

گزارش کار آزمایشگاه فیزیک (۲) الکتریسیته

آزمایش شماره ۱

وسایل اندازه‌گیری - مقاومت

به نام خدا

تئوری آزمایش و هدف

اگر دو جسم با پتانسیل‌های الکتریکی نابرابر را به هم وصل کنیم، به دلیل این «اختلاف پتانسیل»، بارهای الکتریکی، از جسم با پتانسیل بیشتر، به سوی جسم با پتانسیل کمتر جاری می‌شوند؛ این حرکت الکترون‌ها، سبب ایجاد «جریان الکتریکی» در مدار می‌شود. بدین روش، این دو جسم، هم‌پتانسیل می‌شوند و انرژی آنها کاهش می‌یابد.

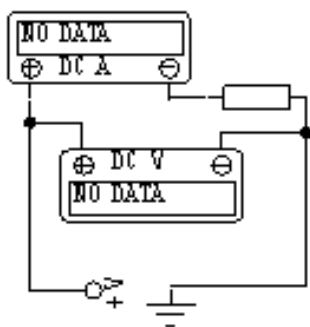
با توجه به گفتار بالا، آشکار است که پس از هم‌پتانسیل شدن دو جسم، حرکت الکترون‌ها متوقف شده و جریان الکتریکی صفر می‌شود. اما، اگر بخواهیم این جریان هم‌چنان برقرار بماند، باید با دستگاهی، اختلاف پتانسیل دو جسم را حفظ کنیم؛ دستگاهی که این کار را انجام می‌دهد، «منبع (تغذیه)» نام دارد. پس، به گفتار دیگر، منبع تغذیه، با مصرف انرژی، بارها را در خلاف جهت تمایلشان جابجا می‌کند.

پس «اختلاف پتانسیل» و «جریان» دو پارامتر اساسی یک مدار الکتریکی می‌باشند؛ که می‌توان آنها را اندازه‌گیری کرد و بدست آورد. اما، لازم به یادآوری است که در بیشتر دستگاه‌های مورد استفاده ما، مقدار جریان آشکار نمی‌باشد؛ اما، می‌توان آن را به راحتی از رابطه‌ی $P = VI$ بدست آورد؛ چراکه در دستگاه‌های ما، V و P آشکار هستند. در رابطه‌ی بالا، I (شدت جریان)، برحسب آمپر (A)، V (اختلاف پتانسیل)، برحسب ولت (v) و P (توان)، برحسب وات (W) می‌باشد.

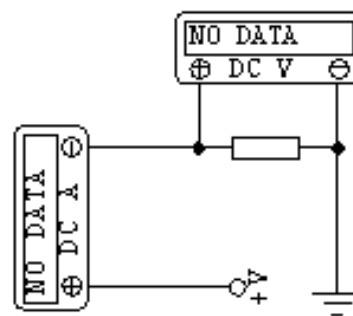
در این آزمایش، هدف ما بدست آوردن مقدارهای V و I و رابطه‌ی بین آنها، در یک مدار الکتریکی است؛ که از یک مقاومت ساخته شده است. لازم به یادآوری، است که طبق قانون اهم، در یک مقاومت اهمی (مقاومت خطی)، نسبت $\frac{V}{I}$ همواره مقدار ثابتی است؛ که آن را مقاومت الکتریکی می‌نامند و با R نمایش می‌دهند و یکای آن اهم (Ω) می‌باشد.

شرح آزمایش

برای اجرای این آزمایش از سه مقاومت با مقادیر بزرگ، میانه و کوچک استفاده شده است. روش بستن مدار به این صورت می‌باشد:



مدار ۲: برای مقاومت‌های زیاد



مدار ۱: برای مقاومت‌های کم

از مدار ۱، برای اندازه‌گیری مقاومت‌هایی با مقدارهای کم و از مدار ۲، برای مقاومت‌هایی با مقدارهای بزرگ بهره‌گرفته می‌شود. این کار را برای کاهش خطای اندازه‌گیری انجام می‌دهیم. چنان‌که می‌دانیم برای اندازه‌گیری

جریان، باید جریان از درون یک آمپرسنج عبور کند؛ به همین دلیل، باید آمپرسنج، سری با مصرف‌کننده قرار بگیرد. در حالت ایده‌آل، باید مقاومت درونی آمپرسنج، صفر باشد؛ در غیر این صورت، مقاومت درونی آمپرسنج، با مقاومت مصرف‌کننده، سری می‌شوند و سبب تغییر جریان عبوری از مدار می‌شود و بدین روی، خطای اندازه‌گیری را افزایش می‌دهد. برای اندازه‌گیری ولتاژ نیز، در حالت ایده‌آل، باید مقاومت درونی ولت‌سنج بی‌نهایت باشد؛ چراکه در غیر این صورت، مقاومت ولت‌سنج با مصرف‌کننده موازی می‌شود و جریان مدار، نسبت به مقدار اصلی تغییر می‌کند.

در مدار ۱، مقدار ولتاژ نمایش داده‌شده ولت‌سنج، برابر ولتاژ دو سر مقاومت است؛ البته با در نظر گرفتن خطای اندازه‌گیری ولت‌سنج. اما، در مورد جریان، با «خطایی سیستماتیک» روبرو می‌شویم. فرض کنیم مقاومت درونی ولت‌سنج $100 \text{ Meg } \Omega$ باشد؛ اکنون، اگر بخواهیم جریان گذرنده از یک مقاومت 100Ω را با این مدار اندازه بگیریم، از جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد تنها، $\frac{1}{100}$ این مقدار از ولت‌سنج می‌گذرد و بقیه از مقاومت عبور می‌کند؛ پس، مقدار اندازه‌گیری شده بسیار نزدیک به مقدار واقعی می‌باشد. حال اگر یک مقاومت $2 \text{ Meg } \Omega$ را با این مدار اندازه بگیریم، چیزی برابر $\frac{1}{50}$ مقدار نمایش داده‌شده برای جریان، از ولت‌سنج می‌گذرد؛ یعنی خطای اندازه‌گیری ما در حدود $2/0$ درصد می‌شود؛ که با افزایش مقدار مقاومت و کاهش مقاومت درونی ولت‌سنج، این خطا، بسیار افزایش می‌یابد.

بنابراین، برای اندازه‌گیری جریان گذرنده از مقاومت‌های زیاد در مدار ۱، دچار خطای بسیار بالایی سیستماتیک می‌شویم. برای جلوگیری از این خطا، در مقاومت‌های زیاد، از مدار ۲ بهره‌می‌بریم. اما، در مدار ۲، برای اندازه‌گیری ولتاژ، به خطای سیستماتیک دچار می‌شویم. اگر مقاومت درونی آمپرسنج را $10 \text{ m}\Omega$ فرض کنیم، در اندازه‌گیری ولتاژ یک مقاومت $2 \text{ Meg } \Omega$ ، ولتاژی که در آمپرسنج کاسته می‌شود، $10^{-8} \times 0.5$ برابر مقداری است که در مقاومت کم می‌شود؛ پس، این مقدار بسیار نزدیک به مقدار واقعی ولتاژ خواهد بود. اکنون، اگر بخواهیم ولتاژ یک مقاومت 50Ω را با این مدار اندازه بگیریم، با خطایی در حدود 2×10^{-4} روبرو می‌شویم؛ که البته، با کاهش مقاومت و افزایش مقاومت درونی آمپرسنج، این خطا، بسیار افزایش می‌یابد. البته، در این روش، در اندازه‌گیری جریان، دچار خطای سیستماتیک نمی‌شویم.

از گفته‌های بالا، می‌توان دریافت، برای کاهش خطا در اندازه‌گیری، باید، برای مقاومت‌های کم، از مدار ۱ و برای مقاومت‌های زیاد، از مدار ۲، بهره‌بریم.

نکته‌ها

- برای جلوگیری از آسیب دیدن مقاومت‌ها، باید، با توجه به توان مقاومت، از اعمال ولتاژ نامناسب به آن بپرهیزیم. همان‌گونه که می‌دانیم، $P=VI$ و $R = \frac{V}{I}$ ؛ پس، $P = \frac{V^2}{R}$. با این رابطه، با در دست داشتن مقدار مقاومت، با بهره‌گیری از نوارهای رنگی، به آسانی، می‌توان ولتاژ مناسب را برگزید.

- در این آزمایش، توان مقاومت‌های مورد استفاده‌ی ما $\frac{1}{4} W$ است.
- برای دانستن مقدار اسمی مقاومت‌ها، باید نوارهای رنگی آنها را با توجه به جدول مربوطه خواند.
- در اندازه‌گیری‌ها باید توجه کرد، اگر آمپرسنج، برای نمونه، عدد ۵/۱۲ را نمایش دهد و گستره‌ی آمپرسنج (Range)، بر روی $200 \mu A$ باشد، مقدار شدت جریان برابر $5/12 \mu A$ است.
- بهتر است پیش از بستن مدار، در صورت روشن بودن سرچشمه، پتانسیومتر ولتاژ را روی صفر قرار دهیم؛ تا در صورت اتصال کوتاه ناگهانی دو سر سرچشمه، از آسیب رسیدن به آن یا سوختن فیوز آن جلوگیری شود.
- از آنجا که ما در اینجا به محدودکننده‌ی جریان سرچشمه نیاز نداریم، محدودکننده‌ی جریان را کاملاً باز می‌کنیم.
- در بستن مدار، باید دقت کرد که ورودی ولت‌سنج و آمپرسنج مولتی‌متر متفاوت است و باید در بستن آنها دقت کرد.
- در اندازه‌گیری‌ها باید به گستره‌ی اندازه‌گیری (Range) دستگاه توجه کرد. برای اندازه‌گیری‌ها، ما نیاز به سه رقم داریم؛ برای نمونه، اگر ولتاژ نشان داده شده توسط ولت‌سنج ۰/۰۲ باشد، بهتر است، گستره‌ی اندازه‌گیری ولت‌سنج را به گونه‌ای قرار دهیم که این رقم، برای نمونه، ۲/۶۵ شود و بدین روش، دقت اندازه‌گیری مناسب شود. نکته‌ی دیگری که در اندازه‌گیری‌ها باید توجه شود، این است که اگر، مولتی‌متر، نماد 1 را نمایش داد، به معنای سرریز شدن گستره (OverRange) است و باید گستره مناسبی را برگزید.

داده‌ها و محاسبات

مقاومت ۳		مقاومت ۲		مقاومت ۱			
قهوه‌ای - سیاه - زرد - ط:		قهوه‌ای - سیاه - نارنجی - ط:		قرمز - بنفش - سیاه - ط:			
$100 k\Omega$		$10 k\Omega$ (۴)		27Ω			
$3/46$		$1/63$		$1/63$		ولتاژ (V)	مدار ۱
$23/5$	μA	$15/73$	mA	$58/4$	mA	جریان	
$2/60$		$1/89$		$2/36$		ولتاژ (V)	مدار ۲
$25/1$	μA	$16/3$	mA	$64/6$	mA	جریان	

$$*R_{1 \text{ مدار ۱}} = \frac{V_{1 \text{ مدار ۱}}}{I_{1 \text{ مدار ۱}}} = \frac{1/63}{58/4 \times 10^{-3}} = 27/91$$

$$R_{1 \text{ مدار ۲}} = \frac{V_{1 \text{ مدار ۲}}}{I_{1 \text{ مدار ۲}}} = \frac{2/36}{64/6 \times 10^{-3}} = 36/53$$

$$R_{2 \text{ مدار ۱}} = \frac{V_{2 \text{ مدار ۱}}}{I_{2 \text{ مدار ۱}}} = \frac{1/63}{15/73 \times 10^{-3}} = 103/62$$

$$*R_{2 \text{ مدار ۲}} = \frac{V_{2 \text{ مدار ۲}}}{I_{2 \text{ مدار ۲}}} = \frac{1/89}{16/3 \times 10^{-3}} = 115/95$$

$$R_{\text{مدار ۳۱}} = \frac{V_{\text{مدار ۳۱}}}{I_{\text{مدار ۳۱}}} = \frac{۳/۴۶}{۲۳/۵ \times 10^{-۶}} = ۱۴۷/۲۳۴ \times 10^۳$$

$$*R_{\text{مدار ۳۲}} = \frac{V_{\text{مدار ۳۲}}}{I_{\text{مدار ۳۲}}} = \frac{۲/۶۰}{۲۵/۱ \times 10^{-۶}} = ۱۰۳/۵۸۵ \times 10^۳$$

*. ستاره‌دارها، با توجه به اندازه‌ی مقاومت‌ها، بهترین پاسخ هستند.

خطاها و مقدارهای واقعی مقاومت‌ها

می‌دانیم که خطای نسبی، یعنی، $\frac{\Delta R}{R}$ و داریم:

$$R = \frac{V}{I} \xrightarrow{\log} \log R = \log V - \log I \xrightarrow{\text{مشتق}} \frac{dR}{R} = \frac{dV}{V} - \frac{dI}{I}$$

باید مقدار ریاضی d را، به مقدار فیزیکی Δ تبدیل کنیم و برای خطای R داریم:

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 = \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2$$

و بدین روش برای مقدار واقعی مقاومت‌ها نیز داریم:

$$R_{\text{واقعی}} = R \pm \Delta R$$

خطای ولت‌سنج و آمپرسنج ما ۰.۲٪ است؛ بنابراین، برای مقاومت‌های بالا، با در نظر گرفتن مدار مناسب با توجه به اندازه‌ی مقاومت، داریم:

$$\frac{\Delta R}{R} = \sqrt{0.02^2 + 0.02^2} = 0.028$$

$$\Delta R_1 = 0.028 \times 270 = 7.56$$

$$R_1 = 270 \pm 7.56 \Omega$$

$$\Delta R_2 = 0.028 \times ? = ?$$

$$R_2 = 115/95 \pm ? \Omega$$

$$\Delta R_3 = 0.028 \times 10^5 = 2800$$

$$R_3 = 100000 \pm 2800 \Omega$$

پاسخ پرسش‌ها

۱- در بخش « داده‌ها و محاسبه‌ها » ی متن انجام شده است.

۲- در بخش « خطاها و مقدارهای واقعی مقاومت‌ها » ی متن انجام شده است.

۳- در حالت ایده‌آل، باید مقاومت درونی آمپرسنج، صفر باشد؛ در غیر این صورت، مقاومت درونی آمپرسنج، با مقاومت مصرف‌کننده، سری می‌شوند و سبب تغییر جریان عبوری از مدار می‌شود و بدین روی، خطای اندازه‌گیری را افزایش می‌دهد. برای اندازه‌گیری ولتاژ نیز، در حالت ایده‌آل، باید مقاومت درونی ولت‌سنج بی‌نهایت باشد؛ چراکه در غیر این صورت، مقاومت ولت‌سنج با مصرف‌کننده موازی می‌شود و جریان مدار، نسبت به مقدار اصلی تغییر می‌کند. (بخش « شرح آزمایش » متن)

۴- در مدار ۱، خطای سیستماتیک، بر اندازه‌گیری مقاومت‌های بزرگ، تأثیر بیشتری می‌گذارد؛ چراکه، در مدار ۱، مقدار ولتاژ نمایش داده‌شده‌ی ولت‌سنج، برابر ولتاژ دو سر مقاومت است؛ البته با در نظر گرفتن خطای اندازه‌گیری ولت‌سنج. اما، در مورد جریان، با «خطایی سیستماتیک» روبرو می‌شویم. فرض کنیم مقاومت درونی ولت‌سنج $100 \text{ Meg } \Omega$ باشد. اکنون، اگر بخواهیم جریان گذرنده از یک مقاومت 100Ω را با این مدار اندازه بگیریم، از جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد تنها، $\frac{1}{100}$ این مقدار از ولت‌سنج می‌گذرد و بقیه از مقاومت عبور می‌کند؛ پس، مقدار اندازه‌گیری شده بسیار نزدیک به مقدار واقعی می‌باشد. حال اگر یک مقاومت $2 \text{ Meg } \Omega$ را با این مدار اندازه بگیریم، چیزی برابر $\frac{1}{50}$ مقدار نمایش داده‌شده برای جریان، از ولت‌سنج می‌گذرد؛ یعنی خطای اندازه‌گیری ما در حدود $0/2$ درصد می‌شود؛ که با افزایش مقدار مقاومت و کاهش مقاومت درونی ولت‌سنج، این خطا، بسیار افزایش می‌یابد.

۵- در مدار ۲، خطای سیستماتیک، برای اندازه‌گیری مقاومت‌های کوچک، تأثیر بیشتری دارد؛ زیرا که، در مدار ۲ برای اندازه‌گیری ولتاژ، به خطای سیستماتیک دچار می‌شویم. اگر مقاومت درونی آمپرسنج را $10 \text{ m}\Omega$ فرض کنیم، در اندازه‌گیری ولتاژ یک مقاومت $2 \text{ Meg } \Omega$ ، ولتاژی که در آمپرسنج کاسته می‌شود، $0/5 \times 10^{-8}$ برابر مقداری است که در مقاومت کم می‌شود؛ پس، این مقدار بسیار نزدیک به مقدار واقعی ولتاژ خواهد بود. اکنون، اگر بخواهیم ولتاژ یک مقاومت 50Ω را با این مدار اندازه بگیریم، با خطایی در حدود 2×10^{-4} روبرو می‌شویم؛ که البته، با کاهش مقاومت و افزایش مقاومت درونی آمپرسنج، این خطا، بسیار افزایش می‌یابد. البته، در این روش در مورد اندازه‌گیری جریان، دچار خطای سیستماتیک نمی‌شویم.

۶- اگر مقاومت درونی ولت‌سنج و آمپرسنج را بدانیم، در مدار ۱، که در مورد جریان دچار خطای سیستماتیک می‌شویم، کافی است، مقدار $I_{\text{ولتسنج}} = \frac{V_{\text{ولتسنج}}}{R_{\text{ولتسنج}}}$ را از مقدار I نشان داده‌شده توسط آمپرسنج، کم می‌کنیم؛ یعنی، $I_{\text{ولتسنج}} - I_{\text{آمپرسنج}} = I_{\text{مقاومت}}$ و در مدار ۲ نیز، که در مورد ولتاژ دچار خطای سیستماتیک می‌شویم، $V_{\text{ولتسنج}} - V_{\text{آمپرسنج}} = V_{\text{مقاومت}}$ و $V_{\text{آمپرسنج}} = I_{\text{آمپرسنج}} R_{\text{آمپرسنج}}$.

پایان