

Introdução à Eletrônica – PSI 2223

Aula 7

O material a seguir complementa o livro texto, Microeletrônica 5ª Edição de Sedra/Smith. Este material não é um substituto para o livro texto, portanto você deve seguir em paralelo com este material e o livro.

Dr. Antonio Carlos Seabra

Professor Titular

Dep. Engenharia de Sistemas Eletrônicos

Escola Politécnica da USP

2011

7ª Aula:

Circuitos Retificadores

- Finalizar a matéria e exercícios.

Ao final desta aula você deverá estar apto a:

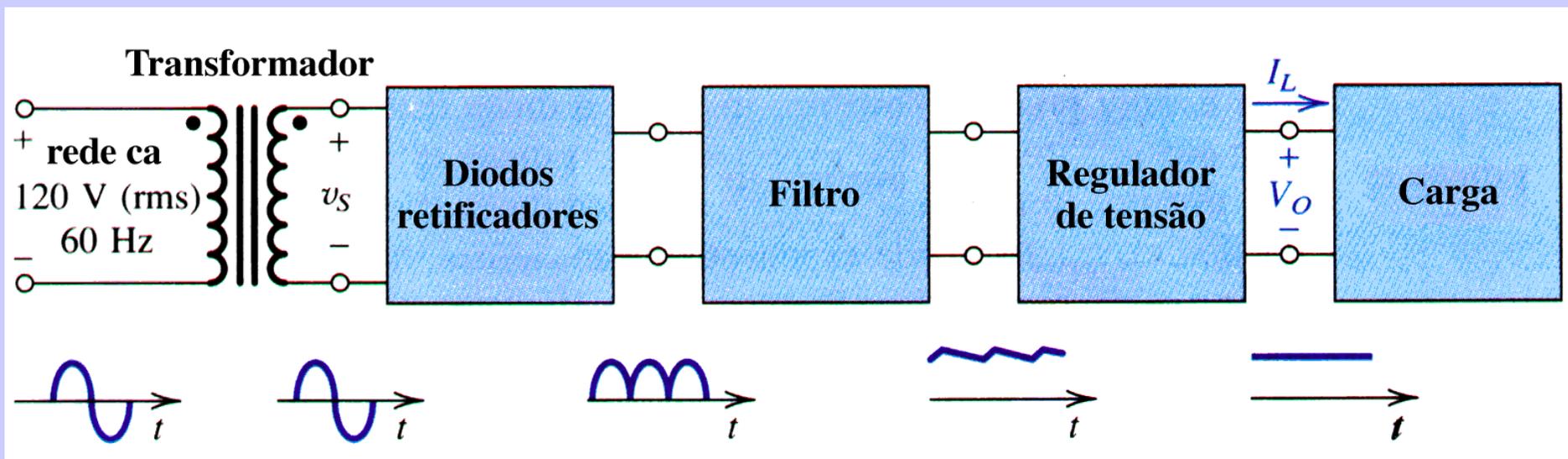
-Explicar o funcionamento do filtro capacitivo para circuitos reguladores

-Determinar os valores de pico da tensão de saída (na carga) e da corrente reversa nos diodos em retificadores meia onda e onda completa

-Explicar o funcionamento de circuitos limitadores e grampeadores

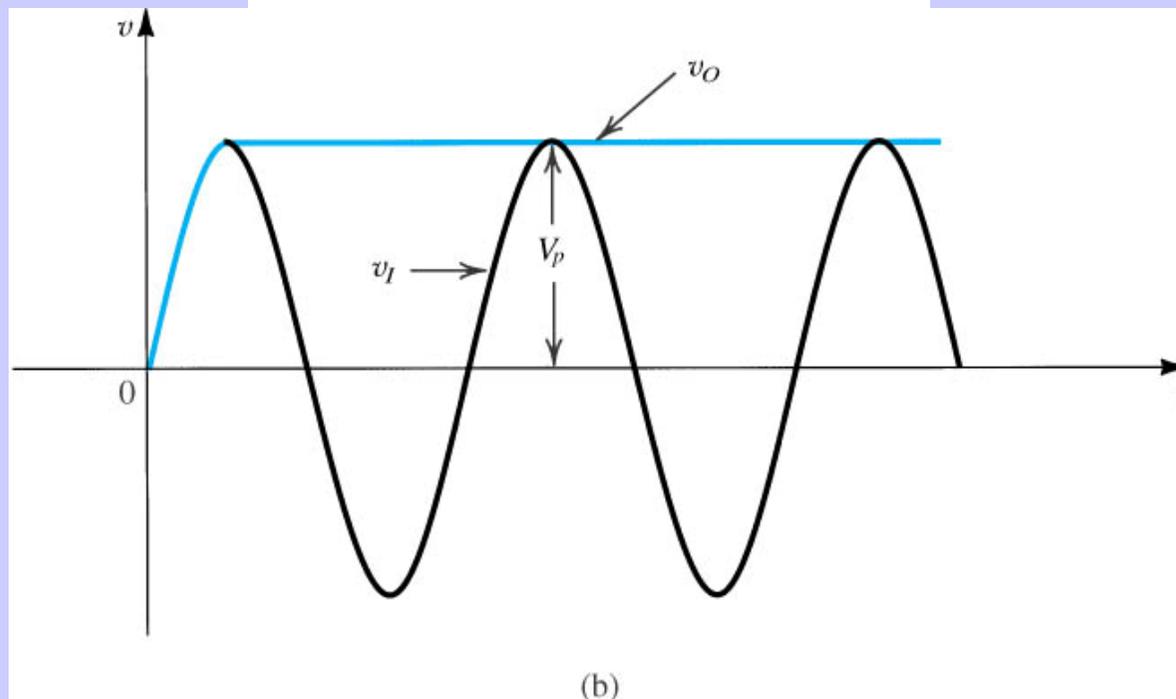
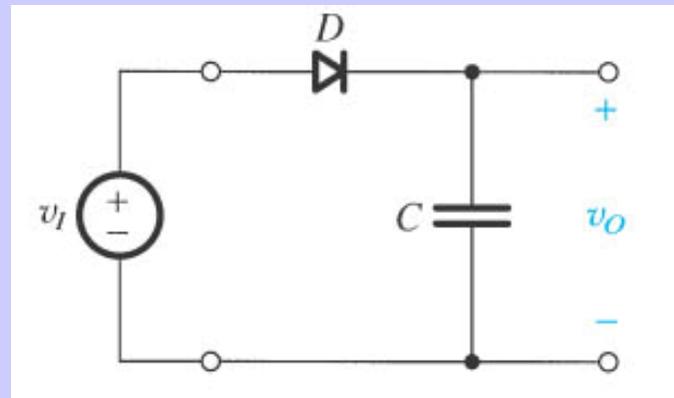
-Determinar a forma de onda de saída em circuitos limitadores

Diagrama de Blocos de Circuitos Retificadores



O Retificador com Bloco de Filtro

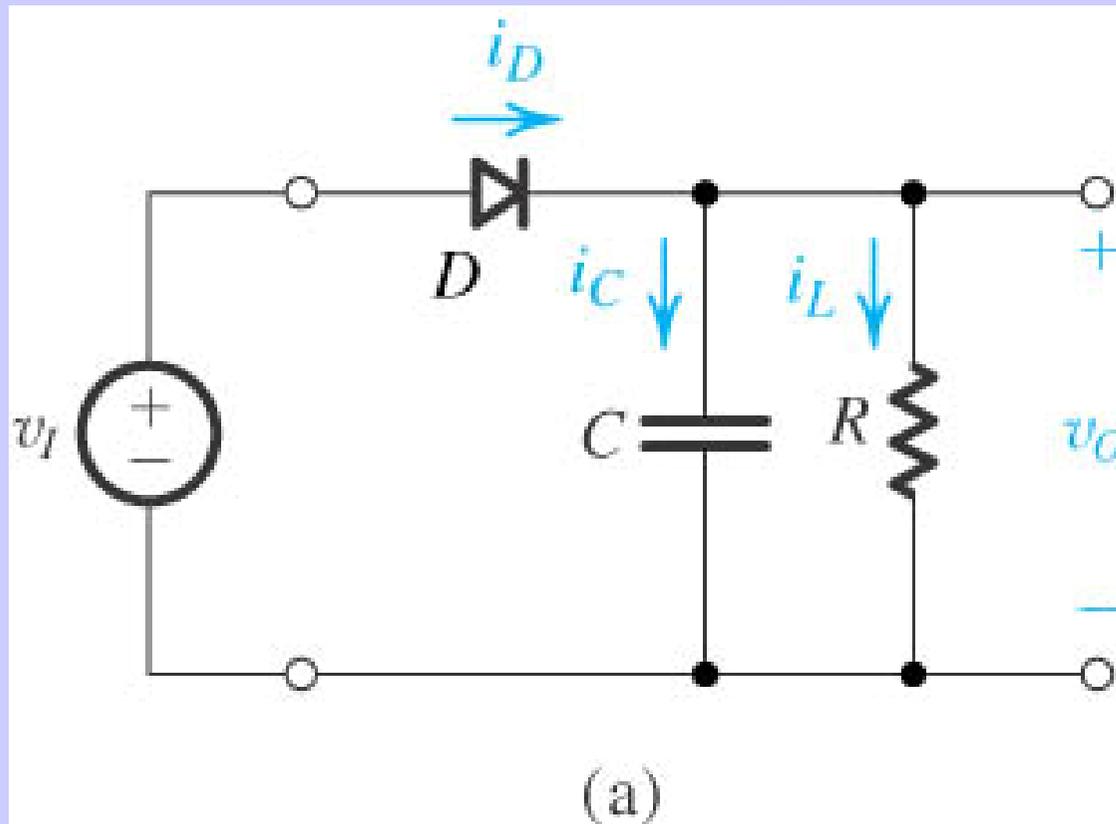
(Retificador Meia Onda com Filtro com Capacitor – Retificador de Pico)



O Retificador com Bloco de Filtro

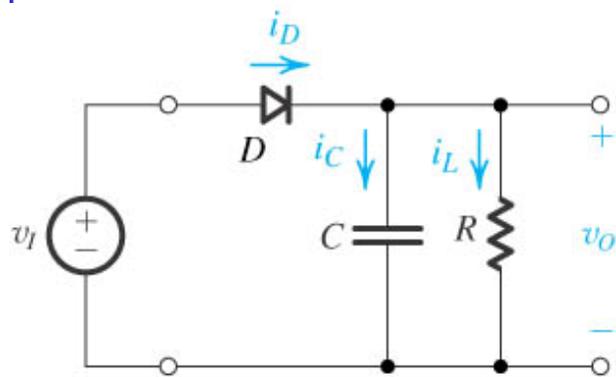
(Retificador Meia Onda com Filtro com Capacitor – Retificador de Pico)

E com carga?

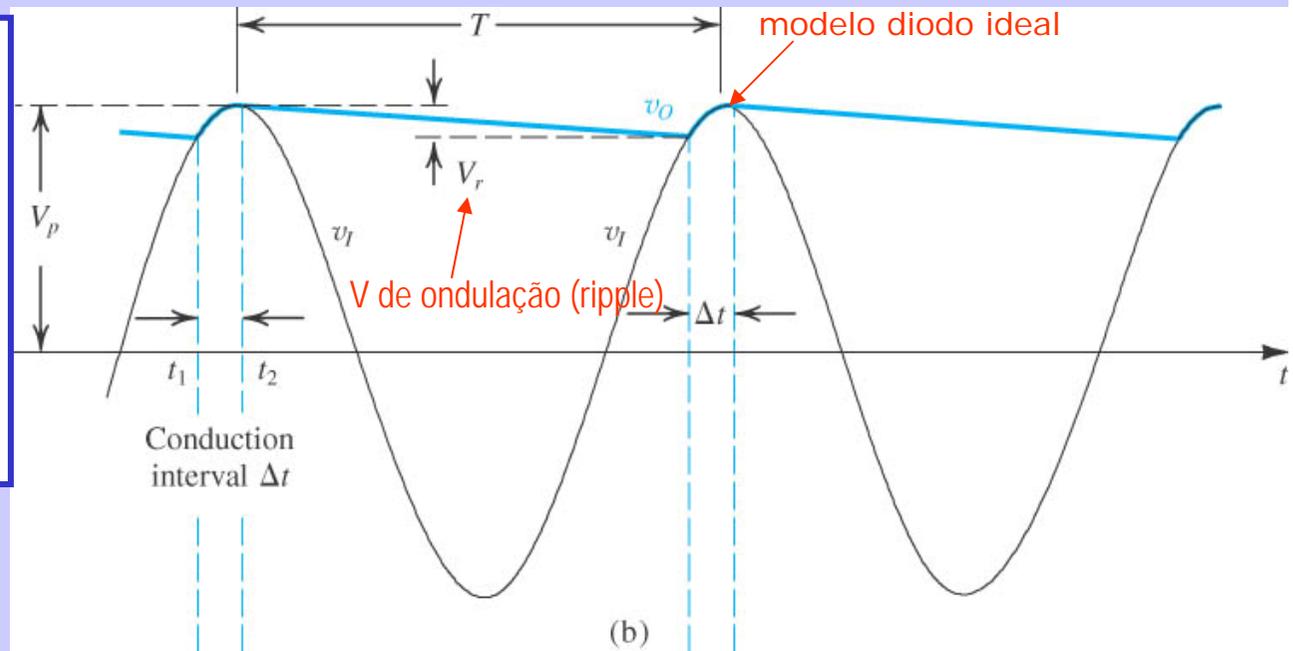


O Retificador com Bloco de Filtro

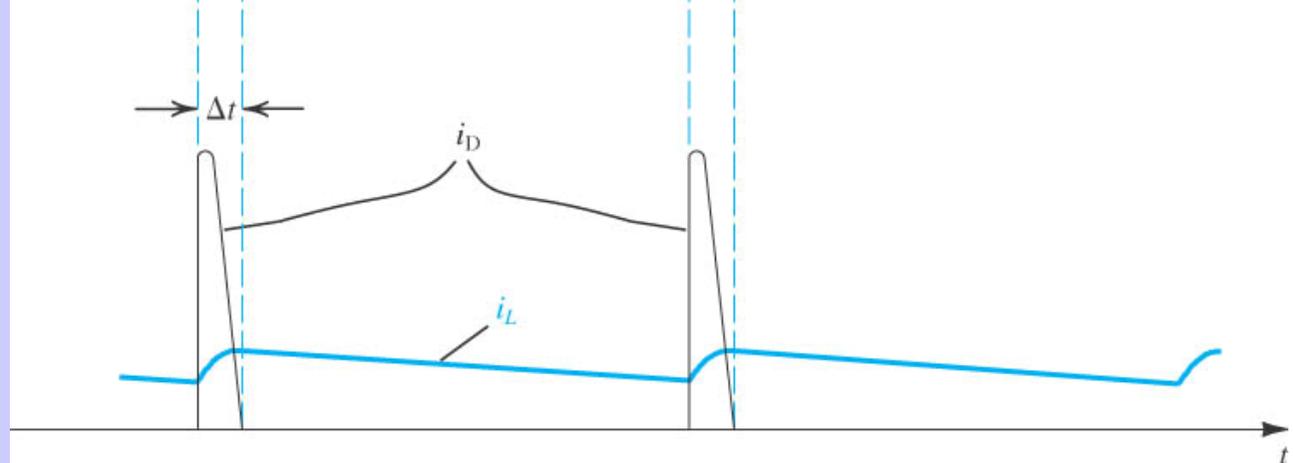
(Retificador Meia Onda com Filtro com Capacitor – Retificador de Pico)



(a)



(b)



(c)

$$i_L = v_O / R$$

Quando D está conduzindo:

$$\begin{aligned} i_D &= i_C + i_L \\ &= C \frac{dv_I}{dt} + i_L \end{aligned}$$

Determinando V_o e V_r

$$V_o = V_p - \frac{1}{2} V_r$$

Quando $CR \gg T$ (V_r pequeno):

$$i_L = \frac{V_p}{R}$$

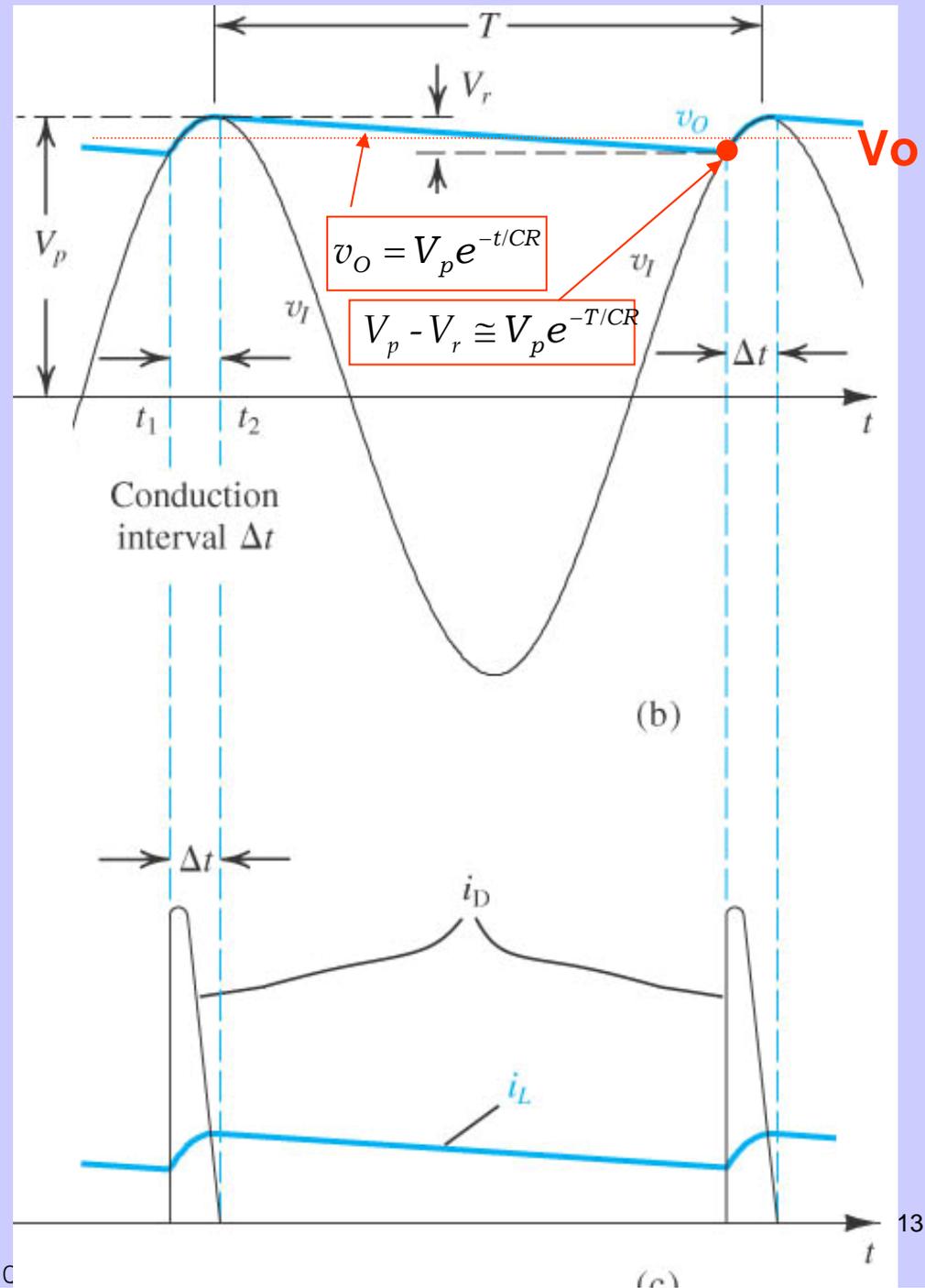
Como $CR \gg T$:

$$e^{-T/CR} \cong 1 - T/CR$$

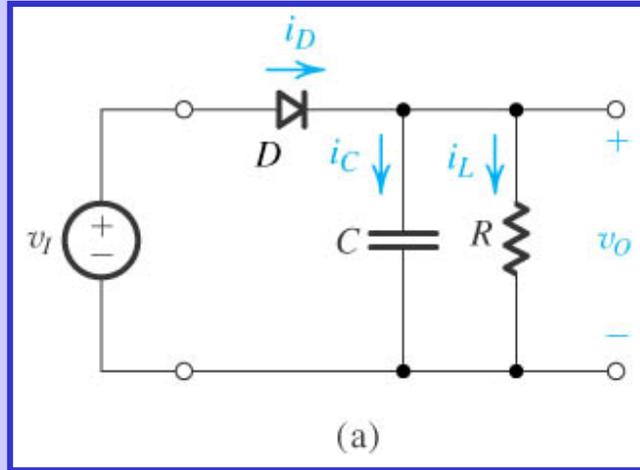
e portanto:

$$V_r \cong V_p \frac{T}{CR} = \frac{V_p}{fRC}$$

$$\text{ou } V_r = \frac{I_L}{fC}$$



Determinando $I_{D\text{médio}}$ e $I_{D\text{pico}}$



$Q_{\text{fornecido pela fonte}} = Q_{\text{entregue à carga}}$

$$Q_f = i_{C\text{medio}} \times \Delta t$$

$$i_{C\text{medio}} = i_{D\text{medio}} - I_L$$

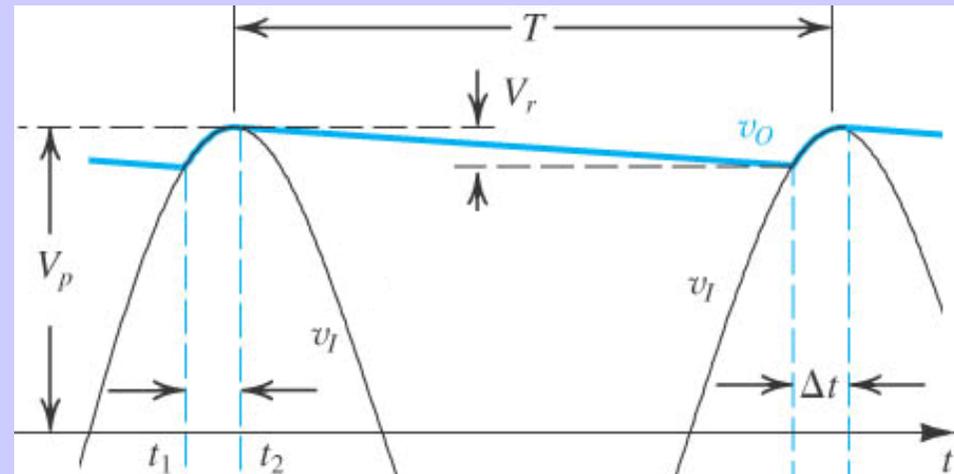
$$Q_f = (i_{D\text{medio}} - I_L) \times \Delta t$$

$$Q_e = C \times \Delta V_C = CV_r$$

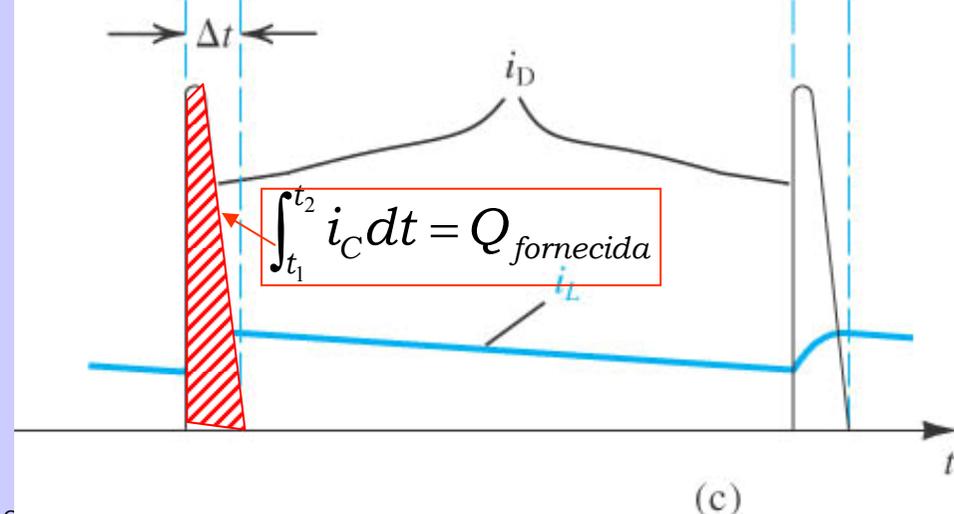
\therefore

$$(i_{D\text{medio}} - I_L) \times \Delta t = CV_r$$

$$i_{D\text{medio}} = I_L + \frac{CV_r}{\Delta t} = I_L \left(1 + \frac{1}{f \times \Delta t} \right)$$



e portanto: (b)



Determinando $I_{Dm\u00e9dio}$ e I_{Dpico}

$$V_p \cos(\omega\Delta t) = V_p - V_r$$

Como ωt é um pequeno ângulo :

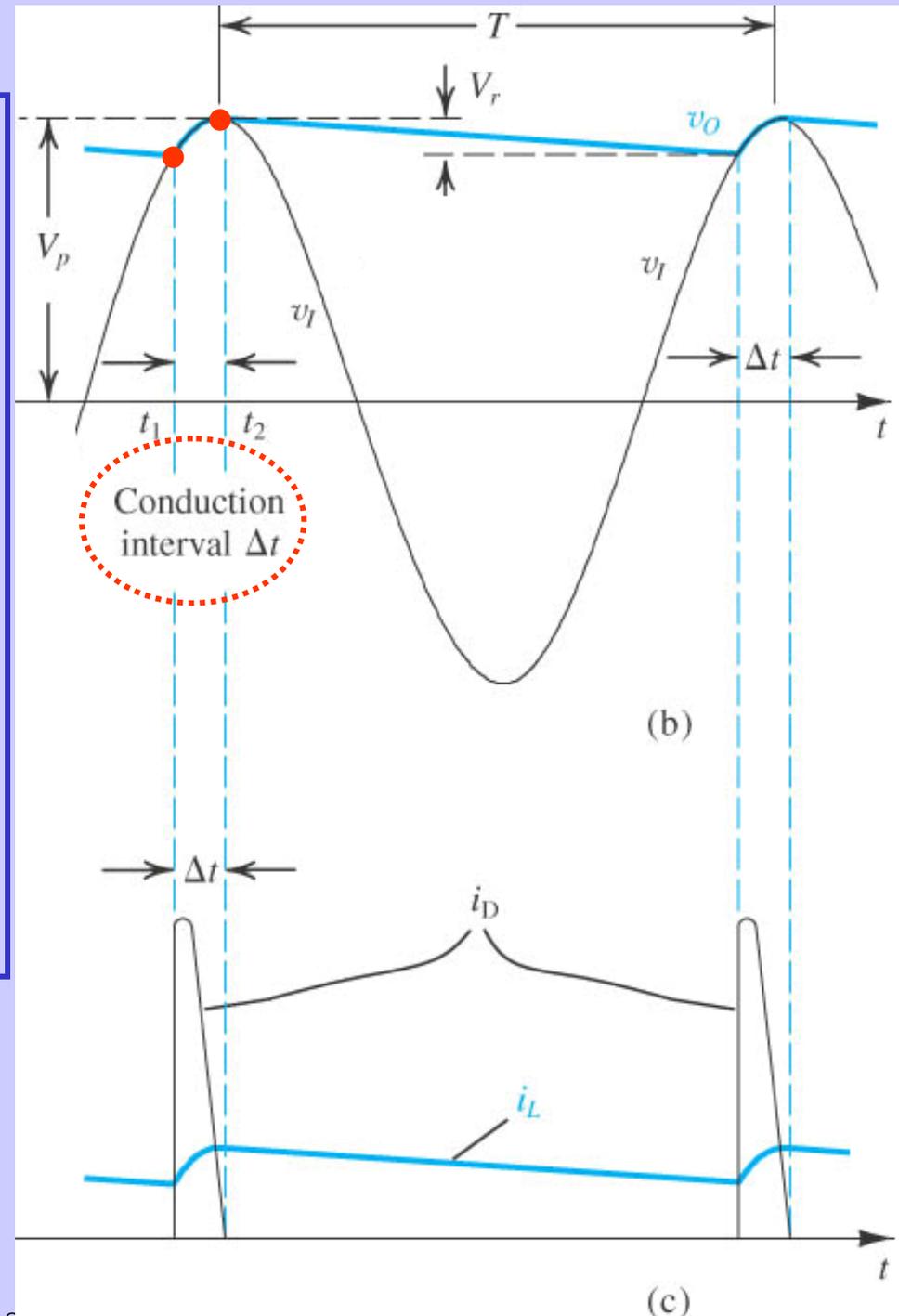
$$\cos(\omega\Delta t) \cong 1 - \frac{1}{2}(\omega\Delta t)^2$$

e portanto :

$$V_p \left[1 - \frac{1}{2}(\omega\Delta t)^2 \right] = V_p - V_r$$

ou

$$\omega\Delta t \cong \sqrt{2V_r / V_p} \text{ ou } \Delta t \cong \frac{\sqrt{2V_r / V_p}}{2\pi f}$$



(Retificador Meia Onda com Filtro com Capacitor)

Determinando $I_{D\text{médio}}$ e $I_{D\text{pico}}$

$$i_{D\text{medio}} = I_L \left(1 + \frac{1}{f \times \Delta t} \right)$$

$$i_{D\text{medio}} = I_L \left(1 + \frac{1}{f \times \frac{\sqrt{2V_r / V_p}}{2\pi f}} \right)$$

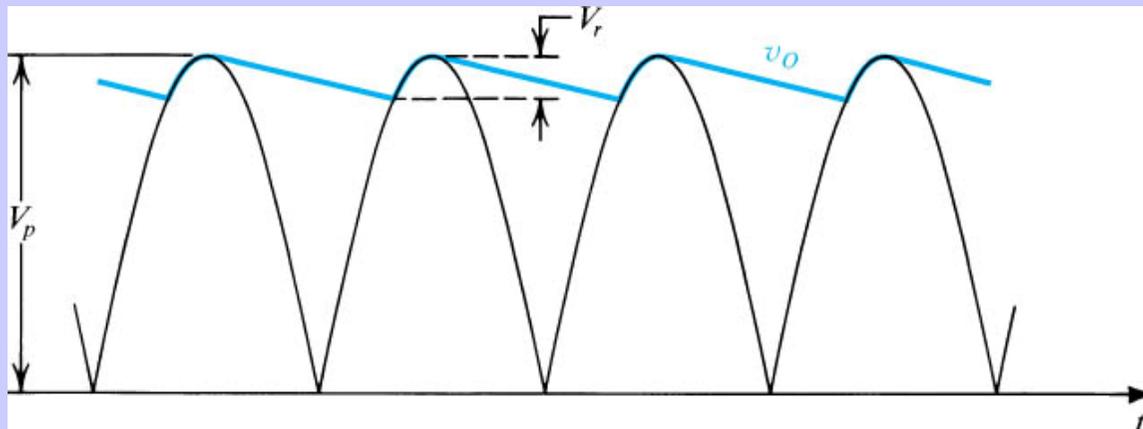
$$i_{D\text{medio}} = I_L \left(1 + \pi \sqrt{2V_p / V_r} \right)$$

podemos calcular $i_{D\text{pico}}$ como :

$$i_{D\text{pico}} = I_L \left(1 + 2\pi \sqrt{2V_p / V_r} \right)$$

$$\text{Se } V_r \ll V_p \Rightarrow i_{D\text{pico}} \cong 2i_{D\text{medio}}$$

(No Retificador **Onda Completa** com Filtro com Capacitor)



~~meia~~ onda **completa**

$$V_r \cong \frac{V_p}{2fRC}$$

$$i_{D\text{medio}} = I_L (1 + \pi \sqrt{2V_p / 2V_r}) = I_L (1 + \pi \sqrt{V_p / 2V_r})$$

$$i_{D\text{pico}} = I_L (1 + 2\pi \sqrt{V_p / 2V_r})$$

EXEMPLO 3.10 Considere um retificador de pico alimentado por uma senóide de 60 Hz tendo um valor de pico de $V_p = 100$ V. Suponha uma resistência de carga $R = 10$ k Ω . Calcule o valor da capacitância C que resultará numa ondulação de pico-a-pico de 2 V. Calcule também a fração do ciclo durante a qual o diodo conduz, além do valor médio e de pico da corrente no diodo.

SOLUÇÃO

Obtemos o valor de C como

$$C = \frac{V_p}{V_r f R} = \frac{100}{2 \times 60 \times 10 \times 10^3} = 83,3 \mu\text{F}$$

O ângulo de condução $\omega\Delta t$ é $\omega \Delta t = \sqrt{2 \times 2/100} = 0,2$ rad

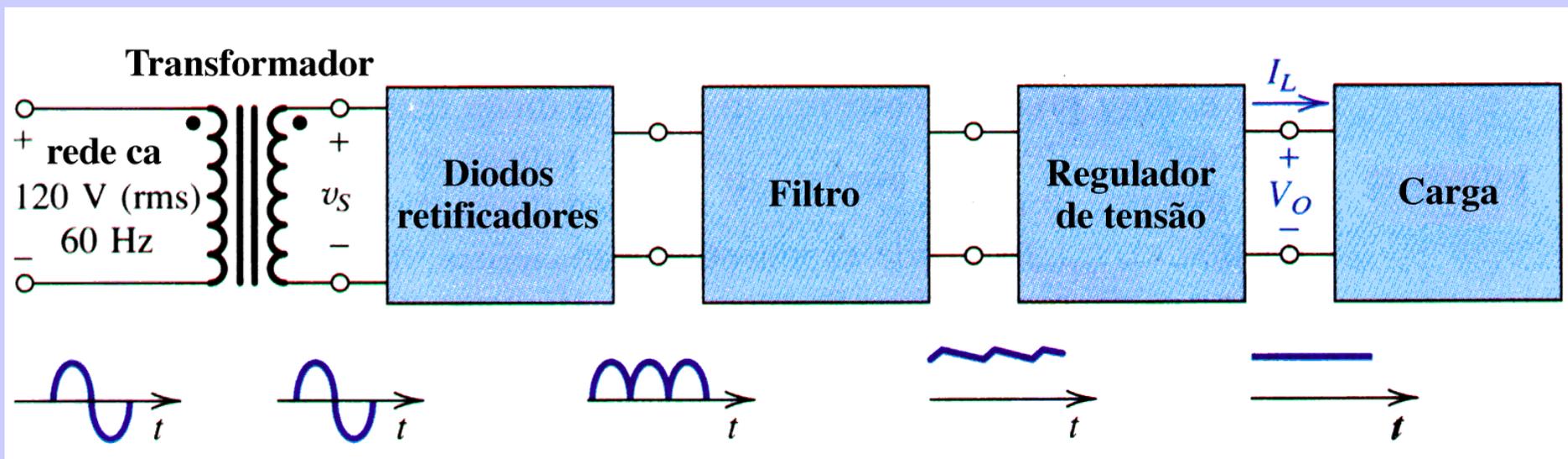
Logo, o diodo conduz por $(0,2/2\pi) \times 100 = 3,18\%$ do ciclo.

Como $I_L = 100/10 = 10$ mA, as correntes média e de pico no diodo são:

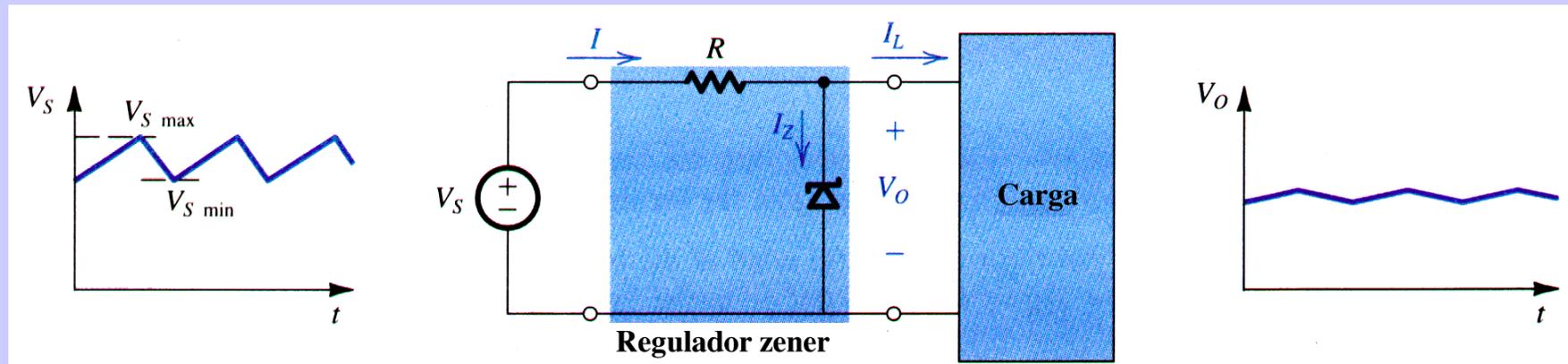
$$i_{D\text{med}} = 10(1 + \pi\sqrt{2 \times 100/2}) = 324 \text{ mA}$$

$$i_{D\text{max}} = 10(1 + 2\pi\sqrt{2 \times 100/2}) = 638 \text{ mA}$$

Diagrama de Blocos de Circuitos Retificadores



Desempenho de um Regulador com Zener



$$\text{Regulação de Linha} \equiv \frac{\Delta V_O}{\Delta V_S} \quad (\text{p.ex.} = 1\text{V})$$

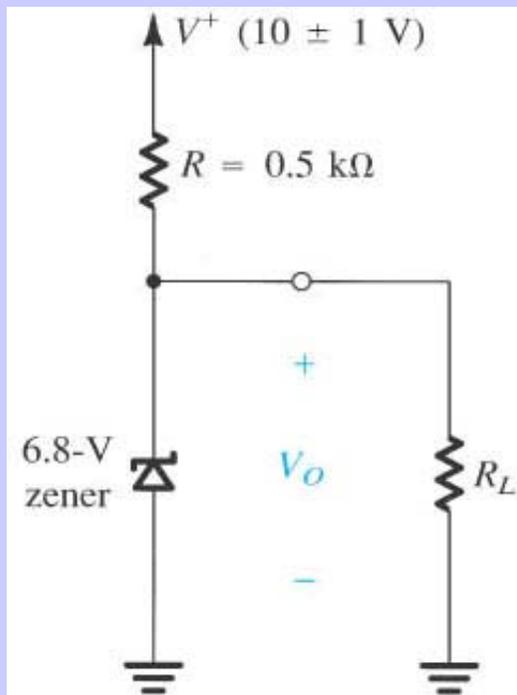
(máxima corrente pior carga)

$$\text{Regulação de Carga} \equiv \frac{\Delta V_O}{\Delta I_L} \quad (\text{p.ex.} = 1\text{mA})$$

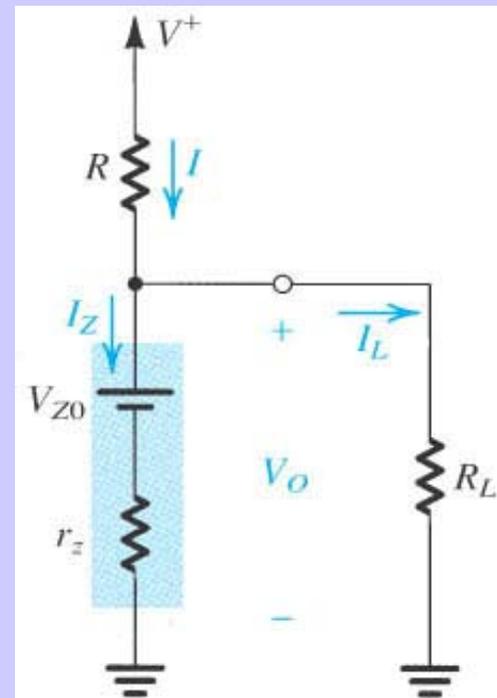
(V_s médio)

Exemplo 3.8: O diodo zener do circuito abaixo é especificado para $6,8V@5mA$, $r_z = 20\Omega$ e $I_{zk} = 0,2mA$. Veja que V^+ tem uma variação.

- (a) Determine a tensão de saída sem carga;
- (b) Determine a regulação de linha para a variação de $\pm 1V$ na entrada;
- (c) Qual a variação na tensão de saída quando se coloca uma carga que drena $1mA$? Isso é chamado Regulação de Carga.
- (d) Qual a variação na tensão de saída para uma carga de $2k\Omega$;
- (e) Qual a variação na tensão de saída para uma carga de $0,5k\Omega$;
- (f) Qual o valor mínimo de carga para o circuito operar corretamente?



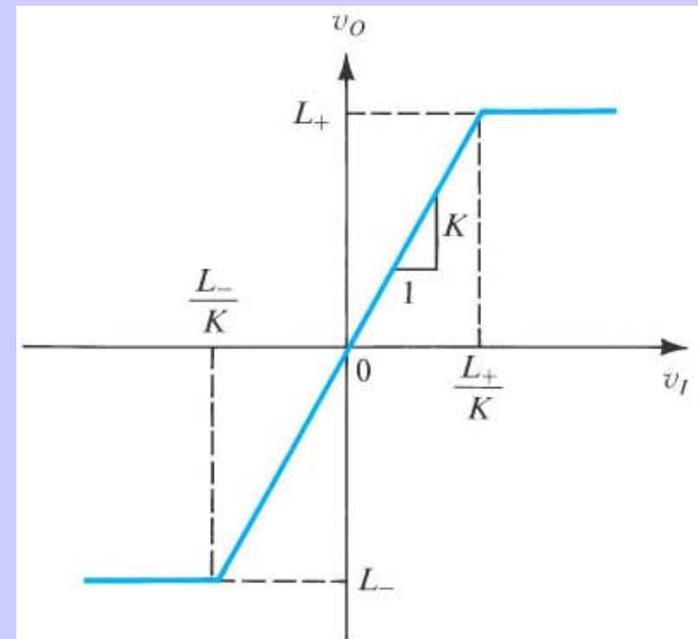
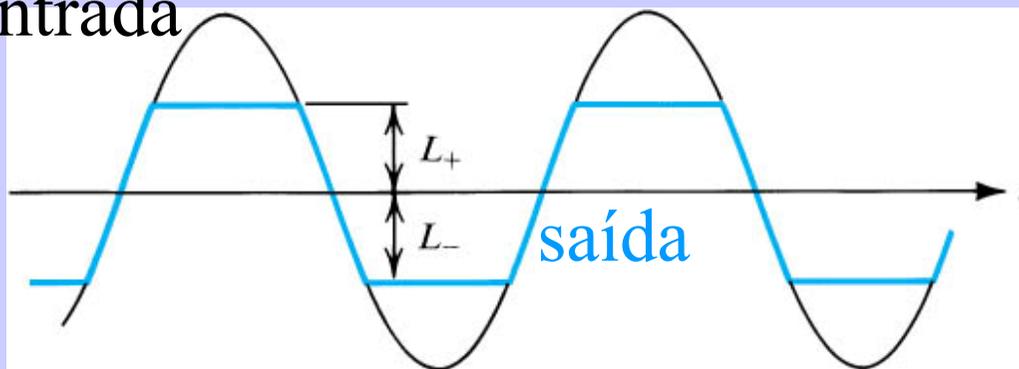
(a)

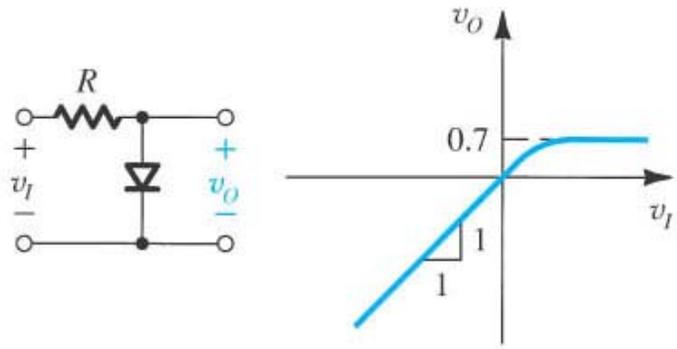


(b)

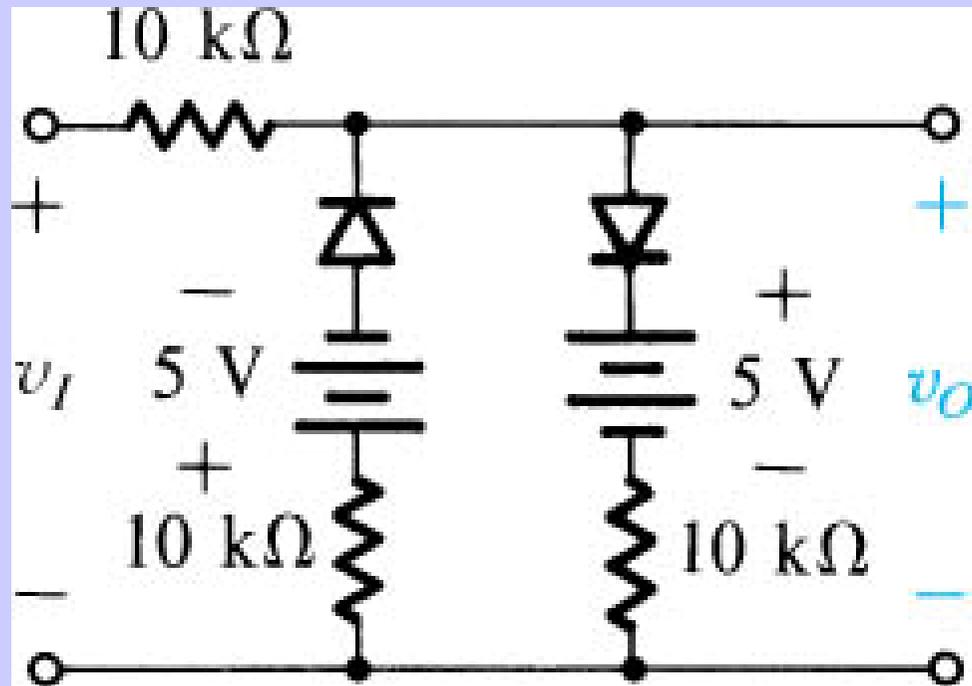
Circuitos Limitadores e Grampeadores

entrada

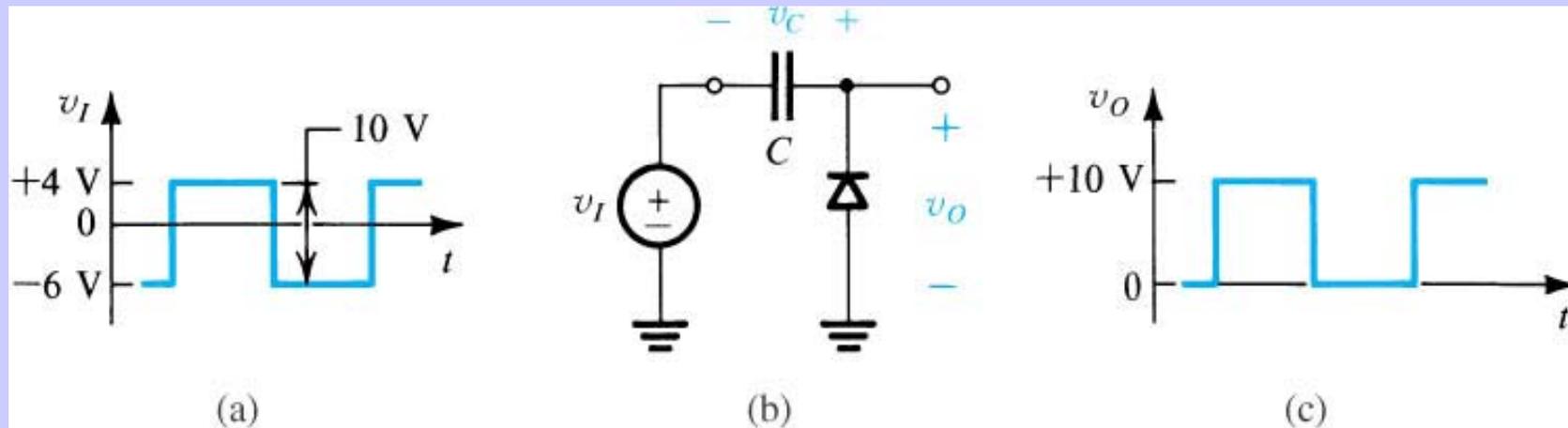




(a)



Circuito Grampeador



Exercícios

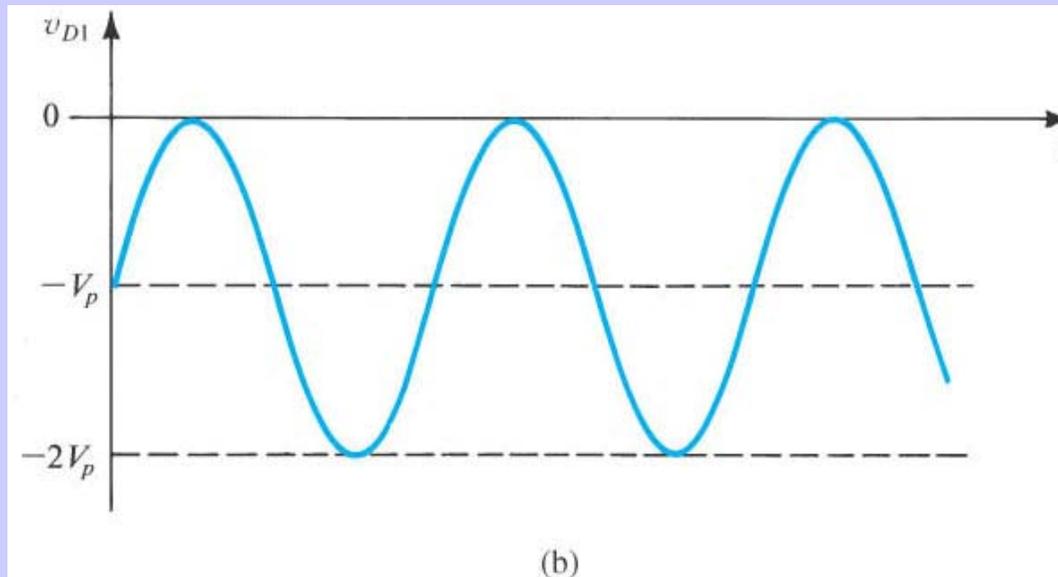
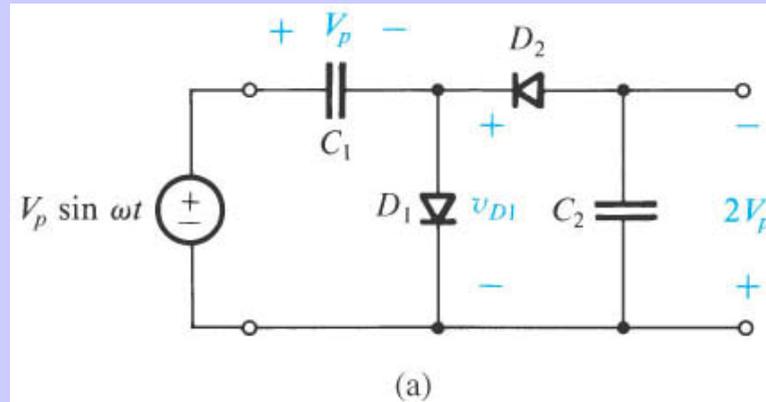
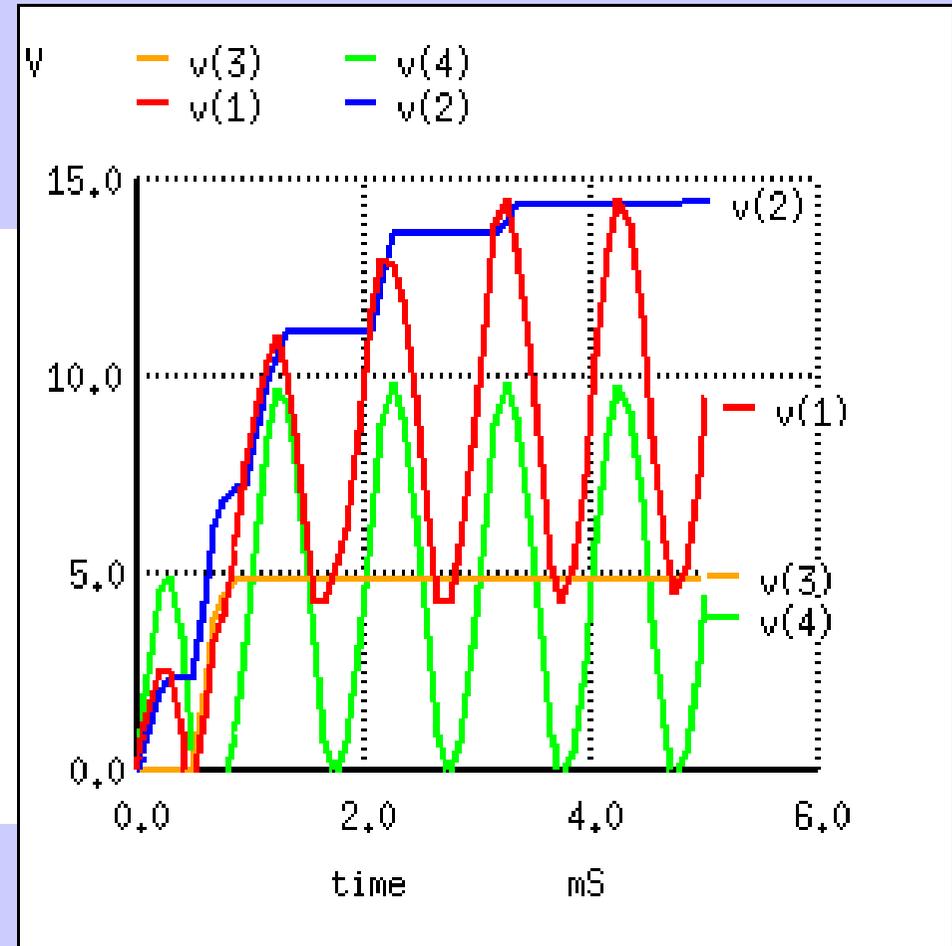
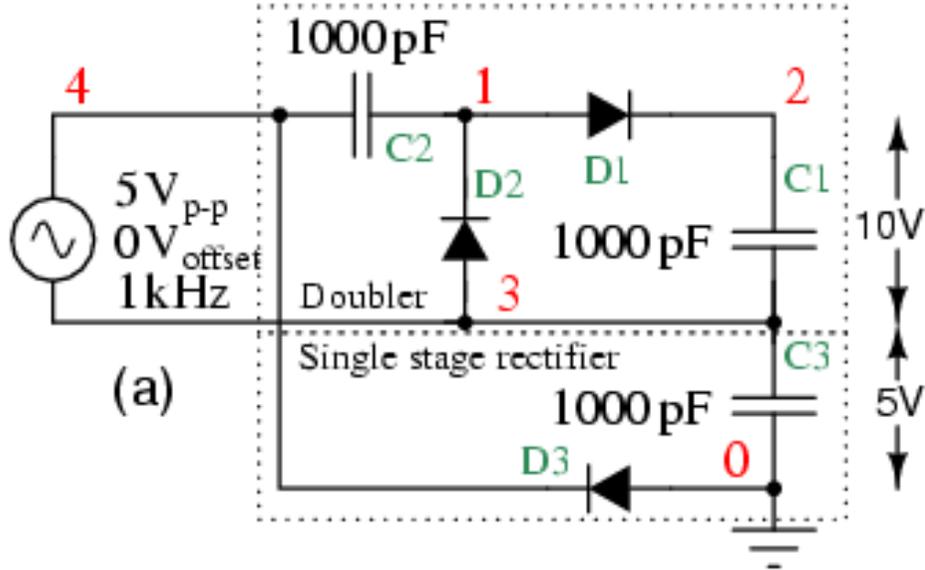
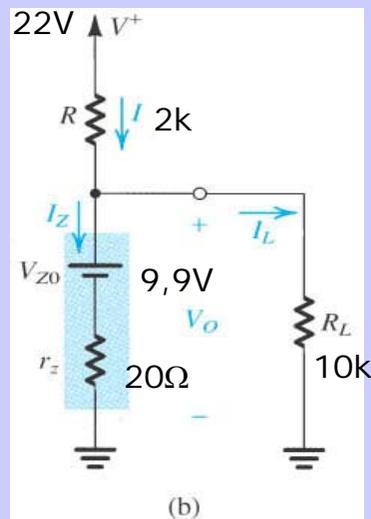
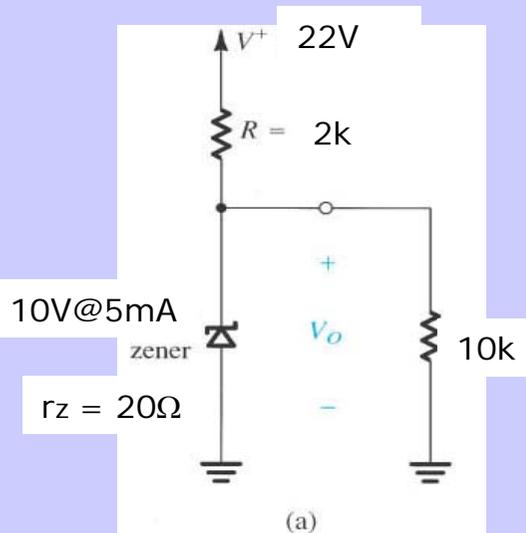


Figura 3.38 Voltage doubler: (a) circuit; (b) waveform of the voltage across D_1 .

Triplicador de Tensão





$$V_z = V_{z0} + r_z I_z$$

$$10V = V_{z0} + 20.5 \cdot 10^{-3}$$

$$V_{z0} = 10 - 0,1 = 9,9V$$

$$V_o = 22 \cdot \frac{10k // 20}{2k + 10k // 20} + 9,9 \cdot \frac{10k // 2k}{20 + 10k // 2k}$$

$$V_o = 22 \cdot \frac{20}{2k + 20} + 9,9 \cdot \frac{\sim 2k}{20 + \sim 2k} = 0,22 + 9,9 = 10,12$$

OU

$$V_o = 22 \cdot \frac{20}{2k + 20} + 9,9 \cdot \frac{1,67k}{1,69k} = 0,22 + 9,9 \cdot 0,988$$

$$= 0,22 + 9,78 = 10,00$$