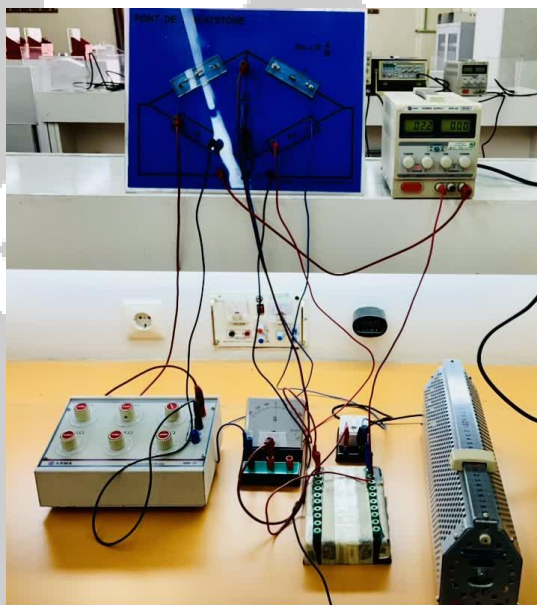


آزمایش شماره ۵

پل وتستون



هدف آزمایش

- (۱) اندازه‌گیری مقاومت مجهول با استفاده از پل وتستون
- (۲) تحقیق رابطه‌ی مربوط به مقاومت‌های متوالی
- (۳) تحقیق رابطه‌ی مربوط به مقاومت‌های موازی
- (۴) تحقیق روابط تبدیل مثلث به ستاره

وسایل مورد نیاز

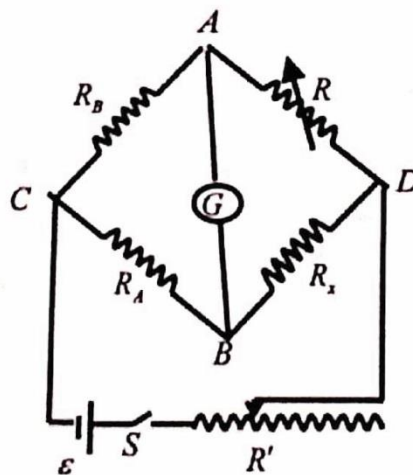
مقاومت‌های مختلف، سیم‌های رابط، پل وتستون، رئوستا، منبع تغذیه، کلید، گالوانومتر

دانشگاه بوعلی سینا

تئوری آزمایش

(۱) پل وتستون

پل وتستون نخستین بار در سال ۱۸۳۳ توسط وتستون به کار برده شد. به همین علت این مدار به نام پل وتستون معروف شد. پل وتستون یک روش تحقیق و حساس برای اندازه‌گیری مقدار مقاومت هاست.



شکل (۱)

پل وتستون همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، مداری است شامل چهار مقاومت که به یک منبع تغذیه وصل شده اند و برای اندازه‌گیری دقیق مقاومت مجهول به کار می‌رود. مقاومت‌های R_A و R_B معلوم، مقاومت R یک مقاومت متغیر از نوع جعبه مقاومت است و R_x مقاومت مجهول است. بین نقاط A و B گالوانومتری قرار داده شده است که عبور جریان را نشان می‌دهد. اگر مقاومت متغیر R تا جایی تغییر دهیم که عقربه‌ی گالوانومتر عدد صفر را نشان دهد آنگاه بین نقاط A و B اختلاف پتانسیلی وجود ندارد و بنابراین اختلاف پتانسیل دو سر R_A و R_B و نیز اختلاف پتانسیل دو سر R و R_x برابر است. به علاوه جریان عبوری از R و R_B و نیز جریان عبوری از R_A و R_x یکسان است. بنابراین می‌توان نوشت:

$$R_A I_A = R_B I_B \quad (۱)$$

$$R_x I_A = R I_B \quad (۲)$$

از تقسیم دو رابطه به صورت زیر می‌توان مقاومت مجهول را به دست آورد:

$$R_x = R \frac{R_A}{R_B} \quad (۳)$$

۲) مقاومت‌های متوالی و موازی

هرگاه مطابق شکل (۲-الف) مقاومت‌های R_1, R_2, R_3 را به طور متوالی به یکدیگر ببندیم و آنها را به اختلاف پتانسیل V وصل کنیم جریان عبوری از مقاومت‌ها یکسان است و داریم:

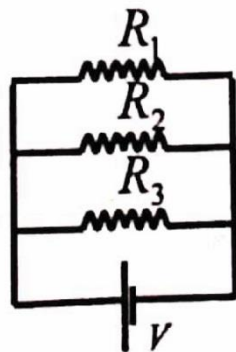
$$V = R_1 I + R_2 I + R_3 I \quad (۴)$$

با جایگذاری رابطه $V=RI$ در سمت چپ رابطه فوق، مقاومت معادل آنها از رابطه زیر به دست می‌آید:

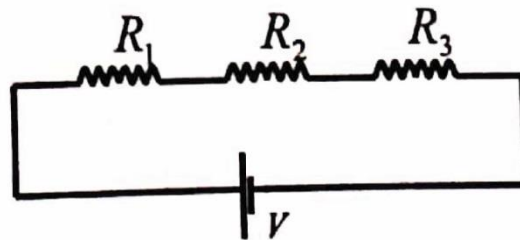
$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (۵)$$

و به طور کلی برای n مقاومت متوالی خواهیم داشت:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \quad (۶)$$



(الف)



(ب)

شکل (۲)

هرگاه مطابق شکل (۲-ب) مقاومت‌های R_1, R_2, R_3 را به طور موازی به یکدیگر ببندیم و آنها را به اختلاف پتانسیل V وصل کنیم در این صورت با استفاده از قانون گره داریم:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (۷)$$

از آنجا که اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌ها یکسان است و با توجه به رابطه $V=RI$ خواهیم داشت:

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \quad (۸)$$

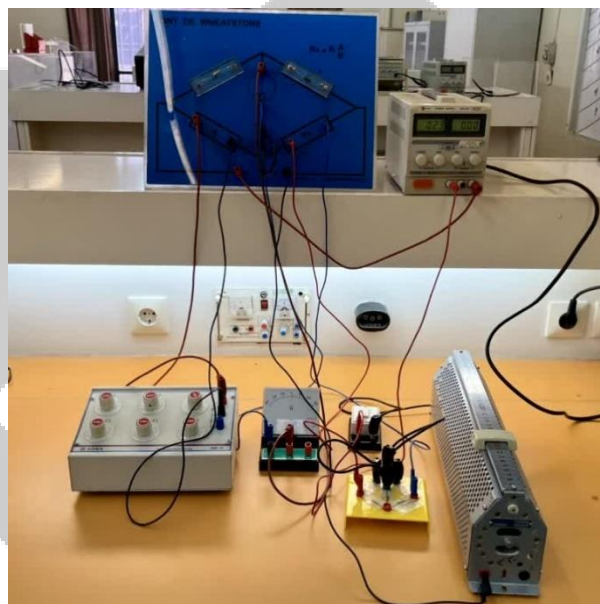
با حذف V از طرفین رابطه‌ی فوق مقاومت معادل به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (۹)$$

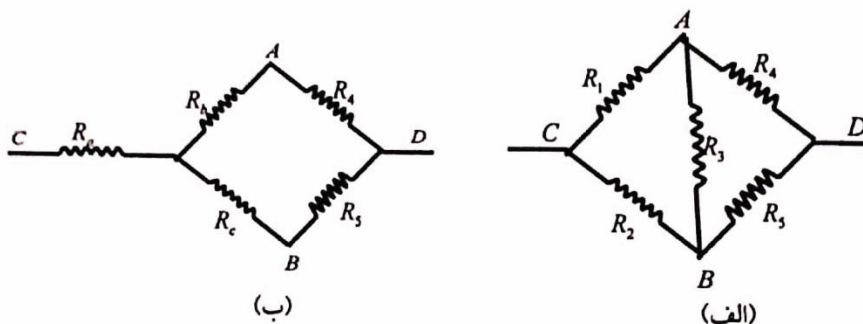
و به طور کلی برای n مقاومت موازی خواهیم داشت:

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (۱۰)$$

۳) روابط تبدیل مثلث به ستاره



گاهی اوقات مقاومت‌ها به صورت متوالی یا موازی بسته نمی‌شوند. به عنوان مثال در شکل (۳-الف) مقاومت‌ها به صورت مثلث به هم متصل شده‌اند. در این حالت نمی‌توان از قوانین مربوط به مقاومت‌های متوالی و موازی استفاده کرد. در این گونه موارد، می‌توان مثلث را به ستاره (شکل (۳-ب)) تبدیل کرد و مقاومت معادل را به دست آورد.



شکل (۳)

به طوری که مقاومت‌های R_a, R_b, R_c عبارتند از:

$$R_a = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (۱۱)$$

$$R_b = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (۱۲)$$

$$R_c = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (۱۳)$$

اینک می‌توان مقاومت معادل R_{CD} را به صورت زیر به دست آورد. مقاومت‌های R_b با R_4 و نیز R_c با R_5 متوالی اند.

$$R_{b4} = R_b + R_4 \quad (۱۴)$$

$$R_{c5} = R_c + R_5 \quad (۱۵)$$

این دو مقاومت با یکدیگر موازیند و بنابراین داریم:

$$\frac{1}{R_d} = \frac{1}{R_{b4}} + \frac{1}{R_{c5}} \quad (۱۶)$$

و مقاومت‌های R_a و R_d متوالی اند. بنابراین مقاومت معادل R_{CD} برابر است با:

$$R = R_a + R_d \quad (۱۷)$$

روش آزمایش

۱) اندازه‌گیری مقاومت مجهول با استفاده از پل وتستون

مدار پل وتستون را مطابق شکل (۱) ببندید. این مدار شامل مقاومت‌های معلوم R_A و R_B ، مقاومت متغیر R از نوع جعبه مقاومت، باتری $\mathcal{E}$ ، کلید S ، مقاومت مجهول R_x ، رئوس، منبع تغذیه ولتاژ مستقیم و گالوانومتر G است. به منظور جلوگیری از صدمه دیدن گالوانومتر پل، ابتدا با استفاده از لغزنده رئوس، مقاومت رئوس را در حداکثر خود قرار دهید سپس با استفاده از نوارهای رنگی روی مقاومت، حدود مقاومت مورد اندازه‌گیری R_x را تعیین کنید. با استفاده از رابطه (۳) حدود مقاومت جعبه مقاومت R را تعیین کرده و آن را تنظیم کنید. نیروی محرکه را با نظر استاد آزمایشگاه تنظیم کنید. اینک کلید S_1 را ببندید و کلید S_2 را به طور لحظه‌ای فشار دهید. اگر گالوانومتر حرکت ناگهانی داشت کلید فشاری را قطع و مقاومت متغیر تنظیم کنید. سپس مجدداً کلید را فشار دهید اگر گالوانومتر به سمت مثبت منحرف شد باید مقاومت جعبه را افزایش دهید. اگر عقربه به سمت منفی منحرف شد باید مقاومت جعبه را کاهش دهید. برای این کار از کوچکترین مقاومت شروع کنید و آن را آنقدر افزایش دهید تا عقربه گالوانومتر منحرف نشود. با کم کردن مرحله به مرحله رئوس، کار خود را دقیق تر کنید. سپس مقادیر مقاومت‌های R_A و R_B و مقاومت متغیر R را در جدول (۱) یادداشت نمایید. با استفاده از رابطه (۳) مقاومت مجهول R_x را تعیین کنید و در همین جدول یادداشت نمایید.

$R_B = 100\Omega$			$R_A = 100\Omega$		
۵	۴	۳	۲	۱	تعداد آزمایش
					R جعبه مقاومت
					$R_x = R(R_A/R_B)$

جدول (۱)

۲) تحقیق روابط مربوط به مقاومت‌های متوالی و موازی

اینک (با نظراستاد) ۳ تا از مقاومت‌های آزمایش قبل را به طور متوالی ببندید و ابتدا مقاومت معادل آن را از رابطه (۶) به دست آورید و در ستون آخر جدول (۲) یادداشت نمایید. سپس همانطور که در آزمایش پل وتستون گفته شد، مقاومت‌های ثابت R_A و R_B و مقاومت متغیر R را در جدول (۲) بنویسید. نهایتاً مقاومت معادل آن را با استفاده از پل وتستون تعیین کرده و در جدول (۲) بنویسید.

این بار مقاومت‌ها را به صورت موازی ببندید و ابتدا مقاومت معادل معادل آن را از رابطه (۱۰) به دست آورید و در ستون آخر جدول (۳) یادداشت نمایید. سپس همانطور که در آزمایش پل وتستون گفته شد، مقاومت معادل آن را با استفاده از پل وتستون تعیین کرده و مقادیر را در جدول (۳) بنویسید.

$R_B = 1000\Omega$			$R_A = 100\Omega$			
تئوری R معادل	$R_x = R(R_A/R_B)$	جعبه R	R_A/R_B	R_{x3}	R_{x2}	R_{x1}
						متوالی

جدول (۲)

$R_B = 1000\Omega$			$R_A = 100\Omega$			
تئوری R معادل	$R_x = R(R_A/R_B)$	جعبه R	R_A/R_B	R_{x3}	R_{x2}	R_{x1}
						موازی

جدول (۳)

۳) روابط تبدیل مثلث به ستاره

اینک مقاومت‌های اندازه‌گیری شده‌ی R_{x1} تا R_{x5} را به صورت شکل (۳-الف) ببندید و ابتدا مقاومت معادل آن را با استفاده از تبدیل مثلث به ستاره شکل (۳-ب) و به کمک روابط (۱۱) تا (۱۳) به دست آورید. مقادیر R_c, R_b, R_a و نیز معادل آنها را تعیین کرده و در جدول (۳) یادداشت کنید. سپس همانطور که در آزمایش پل وتستون گفته شد، مقاومت آن را (با نظر استاد) با استفاده از پل وتستون یا مولتی متر تعیین کنید. این مقادیر را نیز در جدول (۴) یادداشت کرده و درصد خطا را محاسبه کنید.

$R_B = 1000\Omega$				$R_A = 100\Omega$				
تئوری R معادل	$R_x = R(R_A/R_B)$	جعبه R	R_A/R_B	R_{x5}	R_{x4}	R_{x3}	R_{x2}	R_{x1}

جدول (۴)

محاسبات، بررسی نتایج، پرسش‌ها

- توضیح دهید چرا اندازه‌گیری مقاومت با استفاده از پل وتستون دقیقتر از اندازه‌گیری آن به روش ولتمتر آمپر متر است؟
- با استفاده از مقادیر جدول (۱) درصد خطای اندازه‌گیری را برای هر یک از مقاومت‌ها محاسبه کنید.
- با استفاده از مقادیر جدول (۲) صحت رابطه (۶) را تحقیق کنید.
- با استفاده از مقادیر جدول (۳) صحت رابطه (۱۰) را تحقیق کنید.
- با استفاده از مقادیر جدول (۲) درصد خطای اندازه‌گیری را برای مقاومت‌های متوالی محاسبه کنید.
- با استفاده از مقادیر جدول (۳) درصد خطای اندازه‌گیری را برای مقاومت‌های موازی محاسبه کنید.
- با استفاده از مقادیر جدول (۴) صحت روش تبدیل مثلث به ستاره را تحقیق کنید.
- با استفاده از مقادیر جدول (۴) درصد خطای اندازه‌گیری را محاسبه کنید.

دانشگاه بوعلی سینا