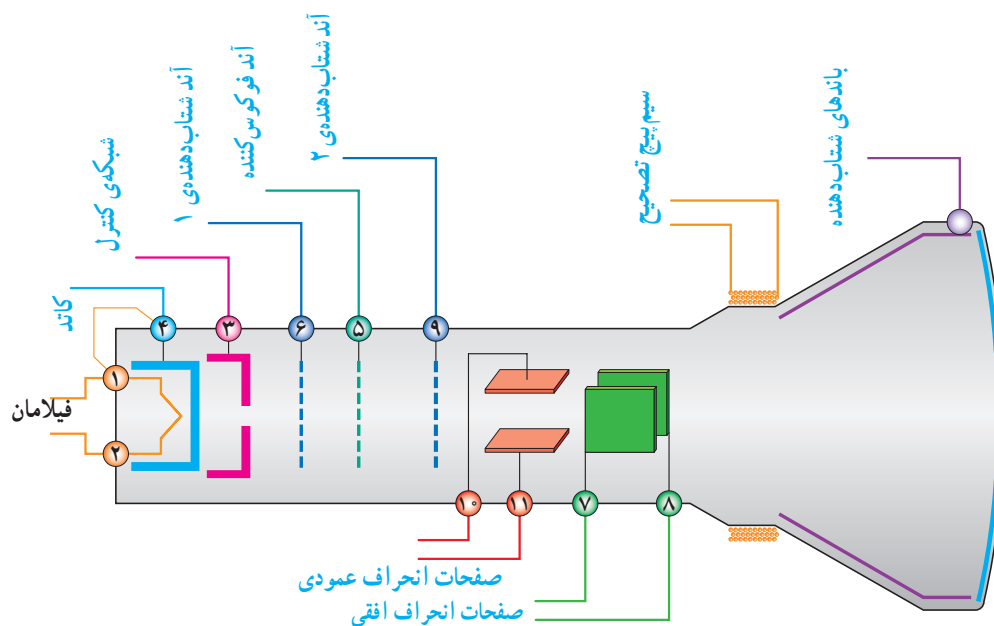


شکل ۹-۴ نحوه‌ی قرار گرفتن صفحات انحراف افقی و عمودی بین تفنگ الکترونی و صفحه‌ی حساس

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 فسفرسانی در اثر بمباران اشعه می‌باشد. در شکل ۴-۱۰ ساختمان داخلی لامپ اشعه‌ی کاتدیک نشان داده شده است.

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

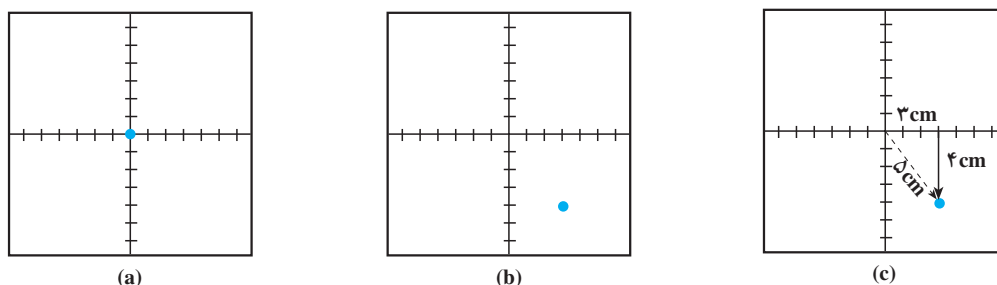
بعد از صفحات انحراف عمودی و افقی، یک سری باندهای شتاب‌دهنده در لامپ قرار دارد. این باندها معمولاً به



شکل ۴-۱۰ - ساختمان داخلی لامپ اشعه‌ی کاتدیک

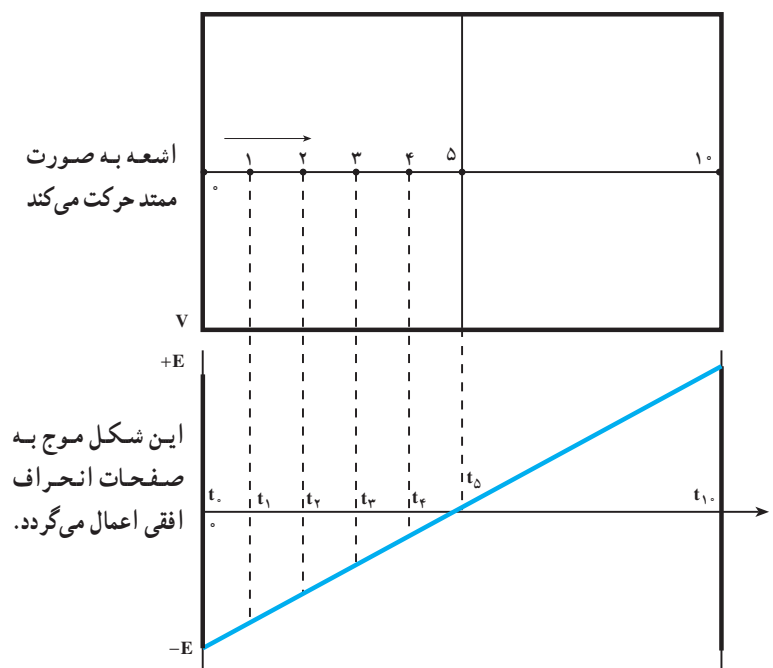
منتقل کرد. اگر به هر دو صفحه‌ی انحراف افقی و عمودی ولتاژ صفر ولت را وصل کنیم، اشعه درست به مرکز صفحه‌ی حساس تابیده و نقطه‌ی نورانی در مرکز صفحه قرار خواهد گرفت (شکل a-۱۱-۴)، و اگر به صفحات به عنوان مثال به انحراف عمودی -۴ ولت و به صفحات انحراف افقی ۳+ ولت وصل کنیم، اشعه در نقطه‌ای به مختصات -۴ و ۳ ظاهر خواهد شد. شکل c-۱۱-۴ و b-۱۱-۴ مکان این اشعه را نشان می‌دهد.

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



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

اگر یک شکل موج با تغییرات خطی مانند شکل ۱۲-۴ را به صفحات انحراف افقی اعمال نماییم، اشعه از منتهی الیه سمت چپ به منتهی الیه سمت راست منحرف خواهد شد. یعنی در زمان $t = t_0$ اشعه در نقطه ی ۰، در زمان $t = t_1$ اشعه در نقطه ی ۱، در زمان $t = t_2$ اشعه در نقطه ی ۲ و...، در زمان $t = t_5$ اشعه در نقطه ی ۵ و بالاخره در زمان $t = t_0$ اشعه در نقطه ی ۱۰ قرار خواهد گرفت. چون موج اعمال شده به صفحات انحراف افقی کاملاً خطی است لذا حرکت اشعه کاملاً یک نواخت می باشد.

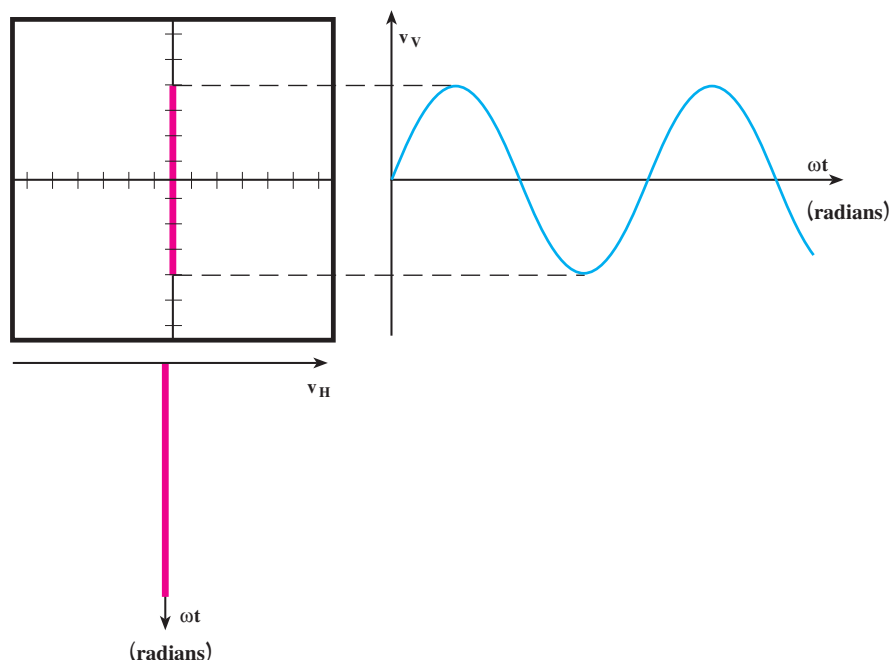


شکل ۱۲-۴ اعمال یک موج خطی به صفحات انحراف افقی باعث حرکت اشعه از سمت چپ به سمت راست می شود.

جهت عمودی مشاهده خواهد شد. زیرا ولتاژ سینوسی اعمال شده به این صفحات فقط باعث به حرکت درآوردن اشعه در جهت عمودی می شود. 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 ۱۳-۴ حرکت اشعه را به ازای اعمال ولتاژ سینوسی به صفحات انحراف عمودی نشان می دهد.

اگر یک موج متناوب خطی با فرکانس بالای ۴۰ هرتز را به صفحات انحراف افقی اعمال نماییم، حرکت اشعه به صورت پیوسته مشاهده شده، در نتیجه روی صفحه ی حساس، یک خط راست افقی می بینیم.

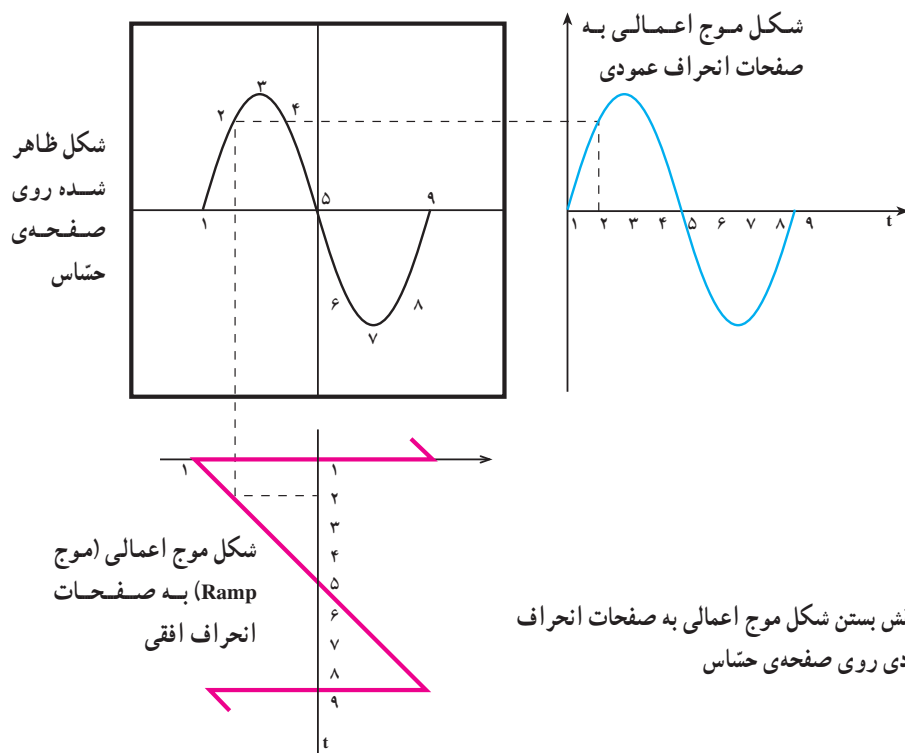
اگر به صفحات انحراف عمودی شکل، موجی سینوسی اعمال کرده و به صفحات انحراف افقی ولتاژی را اعمال نکنیم، روی صفحه ی حساس، فقط یک خط مستقیم در



شکل ۱۳-۴ با اعمال ولتاژ سینوسی به صفحات انحراف عمودی، روی صفحه‌ی حساس فقط یک خط در جهت عمودی مشاهده می‌شود.

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 حساس نمایان می‌شود، به شکل ۱۴-۴ توجه نمایید.

در عمل وقتی بخواهیم شکل موج اعمال شده را روی صفحه‌ی حساس مشاهده کنیم، حرکت افقی اشعه را توسط یک موج با تغییرات خطی (Ramp) و حرکت عمودی اشعه را با شکل موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی لامپ ایجاد

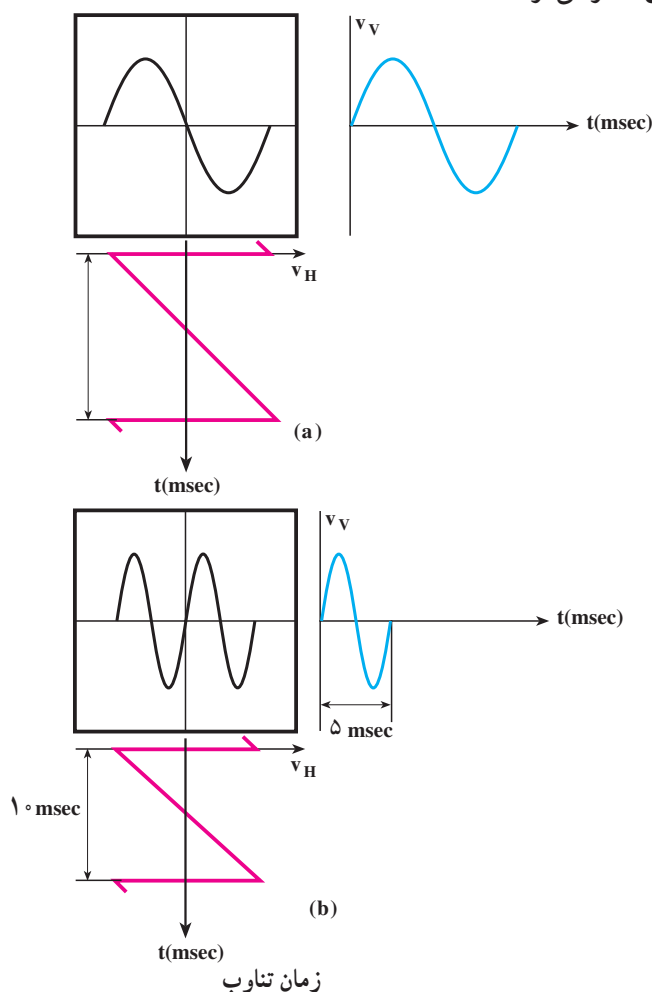


شکل ۱۴-۴ چگونگی نقش بستن شکل موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی روی صفحه‌ی حساس

اگر بخواهیم روی صفحه‌ی نمایش فقط یک سیکل مشاهده شود، کافی است که زمان تناوب موج Ramp با زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف 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 a-۴-۱۵ 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-۴-۱۵ زمان تناوب موج Ramp دو برابر زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی است، لذا دو سیکل کامل روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌گردد.

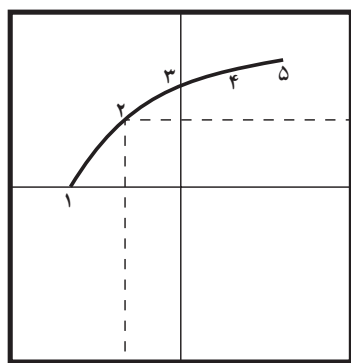
در زمان ۱، اشعه در منتهی‌الیه سمت چپ قرار دارد (ولتاژ اعمالی به صفحات انحراف افقی و عمودی در این لحظه برابر صفر است). در زمان ۲، ولتاژ اعمالی به صفحات انحراف افقی باعث حرکت اشعه به سمت راست شده و همزمان با آن ولتاژ اعمالی به صفحات انحراف عمودی باعث حرکت اشعه در راستای قائم می‌گردد تا این که اشعه روی 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.

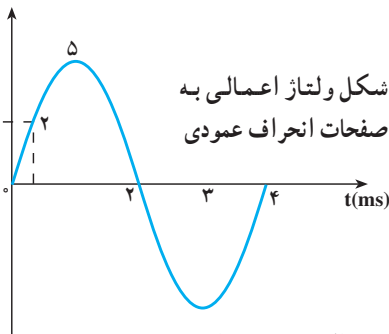


شکل ۴-۱۵- تناسب زمان تناوب موج Ramp با زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف افقی و در نتیجه ظاهر شدن تعداد سیکل‌ها در روی صفحه‌ی حساس

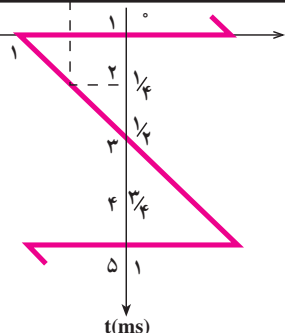
شکل موج نقش
بسته روی
صفحه‌ی حسّاس



شکل ولتاژ اعمالی به
صفحات انحراف عمودی



شکل موج اعمالی به
صفحات انحراف افقی

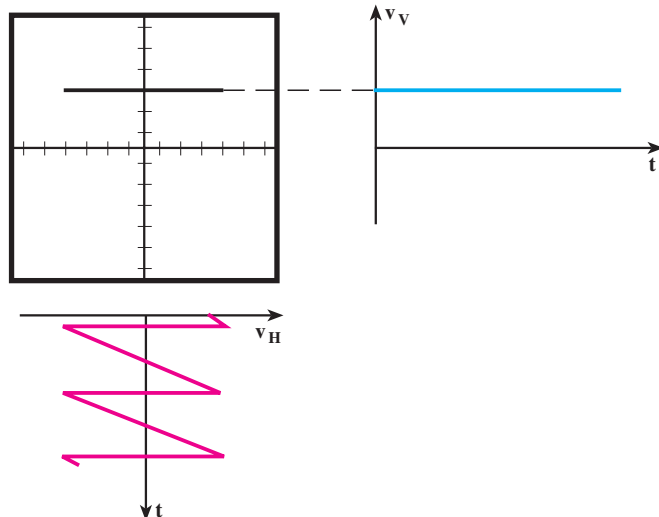


اگر زمان تناوب شکل موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی بیش‌تر از زمان تناوب موج Ramp باشد، در این صورت فقط قسمتی از شکل موج، روی صفحه‌ی حسّاس آشکار می‌شود. شکل ۴-۱۶، حالتی را نشان می‌دهد که زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی، چهار برابر زمان تناوب موج Ramp می‌باشد که در این صورت فقط یک چهارم از سیکل روی صفحه‌ی حسّاس نقش بسته است.

شکل ۴-۱۶- 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.

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 ۴-۱۷ این مطلب را نشان می‌دهد.

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 معینی تکرار گردد. در غیر این صورت، اسیلوسکوپ‌های معمولی قادر به نمایش آن نخواهند بود. در ضمن اگر ولتاژ اعمال شده به صفحات انحراف عمودی



شکل ۴-۱۷- ولتاژ DC به صورت یک خطّ مستقیم روی صفحه‌ی حسّاس ظاهر می‌گردد.

Line.Trig: با استفاده از این حالت کلید، می‌توانید از برق شهر برای همزمانی استفاده کنید.

AUTO/NORM: در مدارهای الکتریکی اسیلوسکوپ، قسمتی وجود دارد که می‌تواند وجود و یا عدم وجود سیگنال ورودی را تشخیص دهد. اگر این کلید در حالت AUTO باشد، همواره سیگنال روی صفحه وجود دارد. اگر کلید روی حالت NORM قرار گیرد، زمانی سیگنال روی صفحه حساس نقش می‌بندد که اولاً سیگنال ورودی وجود داشته باشد و ثانیاً موج جاروب سنکرون باشد، در غیر این صورت هیچ شکل موجی روی صفحه حساس ظاهر نمی‌شود.

۴-۲- مدارهای آماده‌سازی

۴-۲-۱- **ساختمان پراب (Probe)**: برای اعمال سیگنال الکتریکی به اسیلوسکوپ، از پراب استفاده می‌شود. شکل ۴-۱۸ یک نمونه از پراب‌های رایج را نشان می‌دهد. سیم رابط پراب معمولاً از کابل کوکسیال می‌باشد تا میزان نویز به حد اقل برسد.

مدار الکتریکی ورودی اسیلوسکوپ به صورت شکل ۴-۱۹ می‌باشد.

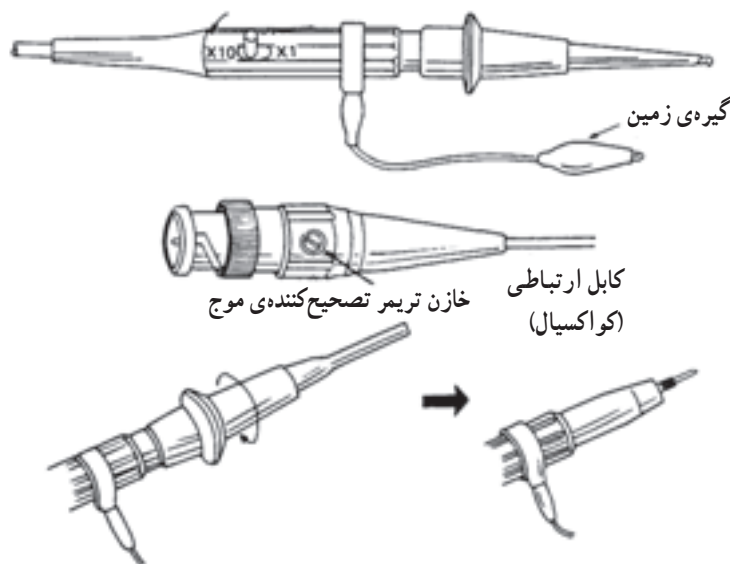
توجه داشته باشید که زمانی سیگنال روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ به صورت ثابت ظاهر می‌شود که موج Ramp با موج سینوسی همزمان باشد. این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که مدار همزمانی یا trigger فعال شود. عمل Trigger با استفاده از کلیدهای Level، Slope+/-، Source Trig و Auto/NORM انجام می‌شود.

آشنایی با کلیدهای منابع Trigger:

ولوم Level: با تغییرات این ولوم می‌توان لحظه شروع موج از سمت چپ صفحه حساس را تعیین کرد. این ولوم می‌تواند حول نقطه صفر، به سمت چپ یا راست تغییر کند.

ولوم Slope+/-: این کلید اگر از حالت + به حالت - درآید شیب سیگنال ظاهر شده روی صفحه‌ی حساس معکوس می‌شود. این کلید معمولاً همراه با ولوم Level کار می‌کند، بنابراین با کمک این کلید، از هر نقطه شکل موج که بخواهیم از سمت چپ صفحه‌ی حساس شروع شود، امکان پذیر می‌شود. **کلید Source Trig**: در دو حالت Ext.Trig و یا Line.Trig است.

Ext.Trig: با استفاده از این حالت کلید، می‌توانید همزمانی را با منبع خارجی انجام دهید.

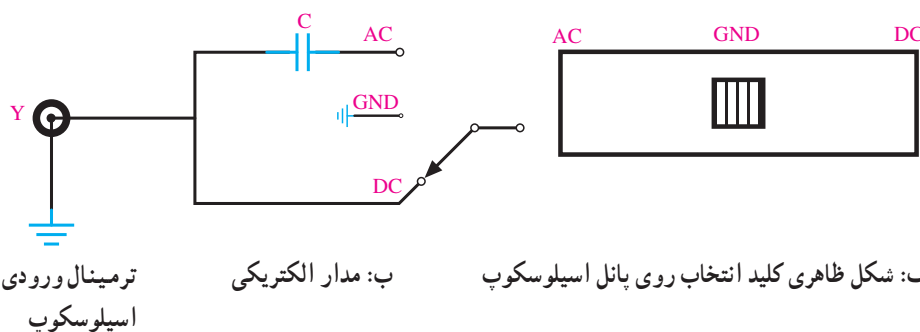


شکل ۴-۱۸- یک نمونه از پراب‌های رایج

حالت $\times 1$ سیگنال از طریق پراب، بدون تضعیف به اسیلوسکوپ، اعمال می‌شود. اما در حالت $\times 10$ ، ابتدا سیگنال در داخل پراب، 10° برابر تضعیف شده سپس به اسیلوسکوپ اعمال می‌گردد. باید توجه داشته باشید که اگر از حالت $\times 10$ پراب برای اندازه‌گیری استفاده می‌کنید مقادیر قرائت شده‌ی دامنه را در عدد 10° ضرب کنید. موارد کاربرد $\times 10$ برای سیگنال‌های با دامنه‌ی زیاد می‌باشد.

۴-۲-۲- کلید انتخاب ورودی: بعد از ترمینال

ورودی اسیلوسکوپ مطابق شکل ۴-۱۹ یک کلید انتخاب وجود دارد.



شکل ۴-۱۹

(حدوداً 20° ولت برای انحراف یک سانتی متر 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 در عمل 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 $5mV$ را تبدیل به سیگنال مورد نیاز صفحات انحراف عمودی نماید. شکل ۴-۲۰ بلوک دیاگرام این تقویت‌کننده را نشان می‌دهد.

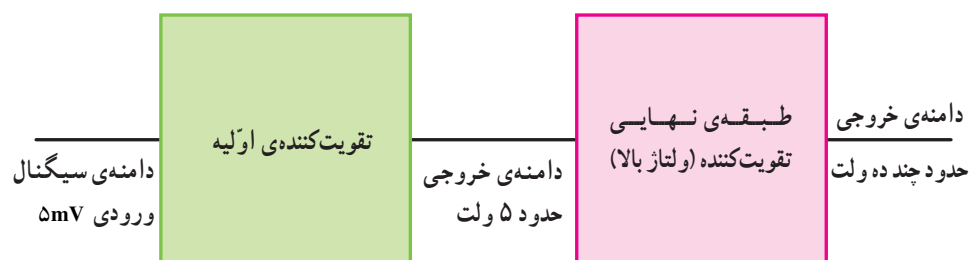
نوک پراب به صورت گیره‌ای فنری است که می‌توان آن را به یک نقطه از مدار وصل کرد. اگر پوشش پلاستیکی نوک پراب را برداریم، نوک آن به صورت سوزنی بوده که در بعضی مواقع از آن استفاده می‌شود. در شکل ۴-۱۸ این موارد نشان داده شده است. انتهای فلزی سیم رابط که به ورودی اسیلوسکوپ وصل می‌شود BNC نام دارد (BNC، سه حرف اول نام مخترع آلمانی این قطعه است). BNC دارای یک شیار مورب است که وقتی آن را به ورودی اسیلوسکوپ وصل کنیم و تقریباً 90° درجه بچرخانیم این قطعه کاملاً به اسیلوسکوپ متصل می‌گردد. همچنین روی پراب کلید $\times 1$ و $\times 10$ قرار دارد که در

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 (اعم از DC و یا AC و یا ترکیبی از این دو) به مدارهای ورودی اسیلوسکوپ رسیده و سپس روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌گردد.

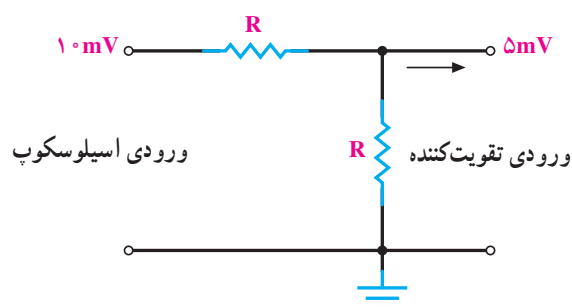
۴-۲-۳- مدارهای تضعیف‌کننده: صفحات انحراف

عمودی برای ایجاد انحراف در اشعه، نیاز به ولتاژ زیادی دارند،



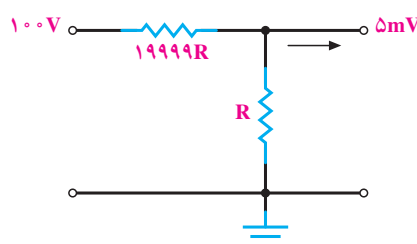
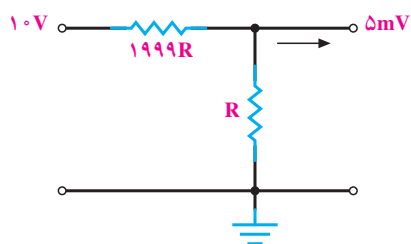
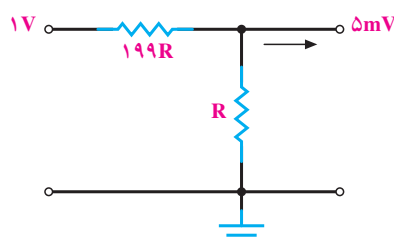
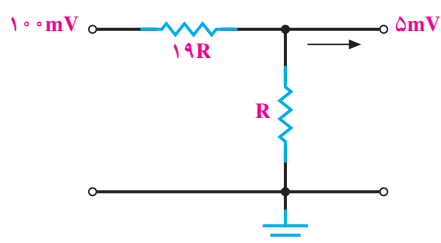
شکل ۴-۲۰ تقویت کننده های اسیلوسکوپ

حال اگر دامنه ی سیگنال، 5mV یا کم تر بود مستقیماً آن 10mV را توسط دو مقاومت مساوی مطابق شکل ۴-۲۱ نصف را به ورودی تقویت کننده ی اولیه وصل می کنیم. دامنه ی سیگنال می کنیم تا به ورودی تقویت کننده فقط 5mV اعمال شود.



شکل ۴-۲۱ مدار تضعیف کننده

اگر دامنه ی سیگنال ورودی 100mV ، یک ولت، 10 را به کار می بریم. ولت و یا 100 ولت و یا ... باشد به ترتیب مدارهای شکل ۴-۲۲



شکل ۴-۲۲ مدارهای تضعیف کننده ی ولتاژ

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.

۴-۳- اسیلوسکوپ دو کاناله

اسیلوسکوپ دو کاناله، اسیلوسکوپی است که می‌تواند دو شکل موج را به‌طور همزمان نشان دهد. شکل ۴-۲۴ یک اسیلوسکوپ دو کاناله را که به‌طور همزمان دو شکل موج روی صفحه‌ی حساس آن نقش بسته است نشان می‌دهد.



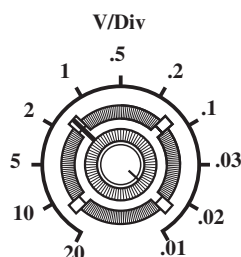
شکل ۴-۲۴- یک اسیلوسکوپ دو کاناله که به‌طور همزمان دو شکل موج را روی صفحه‌ی حساس خود نشان می‌دهد.

اگر بخواهیم دو سیگنال را به‌طور همزمان با اسیلوسکوپ دو کاناله مشاهده کنیم باید این دو 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، شدت نور و Time / Div هر دو کانال یکی است. فقط قسمت کنترل و تقویت‌کننده‌ی اولیه‌ی عمودی سیگنال‌های ورودی دو کانال با یکدیگر تفاوت دارد.

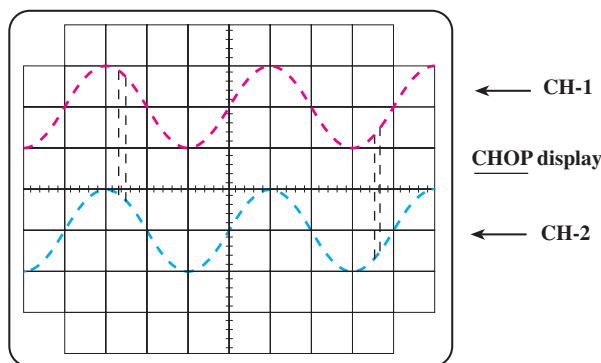
بنابراین سیگنال‌های اعمالی به اسیلوسکوپ را به دلایلی که گفته شد ابتدا تضعیف و سپس تقویت می‌کنند تا بتوانند تمامی سیگنال‌ها (اعم از دامنه‌های mV تا چند ده ولت) را روی صفحه‌ی حساس با حداکثر اندازه (به‌طوری که هر سیگنال ورودی تمامی صفحه‌ی حساس را در برگیرد تا مشاهده و اندازه‌گیری لازم به روی سیگنال با دقت بیش‌تری انجام شود) مشاهده نمایند. عمل تضعیف کردن به‌وسیله‌ی کلید Volt / Div که روی پانل اسیلوسکوپ قرار دارد انجام می‌شود. شکل ۴-۲۳ نمای ظاهری این کلید را روی پانل اسیلوسکوپ نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۳- نمای ظاهری کلید تضعیف‌کننده

ضرایب کلید Volt / Div با توجه 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 بیش‌تر در مواردی است که اندازه‌گیری دامنه مدنظر نباشد بلکه هدف فقط مشاهده‌ی شکل موج باشد. فرض کنید می‌خواهیم شکل یک ولتاژ را

به طور همزمان با استفاده از کلید (ALT) امکان پذیر 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 چشم‌زن، 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. در این روش، لحظه‌ای که سیگنال کانال ۱ نمایش داده می‌شود کانال ۲ قطع است و برعکس؛ چون این نقاط، فوق‌العاده کوچک اند ما آن‌ها را کنار هم و به صورت پیوسته می‌بینیم. شکل ۲۶-۴ دو شکل موج سینوسی هم فرکانس را به صورت Chopping نشان می‌دهد.



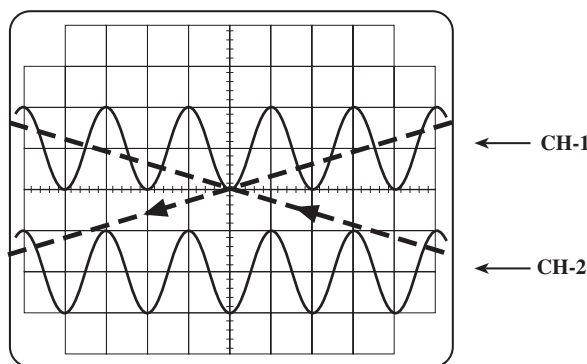
شکل ۲۶-۴ نمایش دو سیگنال روی صفحه‌ی حساس به صورت Chopping

روی اکثر اسیلوسکوپ‌ها، کلیدی به همین نام (CHOP) وجود دارد که برای نمایش دو سیگنال به طور 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 به عهده دارد. روی پانل اسیلوسکوپ‌های دو کاناله کلیدهایی برای نمایش سیگنال یک کانال یا سیگنال دو کانال به طور همزمان وجود دارد که در ذیل به تعدادی از آن‌ها اشاره خواهد شد.

همان‌طور که می‌دانیم، لامپ اشعه‌ی کاتدیک، فقط یک اشعه تولید می‌کند، 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. اما 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 به طور متناوب کانال ۱ و ۲ را نشان می‌دهد. چون فرکانس کار زیاد است، زمانی که کانال ۱ 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 به طور همزمان می‌بینیم.

شکل ۲۵-۴ سیگنال کانال ۱ را در تناوب اول و در تناوب بعد، سیگنال کانال ۲ را نشان می‌دهد.



شکل ۲۵-۴ 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 به طور همزمان ببینیم. اگر فرکانس سیگنال کم باشد، مشاهده‌ی دو شکل موج

یک اسیلوسکوپ دوکاناله) توضیح داده خواهند شد.

۴-۴- کاربردهای عمومی اسیلوسکوپ

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

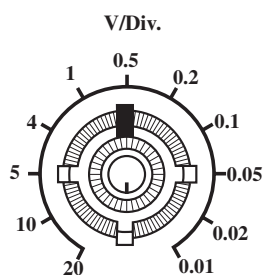
۴-۴-۱- اندازه‌گیری دامنه: صفحه‌ی حساس

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، به طوری که هر خانه به پنج قسمت تقسیم شده و هر قسمت معادل $0.2/2$ و یا 0.1 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 یک وولتاژ 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 به دست می‌آید.

مثال ۱: در شکل ۲۷-۴ دامنه‌ی پیک تا پیک ولتاژ برابر

$$2V = 2V / Div \times 0.5 \times (4 \text{ خانه}) \text{ یا } (2 \text{ cm}) \text{ می‌شود.}$$



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

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

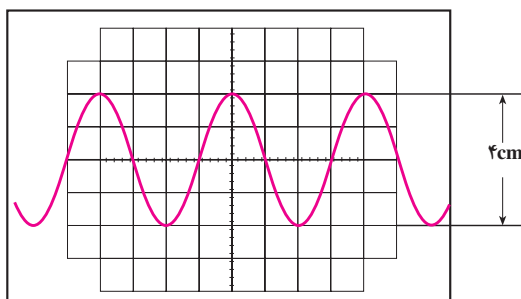
ج - ALT: در این حالت از کلید، سیگنال کانال ۱ و سیگنال کانال ۲ به طور همزمان به روش تناوبی یا Alternation روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌شوند. (برای فرکانس‌های بالاتر از ۱ kHz)

د - CHOP: اگر کلید در حالت CHOP باشد، سیگنال کانال ۱ و سیگنال کانال ۲ به طور همزمان به صورت شکل موج‌های قطعه‌قطعه شده یا Chopping روی صفحه‌ی حساس ظاهر می‌شوند. (کم‌تر از ۱ kHz)

ه - Dual: در بعضی از اسیلوسکوپ‌ها به جای کلیدهای ALT و CHOP کلید Dual وجود دارد که هر دو سیگنال اعمالی به کانال ۱ و ۲ را به طور همزمان نشان می‌دهد. **و - 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 - 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 - 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



شکل ۲۷-۴- 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، می توان برای این منظور مقدار پیک را بر $\sqrt{2}$ تقسیم نمود.

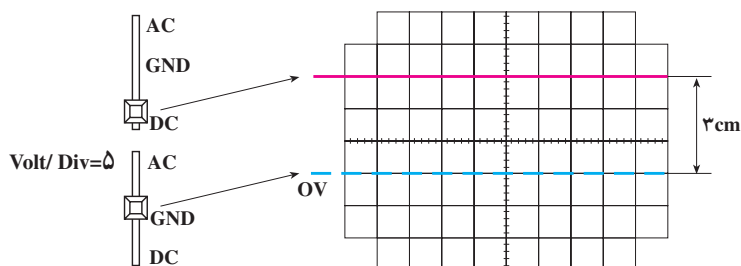
$$V_p = \frac{V_{p-p}}{2} = 1 \text{ ولت}$$

(به خاطر سینوسی بودن) ولت

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707 \text{ V}$$

مثال ۲: مقدار ولتاژ DC شکل ۲۸-۴ برابر

$15 \text{ V} = 5 \text{ Volt / Div} \times (3 \text{ خانه})$ می باشد.



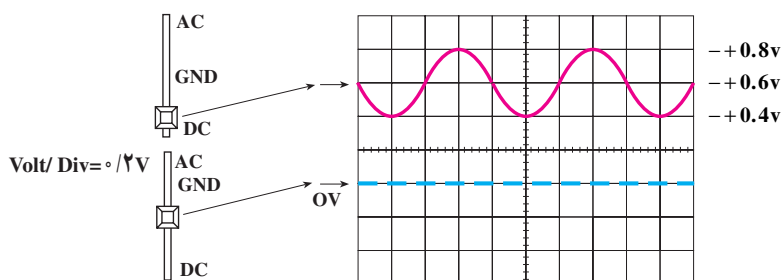
شکل ۲۸-۴ اندازه گیری ولتاژ DC

اگر ولتاژ مورد اندازه گیری ترکیب DC با AC بوده (AC سوار بر DC) و در ضمن دامنه ی AC به راحتی قابل اندازه گیری باشد، دامنه ی AC مطابق آنچه که گفته شد و دامنه ی DC با شمارش خانه ها، از خط صفر تا نقطه ی صفر موج AC،

اندازه گیری می شود.

مثال ۳: در شکل ۲۹-۴ دامنه ی DC برابر ۶/۰ ولت و

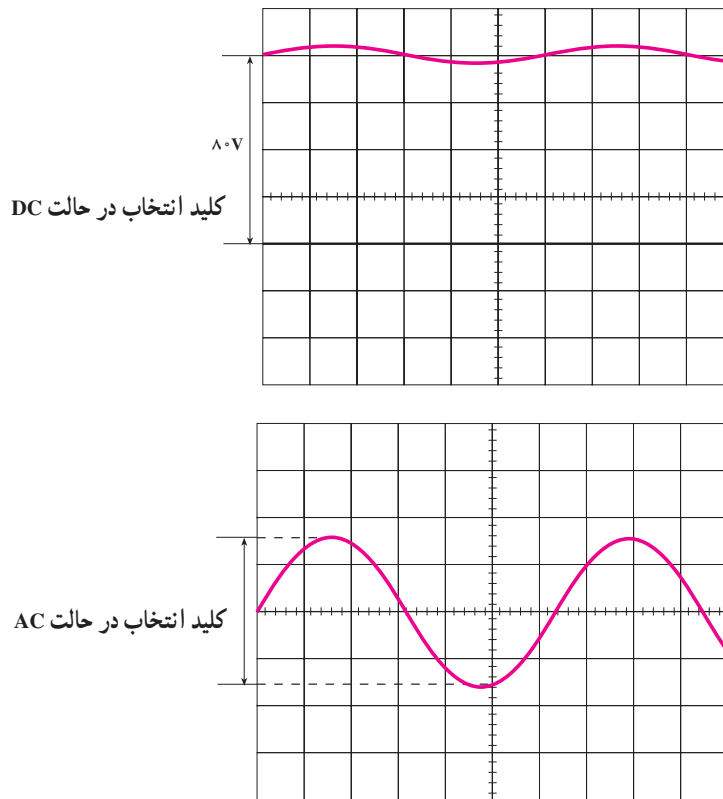
دامنه ی پیک AC برابر ۲/۰ ولت می باشد.



شکل ۲۹-۴ اندازه گیری دامنه های AC و DC (AC سوار بر DC)

مقدار AC قابل اندازه گیری خواهد بود. با قرار دادن کلید انتخاب در حالت DC، می توان مقدار DC را نیز اندازه گرفت. شکل ۳۰-۴ اسیلوسکوپ یک موج با پیک تا پیک ۳/۱ ولتی را، که بر روی یک ولتاژ ۸۰ ولتی سوار است، نشان می دهد.

اگر در اندازه گیری ولتاژ مرکب از AC و DC نتوان دامنه ی AC را درست اندازه گرفت، در این حالت، ابتدا با قرار دادن کلید در حالت GND اشعه را در مرکز صفحه ی حساس تنظیم نموده، سپس کلید انتخاب را در حالت AC قرار می دهیم و ضریب Volt / Div را کم می کنیم، در این حالت به راحتی

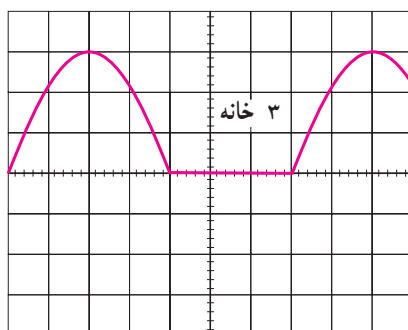


شکل ۳۰-۴ نحوه‌ی اندازه‌گیری ولتاژ AC سوار بر DC

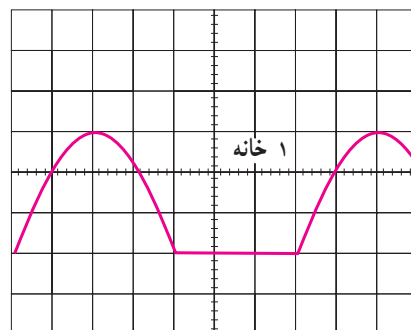


شکل ۳۱-۴ اندازه‌گیری مقدار متوسط یک شکل موج یک‌سو شده‌ی سینوسی را نشان می‌دهد.

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



کلید انتخاب در حالت DC



کلید انتخاب در حالت AC

شکل ۳۱-۴-۱ $10V = 5V \times (2 \text{ خانه})$ شکل جابه‌جا شده است = مقدار متوسط ولتاژ

۴-۴-۲- اندازه‌گیری زمان تناوب: ضرایب کلید

Time / Div، نشان‌دهنده‌ی مدت زمان لازم جهت حرکت اشعه به اندازه‌ی یک خانه (≈ ۱cm) می‌باشد مثلاً اگر سلکتور Time / Div بر روی $50\mu s / Div$ باشد، $50\mu s$ طول می‌کشد تا اشعه مسیر یک خانه را پیماید. با استفاده از این ضرایب می‌توان زمان تناوب شکل موج‌ها را مطابق ذیل محاسبه نمود:

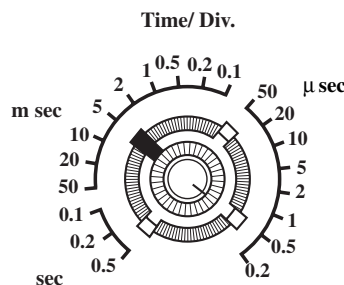
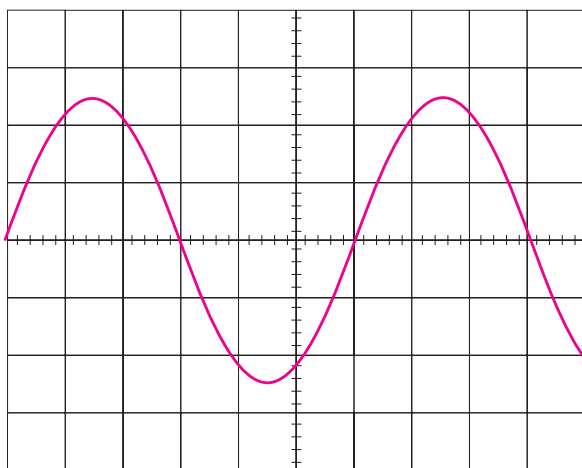
زمان تناوب یک شکل موج نقش بسته روی صفحه‌ی حساس = رنج سلکتور \times Time / Div تعداد خانه‌های در بر گرفته شده

توسط یک سیکل

مثلاً زمان تناوب شکل ۴-۳۲ برابر $30ms$ می‌باشد زیرا:

$$\text{زمان تناوب} = 6 \text{ Div} \times 5 \text{ ms / Div} = 30 \text{ ms}$$

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 حتی‌الامکان یک تناوب از شکل، خانه‌های بیش‌تری را در بر بگیرد.



شکل ۴-۳۲

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 بر بگیرد (در اندازه‌گیری اختلاف فاز، نیازی به تنظیم زمان موج جاروب نیست یعنی می‌توان ولوم Time Variable را از حالت Cal. خارج کرد). سپس عدد 360° را بر تعداد خانه‌های در بر گرفته شده‌ی یک سیکل تقسیم می‌کنیم تا مقدار زاویه‌ی هر خانه مشخص شود (Div / درجه). سپس تعداد خانه‌های اختلاف فاز را در این عدد ضرب می‌نماییم.

مثلاً در شکل ۴-۳۳ اختلاف فاز برابر 18° می‌باشد زیرا:

$$\text{اختلاف فاز} / \text{Div} = \frac{360^\circ}{8} = 45^\circ$$

اختلاف فاز دو سیگنال $18^\circ = 4 \times 45^\circ$ (تعداد

خانه‌های اختلاف فاز)

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 حساس نوشته می‌شود.

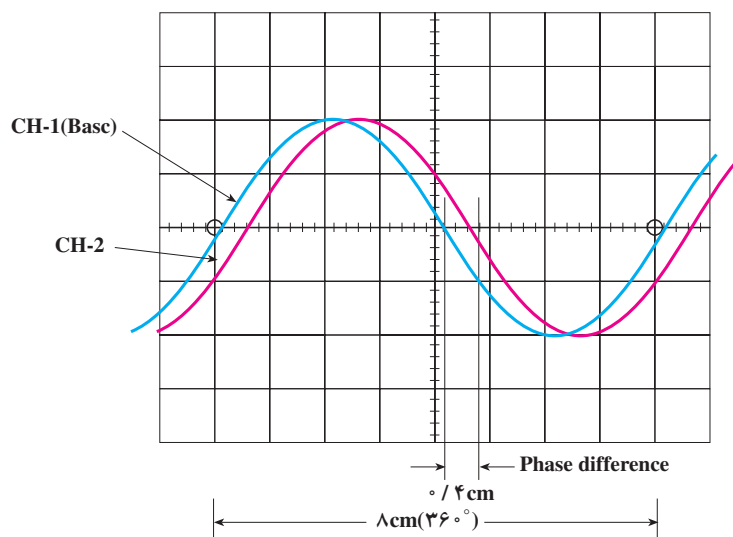
مقدار فرکانس سیگنال شکل ۴-۳۲ برابر $33 / 3 \text{ Hz}$

می‌باشد زیرا:

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

۴-۴-۳- اندازه‌گیری اختلاف فاز: با توجه به این

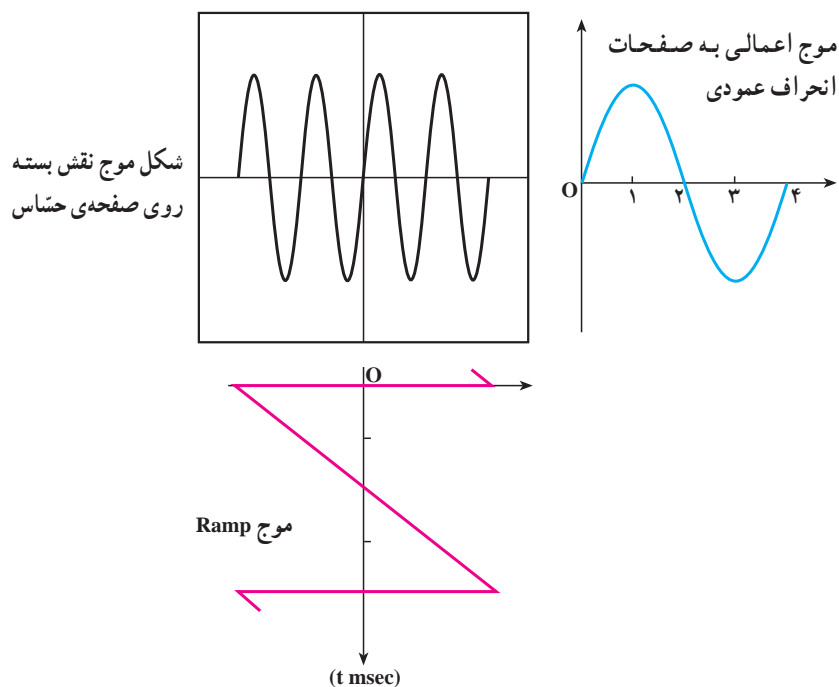
که اسیلوسکوپ‌های دو کاناله قادرند به‌طور همزمان دو شکل موج را نمایش دهند، اندازه‌گیری اختلاف فاز میان دو سیگنال



شکل ۳۳-۴- اختلاف فاز دو سیگنال برابر ۱۸ درجه باشد.

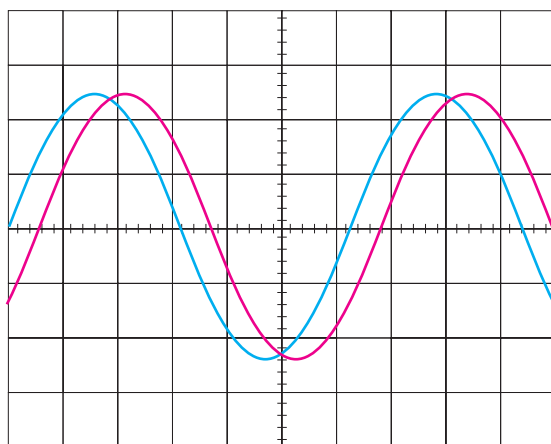
پرسش

- ۱- اشعه‌ی الکترونی چیست؟
- ۲- تولید اشعه‌ی الکترونی چگونه صورت می‌گیرد؟
- ۳- صفحه‌ی حسّاس چیست؟
- ۴- شکل موج چگونه بر روی صفحه‌ی حسّاس نقش می‌بندد؟
- ۵- نقش عدسی الکترونی در لامپ اشعه‌ی کاتدیک چیست؟
- ۶- فوکوس کردن چه مفهومی دارد؟
- ۷- چگونه مقدار نور را روی صفحه‌ی حسّاس تنظیم می‌کنند؟
- ۸- نقش صفحات انحراف افقی و عمودی در لامپ اشعه‌ی کاتدیک چیست؟
- ۹- اگر یک شکل موج سینوسی به صفحات انحراف عمودی و یک ولتاژ DC به صفحات انحراف افقی وصل کنیم روی صفحه‌ی حسّاس شکل موج چگونه ظاهر می‌شود؟
- ۱۰- اگر زمان تناوب موج Ramp برابر ۱۵ ms و زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی برابر 10° ms باشد، شکل موج نقش بسته روی صفحه‌ی حسّاس چگونه است؟
- ۱۱- در شکل ۳۴-۴ زمان تناوب موج جاروب چقدر باید باشد تا شکل موج نشان داده شده، روی صفحه‌ی حسّاس ظاهر شود؟
- ۱۲- 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 حسّاس آشکار می‌شود.



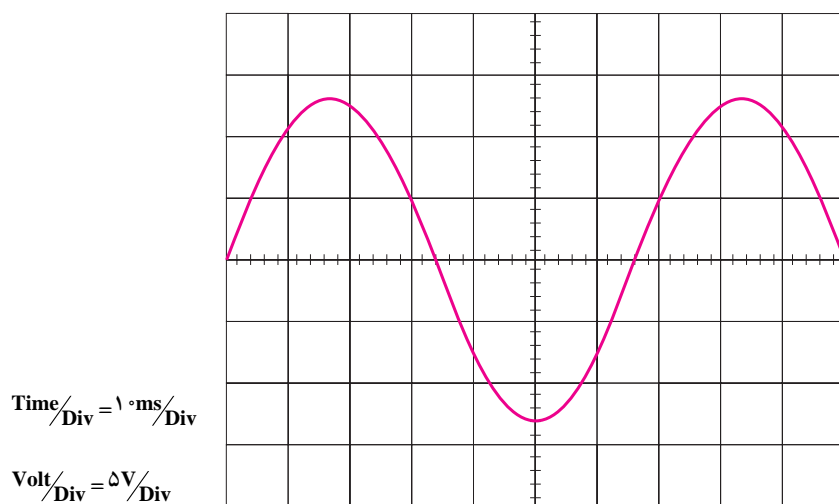
شکل ۳۴-۴- رابطه‌ی بین زمان تناوب موج جاروب و موج سینوسی ورودی

- ۱۳- اسیلوسکوپ چه نوع دستگاهی است؟
- ۱۴- منظور از اسیلوسکوپ 10^6 MHz چیست؟
- ۱۵- فرق حالت AC و DC در کلید انتخاب کدام است؟
- ۱۶- شکل یک مدار تضعیف کننده را رسم کرده و طرز کار آن را توضیح دهید.
- ۱۷- ضرایب کلید Volt/Div ، بیان کننده‌ی چیست؟
- ۱۸- ولوم Volt Variable چه عملی انجام می‌دهد؟
- ۱۹- چرا در تقویت کننده‌ی نهایی از ولتاژهای بالا استفاده می‌کنند؟
- ۲۰- نقش ولوم Level روی پانل اسیلوسکوپ کدام است؟
- ۲۱- ضرایب سلکتور Time/Div بیان کننده‌ی چیست؟
- ۲۲- اسیلوسکوپ دو کاناله چگونه دو شکل موج را به طور همزمان نشان می‌دهد (سیستم ALT و CHOP را به طور کامل توضیح دهید)؟
- ۲۳- چگونه می‌توان با استفاده از اسیلوسکوپ ولتاژ AC و DC یک موج AC سوار بر DC را با دقت اندازه گرفت؟
- ۲۴- اختلاف فاز بین دو سیگنال نمایش داده شده روی صفحه‌ی حساس شکل ۳۵-۴ چند درجه است؟



شکل ۳۵-۴ اندازه‌گیری اختلاف فاز بین دو سیگنال

۲۵- در شکل ۳۶-۴ مقدار ماکزیمم ولتاژ و فرکانس سیگنال را به دست آورید.



شکل ۳۶-۴ اندازه‌گیری ماکزیمم ولتاژ و فرکانس سیگنال

هدف کلی

آشنایی با ساختمان داخلی و طرز کار تعدادی از دستگاه‌های اندازه‌گیری و نحوه‌ی توسعه‌ی حوزه‌ی کار آن‌ها.

فصل ۵

ساختمان دستگاه‌های اندازه‌گیری

- هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که :
 - ساختمان و طرز کار دستگاه اندازه‌گیری با قاب‌گردان را شرح دهد.
 - حساسیت گالوانومتر را تعریف کند.
 - چگونگی استفاده از دستگاه اندازه‌گیری با قاب‌گردان (گالوانومتر دآرسونوال) را به‌صورت ولت‌متر DC و آمپر‌متر DC شرح دهد.
 - چگونگی استفاده از دستگاه اندازه‌گیری با قاب‌گردان را به‌صورت ولت‌متر AC شرح دهد.
 - چگونگی توسعه‌ی رنج اندازه‌گیری جریان ولتاژ را با استفاده از گالوانومتر دآرسونوال بیان کند.
 - چگونگی اندازه‌گیری جریان‌های زیاد DC را به کمک مولتی‌متر شرح دهد.
 - چگونگی استفاده از گالوانومتر دآرسونوال را به‌صورت اهم‌متر سری شرح دهد.
 - ساختمان و طرز کار انواع دستگاه اندازه‌گیری آهن‌نرم‌گردان را شرح دهد.
 - فرق ولت‌متر و آمپر‌متر آهن‌نرم‌گردان را شرح دهد.
 - ساختمان وات‌متر را شرح داده و فرق آن را با گالوانومتر دآرسونوال بیان کند.
 - ساختمان مولتی‌متر دیجیتالی را شرح دهد.
 - مزایای یک مولتی‌متر دیجیتالی را بر مولتی‌متر عقربه‌ای شرح دهد.
 - فعالیت‌های کلاسی را با اعتماد به نفس و به‌طور دقیق انجام دهد.
 - نظم و ترتیب و حضور به‌موقع در کلاس را رعایت کند.
 - مسئولیت‌های واگذار شده را به‌طور دقیق اجرا کند.
 - در موقعیت‌های مناسب از آزمایشگاه مجازی استفاده کند.
 - از امکانات فراهم شده به‌خوبی حفاظت و نگهداری کند.
 - ابهامات و سؤالات خود را در زمان مقتضی بپرسد.

- به سؤالات مطرح شده در زمان مقتضی پاسخ دهد.
- حضور فعال و داوطلبانه در امور مختلف داشته باشد.
- توانمندی‌های خود را در موقعیت‌های مناسب بروز دهد.
- در کارگروهی مشارکت فعال و همکاری مؤثر داشته باشد.
- نسبت به حل مشکلات سایر هنرجویان و ... حساس و فعال باشد.
- سایر هنرجویان را در ارتباط با اجرای نظم و مقررات راهنمایی و تشویق کند.

در صورت امکان با استفاده از نرم افزار مولتی سیم، نحوه‌ی توسعه‌ی حوزه‌ی کار دستگاه‌های اندازه‌گیری را به صورت آزمایشگاه مجازی برای هنرجویان به نمایش در آورید.

۵-۱- دستگاه اندازه‌گیری با قاب گردان و آهنربای دائمی

بسته‌بندی) استفاده می‌شود. در حقیقت تمامی دستگاه‌های اندازه‌گیری که دارای درجه‌بندی خطی هستند و با جریان‌های خیلی کم کار می‌کنند نشان‌دهنده‌ی اصلی همان گالوانومتر می‌باشند.

۵-۱-۱- **ساختمان گالوانومتر دآرسونوال:** شکل ۵-۱ دو نمونه از گالوانومتر دآرسونوال را که در ساختمان دستگاه‌های اندازه‌گیری به کار می‌رود نشان می‌دهد.

دستگاه اندازه‌گیری با قاب گردان و آهنربای دائمی همان میکروآمپر متر یا گالوانومتر است که می‌تواند جریان‌های حدود میکروآمپر (حتی کسری از میکروآمپر) را با دقت بسیار بالا اندازه بگیرد. از این رو از این دستگاه در ساخت ولت‌مترها و آمپرترهای بسیار دقیق و مولتی‌متر (اهم‌متر - ولت‌متر و آمپر‌متر در یک



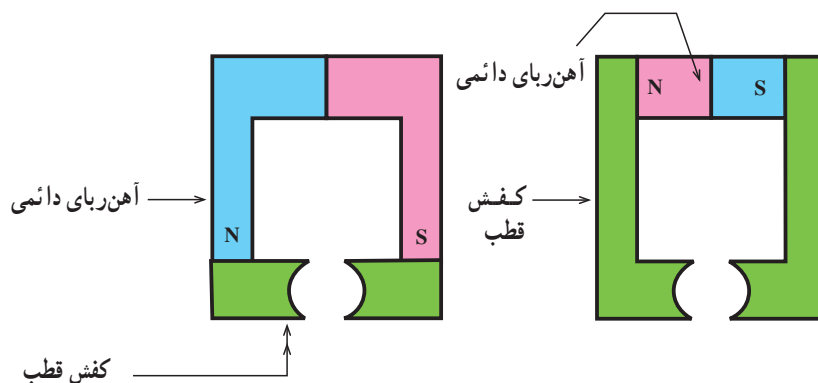
شکل ۵-۱

سیم‌پیچ، که قادر است حول استوانه‌ی آهن نرم بچرخد، تشکیل شده است.

- آهن‌ربای دائمی و کفش قطب‌ها: نقش آهن‌ربای دائمی

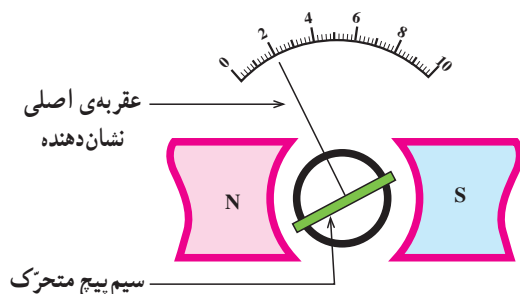
دآرسونوال (D'Arsonval) فردی است که اولین بار، در سال ۱۸۸۴، این گالوانومتر را ساخت. گالوانومتر دآرسونوال از یک آهن‌ربای دائمی، کفش قطب‌ها، استوانه‌ی آهن نرم و یک

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 ۵-۲ دو نمونه آهن‌ربای دائمی همراه با کفش قطب‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲ دو نمونه از آهن‌ربای دائمی و کفش قطب‌ها

انحراف عقربه‌ی گالوانومتر را سنجید. عقربه‌ی دستگاه نیز به یک سیم پیچ که قادر است حول استوانه‌ی آهن نرم بچرخد وصل شده است. سیم پیچ از چندین دور سیم لاکی بسیار نازک که روی یک نوار آلومینیومی پیچیده شده تشکیل شده است. شکل ۵-۴ نمای عمودی وضعیّت قرار گرفتن سیم پیچ حول استوانه‌ی آهنی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۴ نمای عمودی طرز قرار گرفتن سیم پیچ حول استوانه‌ی آهن نرم

چون سیم پیچ باید حرکت کند لذا با دو سوزن (در مدل‌های قدیمی‌تر) که در دو طرف سیم پیچ تعبیه شده‌اند، توسط دو تکیه‌گاه، نگهداشته می‌شود و قادر است حول این دو تکیه‌گاه بچرخد. در ضمن دو فنر نیز جهت ایجاد کویل مقاوم و برگرداندن سیم پیچ بعد از قطع جریان به جای اول (نقطه‌ی صفر) نیز به دو سوزن، وصل شده‌اند. در ضمن فنرها نقش هدایت جریان به سیم پیچ متحرک را نیز به عهده

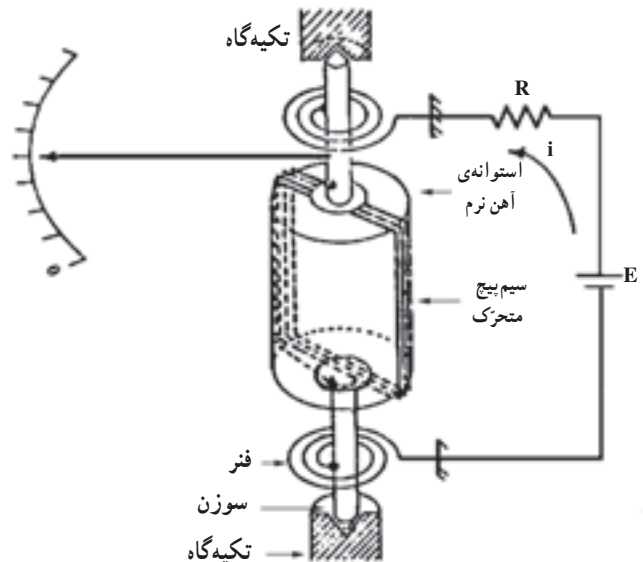
با پیشرفتی که در تکنولوژی حاصل شده است، مجموعه‌های شکل ۵-۲ را به صورت یک پارچه از آهن‌ربای دائمی می‌سازند. در گالوانومتر دآرسونوال برای خطی نمودن درجات، نیاز به میدان یک‌نواخت و شعاعی در فاصله‌ی هوایی است. برای به وجود آوردن چنین میدانی (یک‌نواخت و شعاعی) یک استوانه‌ی آهن نرم را بین کفش قطب‌ها قرار می‌دهند. در شکل ۵-۳ یک نمونه از یک‌نواخت و شعاعی نمودن میدان در یک فاصله‌ی هوایی نشان داده شده است.



شکل ۵-۳ چگونگی ایجاد میدان مغناطیسی یک‌نواخت و شعاعی

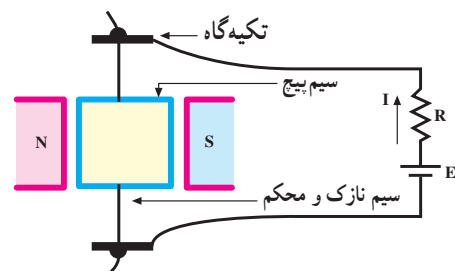
اخیراً بعضی از کارخانه‌های سازنده، فرم آهن‌ربا را طوری می‌سازند که نیازی به استوانه‌ی آهن نرم نباشد و در ضمن، در فواصل مورد نیاز، میدان یک‌نواخت را برای ما ایجاد کند. — سیم پیچ متحرک: همان‌طور که گفته شد گالوانومتر برای اندازه‌گیری جریان‌های با مقدار بسیار کم به کار می‌رود. برای اندازه‌گیری مقدار جریان وارد شده به گالوانومتر باید مقدار

دارند (در صورتی که از فنرها برای هدایت جریان استفاده نکنیم، چون سیم پیچ حرکت می کند باید از تیغه های کلکتور استفاده نماییم که این کار باعث ایجاد اصطکاک شده از حساسیت دستگاه کاسته می شود و آن را نیز تا حدودی غیر خطی می نماید).
 شکل ۵-۵ ساختمان یک گالوانومتر را نشان می دهد.



شکل ۵-۵ - ساختمان یک گالوانومتر

در گالوانومترهای جدیدتر، برای حساس تر کردن و همچنین ساده تر نمودن ساختمان آن، به جای دو عدد سوزن، دو فتر و دو تکیه گاه، سیم پیچ را با دو مفتول بسیار نازک (معمولاً از آلایز برنز یا نقره) با مقطع گرد و یا مستطیلی شکل به دو تکیه گاه ثابت وصل می کنند. هدایت جریان به سیم پیچ متحرک، از طریق دو تکیه گاه صورت می گیرد. همچنین اگر سیم پیچ بچرخد، مفتول نازک نیز تاب خورده ایجاد کوپل مقاوم می کند و بعد از قطع جریان مجدداً سیم پیچ را به حالت اولیه برمی گرداند. عقربه ی نشان دهنده روی سیم پیچ متحرک قرار می گیرد. شکل ۵-۶ ساختمان این نوع



شکل ۵-۶ - مقطع یک گالوانومتر

گالوانومتر را نشان می دهد.

حرکت عقربه (چرخش قاب) با جریان عبوری از آن رابطه ی خطی دارد. از این رو درجه بندی گالوانومتر دآرسونوال، همیشه خطی است. مثلاً اگر به ازای یک میکروآمپر جریان، عقربه یک درجه منحرف شود به ازای دو میکروآمپر جریان دو درجه منحرف خواهد شد. گالوانومتر دآرسونوال تنها دستگاه اندازه گیری است که درجه بندی آن کاملاً خطی است.

بر طبق تعریف، حساسیت عبارت است از نسبت زاویه ی گردش عقربه (θ) به جریان عبوری از سیم پیچ (I) و طبق رابطه ی ۵-۱ نوشته می شود.

$$S' = \frac{\text{زاویه ی گردش عقربه}}{\text{جریان عبوری از سیم پیچ}}$$

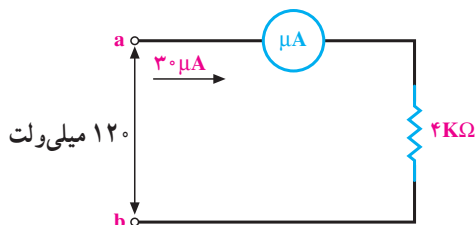
$$(5-1) \quad S' = \frac{\theta}{I} \left(\frac{\text{درجه}}{\text{میکروآمپر}} \text{ یا } \frac{\text{رادیان}}{\text{آمپر}} \right) \dots$$

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 می توان گفت که از دو گالوانومتر موجود، به ازای عبور جریان برابر، آن که انحرافش بیش تر است، حساس تر است.

برای ولت مترها حساسیت را معمولاً برحسب $(\frac{\Omega}{V})$

مشخص می نمایند. مقدار عددی $\frac{\Omega}{V}$ ، معکوس مقدار عددی جریان انحراف کامل گالوانومتر برحسب آمپر می باشد. مثلاً اگر در یک گالوانومتر حساسیت $\frac{K\Omega}{V}$ باشد برای انحراف کامل آن نیاز به $50 \mu A = \frac{1}{20 K\Omega}$ جریان دارد.

فرض کنید در یک گالوانومتر $R_G = 4K\Omega$ و جریان انحراف تمام اشل آن $30\mu A$ باشد. به ازای عبور جریان $30\mu A$ ، دو سر گالوانومتر 120 میلی ولت ولتاژ افت می کند.

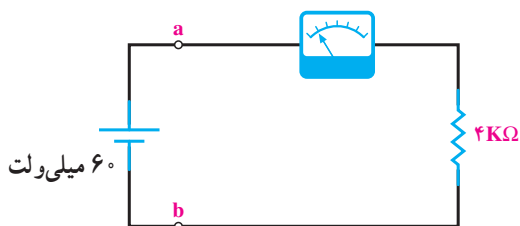


شکل ۵-۸ - به ازای عبور جریان $30\mu A$ از گالوانومتر، دو سر آن 120 میلی ولت ولتاژ افت می کند.

حال اگر به جای $30\mu A$ ، $15\mu A$ جریان را به گالوانومتر اعمال نماییم، اولاً عقربه 50% مقدار قبلی حرکت می کند و ثانیاً افت ولتاژ دو سر گالوانومتر 60 میلی ولت خواهد شد ($4K\Omega \times 15\mu A = 60mV$).

حال اگر مطابق شکل ۵-۹ به ورودی گالوانومتر با مشخصات فوق $R_G = 4K\Omega$ و $I_G = 30\mu A$ (جریان انحراف تمام اشل) یک منبع ولتاژ 60 میلی ولتی وصل کنیم، جریان عبوری از مدار $15\mu A = 60mV / 4K\Omega$ خواهد شد و عقربه 50% انحراف خواهد داشت. حال اگر به جای 60 میلی ولت، 120 میلی ولت را اعمال نماییم جریان عبوری از گالوانومتر $30\mu A = 120mV / 4K\Omega$ خواهد شد و انحراف عقربه 100% خواهد شد.

مجموعه ی گالوانومتر فوق را می توان به عنوان یک میلی ولت متر $120mV$ - در نظر گرفت. همچنان که می توان مجموعه ی گالوانومتر را به عنوان میکرو آمپر متر $30\mu A$ - نیز در نظر گرفت.



شکل ۵-۹ - به ازای اعمال $60mV$ ولتاژ به گالوانومتر، انحراف 50% خواهد بود.

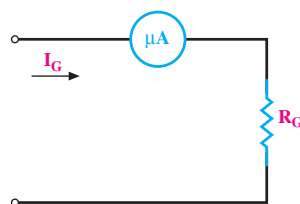
حال اگر در گالوانومتر دیگری حساسیت $\frac{K\Omega}{V}$ 100 باشد، برای انحراف کامل آن نیاز به $10\mu A = \frac{1}{100 \cdot K\Omega}$ جریان دارد. از دو مثال بالا این نتیجه به دست می آید که هر قدر عدد $\frac{\Omega}{V}$ یک گالوانومتر بیش تر باشد، دستگاه حساس تر است. اگر بخواهیم از این دستگاه به عنوان ولت متر استفاده کنیم هر قدر عدد $\frac{\Omega}{V}$ آن بیش تر باشد (در حقیقت امپدانس ورودی آن بیش تر باشد) خطای اندازه گیری کم تر می شود.

۵-۱-۲- ساختمان ولت متر DC: همان طور که دیدیم

حرکت عقربه ی گالوانومتر به صورت خطی با عبور جریان از سیم پیچ رابطه داشت و طبق رابطه ی ۵-۲ به دست می آمد.

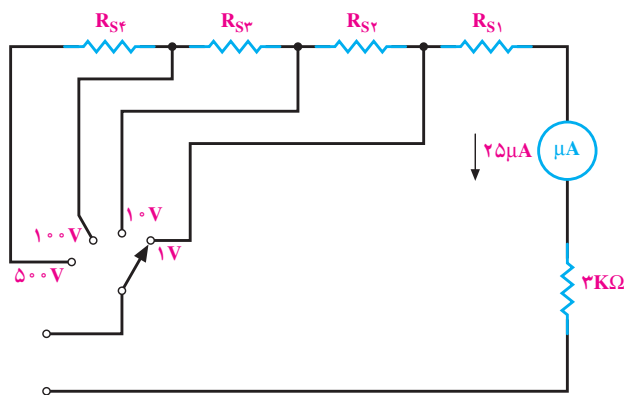
$$\theta = K \cdot I \quad (5-2)$$

به عنوان مثال، اگر یک گالوانومتر $50\mu A$ داشته باشیم بدین معنی است که به ازای عبور جریان $50\mu A$ ، انحراف آن کامل بوده (100% انحراف کامل) و به ازای عبور جریان $25\mu A$ انحراف آن نصف (50% 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 $R_G \cdot I_G$ به وجود خواهد آمد. شکل ۵-۷ علامت فنی یک گالوانومتر را نشان می دهد.



شکل ۵-۷ - علامت فنی گالوانومتر دآرسونوال

مقدار R_G در گالوانومترها معمولاً بین 200 تا 5000 اهم است (البته این مقدار مقاومت، اندکی مربوط به مقاومت اهمی سیم پیچ است و مابقی را به خاطر مسائل دینامیکی گالوانومتر به طور مصنوعی با سیم پیچی سری می نمایند).



شکل ۵-۱۱- ساختمان ولت متر مثال ۱

ولتاژی که دو سر گالوانومتر افت می نماید

$$V_G = R_G \cdot I_G = 3K\Omega \times 25\mu A = 75mV$$

$$R_{s1} = \frac{100mV - 75mV}{25\mu A} = 37K\Omega$$

$$R_{s2} = \frac{10V - 1V}{25\mu A} = 360K\Omega$$

$$R_{s3} = \frac{100V - 10V}{25\mu A} = 3.6M\Omega$$

$$R_{s4} = \frac{500V - 100V}{25\mu A} = 16M\Omega$$

۵-۱-۳- ساختمان ولت متر AC: رابطه ی انحراف

عقربه با جریان عبوری از سیم پیچ متحرک (قاب) به صورت $\theta = KI$ بود. حال اگر به جای جریان DC، جریان AC به سیم پیچ اعمال نماییم حرکت قاب نیز به صورت متناوب خواهد شد زیرا طبق رابطه ی ۵-۴ خواهیم داشت :

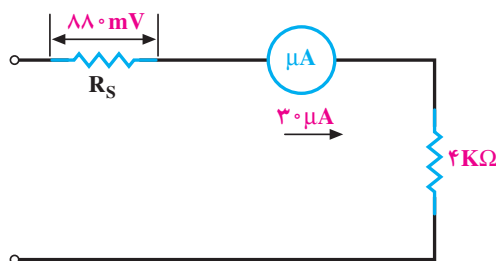
$$KI = KI_m \sin \omega t = \theta_m \sin \omega t \quad (5-4)$$

بنابراین، عقربه ی نشان دهنده باید نوسان کند. پس اگر مستقیماً ولتاژ AC را به گالوانومتر اعمال کنیم امکان اندازه گیری آن وجود ندارد (در عمل، قاب را طوری می سازند 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 نمی کند). برای اندازه گیری ولتاژ AC، ابتدا آن را تبدیل به DC نموده سپس اندازه می گیرند. شکل ۵-۱۲ یک نمونه ولت متر

اگر گالوانومتر، با مشخصات فوق را به عنوان میلی ولت متر $120mV$ در نظر بگیریم و بخواهیم ولتاژهای بیش تر از $120mV$ را با آن اندازه بگیریم، باید مازاد $120mV$ را در یک مقاومت اهمی که با گالوانومتر سری می کنیم افت بدهیم. در هر حال جریان عبوری از گالوانومتر نباید از $30\mu A$ تجاوز کند. فرض کنید می خواهیم ولتاژ $1V$ را با میلی ولت متر $120mV$ اندازه بگیریم. برای این کار باید $880mV$ میلی ولت ولتاژ را در مقاومت سری شده با گالوانومتر افت بدهیم و از طرفی باید جریان مدار همان $30\mu A$ باشد لذا می توان مطابق شکل ۵-۱۰ مقاومت سری شده با گالوانومتر (R_s) را محاسبه نمود.

با توجه به شکل ۵-۱۰ محاسبه ی R_s مطابق رابطه ی ۵-۳ خواهد بود.

$$R_s = \frac{880mV}{30\mu A} = 29.33K\Omega \quad (5-3)$$



شکل ۵-۱۰- یک ولت متر ۱-۰ ولت به کمک یک میلی ولت متر $120mV$

توجه داشته باشید که در محاسبات، برای حداکثر ولتاژ، حداکثر انحراف در نظر گرفته می شود. با اضافه نمودن مقاومت های دیگر، می توان یک ولت متر چند رنج (مولتی رنج) ساخت.

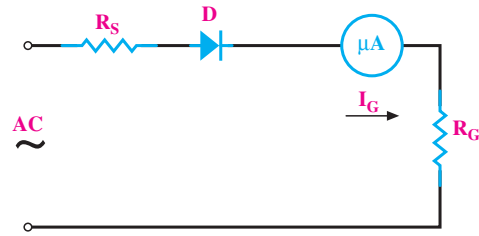
مثال ۱: یک گالوانومتر با مشخصات $R_G = 3K\Omega$ و $I_G = 25\mu A$ (جریان انحراف تمام اشل) در دسترس است، می خواهیم یک ولت متر با رنج های $1V$ ، $10V$ ، $100V$ ، $500V$ داشته باشیم، مقاومت هایی را که باید با این گالوانومتر سری شوند محاسبه نمایید.

حل: ابتدا شکل ولت متر را رسم می کنیم :

AC را نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری ولتاژهای کم نیستند؛ از این رو، این گونه ولت‌مترها برای کم‌تر از یک ولت معمولاً درجه‌بندی نمی‌شوند.

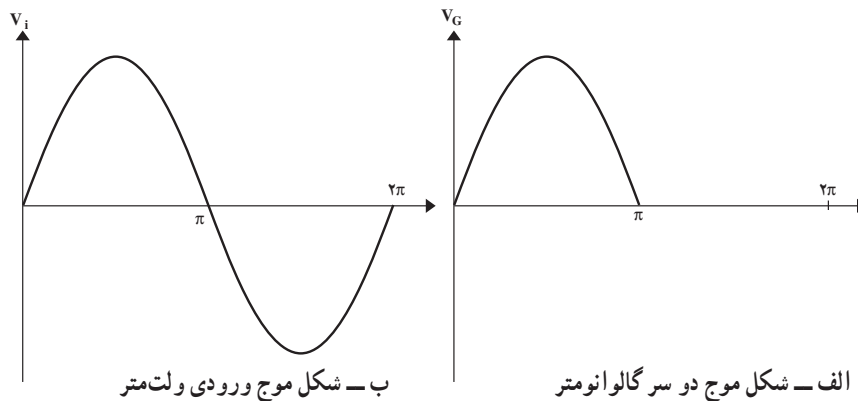
برای محاسبه‌ی مقاومت‌های سری شده با گالوانومتر در ولت‌متر AC، باید دو نکته را در نظر داشت. اول این که ولتاژ AC بر حسب مؤثر سنجیده می‌شود و درجه‌بندی گالوانومتر باید مقدار مؤثر ورودی را نشان دهد و دوم این که خود گالوانومتر با جریان DC کار می‌کند، یعنی باید مقدار DC جریان (یا ولتاژ) بعد از یک سو شدن را در نظر گرفت و یا به عبارتی رابطه‌ی بین مؤثر ورودی و متوسط (DC) دو سر گالوانومتر را مدّ نظر قرار داد.



شکل ۵-۱۲ یک نمونه‌ی ساده‌ی ولت‌متر AC

شکل ۵-۱۳ شکل موج ورودی ولت‌متر و شکل موج دو سر گالوانومتر را نشان می‌دهد.

چون برای هدایت دیود، ولتاژی حدود $0.6V$ لازم است و از طرفی این $0.6V$ ولت با تغییرات دمای محیط نیز تغییر می‌کند، لذا ولت‌مترهای AC معمولی قادر به



شکل ۵-۱۳

محاسبه‌ی افت ولتاژ دو سر دیود، یک مقاومت حدود $3K\Omega$ را به جای آن در نظر می‌گیرند.

مثال ۲: یک گالوانومتر به مشخصات $R_G = 4K\Omega$ و $I_G = 30\mu A$ در دسترس است می‌خواهیم با آن یک ولت‌متر AC، با رنج $0-10V$ ، بسازیم. مقاومتی را که باید با گالوانومتر سری کنیم محاسبه نمایید.

حل: ابتدا ولتاژ DC مدار را محاسبه می‌کنیم:

$$V_{av} = 0.45V_{eff} = 0.45 \times 10 = 4.5V$$

حال فرض می‌کنیم می‌خواهیم یک ولت‌متر DC مونتاژ کنیم که ولتاژ ماکزیمم ما $4.5V$ است، لذا داریم:

از طرفی می‌دانیم:

$$V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad V_m = \sqrt{2} V_{eff} \quad (5-5)$$

مقدار متوسط شکل موج دو سر گالوانومتر از رابطه‌ی

۵-۶ به دست می‌آید.

$$V_{av} = \frac{V_m}{\pi} = \frac{\sqrt{2} V_{eff}}{\pi} = 0.45 V_{eff} \quad (5-6)$$

رابطه‌ی ۵-۶ بیان می‌کند که اگر ولتاژ مؤثر ورودی، یک

ولت باشد ولتاژ متوسط برابر $0.45V$ ولت می‌باشد. از رابطه‌ی

۵-۶ برای محاسبه‌ی مقاومت‌های R_s استفاده می‌شود.

افت ولتاژ دو سر دیود نیز به دلیل غیرخطی بودن رفتار

دیود به سادگی قابل محاسبه نیست و به طور تجربی به جای

(بدون احتساب دیود)

$$R'_s = \frac{4/5 - (4K\Omega \times 3\mu A)}{3\mu A} = 146K\Omega$$

به جای دیود یک مقاومت $3K\Omega$ در نظر می گیریم لذا :

$$R_s = 146 - 3 = 143K\Omega$$

مثال ۳: مقاومت هایی را که باید با یک گالوانومتر

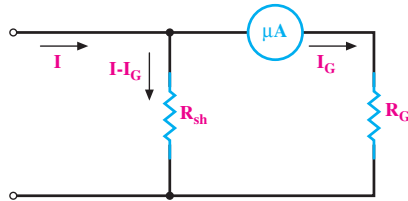
($R_G = 4K\Omega$ و $I_G = 3\mu A$) سری نمود تا بتوان رنج های

$6V$ ، $30V$ ، $120V$ ، $300V$ را در ولت متر ایجاد

نمود.

حل: ابتدا شکل ولت متر را رسم می کنیم. ولت متر یاد

شده در شکل ۵-۱۴ رسم شده است.



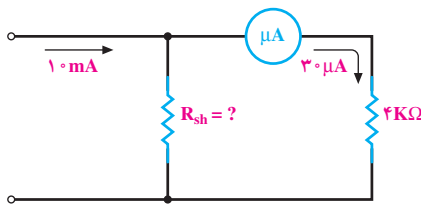
شکل ۵-۱۵ یک آمپر متر DC با جریان قابل اندازه گیری I

مثال ۴: یک گالوانومتر با مشخصات $R_G = 4K\Omega$ و

$I_G = 3\mu A$ (جریان انحراف تمام اشل) در دسترس است.

می خواهیم با قرار دادن یک مقاومت شنت، جریان $1mA$ را

با آن اندازه بگیریم. مقدار مقاومت شنت باید چند اهم باشد؟



شکل ۵-۱۶ میلی آمپر متر $1mA$

حل: از مقاومت شنت باید جریان $3\mu A - 1mA$ عبور

کند. از طرفی ولتاژ دو سر مقاومت شنت برابر $4K\Omega \times 3\mu A$

می باشد، لذا R_{sh} از رابطه ی ۵-۷ به دست می آید.

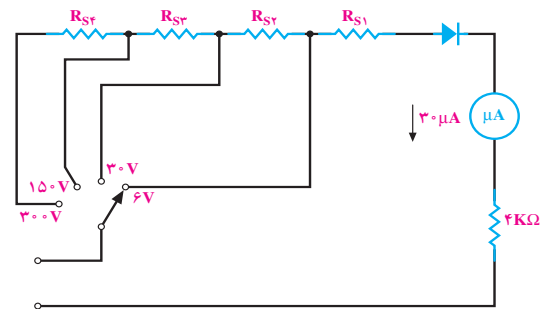
(۵-۷)

$$R_{sh} = \frac{U_{sh}}{I_{sh}} = \frac{R_G \cdot I_G}{I - I_G} = \frac{4K\Omega \times 3\mu A}{1mA - 3\mu A} = 12\Omega$$

توجه داشته باشید که جریان گالوانومتر از رابطه ی ۵-۸

به دست می آید (تقسیم جریان به دو شاخه ی موازی).

$$I_G = I \frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_G} \quad (5-8)$$



شکل ۵-۱۴ ولت متر مثال ۳

$$R'_{S1} = \frac{0/45 \times 6 - (4K\Omega \times 3\mu A)}{3\mu A} = 86K\Omega$$

$83K\Omega$ (به جای دیود یک مقاومت $3K\Omega$ در نظر

می گیریم) $R_{S1} = 86K\Omega -$

$$R_{S2} = \frac{0/45 \times 30 - 6 \times 0/45}{3\mu A} = 360K\Omega$$

$$R_{S3} = \frac{150 \times 0/45 - 30 \times 0/45}{3\mu A} = 1/8M\Omega$$

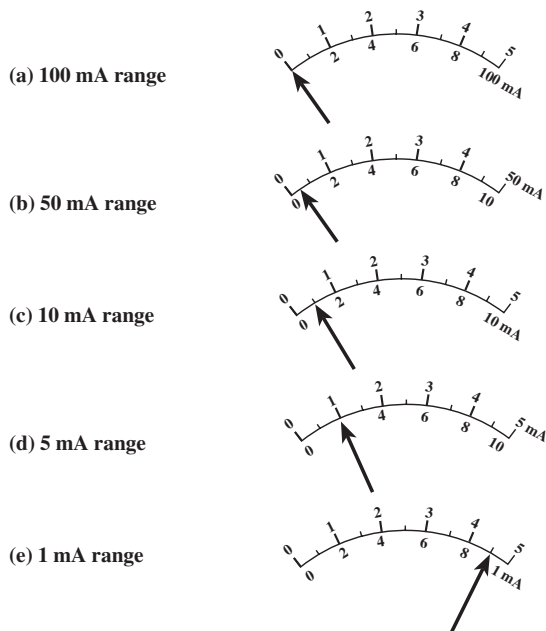
$$R_{S4} = \frac{300 \times 0/45 - 150 \times 0/45}{3\mu A} = 2/25M\Omega$$

۴-۱-۵-۵: آمپر متر DC: گالوانومتر دآرسونوال خود

یک میکروآمپر متر است که معمولاً در رنج $3\mu A$ و یا

$50\mu A$ می تواند مورد استفاده قرار گیرد. اما در عمل نیاز به

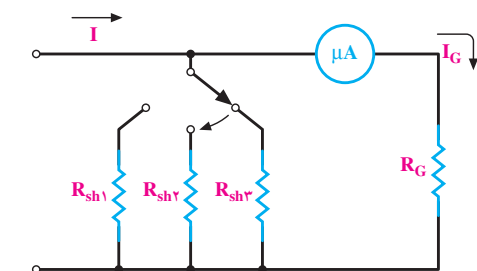
اندازه گیری جریان های بیش تری است. برای اندازه گیری



شکل ۵-۱۸- اثرات انتخاب رنج روی قرائت مقادیر

همان‌طور که از شکل ۵-۱۸ پیداست زمانی که کلید رنج جریان روی 100 mA باشد به‌ازای 91 mA جریان، حرکت عقربه تقریباً یک درصد بوده و لذا قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد؛ اگر کلید رنج روی 50 mA باشد حرکت عقربه دو درصد است که باز هم با دقت قابل قرائت نیست.

زمانی که کلید رنج روی 1 mA باشد به دقت کافی می‌توان مقدار 91 mA را قرائت کرد. در عمل همیشه کلید رنج را طوری انتخاب می‌کنیم که حداکثر انحراف ممکن را داشته باشیم. آمپرمتر مولتی‌رنج شکل ۵-۱۷ دارای یک عیب است و آن این که هنگام عوض کردن رنج، یک لحظه شنت از مدار قطع می‌شود و تمامی جریان I از گالوانومتر می‌گذرد که در این صورت ممکن است صدمه‌ی جدی به گالوانومتر وارد آید. این حالت در شکل ۵-۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۹- هنگام عوض کردن کلید، در یک لحظه مقاومت شنت از مدار قطع می‌شود.

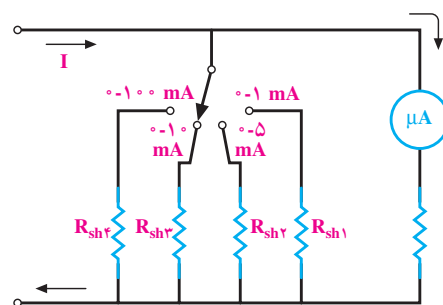
نسبت $\frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_G}$ عددی ثابت است (همواره کوچک‌تر

از ۱) لذا طبق رابطه‌ی ۵-۹ خواهیم داشت:

$$I_G = K_1 \cdot I \quad (5-9)$$

مفهوم رابطه‌ی ۵-۹ این است که تغییرات I مستقیماً و به‌صورت خطی روی I_G اثر می‌گذارد. یعنی اگر به‌عنوان مثال I نصف شود I_G نیز نصف خواهد شد و انحراف 5% 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 ۵-۱۷ یک آمپرمتر چند رنج را نشان می‌دهد.

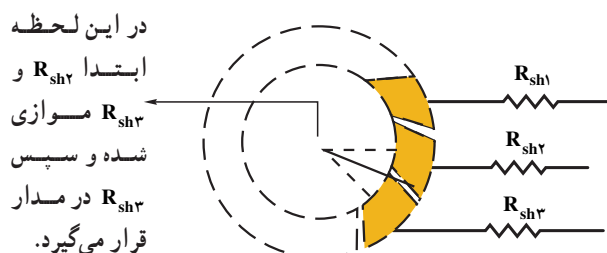
برای محاسبه‌ی هر یک از مقاومت‌های شنت، به‌طور جداگانه برای هر شنت مقدار R را محاسبه می‌کنیم (چون R ‌ها مستقل از یکدیگرند).



شکل ۵-۱۷- یک آمپرمتر مولتی‌رنج

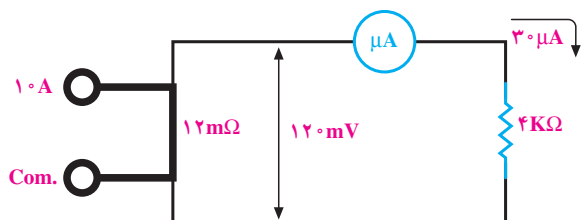
قبل از ادامه‌ی بحث، به یک سؤال جواب می‌دهیم و آن این است که چرا از آمپرمتر یا ولت‌متر و یا... مولتی‌رنج استفاده می‌کنیم. فرض کنید بخواهیم یک جریان 91 mA را اندازه بگیریم. در شکل ۵-۱۸ نحوه‌ی قرائت و مقدار حرکت عقربه‌ی میلی‌آمپرمتر، به‌ازای اعمال جریان 91 mA در پنج رنج (1 mA ، 5 mA ، 10 mA ، 50 mA و 100 mA)، نشان داده شده است.

در مولتی مترها برای رفع عیب فوق، مدار چایی را طوری می سازند که در هنگام عوض کردن کلید رنج، ابتدا مقاومت دوم وصل شود و سپس مقاومت اول قطع گردد؛ به عبارتی در یک لحظه ای کوتاه دو مقاومت شنت موازی می شوند. شکل ۵-۲۰ چگونگی این عمل را نشان می دهد.



شکل ۵-۲۰ چگونگی عوض کردن کلید رنج به طوری که یک لحظه ای کوتاه حالت قطع پیش نیاید.

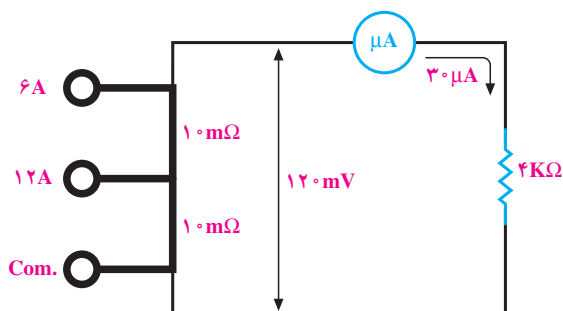
برای اندازه گیری جریان های زیاد به کمک مولتی متر، از جریان نمونه برداری می کنند. چون اتصالات مولتی متر توسط مدار چایی تأمین می شود لذا عبور جریان زیاد از مدار چایی، در صورتی که پهنای آن زیاد نباشد، سریعاً گرم شده و می سوزد. از طرفی کلید سلکتور مولتی متر توانایی قطع و وصل جریان زیاد را ندارد. در صورتی که بخواهند کلیدی بسازند که قدرت قطع و وصل جریان زیاد را داشته باشد، حجم آن خیلی بزرگ خواهد شد. از این رو ترمینال جریان زیاد را در روی مولتی مترها به صورت جداگانه ساخته، بین ترمینال منفی و ترمینال جریان زیاد یک مقاومت بسیار کم ولی پرقدرت قرار می دهند. بر اثر عبور جریان از مقاومت، ولتاژ دو سر آن افت می کند. حال این ولتاژ که متناسب با جریان است اندازه گیری می شود. شکل ۵-۲۱ چگونگی این عمل را نشان می دهد.



شکل ۵-۲۱ چگونگی اندازه گیری جریان های زیاد با مولتی متر

در شکل ۵-۲۱ اگر از مقاومت $12\text{m}\Omega$ ، جریان 10A عبور کند ولتاژ دو سر مقاومت 120mV افت می کند و میلی ولت متر صد و بیست میلی ولتی، انحراف تمام اشل را خواهد داشت. حال اگر به جای 10A ، 5A جریان از مدار عبور کند، ولتاژ دو سر مقاومت $12\text{m}\Omega$ ، برابر 60mV خواهد شد و انحراف عقربه 50% خواهد شد. در روی صفحه ای سنجش مولتی متر به صورت خطی از صفر تا 10A را مدرج می کنند.

در صورتی که مولتی متر دارای دو رنج جریان زیاد باشد دو ترمینال جداگانه روی مولتی متر قرار می دهند. شکل ۵-۲۲ یک نمونه از این مولتی متر را که دارای دو رنج جریان زیاد است نشان می دهد.



شکل ۵-۲۲ آمپر متر جریان زیاد با دو رنج ۶ و ۱۲ آمپر

۵-۱-۵ اهم متر سری: اگر در یک مدار سری که شامل یک باتری، تعدادی مقاومت های اهمی و یک گالوانومتر دآرسونوال است مقدار مقاومت اهمی مدار تغییر کند، جریان مدار تغییر نموده باعث تغییر انحراف عقربه ای گالوانومتر خواهد شد. می توان رابطه ای بین تغییرات حرکت عقربه ای گالوانومتر، برحسب تغییرات مقاومت اهمی پیدا کرد. در این صورت خواهیم توانست صفحه ای مدرج مولتی متر را برحسب مقاومت اهمی مدرج نماییم.

اهم متر سری از یک گالوانومتر دآرسونوال، یک مقاومت ثابت، یک مقاومت متغیر و یک منبع تشکیل شده است که همگی به صورت سری وصل شده اند. شکل ۵-۲۳ ساختمان ساده ای یک اهم متر سری را نشان می دهد.

۵-۲- 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 ۵-۲۵ از نوع آهن نرم گردان می‌باشد. به درجه‌بندی آن توجه نمایید.

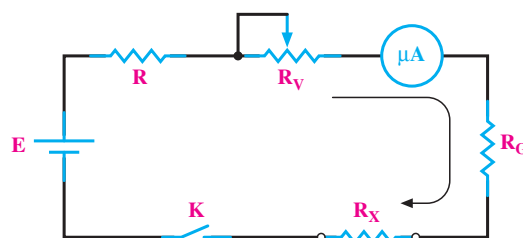


شکل ۵-۲۵- یک نمونه آمپر‌متر تابلویی

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:

۵-۲-۱- 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



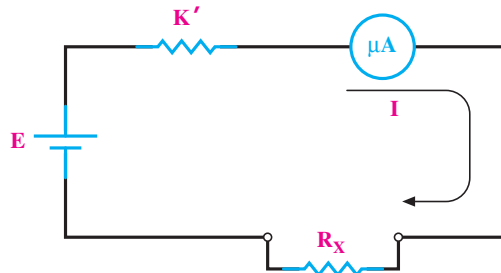
شکل ۵-۲۳- ساختمان یک اهم‌متر سری

مدار اهم‌متر عملی، اندکی با مدار شکل ۵-۲۳ تفاوت دارد. در مدار شکل ۵-۲۳ اگر $R_x = 0$ (مقاومت مجهول) حداکثر جریان از مدار عبور می‌کند. بنابراین با قرار دادن مقاومت R جریان مدار را در حد جریان گالوانومتر دآرسونوال ثابت می‌کنند (مثلاً حدود $30\mu A$) چون به مرور زمان مقدار ولتاژ منبع (باتری) تغییر می‌کند برای تنظیم جریان به میزان $30\mu A$ مقدار R_v را (که مقاومتی متغیر است و از روی پانل اهم‌متر در دسترس است) کم می‌کنیم. به هر حال مقاومت R و R_v و R_g هر سه، نقش کنترل جریان را در مدار به عهده دارند. مثلاً اگر ولتاژ باتری $1/5$ ولت $R_g = 4K\Omega$ باشد جمع مقدار R و R_v باید $46K\Omega$ باشد تا جریان مدار $30\mu A$ گردد. حال اگر ولتاژ دو سر باتری برابر $1/4$ ولت باشد مقدار R_v را باید حدود $3/3$ کیلو اهم کم کرد تا جریان مدار $30\mu A$ ثابت بماند. برای بررسی طرز کار اهم‌متر فرض می‌کنیم ولتاژ دو سر باتری همواره ثابت بماند. لذا مجموع مقاومت‌های R و R_v نیز ثابت می‌باشد و با حرف K' نشان می‌دهیم.

$$K' = R + R_v + R_g \quad (5-10)$$

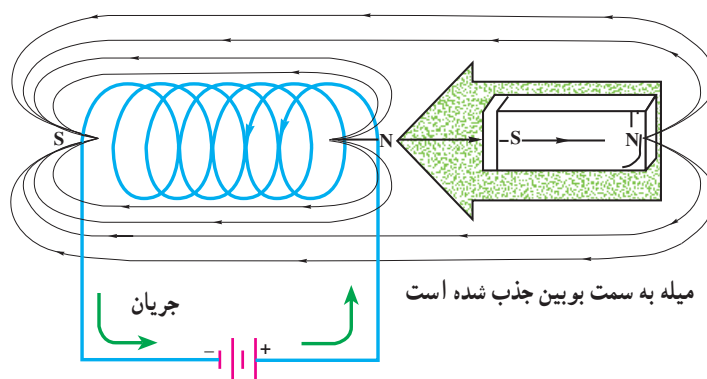
مدار اهم‌متر را به‌صورت ساده‌تر مطابق شکل ۵-۲۴

نمایش می‌دهیم:



شکل ۵-۲۴- مدار ساده‌ی یک اهم‌متر سری

اساس تشکیل دستگاه اندازه‌گیری با آهن گردان را به وجود می‌آورد که بعداً توضیح داده خواهد شد (شکل ۵-۲۶).



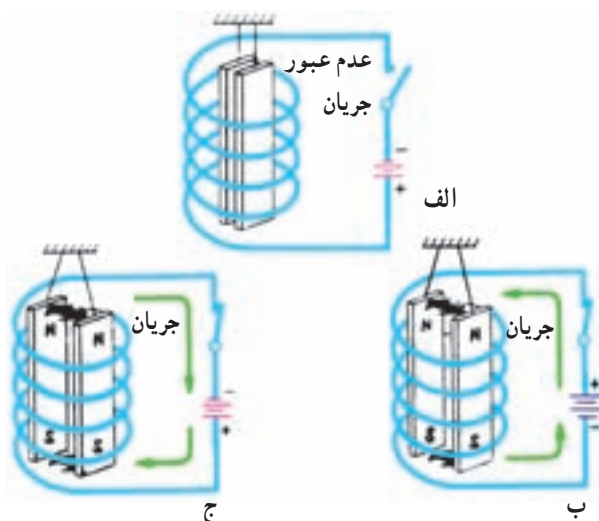
شکل ۵-۲۶ از آنجایی که قطب‌های ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند، میله‌ی آهنی که در شکل با پلاریته نشان داده شده است مغناطیس شده و توسط سیم پیچ جذب می‌شود.

اگر جهت جریان در سیم پیچ عوض شود چه اتفاقی می‌افتد؟
دستگاه اندازه‌گیری آهن نرم گردان به سه شکل ساخته می‌شود که عبارت‌اند از:

- الف - با پره‌های شعاعی
- ب - با پره‌های متمرکز
- ج - با هسته‌ی متحرک

۵-۲-۲- دافعه‌ی الکترومغناطیسی: حال اگر دو

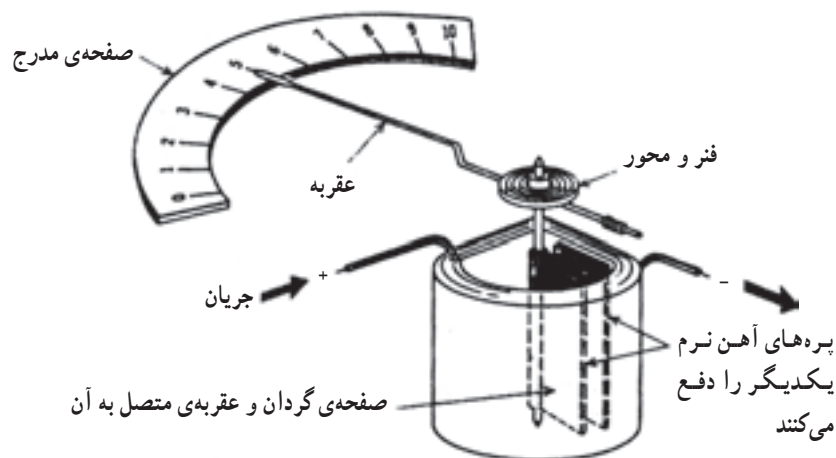
صفحه‌ی آهنی نرم را در داخل یک سیم پیچ (سلونوئید) در مقابل یکدیگر قرار دهیم چه اتفاقی می‌افتد؟ با توجه به شکل ۵-۲۷ الف اگر کلید مدار بسته شود، هر دو صفحه با قطبیت یکسان مغناطیس می‌شوند. به همین علت قطب‌های همنام ایجاد شده و یکدیگر را دفع می‌کنند و در نتیجه دو صفحه از یکدیگر دور می‌شوند. حال



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

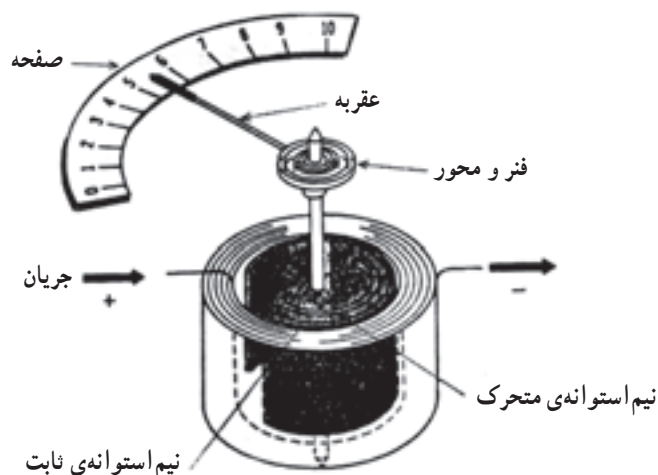
شکل ۵-۲۷

انجام دهد. عقربه‌ی دستگاه به پره‌ی دوار متصل است به طوری 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 در نتیجه پره‌ی متحرک با عقربه‌اش مسافتی متناسب با شدت جریان دوران کند (شکل ۵-۲۸).



شکل ۵-۲۸- 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.

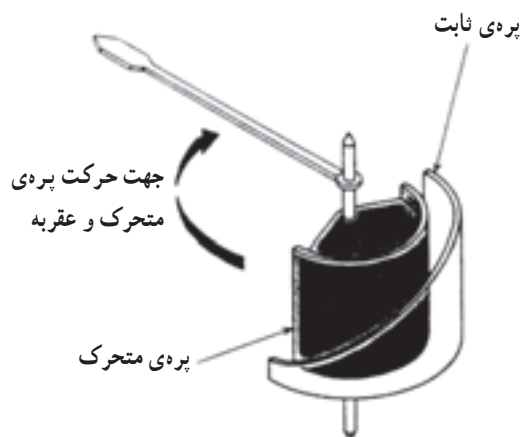
استوانه‌ای قرار گرفته‌اند که با عبور جریان از بوبین پره‌ی مرکزی (متحرک) حول محور خود نسبت به پره‌ی ثابت شروع به حرکت می‌کند و در نتیجه عقربه‌ی دستگاه را همراه خود در طول صفحه‌ی مدرج جابه‌جا می‌کند. مقدار این جابه‌جایی بستگی به جریان بوبین خواهد داشت (شکل ۵-۲۹).



شکل ۵-۲۹- دافعه‌ی مغناطیسی بین دو نیم استوانه باعث می‌شود که نیم استوانه‌ی داخلی (متحرک) حول محور خود در داخل بوبین نسبت به نیم استوانه ساکن حرکت کند و توسط عقربه، مقدار موردنظر را روی صفحه‌ی دستگاه نشان دهد.

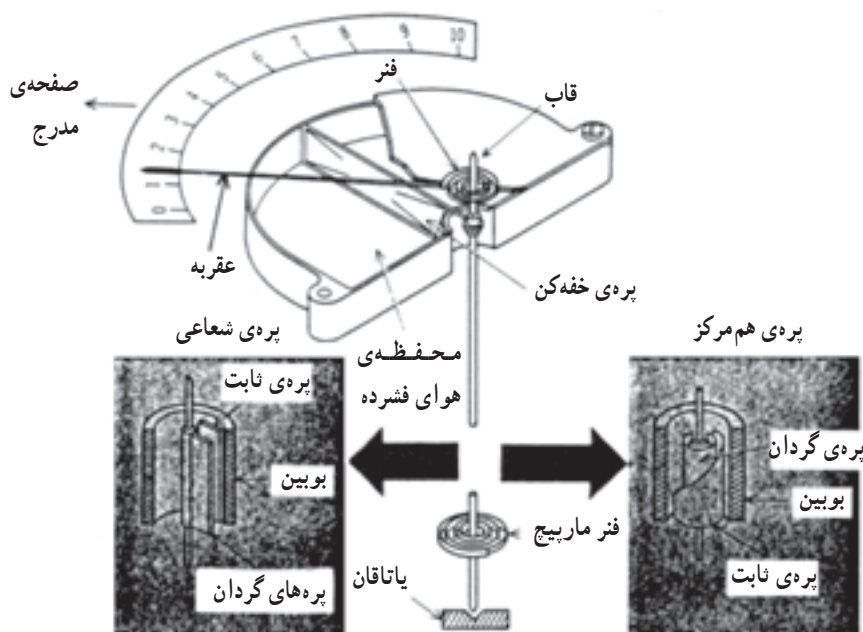
معمولاً پره‌ی ثابت این نوع دستگاه‌ها را از یک طرف به شکل شیب‌دار می‌سازند تا هنگامی که جریان از بوبین می‌گذرد خطوط قوایی که دو پره را قطع می‌کنند به‌طور یکسان نباشند؛ بنابراین در پره‌ی متحرک خطوط قوا به‌صورت یک‌نواخت توزیع می‌شوند، چرا که ابعاد آن یکسان است، اما در پره‌ی ثابت به‌دلیل

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 ۵-۳۰).



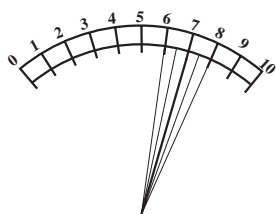
شکل ۵-۳۰ پره‌ی ثابت از یک شیب برخوردار است تا یک میدان غیر یک‌نواخت بین دو پره به‌وجود آورد.

دستگاه‌های اندازه‌گیری با آهن‌گردان (پره‌ای و شعاعی) شده است. دارای قسمت‌های مشابه‌اند که در شکل ۵-۳۱ نشان داده



شکل ۵-۳۱ قطعات اصلی دستگاه اندازه‌گیری آهن‌گردان (پره‌ای و شعاعی) مانند دستگاه با بوبین متحرک، از خفه‌کن بادی، پیچ تنظیم صفر و فتر تشکیل می‌شود.

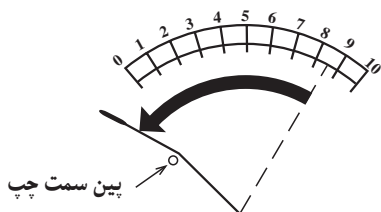
عدد صحیح متوقف شود. حال این که به سبب اصطکاک خیلی کم، قسمت‌های دوار بلافاصله متوقف نمی‌شوند و به علت نیروی وزن در حال سکون (اینرسی) و سپس کشش فنر عقربه تا مدتی روی مقدار موردنظر نوسان می‌کند که این خود باعث بروز اشکال خواهد شد (شکل ۵-۳۳).



شکل ۵-۳۳ عقربه، قبل از این که 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 به صورت 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 ۵-۳۴).



شکل ۵-۳۴ پس از قطع جریان ممکن است عقربه آن قدر 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 ۵-۳۵) تشکیل شده است، به طوری که محفظه‌ی مسدود در محلی ثابت شده و پره بر روی محور دستگاه قرار گرفته است؛ در اثر حرکت و یا چرخش محور پره ثابت

ج - 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 همان طوری که قبلاً گفتیم، این میدان باعث می‌شود که هسته‌ی مغناطیسی شده به طرف 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 آن جایی که عقربه به محور هسته متصل است مقدار حرکت آن بر صفحه‌ی مدرج مقدار موردنظر را نشان خواهد داد (شکل ۵-۳۲).



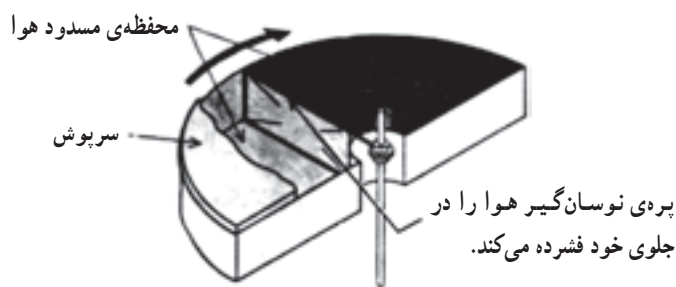
شکل ۵-۳۲ دستگاه اندازه‌گیری با هسته‌ی متحرک

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

۵-۲-۳ خفه‌کن‌ها (Dampers): همان طوری 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

می‌شود و در داخل اتاقک حرکت می‌کند به طوری 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.

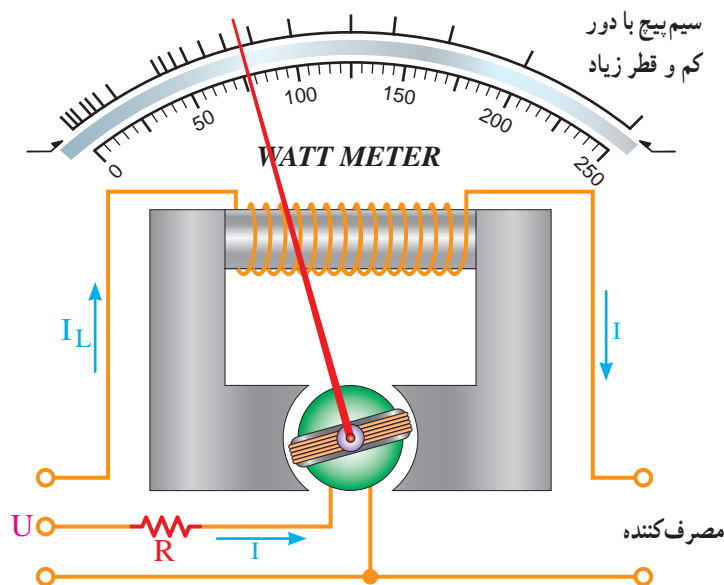


شکل ۵-۳۵ حرکت محور باعث گردش عقربه و پره می‌شود. به تدریج که هوا در قسمت جلوی محفظه فشرده می‌شود عقربه با مانع برخورد می‌کند. این موضوع باعث کند شدن عقربه و در نتیجه کاهش نوسانات می‌شود.

۵-۳- ساختمان داخلی وات‌متر

جزئیات دستگاه خودداری می‌کنیم زیرا در قسمت اول این فصل آن را به طور مفصل مورد بحث قرار دادیم. ساختمان داخلی وات‌متر مطابق شکل ۵-۳۶ است. حرکت عقربه، در شکل ۵-۳۶، نشان‌دهنده‌ی مقدار توان مصرفی مصرف‌کننده‌ها می‌باشد.

ساختمان وات‌متر، شبیه گالوانومتر دآرسونوال می‌باشد، تنها اختلاف آن‌ها در آهن‌ربای دائمی است. اگر به جای آهن‌ربای دائمی در گالوانومتر دآرسونوال، یک سیم پیچ قرار دهیم، گالوانومتر دآرسونوال تبدیل به وات‌متر خواهد شد. بنابراین در این جا از ذکر



شکل ۵-۳۶ ساختمان داخلی وات‌متر. ساختمان وات‌متر همان ساختمان گالوانومتر دآرسونوال است که فقط به جای آهن‌ربای دائمی، یک سیم پیچ با دور کم و قطر زیاد قرار گرفته است.

همان‌طور که از شکل ۵-۳۶ مشخص است، وات‌متر دارای دو سیم‌پیچ است. یک سیم‌پیچ با دور کم و قطر زیاد که با جریان مصرف‌کننده به صورت سری و دیگری سیم‌پیچ گالوانومتر که همراه با یک مقاومت به صورت موازی با بار قرار می‌گیرد. بر روی صفحه‌ی جلویی وات‌متر، ترمینال سیم‌پیچ جریان را با حرف I و ترمینال سیم‌پیچ ولتاژ را با حرف U مشخص می‌نمایند.

۴-۵- مولتی‌متر دیجیتالی

دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتالی مقادیر اندازه‌گیری شده را به صورت 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.

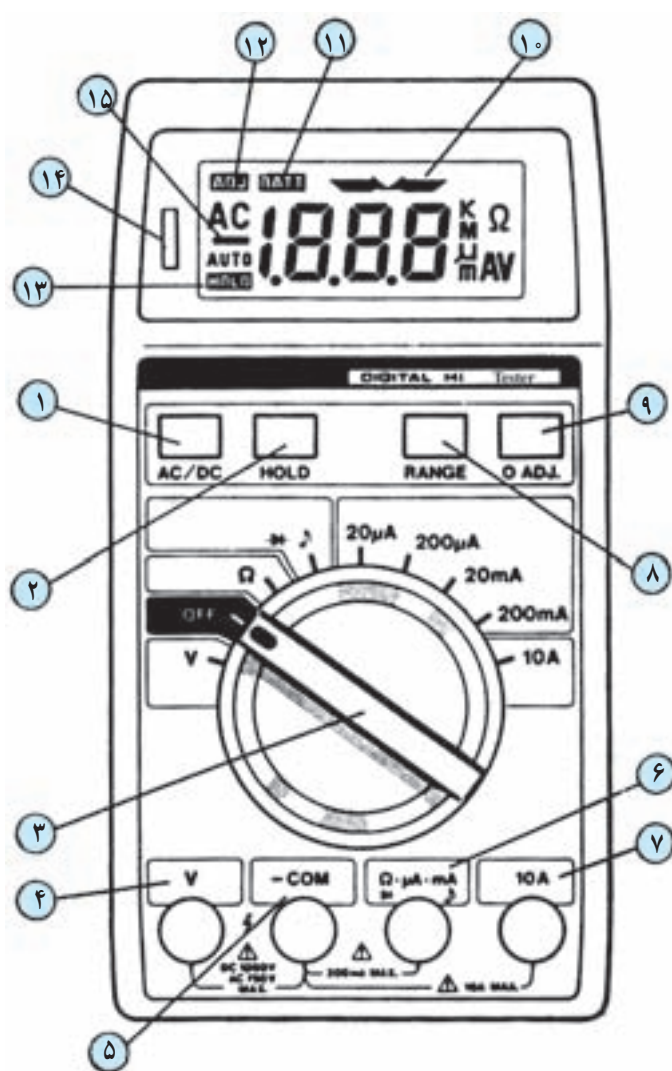
از جمله دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتالی می‌توان به ولت‌متر، آمپر‌متر، وات‌متر - $\cos \varphi$ متر، فرکانس‌متر، دورشمارها، حرارت‌سنج و مولتی‌متر اشاره نمود.

دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتالی به دلیل نداشتن قطعات متحرک، از طول عمر بسیار بالایی (در صورت بکار بردن صحیح آن‌ها) برخوردار هستند و به عوامل فیزیکی همچون لرزش، در صد رطوبت، 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. به طوری که کامپیوتر مقدار کمیتی را که دستگاه روی صفحه نمایش می‌دهد ضمن نشان دادن - در صورت نیاز آن را در فواصل زمانی معینی که تنظیم می‌کنیم - 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 ۵-۳۷ دو نمونه مولتی‌متر دیجیتالی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳۷- دو نمونه مولتی‌متر دیجیتالی

اکثر مولتی مترهای دیجیتالی، دارای رنج اتوماتیک، مجهز به کلیدی هستند که می توانیم مولتی متر را از رنج اتوماتیک خارج کنیم و آن را به صورت دستی درمی آوریم. حال که مختصری با اصول کار مولتی متر دیجیتالی آشنا شدیم، در ذیل، پانل یک مولتی متر دیجیتالی تشریح می شود تا بتوانیم صحیح تر از این دستگاه استفاده نماییم. در شکل ۳۸-۵، یک نمونه مولتی متر دیجیتالی آمده است که دکمه های پانل آن تشریح شده اند.



شکل ۳۸-۵ یک نمونه مولتی متر دیجیتالی

قسمت اصلی یک مولتی متر دیجیتالی ولت متر DC است، و این همانند مولتی متر عقربه ای (آنالوگ) است چنان که می دانید، قسمت اصلی آن گالوانومتر دآرسونوال می باشد.

امروزه اکثر ولت مترهای دیجیتالی دارای رنج اتوماتیک (Auto Range) هستند. رنج اتوماتیک به این صورت است که بعد از اعمال ولتاژ DC به ولت متر، ولت متر ابتدا به طور اتوماتیک رنج اول را انتخاب می کند، چنانچه ولتاژ مورد اندازه گیری در این رنج بود مقدار آن را نشان می دهد. چنانچه مقدار ولتاژ مورد اندازه گیری در این رنج نبود، ولت متر به صورت اتوماتیک، یک رنج بالاتر را انتخاب می کند و چنانچه ولتاژ مورد اندازه گیری در این رنج بود، مقدار آن را اندازه می گیرد و اگر نبود مجدداً رنج بالاتر را انتخاب می کند تا این که مقدار ولتاژ مورد اندازه گیری در رنج مورد انتخاب ولت متر باشد.

چنانچه ولتاژ مورد اندازه گیری AC باشد بعد از کلید سلکتور و قبل از ورودی ولت متر، یک یکسو کننده همراه با یک فیلتر قرار می گیرد تا ابتدا برق AC را تبدیل به DC نموده سپس به ولت متر اعمال کند. برای اندازه گیری جریان های DC، ابتدا جریانی مورد نظر را از یک مقاومت اهمی عبور می دهند و سپس افت ولتاژ دو سر آن را اندازه می گیرند.

آمپر مترهای دیجیتالی معمولاً به صورت رنج اتوماتیک نیستند، بلکه با کلید سلکتور باید رنج مناسب را انتخاب نمود. در ضمن چنانچه جریان مورد اندازه گیری AC باشد، بعد از کلید سلکتور توسط یک سو کننده های الکترونیکی، ولتاژ افت داده شده در دو سر مقاومت ها ابتدا یک سو شده و سپس به ولت متر اعمال می شود. توسعه ی رنج ولت مترها و آمپر مترهای دیجیتالی تا حدودی شبیه مولتی مترهای عقربه ای است.

در یک مولتی متر دیجیتالی، اگر ولت متر آن دارای رنج اتوماتیک باشد (Auto Range) اهم متر آن نیز قطعاً اتورنج خواهد بود.

① کلید انتخاب نوع جریان یا ولتاژ (AC یا DC)؛ مولتی متر را که روشن می کنیم، این کلید خود به خود در حالت DC قرار می گیرد. حال برای اندازه گیری جریان یا ولتاژ AC کافی است این کلید را یک بار فشار دهیم، روی صفحه ی نمایش (Display) حروف AC ظاهر می شود که بیانگر آماده بودن مولتی متر برای اندازه گیری جریان و یا ولتاژ AC است.

② کلید HOLD که برای ضبط کردن مقادیر خوانده شده مورد استفاده قرار می گیرد. بعد از اندازه گرفتن مقادیر، اگر این دکمه را فشار دهیم، مقدار اندازه گیری شده روی صفحه ی نمایش ثابت می ماند. لازم به یادآوری است که تا زمانی که مقدار اندازه گیری شده با دوباره فشار دادن این دکمه پاک نشده است مقدار جدیدی را نمی توان اندازه گرفت. همچنین تا زمانی که اطلاعات ثابت نگه داشته شده است، لغت HOLD روی صفحه ی نمایش نمایان است.

③ کلید سلکتور؛ اگر این کلید روی Off باشد، کلاً مولتی متر خاموش است و اگر روی V قرار گیرد، فقط قسمت ولت متر آن فعال است و می تواند ولتاژ DC یا AC را اندازه بگیرد. اگر کلید روی Ω قرار بگیرد، فقط قسمت اهم متر مولتی متر فعال خواهد بود و اگر روی علامت $\rightarrow \leftarrow$ قرار گیرد، در دو سر ترمینال مشترک و ترمینال $\rightarrow \leftarrow$ حدود 150 mV (که مقدار دقیق آن روی صفحه ی نمایش نشان داده می شود) ولتاژ برقرار می شود. حال اگر دو ترمینال $\rightarrow \leftarrow$ و مشترک را به هم اتصال کوتاه کنیم، بوق مولتی متر صدا می دهد. بنابراین یکی از کاربردهای $\rightarrow \leftarrow$ می تواند نشان دادن اتصال دو نقطه به یکدیگر باشد (نشان دهنده ی حالت پیوستگی). کاربرد دیگر آن، تست دیودها است. چنانچه آند دیود را به ترمینال $\rightarrow \leftarrow$ و کاتد آن را به ترمینال Com وصل کنیم، در صورت سالم بودن دیود، اگر جنس آن از سیلیکون باشد صفحه ی نمایش ولتاژی حدود 50 mV را نشان می دهد و چنانچه دیود از جنس ژرمانیوم باشد، حدود 18 mV روی صفحه ی نمایش نشان داده می شود. اگر قطب های دیود را نسبت به حالت فوق معکوس کنیم، مولتی متر هیچ گونه واکنشی از خود نشان نمی دهد (به شرط سالم بودن دیود). اگر دیود سوخته باشد، دستگاه

حالت اتصال کوتاه را نشان می دهد. به طور کلی اگر کلید سلکتور در حالت $\rightarrow \leftarrow$ باشد و دو سر سیم های رابط به هر عنصری که متصل باشد عدد نشان دهنده روی صفحه ی نمایش، مقدار ولتاژ دو سر عنصر بر حسب میلی ولت است. قسمت بعدی کلید سلکتور مربوط به آمپر متر است. در حالت آمپر متر، سیستم به صورت رنج اتوماتیک (AUTO RANGER) نیست، بلکه به صورت دستی است. اگر در هر یک از رنج های $20\text{ }\mu\text{A}$ ، 20 mA و 200 mA ، جریانی بیشتر از این اعداد به مولتی متر اعمال کنیم، ضمن این که مولتی متر چیزی را نشان نمی دهد بیزر مولتی متر به علامت اضافه بار (Over Load) به صدا در می آید. در تمامی رنج های فوق، جریان می تواند DC و یا AC باشد. و بالاخره ترمینال 10 A نیز برای اندازه گیری جریان های DC و AC از صفر تا ده آمپر به کار می رود. توجه داشته باشید که در حالت 10 A حداکثر یک دقیقه مجازید که آمپر متر را در مدار قرار دهید.

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

⑤ ترمینال مشترک برای کلیه ی اندازه گیری ها (ولتاژ – جریان – مقاومت اهمی و تست اتصال دو نقطه).

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

⑦ ترمینال مخصوص اندازه گیری جریان 10 A برای جریان های DC و AC.

⑧ همان طور که قبلاً نیز گفته شد، اکثر مولتی مترها دارای سیستم رنج اتوماتیک هستند لکن این امکان را نیز در اختیار مصرف کننده می گذارند که مصرف کننده بتواند به صورت دستی نیز رنج را انتخاب نماید. با فشار دادن بر روی این شستی، اهم متر و یا ولت متر این مولتی متر از حالت رنج اتوماتیک خارج شده و به صورت دستی قابل انتخاب خواهد بود. لازم به یادآوری است که با هر بار فشار دادن روی این شستی، رنج دستگاه یک پله افزایش می یابد.

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

۱۰ این علامت، نشانه‌ی متصل بودن دو نقطه به یکدیگر است. چنانچه مقاومت اهمی دو نقطه زیاد نباشد و دو سیم رابط هنگامی که کلید سلکتور در حالت $\rightarrow \text{A}$ قرار دارد با یک مقاومت نسبتاً کم به هم متصل گردند، این علامت روی صفحه‌ی نمایش ظاهر می‌گردد.

۱۱ این مولتی‌متر به دو عدد باتری قلمی ۱/۵ ولت نیاز دارد. چنانچه ولتاژ باتری‌ها از مقدار مشخصی کم‌تر شود، این علامت (BATT) روی صفحه‌ی نمایش ظاهر می‌گردد، در این

پرسش

- ۱- ساختمان گالوانومتر را به‌طور خلاصه همراه با اجزای تشکیل‌شده از آن شرح دهید.
- ۲- حساسیت گالوانومتر را تعریف کنید.
- ۳- ساختمان یک ولت‌متر DC را شرح دهید.
- ۴- ساختمان یک ولت‌متر DC چند رنج را شرح دهید.
- ۵- ساختمان ولت‌متر AC را شرح دهید.
- ۶- ساختمان ولت‌متر AC چند رنج را شرح دهید.
- ۷- چگونه با استفاده از گالوانومتر دآرسونوال، آمپر‌متر DC می‌سازند؟
- ۸- اثرات انتخاب رنج مناسب در یک آمپر‌متر کدام است؟
- ۹- جریان‌های خیلی زیاد را در عمل چگونه اندازه می‌گیرند؟
- ۱۰- ساختمان یک اهم‌متر سری را به‌طور کامل شرح دهید.
- ۱۱- ساختمان و کاربرد دستگاه اندازه‌گیری آهن نرم گردان را شرح دهید.
- ۱۲- نقش خفه‌کن در یک دستگاه اندازه‌گیری چیست؟
- ۱۳- ساختمان یک وات‌متر را به‌طور خلاصه شرح دهید.
- ۱۴- مزایای مولتی‌متر دیجیتال بر مولتی‌متر عقربه‌ای (آنالوگ) کدام است؟
- ۱۵- نحوه‌ی اندازه‌گیری انواع کمیت‌ها را (ولتاژ، جریان و مقاومت اهمی) با مولتی‌متر دیجیتالی شرح دهید.

اختیاری

هدف کلی

استفاده از آزمایشگاه مجازی در آموزش درس اصول اندازه‌گیری

فصل ۶

معرفی نرم افزار مولتی سیم (MultiSim)

نکات اجرایی

آموزش این فصل اختیاری است و در ارزش‌یابی پایانی لحاظ نمی‌شود. هنرآموزان محترم می‌توانند با توجه به امکانات هنرستان و به صورت فوق برنامه این نرم‌افزار را به هنرجویان آموزش دهند. یا آن را در کلاس درس برای هنرجویان به نمایش درآورند. هنرجویان می‌توانند در صورت تمایل با نصب این نرم‌افزار در رایانه شخصی خود این فصل را با توجه به محتوای آن در منزل آموزش ببینند و تمرین کنند. برای آشنایی با نحوه‌ی نصب و استفاده از نرم‌افزار مولتی سیم (MultiSim) می‌توانید به کتاب آزمایشگاه مجازی مربوط به آزمایشگاه اندازه‌گیری الکتریکی (مخصوص هنرجویان رشته الکترونیک) مراجعه کنید.

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

- با محیط کار نرم‌افزار مولتی سیم کار کند.
- قطعات و المان‌ها را از روی نوار ابزار روی میز کار قرار دهد.
- المان‌های الکتریکی را در کتابخانه نرم‌افزار جستجو کند.
- بین قطعات و دستگاه‌های اندازه‌گیری و سایر ابزار اتصال برقرار کند.
- با استفاده از مولتی متر، جریان ولتاژ، مقاومت و توان مدار را اندازه‌گیری کند.
- از منبع تغذیه AC، فانکشن ژنراتور موجود در نرم‌افزار استفاده کند.
- اسیلوسکوپ نرم افزار را روی میز کار انتقال دهد.
- تنظیم‌های اولیه‌ی اسیلوسکوپ موجود در نرم‌افزار را انجام دهد.
- تنظیم دکمه‌های Volt/Div و Time/Div را روی اسیلوسکوپ آزمایشگاه مجازی انجام دهد.
- پراب اسیلوسکوپ آزمایشگاه مجازی را تست کند.

- دامنه ولتاژهای DC و AC را با اسیلوسکوپ آزمایشگاه مجازی اندازه گیری کند.
- زمان تناوب و فرکانس سیگنال متناوب را با اسیلوسکوپ آزمایشگاه مجازی اندازه گیری کند.
- مقدار متوسط ولتاژ را با استفاده از اسیلوسکوپ اندازه گیری کند.
- اختلاف فاز دو سیگنال را به کمک اسیلوسکوپ آزمایشگاه مجازی به دست آورد.
- به سؤالات و تمرین های مطرح شده پاسخ دهد.
- فعالیت های کلاسی را با اعتماد به نفس و به طور دقیق انجام دهد.
- نظم و ترتیب و حضور به موقع در کلاس را رعایت کند.
- مسئولیت های واگذار شده را به طور دقیق اجرا کند.
- در موقعیت های مناسب از آزمایشگاه مجازی استفاده کند.
- از امکانات فراهم شده به خوبی حفاظت و نگهداری کند.
- ابهامات و سؤالات خود را در زمان مقتضی بپرسد.
- به سؤالات مطرح شده در زمان مقتضی پاسخ دهد.
- حضور فعال و داوطلبانه در امور مختلف داشته باشد.
- توانمندی های خود را در موقعیت های مناسب بروز دهد.
- در کار گروهی مشارکت فعال و همکاری مؤثر داشته باشد.
- نسبت به حل مشکلات سایر هنجاریان و ... حساس و فعال باشد.
- سایر هنجاریان را در ارتباط با اجرای نظم و مقررات راهنمایی و تشویق کند.

مقدمه

مشکلاتی به هنگام نصب به همراه دارد. برای نصب این نرم افزار از معلم خود کمک بگیرید.

توجه: زمانی می توانید مهارت لازم را در کاربرد این نرم افزار کسب کنید که در خلال خواندن کتاب کلیه مراحل را روی رایانه تجربه کنید و اثر آن را ببینید.

استفاده از نرم افزارهایی مانند EWB، MultiSim، Proteus، Edison، PsPice و سایر نرم افزارهای مشابه می تواند موجب تسریع و اثربخشی بیشتر در امر آموزش شود و ابهامات عملی فراگیران را تا حدود زیادی برطرف کند. زیرا با نصب این نرم افزار در رایانه خود یک آزمایشگاه مجازی بزرگ در اختیار دارید و بدون هیچ هزینه ای می توانید انواع آزمایش ها را اجرا کنید. در این فصل کتاب به معرفی نرم افزار MultiSIM نسخه 9 و وسایل و قطعات موجود در آن و همچنین اجرای چند آزمایش ساده به وسیله این نرم افزار می پردازیم.

۶-۱- نصب و اجرای نرم افزار MultiSIM

مراحل نصب نرم افزار Multisim کمی پیچیده تر از سایر نرم افزارها است. از آن جا که این نرم افزار در کشور ایران، به صورت نسخه اصلی (اورژینال original) ارائه نمی شود. همواره



شکل ۶-۱

برای نصب این نرم افزار سامانه سخت افزاری مورد نیاز به شرح زیر است :

حد اقل سامانه رایانه مورد نیاز	سامانه رایانه پیشنهادی
Windows 2000/xp	Windows xp
Pentium 3	Pentium 4
128 MB RAM	256 MB RAM
CD Rom	CD Rom
800*600 تنظیم صفحه نمایش	1024*768 تنظیم صفحه نمایش

در صورتیکه نرم افزار با نسخه بالاتر از نرم افزار پیشنهادی را در اختیار دارید و کاربرد آن را به خوبی می دانید، می توانید از آن نرم افزار استفاده کنید.

برنامه Multisim را از گزینه start، all program روی گزینه Multisim کلیک کنید تا فایل مربوطه باز شود. پوشه Electronic work bench مانند شکل ۶-۲ انتخاب کنید.



شکل ۶-۲

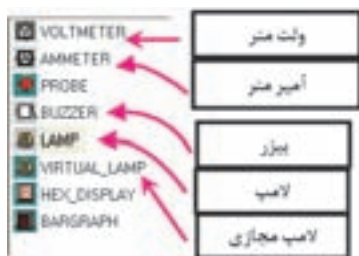
برای راحتی کار می توانید یک گزینه shortcut از آیکون مربوط به مولتی سیم روی میز کار یا هر نقطه دیگر بیاورید.

۶-۲-۱ آشنایی با محیط کار نرم افزار

با اجرای برنامه نرم افزار مولتی سیم، شکل ۶-۳ ظاهر می شود. این شکل قسمت های اصلی این نرم افزار را نشان می دهد.



شکل ۶-۳

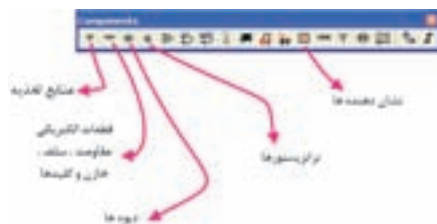


شکل ۶-۵

۶-۲-۱-۱ قطعات الکتریکی پرکاربرد در درس

اصول اندازه گیری الکتریکی

المان هایی که در مدارهای مربوط به درس اندازه گیری الکتریکی در آزمایشگاه مجازی مورد استفاده قرار می گیرد به شرح زیر است (شکل ۶-۴).



شکل ۶-۴

۶-۲-۲ المان های مجازی:

○ کنار HELP کلیک راست کنید.

○ گزینه قطعات مجازی «Virtual Component» را

انتخاب کنید تا شکل ۶-۶ ظاهر شود.



شکل ۶-۶

در این فهرست مشخصات الکتریکی (جریان عبوری از قطعه، ولتاژ دو سر آن، توان مصرفی و...) تمامی قطعات الکتریکی و الکترونیکی توسط کاربر قابل تعریف است.

توجه: برای فراگیری و کسب مهارت در هر نرم افزار نیاز به تمرین های متعدد دارید. برای اینکه بتوانید این نرم افزار را فرا بگیرید چندین بار قسمت کار با نرم افزار را تمرین کنید.

○ منابع تغذیه (Place Sources): در این گزینه انواع

منابع DC و AC را می توانید انتخاب کنید.

○ قطعات پایه (Place Basic): در این بخش قطعات

الکتریکی پایه از قبیل مقاومت، انواع خازن، سیم پیچ (سلف)، مقاومت متغیر، انواع کلید و ... وجود دارد.

○ دیود (Place Diode): در این قسمت که عناصر

نیمه هادی دو پایه از قبیل دیود معمولی، دیود زنر، دیود نوری و

۳-۲-۶- جستجوی قطعه از کتابخانه قطعات: برای

۳-۲-۶- نحوه‌ی بستن یک مدار ساده بر روی میز کار

آزمایشگاه مجازی

مرحله‌ی ۱: روی گزینه‌ی Place source کلیک کنید.
تا شکل ۸-۶ ظاهر شود.

مرحله‌ی ۲: روی گزینه‌ی DC-power کلیک کنید و
روی OK کلیک (در این فصل منظور از کلیک، کلیک چپ
است) کنید.

مرحله‌ی ۳: روی میز کار هنگامی که محل باتری را با
موس مشخص کردید، کلیک کنید.

مرحله‌ی ۴: از گزینه‌ی place indicator لامپ ۱۲ ولت
۱۰ وات را انتخاب کنید و آن را روی میز کار انتقال دهید.

مرحله‌ی ۵: نماد اتصال زمین را نیز از گزینه‌ی place
source انتخاب کنید و به میز کار انتقال دهید.



شکل ۸-۶

نکته‌ی مهم: هنگام بستن مدار توسط
آزمایشگاه مجازی می‌بایستی مدار متصل
شده حتماً اتصال زمین داشته باشد.

مرحله‌ی ۶: با موس روی پایه مثبت باتری بروید تا نقطه
توپر مشکی ظاهر شود.

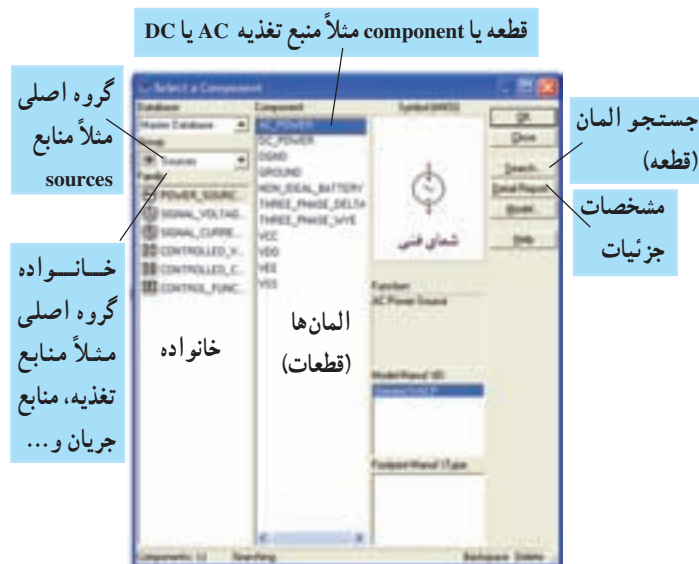
مرحله‌ی ۷: انگشت خود را روی کلید سمت چپ موس
نگه داشته و آن را به کمک حرکت دادن موس به یک سر لامپ

کلیک کنید تا شکل ۷-۶ ظاهر شود. این شکل را می‌توان مشابه
کتابخانه‌ای توصیف کرد که قفسه‌های مختلفی دارد و در هر
قفسه چندین طبقه وجود دارد. همچنین طبقات براساس عناوین
کتاب‌ها تفکیک شده است.

○ گروه اصلی (group): در این قسمت گروهی از وسایل
مانند وسایل اندازه‌گیری، منابع تغذیه، عناصر الکتریکی (مقاومت-
سلف - خازن) و ... قابل دستیابی است.

○ خانواده گروه اصلی (family): با انتخاب این بخش
شما می‌توانید خانواده‌های اصلی عناصر موجود در گروه را
مشاهده کنید.

○ المان‌ها (component): در این قسمت می‌توانید
المان‌هایی که در کتابخانه نرم‌افزار موجود است را انتخاب و
جستجو کنید.



شکل ۷-۶

به عبارت دیگر قطعه یا المان (Component) زیر
مجموعه‌ای از خانواده (Family) و خانواده زیر
مجموعه‌ای از گروه اصلی (group) است.

۶-۴-۳- از منوی نشان‌دهنده (INDICATOR)

آمپرتر را انتخاب و به روی میز کار انتقال دهید (شکل ۶-۱۱).



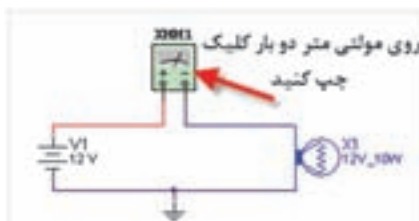
شکل ۶-۱۱

۶-۴-۴- برای تعیین رنج آمپرتر روی آن دوبار کلیک چپ کنید (شکل ۶-۱۲).



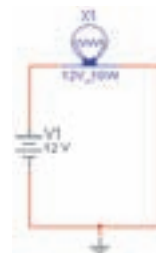
شکل ۶-۱۲

۶-۴-۵- مدار شکل ۶-۱۳ را ببینید.




شکل ۶-۱۳

برسانید، سپس انگشت خود را بردارید، باید بین پایه‌ی باتری و پایه‌ی لامپ یک سیم وصل شود (شکل ۶-۹)، همین عمل را برای سر منفی باتری و زمین انجام دهید. تا سیم اتصال بین این دو نقطه نیز وصل شود به همین ترتیب زمین را به محل اشتراک سیم منفی باتری و یک سر لامپ متصل کنید.



شکل ۶-۹

مرحله‌ی ۸: کلید را به حالت  ببرید. آیا لامپ روشن می‌شود؟
مرحله‌ی ۹: از منوی file گزینه‌ی Save را انتخاب کنید و مدار را ذخیره کنید.

۶-۴- نحوه‌ی قرار گرفتن آمپرتر در مدار

۶-۴-۱- از نوار ابزار منبع تغذیه، باتری و نماد اتصال زمین را انتخاب کنید.

۶-۴-۲- از منوی indicators (نشان‌دهنده‌ها)، لامپ ۱۲ ولتی و ۱۰ وات را انتخاب کنید (شکل ۶-۱۰).



شکل ۶-۱۰



شکل ۶-۱۶

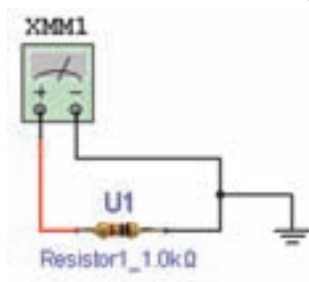
۶-۶-۲ با انتخاب PLACE BASIC، یک زیر منو باز می‌شود که از آن گزینه‌ی 3D-VIRTUAL (مقاومت‌های سه بعدی) را انتخاب کنید (شکل ۶-۱۷).



انتخاب المان‌های سه بعدی

شکل ۶-۱۷

۶-۶-۳ با استفاده از مقاومت‌های سه بعدی مدار شکل ۶-۱۸ را ببینید.



شکل ۶-۱۸

۶-۶-۴ با تنظیم مولتی‌متر روی Ω مقدار مقاومت را اندازه‌گیری کنید و مقدار اندازه‌گیری شده را با کد رنگی مقاومت مقایسه کنید (شکل ۶-۱۹).

۶-۴-۶ با توجه به شکل ۶-۱۴ مولتی‌متر را روی حوزه‌ی آمپر متر DC قرار دهید.

۶-۴-۷ مدار را روشن کنید (). آیا لامپ روشن است؟

۶-۴-۸ روی مولتی‌متر دوبار کلیک چپ کنید. آیا جریان مدار 833/3 میلی‌آمپر است؟



شکل ۶-۱۴

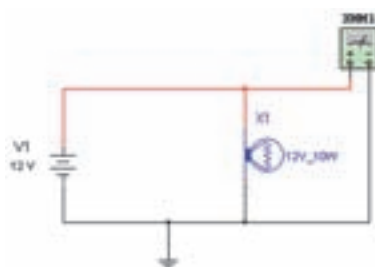
۶-۵- نحوه‌ی قرار گرفتن ولت متر در مدار

۶-۵-۱ مدار شکل ۶-۱۵ را ببینید.

۶-۵-۲ مولتی‌متر را روی رنج ولتاژ و حوزه‌ی DC قرار دهید.

۶-۵-۳ روی مولتی‌متر دوبار کلیک چپ کنید تا صفحه‌ی نمایش آن ظاهر شود.

۶-۵-۴ ولتاژ دو سر لامپ را از روی مولتی‌متر بخوانید.



شکل ۶-۱۵

۶-۶- نحوه‌ی قرار گرفتن اهم متر در مدار

۶-۶-۱ برای انتخاب مقاومت و قراردادن آن روی میز کار گزینه‌ی PALCE BASIC را از منوی ابزار انتخاب کنید (شکل ۶-۱۶).

سؤال: آیا اختلاف وجود دارد؟ چرا؟ علت را توضیح دهید.

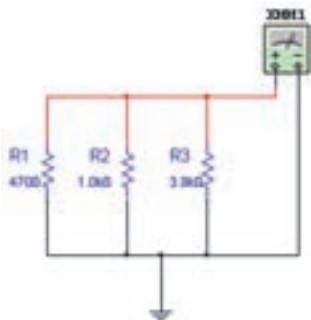
۶-۷-۲ مدار موازی:

- مدار شکل ۶-۲۲ را ببینید.
- مقدار مقاومت معادل مدار را اندازه گیری کنید.
- مقدار مقاومت معادل را محاسبه کنید و با مقدار خوانده شده مقایسه کنید.

$R = \dots\dots\dots$ محاسبه شده

$R = \dots\dots\dots$ قرائت شده

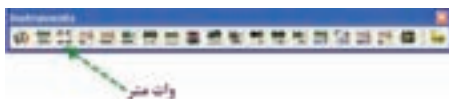
تمرین: آیا اختلاف وجود دارد؟ چرا؟ توضیح دهید.



شکل ۶-۲۲

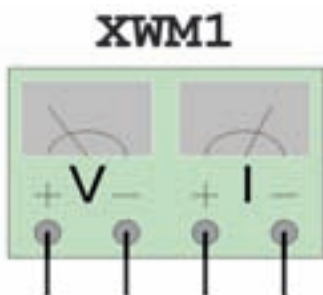
۶-۸-۱ نحوه ی قرار گرفتن وات متر در مدار

- وات متر را از منوی ابزار انتخاب کنید و بر روی محیط کار انتقال دهید (شکل ۶-۲۳).



شکل ۶-۲۳

- بر روی دستگاه وات متر دو ترمینال برای جریان I قرار دارد که با مصرف کننده سری می شود، همچنین دو ترمینال دیگر به نام V که با دو سر مصرف کننده موازی می شود و ولتاژ دو سر آن را اندازه گیری می کند (شکل ۶-۲۴).



شکل ۶-۲۴



شکل ۶-۱۹

۶-۷ به دست آوردن مقاومت معادل

۶-۷-۱ مدار سری: مقاومت های R1, R2, R3 را

به ترتیب از منوی BASIC گزینه ی RESISTOR انتخاب کنید، (شکل ۶-۲۰).

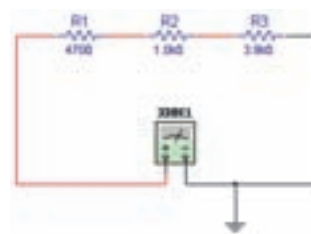


شکل ۶-۲۰

- مدار شکل ۶-۲۱ را ببینید.
- مقدار مقاومت معادل مدار را اندازه گیری کنید.
- مقدار مقاومت معادل را محاسبه کنید و با مقدار خوانده شده توسط اهم متر مقایسه کنید.

$R = \dots\dots\dots$ محاسبه شده

$R = \dots\dots\dots$ قرائت شده



شکل ۶-۲۱

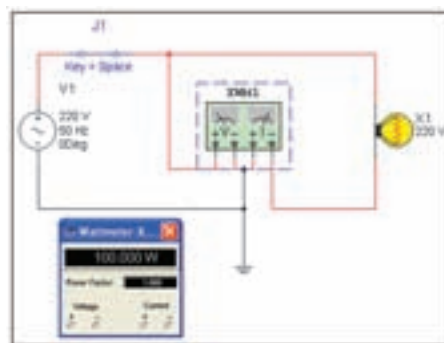
۶-۸-۳ مدار شکل ۶-۲۵ را ببندید.

۶-۸-۴ با دوبار کلیک چپ روی وات متر توان

مصرفی لامپ را بخوانید.

تمرین: آیا مقدار توان اندازه گیری شده با توان انتخاب

شده اولیه برای لامپ حدوداً برابر است؟ شرح دهید.



شکل ۶-۲۵

۶-۹ نحوه ی قرار گیری فانکشن ژنراتور در مدار

۶-۹-۱ فانکشن ژنراتور را از منوی ابزار، انتخاب

و روی آن دوبار کلیک کنید تا شکل ۶-۲۶ روی میز کار ظاهر شود.



شکل ۶-۲۶

این فانکشن ژنراتور می تواند شکل موج های مربعی، مثلثی و سینوسی را تولید کند و توسط آن می توانید مقادیر فرکانس، واحد فرکانس، دامنه (پیک موج) سینوسی را تغییر دهید (شکل ۶-۲۷). برای دریافت ولتاژ پیک از ترمینال مثبت و GND استفاده کنید. اگر از ترمینال + و - استفاده کنید، دو موج هم اندازه با هم جمع شده و یک موج دو برابر در خروجی ظاهر می شود.



شکل ۶-۲۷

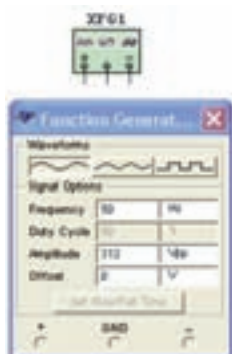
- ۱- تعیین شکل موج (مربعی، مثلثی، سینوسی)
- ۲- مقدار فرکانس
- ۳- واحد فرکانس
- ۴- مقدار دامنه موج (پیک)
- ۵- رنج ولتاژ

۶-۹-۲ فانکشن را برای ایجاد ولتاژ مشابه ولتاژ

برق شهر مطابق شکل ۶-۲۸ آماده کنید.

۶-۹-۳ مولتی متر را انتخاب کنید و آن را در حالت

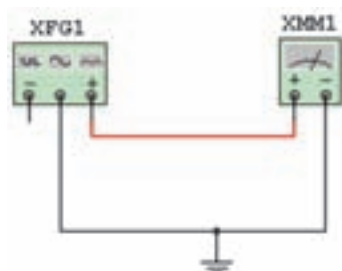
AC قرار دهید.



شکل ۶-۲۸

۶-۹-۴ مولتی متر را به فانکشن ژنراتور وصل کنید

(شکل ۶-۲۹).



شکل ۶-۲۹

۶-۹-۵ روی مولتی متر دو بار کلیک کنید تا صفحه

نمایش آن ظاهر شود.

۶-۹-۶ مقدار ولتاژ اندازه گیری شده را بخوانید

(شکل ۶-۳۰).



شکل ۶-۳۰

۱۰-۶- اندازه‌گیری ولتاژ برق شهر خارج از محیط برنامه

مولتی‌متری را روی حالت AC و حوزه‌ی اندازه‌گیری مناسب (۵۰۰ ولت) قرار دهید و سپس با رعایت نکات ایمنی آن را به پریز برق متصل کنید. مولتی‌متر چه ولتاژی را نشان می‌دهد؟ (شکل ۶-۳۱).

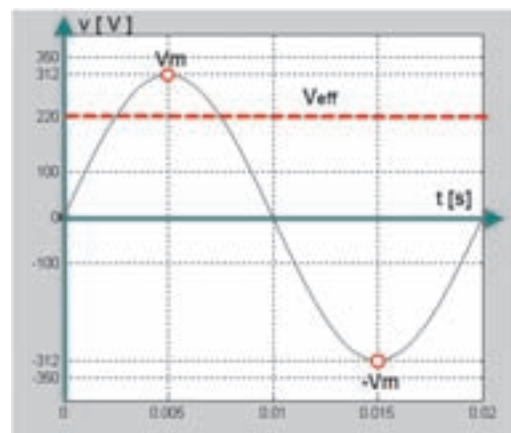


شکل ۶-۳۱

تمرین

- ۱- ولتاژ اندازه‌گیری شده برابر با کدام یک از مقادیر ماکزیمم، مؤثر و متوسط است؟
- ۲- رابطه‌ی ولتاژ خوانده شده با مقدار دامنه (پیک) را بنویسید.

شکل موج برق شهر در شبکه ایران را در شکل ۶-۳۲ مشاهده می‌کنید.



شکل ۶-۳۲

۱۱-۶- آشنایی با اسیلوسکوپ در نرم افزار مولتی‌سیم

۱-۱۱-۶- معرفی و تنظیم‌های اولیه: از نوار ابزار اسیلوسکوپ را انتخاب و روی میز کار قرار دهید (شکل ۶-۳۳).



شکل ۶-۳۳

- با دو بار کلیک چپ روی آن شکل ظاهری اسیلوسکوپ موجود در نرم‌افزار ظاهر می‌شود (شکل ۶-۳۴).
- در این قسمت ابتدا کلیدهای پرکاربرد بر روی صفحه اسیلوسکوپ توضیح داده می‌شود سپس به شرح آزمایش‌ها توسط اسیلوسکوپ می‌پردازیم.



شکل ۶-۳۴

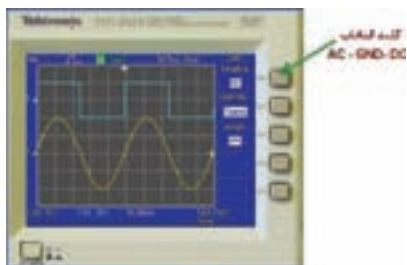
- کلید روشن و خاموش کردن اسیلوسکوپ (شکل ۶-۳۵).



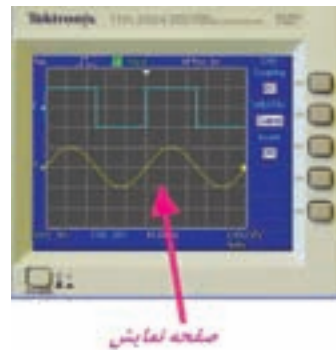
شکل ۶-۳۵

- صفحه‌ی نمایش (شکل ۶-۳۶).

- کلید انتخاب ورودی AC-GND-DC (شکل ۶-۴۱).



شکل ۶-۴۱



شکل ۶-۳۶

- ترمینال تست پروپ (شکل ۶-۳۷).



شکل ۶-۳۷

- کانال‌های ورودی اسیلوسکوپ (شکل ۶-۳۸).



شکل ۶-۳۸

- کلیدهای انتخاب Volt/Div و کلیدهای فعال‌سازی هر کانال (شکل ۶-۳۹).



شکل ۶-۳۹

- کلید انتخاب Time/Div (شکل ۶-۴۰).

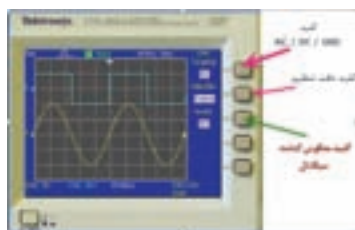


شکل ۶-۴۰

- کلیدهای تنظیمات سیگنال:

الف) کلید دقت تنظیم: با تغییر وضعیت این کلید (COARSE - FINE) سرعت تغییر Volt/Div قابل تنظیم است.

ب) کلید معکوس‌کننده سیگنال (INVERT): این کلید سیگنال را 180° درجه تغییر فاز می‌دهد (شکل ۶-۴۲).



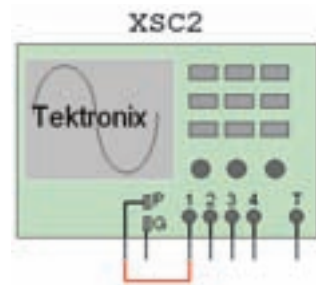
شکل ۶-۴۲

- کلید تغییر موقعیت عمودی و افقی (شکل ۶-۴۳).



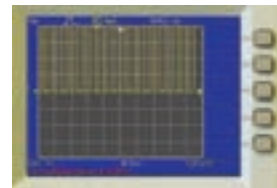
شکل ۶-۴۳

۶-۱۱-۲- آزمایش پراب: مدار شکل ۶-۴۴ را ببندید.



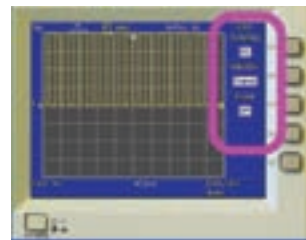
شکل ۶-۴۴

● اسیلوسکوپ را روشن کنید (شکل ۶-۴۵).



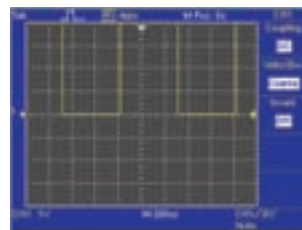
شکل ۶-۴۵

● روی کلید انتخاب کانال شماره ۱ دوبار کلیک چپ کنید تا شکل ۶-۴۶ ظاهر شود.



شکل ۶-۴۶

● کلید سلکتور Time/Div را طوری تغییر دهید، که حدوداً دو یا سه سیکل کامل را روی صفحه حساس قابل مشاهده باشد (شکل ۶-۴۷).



شکل ۶-۴۷

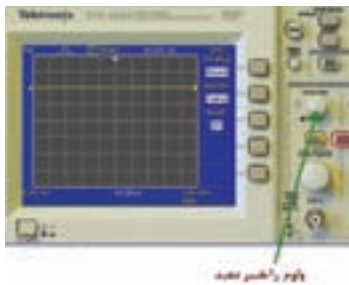
● ولوم تغییر وضعیت افقی و عمودی را به ترتیب تغییر دهید. چه تغییری در شکل می‌بینید؟ (شکل ۶-۴۸).

تمرین: کلید Volt/Div را یکبار روی ۱ ولت و بار دیگر روی ۵ ولت تنظیم کنید نتایج تغییرات مشاهده شده روی صفحه نمایش را بنویسید.



شکل ۶-۴۸

● کلید AC-GND-DC را در حالت GND قرار دهید. با تغییر ولوم تغییر مکان عمودی خط GND را روی نقطه صفر یا یکی از خانه‌ها به دلخواه تنظیم کنید (شکل ۶-۴۹).

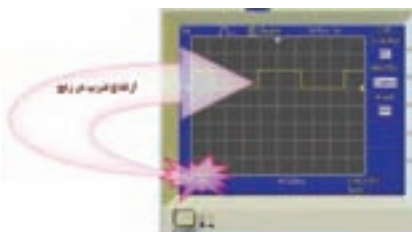


شکل ۶-۴۹

● برای آزمایش پراب، کلید را در حالت DC قرار دهید.

● تعداد خانه‌هایی که پیک تا پیک دامنه موج را در برگرفته است بخوانید. عدد خوانده شده را در عدد ضرب کلید Volt/div ضرب کنید تا مقدار دامنه پیک تا پیک موج کالیبره به دست آید (شکل ۶-۵۰).

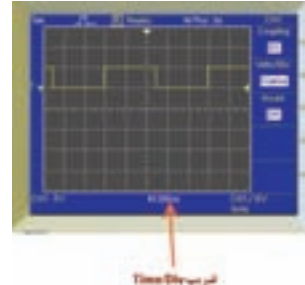
تمرین: عدد به دست آورده را با مقدار ولتاژ دامنه کالیبره مقایسه کنید. در صورت تغییر علت را توضیح دهید.



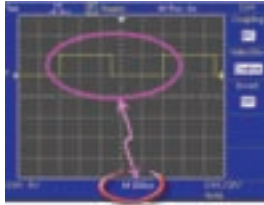
شکل ۶-۵۰

۳-۱۱-۶- آزمایش کالیبره بودن (تنظیم) اسیلوسکوپ

زمان تناوب: کلید Time/Div را یک بار در حالت ۱ میلی ثانیه و بار دیگر در ۲۰۰ میکرو ثانیه قرار دهید (شکل ۶-۵۱).



شکل ۶-۵۱



شکل ۶-۵۲

Time/Div ضرب خودکار \times تعداد خانه‌های یک سیکل = T زمان تناوب

● نتایج حاصل از تغییرات مشاهده شده روی صفحه‌ی نمایش را بنویسید.

○ با استفاده از رابطه‌ی $f = \frac{1}{T}$ مقدار فرکانس موج مربعی را محاسبه کنید.

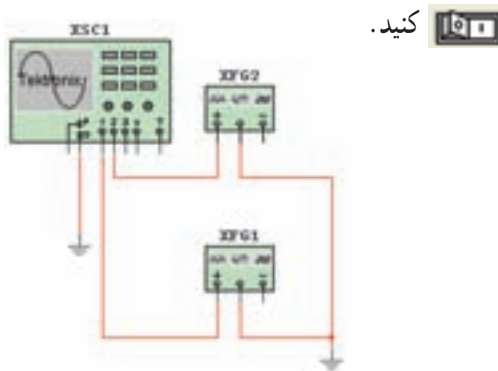
مقدار فرکانس به دست آورده شده را با فرکانس موج مربعی کالیبره اسیلوسکوپ مقایسه کنید. آیا اختلافی مشاهده می‌کنید؟ در صورت مغایر بودن مقادیر، آزمایش را مجدداً تکرار کنید تا به نتیجه مطلوب برسید.

کاربرد اسیلوسکوپ در آزمایشگاه مجازی تجهیزات و قطعات مورد نیاز

ردیف	نام وسیله
۱	اسیلوسکوپ سه بعدی
۲	فانکشن ژنراتور
۳	نماد اتصال زمین
۴	منبع تغذیه AC
۵	منبع تغذیه DC
۶	دیود $1N4001$ GP
۷	مقاومت‌های ۱ کیلو اهم و ۲/۲ کیلو اهم
۸	خازن ۱۰۰ نانوفاراد

۱۲-۶- آزمایش ۱

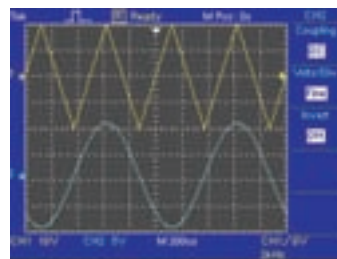
مشاهده شکل موج توسط اسیلوسکوپ
مراحل اجرای آزمایش در آزمایشگاه مجازی
۱-۱۲-۶- اسیلوسکوپ و دو سیگنال ژنراتور را از



شکل ۶-۵۳

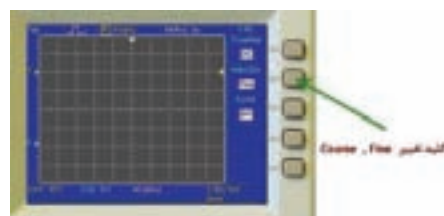
۵-۱۲-۶- اسیلوسکوپ را طوری تنظیم کنید که شکل

۵۴-۶ ظاهر شود.



شکل ۵۴-۶

توجه: با انتخاب FINE می‌توانید رنج تغییرات Volt/Div را دقیق‌تر انجام دهید (شکل ۵۵-۶).



شکل ۵۵-۶

اندازه‌گیری مقدار متوسط ولتاژ

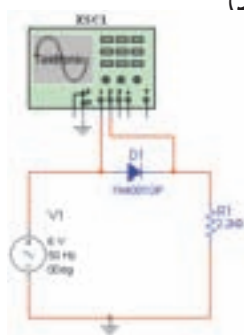
روش ۱

الف - مدار شکل ۵۷-۶ را ببندید.

ب - شکل موج ورودی و خروجی را به طور همزمان مشاهده کنید. (شکل موج ورودی بصورت سینوسی و شکل موج خروجی به صورت نیم موج یکسو شده است)

ج - مقدار ولتاژ متوسط شکل موج خروجی را از رابطه $\frac{V_M}{\pi}$ محاسبه کنید. (ماکزیم دامنه ولتاژ را از روی

شکل موج بخوانید)



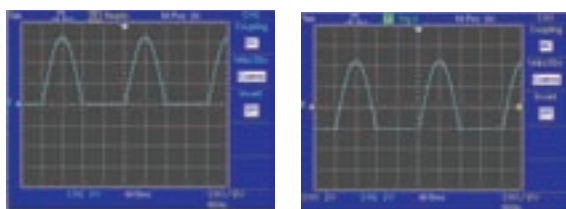
شکل ۵۷-۶

روش ۲

الف - برای اندازه‌گیری مقدار DC خروجی ابتدا کلید انتخاب ورودی را در حالت DC قرار دهید (مکان سیگنال را روی صفحه‌ی حساس به خاطر بسپارید) (شکل ۵۸-۶).

ب - سپس کلید انتخاب را در حالت AC قرار دهید.

ج - مقدار متوسط شکل موج را از رابطه‌ی زیر به دست آورید.



الف

ب

شکل ۵۸-۶

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

۱۳-۶- آزمایش ۲

اندازه‌گیری ولتاژ DC و AC

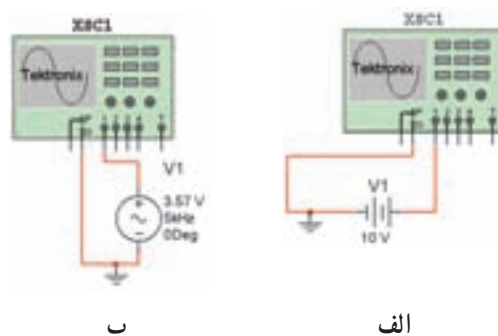
مراحل اجرای آزمایش در آزمایشگاه مجازی

۱-۱۳-۶- مدارهای شکل ۵۶-۶ الف و ب را

ببندید.

۲-۱۳-۶- مقدار ولتاژ منابع را روی صفحه نمایش

اسیلوسکوپ مشاهده و آن را اندازه بگیرید.



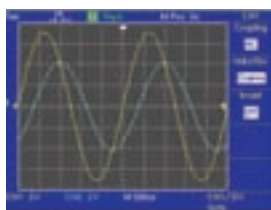
ب

الف

شکل ۵۶-۶

تمرین: نتایج اندازه‌گیری مقدار متوسط ولتاژ را در روش ۱ و ۲ با یکدیگر مقایسه کنید.

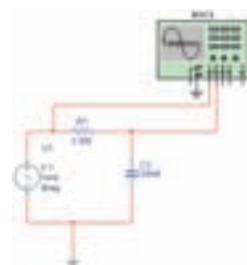
۳-۱۴-۶ اختلاف فاز بین دو سیگنال ورودی به کانال ۱ و ۲ را از روی صفحه‌ی نمایش اسیلوسکوپ به دست آورید (شکل ۶-۶۰).



شکل ۶-۶۰

تمرین: به جای خازن چه المان دیگری می‌توان قرار داد تا اختلاف فاز قابل مشاهده باشد؟

تمرین: با استفاده از سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ موجود در آزمایشگاه مجازی شرایطی را به وجود آورید که دو سیگنال سینوسی با دامنه ماکزیمم ۵ و ۱۰ ولت و فرکانسی به ترتیب ۵۰ هرتز و ۶۰ هرتز روی اسیلوسکوپ ظاهر شود.



شکل ۶-۵۹

۳-۱۴-۶ آزمایش

اندازه‌گیری اختلاف فاز

مراحل اجرای آزمایش در آزمایشگاه مجازی

۱-۱۴-۶ قطعات مورد نیاز برای آزمایش را از

کتابخانه نرم افزار جستجو کنید و به میز کار انتقال دهید.

۲-۱۴-۶ مدار شکل ۶-۵۹ را ببندید.

منابع مورد استفاده

- ۱- نظریان، فتح‌الله. دستگاه‌های اندازه‌گیری - شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- ۲- نظریان، فتح‌الله. قیطرانی، فریدون. اصول اندازه‌گیری الکتریکی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- ۳- مشتاقی. آشنایی با ابزار دقیق. شرکت ملی گاز ایران.
- ۴- کاتالوگ‌های مختلف دستگاه‌های اندازه‌گیری.
- ۵- قسمت Help نرم افزار مولتی‌سیم.

