

Aula 22

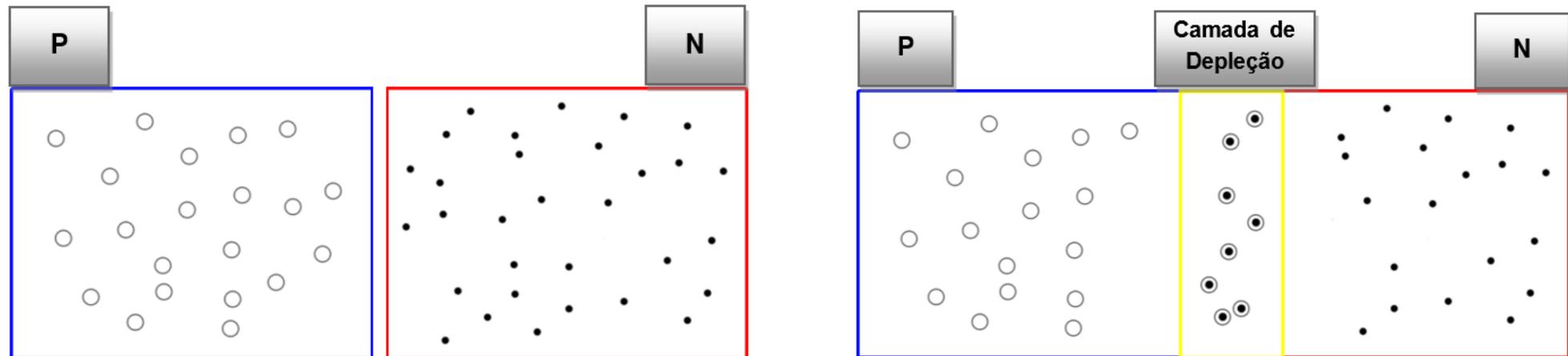
Semicondutores Diodos e Diodo Zenner

Circuitos Eléctricos II

Prof. Henrique Amorim - UNIFESP - ICT

Junção PN

Ao acoplar semicondutores extrínsecos do tipo P e do tipo N, criamos a junção PN, atribuída aos diodos. Imediatamente a esta "união" é formada uma camada de depleção. Os elétrons livres da região do semicondutor do tipo N que está em contato com a região do semicondutor do tipo P são atraídos pelas "lacunas elétricas" do semicondutor do tipo P, entretanto esse equilíbrio é observado apenas na porção próxima a junção.

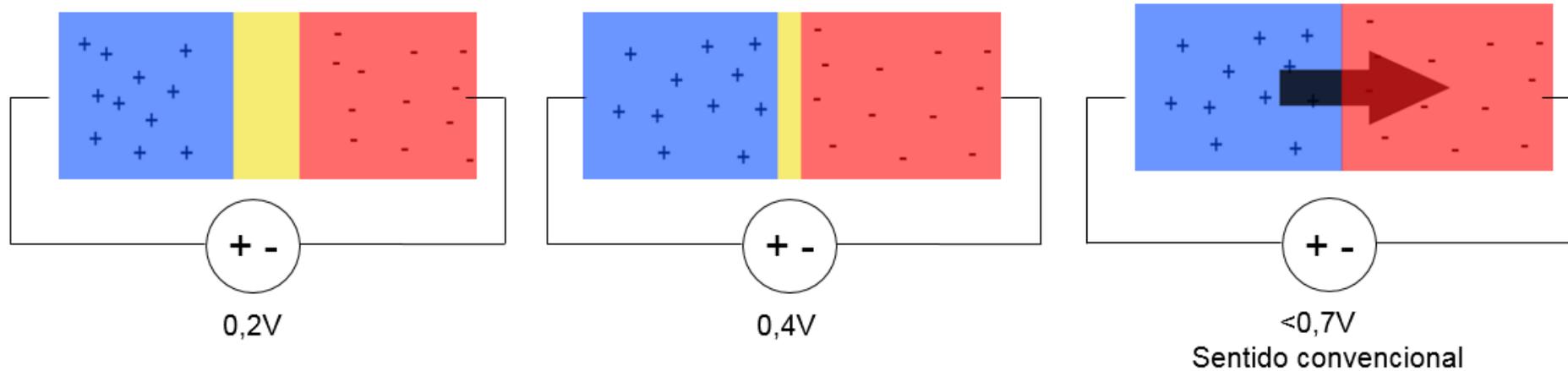


Podemos observar o comportamento característico da Junção PN através da **polarização reversa** e da **polarização direta**.

Polarização da Junção PN

Polarização reversa

Se a tensão da fonte geradora for maior que a tensão interna da junção (varia de acordo com o semicondutor), os portadores livres se repelirão a barreira depletores, em função da polaridade da fonte geradora, e ultrapassar a junção P-N, permitindo a passagem de corrente elétrica.

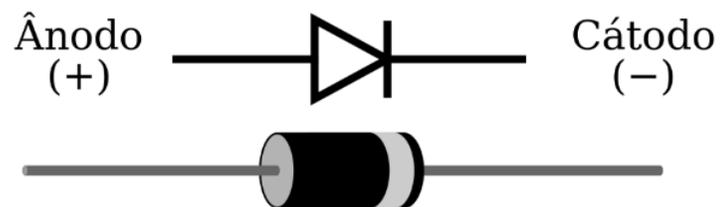


O exemplo acima ilustra didaticamente o comportamento de um semicondutor de Si. A passagem de cargas não ocorre de forma abrupta quando a tensão ultrapassa 0.7V, entretanto a passagem de cargas sobe exponencialmente a partir da tensão de aproximadamente 0.7V. A análise da resposta do diodo irá detalhar o comportamento.

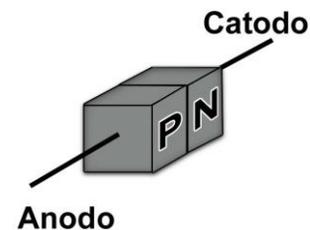
O diodo semicondutor é o componente eletrônico formado pela junção PN de cristais semicondutores de Ge ou Si

A queda de tensão do diodo de Germânio é de aproximadamente 0,3V, enquanto da do diodo de Silício é de aproximadamente 0,7V

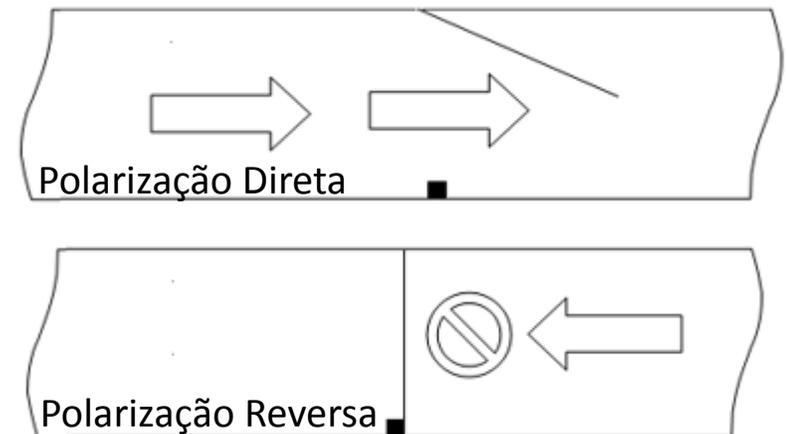
Símbolo/Componente



Junção PN

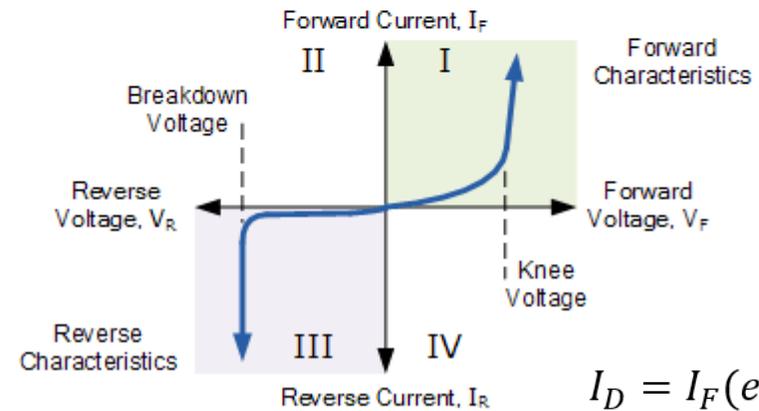
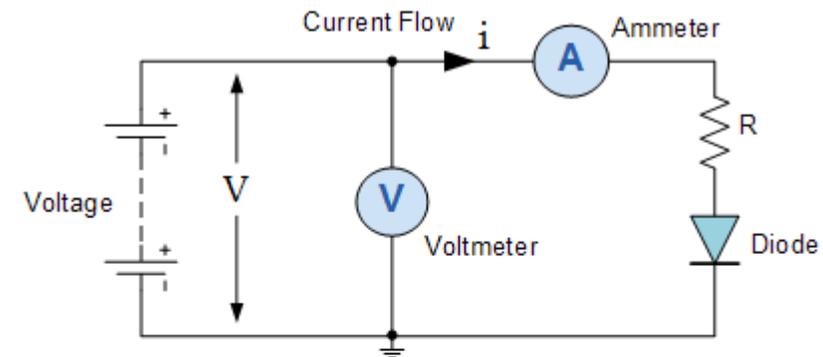
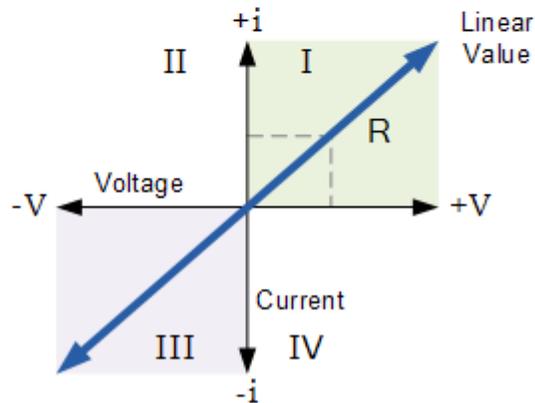
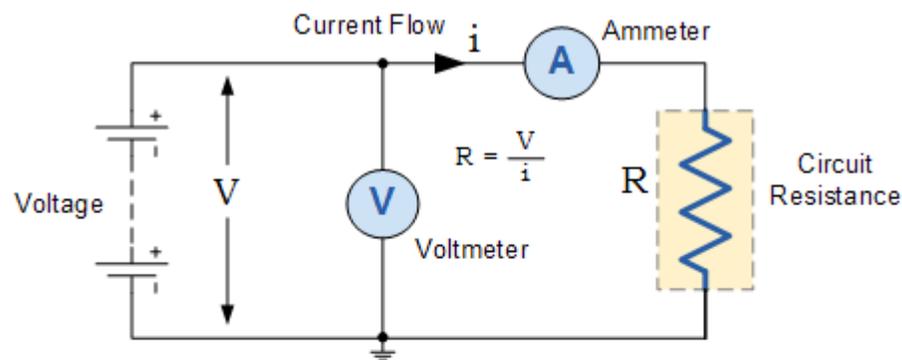


Analogia do comportamento



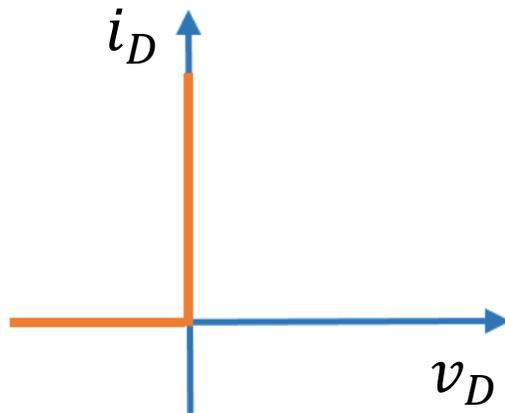
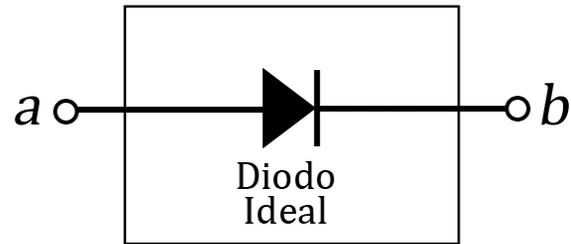
Diodo x Resistor

Abaixo as curvas características (tensão x corrente) de um resistor (comportamento ôhmico) e um diodo (comportamento não ôhmico)

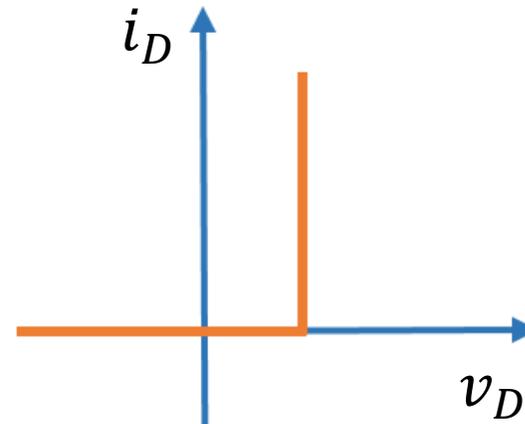
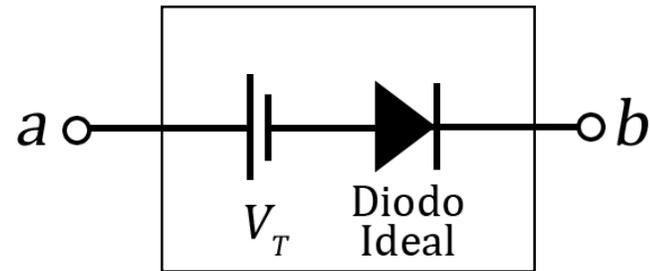


$$I_D = I_F \left(e^{\frac{K \cdot V_D}{T_K}} - 1 \right)$$

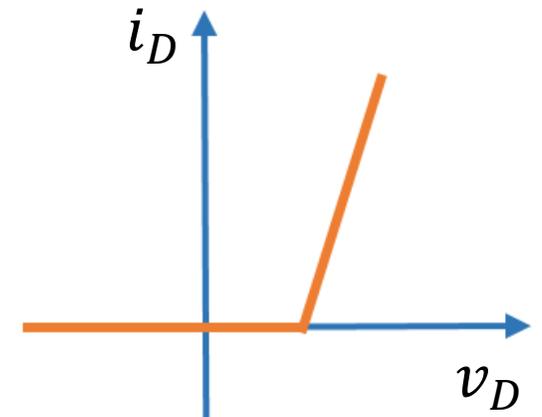
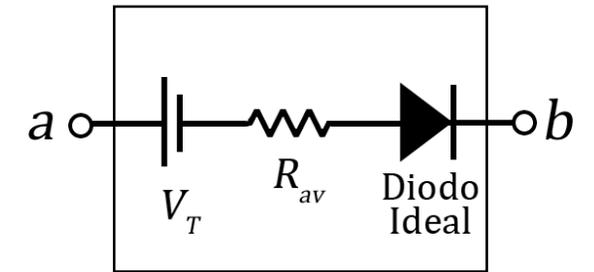
Modelo de diodo ideal:



Modelo de diodo simplificado:



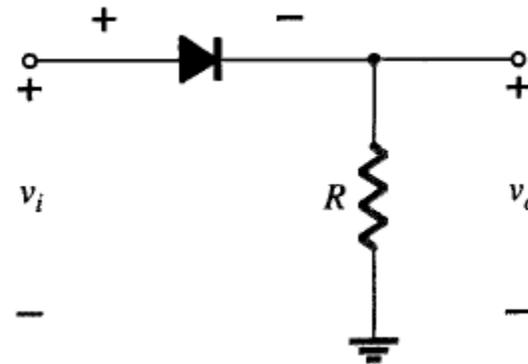
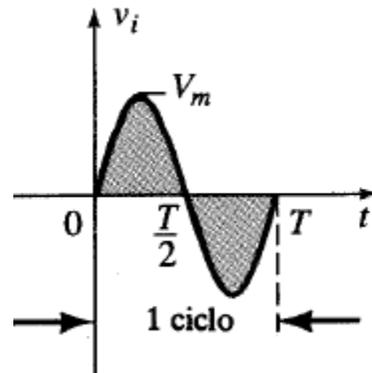
Modelo de diodo linear:



Retificador de meia onda

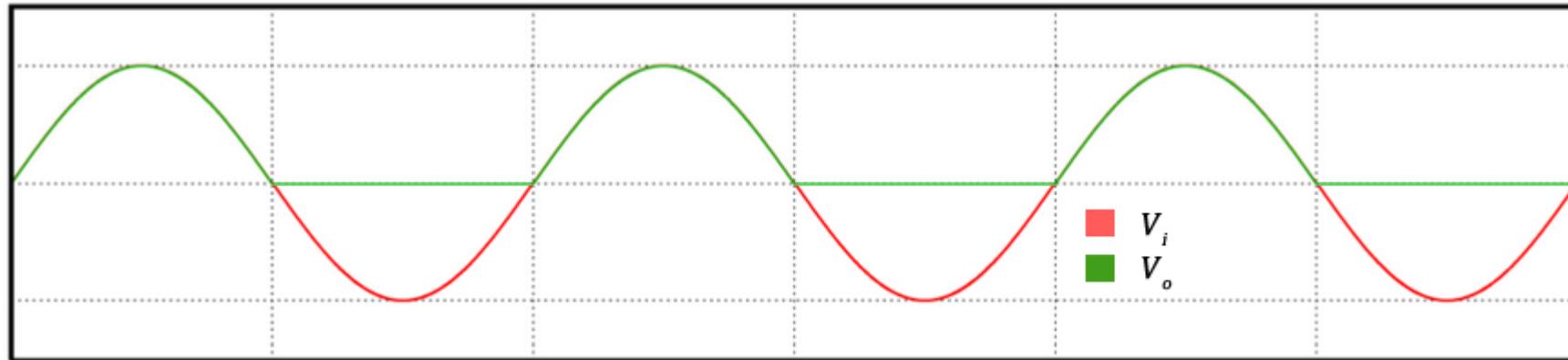
- Circuitos retificadores são projetados para inibirem as alternâncias na direção do fluxo de correntes.
- Quando o diodo é empregado no processo de retificação ele é denominado diodo retificador

Considere o regime permanente senoidal:

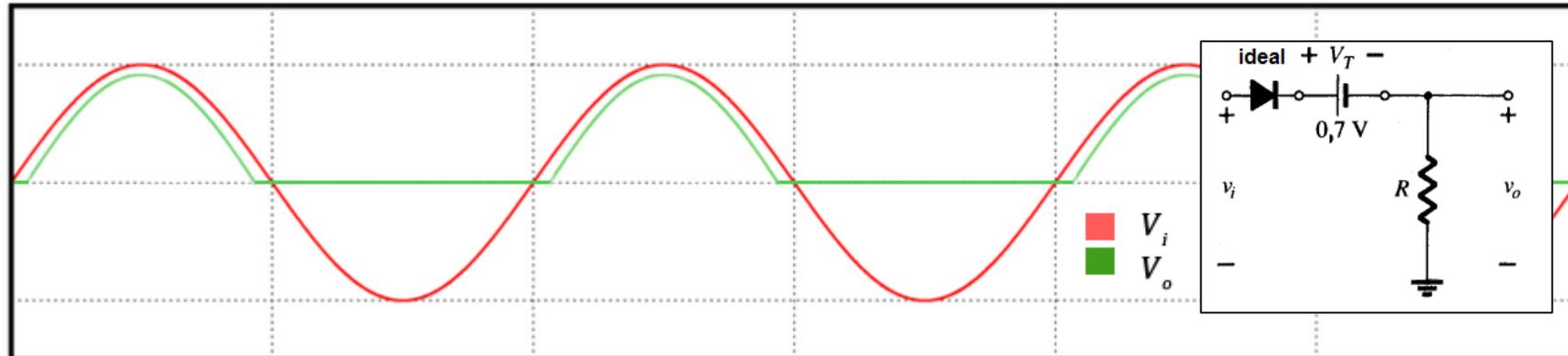


Retificador de meia onda

Resposta para o diodo ideal

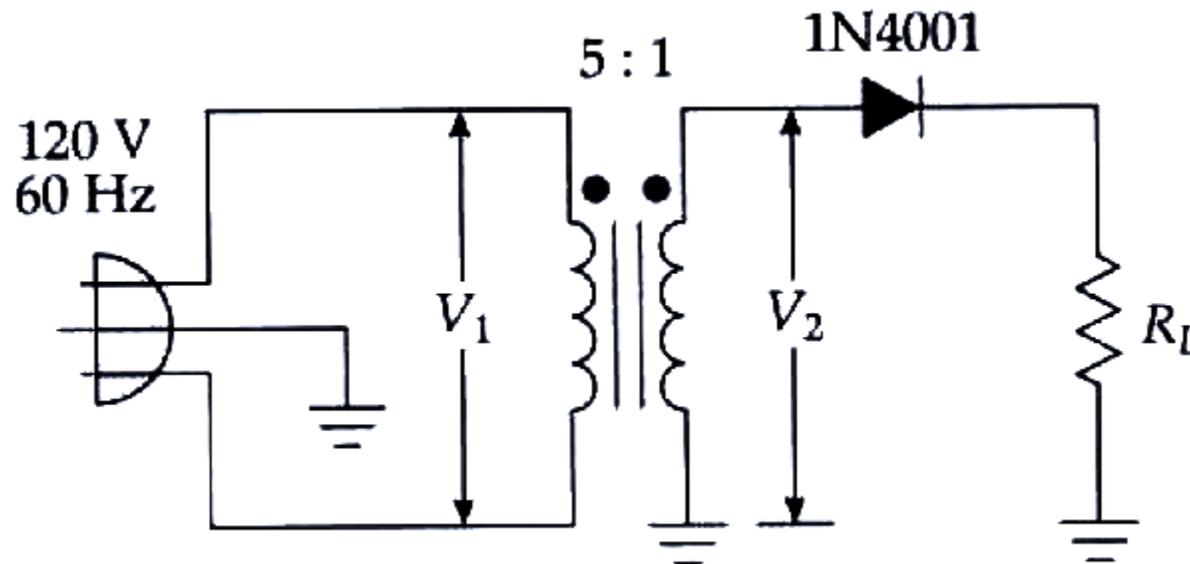


Resposta para o diodo simplificado ($V_T = 0,7V$ para *Si* e $V_T = 0,3$ para *Ge*)



Retificador de meia onda

Exercício: Desenhe a curva de tensão de R_L , considere a aproximação de um diodo ideal.



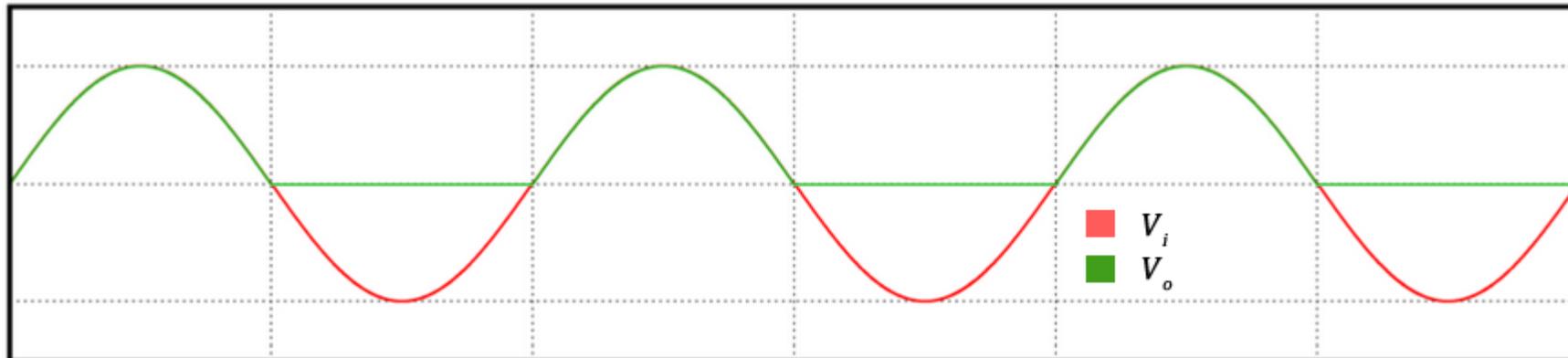
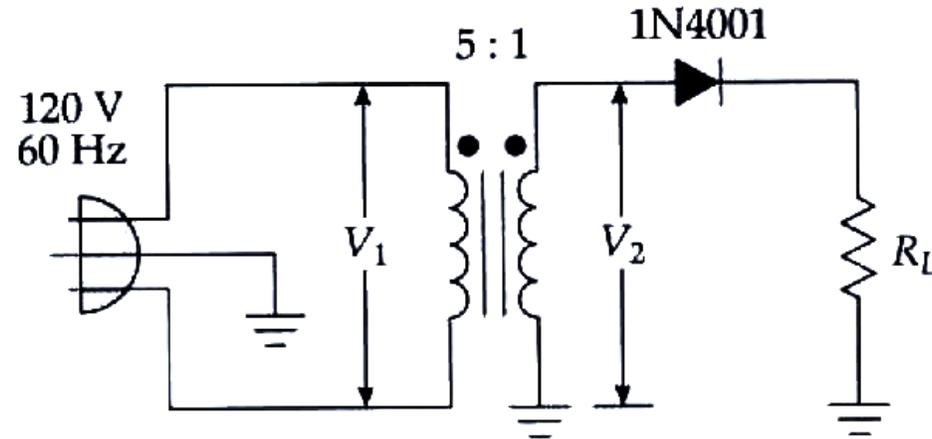
Retificador de meia onda

Exercício: Desenhe a curva de tensão de RL, considere a aproximação de simplificada do diodo.

$$V_{1pp} = 120 \cdot \sqrt{2} = 169,7V$$

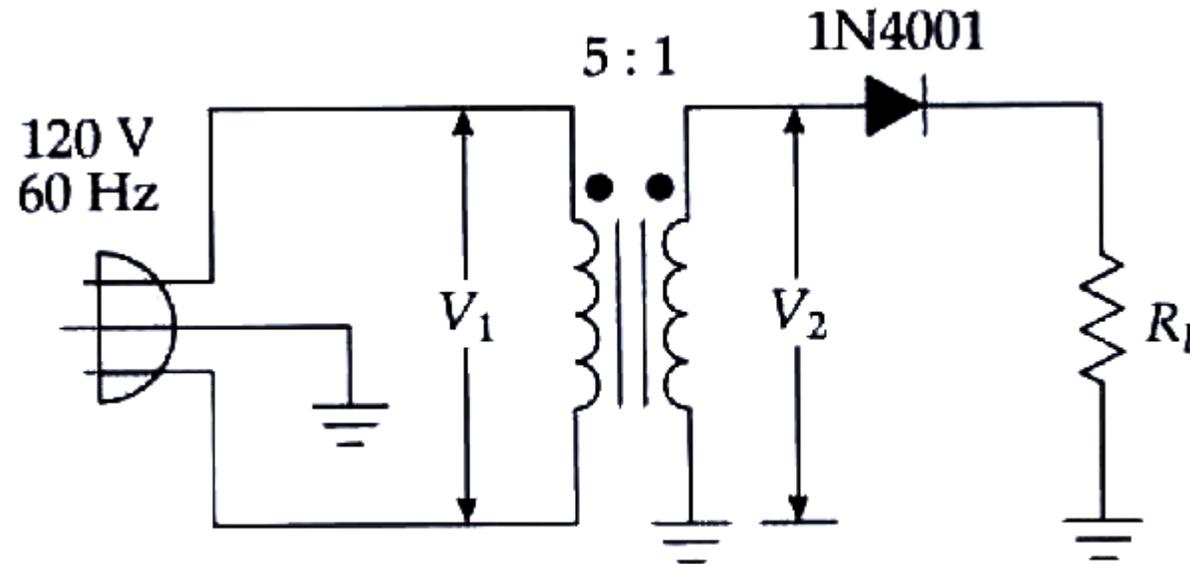
$$V_{2pp} = V_{RL} = \frac{169,7}{5} = 33,94V$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60} \quad T = 16,67ms$$



Retificador de meia onda

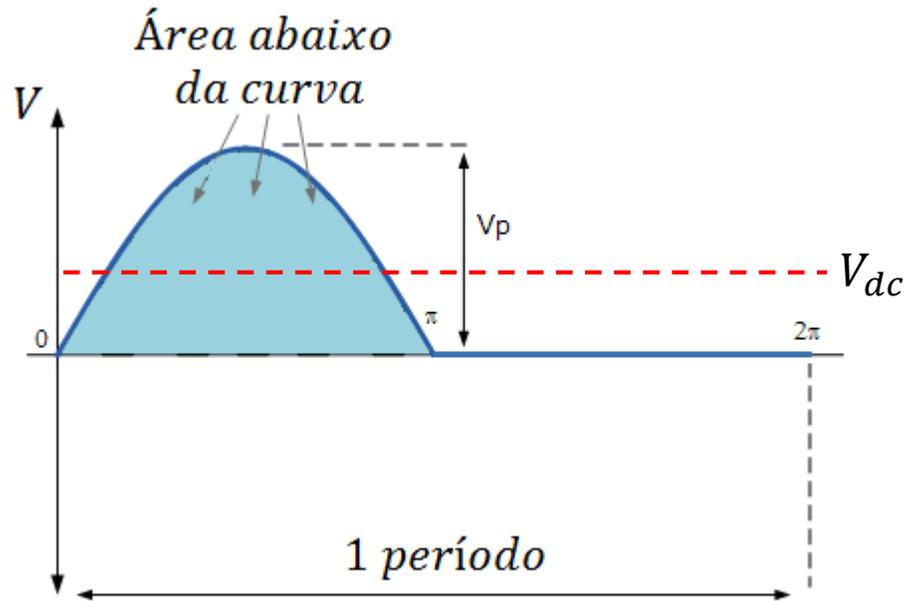
Exercício: Considerando que um voltímetro ideal seja posicionado entre os terminais do resistor R_L , calcule a tensão lida.



$$V_{R_L DC} = 33,94 \cdot 0,318 = 10,79V$$

Tensão média – Meia onda

Considere a senoide de amplitude V_p abaixo.



$$Area = \int_0^{\pi} V_p \text{sen}(\omega t) dt$$

$$V_{med} = V_{dc} = \frac{Area}{\pi}$$

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_p \text{sen}(\omega t) dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_p \text{sen}(t) dt$$

$$V_{dc} = \frac{V_p}{\pi} (-\cos(t)) \Big|_0^{\pi}$$

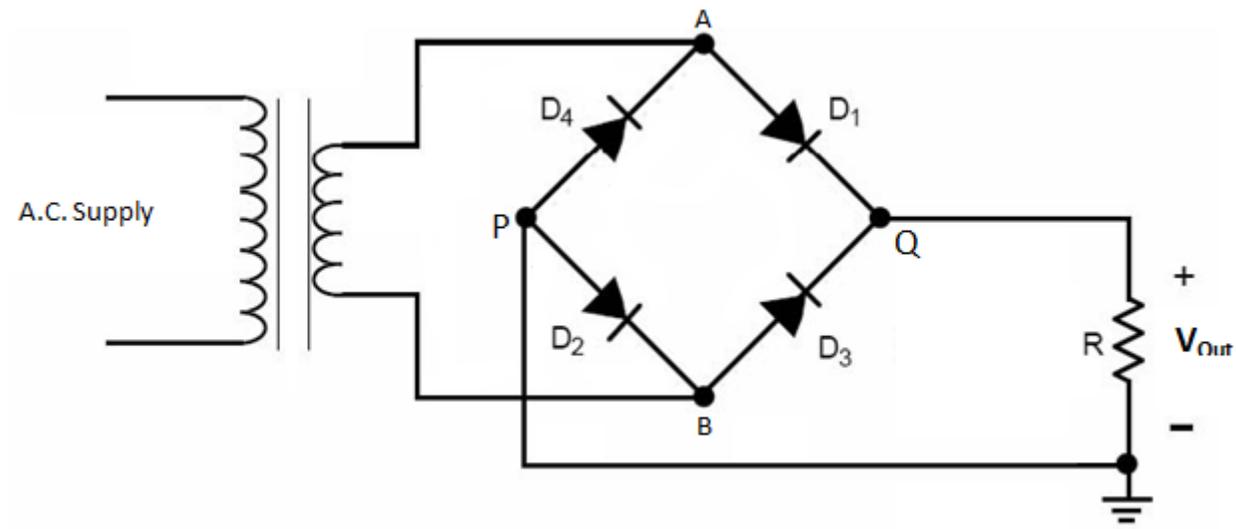
$$V_{dc} = \frac{2 \cdot V_p}{\pi}$$

$$V_{dc} = 0,637 \cdot V_p$$

$$V_{dc_{meia\ onda}} = \frac{0,637}{2} \cdot V_p = 0,318 \cdot V_p$$

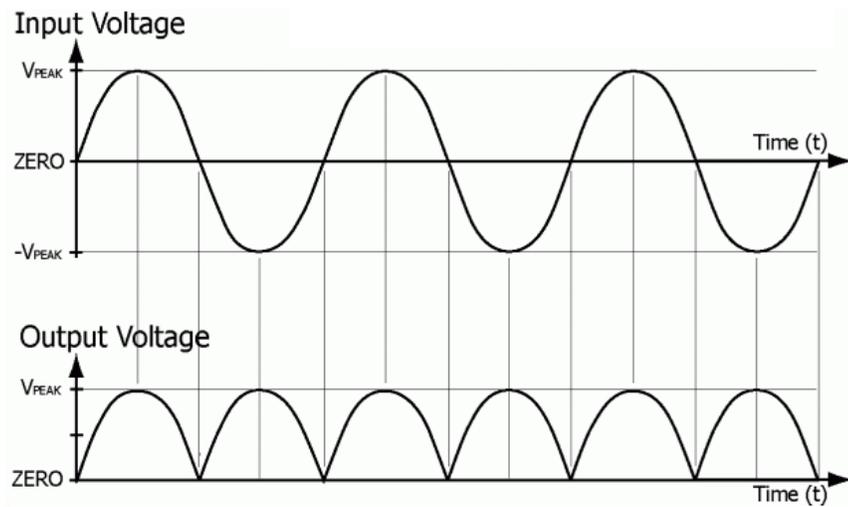
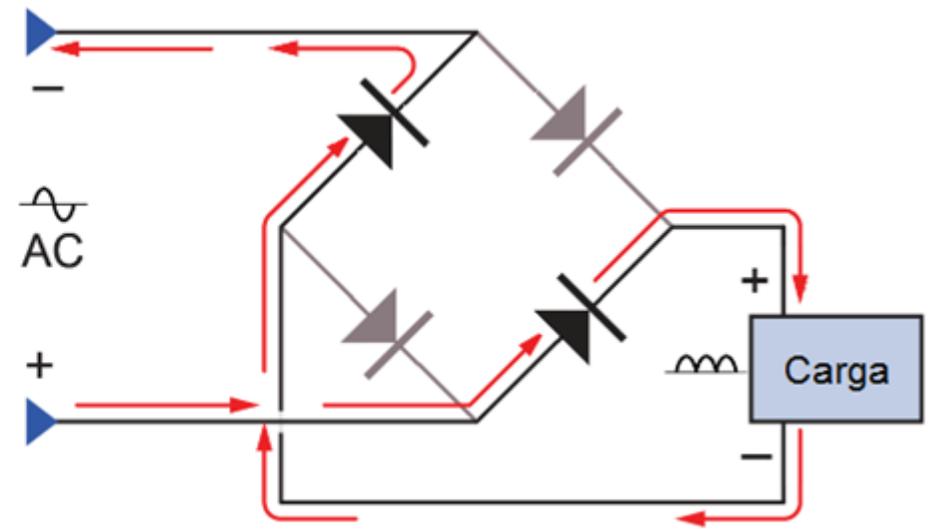
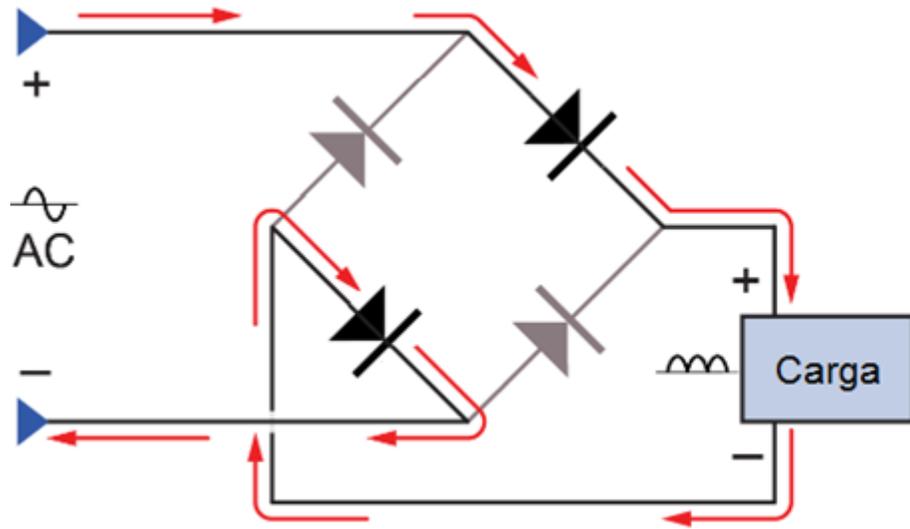
Retificador de onda completa

Exercício: Considere o retificador de onda completa abaixo, trace graficamente a resposta do sistema



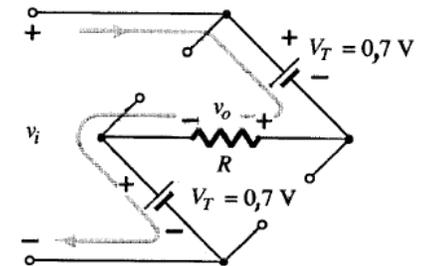
<http://everycircuit.com/circuit/4763367677886464>

Retificador de onda completa

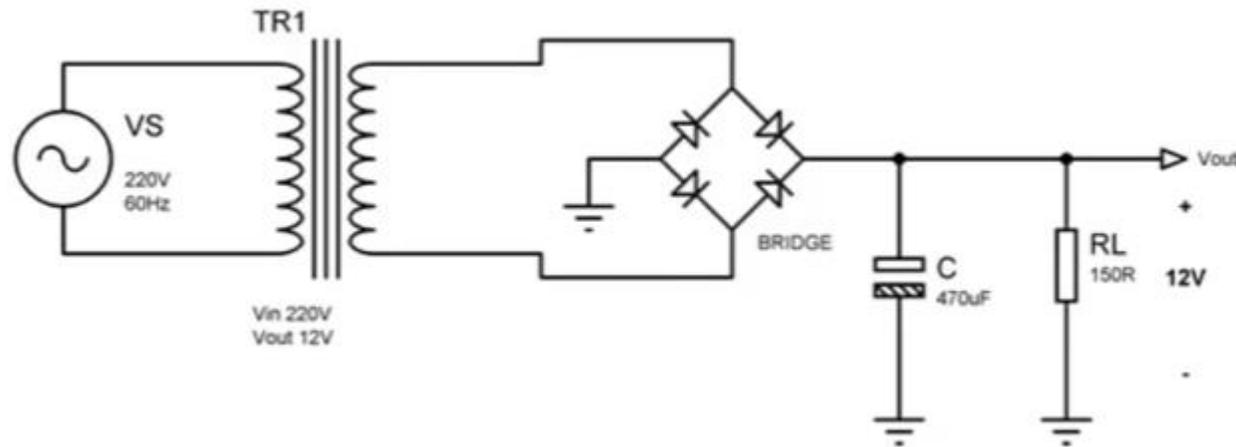


Considerando que a ponte retificador é composta por diodos de Si, o pico da saída será:

$$V_{out} = \frac{V_{ppi}}{2} - 0,7 \cdot 2$$

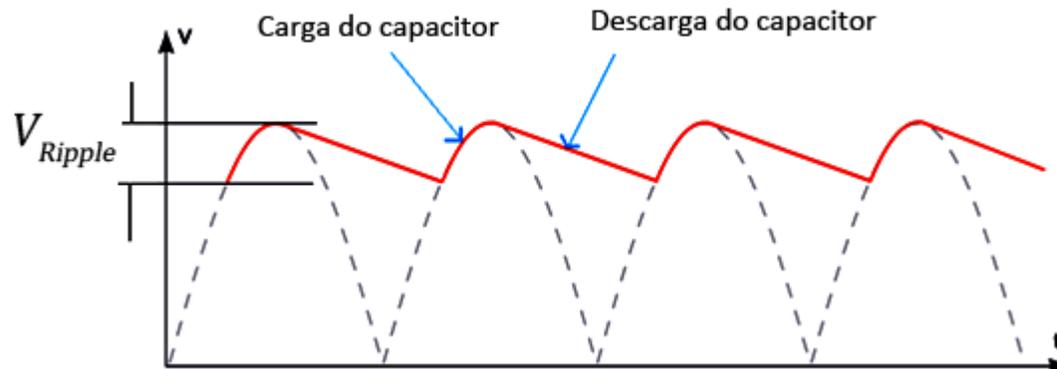


Retificador de onda completa com filtro capacitivo



A tensão de *ripple* é inversamente proporcional a capacitância do filtro

$$v_{ripple} = \frac{V}{R \cdot C \cdot f} = \frac{I}{f \cdot C}$$



Neste caso temos:

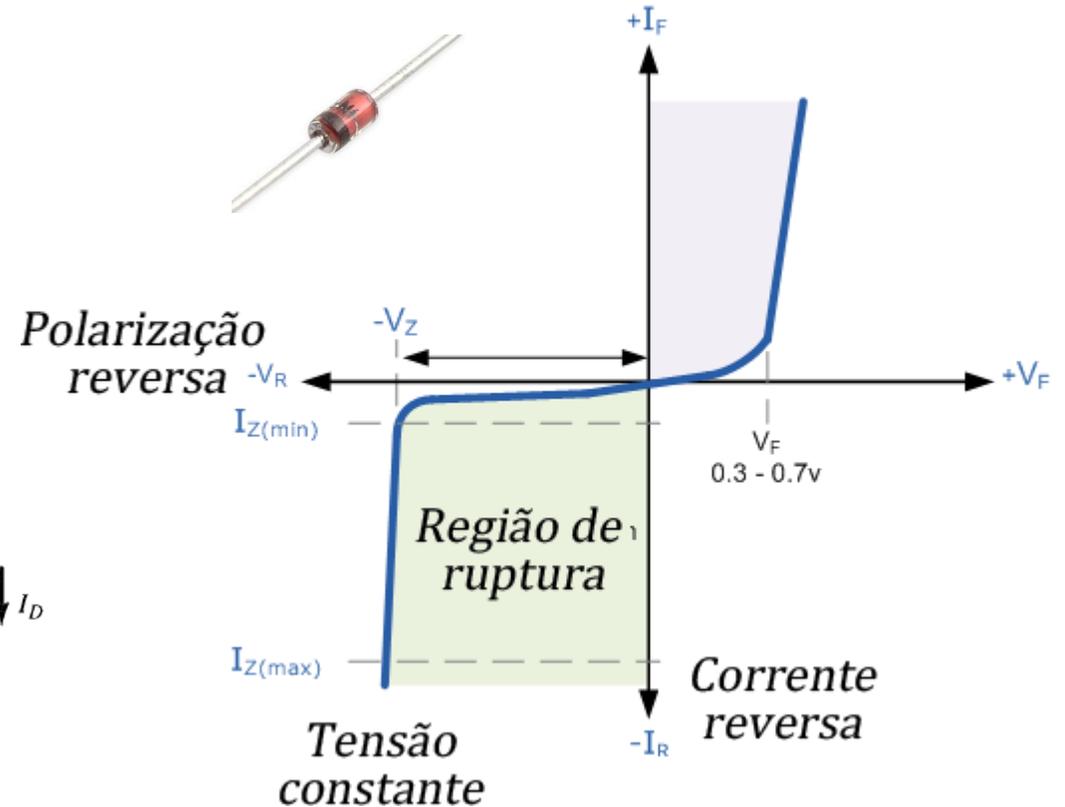
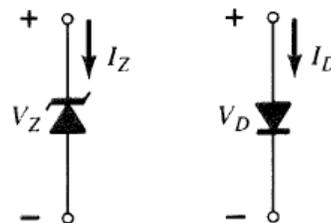
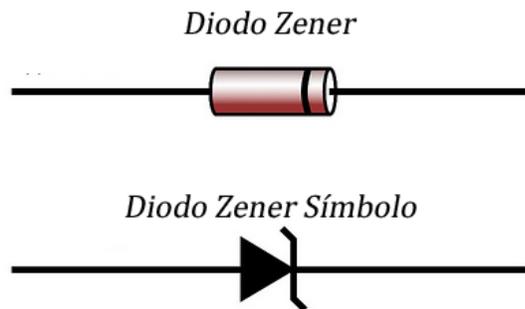
$$v_{ripple} = \frac{12}{150 \cdot 470 \cdot 10^{-6} \cdot 120}$$

$$v_{ripple} = 1,42V$$

Diodo Zener

O Diodos zener é projetado para operar na região de ruptura, ou seja, polarizado reversamente.

- Se polarizado de forma direta seu funcionamento é o mesmo de um diodo convencional.
- Os diodos zener são amplamente utilizados como reguladores de tensão.



Diodes Zener

Os valores de potência dos diodos zeners mais comuns variam entre: ¼ W a 50W. E suas respectivas tensões (V_Z) entre 3,3V a 75V.

V_Z : tensão zener nominal (depende do componente)

$I_{Z_{max}}$: corrente máxima

$I_{Z_{min}}$: corrente mínima

$P_{Z_{max}}$: potencia máxima nominal

Modelo ideal:

$$P_{Z_{max}} = V_Z \cdot I_{Z_{max}}$$

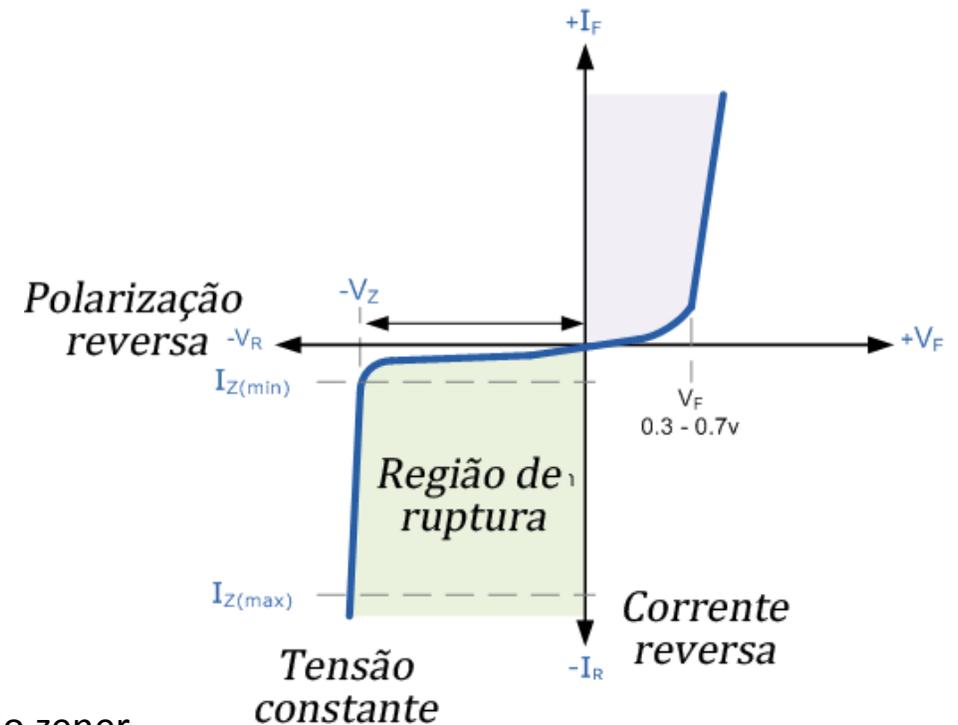
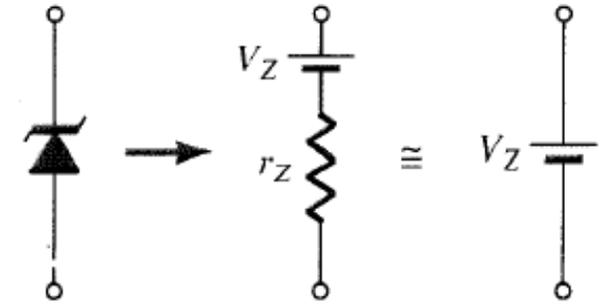
$$I_{Z_{min}} = 0$$

Modelo aproximado:

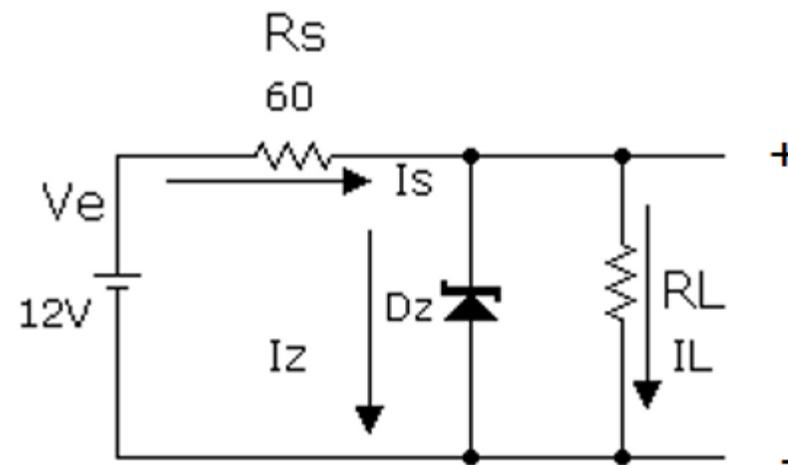
$$P_{Z_{max}} = V_Z \cdot I_{Z_{max}}$$

$$I_{Z_{min}} = \frac{I_{Z_{max}}}{10}$$

* A aproximação pode variar de acordo com o modelo do diodo zener



Exercício 1: Considere um diodo zener de 0,5W e $V_z=6,2V$, calcule R_L para que o diodo zener trabalhe dentro da região de regulação. Utilize a aproximação de 10% para $i_{Z_{min}}$



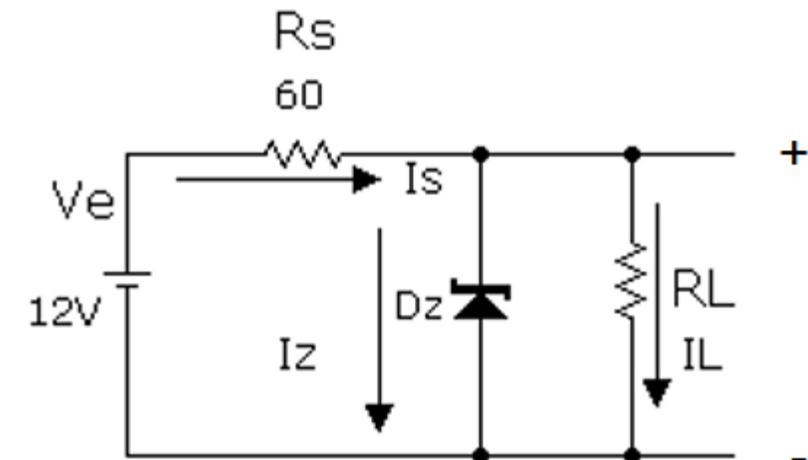
Exercício 1: Considere um diodo zener de 0,5W e $V_z=6,2V$, calcule R_L para que o diodo zener trabalhe dentro da região de regulação. Utilize a aproximação de 10% para $i_{Z_{min}}$

$$I_{Z_{max}} = \frac{P_{Z_{max}}}{V_Z} \quad I_{Z_{max}} = \frac{0,5}{6,2} = 80,64mA$$

$$I_{Z_{min}} = \frac{80m}{10} = 8,06mA$$

LKT temos:

$$-12 + 60 \cdot I_s + 6,2 = 0 \quad \therefore I_s = 96,67mA$$



A corrente i_s será dividida entre o diodo zener e o resistor, devemos estipular uma resistência que não seja tão pequena a ponto que a corrente que flua pelo diodo seja menor que a mínima e nem tão grande a ponto que a corrente que flui pelo diodo extrapole a potência do mesmo.

Exercício 1: Considere um diodo zener de 0,5W e $V_z=6,2V$, calcule R_L para que o diodo zener trabalhe dentro da região de regulação. Utilize a aproximação de 10% para $i_{Z_{min}}$

Menor R_L possível (quando a corrente que flui pelo diodo é mínima)

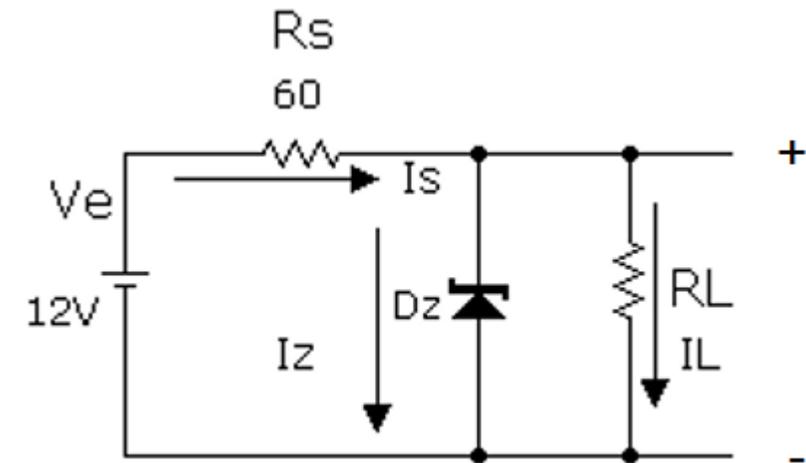
$$96,67m = 8,06m + I_L \quad \therefore \quad I_L = 88,61mA$$

$$R_L = \frac{6,2}{88,61m} = 69,98\Omega$$

Maior R_L possível (quando a corrente que flui pelo diodo é máxima)

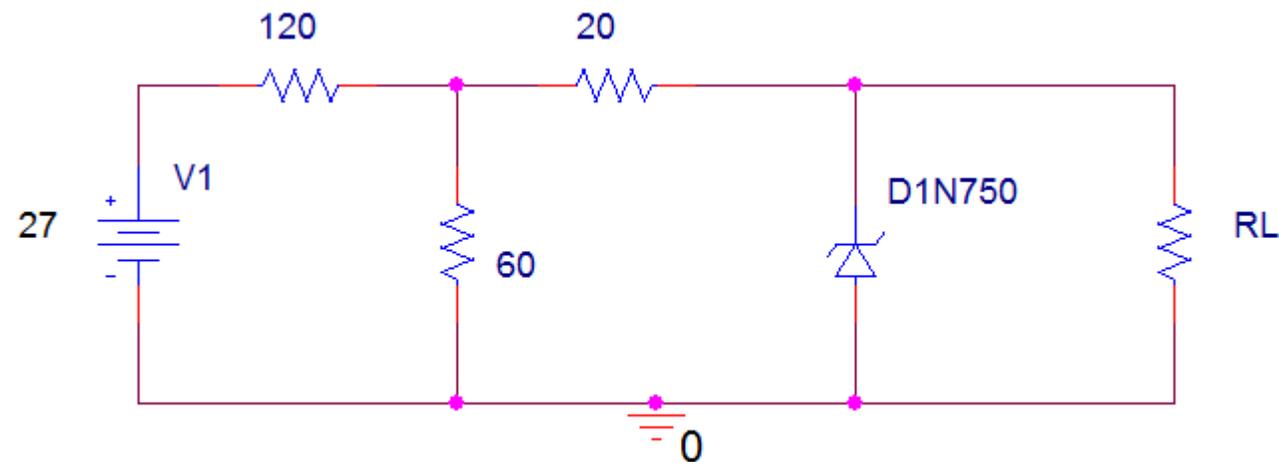
$$96,6m = 80,64m + I_L \quad \therefore \quad I_L = 16,03mA$$

$$R_L = \frac{6,2}{16,03m} = 386,77\Omega$$



Se a resistência estiver abaixo do valor mínimo o diodo chega a zona de ruptura, se estiver acima do valor máximo o diodo queima.

Exercício 2: Calcule o RL máximo e mínimo para que o diodo zener funcione na área de regulação. Diodo D1N750 4,7V, 400mW. Utilize a aproximação de 10%

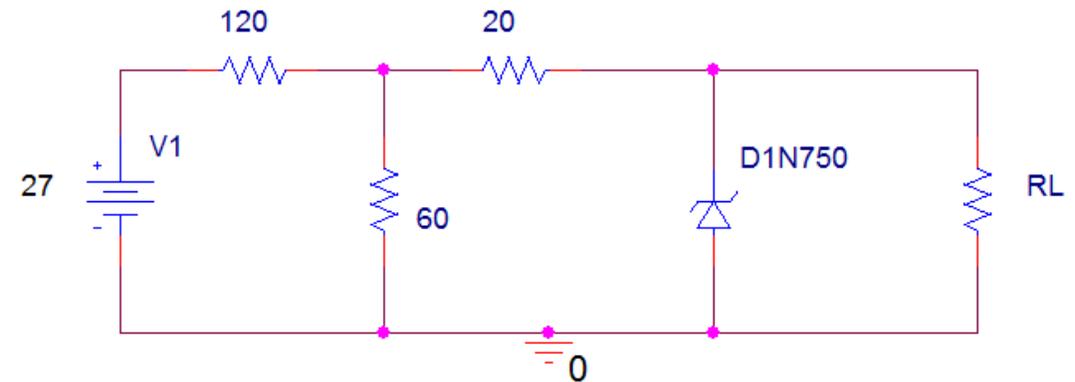
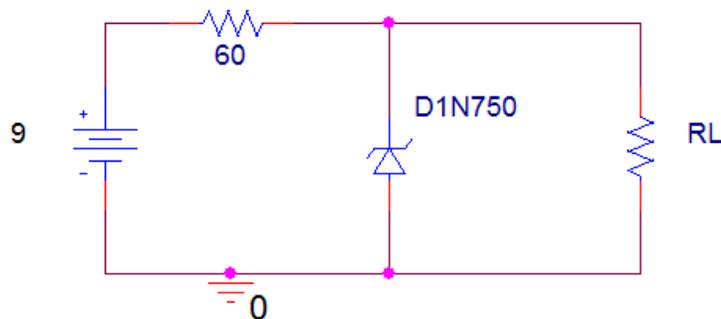


Exercício 2: Calcule o RL máximo e mínimo para que o diodo zener funcione na área de regulação. Diodo D1N750 4,7V, 400mW. Utilize a aproximação de 10%

Calcular o equivalente de Thévenin:

$$V_{Th} = \frac{27 \cdot 60}{60 + 120} = 9V$$

$$R_{Th} = 120 || 60 + 20 = 60\Omega$$



Exercício 2: Calcule o R_L máximo e mínimo para que o diodo zener funcione na área de regulação. Diodo D1N750 4,7V, 400mW. Utilize a aproximação de 10%

$$I_{Z_{\max}} = \frac{P_{Z_{\max}}}{V_Z} \quad I_{Z_{\max}} = \frac{0,4}{4,7} = 85,1mA$$

$$I_{Z_{\min}} = \frac{85,1m}{10} = 8,51mA$$

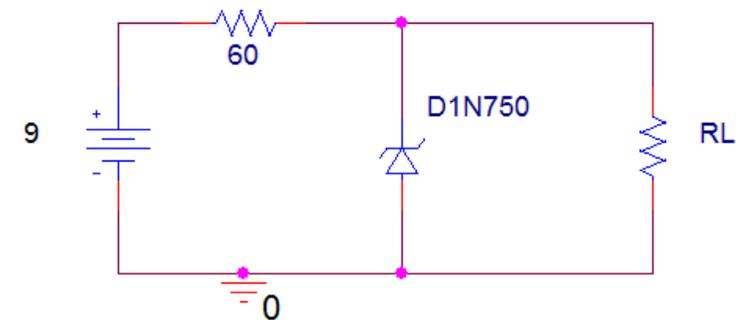
LKT temos:

$$-9 + 60 \cdot I_{60\Omega} + 4,7 = 0 \quad \therefore I_{60\Omega} = 71,6mA$$

Menor R_L possível

$$71,6m = 8,51m + I_{RL} \quad \therefore I_{RL} = 63,09mA$$

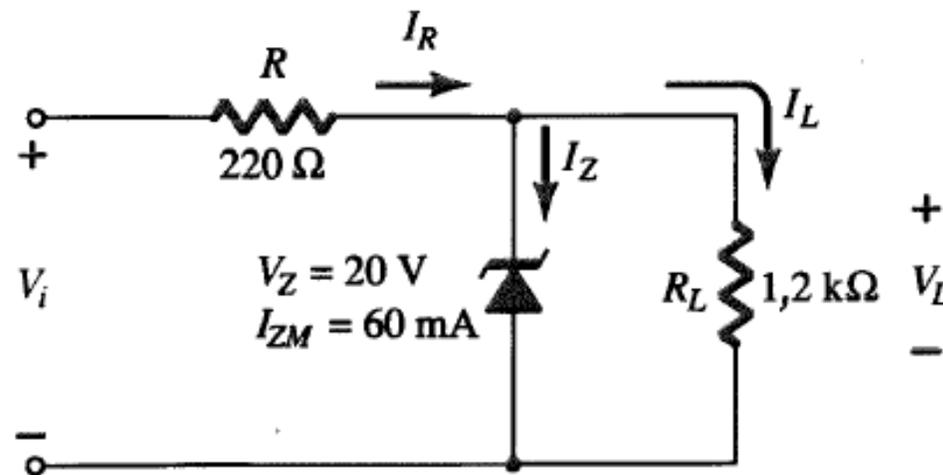
$$R_L = \frac{4,7}{63,09m} = 74,49\Omega$$



Maior R_L possível

A resistência pode ser infinita, uma vez que a corrente máxima fornecida ao diodo não ultrapassa o limiar máximo de funcionamento do diodo.

Exercício 3: Calcule a faixa de V_i para o diodo zener trabalhar na área de regulação. Utilize a aproximação de 10%.



Exercício 3: Calcule a faixa de V_i para o diodo zener trabalhar na área de regulação. Utilize a aproximação de 10%.

$$P_{Zmax} = V_Z \cdot I_{Zmax} = 20 \cdot 0,06 = 1,2W$$

$$I_{Zmin} = 6mA$$

$$I_L = \frac{20}{1200} = 16,67mA$$

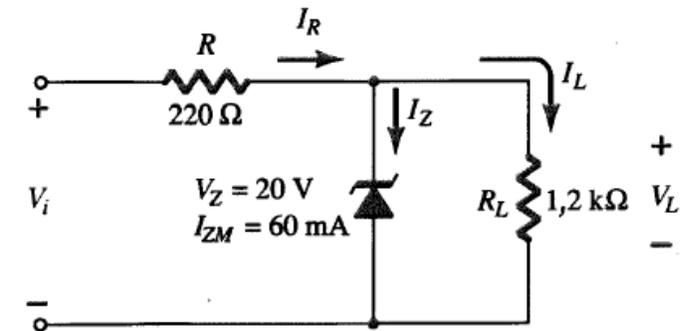
$$I_{Zmax} = 60mA$$

$$I_R = I_{Zmin} + I_L \quad \therefore \quad I_R = 6 \cdot 10^{-3} + 16,67 \cdot 10^{-3} = 22,67mA$$

$$I_R = I_{Zmax} + I_L \quad \therefore \quad I_R = 60 \cdot 10^{-3} + 16,67 \cdot 10^{-3} = 76,67mA$$

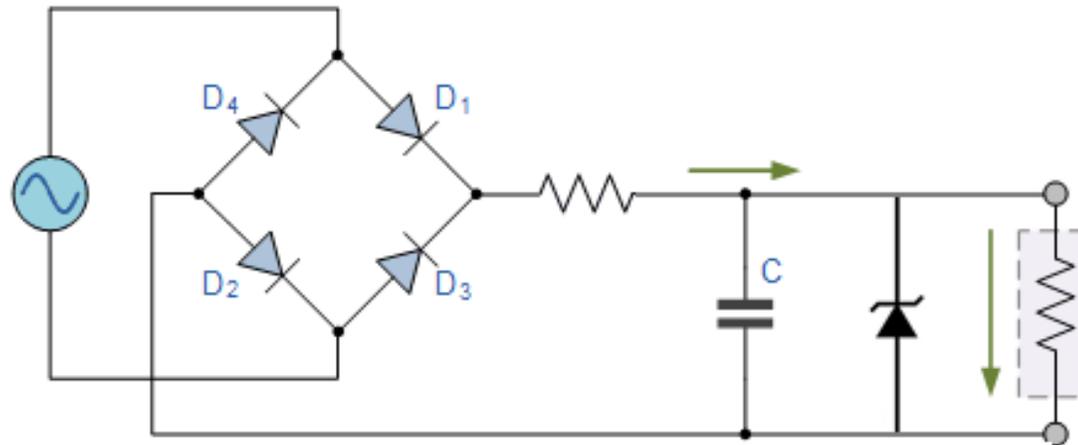
$$V_{imin} = 220 \cdot 22,67 \cdot 10^{-3} + 20 = 25V$$

$$V_{imax} = 220 \cdot 76,67 \cdot 10^{-3} + 20 = 36,87V$$

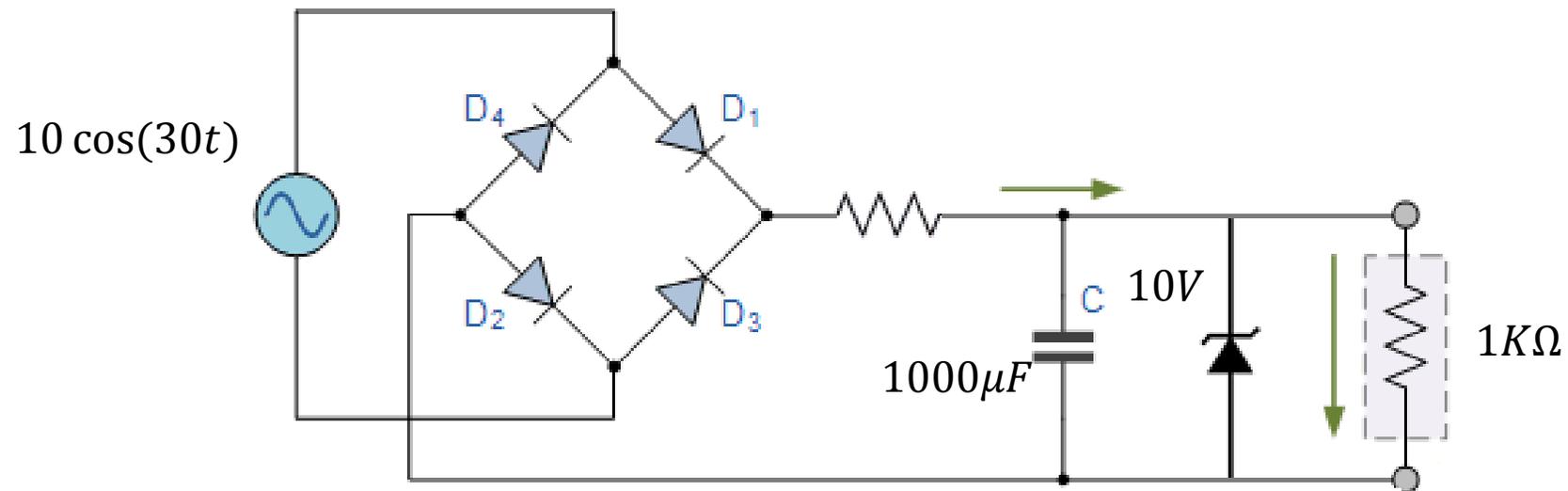


O diodo zener pode ser incorporado circuito retificador de onda completa, minimizando o efeito *Ripple* do capacitor.

Abaixo um retificador de onda completa com filtro capacitivo e regulador de tensão zener

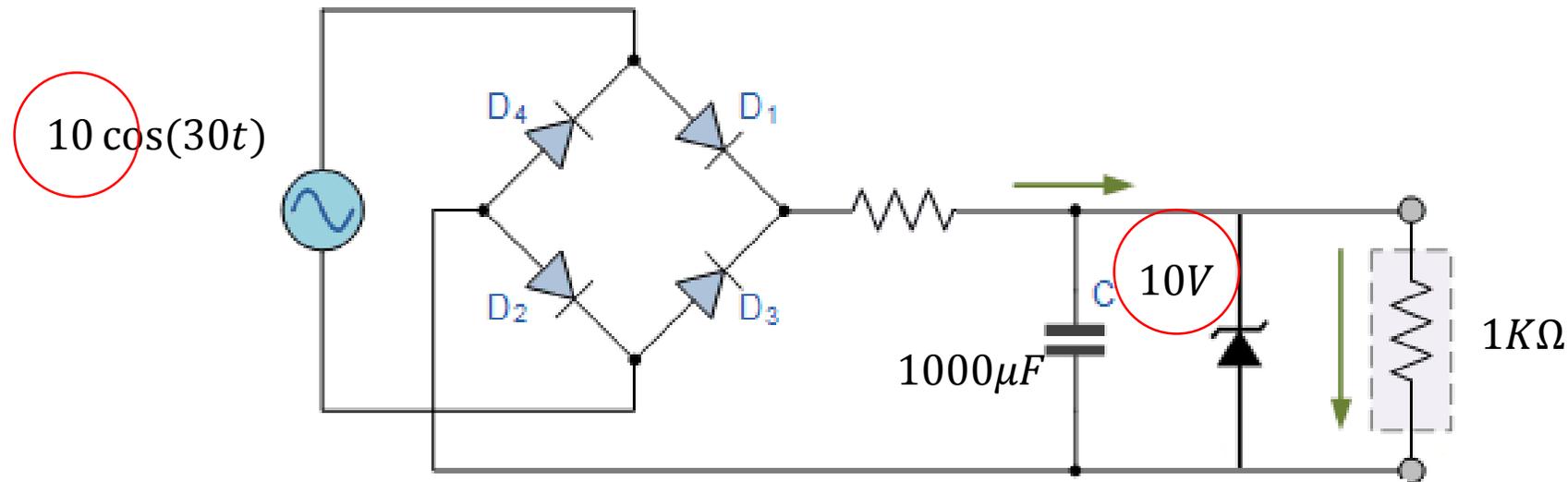


Exercício: Encontre o erro, considere diodos ideais:



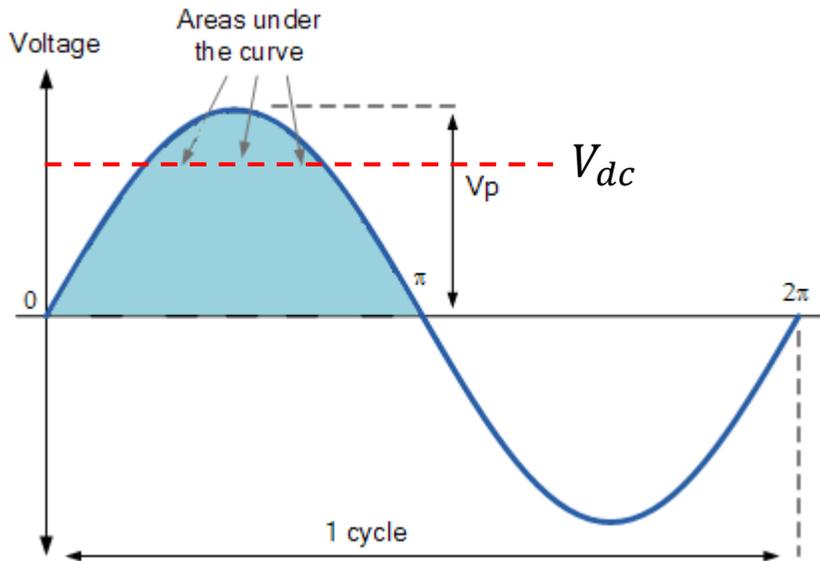
Exercício: Encontre o erro:

Mesmo se considerarmos os diodo retificadores como diodos ideais, uma fonte com 10V de amplitude não pode fornecer 10V de tensão contínua. Para calcularmos a máxima tensão que uma fonte CA pode gerar de CC, precisamos calcular a tensão média.



Tensão média

Considere a senoide de amplitude V_p abaixo.



$$Area = \int_0^{\pi} V_p \sin(\omega t) dt$$

$$V_{med} = V_{dc} = \frac{Area}{\pi}$$

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_p \sin(\omega t) dt$$

$$V_{dc} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_p \sin(t) dt$$

$$V_{dc} = \frac{V_p}{\pi} (-\cos(t)) \Big|_0^{\pi}$$

$$V_{dc} = \frac{2 \cdot V_p}{\pi}$$

$$V_{dc} = 0,637 \cdot V_p$$