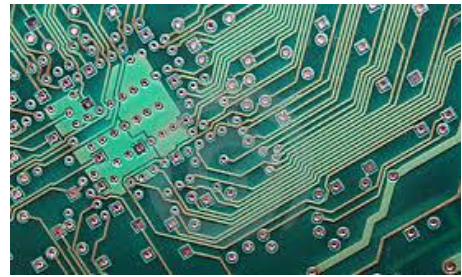
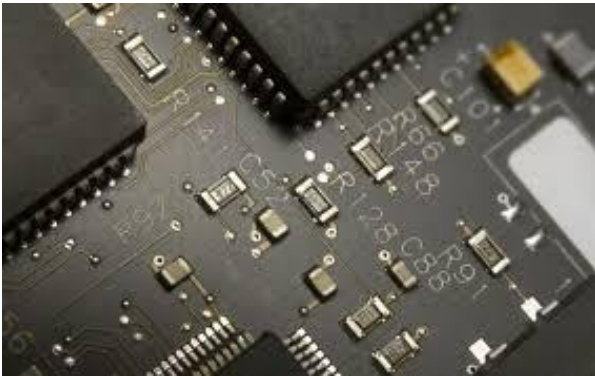
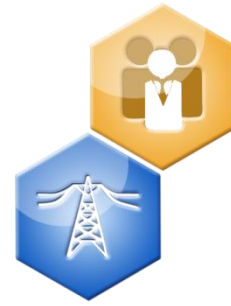
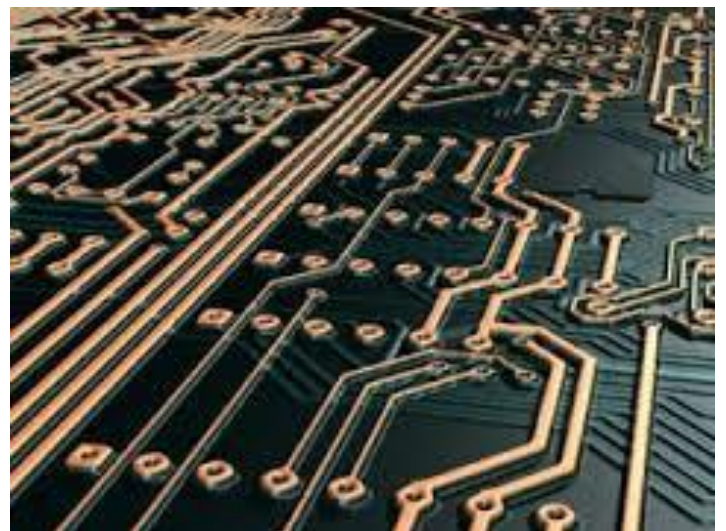




PET
ELÉTRICA



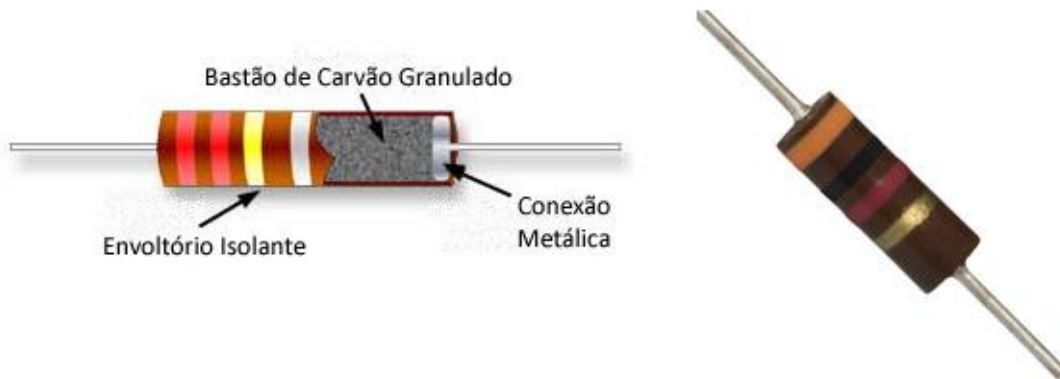
INTRODUÇÃO À ELETRÔNICA BÁSICA



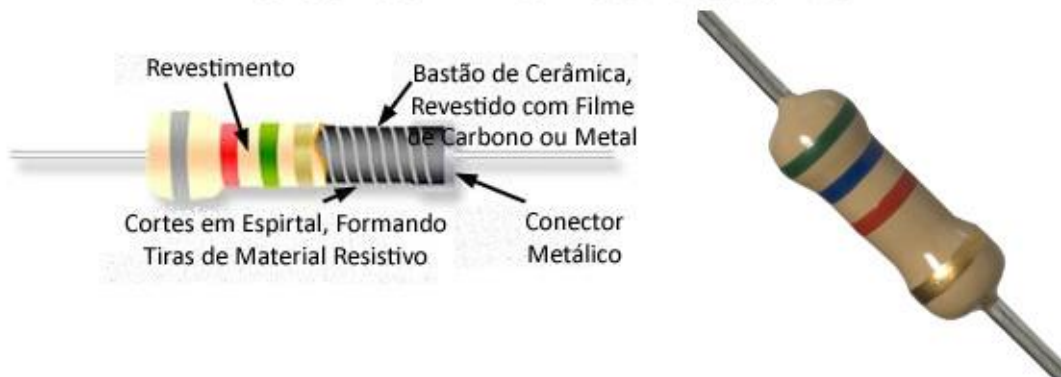
Resistores

Dispositivo eletrônico cuja a função é oferecer oposição à passagem de corrente elétrica causando uma diferença de potencial entre seus terminais, segundo a Lei de Ohm.

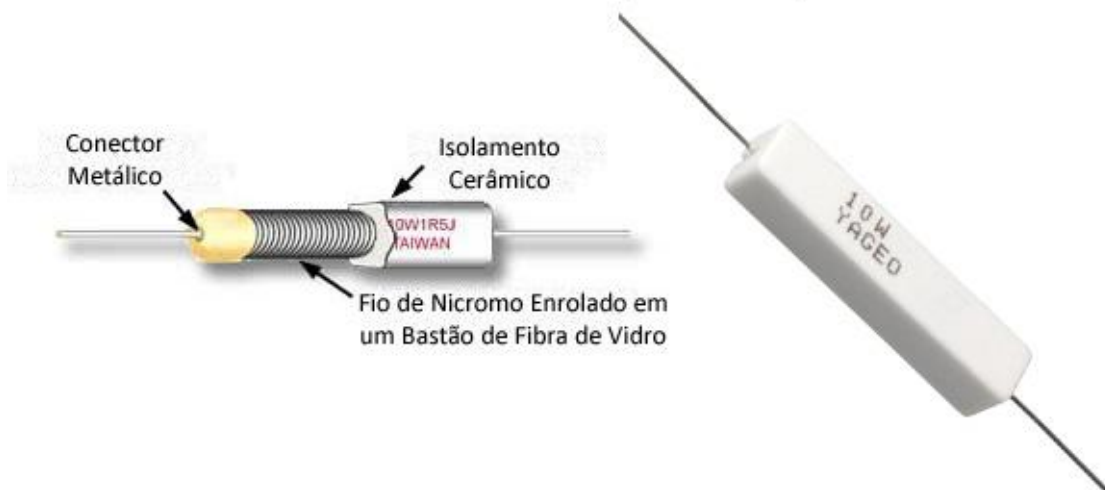
Resistor de Carvão



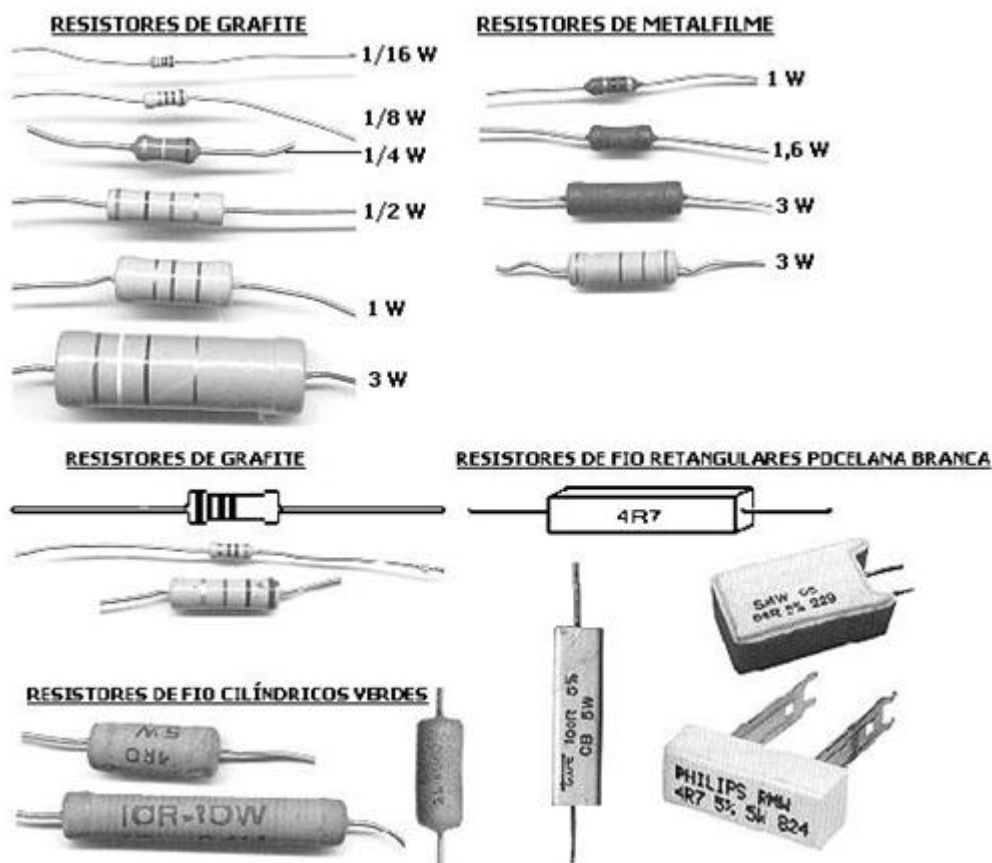
Resistor de Filme Metálico/Carvão



Resistor de Fio (Nicromo)



Formas e Tamanhos



Valores padrão de resistores

Sabemos que é impossível fabricar e manter nos estoques das lojas, todo e qualquer valor imaginável de resistores. Então os fabricantes encontraram a seguinte solução: adotar um sistema de séries ou de grupos de valores que a partir de uma lógica, explicada a seguir, é possível encontrar todos os valores de resistores que são comercializados. Veremos que dentro dessa lógica existe um conceito importante, a tolerância, que é a diferença percentual, para baixo ou para cima, entre o valor real e o valor nominal inscrito na peça.

Existem três séries comerciais de valores para resistores.

Série E6 - 1,0 - 1,5 - 2,2 - 3,3 - 4,7 - 6,8

Série E12 - 1,0 - 1,2 - 1,5 - 1,8 - 2,2 - 2,7 - 3,3 - 3,9 - 4,7 - 5,6 - 6,8 - 8,2

Série E24 - 1,0 - 1,1 - 1,2 - 1,3 - 1,5 - 1,6 - 1,8 - 2,0 - 2,2 - 2,4 - 2,7 - 3,0 - 3,3 - 3,6 - 3,9 - 4,3 - 4,7 - 5,1 - 5,6 - 6,2 - 6,8 - 7,5 - 8,2 - 9,1

Série E6 – Tolerância 20% (**Não tem** a quarta faixa colorida)

Série E12 – Tolerância 10% (Quarta faixa na cor **prateada**)

Série E24 – Tolerância 5% (Quarta faixa na cor **dourada**)

É a partir desses números base que (em múltiplos e sub-múltiplos) surgem todos os valores disponíveis no mercado, ou seja, basta multiplicar 10^{-1} , 10^0 , 10^1 , 10^2 , 10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 .

Exemplo:

Com o número base 22, temos os seguintes valores nominais: 0,22 – 2,2 – 22 – 220 – 2K2 – 22K – 220K – 2M2

Códigos de cores

Em resistores com tamanho muito reduzido fica inviável a impressão do valor da resistência no corpo do componente. Então, foi criado um código de cores que nos indica além da resistência em ohm, a tolerância do resistor analisado.

Código de Cores

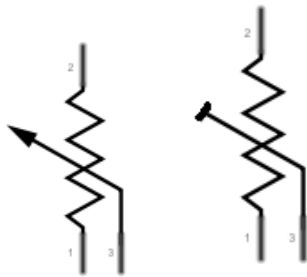
A extremidade com mais faixas deve apontar para a esquerda

Cor	1ª Faixa	2ª Faixa	3ª Faixa	Multiplicador	Tolerância
Preto	0	0	0	x 1 Ω	
Marrom	1	1	1	x 10 Ω	+/- 1%
Vermelho	2	2	2	x 100 Ω	+/- 2%
Laranja	3	3	3	x 1K Ω	
Amarelo	4	4	4	x 10K Ω	
Verde	5	5	5	x 100K Ω	+/- .5%
Azul	6	6	6	x 1M Ω	+/- .25%
Violeta	7	7	7	x 10M Ω	+/- .1%
Cinza	8	8	8		+/- .05%
Branco	9	9	9		
Dourado				x .1 Ω	+/- 5%
Prateado				x .01 Ω	+/- 10%

Resistores Variáveis

Potenciômetros

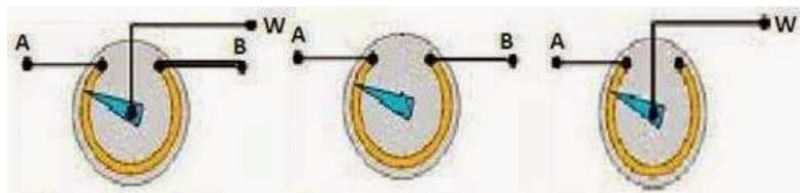
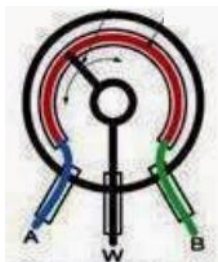
São resistores capazes de variar suas resistências dentro de uma faixa de valores determinada através do deslocamento manual de alguma haste.



Simbologia do Potenciômetro e Trim-pot



Potenciômetro e Trim-pot



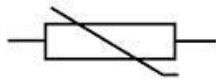
Divisor de Tensão

Resistência Fixa

Resistência Variável

Varistores

São resistores que possui sua resistência alterada de forma inversamente proporcional a tensão aplicada nos seus terminais, ou seja, conforme a tensão aumenta, a resistência diminui. Devido a essa capacidade são muito utilizados como dispositivo de proteção contra picos de tensão, pois limita a tensão do circuito conectado em paralelo com o varistor.



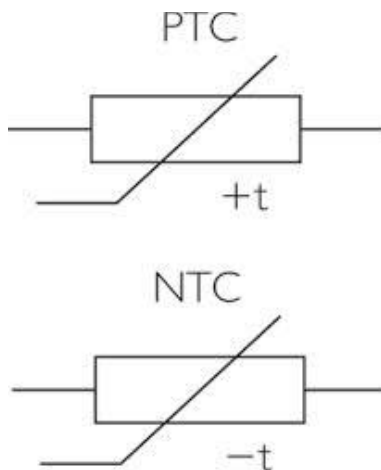
Simbologia do Varistor



Varistores

Termistores

São resistores que de acordo com a temperatura na qual estão submetidos possuem sua resistência alterada de forma não linear. Dois tipos de termistores se destacam: O PTC (Positive Temperature Coefficient), ou seja, a medida que a temperatura aumenta, sua resistência também aumenta e o NTC (Negative Temperature Coefficient), ou seja, a medida que a temperatura aumenta, sua resistência diminui.



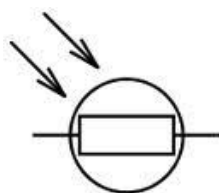
Simbologia do PTC e NTC



PTC e NTC

LDR (Light dependent Resistor)

São resistores quem tem sua resistência elétrica alterada conforme a intensidade da incidência da luz no qual está submetido. Na medida em que mais luz incide no LDR sua resistência diminui, e assim como a intensidade diminui, sua resistência aumenta.



Simbologia do LDR

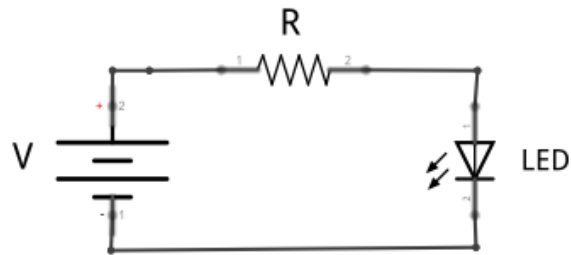


LDR

Experiências com Resistores

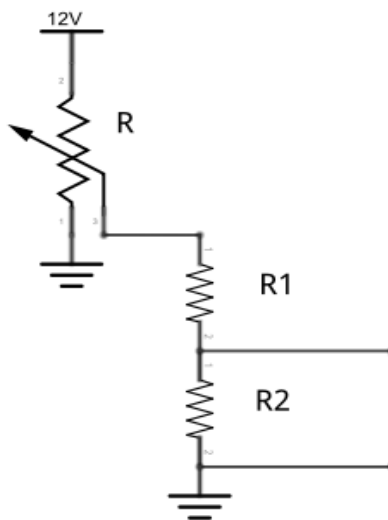
Resistores e LEDs

Dimensione o resistor do circuito abaixo encontrando todos os seu parâmetros.



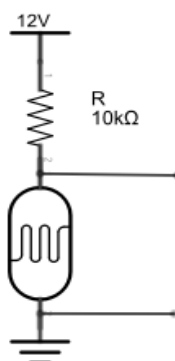
Divisor de Tensão

Dimensione o divisor de tensão encontrando todos os parâmetros dos resistores.



Resistor e LDR

Também é possível montar um divisor de tensão usando LDR, desta forma, a tensão de saída dependerá da luminosidade do ambiente.



Capacitor

É um componente eletrônico construído a partir de duas placas ou superfícies (armadura) condutoras, separadas por um meio isolante (dielétrico). O capacitor possui a propriedade de acumular cargas elétricas em sua estrutura, e a essa propriedade chamamos de *Capacitância*, sendo definida por:

$$C = \frac{q}{V}$$

Onde:

q = Carga elétrica;

V = Tensão do capacitor;

E devido a essa propriedade, podemos afirmar que o capacitor é capaz de armazenar energia no campo elétrico estabelecido pela diferença de potencial aplicada em seus terminais.

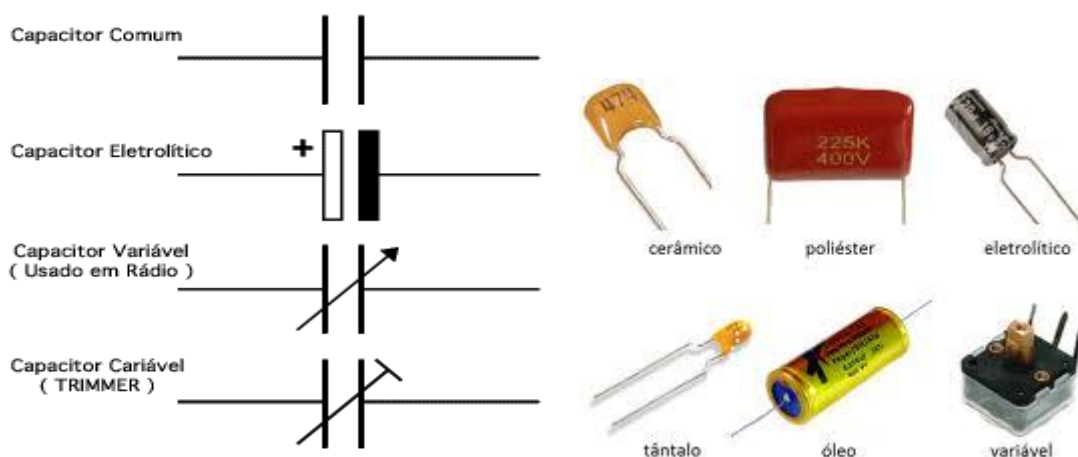
De forma similar aos resistores, os capacitores também possuem séries de números básicos que geram os valores dos capacitores encontrados comercialmente. Dentre elas a mais comum é a E-12 com os seguintes valores:

Série E12 - 10-12-15-18-22-27-33-39-47-56-68-82

Por exemplo, número básico 22 gera os seguintes valores:

2pF - 22pF - 220pF - 2n2F - 22nF - 220nF - 22pF

2μF - 22μF - 220μF - 2.200μF - 22.000μF



Simbologia do Capacitor

Capacitores mais comuns

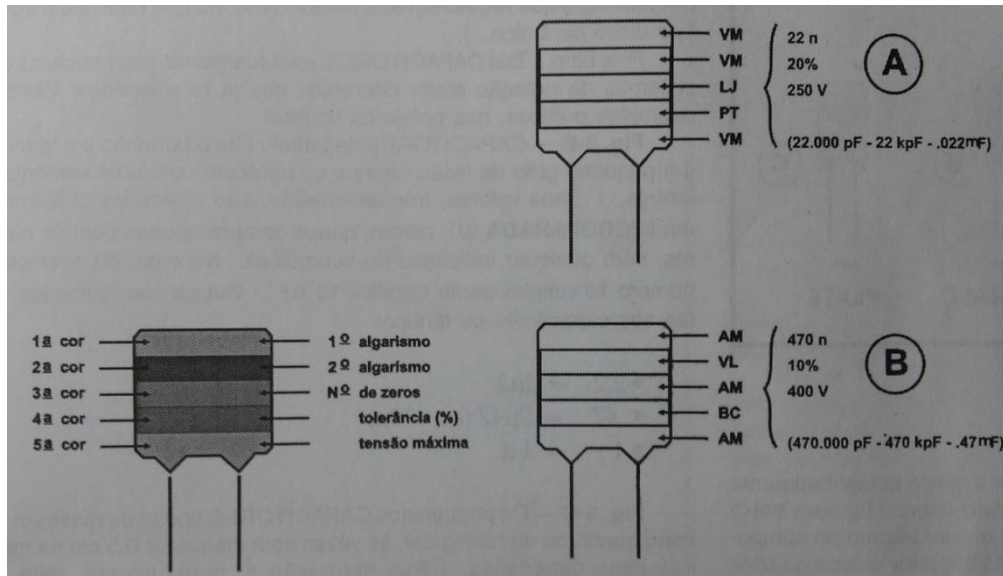
Os capacitores em geral possuem diversas formas, tamanhos e modelos. Normalmente alguns modelos são mais indicados para determinadas aplicações por exemplo, o capacitor de *plate* e o *cerâmico* são bem pequenos fisicamente se apresentam com uma grande diversidade de valores baixos de capacitância. O capacitor de *poliéster* é um dos tipos mais comuns, alguns possuem faixas coloridas para leitura da sua capacitância de forma similar aos resistores e pode ser usado em quase todas aplicações, exceto em circuitos de altas frequência, onde os capacitores de *mica* são mais indicados. Os capacitores *eletrolíticos* e de *tântalo* são capacitores polarizados e são os tipos que possuem capacitância mais elevadas e por isso são muito usados para filtragem, desacoplamento e acoplamento.



Leitura de parâmetros

Em capacitores de corpo relativamente grande, os fabricantes imprimem na carcaça do componente parâmetros como capacitância, tolerância e tensão máxima de trabalho de modo que a leitura é feita diretamente, sem maiores complicações. No caso de componentes bem pequenos a leitura desses parâmetros é feita através de códigos e caracteres alfanuméricos.

No caso dos capacitores de poliéster mais antigos apesar de terem um tamanho físico grande a leitura dos dados importante é realizada a partir de um código de cores similar ao dos resistores.



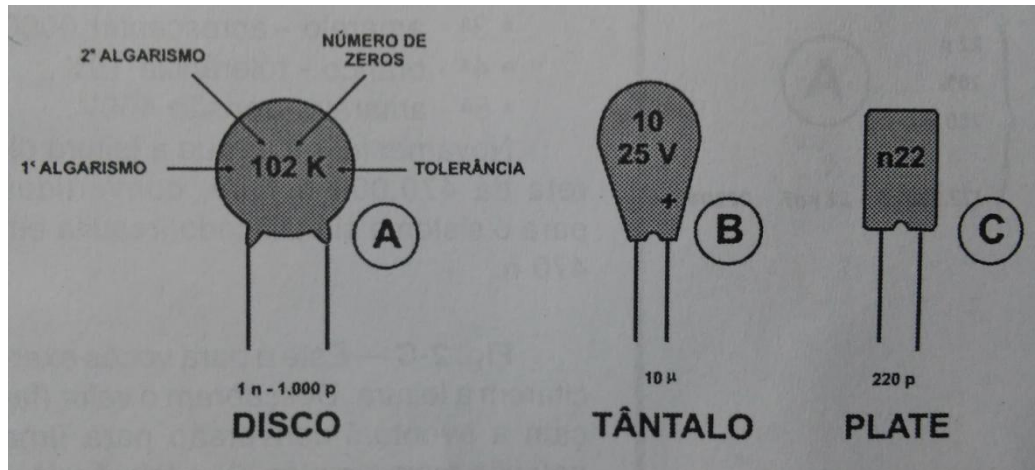
Nesse caso as faixas são lida de cima para baixo em direção aos terminais do capacitor, onde a:

- 1ª faixa: representa o primeiro algarismo;
- 2ª faixa: representa o segundo algarismo;
- 3ª faixa: representa a quantidade de zeros após os dois primeiros algarismos;
- 4ª faixa: representa a tolerância da capacitância, em percentual;
- 5ª faixa: representa a tensão máxima de trabalho, em Volts;

CÓDIGO DE CORES				
Cor	1ª e 2ª Faixas: Algarismos Significativos	3ª Faixa: N.º de Zeros	4ª Faixa: Tolerância, em %	5ª Faixa: Tensão, em volts
PRETO	0	-	20%	
MARROM	1	0		250V
VERMELHO	2	00		
LARANJA	3	000		400V
AMARELO	4	0000		
VERDE	5	00000		630V
AZUL	6	000000		
VIOLETA	7			
CINZA	8			
BRANCO	9		10%	

Diferentemente dos resistores em que a leitura é feita diretamente na grandeza correspondente em Ohms, nos capacitores a leitura é sempre em *picofarads*.

Outro sistema utilizado, esse sim mais comum, para indicar os parâmetros do capacitor é o *código de três algarismo*. Este código é normalmente mais utilizado em capacitores disco cerâmicos e de poliéster devido seu tamanho reduzido. A figura a seguir ilustra alguns exemplos:



- 1º algarismo: representa o primeiro algarismo;
- 2º algarismo: representa o segundo algarismo;
- 3º algarismo: representa a quantidade de zeros após os dois primeiros algarismos;
- Letra: representa a tolerância da capacitância, em percentual de acordo com a tabela seguir:

TABELA DE TOLERÂNCIAS (LETRA)	
Capacitores até 10 p B = 0p1 C = 0p25 D = 0p5 F = 1p G = 2p	Capacitores acima de 10 p F = 1% G = 2% H = 3% J = 5% K = 10% M = 20% P = +100% -0% S = + 50% -20% Z = + 80% -20%

Exemplo: se no capacitor estiver inscrito o código 472K, isto quer dizer que a capacitância é: 4700pF, ou ainda 4,7nF. E que a capacitância real do componente pode diferir em 10% do valor nominal lido. A leitura da capacitância pelo código de três algarismo também é feita em *picofarads*.

Quanto aos capacitores de valores muito pequenos, eles são representados pelo código de três algarismo da seguinte forma: é utilizado o algarismo 9 no terceiro dígito, para indicar que os dois primeiros algarismos serão na verdade *divididos por 10* sendo o resultado final também *picofarads*. Por exemplo, se no corpo do componente estiver inscrito 479, o resultado será: 47 dividido por 10, ou seja, 4,7 pF (picofarads).

No caso dos capacitores de tântalos geralmente seu valor é impresso diretamente em *microfarads* e nos de plate a impressão é em *nanofarads*.

No mercado frequentemente podemos nos deparar com diferente maneira expressar a mesma capacitancia já em farads, por exemplo:

2n2 é equivalente a: $2,2\text{nF} = 2,2\text{KpF}$

n1 é equivalente a: 100pF

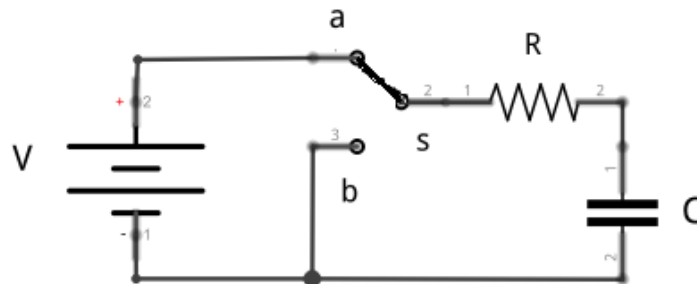
5p6 é equivalente a: $5,6\text{ pF}$

4 μ 7 é equivalente a: $4,7\text{ }\mu\text{F}$

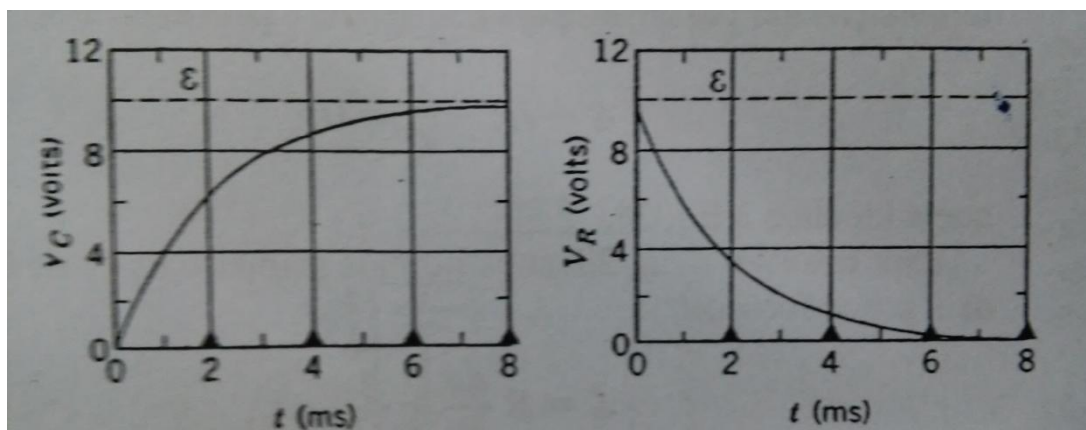
Experiências com capacitores

Capacitor como temporizador

Certamente esta é a aplicação mais comum do capacitor. E pode ser vislumbrada montando o circuito a seguir:



Ao conectar diretamente um capacitor a uma fonte de tensão este se carrega praticamente instantaneamente com o mesmo potencial da fonte. Mas se colocarmos um resistor em série com o capacitor podemos retardar o seu tempo de carga, ou seja, o capacitor levará um certo tempo para atingir o mesmo potencial da fonte. A tensão sobre o capacitor varia exponencialmente no tempo segundo o gráfico e a seguinte expressão:



Tensão no capacitor

Tensão no resistor

$$V_C(t) = V(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

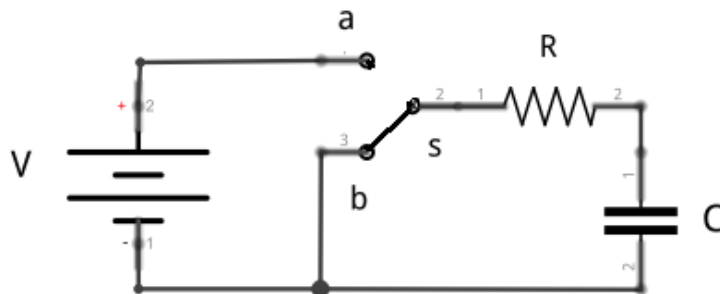
Onde:

V= Tensão da fonte;
t = Tempo em segundos;

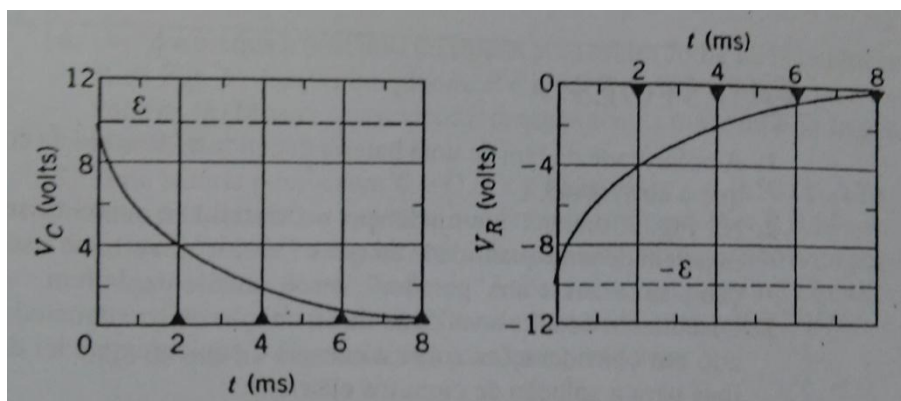
A partir da expressão para $V_C(t)$, podemos definir a quantidade $\tau = RC$, chamada de constante de tempo capacitiva, que possui dimensão de tempo em segundos. A constante de tempo representa o tempo necessário que o capacitor leva para atingir aproximadamente 63% da tensão da fonte. Para termos uma noção de quanto tempo o capacitor levará para se carregar com a tensão da fonte, podemos utilizar uma aproximação que é multiplicar a constante de tempo por cinco. Então o tempo aproximado de carga total:

$$t_{total} = 5RC$$

Analogamente ao processo de carga do capacitor, durante a descarga, se aplicarmos um curto-circuito em seus terminais o componente descarrega instantaneamente, mas se inserirmos uma resistência a descarga do capacitor se torna mais lenta, podemos verificar isso montando o seguinte circuito:



Neste circuito, a tensão nos terminais assume a forma de uma exponencial decrescente mostrada a seguir com sua respectiva equação:



Tensão no capacitor

Tensão no resistor

$$V_C(t) = V e^{-\frac{t}{RC}}$$

Note que no processo de descarga também surge a constante de tempo capacitiva $\tau = RC$, mas agora ela representa o tempo necessário em capacitor leva para que sua tensão chegue a 37% do seu valor inicial V .

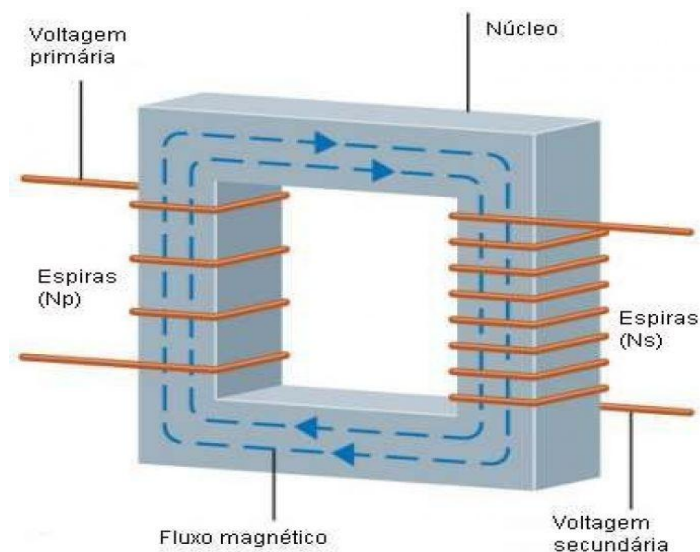
Para visualizar o processo de carga e descarga do capacitor e a sua relação com a constante de tempo monte os circuitos apresentados acima durante esta seção e com o auxílio de um cronômetro e um voltímetro, verifique que para um tempo igual a $\tau = RC$ (de acordo com os resistores e capacitores escolhidos) durante a carga, sua tensão é igual a 63% do valor da fonte e na descarga é igual 37% do valor inicial.

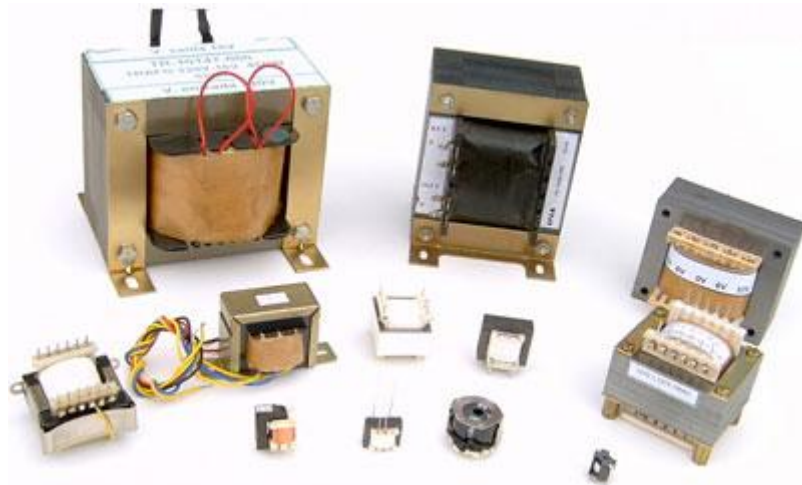
Valores sugeridos para serem usados na experiência.

R	C	τ
1M Ω	10 μ	10s
330k Ω	100 μ	33s
220k Ω	100 μ	22s
47k Ω	1000 μ	47s
10k Ω	1000 μ	10s

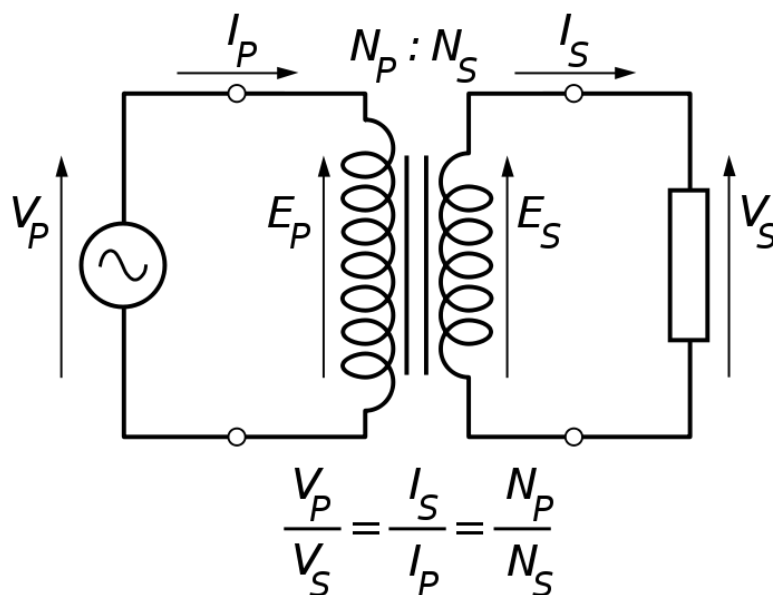
Transformadores

São dispositivos capazes de transferir energia de um circuito elétrico para outro através da indução eletromagnética. Os transformadores utilizados em eletrônica são dispositivos que possuem duas bobinas não conectadas entre si, enroladas em material ferromagnético(núcleo).





A principal aplicação dos transformadores em circuitos elétricos é elevar ou abaixar a tensão AC em um determinado ponto do circuito. Portanto ele é um dispositivo indispensável em circuitos de fonte de tensão em equipamentos eletrônicos, pois ele abaixa o nível de tensão de 127/220V AC encontrados nas tomadas, para níveis de tensão normalmente inferiores a 30V AC, que são os valores geralmente exigidos para o funcionamento da maioria dos equipamentos eletrônicos, além de ser considerado valores de tensão mais seguro do que os 127V ou 220V. Em um transformador ideal as tensões do primário e do secundário estão relacionadas pela seguinte expressão:



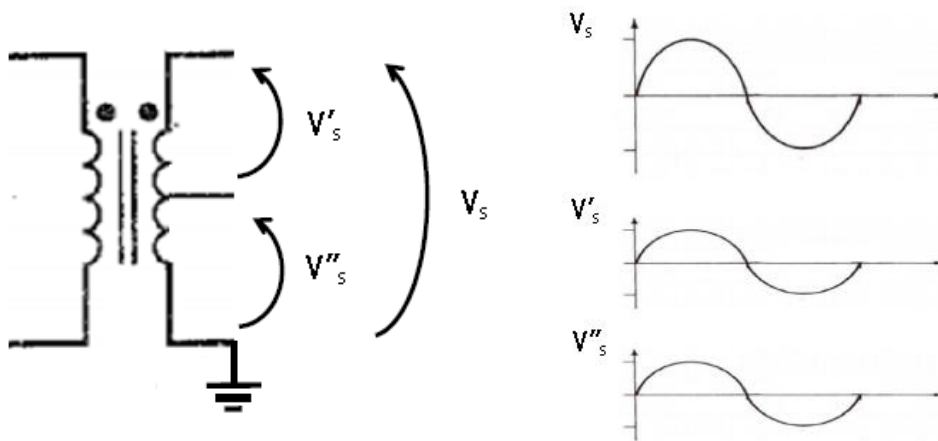
Onde:

V_p = Tensão do primário;

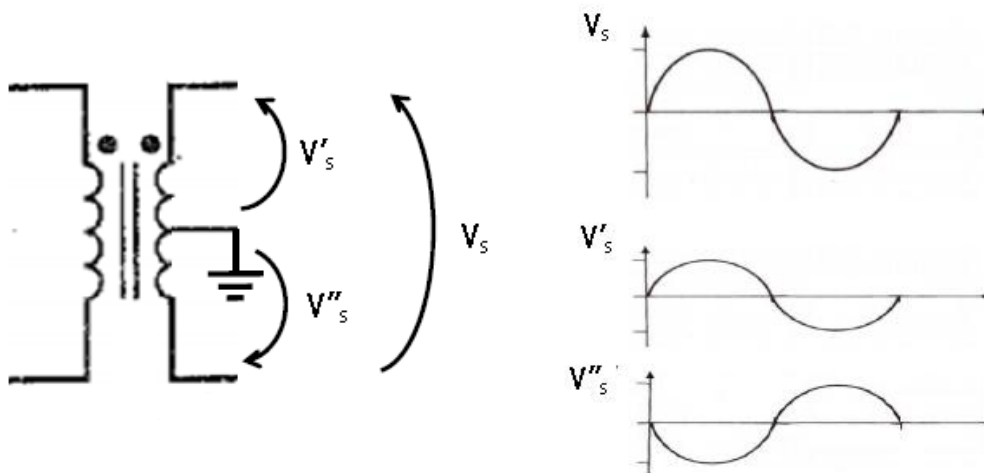
- V_s = Tensão do secundário;
- N_p = Número de espiras do primário;
- N_s = Número de espiras do secundário;
- I_p = Corrente do primário;
- I_s = Corrente do secundário;

Também é possível encontrar no mercado, transformadores em que suas bobinas possuem uma derivação central, chamada de Tap central ou Center tap. Essa derivação é simplesmente um fio conectado a exatamente na metade do enrolamentos da bobina. Com esta derivação é possível aplicar ou obter no tap central a metade da tensão encontrada nas extremidades da bobina tanto do primário quanto do secundário.

Na figura a seguir é mostrado o efeito de usar um transformador com tap central onde em umas das extremidades da bobina é usada como referência para medir o potencial dos pontos da bobina do secundário. Note que V'_s e V''_s estão em fase com V_s porém, possuem módulo igual a metade de V_s .

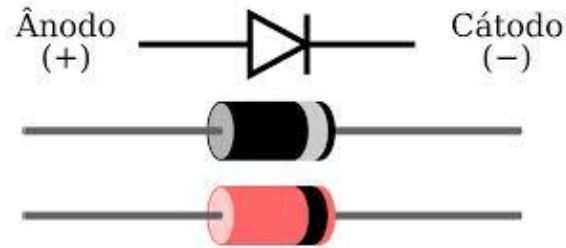


Uma configuração que será útil quando for apresentado o retificador de onda completa é a que consiste em usar o tap central como referencial de potencial. Perceba que o módulo de V_s , V'_s e V''_s permanecem inalterados, porém V''_s está defasado de 180° de V'_s e V''_s .



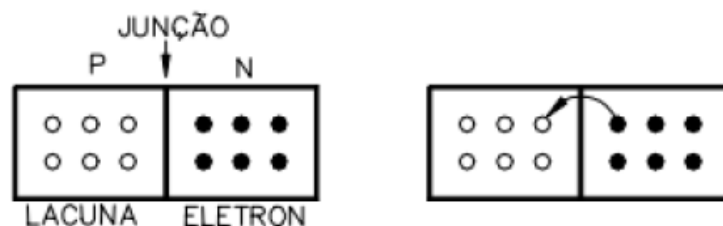
Diodo

Diodo é um dispositivo eletrônico o qual, permite que a corrente elétrica o atravesse em apenas um sentido.

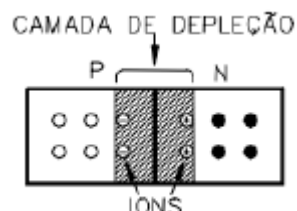


Na natureza, além de encontrarmos materiais que se comportam muito bem como condutores ou como isolantes, também podemos encontrar materiais que pertencem a uma classe intermediária, chamada de semicondutores. Exemplos de materiais semicondutores são: silício, germânio, arseneto de gálio.

Os semicondutores são materiais que possuem uma estrutura cristalina formada com 4 elétrons na camada de valência. Com o processo de dopagem, podemos obter um semicondutor do tipo N ou do tipo P. Ao dopar um semicondutor, estamos adicionando impurezas que podem ser átomos pentavalente ou trivalente na sua estrutura. Para cada átomo pentavalente adicionado teremos um elétron extra na estrutura do semicondutor, com isso, obtemos um semicondutor do tipo N. Agora, se em vez de adicionarmos átomos pentavalente adicionarmos átomos trivalentes teremos na estrutura do semicondutor lacunas que representam a falta de elétrons, que são lugares disponíveis para receber elétrons livres.



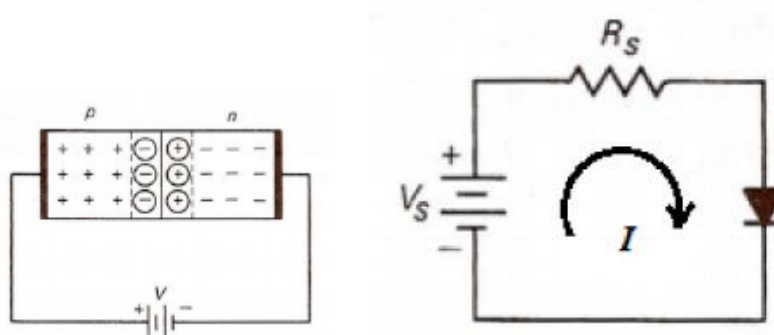
Ao juntar esses dois semicondutores dopados, os elétrons da camada N migram rapidamente para as lacunas próximas a eles. Após essa migração, a região entorno da junção entra em equilíbrio criando uma camada de depleção, também chamada de barreira de potencial. Esta barreira é capaz de bloquear a migração dos demais elétrons livres da junção N para a junção P. A diferença de potencial da barreira para semicondutores de silício é de 0,7V e para germânio é de 0,3V.



Portanto os diodos são construídos a partir da junção de um material semiconductor do tipo N e do tipo P.

Polarização Direta

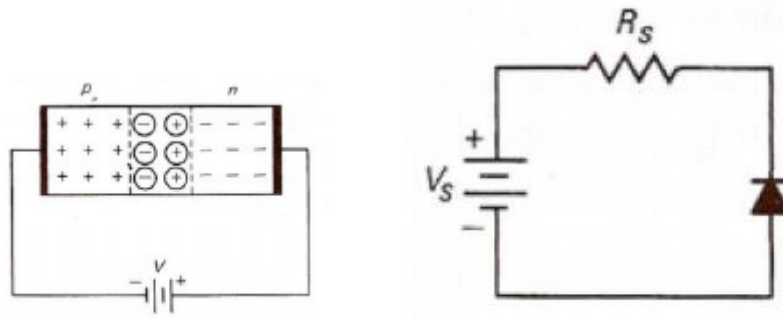
Ao conectar uma fonte de tensão como mostra a figura a seguir, esta fornece energia suficiente para que os elétrons da região N vença a barreira de potencial e consigam migrar para a região P, permitindo que a corrente elétrica possa ser estabelecida no circuito de modo que o diodo tenha um comportamento similar de chave fechada.



É importante lembrar que quando o diodo está polarizado diretamente, e devido à barreira de potencial, a corrente ao passar pelo diodo produz uma queda de tensão aproximadamente de 0,7V para os diodos de silício e de 0,3V para os de germânio.

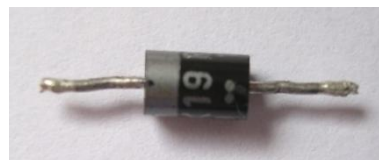
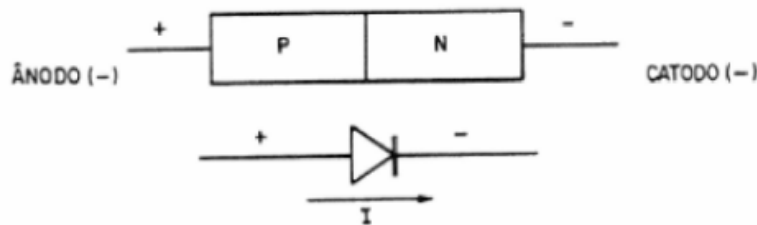
Polarização Reversa

Se conectarmos uma fonte de tensão como sugerido na próxima figura, os elétrons da região N são atraídos para o polo positivo da fonte ao mesmo tempo em que as lacunas da região P são atraídas para o polo negativo da fonte. Isso faz com que a barreira de potencial aumente impedindo que os elétrons a atravessem e consequentemente não teremos corrente elétrica. Desta maneira, o diodo se comporta de forma similar a uma chave aberta, pois nenhuma corrente elétrica é estabelecida no circuito.



Observe que nesta situação em que não há circulação de corrente no circuito, a queda de tensão no resistor R_S é nula e portanto, toda tensão da fonte está sendo aplicada no diodo, satisfazendo a lei das malhas de Kirchhoff.

Podemos concluir que os diodos são componentes que quando polarizados diretamente permitem a circulação de corrente elétrica por ele, e quando polarizado reversamente a corrente não consegue o atravessar.



Ao trabalhar com diodos é muito importante respeitar alguns parâmetros, como Tensão de Ruptura ou Máxima Tensão Reversa e a Corrente Máxima Direta. A primeira diz respeito ao máximo valor de tensão que se pode aplicar no diodo, quando está reversamente polarizado, a segunda, trata da máxima corrente que o diodo suporta quando polarizado diretamente. Na tabela a seguir, temos alguns modelos de diodos com suas respectivas características principais.

Código	V(V)	IM(A)
IN 4001	50	1
IN4002	100	1
IN4003	200	1
IN4007	1000	1
IN5061	600	2
BYW95A	200	3
RL25A	400	2,5
RL10	800	1
IN5391	50	1,5
RL201	50	2,0
RL251	50	2,5
IN5900	50	3,0
RL202	100	2,00
RL203	200	2,0

Em um diodo a relação entre tensão e corrente não é linear como nos resistores, ou seja, a corrente não é proporcional a corrente. A não-linearidade está apresentada na figura a seguir, chamada de *Curva do Diodo*.

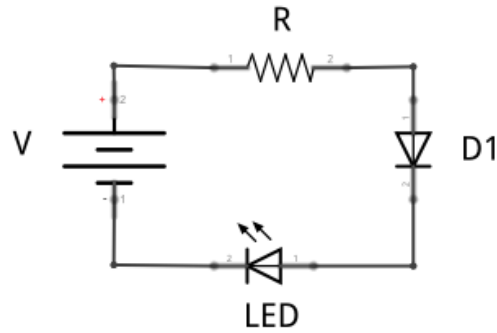


A partir dessa figura encontrada nas folhas de dados dos diodos, pode se retirar algumas informações como a tensão de ruptura e o comportamento do diodo, quando a tensão se aproxima de 0,7V, onde a corrente começa a aumentar rapidamente para pequenos acréscimos de tensão.

Experiências com diodo

Polarização de diodos

Para observar o comportamento do diodo quando está polarizado diretamente ou reversamente vamos montar o seguinte circuito:



Após montar o circuito e conectar a fonte de tensão podemos constatar que o LED acende indicando a circulação de corrente e portanto, o diodo está polarizado diretamente, em outras palavras ele está se comportando como chave fechada.

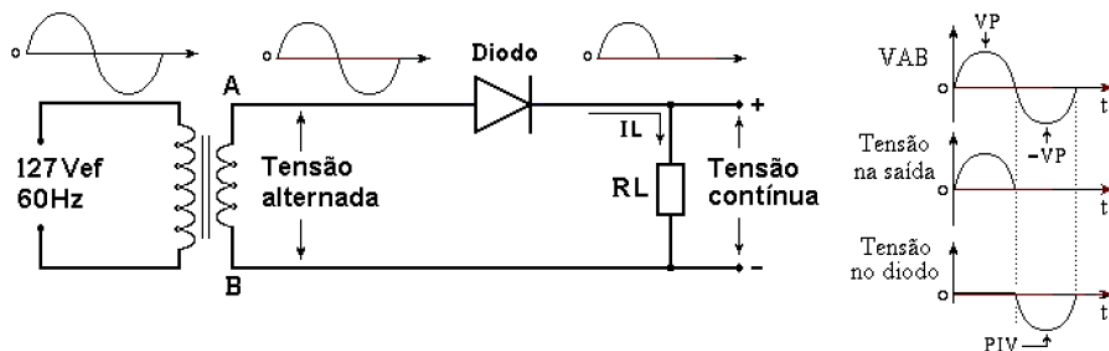
Agora vamos inverter as conexões dos terminais do diodo e verificar que o LED deve estar apagado, indicando que não há corrente no circuito, pois uma vez que o diodo está reversamente polarizado, seu comportamento é similar a de uma chave aberta e portanto, não deixando a corrente fluir pelo circuito.

Circuitos Retificadores

Agora que já foram apresentados componentes como resistores, capacitores, transformadores e diodos podemos estudar alguns circuitos básicos, porém muito importantes no mundo da eletrônica, que são os circuitos retificadores. É através destes circuitos que podemos converter tensão de entrada AC da rede para uma tensão pulsante em corrente contínua.

Retificador de meia onda

Como pode ser verificado na figura abaixo, e desprezando a barreira de potencial do diodo, vemos que durante o semiciclo positivo da tensão do secundário do transformador o diodo está polarizado diretamente (se comporta como chave fechada) e durante semiciclo negativo o diodo fica reversamente polarizado (se comportando como chave aberta).



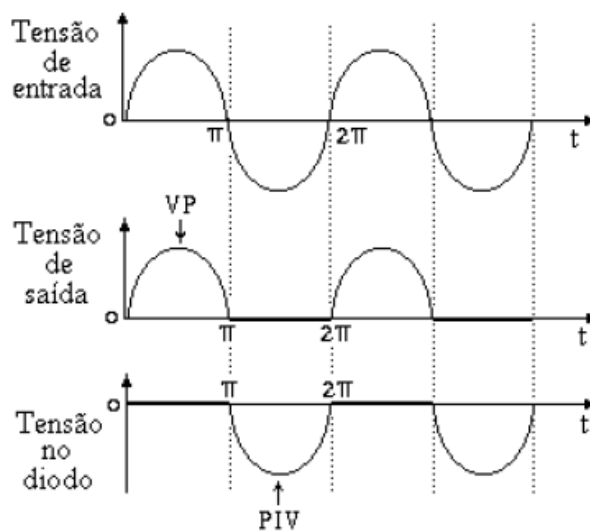
Ou seja, apenas os semiciclos positivos “passarão” pelo diodo e teremos como resultado final, uma tensão pulsante CC positiva na carga. De forma análoga, se

invertemos as conexões do diodo, teremos uma tensão pulsante CC negativa sendo aplicada na carga.

O valor da tensão pulsante CC pode ser calculado com a seguinte expressão:

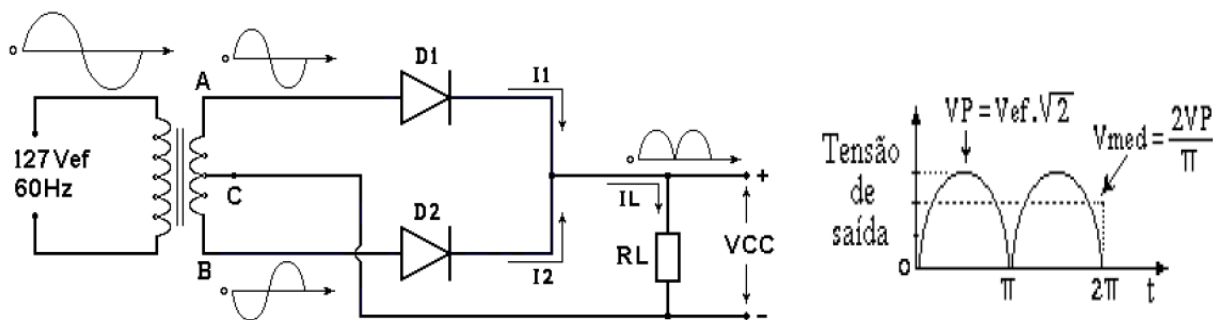
$$V_{CC} = \frac{V_{2(Pico)}}{\pi} = 0,318 V_{2(Pico)}$$

É importante notar que durante o semiciclo em que o diodo não está conduzindo a tensão do secundário do transformador está toda sobre o diodo, de forma que a lei das malhas de Kirchhoff seja satisfeita. Portanto o diodo escolhido para o projeto deve ser capaz de suportar tal tensão, chamada de *Tensão de Pico Inversa* (PIV - Peak inverse voltage).



Retificador de onda completa com tap central

A figura a seguir corresponde ao circuito de retificador de onda completa que utiliza um transformador com tap central. Como foi apresentado anteriormente, as tensões V'_s e V''_s são defasadas de 180° portanto, durante o primeiro semiciclo apenas o diodo D1 conduz pois, está polarizado diretamente enquanto que o D2 está polarizado reversamente. Durante o segundo semiciclo a situação é invertida, agora apenas o diodo D2 está polarizado diretamente e conduzindo a corrente até a carga, enquanto que D1 está reversamente polarizado de forma que corrente nenhuma passe por ele. Note que a polaridade da tensão na carga não se altera durante um ciclo completo na bobina do secundário, desta forma conseguimos então um sinal com retificação de onda completa.

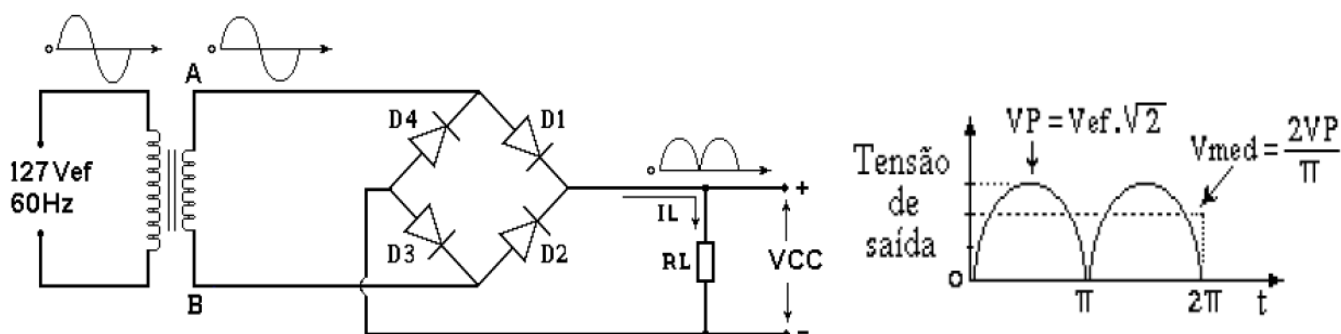


No caso do retificador de onda completa com tap central, o valor da tensão pulsante CC pode ser obtida com a seguinte expressão:

$$V_{CC} = 2 \frac{V_{2(Pico)}}{\pi} = 0,636 V_{2(Pico)}$$

Retificador em ponte de onda completa

Com um retificador em ponte pode se construir um retificador de onda completa com transformador sem o tap central montando o circuito a seguir:



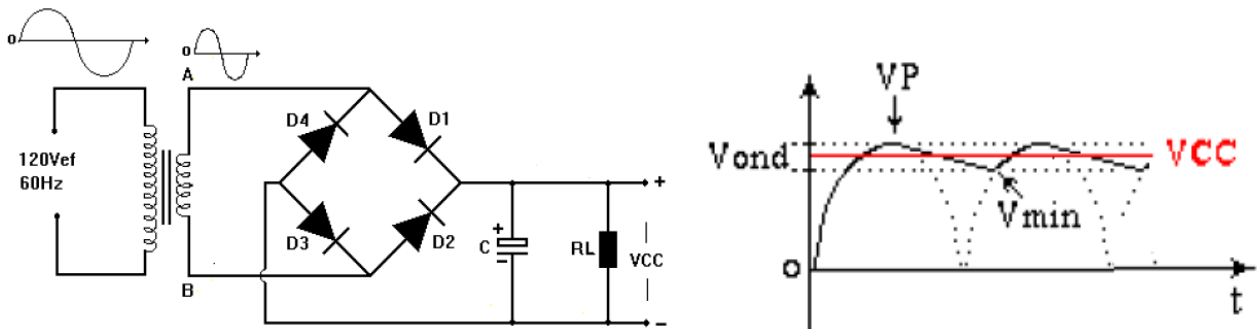
Neste circuito, durante o semiciclo positivo da tensão no secundário, os diodos D1 e D3 estão polarizados diretamente, portanto, a corrente passa por D1, atravessa a carga, passando por D3 e retorna para a bobina. Durante o semiciclo negativo, apenas os diodos D2 e D4 estão com polarização direta. Neste período a corrente passa por D2, atravessando a carga e por D4, e volta para a bobina. Note que durante os dois semiciclos, a tensão na carga tem a mesma polaridade, de forma que a corrente na carga tem sempre o mesmo sentido em qualquer semiciclo.

Perceba que diferentemente do retificador de onda completa com tap central, no retificador em ponte, toda a tensão da bobina do secundário está sendo aplicada na carga. No caso do retificador de onda completa, apenas a metade da tensão do secundário aparece através da carga. No entanto, em ambos retificadores a tensão CC pulsante pode ser calculada da mesma forma, pois a forma de onda na saída dos dois retificadores são iguais, inclusive a sua frequência.

Capacitor como filtro

Em todos os circuitos retificadores vistos anteriormente produzem uma tensão CC pulsante na saída, porém a maioria dos circuitos eletrônicos exigem uma tensão CC contínua. Uma maneira de aproximar este sinal em um nível de tensão constante é utilizar um capacitor de filtro na saída dos circuitos retificadores.

No caso do retificador de meia onda completa em ponte podemos montar o seguinte circuito:



Durante o primeiro quarto da tensão senoidal, o capacitor se carrega com a tensão do secundário até alcançar a tensão de pico, pois nesse período os diodos D1 e D3 estão com polarização direta. Após esse instante, os capacitores começam a descarregar lentamente de modo que sua tensão é levemente maior do que a da fonte. E por isso, nesse segundo quarto de ciclo os diodos D1 e D3 estão polarizados reversamente, e então o capacitor se descarrega através da carga até que a chegada do próximo ciclo que carrega novamente o capacitor até a tensão de pico dando início ao novo ciclo carga e descarga do capacitor.

Observe que agora a tensão na carga está bem mais próxima de um valor constante, o que caracteriza uma tensão CC, exceto pelas oscilações ou ondulação entre a tensão de pico e a tensão mínima. A diferença entre essas duas tensões é chamada de *Tensão de Ondulação*. Uma maneira de reduzir essas ondulações é aumentar o valor do capacitor, pois aumentando a constante de tempo $R_L C$ ele descarregará mais lentamente e melhorando a retificação.

Mas qual seria o valor mais adequado para a tensão de ondulação para o projeto e como obter o valor do capacitor de filtro? A partir da definição de capacitância $C = Q/V$ pode se mostrar que:

$$V_{Ond} = \frac{I}{fC}$$

Onde:

V_{Ond} = Tensão de ondulação

I = Corrente na carga

f = Frequência de ondulação

C = Capacitância

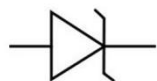
Uma regra que pode ser adotada para encontrar o capacitor de filtro é admitir uma tensão de ondulação igual à 10% da tensão de pico. Por exemplo, se a tensão de pico do secundário do transformador for 12V, podemos admitir uma tensão de ondulação 1,2V e de posse da corrente que carga exige e a frequência de ondulação do retificador (60Hz para o de meia onda e 120Hz para os retificadores de onda completa) e encontramos o valor do capacitor de filtro. Note que usando um retificador de onda completa a tensão de ondulação cai pela metade, pois ele possui o dobro da frequência do retificador de meia onda.

Uma vez admitindo uma tensão de ondulação de 10% do valor da tensão de pico podemos calcular a tensão CC com um pouco mais de precisão com a seguinte fórmula:

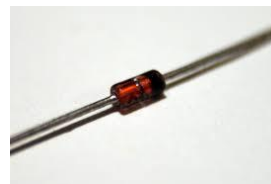
$$V_{CC} = V_{2(Pico)} - \frac{V_{Ond}}{2}$$

Diodo Zener

Diferentemente dos diodos convencionais em que jamais devem funcionar na região de ruptura, pois isso pode danificá-los permanentemente, o diodo Zener através de algumas variações na dopagem do silício é capaz de operar na região de ruptura ou região Zener. Nessa região, mesmo com algumas variações na corrente que o atravessa, é possível obter nível específico de tensão estável em seus terminais e é por isso, que a sua principal aplicação é como regulador de tensão.

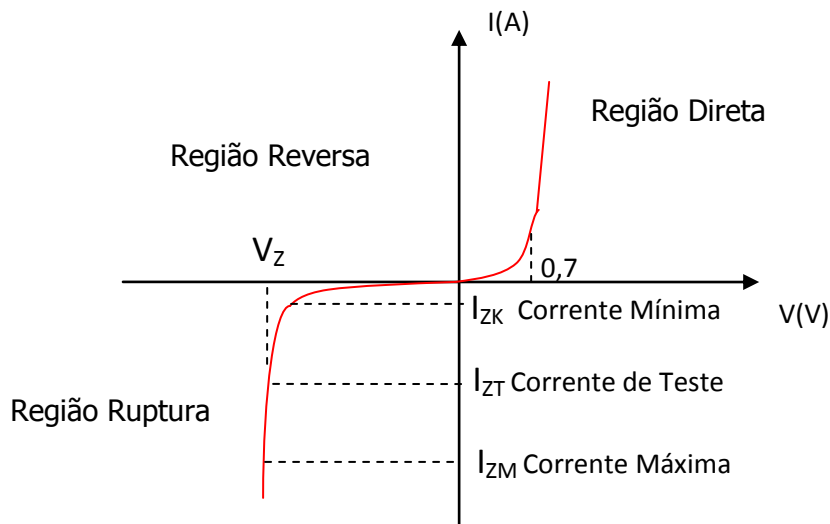


Simbologia do diodo zener



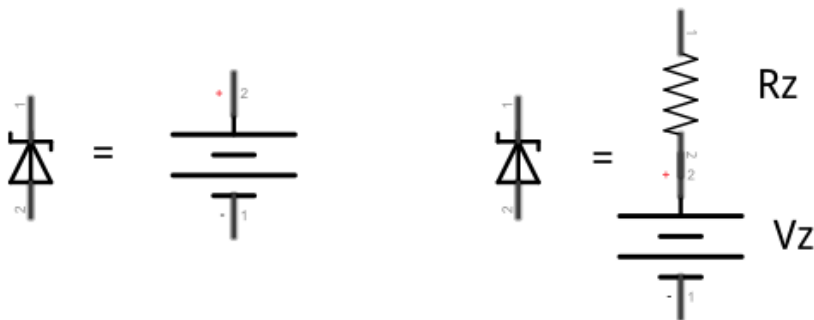
diodo zener

A figura a seguir representa a curva de um diodo Zener, nela é possível verificar que quando o diodo zener está polarizado diretamente, seu comportamento é idêntico a um diodo convencional, ou seja, começar conduzir corrente por volta de 0,7V em seus terminais. Mas quando se encontra polarizado reversamente ele apenas permite a circulação de corrente quando se aproxima de um valor específico de tensão (tensão Zener).



Note que a partir de uma *Corrente Mínima*, chamada de I_{ZK} ou I_{Zm} , a tensão nos terminais do zener se aproxima de V_Z , pois o mesmo começa a trabalhar na região de ruptura. Mas é quando a corrente é igual a I_{ZT} , *Corrente de Teste*, que temos a garantia da tensão V_Z sobre o diodo zener. Outro parâmetro importante é a *Máxima Corrente de Trabalho*, I_{ZM} , cujo valor que se for ultrapassado pode danificar o componente. E ainda a *Máxima Potência Dissipada*, P_D .

Quando está em um circuito podemos visualizar o diodo zener de duas formas. A primeira é considerá-lo como ideal, ou seja, desprezar a queda de tensão interna e verificar a tensão zener nos terminais do componente. A segunda forma, mais apurada, é levar em conta sua resistência Zener, R_{ZT} , que é descrita na folha de dados para a mesma corrente de teste I_{ZT} usada para medir V_Z .



Aproximação Ideal

Aproximação Real

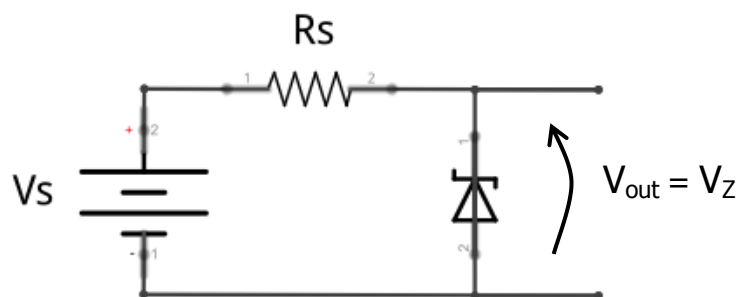
Na próxima tabela temos alguns modelos de diodo zener disponíveis no mercado com suas respectivas tensões zener e potência máxima dissipada.

Type Number	Nominal Zener Voltage (Note 2)	Test Current	Maximum Zener Impedance (Note 3)			Maximum Reverse Leakage Current		Max Surge Current 8.3ms
	$V_Z @ I_{ZT}$	I_{ZT}	$Z_{ZT} @ I_{ZT}$	$Z_{ZK} @ I_{ZK}$	I_{ZK}	I_R	@ V_R	I_{ZS}
	(V)	(mA)	(Ω)	(Ω)	(mA)	(μA)	(V)	(mA)
1N4728A	3.3	76	10	400	1.0	100	1.0	1380
1N4729A	3.6	69	10	400	1.0	100	1.0	1260
1N4730A	3.9	64	9.0	400	1.0	50	1.0	1190
1N4731A	4.3	58	9.0	400	1.0	10	1.0	1070
1N4732A	4.7	53	8.0	500	1.0	10	1.0	970
1N4733A	5.1	49	7.0	550	1.0	10	1.0	890
1N4734A	5.6	45	5.0	600	1.0	10	2.0	810
1N4735A	6.2	41	2.0	700	1.0	10	3.0	730
1N4736A	6.8	37	3.5	700	1.0	10	4.0	660
1N4737A	7.5	34	4.0	700	0.5	10	5.0	605
1N4738A	8.2	31	4.5	700	0.5	10	6.0	550
1N4739A	9.1	28	5.0	700	0.5	10	7.0	500
1N4740A	10	25	7.0	700	0.25	10	7.6	454

Experiências com o diodo zener

Diodo Zener como regulador de tensão

Para que o diodo zener funcione como regulador de tensão é preciso que esteja inversamente polarizado, caso contrário, ele funcionará como um diodo comum. A figura a seguir mostra como deve ser montado o circuito do regulador. Observe que foi colocado um resistor entre a fonte e o zener para limitar a corrente, impedindo que ela ultrapasse a máxima corrente de trabalho, I_{ZM} .



Como desejamos que a tensão de saída seja igual a tensão zener V_Z , precisamos garantir que a corrente de teste I_{ZT} , passe pelo diodo zener. Pela lei das malhas a corrente neste circuito é:

$$I_S = \frac{V_S - V_Z}{R_S}$$

Uma vez escolhido o modelo de diodo zener com a tensão desejada e conhecendo seu I_{ZT} podemos agora usando a equação acima para encontrar R_S e assim

determinamos todos os valores importantes para o projeto de uma fonte de tensão regulada com o diodo zener.

Para ilustrar tal procedimento, vamos projetar uma fonte regulada de 10V a partir de fonte DC de 15V. Podemos por exemplo, escolher o diodo zener 1N4740A que possui V_Z igual a 10V e I_{ZT} igual a 25mA. O valor de R_S será:

$$R_S = \frac{V_S - V_Z}{I_{ZT}} = \frac{15 - 10}{0,025} = 200\Omega$$

Como comercialmente não existe um resistor de 200 Ω podemos usar dois resistores de 100 Ω em série ou um resistor de 220 Ω .

Mas qual é faixa de valores de tensão para V_S que mantém uma tensão regulada de 10V considerando R_S igual 220 Ω ?

Vamos obter a tensão mínima primeiro. A folha de dados do 1N4740A informa que I_{ZK} vale 0,25mA, mas por precaução vamos considerar nos cálculos I_{ZK} igual a 1mA. Pela lei da malhas temos:

$$V_S - R_S I_{ZK} - V_Z = 0$$

$$V_S = 10,22V$$

Agora vamos obter a tensão máxima. Pela folha de dados do 1N4740A observamos que a potência máxima do diodo é de 1W e sabendo que a potência dissipada por um diodo zener é:

$$P_Z = V_Z I_Z$$

Podemos obter a corrente máxima que o componente suporta, nesse caso:

$$I_{ZM} = \frac{P_Z}{V_Z} = \frac{1W}{10V} = 100mA$$

Mas por precaução e não correr o risco de queimar o componente vamos considerar nos cálculos I_{ZM} igual a 90mA.

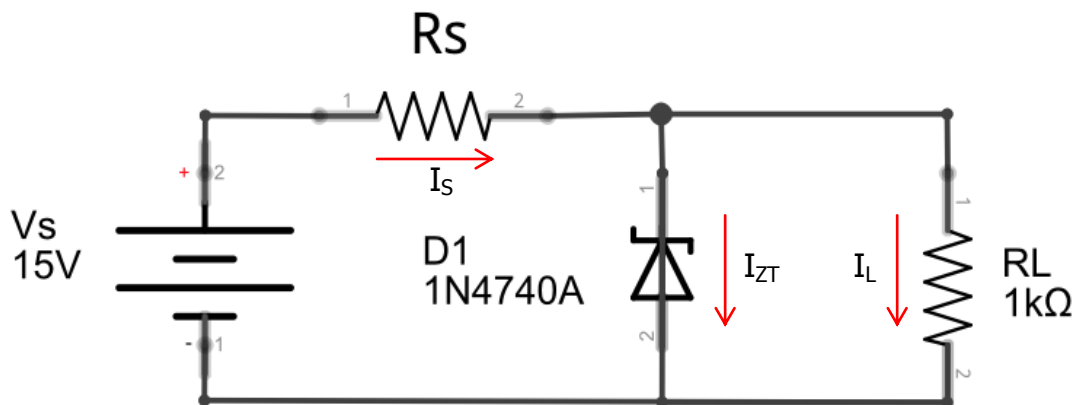
$$V_S - R_S I_{ZM} - V_Z = 0$$

$$V_S = 29,8V$$

A conclusão dessa experiência é a seguinte: Utilizando o diodo zener 1N4740A como regulador de tensão, podemos variar a tensão de entrada V_S de 10,22V a 29,8V que a tensão de saída se mantém constante em 10V. Variações na tensão de saída de 10% são consideradas aceitáveis.

Aplicando carga ao regulador de tensão

Agora utilizando a mesma fonte da experiência anterior vamos conecta-la em uma carga como sugere o circuito a seguir e verificar os novos cálculos para encontrar o valor de R_S .



Como a resistência zener é geralmente pequena para uma corrente de teste que percorre pelo diodo zener, podemos considerar que a tensão da carga é igual a tensão zener e assim descobrir a corrente na carga:

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{10V}{1k\Omega} = 10mA$$

Pela lei dos nós temos:

$$I_S = I_{ZT} + I_L$$

$$I_S = 25mA + 10mA = 35mA$$

$$R_S = \frac{V_S - V_Z}{I_S} = \frac{15 - 10}{0,035} = 143\Omega$$

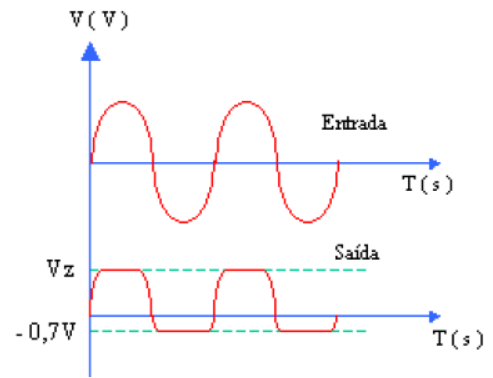
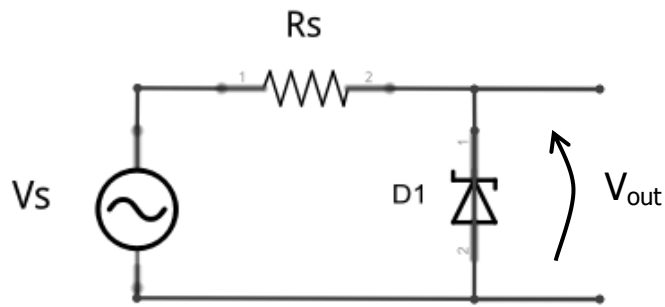
Nesse circuito podemos usar um resistor de 150Ω.

Circuitos limitadores de tensão com diodo zener

Outra aplicação para o diodo zener é em circuitos limitadores de tensão, os quais não permitem que a tensão em determinado ponto do circuito ultrapasse um valor desejado, mas garante que certas características como frequência do sinal de entrada sejam mantidas.

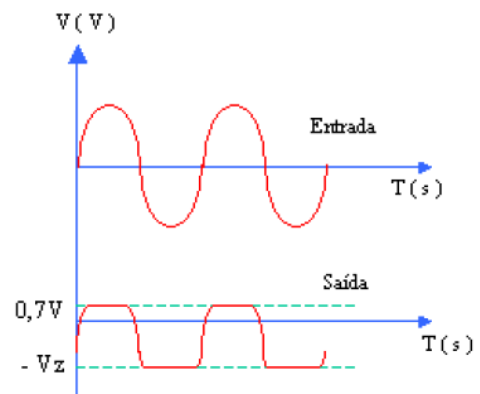
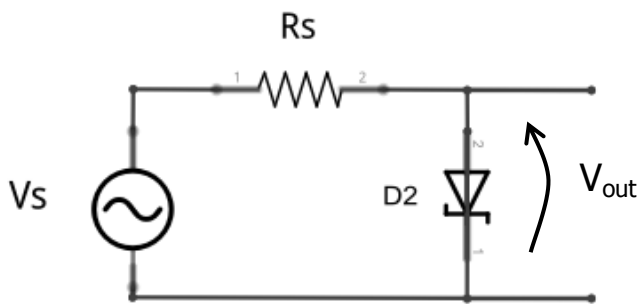
Limitador positivo

No circuito abaixo, durante o semiciclo positivo o diodo está com polarização reversa e a tensão de saída, V_{OUT} é ceifada quando o sinal de entrada ultrapassa a tensão zener, V_Z . No semiciclo negativo o diodo zener está polarizado diretamente e V_{OUT} é igual a 0,7V.



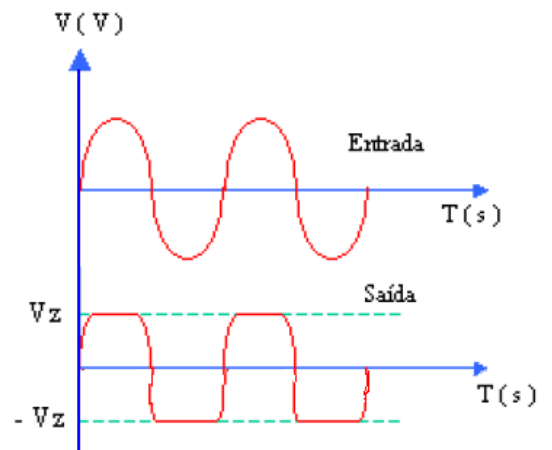
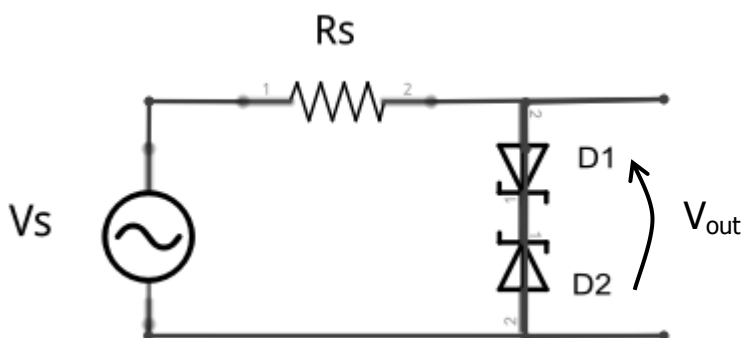
Limitador negativo

Já no próximo circuito, durante o semiciclo positivo o diodo zener está polarizado diretamente e limita a tensão de saída em 0,7V. Durante o semiciclo negativo o diodo zener fica polarizado reversamente e limita a tensão de saída, V_{OUT} na tensão zener, V_Z .



Associação de circuitos Limitadores

Também é possível combinar os efeitos do circuito limitador positivo e limitador negativo e obter o ceifamento da tensão tanto no semiciclo positivo quanto no negativo.

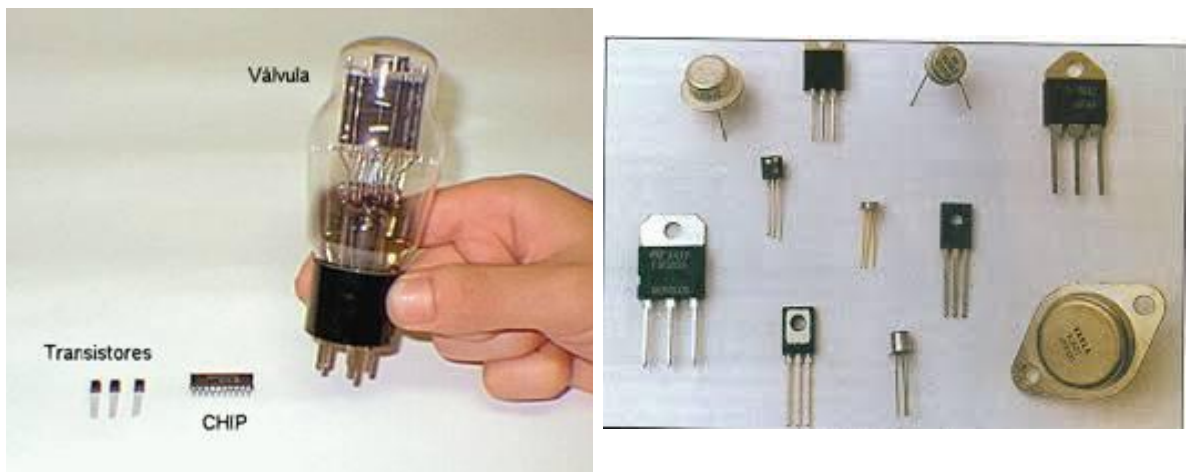


Note que quanto maior for a senóide na entrada em relação a tensão zener, mais o sinal na saída se assemelha com uma onda quadrada.

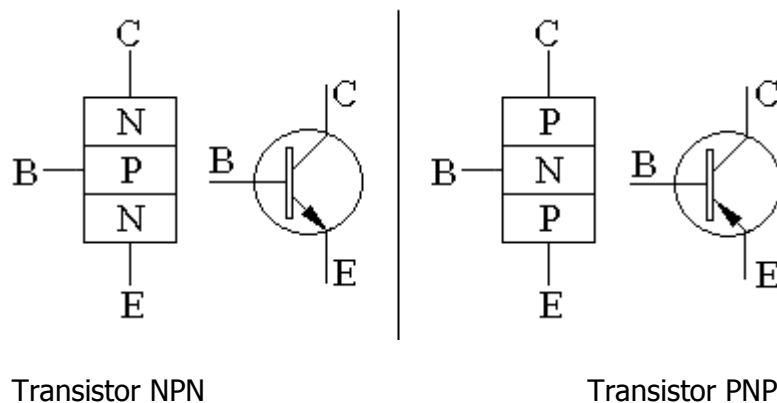
Em todos os circuitos limitadores, basta escolher a tensão zener que quisermos para deslocar o nível de ceifamento do sinal de entrada, preservando sua frequência e período.

Transistor

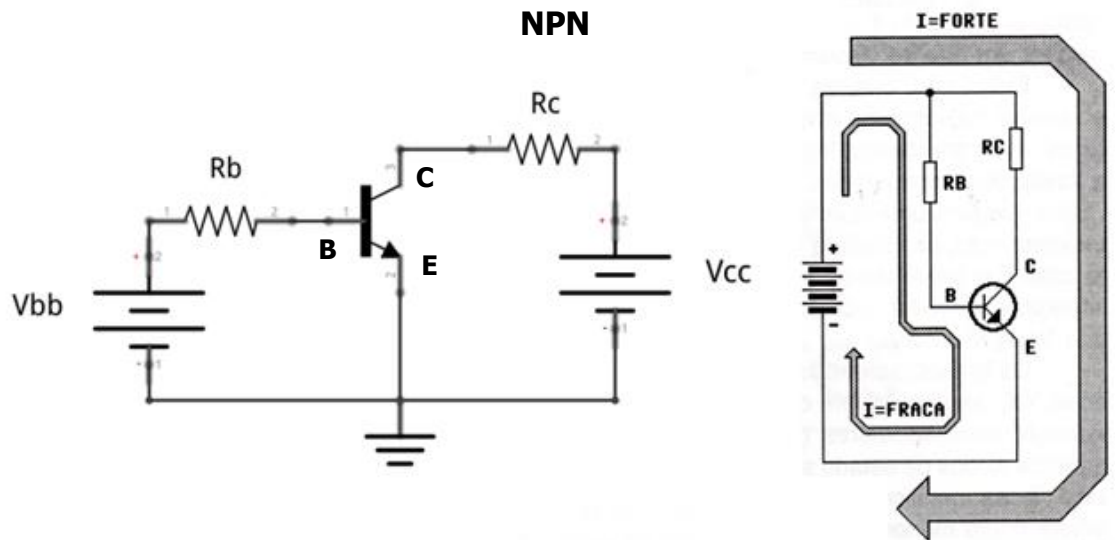
O transistor é um dos mais importantes componentes eletrônicos inventados. Com ele foi possível substituir as válvulas eletrônicas, que eram dispositivos de tamanho muito elevado, pouco eficiente e de alto consumo quando comparado com o moderno transistor. Com todas essas vantagens, o transistor permitiu uma redução significativa no tamanho dos computadores.



Sua estrutura interna é composta basicamente por duas junções PN que podem estar dispostas de duas formas distintas caracterizando um transistor do tipo NPN ou do tipo PNP.



Os dois tipos de transistores funcionam de forma muito similar. Ao compreender o funcionamento do transistor NPN facilmente entenderemos o transistor PNP. Iniciamos então o estudo do transistor NPN observando a figura a seguir.

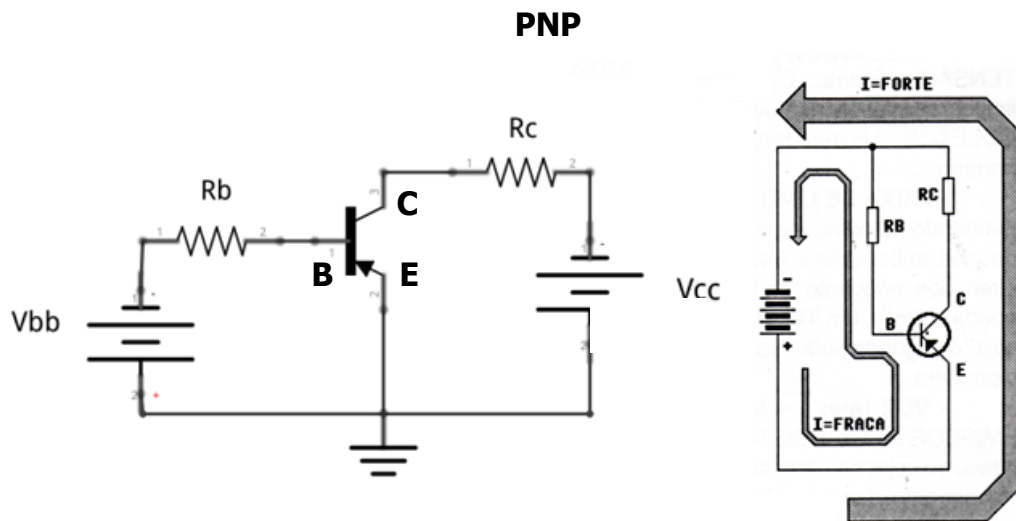


Se o terminal da base de transistor NPN for conectado ao positivo da bateria, através de um resistor R_B transitará uma corrente fraca pela junção PN da base/emissor (Perceba que esta junção está polarizada diretamente). Esta pequena corrente circulando entre terminais base e emissor do transistor diminui a barreira de potencial da junção NP coletor/base fazendo com que ela deixe de atuar como se estivesse inversamente polarizada permitindo a passagem de uma corrente relativamente forte entre os terminais coletor e emissor.

A seguir vamos destacar pontos importantes que são validos para transistores NPN e PNP.

- Com uma fraca corrente circulando entre os terminais da base e emissor, temos uma forte corrente circulando entre coletor e emissor;
- É importante lembrar que o transistor não cria a forte corrente que circula pelo coletor, ele apenas controla a corrente fornecida pela bateria.
- A corrente de coletor é proporcional a corrente de base, isso significa que controlando a corrente de base, automaticamente estamos controlando a corrente de coletor.
- A relação entre a corrente de base e corrente de coletor é chamado de ganho de amplificação, que normalmente é representado pelos símbolos β ou H_{FE} . Então geral, temos em um circuito operando com um transistor, a seguinte relação $\beta = I_C/I_B$.

Na próxima figura vemos o esquema de um transistor PNP. Observe que as junções PN são invertidas em relação ao transistor NPN, por isso temos a polaridade da bateria, e o sentido da corrente pelo transistor invertidos, pois a base do transistor é conectada ao negativo da fonte.



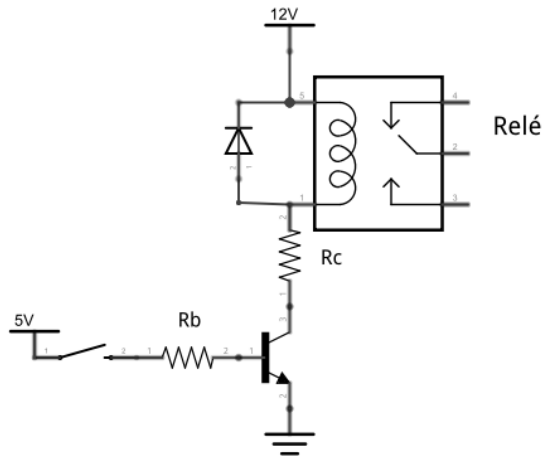
Experiências com transistores

Transistor como chave eletrônica

Essa é a aplicação mais simples do transistor, nessa configuração o transistor tem comportamento similar ao interruptor, pois dimensionando corretamente a corrente de base, o componente pode operar na *saturação*, comportando como se fosse uma chave fechada entre os terminais do coletor e emissor, ou operar em *corte*, como chave aberta entre coletor e emissor.

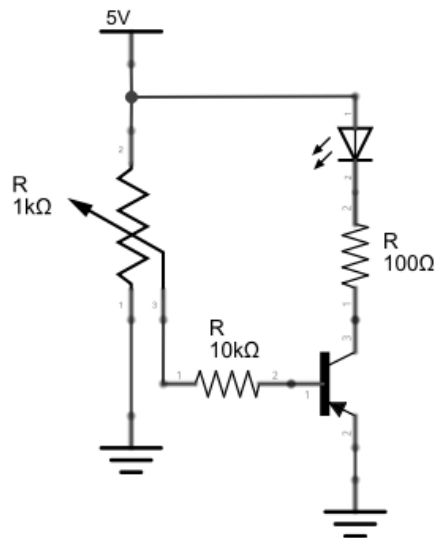
Nesta configuração, a corrente de base funciona como controle da “chave”. Se ela for zero, o transistor opera em corte e portanto I_C é igual a 0. Mas se for maior ou igual a *corrente de base de saturação*, I_{BSAT} , o transistor opera na saturação, e a corrente de coletor será máxima, sendo limitada apenas pela carga conectada ao transistor.

Dimensione os resistores R_B e R_C para que o transistor acione o relé. Considerando que a tensão e a corrente da bobina do relé é de 5V e 70mA respectivamente. Uma regra que pode ser utilizada para encontrar R_B é considerar I_{BSAT} igual a 10.



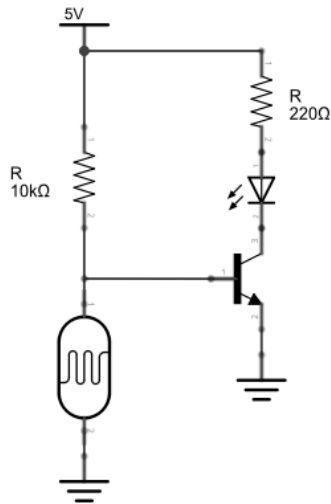
Transistor como amplificador de corrente

Na próxima experiência podemos visualizar o transistor operando na principal função, que é como amplificador de corrente. Note que conforme varia se a resistência do potenciômetro o brilho do led, pois variamos o potencial também sofre variações, indicando que a corrente que o atravessa está



Circuito Fotocélula

Neste circuito como o auxílio de LDR vamos simular o funcionamento uma fotocélula utilizando no lugar de uma de 127V um LED e verificar que quando o ambiente estiver escuro, o LED acenderá e quando estiver claro o suficiente o LED apaga.



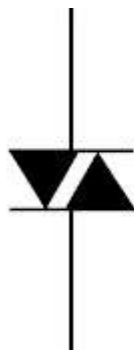
Após a montagem e a verificação do correto funcionamento do circuito acima, utilize o conhecimento adquirido da experiência Transistor como chave eletrônica e monte o circuito real de uma fotocélula que utilize uma lâmpada de 127V.

Tiristores

Os tiristores são dispositivos construídos geralmente por quatro camadas semicondutoras (duas junções PN), que são capazes de operar em dois estados bem definidos, condução ou não-condução. Alguns exemplos de tiristores são: DIAC, SCR e TRIAC.

DIAC

O DIAC (Diodo Para AC) é tiristor que possui dois terminais e entra em estado de condução (chave fechada), a partir de um valor de tensão atingindo. Geralmente a tensão de disparo ocorre entre 20V e 40V. Enquanto a tensão de disparo não for atingida, o DIAC possui comportamento de uma chave aberta, ou seja, abrindo o contato entre seus dois terminais.



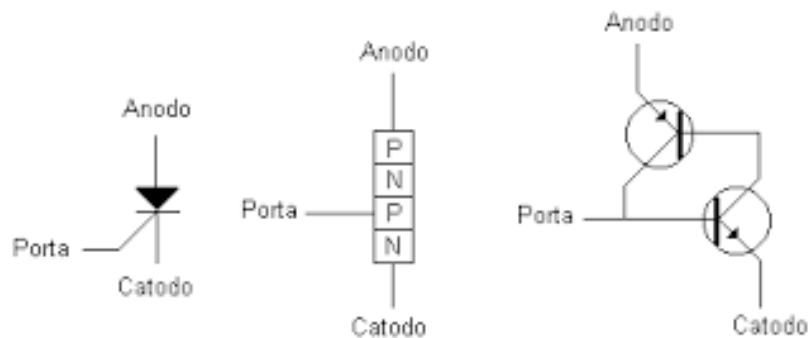
Simbologia do DIAC



DIAC

SCR

O SCR (Retificador Controlado de Silício) é formado através de uma estrutura do tipo PNPN. Uma maneira de representar a estrutura interna do SCR é utilizar um circuito equivalente a partir de dois transistores, um do tipo NPN e outro do tipo PNP. A ideia é que esse dois transistores fiquem conectados de modo a formar um circuito capaz de se realimentar quando incitado de maneira que se encontre em apenas dois estados possíveis: condução ou não-condução.



Este circuito pode ser entendido da seguinte forma: Partindo de uma situação inicial, sem sinal no terminal no gate, ambos transistores se comportam como chave aberta. Ao aplicar um pulso positivo no gate, o transistor NPN entra em condução, polarizando a base do transistor PNP, entrando também em condução. Isso mantém o transistor NPN em estado condução, ou seja, um transistor mantém o outro em condução, mesmo que o sinal no gate tenha sido removido.

Ao trabalhar com o SCR, é preciso ter em mente que mesmo depois da remoção de um sinal positivo no gate, ele permanece em estado de condução. Então como fazer para que o SCR volte a se comportar como chave aberta? Existem duas possibilidade, como sugere a figura a seguir:

- Remover momentaneamente sua alimentação, através de uma chave normalmente fechada, ou;
- Fechar um curto-circuito entre os terminais do anodo e catodo.

Outro ponto que jamais deve ser esquecido é: Nunca polarize o terminal gate com uma tensão negativa, pois isso danifica definitivamente o SCR. Portanto, é altamente recomendável colocar um diodo no terminal do gate, assim garantimos que este terminal jamais receba um pulso negativo.

Como qualquer outro componente eletrônico, o SCR possui parâmetros de funcionamento que precisam ser respeitados, são ele:

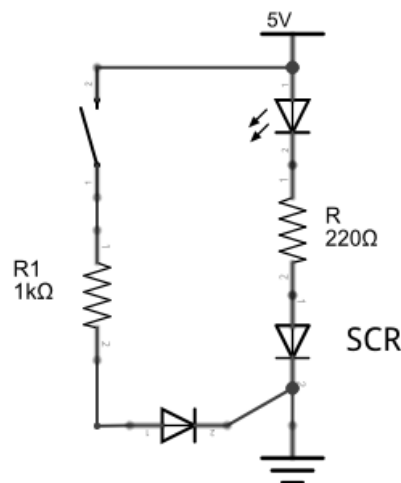
- **I_T** : é a máxima corrente que deve atravessar o SCR quando está polarizado diretamente. Exemplo: Para o MCR 1008, $I_T = 0,8$ A.

- **I_{GT}** : é a mínima corrente de disparo que deve ser aplicada no gate para que o SCR entre em condução .Exemplo: Para o MCR 1008, $I_{GT} = 0,2 \text{ mA}$.
- **I_H** : corresponde ao menor valor de corrente que deve passar entre o anodo e catodo que mantém o SCR em condução uma vez disparado. Exemplo: Para o MCR 1008, $I_H = 5 \text{ mA}$.
- **V_{DRH}** : é a máxima tensão aplicada entre o anodo e catodo quando o SCR está polarizado diretamente, e não está conduzido (corte). Para o MCR 1008, $V_{DRH} = 600 \text{ V}$.
- **V_{GT}** : é a tensão aplicada ao gate que dispara o SCR. Para o MCR 1008, $V_{GT} = 0,8 \text{ V}$.
- **V_{TM}** : corresponde a queda de tensão entre os terminais do anodo e catodo. Geralmente esse valor fica entre 1,7V e 2,1V. Para o MCR 1008, $V_{TM} = 1,7 \text{ V}$.

Experiência com SCR

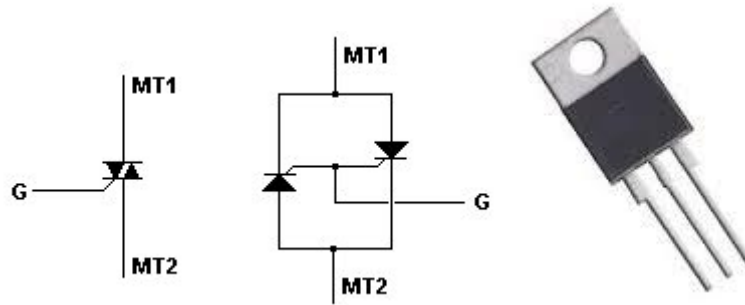
Circuito de Teste do SCR

Para verificar o funcionamento básico do SCR monte o circuito a seguir utilizando o modelo MCR1008.



Triac (Triode for AC)

O diferentemente do SCR é bidirecional, ou seja, com o TRIAC é possível controlar a corrente nos dois sentidos, o que nos permite controlar também correntes alternadas. Por isso, o Triac pode ser visualizado como um circuito equivalente com dois SCR's



A ideia do funcionamento de um TRIAC é que a partir de um pulso positivo ou negativo no terminal do gate, o Triac fecha o contato internamente entre os terminais MT1 e MT2. Ou seja, o TRIAC se comporta como uma chave eletrônica que permanece fechada mesmo após a remoção do pulso (positivo ou negativo) no gate. De forma similar ao SCR, para que o TRIAC volte ao estado de não condução é necessário interromper momentaneamente sua alimentação ou fechando um curto-circuito entre os terminais MT1 e MT2.

Experiências com Triac e DIAC

Circuito Dimmer

