

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اصول اندازه‌گیری الکتریکی

رشته‌های الکترونیک - الکتروتکنیک

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره درس ۲۰۹۱

۵۳۷	نظریان، فتح‌الله
/۰۲۸	اصول اندازه‌گیری الکتریکی / مؤلفان: فتح‌الله نظریان، محمود شبانی، سیدعلی صموتی.
الف ۵۱۲ ن	تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۱.
۱۳۹۱	۱۰۰ص. : مصور. - (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شماره درس ۲۰۹۱)
	متون درسی رشته‌های الکترونیک - الکتروتکنیک، زمینه صنعت.
	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 کار دانش
	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 دانش‌آموزان عزیز :

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

tvoccd@medu.ir

پیام‌نگار (ایمیل)

www.tvoccd.medu.ir

وب‌گاه (وب‌سایت)

با توجه به اجرای این کتاب در سال‌های متوالی و نشست‌های مجدد در کمیسیون‌های مربوطه ابتدا در
سال ۱۳۸۴ سپس در سال ۱۳۸۶ مورد تجدیدنظر و بازسازی کلی قرار گرفت. همچنین با توجه به درخواست
هنگام آموزش سراسر کشور مبنی بر افزودن یک فصل تحت عنوان آموزش نرم‌افزار مولتی‌سیم، این امر مورد
تأیید کمیسیون‌های تخصصی رشته‌های الکترونیک و الکتروتکنیک قرار گرفت و به عنوان فصل ششم به
انتهای کتاب اضافه شد.

وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

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

نام کتاب : اصول اندازه‌گیری الکتریکی - ۳۵۹/۹۳

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

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل چاپ و توزیع کتاب‌های 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

مدیر امور فنی و چاپ : سید احمد حسینی

رسام : مریم دهقان‌زاده، سروش ذوالریاستین، محمد سیاحی و سیدعلی صموتی (فصل ششم)

طراح جلد : مریم کیوان

صفحه‌آرا : راحله زادفتح‌اله

حروفچین : فاطمه باقری مهر

مصحح : مریم جعفر علیزاده، شهلا دالایی

امور آماده‌سازی خبر : ناهید خیام‌باشی

امور فنی رایانه‌ای : حمید ثابت کلاچاهی، پیمان حبیب‌پور

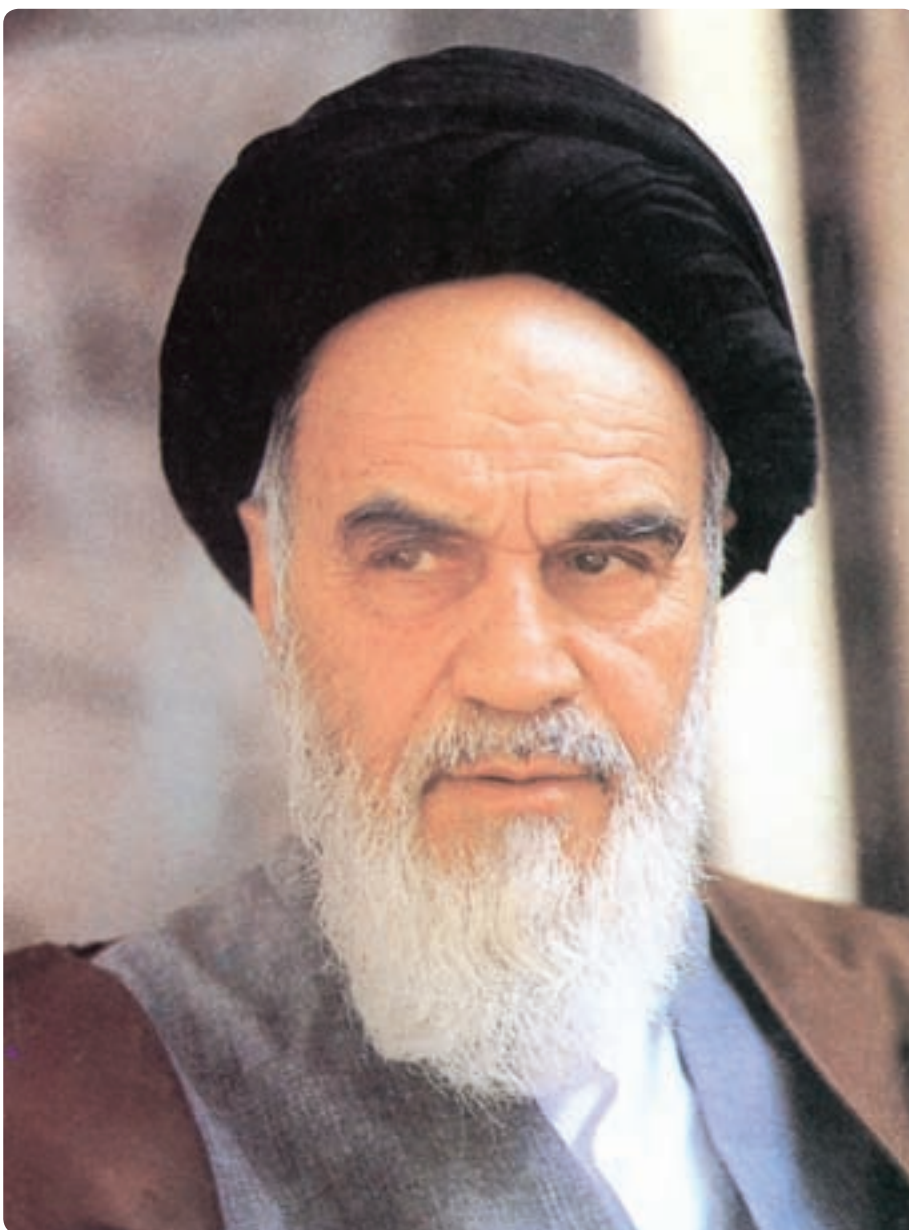
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

تلفن : ۵- ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۳۷۵۱۵-۱۳۹

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

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ دوازدهم ۱۳۹۱

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 الشریف»

جدول بودجه‌بندی زمان پیشنهادی برای اجرای درس اصول اندازه‌گیری الکتریکی		
فصل	عنوان	ساعت پیشنهادی
۱	اندازه‌گیری کمیت‌های غیرالکتریکی قابل تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی	۱۴
۲	اندازه‌گیری جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی	۱۰
۳	اندازه‌گیری توان، انرژی و اختلاف فاز	۶
۴	آشنایی با اسیلوسکوپ و کاربرد آن	۱۸
۵	ساختمان دستگاه‌های اندازه‌گیری	۱۲
۶	معرفی نرم‌افزار مولتی‌سیم	—

فهرست مطالب

فصل ۱: اندازه‌گیری کمیت‌های غیر الکتریکی قابل

تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی

- اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع به کمک اجسام شناور ۱۷
- اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات به کمک امواج ۱۹
- اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات با استفاده از لوله‌اندازه‌گیری ۱۹
- ۱-۹- اندازه‌گیری وزن ۱۹
- ۱-۱۰- الگوی پرسش ۲۱

فصل ۲: اندازه‌گیری جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی

- هدف کلی - هدف‌های رفتاری ۲۲
- ۲-۱- اندازه‌گیری جریان ۲۳
- اندازه‌گیری جریان DC ۲۳
- اندازه‌گیری جریان AC ۲۶
- ۲-۲- اندازه‌گیری ولتاژ ۲۷
- اندازه‌گیری ولتاژ DC ۲۷
- اندازه‌گیری ولتاژ AC ۲۹
- ۲-۳- اندازه‌گیری مقاومت اهمی ۲۹
- روش مستقیم ۳۰
- روش غیر مستقیم ۳۱
- ۲-۴- الگوی پرسش ۳۳

فصل ۳: اندازه‌گیری توان، انرژی و اختلاف فاز

- هدف کلی - هدف‌های رفتاری ۳۴
- مفاهیم اساسی ۳۵
- مقدمه ۳۶
- ۳-۱- اندازه‌گیری توان ۳۷
- ۳-۲- اندازه‌گیری مقدار انرژی ۳۹
- ۳-۳- اندازه‌گیری اختلاف فاز ۴۰
- ۳-۴- الگوی پرسش ۴۱

- هدف کلی - هدف‌های رفتاری ۱
- ۱-۱- تعریف اندازه‌گیری ۲
- اهمیت اندازه‌گیری الکتریکی ۲
- خطا در اندازه‌گیری ۲
- طبقه‌بندی سیستم‌های اندازه‌گیری ۳
- ۱-۲- اندازه‌گیری کمیت‌های غیر الکتریکی ۳
- سیگنال‌های استاندارد الکتریکی ۴
- ۱-۳- اندازه‌گیری فشار ۴
- تعریف فشار ۴
- واحدهای فشار ۵
- فشار اتمسفر ۵
- درجه بندی فشار گیج ۶
- درجه بندی فشار مطلق ۶
- ۱-۴- دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار ۶
- اندازه‌گیری فشار به کمک فشارسنج لوله‌ای ۶
- اندازه‌گیری فشار با لوله منبسط شونده ۷
- ۱-۵- اندازه‌گیری دما ۱۰
- ۱-۶- انواع وسایل اندازه‌گیری درجه حرارت ۱۱
- دماسنج با ماده قابل انبساط ۱۱
- دماسنج فشاری ۱۱
- دماسنج دو فلزی ۱۲
- دماسنج ترموکوپلی ۱۳
- آی سی‌های (IC) سنسور درجه حرارت ۱۵
- روش دیگری برای اندازه‌گیری دما در صنعت ۱۵
- ۱-۷- اندازه‌گیری تغییر مکان طولی ۱۶
- پتانسیومتر مقاومتی ۱۶
- ۱-۸- اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات ۱۷

فصل ۴: آشنایی با اسیلوسکوپ و کاربرد آن

۴۲	هدف کلی – هدف‌های رفتاری
۴۳	– مقدمه
۴۴	۴-۱ لامپ اشعه کاتدیک
۵۳	۴-۲ مدارهای آماده‌سازی
۵۳	■ ساختمان پراب (Probe)
۵۳	■ کلید انتخاب ورودی
۵۴	■ مدارهای تضعیف‌کننده
۵۶	۴-۳ اسیلوسکوپ دوکاناله
۵۷	۴-۴ کاربردهای عمومی اسیلوسکوپ
۵۷	■ اندازه‌گیری دامنه
۶۰	■ اندازه‌گیری زمان تناوب
۶۱	■ اندازه‌گیری اختلاف فاز
۶۲	۴-۵ الگوی پرشش

فصل ۵: ساختمان دستگاه‌های اندازه‌گیری

۶۴	هدف کلی – هدف‌های رفتاری
۶۵	۵-۱ دستگاه اندازه‌گیری با قاب گردان و آهن‌ربای دائمی
۶۵	■ ساختمان گالوانومتر دآرسونوال
۶۸	■ ساختمان ولت‌متر DC
۶۹	■ ساختمان ولت‌متر AC
۷۱	■ آمپر‌متر DC
۷۳	■ اهم‌متر سری
۷۴	۵-۲ دستگاه اندازه‌گیری آهن نرم گردان
۷۴	■ جاذبه الکترومغناطیسی
۷۴	■ دافعه الکترومغناطیسی
۷۷	■ خفه‌کن‌ها (Dampers)
۷۸	۵-۳ ساختمان داخلی وات‌متر
۷۹	۵-۴ مولتی‌متر دیجیتال
۸۳	۵-۵ الگوی پرشش

فصل ۶: معرفی نرم افزار مولتی سیم

۸۴	هدف کلی – هدف‌های رفتاری
۸۵	– مقدمه
۸۵	۶-۱ نصب و اجرای نرم افزار Multisim
۸۷	۶-۲ آشنایی با محیط کار نرم افزار
۸۷	■ قطعات الکتریکی پرکاربرد در درس اصول
۸۷	اندازه‌گیری الکتریکی
۸۷	■ المان‌های مجازی
۸۸	■ جستجوی قطعه از کتابخانه قطعات
۸۸	۶-۳ نحوه بستن یک مدار ساده بر روی میز کار
۸۸	آزمایشگاه مجازی
۸۹	۶-۴ نحوه قرار گرفتن آمپر‌متر در مدار
۹۰	۶-۵ نحوه قرار گرفتن ولت‌متر در مدار
۹۰	۶-۶ نحوه قرار گرفتن اهم‌متر در مدار
۹۱	۶-۷ به دست آوردن مقاومت معادل
۹۱	■ مدار سری
۹۱	■ مدار موازی
۹۱	۶-۸ نحوه قرار گرفتن وات‌متر در مدار
۹۲	۶-۹ نحوه قرار گرفتن فانکشن ژنراتور در مدار
۹۳	۶-۱۰ اندازه‌گیری ولتاژ برق شهر خارج از محیط برنامه
۹۳	۶-۱۱ آشنایی با اسیلوسکوپ در نرم افزار مولتی سیم
۹۳	■ معرفی و تنظیم‌های اولیه
۹۵	■ آزمایش پراب
۹۵	■ آزمایش کالیبره بودن (تنظیم) اسیلوسکوپ
۹۶	زمان تناوب
۹۷	۶-۱۲ آزمایش ۱
۹۸	۶-۱۳ آزمایش ۲
۹۹	۶-۱۴ آزمایش ۳
۱۰۰	منابع

قابل توجه هنرآموزان و هنرجویان محترم

برای آموزش فصل‌هایی از این کتاب می‌توانید از نرم‌افزارهای EWB، Multisim 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 مرحله 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 برنامه هنرجویان قرار دارد. از طرفی می‌دانیم که برای بیان یک مبحث فنی در رشته برق و الکترونیک لازم است هنرجویان برخی از اصول و مبانی برق را بدانند که این مبانی در درس فیزیک (۱) در حد نیاز گفته شده است. با این حال تعریف بعضی از کمیت‌های الکتریکی که احتمال می‌رود هنرجو هنوز آن‌ها را نخوانده باشد، قبل از نحوه اندازه‌گیری به صورت خیلی خلاصه آورده شده است. بنابراین تقاضا می‌شود ابتدا تعریف کمیت الکتریکی مورد نظر را برای هنرجویان خود تشریح کنید و سپس نحوه 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 هنرجویان 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)

همچنین فصل اول کتاب در سال ۱۳۸۹ مجدداً تجدید نظر گردید و بازسازی شد.

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

مؤلفان



اندازه‌گیری کمیت‌های غیرالکتریکی قابل تبدیل به سیگنال‌های الکتریکی

هدف کلی

آشنایی با ساختمان و طرز کار نمونه‌هایی از مبدل‌های

کمیت‌های غیرالکتریکی به الکتریکی (حسگرها)

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

- اندازه‌گیری را تعریف کند.
- خطاهای اندازه‌گیری را شرح دهد.
- تقسیم‌بندی دستگاه‌های اندازه‌گیری را به‌طور کلی توضیح دهد.
- کمیت‌های غیرالکتریکی را تعریف کند.
- دلایل تبدیل کمیت‌های غیرالکتریکی به الکتریکی را شرح دهد.
- سیگنال‌های استاندارد الکتریکی را نام ببرد.
- فشار را تعریف کند.
- رابطه فشار و واحدهای آن را شرح دهد.
- نحوه اندازه‌گیری فشار را شرح دهد.
- نحوه عملکرد دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار را توضیح دهد.
- دمای یک جسم را تعریف کند.
- انواع درجه‌بندی برای دما را شرح دهد.
- نحوه عملکرد انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری درجه حرارت را تشریح کند.
- نحوه اندازه‌گیری تغییر مکان طولی را توضیح دهد.
- روش‌های مختلف اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات را توضیح دهد.
- نحوه اندازه‌گیری وزن را تشریح کند.
- فعالیت‌های کلاسی را با اعتماد به نفس و به‌طور دقیق انجام دهد.
- نظم و ترتیب و حضور به موقع 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 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 هنرجویان و... حساس و فعال باشد.

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 نرم افزارهای مرتبط عملکرد این گونه حسگرها را به صورت شبیه ساز برای هنرجویان به نمایش درآورند.

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

۱-۱- تعریف اندازه گیری

الکترونیکی، اندازه گیری کمیت‌هایی مانند ولتاژ، جریان، مقاومت اهمی، انرژی، توان و اختلاف فاز لازم است. حتی در اکثر سیستم‌های اندازه گیری غیرالکتریکی برای اندازه گیری کمیت‌های مختلف فیزیکی مانند حرارت، فشار و سرعت، ابتدا کمیت فیزیکی به یک کمیت الکتریکی که با کمیت اصلی دارای رابطه مشخصی است، تبدیل می‌گردد؛ سپس با اندازه گیری کمیت الکتریکی، کمیت فیزیکی اولیه اندازه گیری می‌شود.

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

۱-۱-۲ خطا در اندازه گیری: هنگام اندازه گیری و استفاده از دستگاه‌های مختلف اندازه گیری، همیشه این احتمال وجود دارد که کمیت اندازه گیری شده نسبت به کمیت واقعی قدری بیشتر یا کمتر باشد؛ این تفاوت را خطای اندازه گیری می‌نامند.

خطای اندازه گیری به دو صورت ممکن است اتفاق بیفتد: الف) خطای شخصی: این نوع خطا مربوط به اشتباهاتی است که شخص، در موقع اندازه گیری، به طور ناخواسته انجام می‌دهد. مثلاً ممکن است کاربر هنگام خواندن عدد یا رقم، به

اصولاً، اندازه گیری، نتیجه مقایسه کلی بین یک استاندارد (شاخص) تعریف شده و یک اندازه (مقدار) نامعلوم است. برای این که نتیجه عمل اندازه گیری، به طور عمومی، با معنی باشد دو شرط زیر لازم است:

● الف- استاندارد که برای مقایسه به کار می‌رود به طور دقیق معلوم و مورد پذیرش باشد.

● ب- روش اندازه گیری قابل تکرار باشد به طوری که بتوان صحت و دقت دستگاه اندازه گیری را امتحان نمود.

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

شرط دوم نیز بدین معنی است، که دستگاه اندازه گیری باید بتواند، در دفعات مختلف، اندازه یک کمیت معین را یک مقدار بخواند. هم چنین باید بتوانیم توانایی دستگاه را برای انجام اندازه گیری صحیح امتحان کنیم.

۱-۱-۱ اهمیت اندازه گیری الکتریکی: با توسعه روزافزون دستگاه‌های الکتریکی و الکترونیکی و ورود انواع سیستم‌ها و پیچیدگی آن‌ها، اهمیت اندازه گیری روزبه‌روز بیشتر می‌شود. برای عیب‌یابی و آزمایش سیستم‌های الکتریکی و

رنج (حوزه کار) کلید سلکتور توجه نداشته باشد یا ضرایب را اشتباه محاسبه کند.

ب) خطای دستگاه: عواملی که باعث این نوع خطا می‌شوند نسبت به خطای شخصی بیشتر است و در بعضی موارد نمی‌توان از تأثیر آن‌ها جلوگیری کرد. کیفیت فنی دستگاه، فرکانس، اصطکاک، حوزه‌های الکترومغناطیسی و خطای ناشی از حرارت محیط، برخی از این عوامل هستند. یکی دیگر از عواملی که باعث خطا می‌شود وجود و نصب دستگاه در مدار است. مثلاً با قرار دادن یک آمپر متر در مدار مقاومت ناخواسته‌ای به مدار اضافه می‌شود و جریان مدار را کاهش می‌دهد در نتیجه اندازه‌گیری با خطا همراه خواهد بود.

در حال حاضر با پیشرفت فن‌آوری، دستگاه‌های اندازه‌گیری را عموماً به صورت الکترونیکی می‌سازند. این دستگاه‌ها قطعات متحرک ندارند و بسیار دقیق هستند و تقریباً مستقل از شرایط محیط عمل می‌کنند. مثلاً اگر حرارت محیط تغییر کند، در مقدار اندازه‌گیری شده تأثیری نمی‌گذارد. امروزه به خاطر دقت بسیار بالایی که در ساخت اکثر دستگاه‌های اندازه‌گیری، حتی نوع ارزان قیمت، وجود دارد، معمولاً این دستگاه‌ها در عمل خطا ندارند، ساخت دستگاه‌ها به صورت دیجیتالی (رقمی) سبب می‌شود که خطای مربوط به خواندن مقادیر نیز از بین برود.

۳-۱-۱- طبقه‌بندی سیستم‌های اندازه‌گیری: دستگاه‌های اندازه‌گیری را به صورت‌های مختلف طبقه‌بندی می‌کنند. در یک طبقه‌بندی، این دستگاه‌ها را به دستگاه‌های آنالوگ و دیجیتال تقسیم می‌کنند. خروجی دستگاه آنالوگ مشابه ورودی دستگاه (آنالوگ) است. سرعت سنج اتومبیل و ولت‌مترهای عقربه‌ای نمونه‌هایی از دستگاه‌های آنالوگ هستند.

دستگاه‌های دیجیتال، کمیت اندازه‌گیری شده را به صورت رقم (عدد) یا ارقام نشان می‌دهند، یعنی برخلاف دستگاه‌های آنالوگ، قادر به نشان دادن کمیت به صورت پیوسته نیستند. ولت‌متر دیجیتالی و فرکانس‌متر دیجیتالی نمونه‌هایی از انواع دستگاه‌های دیجیتال می‌باشند.

در دسته‌بندی دوم، دستگاه‌های اندازه‌گیری به دستگاه‌های اندازه‌گیری DC و AC تقسیم می‌شود. دستگاه‌های DC فقط مقادیر ثابت و دستگاه‌های AC کمیت‌های متغیر با زمان را

اندازه‌گیری می‌کنند.

در تقسیم‌بندی سوم، دستگاه‌های اندازه‌گیری را بر اساس روش کار دستگاه تقسیم‌بندی می‌کنند. دستگاه‌های اندازه‌گیری مستقیم و غیرمستقیم، دستگاه‌های اندازه‌گیری انحرافی و دستگاه‌های اندازه‌گیری نول در این طبقه‌بندی قرار دارند. در دستگاه انحرافی، مقدار انحراف، معرّف کمیت مورد اندازه‌گیری است ولی در دستگاه نوع نول (صفر)، صفر شدن مقدار کمیت مورد اندازه‌گیری، ملاک اندازه‌گیری است.

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

۲-۱- اندازه‌گیری کمیت‌های غیرالکتریکی

در صنعت برای **کنترل** کمیت‌هایی مانند دما، فشار، ارتفاع، وزن و سرعت، ابتدا باید کمیت مورد نظر را اندازه‌گرفت و سپس آن را کنترل کرد.

برای مثال اگر بخواهیم دمای یک کوره را ثابت نگه داریم، ابتدا باید دمای آن را اندازه بگیریم، سپس کمیت اندازه‌گیری شده را با یک مقدار ثابت (دمایی که می‌خواهیم آن را ثابت نگه داریم) **مقایسه** کنیم. چنانچه مقدار اندازه‌گیری شده کمتر یا بیشتر از مبنای مقایسه باشد، تصمیمات لازم برای رسیدن به نتیجه مطلوب گرفته می‌شود.

به دلایل زیر، برای اندازه‌گیری یک کمیت غیرالکتریکی (مانند فشار و دما) و انتقال آن به قسمت‌های دیگر و مشاهده مقدار اندازه‌گیری شده، یا مقایسه آن با مقدار تنظیم شده و یا هر نوع کنترلی بر روی آن، ابتدا باید کمیت موردنظر را تبدیل به سیگنال الکتریکی کنیم.

● انتقال سیگنال الکتریکی از یک نقطه به نقطه دیگر به سادگی امکان‌پذیر است (مثلاً با دو رشته سیم یا بدون سیم از

طریق فرستنده و گیرنده).

- سرعت انتقال آن بسیار بالاست (سرعت نور).
- اندازه گیری آن بسیار آسان است (مثلاً با یک ولت متر و آمپر متر).
- مقایسه آن با یک سیگنال مرجع بسیار ساده است.
- تبدیل آن به نوع دیگر انرژی بسیار آسان است.
- هزینه انتقال آن بسیار پایین است.
- امکان اتصال به دستگاه های کنترل خودکار مانند رایانه وجود دارد.

● امکان ضبط اطلاعات به صورت فایل وجود دارد.

۱-۲-۱- سیگنال های استاندارد الکتریکی :

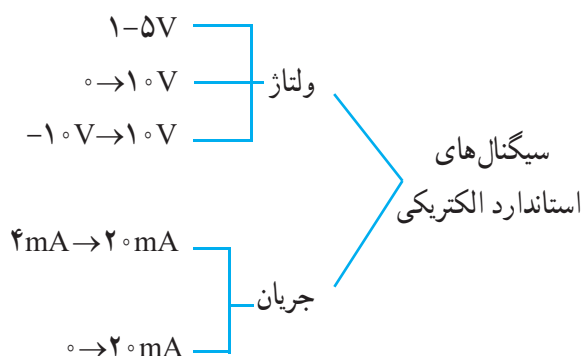
سیگنال های الکتریکی متناسب با اندازه کمیت های غیر الکتریکی را به دلایل زیر، تبدیل به سیگنال های استاندارد الکتریکی می کنند :

(الف) جلوگیری از تنوع دستگاه های اندازه گیری و کنترل

(ب) استفاده از دستگاه های متداول برای اندازه گیری کمیت

مورد نظر

- سیگنال های استاندارد الکتریکی را به صورت زیر در صنعت مورد استفاده قرار می دهند.



سیگنال های الکتریکی دیگری (مانند ۱۰V → ۲V) گاهی در صنعت دیده می شوند، ولی امروزه کمتر مورد استفاده قرار می گیرند.

۱-۳- اندازه گیری فشار

۱-۳-۱- تعریف فشار : همه مواد موجود در طبیعت

از مولکول ساخته شده اند، و هر مولکول از اتم های مختلف تشکیل شده است. مولکول های یک جسم سیال (مایع یا گاز) با سرعت زیاد در تمام جهات حرکت می کنند. در اثر این حرکت مولکول ها با یکدیگر یا با دیواره ظرفی که در آن قرار دارند برخورد می نمایند. در اثر برخورد مولکول ها به دیواره ظرف نیرویی به آن وارد می شود. هر قدر مولکول ها با سرعت زیادتری به ظرف برخورد نمایند یا تعداد مولکول های برخورد کرده با دیواره بیشتر یا مولکول سنگین تر باشد، این نیرو بیشتر خواهد بود بنابراین مقدار نیروی وارده بر دیواره ظرف به عوامل زیر بستگی دارد.

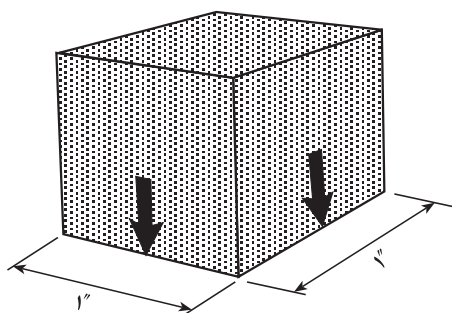
(الف) سرعت مولکول ها

(ب) تعداد مولکول ها

(ج) وزن مولکول ها

نیروی وارد شده به واحد سطح را فشار می گویند.

شکل ۱-۱ مکعبی را نشان می دهد که دارای سطح تماسی برابر یک اینچ مربع است. در این صورت هر نیرویی که بر این سطح وارد می آید فشار نامیده می شود.



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

لذا به زبان ساده فشار را به صورت زیر تعریف می کنیم :

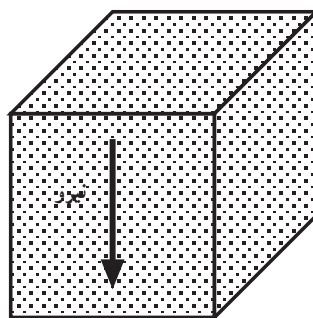
فشار عبارت از اندازه نیروی وارد شده بر سطح اثر نیرو است، فشار را می توان با رابطه ۱-۱ بیان کرد :

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{رابطه ۱-۱}$$

در رابطه ۱-۱، F نیرو و A سطح اثر نیرو است.

در شکل ۱-۲، مکعب فشاری را به سطحی که روی آن قرار دارد وارد می کند.

لاستیک چرخ‌های اتومبیل تحت فشار شدید باد قرار دارند تا اتومبیل بتواند با کمترین انرژی حرکت کند. آب لوله‌کشی شهر به کمک پمپ‌های بسیار بزرگ تحت فشار قرار می‌گیرد تا از یک نقطه به دیگر نقاط جابجا شود. گاز شهری به کمک پمپ‌های بزرگ تحت فشار قرار می‌گیرد تا از یک نقطه به سایر نقاط مورد نظر جابجا شود (از جنوب تا شمال کشور).
در صنعت از فشار روغن برای مواردی مانند پرس‌ها، جک‌ها و بالابرها استفاده فراوان می‌شود.



شکل ۱-۲- مکعب به سطحی که روی آن قرار دارد فشار وارد می‌کند

در تمامی موارد یاد شده در زمینه فشار، اعمال نیرو به سطح وجود دارد، در بعضی موارد، عامل نیرو ناشی از یک وزن است و در موارد دیگر، به جای وزن، تراکم مولکول‌های هوا است، مانند فشار باد داخل لاستیک چرخ اتومبیل که بر ذره ذره سطح لاستیک فشار می‌آورند.

در رابطه ۱-۱، اگر F بر حسب کیلوگرم نیرو و A بر حسب سانتی متر مربع باشد، واحد P ، بر حسب کیلوگرم نیرو بر سانتی متر مربع خواهد بود:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\text{کیلوگرم نیرو}}{\text{سانتی متر مربع}}$$

در ادامه، واحدهای رایج فشار و نحوه اندازه‌گیری آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۱-۳-۲- واحدهای فشار: یک بار دیگر به رابطه

فشار توجه می‌کنیم:

$$P = \frac{F}{A}$$

فشار ناشی از یک کیلوگرم نیرو بر یک سانتی متر مربع از سطح را یک بار (BAR) می‌گویند.

واحدهای BAR و PSI در صنعت از رایج‌ترین واحدها هستند؛ اما در ابزار دقیق از واحد دیگری به نام اینچ سیال نیز استفاده می‌شود. اینچ آب و یا اینچ جیوه نمونه‌هایی از اینچ سیال است.

برای اندازه‌گیری فشارهای خیلی کم، از واحد دیگری به نام پاسکال استفاده می‌شود. یک پاسکال برابر با $\frac{1}{100000}$ بار است:

$$1 \text{ BAR} = 100000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa}$$

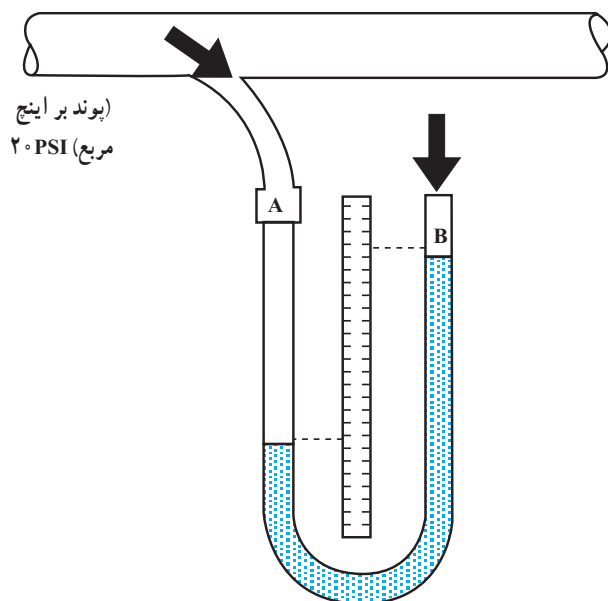
۱-۳-۳- فشار اتمسفر: تمام اجسام در روی زمین، تحت فشار اتمسفر است. فشار اتمسفر اغلب به عنوان مبنا در نظر

واحد کوچکتر بار (Bar) میلی بار mBar است که معادل یک هزارم بار ($1 \text{ mBar} = \frac{1}{1000} \text{ Bar}$) است.

همچنین اگر در رابطه (۱-۱)، واحد F بر حسب پوند نیرو (یک پوند تقریباً $453/6$ گرم است) و واحد سطح بر حسب اینچ مربع (یک اینچ تقریباً $25/4$ میلی متر است) باشد، واحد P ، بر حسب پوند بر اینچ مربع خواهد بود، واحد پوند بر اینچ مربع را با PSI (Pound force per Square Inch) نشان می‌دهند.

$$1 \text{ PSI} = \frac{1 \text{ پوند نیرو}}{1 \text{ اینچ مربع}}$$

می‌دانیم که اگر فشار وارد شده بر سطح مایع در هر دو لوله یکسان باشد، در این صورت هیچ‌گونه اختلاف فشاری وجود ندارد و سطح مایع در هر دو لوله با هم برابر است (شکل ۱-۴). حال اگر یک سر لوله را به ظرفی که محتوی گاز یا مایع تحت فشار است وصل کنیم اختلاف فشار به وجود می‌آید (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۵- 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 وسیله مدرج که بتوان اختلاف فشار را روی آن خواند استفاده می‌کنیم؛ با وارد کردن فشار در یک طرف لوله U شکل، مایع در طرف دیگر بالا می‌رود؛ یعنی هر قدر فشار بیشتر باشد لوله‌ای که برای نشان دادن تغییرات فشار لازم است باید با طول بزرگ‌تری انتخاب شود. لوله ممکن است از جنس شیشه باشد؛ لذا از فشارسنج‌های لوله‌ای برای اندازه‌گیری فشار در مکان‌هایی که امکان شکستن لوله وجود دارد، استفاده نمی‌شود.

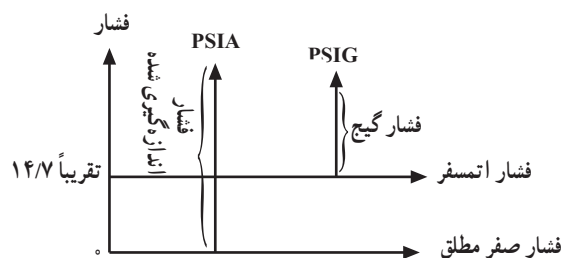
در شکل ۱-۶ تصویر یک نمونه فشارسنج لوله‌ای را که اختلاف فشار دو مخزن را نشان می‌دهد، مشاهده می‌کنید.

گرفته می‌شود. این فشار در سطح هم طراز دریای آزاد، تقریباً برابر ۱۴/۷ PSI است.

۱-۳-۴- درجه بندی فشار گیج (Gage): فشاری که در پروسه‌های صنعتی اندازه‌گیری می‌شود، معمولاً بزرگ‌تر و یا مساوی فشار جو است. اختلاف میان فشار اتمسفر و فشار اندازه‌گیری شده را فشار گیج می‌نامند و آن را با PSI و یا PSIG نشان می‌دهند.

۱-۳-۵- درجه بندی فشار مطلق: مبنای این فشار، صفر مطلق است، در این دما هیچ فشاری، حتی فشار اتمسفر وجود ندارد. بنابراین فشار صفر مطلق فقط در خلأ کامل ایجاد می‌شود. فشار مطلق را با PSIA نشان می‌دهند.

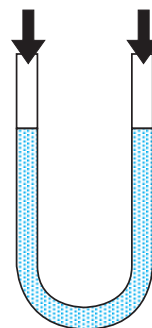
- رابطه میان فشار مطلق و فشار گیج
برای محاسبه فشار مطلق، باید فشار جو را با فشار گیج جمع کرد (شکل ۱-۳).



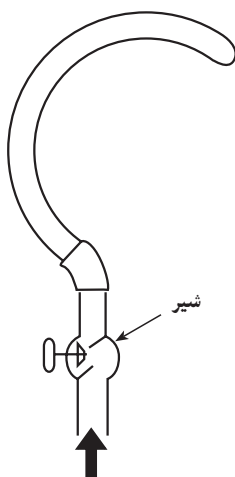
شکل ۱-۳- رابطه فشار مطلق با فشار گیج

۱-۴- دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار

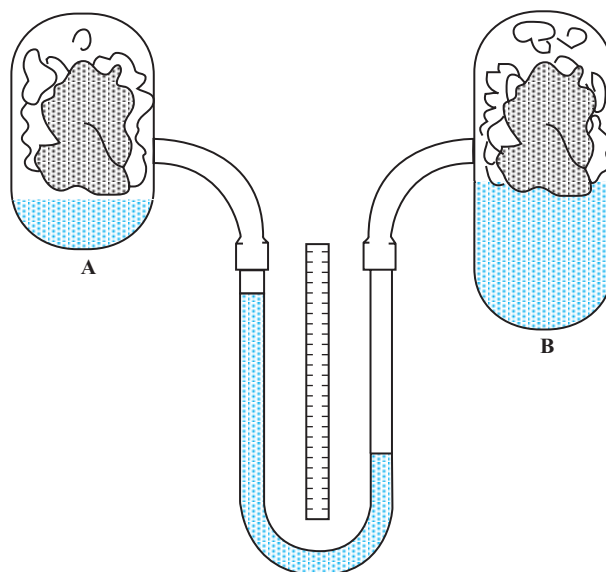
۱-۴-۱- اندازه‌گیری فشار به کمک فشارسنج لوله‌ای: این دستگاه به‌طور ساده از یک لوله U شکل تشکیل می‌شود که دو انتهای آن باز است.



شکل ۱-۴- به علت فشار یکسان سطح مایع در دو لوله یکسان است.

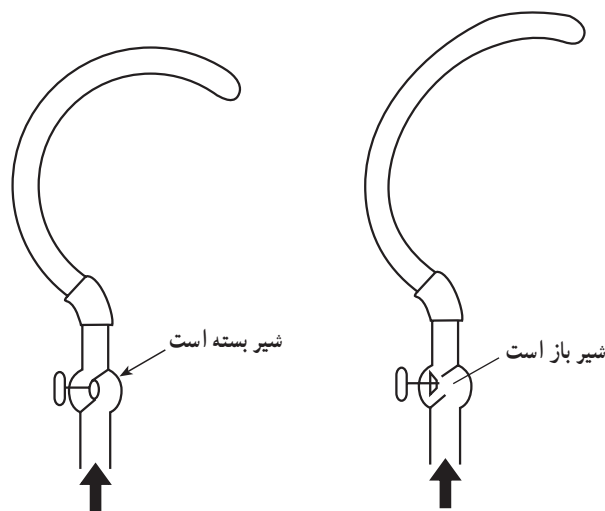


شکل ۱-۸- لولهٔ ورودی



شکل ۱-۶

تا زمانی که شیر بسته است فشار داخل لوله کم و لوله به حالت خمیده است، هنگامی که شیر را باز می‌کنیم فشار داخل لوله زیاد می‌شود و به تدریج از انحنای لوله می‌کاهد تا آن را به حالت مستقیم درمی‌آورد. از این خاصیت برای تعیین مقدار فشار استفاده می‌شود. در این حالت با اندازه‌گیری مقدار تغییر شکل لوله، می‌توانیم میزان فشار وارده را نیز اندازه بگیریم (شکل ۱-۹).



شکل ۱-۹- تغییر فشار داخل لوله ورودی با باز کردن و بستن شیر آن

برای مشاهده تغییرات می‌توان انتهای لوله را به یک عقربهٔ چرخ دنده‌دار اتصال داد. مطابق شکل ۱-۱۰- الف، زیاد شدن فشار لولهٔ خمیده را کمی باز می‌کند، باز شدن لوله سبب حرکت دادن چرخ دنده‌ها و در نهایت حرکت عقربه روی صفحهٔ مدرج

در شکل ۱-۷ یک نمونه فشارسنج دیجیتالی را مشاهده می‌کنید.

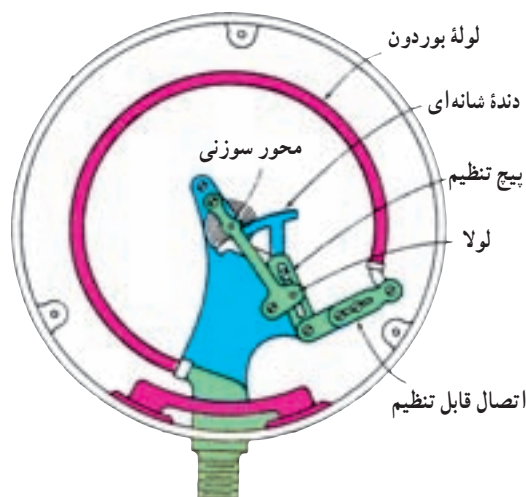
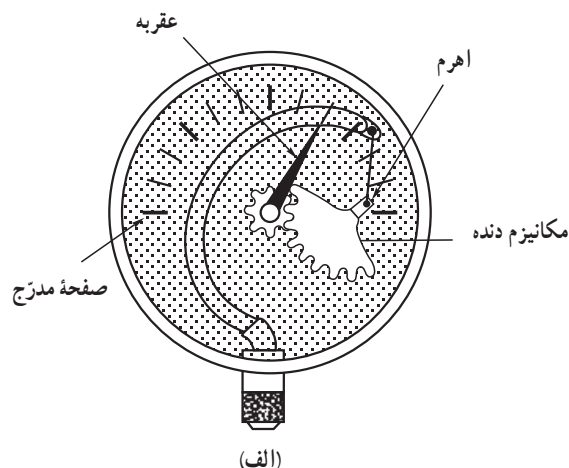


شکل ۱-۷- فشارسنج دیجیتالی

۲-۴-۱- اندازه‌گیری فشار با لولهٔ منبسط شونده :

الف) لولهٔ ورودی C شکل : این فشارسنج معمول‌ترین نوعی است که در صنعت از آن استفاده می‌شود و از یک لولهٔ توخالی خمیده فلزی با خاصیت فنری، تشکیل شده است. یک طرف این لوله بسته و طرف دیگر آن توسط شیری به مخزن فشار متصل می‌گردد (شکل ۱-۸).

می‌شود و میزان فشار را نشان می‌دهد. در شکل ۱-۱۰ ب انواع فشار سنج بوردون را مشاهده می‌کنید.



ب - انواع فشارسنج بوردون
شکل ۱-۱۰

یکی از کاربردهای اندازه‌گیری فشار با لوله منبسط شونده در نشان‌دهنده روغن موتور اتومبیل است. در شکل ۱-۱۱ تصویر داشبورد اتومبیل که نشان‌دهنده روغن روی آن نصب است را ملاحظه می‌کنید. در شکل ۱-۱۲ تصویر موتور اتومبیل و محل نصب فشنگی یا سنسور روغن را مشاهده می‌کنید.



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

شکل ۱-۱۱- داشبورد اتومبیل

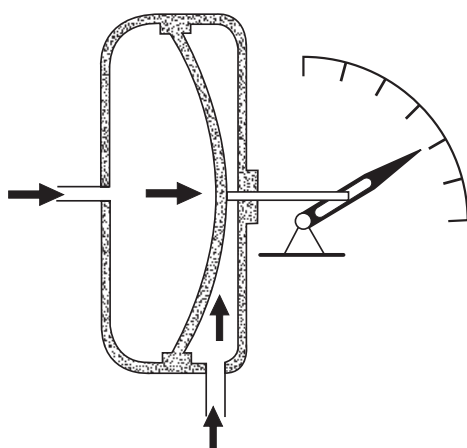


شکل ۱-۱۲- موتور اتومبیل و محل نصب شمع فشنگی یا سنسور روغن

یکی از انواع نشان‌دهنده روغن در اتومبیل، انبساطی است، در شکل ۱-۱۳ این نوع نشان‌دهنده را ملاحظه می‌کنید. در این نوع نشان‌دهنده، از یک لوله قابل انعطاف استفاده شده است که از یک طرف به وسیله لوله‌ای به مدار روغن کاری موتور وصل می‌شود و از طرف دیگر به عقربه نشان‌دهنده متصل است. در حالت خاموش بودن موتور، عقربه در ابتدای صفحه

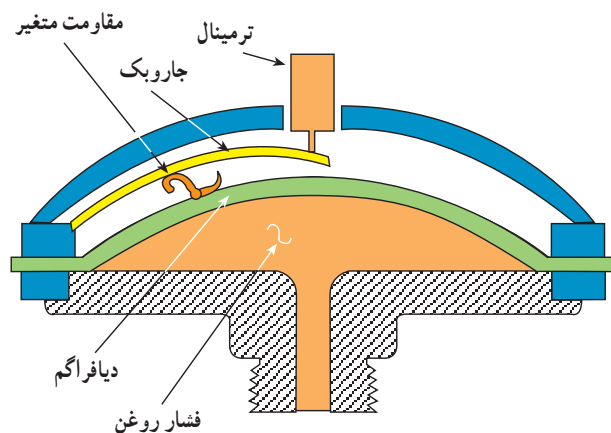
از آن‌جا که شکل لوله تقریباً به صورت C شکل می‌باشد آن را لوله C شکل نیز می‌نامند.

به طرف راست خم می‌شود. وسط دیافراگم به یک عقربه متصل است که حرکت (جابه‌جایی) دیافراگم را روی یک صفحه مدرج نشان می‌دهد.



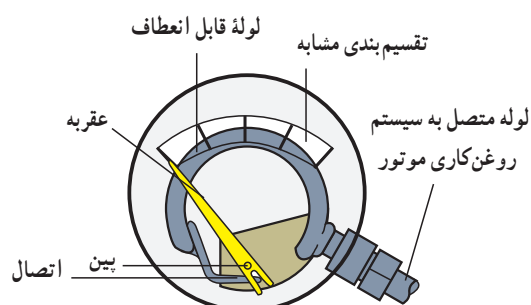
شکل ۱-۱۵- ساختمان فشارسنج دیافراگمی

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، حتی اختلاف فشارهای کم نیز 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 اتومبیل است. در شکل ۱-۱۶ نمونه‌ای از این نوع فشارسنج دیافراگمی را ملاحظه می‌کنید.



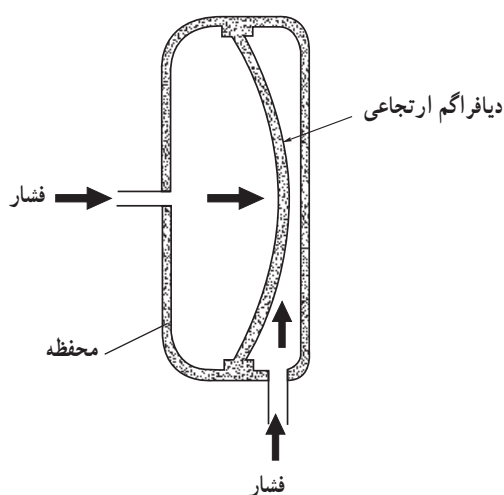
شکل ۱-۱۶- نمونه‌ای از فشنگی یا شمع روغن دیافراگمی

مدرج فشار روغن قرار می‌گیرد (شکل ۱-۱۳) و پس از روشن شدن موتور فشار مؤثر بر لوله قابل انعطاف، باعث انبساط لوله شده و با حرکت عقربه، مقدار فشار اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۱-۱۳- فشارسنج انبساطی که برای نشان دادن درجه فشار روغن در اتومبیل به کار می‌رود.

ب) فشارسنج دیافراگمی: به طور خلاصه می‌توان گفت که این نوع فشارسنج از یک محفظه (قوطی) کاملاً آب‌بندی شده، با دو مجرای ورود فشار در دو طرف، تشکیل شده است. در وسط محفظه پرده‌ای (دیافراگم) از لاستیک یا ماده ارتجاعی دیگری قرار دارد که در صورت وجود اختلاف فشار در دو طرف آن به طرفی که فشار کمتری دارد متمایل می‌شود (شکل ۱-۱۴).



شکل ۱-۱۴- اصول کار فشارسنج دیافراگمی

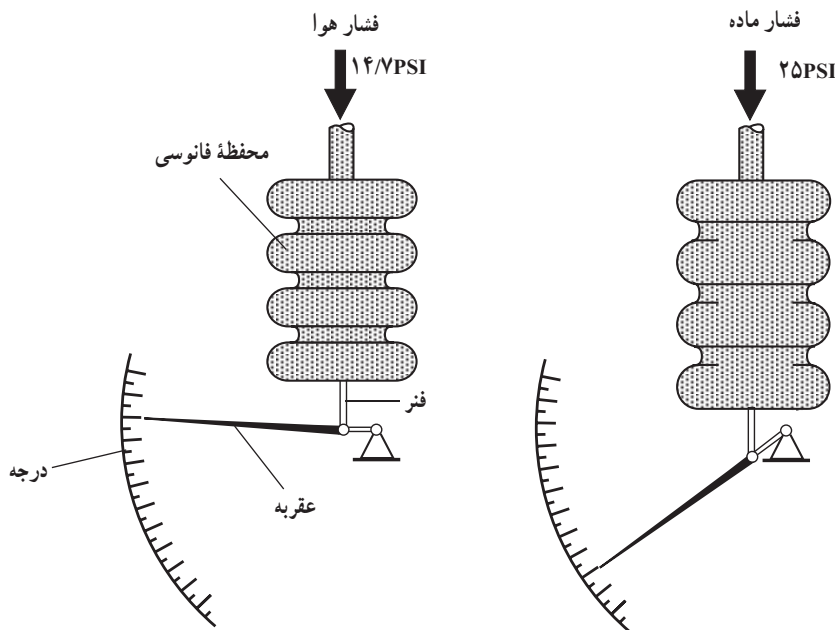
این دستگاه، فشارسنج تفاضلی نام دارد و برای سنجش اختلاف فشار به کار می‌رود. با توجه به شکل ۱-۱۵، فشار حاصل از گاز در سمت چپ دیافراگم بیشتر است لذا دیافراگم

فانوسی شکل سبب حرکت عقربه روی صفحه مدرج می‌شود (شکل ۱۷-۱).

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

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

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



شکل ۱۷-۱- حرکت محفظه فشارسنج فانوسی باعث حرکت عقربه می‌شود.

ویژه مهرچریان طالق‌مند

بررسی کنید کدام یک از حسگرهایی که تاکنون آموزش داده شده است (یا مشابه آن) در ماشین‌های لباسشویی و ظرف‌شویی ممکن است وجود داشته باشد و چه عملی را انجام می‌دهد.

۵-۱- اندازه‌گیری دما

دمای یک جسم، نشان دهنده درجه سردی و گرمی آن است.

چهار نوع درجه بندی برای دما مرسوم است.

● سانتی‌گراد (سلسیوس)

● فارنهایت

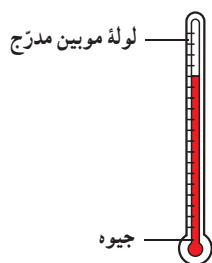
● کلونین

● رانکین

در صنعت، درجه بندی سانتی‌گراد و فارنهایت بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

برای درجه بندی دما، دانشمندان فیزیک، دو نقطه مرجع یعنی دمای نقطه ذوب یخ و دمای آب در حال جوش را در نظر می‌گیرند.

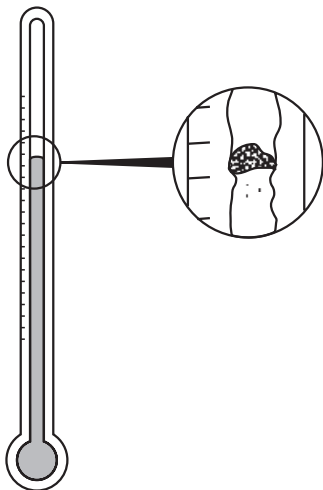
برای پی بردن به تغییرات درجه حرارت استفاده می شود. ارتفاع ستون جیوه در یک لوله بسیار نازک می تواند نشان دهنده تغییرات دما باشد (شکل ۱۹-۱).



شکل ۱۹-۱- دماسنج جیوه ای

به نسبت بالا رفتن یا پایین آمدن درجه حرارت، جیوه منبسط یا منقبض می شود و در طول لوله حرکت می کند. با توجه به صفحه مدرج که زیر لوله قرار دارد، میزان درجه حرارت نشان داده می شود.

یکی از اشکالات این نوع دماسنج ها بلند بودن طول لوله برای سنجش های وسیع درجه حرارت است، زیرا امکان شکستن لوله بزرگ و نازک شیشه ای بسیار زیاد است. از طرفی چون ساختن لوله ای که قطر داخل آن کاملاً یکسان باشد بسیار مشکل است، در نتیجه فاصله نشان دهنده بالا رفتن درجه حرارت در سرتاسر لوله متفاوت خواهد بود. شکل ۲۰-۱ این نکته را نشان می دهد.

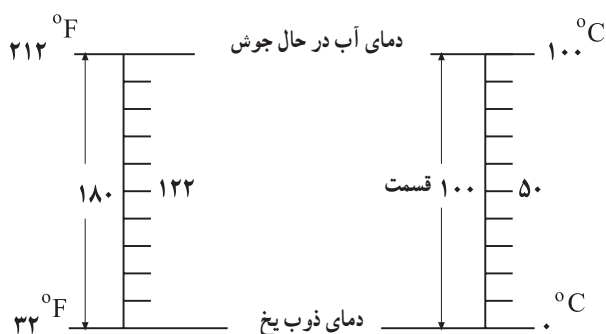


شکل ۲۰-۱- فاصله نشان دهنده بالا رفتن درجه حرارت در لوله یکنواخت نیست.

۲-۶-۱- دماسنج فشاری: همان طور که قبلاً گفته شد با بالا رفتن درجه حرارت فشار نیز افزایش می یابد. لذا می توان با

بین این دو نقطه مرجع را به 100° یا 180° قسمت تقسیم می کنند. آقای سلسیوس (Celsius) دمای نقطه ذوب یخ را صفر و دمای آب در حال جوش را 100° در نظر گرفت و بین این دو نقطه را صد قسمت تقسیم کرد. این نوع درجه بندی دما را سانتی گراد و یا سلسیوس می گویند.

آقای فارنهایت دمای نقطه ذوب یخ را 32° و دمای آب در حال جوش را 212° در نظر گرفت و بین این دو را 180° قسمت تقسیم کرد؛ این نوع درجه بندی، درجه بندی فارنهایت نام دارد. شکل ۱۸-۱ درجه بندی سلسیوس و فارنهایت را نشان می دهد.



شکل ۱۸-۱- نحوه درجه بندی سلسیوس و فارنهایت

نحوه تبدیل درجه بندی سانتی گراد و فارنهایت به یک دیگر به صورت زیر است:

$$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32)$$

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$

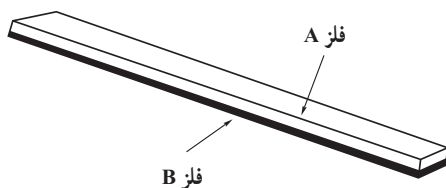
برای اندازه گیری دما، روش های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش ها اندازه گیری تغییر خواص الکتریکی اجسام در اثر تغییرات دما است. می دانیم که مقاومت اهمی فلزات در اثر تغییر دما، تغییر می کند. در فلزات، با افزایش دما مقاومت اهمی فلزات افزایش می یابد. از خاصیت تغییرات مقاومت اهمی فلزات بر اثر تغییرات دما، برای اندازه گیری حرارت در صنعت استفاده می شود.

۶-۱- انواع وسایل اندازه گیری درجه حرارت

۱-۶-۱- دماسنج با ماده قابل انبساط: از دماسنج

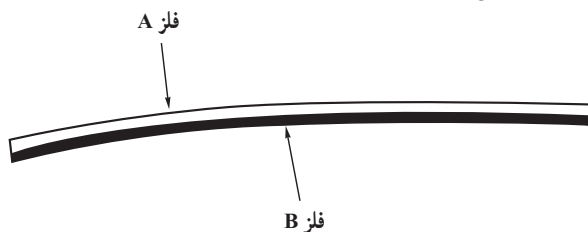
که در نتیجه گرم شدن فوراً تبدیل به بخار شوند؛ چنانچه حرارت بیشتری به این مایعات داده شود، بخار بیشتری نیز تولید می‌شود و به همان نسبت میزان فشار زیادتر شده و لولهٔ بوردون بیشتر باز می‌شود و عقربه، درجه حرارت بیشتری را نشان خواهد داد.

۳-۶-۱- دماسنج دو فلزی: همان‌طور که می‌دانید حرارت باعث انبساط فلزات می‌شود، ولی در اثر افزایش حرارت، مثلاً مس بیشتر از فولاد منبسط می‌گردد. شکل ۱-۲۳ دو نوع فلز مختلف را که به یکدیگر متصل شده و یک تیغهٔ دو فلزی تشکیل داده‌اند نشان می‌دهد.



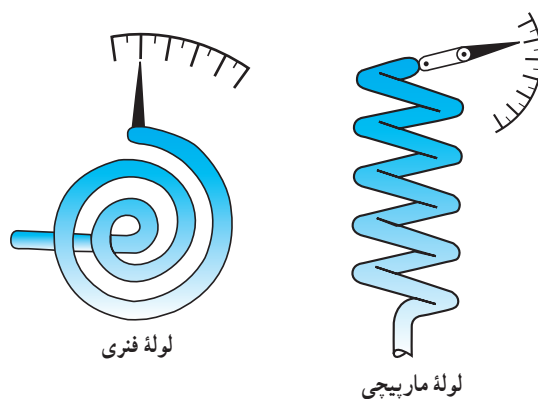
شکل ۱-۲۳- اتصال دو نوع فلز مختلف به یکدیگر

اگر به این تیغه حرارت داده شود، در اثر حرارت یکی از این دو فلز بیشتر از دیگری منبسط می‌شود و همین امر باعث خم شدن تیغه می‌گردد. همیشه فلز با قابلیت انبساط بیشتر در سمت خارج انحنا قرار می‌گیرد (شکل ۱-۲۴).

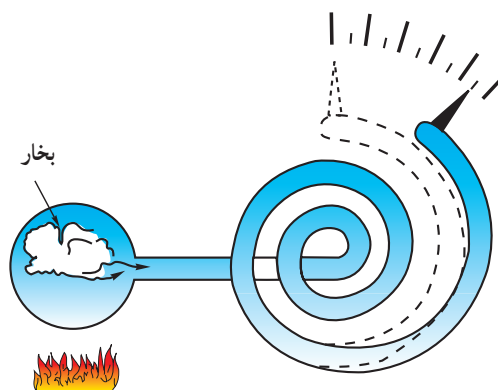


شکل ۱-۲۴- فلز با قابلیت انبساط بیشتر در سمت خارج انحنا قرار می‌گیرد. اگر این انحنا باعث قطع و وصل شدن کلیدی گردد این وسیله را ترموستات می‌نامند. چنانچه میزان انحراف تیغه در اثر حرارت نشان‌دهنده‌ای منتقل گردد، دستگاه دماسنج نامیده می‌شود. سیستمی که میزان انحراف تیغه‌ها را اندازه‌گیری می‌کند لازم است بسیار دقیق باشد و هیچ‌گونه مانع مکانیکی در مقابل انحراف ایجاد نکند. در مواردی که انحراف تیغه‌ها به عقربه‌ای منتقل می‌گردد تغییرات دما قابل رؤیت خواهد بود. از LVDT^۱ نیز می‌توان جهت سنجش تغییر مکان صورت گرفته متناسب با دما استفاده

اندازه گرفتن فشار یک جسم (مایع یا گاز) توسط فشارسنج به‌طور غیرمستقیم به میزان درجه حرارت نیز پی‌برد. شکل ۱-۲۱ دو نوع لولهٔ بوردون را که در اثر ازدیاد فشار مایع یا گاز درون آن، شروع به باز شدن کرده‌اند نشان می‌دهد. چون فشار با حرارت در رابطه است، لذا می‌توان سیستم را برحسب حرارت مدرج نمود. به شکل ۱-۲۲ توجه کنید، با افزایش حرارت آب بخار می‌شود و در نتیجه میزان فشار داخل لولهٔ بوردون زیاد می‌گردد. در این صورت لوله باز شده و عقربه به سمت راست حرکت می‌کند. به این ترتیب حرکت عقربه، روی صفحهٔ مدرج، بالا رفتن درجه حرارت را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲۱- دماسنج فشاری با دو نوع لولهٔ بوردون

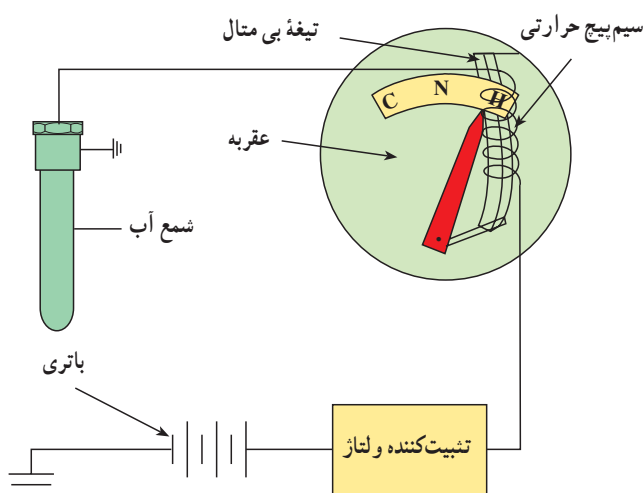


شکل ۱-۲۲- نحوهٔ تغییر عقربه در لولهٔ فنری بوردون با افزایش حرارت

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

۱- LVDT مخفف Linear Variable Differential Transformer است که یک قطعه خاص برای اندازه‌گیری است.

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 تیغه بی‌متال و در نتیجه افزایش طول آن می‌شود. افزایش طول تیغه باعث تغییر موقعیت عقربه دستگاه می‌شود و عقربه به سمت H (Hot - گرم شدن آب) حرکت می‌کند (شکل ۱-۲۷).



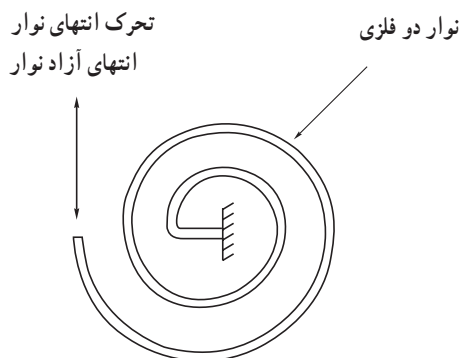
شکل ۱-۲۷- افزایش گرمای آب باعث انحراف عقربه به سمت H می‌شود.

۴-۶-۱- 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 سر یک تیغه تراکم بار مثبت و سر تیغه دیگر تراکم بار منفی پیدا می‌کند (شکل ۱-۲۸).

کرد. محدوده کار این نوع دماسنج‌ها از 75°C تا 150°C بوده و میزان دقت بهترین نوع آن ۵٪ می‌باشد.

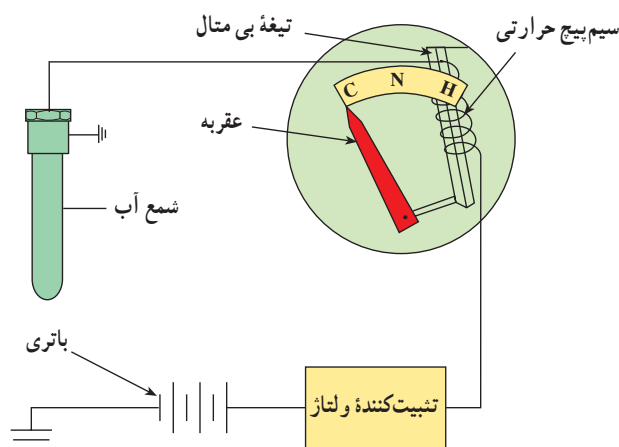
ساختمان عملی یک نمونه از بی‌متال که در دماسنج‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد در شکل ۱-۲۵ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲۵- ساختمان عملی یک نمونه بی‌متال

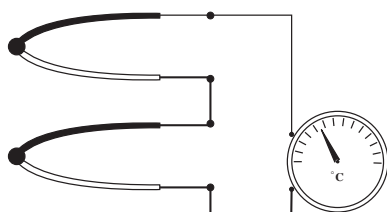
کاربرد این نوع دماسنج در نشان‌دهنده دمای آب موتور اتومبیل است که آن را به اصطلاح درجه آب می‌نامند. در ساختمان این نوع دماسنج از تیغه (نوار) بی‌متالی استفاده شده است که در مقابل حرارت حساس بوده و تغییر طول می‌دهد. سیم پیچ حرارتی نصب شده در روی تیغه تغییرات دمای لازم را بر حسب مقدار جریان الکتریکی مصرفی 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 بی‌متال در حدی است که عقربه نشان‌دهنده روی C (Cold - سرد بودن آب) قرار می‌گیرد (شکل ۱-۲۶).



شکل ۱-۲۶- سرد (C) نرمال (N) گرم (H)

چنانچه تعدادی ترموکوپل به صورت سری بسته شود، مجموعه، ترموپیل نام می‌گیرد. شکل ۳-۱ نمونه‌ای از ترموپیل را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱- ترموپیل

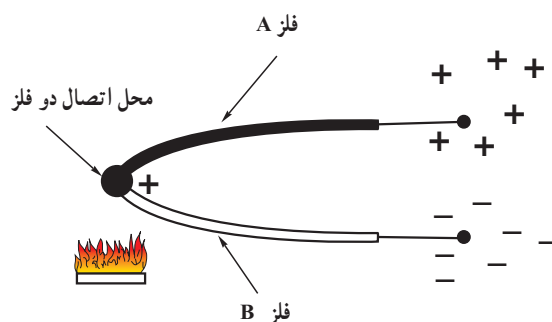
اگر در ترموپیل دمای محیط کلیه اتصالات و همچنین سیم‌های اتصال یک‌سان باشد در این صورت حساسیت مجموعه بالا رفته و قدرت تمیز آن نیز بیشتر خواهد شد.

به عنوان مثال با سری کردن ۲۵ ترموکوپل از نوع کنستانتان - کرمیل قدرت تمیز تا $1^{\circ}\text{C}/0.01^{\circ}\text{C}$ بالا خواهد رفت.

از دیگر موارد استفاده 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 اندازه متوسط درجه حرارت آگروز را مشخص کرد. در شکل ۳۱-۱ نمونه‌هایی از دماسنج دیجیتالی صنعتی را مشاهده می‌کنید.



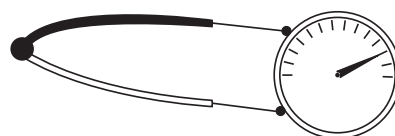
شکل ۳۱-۱- انواع دماسنج‌های دیجیتالی



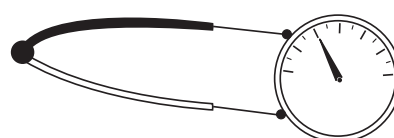
شکل ۲۸-۱- تغییر درجه حرارت یک فلز باعث حرکت الکترون‌ها می‌شود.

هر قدر اختلاف درجه حرارت بین نقطه اتصال و سرهای آزاد این دو فلز، بیشتر باشد به همان نسبت بار الکتریکی دو سر تیغه‌ها زیادتر خواهد بود. بنابراین با اندازه‌گیری اختلاف بار الکتریکی (اختلاف پتانسیل الکتریکی) دو سر آزاد تیغه‌ها (دو سر ترموکوپل)، درجه حرارت نقطه اتصال مشخص خواهد شد (شکل ۲۹-۱).

بار الکتریکی قوی



بار الکتریکی ضعیف



شکل ۲۹-۱- هر قدر حرارت نقطه اتصال بیشتر باشد اختلاف پتانسیل دو سر تیغه‌ها بیشتر خواهد بود.

چنانچه به نقطه اتصال و سرهای آزاد دو فلز، حرارت یک‌سان داده شود، بار الکتریکی دو فلز مساوی شده و در نتیجه اختلاف پتانسیل نیز صفر خواهد بود بنابراین قابلیت استفاده ترموکوپل فقط در صورت وجود اختلاف درجه حرارت بین نقطه 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 $10\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ تا $80\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ است. درضمن حداکثر درجه حرارت مجاز ترموکوپل نیز بستگی به جنس تیغه‌ها دارد.



شکل ۱-۳۲- یک نمونه ترمیستور

وسایل اندازه‌گیری دما شامل مقاومت‌های تابع حرارت:

این وسایل دارای المان‌هایی هستند که مقاومت الکتریکی آن‌ها در مقابل حرارت تغییر می‌کند. در صورتی که ماده تشکیل دهنده 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 ۱-۳۲ یک نمونه ترمیستور را نشان می‌دهد.

تغییر دما، تغییر می‌کند. در فلزات، با افزایش دما، مقاومت اهمی فلزات افزایش می‌یابد. از همین خاصیت تغییرات مقاومت اهمی فلزات بر اثر تغییر دما، برای اندازه‌گیری حرارت در صنعت استفاده می‌شود.

در اکثر فلزات شناخته شده، تغییرات مقاومت اهمی نسبت به تغییرات دما، خطی نیست. مثلاً در یک فلز مشخصی، اگر دمای فلز از صفر به 10° درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کند، مقاومت اهمی آن فلز 5Ω زیاد می‌شود و اگر دمای همان فلز از 10° درجه سانتی‌گراد به 20° درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، مقاومت اهمی آن فلز $7/2$ اهم زیاد می‌شود.

تنها فلزی که تقریباً تغییرات مقاومت اهمی آن نسبت به تغییرات دما، خطی است، فلز پلاتین (Pt) است. هرچند که این فلز بسیار گران بها است - به طور متوسط دو برابر قیمت طلا - اما برای اندازه‌گیری دما از آن استفاده می‌کنند.

Pt 100° -

Pt 100° یک مقاومت اهمی از جنس پلاتین است که در صفر درجه سانتی‌گراد مقاومت اهمی آن 100Ω است.

۵-۶-۱- آی‌سی‌های (IC) سنسور درجه حرارت :

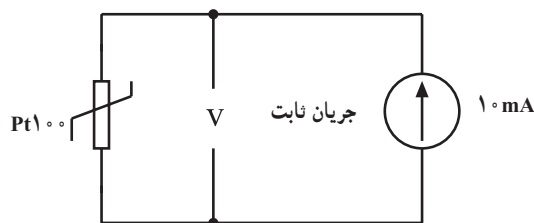
پیشرفت تکنولوژی الکترونیک در ساخت قطعات الکترونیکی، قطعاتی ساخته شده‌اند که می‌توانند حرارت را حس نموده و متناسب با درجه حرارت در خروجی خود ولتاژ یا جریانی را تولید نمایند. محدوده اندازه‌گیری حرارت در این گونه قطعات از 60°C تا 180°C می‌باشد. البته سنسور حرارتی تنها یک قطعه نیست بلکه یک قطعه حس کننده حرارت همراه با یک مدار الکترونیکی است که همگی به صورت یک مدار مجتمع ساخته شده و به صورت یک قطعه 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 درجه سانتی‌گراد دما 1mV ولتاژ در اختیار ما قرار می‌دهد.

۶-۶-۱- روش دیگری برای اندازه‌گیری دما در

صنعت : برای اندازه‌گیری دما، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، اندازه‌گیری تغییر خواص الکتریکی اجسام در اثر تغییرات دما است. می‌دانیم که مقاومت اهمی فلزات در اثر

در Pt 100° به ازای افزایش هر درجه دما، $385\text{m}\Omega$ مقاومت اهمی آن زیاد می‌شود.



شکل ۱-۳۵ - نحوه تبدیل دما به ولتاژ

۱-۷- 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.

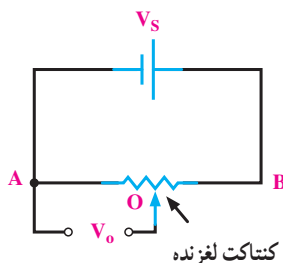
اندازه‌گیر تغییر مکان طولی وسیله‌ای است که میزان جابه‌جایی یک جسم را بین دو نقطه، در امتداد خط مستقیم، مورد سنجش قرار می‌دهد. علاوه بر این، از این وسیله در سنجش تغییر مکان طولی یک جسم به‌طور مستقیم و سنجش کمیت‌هایی چون فشار، نیرو، شتاب، حرارت و ... که قادر به ایجاد تغییر مکان هستند نیز استفاده می‌شود.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

۱-۷-۱- پتانسیومتر مقاومتی: پتانسیومتر مقاومتی دارای مقاومتی است که یک کنتاکت یا اتصال لغزنده بر روی آن قرار دارد.

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 ۱-۳۶ ولتاژ V_s به دو سر پتانسیومتر اعمال می‌شود (دو نقطه A و B) که در نتیجه آن ولتاژ خروجی V_o بین دو نقطه A و O (اتصال متحرک) ایجاد می‌گردد. یک رابطه خطی بین ولتاژ خروجی و فاصله AB به‌صورت زیر وجود دارد.

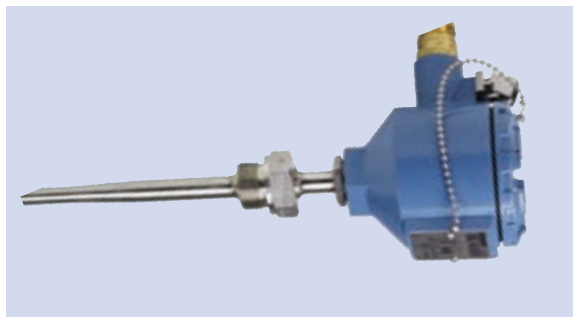
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{AO}{AB}$$



شکل ۱-۳۶ - نحوه اتصال ولتاژ V_s به دو سر پتانسیومتر

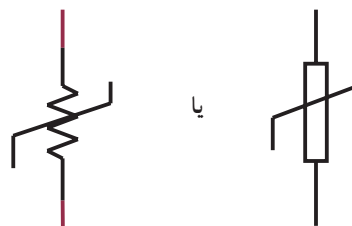
به کمک $Pt100$ می‌توان دمای -200 درجه سانتی‌گراد تا 850 درجه سانتی‌گراد را اندازه گرفت.

$Pt100$ معمولاً همراه با یک ترانس میتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. به کمک ترانس میتر می‌توان رنج دمای مورد نظر اندازه‌گیری را تبدیل به جریان استاندارد $4mA$ تا $20mA$ کرد و سپس با وسایل اندازه‌گیری ساده آن را اندازه گرفت و یا کنترل کرد. شکل ۱-۳۳ یک نمونه $Pt100$ را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳۳ - شکل ظاهری یک $Pt100$

$Pt100$ را با سمبل شکل ۱-۳۴ در نقشه‌های الکتریکی نشان می‌دهند.

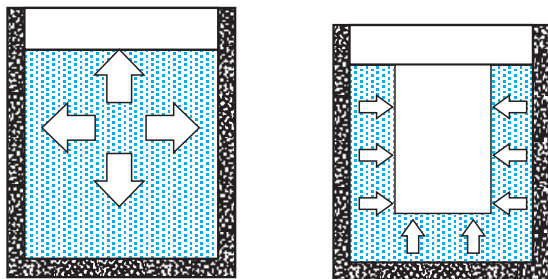


شکل ۱-۳۴ - سمبل $Pt100$

$Pt100$ را به صورت دو سیمه، سه سیمه و چهارسیمه می‌سازند که نوع سه سیمه آن از بقیه رایج‌تر است. از $Pt100$ در صنعت برای اندازه‌گیری دمای سیالات با دمای کمتر از 800 درجه سانتی‌گراد به فراوانی استفاده می‌کنند ضمن این که می‌توان از $Pt100$ برای اندازه‌گیری دمای محیط، دمای سیلوهای حبوبات و ... نیز استفاده کرد. دقت اندازه‌گیری دما با $Pt100$ بسیار بالاست.

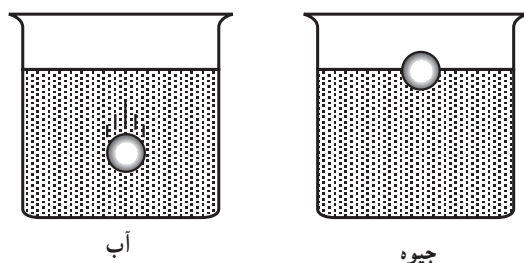
به کمک مدار شکل ۱-۳۵ می‌توان میزان دما را تبدیل به سیگنال الکتریکی کرد. ولتاژ دو سر $Pt100$ متناسب با دمای $Pt100$ است.

در آن ریخته می‌شوند، فشار وارد می‌آورند مثلاً اگر یک جسم خارجی را در یک ظرف مایع قرار دهیم از طرف فشاری به این جسم وارد می‌شود.



شکل ۱-۳۷- مایعات به دیوارهٔ ظرف (a) و جسم خارجی موجود در ظرف (b) فشار وارد می‌کنند.

به شکل ۱-۳۷ 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 پایین به آن جسم وارد می‌نماید و آن را در سطح خود شناور نگه می‌دارد (شکل ۱-۳۸).



شکل ۱-۳۸- جسم در آب غوطه‌ور می‌شود و در جیوه فرو نمی‌رود.

پس از ذکر مقدمهٔ فوق، ساده‌ترین روش استفاده از اجسام شناور را در شکل ۱-۳۹ 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.

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_0 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 جابه‌جاشدن لغزنده، مقاومت بین آن و کنتاکت‌های ثابت تغییر می‌کند. حداقل این تغییر مقاومت برابر با مقاومت یک حلقه است؛ بنابراین، مقاومت سیمی قدرت تمیز دادن مقادیر بسیار کم حرکت را نخواهد داشت. بدین جهت برای داشتن تغییرات بسیار کم مقاومت و در نتیجه تغییر مکان کم در جسم، باید از پتانسیومتر زغالی یا پلاستیکی استفاده شود. قدرت تمیز این دو نوع مقاومت بستگی به اندازهٔ 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 مادهٔ تشکیل دهندهٔ آن، به ساختمان مکانیکی فنی که لغزنده را به مقاومت تماس می‌دهد بستگی دارد.

۱-۸- اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات

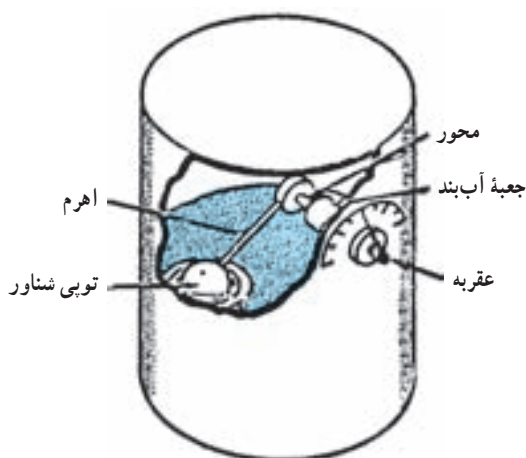
منظور از سطح مایع حدفاصل مایع با بخار خود یا محیط گازی که روی آن را احاطه کرده است می‌باشد.

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

۱-۸-۱- اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع به کمک

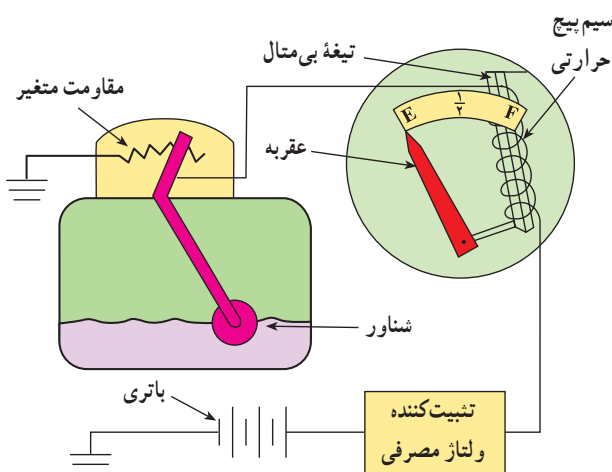
اجسام شناور: مایعات همواره به خود و دیوارهای ظرفی که

شکل ۱-۴۱ استفاده دیگری از تویی شناور را نشان می‌دهد. با حرکت تویی، اهرم، میله متحرک و عقربه حرکت کرده و ارتفاع سطح مایع را روی صفحه مدرج نشان می‌دهد.

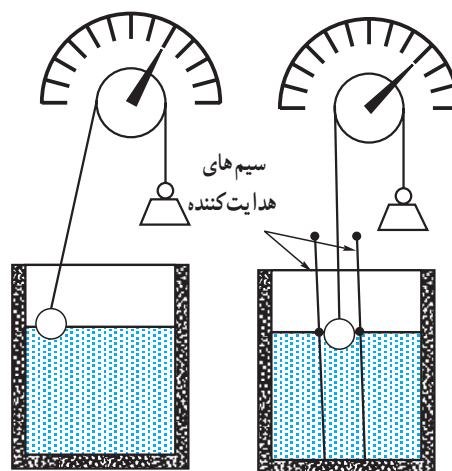


شکل ۱-۴۱ استفاده از تویی شناور برای تعیین ارتفاع سطح مایع

الف) اصول کار : یک نمونه از نشان دهنده سطح مایع که در باک اتومبیل به کار می‌رود را در شکل ۱-۴۲ ملاحظه می‌کنید. ساختمان سوخت‌نما مانند نشان دهنده درجه آب از نوع بی‌متالی است که در آن از تیغه بی‌متالی و سیم پیچ حرارتی استفاده شده است. در حالت‌های پُر و خالی بودن باک مقدار مقاومت باک تغییر می‌کند و بر حسب مقدار جریان مصرفی و حرارت ایجاد شده در سیم پیچ حرارتی، تیغه بی‌متالی تغییر طول داده و عقربه نشان دهنده در فاصله E (خالی بودن باک Empty) و F (پر بودن باک Full) مقدار حجم سوخت اندازه‌گیری شده داخل باک را نشان می‌دهد.

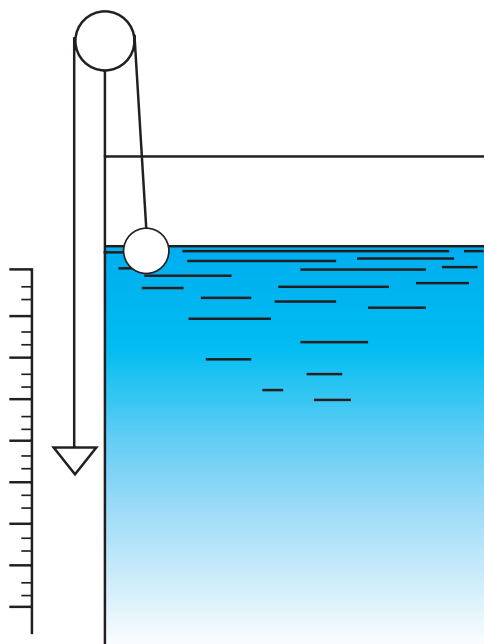


شکل ۱-۴۲ یک نمونه از نشان دهنده سطح مایع در باک اتومبیل



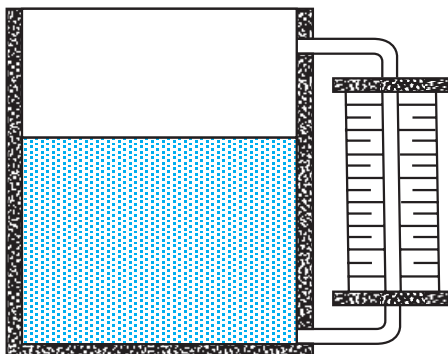
شکل ۱-۳۹ تغییر ارتفاع سطح مایع به کمک اجسام شناور

برای این که تویی شناور روی سطح مایع حرکت آزاد نداشته باشد معمولاً آن را به وسیله دو میله مهار می‌کنند. در این روش می‌توان به جای عقربه و صفحه مدرج از یک شاغول و یک خط کش مدرج بلند، مطابق شکل ۱-۴۰، استفاده نمود. در این طریقه تویی شناور به وسیله نخ‌کی که از روی قرقره عبور کرده است به وزنه شاغول متصل است. این وزنه در کنار مقیاس مدرج حرکت می‌کند و ارتفاع سطح مایع را اندازه می‌گیرد.



شکل ۱-۴۰ استفاده از یک شاغول و یک خط کش مدرج برای اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایع

محافظ نصب شده است و برای مخزن‌هایی که دارای فشار بالا هستند از لوله‌های شیشه‌ای استفاده نمی‌شود.



شکل ۱-۴۴ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات با استفاده از لوله‌ای اندازه‌گیری

۱-۹- اندازه‌گیری وزن

برای اندازه‌گیری وزن در صنعت از حدود گرم تا چند ده تن، از وسیله‌ای به نام لودسل (Load cell) و یک سیستم نشان‌دهنده به نام ایندیکیتور (Indicator) استفاده می‌شود. شکل ۱-۴۵ یک لودسل و یک ایندیکیتور را نشان می‌دهد.



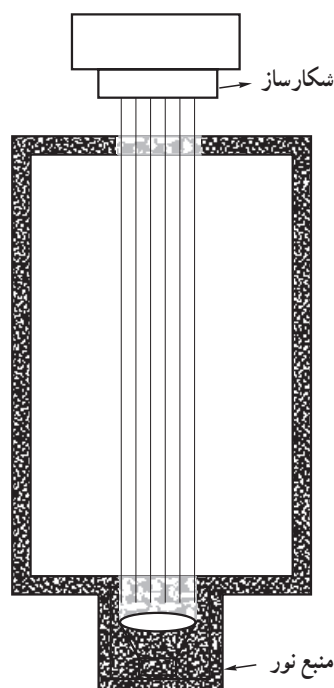
(الف) یک نمونه لودسل



(ب) یک نمونه ایندیکیتور

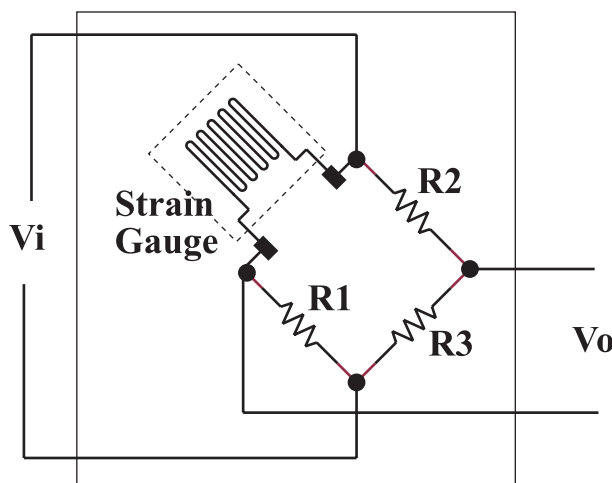
شکل ۱-۴۵ یک نمونه لودسل و یک نمونه ایندیکیتور

۱-۸-۲- 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 هرچه 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 شیوه اندازه‌گیری مطابق شکل ۱-۴۳ برای اندازه‌گیری ارتفاع مایعات شفاف به کار می‌رود.



شکل ۱-۴۳ اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات به کمک امواج

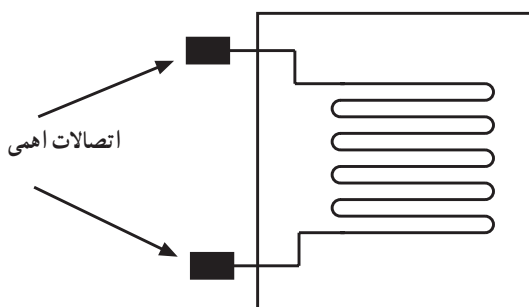
۱-۸-۳- اندازه‌گیری ارتفاع سطح مایعات با استفاده از لوله‌ای اندازه‌گیری: می‌دانیم مایع در تمام ظرف‌های مرتبط با یکدیگر در یک سطح قرار می‌گیرد، از این خاصیت برای اندازه‌گیری سطح مایع مطابق شکل ۱-۴۴ استفاده می‌شود. لوله‌های شیشه‌ای از یک طرف به پایین‌ترین قسمت مخزن و از طرف دیگر به قسمت بالایی آن متصل شده 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 میله



شکل ۴۷-۱ مدار الکتریکی لودسل

عنصر اصلی تشخیص وزن، یک قطعه به نام Strain Gauge است.

Strain Gauge در حقیقت یک مقاومت اهمی است که از نوارهای بسیار باریکی تشکیل شده است. اگر این مقاومت تحت فشار قرار گیرد، شکل فیزیکی آن به واسطه فشار، تغییر می‌کند و هر نوع تغییر شکل فیزیکی، باعث تغییر مقاومت اهمی آن می‌شود. غیر از فشار، کشش نیز می‌تواند باعث تغییر شکل فیزیکی آن گردد. لذا مقدار مقاومت اهمی این مقاومت بر اثر کشش نیز تغییر می‌کند. شکل ۴۶-۱ ساختار داخلی یک Strain Gauge را نشان می‌دهد.



شکل ۴۶-۱ ساختار داخلی یک Strain Gauge

در یک Strain Gauge، تغییرات مقاومت اهمی آن متناسب با وزنی که روی آن قرار می‌گیرد. کاملاً خطی است. مثلاً اگر وزن یک کیلوگرم روی آن قرار گیرد، مقاومت اهمی آن یک میلی اهم تغییر می‌کند و اگر مقدار وزن دو برابر شد، تغییرات مقاومت اهمی آن نیز دو میلی اهم می‌شود.

لودسل‌ها به دو صورت فشاری و کششی ساخته می‌شوند. نوع فشاری معمولاً روی یک تکیه‌گاه روی زمین نصب می‌شود و وزن مورد نظر روی آن قرار می‌گیرد. در نوع کششی، معمولاً لودسل به صورت آویز نصب می‌شود و وزن به صورت کششی روی لودسل منتقل می‌گردد.

همان‌طور که قبلاً گفته شد، خروجی لودسل‌ها، به ایندیکتورها وصل می‌شود تا ایندیکتورها وزن قرار گرفته روی لودسل را نشان دهند، ایندیکتورها علاوه بر نمایش مقدار وزن، امکانات دیگری نیز دارند که به بعضی از آن‌ها در زیر اشاره خواهد شد:

- شمارش تعداد قطعات روی آن قرار گرفته.
- اندازه‌گیری وزن ظرف خالی (TARE)
- امکان اتصال مستقیم چاپگر به آن‌ها و چاپ فاکتور
- امکان اتصال به یک کامپیوتر معمولی
- در خروجی ایندیکتورها تعدادی رله وجود دارد که می‌توان با دادن برنامه به ایندیکتور، شرایطی را فراهم کرد که، به ازای

تغییر مقاومت اهمی Strain Gauge حدود میلی اهم و یا کسری از میلی اهم است. لذا برای اندازه‌گیری تغییرات اهمی آن، از اهم متر و یا وسایل مشابه دیگر نمی‌توان استفاده کرد زیرا مقاومت اهمی سیم‌های رابط و تغییر مقاومت اهمی آن‌ها بر حسب تغییرات دما، ممکن است به مراتب بیشتر از کسری از میلی اهم باشد.

عملاً Strain Gauge را در مدار الکتریکی شکل (۴۷-۱) که به نام پل و تستون مشهور است قرار می‌دهند، در خروجی این مدار متناسب با تغییر مقاومت اهمی Strain Gauge، ولتاژ DC تولید می‌شود. با اندازه‌گیری ولتاژ DC توسط ایندیکتور، وزن قرار داده شد روی Strain Gauge تعیین می‌شود. به مدار الکتریکی شکل ۴۷-۱ لودسل می‌گویند.

وزن‌های مختلف و مشخص، رله‌ها عمل کنند. از این فرآیند برای
 ترکیب (مخلوط) چند ماده مختلف در صنعت استفاده می‌شود. یک جریان $20-40\text{ mA}$ تولید و در اختیار کاربر قرار دهند.
 • ایندیکتورها، می‌توانند متناسب با وزن روی لودسل،

ویژگی‌های کلی

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

۱۰- الکتریسیته

تشریحی

- 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 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.

صحیح - غلط

- | | | |
|--|-------------------------------|------------------------------|
| ۹- مقاومت سیمی قدرت تمیز دادن مقادیر بسیار کم حرکت را ندارد. | <input type="checkbox"/> صحیح | <input type="checkbox"/> غلط |
| ۱۰- حساسیت فشارسنج فانوسی از فشارسنج دیافراگمی کم‌تر است. | <input type="checkbox"/> صحیح | <input type="checkbox"/> غلط |

کامل کردنی

- ۱۱- اندازه‌گیری نتیجه یک مقایسه کلی است بین یک استاندارد (شاخص) و یک اندازه (مقدار)

.....

چهار گزینه‌ای

- ۱۲- دستگاه‌هایی که قادر به نمایش کمیت اندازه‌گیری شده به‌صورت پیوسته نیستند، دستگاه‌های نام دارند.
- | | |
|-------------------|-------------------|
| ۱- آنالوگ | ۲- دیجیتال |
| ۳- الکترواستاتیکی | ۴- الکترومغناطیسی |

اندازه‌گیری جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی

هدف کلی

فراگیری مفاهیم جریان، ولتاژ و مقاومت اهمی و

نحوه اندازه‌گیری هر یک از این کمیت‌ها

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

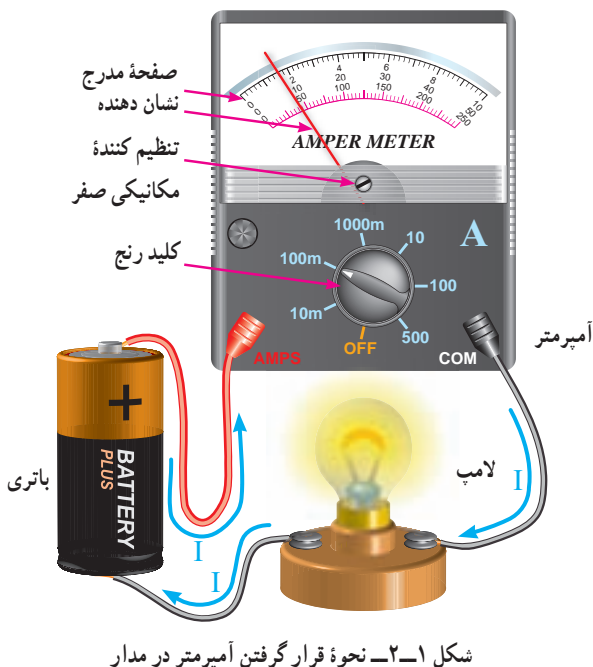
- جریان الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- دستگاه اندازه‌گیری جریان را تشریح کند.
- تقسیمات صفحه مدرج را از یکدیگر تفکیک کند.
- به هنگام استفاده از آمپر متر برای اندازه‌گیری جریان الکتریکی نکات ایمنی را رعایت کند.
- نحوه اندازه‌گیری جریان AC با آمپر متر را شرح دهد.
- قسمت‌های مختلف یک مولتی متر عقربه‌ای 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.
- نحوه خواندن مقدار ولتاژ را از روی صفحه مدرج ولت متر بیان کند.
- نحوه 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 هنجریان و ... حساس و فعال باشد.
- سایر هنجریان 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 نحوه 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 درآوردید.
- 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 متناوب 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 اهم است و آن را با Ω نشان می‌دهند.
 - ۹- اهم متر: دستگاه اندازه‌گیری الکتریکی است که مقاومت را اندازه‌گیری می‌کند.

۲-۱- اندازه‌گیری جریان

۱-۲- اندازه‌گیری جریان DC: همان‌طور که در درس فیزیک خوانده‌اید جابه‌جایی بارهای الکتریکی نسبت به زمان در یک هادی را جریان الکتریکی می‌نامند. اگر این جابه‌جایی در یک جهت باشد جریان الکتریکی را جریان DC می‌نامند. واحد شدت جریان الکتریکی آمپر نام دارد. در الکترونیک از واحدهای کوچک‌تری مانند میلی‌آمپر ($\frac{1}{1000}$ آمپر) و میکروآمپر ($\frac{1}{1000000}$ آمپر)، و در برق صنعتی از واحدهای بزرگ‌تر از آمپر نظیر کیلوآمپر (۱۰۰۰ آمپر) استفاده می‌شود. دستگاهی که جریان الکتریکی را اندازه می‌گیرد آمپر متر نام دارد. آمپر متر در مدار به‌طور سری قرار می‌گیرد تا جریان مصرف کننده و جریان عبوری از آمپر متریکی باشند. شکل ۲-۱ نحوه قرار گرفتن یک آمپر متر را، در یک مدار ساده الکتریکی، نشان می‌دهد.



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

الف) حدود اندازه‌گیری یا ضریب کلید رنج (مثلاً در شکل ۲-۱، 100 mA می‌باشد) را به ماکزیمم عدد روی صفحه مدرج (مثلاً در شکل ۲-۱ یکی از تقسیمات 10 می‌باشد) تقسیم می‌کنیم. عدد به دست آمده را ضریب ثابت صفحه نامیده و آن را با حرف C نشان می‌دهیم؛ با توجه به شکل ۲-۱ داریم :

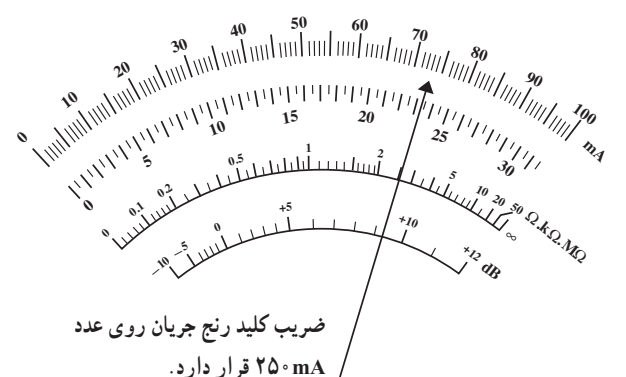
$$C = \frac{\text{ضریب کلید رنج}}{\text{آخرین عدد روی صفحه}} = \frac{100}{10} = 10 \text{ mA}$$

ب) مقدار انحراف عقربه را در ضریب ثابت صفحه ضرب می‌کنیم. در شکل ۲-۱ عقربه به اندازه $1/6$ قسمت از تقسیمات منحرف شده است، لذا مقدار جریانی که عقربه نشان می‌دهد برابر است با :

$$\text{عدد خوانده شده} = C \times \text{مقدار جریانی که آمپرمتر نشان می‌دهد} \\ = 10 \times 1/6 = 1.6 \text{ mA}$$

مثال ۱ : بیش‌ترین عدد درج شده روی یک میلی‌آمپرمتر 60 می‌باشد (صفحه مدرج به 60 قسمت تقسیم شده است) اگر حدود اندازه‌گیری (ضریب کلیدرنج) روی عدد 300 mA بوده و عقربه آمپرمتر به اندازه $42/5$ قسمت منحرف شده باشد، آمپرمتر مقدار جریان را $212/5\text{ mA}$ نشان می‌دهد زیرا :

$$C = \frac{300\text{ mA}}{60} = 5\text{ mA}$$



شکل ۲-۲ میلی‌آمپرمتر $182/5$ میلی‌آمپر را نشان می‌دهد.

مقدار جریانی که میلی‌آمپرمتر نشان می‌دهد برابر است با :

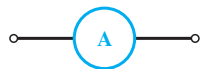
$$I = 42/5 \times C = 42/5 \times 5\text{ mA} = 212/5\text{ mA}$$

مثال ۲ : در شکل ۲-۲ میلی‌آمپرمتر $182/5$ میلی‌آمپر را نشان می‌دهد.

$$C = \frac{250}{100} = 2.5\text{ mA}$$

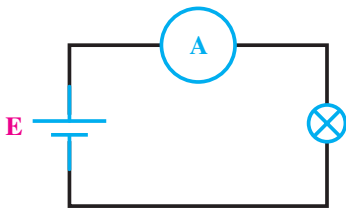
$$I = C \times 73 = 2.5 \times 73 = 182/5\text{ mA}$$

در مدارات الکتریکی آمپرمتر را با علامت یا نماد شکل ۲-۳ نمایش می‌دهند.



شکل ۲-۳ نماد یک آمپرمتر

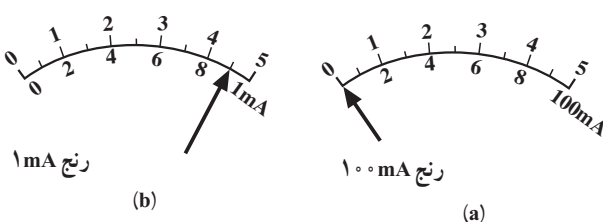
شکل ۲-۴ یک مدار الکتریکی را که آمپرمتر در آن قرار گرفته است نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴ آمپرمتر مقدار جریان گذرنده از لامپ را نشان می‌دهد.

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

شکل ۲-۵ جریان $92/100$ میلی‌آمپر را در محدوده اندازه‌گیری 1 mA و 100 mA نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل نیز پیداست اندازه‌گیری جریان $92/100\text{ mA}$ در رنج 1 mA دقیق‌تر است.



شکل ۲-۵ اثرات انتخاب رنج مناسب برای قرائت مقادیر

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 آوومتر 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

توجه : هنگام تعویض رنج آمپر متر سعی کنید ابتدا دو سر آمپر متر را اتصال کوتاه نموده، سپس رنج را عوض کرده و آنگاه 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 (ا هم متر - ولت متر - آمپر متر) ساخته می شوند. شکل ۶-۲ چند نمونه از آمپر مترها و میلی آمپر مترهای آزمایشگاهی را نشان می دهد.



شکل ۶-۲ نمونه هایی از میلی آمپر مترهای آزمایشگاهی

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



شکل ۷-۲ دو نمونه آمپر مترهای تابلویی



شکل ۲-۱۲ دو نمونه آمپر متر AC آزمایشگاهی

شکل ۲-۱۳ یک مولتی متر دیجیتالی آزمایشگاهی را نشان می‌دهد که دارای رنج جریان متناوب (AC) و مستقیم (DC) می‌باشد.

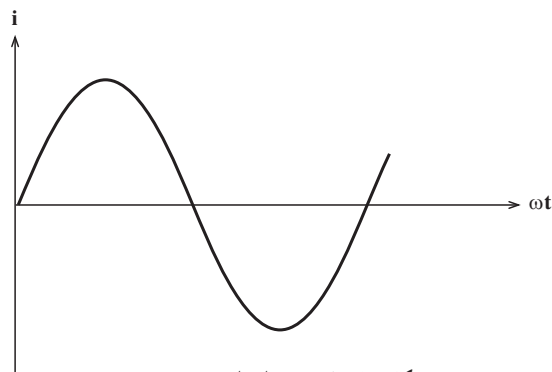


شکل ۲-۱۳ یک نمونه مولتی متر دیجیتالی آزمایشگاهی DC و AC

مولتی مترهای عقربه‌ای معمولاً فاقد رنج اندازه‌گیری جریان AC هستند. اما کلیه مولتی مترهای دیجیتالی رنج اندازه‌گیری جریان AC را دارا می‌باشند. برای اندازه‌گیری جریان AC توسط آوومتر دیجیتالی، کافی است که ترمینال‌های مخصوص جریان را با مدار سری نموده و کلید AC آنرا فعال کنیم تا روی صفحه نمایش مولتی متر علامت AC ظاهر گردد. در این صورت مقدار جریان AC به صورت رقمی روی صفحه نمایش نوشته می‌شود.

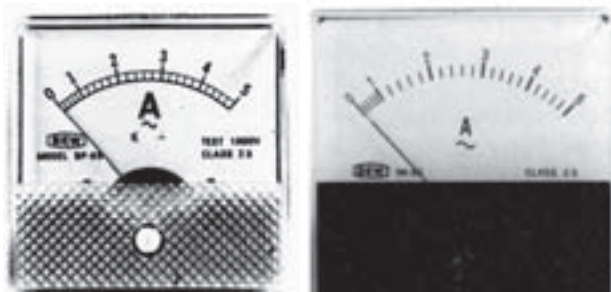
علاوه بر آمپر مترهای آزمایشگاهی و تابلویی و مولتی مترها، نوع دیگری از آمپر مترهای AC وجود دارند که به آمپر متر انبری معروفند.

۲-۱-۲ اندازه‌گیری جریان AC: اگر در یک مدار جهت جابه‌جایی بارهای الکتریکی دائماً تغییر کند و این تغییرات دارای نظم خاصی در زمان‌های مساوی باشد، این جریان را جریان AC می‌نامند. شکل ۲-۱۰ نمونه‌ای از جریان AC را، که تغییرات آن به شکل سینوسی است، نشان می‌دهد.



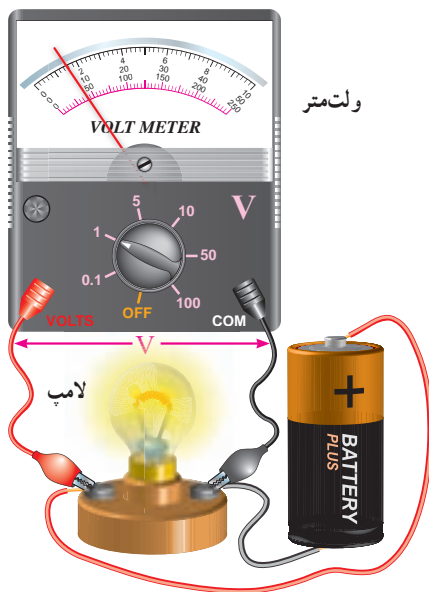
شکل ۲-۱۰ نمونه‌ای از جریان AC

برای اندازه‌گیری جریان AC حتماً باید از آمپر مترهای AC استفاده کرد. پس با آمپر مترهایی که فقط دارای رنج DC می‌باشند نمی‌توان جریان AC را اندازه گرفت. بعضی دیگر از آمپر مترها توانایی اندازه‌گیری جریان‌های DC و AC را توأم دارا هستند که با کلید انتخاب (DC-AC) می‌توان در هر لحظه جریان موردنظر را اندازه گرفت. آمپر مترهای AC بیشتر به صورت تابلویی ساخته می‌شوند. شکل ۲-۱۱ دو نمونه از آمپر مترهای AC تابلویی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۱ دو نمونه از آمپر مترهای تابلویی AC

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



شکل ۱۵-۲ نحوه قرار گرفتن ولت‌متر در مدار

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

مثال ۱: با توجه به شکل ۱۵-۲ یکی از تقسیمات را (مثلاً ۱۰) در نظر گرفته و ضریب ثابت سنجش را محاسبه می‌نماییم:

$$C = \frac{10}{50} = 0.2$$

مقداری که ولت‌متر نشان می‌دهد برابر است با:
 $C \times \text{تعداد تقسیماتی که عقربه منحرف شده است}$

$$0.2 \times 5 = 1$$

سؤال: چرا در مثال ۱ که صفحه مدرج ولت‌متر، هم دارای درجه‌بندی ۱۰ قسمتی و هم ۵۰ قسمتی است، درجه‌بندی ۵۰ قسمتی انتخاب ما می‌باشد؟

مثال ۲: در شکل ۱۶-۲ ولت‌متر ولتاژی به اندازه ۳۸۰ ولت را نشان می‌دهد، زیرا:

$$C = \frac{50}{500} = 0.1$$

مقدار ولتاژ برابر است با:

$$C \times \text{تعداد خانه‌های منحرف شده} = \text{مقدار ولتاژ}$$

$$0.1 \times 380 = 38$$

برای اندازه‌گیری جریان کافی است سیم حامل جریان AC را وسط هسته این مولتی‌متر که با اهرمی باز می‌شود قرار دهیم تا مقدار جریان را نشان دهد. توجه داشته باشید که در این حالت فقط یک رشته سیم باید از هسته عبور داده شود. امروزه آمپرترهای انبری را به صورت مولتی‌متر (ترکیبی) می‌سازند. شکل ۱۴-۲ دو نمونه آوومتر انبری عقربه‌ای و دیجیتالی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴-۲ دو نمونه مولتی‌متر انبری عقربه‌ای و دیجیتالی

۲-۲-۲ اندازه‌گیری ولتاژ

۲-۲-۱ اندازه‌گیری ولتاژ DC: اختلاف تعداد

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

واحد اختلاف پتانسیل الکتریکی ولت است. در الکترونیک

از واحدهای کوچک‌تر ولت یعنی میلی‌ولت ($\frac{1}{1000}$ ولت) و میکروولت ($\frac{1}{1000000}$ ولت) و در برق صنعتی از واحد بزرگ‌تر از ولت مانند کیلوولت (۱۰۰۰ ولت) نیز استفاده می‌شود.

دستگاهی که ولتاژ را اندازه می‌گیرد ولت‌متر نام دارد. از آنجایی که ولت‌متر اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل دو نقطه را بر عهده دارد باید، هنگام قرار گرفتن در مدار، با آن دو نقطه به طور موازی قرار گیرد. شکل ۱۵-۲ نحوه قرار گرفتن یک ولت‌متر را در یک مدار ساده الکتریکی، نشان می‌دهد.

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

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



شکل ۲-۱۶

سؤال: در شکل ۲-۱۷ عقربه ولت‌متر در حالت A، B و C چه مقدار را نشان می‌دهد؟



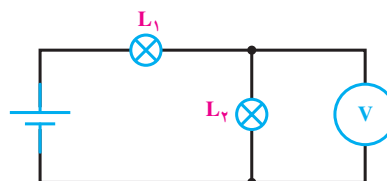
شکل ۲-۱۷ حدود اندازه‌گیری (ضریب کلید رنج) روی عدد ۲۵۰ قرار دارد.

در مدارهای الکتریکی ولت‌متر را با نماد شکل ۲-۱۸ نشان می‌دهند.



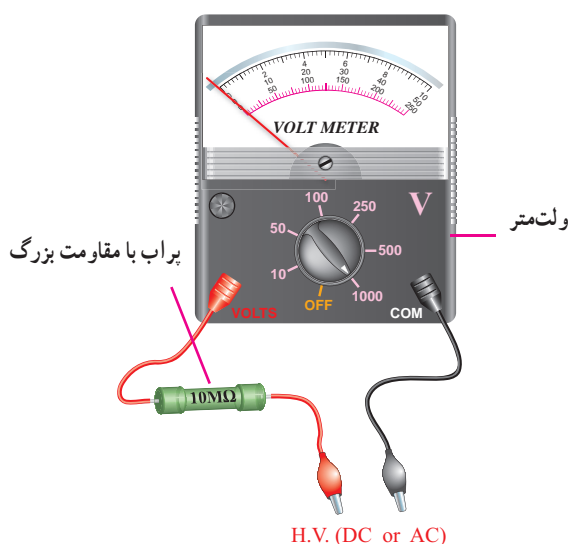
شکل ۲-۱۸ نماد یک ولت‌متر

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

ولت‌مترهای AC همانند ولت‌مترهای DC است، و در مورد ولت‌مترهای دیجیتالی، مقدار ولتاژ به صورت رقم روی صفحه 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 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 ۲-۲۵ نمونه‌ای از این نوع پراب را که با ولت‌متر، جهت اندازه‌گیری ولتاژ زیاد، سری شده است نشان می‌دهد.



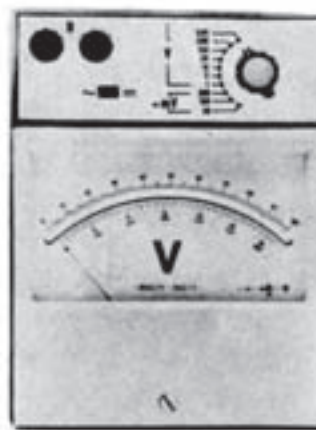
شکل ۲-۲۵ نمونه‌ای از پراب «ولتاژ زیاد» که با ولت‌متر، سری شده است.

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.

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- 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 اندازه‌گیری هر دو ولتاژ DC و AC می‌باشد. به همین منظور بر روی ولت‌مترها کلید انتخاب AC و DC وجود داشته و یا سلکتور حدود اندازه‌گیری DC با AC تفاوت دارد.



شکل ۲-۲۳ یک ولت‌متر آزمایشگاهی

شکل ۲-۲۴ یک نمونه ولت‌متر تابلویی AC را نشان

می‌دهد.



شکل ۲-۲۴ یک نمونه ولت‌متر تابلویی AC

همه مولتی‌مترها، اعم از عقربه‌ای و دیجیتالی، قادر به اندازه‌گیری ولتاژ AC می‌باشند. نحوه قرائت ولتاژ AC روی

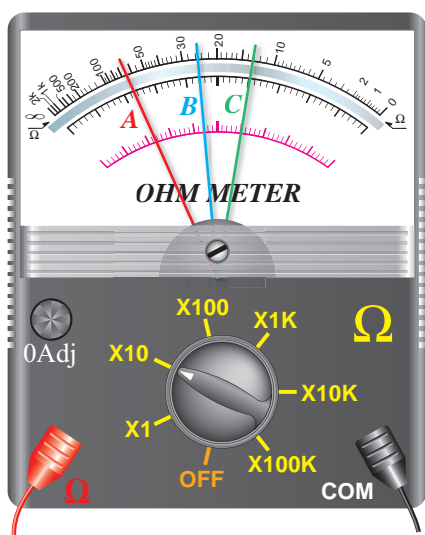
آشنا خواهید شد. درجه‌بندی اهم‌تر عکس درجه‌بندی ولت‌تر و آمپرتر است؛ یعنی صفر آن در سمت راست صفحه مدرج قرار دارد، ضمناً درجه‌بندی آن خطی نیست.

برای خواندن مقدار مقاومت اهمی از روی اهم‌تر کافی است که مقدار خوانده شده روی صفحه مدرج را در ضرب کلید رنج اهم‌تر ضرب کنیم. به عنوان مثال در شکل ۲۸-۲ عقربه‌های A و B و C مقادیر زیر را نشان می‌دهند.

$$(A) \quad 67/5 \times 10 = 675 \Omega$$

$$(B) \quad 24/75 \times 10 = 247/5 \Omega$$

$$(C) \quad 13 \times 10 = 130 \Omega$$



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 4% باشد

واحد مقاومت اهم است و به صورت امگای یونانی (Ω) نشان داده می‌شود. در الکترونیک و برق صنعتی از واحدهای کوچک‌تر از اهم مانند میلی اهم ($\frac{1}{1000}$ اهم) و واحدهای بزرگ‌تر از اهم نظیر کیلو اهم (1000 اهم) و مگا اهم (1000000 اهم) نیز به وفور استفاده می‌شود.

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



برای اندازه‌گیری مقاومت اهمی دو روش کلی وجود دارد:

الف) روش مستقیم

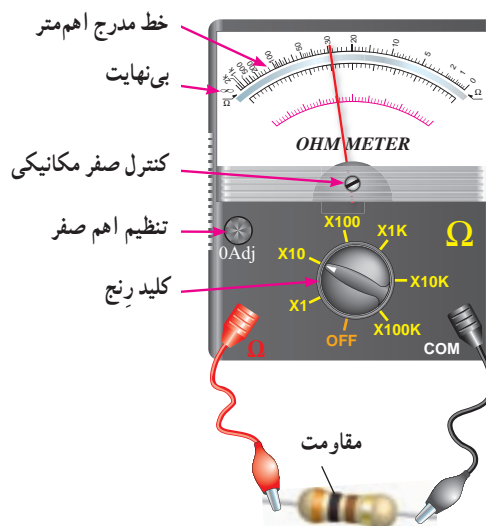
ب) روش غیرمستقیم

۱-۳-۲ روش مستقیم: در این روش از دستگاهی

به نام اهم‌تر استفاده می‌شود.

شکل ۲۷-۲ یک نمونه اهم‌تر آزمایشگاهی را که در حال

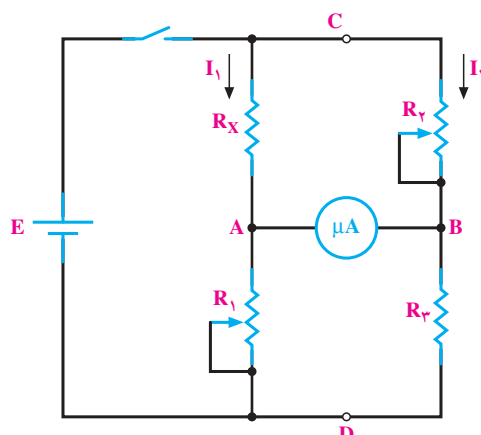
اندازه‌گیری یک مقاومت اهمی است، نشان می‌دهد.



شکل 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

مورد نظر است) قرار می‌گیرد و در سه بازوی دیگر آن کمیت‌های معلوم (مقاومت‌های معلوم و استاندارد) قرار دارند. مدار الکتریکی پل وتستون به صورت شکل ۲-۳۱ می‌باشد.



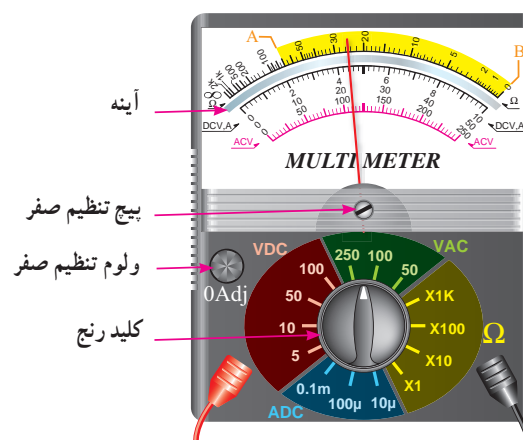
شکل ۲-۳۱- مدار الکتریکی پل وتستون

پل وتستون براساس مقایسه کار می‌کند؛ یعنی مقاومت مجهول با تعدادی از مقاومت‌های معلوم مقایسه می‌شود. بنابراین دقت اندازه‌گیری در پل، به دقت مقاومت‌های معلوم بستگی دارد. نقش گالوانومتر در پل وتستون فقط اعلام برابری پتانسیل دو نقطه A و B است، یعنی درجه‌بندی آن اهمیت ندارد و فقط صفر شدن جریان در گالوانومتر برای ما مهم است. پس از صفر شدن جریان در گالوانومتر می‌توانیم مقدار مقاومت مجهول (R_x) را از رابطه زیر به دست آوریم:

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

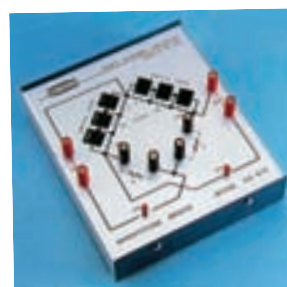
توجه: تنظیم صفر گالوانومتر با تنظیم مقاومت‌های R_1 و R_2 انجام می‌شود.

مقدار مقاومت واضح خوانده می‌شود). در شکل ۲-۲۹ خواندن مقاومت بین دو نقطه A و B می‌تواند دقیق باشد.



شکل ۲-۲۹- نمونه‌ای از مولتی‌متر

۲-۳-۲- روش غیرمستقیم: یکی از روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری مقاومت اهمی، استفاده از پل وتستون می‌باشد. پل وتستون به صورت یک دستگاه مستقل در بازار وجود دارد. به کمک پل وتستون می‌توان مقاومت‌های کوچکتر از یک اهم تا چندین مگا اهم را با دقت قابل قبول اندازه گرفت. شکل ۲-۳۰ یک نمونه پل وتستون را نشان می‌دهد.

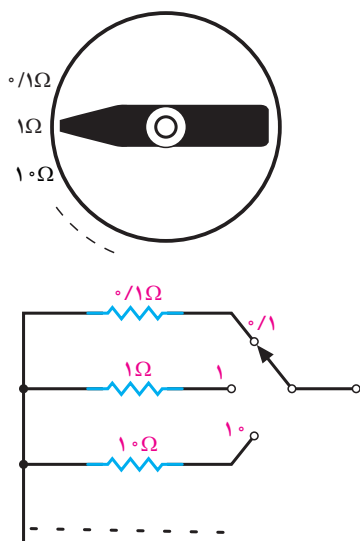


شکل ۲-۳۰- یک نمونه پل وتستون

طرز کار پل وتستون: این پل دارای چهار بازو است که در یک بازوی آن کمیت مجهول (مقاومت اهمی که اندازه‌گیری آن

تعالیت اختیاری

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



شکل ۲-۳۳ نحوه تغییر مقاومت R_p به صورت پله‌ای در پل‌وتستون

مقاومت R_p به صورت پله‌ای و مضربی از 10° تغییر می‌کند. مثلاً $10^\circ/1$ ، $10^\circ/10$ ، $10^\circ/100$ ، $10^\circ/1000$ و... شکل ۲-۳۲ 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_p نوشته شده ضرب کنیم.

مطالعه آزاد

به غیر از پل‌وتستون، پل دیگری نیز وجود دارد که به محض اتصال سیم‌پیچ، مقاومت یا خازن به آن، بلافاصله مقدار کمیت را روی صفحه نمایش خود (display) نشان می‌دهد. در شکل ۲-۳۳ نمونه‌ای از این پل را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲-۳۳ 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 اندازه گیری جریان یا ولتاژ (زمانی که مدار جریان دارد) فیش سیم های رابط از دستگاه بیرون کشیده نشود.
- استفاده از سیم های مخصوص خود دستگاه.



۲-۲- الکتریکی پررشی

تشریحی

- ۱- جریان الکتریکی و واحد آن را تعریف کنید.
- ۲- آمپر متر چگونه در مدار قرار می گیرد و چرا؟
- ۳- نحوه خواندن مقادیر از روی صفحه 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 می گیرد و چرا؟
- ۸- ولتاژهای خیلی زیاد را چگونه با ولت مترهای معمولی اندازه می گیرند؟
- ۹- مقاومت های اهمی را چگونه اندازه می گیرند؟
- ۱۰- طرز کار پل وتستون را به طور کامل شرح دهید.
- ۱۱- هنگام استفاده از یک دستگاه اندازه گیر، کدام نکات را باید به دقت مد نظر داشت؟

صحیح یا غلط

- ۱۲- اگر مقدار جریان نامشخص باشد، رنج آمپر متر را در کم ترین مقدار خود قرار می دهیم.
- صحیح ☐ غلط ☐

کامل کردنی

- ۱۳- استفاده از اهم متر روش اندازه گیری مقاومت اهمی و استفاده از روش اندازه گیری مقاومت اهمی است.

چهار گزینه ای

- ۱۴- کدام مورد در ارتباط با نکات ایمنی هنگام استفاده از دستگاه های اندازه گیری صحیح بیان نشده است؟
- ۱- قرار دادن دستگاه در مدار بر حسب کمیت مورد اندازه گیری
 - ۲- قرار دادن دستگاه در سطح کار به هر صورت افق یا عمودی یا با زاویه
 - ۳- جایگزینی فیوز مشابه در هنگام تعویض فیوز دستگاه
 - ۴- استفاده از سیم های مخصوص خود دستگاه

اندازه‌گیری توان، انرژی و اختلاف فاز

هدف کلی

فراگیری مفاهیم توان، انرژی و اختلاف فاز

و نحوه اندازه‌گیری آن‌ها

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

- توان الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- نحوه اتصال وات‌متر به مدار را شرح دهد.
- انتخاب صحیح حوزه 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 AC و DC را شرح دهد.
- انرژی الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.
- نحوه 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.

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

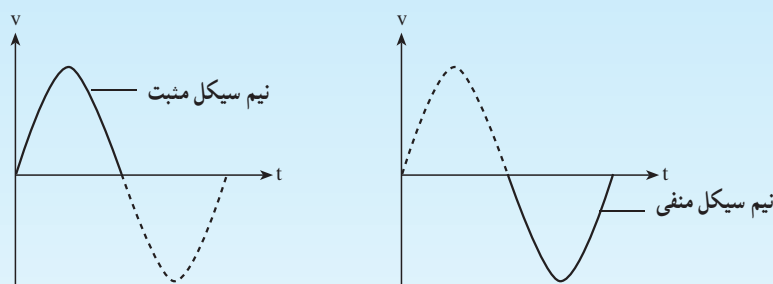
۱- موج سینوسی : همان طور که در مبحث قبل اشاره شد، موج سینوسی دارای قسمت مثبت و منفی است.

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 یک نیم سیکل مثبت و یک نیم سیکل منفی را سیکل یا دوره تناوب می گویند.

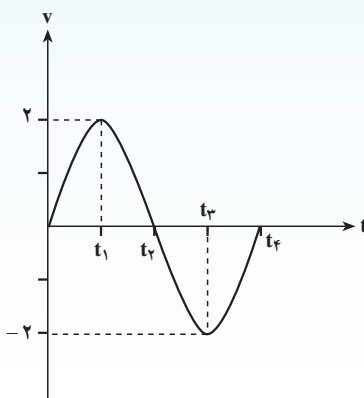
۶- شکل موج : امواج می توانند شکل موج های مختلفی مانند : مربعی، مثلثی، دندانه اره ای و... داشته باشند.

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.

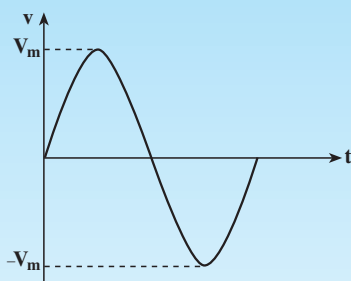
۸- مقدار لحظه ای : به مقدار موج در هر لحظه از زمان مقدار لحظه ای می گویند. مثلاً در شکل زیر در t_1

مقدار دامنه V ولت و در لحظه t_2 مقدار دامنه $-V$ ولت است.

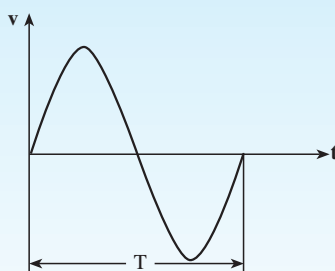


۹- مقدار V_m : در لحظه‌ای از هر نیم‌سیکل که موج سینوسی بیشترین مقدار را دارد، آن را V_m یا ولتاژ ماکزیمم

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 نحوه استفاده از آن‌ها، با استفاده از نرم‌افزار مولتی‌سیم موارد آموزش را برای هنرجویان به صورت آزمایشگاه مجازی به نمایش در آورید.

مقدمه

است. در شکل ۳-۱ یک سیکل کامل از برق شهر نشان داده شده است که واحد آن سیکل بر ثانیه یا هرتز است. فرکانس برق شهر در ایران 50° هرتز است.

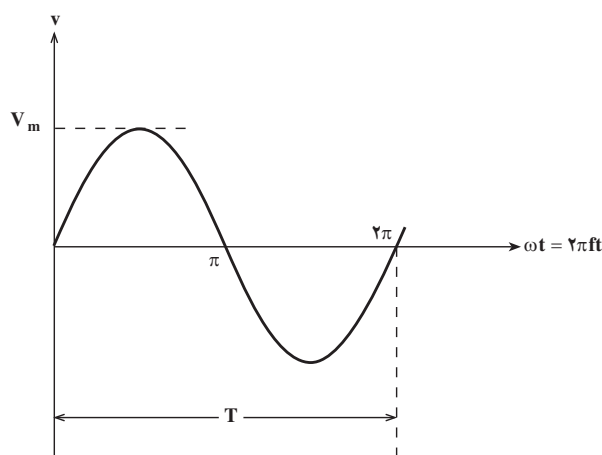
همه ما در زندگی روزمره خود از برق استفاده می‌کنیم. از یک منزل مسکونی ساده تا صنایع عظیم چون فولادسازی، همه‌جا، برق یک نیروی حیاتی است. برق در نیروگاه‌ها تولید می‌شود و بین مصرف‌کننده‌ها در سراسر کشور توزیع می‌شود. شکل ولتاژ تولید شده در تمامی نیروگاه‌ها به صورت سینوسی بوده و همین شکل موج ولتاژ بین تمامی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

رابطه ریاضی و شکل موج ولتاژ سینوسی به صورت شکل

۳-۱ می‌باشد.

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

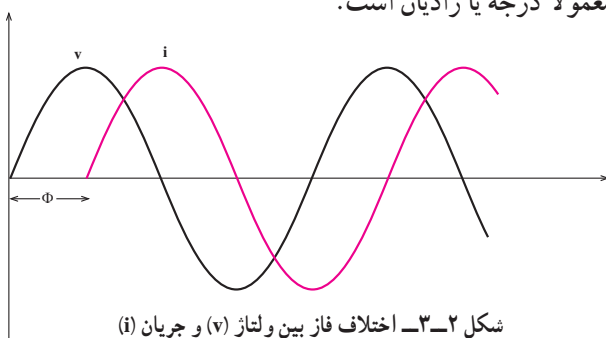
در رابطه ۳-۱، v مقدار ولتاژ در هر لحظه بر حسب ولت، و V_m دامنه ولتاژ یا ماکزیمم مقدار ولتاژ بر حسب ولت - که در شکل نشان داده شده است - و f فرکانس یا تعداد سیکل‌ها در ثانیه



شکل ۳-۱- یک سیکل کامل برق شهر

اگر به یک مدار ولتاژ متناوب سینوسی اعمال گردد در آن مدار جریان سینوسی جاری می‌گردد؛ فقط ممکن است به خاطر بعضی از عناصر موجود در مدار مانند سلف و یا خازن، شکل جریان مدار با شکل ولتاژ مدار، که هر دو سینوسی هستند، روی هم منطبق نباشند یعنی هر دو در یک لحظه با هم صفر و ماکزیمم نشوند؛ در این صورت گوئیم بین جریان و ولتاژ سینوسی اختلاف فاز وجود دارد. شکل ۳-۲ دو شکل موج سینوسی را نشان می‌دهد که با یکدیگر اختلاف فاز (Φ) (به اندازه Φ) دارند:

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



مدت زمانی را که طول می‌کشد تا جریان یک سیکل کامل طی کند زمان تناوب می‌نامند و آن را با حرف T نشان می‌دهند.

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{رابطه } T \text{ و } f \text{ به صورت زیر است:} \quad (3-2)$$

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 موردنظر باشد، مقدار مؤثر (Effective) آن ولتاژ متناوب می‌گویند. رابطه ولتاژ مؤثر و دامنه (پیک) به صورت زیر است:

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

ویژده درجریان علاقمند

حال اگر بخواهیم رابطه ریاضی بین ولتاژ و جریان را در ارتباط با یکدیگر نشان دهیم آن را باید به

صورت زیر بنویسیم:

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

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

الکتریکی گویند. اگر جریان و ولتاژ از نوع DC باشد رابطه توان حاصل ضرب ولتاژ لحظه‌ای در جریان لحظه‌ای را توان به صورت زیر در می‌آید:

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

۳-۱- اندازه‌گیری توان

ویژده درجریان علاقمند

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

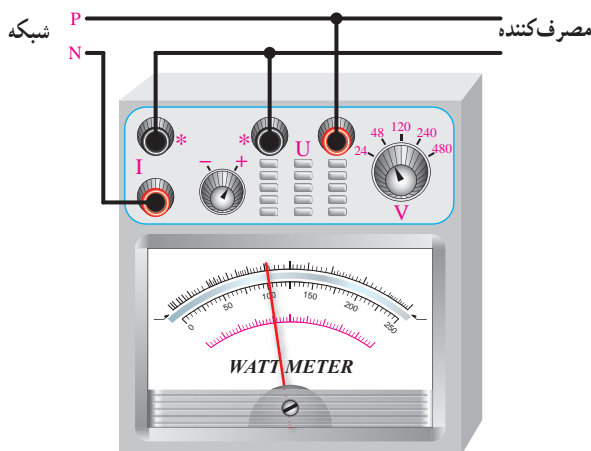
$$P = v \cdot i = V_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t \pm \Phi) \quad (3-7)$$

و برای توان متوسط خواهیم داشت:

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

چنانچه ولتاژ دو سر بار و جریان آن، هر دو DC باشند انحراف عقربه وات‌متر نشان‌دهنده حاصل ضرب این دو کمیت است، و اگر ولتاژ و جریان سینوسی باشند این انحراف حاصل ضرب دو کمیتی را که رابطه 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 نحوه ارتباط یک وات‌متر به شبکه برق شهر و مصرف‌کننده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵- نحوه اتصال یک وات‌متر به شبکه برق شهر و مصرف‌کننده

روی اکثر وات‌مترها سلکتوری (کلید ولت‌متر) وجود دارد که با توجه به ولتاژ مصرف‌کننده تنظیم می‌گردد. مثلاً در شکل ۳-۵ رنج ولتاژ این کلید به صورت ۲۴، ۴۸، ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ ولت می‌باشد. روی برخی از وات‌مترها سلکتور جریان نیز وجود دارد که هنگام کار، با توجه به جریان مصرف‌کننده، باید روی عدد مناسبی قرار گیرد؛ اما امروزه تعداد زیادی از وات‌مترها فاقد کلید جریان بوده و معمولاً دارای جریان نامی ۵ آمپر می‌باشند.

هر وات‌متر در هر رنج ولتاژ معمولاً دارای یک مقدار ماکزیمم ولتاژ نیز می‌باشد، مثلاً در رنج ۴۸۰ ولت، ممکن است وات‌متر بتواند تا ۷۵۰ ولت را نیز تحمل نماید. به این مقدار ولتاژ، مقدار ماکزیمم مجاز می‌گویند. در کاتالوگ هر وات‌متر برای هر رنج مقدار ماکزیمم

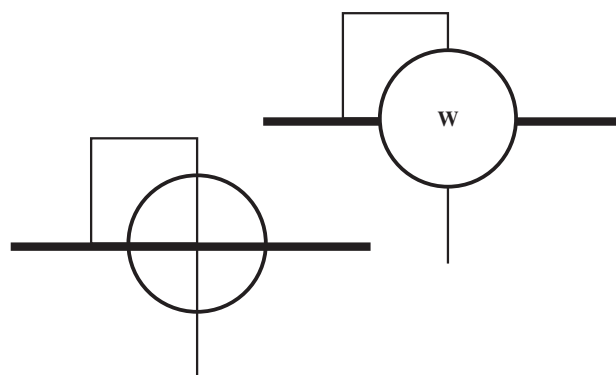
واحد توان الکتریکی وات می‌باشد. در الکترونیک از واحدهای کوچک‌تر این واحد چون میلی‌وات ($\frac{1}{1000} W$) و در الکتروتکنیک از واحدهای بزرگ‌تر آن مانند کیلووات ($1000 W$) و مگاوات ($1,000,000 W$) نیز فراوان استفاده می‌شود.

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



شکل ۳-۳- دو نمونه وات‌متر

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



شکل ۳-۴- علامت فنی وات‌متر

۲-۳- اندازه‌گیری مقدار انرژی

انرژی الکتریکی عبارت است از حاصل ضرب توان در زمان یعنی:

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

در رابطه فوق P توان الکتریکی بر حسب وات، t زمان بر حسب ثانیه، W مقدار انرژی بر حسب وات-ثانیه یا ژول می‌باشد.

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

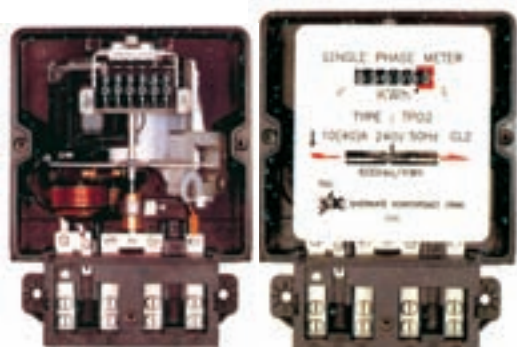
برای اندازه‌گیری مقدار انرژی مصرف شده توسط یک مصرف‌کننده الکتریکی، احتیاج به یک شمارنده داریم، زیرا با توجه به رابطه

$$W = P \cdot t$$

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

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

معمول‌ترین وسیله اندازه‌گیری انرژی الکتریکی، دستگاه **کیلووات ساعت متر یا کنتور** می‌باشد. شکل ۳-۶ نمای ظاهری و داخلی یک نمونه کنتور تک‌فاز را که در منازل برای اندازه‌گیری انرژی مصرف شده به کار می‌رود نشان می‌دهد.



شکل ۳-۶- یک نمونه کنتور تک‌فاز

آن نیز قید شده است و همین‌طور برای هر رنج جریان، یک مقدار ماکزیمم در نظر گرفته می‌شود. در وات‌مترهایی که فقط دارای یک رنج جریان (۵A) می‌باشند مقدار ماکزیمم جریان معمولاً ۷ آمپر است.

برای خواندن توان مصرف‌کننده از روی صفحه مدرج وات‌متر، از ضریب ثابت سنجش استفاده می‌شود. در ابتدا باید بینیم هر قسمت درجه‌بندی، چند وات را نشان می‌دهد. برای این کار رنج ولتاژ و ولت‌متر را در عدد رنج جریان وات‌متر (در صورت نداشتن رنج جریان همان ۵A را در نظر می‌گیریم) ضرب می‌کنیم. عددی که به دست می‌آید نشان دهنده حداکثر توانی 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 صفحه 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 رابطه زیر بدست آورد:

مقدار توانی که وات‌متر نشان می‌دهد برابر است با:

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

مثال: در یک وات‌متر کل صفحه به 120° قسمت تقسیم شده است و کلید ولت‌متر روی 480° ولت قرار دارد. اگر جریان نامی روی عدد ۵A باشد و عقربه $38/5$ قسمت منحرف شده باشد وات‌متر چه توانی را نشان می‌دهد:

$$\text{حل: } P = 480 \times 5 = 2400 \text{ W}$$

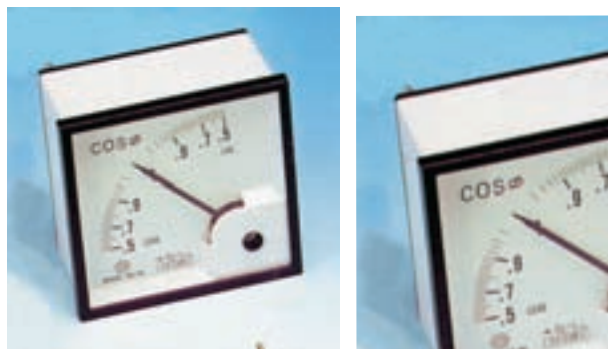
$$C = \frac{2400}{120} = 20 \text{ W}$$

مقدار توانی که وات‌متر نشان می‌دهد برابر است با:

$$P = 38/5 \times 20 = 770 \text{ W}$$

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.

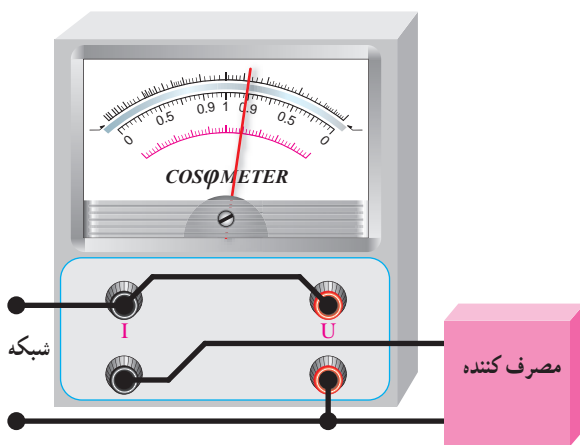
دستگاهی که می‌تواند اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را اندازه بگیرد $\cos\Phi$ متر نام دارد. پس می‌توان گفت: کسینوس فی متر دستگاهی است که حرکت عقربه آن نشان دهنده مقدار اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ می‌باشد. بر روی صفحه مدرج کسینوس فی مترها، معمولاً مقدار اختلاف فاز برحسب درجه و نیز کسینوس اختلاف فاز را می‌نویسند. شکل ۸-۳ دو نمونه کسینوس فی متر را نشان می‌دهد.



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 جریان مصرف کننده و نیز نمونه ولتاژ را به آن اعمال نمود.

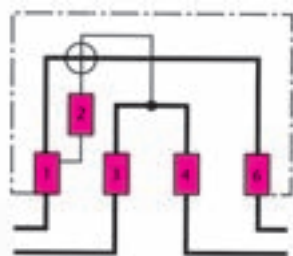
شکل ۹-۳ نحوه اتصال کسینوس فی متر به مصرف کننده و شبکه برق شهر را نشان می‌دهد. این اتصال همانند وات متر می‌باشد.



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

کنتور انرژی الکتریکی را برحسب کیلووات ساعت به کمک رقم‌های یک شمارنده مکانیکی که در روی آن نصب شده است، نشان می‌دهد. نحوه اتصال کنتور به شبکه و مصرف کننده همانند وات متر است، به این معنی که باید ولتاژ و جریان مصرف کننده را به آن اعمال نمود؛ زیرا سرعت چرخش صفحه گردان متناسب با توان مصرف کننده می‌باشد.

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



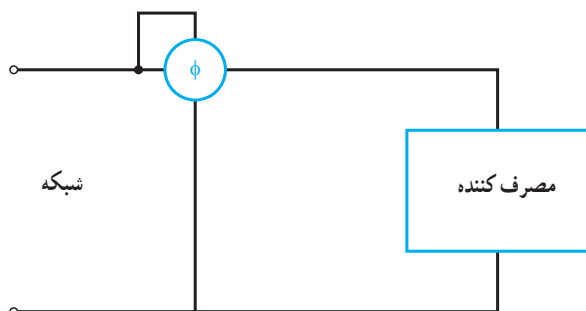
شکل ۷-۳ نحوه اتصال کنتور به شبکه برق و مصرف کننده

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 اداره برق در منازل مسکونی جهت اندازه‌گیری مصرف برق نصب می‌کند.

۳-۳- اندازه‌گیری اختلاف فاز

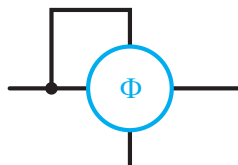
اختلاف زمانی بین دو کمیت الکتریکی را اختلاف فاز می‌نامند. چون اختلاف فاز بین دو سیگنال سینوسی هم فرکانس مطرح می‌باشد (مفهوم می‌دهد) و از طرفی هر سیکل کامل سینوسی را می‌توان معادل 360° یا 2π رادیان در نظر گرفت (روی محور زمان) لذا اختلاف زمانی بین دو کمیت الکتریکی را نیز می‌توان برحسب درجه یا رادیان مطرح 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.

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



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

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 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 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

استفاده از آزمایشگاه های مجازی موجب عمق بخشیدن به آموزش و صرفه جویی در زمان و تجهیزات

می شود.



۴-۳-۲ الکتریکی پرسشی

تشریحی

- ۱- توان الکتریکی و واحد آن را تعریف کنید.
- ۲- نحوه اتصال یک وات متر به یک شبکه الکتریکی و مصرف کننده را رسم کنید و درباره آن توضیح دهید.
- ۳- نحوه خواندن مقادیر روی صفحه مدرج وات متر چگونه است؟
- ۴- انرژی و واحد آن را تعریف کنید.
- ۵- نحوه اتصال کنتور به شبکه برق و مصرف کننده را رسم کرده و آن را شرح دهید.
- ۶- اختلاف فاز را تعریف کنید.
- ۷- نحوه اتصال یک کسینوس فی متر به یک شبکه الکتریکی و مصرف کننده را رسم نموده و راجع به آن توضیح

دهید.

محاسباتی

- ۸- در یک وات متر کل صفحه به 25° قسمت تقسیم شده است. کلید رنج ولت متر روی 5° ولت و کلید رنج آمپر روی ۵ آمپر قرار دارد. عقربه روی صفحه مدرج 75° قسمت منحرف شده است. توانی که وات متر اندازه می گیرد را محاسبه کنید.

آشنایی با اسیلوسکوپ و کاربرد آن

هدف کلی

آشنایی با ساختمان و قسمت‌های اصلی یک اسیلوسکوپ

و نحوه اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی

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.
- وظیفه هر یک از کلیدهای کنترل را شرح دهد.
- نحوه اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی (دامنه ولتاژ، زمان تناوب، فرکانس، اختلاف فاز ...) را با استفاده از اسیلوسکوپ بیان کند.
- مقدار کمیت‌های قابل اندازه‌گیری در صفحه نمایش اسیلوسکوپ را بخواند.
- مقدار اندازه‌گیری شده از روی صفحه اسیلوسکوپ را محاسبه کند.
- فعالیت‌های کلاسی را با اعتماد به نفس و به‌طور دقیق انجام دهد.
- نظم و ترتیب و حضور به موقع 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 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 هنجریان و ... حساس و فعال باشد.
- سایر هنجریان را در ارتباط با اجرای نظم و مقررات، راهنمایی و تشویق کند.

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 نحوه کار آن را آموزش دهید.
- با استفاده از نرم‌افزار مولتی‌سیم، اسیلوسکوپ آزمایشگاه مجازی و نحوه کاربرد آن را برای هنرجویان به نمایش درآورید.
- هنرجویان را در یک جلسه به آزمایشگاه ببرید و کاربرد اسیلوسکوپ را برای آنان نمایش دهید.

* 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.



مقدمه

ساختمان، طرز کار و کاربرد اسیلوسکوپ

معمولاً اسیلوسکوپ را با این فرکانس، مشخص می‌نماید. مثلاً اسیلوسکوپ 20° مگاهرتز، یعنی اسیلوسکویی که می‌تواند ولتاژهای DC و AC تا 20 MHz را نمایش دهد.

شکل ۱-۴ یک نمونه اسیلوسکوپ معمولی را نشان

می‌دهد.



شکل ۱-۴ یک نمونه اسیلوسکوپ معمولی

اسیلوسکوپ یک دستگاه اندازه‌گیری است که از آن برای مشاهده 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 شده امروزی قادر به اندازه‌گیری ولتاژهای کم در این فرکانس نیستند.

اندازه‌گیری و مشاهده شکل موج‌ها در اسیلوسکوپ از ولتاژ با فرکانس صفر (DC) شروع و به فرکانس مشخصی (به خاطر محدودیت پهنای باند تقویت‌کننده‌ها) ختم می‌گردد که

ساختمان اسیلوسکوپ از دو قسمت اصلی تشکیل شده

است :

الف : لامپ اشعه کاتدیک (CRT)^۱

ب : مدارهای آماده سازی لامپ و سیگنال

در زیر توضیح مختصری راجع به هر کدام داده می شود.

۴-۱- لامپ اشعه کاتدیک

لامپ اشعه کاتدیک امروزه قسمت اصلی مونیتورهای

کامپیوتر، تلویزیون، دستگاه های کنترل کننده وضعیت ضربان

قلب در پزشکی و ... را تشکیل می دهد. در حقیقت با اعمال هر

سیگنال الکتریکی به دستگاه های نامبرده، آن سیگنال روی صفحه

حساس لامپ اشعه کاتدیک نقش می بندد. لامپ اشعه کاتدیک که

در اسیلوسکوپ ها کاربرد دارد در صفحات بعد مورد بحث قرار

خواهد گرفت. البته اساس کار همه لامپ ها تقریباً یکسان بوده،

فقط تفاوت جزئی دارند.

شکل ۴-۲ نمای ظاهری یک لامپ اشعه کاتدیک را

نشان می دهد.



شکل ۴-۲- نمای ظاهری یک لامپ اشعه کاتدیک

در حرکت است.

مقدار نور ایجاد شده روی صفحه حساس به دو عامل،

سرعت الکترون ها و تعداد الکترون ها، بستگی دارد؛ به عبارتی

هر قدر تعداد الکترون های اشعه الکترونی و سرعت الکترون ها

زیادتر باشد نور ایجاد شده بیشتر خواهد بود. در عمل برای کنترل

مقدار نور ایجاد شده تعداد الکترون های اشعه را تغییر می دهند،

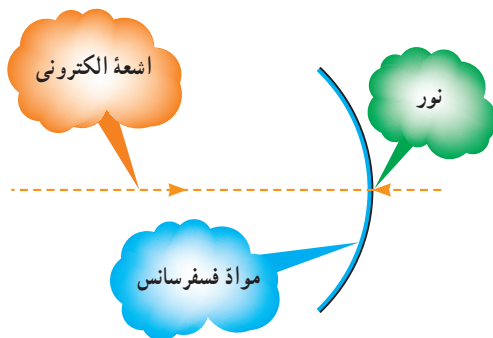
زیرا این عمل به سهولت امکان پذیر است.

صفحه حساس که شکل موج روی آن نقش می بندد، از یک

شیشه معمولی که پشت آن از مواد فسفرسانس (ترکیب روی و

فسفر) پوشیده شده تشکیل می گردد. شکل ۳-۴، صفحه حساس

لامپ اشعه کاتدیک را نشان می دهد.



شکل ۳-۴- صفحه حساس لامپ اشعه کاتدیک

رنگ نور ایجاد شده بستگی به درصد ترکیب روی

و فسفر دارد.

تولید اشعه الکترونی به وسیله گرم کردن یک استوانه فلزی

که قسمت جلوی آن از مواد اکسیدی (معمولاً ۵۰٪ اکسید باریم

و ۵۰٪ اکسید استرانسیوم) پوشانده شده است، صورت می گیرد.

نحوه کار بدین صورت است که ابتدا فیلامان داخل استوانه را با

عبور جریان الکتریکی از آن گرم می کنند. گرمای فیلامان منجر

به گرم شدن استوانه شده در نتیجه مواد اکسیدی گرم می شوند

و بر اثر این گرما از خود الکترون ساطع می کنند. در جلوی این

استوانه یک شبکه که دارای روزنه بسیار کوچکی است (حدود

اساس کار لامپ اشعه کاتدیک، بمباران یک صفحه

حساس با یک دسته اشعه الکترونی می باشد. بر اثر بمباران صفحه

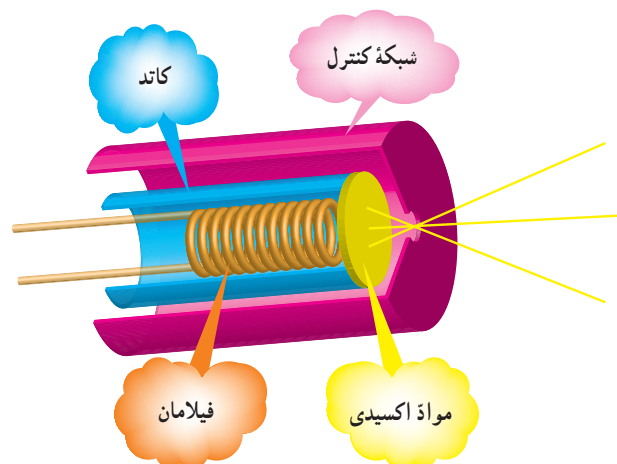
حساس، آن قسمت از صفحه که بمباران شده است از خود

نور ساطع می کند. منظور از اشعه الکترونی تعداد زیادی

الکترون می باشد که به صورت یک اشعه فوق العاده باریک

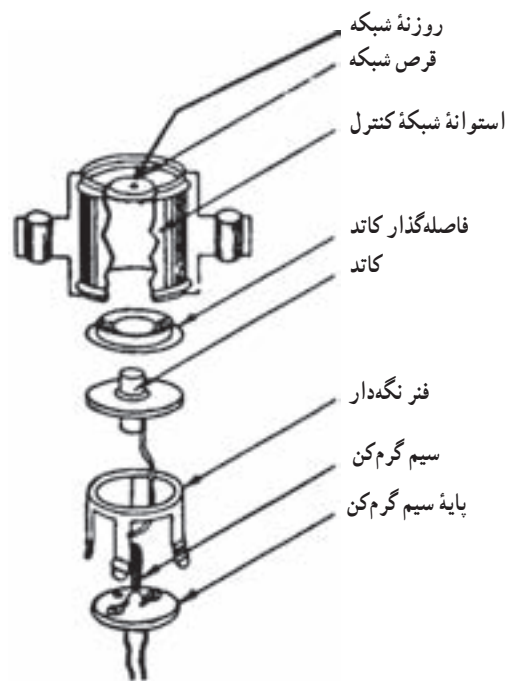
در آمده و با سرعت بسیار زیاد (چند هزار کیلومتر در ثانیه)

کسری از میلی‌متر) قرار گرفته است. این کار مقدمه تولید اشعه به صورت باریک می‌باشد. شبکه جلوی این استوانه، شبکه کنترل و استوانه‌ای که مواد اکسیدی، صفحه جلوی آن را پوشانده است کاتد نام دارد. شکل ۴-۴ این مجموعه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴- تولید اشعه اولیه

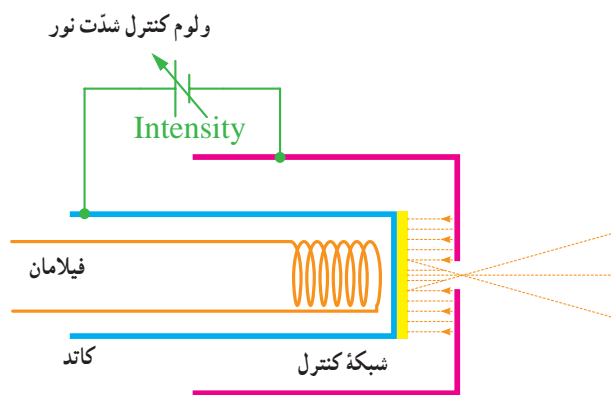
شکل واقعی مجموعه فوق، که استوانه و هنت نام دارد، همراه با اجزای آن در شکل ۴-۵ نشان داده شده است.



شکل ۴-۵- اجزای استوانه و هنت

اگر بین شبکه کنترل و کاتد، یک منبع ولتاژ با پلارینه شبکه 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.

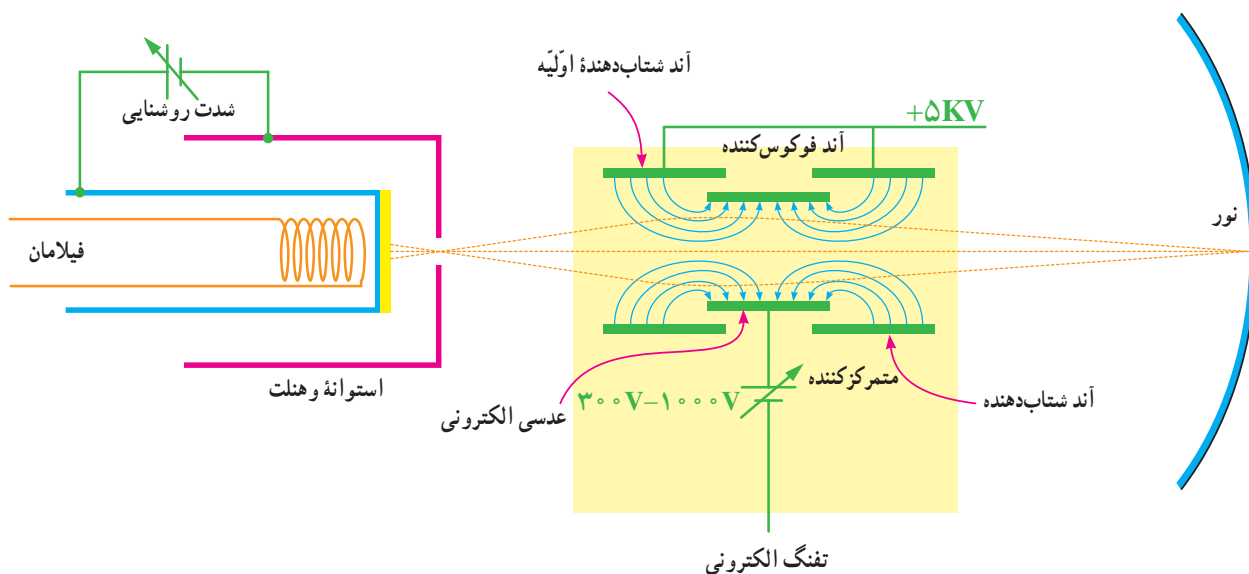
همان‌طور که قبلاً گفته شد، مقدار نور ایجاد شده به دو عامل سرعت و تعداد الکترون‌ها بستگی دارد. در عمل برای تنظیم مقدار نور از تغییر تعداد الکترون‌ها استفاده می‌کنند، لذا برای کنترل مقدار نور ایجاد شده در روی صفحه حساس (شدت نور) می‌توان بین شبکه کنترل و کاتد یک پتانسیل قرار داد و آن را کنترل نمود. به همین منظور در روی صفحه جلوی اسیلوسکوپ ولومی تعبیه شده که با تغییر آن در حقیقت پتانسیل بین شبکه کنترل و کاتد تغییر نموده و در نتیجه شدت نور روی صفحه حساس تغییر می‌کند. این ولوم با کلمه (INTEN) روی اسیلوسکوپ مشخص می‌شود. عملکرد ولوم INTEN در شکل ۴-۶ نشان داده شده است.



شکل ۴-۶- عملکرد ولوم INTEN

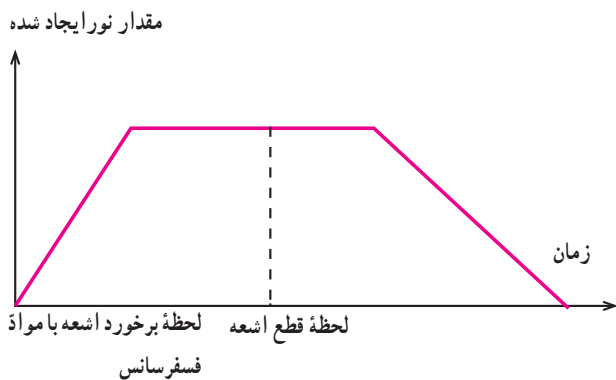
بعد از تولید اشعه اولیه باید این اشعه را روی صفحه حساس متمرکز کرد و به آن چنان شتابی داد که سرعت لازم را جهت برخورد با مواد فسفرسانس و ایجاد نور در روی آن به دست آورد. برای این کار از سه استوانه فلزی که به ولتاژ زیاد وصل شده‌اند استفاده می‌شود. این مجموعه، ضمن این که به الکترون‌ها (اشعه) سرعت لازم را می‌دهد، در عین حال اشعه را روی صفحه حساس متمرکز می‌کند، به این جهت به این مجموعه، عدسی الکترونی

اطلاق می‌گردد. شکل ۷-۴ عدسی الکترونی را نشان می‌دهد. شده است به صورت یک ولوم در پائل اسیلوسکوپ به نام FOCUS و معمولاً در کنار ولوم INTEN قرار دارد. منبع ولتاژ ۱۰۰۰-۳۰۰ ولتی که در شکل ۷-۴ نشان داده



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

تا نور ایجاد شود، همچنین لحظه قطع اشعه و مدت زمان روشن ماندن نقطه 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 ماده فسفرسانس صفحه حساس)

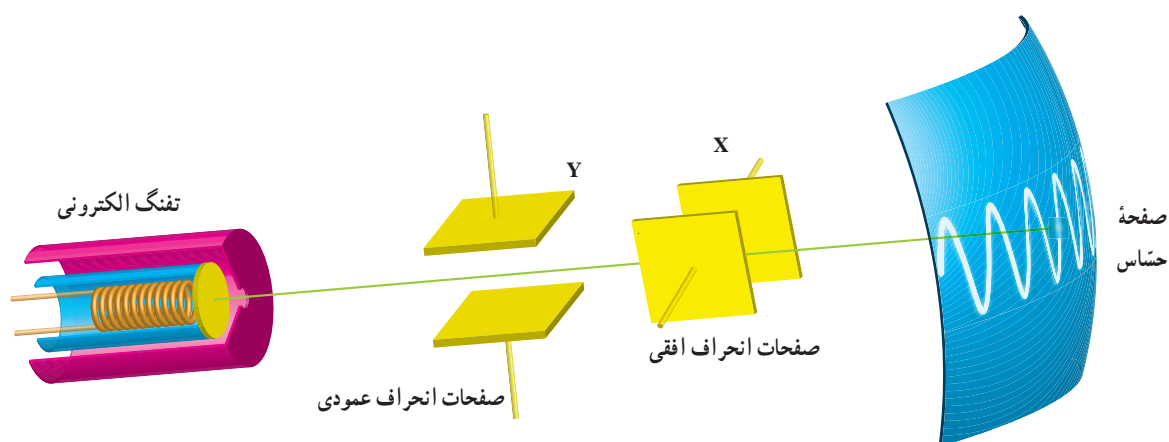
شکل موجی که روی صفحه حساس نقش می‌بندد ناشی از برخورد اشعه الکترونی به صفحه حساس و حرکت آن در جهات مختلف (متناسب با نوع سیگنال) می‌باشد. به عنوان مثال وقتی

مجموعه عدسی الکترونی و استوانه و هنت را تفنگ الکترونی (Electron Gun) می‌نامند. بنابراین وظیفه تفنگ الکترونی ایجاد یک اشعه الکترونی با قابلیت تنظیم نقطه کانونی (فوکوس) روی صفحه حساس، و همچنین تنظیم شدت نور می‌باشد.

تا زمانی که اشعه بر روی ماده فسفرسانس می‌تابد، در آن نقطه نور وجود خواهد داشت و زمانی که اشعه قطع می‌شود (یا به نقطه دیگری می‌تابد) نور نقطه قبلی محو می‌شود (یا به نقطه جدید منتقل می‌گردد) به عبارت دیگر در هر لحظه، اشعه به هر نقطه‌ای بتابد، فقط در آن نقطه نور ایجاد می‌شود. پس بر روی صفحه حساس، فقط یک نقطه نورانی ظاهر می‌گردد. در این جا باید به یک نکته اشاره کرد و آن این که به محض برخورد اشعه به ماده فسفرسانس، نور ایجاد نمی‌شود، بلکه حدود چند نانو و یا میکرو ثانیه طول می‌کشد و از طرفی بعد از قطع اشعه، نقطه 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 لحظه برخورد اشعه را با مواد فسفرسانس، و مدت زمانی که طول می‌کشد

هر نقطه از صفحه حساس اسیلوسکوپ، دارای دو مختص (عمودی و افقی) است و با توجه به این که کلیه موج‌ها به صورت دو بعدی نشان داده می‌شوند پس هر نقطه از شکل موج را می‌توان به دو مؤلفه 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 صفحه 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.

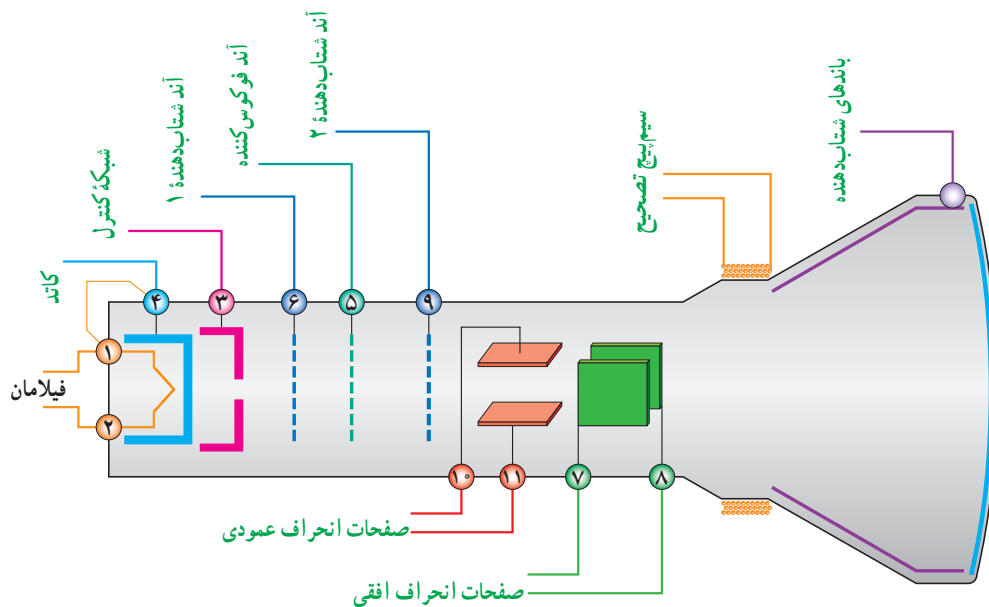
شکل موجی سینوسی را روی صفحه حساس می‌بینیم، حرکت اشعه حتماً به صورت سینوسی بوده است. سؤالی که در اینجا پیش می‌آید این است که با توجه به این که در هر لحظه فقط یک نقطه از صفحه حساس بمباران می‌شود و در این صورت ما باید فقط یک نقطه را روی صفحه حساس ببینیم چرا یک موج سینوسی یا موج دیگر را به صورت پیوسته روی صفحه حساس می‌بینیم؟ پاسخ این است که اولاً اشعه زمانی که از یک نقطه به نقطه 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 صفحه حساس) تکرار گردد. از این روست که اسیلوسکوپ‌های معمولی فقط شکل موج‌های متناوب را می‌توانند نشان دهند.



شکل ۹-۴ نحوه قرار گرفتن صفحات انحراف افقی و عمودی بین تفنگ الکترونی و صفحه حساس

نقش این باندها، دادن سرعت بیشتر به الکترون‌ها و جمع‌آوری الکترون‌های آزاد شده مواد فوسفورسانسی در اثر بمباران اشعه می‌باشد. در شکل ۱۰-۴ ساختمان داخلی لامپ اشعه کاتدیک نشان داده شده است.

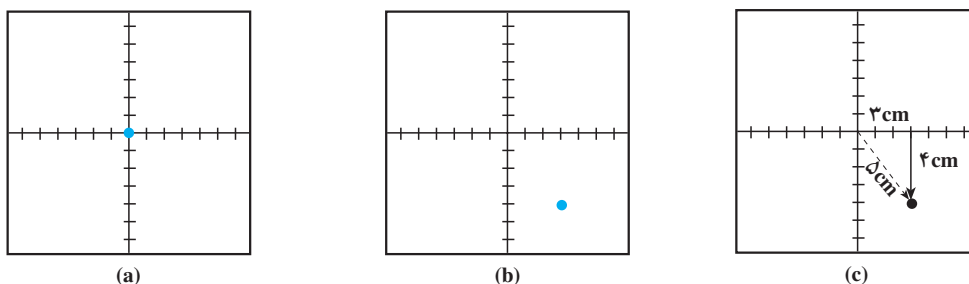
برای بالا بردن حساسیت، صفحات انحراف عمودی لامپ اشعه کاتدیک را قبل از صفحات انحراف افقی آن قرار می‌دهند. بعد از صفحات انحراف عمودی و افقی، یک سری باندهای شتاب‌دهنده در لامپ قرار دارد. این باندها معمولاً به صورت اندودی از گرافیت بوده و به ولتاژ زیاد وصل می‌شوند.



شکل ۱۰-۴. ساختمان داخلی لامپ اشعه کاتدیک

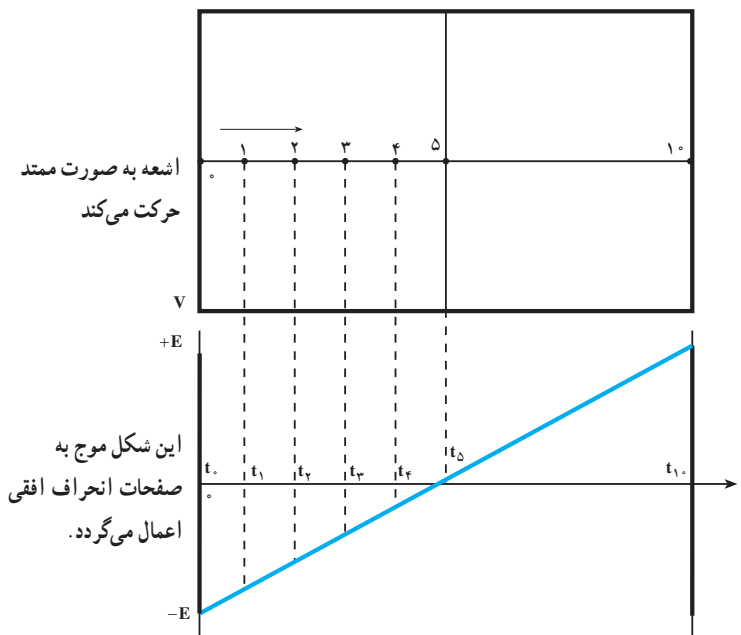
همان‌طور که قبلاً بیان شد، شکل موج نقش‌بسته بر روی صفحه حساس لامپ اشعه کاتدیک، در واقع حرکت نقطه به نقطه اشعه الکترونی بر روی آن است. همچنین گفته شد که هر نقطه از شکل موج روی صفحه، به دو مؤلفه افقی و عمودی قابل تجزیه است (در حقیقت طول و عرض یک نقطه روی صفحه در مختصات دکارتی) به عبارت دیگر با دو حرکت، در جهت افقی و عمودی، اشعه را به هر نقطه از صفحه می‌توان منتقل کرد. اگر به

هر دو صفحه انحراف افقی و عمودی ولتاژ صفر ولت را وصل کنیم، اشعه درست به مرکز صفحه حساس تابیده و نقطه 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 ۴-۳ ظاهر خواهد شد. شکل c-۱۱-۴ و b-۱۱-۴ مکان این اشعه را نشان می‌دهد.



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

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 ۰، در زمان $t = t_1$ اشعه در نقطه ۱، در زمان $t = t_2$ اشعه در نقطه ۲ و... در زمان $t = t_5$ اشعه در نقطه ۵ و بالاخره در زمان $t = t_1$ اشعه در نقطه ۱ قرار خواهد گرفت. چون موج اعمال شده به صفحات انحراف افقی کاملاً خطی است لذا حرکت اشعه کاملاً یکنواخت می‌باشد.

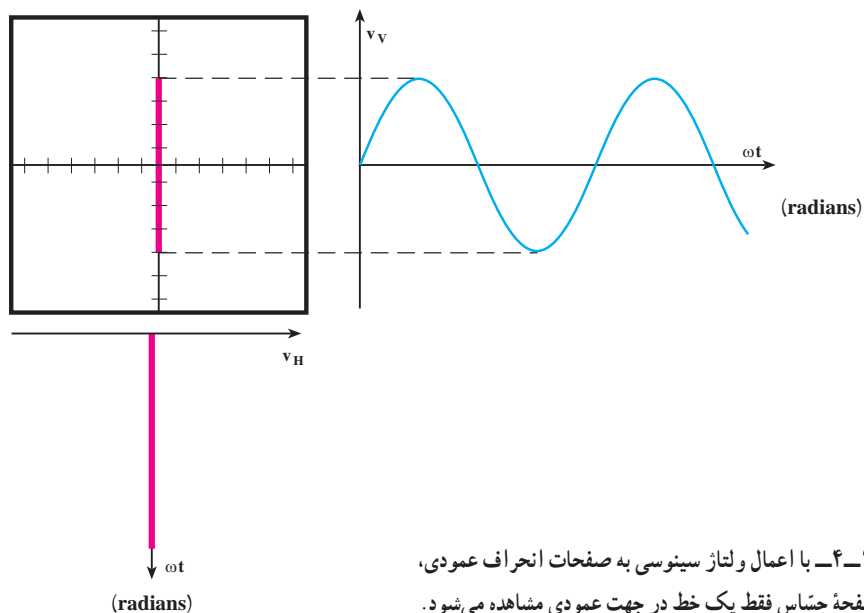


شکل ۴-۱۲ اعمال یک موج خطی به صفحات انحراف افقی باعث حرکت اشعه از سمت چپ به سمت راست می‌شود.

عمودی مشاهده خواهد شد. زیرا ولتاژ سینوسی اعمال شده به این صفحات فقط باعث به حرکت درآوردن اشعه در جهت عمودی می‌شود. یعنی مثل این است که در هر لحظه یک ولتاژ به صفحات انحراف عمودی اعمال نماییم. بنابراین اشعه فقط در جهت عمودی حرکت خواهد داشت. شکل ۴-۱۳ حرکت اشعه را به ازای اعمال ولتاژ سینوسی به صفحات انحراف عمودی نشان می‌دهد.

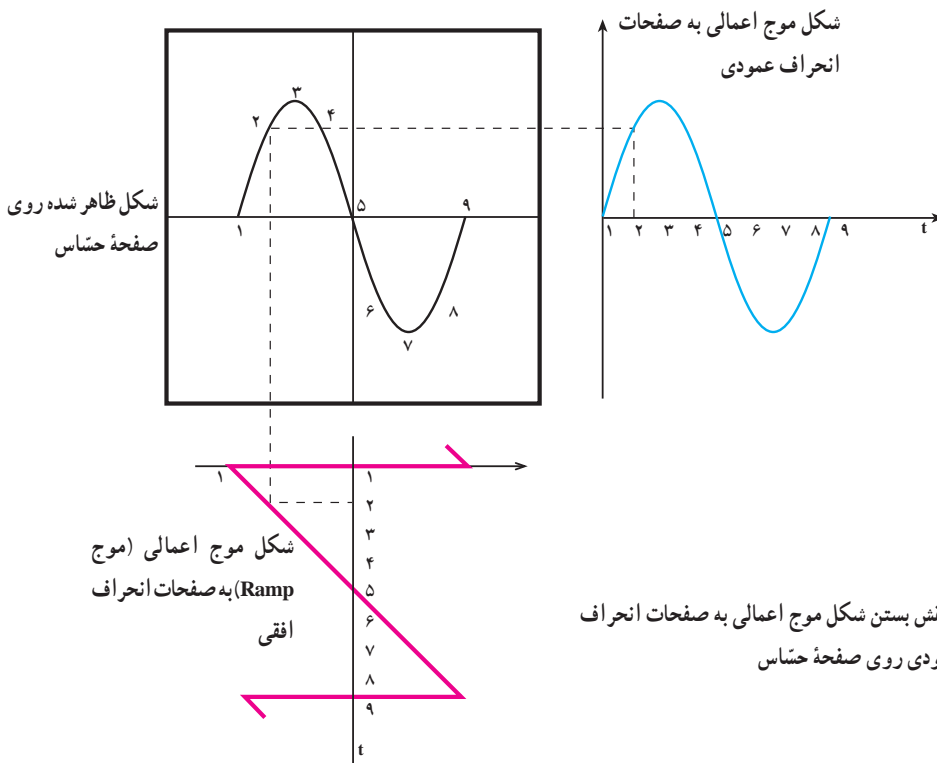
اگر یک موج متناوب خطی با فرکانس بالای ۴۰ هرتز را به صفحات انحراف افقی اعمال نماییم، حرکت اشعه به صورت پیوسته مشاهده شده، در نتیجه روی صفحه حساس، یک خط راست افقی می‌بینیم.

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



شکل ۴-۱۳ با اعمال ولتاژ سینوسی به صفحات انحراف عمودی، روی صفحه 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 صفحه حساس نمایان می‌شود، به شکل ۴-۱۴ توجه نمایید.



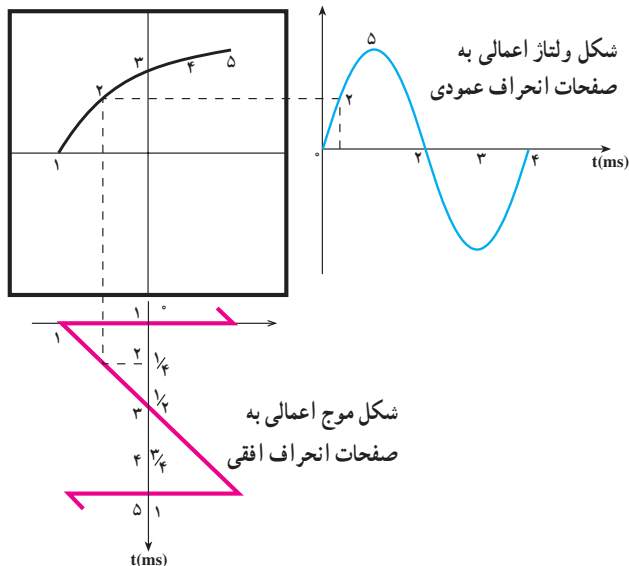
شکل ۴-۱۴- چگونگی نقش بستن شکل موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی روی صفحه حساس

اگر بخواهیم روی صفحه 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 ۴-۱۵ a زمان تناوب موج Ramp و زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی برابر است، لذا فقط یک سیکل را روی صفحه حساس مشاهده می‌کنیم. در شکل ۴-۱۵ b زمان تناوب موج Ramp دو برابر زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی است، لذا دو سیکل کامل روی صفحه 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 صفحه حساس در نقطه ۲ قرار می‌گیرد.

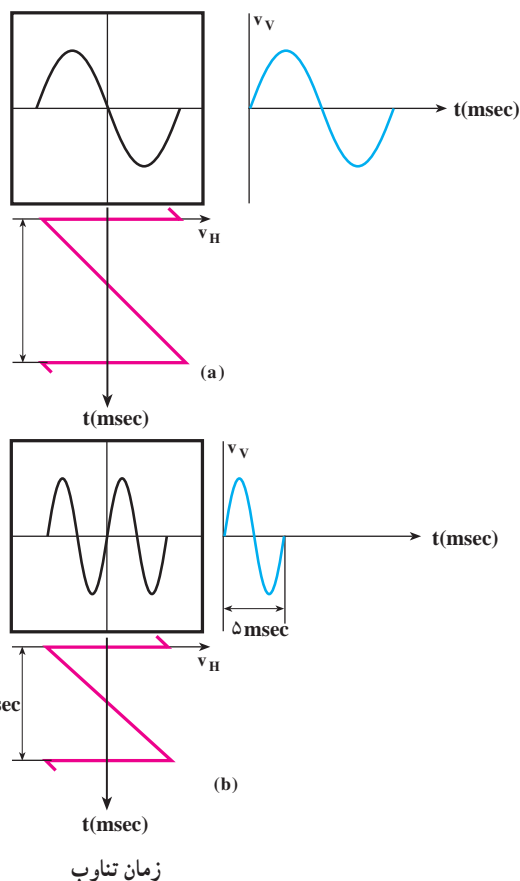
این عمل برای بقیه لحظات نیز صادق است، یعنی ضمن این که موج Ramp حرکت افقی اشعه را به عهده دارد، موج اعمال شده به صفحات انحراف عمودی باعث حرکت عمودی اشعه شده و در نهایت شکل موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی روی صفحه حساس ظاهر می‌گردد.

شکل موج نقش بسته روی صفحه حساس



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 صفحه حساس ظاهر می‌گردد.

به صفحات انحراف عمودی، چهار برابر زمان تناوب موج Ramp می‌باشد که در این صورت فقط یک چهارم از سیکل روی صفحه حساس نقش بسته است.



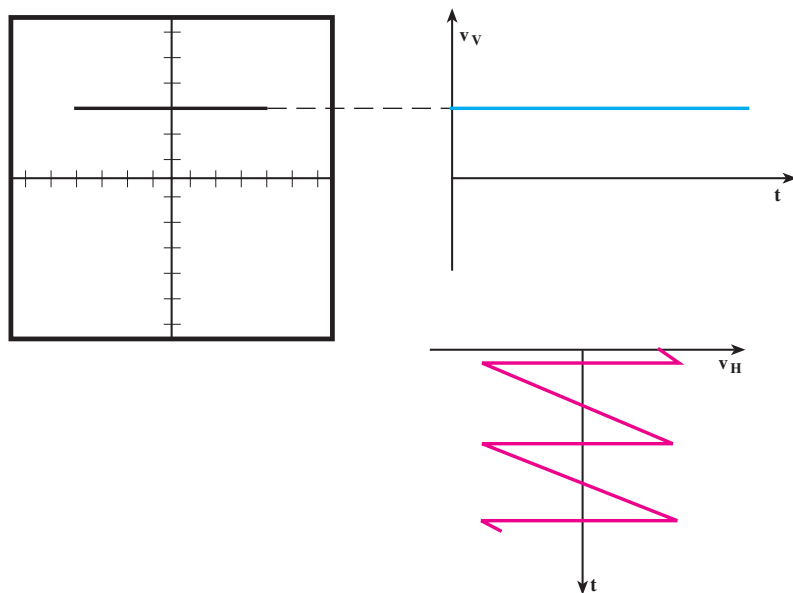
شکل ۴-۱۵ تناسب زمان تناوب موج Ramp با زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف افقی و در نتیجه ظاهر شدن تعداد سیکل‌ها در روی صفحه حساس

اگر زمان تناوب شکل موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی بیشتر از زمان تناوب موج Ramp باشد، در این صورت فقط قسمتی از شکل موج، روی صفحه حساس آشکار می‌شود. شکل ۴-۱۶، حالتی را نشان می‌دهد که زمان تناوب موج اعمالی

دقت کنید

چنانچه به صفحات انحراف افقی و قائم هیچگونه سیگنالی داده نشود، در قسمت وسط صفحه اسیلوسکوپ یک نقطه نورانی پر رنگ ظاهر می‌شود. وجود این نقطه برای مدت طولانی پوشش فسفری داخل حباب لامپ اسیلوسکوپ را می‌سوزاند و یک نقطه سیاه در وسط صفحه ظاهر می‌شود. هرگز اسیلوسکوپ را به مدت بیش از ۲۰ ثانیه در این حالت قرار ندهید.

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 صفحه حساس یک خط مستقیم خواهیم دید. شکل ۱۷-۴ این مطلب را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷-۴: ولتاژ DC به صورت یک خط مستقیم روی صفحه حساس ظاهر می‌گردد.

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.
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.

همان‌طور که قبلاً نیز توضیح داده شد شرط آن که بتوانیم شکل موجی را روی صفحه حساس 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

توجه داشته باشید که زمانی سیگنال روی صفحه 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 صفحه 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 صفحه حساس شروع شود، امکان پذیر می‌شود.

۴-۲- مدارهای آماده سازی

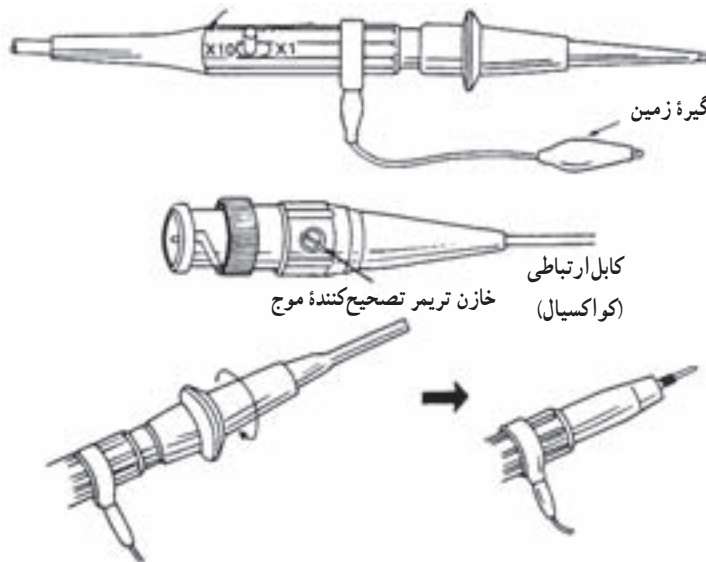
۴-۲-۱- ساختمان پراب (Probe): برای اعمال

سیگنال الکتریکی به اسیلوسکوپ، از پراب استفاده می شود.

شکل ۴-۱۸ یک نمونه از پراب های رایج را نشان می دهد. سیم

رابط پراب معمولاً از کابل کواکسیال می باشد تا میزان نویز به حداقل برسد.

مدار الکتریکی ورودی اسیلوسکوپ به صورت شکل ۴-۱۹ می باشد.

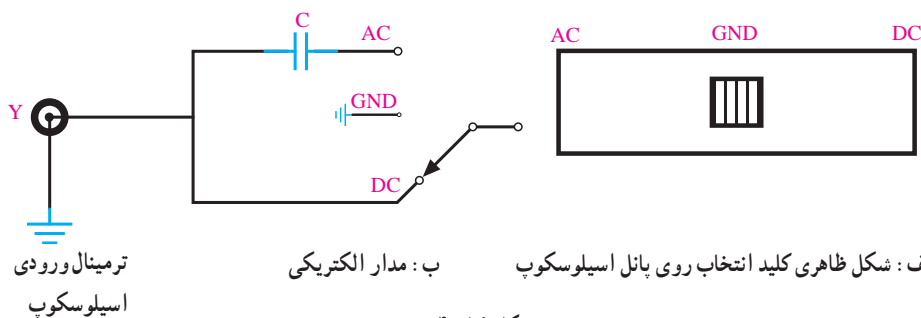


شکل ۴-۱۸- یک نمونه از پراب های رایج

همچنین روی پراب کلید $\times 1$ و $\times 10$ قرار دارد که در حالت $\times 1$ سیگنال از طریق پراب، بدون تضعیف به اسیلوسکوپ، اعمال می شود. اما در حالت $\times 10$ ، ابتدا سیگنال در داخل پراب، 10 برابر تضعیف شده سپس به اسیلوسکوپ اعمال می گردد. باید توجه داشته باشید که اگر از حالت $\times 1$ پراب برای اندازه گیری استفاده می کنید مقادیر قرائت شده دامنه را در عدد 10 ضرب کنید. موارد کاربرد $\times 10$ برای سیگنال های با دامنه زیاد می باشد.

۴-۲-۲- کلید انتخاب ورودی: بعد از ترمینال ورودی اسیلوسکوپ مطابق شکل ۴-۱۹ یک کلید انتخاب وجود دارد.

نوک پراب به صورت گیره ای فنی است که می توان 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 می شود. در شکل ۴-۱۸ این موارد نشان داده شده است. انتهای فلزی سیم رابط که به ورودی اسیلوسکوپ وصل می شود 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 می گردد.



شکل ۴-۱۹

(حدوداً ۲۰ ولت برای انحراف یک سانتی متر روی صفحه حساس) از طرفی، دامنه سیگنال ورودی گاهی حدود میلی ولت بوده و ممکن است به ده ها ولت برسد، لذا زمانی که دامنه سیگنال ورودی حدود میلی ولت است باید این سیگنال جهت اعمال به صفحات انحراف عمودی تقویت گردد و زمانی که دامنه آن حدود چند ده ولت است باید تضعیف شود. بنابراین ما تقویت کننده ای لازم داریم که دامنه ورودی را تشخیص داده، عمل تضعیف و یا تقویت را انجام دهد ولی این امر در عمل غیر ممکن است لذا برای این که بتوانیم هم سیگنال های حدود mV و هم سیگنال های حدود ده ها ولت را مشاهده کنیم، ابتدا تقویت کننده ای می سازیم که مثلاً سیگنال ۵mV را تبدیل به سیگنال مورد نیاز صفحات انحراف عمودی نماید. شکل ۲۰-۴ بلوک دیاگرام این تقویت کننده را نشان می دهد.

اگر کلید انتخاب روی حالت AC قرار گیرد فقط سیگنال های متناوب وارد مدار اسیلوسکوپ می شوند و از ورود ولتاژ DC (یا مؤلفه DC یک موج) به اسیلوسکوپ جلوگیری به عمل می آید.

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

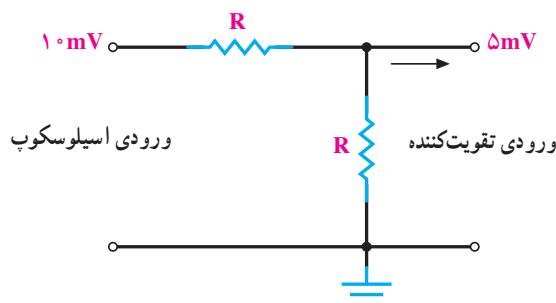
۲۰-۴-۳ مدارهای تضعیف کننده: صفحات انحراف عمودی برای ایجاد انحراف در اشعه، نیاز به ولتاژ زیادی دارند،



شکل ۲۰-۴ تقویت کننده های اسیلوسکوپ

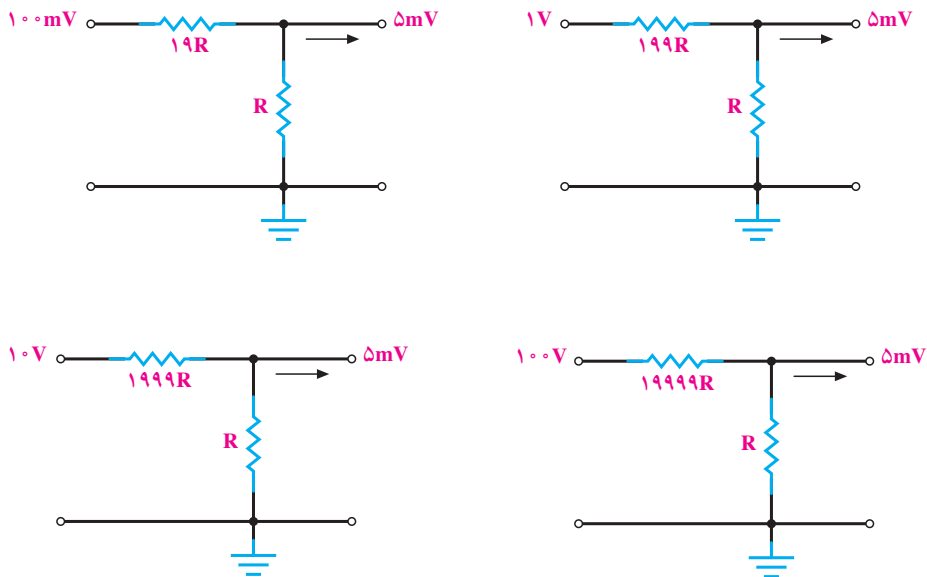
را توسط دو مقاومت مساوی مطابق شکل ۲۱-۴ نصف می کنیم تا به ورودی تقویت کننده فقط ۵mV اعمال شود.

حال اگر دامنه سیگنال، ۵mV یا کم تر بود مستقیماً آن را به ورودی تقویت کننده اولیه وصل می کنیم. دامنه سیگنال ۱۰mV



شکل ۲۱-۴ مدار تضعیف کننده

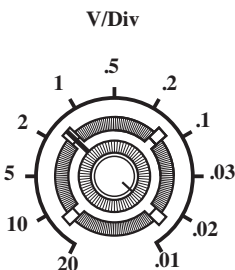
اگر دامنه سیگنال ورودی 100 mV ، یک ولت، 10 ولت به کار می‌بریم. و یا 100 ولت و یا ... باشد به ترتیب مدارهای شکل ۲۲-۴ را



شکل ۲۲-۴ مدارهای تضعیف‌کننده ولتاژ

ضرایب کلید Volt/Div با توجه به مقدار تضعیف و تقویت سیگنال، بیان‌کننده مقدار ولتاژ لازم جهت انحراف اشعه به اندازه یک خانه می‌باشد. معمولاً بر روی این سلکتور (Volt/Div) و با در کنار آن، ولومی به نام Volt Variable قرار دارد که این ولوم معمولاً قادر است بهره 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 اشعه روی صفحه حساس، به اندازه یک خانه می‌رساند؛ حال آن که اگر این ولوم را از حالت Cal. خارج کنیم دیگر این ضرایب بیان‌کننده مقدار ولتاژ لازم جهت انحراف اشعه به طور دقیق نیستند. تضعیف به کمک این ولوم، در انواع اسیلوسکوپ‌ها فرق می‌کند ولی همه اسیلوسکوپ‌ها به طور متوسط قادرند تا $2/5$ برابر عمل تضعیف را انجام دهند. کاربرد این ولوم بیشتر در مواردی است که اندازه‌گیری دامنه مدنظر نباشد بلکه هدف فقط مشاهده شکل موج باشد. فرض کنید می‌خواهیم شکل یک ولتاژ را دقیقاً در ۶ خانه ببینیم، ابتدا اگر بتوانیم با کلید Volt/Div این شکل

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 صفحه حساس با حداکثر اندازه (به‌طوری که هر سیگنال ورودی تمامی صفحه حساس را در برگیرد تا مشاهده و اندازه‌گیری لازم به روی سیگنال با دقت بیشتری انجام شود) مشاهده نمایند. عمل تضعیف کردن به وسیله کلید Volt/Div که روی پانل اسیلوسکوپ قرار دارد انجام می‌شود. شکل ۲۳-۴ نمای ظاهری این کلید را روی پانل اسیلوسکوپ نشان می‌دهد.

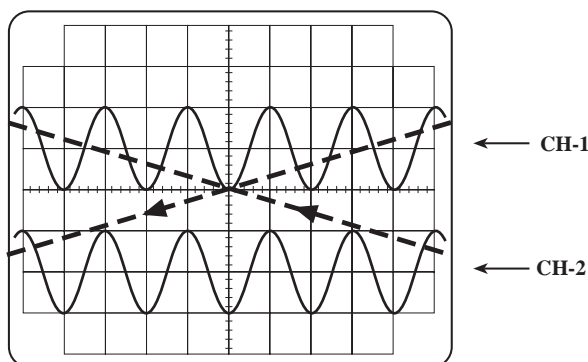


شکل ۲۳-۴ نمای ظاهری کلید تضعیف‌کننده

همان طور که می‌دانیم، لامپ اشعه کاتدیک، فقط یک اشعه تولید می‌کند، برای مشاهده 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 1 KHz به بالا) اسیلوسکوپ ابتدا سیگنال کانال ۱ (در یک تناوب) را نشان داده و سپس در تناوب دیگر سیگنال، کانال ۲ را به همین صورت نمایش می‌دهد و پس از آن به‌طور متناوب کانال ۱ و ۲ را نشان می‌دهد. چون فرکانس کار زیاد است، زمانی که 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 به‌طور 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 1 kHz باشد با استفاده از این کلید، می‌توانیم دو شکل موج را به‌طور همزمان ببینیم. اگر فرکانس سیگنال کم باشد، مشاهده دو شکل موج به‌طور همزمان با استفاده از کلید (ALT) امکان‌پذیر نخواهد بود. زیرا اسیلوسکوپ، وقتی سیگنال کانال ۱ را نمایش می‌دهد، (چون

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 صفحه نمایش تنظیم می‌کنیم.

۴-۳- اسیلوسکوپ دو کاناله

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



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

اگر بخواهیم دو سیگنال را به‌طور همزمان با اسیلوسکوپ دو کاناله مشاهده کنیم باید این دو سیگنال، هم فرکانس باشند و یا فرکانس آن‌ها مضرب صحیحی از یکدیگر باشد.

با مشاهده 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 تقویت‌کننده اولیه عمودی سیگنال‌های ورودی دو کانال با یکدیگر تفاوت دارد.

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

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

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

هـ — Dual : در بعضی از اسیلوسکوپ‌ها به‌جای کلیدهای ALT و CHOP کلید Dual وجود دارد که هر دو سیگنال اعمالی به کانال ۱ و ۲ را به‌طور همزمان نشان می‌دهد.

و — ADD : با قرار دادن کلید در این حالت، دو سیگنال کانال ۱ و ۲ که روی صفحه 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 صفحه حساس نقش بسته‌اند با یکدیگر تفریق لحظه‌ای شده و روی صفحه حساس نمایان می‌شوند.

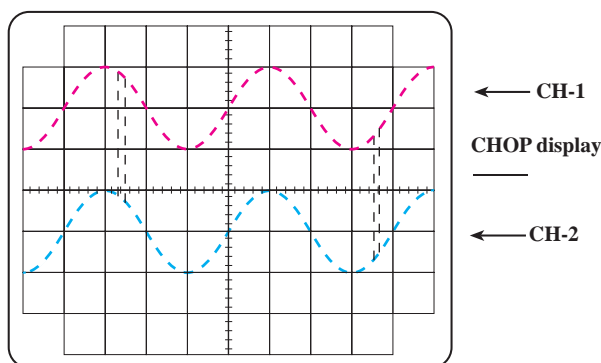
ح — CH2INV : این کلید، سیگنال مربوط به کانال ۲ را ۱۸۰ درجه تغییر فاز می‌دهد. همچنین بعضی دگمه‌های خاص روی اسیلوسکوپ وجود دارند که در قسمت بعد (تشریح پانل یک اسیلوسکوپ دوکاناله) توضیح داده خواهد شد.

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 : صفحه حساس اسیلوسکوپ، در جهت افقی به ۱۰ قسمت و در جهت عمودی

فرکانس کم و زمان تناوب زیاد است) سیگنال کانال ۲ از دید محو می‌شود و دو موج به صورت چشم‌ک‌زن، روی صفحه حساس ظاهر می‌گردند. برای نمایش سیگنال‌های با فرکانس کم، از روش دیگری به نام Chopping استفاده می‌کنند. در این روش، یک نقطه کوچک از سیگنال کانال ۱ و یک نقطه 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 کوچک‌اند ما آن‌ها را کنار هم و به صورت پیوسته می‌بینیم. شکل ۲۶-۴ دو شکل موج سینوسی هم فرکانس را به‌صورت Chopping نشان می‌دهد.



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

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

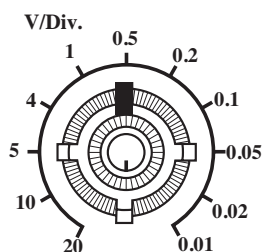
در اسیلوسکوپ‌های دو کاناله در حالت X-Y، یکی از کانال‌ها کنترل محور عمودی (Y) و کانال دیگر کنترل محور افقی (X) را به‌عهده دارد.

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

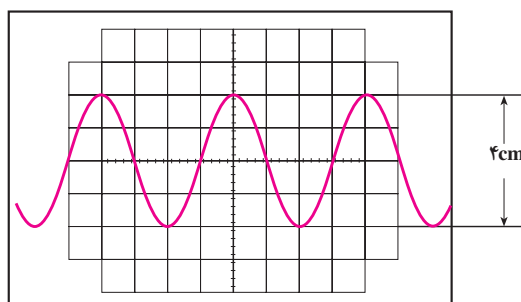
الف — CH1 : اگر کلید، در این حالت باشد، فقط سیگنال اعمالی به کانال ۱ روی صفحه حساس ظاهر می‌گردد (کانال دوم قطع است).

تا شکل موج اعمالی به اسیلوسکوپ روی صفحه حساس ظاهر شود (با تنظیم سلکتور Time/Div می‌توان حدوداً یک یا دو سیکل کامل را روی صفحه حساس نشان داد). سپس با شمارش تعداد خانه‌هایی که پیک تا پیک، یا پیک یک ولتاژ AC، و یا مقدار ولتاژ DC موج در برگرفته و از ضرب این تعداد خانه در رنج سلکتور Volt/Div، مقدار ولتاژ پیک تا پیک، یا پیک AC یا DC به دست می‌آید.

مثال ۱: در شکل ۲۷-۴ دامنه پیک تا پیک ولتاژ برابر $2V = 2V/Div \times 0.5 \times (4 \text{ خانه})$ یا (۲cm) می‌شود.



به ۸ قسمت تقسیم شده است. در برخی از اسیلوسکوپ‌ها اندازه 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 cm یا 2 mm 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



شکل ۲۷-۴ اندازه‌گیری دامنه

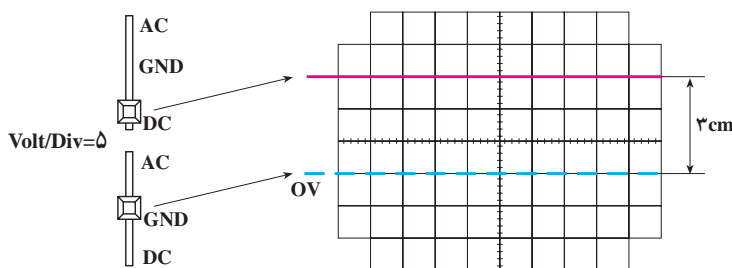
(به خاطر سینوسی بودن) ولت

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

مثال ۲: مقدار ولتاژ DC شکل ۲۸-۴ برابر $15V = 5V/Div \times (3 \text{ خانه})$ می‌باشد.

اگر مقدار پیک ولتاژی را خواسته باشیم، باید مقدار پیک تا پیک را محاسبه کرده آن را بر دو تقسیم نماییم و اگر مقدار مؤثر ولتاژ مدنظر باشد، چون موج سینوسی است، می‌توان برای این منظور مقدار پیک را بر $\sqrt{2}$ تقسیم نمود.

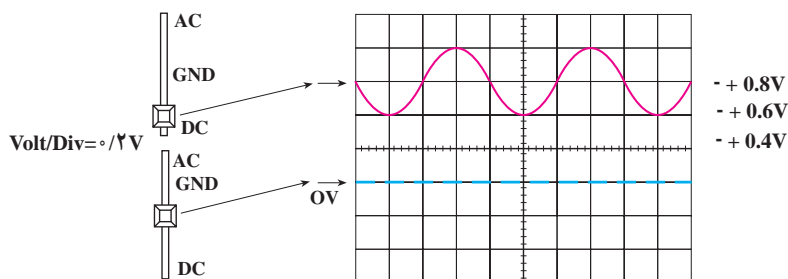
$$V_p = \frac{V_{p-p}}{2} = 1 \text{ V}$$



شکل ۲۸-۴ اندازه‌گیری ولتاژ DC

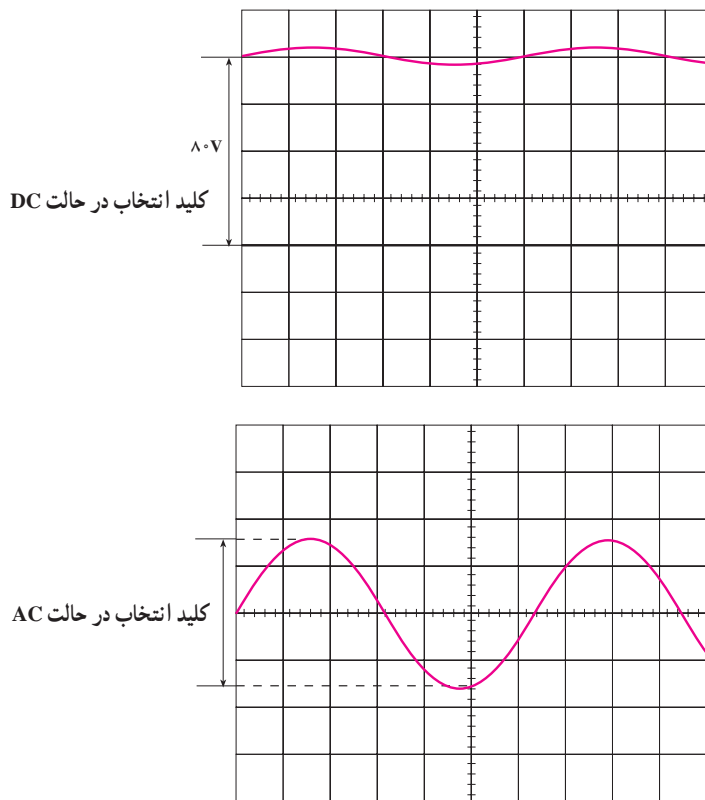
اگر ولتاژ مورد اندازه‌گیری ترکیب DC با AC بوده (AC) سوار بر DC) و در ضمن دامنه AC به راحتی قابل اندازه‌گیری باشد، دامنه AC مطابق آنچه که گفته شد و دامنه DC با شمارش خانه‌ها، از خط صفر تا نقطه صفر موج AC، اندازه‌گیری می‌شود.

مثال ۳: در شکل ۲۹-۴ دامنه DC برابر ۰/۶ ولت و دامنه پیک AC برابر ۰/۲ ولت می‌باشد.



شکل ۲۹-۴- اندازه‌گیری دامنه‌های AC و DC (سوار بر DC)

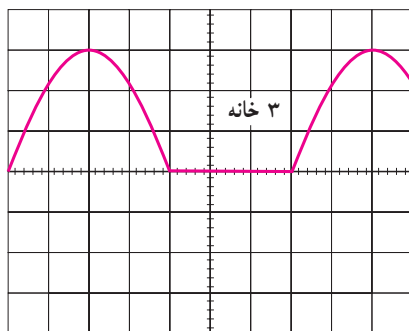
اگر در اندازه‌گیری ولتاژ مرکب از AC و DC نتوان دامنه AC را درست اندازه گرفت، در این حالت، ابتدا با قرار دادن کلید در حالت GND اشعه را در مرکز صفحه حساس تنظیم نموده، سپس کلید انتخاب را در حالت AC قرار می‌دهیم و ضرب Volt/Div را کم می‌کنیم، در این حالت به راحتی مقدار AC قابل اندازه‌گیری خواهد بود. با قرار دادن کلید انتخاب در حالت DC، می‌توان مقدار DC را نیز اندازه گرفت. شکل ۳۰-۴ اسیلوسکوپ یک موج با پیک تا پیک ۳/۱ ولتی را، که بر روی یک ولتاژ ۸۰ ولتی سوار است، نشان می‌دهد.



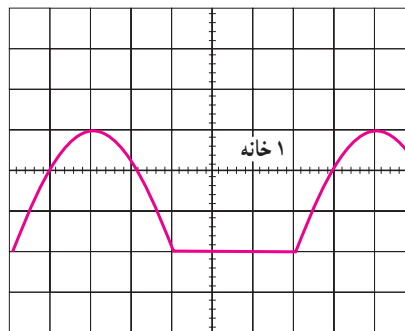
شکل ۳۰-۴- نحوه اندازه‌گیری ولتاژ AC سوار بر DC

رنج کلید $\times V/Div$
 تعداد خانه‌های جابه‌جا شده
 در حالت AC و DC
 = مقدار متوسط

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



کلید انتخاب در حالت DC



کلید انتخاب در حالت AC

شکل ۳۱-۴ $V/Div = 10V$ (۲ خانه) \times شکل جابه‌جا شده است = مقدار متوسط ولتاژ

۴-۲-۴ اندازه‌گیری زمان تناوب: ضرایب کلید

یک سیکل مثلاً زمان تناوب شکل ۳۲-۴ برابر $3ms$ می‌باشد زیرا:

$$3ms = 6Div \times 5ms/Div$$

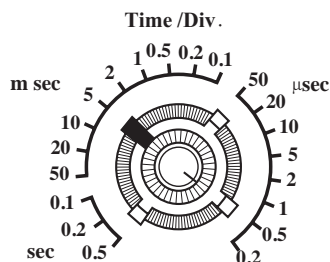
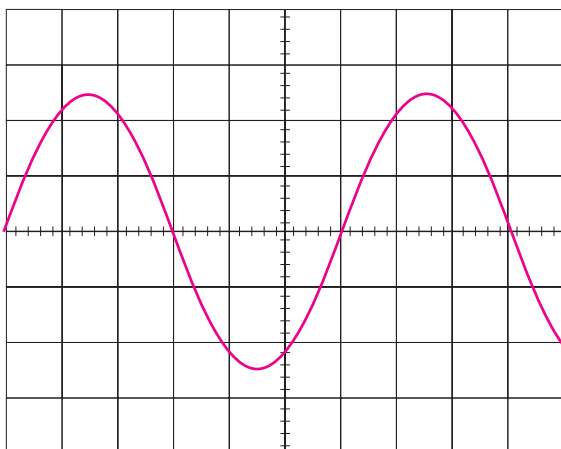
برای اندازه‌گیری زمان تناوب یک شکل موج باید ولوم
 Time Variable در حالت Cal. باشد (در جهت عقربه‌های
 ساعت تا آخر پیکانده شده باشد). برای دقت بیشتر باید سعی
 کنیم حتی‌الامکان یک سیکل از شکل، خانه‌های بیشتری را در
 بر بگیرد.

Time /Div، نشان‌دهنده مدت زمان لازم جهت حرکت اشعه به
 اندازه یک خانه ($\approx 1cm$) می‌باشد مثلاً اگر سلکتور Time /Div
 بر روی $5\mu s/Div$ باشد، $5\mu s$ طول می‌کشد تا اشعه مسیر یک
 خانه را بپیماید. با استفاده از این ضرایب می‌توان زمان تناوب شکل
 موج‌ها را مطابق ذیل محاسبه نمود:

زمان تناوب یک شکل موج نقش بسته روی صفحه حساس

برابر است با:

رنج سلکتور Time /Div \times تعداد خانه‌های در برگرفته شده توسط



شکل ۳۲-۴

خواهد بود. بدین صورت که ابتدا سعی می‌کنیم به کمک سلکتور Time /Div و ولوم Time Variable یک سیگنال از شکل موج، تعداد خانه‌های زیادی را در برگرد (در اندازه‌گیری اختلاف فاز، نیازی به تنظیم زمان موج جاروب نیست یعنی می‌توان ولوم Time Variable را از حالت Cal. خارج کرد). سپس عدد 36° را بر تعداد خانه‌های در برگرفته شده یک سیگنال تقسیم می‌کنیم تا مقدار زاویه 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:

$$\text{Div} = \frac{36^\circ}{8} = 4.5^\circ$$

اختلاف فاز دو سیگنال $18^\circ = 4 \times 4.5^\circ$ (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 رابطه $f = \frac{1}{T}$ مقدار فرکانس را محاسبه نمود. در اسیلوسکوپ‌های پیشرفته‌تر، مقدار فرکانس روی صفحه حساس نوشته می‌شود.

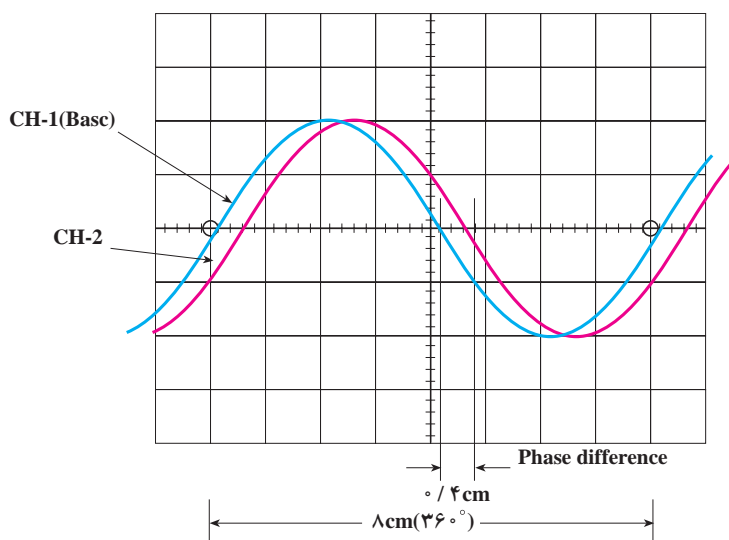
مقدار فرکانس سیگنال شکل ۴-۳۲ برابر $33/3 \text{ Hz}$

می‌باشد زیرا:

$$f = \frac{1}{3 \times 10^{-3}} = \frac{10^3}{3} = 333/3 \text{ Hz}$$

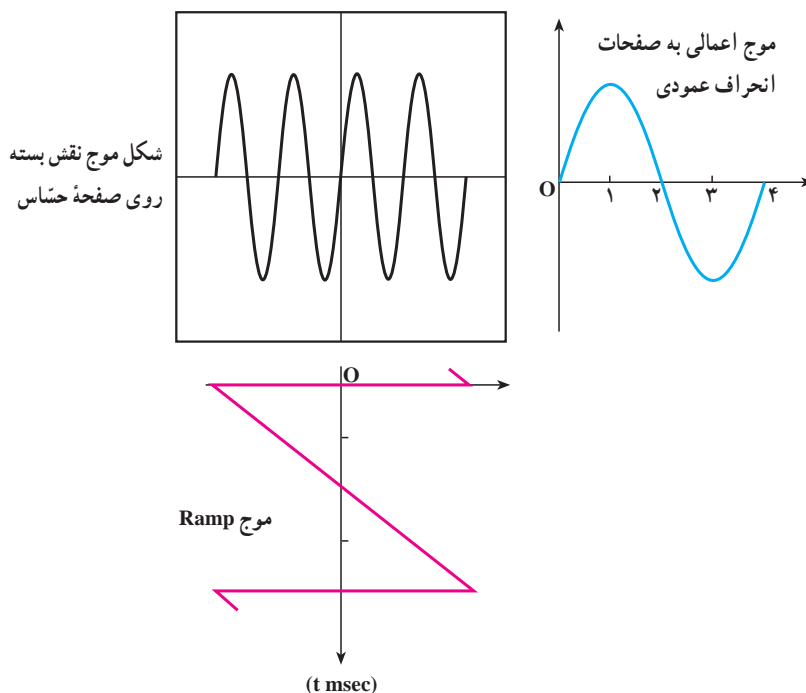
۴-۴-۳ اندازه‌گیری اختلاف فاز: با توجه به این که

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



شکل ۴-۳۳ اختلاف فاز دو سیگنال برابر 18° درجه باشد.

- ۱- اشعه الکترونی چیست؟
- ۲- تولید اشعه الکترونی چگونه صورت می گیرد؟
- ۳- صفحه حساس چیست؟
- ۴- شکل موج چگونه بر روی صفحه حساس نقش می بندد؟
- ۵- نقش عدسی الکترونی در لامپ اشعه کاتدیک چیست؟
- ۶- فوکوس کردن چه مفهومی دارد؟
- ۷- چگونه مقدار نور را روی صفحه حساس تنظیم می کنند؟
- ۸- نقش صفحات انحراف افقی و عمودی در لامپ اشعه کاتدیک چیست؟
- ۹- اگر یک شکل موج سینوسی به صفحات انحراف عمودی و یک ولتاژ DC به صفحات انحراف افقی وصل کنیم روی صفحه حساس شکل موج چگونه ظاهر می شود؟
- ۱۰- اگر زمان تناوب موج Ramp برابر ۱۵ms و زمان تناوب موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی برابر ۱۰ms باشد، شکل موج نقش بسته روی صفحه حساس چگونه است؟
- ۱۱- در شکل ۳۴-۴ زمان تناوب موج جاروب چقدر باید باشد تا شکل موج نشان داده شده، روی صفحه حساس ظاهر شود؟
- ۱۲- به طور کلی تشریح کنید که وقتی یک موج را به صفحات انحراف عمودی و یک موج جاروب با زمان تناوب مناسب به صفحات انحراف افقی می دهیم، چگونه شکل موج اعمالی به صفحات انحراف عمودی روی صفحه حساس آشکار می شود.



شکل ۳۴-۴- رابطه 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 DC و AC 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 کننده چیست؟

۱۸- ولوم Volt Variable چه عملی انجام می دهد؟

۱۹- چرا در تقویت کننده نهایی از ولتاژهای بالا استفاده می کنند؟

۲۰- نقش ولوم Level روی پائل اسیلوسکوپ کدام است؟

۲۱- ضرایب سلکتور Time/Div بیان کننده چیست؟

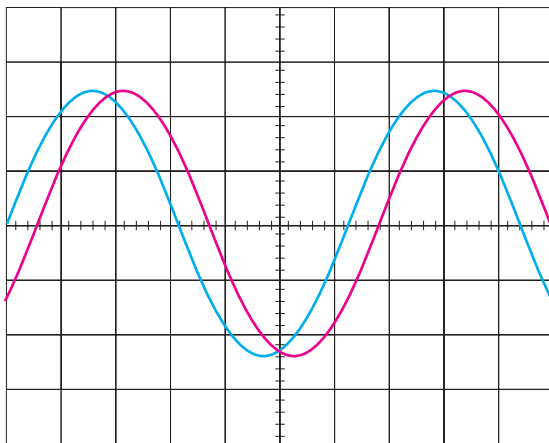
۲۲- اسیلوسکوپ دو کاناله چگونه دو شکل موج را به طور همزمان نشان می دهد (سیستم ALT و CHOP را به طور کامل توضیح دهید)؟

۲۳- چگونه می توان 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

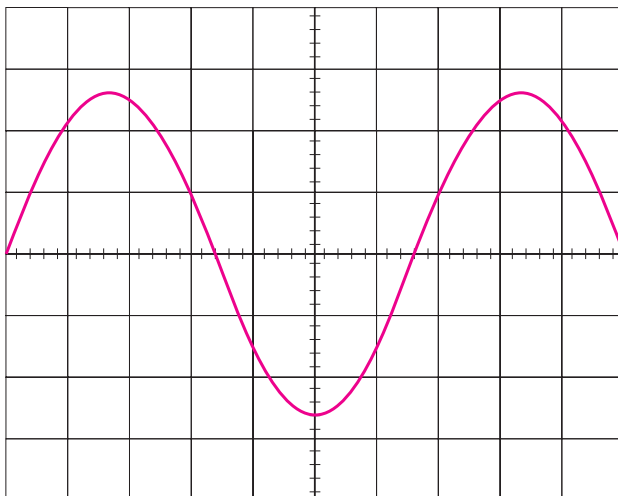
روی صفحه حساس شکل ۳۵-۴ چند درجه است؟



شکل ۳۵-۴ اندازه گیری اختلاف فاز بین دو سیگنال

۲۵- در شکل ۳۶-۴ مقدار ماکزیمم ولتاژ و

فرکانس سیگنال را به دست آورید.



Time / Div = $10^{-6} \text{ ms} / \text{Div}$

Time / Div = $5 \text{ V} / \text{Div}$

شکل ۳۶-۴ اندازه گیری ماکزیمم ولتاژ و فرکانس سیگنال

ساختمان دستگاه‌های اندازه‌گیری

هدف کلی

آشنایی با ساختمان داخلی و طرز کار تعدادی از دستگاه‌های

اندازه‌گیری و نحوه توسعه حوزه کار آن‌ها

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده 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 به صورت ولت‌متر DC و آمپر‌متر DC شرح دهد.
- چگونگی استفاده از دستگاه اندازه‌گیری با قاب‌گردان را به صورت ولت‌متر AC شرح دهد.
- چگونگی توسعه 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 به صورت اهم‌متر سری شرح دهد.
- ساختمان و طرز کار انواع دستگاه اندازه‌گیری آهن نرم‌گردان را شرح دهد.
- فرق ولت‌متر و آمپر‌متر آهن نرم‌گردان 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 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 هنجریان و ... حساس و فعال باشد.
- سایر هنجریان را در ارتباط با اجرای نظم و مقررات، راهنمایی و تشویق کند.

در صورت امکان با استفاده از نرم افزار مولتی سیم، نحوه توسعه حوزه کار دستگاه های اندازه گیری را به صورت آزمایشگاه مجازی برای هنرجویان به نمایش در آورید.

۵-۱- دستگاه اندازه گیری با قاب گردان و آهن ربای دائمی

در یک بسته بندی استفاده می شود. در حقیقت تمامی دستگاه های اندازه گیری که دارای درجه بندی خطی هستند و با جریان های خیلی کم کار می کنند نشان دهنده اصلی همان گالوانومتر می باشند.

۱-۵- ساختمان گالوانومتر دآرسونوال :

شکل ۵-۱ دو نمونه از گالوانومتر دآرسونوال را که در ساختمان دستگاه های اندازه گیری به کار می رود نشان می دهد.

دستگاه اندازه گیری با قاب گردان و آهن ربای دائمی همان میکروآمپر متر یا گالوانومتر است که می تواند جریان های حدود میکروآمپر (حتی کسری از میکروآمپر) را با دقت بسیار بالا اندازه بگیرد. از این رو از این دستگاه در ساخت ولت مترها و آمپر مترهای بسیار دقیق و مولتی متر (اهم متر - ولت متر و آمپر متر



شکل ۵-۱

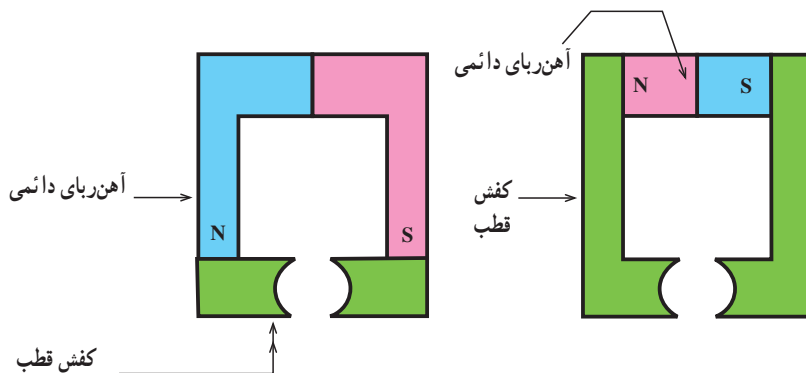
سیم پیچ، که قادر است حول استوانه آهن نرم بچرخد، تشکیل شده است.

— آهن ربای دائمی و کفش قطبها : نقش آهن ربای

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

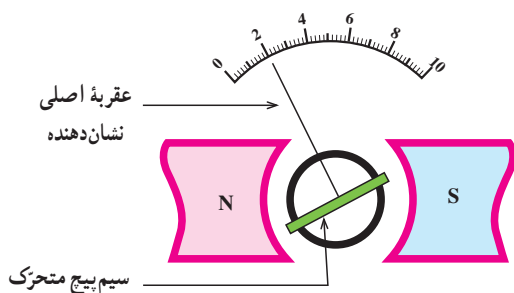
دائمی در گالوانومتر دآرسونوال، ایجاد میدان مغناطیسی در یک فاصله هوایی است و کفش قطبها وظیفه یکنواخت کردن این

میدان مغناطیسی را به عهده دارند. شکل ۵-۲ دو نمونه آهنربای



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

قادر است حول استوانه 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 وضعیت قرار گرفتن سیم پیچ حول استوانه آهنی را نشان می دهد.



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

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



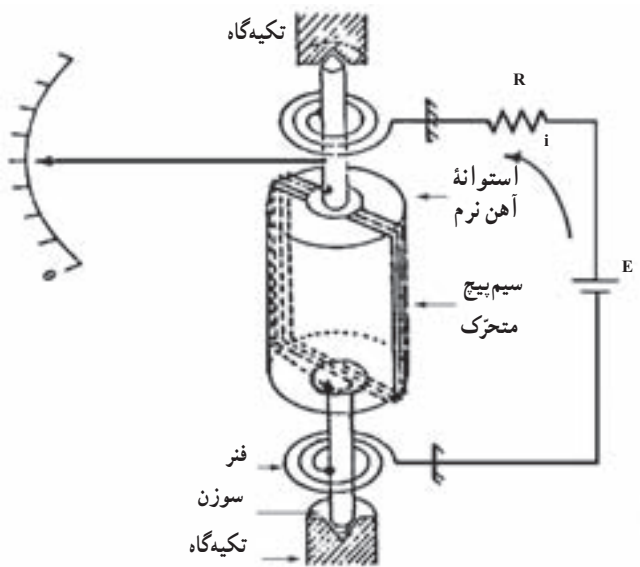
شکل ۵-۳ چگونگی ایجاد میدان مغناطیسی یکنواخت و شعاعی

چون سیم پیچ باید حرکت کند لذا با دو سوزن (در مدل های قدیمی تر) که در دو طرف سیم پیچ تعبیه شده اند، توسط دو تکیه گاه، نگه داشته می شود و قادر است حول این دو تکیه گاه بچرخد. در ضمن دو فنر نیز جهت ایجاد کویل مقاوم و برگرداندن سیم پیچ بعد از قطع جریان به جای اول (نقطه صفر) نیز به دو سوزن، وصل شده اند. در ضمن فنرها نقش هدایت جریان به سیم پیچ متحرک را نیز به عهده دارند (در صورتی که از فنرها برای هدایت جریان استفاده نکنیم، چون سیم پیچ حرکت می کند باید از تیغه های کلکتور استفاده

اخیراً بعضی از کارخانه های سازنده، فرم آهنربا را طوری می سازند که نیازی به استوانه آهن نرم نباشد و در ضمن، در فواصل مورد نیاز، میدان یکنواخت را برای ما ایجاد کند.

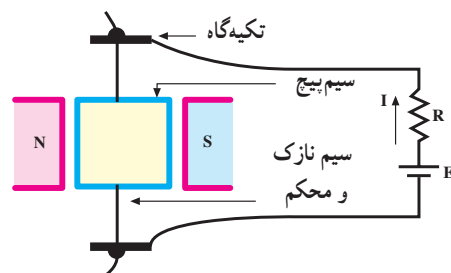
— سیم پیچ متحرک : همان طور که گفته شد گالوانومتر برای اندازه گیری جریان های با مقدار بسیار کم به کار می رود. برای اندازه گیری مقدار جریان وارد شده به گالوانومتر باید مقدار انحراف عقربه گالوانومتر را سنجید. عقربه دستگاه نیز به یک سیم پیچ که

نماییم که این کار باعث ایجاد اصطکاک شده از حساسیت دستگاه کاسته می‌شود و آن را نیز تا حدودی غیرخطی می‌نماید. شکل ۵-۵ ساختمان یک گالوانومتر را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۵ ساختمان یک گالوانومتر

در گالوانومترهای جدیدتر، برای حساس‌تر کردن و همچنین ساده‌تر نمودن ساختمان آن، به جای دو عدد سوزن، دو فنر و دو تکیه‌گاه، سیم پیچ را با دو مفتول بسیار نازک (معمولاً از آلیاژ برنز یا نقره) با مقطع گرد و یا مستطیلی شکل به دو تکیه‌گاه ثابت وصل می‌کنند. هدایت جریان به سیم پیچ متحرک، از طریق دو تکیه‌گاه صورت می‌گیرد. همچنین اگر سیم پیچ بچرخد، مفتول نازک نیز تاب خورده ایجاد کوپل مقاوم می‌کند و بعد از قطع جریان مجدداً سیم پیچ را به حالت اولیه برمی‌گرداند. عقربه نشان‌دهنده روی سیم پیچ متحرک قرار می‌گیرد. شکل ۵-۶ ساختمان این نوع گالوانومتر را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۶ مقطع یک گالوانومتر

حرکت عقربه (چرخش قاب) با جریان عبوری از آن رابطه خطی دارد. از این رو درجه‌بندی 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 اندازه‌گیری است که درجه‌بندی آن کاملاً خطی است.

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

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

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

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

برای ولت‌مترها حساسیت را معمولاً بر حسب $(\frac{\Omega}{V})$ مشخص می‌نمایند. مقدار عددی $\frac{\Omega}{V}$ ، معکوس مقدار عددی جریان انحراف کامل گالوانومتر بر حسب آمپر می‌باشد. مثلاً اگر در یک گالوانومتر حساسیت $20 \cdot \frac{K\Omega}{V}$ باشد برای انحراف کامل آن نیاز به $50 \mu A = \frac{1}{20 \cdot K\Omega}$ جریان دارد.

حال اگر در گالوانومتر دیگری حساسیت $100 \cdot \frac{K\Omega}{V}$ 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 می‌آید که هر قدر عدد $\frac{\Omega}{V}$ یک گالوانومتر بیشتر باشد، دستگاه حساس‌تر است. اگر بخواهیم از این

دستگاه به عنوان ولت‌متر استفاده کنیم هر قدر عدد $\frac{\Omega}{V}$ آن بیشتر باشد (در حقیقت امپدانس ورودی آن بیشتر باشد) خطای اندازه‌گیری

کمتر می‌شود.

۵-۱-۲ ساختمان ولت‌متر DC: همان‌طور که دیدیم

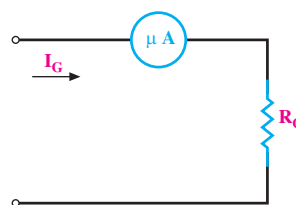
حرکت عقربه گالوانومتر به صورت خطی با عبور جریان از سیم پیچ رابطه داشت و طبق رابطه ۵-۲ به دست می‌آمد.

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

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 (۱۰۰٪ انحراف کامل) و به ازای عبور جریان $25 \mu A$ انحراف آن نصف (۵۰٪ انحراف کامل) خواهد بود.

اگر مقاومت داخلی گالوانومتر، R_G ، باشد و جریان عبور از گالوانومتر I_G ، هنگام عبور جریان I_G از گالوانومتر، در دوسر گالوانومتر افت ولتاژی معادل $R_G \cdot I_G$ به وجود خواهد آمد.

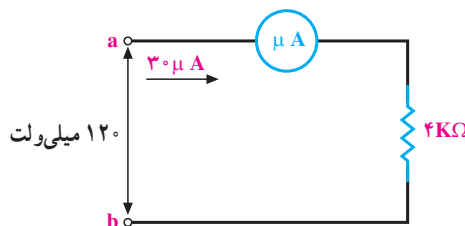
شکل ۵-۷ علامت فنی یک گالوانومتر را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۷ علامت فنی گالوانومتر دآرسونوال

مقدار R_G در گالوانومترها معمولاً بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ 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 می‌نمایند).

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

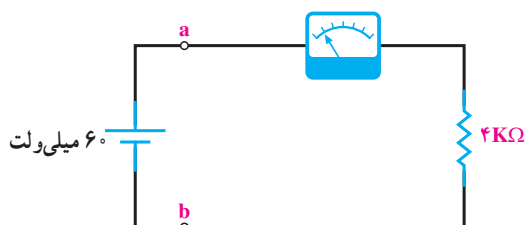


شکل ۵-۸ به ازای عبور جریان $30 \mu A$ از گالوانومتر، دو سر آن 120 میلی‌ولت ولتاژ افت می‌کند.

حال اگر به جای $30 \mu A$ ، $15 \mu A$ جریان را به گالوانومتر اعمال نماییم، اولاً عقربه 50 ٪ مقدار قبلی حرکت می‌کند و ثانیاً افت ولتاژ دو سر گالوانومتر 60 میلی‌ولت خواهد شد ($4 K\Omega \times 15 \mu A = 60 \text{ mV}$).

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

مجموعه گالوانومتر فوق را می‌توان به عنوان یک میلی‌ولت‌متر 120 mV در نظر گرفت. همچنان که می‌توان مجموعه گالوانومتر را به عنوان میکروآمپر متر $30 \mu A$ نیز در نظر گرفت.

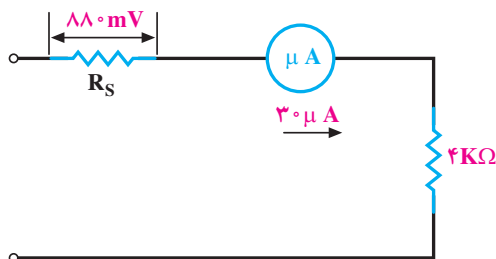


شکل ۵-۹ به ازای اعمال 60 mV ولتاژ به گالوانومتر، انحراف 50 ٪ خواهد بود.

اگر گالوانومتر، با مشخصات فوق را به عنوان میلی‌ولت‌متر 120 mV در نظر بگیریم و بخواهیم ولتاژهای بیشتر از 120 mV را با آن اندازه بگیریم، باید مازاد 120 mV را در یک مقاومت اهمی که با گالوانومتر سری می‌کنیم افت بدهیم. در هر حال جریان عبوری از گالوانومتر نباید از $30 \mu A$ تجاوز کند. فرض کنید می‌خواهیم ولتاژ 170 را با میلی‌ولت‌متر 120 mV اندازه بگیریم. برای این کار باید 880 میلی‌ولت ولتاژ را در مقاومت سری شده با گالوانومتر افت بدهیم و از طرفی باید جریان مدار همان $30 \mu A$ باشد لذا می‌توان مطابق شکل ۵-۱۰ مقاومت سری شده با گالوانومتر (R_S) را محاسبه نمود.

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

$$R_S = \frac{88 \text{ mV}}{3 \text{ } \mu\text{A}} = 29 / 33 \text{ K}\Omega \quad (5-3)$$

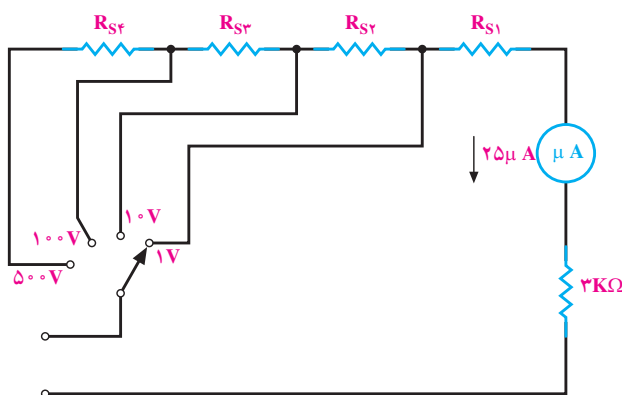


شکل ۵-۱۰ یک ولت متر ۱-۰ ولت به کمک یک میلی ولت متر ۱۲۰ mV-.

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 $R_G = 3 \text{ K}\Omega$ و $I_G = 25 \text{ } \mu\text{A}$ (جریان انحراف تمام اشل) در دسترس است، می خواهیم یک ولت متر با رنج های ۱ V-، ۱۰ V-، ۱۰۰ V-، ۵۰۰ V- داشته باشیم، مقاومت هایی را که باید با این گالوانومتر سری شوند محاسبه نمایید.

حل: ابتدا شکل ولت متر را رسم می کنیم:



شکل ۵-۱۱- ساختمان ولت متر مثال ۱

ولتاژی که دو سر گالوانومتر افت می نماید

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

$$R_{S1} = \frac{100 \text{ mV} - 75 \text{ mV}}{25 \text{ } \mu\text{A}} = 33 \text{ K}\Omega$$

$$R_{S2} = \frac{10 \text{ V} - 1 \text{ V}}{25 \text{ } \mu\text{A}} = 360 \text{ K}\Omega$$

$$R_{S3} = \frac{100 \text{ V} - 10 \text{ V}}{25 \text{ } \mu\text{A}} = 3 / 6 \text{ M}\Omega$$

$$R_{S4} = \frac{500 \text{ V} - 100 \text{ V}}{25 \text{ } \mu\text{A}} = 16 \text{ M}\Omega$$

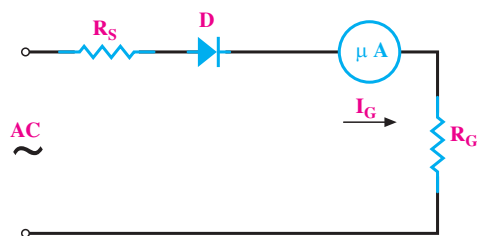
۵-۱-۳- ساختمان ولت متر AC: رابطه انحراف عقربه

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 ۵-۴ خواهیم داشت:

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

بنابراین، عقربه 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 ۵۰ Hz را به آن اعمال نماییم عقربه بتواند 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 AC را نشان می دهد.



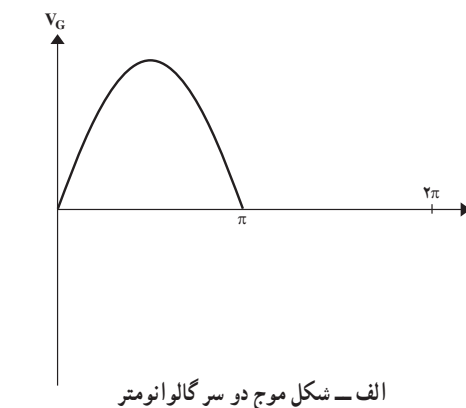
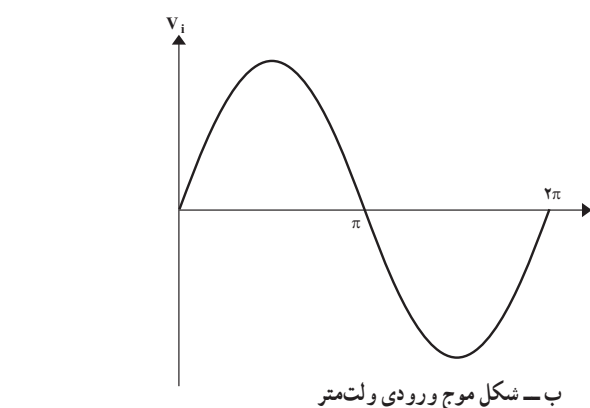
شکل ۵-۱۲- یک نمونه ساده ولت متر AC

چون برای هدایت دیود، ولتاژی حدود ۰/۶ ولت (۶۰۰ mV) لازم است و از طرفی این ۰/۶ ولت با تغییرات دمای محیط نیز تغییر

می‌کند، لذا ولت‌مترهای AC معمولی قادر به اندازه‌گیری ولتاژهای کم نیستند؛ از این رو، این گونه ولت‌مترها برای کمتر از یک ولت معمولاً درجه‌بندی نمی‌شوند.

برای محاسبه 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 سوشدن را در نظر گرفت و یا به عبارتی رابطه بین مؤثر ورودی و متوسط (DC) دو سر گالوانومتر را مد نظر قرار داد.



شکل ۵-۱۳

کنیم محاسبه نمایید.

حل: ابتدا ولتاژ DC مدار را محاسبه می‌کنیم:

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

حال فرض می‌کنیم می‌خواهیم یک ولت‌متر DC مونتاژ کنیم

که ولتاژ ماکزیمم ما ۴/۵ ولت است، لذا داریم:

(بدون احتساب دیود)

$$R'_s = \frac{4.5 - (4K\Omega \times 30\mu A)}{30\mu A} = 146K\Omega$$

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

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

مثال ۳: مقاومت‌هایی را که باید با یک گالوانومتر

$I_G = 30\mu A$ و $R_G = 4K\Omega$ سری نمود تا بتوان رنج‌های

$6V$ ، $30V$ ، $120V$ ، $300V$ را در ولت‌متر

ایجاد نمود.

حل: ابتدا شکل ولت‌متر را رسم می‌کنیم. ولت‌متر یاد شده

در شکل ۵-۱۴ رسم شده است.

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 رابطه ۵-۶

به دست می‌آید.

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

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

ولت باشد ولتاژ متوسط برابر ۰/۴۵ ولت می‌باشد. از رابطه ۵-۶

برای محاسبه 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 محاسبه

افت ولتاژ دو سر دیود، یک مقاومت حدود $3K\Omega$ را به جای آن

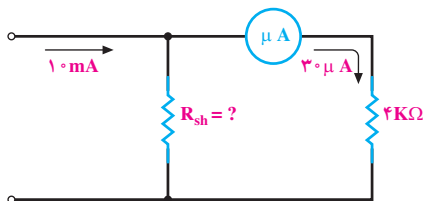
در نظر می‌گیرند.

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 $10V$ ، بسازیم. مقاومتی را که باید با گالوانومتر سری

مثال ۴: یک گالوانومتر با مشخصات $R_G = 4\text{ K}\Omega$ و $I_G = 30\text{ }\mu\text{A}$ (جریان انحراف تمام اشل) در دسترس است. می‌خواهیم با قرار دادن یک مقاومت شنت، جریان 1 mA را با آن اندازه بگیریم. مقدار مقاومت شنت باید چند اهم باشد؟



شکل ۵-۱۶ میلی آمپر متر 1 mA

حل: از مقاومت شنت باید جریان $30\text{ }\mu\text{A}$ عبور کند. از طرفی ولتاژ دو سر مقاومت شنت برابر $4\text{ K}\Omega \times 30\text{ }\mu\text{A}$ می‌باشد، لذا R_{sh} از رابطه $5-7$ به دست می‌آید.

$$R_{sh} = \frac{U_{sh}}{I_{sh}} = \frac{R_G \cdot I_G}{I - I_G} = \frac{4\text{ K}\Omega \times 30\text{ }\mu\text{A}}{1\text{ mA} - 30\text{ }\mu\text{A}} = 12\text{ }\Omega$$

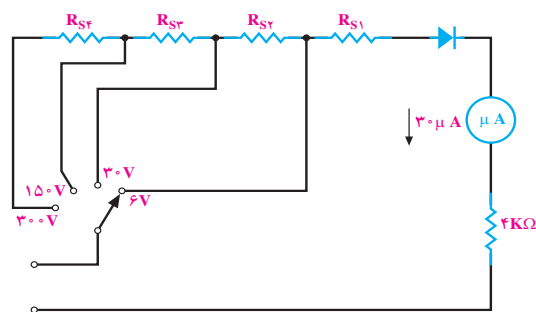
توجه داشته باشید که جریان گالوانومتر از رابطه $5-8$ به دست می‌آید (تقسیم جریان به دو شاخه موازی).

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

نسبت $\frac{R_{sh}}{R_{sh} + R_G}$ عددی ثابت است (همواره کوچک‌تر از ۱) لذا طبق رابطه $5-9$ خواهیم داشت:

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

مفهوم رابطه $5-9$ این است که تغییرات I مستقیماً و به صورت خطی روی I_G اثر می‌گذارد. یعنی اگر به عنوان مثال I نصف شود I_G نیز نصف خواهد شد و انحراف 50% قبلی خواهیم داشت. لذا گالوانومتر را بر حسب I درجه بندی خواهیم کرد. اگر بخواهیم آمپر متر دارای چندین رنج باشد می‌توانیم از چندین شنت مختلف همراه با یک کلید انتخاب استفاده کنیم. شکل $5-17$ یک آمپر متر چند رنج را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۴ ولت متر مثال ۳

$$R_{s1}' = \frac{0/45 \times 6 - (4\text{ K}\Omega \times 30\text{ }\mu\text{A})}{30\text{ }\mu\text{A}} = 86\text{ K}\Omega$$

$83\text{ K}\Omega$ = (به جای دیود یک مقاومت $3\text{ K}\Omega$ در نظر

می‌گیریم) $R_{s1} = 86\text{ K}\Omega -$

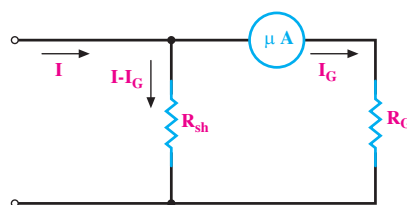
$$R_{s2} = \frac{0/45 \times 30 - 6 \times 0/45}{30\text{ }\mu\text{A}} = 360\text{ K}\Omega$$

$$R_{s3} = \frac{150 \times 0/45 - 30 \times 0/45}{30\text{ }\mu\text{A}} = 1/8\text{ M}\Omega$$

$$R_{s4} = \frac{300 \times 0/45 - 150 \times 0/45}{30\text{ }\mu\text{A}} = 2/25\text{ M}\Omega$$

۴-۵-۱۱-۵-۱۲: آمپر متر DC: گالوانومتر دآرسونوال

خود یک میکروآمپر متر است که معمولاً در رنج $30\text{ }\mu\text{A}$ و $50\text{ }\mu\text{A}$ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اما در عمل نیاز به اندازه‌گیری جریان‌های بیشتری است. برای اندازه‌گیری جریان‌های بیشتر از جریان گالوانومتر، باید جریان اضافه‌تر از جریان گالوانومتر را از مسیر دیگری عبور داد. برای این کار از یک مقاومت موازی با گالوانومتر استفاده می‌نماییم. شکل $5-15$ یک نمونه آمپر متر با جریان قابل اندازه‌گیری بیشتر از جریان گالوانومتر را نشان می‌دهد.

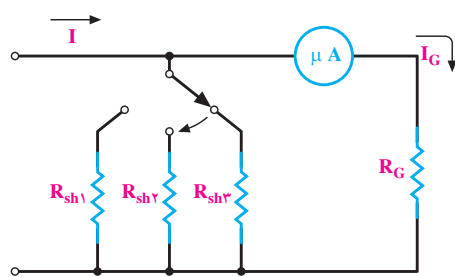


شکل ۵-۱۵ یک آمپر متر DC با جریان قابل اندازه‌گیری I

عقربه تقریباً یک درصد بوده و لذا قابل اندازه گیری نمی باشد؛ 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 می توان مقدار $91\text{ mA}/\circ$ را قرائت کرد. در عمل همیشه کلید رنج را طوری انتخاب می کنیم که حداکثر انحراف ممکن را داشته باشیم.

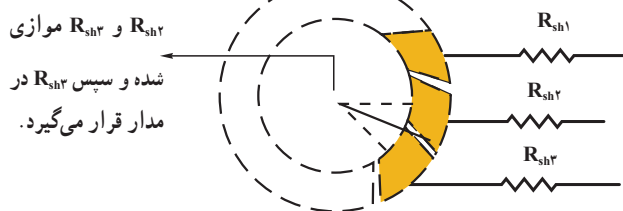
آمپرتر مولتی رنج شکل ۱۷-۵ دارای یک عیب است و آن این که هنگام عوض کردن رنج، یک لحظه شنت از مدار قطع می شود و تمامی جریان I از گالوانومتر می گذرد که در این صورت ممکن است صدمه جدی به گالوانومتر وارد آید. این حالت در شکل ۱۹-۵ نشان داده شده است.



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

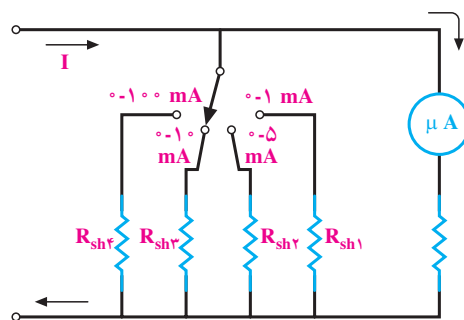
در مولتی مترها برای رفع عیب فوق، مدار چابی را طوری می سازند که در هنگام عوض کردن کلید رنج، ابتدا مقاومت دوم وصل شود و سپس مقاومت اول قطع گردد؛ به عبارتی در یک لحظه کوتاه دو مقاومت شنت موازی می شوند. شکل ۲۰-۵ چگونگی این عمل را نشان می دهد.

در این لحظه ابتدا



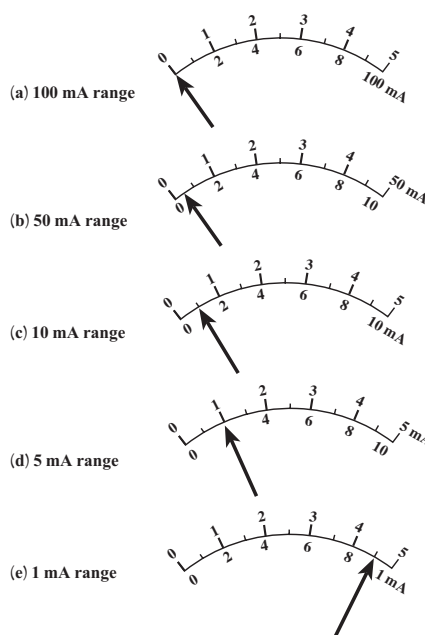
شکل ۲۰-۵ چگونگی عوض کردن کلید رنج به طوری که یک لحظه کوتاه حالت قطع پیش نیاید.

برای محاسبه هر یک از مقاومت های شنت، به طور جداگانه برای هر شنت مقدار R را محاسبه می کنیم (چون ها مستقل از یکدیگرند).



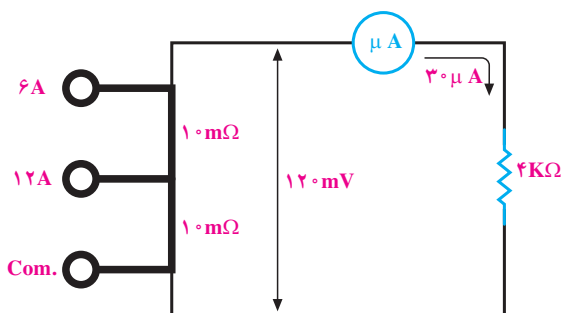
شکل ۱۷-۵ یک آمپرتر مولتی رنج

قبل از ادامه بحث، به یک سؤال جواب می دهیم و آن این است که چرا از آمپرتر یا ولت متر و یا... مولتی رنج استفاده می کنیم. فرض کنید بخواهیم یک جریان $91\text{ mA}/\circ$ را اندازه بگیریم. در شکل ۱۸-۵ نحوه قرائت و مقدار حرکت عقربه میلی آمپرتر، به ازای اعمال جریان $91\text{ mA}/\circ$ در پنج رنج (1 mA ، 5 mA ، 10 mA ، 50 mA و 100 mA)، نشان داده شده است.



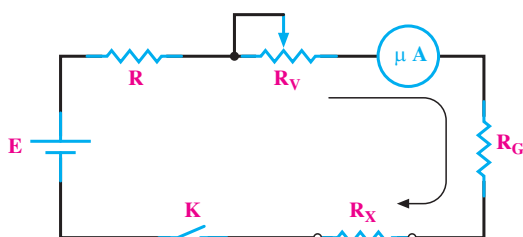
شکل ۱۸-۵ اثرات انتخاب رنج روی قرائت مقادیر

همان طور که از شکل ۱۸-۵ پیداست زمانی که کلید رنج جریان روی 1 mA باشد به ازای $91\text{ mA}/\circ$ جریان، حرکت



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

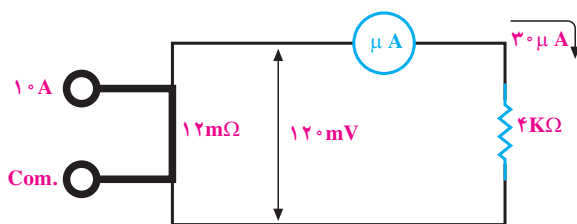
۵-۱-۵- اهم متر سری: اگر در یک مدار سری که شامل یک باتری، تعدادی مقاومت‌های اهمی و یک گالوانومتر دآرسونوال است مقدار مقاومت اهمی مدار تغییر کند، جریان مدار تغییر نموده باعث تغییر انحراف عقربه گالوانومتر خواهد شد. می‌توان رابطه‌ای بین تغییرات حرکت عقربه گالوانومتر، برحسب تغییرات مقاومت اهمی پیدا کرد. در این صورت خواهیم توانست صفحه 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 شده‌اند. شکل ۵-۲۳ ساختمان ساده یک اهم متر سری را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۳- ساختمان یک اهم متر سری

مدار اهم متر 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 اهم متر در

برای اندازه‌گیری جریان‌های زیاد به کمک مولتی متر، از جریان نمونه برداری می‌کنند. چون اتصالات مولتی متر توسط مدار چابی تأمین می‌شود لذا عبور جریان زیاد از مدار چابی، در صورتی که پهنای آن زیاد نباشد، سریعاً گرم شده و می‌سوزد. 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 پر قدرت قرار می‌دهند. بر اثر عبور جریان از مقاومت، ولتاژ دو سر آن افت می‌کند. حال این ولتاژ که متناسب با جریان است اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۵-۲۱ چگونگی این عمل را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۱- چگونگی اندازه‌گیری جریان‌های زیاد با مولتی متر

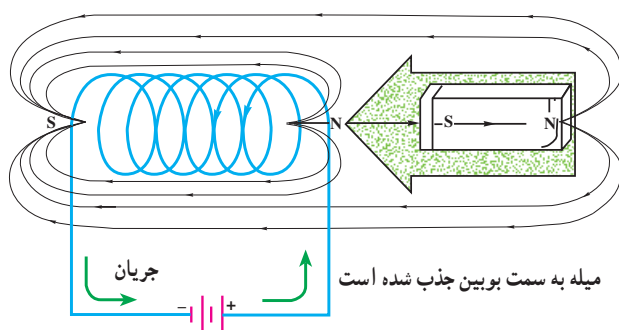
در شکل ۵-۲۱ اگر از مقاومت $12 m\Omega$ ، جریان $10 A$ عبور کند ولتاژ دو سر مقاومت $120 mV$ افت می‌کند و میلی‌ولت متر صدویست میلی‌ولتی، انحراف تمام اشل را خواهد داشت. حال اگر به جای $10 A$ ، $5 A$ جریان از مدار عبور کند، ولتاژ دو سر مقاومت $12 m\Omega$ ، برابر $60 mV$ خواهد شد و انحراف عقربه 50% خواهد شد. در روی صفحه سنجش مولتی متر به صورت خطی از صفر تا $10 A$ را مدرج می‌کنند.

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

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 دافعه مغناطیسی است که در زیر به اختصار توضیح داده می‌شود:

۵-۲-۱- جاذبه الکترومغناطیسی: اگر یک میله آهنی نرم را در مجاورت یک سلونوئید (سیم‌پیچ) مغناطیسی قرار

دهیم، ملاحظه می‌کنیم که میله آهنی مغناطیس شده و خطوط نیروی مغناطیسی در آن با خطوط مغناطیسی ناشی از سلونوئید هم‌جهت‌اند. بنابراین قطب‌های سلونوئید و میله آهنی که در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند ناهمنام خواهند بود. از آنجایی که قطب‌های مخالف یکدیگر را جذب می‌کنند، میله آهنی به طرف سلونوئید کشیده می‌شود. این پدیده 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، میله آهنی که در شکل با پلاریته نشان داده شده است مغناطیس شده و توسط سیم‌پیچ جذب می‌شود.

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

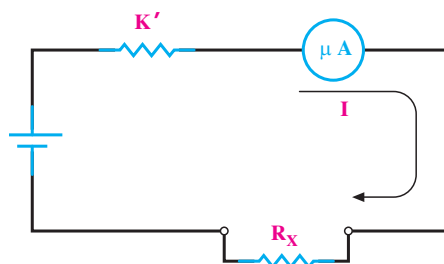
صفحه آهنی نرم را در داخل یک سیم‌پیچ (سلونوئید) در مقابل یکدیگر قرار دهیم چه اتفاقی می‌افتد؟ با توجه به شکل ۵-۲۷ الف اگر کلید مدار بسته شود، هر دو صفحه با قطبیت یکسان مغناطیس می‌شوند. به همین علت قطب‌های همنام ایجاد شده و یکدیگر را دفع می‌کنند و در نتیجه دو صفحه از یکدیگر دور می‌شوند. حال

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 و R_G نیز ثابت می‌باشد و با حرف K' نشان می‌دهیم.

$$K' = R + R_V + R_G \quad (5-10)$$

مدار اهم‌متر را به صورت ساده‌تر مطابق شکل ۵-۲۴

نمایش می‌دهیم:



شکل ۵-۲۴- مدار ساده یک اهم‌متر سری

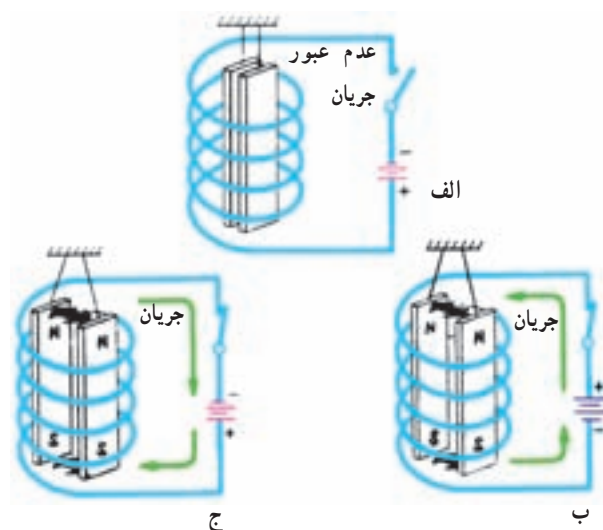
۵-۲- دستگاه اندازه‌گیری آهن نرم گردان

از این دستگاه بیشتر برای وسایل اندازه‌گیری تابلویی مانند ولت‌متر و آمپر‌متر استفاده می‌شود. درجه‌بندی این نوع دستگاه به خودی خود خطی نیست ولی با تغییراتی که در ساختمان آن می‌دهند در محدوده‌ای از رنج اندازه‌گیری آن تقریباً به صورت خطی درمی‌آورند. آمپر‌متر شکل ۵-۲۵ از نوع آهن نرم گردان می‌باشد. به درجه‌بندی آن توجه نمایید.



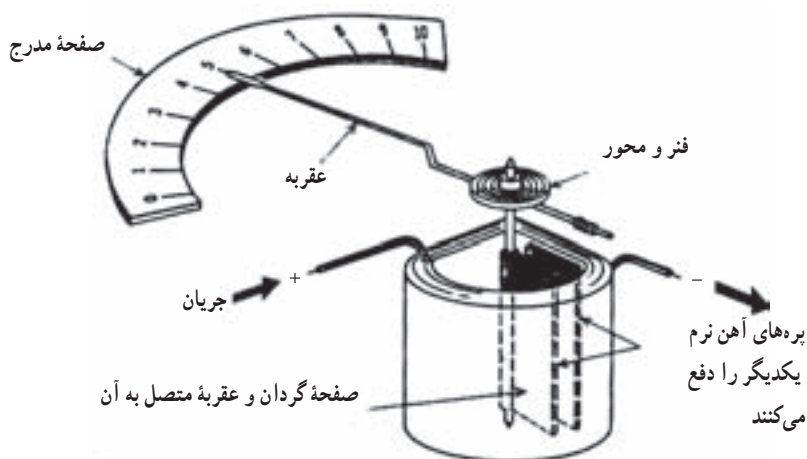
شکل ۵-۲۵- یک نمونه آمپر‌متر تابلویی

اگر جهت جریان در سیم پیچ عوض شود چه اتفاقی می افتد؟
 دستگاه اندازه گیری آهن نرم گردان به سه شکل ساخته می شود که عبارت اند از :
 الف) با پره های شعاعی
 ب) با پره های متمرکز
 ج) با هسته متحرک



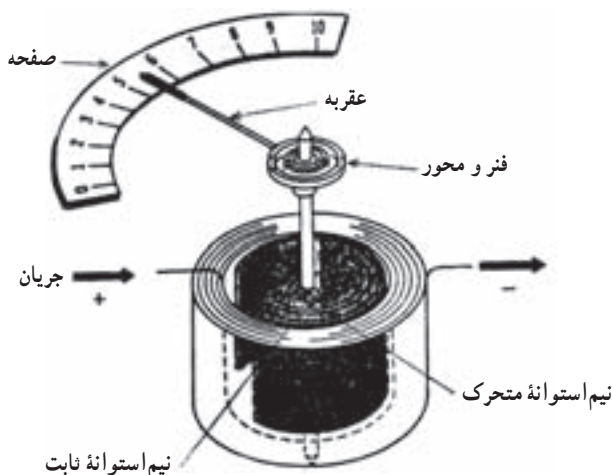
الف) در صورتی که مدار قطع باشد جریان مدار صفر است و هیچ میدان مغناطیسی ایجاد نخواهد شد.
 ب) در اثر عبور جریان از بوبین هر دو صفحه پلاریته همنام پیدا می کنند و یکدیگر را دفع می کنند.
 ج) اگر جهت جریان را در شکل ب عوض کنیم با توجه به این که جای قطب های شمال و جنوب عوض می شود، باز هم صفحه ها یکدیگر را دفع می کنند.
 شکل ۲۷-۵

الف) دستگاه اندازه گیری با پره های شعاعی : دستگاه اندازه گیری با پره های شعاعی به طور ساده از دو ورقه مستطیلی شکل آهنی به نام پره تشکیل شده اند که در داخل یک بوبین قرار دارند. یکی از این پره ها ثابت و دیگری آزاد است تا بتواند از یک طرف به دور محور دوران کند و یک حرکت متغیر شعاعی انجام دهد.



شکل ۲۸-۵ در این نوع دستگاه های اندازه گیری مقدار تعیین شده توسط عقره بستگی به شدت دافعه مغناطیسی بین دو صفحه دارد و این شدت دافعه مغناطیسی خود بستگی به جریانی دارد که از داخل بوبین عبور می کند.

ب) دستگاه اندازه‌گیری با پره‌های متمرکز (بوبین گرد):
این دستگاه نیز مشابه دستگاه اندازه‌گیری با پره‌های شعاعی کار می‌کند، و تنها تفاوت بین آن‌ها شکل پره‌ها و وضعیت آن‌ها نسبت به یکدیگر است. پره‌ها در این نوع دستگاه‌های اندازه‌گیری به صورت نیم‌استوانه هستند که یک پره به موازات پره دیگر و حول یک محور مشترک و طوری در داخل بوبین استوانه‌ای قرار گرفته‌اند که با عبور جریان از بوبین پره مرکزی (متحرک) حول محور خود نسبت به پره ثابت شروع به حرکت می‌کند و در نتیجه عقربه دستگاه را همراه خود در طول صفحه مدرج جابه‌جا می‌کند. مقدار این جابه‌جایی بستگی به جریان بوبین خواهد داشت (شکل ۵-۲۹).



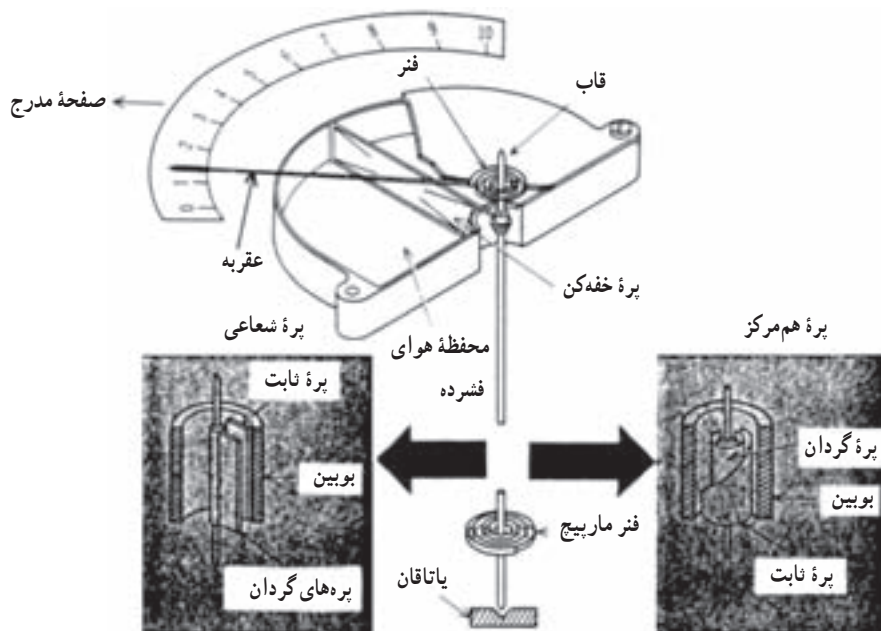
شکل ۵-۲۹- دافعه مغناطیسی بین دو نیم‌استوانه باعث می‌شود که نیم‌استوانه داخلی (متحرک) حول محور خود در داخل بوبین نسبت به نیم‌استوانه ساکن حرکت کند و توسط عقربه، مقدار موردنظر را روی صفحه دستگاه نشان دهد.

معمولاً پره 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 به طور یکسان نباشند؛ بنابراین در پره متحرک خطوط قوا به صورت یکنواخت توزیع می‌شوند، چرا که ابعاد آن یکسان است، اما در پره ثابت به دلیل یکسان نبودن ابعاد، این خطوط یکنواخت نیستند و از لبه مخروطی، خطوط قوای کمتری عبور خواهد کرد؛ زیرا در این قسمت مقاومت مغناطیسی (رلاکتانس) بیشتری وجود دارد (شکل ۵-۳۰).



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

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



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



شکل ۳۲-۵- دستگاه اندازه‌گیری با هسته متحرک

ج) دستگاه اندازه‌گیری با هسته متحرک : این نوع

دستگاه اندازه‌گیری از یک هسته آهنی متحرک که قسمتی از آن در داخل یک بویلین ثابت قرار گرفته ساخته شده است. این هسته، به یک بازوی محوری متصل است که توسط آن به داخل و خارج بویلین حرکت می‌کند. عقربه‌ای نیز به محور چنان متصل است که با هسته متحرک حرکت می‌کند. هنگامی که جریان از بویلین می‌گذرد، میدان مغناطیسی‌ای در بویلین ایجاد می‌شود و همان‌طوری که قبلاً گفتیم، این میدان باعث می‌شود که هسته مغناطیسی شده به طرف داخل بویلین کشیده شود. مقدار مسافتی که این هسته به داخل بویلین حرکت می‌کند، به مقدار جریانی که از بویلین می‌گذرد نیز بستگی دارد. از آنجایی که عقربه به محور هسته متصل است مقدار حرکت آن بر صفحه مدرج مقدار موردنظر را نشان خواهد داد (شکل ۳۲-۵).

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

۳-۲-۵- خفه‌کن‌ها (Dampers) : همان‌طوری که قبلاً

ساختمان این نوع خفه‌کن از یک پره متحرک و یک اتاقک بسته (شکل ۵-۳۵) تشکیل شده است، به طوری که محفظه مسدود در محلی ثابت شده و پره بر روی محور دستگاه قرار گرفته است؛ در اثر حرکت و یا چرخش محور پره ثابت 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.



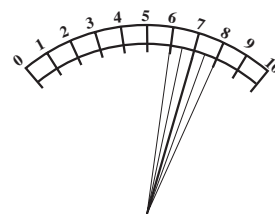
شکل ۵-۳۵- حرکت محور باعث گردش عقربه و پره می‌شود. به تدریج که هوا در قسمت جلوی محفظه فشرده می‌شود عقربه با مانع برخورد می‌کند. این موضوع باعث کند شدن عقربه و در نتیجه کاهش نوسانات می‌شود.

۵-۳- ساختمان داخلی وات‌متر

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

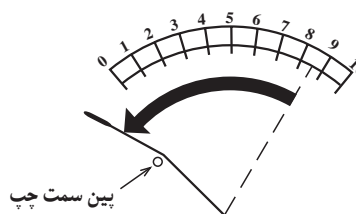
حرکت عقربه، در شکل ۵-۳۶، نشان‌دهنده مقدار توان مصرفی مصرف‌کننده‌ها می‌باشد.

دیدید تمام قسمت‌های دوار دستگاه‌های اندازه‌گیری تا حد امکان سبک ساخته می‌شوند. بخصوص عقربه دستگاه که هرچه سبک‌تر باشد نسبت به عبور جریان حساس‌تر خواهد بود. اما در مقابل این حساسیت نسبتاً زیاد، در موقع عبور جریان مشکلی بروز خواهد کرد که عبارت است از عدم تثبیت عقربه در موقع اندازه‌گیری؛ زیرا هنگامی که دستگاه اندازه‌گیری در مدار قرار می‌گیرد، عقربه باید فوراً در طول صفحه حرکت کند و در مقابل عدد صحیح متوقف شود. حال این که به سبب اصطکاک خیلی کم، قسمت‌های دوار بلافاصله متوقف نمی‌شوند و به علت نیروی وزن در حال سکون (اینرسی) و سپس کشش فنر عقربه تا مدتی روی مقدار موردنظر نوسان می‌کند که این خود باعث بروز اشکال خواهد شد (شکل ۵-۳۳).

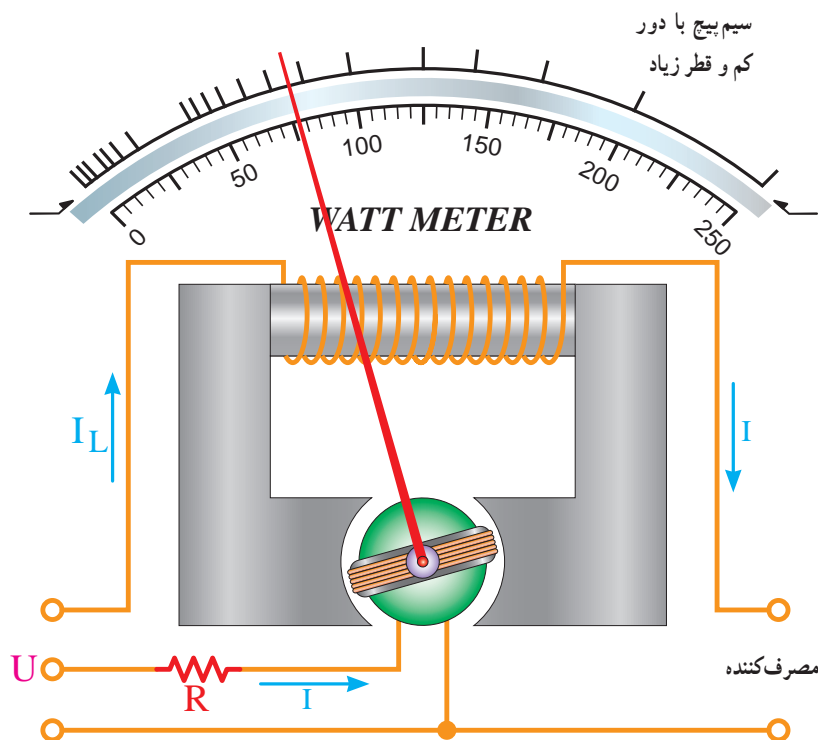


شکل ۵-۳۳- عقربه، قبل از این که مقدار صحیح را نشان دهد چندین بار در طول آن نوسان می‌کند.

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.



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

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 حساس نیستند ضمن آن‌که با پیشرفت تکنولوژی الکترونیک دستگاه‌های ساخته شده 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 ۳۷-۵ دو نمونه مولتی‌متر دیجیتالی را نشان می‌دهد.

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

۴-۵- مولتی‌متر دیجیتالی

دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتالی مقادیر اندازه‌گیری شده را به صورت رقم یا ارقام روی صفحه نمایش (Display) نشان می‌دهند و معمولاً واحد کمیت اندازه‌گیری شده مانند ولت، آمپر، میلی‌آمپر، درجه سانتی‌گراد و غیره را نیز به طریق مناسبی نمایش می‌دهند. از جمله دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتالی می‌توان به ولت‌متر، آمپر‌متر، وات‌متر - $\cos(\phi)$ متر، فرکانس‌متر، دورشمارها، حرارت‌سنج و مولتی‌متر اشاره نمود.



شکل ۳۷-۵ دو نمونه مولتی متر دیجیتالی

ولت متر اعمال کند. برای اندازه گیری جریان های DC، ابتدا جریان 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 سوکننده های الکترونیکی، ولتاژ افت داده شده در دو سر مقاومت ها ابتدا یک سو شده و سپس به ولت متر اعمال می شود. توسعه 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.

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.

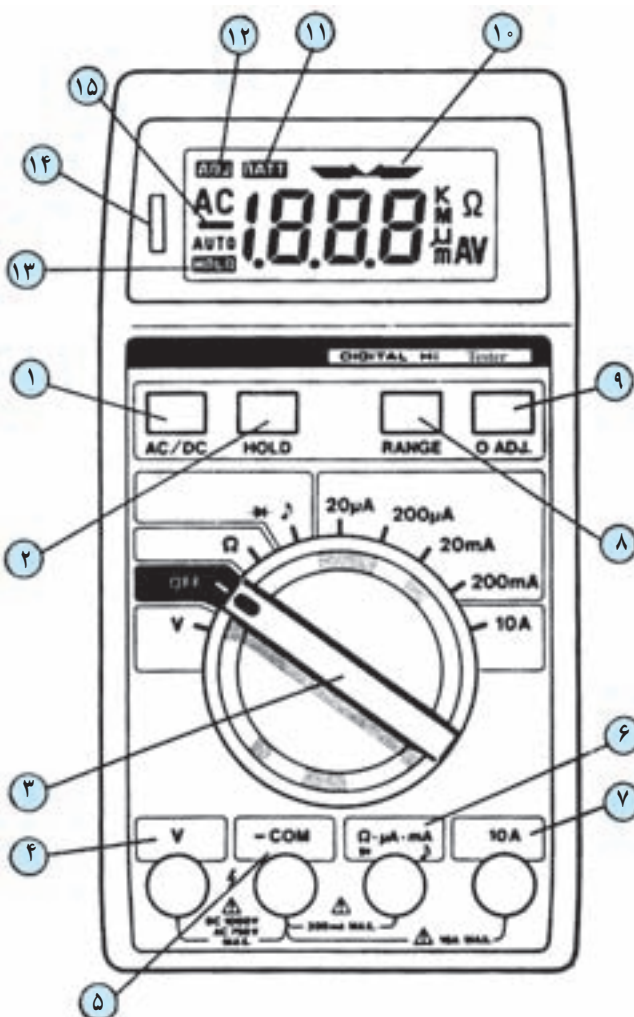
قسمت اصلی یک مولتی متر دیجیتالی ولت متر DC است، و این همانند مولتی متر عقربه ای (آنالوگ) است چنان که می دانید، قسمت اصلی آن گالوانومتر دآرسونوال می باشد.

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 یکسوکننده همراه با یک فیلتر قرار می گیرد تا ابتدا برق AC را تبدیل به DC نموده سپس به

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

جریان و یا ولتاژ AC است.

۲ 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 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 نمایش نمایان است.

۳ 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 $\rightarrow \bullet$ قرار گیرد، در دو سر ترمینال مشترک و ترمینال $\rightarrow \bullet$ حدود 150mV (که مقدار دقیق آن روی صفحه نمایش نشان داده می شود) ولتاژ برقرار می شود. حال اگر دو ترمینال $\rightarrow \bullet$ و مشترک را به هم اتصال کوتاه کنیم، بوق مولتی متر صدا می دهد. بنابراین یکی از کاربردهای $\rightarrow \bullet$ می تواند نشان دادن اتصال دو نقطه به یکدیگر باشد (نشان دهنده حالت پیوستگی). کاربرد دیگر آن، تست دیودهاست. چنانچه آند دیود را به ترمینال $\rightarrow \bullet$ و کاتد آن را به ترمینال Com وصل کنیم، در صورت سالم بودن دیود، اگر جنس آن از سیلیکون باشد صفحه نمایش ولتاژی حدود 500mV را نشان می دهد و چنانچه دیود از جنس ژرمانیوم باشد، حدود 180mV روی صفحه 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 $\rightarrow \bullet$ باشد و دو سر سیم های رابط به هر عنصری که متصل باشد عدد نشان دهنده روی صفحه نمایش، مقدار ولتاژ دو سر عنصر برحسب 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 $20\mu\text{A}$ ، $200\mu\text{A}$ ، 2mA و 20mA ،

۱ 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 نمایش (Display) حروف AC ظاهر می شود که بیانگر آماده بودن مولتی متر برای اندازه گیری

جریانی بیشتر از این اعداد به مولتی متر اعمال کنیم، ضمن این که مولتی متر چیزی را نشان نمی دهد بجز مولتی متر به علامت اضافه بار (Over Load) به صدا درمی آید. در تمامی رنج های فوق، جریان می تواند DC و یا AC باشد. و بالاخره ترمینال $10A$ نیز برای اندازه گیری جریان های DC و AC از صفر تا ده آمپر به کار می رود. توجه داشته باشید که در حالت $10A$ - حداکثر یک دقیقه مجازید که آمپر متر را در مدار قرار دهید.

۴ 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.

۵ ترمینال مشترک برای کلیه اندازه گیری ها (ولتاژ - جریان - مقاومت اهمی و تست اتصال دو نقطه).

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

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

۸ 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 می رود؛ به این صورت که قبل از هر اندازه گیری ابتدا دو سیم رابط را به هم متصل می نمایند، اگر عددی غیر از صفر روی صفحه نمایش ظاهر شد این دکمه را فشار می دهند تا عدد صفر روی صفحه نمایش ظاهر گردد.

۱۰ این علامت، نشانه متصل بودن دو نقطه به یکدیگر است. چنانچه مقاومت اهمی دو نقطه زیاد نباشد و دو سیم رابط هنگامی که کلید سلکتور در حالت $\rightarrow \rightarrow$ قرار دارد با یک مقاومت نسبتاً کم به هم متصل گردند، این علامت روی صفحه نمایش ظاهر می گردد.

۱۱ این مولتی متر به دو عدد باتری قلمی $1/5$ ولت نیاز دارد. چنانچه ولتاژ باتری ها از مقدار مشخصی کمتر شود، این علامت (BATT) روی صفحه نمایش ظاهر می گردد، در این حالت باید سریعاً باتری ها را تعویض کرد.

۱۲ اگر کلید ۹ (تنظیم صفر) را فشار دهیم این علامت روی صفحه نمایش ظاهر می گردد.

۱۳ اگر شستی HOLD را برای ضبط مقادیر اندازه گیری شده فشار دهیم، این علامت روی صفحه نمایش ظاهر می گردد.

۱۴ زمانی که مقاومت اهمی یک مدار را اندازه می گیریم، اگر ولتاژ دو سر مقاومت اهمی بیشتر از 80 ولت باشد، این لامپ کوچک نتون روشن می شود.

۱۵ در هنگام اندازه گیری ولتاژ DC، اگر قطب مثبت ولتاژ به ترمینال ۴ و قطب منفی ولتاژ به ترمینال ۵ وصل شده باشد، این علامت را روی صفحه نمایش نداریم ولی اگر قطب ها را برعکس کنیم، این علامت به نشانه مثبت تر بودن ولتاژ ترمینال ۵ نسبت به ۴ روی صفحه نمایش ظاهر می شود.



تشریحی توصیفی

- ۱- ساختمان گالوانومتر را به طور خلاصه همراه با اجزای تشکیل شده از آن شرح دهید.
- ۲- حساسیت گالوانومتر را تعریف کنید.
- ۳- ساختمان یک ولت متر DC را شرح دهید.
- ۴- ساختمان یک ولت متر DC چند رنج را شرح دهید.
- ۵- ساختمان ولت متر AC را شرح دهید.
- ۶- ساختمان ولت متر AC چند رنج را شرح دهید.
- ۷- چگونه با استفاده از گالوانومتر دآرسونوال، آمپر متر DC می سازند؟
- ۸- اثرات انتخاب رنج مناسب در یک آمپر متر کدام است؟
- ۹- جریان های خیلی زیاد را در عمل چگونه اندازه می گیرند؟
- ۱۰- ساختمان یک اهم متر سری را به طور کامل شرح دهید.
- ۱۱- ساختمان و کاربرد دستگاه اندازه گیری آهن نرم گردان را شرح دهید.
- ۱۲- نقش خفه کن در یک دستگاه اندازه گیری چیست؟
- ۱۳- ساختمان یک وات متر را به طور خلاصه شرح دهید.
- ۱۴- مزایای مولتی متر دیجیتالی بر مولتی متر عقربه ای (آنالوگ) کدام است؟
- ۱۵- نحوه اندازه گیری انواع کمیت ها را (ولتاژ، جریان و مقاومت اهمی) با مولتی متر دیجیتالی شرح دهید.

صحیح یا غلط

- ۱۶- حساسیت دستگاه اندازه گیری برابر $S' = \frac{\text{زاویه گردش عقربه}}{\text{جریان عبوری از سیم پیچ}}$ است. ☐ صحیح ☐ غلط

کامل کردنی

- ۱۷- وات متر دارای دو سیم پیچ است. یک سیم پیچ با دور و قطر که با جریان مصرف کننده به صورت قرار می گیرد و سیم پیچ دیگر همراه با یک مقاومت به صورت با بار قرار می گیرد.

چهار گزینه ای

- ۱۸- اگر یک گالوانومتر دارای حساسیت $50 \frac{k\Omega}{V}$ باشد. جریان انحراف کامل آن چند میکروآمپر است؟
 ۱- ۰/۰۲ ۲- ۰/۰۵ ۳- ۰/۰۲ ۴- ۰/۰۵
- ۱۹- در ولت متر دیجیتالی برای ضبط مقادیر خوانده شده از کدام کلید استفاده می شود؟
 ۱- Auto Range ۲- Over Load ۳- BATT ۴- Hold

هدف کلی

استفاده از آزمایشگاه مجازی در آموزش

درس اصول اندازه گیری

هدف های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می رود که:

- با محیط کار نرم افزار مولتی سیم کار کند.
- قطعات و المان ها را از روی نوار ابزار روی میز کار قرار دهد.
- المان های الکتریکی را در کتابخانه نرم افزار جستجو کند.
- بین قطعات و دستگاه های اندازه گیری و سایر ابزار اتصال برقرار کند.
- با استفاده از مولتی متر، جریان ولتاژ، مقاومت و توان مدار را اندازه گیری کند.
- از منبع تغذیه AC، فانکشن ژنراتور موجود در نرم افزار استفاده کند.
- اسیلوسکوپ نرم افزار را روی میز کار انتقال دهد.
- تنظیم های اولیه اسیلوسکوپ موجود در نرم افزار را انجام دهد.
- تنظیم دکمه های 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 پرسد.
- 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 هنرجویان و ... حساس و فعال باشد.
- سایر هنرجویان را در ارتباط با اجرای نظم و مقررات، راهنمایی و تشویق کند.

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 نحوه نصب و استفاده از نرم‌افزار مولتی‌سیم (MultiSIM) می‌توانید به کتاب آزمایشگاه مجازی مربوط به آزمایشگاه اندازه‌گیری الکتریکی (مخصوص هنرجویان رشته الکترونیک) مراجعه کنید.

مقدمه

۱-۶- نصب و اجرای نرم‌افزار MultiSIM

مراحل نصب نرم‌افزار MultiSIM کمی پیچیده‌تر از سایر نرم‌افزارها است. از آن‌جا که این نرم‌افزار در کشور ایران، به صورت نسخه اصلی (اورژینال original) ارائه نمی‌شود همواره مشکلاتی به هنگام نصب به همراه دارد. برای نصب این نرم‌افزار از معلم خود کمک بگیرید.

استفاده از نرم‌افزارهایی مانند EWB، MultiSIM، Proteus، Edison، PsPice و سایر نرم‌افزارهای مشابه می‌تواند موجب تسریع و اثربخشی بیشتر در امر آموزش شود و ابهامات عملی فراگیران را تا حدود زیادی برطرف کند. زیرا با نصب این نرم‌افزار در رایانه خود یک آزمایشگاه مجازی بزرگ در اختیار دارید و بدون هیچ هزینه‌ای می‌توانید انواع آزمایش‌ها را اجرا کنید. در این فصل کتاب به معرفی نرم‌افزار MultiSIM نسخه ۹ و وسایل و قطعات موجود در آن و همچنین اجرای چند آزمایش ساده به وسیله این نرم‌افزار می‌پردازیم.

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



شکل ۱-۶- اولین صفحه مولتی‌سیم پس از فعال شدن

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

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

در صورتی که 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 program، all و کنید. روی گزینه MultiSIM کلیک کنید تا فایل مربوطه پوشه Electronic worik bench مانند شکل ۲-۶ انتخاب باز شود.



شکل ۲-۶- مراحل فعال کردن نرم افزار

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

۶-۲- 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- صفحه اصلی نرم افزار

۶-۲-۱- قطعات الکتریکی پرکاربرد در درس

اصول اندازه گیری الکتریکی

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



شکل ۶-۴- نوار قطعات

○ 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 پل دیود و را وجود دارد، می توانید انتخاب کنید.

○ ترانزیستور (Place Transistor): انواع ترانزیستور

در این قسمت فهرست قطعات وجود دارد.

○ انواع نشان دهنده ها و نمایشگرها (Place indicator):

انواع نمایشگرهای الکتریکی و الکترونیکی مانند آمپر متر، اهم متر، ولت متر و وات متر را می توانید از گزینه INDICATOR انتخاب کنید (شکل ۶-۵).



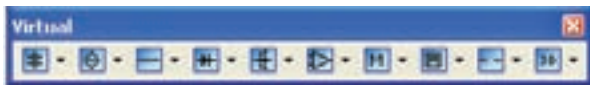
شکل ۶-۵- قسمت نشان دهنده ها

۶-۲-۲- المان های مجازی:

○ کنار Help کلیک راست کنید.

○ گزینه قطعات مجازی «Virtual» را انتخاب کنید تا

شکل ۶-۶ ظاهر شود.



شکل ۶-۶- نوار قطعات مجازی

در این فهرست مشخصات الکتریکی (جریان عبوری از قطعه، ولتاژ دوسر 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

این که بتوانید این نرم افزار را فراگیرید چندین بار

قسمت کار با نرم افزار را تمرین کنید.

۳-۶- نحوه بستن یک مدار ساده بر روی میز کار

آزمایشگاه مجازی

مرحله ۱: روی گزینه Place source کلیک کنید. تا شکل ۸-۶ ظاهر شود.

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

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

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

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



شکل ۸-۶- انتخاب قطعه

نکته مهم: هنگام بستن مدار توسط آزمایشگاه مجازی می بایستی مدار متصل شده حتماً اتصال زمین داشته باشد.

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

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

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

جستجوی قطعه ابتدا روی یکی از عناصر نوار قطعات به دلخواه کلیک کنید تا شکل ۷-۶ ظاهر شود. این شکل را می توان مشابه کتابخانه ای توصیف کرد که قفسه های مختلفی دارد و در هر قفسه چندین طبقه وجود دارد. همچنین طبقات براساس عناوین کتاب ها تفکیک شده است.

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

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

○ المان ها (component): در این قسمت می توانید المان هایی که در کتابخانه نرم افزار موجود است را انتخاب و جستجو کنید.



شکل ۷-۶- انتخاب قطعه

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

۳-۴-۶- از منوی نشان‌دهنده (INDICATOR) آمپرتر را انتخاب و به روی میزکار انتقال دهید (شکل ۱۱-۶).



شکل ۱۱-۶- انتخاب آمپرتر

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



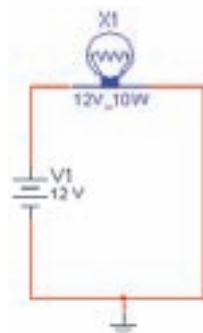
شکل ۱۲-۶

۵-۴-۶- مدار شکل ۱۳-۶ را ببندید.



شکل ۱۳-۶

برسانید، سپس انگشت خود را بردارید، باید بین پایه باتری و پایه لامپ یک سیم وصل شود (شکل ۹-۶)، همین عمل را برای سرمنفی 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 ۹-۶- مدار بسته شده با سیم رابط بین قطعات

مرحله ۸: کلید را به حالت ببرید. آیا لامپ روشن می‌شود؟

مرحله ۹: از منوی file گزینه Save را انتخاب کنید و مدار را ذخیره کنید.

۴-۶- نحوه قرار گرفتن آمپرتر در مدار

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

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



شکل ۱۰-۶- انتخاب لامپ



شکل ۶-۱۶ - انتخاب گزینه BASIC

۲-۶-۶ - با انتخاب PLACE BASIC، یک زیرمنو

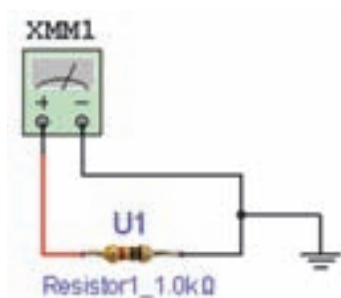
باز می‌شود که از آن گزینه 3D-VIRTUAL (مقاومت‌های سه بعدی) را انتخاب کنید (شکل ۶-۱۷).



شکل ۶-۱۷ - انتخاب المان‌های سه بعدی

۳-۶-۶ - با استفاده از مقاومت‌های سه بعدی مدار

شکل ۶-۱۸ را ببینید.



شکل ۶-۱۸ - اندازه‌گیری مقدار مقاومت سه بعدی توسط اهم متر

۴-۶-۶ - 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

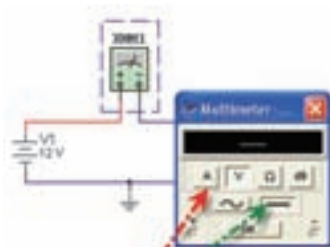
حوزه آمپر متر DC قرار دهید.

۷-۴-۶ - مدار را روشن کنید (شکل ۶-۱۵). آیا لامپ

روشن است؟

۸-۴-۶ - روی مولتی‌متر دوبار کلیک چپ کنید. آیا

جریان مدار 833/3 میلی آمپر است؟



آمپر متر را بر روی اندازه گیری جریان الکتریکی DC تنظیم کنید.

شکل ۶-۱۴ - تنظیم آمپر متر روی حالت DC

۵-۶-۵ - نحوه قرار گرفتن ولت متر در مدار

۱-۵-۶ - مدار شکل ۶-۱۵ را ببینید.

۲-۵-۶ - مولتی‌متر را روی رنج ولتاژ و حوزه DC

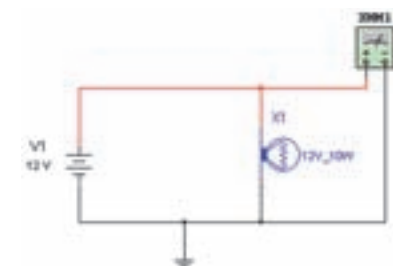
قرار دهید.

۳-۵-۶ - روی مولتی‌متر دوبار کلیک چپ کنید تا

صفحه نمایش آن ظاهر شود.

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

بخوانید.



شکل ۶-۱۵ - قرار دادن ولت متر دو سر لامپ

۶-۶-۶ - نحوه قرار گرفتن اهم متر در مدار

۱-۶-۶ - برای انتخاب مقاومت و قرار دادن آن

روی میز کار گزینه PLACE 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 ببندید.

● مقدار مقاومت معادل مدار را اندازه گیری کنید.

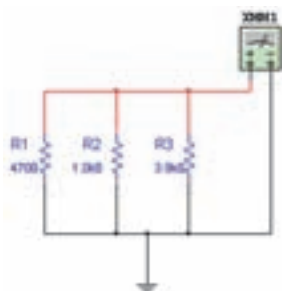
● مقدار مقاومت معادل را محاسبه کنید و با مقدار خوانده

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 اندازه گیری مقدار اهم مقاومت های موازی

۶-۸ نحوه قرار گرفتن وات متر در مدار

۶-۸-۱ وات متر را از منوی ابزار انتخاب کنید و

بر روی محیط کار انتقال دهید (شکل ۶-۲۳).



شکل ۶-۲۳

۶-۸-۲ بر روی دستگاه وات متر دو ترمینال برای

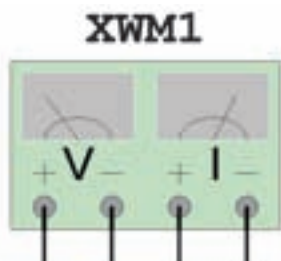
جریان I قرار دارد که با مصرف کننده سری می شود، همچنین دو

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 دستگاه وات متر



شکل ۶-۱۹ قرار دادن مولتی متر در حالت اهم

۶-۷ به دست آوردن مقاومت معادل

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

را به ترتیب از منوی BASIC گزینه RESISTOR انتخاب کنید

(شکل ۶-۲۰).



شکل ۶-۲۰ انتخاب مقاومت

● مدار شکل ۶-۲۱ را ببندید.

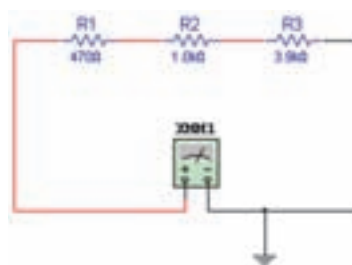
● مقدار مقاومت معادل مدار را اندازه گیری کنید.

● 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

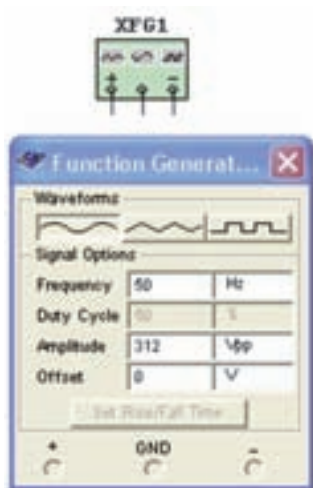


شکل ۶-۲۱ اندازه گیری مقدار اهم مقاومت های سری

برای دریافت ولتاژ پیک از ترمینال مثبت و GND استفاده کنید.

اگر از ترمینال + و - استفاده کنید، دو موج هم‌اندازه با هم جمع شده و یک موج دو برابر در خروجی ظاهر می‌شود.

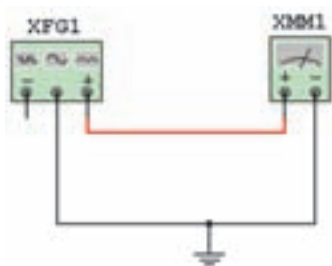
۶-۹-۲ فاکشن ژنراتور را برای ایجاد ولتاژ مشابه ولتاژ برق شهر مطابق شکل ۶-۲۸ آماده کنید.



شکل ۶-۲۸ تنظیم ولتاژ و فرکانس دستگاه فاکشن ژنراتور

۶-۹-۳ مولتی متر را انتخاب کنید و آن را در حالت AC قرار دهید.

۶-۹-۴ مولتی متر را به فاکشن ژنراتور وصل کنید (شکل ۶-۲۹).



شکل ۶-۲۹ اتصال مولتی متر به فاکشن ژنراتور

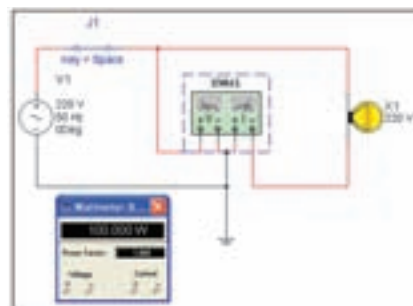
۶-۹-۵ روی مولتی متر دو بار کلیک کنید تا صفحه نمایش آن ظاهر شود.

۶-۹-۶ مقدار ولتاژ اندازه‌گیری شده را بخوانید (شکل ۶-۳۰).

۶-۸-۳ مدار شکل ۶-۲۵ را ببینید.

۶-۸-۴ با دو بار کلیک چپ روی وات‌متر توان مصرفی لامپ را بخوانید.

تمرین: آیا مقدار توان اندازه‌گیری شده با توان انتخاب شده اولیه برای لامپ حدوداً برابر است؟ شرح دهید.



شکل ۶-۲۵ اندازه‌گیری توان مدار توسط وات‌متر

۶-۹ نحوه قرار گرفتن فاکشن ژنراتور در مدار

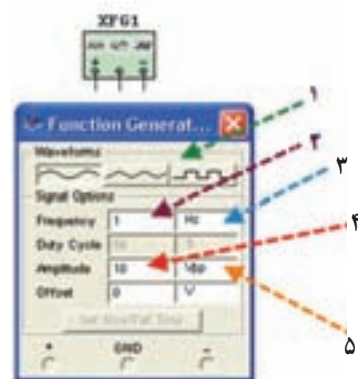
۶-۹-۱ فاکشن ژنراتور را از منوی ابزار، انتخاب و روی آن دوبار کلیک کنید تا شکل ۶-۲۶ روی میز کار ظاهر شود.



فاکشن ژنراتور مولتی متر

شکل ۶-۲۶ انتخاب دستگاه فاکشن ژنراتور از نوار ابزار

این فاکشن ژنراتور می‌تواند شکل موج‌های مربعی، مثلثی و سینوسی را تولید کند و توسط آن می‌توانید مقادیر فرکانس، واحد فرکانس، دامنه (پیک موج) سینوسی را تغییر دهید (شکل ۶-۲۷).



۱- تعیین شکل موج (مربعی،

مثلثی، سینوسی)

۲- مقدار فرکانس

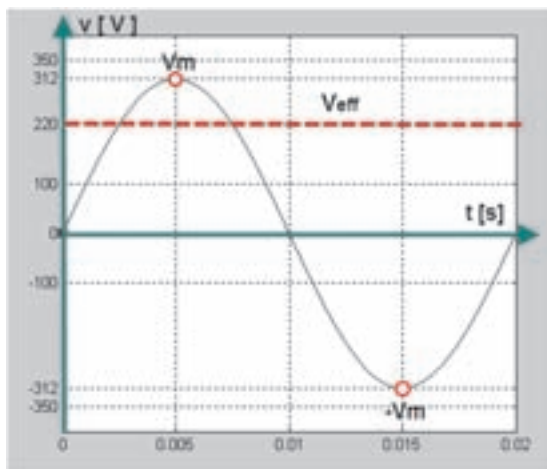
۳- واحد فرکانس

۴- مقدار دامنه موج (پیک)

۵- رنج ولتاژ

شکل ۶-۲۷ صفحه تنظیمات

دستگاه فاکشن ژنراتور



شکل ۳۲-۶- شکل موج برق شهر

۱۱-۶- آشنایی با اسیلوسکوپ در نرم افزار مولتی سیم

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



شکل ۳۳-۶- انتخاب دستگاه اسیلوسکوپ از نوار ابزار

- با دو بار کلیک چپ روی آن شکل ظاهری اسیلوسکوپ موجود در نرم افزار ظاهر می شود (شکل ۳۴-۶).
- در این قسمت ابتدا کلیدهای پر کاربرد بر روی صفحه اسیلوسکوپ توضیح داده می شود سپس به شرح آزمایش ها توسط اسیلوسکوپ می پردازیم.



شکل ۳۴-۶- دستگاه اسیلوسکوپ



شکل ۳۰-۶- صفحه نمایش مقدار اندازه گیری شده توسط دستگاه مولتی متر

۱۰-۶- اندازه گیری ولتاژ برق شهر خارج از محیط برنامه

۱-۱۰-۶- مولتی متری را روی حالت AC و حوزه اندازه گیری مناسب (۵۰۰ ولت) قرار دهید و سپس با رعایت نکات ایمنی آن را به پریز برق متصل کنید. مولتی متر چه ولتاژی را نشان می دهد؟ (شکل ۳۱-۶).



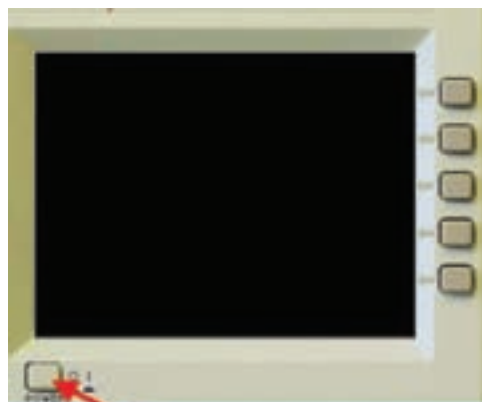
شکل ۳۱-۶- اندازه گیری ولتاژ متناوب برق شهر توسط مولتی متر

تمرین

- ۱- ولتاژ اندازه گیری شده برابر با کدامیک از مقادیر ماکزیمم، مؤثر و متوسط است؟
 - ۲- رابطه ولتاژ خوانده شده با مقدار دامنه (پیک) را بنویسید.
- شکل موج برق شهر در شبکه ایران را در شکل ۳۲-۶ مشاهده می کنید.

● کلید روشن و خاموش کردن اسیلوسکوپ (شکل

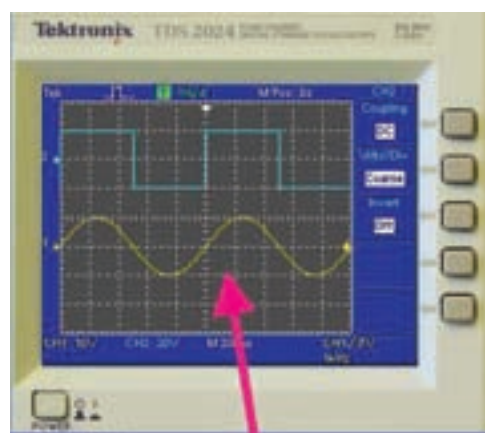
۶-۳۵).



کلید روشن و خاموش کردن

شکل ۶-۳۵ کلید روشن و خاموش دستگاه اسیلوسکوپ

● صفحه نمایش (شکل ۶-۳۶).



صفحه نمایش

شکل ۶-۳۶ صفحه نمایش دستگاه اسیلوسکوپ

● ترمینال تست پروب (شکل ۶-۳۷).



ترمینال تست پروب

شکل ۶-۳۷ ترمینال تست پروب دستگاه اسیلوسکوپ

● کانال‌های ورودی اسیلوسکوپ (شکل ۶-۳۸).



ترمینال‌های BNC

شکل ۶-۳۸ ترمینال‌های BNC کانال‌های دستگاه اسیلوسکوپ

● کلیدهای انتخاب Volt/Div و کلیدهای فعال‌سازی هر

کانال (شکل ۶-۳۹).



کلیدهای Volt/Div هر کانال

شکل ۶-۳۹ کلید تنظیم Volt/Div کانال‌های دستگاه اسیلوسکوپ

● کلید انتخاب Time/Div (شکل ۶-۴۰).

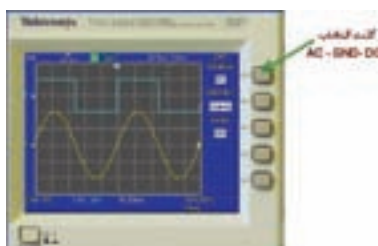


کلید انتخاب Time/Div

شکل ۶-۴۰ کلید تنظیم Time/Div دستگاه اسیلوسکوپ

● کلید انتخاب ورودی AC - GND - DC (شکل

۶-۴۱).



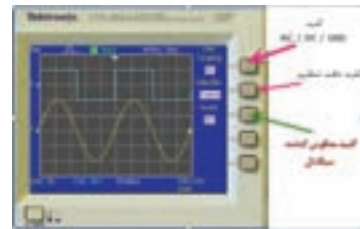
کلید انتخاب AC-GND-DC

شکل ۶-۴۱ کلید انتخاب وضعیت‌های AC-GND-DC دستگاه اسیلوسکوپ

● کلیدهای تنظیمات سیگنال :

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

ب) کلید معکوس کننده سیگنال (INVERT) : این کلید سیگنال را 180° درجه تغییر فاز می دهد (شکل ۶-۴۲).



شکل ۶-۴۲ کلید معکوس کننده سیگنال

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

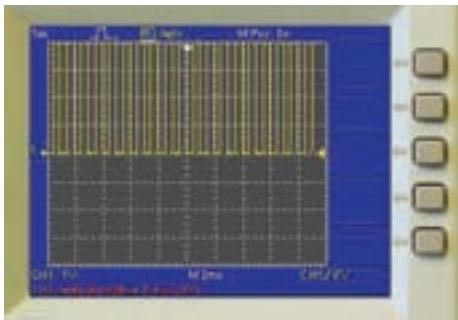


کلیدهای تغییر مکان عمودی

کلید تغییر مکان افقی

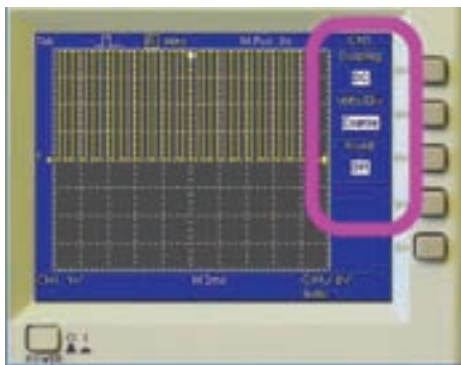
شکل ۶-۴۳ کلیدهای تغییر مکان افقی و عمودی

● اسیلوسکوپ را روشن کنید (شکل ۶-۴۵).



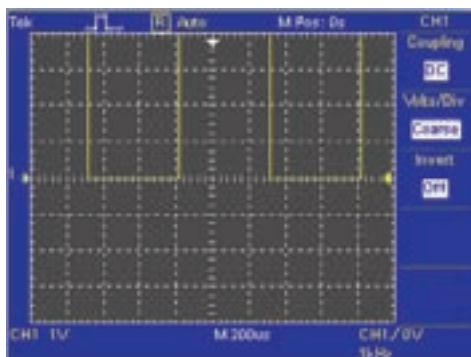
شکل ۶-۴۵ شکل موج برای تست پراب

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



شکل ۶-۴۶ شکل موج برای تست پراب

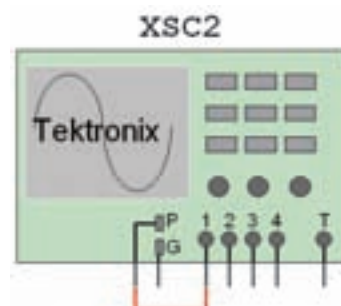
● کلید سلکتور Time/Div را طوری تغییر دهید، که حدوداً دو یا سه سیکل کامل را روی صفحه حساس قابل مشاهده باشد (شکل ۶-۴۷).



شکل ۶-۴۷ تنظیم کلید Time/Div برای نمایش چند سیکل روی صفحه

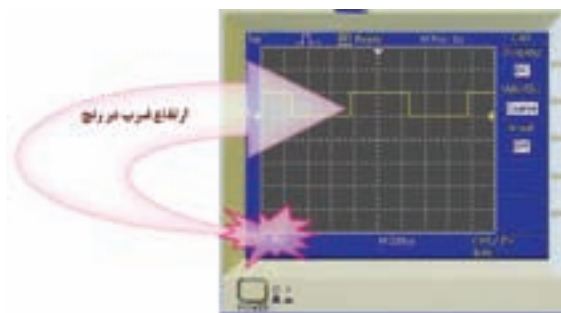
۲-۱۱-۶- آزمایش پراب : مدار شکل ۶-۴۴ را

بینید .



شکل ۶-۴۴ اتصال پراب برای تست پراب

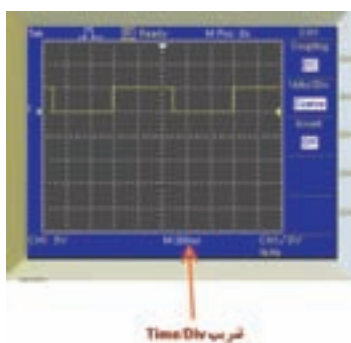
● ولوم تغییر وضعیت افقی و عمودی را به ترتیب تغییر دهید. چه تغییری در شکل می بینید؟ (شکل ۴۸-۶).



شکل ۵۰-۶ اندازه گیری دامنه پیک تا پیک موج

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.

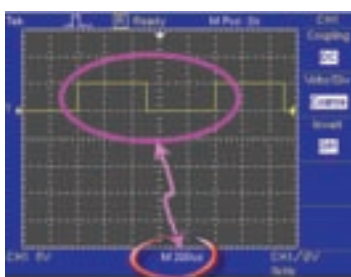
۳-۱۱-۶ آزمایش کالیبره بودن (تنظیم) اسیلوسکوپ
زمان تناوب: کلید Time/Div را یک بار در حالت ۱ میلی ثانیه و بار دیگر در ۲۰۰ میکروثانیه قرار دهید (شکل ۵۱-۶).



شکل ۵۱-۶ ضرب Time/Div دستگاه اسیلوسکوپ

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

● زمان تناوب شکل موج مربعی کالیبره را اندازه بگیرید.
تعداد خانه های دربرگرفته شده توسط یک سیکل را محاسبه کنید. زمان تناوب را با توجه به شکل ۵۲-۶ و رابطه آن به دست آورید.

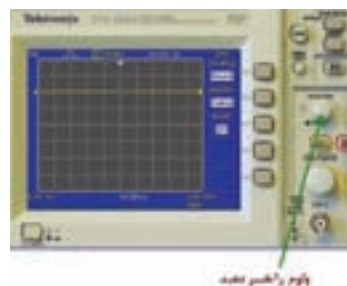


شکل ۵۲-۶ اندازه گیری خانه های مربوط به یک سیکل



شکل ۴۸-۶ تغییر کلید Volt/Div و نمایش شکل موج

● 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 خانه ها به دلخواه تنظیم کنید (شکل ۴۹-۶).



شکل ۴۹-۶ تغییر کلید وضعیت AC - GND - DC

● برای آزمایش پراب، کلید را در حالت DC قرار دهید.
● تعداد خانه هایی که پیک تا پیک دامنه موج را در بر گرفته است بخوانید. عدد خوانده شده را در عدد ضرب Volt/div ضرب کنید تا مقدار دامنه پیک تا پیک موج کالیبره به دست آید (شکل ۵۰-۶).

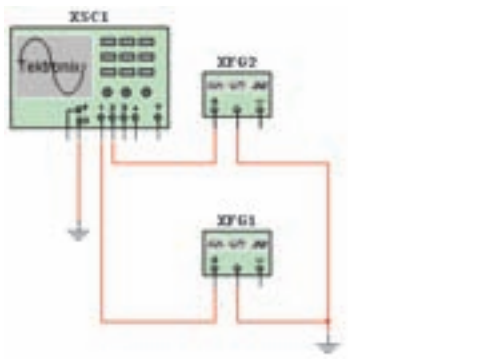
تمرین: عدد به دست آورده را با مقدار ولتاژ دامنه کالیبره مقایسه کنید. در صورت تغییر علت را توضیح دهید.

Time/Dive ضربی خودکار × تعداد خانه‌های یک سیکل = T زمان تناوب

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

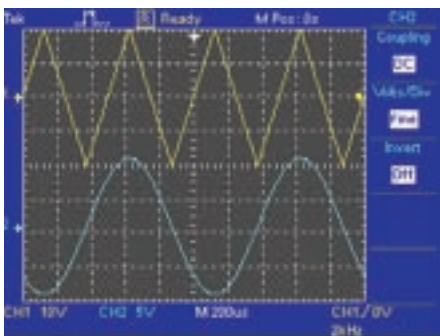
مقدار فرکانس به دست آورده شده را با فرکانس موج مربعی کالیبره اسیلوسکوپ مقایسه کنید.
آیا اختلافی مشاهده می‌کنید؟ در صورت مغایر بودن مقادیر، آزمایش را مجدداً تکرار کنید تا به نتیجه مطلوب برسید.

و فانکشن ژنراتور ۲ را روی سیگنال سینوسی با دامنه ۱۰ ولت پیک تا پیک و فرکانس ۱ کیلوهرتز تنظیم کنید.
۴-۱۲-۶- کلید روشن و خاموش میز کار را روشن کنید.



شکل ۵۳-۶ مدار اتصال دستگاه فانکشن ژنراتور به اسیلوسکوپ

۵-۱۲-۶- اسیلوسکوپ را طوری تنظیم کنید که شکل ۵۴-۶ ظاهر شود.



شکل ۵۴-۶ نمایش شکل موج‌های فانکشن ژنراتور توسط اسیلوسکوپ

کاربرد اسیلوسکوپ در آزمایشگاه مجازی

تجهیزات و قطعات مورد نیاز

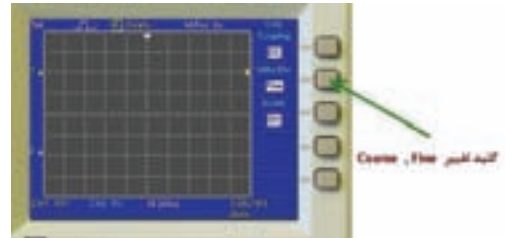
ردیف	نام وسیله
۱	اسیلوسکوپ سه بعدی
۲	فانکشن ژنراتور
۳	نماد اتصال زمین
۴	منبع تغذیه AC
۵	منبع تغذیه DC
۶	دیود 1N4001 GP
۷	مقاومت‌های ۱ کیلو اهم و ۲/۲ کیلو اهم
۸	خازن ۱۰۰ نانوفاراد

۱۲-۶- آزمایش ۱

مشاهده شکل موج توسط اسیلوسکوپ
مرحل اجرای آزمایش در آزمایشگاه مجازی
۱-۱۲-۶- اسیلوسکوپ و دو سیگنال ژنراتور را از نوار ابزار انتخاب و به روی میز کار انتقال دهید.
۲-۱۲-۶- مدار شکل ۵۳-۶ را در محیط کار نرم افزار مولتی سیم ببندید.

۳-۱۲-۶- فانکشن ژنراتور ۱ را روی سیگنال مثلثی با دامنه ۲۰V ولت پیک تا پیک و فرکانس ۲ کیلوهرتز تنظیم کنید

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



شکل ۵۵-۶ - کلید تنظیم fine

۱۳-۶- آزمایش ۲

اندازه‌گیری ولتاژ DC و AC

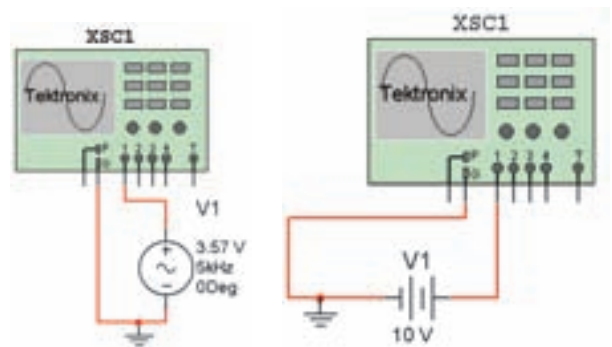
مراحل اجرای آزمایش در آزمایشگاه مجازی

۱-۱۳-۶ مدارهای شکل ۵۶-۶ - الف و ب را

بینید.

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

اسیلوسکوپ مشاهده و آن را اندازه بگیرید.



ب

الف

شکل ۵۶-۶ - اتصال دستگاه اسیلوسکوپ به منبع AC و DC

اندازه‌گیری مقدار متوسط ولتاژ

روش ۱

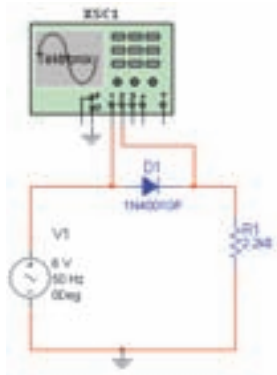
الف - مدار شکل ۵۷-۶ را بینید.

ب - شکل موج ورودی و خروجی را به طور همزمان

مشاهده کنید. (شکل موج ورودی به صورت 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. (ماکزیمم دامنه ولتاژ را از روی شکل موج بخوانید).



شکل ۵۷-۶ - اتصال اسیلوسکوپ به مدار

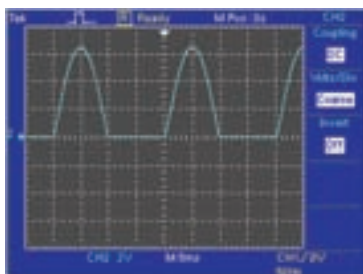
روش ۲

الف - برای اندازه‌گیری مقدار DC خروجی ابتدا کلید

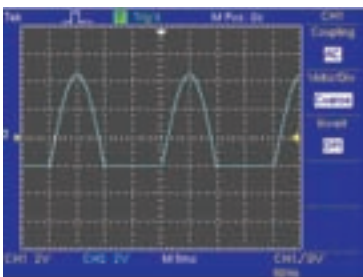
انتخاب ورودی را در حالت DC قرار دهید (مکان سیگنال را روی صفحه حساس به خاطر بسپارید) (شکل ۵۸-۶).

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

ج - مقدار متوسط شکل موج را از رابطه آن به دست آورید.



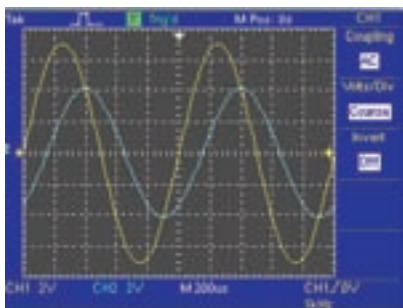
الف



ب

شکل ۵۸-۶ - شکل موج یکسو شده

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



شکل ۶-۶۰- نمایش دو موج دارای اختلاف فاز روی اسیلوسکوپ

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

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

۳-۱۴-۶- آزمایش

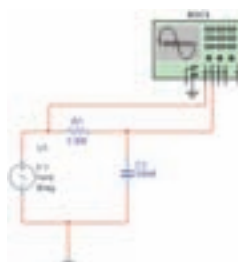
اندازه‌گیری اختلاف فاز

مراحل اجرای آزمایش در آزمایشگاه مجازی

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

کتابخانه نرم‌افزار با جستجو انتخاب کنید و به میز کار انتقال دهید.

۲-۱۴-۶- مدار شکل ۶-۵۹ را ببینید.



شکل ۶-۵۹- مدار برای اندازه‌گیری اختلاف فاز

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.

منابع مورد استفاده

- ۱- نظریان، فتح الله. دستگاه‌های اندازه‌گیری - شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
- ۲- نظریان، فتح الله. 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 مولتی سیم.

