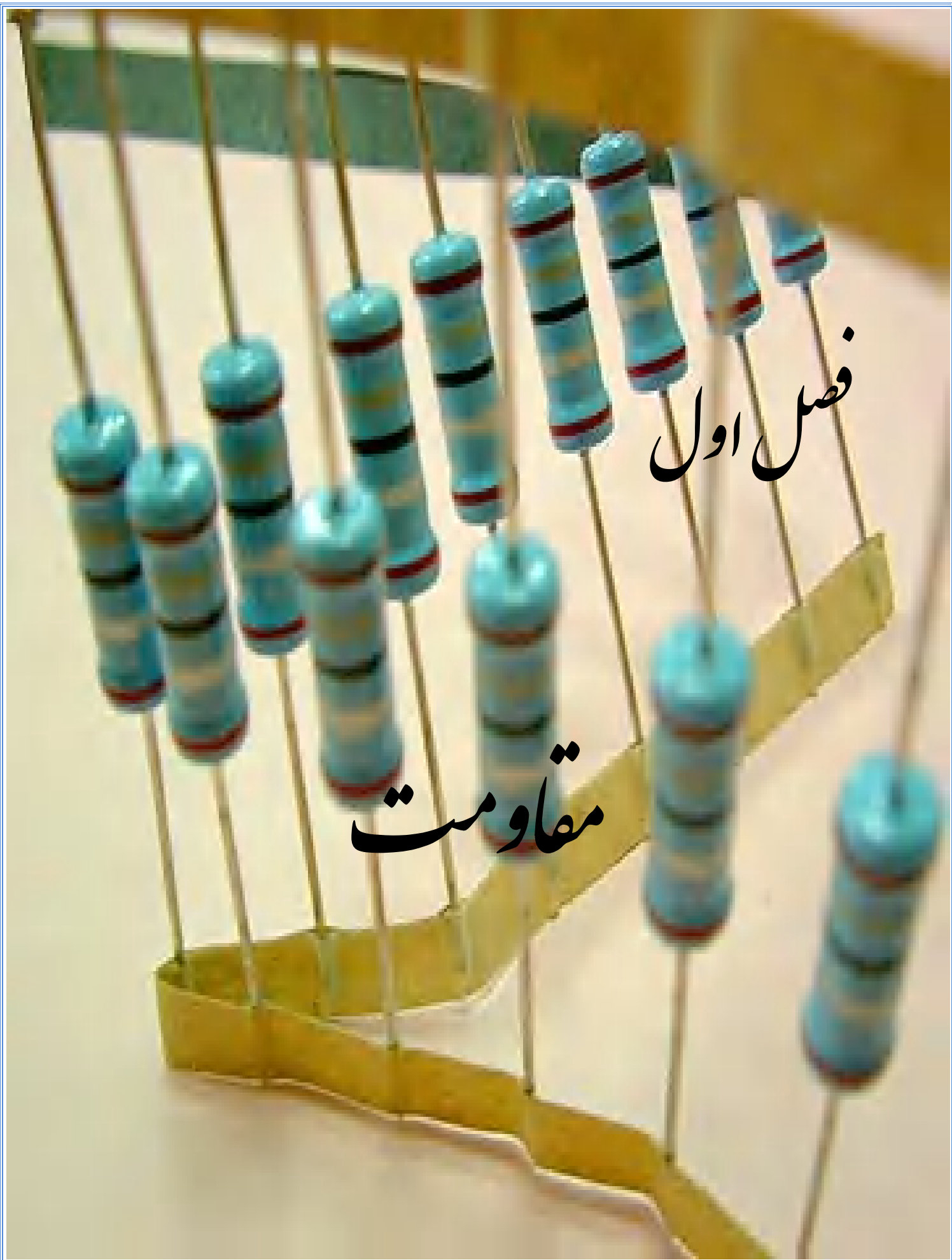


فصل اول

مقاومت



مقاومت

شاید شما نیز از دیدن این اشیاء ریز و رنگی ، داخل رادیو و وسایل دیگر شگفت زده شده باشید و بخواهید بدانید از چه جنسی هستند و به چه دردی می خورند؟
مقاومت چیست؟ مقاومت ها اجزایی هستند که مقاومت مدار را زیاد می کنند . آنها از موادی با هدایت کم و در اندازه ها و شکل های متنوع ساخته شده اند .

مقاومت الکتریکی

عبور جریان الکتریکی از هادی ها از بسیاری جهات شبیه عبور گاز از یک لوله است . اگر این لوله پر از پشم فلزی یا ماده مختلتی باشد ، این شباهت ها بیشتر می شود . اتم های تشکیل دهنده سیم هادی از عبور الکترون ها جلوگیری می کنند ، همانطور که الیاف پشم فلزی مانع عبور مولکولهای گاز می شوند . حال می خواهیم ببینیم که مقاومت هادی ها به غیر از جنس فلز به چه عواملی دیگری بستگی دارد .

تاثیر سطح مقطع بر مقاومت الکتریکی

مقاومت هر جسمی به الکترونهای آزاد آن بستگی دارد . می دانید که واحد شدت الکتریکی آمپر (A) است . یک آمپر یعنی این که 28/6 ضرب در 10 به توان 18 الکترون آزاد در هر ثانیه از هر نقطه سیم عبور می کند . پس یک هادی خوب باید به مقدار کافی الکترون آزاد داشته باشد تا جریان الکتریکی با چندین آمپر بتواند از آن عبور کند .

بنا بر این طبق شکل هرگاه پهنای فلز افزایش یابد ، در حقیقت سطح مقطع زیادتر و در نتیجه ، مقاومت کم تر می شود . پس سطح مقطع عکس مقاومت عمل می کند

مقاومت الکتریکی

↓

$$R = \rho$$

↓

مقاومت مخصوص
که بستگی به جنس
مقاومت دارد.

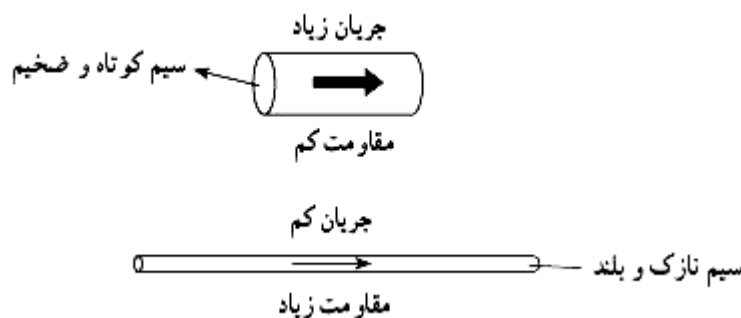
طول سیم → $\frac{l}{A}$

↓

سطح مقطع

تأثیر طول هادی بر مقاومت الکتریکی

شاید تصور کنید که با افزایش طول هادی عبور جریان راحت تر می شود ولی چنین نیست . اگر چه در یک قطعه مسی بلند تر تعداد بیشتری الکترون آزاد وجود دارد ولی الکترونهای آزاد اضافی در طول سیم ، در اندازه گیری جریان الکتریکی داخل نمی شود . در واقع هر طول معین از هادی ، مقدار معینی مقاومت دارد و هر چه سیم طویل تر باشد ، مقاومت بیشتر می شود .



نکته : تغییر طول و سطح مقطع به میزان دو برابر مقاومت را تغییر نمی دهد

اندازه گیری مقاومت الکتریکی در مدار

مدارهای الکتریکی به دو نوع بسته می شوند : سری یا موازی

اندازه گیری مقاومت الکتریکی در مدار سری :

در مدار سری همانگونه که از نامش پیدا است مقاومت ها به دنبال هم بسته شده اند پس باید تمامی مقدار آنها را با هم جمع کرد

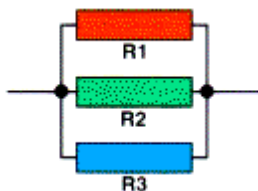
$$R_{Total} = R_1 + R_2 + R_3 + \text{etc...}$$



اندازه گیری مقاومت الکتریکی در مدار موازی :

در مدار موازی باید حاصل ضرب تمام مقاومت ها را تقسیم بر مجموع مقاومت ها کرد .

$$R_{Total} = \frac{1}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \text{etc}\right)}$$



کاربرد مقاومت های الکتریکی

مقاومت های اهمی برای اضافه کردن مقاومت مدارهای الکتریکی به کار می روند . در حقیقت ، آنها اجسامی هستند که در مقابل عبور جریان مقاومت زیادی از خود نشان می دهند . موادی که غالباً در مقاومت ها به کار می روند عبارتند از کربن ، آلیاژ مخصوص از فلزاتی از قبیل نیکروم ، کنستانتان و منگانه . مقاومت اهمی را طوری به مدار می بندیم که جریان همان طور که از بار الکتریکی و منبع ولتاژ عبور می کند ، از آن هم بگذرد . در این صورت مقاومت کل مدار مجموع مقاومت های بار الکتریکی ، منبع ولتاژ ، سیم های رابط و مقاومت اهمی است . توجه داشته باشید که فقط با اضافه کردن یک مقاومت اهمی مناسب به مدار می توان مقاومت کل مدار را به اندازه ی دلخواه تغییر داد .

انواع مقاومت ها

- 1- مقاومت های ترکیبی
- 2- مقاومت های سیم پیچی
- 3- مقاومت های لایه ای
- لایه ی کربنی
- لایه ی فلزی
- لایه ی اکسید فلز

طبقه بندی مقاومت های از نظر نوع کار

1- مقاومت های ثابت :

مقاومت های ثابت دو سیم رابط دارند که به دو انتهای مقاومت متصل است . اصولاً مقدار این نوع مقاومت های ثابت است ولی بعضی از آنها دارای مقاومت های متفاوتی هستند . این مقاومت ها به دو دسته ی

الف - مقاومت ها زبانه دار و

ب - مقاومت های قابل تنظیم تقسیم می شوند .

الف) مقاومت های زبانه دار :

در این نوع مقاومت ها علاوه بر دو سیم انتهایی ، سر سیم های دیگری بین دو سر مقاومت وجود دارد . با اتصال ترمینال های مختلف به مدار مقاومت های متفاوتی حاصل می شود . هر یک از این مقاومت ها دارای مقاومت ثابتی هستند .

ب) مقاومت های قابل تنظیم :

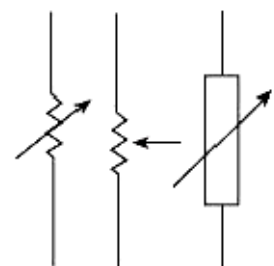
دیدید که مقاومت های ثابت قابلیت انعطاف ندارند ، زیرا مقاومتشان کاملاً تعیین شده و مقدار آن تغییر ناپذیر است . مقاومت های زبانه دار تا حدودی قابلیت انعطاف دارند ، چون بیش از یک مقدار مقاومت می توان از آنها بدست آورد . با وجود این تعداد مقاومت هایی را که می توان از آنها بدست آورد به 3 یا 4 محدود می شود . آنچه اغلب مورد نیاز است ، مقاومتی است که بوسیله آن بتوان حدود معینی از مقاومت را از 0 تا 1 حد اکثر بدست آورد . این مقاومت ها طوری ساخته نشده اند که بتوان آنها را پیوسته تغییر داد . در واقع ، هنگام نصب این مقاومت ها در مدار، آنها را روی مقاومت دلخواه تنظیم کرده و سپس با همان مقاومت در مدار کار می کنند .

2- مقاومت های متغیر :

در بسیاری از وسایل الکتریکی مقدار بعضی از مقاومتها باید پیوسته تغییر کند ، پیچ ولوم رادیو ، کنترل کننده روشنایی تلویزیون از آن جمله اند . مقاومت های متغیر مقاومت هایی هستند که پیوسته می توان مقدار آنها را تغییر داد . مانند



چند نمونه پتانسیومتر بر کاربرد در الکترونیک

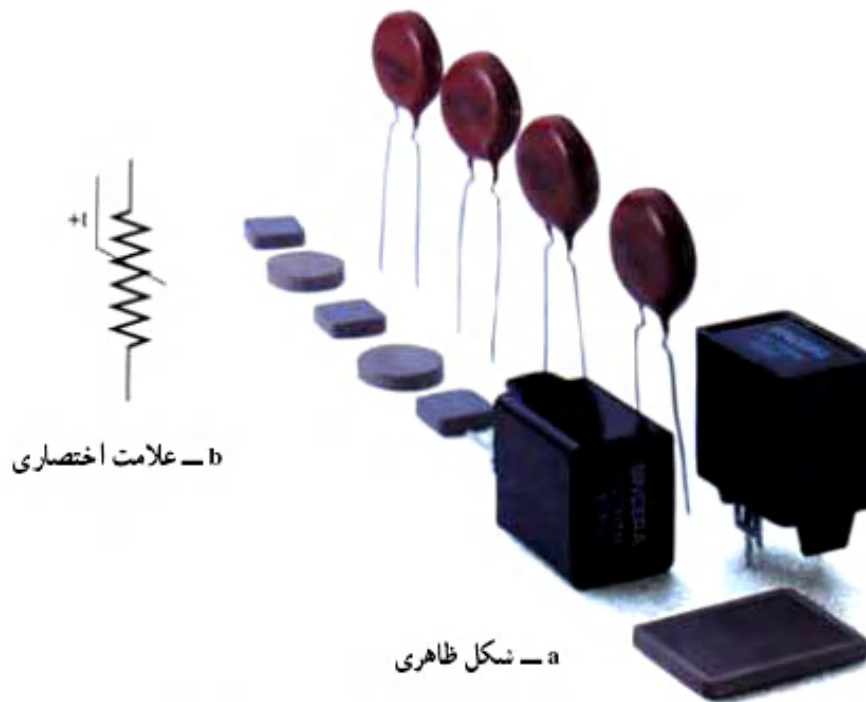


علامت اختصاری

1- پتانسیومتر 2-رئوستا

به آن دسته از مقاومت های متغیر ، " وابسته " گفته می شود که به وسیله عواملی از قبیل نور ، حرارت ، ولتاژ و ... مقدار مقاومتشان تغییر کند . این مقاومت ها انواع مختلفی دارد که عبارت اند از :

الف - مقاومت های تابع حرارت (THERMISTOR (Tehrmally sensitive resistor



انواع مقاومت های PTC همراه علامت اختصاری

مقدار اهم این مقاومت ها تابع حرارت است . یعنی ، در اثر حرارت میزان مقاومتشان تغییر می کند. مقاومت های حرارتی را تحت عنوان " ترمیستور " می شناسیم . در این مقاومت ها تغییرات مقدار مقاومت نسبت به تغییرات دما خطی نیست. از این مقاومت ها در مدارها به صورت حس کننده (Sensor) های حرارتی در مسیر دستگاه های الکتریکی نظیر موتورهای الکتریکی ، کوره ها ، سیستم های تهویه و تبرید استفاده می شود . به طور کلی ترمیستورها در مداراتی که دما را اندازه گیری یا کنترل می کنند به کار می روند و در دو نوع ساخته می شوند .

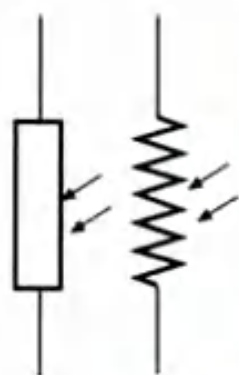
1- ترمیستور با ضریب حرارتی مثبت (PTC): که با افزایش دما مقدار مقاومت آن افزایش می

یابد . و

2- ترمیستور با ضریب حرارتی منفی (NTC) : که با افزایش دما مقدار مقاومتش کاهش می یابد .

ب- مقاومت های تابع نور (LDR(light dependent resistor)

مقدار مقاومت تابع نور تابع تغییرات شدت نور تابیده شده به سطح آن است. مقاومت تابع نور در فضای تاریک دارای مقاومت خیلی زیاد (در حد مگا اهم) و در روشنایی دارای مقاومت کم (در حد کیلو یا اهم) است . مقاومت های LDR را " فتورزیستور " هم می نامند . برای اینکه نور روی عنصر مقاومتی فتورزیستور اثر گذارد معمولا سطح ظاهری آن را با شیشه یا پلاستیک شفاف می پوشانند . از این مقاومت در مدارات الکترونیکی به عنوان تشخیص دهنده ی نور (نور سنچ) استفاده می شود . از جمله کاربردهای این مقاومت استفاده ی آن در دوربین های عکاسی و کلیدهای نوری و چشم های الکترونیکی است .



ب - علامت اختصاری



ا - شکل ظاهری

تصویر ظاهری و علامت اختصاری مقاومت LDR

ج- مقاومت های تابع ولتاژ (VDR (Voltage Dependent Resistor) :

مقاومت های تابع ولتاژ ، مقاومت هایی هستند که متناسب با تغییر ولتاژ ، مقاومت آنها تغییر می کند تا همواره ولتاژ یکسانی در مدار وجود داشته باشد . مقاومت VDR را تحت عنوان " واریستور " نیز می شناسند . مقدار اهم این مقاومت ها با ولتاژ رابطه ی معکوس دارد . یعنی با افزایش ولتاژ مقدار اهم آنها کاهش می یابد . واریستورها به پلاریته ی ولتاژ اعمال شده وابسته نیستند که این خود مزیتی برای این نوع مقاومت ها محسوب

می شود ، زیرا برای استفاده در مدارات AC بسیار مناسب هستند. از جمله کاربرهای این مقاومت ها عبارتند از :

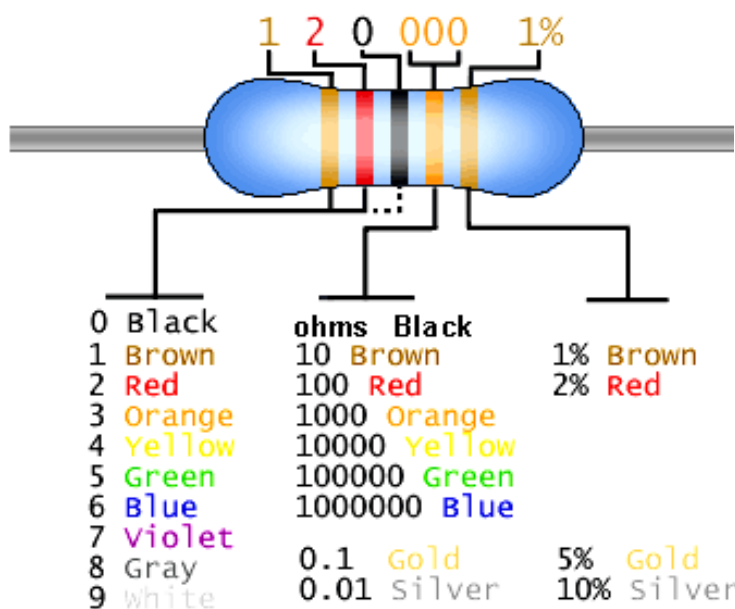
1- تثبیت کننده های ولتاژ

2- حفاظت مدارها در مقابل اضافه ولتاژها در لحظات قطع و وصل کلید .

د-مقاومت های تابع میدان مغناطیسی : MDR(Magnetic Dependen Resistor)

مقاومت های تابع میدان به مقاومت هایی گفته می شود که به سبب اثر میدان مغناطیسی بر آنها مقدار اهمشان تغییر می کند . در ساخت این مقاومت ها از نیمه هادی هایی استفاده شده که دارای ضریب حرارتی منفی هستند. به همین دلیل در صورت افزایش دما مقدار مقاومت آن ها کاهش می یابد .

نحوه تعیین مقدار مقاومت ها از روی کد رنگی :

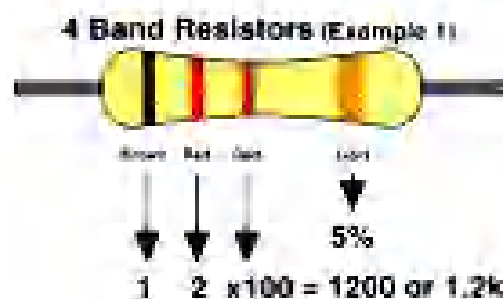


رنگ اولین نوار نشان دهنده اولین عدد صحیح مقدار مقاومت است و رنگ دومین نوار نشان دهنده دومین

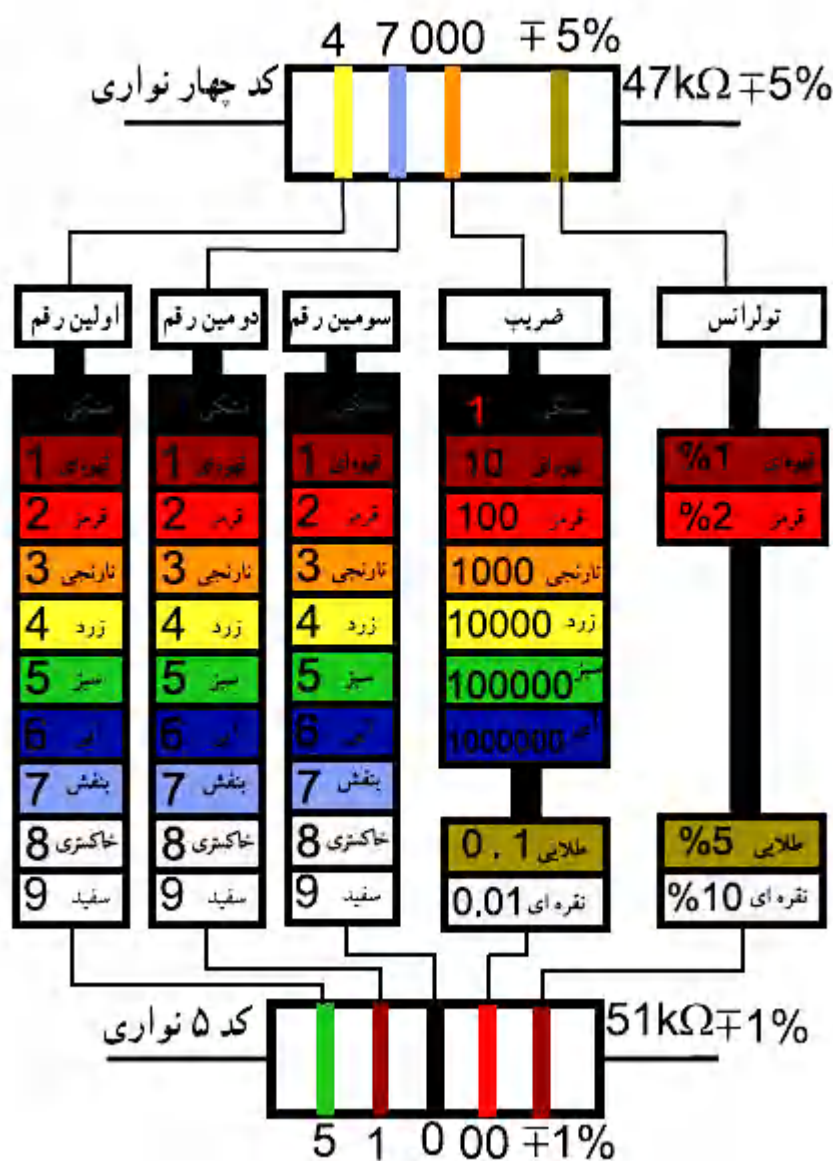
عدد صحیح مقدار مقاومت است . رنگ سومین نوار نشان دهنده ضریب مقاومت است . رنگ نوار چهارم حدود

خطا (تolerانس) را معین می کند .

مثال:



نحوه ی تعیین مقدار اهم و تولرانس مقاومت ها با کد 4 نوار رنگی و 5 نوار رنگی



شماره	رنگ
۰	سیاه
۱	قهوه ای
۲	قرمز
۳	نارنجی
۴	زرد
۵	سبز
۶	آبی
۷	بنفش
۸	خاکستری
۹	سفید

چگونگی حفظ کدهای رنگی

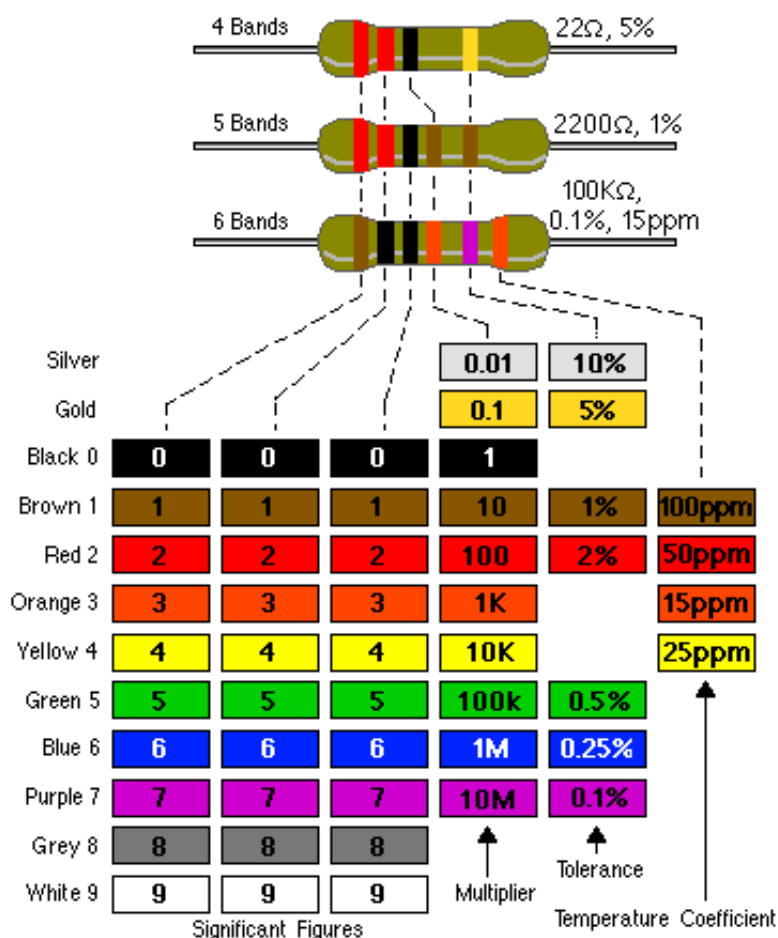
ساقیا قدھی قرار نه زیر سبو

۵ ۴ ۳ ۲ ۱ ۰

ابی بنشان خانه سنبل به نگو

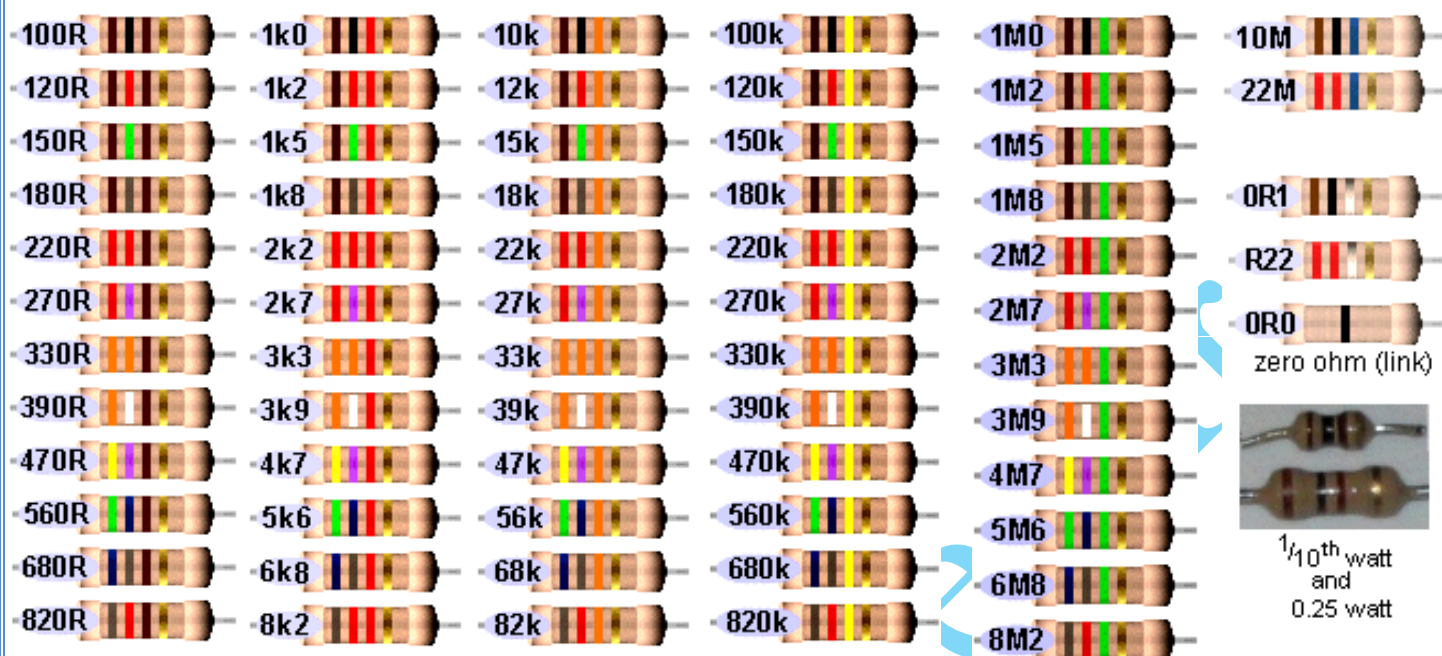
۹ ۸ ۷ ۶

نحوه ی تعیین مقدار اهم وتولرانس مقاومت ها با کد 4 نوار رنگی و 5 نوار رنگی و 6 نوار رنگی



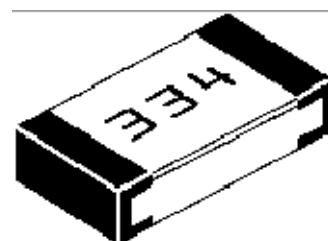
همه مقاومت های موجود با کد رنگ





مقاومت های نصب سطحی (SMresistor)

این نوع مقاومتها دارای ابعاد خیلی کوچک می باشند که برای نصب سطحی روی برد کاملاً مناسب میباشند.
مانند شکل زیر



این مقاومت ها بر اساس شماره کدبندی میشوند و به صورت کد 3 رقمی و چهار رقمی موجود می باشند. نحوه خواندن این مقاومت ها به این صورت می باشد که (در کد 3 رقمی) دو عدد اول را از سمت چپ نوشته سپس

به تعداد عدد سوم صفر جلوی دو رقم قبلی قرار می دهیم. به عنوان مثال در شکل بالا عدد 334 یعنی 33 و چهار صفر جلوی عدد 33 که می شود 330000 یا 330k .

چند مثال دیگر..

$$222 = 22\ 00 = 2,200 = 2k2$$

$$473 = 47\ 000 = 47,000 = 47k$$

$$105 = 10\ 00000 = 1,000,000 = 1M \quad (\text{یک میلیون اهم})$$

توجه: در جدول زیر قراردادهای زیر را در نظر بگیرید

R = ohms k = kilo ohms = 1,000 ohms M = Meg = 1,000,000 ohms

جدول مقاومت های سطحی (با کد سه رقمی) با تمامی رنج های موجود

0R1 = 0.1ohm	470 = 47R	332 = 3k3	224 = 220k
R22 = 0.22ohm	560 = 56R	392 = 3k9	274 = 270k
R33 = 0.33ohm	680 = 68R	472 = 4k7	334 = 330k
R47 = 0.47ohm	820 = 82R	562 = 5k6	394 = 390k
R68 = 0.68ohm	101 = 100R	682 = 6k8	474 = 470k
R82 = 0.82ohm	121 = 120R	822 = 8k2	564 = 560k
1R0 = 1R	151 = 150R	103 = 10k	684 = 680k
1R2 = 1R2	181 = 180R	123 = 12k	824 = 820k
2R2 = 2R2	221 = 220R	153 = 15k	105 = 1M0
3R3 = 3R3	271 = 270R	183 = 18k	125 = 1M2
4R7 = 4R7	331 = 330R	223 = 22k	155 = 1M5
5R6 = 5R6	391 = 390R	273 = 27k	185 = 1M8
6R8 = 6R8	471 = 470R	333 = 33k	225 = 2M2
8R2 = 8R2	561 = 560R	393 = 39k	275 = 2M7
100 = 10R	681 = 680R	473 = 47k	335 = 3M3
120 = 12R	821 = 820R	563 = 56k	395 = 3M9
150 = 15R	102 = 1k0	683 = 68k	475 = 4M7
180 = 18R	122 = 1k2	823 = 82k	565 = 5M6
220 = 22R	152 = 1k5	104 = 100k	685 = 6M8
270 = 27R	182 = 1k8	124 = 120k	825 = 8M2
330 = 33R	222 = 2k2	154 = 150k	106 = 10M0
390 = 39R	272 = 2k7	184 = 180k	

جدول مقاومت های سطحی (با کد چهار رقمی) با تمامی رنج های موجود

0000 = 00R	10R0 = 10R	1000 = 100R	1001 = 1k0	1002 = 10k	1003 = 100k	1004 = 1M
00R1 = 0.1ohm	11R0 = 11R	1100 = 110R	1101 = 1k1	1102 = 11k	1103 = 110k	1104 = 1M1
0R22 = 0.22ohm	12R0 = 12R	1200 = 120R	1201 = 1k2	1202 = 12k	1203 = 120k	1204 = 1M2
0R47 = 0.47ohm	13R0 = 13R	1300 = 130R	1301 = 1k3	1302 = 13k	1303 = 130k	1304 = 1M3
0R68 = 0.68ohm	15R0 = 15R	1500 = 150R	1501 = 1k5	1502 = 15k	1503 = 150k	1504 = 1M5
0R82 = 0.68ohm	16R0 = 16R	1600 = 160R	1601 = 1k6	1602 = 16k	1603 = 160k	1604 = 1M6
1R00 = 1ohm	18R0 = 18R	1800 = 180R	1801 = 1k8	1802 = 18k	1803 = 180k	1804 = 1M8
1R20 = 1R2	20R0 = 20R	2000 = 200R	2001 = 2k0	2002 = 20k	2003 = 200k	2004 = 2M0
2R20 = 2R2	22R0 = 22R	2200 = 220R	2201 = 2k2	2202 = 22k	2203 = 220k	2204 = 2M2
3R30 = 3R3	24R0 = 24R	2400 = 240R	2401 = 2k4	2402 = 24k	2403 = 240k	2404 = 2M4
6R80 = 6R8	27R0 = 27R	2700 = 270R	2701 = 2k7	2702 = 27k	2703 = 270k	2704 = 2M7
8R20 = 8R2	30R0 = 30R	3000 = 300R	3001 = 3k0	3002 = 30k	3003 = 300k	3004 = 3M0
	33R0 = 33R	3300 = 330R	3301 = 3k3	3302 = 33k	3303 = 330k	3304 = 3M3
	36R0 = 36R	3600 = 360R	3601 = 3k6	3602 = 36k	3603 = 360k	3604 = 3M6
	39R0 = 39R	3900 = 390R	3901 = 3k9	3902 = 39k	3903 = 390k	3904 = 3M9
	43R0 = 43R	4300 = 430R	4301 = 4k3	4302 = 43k	4303 = 430k	4304 = 4M3
	47R0 = 47R	4700 = 470R	4701 = 4k7	4702 = 47k	4703 = 470k	4704 = 4M7
	51R0 = 51R	5100 = 510R	5101 = 5k1	5102 = 51k	5103 = 510k	5104 = 5M1
	56R0 = 56R	5600 = 560R	5601 = 5k6	5602 = 56k	5603 = 560k	5604 = 5M6
	62R0 = 62R	6200 = 620R	6201 = 6k2	6202 = 62k	6303 = 620k	6204 = 6M2
	68R0 = 68R	6800 = 680R	6801 = 6k8	6802 = 68k	6803 = 680k	6804 = 6M8
	75R0 = 75R	7500 = 750R	7501 = 7k5	7502 = 75k	7503 = 750k	7504 = 7M5
	82R0 = 82R	8200 = 820R	8201 = 8k2	8202 = 82k	8203 = 820k	8204 = 8M2
	91R0 = 91R	9100 = 910R	9101 = 9k1	9102 = 91k	9103 = 910k	9104 = 9M1
						1005 = 10M

نکته: R,K,M که مابین اعداد هستند حکم ممیز دارند

مثلاً : 5K1=5.1K

به مثالهای زیر هم دقت کنید

مثال برای کد سه رقمی

مثال برای کد چهار رقمی

330 is 33 ohms - *not 330 ohms*

1000 is 100 ohms - *not 1000 ohms*

221 is 220 ohms

4992 is 49 900 ohms, or 49k9

683 is 68 000 ohms, or 68k

1623 is 162 000 ohms, or 162k

105 is 1 000 000 ohms, or 1M

0R56 or **R56** is 0.56 ohms

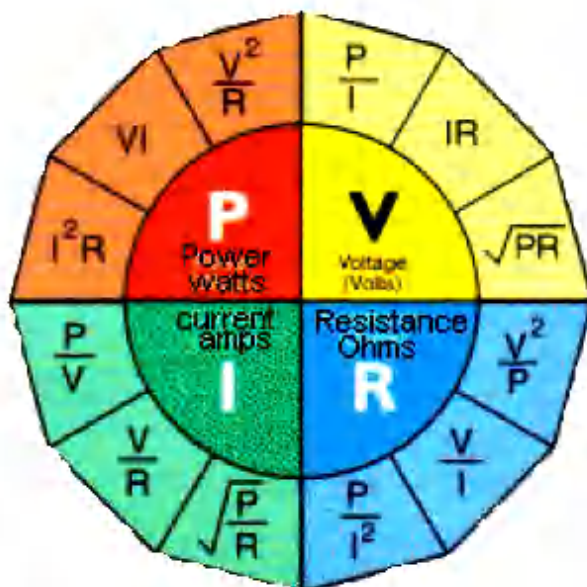
8R2 is 8.2 ohms

قانون اهم

برای بوجود آوردن جریان در یک مقاومت ، باید یک ولتاژ را در سرتاسر مقاومت ایجاد کنیم . قانون اهم وابستگی بین ولتاژ ، جریان و مقاومت را بیان میکند که به 3 روش مختلف بیان می شود .

$$R = V / I \text{ یا } I = V / R \text{ یا } V = I \times R$$

در فرمولهای بالا واحد ولتاژ (ولت V) واحد جریان (آمپر I) و واحد مقاومت (اهم) می باشد .



قانون اهم



$$I = \frac{V}{R}$$



$$V = IR$$

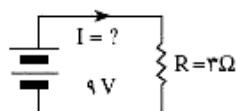


$$R = \frac{V}{I}$$

$$\text{ولت} \rightarrow V \leftarrow R = \frac{V}{I} \rightarrow \text{آمپر}$$

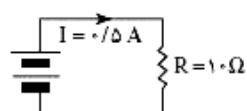
در اکثر مدارهای الکتریکی معمولاً مقدار آمپر بسیار بالا و برعکس مقدار مقاومت معمولاً پائین در نظر گرفته شده است . لذا جریان با میلی آمپر و اهم با کیلو اهم اندازه گیری می شود .

مثال:



$$R = 3\Omega, V = 9V, I = ?$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{9}{3} = 3A \quad \boxed{I = 3A}$$

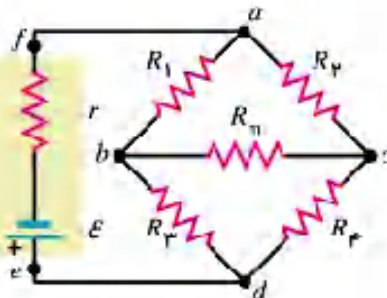


$$R = 10\Omega, I = 0.5A, V = ?$$

$$V = I \cdot R = 0.5 \times 10 = 5V \quad \boxed{V = 5V}$$

ساختمان مدار پل وتستون

همانگونه که در شکل دیده می‌شود، مدار پل وتستون از چهار مقاومت R_1, R_2, R_3, R_4 تشکیل شده است. اساس کار مدار پل وتستون اینگونه است که ولتاژ ورودی به دو قسمت تقسیم می‌شود. جریان خروجی از هر دو ولتاژ تقسیم شده، تشکیل می‌گردد. در فرم کلاسیک مدار پل وتستون یک گالوانومتر (ماده بسیار حساس به جریان مستقیم) در بین ورودی و خروجی ولتاژ نصب می‌شود.



اگر ولتاژ تقسیم شده به گونه‌ای باشد که دقیقاً نسبت $R_2 = R_3 R_4 / R_1$ برقرار باشد، در این صورت گفته می‌شود که پل در حالت تعادل است. در این صورت گالوانومتر هیچ جریانی را نشان نمی‌دهد. اگر چنانچه یکی از مقاومتها، حتی به اندازه بسیار کوچک، تغییر کنند، در این صورت تعادل به هم خورده و عقربه گالوانومتر جریانی را نشان می‌دهد. پس گالوانومتر مقیاسی برای نشان دادن شرط تعادل است.

طرز کار پل وتستون

فرض کنید یک ولتاژ dc به اندازه E به مدار پل اعمال شود. در اینجا نیز یک گالوانومتر برای نشان دادن شرط تعادل بین دو نقطه ولتاژ ورودی و خروجی نصب شده است. مقادیر مقاومت‌های R_1 و R_3 دقیقاً معلوم هستند، اما R_2 یک مقاومت متغیر است که به راحتی قابل تغییر است. بجای R_4 یک مقاومت مجهول که آن را با R_x نشان می‌دهیم، قرار داده شده است. ولتاژ E اعمال می‌شود و مقاومت متغیر R_2 به گونه‌ای تنظیم می‌شود که گالوانومتر جریانی را نشان ندهد.

بنابراین با توجه به اینکه مقادیر مقاومت‌های R_1 و R_3 معلوم هستند و R_2 را نیز خودمان تغییر داده‌ایم، لذا از رابطه $R_x = R_2 R_3 / R_1$ مقدار مقاومت مجهول تعیین می‌شود. در صورتی که هر چهار مقاومت یکسان باشند، مدار خیلی حساس خواهد بود. در هر صورت مدار پل و تستون در هر حالت بسیار عالی کار می‌کند.

کاربرد مدار پل و تستون

پل و تستون دارای کاربردهای بسیار زیادی است و آوردن تمام کاربردهای آن در یک مقاله مقدور نیست. بنابراین تنها به چند مورد خاص در اینجا اشاره می‌کنیم. کارلز و تستون کاربردهای زیادی از مدار پل و تستون را خودش اختراع کرد و کاربردهای دیگری نیز بعد از او توسعه یافته‌اند. امروزه یکی از کاربردهای عمومی مدار پل و تستون در صنعت استفاده از آن در حسگرهای بسیار حساس است.

در این دستگاه‌ها مقاومت درونی بر اساس سطح یعنی از کرنش (یا فشار یا دما و ...) تغییر می‌کند و به عنوان مقاومت نامعلوم R_x عمل می‌کند. همچنین به جای این که با تغییر دادن مقاومت R_2 در مدار تعادل ایجاد شود، به عوض گالوانومتر از مداری که می‌تواند میزان عدم تعادل در پل را بر اساس تغییر کرنش یا شرایط دیگر