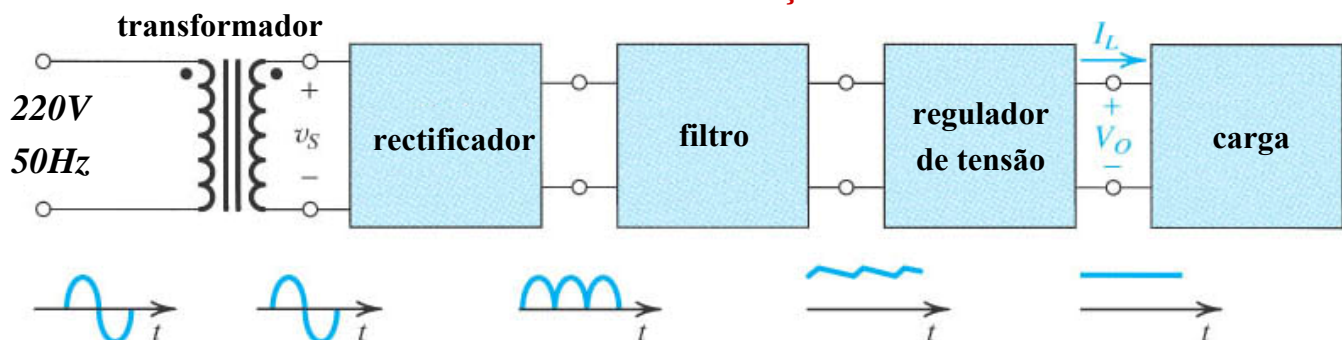


Rectificadores

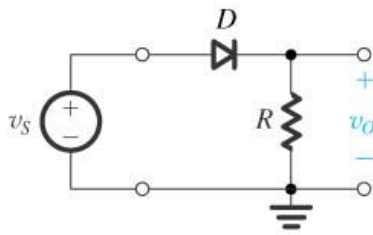
Rectificadores

- É uma das aplicações práticas mais importantes dos díodos;

Fonte de alimentação DC

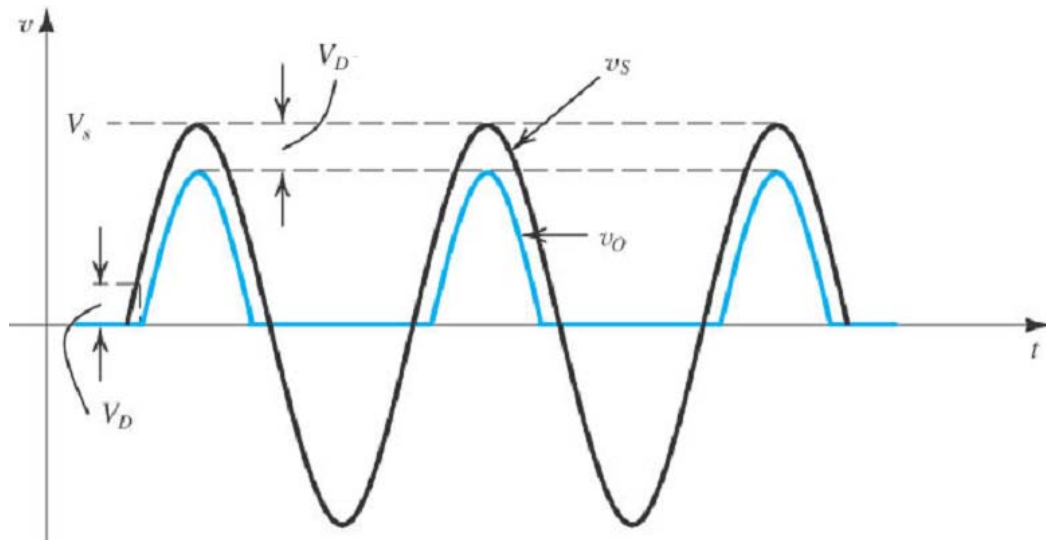


Rectificador de meia onda

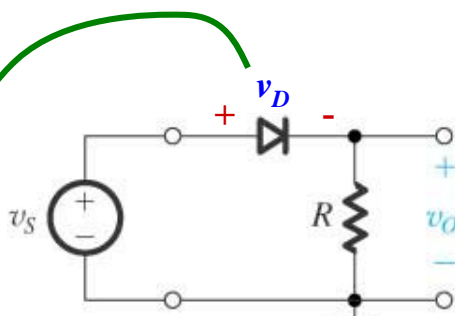


- A tensão v_o segue v_s (a menos de V_D) nas arcadas positivas:

$$v_o \approx v_s - V_D$$



Rectificador de meia onda

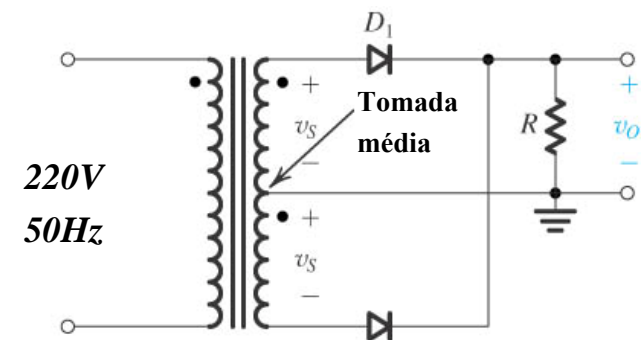


Neste diagrama desprezou-se o valor da tensão de condução do díodo, V_D

- A escolha do díodo a usar deve ter em conta os valores de:

- $I_{F(max)}$ – a corrente directa máxima que o díodo irá conduzir (dependente da carga);
- $V_{R(max)}$ – a tensão inversa máxima (igual ao valor de pico de v_s).

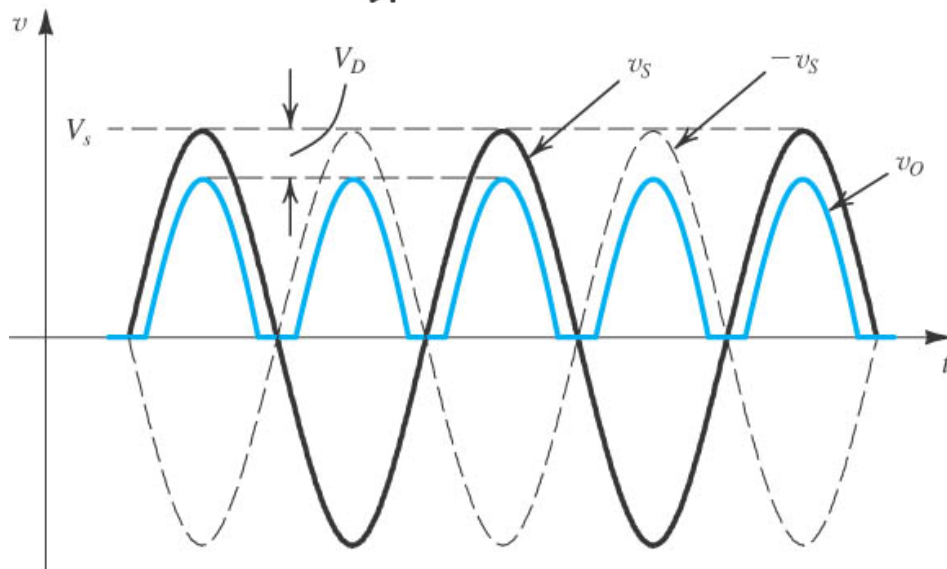
Rectificador de onda completa – com transformador



● Rectifica ambas as arcadas da sinusóide.

● Quando v_s é positivo (em ambas as metades do secundário) apenas D_1 conduz;

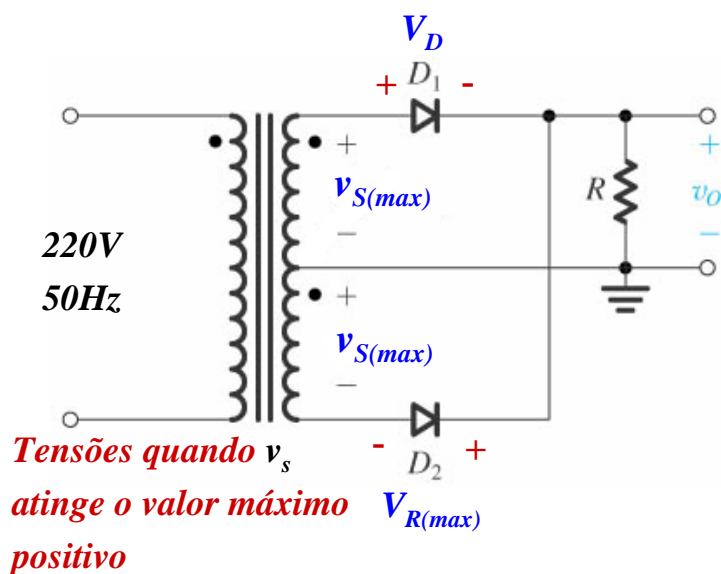
● Quando v_s é negativo apenas D_2 conduz



E. Martins, DETI Universidade de Aveiro

4-42

Rectificador de onda completa – com transformador



● A escolha dos díodos a usar deve ter em conta os valores de:

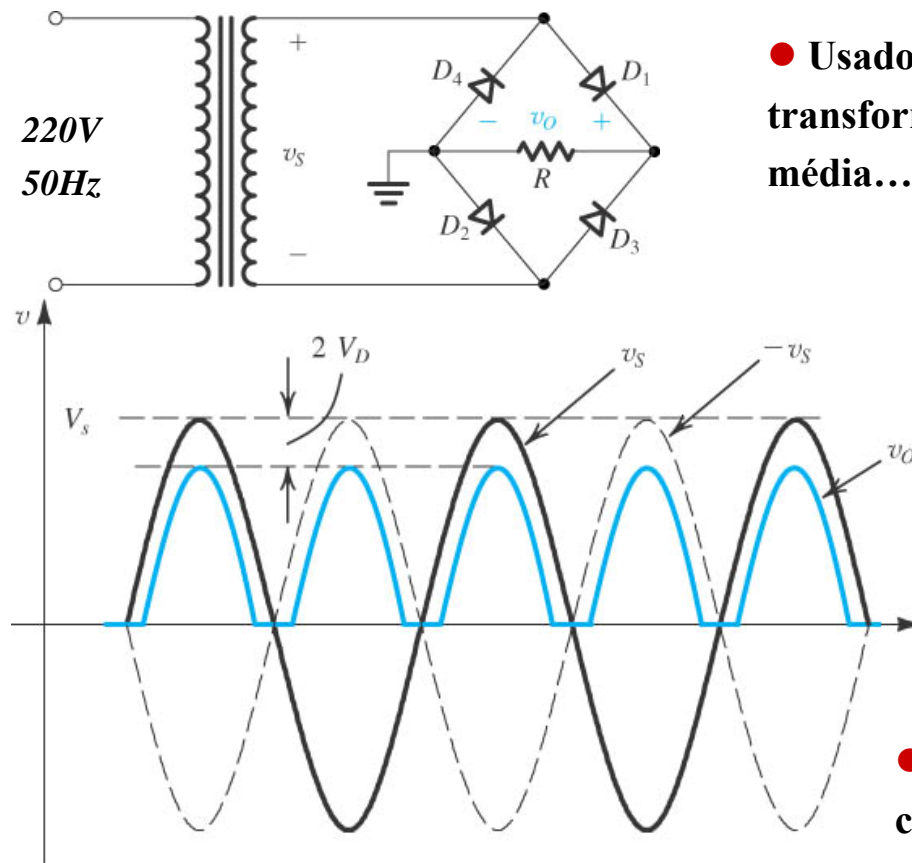
➤ $I_{F(max)}$ – a corrente directa máxima que os díodos irão conduzir;

➤ $V_{R(max)}$ – a tensão inversa máxima.

KVL: $-v_{S(max)} - v_{S(max)} + V_D + V_{R(max)} = 0$

$$V_{R(max)} = 2v_{S(max)} - V_D$$

Rectificador de onda completa – em ponte



● Usado quando **não temos** um transformador com tomada média....

● Quando v_s é positivo apenas **D₁** e **D₂** conduzem;

● Quando v_s é negativo apenas **D₃** e **D₄** conduzem;

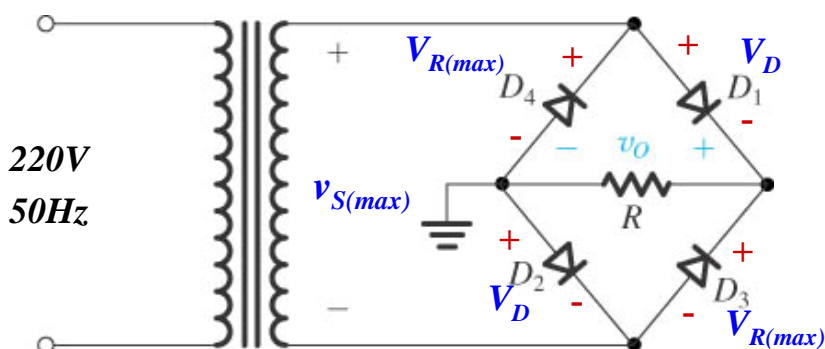
● A tensão de saída é, neste caso, reduzida em $2V_D$;

E. Martins, DETI Universidade de Aveiro

4-44

Rectificador de onda completa – em ponte

Tensões quando v_s atinge o valor máximo positivo



● Esta configuração requer um transformador mais pequeno - com metade do número de espiras relativamente à solução anterior.

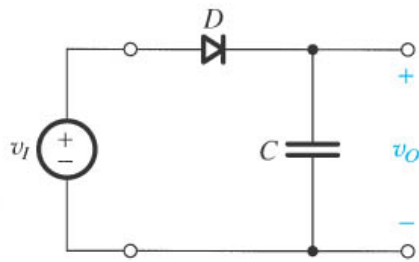
● A tensão máxima inversa $V_{R(max)}$ em cada um dos díodos é menor do que no caso anterior:

Do *loop* formado pelo secundário do transformador, **D₄** e **D₂**:

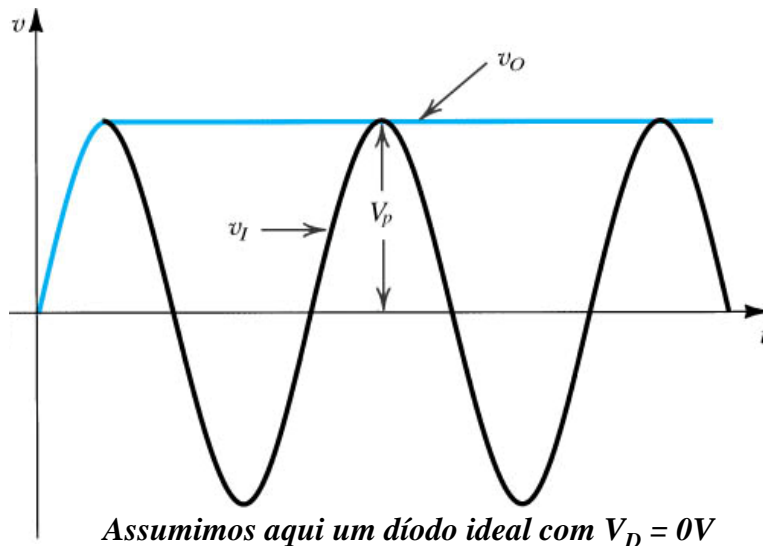
$$\text{KVL: } -v_{S(max)} + V_{R(max)} + V_D = 0$$

$$V_{R(max)} = v_{S(max)} - V_D$$

Rectificador com filtragem

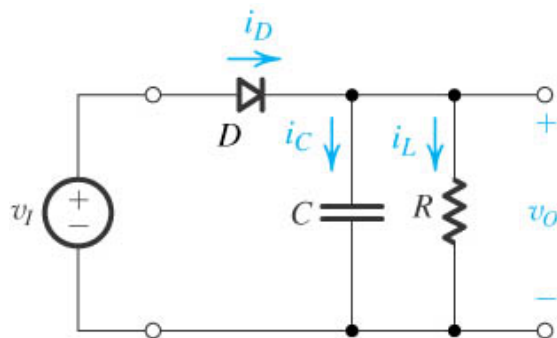


- Condensador carrega na primeira arcada positiva; depois não tem por onde descarregar.



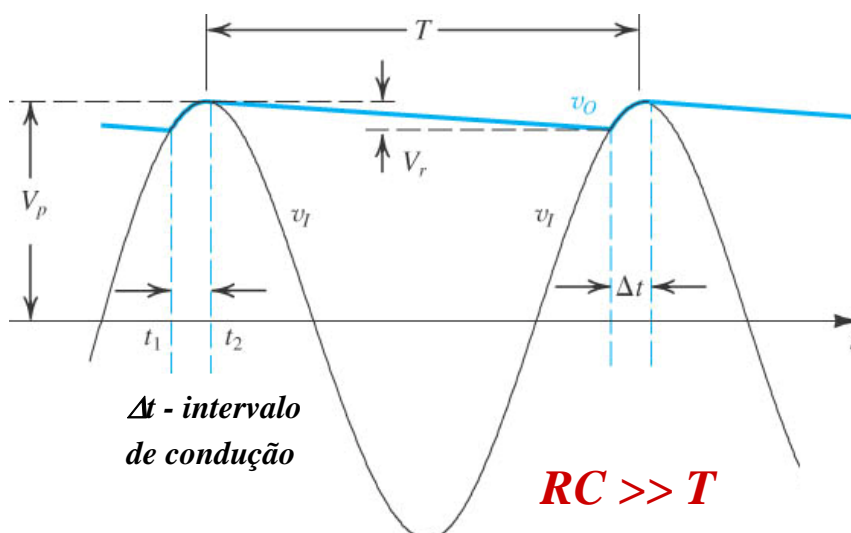
- A tensão v_O é puramente DC, mas apenas **porque não temos carga na saída.**

Rectificador com filtragem



- Condensador carrega até ao valor máximo V_P ;

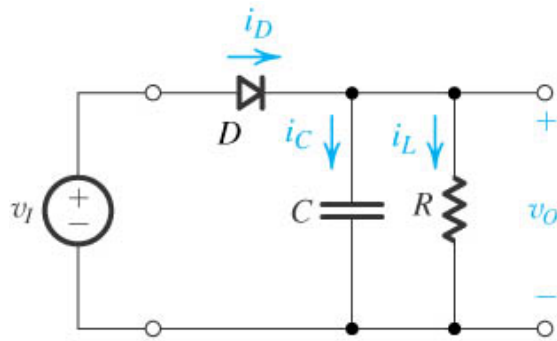
- depois **D** corta e o condensador descarrega sobre **R**;



- **D** volta a conduzir quando v_I ultrapassa a tensão no condensador;

- Quando maior **C** menor será a ondulação residual – a **tensão de ripple**, V_r .

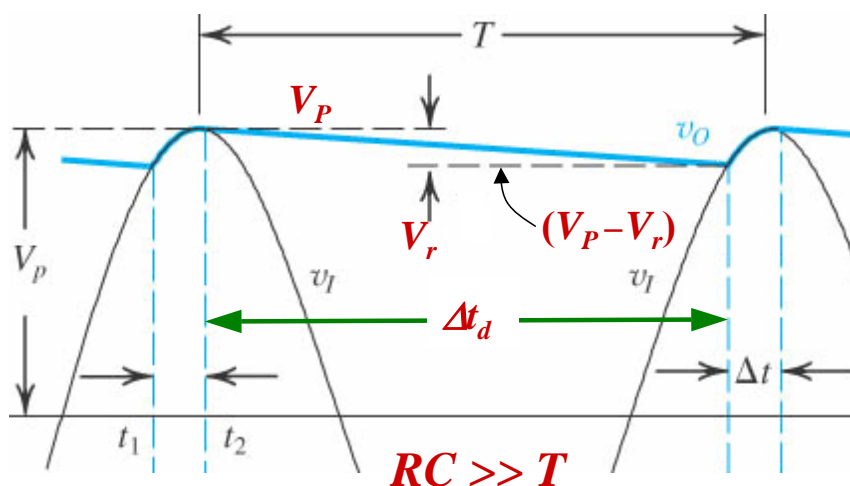
Cálculo da tensão de ripple, V_r



- Assumindo que $V_r \ll V_P$,

$$v_0 \approx V_P \quad \text{e} \quad i_L \approx V_P / R$$

Assim, quando **D** off, **C** descarrega com corrente constante



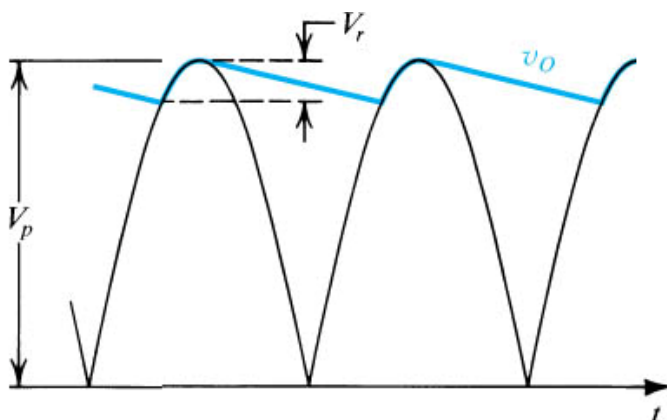
$$\begin{aligned} i_L &= -i_C = -C \frac{dv_0}{dt} \\ &= -C \frac{\Delta v_0}{\Delta t_d} = -C \frac{(V_P - V_r) - V_P}{\Delta t_d} \end{aligned}$$

aproximando $\Delta t_d \approx T$

$$\frac{V_P}{R} = C \frac{V_r}{T} \Leftrightarrow V_r = V_P \frac{T}{RC}$$

Rectificador de onda completa com filtragem

- Neste caso a frequência de ripple é o dobro da frequência do sinal sinusoidal



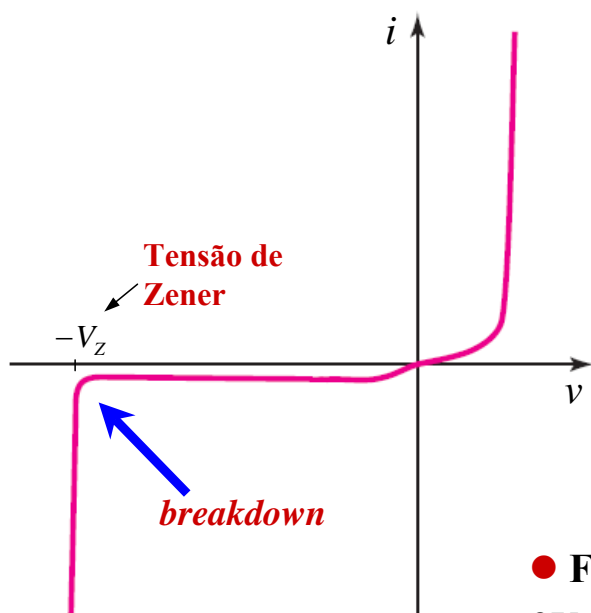
- A expressão para V_r é

$$V_r = V_P \frac{T}{2RC}$$

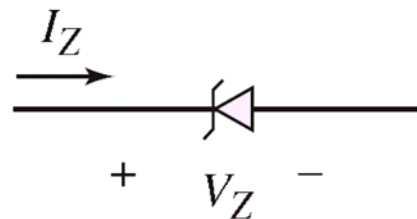
- Para o mesmo valor de ripple o condensador pode ter metade do valor. A corrente no diódo é menor.

Díodos Zener e aplicações

Díodo Zener



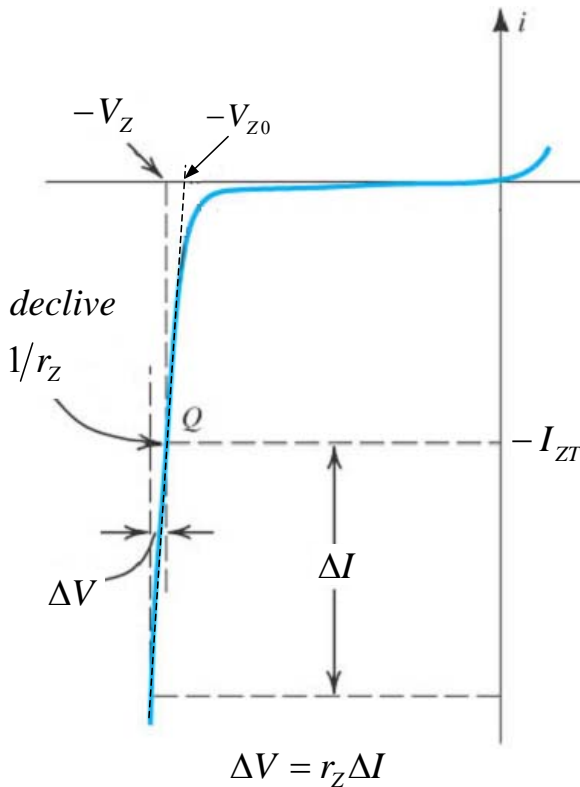
- Díodos especialmente concebidos para operar na região de *breakdown*.



- Valor de V_Z é determinado pelo grau de dopagem das regiões n e p ;
- Fabricados com valores padrão de V_Z entre 2V e centenas de Volt;

- O facto de V_Z variar muito pouco com a corrente, torna o zener útil para *regular tensões*, e.g. atenuar o *ripple* duma tensão (rectificada).

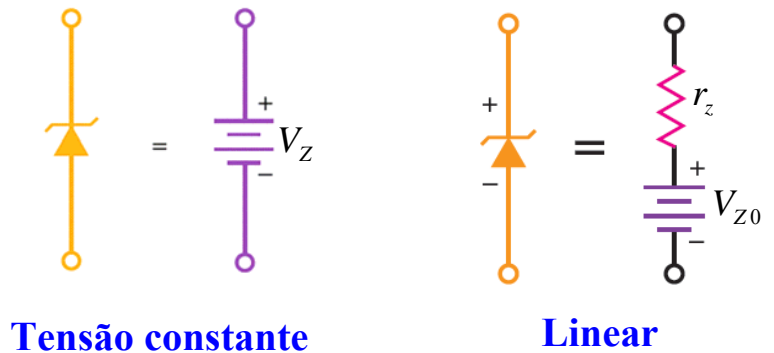
Díodo Zener - modelos



Características importantes:

- V_Z : Especificado para uma dada corrente de teste I_{ZT} ;
- r_Z : Resistência dinâmica, igual ao inverso do declive na região de *breakdown*.

Modelos do zener:



Características típicas de díodos zeneres - exemplo

Série BZX79- Valores desde 2.1 a 75V



BZX79-XXX	V_Z (V)	r_Z (Ω)	I_{ZT} (mA)
3V3	3.3	85	5
5V1	5.1	40	5
6V8	6.8	6	5
12	12	10	5
24	24	25	5

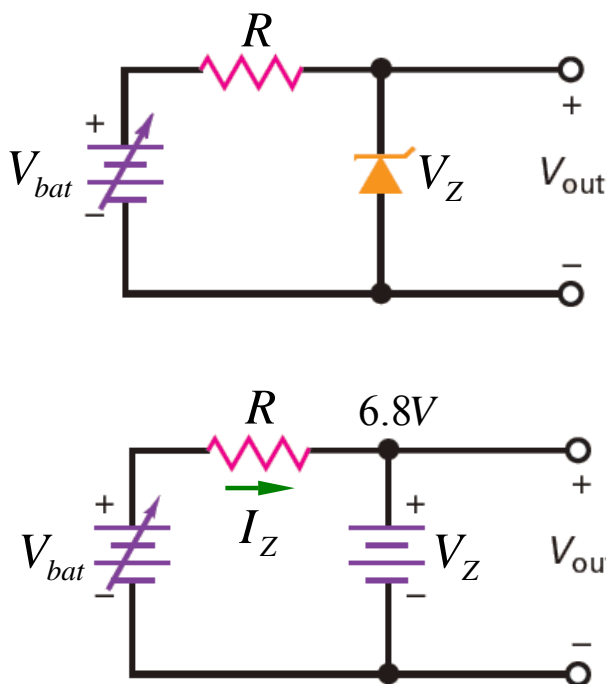
$$V_F = 0.9V @ 10mA;$$

$$P_{max} = 0.5W;$$

$$I_{Zmax} = P_{max} / V_Z$$

Aplicação 1: Zener como regulador de tensão

- A partir duma bateria de automóvel, cuja tensão pode variar entre $13.8V$ e $10.5V$, queremos gerar uma tensão constante de $6.8V$.



$$10.5V \leq V_{bat} \leq 13.8V$$

$$V_Z = 6.8V \Rightarrow \text{Zener BZX79-6V8}$$

A corrente I_Z deve ser o mais próxima possível de $I_{ZT} = 5mA$.

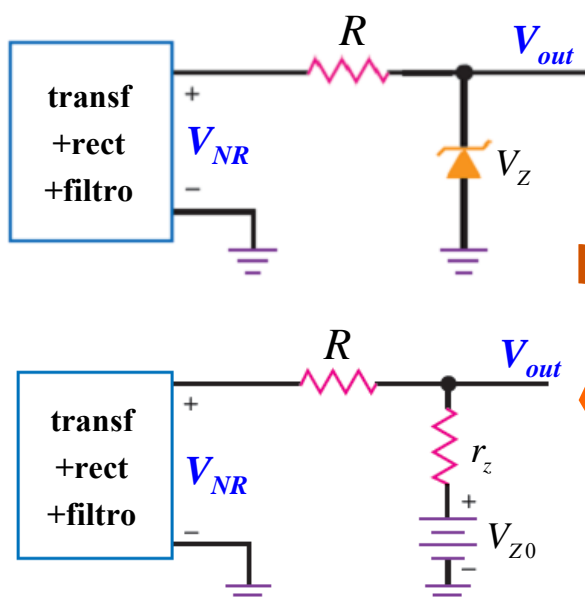
Tomando o valor médio de V_{bat} :

$$\overline{V_{bat}} = (10.5 + 13.8)/2 = 12.2V$$

$$R = \frac{\overline{V_{bat}} - V_Z}{I_{ZT}} = \frac{12.2 - 6.8}{5} \approx 1K$$

Aplicação 2: Zener como redutor de ripple

- A partir duma tensão não regulada (V_{NR}) de $18V$, com $1V$ de ripple, pretendemos gerar uma tensão regulada de $V_{out} = 10V$.



$$V_{NR}: V_P = 18V; V_r = 1V$$

$$V_Z = 10V \Rightarrow \text{Zener BZX79-10}$$

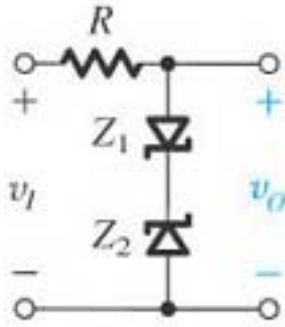
Valor de R, supondo $I_{ZT} = 5mA$:

$$R = \frac{17.5 - 10}{5} = 1.5K\Omega$$

O ripple em V_{out} calcula-se usando o valor tabelado $r_z = 10\Omega$:

$$V_{r_out} = V_r \frac{r_z}{r_z + R} = 6.6mV$$

Aplicação 3: Zener como limitador (*clipper*)



Se o valor de v_I for baixo, tal que

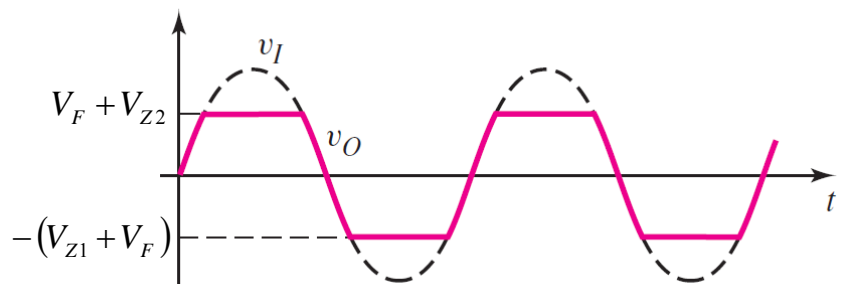
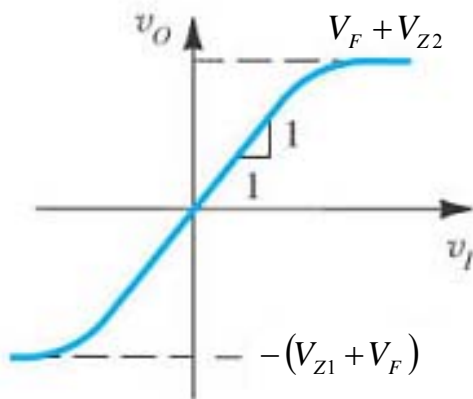
$$-(V_{Z1} + V_F) < v_I < (V_F + V_{Z2}) \Rightarrow v_O \text{ acompanha } v_I$$

Se v_I for elevado a ponto de Z_1 e Z_2 conduzirem...

$$\Rightarrow v_O \text{ fica limitado superiormente a } V_F + V_{Z2}$$

Se v_I baixar a ponto de Z_1 e Z_2 conduzirem...

$$\Rightarrow v_O \text{ fica limitado inferiormente a } -(V_{Z1} + V_F)$$

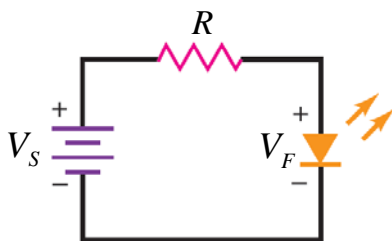


E. Martins, DETI Universidade de Aveiro

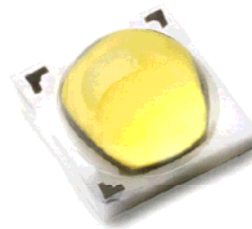
4-56

Díodo LED e fotodíodo

Díodo LED (*Light-Emitting Diodes*)



- A recombinação de electrões e lacunas nos semicondutores usados (e.g GaAs, GaP) resulta na emissão de fotões: *electroluminescência*;
- A cor da luz (λ) depende dos dopantes usados e pode ser visível ou não (IR);
- Tensão directa, V_F , depende muito da cor do LED, variando de 1.7 (vermelho) a 3.3V (azul);
- Disponíveis em potências de *mW* até *Watts* (LEDs usados em iluminação).



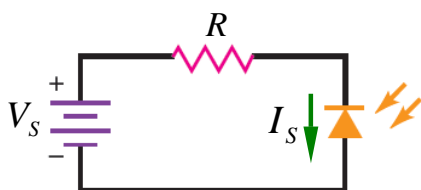
E. Martins, DETI Universidade de Aveiro

4-58

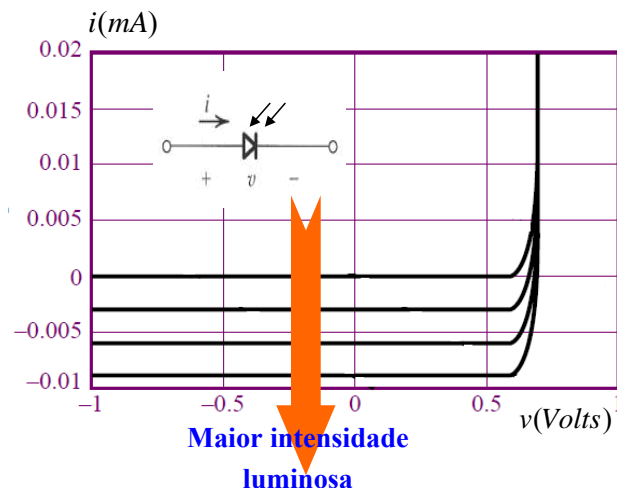
Fotodíodo



Fotodíodo do tipo **SFH213**



- Funcionam em polarização inversa;
- Fotões incidentes na região de depleção geram pares electrão-lacuna (*foto-ionização*), aumentando a corrente inversa, I_S , do díodo;
- Usados como detectores/medidores de intensidade luminosa.

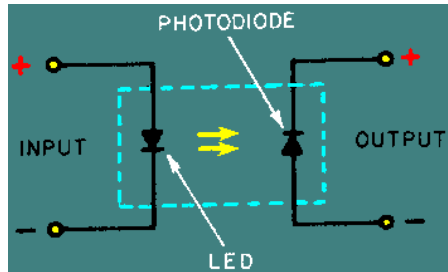


E. Martins, DETI Universidade de Aveiro

4-59

Aplicações de optoelectrónica

Acoplamento / isolamento óptico



- Usando quando se pretende isolar (por uma questão de segurança) um sistema de baixa tensão de outro de alta tensão;

Comunicação por fibra óptica

