

1 CIRCUITOS COM DÍODOS

1.1 Características de um díodo

Um díodo é constituído por uma junção de dois materiais semicondutores (em geral silício dopado), um do tipo n e o outro do tipo p, ou de um material semicondutor e de um metal.



Este dispositivo permite a passagem de corrente, com facilidade, num sentido, e oferece uma grande resistência à sua passagem no sentido contrário. Na figura seguinte pode ver-se um gráfico típico da corrente em função da tensão nos seus terminais, que resulta do comportamento físico da junção p-n.

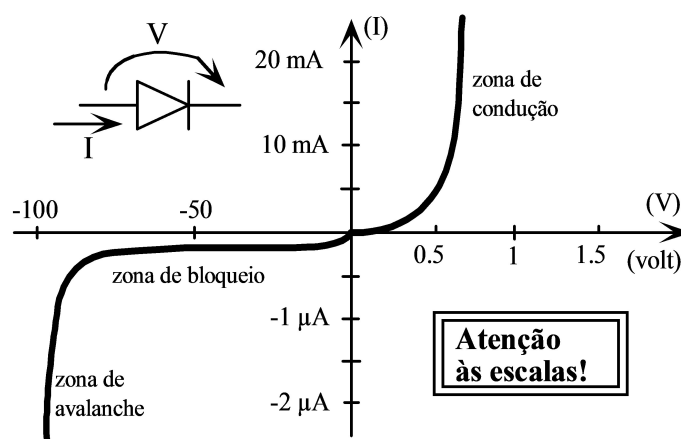
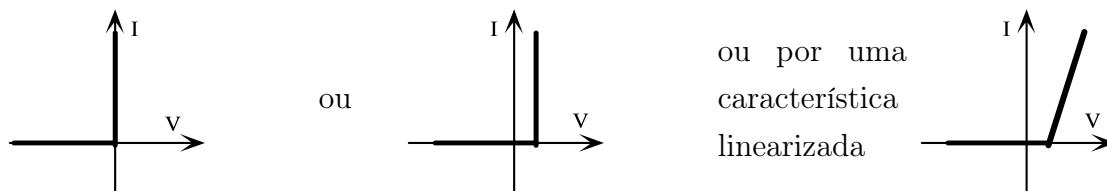


Figura 1: Característica $I(V)$ de um díodo de silício.

Este comportamento pode ser aproximado, em certas aplicações, pelo de um díodo ideal.



As referências [1, 2, 3] contêm informação detalhada sobre os princípios físicos de funcionamento. As notas da Parte A sobre “Semicondutores, junções p-n, díodos” contêm uma síntese dos aspectos mais importantes.

1.2 Tipos de díodos

O símbolo utilizado para representar o díodo é $\text{—}\overline{\text{—}}\text{—}$ ou $\text{—}\overline{\text{—}}\text{—}$. Este símbolo representa o díodo normalmente utilizado para rectificação (transformação de corrente bidirecional em corrente unidirecional) e processamento de sinal nela baseado. Pretende-se que a sua zona de avalanche esteja suficientemente afastada para nunca ser atingida, e que a sua corrente de fuga inversa seja desprezável.

Além destes tipos existem outros tipos de díodos especialmente construídos para outros fins específicos:

Díodo Zener $\text{—}\overline{\text{—}}\text{—}$

Funciona na zona de avalanche, e é utilizado como referência de tensão (a tensão varia pouco com a corrente nessa zona).

Díodo túnel $\text{—}\overline{\text{—}}\text{—}$ ou $\text{—}\overline{\text{—}}\text{—}$

São díodos desenhados para apresentarem efeito túnel na junção, também chamados díodos de Esaki. A sua característica $I(V)$ está indicada na figura seguinte. Conforme se pode ver, existe uma zona de resistência diferencial negativa (ao aumentar a tensão diminui a corrente), permitindo a comutação de tensão extremamente rápida.

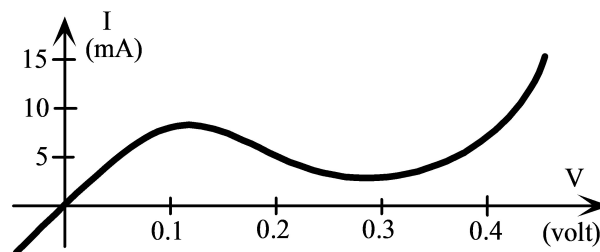


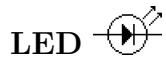
Figura 2: Característica $I(V)$ de um díodo túnel.

Varistor $\text{—}\overline{\text{—}}\text{—}$ ou $\text{—}\overline{\text{—}}\text{—}$

Todos os díodos apresentam uma capacidade que é variável com a tensão aplicada. Os varístores são díodos especialmente desenhados para se obter uma capacidade variável com a tensão. São usados em osciladores cuja frequência é controlada por tensão (VCO).

Fotodíodos $\text{—}\overline{\text{—}}\text{—}$

Quando a zona da junção recebe luz, geram-se pares de portadores de carga (electrão-vazio) que geram uma tensão ou uma corrente no dispositivo. Existe, assim, conversão opto-electrónica.



Para certos tipos de materiais semicondutores, quando é injetada uma corrente na junção do díodo, é gerada radiação electromagnética na zona do visível ou infravermelho próximo (conversão eletro-óptica).

Existem componentes em que vários LED estão dispostos sob a forma de traços ou pontos numa matriz, permitindo a apresentação de algarismos e letras (displays).

Díodo laser

É, de certo modo, semelhante a um LED ao qual é aplicada uma realimentação óptica, por fabricação de espelhos nas extremidades, o que permite ação laser.

1.3 Circuitos de “clipping”

Os circuitos seguintes fazem exatamente o que o seu nome inglês indica, “clipping” - tosquiar, cortar.

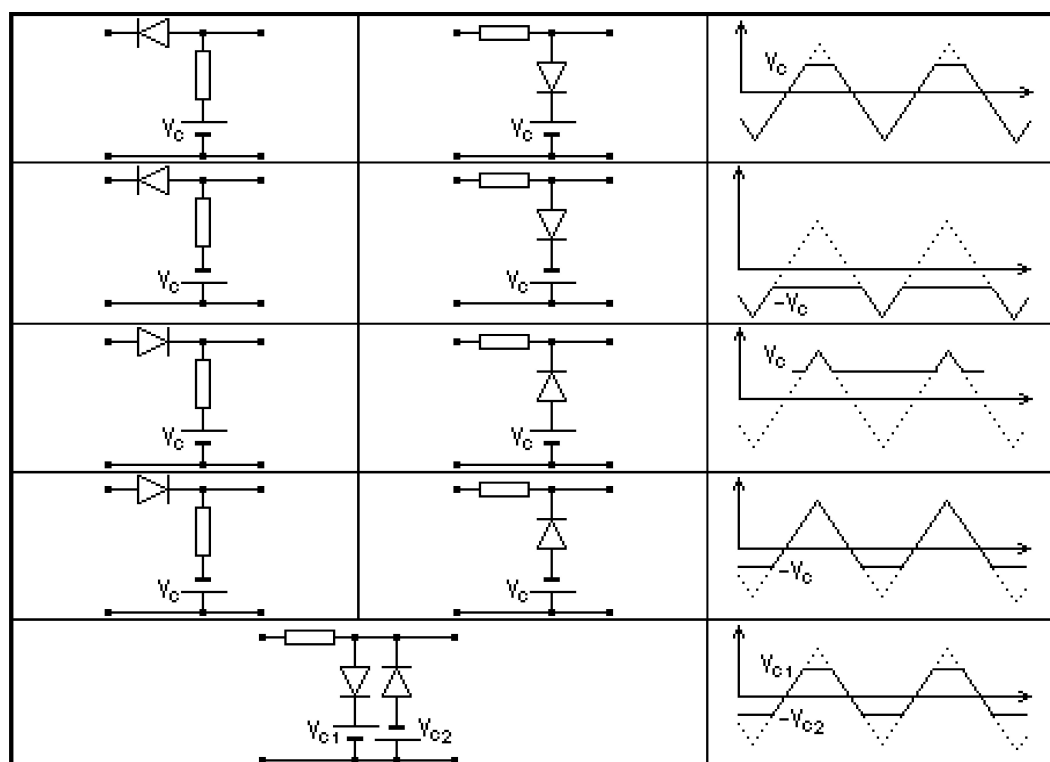


Figura 3: Circuitos de “clipping”.

Vamos analisar o funcionamento dos circuitos de “clipping”, indicados na figura 1.3, considerando, por simplificação, díodos ideais.

Para os circuitos indicados na primeira linha (“cortar a parte de cima”), acontece o seguinte:

- Se a tensão de entrada for menor que a soma da queda de tensão do díodo em condução com a tensão da fonte de alimentação, o díodo estará polarizado diretamente (1ª coluna) ou inversamente (2ª coluna), e a tensão de saída é igual à de entrada. (No circuito da 1ª coluna o díodo comportar-se-á como um curto-circuito (ou, noutra simplificação, como uma ddp de $\approx 0,7$ V se for um díodo de silício), enquanto que no da 2ª coluna será equivalente a um circuito aberto.)
- No caso da tensão de entrada ser superior à soma da queda de tensão do díodo em condução com a tensão da fonte de alimentação, o díodo estará polarizado inversamente (1ª coluna) ou diretamente (2ª coluna) e a tensão de saída será igual à da fonte de alimentação. (No circuito da 1ª coluna o díodo comportar-se-á como um circuito aberto, enquanto que no da segunda coluna será equivalente a um curto circuito (ou, noutra simplificação, como uma ddp de $\approx 0,7$ V se for um díodo de silício).).

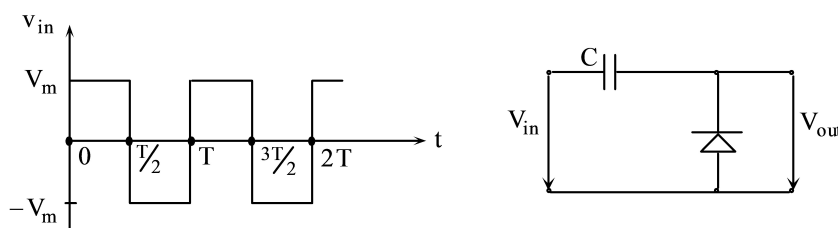
O valor da resistência introduzido nestes circuitos deve ser escolhido tendo em atenção as seguintes considerações:

- Essa resistência será a resistência de carga da fonte de sinal para $V_{in} < V_c$, no circuito da 1ª coluna, e $V_{in} > V_c$, no circuito da 2ª coluna. Deverá ser, assim, muito maior que a resistência de saída da fonte de sinal.
- Essa resistência será a resistência de saída do circuito para $V_{in} > V_c$, no circuito da 1ª coluna, e $V_{in} < V_c$, no circuito da 2ª coluna. Deverá ser, assim, muito menor que a resistência de entrada do circuito a jusante.

Nos outros casos representados na tabela, o funcionamento será analisado de forma análoga.

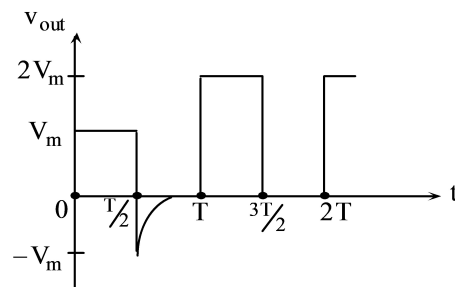
1.4 Circuitos de “clamping”

Considere-se o circuito da figura, ao qual é aplicado, em $t = 0$, um sinal de tensão periódico (período T) quadrado ($\pm V_m$), sem componente contínua (valor médio temporal nulo).



Quando $v_{in}(t)$ sobe rapidamente para $+V_m$ em $t = 0$, a tensão $v_{out}(t)$ cresce para o mesmo valor, pois a tensão entre os terminais de um condensador não pode variar de modo brusco. A presença do diodo na orientação representada não permite a passagem de corrente, pelo que o condensador C não se carrega, mantendo-se a tensão $v_{out}(t)$ no valor $+V_m$.

Em $t = T/2$, $v_{in}(t)$ decresce bruscamente para $-V_m$, ou seja, diminui relativamente ao valor anterior de $2V_m$; novamente, a tensão $v_{out}(t)$ segue essa variação. Nesta situação, o diodo conduz e o condensador C carrega-se com uma constante de tempo pequena pois a resistência de condução do diodo é baixa. A tensão na saída tende para zero.



Em $t = T$, $v_{in}(t)$ torna a variar abruptamente de $2V_m$, e a tensão na saída tende a acompanhar $v_{in}(t)$ passando do valor anterior $v_{out} = 0$ para $v_{out} = 2V_m$; como o condensador não pode descarregar através do diodo, v_{out} permanece em $+2V_m$.

Daqui em diante, atingido o regime permanente, v_{out} toma os valores $(0, +2V_m)$, donde a componente contínua $+V_m$.

		A v_0 CLAMPED FOR ALL v_{in}	B v_0 CLAMPED FOR $v_{in} > V_C$	OUTPUT WAVEFORM v_0
POSITIVE CLAMP	POSITIVE V_C			
	NEGATIVE V_C			
NEGATIVE CLAMP	POSITIVE V_C			
	NEGATIVE V_C			

Figura 4: Circuitos de “clamping”.

Diversas modificações podem ser introduzidas na configuração do circuito (ver figura 1.4).

1. A inversão da montagem do diodo resultaria num sinal $v_{out}(t)$ variando entre 0 e $-2V_m$, com componente contínua $-V_m$.

2. A ligação de uma fonte de tensão V_c constante em série com o díodo conduziria a uma modificação correspondente do valor da componente contínua de $v_{out}(t)$.
3. A ligação em paralelo com a saída de uma resistência elevada evita que a tensão de saída se desvie da “linha de base” seleccionada se o valor máximo de $V_{in}(t)$ variar momentaneamente.
4. Pretendendo-se uma “linha de base” diferente de zero e funcionamento com $V_{in}(t)$ qualquer, a resistência deverá estar ligada em paralelo apenas com o díodo.

1.5 Transmissor/receptor optoelectrónico (LED/Fotodíodo)

Um sinal eléctrico pode ser convertido num equivalente óptico recorrendo, por exemplo, a um LED. Reciprocamente, um fotodíodo e respectivo circuito de leitura permitem efetuar a conversão de um sinal de intensidade óptica num sinal eléctrico (ver Notas da Parte A sobre “Fotodeteção e Fotoemissão em Junções p-n”).

Os dois blocos, combinados com um meio de transmissão adequado (atmosfera, fibra óptica) permitem realizar sistemas de comunicação com isolamento eléctrico entre transmissor e receptor. Este aspecto tem muita importância quando é necessário assegurar isolamento galvânico entre duas partes de um sistema eléctrico ou electrónico (que podem funcionar referidas a potenciais muito diferentes), mantendo todavia a comunicação entre elas (por via óptica). Uma outra aplicação corrente reside nos vulgares comandos remotos de electrodomésticos.

O recurso a LEDs sofisticados ou, sobretudo, a díodos laser, em combinação com fibras ópticas monomodo de sílica, permite construir sistemas de comunicação óptica com alto desempenho (grande capacidade de transmissão e baixa atenuação). Esses sistemas utilizam-se, por exemplo, em ligações submarinas intercontinentais, em ligações de alto débito e redes locais rápidas.

1.6 Referências

1. P. Horowitz, W. Hill, “The Art of Electronics”, 2ª edição, Cambridge Press, 1989.
2. J. Millman, C. C. Halkias, “Electronic Devices and Circuits”, McGraw-Hill, 1967.
3. Sze, “Physics of Semiconductor Devices”, John Wiley, 1981.

1.7 Execução do trabalho

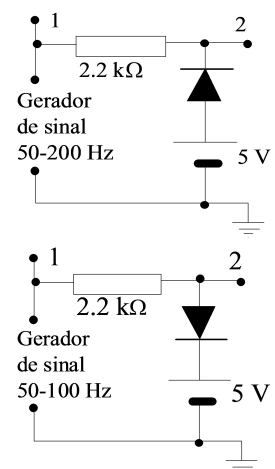
Objectivo

Na primeira parte do trabalho, pretende-se utilizar díodos para alterar a forma de sinais eléctricos, cortando a parte que exceda e/ou seja inferior a um valor pré-determinado (“clipping”). Na segunda parte, estuda-se a fixação da componente contínua de sinais (“clamping”). Na terceira parte, demonstra-se o funcionamento elementar de um sistema de comunicação optoelectrónico através do ar.

Operação

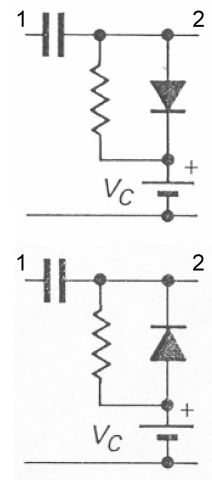
A. Circuitos de “clipping”

1. Monte, sucessivamente, os circuitos da figura.
2. Para cada circuito, observe no osciloscópio, simultaneamente, as tensões nos pontos 1 e 2. Registe as formas dos sinais (registando em particular os valores das escalas de tensão e tempo). Explique o funcionamento observado.
3. Se dispuser de tempo, idealize e construa um circuito que lhe permita cortar simultaneamente as partes de cima e de baixo de um sinal sinusoidal.



B. Circuitos de “clamping”

1. Monte sucessivamente os circuitos da figura.
2. Para cada circuito, observe no osciloscópio, simultaneamente, as tensões nos pontos 1 e 2.
Registe as formas dos sinais (registando em particular os valores das escalas de tensão e tempo).
Explique o funcionamento observado.

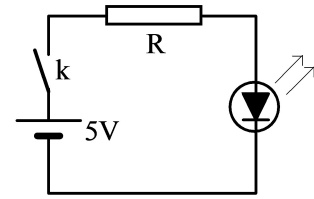


C. Transmissor/receptor optoelectrónico

Transmissor optoelectrónico

1. Monte o circuito do transmissor óptico e verifique que o LED vermelho acende quando se fecha o circuito.

O valor de R deve ser determinado utilizando um dos métodos de cálculo indicados no trabalho sobre o díodo, de forma a que a corrente no LED esteja dentro dos limites indicados pelo fabricante (ver folha de especificação do LED; valores típicos $V_{LED} \cong 1,2 \text{ V}$, $I_{LED} \cong 20 \text{ mA}$, $I_{LED \text{ max}} \cong 50 \text{ mA}$). Atenda à correta polaridade da montagem do LED usando, se necessário, o “data sheet” do componente.



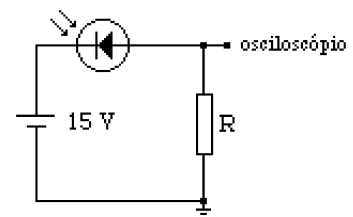
- Substitua a fonte por um gerador de onda quadrada, variando entre 0 e 5 V, com frequência $\cong 2 \text{ Hz}$. Verifique que o LED acende intermitentemente.

Receptor optoelectrónico

- Monte o circuito do receptor óptico usando o fotodíodo (BPW50).

Note bem que o fotodíodo deverá estar contrapolarizado; se for ligado em polarização direta, poderá facilmente ser destruído (ver notas sobre fotodíodos). Atenda à correta polaridade da montagem usando, se necessário, o “data sheet” do componente.

A resistência deve ter um valor elevado ($\approx 1 \text{ M}\Omega$) de forma a detectar-se uma variação mensurável no osciloscópio com a reduzida intensidade luminosa ambiente.



- Verifique que, ocultando a luz ambiente, o sinal no osciloscópio varia.

Transmissor + Receptor

- Aproxime o transmissor do receptor, de forma a detectar no receptor a variação do sinal. Se necessário, substitua o LED do transmissor por um LED infravermelho (que emite uma potência luminosa substancialmente superior, embora não detectável pelo olho humano, e em comprimentos de onda aos quais o fotodíodo é mais sensível).

A distância entre o LED e o fotodíodo deverá ser muito pequena ($< 1 \text{ cm}$). Proteja o receptor da luz ambiente de forma a evitar sobreposição de sinais no detector.