فصل ۵

ساختمان دستگاه‌های اندازه‌گیری

هدف کلّی

آشنایی با ساختمان داخلی و طرز کار تعدادی از دستگاه‌های اندازه‌گیری و نحوهٔ توسعهٔ حوزهٔ کار آن‌ها

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

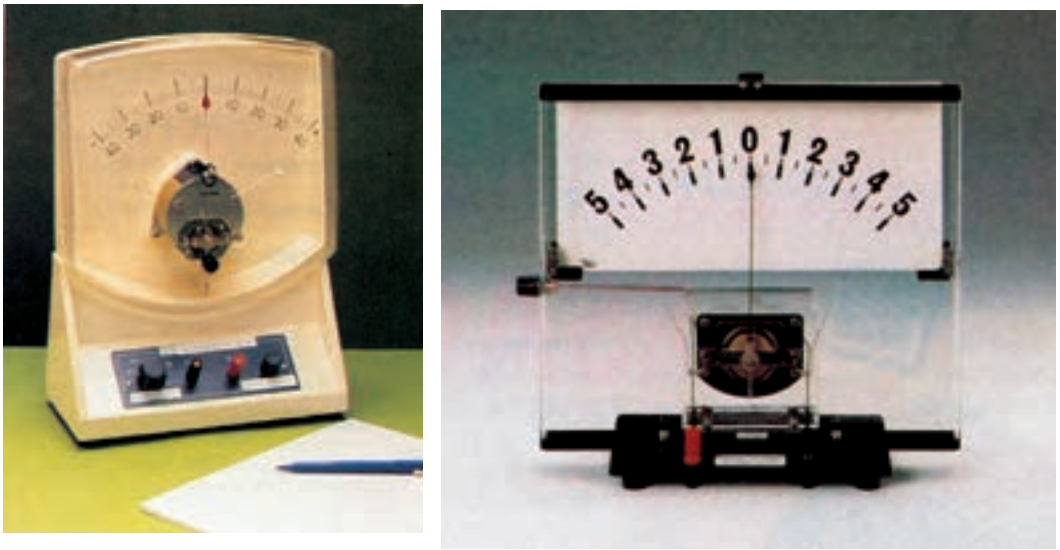
ـ ساختمان و طرز کار دستگاه اندازه‌گیری با قاب‌گردان را شرح دهد.
ـ حساسیت گالوانومتر را تعریف کند.
ـ چگونگی استفاده از دستگاه اندازه‌گیری با قاب‌گردان (گالوانومتر دآرسونوال) را به‌صورت ولت‌متر DC و آمپرمتر DC شرح دهد.
ـ چگونگی استفاده از دستگاه اندازه‌گیری با قاب‌گردان را به‌صورت ولت‌متر AC شرح دهد.
ـ چگونگی توسعهٔ رنج اندازه‌گیری جریان و ولتاژ را با استفاده از گالوانومتر دآرسونوال بیان کند.
ـ چگونگی اندازه‌گیری جریان‌های زیاد DC را به کمک مولتی‌متر شرح دهد.
ـ چگونگی استفاده از گالوانومتر دآرسونوال را به‌صورت اهم‌متر سری شرح دهد.
ـ ساختمان و طرز کار انواع دستگاه اندازه‌گیری آهن نرم‌گردان را شرح دهد.
ـ فرق ولت‌متر و آمپرمتر آهن نرم‌گردان را شرح دهد.
ـ ساختمان وات‌متر را شرح داده و فرق آن را با گالوانومتر دآرسونوال بیان کند.
ـ ساختمان مولتی‌متر دیجیتالی را شرح دهد.
ـ مزایای یک مولتی‌متر دیجیتالی را بر مولتی‌متر عقربه‌ای شرح دهد.
ـ فعالیت‌های کلاسی را با اعتماد به نفس و به‌طور دقیق انجام دهد.
ـ نظم و ترتیب و حضور به‌موقع در کلاس را رعایت کند.
ـ مسئولیت‌های واگذار شده را به طور دقیق اجرا کند.
ـ در موقعیت‌های مناسب از آزمایشگاه مجازی استفاده کند.
ـ از امکانات فراهم شده به خوبی حفاظت و نگهداری کند.
ـ ابهامات و سؤالات خود را در زمان مقتضی بپرسد.
ـ به سؤالات مطرح شده در زمان مقتضی پاسخ دهد.
ـ حضور فعال و داوطلبانه در امور مختلف داشته باشد.
ـ توانمندی‌های خود را در موقعیت‌های مناسب بروز دهد.
ـ در کارگروهی مشارکت فعال و همکاری مؤثر داشته باشد.
ـ نسبت به حل مشکلات سایر هنرجویان حساس و فعال باشد.
ـ سایر هنرجویان را در ارتباط با اجرای نظم و مقررات، راهنمایی و تشویق کند.

در صورت امکان با استفاده از نرم افزار مولتی‌سیم، نحوهٔ توسعهٔ حوزهٔ کار دستگاه‌های اندازه‌گیری را به صورت آزمایشگاه مجازی برای هنرجویان به نمایش درآورید.

۱ــ۵ــ دستگاه اندازه‌گیری با قاب‌گردان و آهن‌ربای دائمی

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

۱ــ۱ــ ۵ ــ ساختمان گالوانومتر دآرسونوال : شکل ۱ــ۵ دو نمونه از گالوانومتر دآرسونوال را که در ساختمان دستگاه‌های اندازه‌گیری به‌کار می‌رود نشان می‌دهد.

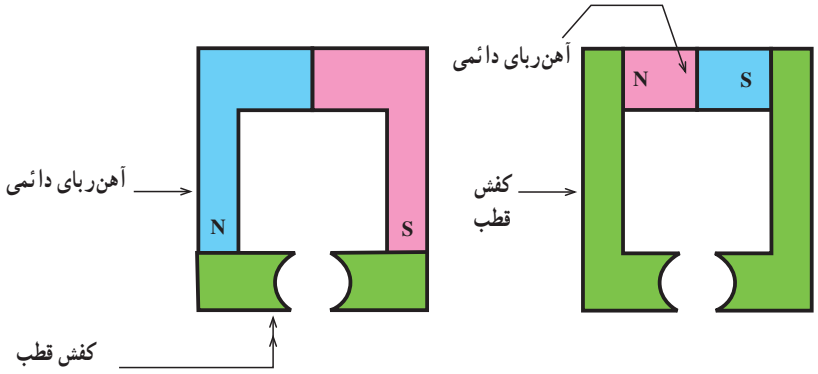


شکل ۱ــ۵ــ دو نمونه گالوانومتر «دآرسونوال»

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

ــ ***آهن‌ربای دائمی و کفش قطب‌ها :*** نقش آهن‌ربای

دائمی در گالوانومتر دآرسونوال، ایجاد میدان مغناطیسی در یک فاصلهٔ هوایی است و کفش قطب‌ها وظیفهٔ یکنواخت کردن این میدان مغناطیسی را به عهده دارند. شکل ۲ــ۵ دو نمونه آهن‌ربای دائمی همراه با کفش قطب‌ها را نشان می‌دهد.



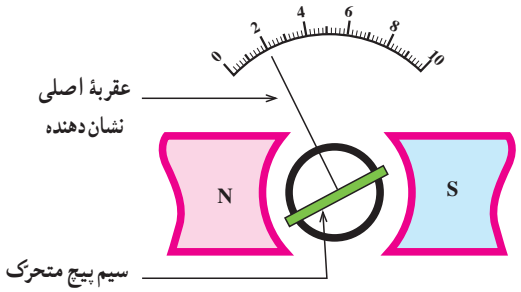
شکل ۲ــ۵ــ دو نمونه از آهن‌ربای دائمی و کفش قطب‌ها

با پیشرفتی که در تکنولوژی حاصل شده است، مجموعه‌های شکل ۲ــ۵ را به‌صورت یک پارچه از آهن‌ربای دائمی می‌سازند. در گالوانومتر دآرسونوال برای خطّی نمودن درجات، نیاز به میدان یکنواخت و شعاعی در فاصلهٔ هوایی است. برای به‌وجود آوردن چنین میدانی (یکنواخت و شعاعی) یک استوانهٔ آهن نرم را بین کفش قطب‌ها قرار می‌دهند. در شکل ۳ــ۵ یک نمونه از یکنواخت و شعاعی نمودن میدان در یک فاصلهٔ هوایی نشان داده شده است.

شکل ۳ــ ۵ ــ چگونگی ایجاد میدان مغناطیسی یکنواخت و شعاعی

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

ــ *سیم‌پیچ متحرّک* : همان‌طور که گفته شد گالوانومتر برای اندازه‌گیری جریان‌های با مقدار بسیار کم به‌کار می‌رود. برای اندازه‌گیری مقدار جریان وارد شده به گالوانومتر باید مقدار انحراف عقربهٔ گالوانومتر را سنجید. عقربهٔ دستگاه نیز به یک سیم‌پیچ که قادر است حول استوانهٔ آهن نرم بچرخد وصل شده است. سیم‌پیچ از چندین دور سیم لاکی بسیار نازک که روی یک نوار آلومینیومی پیچیده شده تشکیل شده است. شکل ۴ــ۵ نمای عمودی وضعیّت قرار گرفتن سیم‌پیچ حول استوانهٔ آهنی را نشان می‌دهد.

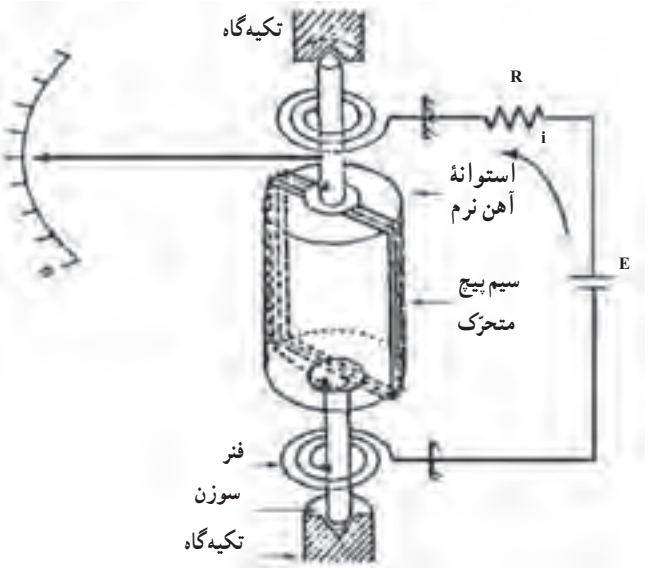


شکل ۴ــ ۵ ــ نمای عمودی طرز قرار گرفتن سیم‌پیچ حول استوانهٔ آهن نرم

چون سیم‌پیچ باید حرکت کند لذا با دو سوزن (در مدل‌های قدیمی‌تر) که در دوطرف سیم‌پیچ تعبیه شده‌اند، توسّط دو تکیه‌گاه، نگه‌داشته می‌شود و قادر است حول این دو تکیه‌گاه بچرخد. درضمن دو فنر نیز جهت ایجاد کوپل مقاوم و برگرداندن سیم‌پیچ بعد از قطع جریان به‌جای اوّل (نقطهٔ صفر) نیز به دو سوزن، وصل شده‌اند. درضمن فنرها نقش هدایت جریان به سیم‌پیچ متحرّک را نیز به عهده دارند (درصورتی که از فنرها برای هدایت جریان استفاده نکنیم، چون سیم‌پیچ حرکت می‌کند باید از تیغه‌های کلکتور استفاده

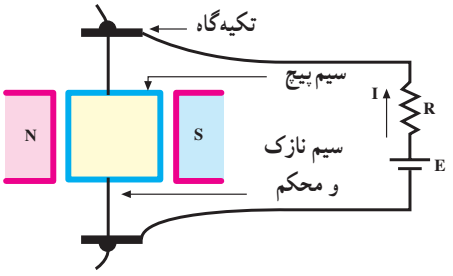
نماییم که این کار باعث ایجاد اصطکاک شده از حسّاسیت دستگاه کاسته می‌شود و آن را نیز تا حدودی غیرخطّی می‌نماید).

شکل ۵ ــ۵ ساختمان یک گالوانومتر را نشان می‌دهد.



شکل ۵ ــ۵ ــ ساختمان یک گالوانومتر

در گالوانومترهای جدیدتر، برای حسّاس‌تر کردن و همچنین ساده‌تر نمودن ساختمان آن، به‌جای دو عدد سوزن، دو فنر و دو تکیه‌گاه، سیم‌پیچ را با دو مفتول بسیار نازک (معمولاً از آلیاژ برنز یا نقره) با مقطع گرد و یا مستطیلی شکل به دو تکیه‌گاه ثابت وصل می‌کنند. هدایت جریان به سیم‌پیچ متحرّک، از طریق دو تکیه‌گاه صورت می‌گیرد. همچنین اگر سیم‌پیچ بچرخد، مفتول نازک نیز تاب خورده ایجاد کوپل مقاوم می‌کند و بعد از قطع جریان مجدّداً سیم‌پیچ را به حالت اولیه برمی‌گرداند. عقربهٔ نشان‌دهنده روی سیم‌پیچ متحرّک قرار می‌گیرد. شکل ۶ــ۵ ساختمان این نوع گالوانومتر را نشان می‌دهد.



شکل ۶ ــ۵ــ مقطع یک گالوانومتر

حرکت عقربه (چرخش قاب) با جریان عبوری از آن رابطهٔ خطّی دارد. از این‌رو درجه‌بندی گالوانومتر دآرسونوال، همیشه خطّی 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 خطّی است.

بر طبق تعریف، حساسیت عبارت است از نسبت زاویهٔ گردش عقربه (θ) به جریان عبوری از سیم‌پیچ (I) و طبق رابطهٔ ۱ــ۵ نوشته می‌شود.

$$S' = \frac{\text{زاویهٔ گردش عقربه}}{\text{جریان عبوری از سیم‌پیچ}}$$

$$S' = \frac{\theta}{I} \quad \frac{\text{رادیان}}{\text{آمپر}} \text{ یا } \frac{\text{درجه}}{\text{میکروآمپر}} \qquad (۵ــ۱)$$

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

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

حال اگر در گالوانومتر دیگری حسّاسیت $۱۰۰\frac{K\Omega}{V}$ باشد، برای انحراف کامل آن نیاز به $\frac{۱}{۱۰۰K\Omega} = ۱۰\mu A$ جریان دارد.

از دو مثال بالا این نتیجه به‌دست می‌آید که هر قدر عدد $\frac{\Omega}{V}$ یک گالوانومتر بیشتر باشد، دستگاه حسّاس‌تر است. اگر بخواهیم از این دستگاه به‌عنوان ولت‌متر استفاده کنیم هر قدر عدد $\frac{\Omega}{V}$ آن بیشتر باشد (در حقیقت امپدانس ورودی آن بیشتر باشد) خطای اندازه‌گیری

کمتر می‌شود.

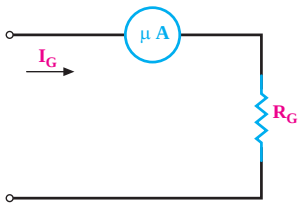
۲ــ۱ــ۵ــ ساختمان ولت‌متر DC : همان‌طور که دیدیم حرکت عقربهٔ گالوانومتر به‌صورت خطّی با عبور جریان از سیم‌پیچ رابطه دارد و طبق رابطهٔ ۲ــ۵ به‌دست می‌آید.

$$\theta = K.I \qquad (۵ــ۲)$$

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

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

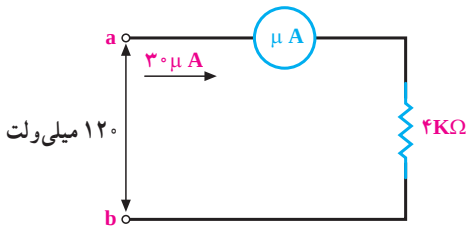
شکل ۷ــ۵ علامت فنی یک گالوانومتر را نشان می‌دهد.



شکل ۷ــ۵ــ علامت فنی گالوانومتر دآرسونوال

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

فرض کنید در یک گالوانومتر $R_G = 4K\Omega$ و جریان انحراف تمام اشل آن ۳۰μA باشد. به‌ازای عبور جریان ۳۰μA، دو سر گالوانومتر ۱۲۰ میلی‌ولت ولتاژ افت می‌کند.

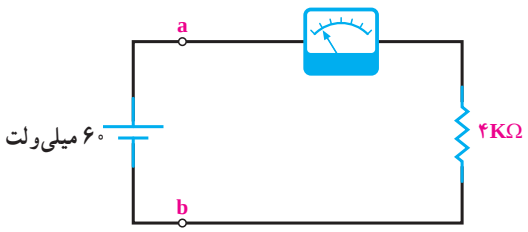


شکل ۸ــ۵ــ به‌ازای عبور جریان ۳۰μA از گالوانومتر، دو سر آن ۱۲۰ میلی‌ولت ولتاژ افت می‌کند.

حال اگر به‌جای ۳۰μA، ۱۵μA جریان را به گالوانومتر اعمال نماییم، اوّلاً عقربه ۵۰٪ مقدار قبلی حرکت می‌کند و ثانیاً افت ولتاژ دو سر گالوانومتر ۶۰ میلی‌ولت خواهد شد ($۴K\Omega \times ۱۵\mu A = ۶۰\ mV$).

حال اگر مطابق شکل ۹ــ۵ به ورودی گالوانومتر با مشخّصات فوق $R_G = 4K\Omega$ و $I_G = ۳۰\mu A$ (جریان انحراف تمام اشل) یک منبع ولتاژ ۶۰ میلی‌ولتی وصل کنیم، جریان عبوری از مدار $۶۰\ mV/۴\ K\Omega = ۱۵\mu A$ خواهد شد و عقربه ۵۰٪ انحراف خواهد داشت. حال اگر به‌جای ۶۰ میلی‌ولت، ۱۲۰ میلی‌ولت را اعمال نماییم جریان عبوری از گالوانومتر $۱۲۰\ mV / ۴K\Omega = ۳۰\mu A$ خواهد شد و انحراف عقربه ۱۰۰٪ خواهد شد.

مجموعهٔ گالوانومتر فوق را می‌توان به‌عنوان یک میلی‌ولت‌متر ۱۲۰mV ــ۰ درنظر گرفت. همچنان که می‌توان مجموعهٔ گالوانومتر را به‌عنوان میکروآمپرمتر ۳۰μA ــ۰ نیز درنظر گرفت.

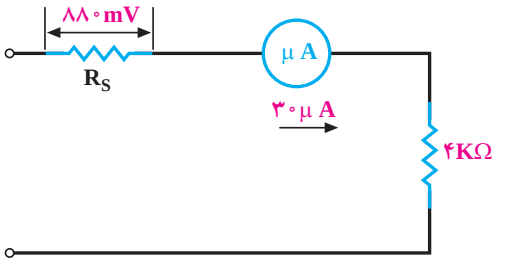


شکل ۹ــ۵ــ به‌ازای اعمال ۶۰mV ولتاژ به گالوانومتر، انحراف ۵۰٪ خواهد بود.

اگر گالوانومتر، با مشخّصات فوق را به‌عنوان میلی‌ولت‌متر ۱۲۰mV ــ۰ درنظر بگیریم و بخواهیم ولتاژهای بیشتر از ۱۲۰mV را با آن اندازه بگیریم، باید مازاد ۱۲۰mV را در یک مقاومت اهمی که با گالوانومتر سری می‌کنیم افت بدهیم. در هر حال جریان عبوری از گالوانومتر نباید از ۳۰μA تجاوز کند. فرض کنید می‌خواهیم ولتاژ ۱V ــ۰ را با میلی‌ولت‌متر ۱۲۰mV ــ۰ اندازه بگیریم. برای این کار باید ۸۸۰ میلی‌ولت ولتاژ را در مقاومت سری شده با گالوانومتر افت دهیم و از طرفی باید جریان مدار همان ۳۰μA باشد لذا می‌توان مطابق شکل ۱۰ــ۵ مقاومت سری شده با گالوانومتر (R_S) را محاسبه نمود.

با توجه به شکل ۵ــ۱۰ محاسبهٔ R_S مطابق رابطهٔ ۵ــ۳ خواهد بود.

$$R_s = \frac{۸۸۰mV}{۳۰\mu A} = ۲۹/۳۳K\Omega \qquad (۵ــ۳)$$



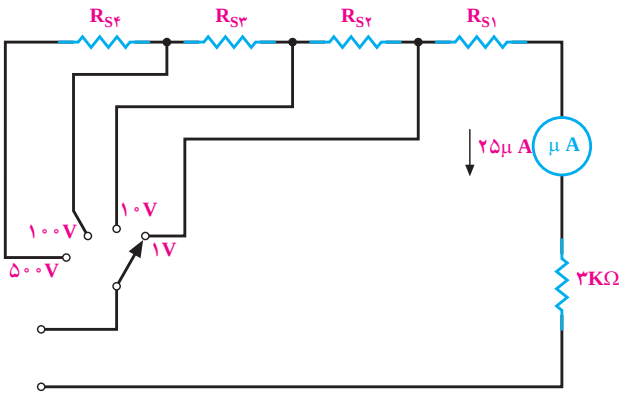
شکل ۵ــ۱۰ــ یک ولت‌متر ۰ــ۱ ولت به کمک یک میلی‌ولت‌متر ۱۲۰mV ــ۰

توجّه داشته باشید که در محاسبات، برای حدّاکثر ولتاژ، حدّاکثر انحراف درنظر گرفته می‌شود.

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

مثال ۱ : یک گالوانومتر با مشخّصات $R_G = ۳K\Omega$ و $I_G = ۲۵\ \mu A$ (جریان انحراف تمام اشل) در دسترس است، می‌خواهیم یک ولت‌متر با رنج‌های ۱V ــ۰، ۱۰V ــ۰، ۱۰۰V ــ۰، ۵۰۰V ــ۰ داشته باشیم، مقاومت‌هایی را که باید با این گالوانومتر سری شوند محاسبه نمایید.

حل : ابتدا شکل ولت‌متر را رسم می‌کنیم :



شکل ۵ــ۱۱ــ ساختمان ولت‌متر مثال ۱

ولتاژی که دو سر گالوانومتر افت می‌نماید

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

$$R_{S۱} = \frac{۱۰۰۰mV - ۷۵mV}{۲۵\mu A} = ۳۷K\Omega$$

$$R_{S۲} = \frac{۱۰V - ۱V}{۲۵\mu A} = ۳۶۰K\Omega$$

$$R_{S۳} = \frac{۱۰۰V - ۱۰V}{۲۵\mu A} = ۳/۶M\Omega$$

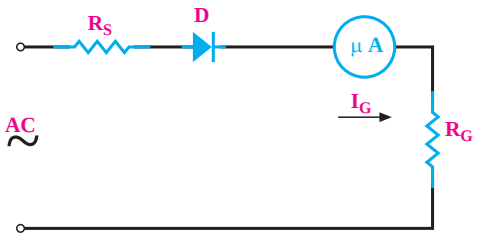
$$R_{S۴} = \frac{۵۰۰V - ۱۰۰V}{۲۵\mu A} = ۱۶M\Omega$$

۳ــ۱ــ۵ــ ساختمان ولت‌متر AC : رابطهٔ انحراف عقربه با جریان عبوری از سیم‌پیچ متحرّک (قاب) به‌صورت $KI = \theta$ است. حال اگر به‌جای جریان DC، جریان AC به سیم‌پیچ اعمال نماییم حرکت قاب نیز به‌صورت متناوب خواهد شد زیرا طبق رابطهٔ ۵ــ۴ خواهیم داشت :

$$KI = KI_m \sin \omega t = \theta_m \sin \omega t \qquad (۵ــ۴)$$

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

برای اندازه‌گیری ولتاژ AC، ابتدا آن را تبدیل به DC نموده سپس اندازه می‌گیرند. شکل ۵ــ۱۲ یک نمونه ولت‌متر AC را نشان می‌دهد.



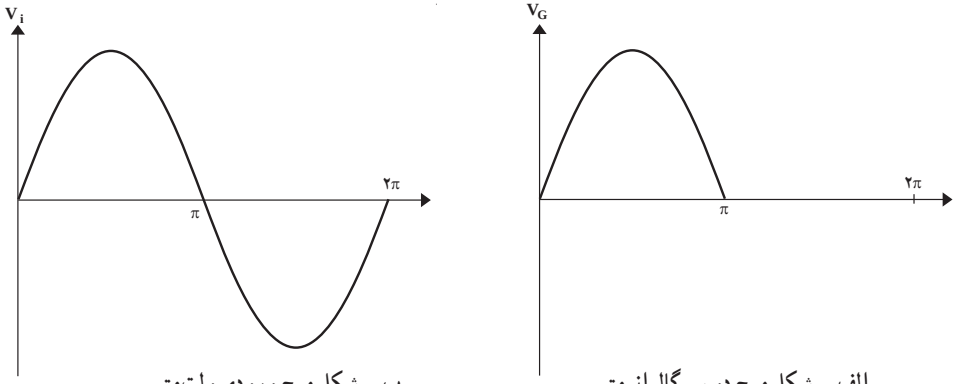
شکل ۵ــ۱۲ــ یک نمونهٔ سادهٔ ولت‌متر AC

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

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

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

شکل ۱۳ــ۵ شکل موج ورودی ولت‌متر و شکل موج دو سر گالوانومتر را نشان می‌دهد.



الف ــ شکل موج دو سر گالوانومتر

ب ــ شکل موج ورودی ولت‌متر

شکل ۱۳ــ۵ــ شکل موج ورودی ولت‌متر و دو سر گالوانومتر

از طرفی می‌دانیم :

$$V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \qquad V_m = \sqrt{2}\, V_{eff} \qquad (۵ــ۵)$$

مقدار متوسّط شکل موج دو سر گالوانومتر از رابطهٔ ۶ــ۵ به‌دست می‌آید.

$$V_{av} = \frac{V_m}{\pi} = \frac{\sqrt{2}\, V_{eff}}{\pi} = ۰/۴۵ V_{eff} \qquad (۵ــ۶)$$

رابطهٔ ۶ــ۵ بیان می‌کند که اگر ولتاژ مؤثّر ورودی، یک ولت باشد ولتاژ متوسّط برابر ۰/۴۵ ولت می‌باشد. از رابطهٔ ۶ــ۵ برای محاسبهٔ مقاومت‌های R_S استفاده می‌شود.

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

مثال ۲ : یک گالوانومتر به مشخّصات $R_G = ۴K\Omega$ و $I_G = ۳۰\mu A$ در دسترس است می‌خواهیم با آن یک ولت‌متر AC، با رنج ۱۰V ــ ۰، بسازیم. مقاومتی را که باید با گالوانومتر سری کنیم محاسبه نمایید.

حل : ابتدا ولتاژ DC مدار را محاسبه می‌کنیم :

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

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

(بدون احتساب دیود)

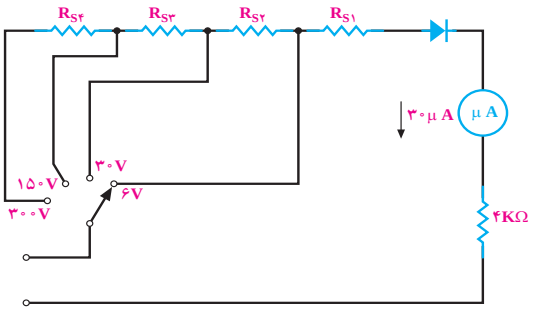
$$R'_s = \frac{۴/۵ - (۴K\Omega \times ۳۰\mu A)}{۳۰\mu A} = ۱۴۶K\Omega$$

به‌جای دیود یک مقاومت ۳ KΩ درنظر می‌گیریم لذا :

$$R_s = ۱۴۶ - ۳ = ۱۴۳\ K\Omega$$

مثال ۳ : مقاومت‌هایی را که باید با یک گالوانومتر ($I_G = ۳۰\mu A$ و $R_G = ۴K\Omega$) سری نمود تا بتوان رنج‌های ۶V ــ ۰، ۳۰V ــ ۰، ۱۵۰V ــ ۰، ۳۰۰V ــ ۰ را در ولت‌متر ایجاد نمود.

حل : ابتدا شکل ولت‌متر را رسم می‌کنیم. ولت‌متر یاد شده در شکل ۱۴ــ۵ رسم شده است.



شکل ۱۴ــ۵ــ ولت‌متر مثال ۳

$$R'_{s۱}=\frac{۰/۴۵\times۶-(۴K\Omega\times۳۰\mu A)}{۳۰\mu A}=۸۶K\Omega$$

(به‌جای دیود یک مقاومت ۳KΩ در نظر می‌گیریم)

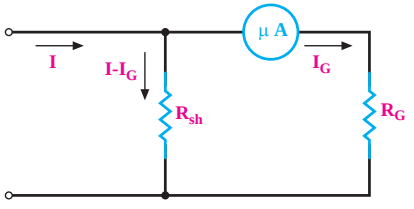
$$R_{s۱}=۸۶-۳=۸۳K\Omega$$

$$R_{s۲}=\frac{۰/۴۵\times۳۰-۶\times۰/۴۵}{۳۰\mu A}=۳۶۰K\Omega$$

$$R_{s۳}=\frac{۱۵۰\times۰/۴۵-۳۰\times۰/۴۵}{۳۰\mu A}=۱/۸M\Omega$$

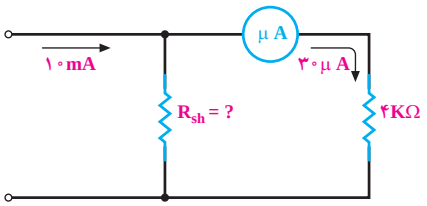
$$R_{s۴}=\frac{۳۰۰\times۰/۴۵-۱۵۰\times۰/۴۵}{۳۰\mu A}=۲/۲۵M\Omega$$

۴ــ۱ــ۵ــ آمپرمتر DC : گالوانومتر دآرسونوال خود یک میکروآمپرمتر است که معمولاً در رنج ۳۰μA ــ۰ و یا ۵۰μA ــ۰ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. امّا در عمل نیاز به اندازه‌گیری جریان‌های بیشتری است. برای اندازه‌گیری جریان‌های بیشتر از جریان گالوانومتر، باید جریان اضافه‌تر از جریان گالوانومتر را از مسیر دیگری عبور داد. برای این‌کار از یک مقاومت موازی با گالوانومتر استفاده می‌نماییم. شکل ۱۵ــ۵ یک نمونه آمپرمتر با جریان قابل اندازه‌گیری بیشتر از جریان گالوانومتر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵ــ۵ــ یک آمپرمتر DC با جریان قابل اندازه‌گیری I

مثال ۴ : یک گالوانومتر با مشخّصات R_G = ۴KΩ و I_G =۳۰ μA (جریان انحراف تمام اشل) در دسترس است. می‌خواهیم با قرار دادن یک مقاومت شنت، جریان ۱۰mA ــ۰ را با آن اندازه بگیریم. مقدار مقاومت شنت باید چند اهم باشد؟



شکل ۱۶ــ۵ــ میلی‌آمپرمتر ۱۰mA ــ۰

حل : از مقاومت شنت باید جریان ۳۰ μA ــ۱۰mA عبور کند. از طرفی ولتاژ دو سر مقاومت شنت برابر ۳۰ μA × ۴KΩ می‌باشد، لذا R_{sh} از رابطهٔ ۷ــ۵ به‌دست می‌آید.

(۵ــ۷)

$$R_{sh}=\frac{U_{sh}}{I_{sh}}=\frac{R_G.I_G}{I-I_G}=\frac{۴K\Omega\times۳۰\mu A}{۱۰mA-۳۰\mu A}=۱۲\Omega$$

توجّه داشته باشید که جریان گالوانومتر از رابطهٔ ۸ــ۵ به‌دست می‌آید (تقسیم جریان به دو شاخهٔ موازی).

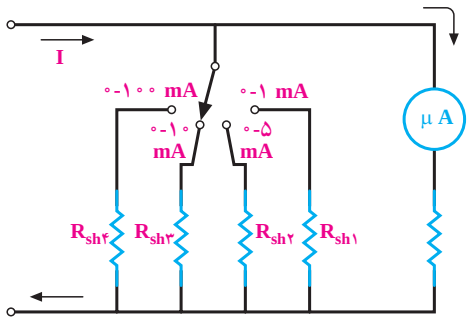
$$I_G=I\frac{R_{sh}}{R_{sh}+R_G} \qquad (۵ــ۸)$$

نسبت $\frac{R_{sh}}{R_{sh}+R_G}$ عددی ثابت است (همواره کوچک‌تر از ۱) لذا طبق رابطهٔ ۹ــ۵ خواهیم داشت :

$$I_G=K_۱.I \qquad (۵ــ۹)$$

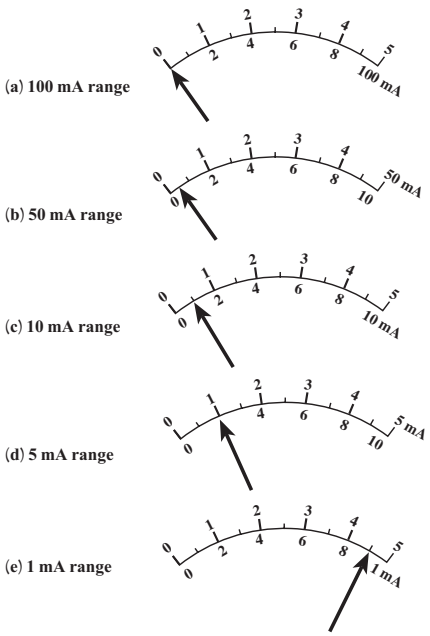
مفهوم رابطهٔ ۹ــ۵ این است که تغییرات I مستقیماً و به‌صورت خطّی روی I_G اثر می‌گذارد. یعنی اگر به‌عنوان مثال I نصف شود I_G نیز نصف خواهد شد و انحراف ۵۰٪ قبلی خواهیم داشت. لذا گالوانومتر را برحسب I درجه‌بندی خواهیم کرد. اگر بخواهیم آمپرمتر دارای چندین رنج باشد می‌توانیم از چندین شنت مختلف همراه با یک کلید انتخاب استفاده کنیم. شکل ۱۷ــ ۵ یک آمپرمتر چند رنج را نشان می‌دهد.

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



شکل ۱۷ــ۵ــ یک آمپرمتر مولتی‌رنج

قبل از ادامهٔ بحث، به یک سؤال جواب می‌دهیم و آن این است که چرا از آمپرمتر یا ولت‌متر و یا... مولتی‌رنج استفاده می‌کنیم. فرض کنید بخواهیم یک جریان ۰/۹۱mA را اندازه بگیریم. در شکل ۱۸ــ۵ نحوهٔ قرائت و مقدار حرکت عقربهٔ میلی‌آمپرمتر، به‌ازای اعمال جریان ۰/۹۱mA در پنج رنج (۱mA، ۵mA، ۱۰mA، ۵۰mA و ۱۰۰mA)، نشان داده شده است.

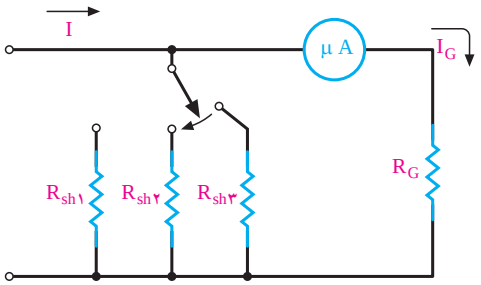


شکل ۱۸ــ۵ــ اثرات انتخاب رنج روی قرائت مقادیر

همان‌طور که از شکل ۱۸ــ۵ پیداست زمانی که کلید رنج جریان روی ۱۰۰mA باشد به‌ازای ۰/۹۱mA جریان، حرکت عقربه تقریباً یک درصد بوده و لذا قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد؛ اگر کلید رنج روی ۵۰mA باشد حرکت عقربه دو درصد است که باز هم با دقّت قابل قرائت نیست.

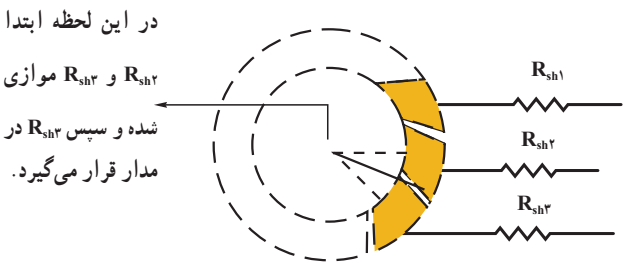
زمانی که کلید رنج روی ۱mA باشد به دقّت کافی می‌توان مقدار ۰/۹۱mA را قرائت کرد. در عمل همیشه کلید رنج را طوری انتخاب می‌کنیم که حدّاکثر انحراف ممکن را داشته باشیم.

آمپرمتر مولتی‌رنج شکل ۱۷ــ۵ دارای یک عیب است و آن این‌که هنگام عوض کردن رنج، یک لحظه شنت از مدار قطع می‌شود و تمامی جریان I از گالوانومتر می‌گذرد که در این‌صورت ممکن است صدمهٔ جدی به گالوانومتر وارد آید. این حالت در شکل ۱۹ــ۵ نشان داده شده است.



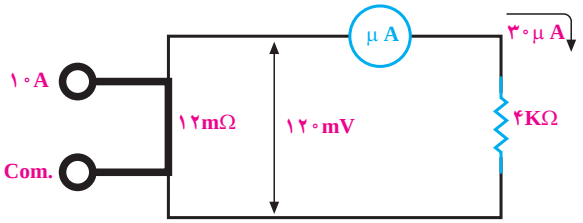
شکل ۱۹ــ۵ــ هنگام عوض کردن کلید، در یک لحظه مقاومت شنت از مدار قطع می‌شود.

در مولتی‌مترها برای رفع عیب فوق، مدار چاپی را طوری می‌سازند که در هنگام عوض کردن کلید رنج، ابتدا مقاومت دوم وصل شود و سپس مقاومت اوّل قطع گردد؛ به عبارتی در یک لحظهٔ کوتاه دو مقاومت شنت موازی می‌شوند. شکل ۲۰ــ۵ چگونگی این عمل را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰ــ۵ــ چگونگی عوض کردن کلید رنج به‌طوری که یک لحظهٔ کوتاه حالت قطع پیش نیاید.

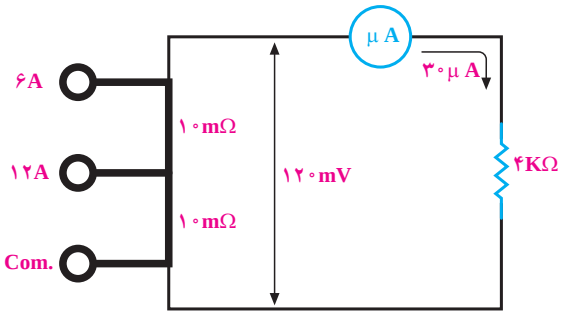
برای اندازه‌گیری جریان‌های زیاد به کمک مولتی‌متر، از جریان نمونه‌برداری می‌کنند. چون اتّصالات مولتی‌متر توسّط مدار چاپی تأمین می‌شود لذا عبور جریان زیاد از مدار چاپی، در صورتی که پهنای آن زیاد نباشد، سریعاً گرم شده و می‌سوزد. از طرفی کلید سلکتور مولتی‌متر توانایی قطع و وصل جریان زیاد را ندارد. در صورتی که بخواهند کلیدی بسازند که قدرت قطع و وصل جریان زیاد را داشته باشد، حجم آن خیلی بزرگ خواهد شد. از این‌رو ترمینال جریان زیاد را در روی مولتی‌مترها به‌صورت جداگانه ساخته، بین ترمینال منفی و ترمینال جریان زیاد یک مقاومت بسیار کم ولی پرقدرت قرار می‌دهند. بر اثر عبور جریان از مقاومت، ولتاژ دو سر آن افت می‌کند. حال این ولتاژ که متناسب با جریان است اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۲۱ــ۵ چگونگی این عمل را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱ــ۵ــ چگونگی اندازه‌گیری جریان‌های زیاد با مولتی‌متر

در شکل ۲۱ــ۵ اگر از مقاومت ۱۲mΩ، جریان ۱۰A عبور کند ولتاژ دو سر مقاومت ۱۲۰mV افت می‌کند و میلی‌ولت‌متر صدوبیست میلی‌ولتی، انحراف تمام اشل را خواهد داشت. حال اگر به‌جای ۱۰A، ۵A جریان از مدار عبور کند، ولتاژ دو سر مقاومت ۱۲mΩ، برابر ۶۰mV خواهد شد و انحراف عقربه ۵۰٪ خواهد شد. در روی صفحهٔ سنجش مولتی‌متر به‌صورت خطّی از صفر تا ۱۰A را مدرّج می‌کنند.

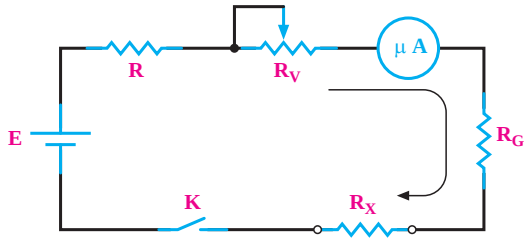
درصورتی که مولتی‌متر دارای دو رنج جریان زیاد باشد دو ترمینال جداگانه روی مولتی‌متر قرار می‌دهند. شکل ۲۲ــ۵ یک نمونه از این مولتی‌متر را که دارای دو رنج جریان زیاد است نشان می‌دهد.



شکل ۲۲ــ۵ــ آمپرمتر جریان زیاد با دو رنج ۶ و ۱۲ آمپر

۵ــ۱ــ۵ــ اهم‌متر سری : اگر در یک مدار سری که شامل یک باتری، تعدادی مقاومت‌های اهمی و یک گالوانومتر دآرسونوال است مقدار مقاومت اهمی مدار تغییر کند، جریان مدار تغییر نموده باعث تغییر انحراف عقربهٔ گالوانومتر خواهد شد. می‌توان رابطه‌ای بین تغییرات حرکت عقربهٔ گالوانومتر، برحسب تغییرات مقاومت اهمی پیدا کرد. در این صورت خواهیم توانست صفحهٔ مدرّج مولتی‌متر را برحسب مقاومت اهمی مدرّج نماییم.

اهم‌متر سری از یک گالوانومتر دآرسونوال، یک مقاومت ثابت، یک مقاومت متغیّر و یک منبع تشکیل شده است که همگی به‌صورت سری وصل شده‌اند. شکل ۲۳ــ۵ ساختمان سادهٔ یک اهم‌متر سری را نشان می‌دهد.



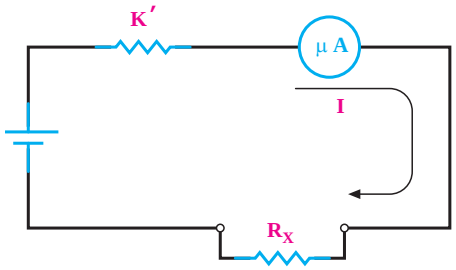
شکل ۲۳ــ۵ــ ساختمان یک اهم‌متر سری

مدار اهم‌متر عملی، اندکی با مدار شکل ۲۳ــ۵ تفاوت دارد. در مدار شکل ۲۳ــ۵ اگر $R_X=0$ (مقاومت مجهول) باشد حدّاکثر جریان از مدار عبور می‌کند. بنابراین با قرار دادن مقاومت R جریان مدار را در حدّ جریان گالوانومتر دآرسونوال ثابت می‌کنند (مثلاً حدود ۳۰μA). چون به مرور زمان مقدار ولتاژ منبع (باتری) تغییر می‌کند برای تنظیم جریان به میزان ۳۰μA مقدار R_V را (که مقاومتی متغیّر است و از روی پانل اهم‌متر

در دسترس است) کم می‌کنیم. به هر حال مقاومت R و R_V و R_G هر سه، نقش کنترل جریان را در مدار به عهده دارند. مثلاً اگر ولتاژ باتری ۱/۵ 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 ۱/۴ ولت باشد مقدار R_V را باید حدود ۳/۳ کیلواهم 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.

$$K' = R + R_V + R_G \qquad (۵ــ۱۰)$$

مدار اهم‌متر را به‌صورت ساده‌تر مطابق شکل ۲۴ــ۵ نمایش می‌دهیم :



شکل ۲۴ــ۵ــ مدار سادهٔ یک اهم‌متر سری

۲ــ۵ــ دستگاه اندازه‌گیری آهن نرم گردان

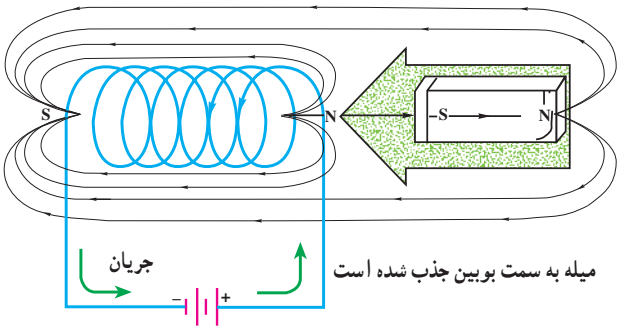
از این دستگاه بیشتر برای وسایل اندازه‌گیری تابلویی مانند ولت‌متر و آمپرمتر استفاده می‌شود. درجه‌بندی این نوع دستگاه به‌خودی خود خطی نیست ولی با تغییراتی که در ساختمان آن می‌دهند در محدوده‌ای از رنج اندازه‌گیری آن را تقریباً به‌صورت خطی درمی‌آورند. آمپرمتر شکل ۲۵ــ۵ از نوع آهن نرم‌گردان می‌باشد. به درجه‌بندی آن توجه نمایید.

شکل ۲۵ــ۵ــ یک نمونه آمپرمتر تابلویی

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

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

۱ــ۲ــ۵ــ جاذبهٔ الکترومغناطیسی : اگر یک میلهٔ آهنی نرم را در مجاورت یک سلونوئید (سیم‌پیچ) مغناطیسی قرار دهیم، ملاحظه می‌کنیم که میلهٔ آهنی مغناطیس شده و خطوط نیروی مغناطیسی در آن با خطوط مغناطیسی ناشی از سلونوئید هم‌جهت‌اند. بنابراین قطب‌های سلونوئید و میلهٔ آهنی که در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند ناهمنام خواهند بود. از آن‌جایی که قطب‌های مخالف یکدیگر را جذب می‌کنند، میلهٔ آهنی به‌طرف سلونوئید کشیده می‌شود. این پدیده اساس تشکیل دستگاه اندازه‌گیری با آهن گردان را به‌وجود می‌آورد که بعداً توضیح داده خواهد شد (شکل ۲۶ــ۵).



شکل ۲۶ــ۵ــ از آن‌جایی که قطب‌های ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند، میلهٔ آهنی که در شکل با پُلاریته نشان داده شده است مغناطیس شده و توسط سیم‌پیچ جذب می‌شود.

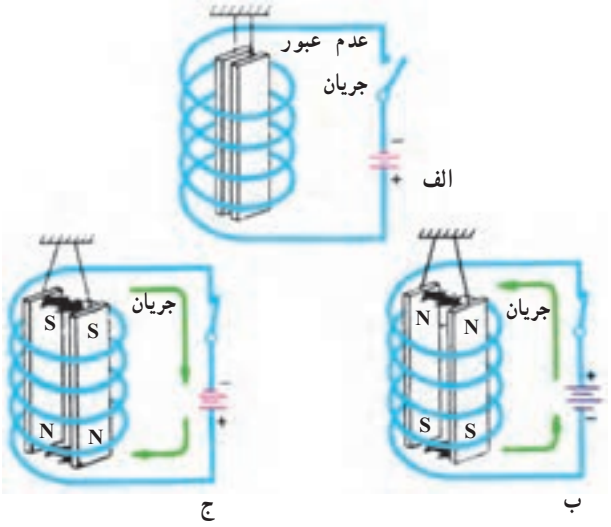
۲ــ۲ــ۵ــ دافعهٔ الکترومغناطیسی : حال اگر دو صفحهٔ آهنی نرم را در داخل یک سیم‌پیچ (سلونوئید) در مقابل یکدیگر قرار دهیم چه اتفاقی می‌افتد؟ با توجه به شکل ۲۷ــ۵ــ الف اگر کلید مدار بسته شود، هر دو صفحه با قطبیت یکسان مغناطیس می‌شوند. به همین علت قطب‌های همنام ایجاد شده و یکدیگر را دفع می‌کنند و درنتیجه دو صفحه از یکدیگر دور می‌شوند. حال اگر جهت جریان در سیم‌پیچ عوض شود چه اتفاقی می‌افتد؟

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

الف) با پره‌های شعاعی

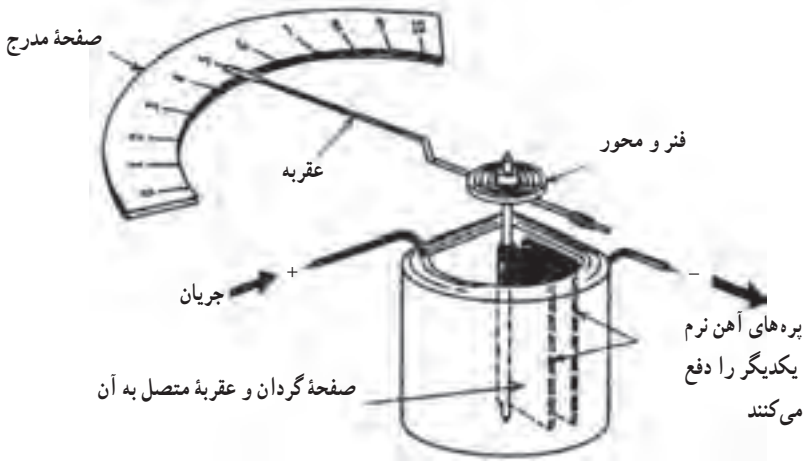
ب) با پره‌های متمرکز

ج) با هستهٔ متحرک



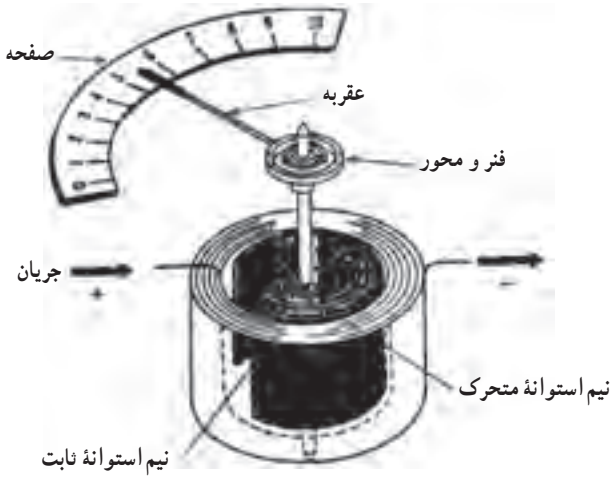
الف) در صورتی که مدار قطع باشد جریان مدار صفر است و هیچ میدان مغناطیسی ایجاد نخواهد شد.
ب) در اثر عبور جریان از بوبین هر دو صفحه پُلاریتهٔ همنام پیدا می‌کنند و یکدیگر را دفع می‌کنند.
ج) اگر جهت جریان را در شکل ب عوض کنیم با توجه به این‌که جای قطب‌های شمال و جنوب عوض می‌شود، باز هم صفحه‌ها یکدیگر را دفع می‌کنند.
شکل ۲۷ــ۵

الف) دستگاه اندازه‌گیری با پره‌های شعاعی : دستگاه اندازه‌گیری با پره‌های شعاعی به‌طور ساده از دو ورقهٔ مستطیلی شکل آهنی به‌نام پره تشکیل شده‌اند که در داخل یک بوبین قرار دارند. یکی از این پره‌ها ثابت و دیگری آزاد است تا بتواند از یک طرف به دور محور دوران کند و یک حرکت متغیر شعاعی انجام دهد. عقربهٔ دستگاه به پرهٔ دوار متصل است به‌طوری که وقتی که جریان از بوبین می‌گذرد میدان مغناطیسی هم‌جهتی در پره‌ها القا می‌شود و این باعث می‌شود که دو پره یکدیگر را دفع کنند و درنتیجه پرهٔ متحرک با عقربه‌اش مسافتی متناسب با شدت جریان دوران کند (شکل ۲۸ــ۵).



شکل ۲۸ــ۵ــ در این نوع دستگاه‌های اندازه‌گیری مقدار تعیین شده توسط عقربه بستگی به شدت دافعهٔ مغناطیسی بین دو صفحه دارد و این شدت دافعهٔ مغناطیسی خود بستگی به جریانی دارد که از داخل بوبین عبور می‌کند.

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 به‌صورت نیم‌استوانه هستند که یک پره به موازات پرهٔ دیگر و حول یک محور مشترک و طوری در داخل بوبین استوانه‌ای قرار گرفته‌اند که با عبور جریان از بوبین پرهٔ مرکزی (متحرک) حول محور خود نسبت به پرهٔ ثابت شروع به حرکت می‌کند و درنتیجه عقربهٔ دستگاه را همراه خود در طول صفحهٔ مدرج جابه‌جا می‌کند. مقدار این جابه‌جایی بستگی به جریان بوبین خواهد داشت (شکل ۲۹ــ۵).

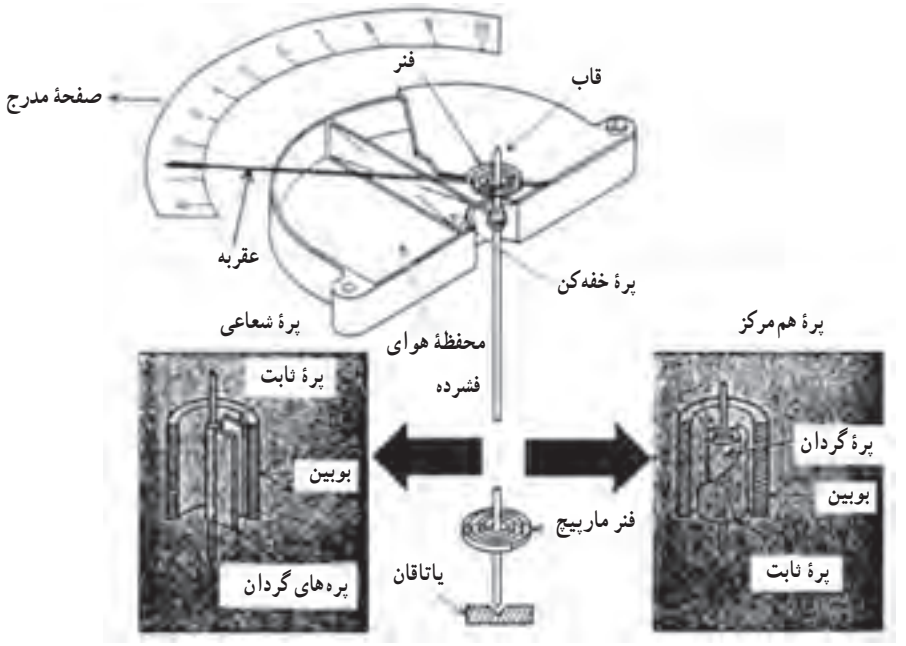


شکل ۲۹ــ۵ــ دافعهٔ مغناطیسی بین دو نیم‌استوانه باعث می‌شود که نیم‌استوانهٔ داخلی (متحرک) حول محور خود در داخل بوبین نسبت به نیم‌استوانه ساکن حرکت کند و توسط عقربه، مقدار موردنظر را روی صفحهٔ دستگاه نشان دهد.

معمولاً پرهٔ ثابت این نوع دستگاه‌ها را از یک طرف به شکل شیب‌دار می‌سازند تا هنگامی که جریان از بوبین می‌گذرد خطوط قوایی که دو پره را قطع می‌کنند به‌طور یکسان نباشند؛ بنابراین در پرهٔ متحرک خطوط قوا به‌صورت یکنواخت توزیع می‌شوند، چرا که ابعاد آن یکسان است، اما در پرهٔ ثابت به‌دلیل یکسان نبودن ابعاد، این خطوط یکنواخت نیستند و از لبهٔ مخروطی، خطوط قوای کمتری عبور خواهد کرد؛ زیرا در این قسمت مقاومت مغناطیسی (رلاکتانس) بیشتری وجود دارد (شکل ۳۰ــ۵).

شکل ۳۰ــ۵ــ پرهٔ ثابت از یک شیب برخوردار است تا یک میدان غیر یکنواخت بین دو پره به‌وجود آورد.

دستگاه‌های اندازه‌گیری با آهن گردان (پره‌ای و شعاعی) دارای قسمت‌های مشابه‌اند که در شکل ۳۱ــ۵ نشان داده شده است.



شکل ۳۱ــ۵ــ قطعات اصلی دستگاه اندازه‌گیری آهن‌گردان (پره‌ای و شعاعی) مانند دستگاه با بوبین متحرک، از خفه‌کن بادی، پیچ تنظیم صفر و فنر تشکیل می‌شود.

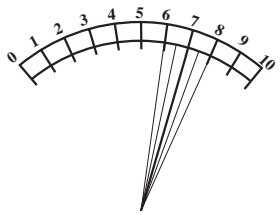
ج) دستگاه اندازه‌گیری با هستهٔ متحرک : این نوع دستگاه اندازه‌گیری از یک هستهٔ آهنی متحرک که قسمتی از آن در داخل یک بوبین ثابت قرار گرفته ساخته شده است. این هسته، به یک بازوی محوری متصل است که توسط آن به داخل و خارج بوبین حرکت می‌کند. عقربه‌ای نیز به محور چنان متصل است که با هستهٔ متحرک حرکت می‌کند. هنگامی که جریان از بوبین می‌گذرد، میدان مغناطیسی‌ای در بوبین ایجاد می‌شود و همان‌طوری که قبلاً گفتیم، این میدان باعث می‌شود که هستهٔ مغناطیسی شده به‌طرف داخل بوبین کشیده شود. مقدار مسافتی که این هسته به داخل بوبین حرکت می‌کند، به مقدار جریانی که از بوبین می‌گذرد نیز بستگی دارد. از آنجایی که عقربه به محور هسته متصل است مقدار حرکت آن بر صفحهٔ مدرج مقدار موردنظر را نشان خواهد داد (شکل ۳۲ــ۵).

شکل ۳۲ــ۵ــ دستگاه اندازه‌گیری با هستهٔ متحرک

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

۳ــ۲ــ۵ــ خفه‌کن‌ها (Dampers) : همان‌طوری که قبلاً

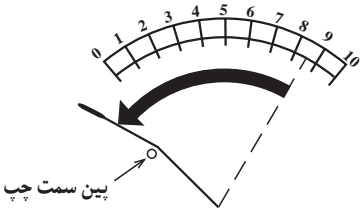
دیدید تمام قسمت‌های دوار دستگاه‌های اندازه‌گیری تا حد امکان سبک ساخته می‌شوند. بخصوص عقربهٔ دستگاه که هرچه سبک‌تر باشد نسبت به عبور جریان حساس‌تر خواهد بود. اما در مقابل این حساسیت نسبتاً زیاد، در موقع عبور جریان مشکلی بروز خواهد کرد که عبارت است از عدم تثبیت عقربه در موقع اندازه‌گیری؛ زیرا هنگامی که 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 ۳۳ــ۵).



شکل ۳۳ــ۵ــ عقربه، قبل از این‌که مقدار صحیح را نشان دهد چندین بار در طول آن نوسان می‌کند.

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

یکی دیگر از عملکردهای خفه‌کن این است که هنگام برگشت عقربه به سمت صفر، حرکت بازگشت آن را طوری تنظیم می‌کند تا با پین سمت چپ به شدت برخورد نکند، در غیر این صورت عقربه کج می‌شود و یا احتمالاً می‌شکند (شکل ۳۴ــ۵).



شکل ۳۴ــ۵ــ پس از قطع جریان ممکن است عقربه آن‌قدر سریع به سمت صفر حرکت کند که باعث برخورد خود با پین سمت چپ گردد.

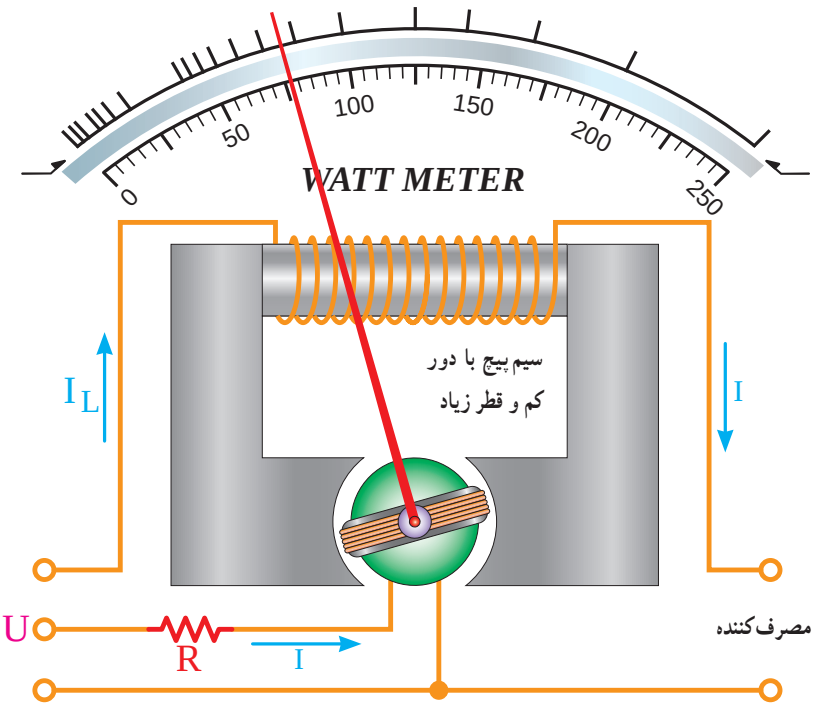
ساختمان این نوع خفه‌کن از یک پرهٔ متحرک و یک اتاقک بسته (شکل ۳۵ــ۵) تشکیل شده است، به‌طوری که محفظهٔ مسدود در محلی ثابت شده و پره بر روی محور دستگاه قرار گرفته است؛ در اثر حرکت و یا چرخش محور پره ثابت می‌شود و در داخل اتاقک حرکت می‌کند به‌طوری که هوای جلوی پره فشرده می‌شود و از سوراخ کوچکی که در دو سمت اتاقک قرار دارد به آرامی تخلیه و یا مکیده می‌شود. این عمل، از حرکات اضافی عقربه جلوگیری می‌کند و عقربه فوراً در جایگاه خود ثابت می‌ایستد.

شکل ۳۵ــ۵ــ حرکت محور باعث گردش عقربه و پره می‌شود. به‌تدریج که هوا در قسمت جلوی محفظه فشرده می‌شود عقربه با مانع برخورد می‌کند. این موضوع باعث کند شدن عقربه و درنتیجه کاهش نوسانات می‌شود.

۳ــ۵ــ ساختمان داخلی وات‌متر

ساختمان وات‌متر، شبیه گالوانومتر دآرسونوال می‌باشد، تنها اختلاف آن‌ها در آهن‌ربای دائمی است. اگر به‌جای آهن‌ربای دائمی در گالوانومتر دآرسونوال، یک سیم‌پیچ قرار دهیم، گالوانومتر دآرسونوال تبدیل به وات‌متر خواهد شد. بنابراین در این‌جا از ذکر جزئیّات دستگاه خودداری می‌کنیم زیرا در قسمت اول این فصل آن را به‌طور مفصّل مورد بحث قرار دادیم. ساختمان داخلی وات‌متر مطابق شکل ۳۶ــ۵ است.

حرکت عقربه، در شکل ۳۶ــ۵، نشان‌دهندهٔ مقدار توان مصرفی مصرف‌کننده‌ها می‌باشد.



شکل ۳۶ــ۵ــ ساختمان داخلی وات‌متر. ساختمان وات‌متر همان ساختمان گالوانومتر دآرسونوال است که فقط به‌جای آهن‌ربای دائمی، یک سیم پیچ با دور کم و قطر زیاد قرار گرفته است.

همان‌طور که از شکل ۳۶ــ۵ مشخّص است، وات‌متر دارای دو سیم‌پیچ است. یک سیم‌پیچ با دور کم و قطر زیاد که با جریان مصرف‌کننده به‌صورت سری و دیگری سیم‌پیچ گالوانومتر که همراه با یک مقاومت به‌صورت موازی با بار قرار می‌گیرد. بر روی صفحهٔ جلویی وات‌متر، ترمینال سیم‌پیچ جریان را با حرف I و ترمینال سیم‌پیچ ولتاژ را با حرف U مشخّص می‌نمایند.

۴ــ۵ــ مولتی‌متر دیجیتالی

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

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

دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتالی به‌دلیل نداشتن قطعات متحرک، از طول عمر بسیار بالایی (در صورت بکار بردن صحیح آن‌ها) برخوردار هستند و به عوامل فیزیکی همچون لرزش، درصد رطوبت، میزان تمیزی هوا حساس نیستند ضمن آن‌که با پیشرفت تکنولوژی الکترونیک دستگاه‌های ساخته شدهٔ امروزی بسیار دقیق‌تر هستند علاوه بر این بعضی از این دستگاه‌ها را می‌توان به کامپیوتر متصل کرد. در این حالت کامپیوتر می‌تواند مقادیر مورد اندازه‌گیری را با توجه به تنظیمات انجام شده در فواصل مختلف نشان دهد و ثبت کند. 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 ۳۷ــ۵ یک نمونه مولتی‌متر دیجیتالی را نشان می‌دهد.

شکل ۳۷ــ۵ــ یک نمونه مولتی‌متر دیجیتالی

قسمت اصلی یک مولتی‌متر دیجیتالی ولت‌متر DC است، و این همانند مولتی‌متر عقربه‌ای (آنالوگ) است چنان‌که می‌دانید، قسمت اصلی آن گالوانومتر دآرسونوال می‌باشد.

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

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

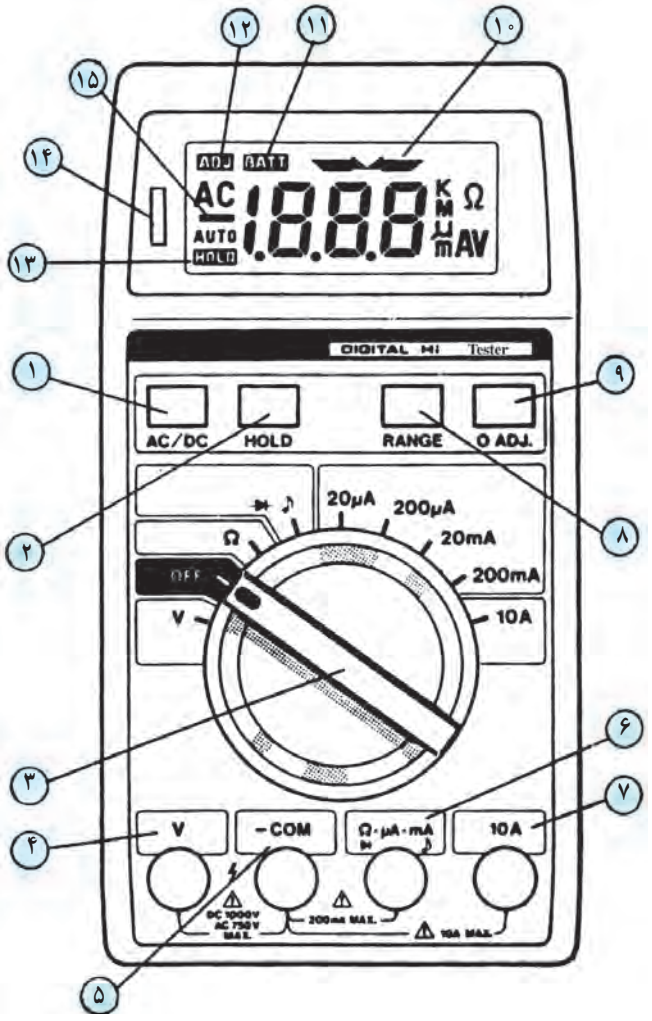
آمپرمترهای دیجیتالی معمولاً به‌صورت رنج اتوماتیک نیستند، بلکه با کلید سلکتور باید رنج مناسب را انتخاب نمود. درضمن چنانچه جریان مورد اندازه‌گیری AC باشد، بعد از کلید سلکتور توسّط یک‌سوکننده‌های الکترونیکی، ولتاژ افت داده شده در دو سر مقاومت‌ها ابتدا یک‌سو شده و سپس به ولت‌متر اعمال می‌شود. توسعهٔ رنج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

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

اکثر مولتی‌مترهای دیجیتالی، دارای رنج اتوماتیک، مجهّز به کلیدی هستند که می‌توانیم مولتی‌متر را از رنج اتوماتیک خارج کنیم و آن را به‌صورت دستی درآوریم.

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

در شکل ۳۸ــ۵، یک نمونه مولتی‌متر دیجیتالی آمده است که دکمه‌های پانل آن تشریح شده‌اند.



شکل ۳۸ــ۵ــ یک نمونه مولتی‌متر دیجیتالی

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

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

(۳) کلید سلکتور؛ اگر این کلید روی Off باشد، کلاً مولتی‌متر خاموش است و اگر روی V قرار گیرد، فقط قسمت ولت‌متر آن فعال است و می‌تواند ولتاژ DC یا AC را اندازه بگیرد. اگر کلید روی Ω قرار بگیرد، فقط قسمت اهم‌متر مولتی‌متر فعال خواهد بود و اگر روی علامت ⊣◀ قرار گیرد، در دو سر ترمینال مشترک و ترمینال ⊣◀ حدود ۱۵۰۰mV (که مقدار دقیق آن روی صفحهٔ نمایش نشان داده می‌شود) ولتاژ برقرار می‌شود. حال اگر دو ترمینال ⊣◀ و مشترک را به هم اتصال کوتاه کنیم، بوق مولتی‌متر صدا می‌دهد. بنابراین یکی از کاربردهای ⊣◀ می‌تواند نشان دادن اتصال دو نقطه به یکدیگر باشد (نشان‌دهندهٔ حالت پیوستگی). کاربرد دیگر آن، تست دیودهاست. چنانچه آند دیود را به ترمینال ⊣◀ و کاتد آن را به ترمینال Com وصل کنیم، در صورت سالم بودن دیود، اگر جنس آن از سیلیکون باشد صفحهٔ نمایش ولتاژی حدود ۵۰۰mV را نشان می‌دهد و چنانچه دیود از جنس ژرمانیوم باشد، حدود ۱۸۰mV روی صفحهٔ نمایش نشان داده می‌شود. اگر قطب‌های دیود را نسبت به حالت فوق معکوس کنیم، مولتی‌متر هیچ‌گونه واکنشی از خود نشان نمی‌دهد (به شرط سالم بودن دیود). اگر دیود سوخته باشد، دستگاه حالت اتصال کوتاه را نشان می‌دهد. به‌طور کلی اگر کلید سلکتور در حالت ⊣◀ باشد و دو سر سیم‌های رابط به هر عنصری که متصل باشد عدد نشان‌دهنده روی صفحهٔ نمایش، مقدار ولتاژ دو سر عنصر برحسب میلی‌ولت است. قسمت بعدی کلید سلکتور مربوط به آمپرمتر است. در حالت آمپرمتر، سیستم به‌صورت رنج اتوماتیک (AUTO RANGE) نیست، بلکه به‌صورت دستی است. اگر در هر یک از رنج‌های ۲۰μA ، ۲۰۰μA ، ۲۰mA و ۲۰۰mA،

جریانی بیشتر از این اعداد به مولتی‌متر اعمال کنیم، ضمن این‌که مولتی‌متر چیزی را نشان نمی‌دهد بیزر مولتی متر به علامت اضافه بار (Over Load) به صدا درمی‌آید. در تمامی رنج‌های فوق، جریان می‌تواند DC و یا AC باشد. و بالاخره ترمینال ۱۰A نیز برای اندازه‌گیری جریان‌های DC و AC از صفر تا ده آمپر به‌کار می‌رود. **توجه داشته باشید که در حالت ۱۰A ــ ۰ حداکثر یک دقیقه مجازید که آمپرمتر را در مدار قرار دهید.**

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

۵ ترمینال مشترک برای کلیهٔ اندازه‌گیری‌ها (ولتاژ، جریان، مقاومت اهمی و تست پیوستگی بین دو نقطه).

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

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

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

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

۱۰ این علامت، نشانهٔ متّصل بودن دو نقطه به یکدیگر است. چنانچه مقاومت اهمی دو نقطه زیاد نباشد و دو سیم رابط هنگامی که کلید سلکتور در حالت ⊣⋀⊢ قرار دارد با یک مقاومت نسبتاً کم به هم متّصل گردند، این علامت روی صفحهٔ نمایش ظاهر می‌گردد.

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

۱۲ اگر کلید ۹ (تنظیم صفر) را فشار دهیم این علامت روی صفحهٔ نمایش ظاهر می‌گردد.

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

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

۱۵ در هنگام اندازه‌گیری ولتاژ DC، اگر قطب مثبت ولتاژ به ترمینال ۴ و قطب منفی ولتاژ به ترمینال ۵ وصل شده باشد، این علامت را روی صفحهٔ نمایش نداریم ولی اگر قطب‌ها را برعکس کنیم، این علامت به نشانهٔ مثبت‌تر بودن ولتاژ ترمینال ۵ نسبت به ۴ روی صفحهٔ نمایش ظاهر می‌شود.

تشریحی توصیفی

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

صحیح یا غلط

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

کامل کردنی

۱۷ـ وات متر دارای دو سیم پیچ است. یک سیم پیچ با دور..... و قطر ..... که با جریان مصرف‌کننده به صورت ..... قرار می‌گیرد و سیم پیچ دیگر همراه با یک مقاومت به‌صورت ..... با بار قرار می‌گیرد.

چهار گزینه‌ای

۱۸ـ اگر یک گالوانومتر دارای حساسیت $۵۰ \frac{k\Omega}{V}$ باشد. جریان انحراف کامل آن چند میکروآمپر است؟
۱ـ ۰/۰۲ ۲ـ ۰/۰۵ ۳ـ ۲۰ ۴ـ ۵۰

۱۹ـ در ولت متر دیجیتالی برای ضبط مقادیر خوانده شده از کدام کلید استفاده می‌شود؟
۱ـ Auto Range ۲ـ Over Load ۳ـ BATT ۴ـ Hold