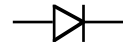


O Díodo

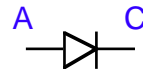
Os elementos de circuito que estudámos até agora foram elementos lineares. Ou seja, se duplicamos a ddp aos terminais de um componente, a intensidade da corrente eléctrica que o percorre também duplica.

Já que estamos a caracterizar os componentes estudados podemos acrescentar que são passivos. Isto quer dizer que não precisam de uma alimentação independente do circuito em que se integram. Os elementos activos serão estudados noutra disciplina.

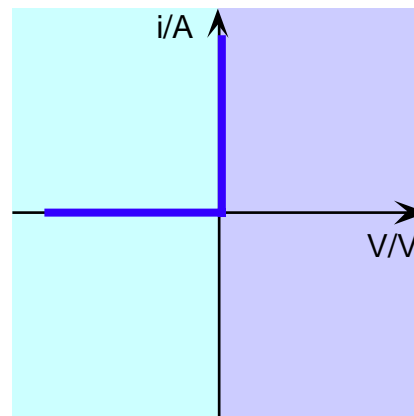
O díodo é um elemento não linear e passivo representado pelo símbolo:



Tem dois terminais, um ânodo (A) e um cátodo (C), tal como está representado na figura:



Podemos descrever o comportamento de um *díodo ideal* a partir da dependência entre as grandezas intensidade da corrente eléctrica que o percorre e ddp aos seus terminais. A sua representação gráfica é:



V é a ddp entre os terminais ânodo e cátodo:

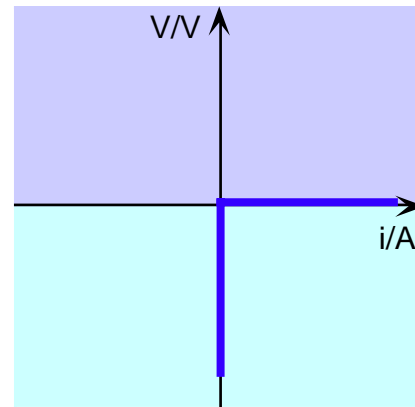
$$V = V_A - V_C$$

e i é a intensidade da corrente que percorre o díodo.

Vemos que a corrente só é diferente de zero para $V > 0$. Ou seja só quando o ânodo está a um potencial superior ao cátodo.

Neste caso dizemos que temos *polarização directa* (área representada a lilás).

Se o potencial do cátodo é superior ao do ânodo então a corrente é nula e temos *polarização inversa* (área representada a azul claro). Ao representarmos V em função de i obtemos:

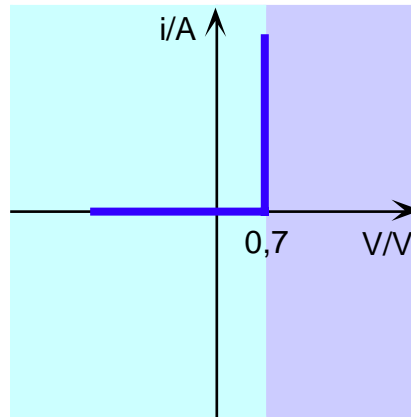


Considerando que o declive de cada recta é a resistência eléctrica do díodo ideal, o mesmo tem resistência nula quando polarizado directamente e infinita quando polarizado inversamente. Logo:

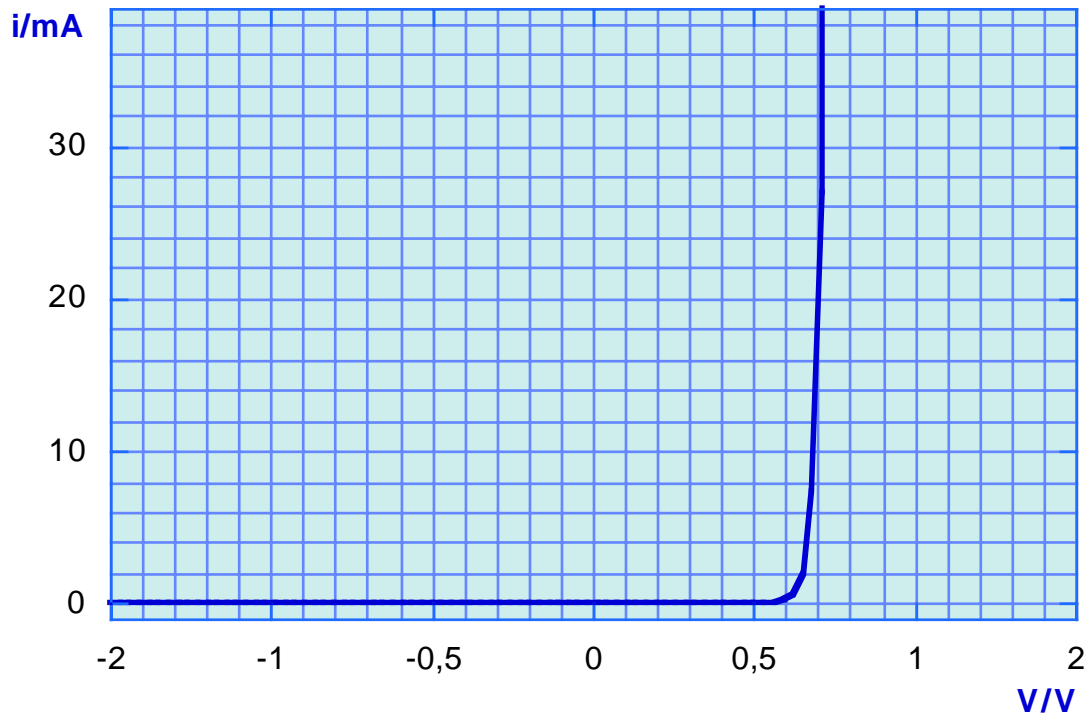


O diodo conduz no sentido da seta e não conduz no sentido contrário.

Na prática, só há polarização directa do diodo se a diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo for superior a um determinado valor. Esse valor é característico do diodo. No caso de um diodo de silício dizemos que é cerca de 0,7 V. Isso faz com que possamos criar um modelo mental de diodo que obedece à seguinte dependência i-V:



No entanto, se medirmos a corrente que atravessa um diodo em função da ddp aos seus terminais o resultado é:



Como vemos, o comportamento é apenas aproximado ao descrito anteriormente. A relação entre as duas grandezas é:

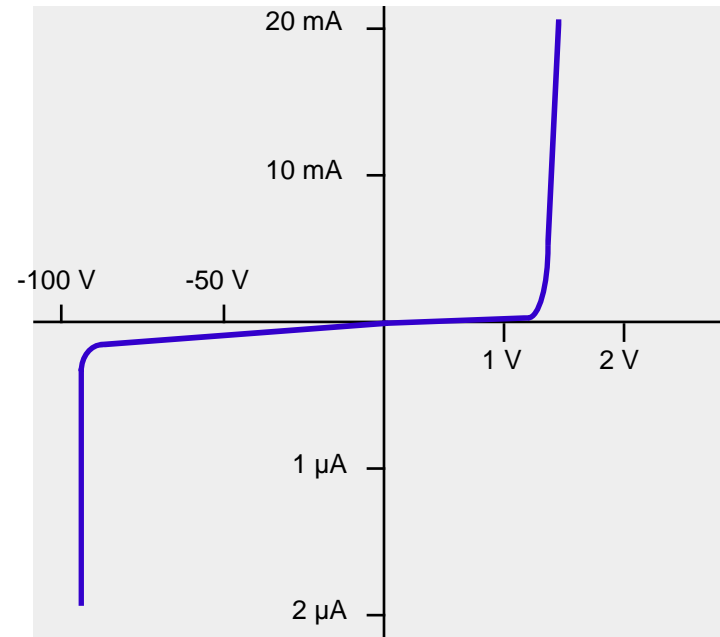
$$i = i_s \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

em que i_s é a corrente de saturação, q é a carga eléctrica do electrão, K é a constante de Boltzmann e T é a temperatura absoluta (em Kelvin). A corrente de saturação tem valores típicos da ordem de 10^{-12} mA. As constantes têm os seguintes valores:

$$K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Com polarização inversa, se o potencial do cátodo for aumentado indefinidamente esperamos que a resistência do díodo continue a ser infinita. Porém, para uma ddp da ordem dos 75 a 100 V o díodo passa a conduzir novamente.



Note-se que há mudanças de escala ao longo do gráfico.

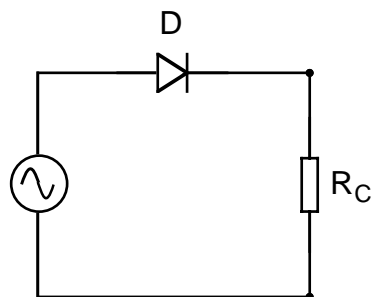
O diodo não obedece à lei de Ohm, já que a razão entre a ddp aos seus terminais e a corrente que o percorre não é constante. Podemos no entanto utilizar o conceito de resistência dinâmica R_D . Esta é a função que descreve o declive da curva V-i. Ou seja:

$$R_D = \frac{dV}{di}$$

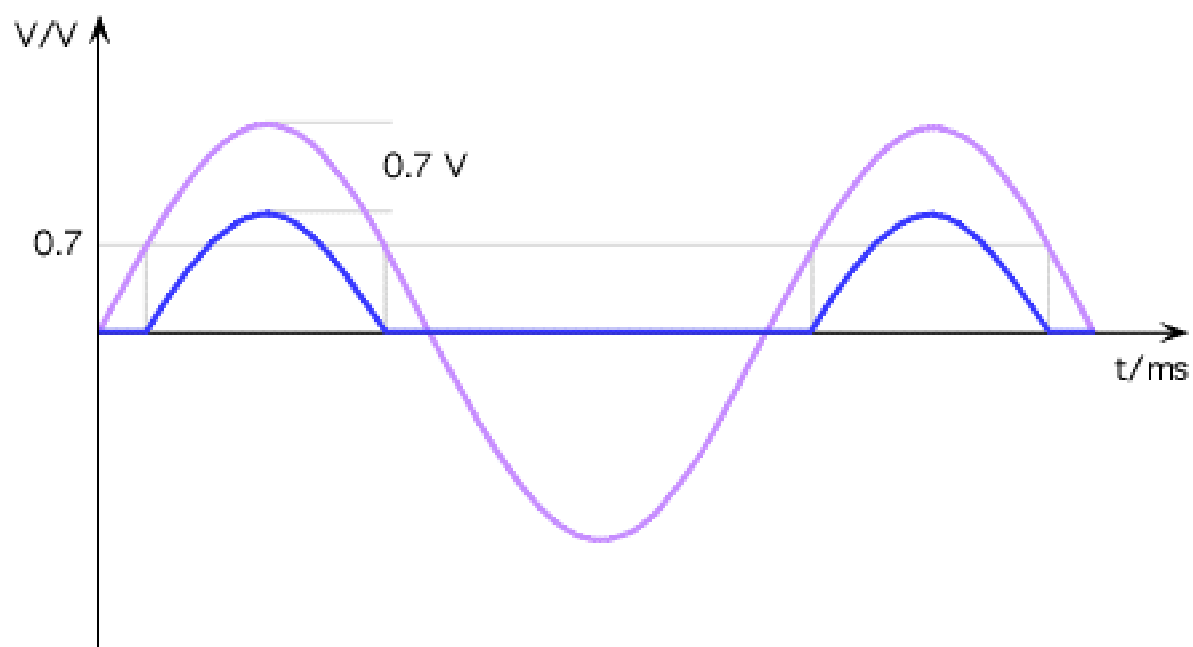
Pelo facto de não ter um comportamento linear, quando introduzido num circuito, o diodo faz com que o circuito deixe de ter equivalente de Norton ou de Thévenin.

Aplicações do díodo

Consideremos o seguinte circuito:



Tendo em conta as características do díodo, a ddp medida aos extremos da resistência de carga R_C é:

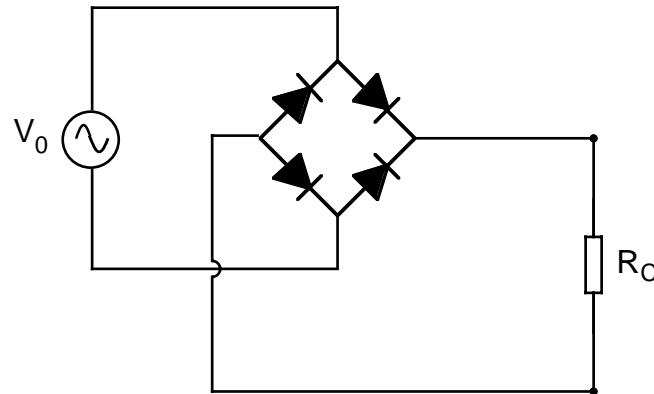


A cor de rosa está representada a variação da tensão aplicada no circuito pelo gerador de sinais e a azul está a variação da tensão medida aos extremos da resistência de carga.

Vemos que só quando o potencial aplicado é superior aos potencial de polarização do diodo (0.7 V) é que há condução por parte do mesmo. Só quando passa corrente na resistência de carga é que podemos medir aos seus terminais um potencial diferente de zero. Assim, a ddp medida nos extremos da resistência de carga vem diminuída de 0.7 V relativamente ao sinal inicial.

Este circuito designa-se de *rectificador de meia onda* porque perde-se metade do sinal sinusoidal.

É possível realizar uma rectificação mais eficiente com o seguinte circuito:



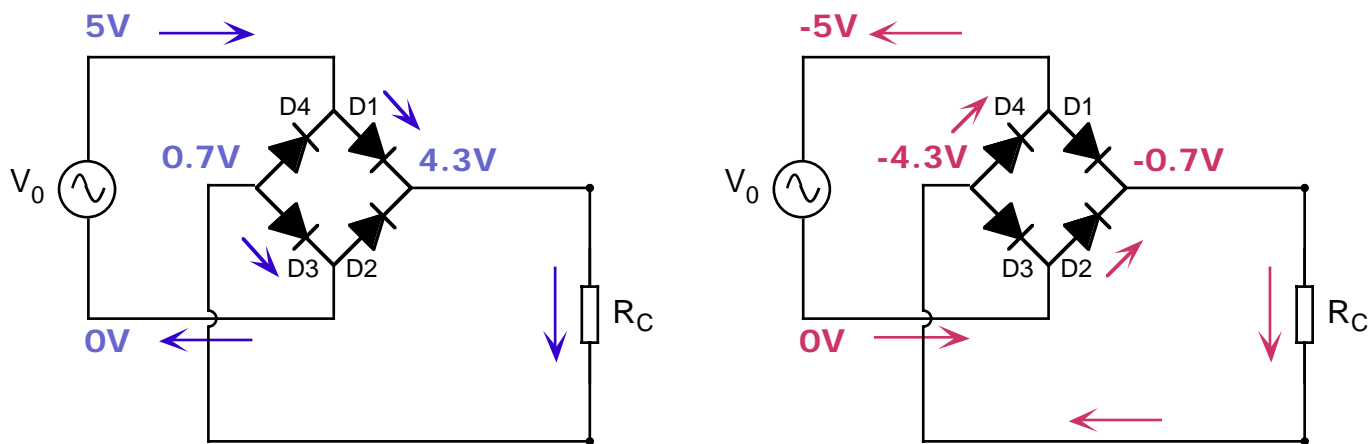
Esta configuração de díodos chama-se uma ponte de díodos.

Consideremos duas situações:

1 - a tensão V_0 é positiva e superior a 1.4 V - tem por exemplo o valor 5 V.

2 - a tensão V_0 é negativa e inferior a -1.4 V - tem por exemplo o valor -5 V.

O trajecto da corrente eléctrica em ambas as situações está o representado na figura:



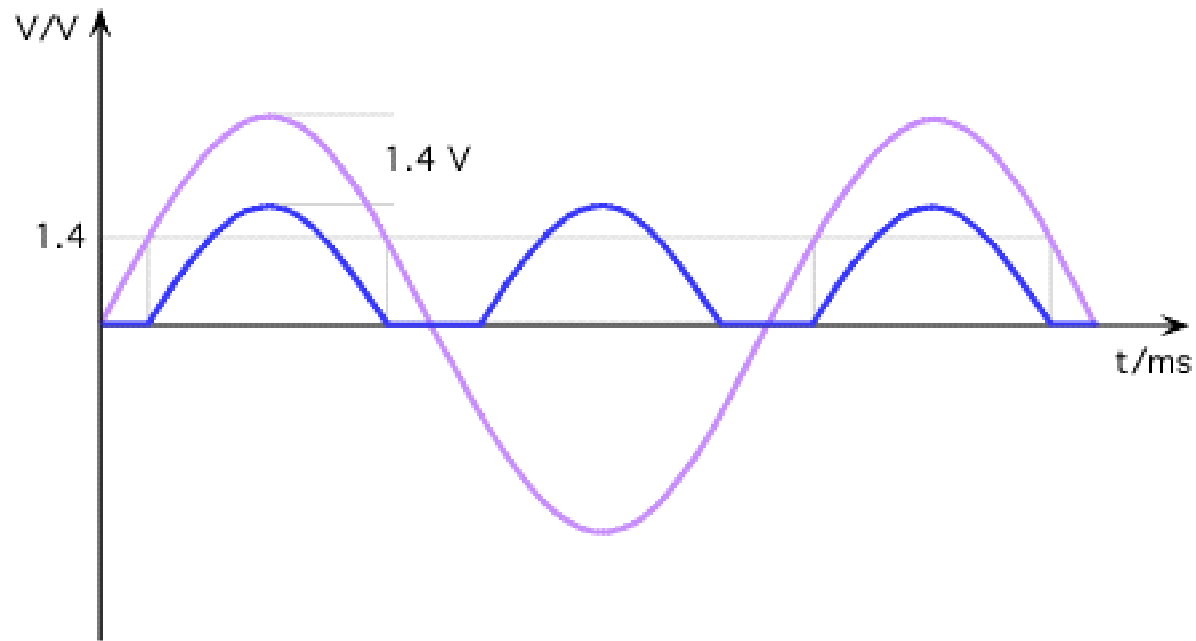
Na primeira, o diodo D1 está polarizado directamente e conduz logo a ddp aos seus extremos é 0.7 V. Tanto D2 como D4 não conduzem. D3 tem uma extremidade a 0 V logo, como está em condução, a outra extremidade está a 0.7 V.

A corrente que entra em D3 tinha também um caminho alternativo por D4. No entanto D4 está polarizado inversamente e por isso não conduz.

No segunda, passa-se tudo de forma análoga com a diferença que os diodos em condução são D2 e D4.

Note-se que em ambos os casos a corrente tem o mesmo sentido na resistência de carga e que a ddp aos seus terminais é igual à de entrada da ponte de diodos subtraída de $2 \times 0.7 = 1.4$ V.

A variação da ddp aos extremos da resistência de carga é dada por:



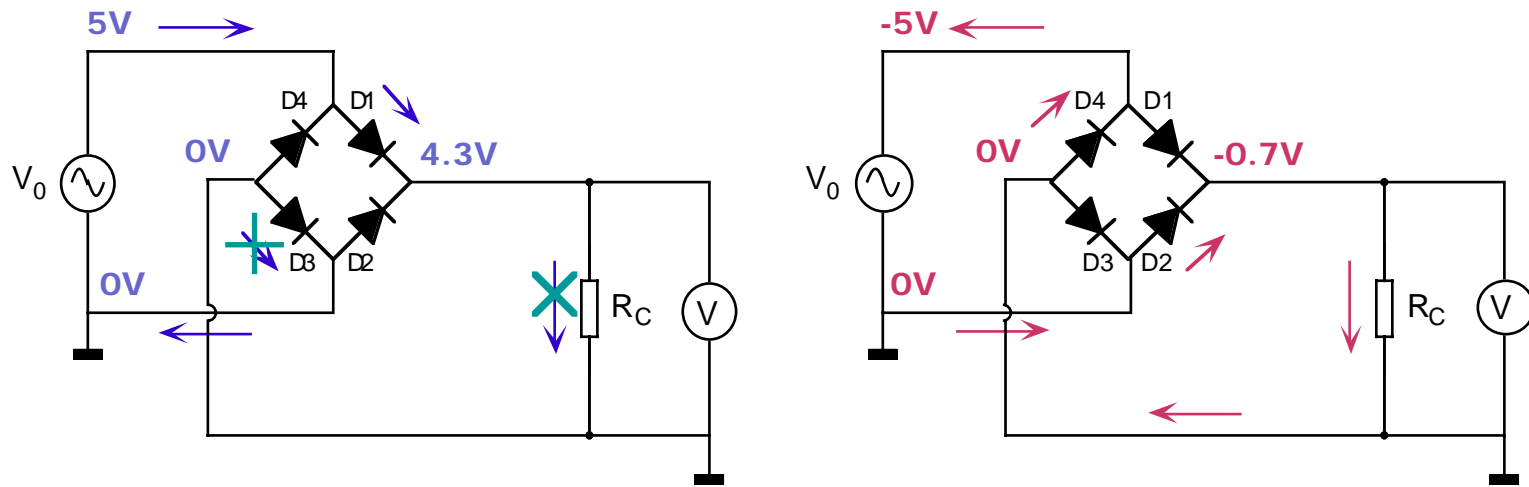
A cor de rosa está representada a variação da tensão aplicada no circuito pelo gerador de sinais e a azul está a variação da tensão medida aos extremos da resistência de carga.

Este circuito é designado de *rectificador de onda completa*. É muito utilizado como parte constituinte de um circuito que permite obter uma tensão contínua a partir de uma tensão alternada. Veremos mais à frente essa aplicação.

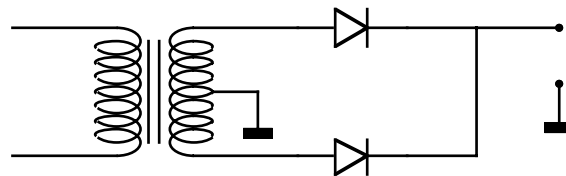
O gerador de sinais tem que ter uma tensão de referência independente da tensão de referência do aparelho de medida utilizado para avaliar a ddp aos extremos da carga. Ou seja, devemos evitar que aconteça o seguinte:

O gerador de sinal tem como ponto de referência o neutro da rede da EEM, logo o ponto P está sempre a um potencial nulo. Se utilizarmos um osciloscópio para medir a ddp aos extremos da resistência de carga, fazemos com que o ponto Q esteja também ao mesmo potencial nulo. A tensão de referência do osciloscópio é o neutro da rede da EEM.

Isto implica que o diodo D3 vai ter sempre um potencial nulo em ambos os extremos. O acto de medir faz do circuito um rectificador de meia onda.



Há forma de obter rectificação de onda completa só com dois díodos:

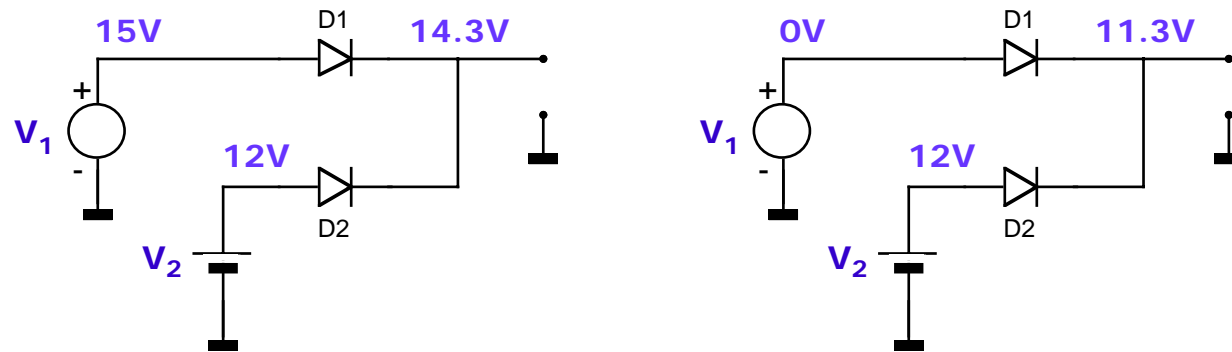


basta utilizar um transformador em que o secundário tem no centro o potencial de referência.

A desvantagem de utilizar este circuito é que o transformador é maior. O secundário precisa do dobro do comprimento do secundário de um transformador convencional para obter a mesma ddp.

Outras funções dos díodos

Os díodos podem ter a função de “porta” Vejamos o seguinte circuito:



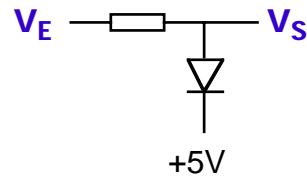
Há duas fontes de alimentação no circuito (V_1 e V_2). Uma é uma fonte de tensão que está dependente da existência de ddp na rede da EEM (V_1). A outra é uma bateria (V_2).

Quando a fonte V_1 está em funcionamento produz uma ddp de 15 V. O diodo D1 conduz e por isso a ddp à saída do circuito é de 14.3 V. Nestas circunstâncias o diodo D2 não conduz porque o cátodo tem um potencial superior ao ânodo. Este facto resulta de termos escolhido uma bateria com ddp inferior a 14.3 V. Assim evitamos gastar a bateria quando há alimentação por V_1 .

Quando a fonte de alimentação V_1 é desligada, o diodo D2 conduz e o potencial de saída do circuito é 11.3 V. Nesta situação D1 está polarizado inversamente logo não conduz.

Este circuito poderia ser utilizado por exemplo, como fonte de alimentação de um computador portátil.

Vejamos outra utilidade possível para o díodo:



Enquanto V_E for inferior a 5.7 V, V_S irá variar tal como V_E . Se o potencial de entrada for superior a 5.7 V, o díodo passa a conduzir e V_S mantém-se nos 5.7 V. Logo este circuito é um *limitador de tensão* - evita que o potencial exceda um determinado valor.

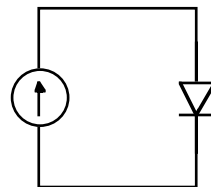
Este tipo de circuito é muito usual nos integrados digitais da família CMOS. Na sua ausência as descargas de electricidade estática durante o manuseamento dos integrados seriam suficientes para danificá-los.

Sabemos já que a relação i - V para o díodo é dada por:

$$i = i_s \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

A equação mostra que a dependência da intensidade da corrente eléctrica com a ddp aos terminais do díodo varia com a temperatura.

Ao impor uma certa intensidade de corrente a fluir num díodo, a ddp aos seus extremos depende da temperatura:



A ddp é dada por:

$$V = \frac{KT}{q} \ln\left(1 + \frac{i}{i_s}\right)$$

K e q são constantes físicas independentes da temperatura, mas i_s varia com a temperatura. O resultado final é que o potencial de polarização de um díodo diminui com o aumento da temperatura de forma aproximadamente linear.

Por exemplo, para um díodo de silício por cada °C de aumento da temperatura o potencial de polarização diminui 2.1 mV:

$$\frac{\Delta V}{\Delta T} = -2.1 \text{ mV}/^\circ\text{C}$$

Este facto faz do díodo um bom transdutor de temperatura.

O díodo Zener

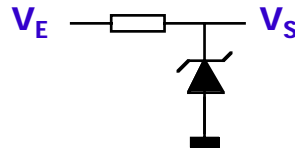
Vimos que quando um díodo tem polarização inversa, se o potencial do cátodo em relação ao ânodo for aumentado indefinidamente esperamos que a resistência do díodo continue a ser infinita. Porém, para uma ddp da ordem dos 75 a 100 V o díodo passa a conduzir novamente. Normalmente quando isto acontece, o díodo não tem possibilidade de dissipar toda a energia térmica produzida e funde.

Há no entanto um tipo de díodo que consegue dissipar esta energia. É o *díodo Zener*. Quando um utilizador vai à loja comprar um díodo Zener tem à sua escolha uma série de potenciais de polarização inversa padronizados - por exemplo 8.2 V. Sei que ao impor uma corrente no sentido inverso de um díodo Zener, a ddp aos seus terminais será 8.2 V.

Este tipo de diodo é utilizado em geral como meio de criar um potencial de referência. Como tem uma característica que o distingue do diodo usual, este componente tem direito a um símbolo próprio:



Como exemplo consideremos o seguinte circuito:



O diodo tem um potencial de polarização inversa de 5.7 V. Isto quer dizer que qualquer que seja o potencial de entrada V_E , desde que seja maior que 5.7 V, o potencial de saída será $V_S = 5.7$ V. Temos um circuito *regulador de tensão*.

O potencial de entrada tem que ser superior a 5.7 V porque só assim é que há corrente eléctrica a fluir no diodo no sentido inverso.

A curva caracterísitica para este diodo de Zener é dada por:

