

گزارش کار مربوط به جلسه‌ی هشتم آزمایشگاه مدارهای الکتریکی

تهیه و تنظیم:

مبین خیری [994421017]

عطا میرزالی [984421037]

مهدی بیک باباپور [984421007]

استاد راهنما: جناب آقای ابوبکر محمدیان

مقدمه

در نخستین بخش از این گزارش کار، به بررسی پل وتستون و تاریخچه و اساس کار آن خواهیم پرداخت. اگرچه صنعت الکترونیک، به دلیل پیشرفت در نوع ماده، اجزای مختلف و معماری مدار به جلو رانده می‌شود، اما فناوری‌های جدید همواره بر اساس تکنولوژی‌های قدیمی‌تر ساخته می‌شوند. دستگاه‌هایی مانند ترانسفورماتور، سلنویید، رله و پل وتستون همواره و حتی در آینده نیز کاربرد خواهند داشت. مدار پل وتستون، مثال بسیار خوبی از این حقیقت است که یک ساختار ساده اما هوشمندانه می‌تواند علاوه بر کاربردهای بسیار، جایگاه خاص خود را در الکترونیک مدرن داشته باشد.

«پل وتستون» (Wheatstone Bridge)، یک مدار الکتریکی پسیو شامل چهار مقاومت است که برای اندازه‌گیری مقدار مقاومت الکتریکی نامعلوم استفاده می‌شود. همچنین با افزودن یک مقاومت سیمی لغزان، می‌توان از مدار پل وتستون برای کالیبراسیون دستگاه‌های اندازه‌گیری همچون ولت‌متر، آمپر‌متر، گالوانومتر و غیره استفاده کرد. نمایش جریان صفر در گالوانومتر از مزایای اصلی آن محسوب می‌شود. به همین دلیل هنوز هم برای اندازه‌گیری دقیق جریان و نمایش جریان صفر از گالوانومتر استفاده می‌شود.

تاریخچه

پل وتستون اولین بار توسط «ساموئل هانتز کریستی» (Samuel Hunter Christie) در سال 1833 کشف شد. ده سال بعد، «سِر چارلز وتستون» (Sir Charles Wheatstone) ساختار این مدار را تکمیل کرد و به شهرت رساند. او این مدار را، «اندازه‌گیر تفاضلی مقاومت» (Differential Resistance Measurer) نامید. یکی از کاربردهای پل وتستون در آن زمان، تحلیل و مقایسه انواع مختلف خاک بود.



ساموئل هانتز کریستی

سیر چارلز وتستون

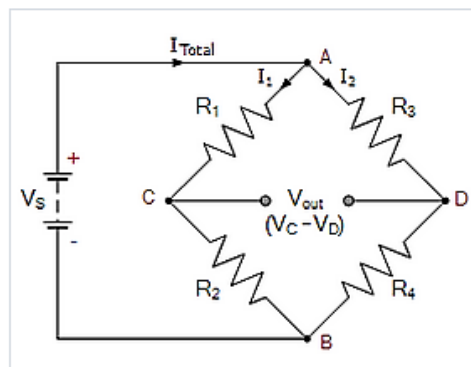
مدار پل وتستون

امروزه، استفاده از مولتی مترهای دیجیتال ساده‌ترین راه برای اندازه‌گیری مقدار مقاومت به شمار می‌رود. اما همچنان از پل وتستون نیز برای اندازه‌گیری مقادیر بسیار کوچک مقاومت تا محدوده چند میلی اهم استفاده می‌شود.

یکی از دلایل استفاده از پل وتستون در صنعت الکترونیک مدرن، این است که تشخیص جریان صفر، همواره ساده‌تر و دقیق‌تر از اندازه‌گیری مقداری حقیقی از جریان است. همچنین در مدار پل وتستون، خطاهای داخلی نیز اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند که از نقطه نظر طراحی مهندسی، این مورد بسیار مطلوب است. امروزه مدار پل وتستون (یا پل مقاومتی)، کاربردهای متفاوتی دارد. مثلاً اتصال تقویت‌کننده‌های عملیاتی مدرن به سنسورها و ترانسدیوسرها با استفاده از پل وتستون انجام می‌شود.

مدار پل وتستون، یک شبکه سری-موازی از مقاومت‌ها است که یک طرف آن به پایانه منبع ولتاژ و طرف دیگر آن به زمین خنثی متصل شده است. هنگامی که این مدار در حالت «تعادل» (Balanced) قرار می‌گیرد، اختلاف پتانسیل بین دو شاخه موازی آن برابر صفر می‌شود.

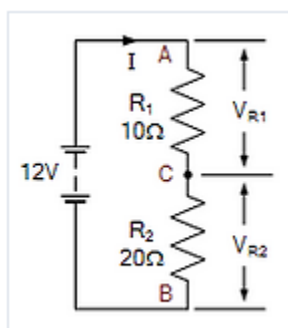
مدار پل وتستون شامل دو پایانه ورودی و دو پایانه خروجی و چهار مقاومت است که مانند لوزی به یکدیگر متصل شده‌اند. شکل زیر، مدار پل وتستون ساده را نشان می‌دهد:



شکل (۱) - مدار پل وتستون

پل و تستون در حالت تعادل، به صورت دو جفت مقاومت سری که با یکدیگر موازی شده‌اند، تحلیل می‌شود. طبق قانون اهم، با عبور جریان از هر مقاومت در زنجیره سری، یک «افت ولتاژ» (Voltage Drop) در مقاومت، ایجاد می‌شود. این افت ولتاژ، معادل حاصل ضرب ولتاژ در جریان گذرنده از مقاومت است.

مدار سری شکل زیر را در نظر بگیرید:



جریان گذرنده از دو مقاومت سری را برابر فرض کنید. طبق قانون اهم می‌دانیم که این جریان از تقسیم ولتاژ به مقاومت معادل محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12V}{(10\Omega + 20\Omega)} = 0.4A$$

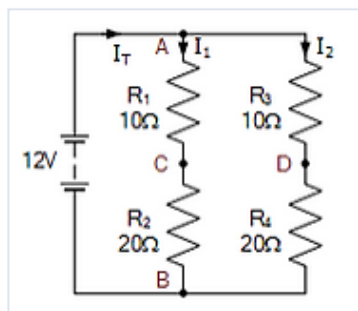
ولتاژ در نقطه C، همان افت ولتاژ در مقاومت R2 است، زیرا یک سر مقاومت R2 به ولتاژ منفی منبع ولتاژ یا زمین متصل شده است. این ولتاژ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{R2} = I \times R_2 = 0.4A \times 20\Omega = 8 \text{ volts}$$

به این ترتیب ولتاژ منبع (Vs)، بین دو مقاومت سری تقسیم می‌شود. اختلاف پتانسیل ایجاد شده در هر یک از مقاومت‌ها، با مقدار مقاومت آنها به صورت مستقیم متناسب است ($V_{R2}=8V \wedge V_{R1}=4V$).

این مسئله، اساس «تقسیم ولتاژ» (Voltage Division) را نشان می‌دهد. مداری که در آن تقسیم ولتاژ روی می‌دهد، «مدار تقسیم‌کننده پتانسیل» (Potential Divider Circuit) یا «شبکه تقسیم‌کننده ولتاژ» (Voltage Divider Network) نام دارد.

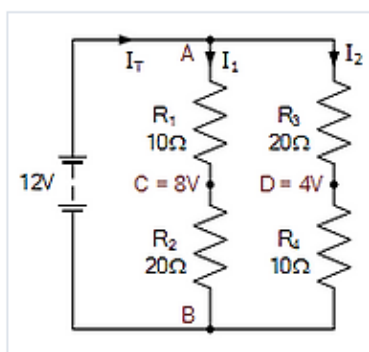
با اضافه شدن یک شبکه مقاومتی دیگر با مقادیر مقاومت مشابه به شبکه اولیه، مدار شکل زیر حاصل می‌شود:



مدار سری دوم مقادیر مشابه مقاومت شبکه اول را دارد و به صورت موازی به آن متصل است. بنابراین ولتاژ در نقطه D همان اختلاف پتانسیل در دو سر مقاومت R4 است و نسبت به نسبت به قطب منفی باتری اندازه گیری می شود. طبق شکل، افت ولتاژ در مقاومت R4 برابر ۸ ولت خواهد بود.

ولتاژ در دو نقطه C و D یکسان است، بنابراین اختلاف پتانسیل بین این دو نقطه صفر خواهد بود. در این حالت گفته می شود که مدار «متعادل» (Balanced) است.

حال فرض کنید که مقدار مقاومت های R4 و R3 با هم عوض شود. این مسئله در شکل زیر نشان داده شده است:



در این حالت، جریانی مشابه حالت اول از دو مقاومت سری عبور می کند. ولتاژ در نقطه D که همان اختلاف ولتاژ دو سر مقاومت R4 است، به صورت زیر نوشته می شود:

$$V_{R4} = 0.4A \times 10\Omega = 4volts$$

طبق این معادله، VR4 برابر ۴ ولت است. پس اختلاف پتانسیل بین نقاط C و D، برابر ۴ ولت خواهد بود. زیرا ولتاژ نقطه C، برابر ۸ ولت و ولتاژ نقطه D، برابر ۴ ولت است. به این ترتیب، اختلاف پتانسیل بین این دو نقطه به صورت زیر محاسبه می شود:

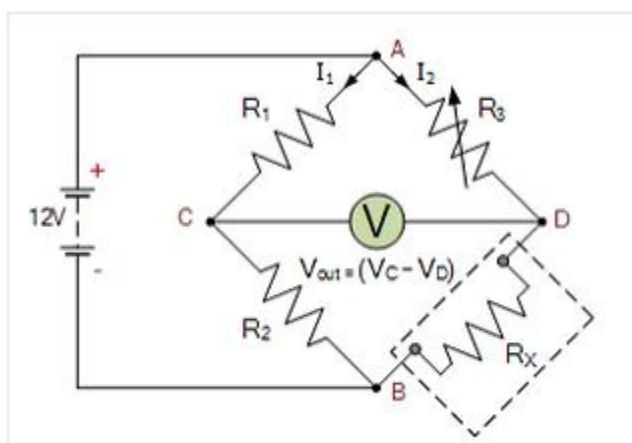
$$V_C - V_D = 8 - 4 = 4volts$$

همانطور که مشاهده شد، با تغییر مقدار مقاومت در یکی از بازوهای این شبکه موازی، پتانسیل در نقطه مرکزی یا پل بین مقاومت‌ها تغییر می‌کند. در این حالت گفته می‌شود که این شبکه موازی «نامتعادل» (Unbalanced) است، زیرا اختلاف پتانسیل بین نقاط C و D برابر صفر نیست.

مشاهده می‌شود که نسبت مقاومت در این دو بازوی موازی، یعنی ACB و ADB، می‌تواند به اختلاف پتانسیل صفر ولت در دو سر پل در حالت تعادل و حداکثر اختلاف پتانسیلی برابر با مقدار ولتاژ منبع در حالت عدم تعادل منجر شود. این مسئله، اساس مدار پل وتستون را تشکیل می‌دهد.

از مدار پل وتستون می‌توان برای مقایسه مقدار مقاومت مجهول R_x و مقادیر مشخص مقاومت استفاده کرد.

برای مثال، فرض کنید که R_1 و R_2 مقاومت‌های ثابت و R_3 یک مقاومت متغیر باشد و یک ولت‌متر، آمپرمتر یا گالوانومتر بین نقاط C و D متصل شود. مقاومت متغیر R_3 را آنقدر تغییر می‌دهیم تا ولت‌متر عدد صفر را نشان دهد. به این ترتیب، دو بازوی پل وتستون متعادل می‌شوند و می‌توان مقدار مقاومت R_x را محاسبه کرد. شکل زیر، این مسئله را نشان می‌دهد:



مدار پل وتستون

با جایگزین کردن R_4 با یک مقاومت معلوم یا مجهول در بازوی سنسوری پل وتستون و تنظیم R_3 ، می‌توان به ولتاژ صفر در خروجی ولت‌متر رسید. به این ترتیب مدار پل متعادل می‌شود. تعادل وقتی اتفاق می‌افتد که رابطه زیر برقرار باشد:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} = 1$$

برای محاسبه مقدار مقاومت مجهول R_x ، معادله پل وتستون در حالت تعادل به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$V_{OUT} = (V_C - V_D) = (V_{R_2} - V_{R_4}) = 0$$

$$R_c = \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad R_D = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

در حالت تعادل، داریم:

$$R_c = R_D$$

پس:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

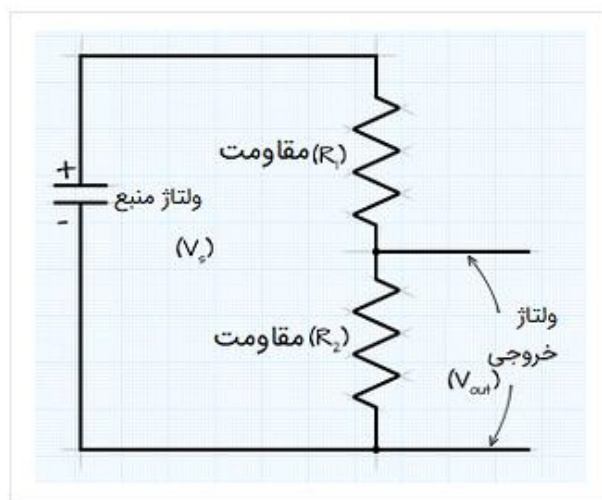
$$R_2(R_3 + R_4) = R_4(R_1 + R_2) \rightarrow R_2R_3 + \cancel{R_2R_4} = R_1R_4 + \cancel{R_2R_4}$$

$$R_4 = \frac{R_2R_3}{R_1} = R_x$$

که در آن، مقدار مقاومت‌های R_1 و R_2 معلوم و مشخص است.

تفاوت پل وتستون و مدار تقسیم‌کننده ولتاژ

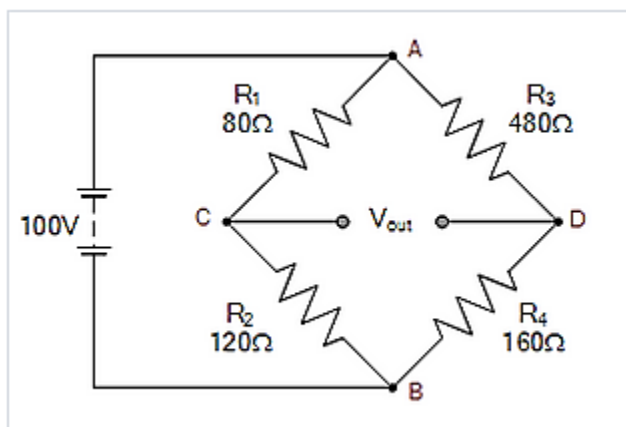
شکل زیر، یک مدار تقسیم‌کننده ولتاژ را نشان می‌دهد:



در پل وتستون، «ولتاژ تحریک پل» (Bridge Excitation Voltage) وارد معادلات نمی‌شود. بنابراین، این ولتاژ می‌تواند نویز و نوسانات داشته باشد یا خیلی دقیق نباشد. اما در مدار تقسیم‌کننده مقاومتی، ولتاژ تحریک یک عامل مهم است. زیرا ولتاژ در خروجی مدار به ولتاژ منبع وابسته است. در مدار پل وتستون، تفاضل بین ولتاژها اهمیت دارد، پس اثرات نویز و نوسان‌های ولتاژ، خنثی می‌شود. همچنین تقریباً همه سنسورها (حتی کشش‌سنج‌ها) به دما حساس هستند که روی دقت اندازه‌گیری تأثیرگذار است. اما در پل وتستون، این مسئله با اضافه کردن یک کشش‌سنج دیگر قابل حل است. از آنجا که در پل وتستون نسبت‌ها مهم هستند، حساسیت دمایی کمینه خواهد شد.

مثال

شکل زیر یک پل وتستون نامتعادل را نشان می‌دهد :



ولتاژ خروجی (VOUT) بین نقاط C و D را محاسبه کنید و مقدار مقاومت R4 را به گونه‌ای تغییر دهید که مدار پل، متعادل شود.

حل: برای بازوی سری اول (ACB) داریم :

$$V_C = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \times V_s$$

$$V_C = \frac{120\Omega}{80\Omega + 120\Omega} \times 100 = 60Volts$$

به همین ترتیب، برای بازوی سری دوم (ADB) داریم:

$$V_D = \frac{R_4}{(R_3 + R_4)} \times V_s$$
$$V_D = \frac{160\Omega}{480\Omega + 160\Omega} \times 100 = 25Vols$$

اختلاف پتانسیل بین نقاط C و D به صورت زیر محاسبه می شود:

$$V_{out} = V_C - V_D$$
$$V_{out} = 60 - 25 = 35Vols$$

مقدار مقاومت R4 که برای متعادل کردن پل لازم است، به صورت زیر داده می شود:

$$R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1} = \frac{120\Omega \times 480\Omega}{80\Omega} = 720\Omega$$

همانطور که مشاهده شد، پل و تستون دو پایانه ورودی (A و B) و دو پایانه خروجی (C و D) دارد. هنگامی که پل متعادل است، اختلاف پتانسیل بین دو سر خروجی صفر ولت می شود. در پل نامتعادل، بسته به جهت عدم تعادل، ولتاژ خروجی یا اختلاف ولتاژ بین دو سر پل می تواند مثبت یا منفی باشد.

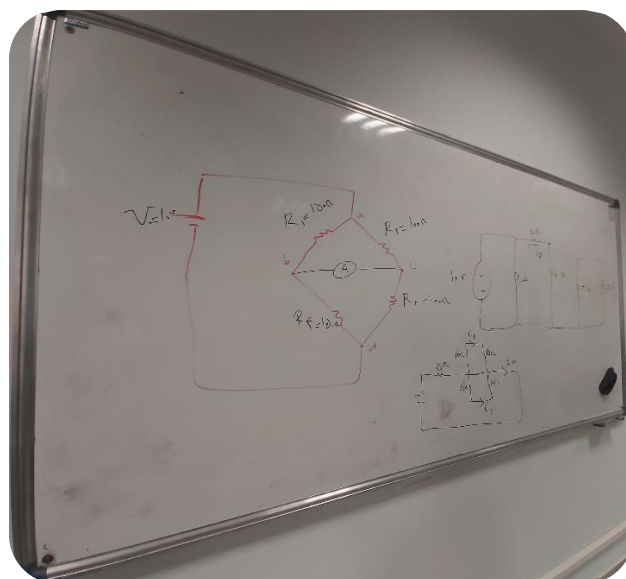
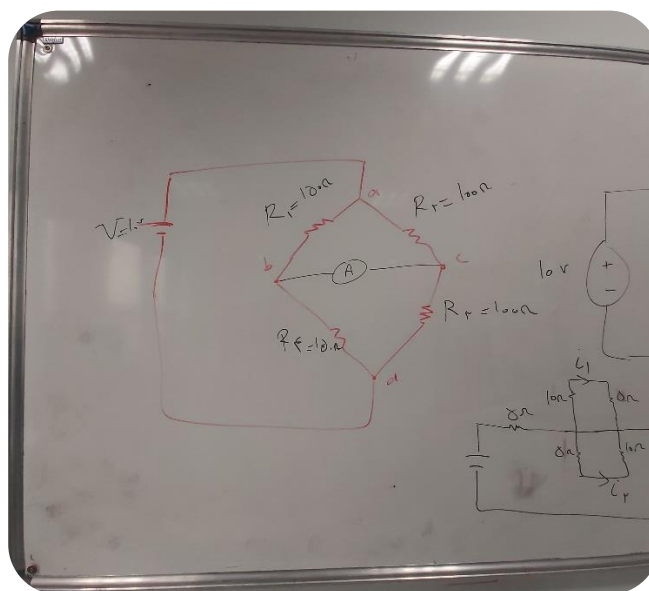
در ادامه به بررسی کاربردهای پل و تستون در مدارهای الکترونیکی پرداخته می شود.

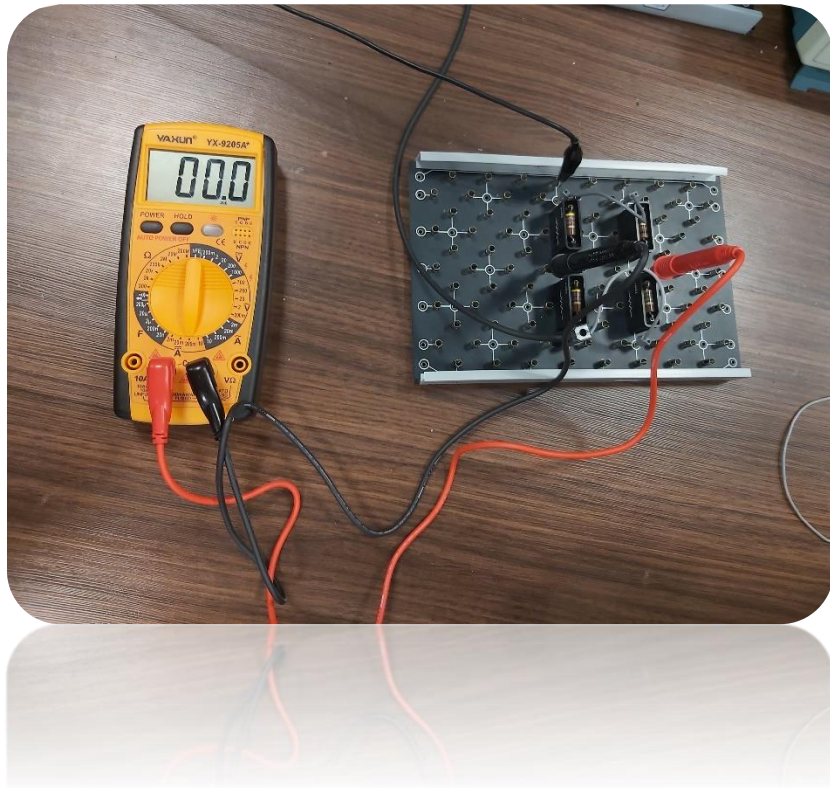
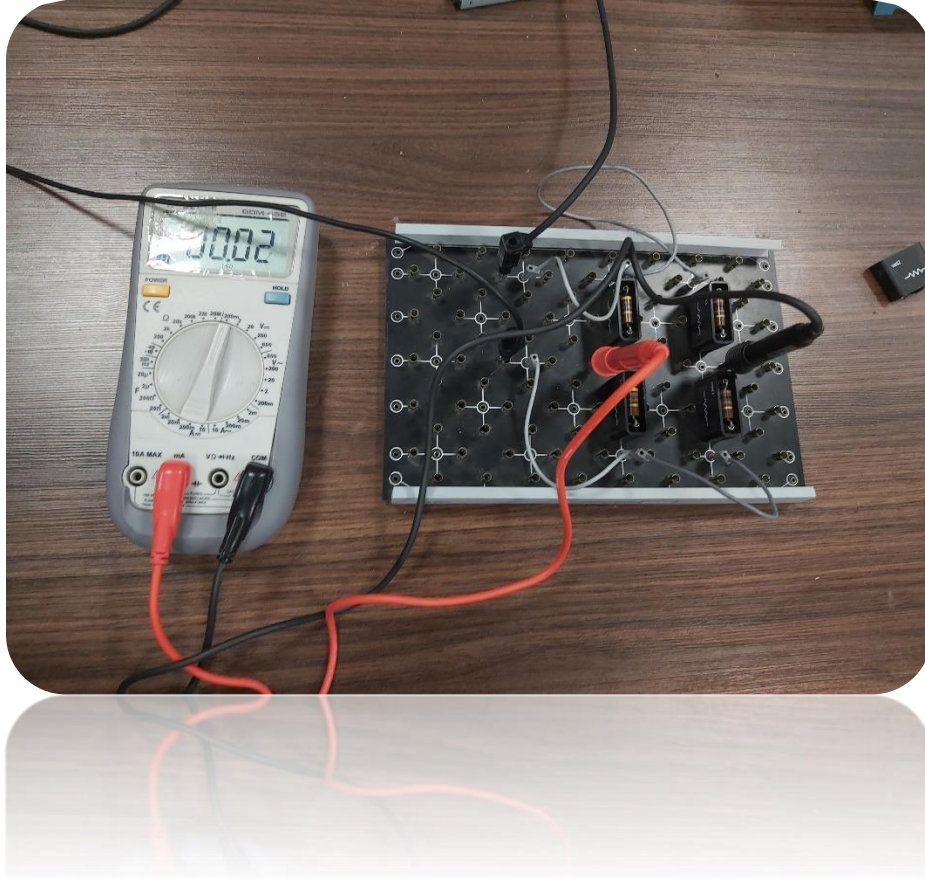
کاربردهای پل و تستون

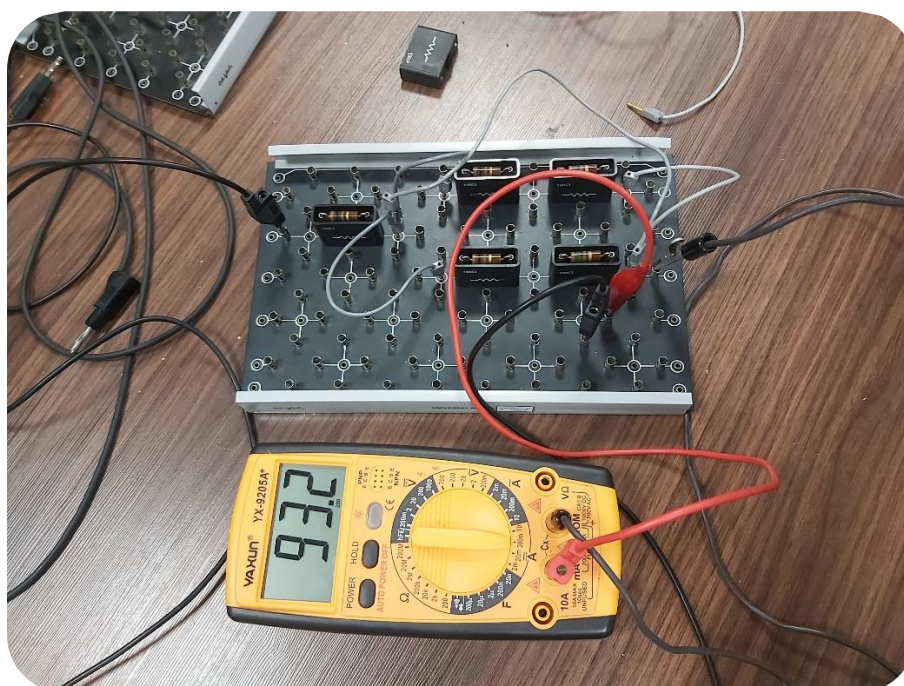
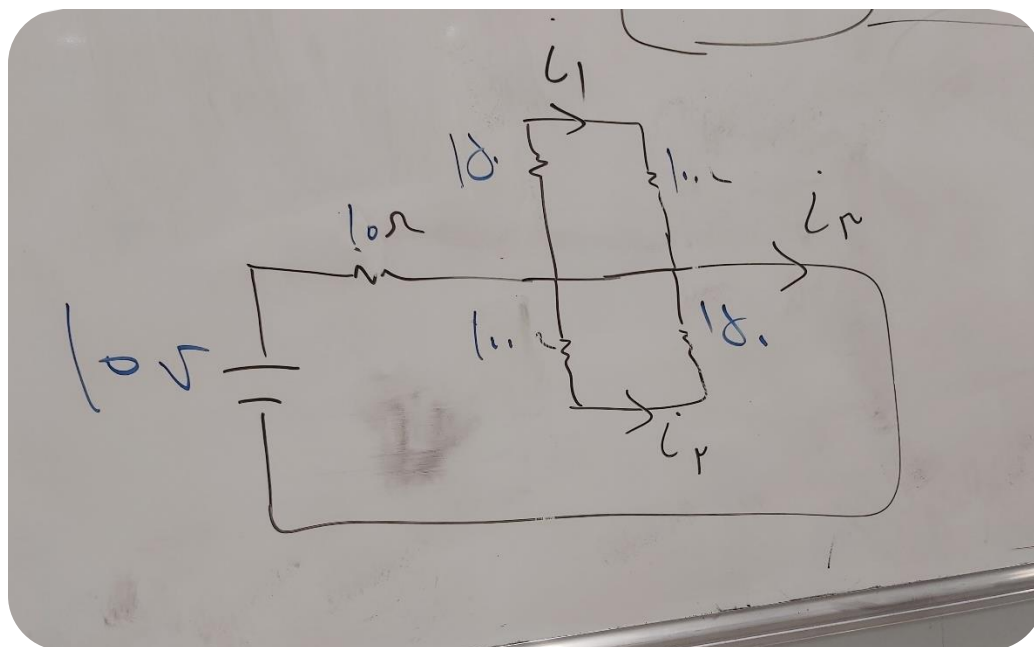
برای اندازه گیری کمیت های مکانیکی و الکترونیکی، انواع مختلفی از پل و تستون وجود دارد. در الکترونیک مدرن، از مدار پل و تستون متعادل برای اندازه گیری تغییر شدت نور، فشار یا کشش استفاده می شود. انواع سنسورهای مقاومتی که در مدار پل و تستون به کار می روند، به صورت زیر هستند:

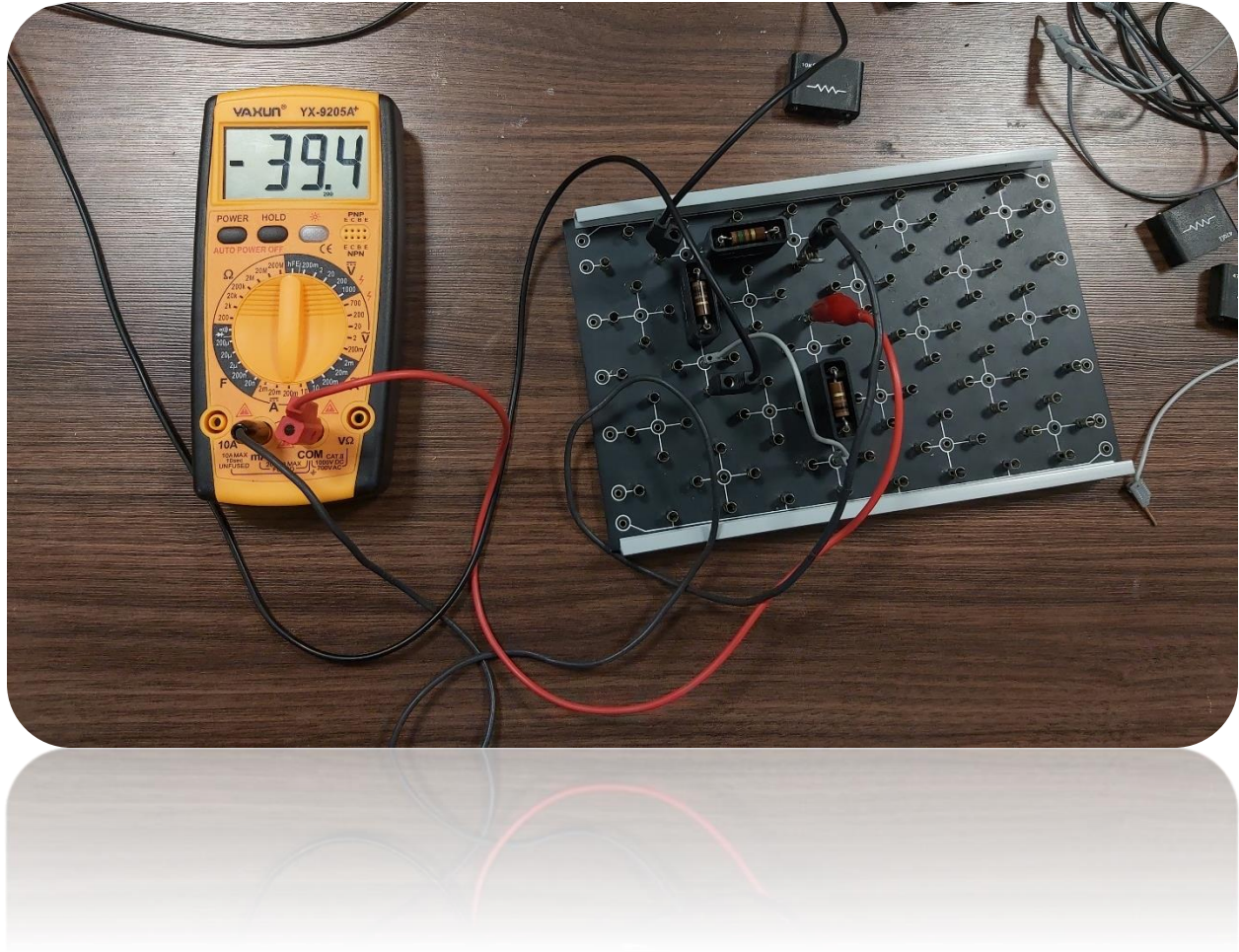
- سنسورهای نوری مقاومتی (LDR)
- سنسورهای مکانی (پتانسیومترها)
- سنسورهای پیزو-مقاومتی (کشش سنج ها)
- سنسورهای دمایی (ترمستورها)

مجموعه تصاویر مرتبط با آزمایش‌ها و مثال‌های بررسی شده در این جلسه:









پایان.