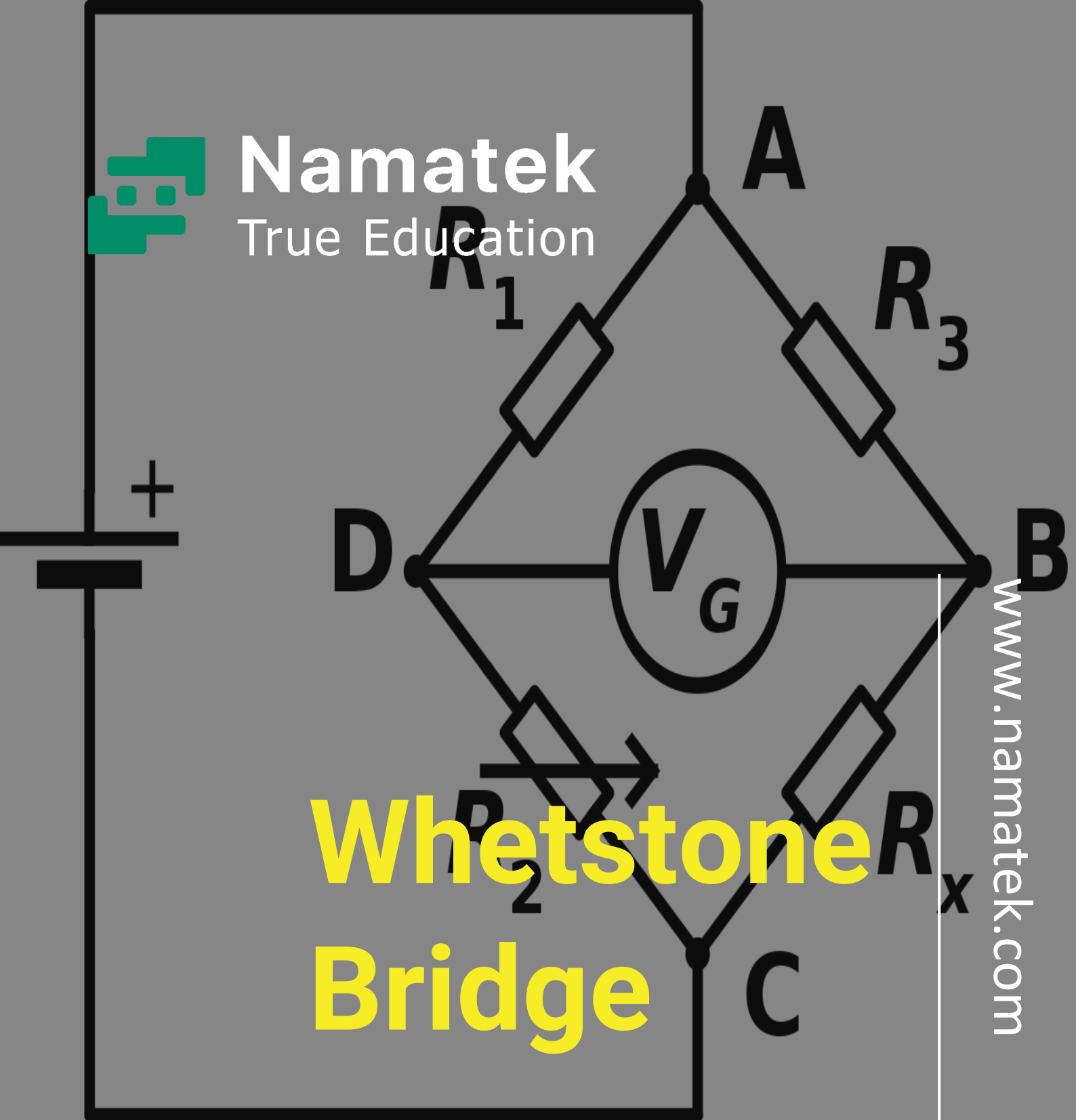




Namatek

True Education



Wheatstone Bridge

پل وتستون

فهرست مطالب

1. کاربرد و تستون در اندازه گیری مقاومت
2. پل و تستون چیست؟
3. محاسبات پل و تستون
4. اصول کار پل و تستون
5. مثال پل و تستون
6. اندازه گیری کرنش
7. محدودیت ها و حساسیت ها

آیا اسم مدار پل وتستون برای شما هم آشناست اما کاربرد دقیق آن و نحوه استفاده از این روش را نمی دانید؟ احتمالا شما هم بارها با قطعه مقاومتی با اندازه مجهول رو به رو شده اید که نیاز به تعیین میزان مقاومت آن داشته اید و باید بدانید یک روش دقیق تعیین این مقدار مجهول استفاده از مدار وتستون است. این مقاله آموزشی قصد دارد که اطلاعاتی را جهت آشنایی بیشتر با مدار وتستون و کارکرد آن ارائه دهد. همچنین با چند مثال ساده و بیان کاربردهای مهم این پل الکترونیکی به درک بهتر آن کمک می کند.

کاربرد وتستون در اندازه گیری مقاومت

در دنیای واقعی با سیگنال های مختلفی رو به رو هستید که برخی از آنها با تغییر مقاومت اندازه گیری می شوند. البته اندازه گیری ظرفیت القای مغناطیسی و ظرفیت الکتریکی نیز از روش های دیگر محاسبه سیگنال ها هستند. اکثر سنسورهای صنعتی دما، فشار، رطوبت و تغییر سطح مایعات و غیره با تغییر میزان مشخصی از مقاومت همراه هستند.

به طور کلی روش های اندازه گیری مقاومت به سه نوع مقاومت کم، متوسط و بالا تقسیم بندی می شوند. مقاومت های در حدود میکرو و میلی اهم، مقاومت های کم هستند که در اهداف پژوهشی بیشتر کاربرد دارند. اگر اندازه گیری در حدود ۱ تا ۱۰۰ کیلو اهم باشد، به عنوان مقاومت متوسط در

نظر گفته می شود. [یتانسیومتر](#) یا توان سنج برق و مقاومت سنج های گرمایی مانند [ترمیستورها](#) در این دسته قرار می گیرند. مقاومت های بسیار بالاتر از ۱۰۰ کیلو یا مگا اهم نیز به عنوان مقاومت های بالا شناخته می شوند. البته در اندازه گیری مقاومت های متوسط اغلب روش پل وتستون به کار می رود.

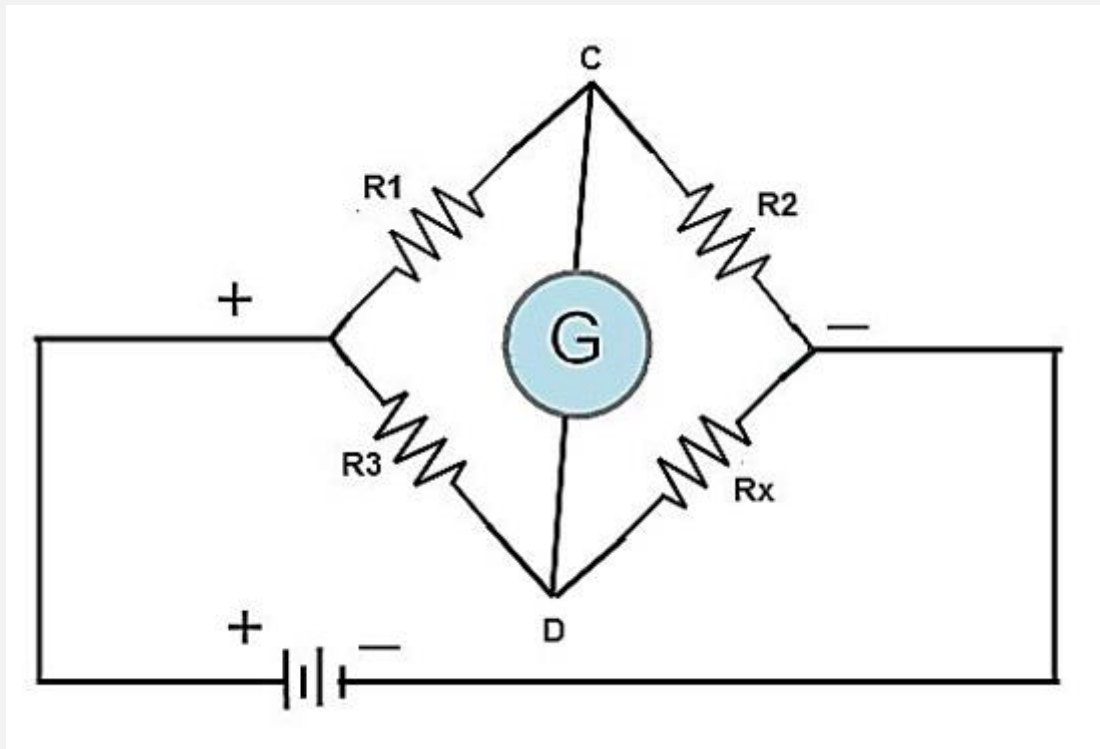
پل وتستون چیست؟

پل وتستون یک مدار الکترونیکی است که نماد یک گالوانومتر را دارد. این نام را از معرف کاربردهای آن چالز وتستون گرفته اند. البته پیش تر از وی، هانتر کریستی در سال ۱۸۳۳ این مدار را توصیف کرده بود. این مدار به عنوان **روشی صحیح و حساس جهت یافتن مقاومت مجهول** محسوب می شود. یکی از روش های ساده و رایج در اندازه گیری [مقاومت](#)، بهره مندی از حالت **DC** (ولتاژ ثابت) پل وتستون است. این پل در مواقع اندازه گیری تغییرات کوچک مقاومت مانند سنسورها قابل استفاده خواهد بود.

به منظور تبدیل تغییرات مقاومت به [ولتاژ](#) در [ترانسفورماتور](#) یا مبدل ها نیز روش مناسبی محسوب می شود. از کاربردهای وسیع ترکیب این پل با تقویت کننده های صنعتی در مبدل ها و سنسورها است.

شکل مدار پل وتستون

این مدار الکترونیکی از چهار مقاومت تشکیل و به شکل لوزی به منبع تغذیه متصل می شود که در شکل زیر طرح اصلی آن را می بینید.



محاسبات پل وتستون

مقایسه مقاومت مجهول در مدار با مقاومت های معلوم و در نهایت اندازه گیری صحیح و دقیق مقدار آن فرآیندی است که در این شیوه دنبال می شود. همچنین حالت های صفر (**Null**) یا تعادلی شرایطی هستند که در هنگام اندازه گیری مقاومت در نظر می گیرند. در حالت تعادلی ولتاژ نقاط **C** و **D** (در شکل بالا) برابر هستند. بنابراین گالوانومتر (**G**) هیچ جریانی را نشان نمی دهد. به منظور ایجاد حالت تعادلی باید یکی از مقاومت ها

متغیر باشد. طبق شکل، ولتاژ های نقاط **D** و **C** با توجه به رابطه زیر اندازه گیری می شوند.

$$V_D = V \times \left(\frac{R_X}{R_3 + R_X} \right)$$

$$V_C = V \times \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

ولتاژ (**V**) توسط گالوانومتر در نقاط بین **C** و **D** عبارت است از:

$$V_{CD} = V \times \left(\frac{R_X}{R_3 + R_X} \right) - V \times \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

با در نظر گرفتن تعادل، یعنی $V_{cd}=0$ خواهیم داشت:

$$V \times \left(\frac{R_X}{R_3 + R_X} \right) = V \times \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$R_X R_1 + R_X R_2 = R_2 R_3 + R_2 R_X$$

$$R_X R_1 = R_2 R_3$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_X}{R_3}$$

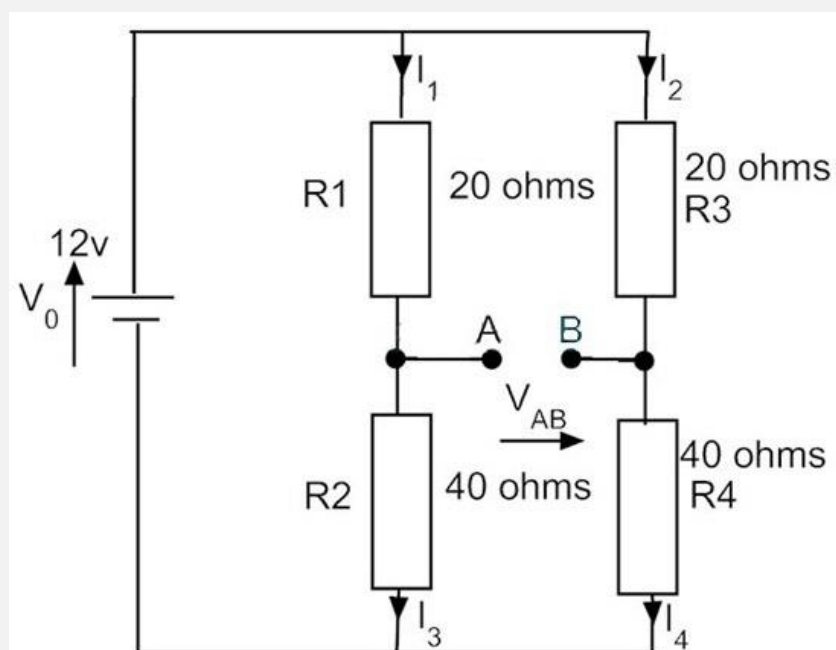
بنابراین مقدار مقاومت مجهول با به کارگیری شرط تعادلی با استفاده از رابطه زیر اندازه گیری می شود.

$$R_x = R_3 \times \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

بنابراین مقاومت مجهول R_x یا R_4 از ضرب مقاومت R_3 در نسبت R_2 به R_1 محاسبه می شود. البته در استفاده از شرط **Null** مقادیر R_2 و R_1 ثابت است، ولی میزان R_3 تا زمانی که روی گالوانومتر **Null** نمایش داده شود، تغییر می کند. پس از این حالت یعنی پل به حالت تعادل رسیده و روابط فوق در آن صادق هستند.

اصول کار پل وتستون

بدون حضور گالوانومتر، پل وتستون شبیه به مدار تقسیم ولتاژ است. اگر R_1 را ۲۰ اهم و R_2 را ۴۰ اهم در نظر بگیرید و در مقاومت های دیگر R_3 و R_4 نیز این تقارن را رعایت کنید، خواهیم داشت:



جریان در بازوی اول I_1 برابر است با:

$$I_1 = \frac{V}{(R_1 + R_2)}$$
$$I_1 = \frac{12 \text{ (v)}}{(20 + 40)(\Omega)}$$
$$I_1 = 0.2 \text{ (A)}$$

همچنین می دانیم که ولتاژ نقطه **A** با افت ولتاژ در مقاومت R_2 برابر است:

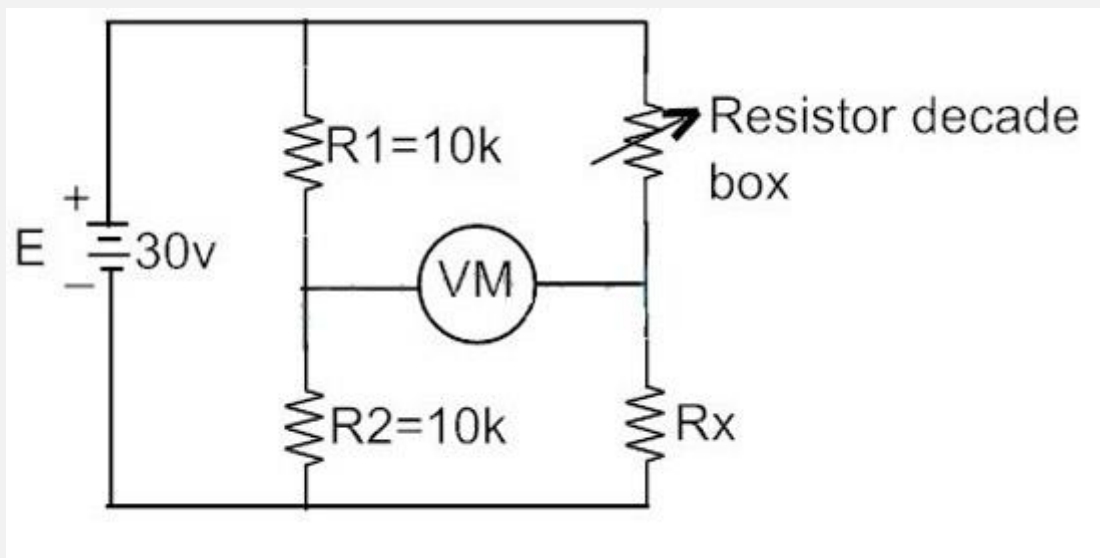
$$V_{R2} = I_1 \times R_2 = 0.2 \times 40 = 8 \text{ (v)}$$

به روش مشابه ولتاژ در بازوی R_1 برابر با ۴ ولت است که از رابطه (0.2×20) به دست می آید. به دلیل مقاومت یکسان R_3 و R_4 به ترتیب ولتاژها برابر با مقادیر محاسبه شده در R_1 و R_2 هستند. از این رو ولتاژ در نقاط **A** و **B** یکسان است و گالوانومتر عدد صفر را نشان می دهد. زیرا اختلاف پتانسیل صفر می شود. بنابراین در این حالت پل در وضعیت تعادل قرار دارد.

اگر مقاومت های بازوی دوم را معکوس کنید، میزان جریان به دلیل اتصال سری مقاومت ها یکسان خواهد بود. اما ولتاژ دوسر مقاومت R_4 تغییر می کند، یعنی با حاصل ضرب $0.2/2$ آمپر در ۲۰ اهم، ولتاژ ۴ ولت می شود. به همین دلیل اختلاف ولتاژ **A** و **B** با تفاضل مقادیر ۸ و ۴ به اندازه ۴ ولت تغییر خواهد کرد. این وضعیت در پل شرایط نامتعادلی را ایجاد می کند.

مثال پل وتستون

با توجه به توضیحات بالا، تا زمانی که ولت متر عدد صفر را نشان ندهد، این پل نامتعادل است. البته مقادیر و اعداد ممکن است که مثبت یا منفی باشند که به بزرگی ولتاژ پایانه های دستگاه ولت سنج بستگی دارد. با توجه به مدار زیر، مقدار مقاومت مجهول را با تغییر مقاومت R_3 توسط جعبه مقاومت، محاسبه کنید.



می دانیم که با توجه به شرط تعادل پل رابطه زیر همواره صادق است:

$$R_x = R_3 \times \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$R_x = R_{\text{جعبه}} \times \left(\frac{10 \times 10^3}{10 \times 10^3} \right)$$

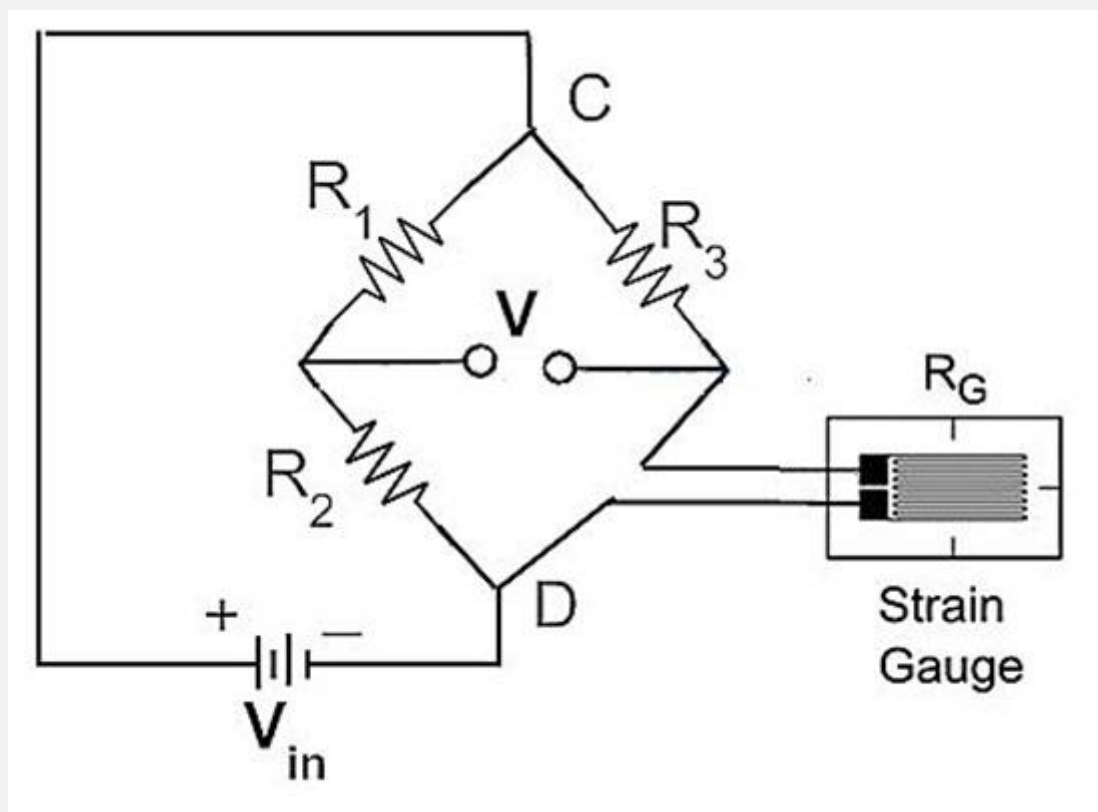
$$R_x = R_{\text{جعبه}}$$

این جا باید جعبه مقاومت را تا زمان نمایش عدد صفر روی ولت متر تغییر دهید که تعادل برقرار شود. مقاومت تنظیم شده با جعبه همان مقاومت مجهول است. یعنی اگر حالت صفر با عدد ۲۵۰ اهم روی جعبه نشان داده شود، مقاومت مجهول نیز همین مقدار خواهد بود.

اندازه گیری کرنش

به طور معمول در اندازه گیری کرنش از دستگاه کرنش سنج یا (**Strain gauge**) استفاده می شود که مقاومت الکتریکی آن متناسب با میزان کرنش دستگاه تغییر می کند. در حقیقت میزان طیف کرنش اندازه گیری شده توسط این دستگاه ۳۰ تا ۳۰۰۰ اهم است. در یک کرنش یا کشش معین، تغییر به اندازه مقدار کمی در این بازه اتفاق می افتد. بنابراین به منظور اندازه گیری دقیق تغییرات ناچیز مقاومت از پیکربندی پل وتستون

استفاده می کنند. در این حالت کرنش سنج در مدار جایگزین مقاومت مجهول می شود.



در مدار فوق دو مقاومت R_1 و R_2 با یکدیگر برابر هستند و مقاومت سوم تغییر می کند. حتی در صورت نبود کرنش سنج از یک رئوستا به منظور انحراف [ولت متر](#) به عدد صفر استفاده می شود. اگر کرنش سنج فشرده یا کشیده شود، مقاومت افزایش یا کاهش پیدا می کند. بنابراین عدم تعادل در پل اتفاق می افتد که باعث تغییر ولتاژ ولت متر خواهد شد.

محدودیت ها و حساسیت ها

در صورت عدم ایجاد شرط تعادل امکان بروز خوانش های نادرست و غلط در پل وجود دارد. این مدار به منظور [اندازه گیری](#) در مقاومت های کم و متوسط طراحی شده است. بنابراین در محدوده هایی با مقاومت بیشتر کارایی مناسبی ندارد. در این شرایط بهتر است که از روش های اندازه گیری دیگر استفاده شود. علاوه بر این، مدار و تستون زمانی که تمام مقاومت های مدار برابر باشند، حساسیت بیشتری دارد که با تغییر این هماهنگی میزان دقت آن کاهش پیدا می کند.

نتیجه گیری

پل و تستون به اندازه گیری مقاومت مجهول در مدار کمک می کند. این مدار در مدارهایی با مقاومت های یکسان و کم به محاسبه دقیق مقاومت مجهول کمک می کند. البته باید شرایط تعادل همواره در آن ایجاد شود. اندازه گیری کمیت های فیزیکی مانند دما، کرنش، نور و غیره در تقویت کننده ها دیگر کاربرد این پل هستند. علاوه بر این ظرفیت، القای مغناطیسی و امپدانس (مقاومت ظاهری) مدار نیز با تغییر مناسب در پل قابل محاسبه هستند.