

## آزمایش شماره ۳

## ساخت ولت‌متر و آمپر‌متر با گالوانومتر

## اهداف

- آشنایی با ساختمان و طرز کار گالوانومتر
- طراحی و ساخت آمپر‌متر با قابلیت اندازه‌گیری  $N$  برابر جریان گالوانومتر
- طراحی و ساخت ولت‌متر با قابلیت اندازه‌گیری  $N$  برابر ولتاژ گالوانومتر

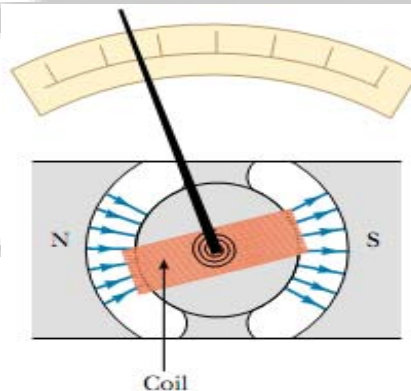
## وسایل مورد نیاز

گالوانومتر، منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، مولتی‌متر، جعبه مقاومت متغیر و سیم‌های رابط.

## زمینه نظری آزمایش

## الف) گالوانومتر

گالوانومتر (جریان مستقیم) ابزاری الکترومکانیکی برای اندازه‌گیری جریان‌های کم در حدود میکروآمپر است. این وسیله به‌طور سری در مدار قرار می‌گیرد و به تنهایی قادر به نمایش جریان در دو جهت مخالف است. درجه‌بندی صفحه آن به گونه‌ای است که صفر درجه‌بندی در وسط بوده که هم شامل درجات مثبت و هم درجات منفی است. قسمت عمده ساختمان این دستگاه شامل یک آهنربای دائمی و یک سیم‌پیچ متحرک به شکل قاب با هسته فرومغناطیس است که به دو فنر مارپیچ و یک عقربه متصل است (مطابق شکل ۱). در اثر عبور جریان از سیم‌پیچ میدان مغناطیسی در قاب تولید می‌شود و تحت تأثیر میدان مغناطیسی خارجی ناشی از آهنربای دائمی گشتاوری بر آن وارد می‌شود که موجب انحرافات قاب می‌گردد.



شکل (۱): نمای کلی یک گالوانومتر با قاب متحرک.

هر چه جریان عبوری بیشتر باشد مقدار گشتاور بیشتر بوده و قاب به مقدار بیشتری منحرف خواهد شد. بردار گشتاور ( $\vec{\tau}$ ) برابر است با:

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} \quad (1)$$

در این رابطه  $\vec{B}$  بردار میدان مغناطیسی و  $\vec{\mu}$  بردار گشتاور دوقطبی مغناطیسی قاب است که اندازه آن برابر است با:

$$|\vec{\mu}| = \mu = NIA \quad (۲)$$

که در رابطه بالا N تعداد دورهای سیم پیچ، A سطح مقطع قاب و I جریان عبوری از آن است و در نتیجه مقدار گشتاور از رابطه زیر به دست می آید:

$$|\vec{\tau}| = \tau = NIAB \sin \theta \quad (۳)$$

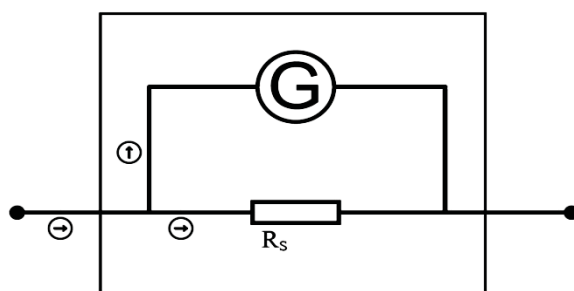
که  $\theta$  زاویه بین خط عمود بر سطح قاب و میدان مغناطیسی خارجی است. در حالتی که  $(\theta = 90^\circ)$  باشد گشتاور وارده بیشینه و نهایتاً حساسیت آن بیشتر خواهد بود. برای این منظور هسته قاب و همچنین فضایی که قاب در آن قرار می گیرد را نیز به شکل استوانه می سازند تا با تولید میدان شعاعی،  $\vec{B}$  و  $\vec{\mu}$  برهم عمود باشند  $(\theta = 0^\circ)$ . وجود دو فنر در دو انتهای میله ای که به قاب متصل است موجب برگرداندن عقربه به وضعیت اولیه می گردد. در حالیکه جریان از دستگاه عبور می کند گشتاور پیچشی این فنرها با گشتاور خارجی در تعادل است که گشتاور پیچشی فنر برابر است با  $\tau = -K\theta$  که K ثابت پیچشی و  $\theta$  زاویه پیچش است. با مساوی قرار دادن این دو گشتاور به دست می آید:

$$K\theta = NIAB \Rightarrow I = \frac{K}{NAB} \theta \Rightarrow I \propto \theta \quad (۴)$$

در نتیجه میزان انحراف قاب ( $\theta$ ) متناسب با جریان عبوری از آن است که می توان گالوانومتر را بر اساس آن درجه بندی کرد. مقاومت درونی گالوانومتر ایده آل صفر است اما در عمل، هر گالوانومتری به خاطر ساختار درونی اش (مقاومت سیم پیچ ها) دارای مقاومت داخلی ( $R_G$ ) است.

### ب) آمپر متر

قسمت عمده ساختمان داخلی آمپر متر شبیه گالوانومتر است و مانند آن به طور سری در مدار قرار می گیرد. تفاوت بین آمپر متر و گالوانومتر در دو مورد است. یکی درجه بندی آن متفاوت است و دیگری انحراف عقربه در یک جهت صورت می گیرد. همچنین آمپر متر برای اندازه گیری جریان های مختلف طراحی می شود. برای تبدیل گالوانومتر به آمپر متر یک مقاومت کوچک ( $R_S$  در مقایسه با مقاومت داخلی گالوانومتر) با آن به طور موازی قرار می گیرد تا قسمت عمده جریان از  $R_S$  عبور کند.



شکل (۲): مدار داخلی آمپر متر.

اگر گالوانومتر در حالت عادی جریان  $I_G$  را نشان دهد و بخواهیم با استفاده از آمپر متر جریانی معادل N برابر  $I_G$  ( $I' = NI_G$ ) را اندازه گیری کنیم باید مقاومت  $R_S$  را با گالوانومتر به صورت موازی قرار دهیم تا جریان  $I_G$  از گالوانومتر و بقیه ای آن از مقاومت  $R_S$  بگذرد. اگر جریان عبوری از  $R_S$ ،  $I_S$  در نظر گرفته شود:

$$I_S = I' - I_G = NI_G - I_G = (N-1)I_G \quad (5)$$

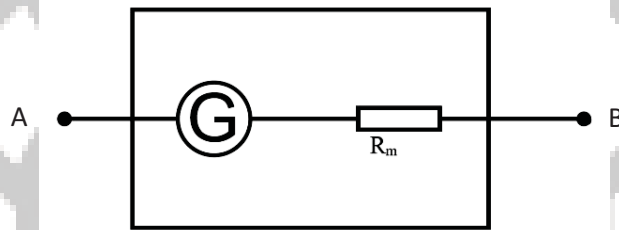
و از آنجا که ولتاژ دو مقاومت برابر است  $I_S R_S = I_G R_G$  در نتیجه داریم:

$$R_S = \frac{I_G R_G}{I_S} \Rightarrow R_S = \frac{R_G}{N-1} \rightarrow N = \frac{R_G}{R_S} + 1 \quad (6)$$

با توجه به اینکه  $N$  عدد بزرگی است مقاومتی که موازی بسته می‌شود کوچک است. در نتیجه مقاومت درونی آمپر متر کم است.

### ج) ولت‌متر

با سری کردن یک مقاومت بزرگ  $R_m$  با سیم‌پیچ گالوانومتر یک ولت‌متر ساخته می‌شود (شکل ۳). سری کردن یک مقاومت بزرگ با گالوانومتر موجب می‌شود که جریان کمتری از دستگاه بگذرد و تأثیر آن روی مدار ناچیز باشد. ولت‌متر همواره به‌طور موازی با عنصر مداری در مدار قرار می‌گیرد.



شکل (۳): مدار داخلی ولت‌متر.

اگر مقاومت داخلی گالوانومتر  $R_G$  باشد و بتواند تا ولتاژ  $V_G = R_G I_G$  را اندازه بگیرد برای تبدیل آن به یک ولت‌متر که بتواند تا ولتاژ  $V' = NV_G$  را اندازه بگیرد باید مقاومت  $R_m$  را به‌صورت سری با گالوانومتر قرار داد تا جریان  $I_G$  از آن‌ها عبور کند. در این صورت با استفاده از قانون دوم کیرشهف به‌دست می‌آید:

$$V_{AB} = R_G I_G + R_m I_G \Rightarrow R_m = (N-1)R_G \rightarrow N = \frac{R_m}{R_G} + 1 \quad (7)$$

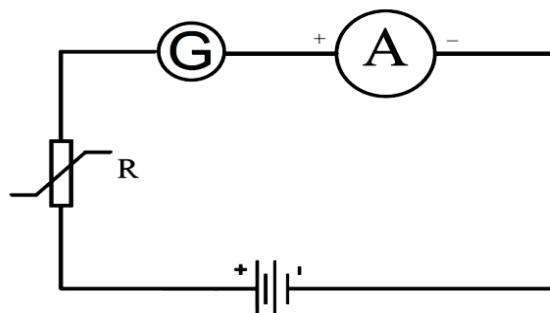
$$V_{AB} = NV_G = NR_G I_G$$

با توجه به اینکه  $N$  عدد بزرگی است مقاومتی که به‌صورت سری با گالوانومتر بسته می‌شود، بزرگ است. در نتیجه مقاومت درونی ولت‌متر زیاد است.

## نحوه انجام آزمایش

## الف) تعیین مقاومت درونی گالوانومتر

(۱) ابتدا گالوانومتر، جعبه مقاومت متغیر، منبع تغذیه و آمپرتر را مطابق شکل زیر به صورت سری به یکدیگر متصل کنید.



شکل (۴): مدار اندازه‌گیری جریان بیشینه گالوانومتر.

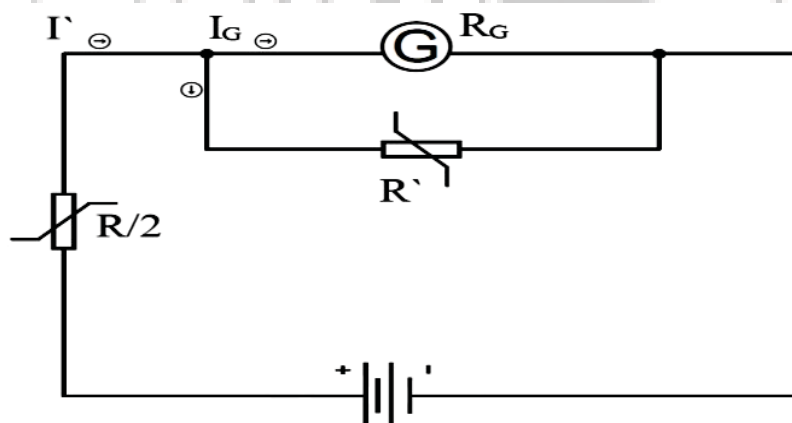
(۲) مقدار اهمی جعبه مقاومت  $R$  را ۲۰ کیلو اهم تنظیم کنید و ولتاژ منبع تغذیه را صفر کنید و آمپرتر را روی رنج میکرو-آمپر قرار دهید.

(۳) با روشن نمودن منبع تغذیه و افزایش ولتاژ، تغییرات عقربه گالوانومتر را مشاهده نمایید.

(۴) ولتاژ را زیاد کنید تا عقربه در حالت بیشینه انحراف قرار بگیرد. سپس جریان آمپرتر را یادداشت کنید.

$$I_G \pm \Delta I_G = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots (\mu A)$$

(۵) برای تعیین مقاومت درونی گالوانومتر، ابتدا جعبه مقاومت متغیر دیگری ( $R'$ ) را با گالوانومتر موازی کنید و مقدار مقاومت جعبه مقاومت اولی را نصف کنید. سپس مقاومت  $R'$  را آنقدر تغییر دهید تا جریانی که از گالوانومتر عبور می‌کند دقیقاً برابر حالت قبل شود. در این صورت  $R_G \cong R'$  خواهد بود. چرا؟

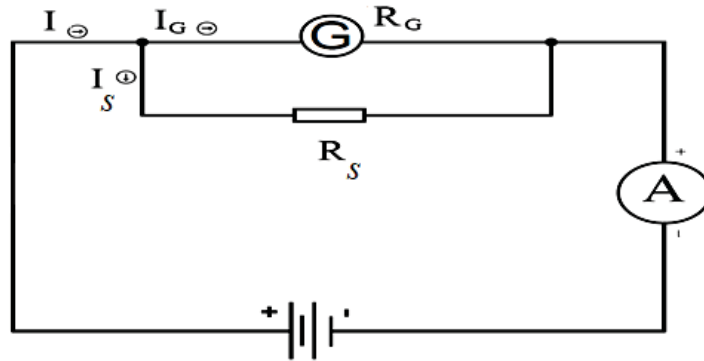


شکل (۵): مدار اندازه‌گیری مقاومت درونی گالوانومتر.

$$R_G \pm \Delta R_G = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots (\Omega)$$

(ب) تبدیل گالوانومتر به آمپرمتر

(۱) برای ساخت آمپرمتر ابتدا باید مقدار  $N$  انتخاب و سپس  $R_S$  محاسبه شود. ولی از آنجا که هر مقدار اهمی مقاومت در آزمایشگاه موجود نیست محاسبات از آخر به اول انجام می‌شود. یعنی ابتدا  $R_S$  معلوم انتخاب می‌شود و سپس  $N$  به دست می‌آید و در نهایت  $I'$  محاسبه می‌گردد و آزمایش با آن مقاومت انجام می‌شود. با استفاده از جعبه مقاومت، گالوانومتر، آمپرمتر و منبع تغذیه ولتاژ مستقیم مدار شکل زیر را ببندید. مقاومت  $R_S$  را حدود چند اهم تنظیم کنید و محاسبات جدول زیر را تکمیل کنید ( $P$  حداکثر تعداد تقسیمات گالوانومتر است).



شکل (۶): مدار اندازه‌گیری جریان آمپرمتر.

|                |                |   |                           |                                     |  |
|----------------|----------------|---|---------------------------|-------------------------------------|--|
| $R_S (\Omega)$ | $R_G (\Omega)$ | مقیاس گالوانومتر<br>$i = \frac{I_G}{p}$ | $N = \frac{R_G}{R_S} + 1$ | جریان بیشینه<br>$I' = N \times I_G$ | مقیاس جدید آمپرمتر<br>$i' = N \times i = \frac{I'}{p}$ |
|                |                |   |                           |                                     |  |

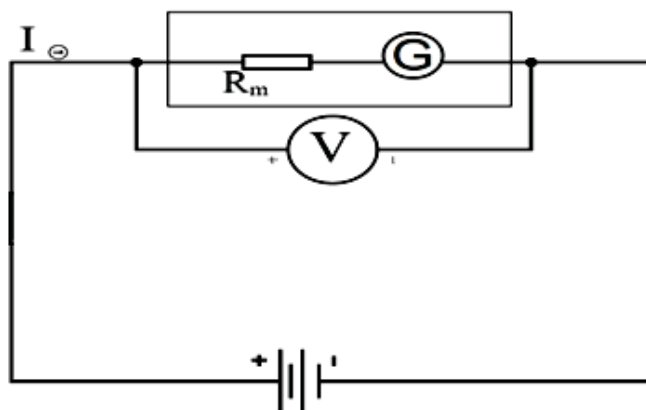
(۲) با تغییر ولتاژ منبع تغذیه عقربه‌ی گالوانومتر منحرف می‌شود به ازای انحراف‌های مختلف، جریان آمپرمتر را در جدول ذیل یادداشت کرده و با جریان محاسبه شده مقایسه کنید. در صورت اختلاف نتایج، علت آن را بیان کنید.

|  |   |   |    |    |    |    |    |
|--|---|---|----|----|----|----|----|
| میزان انحراف عقربه گالوانومتر<br>$K$           | ۴ | ۹ | ۱۳ | ۱۷ | ۲۳ | ۲۷ | ۳۰ |
| $I_{Th} (A) = i' \times K$                     |   |   |    |    |    |    |    |
| $I_{Exp} (A)$                                  |   |   |    |    |    |    |    |
| $\frac{ I_{Th} - I_{Exp} }{I_{Th}} \times 100$ |   |   |    |    |    |    |    |

(ج) تبدیل گالوانومتر به ولت‌متر

همانند آزمایش قبل ابتدا مقاومت را انتخاب و پس از انجام محاسبات آزمایش را انجام دهید.

(۱) ابتدا مدار شکل زیر را ببندید و مقاومت  $R_m$  را حدود ۲۰ کیلو اهم تنظیم کنید و محاسبات جدول زیر را تکمیل کنید. ( $P$  حداکثر تعداد تقسیمات گالوانومتر است).



شکل (۷): مدار اندازه‌گیری جریان آمپر متر.

| $R_m (\Omega)$ | $R_G (\Omega)$ | مقیاس گالوانومتر<br>$v = \frac{V_G}{p} = \frac{R_G I_G}{p}$ | $N = \frac{R_m}{R_G} + 1$ | ولتاژ بیشینه<br>$V' = N \times V_G$ | مقیاس جدید ولت‌متر<br>$v' = N \times v = \frac{V'}{p}$ |
|----------------|----------------|---|---------------------------|-------------------------------------|--|
|                |                |   |                           |                                     |  |

(۲) با تغییر ولتاژ منبع تغذیه عقربه‌ی گالوانومتر منحرف می‌شود به ازای انحراف‌های مختلف، ولتاژ ولت‌متر را در جدول ذیل یادداشت کرده و با ولتاژ محاسبه شده مقایسه کنید. در صورت اختلاف نتایج، علت آن را بیان کنید.

|  |   |   |    |    |    |    |    |
|--|---|---|----|----|----|----|----|
| میزان انحراف عقربه گالوانومتر<br>K             | ۴ | ۹ | ۱۳ | ۱۷ | ۲۳ | ۲۷ | ۳۰ |
| $V_{Th} (V) = v' \times K$                     |   |   |    |    |    |    |    |
| $V_{Exp} (V)$                                  |   |   |    |    |    |    |    |
| $\frac{ V_{Th} - V_{Exp} }{V_{Th}} \times 100$ |   |   |    |    |    |    |    |

## تکالیف

- اگر بخواهیم آزمایش را دقیق‌تر انجام دهیم باید ضریب تصحیح را برای آن به‌دست آوریم یعنی به ازای یک جریان کوچک-تر از جریان بیشینه گالوانومتر، ضریب تصحیح با محاسبه نسبت جریان خوانده شده به جریان واقعی، به‌دست می‌آید. با محاسبه ضریب تصحیح آزمایش اول را تکرار نمائید.
- چگونه می‌توان با گالوانومتر اهم‌متر ساخت و مدرج نمود؟
- مفهوم حساسیت در گالوانومتر چیست؟
- مقدار مقاومت  $R_s$  را برای آمپرمتری که بتواند حداکثر ۵ آمپر را اندازه‌گیری کند، محاسبه کنید.
- مقدار مقاومت  $R_m$  را برای ولت‌متری که بتواند حداکثر ۲۲۰ ولت را اندازه‌گیری کند، محاسبه کنید.