

# LOM3206 – ELETRÔNICA

## AULA 9

Prof. Dr. Emerson G. Melo

- Regulação de Tensão;

- Retificação;

  - Onda completa: ponte;

  - Onda completa: center tap;

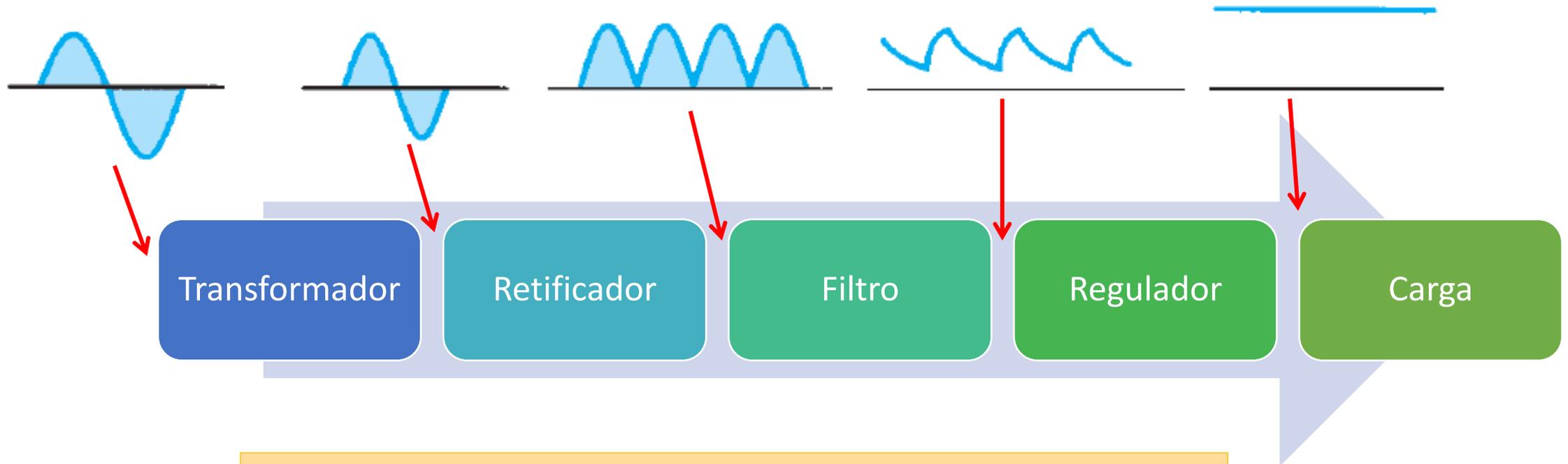
  - Meia-onda;

- Filtro;

- Circuito Regulador de Tensão;

# Regulação de Tensão

- A regulação de tensão visa fornecer uma tensão de alimentação em um nível adequado e estável para o correto funcionamento de circuitos eletrônicos.



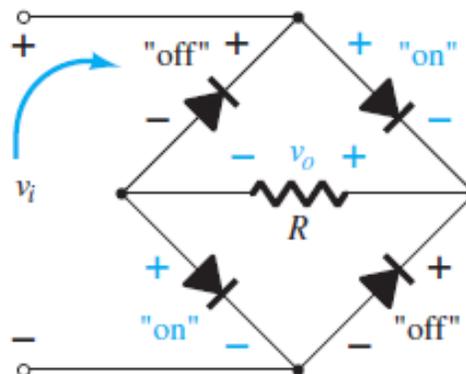
Regulação de Tensão (%V. R.) é a diferença percentual entre a tensão de saída da fonte sem carga ( $V_{NL}$ ) e com carga máxima ( $V_{FL}$ ).

$$\%V. R. = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

# Retificação: Onda Completa – Ponte

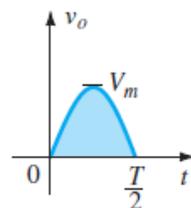
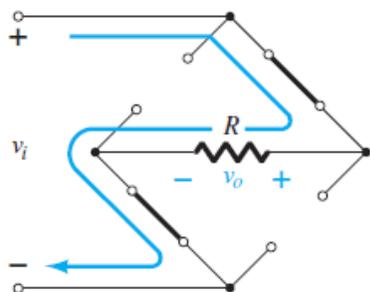
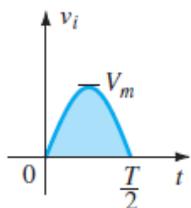
Relação de Espiras

$$n = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

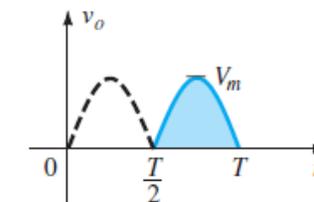
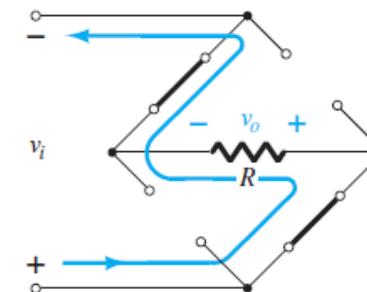
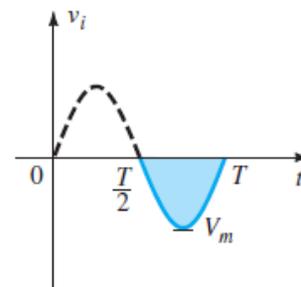


$$V_m = \sqrt{2}V_2 - 2V_D$$

Semi-ciclo Positivo



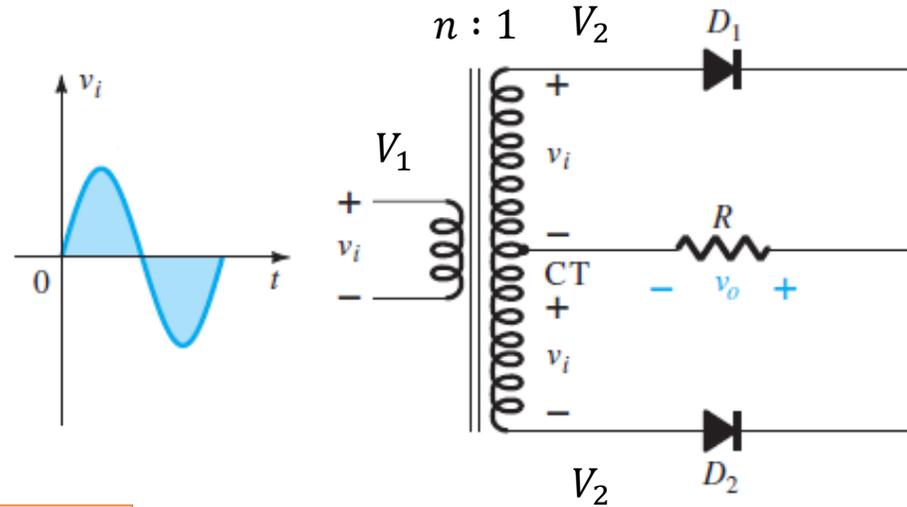
Semi-ciclo Negativo



# Retificação: Onda Completa – Center Tap

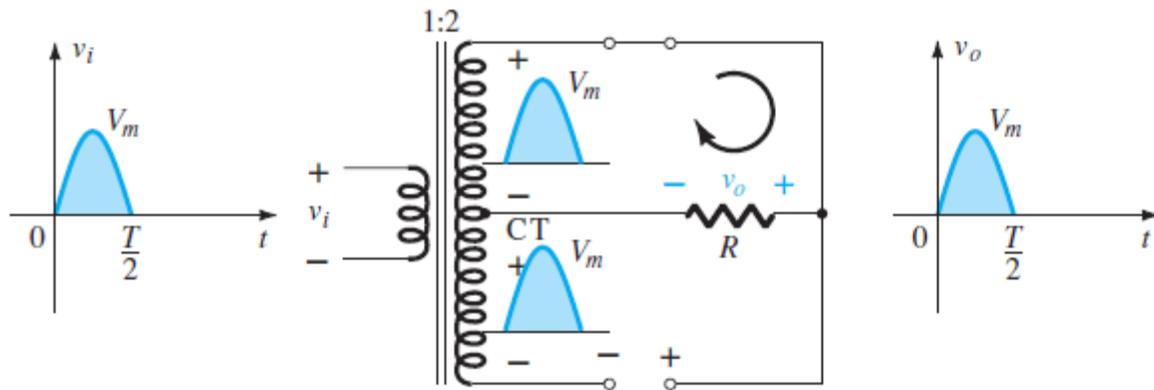
Relação de Espiras

$$n = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

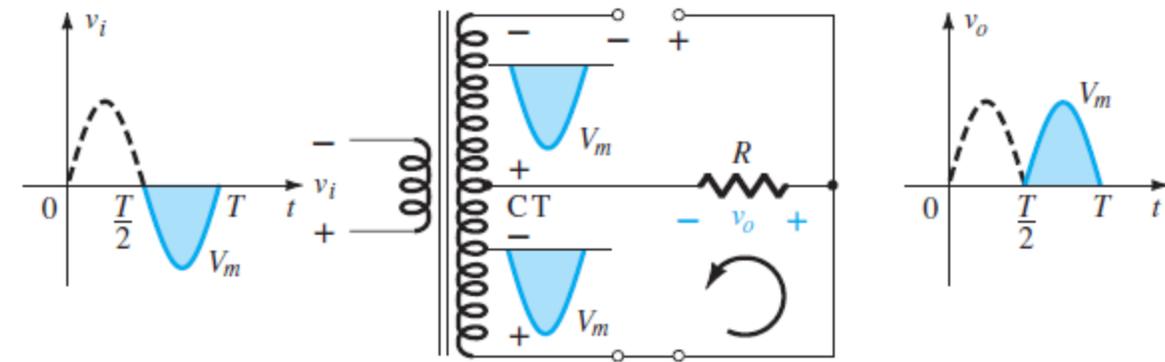


$$V_m = \sqrt{2}V_2 - V_D$$

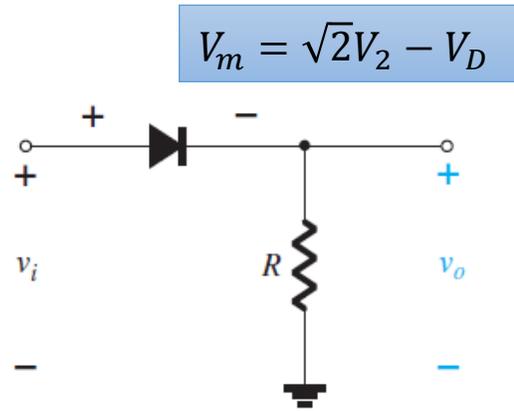
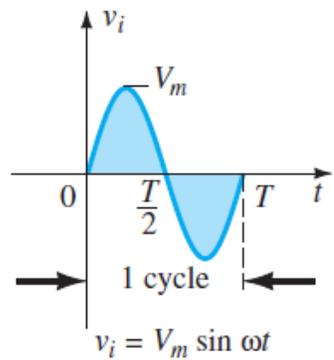
Semi-ciclo Positivo



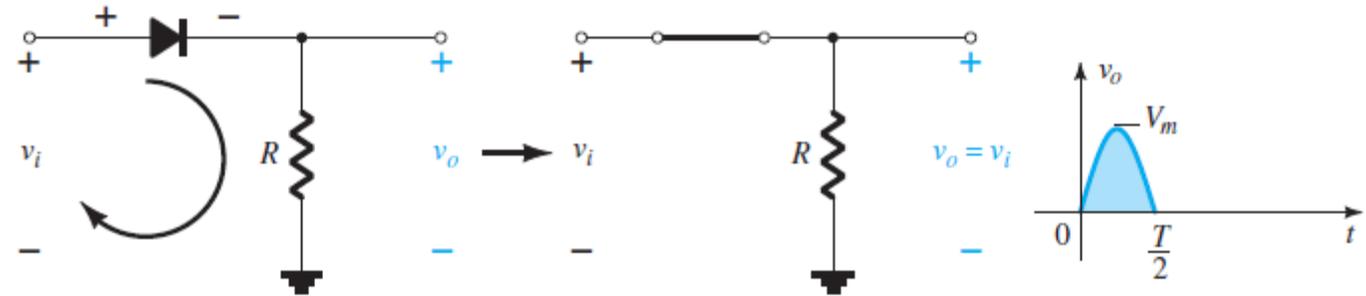
Semi-ciclo Negativo



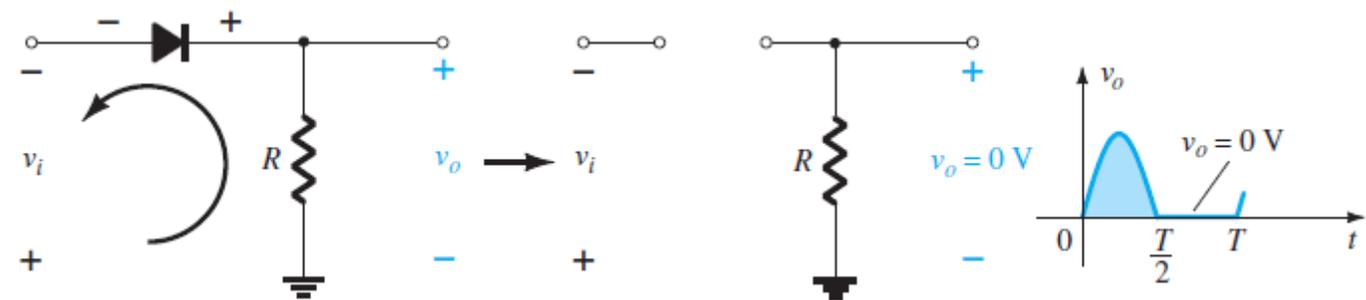
# Retificação: Meia Onda



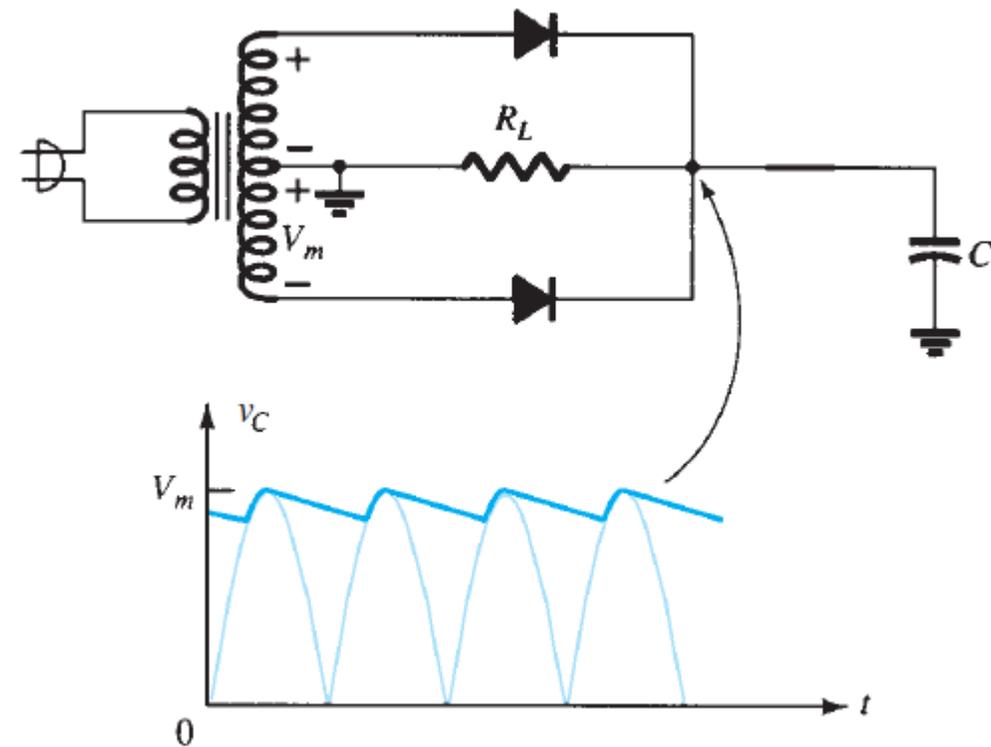
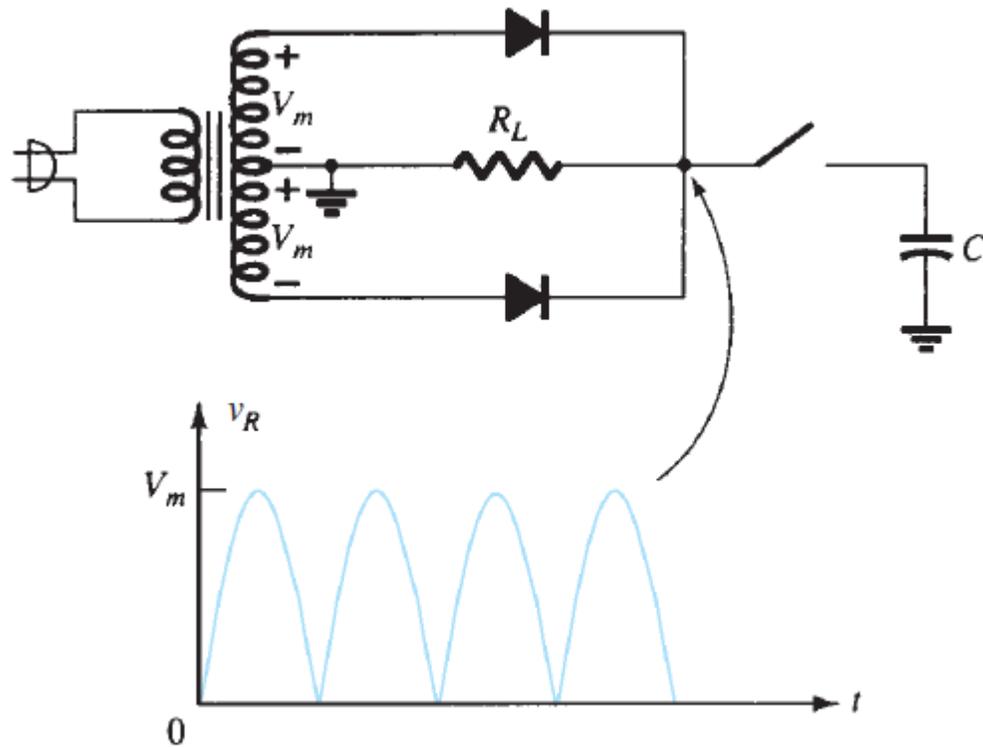
## Semi-ciclo Positivo

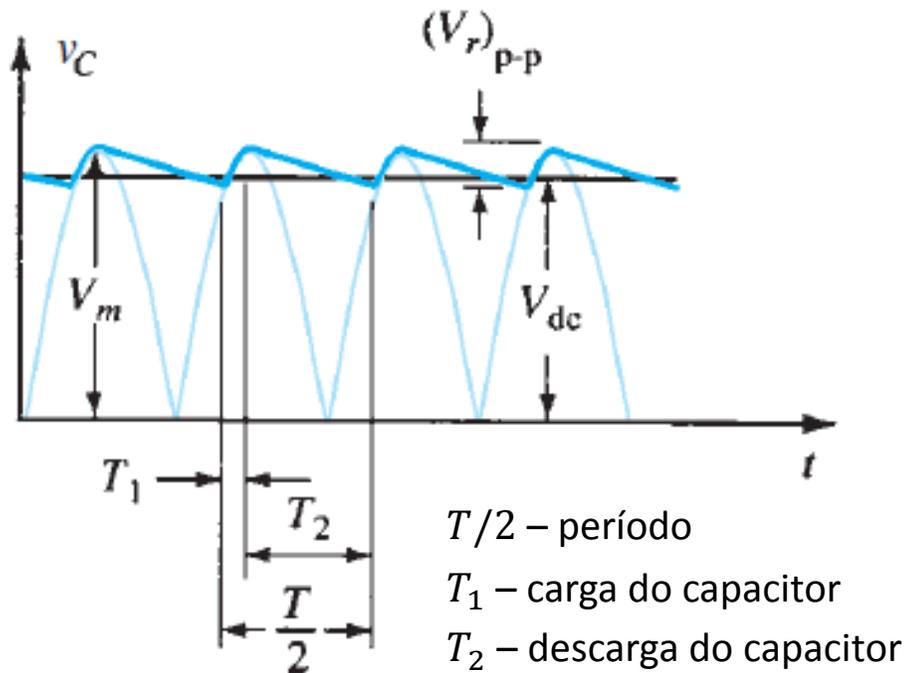
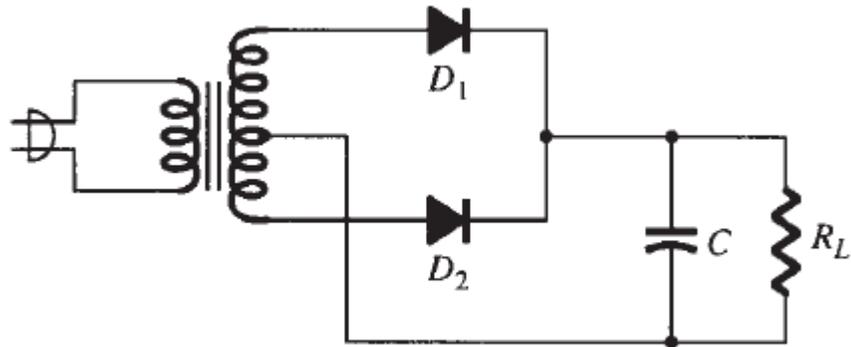


## Semi-ciclo Negativo



- O filtro tem a finalidade de reduzir a amplitude da componente AC da tensão após a retificação.





Tensão de ripple –  $V_r(\text{rms})$

$$V_r(\text{rms}) = \frac{V_r(\text{pp})}{2\sqrt{3}}$$

Ripple ( $r$ ) é a relação entre tensão AC (tensão de ripple) e a tensão DC

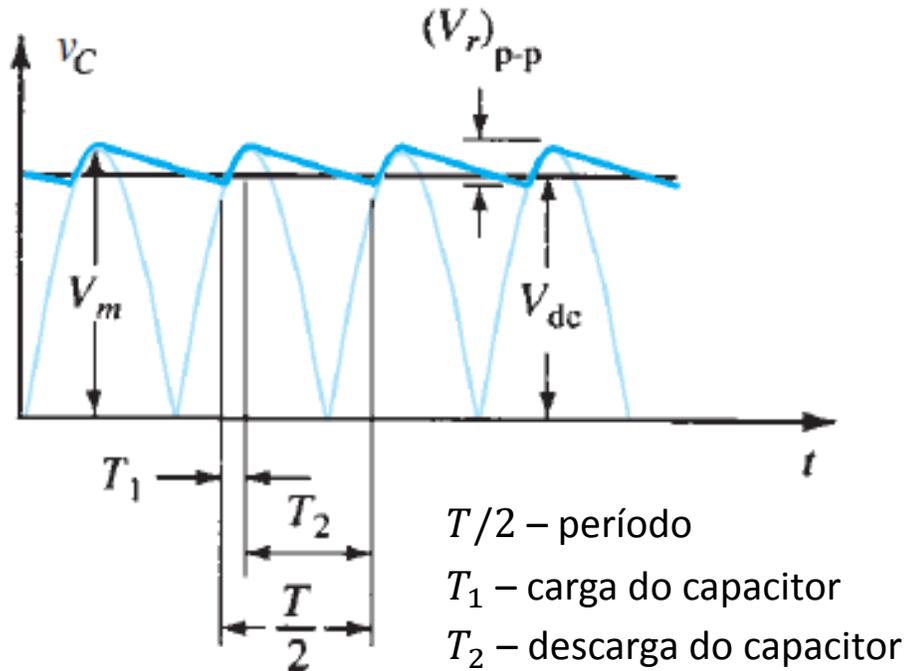
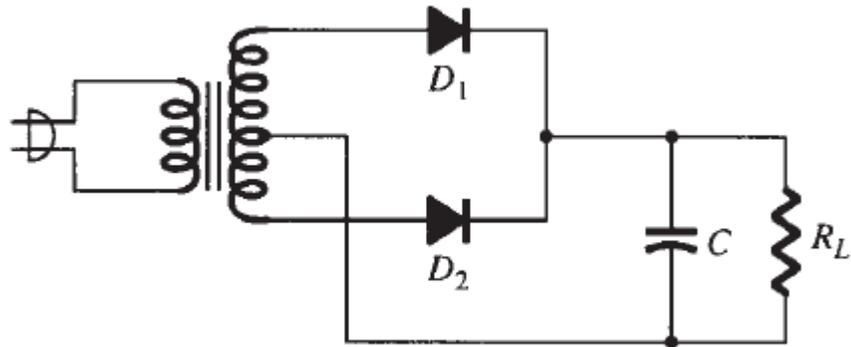
$$r = \frac{V_r(\text{rms})}{V_{\text{dc}}} \times 100\% = \frac{V_r(\text{pp})}{2\sqrt{3}V_{\text{dc}}} \times 100\%$$

Relação entre  $r$ ,  $V_m$  e  $V_{\text{dc}}$

$$\frac{V_m}{V_{\text{dc}}} = 1 + \sqrt{3}r$$

Relação entre  $r$ ,  $V_m$  e  $V_r(\text{rms})$

$$\frac{V_r(\text{rms})}{V_m} = \frac{r}{1 + \sqrt{3}r}$$



Relação entre  $V_r$  e os parâmetros do circuito

$$V_r(\text{pp}) = \frac{I_{\text{dc}}}{fC} = \frac{V_{\text{dc}}}{R_L f C}$$

$$V_r(\text{rms}) = \frac{I_{\text{dc}}}{2\sqrt{3}fC} = \frac{V_{\text{dc}}}{2\sqrt{3}R_L f C}$$

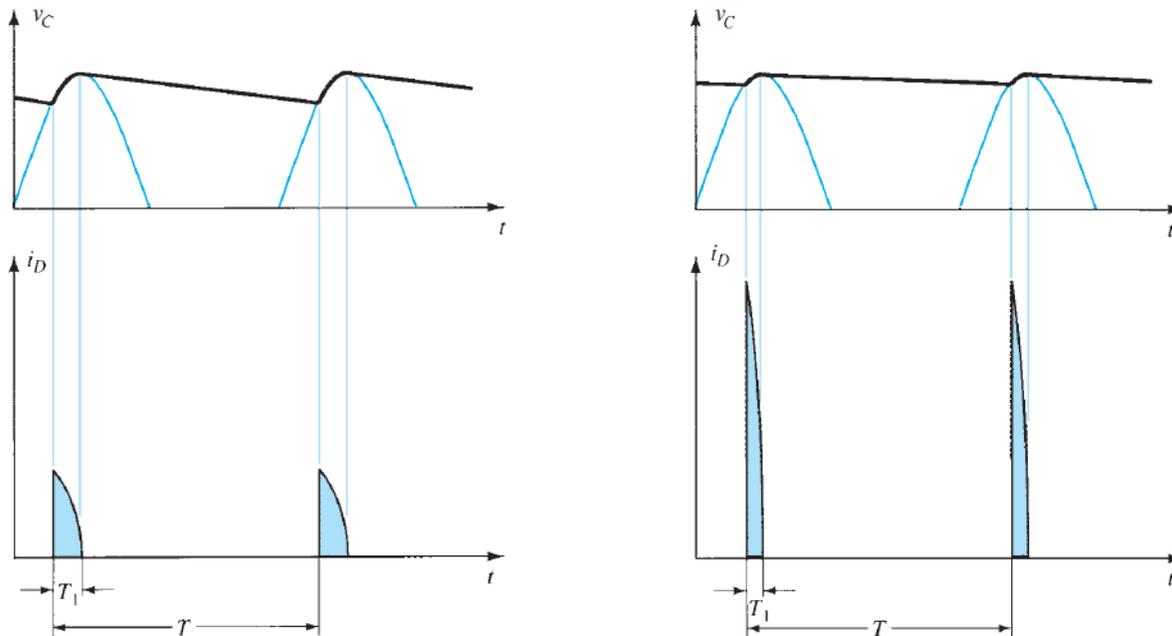
Relação entre  $V_{\text{dc}}$  e os parâmetros do circuito

$$V_{\text{dc}} = V_m - \frac{V_r(\text{pp})}{2} = V_m - \frac{I_{\text{dc}}}{2fC}$$

Meia-onda  
 $f = 60 \text{ Hz}$

Onda completa  
 $f = 120 \text{ Hz}$

## Período de condução e corrente de pico do diodo



$T_1$  – carga do capacitor

Corrente de pico

$$I_p = \frac{T}{T_1} I_{dc} \quad T = \frac{1}{f}$$

Meia-onda  
 $f = 60 \text{ Hz}$

Onda completa  
 $f = 120 \text{ Hz}$

Ângulo de Condução

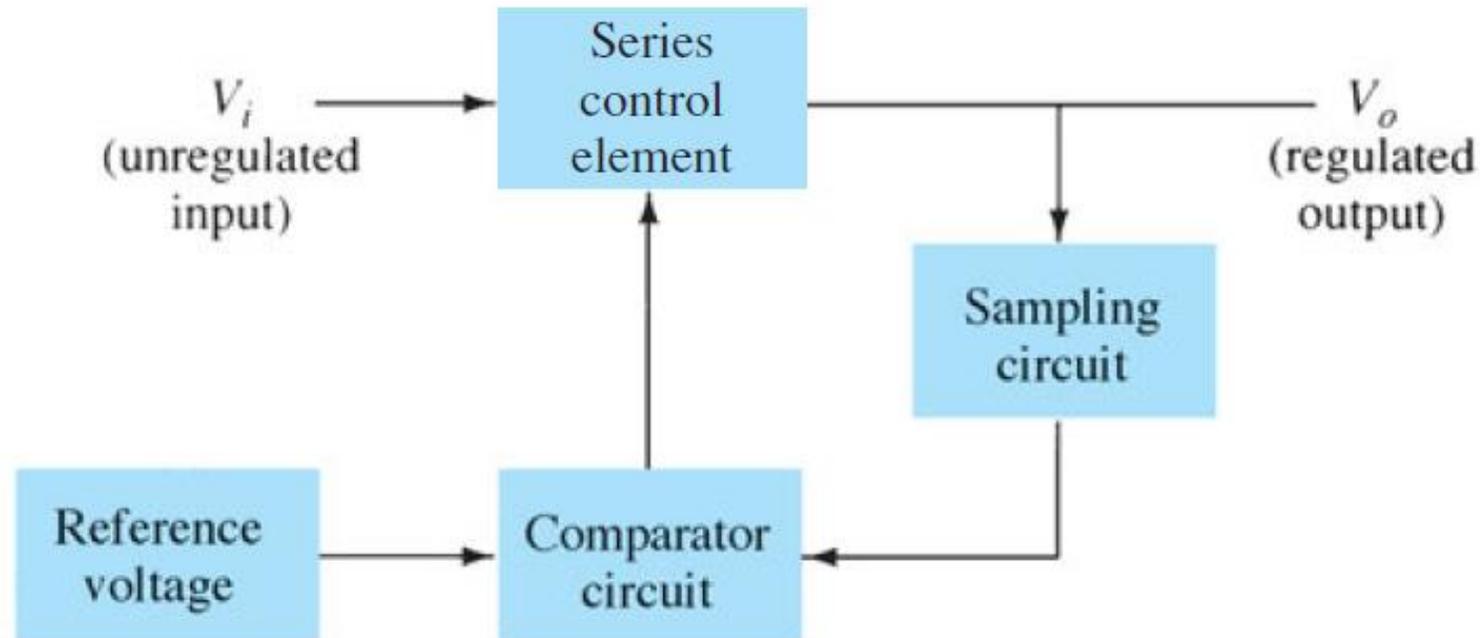
$$\theta_c = \sqrt{\frac{2V_r(\text{pp})}{V_m}}$$

Período de condução

$$T_1 = \frac{\theta_c}{\omega} = \frac{\theta_c}{2\pi f}$$

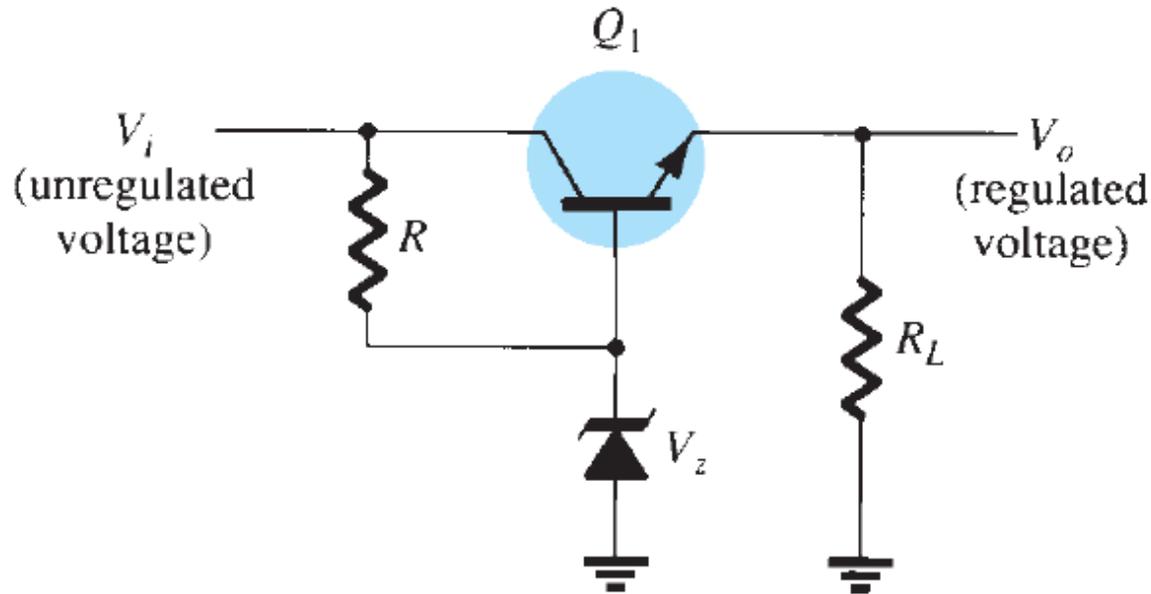
# Circuito Regulador de Tensão

- ❑ A tensão de saída é regulada por um elemento de controle em série com a carga;
- ❑ Uma amostra da tensão de saída é comparada com uma tensão de referência e gera um sinal de controle;
- ❑ Se a corrente da carga aumentar, a resistência do elemento de controle diminui;
- ❑ Se a corrente da carga diminuir, a resistência do elemento de controle aumenta.



# Circuito Regulador de Tensão

## □ Circuito de regulação simples.



$$V_o = V_Z - V_{BE}$$

$$V_{CE} = V_i - V_o$$

$$I_L = \frac{V_o}{R_L}$$

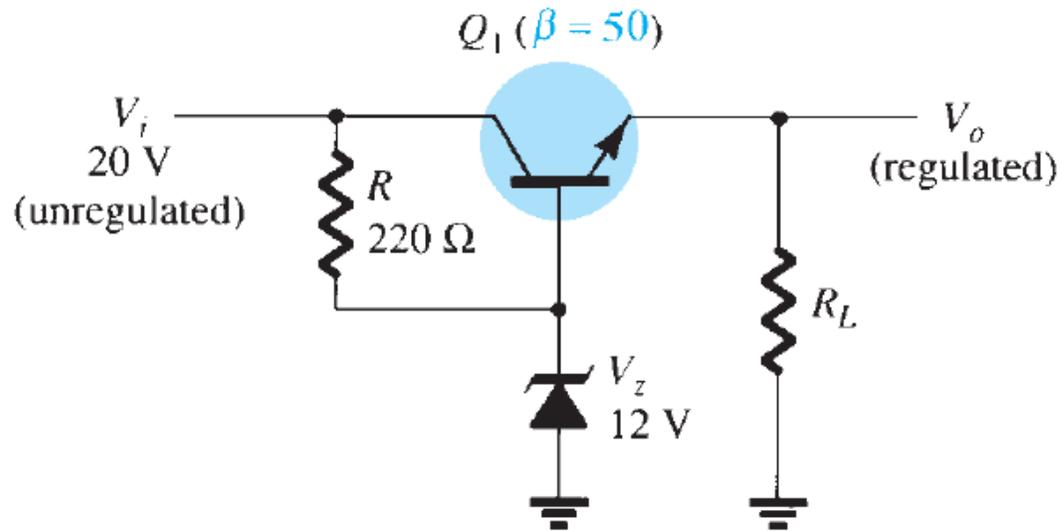
$$I_B = \frac{I_L}{\beta}$$

$$I_R = \frac{V_i - V_Z}{R}$$

$$I_Z = I_R - I_B$$

# Circuito Regulador de Tensão

- Exemplo: Calcular a tensão de saída e a corrente do diodo Zener para uma carga de  $1\text{ k}\Omega$ .



$$V_o = V_Z - V_{BE} = 12 - 0,7 = 11,3\text{ V}$$

$$V_{CE} = V_i - V_o = 20 - 11,3 = 8,7\text{ V}$$

$$I_L = \frac{V_o}{R_L} = \frac{11,3}{1000} = 11,3\text{ mA}$$

$$P_{Q1} = 8,7\text{ V} \times 11,3\text{ mA} = 98,3\text{ mW}$$

$$I_B = \frac{I_L}{\beta} = \frac{0,0113}{50} = 226\text{ }\mu\text{A}$$

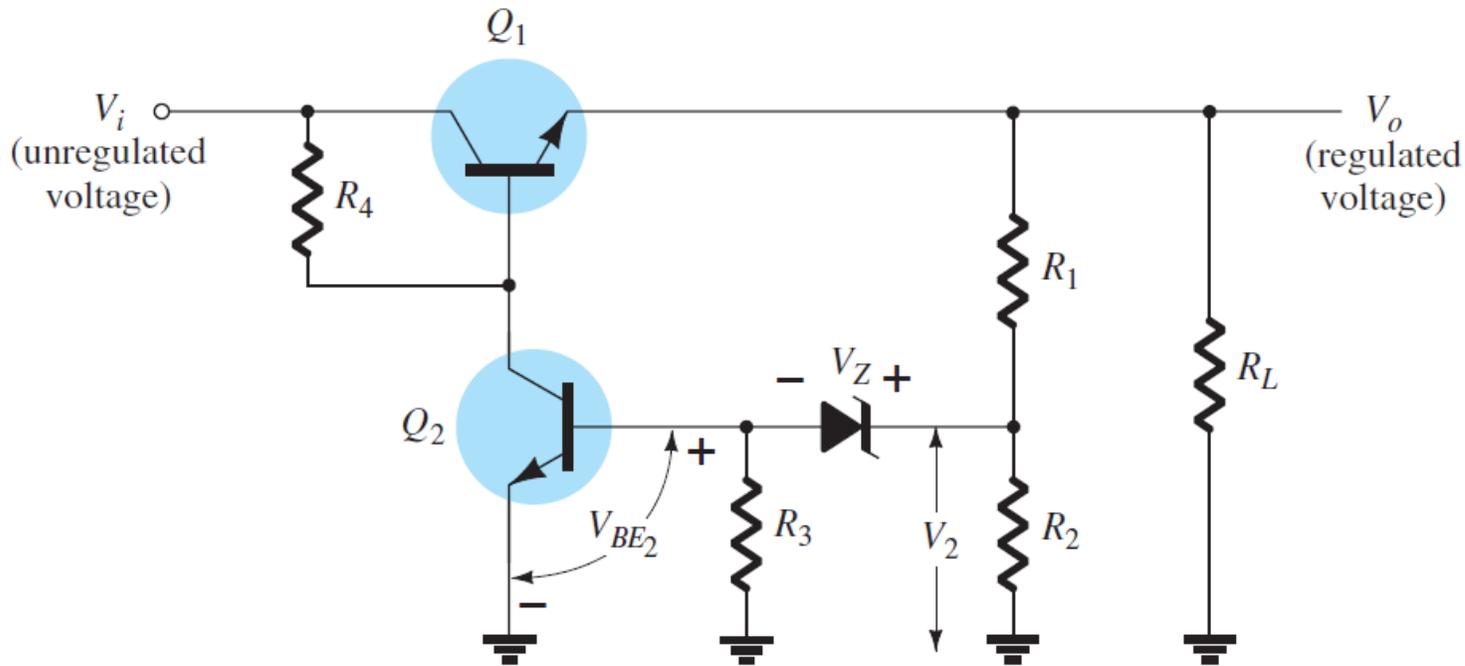
$$I_R = \frac{V_i - V_Z}{R} = \frac{20 - 12}{220} = 36,36\text{ mA}$$

$$I_Z = I_R - I_B = 0,03636 - 0,000226 = 36,1\text{ mA}$$

$$P_Z = 12\text{ V} \times 36,1\text{ mA} = 433,2\text{ mW}$$

# Circuito Regulador de Tensão

□ Circuito de regulação aperfeiçoado.



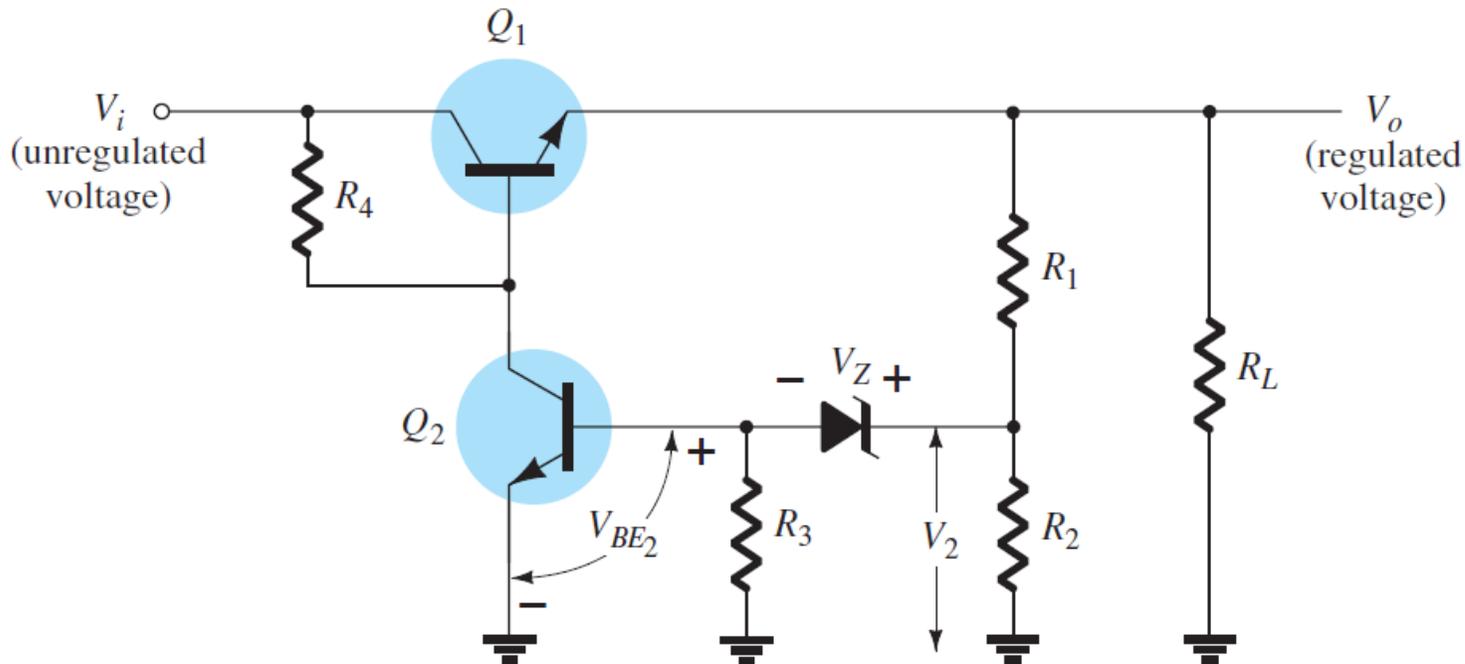
$$V_{BE_2} + V_Z = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_o$$

$$I_Z \ll I_{R_1}$$

$$V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_2} (V_{BE_2} + V_Z)$$

# Circuito Regulador de Tensão

Exemplo: Calcular a tensão de saída considerando  $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 30 \text{ k}\Omega$  e  $V_Z = 8.3 \text{ V}$ .

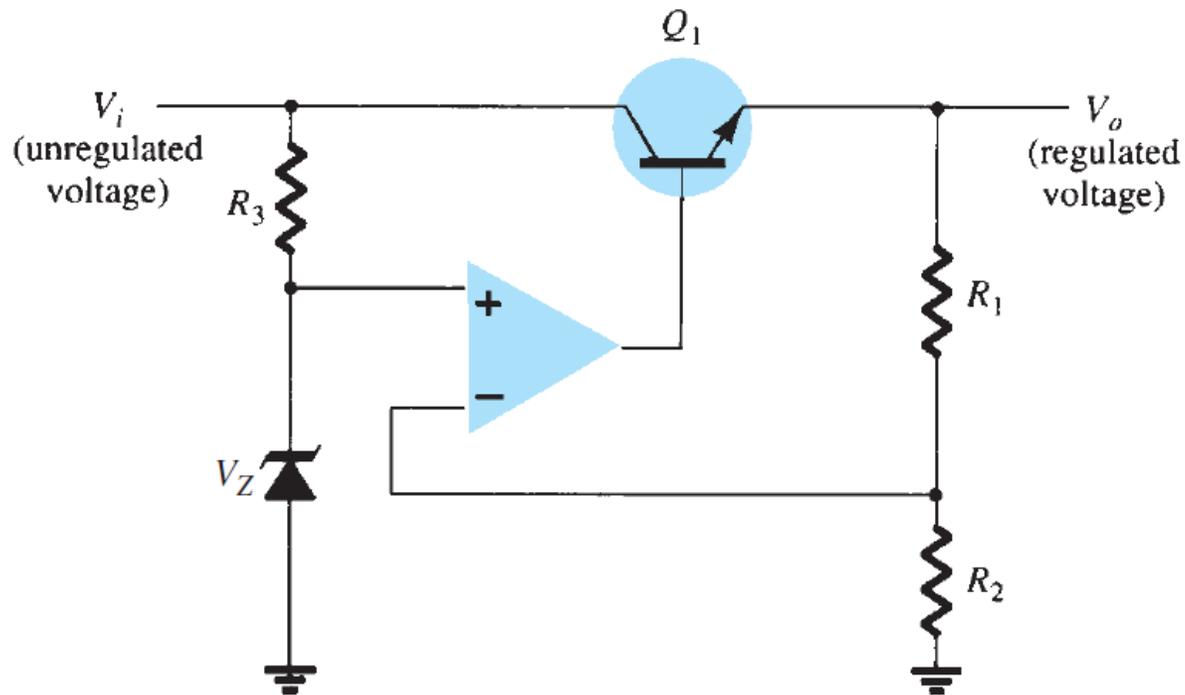


$$V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_2} (V_{BE_2} + V_Z)$$

$$V_o = \frac{20 \text{ k}\Omega + 30 \text{ k}\Omega}{30 \text{ k}\Omega} (0,7 + 8,3) = 15 \text{ V}$$

# Circuito Regulador de Tensão

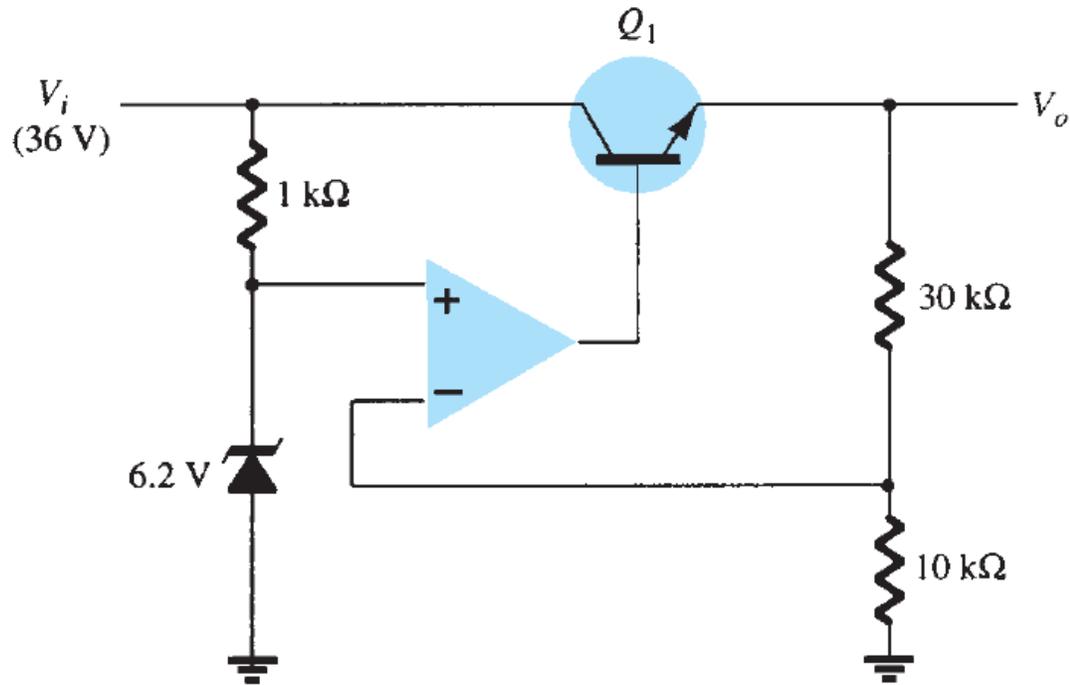
□ Circuito de regulação com amplificador operacional.



$$V_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_Z$$

# Circuito Regulador de Tensão

Exemplo: Calcular a tensão de saída do circuito abaixo.

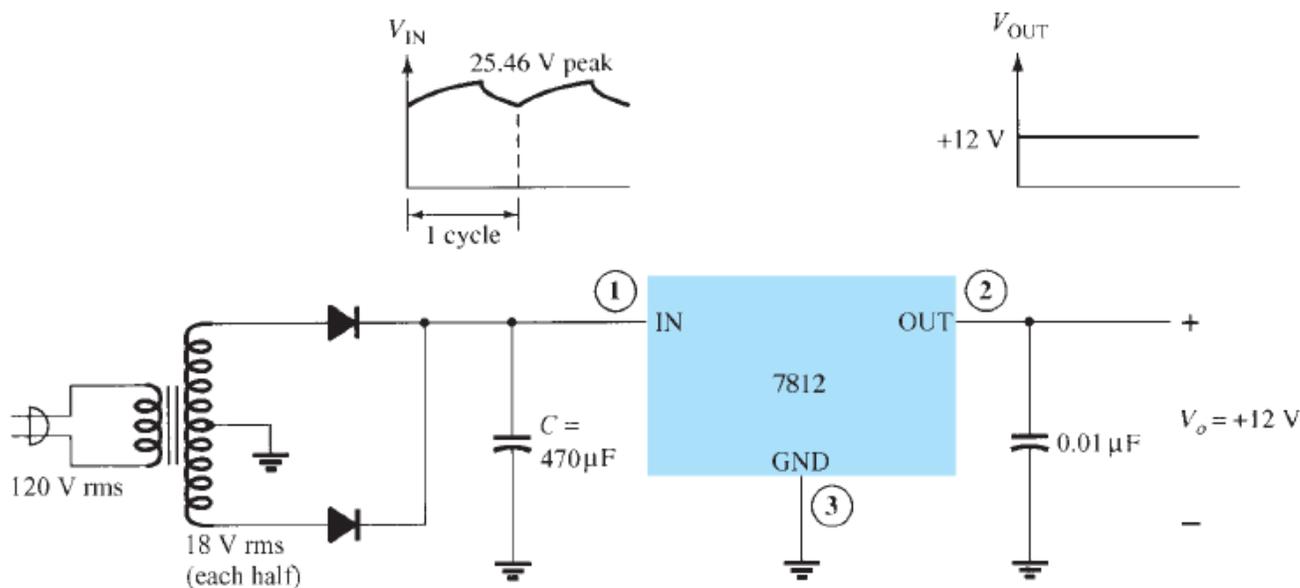


$$V_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) V_Z$$

$$V_o = \left(1 + \frac{30 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega}\right) 6,2 = 24,8 \text{ V}$$

# Circuito Regulador de Tensão

## □ Circuito Integrado de 3 terminais.



IC Part	Output Voltage (V)	Minimum $V_i$ (V)
7805	+5	7.3
7806	+6	8.3
7808	+8	10.5
7810	+10	12.5
7812	+12	14.6
7815	+15	17.7
7818	+18	21.0
7824	+24	27.1

Linha 78: Tensões positivas  
Linha 79: Tensões negativas

# Circuito Regulador de Tensão

- Exercício 1: Calcule o valor de  $V_{dc}$ ,  $I_{dc}$ ,  $V_r$  (rms),  $r$ ,  $\theta_c$ ,  $T_1$  e  $I_p$  para um retificador de onda completa em ponte alimentado por um transformador com tensão de secundário  $V_2 = 12 \text{ V rms}$  (60 Hz), conectado a um capacitor de filtro de  $4700 \mu\text{F}$  e uma carga  $R_L = 50 \Omega$ . Assumir  $V_D = 0,7 \text{ V}$ .

$$V_{dc} = 15,3 \text{ V}$$

$$\theta_c = 15,25^\circ$$

$$I_{dc} = 0,311 \text{ A}$$

$$T_1 = 352 \mu\text{s}$$

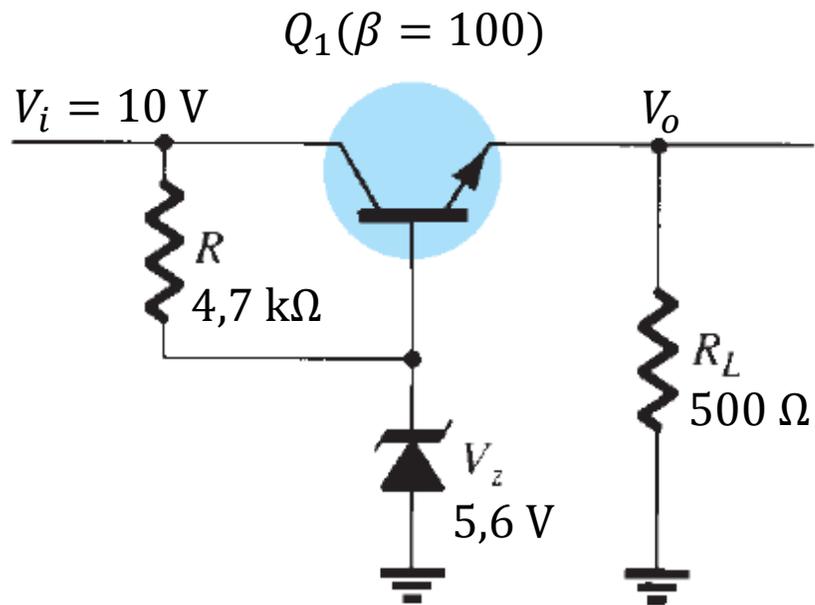
$$V_r(\text{rms}) = 0,159 \text{ V}$$

$$I_p = 7,3 \text{ A}$$

$$r = 10,4\%$$

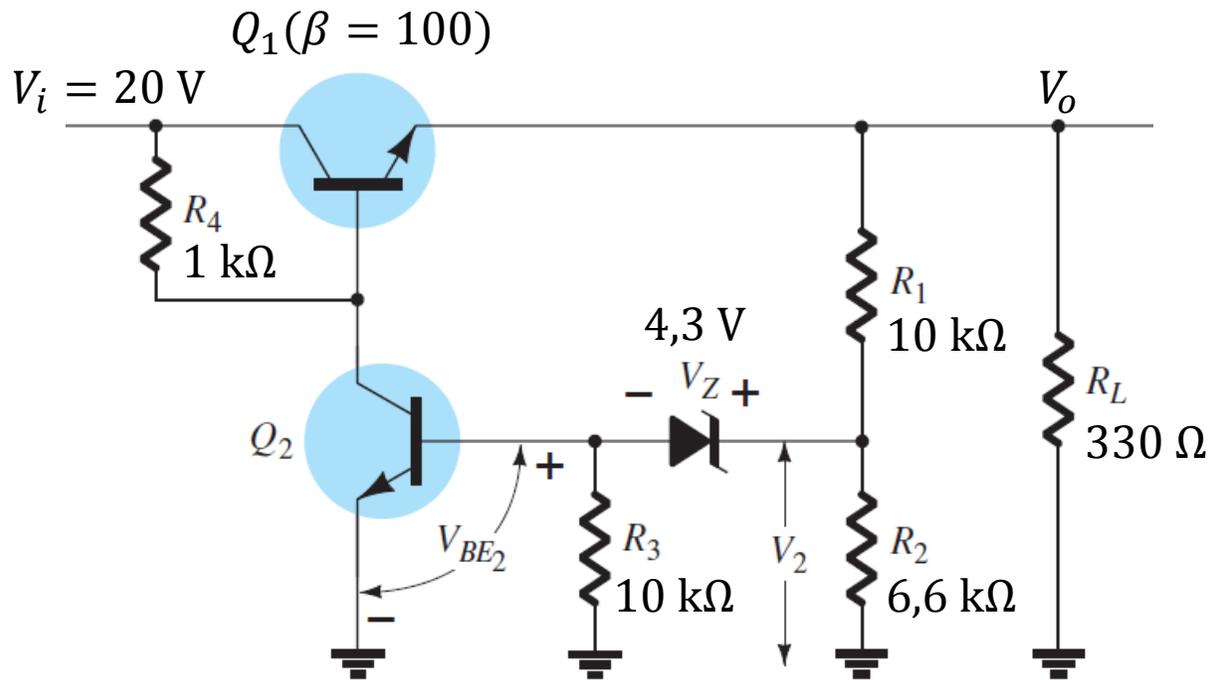
# Circuito Regulador de Tensão

- Exercício 2: Calcular a tensão de saída e as potências dissipadas por  $Q_1$  e pelo diodo Zener.



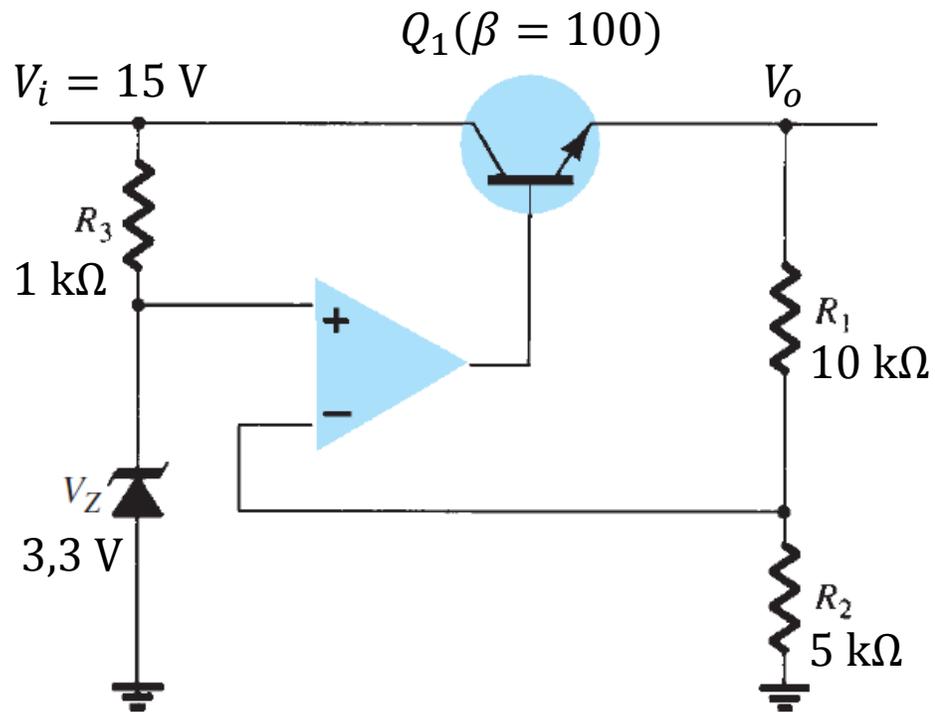
# Circuito Regulador de Tensão

Exercício 3: Determinar a tensão de saída do circuito abaixo.



# Circuito Regulador de Tensão

Exercício 4: Determinar a tensão de saída do circuito abaixo.



# Referências Bibliográficas

- ❑ Boylestad, Robert L.; Nashelsky, Louis “Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos”, 6 ed., Rio de Janeiro, LTC (1998).
- ❑ Boylestad, Robert L.; Nashelsky, Louis “Electronic Devices and Circuit Theory”, 11 ed., Boston, Pearson (2013).
- ❑ C. K. Alexander, e M. N. O. Sadiku, “Fundamentos de Circuitos Elétricos”, 5 ed., Porto Alegre, AMGH (2013).