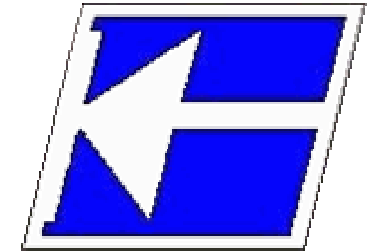


**Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina**

**Departamento de Eletrônica**

**Curso Superior de Sistemas Digitais**

**Retificadores**

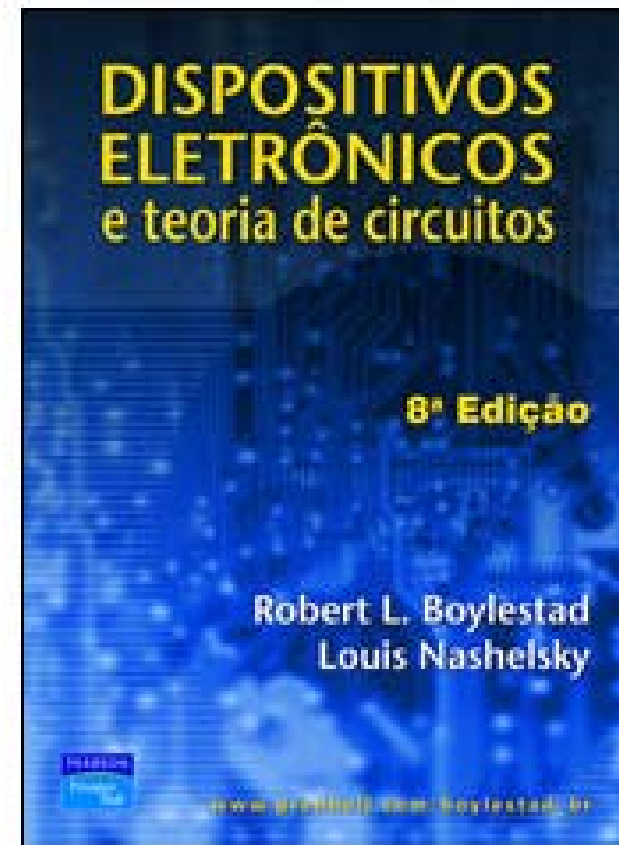
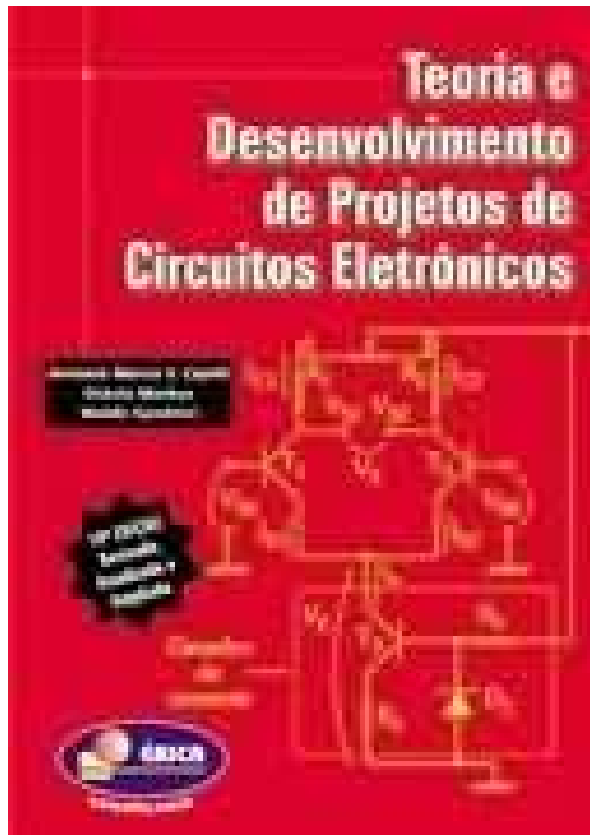


# **Filtros Capacitivos**

**Prof. Clóvis Antônio Petry.**

**Florianópolis, junho de 2007.**

# Bibliografia para esta aula



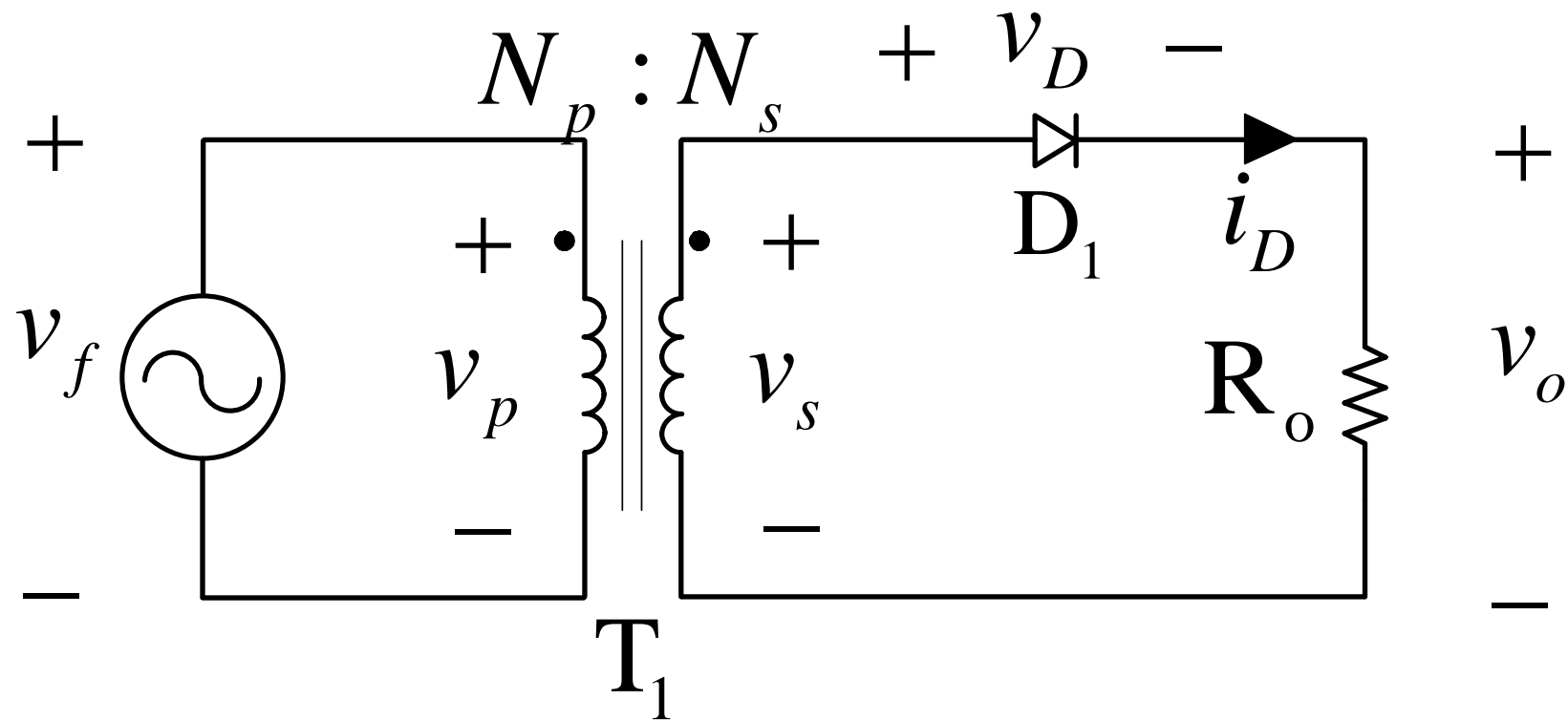
## Nesta aula

---

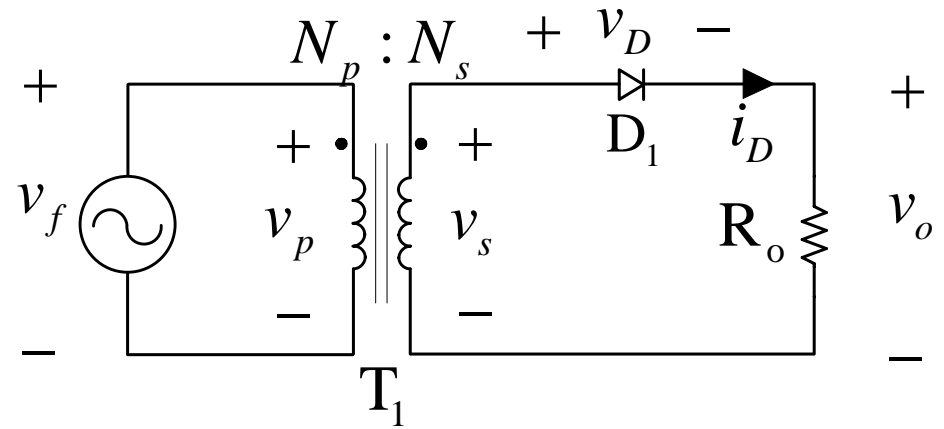
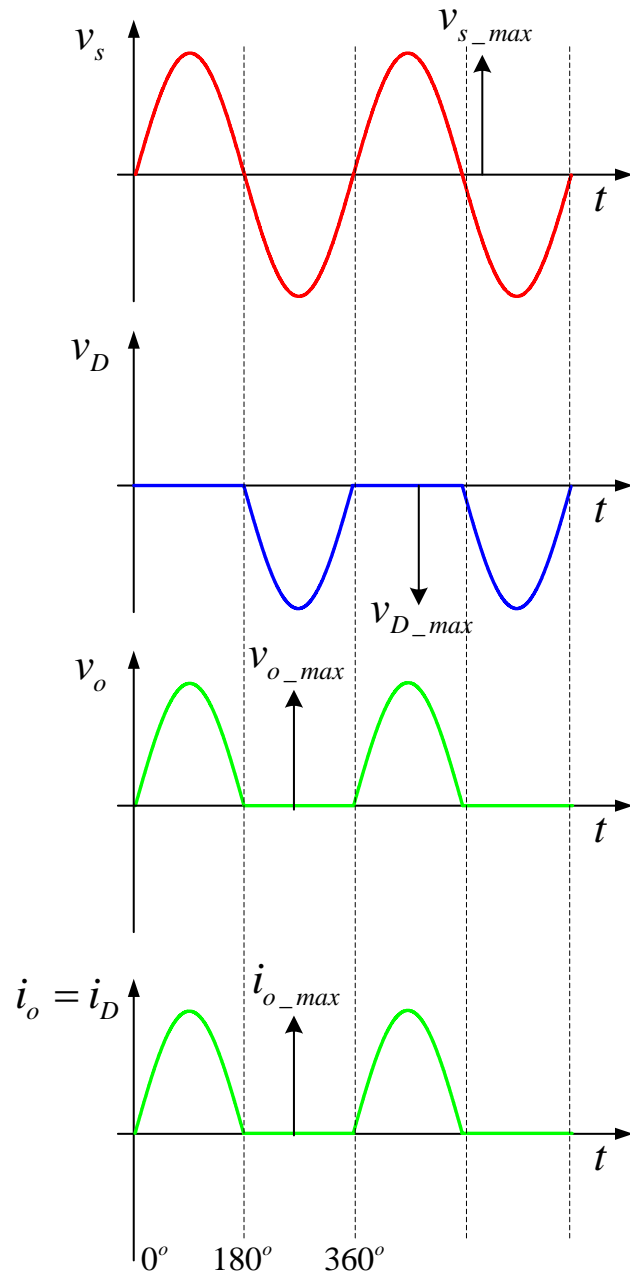
### **Seqüência de conteúdos:**

1. Resumo dos retificadores;
2. Fator de ripple;
3. Aproveitamento do transformador;
4. Regulação de um transformador;
5. Filtros capacitivos.

# Retificador de meia onda



# Retificador de meia onda

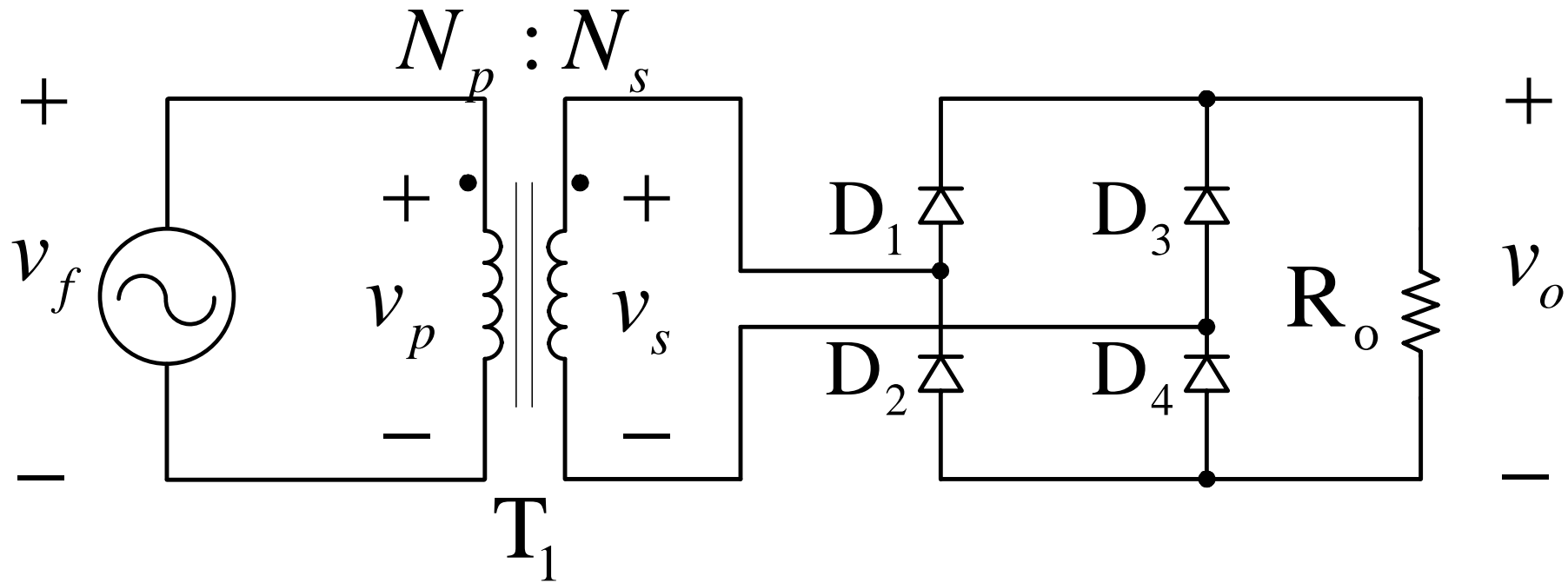


Tensão média na carga: 
$$V_{o\_DC} = \frac{V_{o\_max}}{\pi}$$

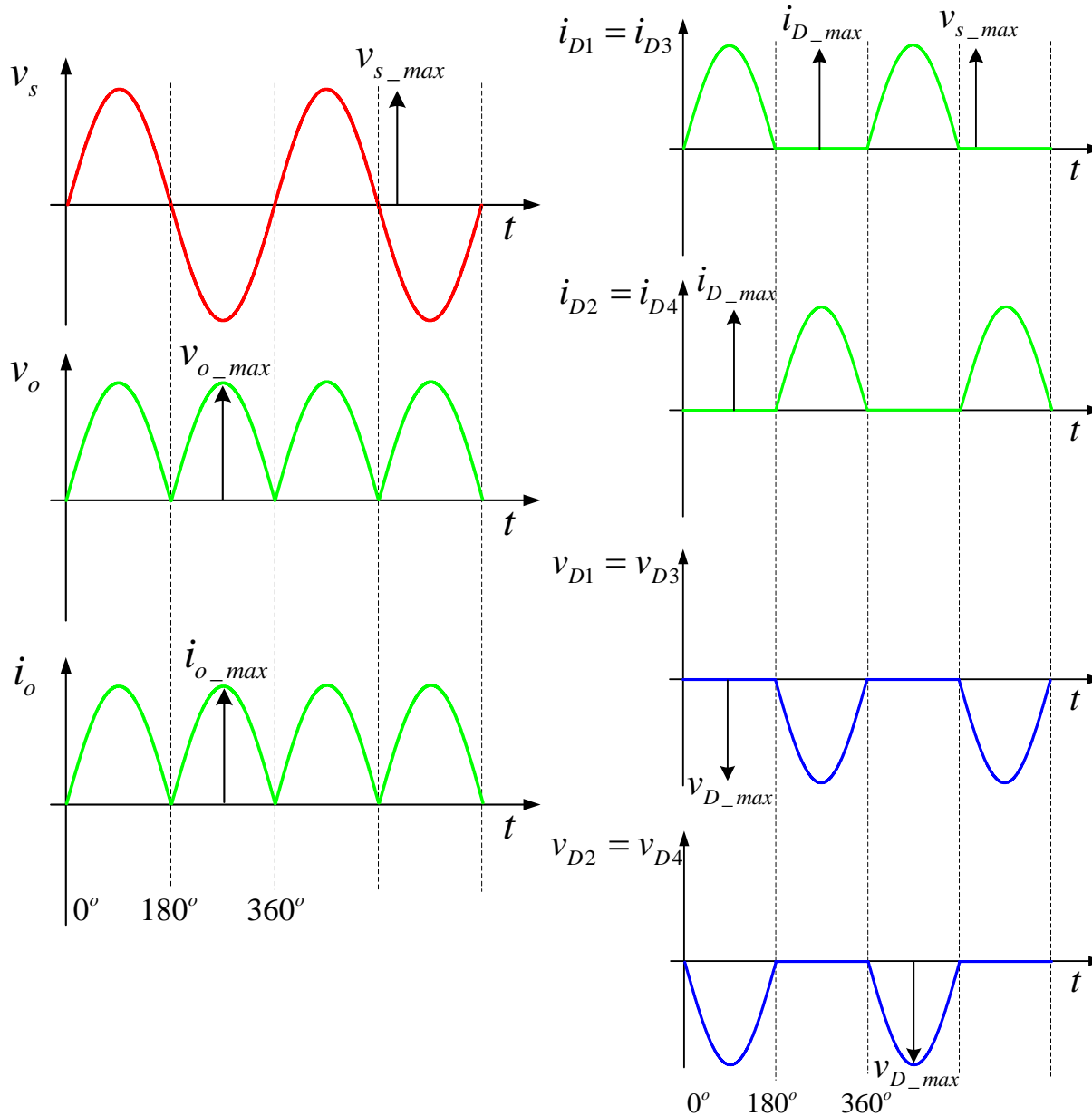
Corrente média na carga: 
$$I_{o\_DC} = \frac{I_{o\_max}}{\pi}$$

Tensão eficaz na carga: 
$$V_{o\_RMS} = \frac{V_{o\_max}}{2}$$

# Retificador de onda completa em ponte



# Retificador de onda completa em ponte



Na carga:

$$V_{o\_DC} = \frac{2 \cdot V_{o\_max}}{\pi}$$

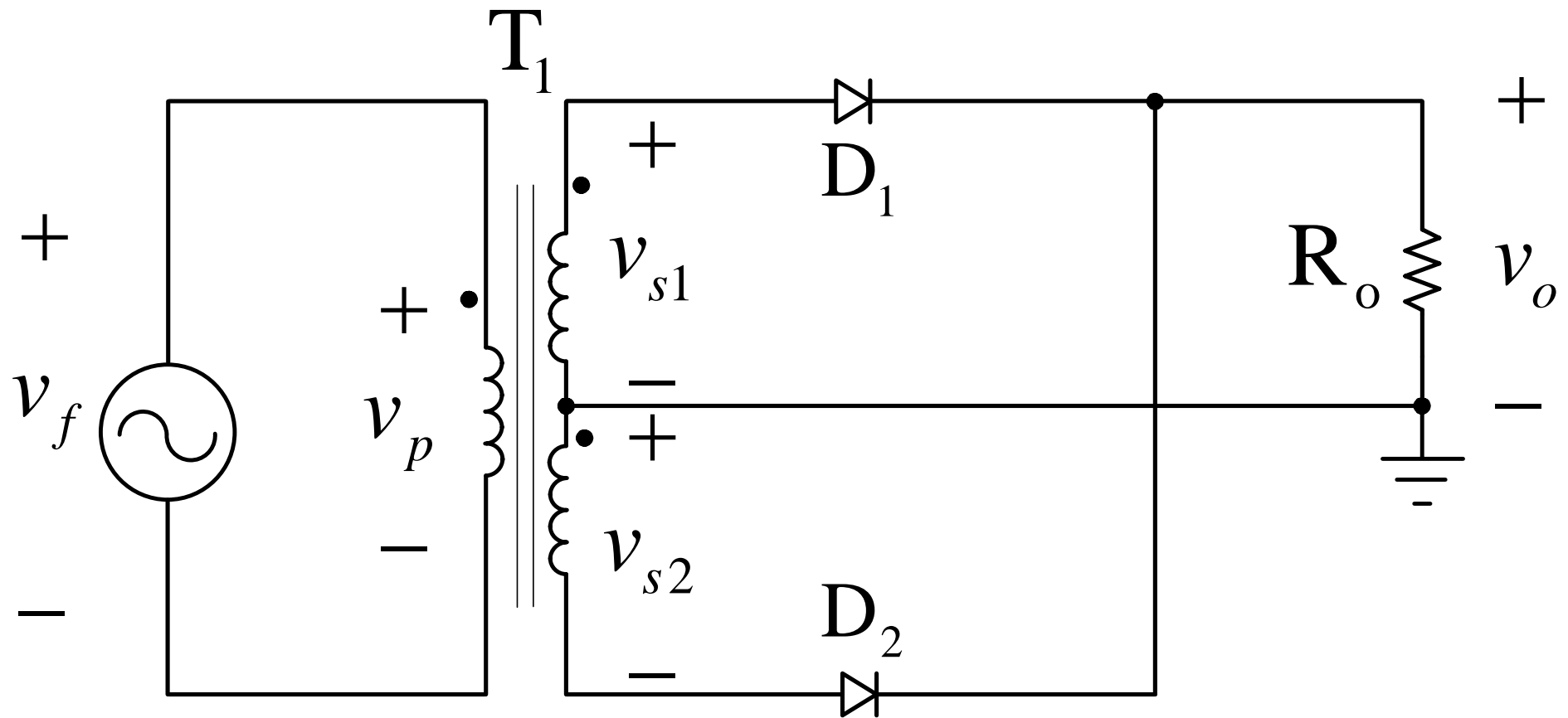
$$V_{o\_RMS} = \frac{V_{o\_max}}{\sqrt{2}}$$

Nos diodos:

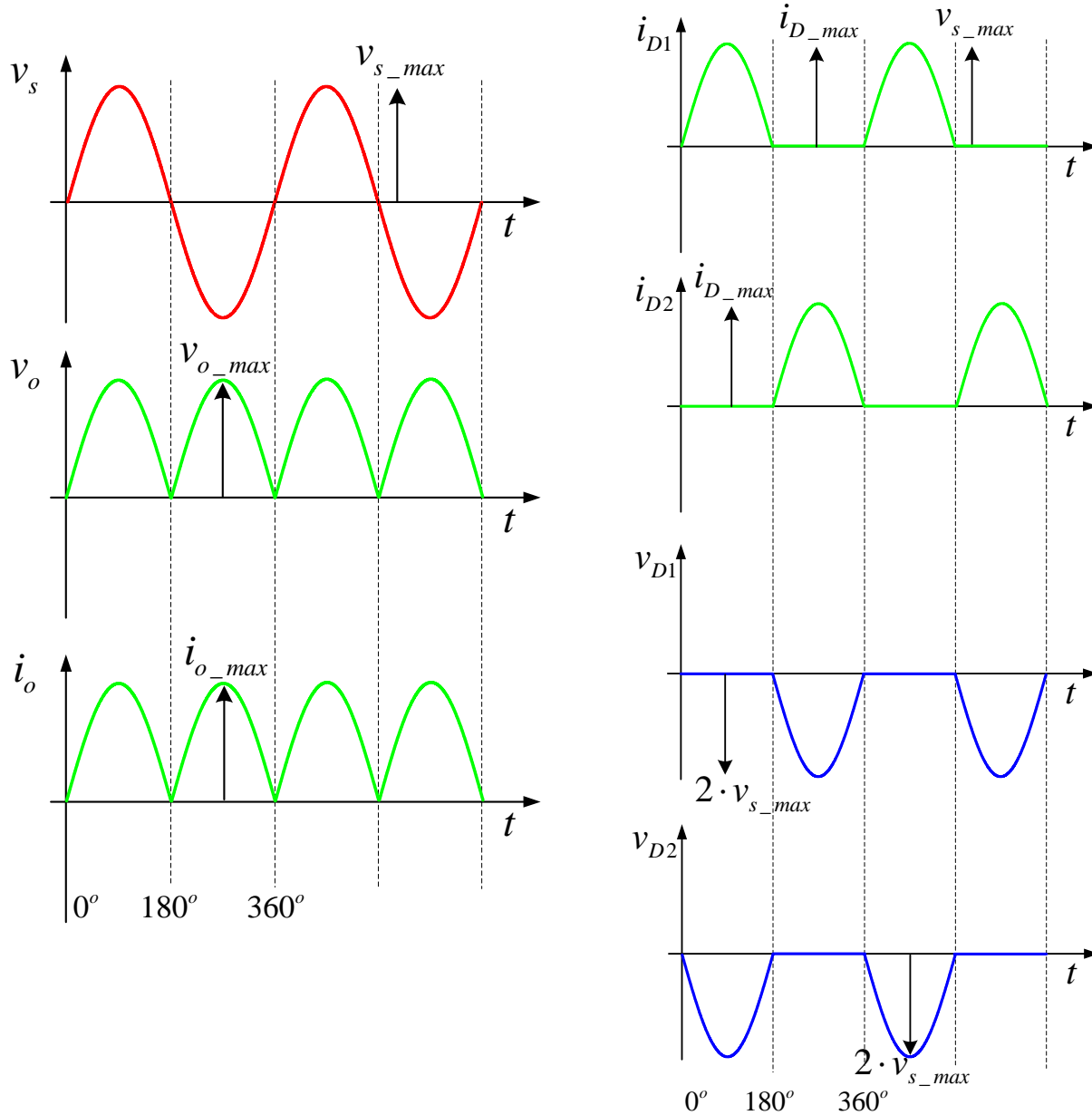
$$V_{D\_max} = v_{s\_max}$$

$$I_{D\_DC} = \frac{I_{o\_max}}{\pi}$$

# Retificador de onda completa com tap central



# Retificador de onda completa com tap central



Na carga:

$$V_{o\_DC} = \frac{2 \cdot V_{o\_max}}{\pi}$$

$$V_{o\_RMS} = \frac{V_{o\_max}}{\sqrt{2}}$$

Nos diodos:

$$v_{D\_max} = 2 \cdot v_{s\_max}$$

$$I_{D\_DC} = \frac{I_{o\_max}}{\pi}$$

# Fator de ripple

**Fator de ripple ou de ondulação de tensão na carga:**

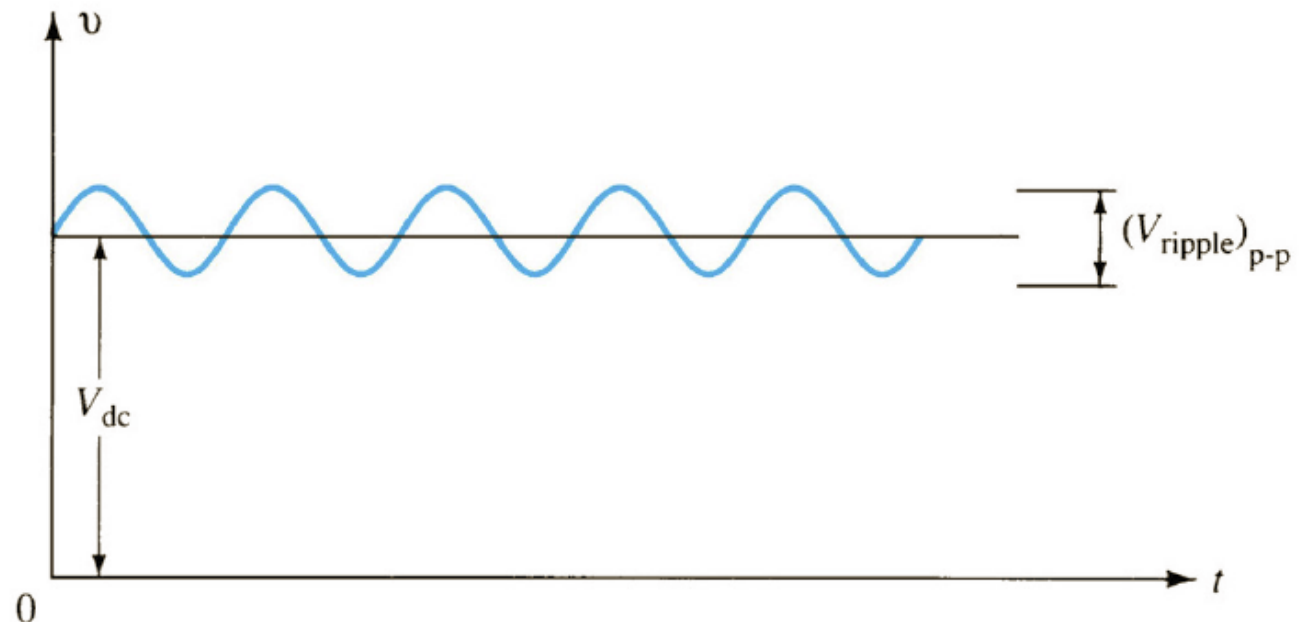
- Definido como:

$$r = \frac{\text{Valor eficaz da ondulação na saída}}{\text{Valor médio da tensão de saída}} \cdot 100\%$$

$$r = \frac{V_{o\_rms}}{V_{o\_DC}} \cdot 100\%$$

$V_{o\_rms}$

Apenas da componente  
alternada



# Fator de ripple

Retificador de meia onda:

$$v_{o\_DC} = 0,318 \cdot v_{o\_max}$$

$$v_{o\_RMS} = 0,385 \cdot v_{o\_max}$$

$$r = \frac{v_{o\_rms}}{v_{o\_DC}} \cdot 100\% = \frac{0,385 \cdot v_{o\_max}}{0,318 \cdot v_{o\_max}} \cdot 100\%$$

$$r = 121\%$$

# Fator de ripple

Retificador de onda completa (ponte ou tap central):

$$v_{o\_DC} = 0,636 \cdot v_{o\_max}$$

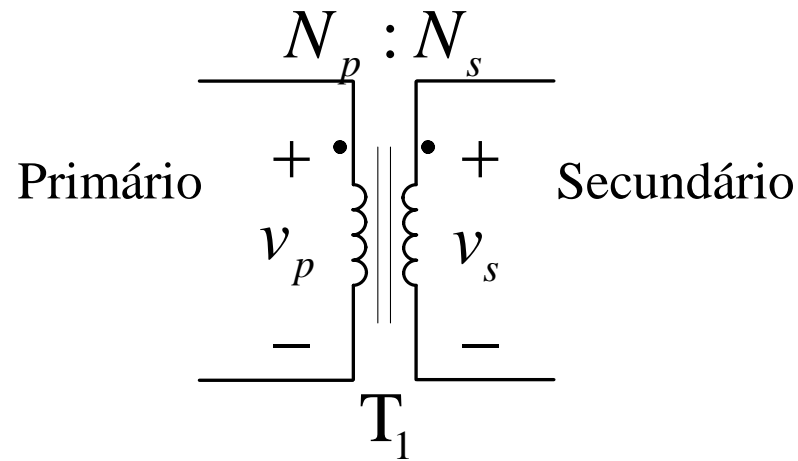
$$v_{o\_RMS} = 0,308 \cdot v_{o\_max}$$

$$r = \frac{v_{o\_rms}}{v_{o\_DC}} \cdot 100\% = \frac{0,308 \cdot v_{o\_max}}{0,636 \cdot v_{o\_max}} \cdot 100\%$$

$$r = 48\%$$

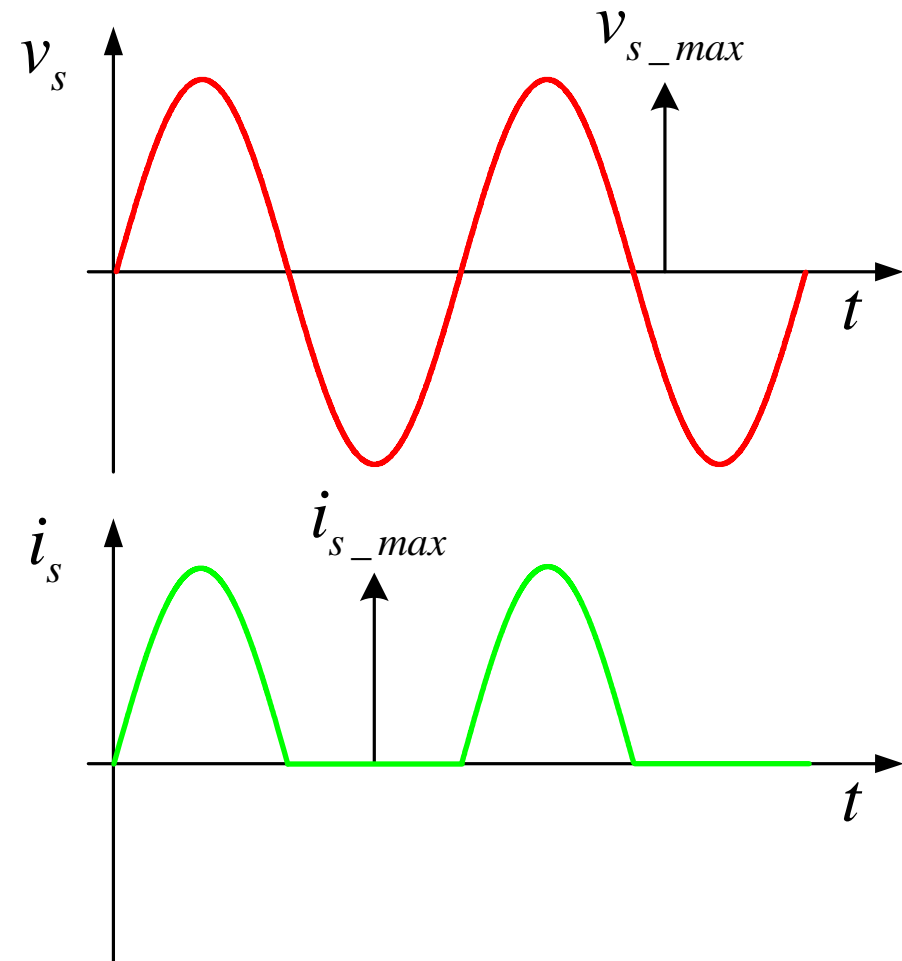
# Aproveitamento do transformador

Retificador de meia onda – no transformador:



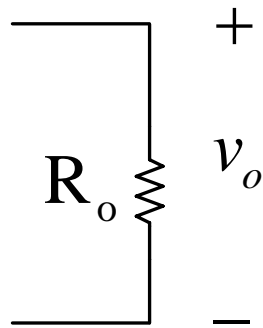
$$v_{s\_ef} = \frac{v_{s\_max}}{\sqrt{2}}$$

$$i_{s\_ef} = \frac{i_{s\_max}}{2}$$



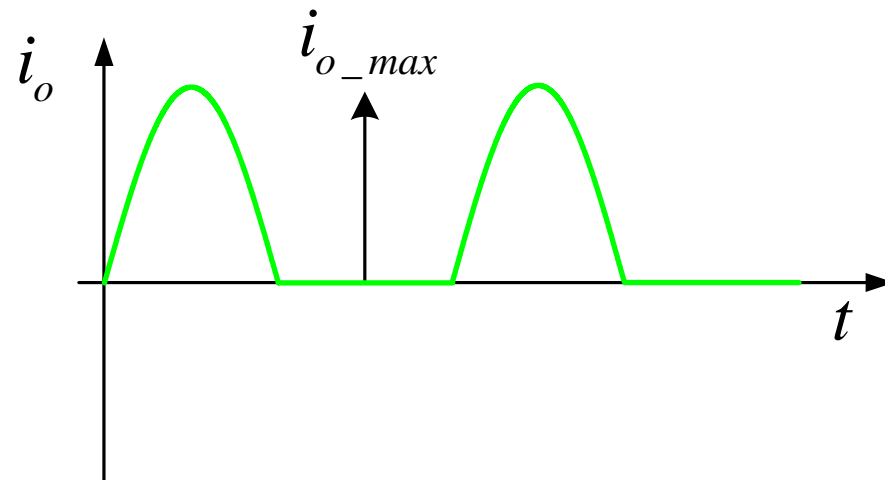
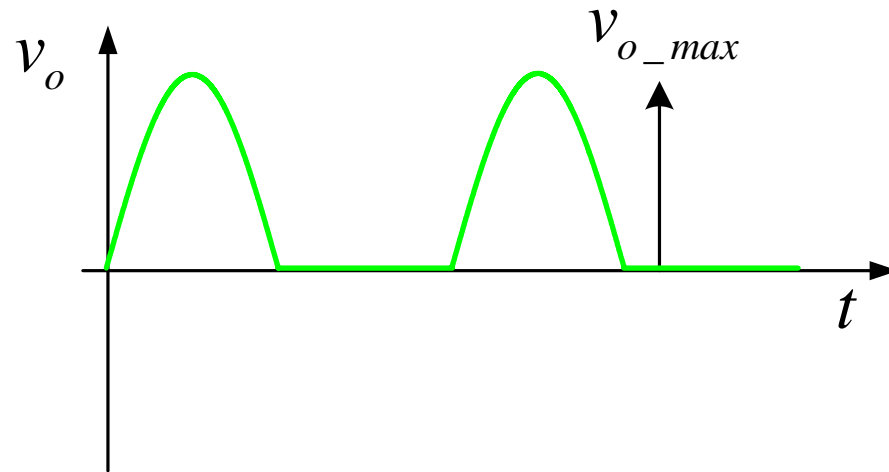
# Aproveitamento do transformador

Retificador de meia onda – na carga:



$$V_{o\_DC} = \frac{V_{o\_max}}{\pi}$$

$$i_{o\_DC} = \frac{i_{o\_max}}{\pi}$$



# Aproveitamento do transformador

Retificador de meia onda – potências:

Em tensões alternadas:

$$P_s = v_{s\_ef} \cdot i_{s\_ef}$$

$$P_s = \frac{v_{s\_max}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{i_{s\_max}}{2}$$

$$P_s = 0,3536 \cdot v_{s\_max} \cdot i_{s\_max}$$



No transformador

Em tensões contínuas:

$$P_o = v_{o\_DC} \cdot i_{o\_DC}$$

$$P_o = \frac{v_{o\_max}}{\pi} \cdot \frac{i_{o\_max}}{\pi}$$

$$P_o = 0,1013 \cdot v_{o\_max} \cdot i_{o\_max}$$



Na carga

# Aproveitamento do transformador

Retificador de meia onda – relação entre potência do transformador e na carga:

$$\frac{P_s}{P_o} = \frac{0,3536 \cdot v_{s\_max} \cdot i_{s\_max}}{0,1013 \cdot v_{o\_max} \cdot i_{o\_max}}$$

Considerando os diodos ideais:

$$v_{o\_max} = v_{s\_max}$$

$$i_{o\_max} = i_{s\_max}$$

$$\frac{P_s}{P_o} = \frac{0,3536}{0,1013}$$

Relação das potências

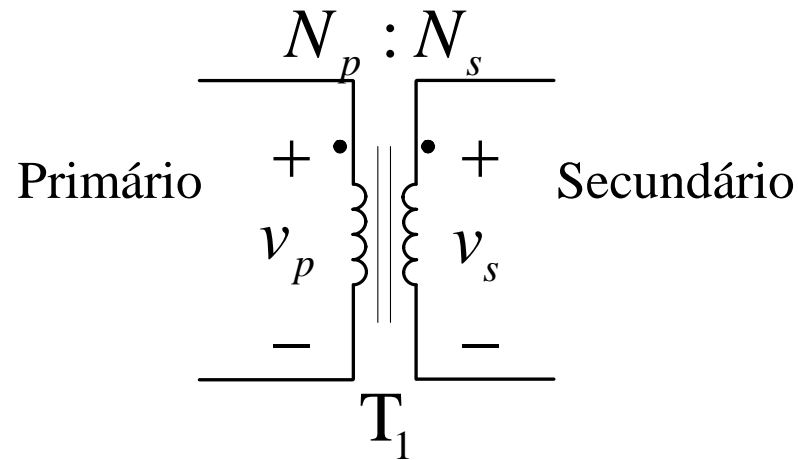


$$\frac{P_s}{P_o} = 3,49$$

$$P_s = P_o \cdot 3,49$$

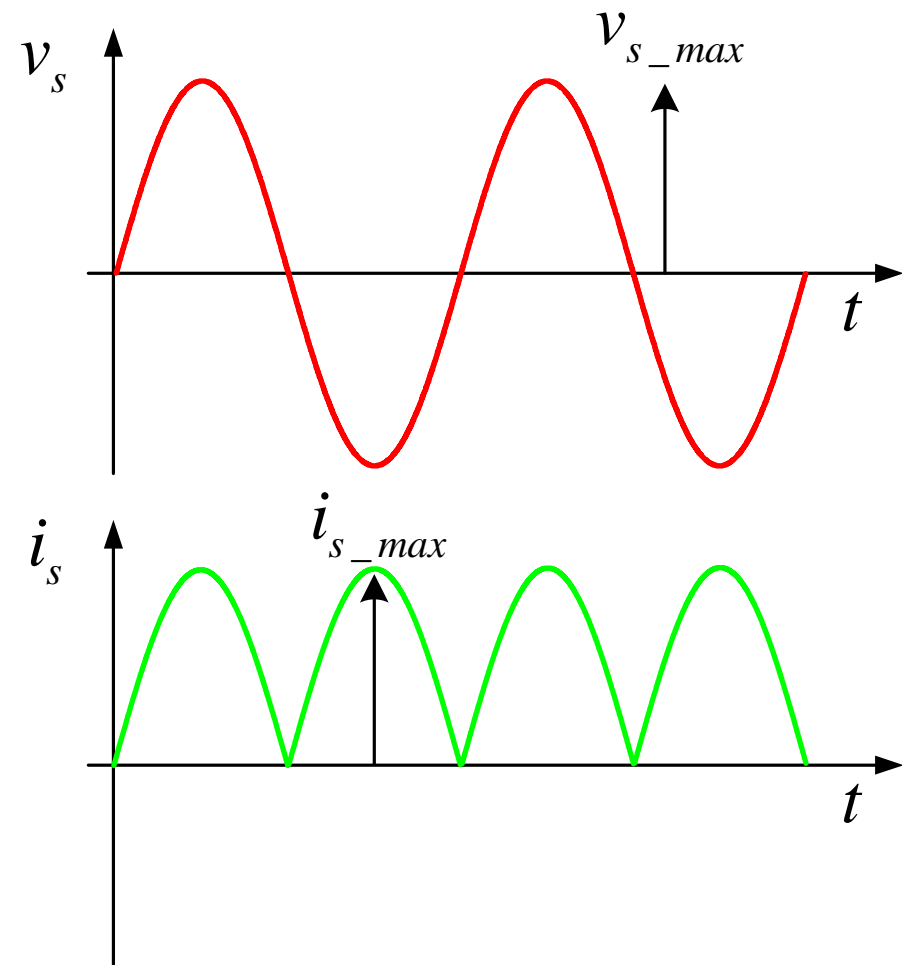
# Aproveitamento do transformador

Retificador de onda completa em ponte – no transformador:



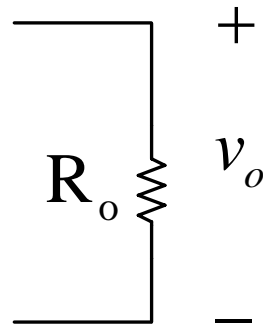
$$v_{s\_ef} = \frac{v_{s\_max}}{\sqrt{2}}$$

$$i_{s\_ef} = \frac{i_{s\_max}}{\sqrt{2}}$$



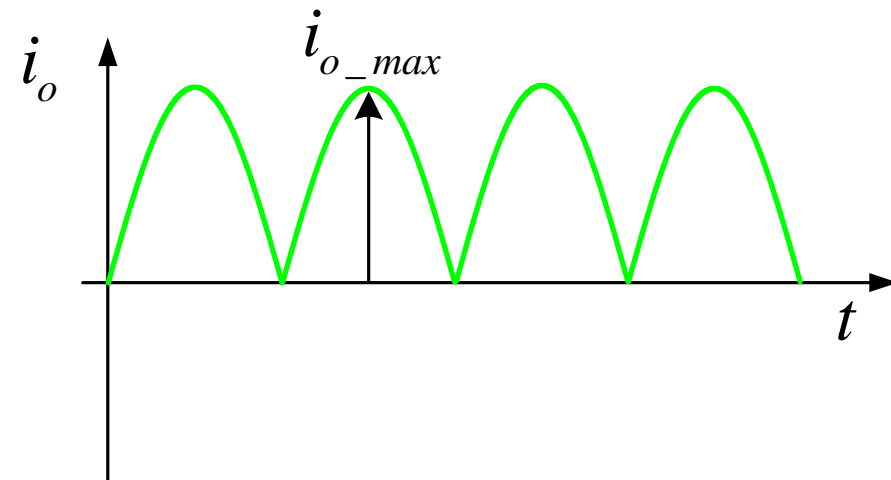
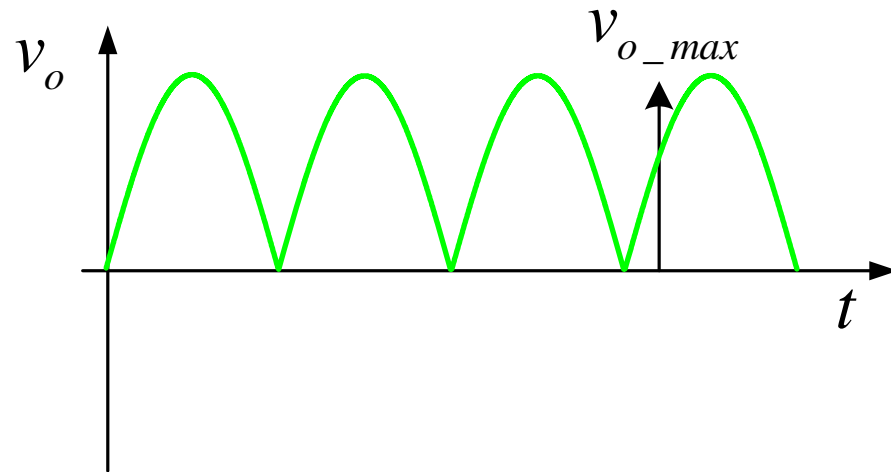
# Aproveitamento do transformador

Retificador de onda completa em ponte – na carga:



$$v_{o\_DC} = \frac{2 \cdot v_{o\_max}}{\pi}$$

$$i_{o\_DC} = \frac{2 \cdot i_{o\_max}}{\pi}$$



# Aproveitamento do transformador

Retificador de onda completa em ponte – potências:

Em tensões alternadas:

$$P_s = v_{s\_ef} \cdot i_{s\_ef}$$

$$P_s = \frac{v_{s\_max}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{i_{s\_max}}{\sqrt{2}}$$

$$P_s = 0,5 \cdot v_{s\_max} \cdot i_{s\_max}$$



No transformador

Em tensões contínuas:

$$P_o = v_{o\_DC} \cdot i_{o\_DC}$$

$$P_o = \frac{2 \cdot v_{o\_max}}{\pi} \cdot \frac{2 \cdot i_{o\_max}}{\pi}$$

$$P_o = 0,4053 \cdot v_{o\_max} \cdot i_{o\_max}$$



Na carga

# Aproveitamento do transformador

Retificador de onda completa em ponte – relação entre potência do transformador e na carga:

$$\frac{P_s}{P_o} = \frac{0,5 \cdot v_{s\_max} \cdot i_{s\_max}}{0,4053 \cdot v_{o\_max} \cdot i_{o\_max}}$$

Relação das potências



Considerando os diodos ideais:

$$v_{o\_max} = v_{s\_max}$$

$$i_{o\_max} = i_{s\_max}$$

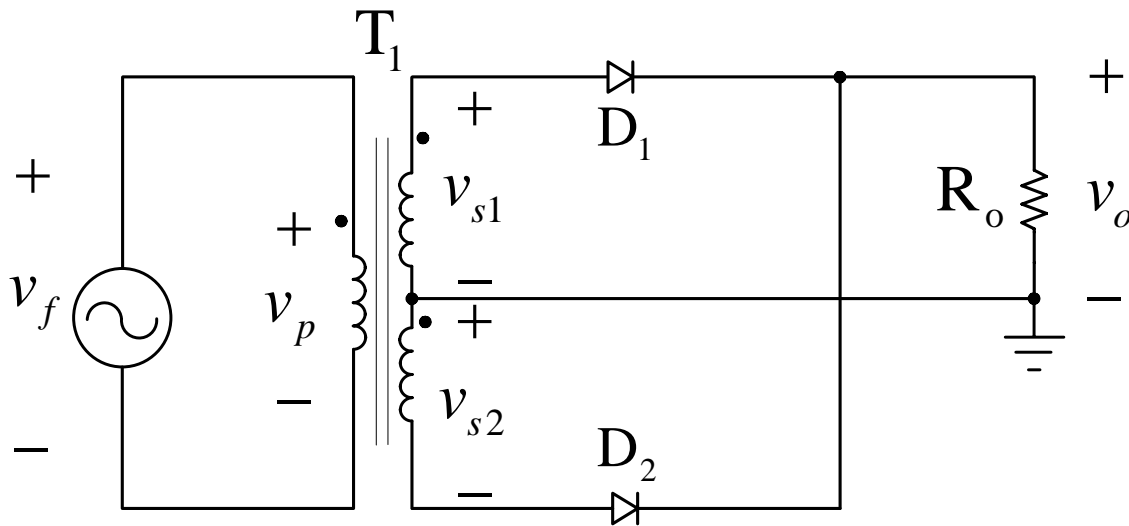
$$\frac{P_s}{P_o} = \frac{0,5}{0,4053}$$

$$\frac{P_s}{P_o} = 1,23$$

$$P_s = P_o \cdot 1,23$$

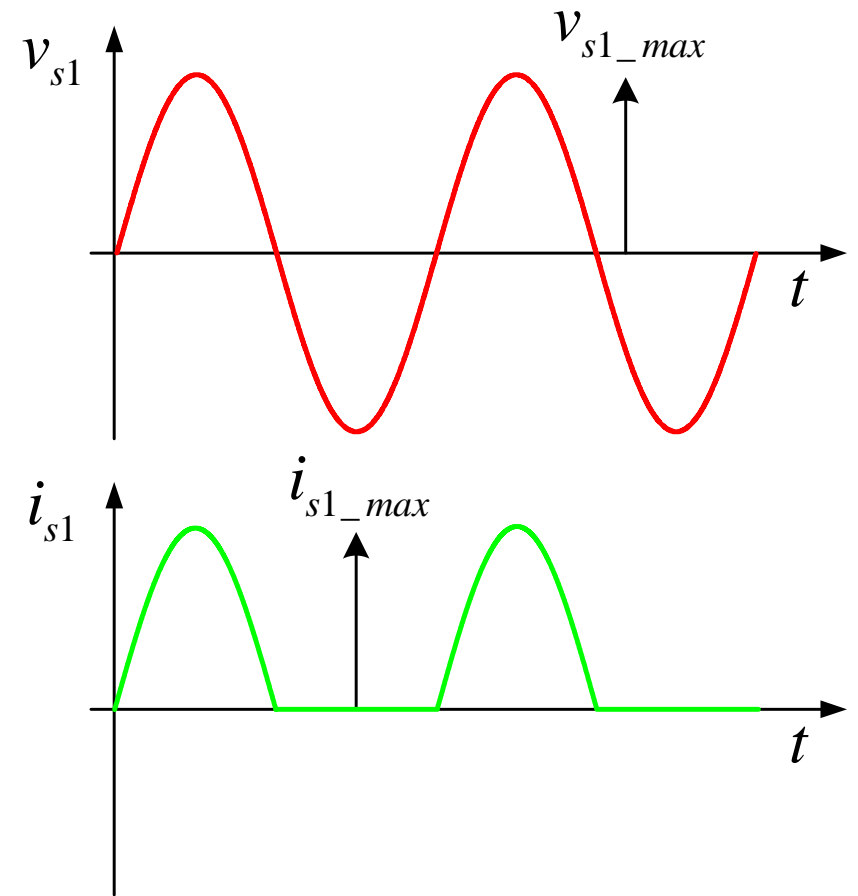
# Aproveitamento do transformador

Retificador de onda completa em com tap central – no transformador:



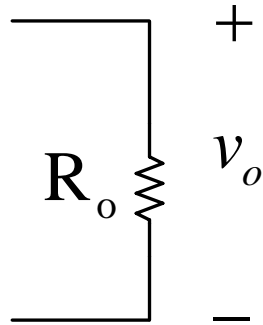
$$v_{s1\_ef} = \frac{v_{s\_max}}{\sqrt{2}}$$

$$i_{s2\_ef} = \frac{i_{s\_max}}{2}$$



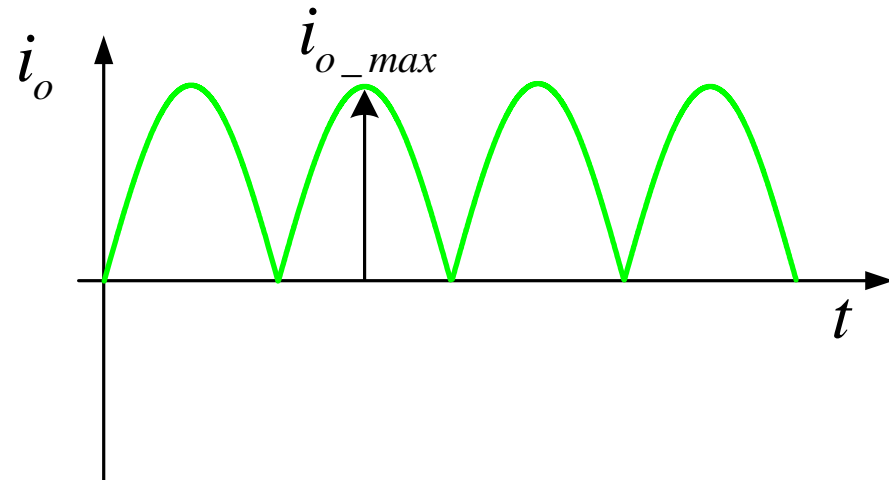
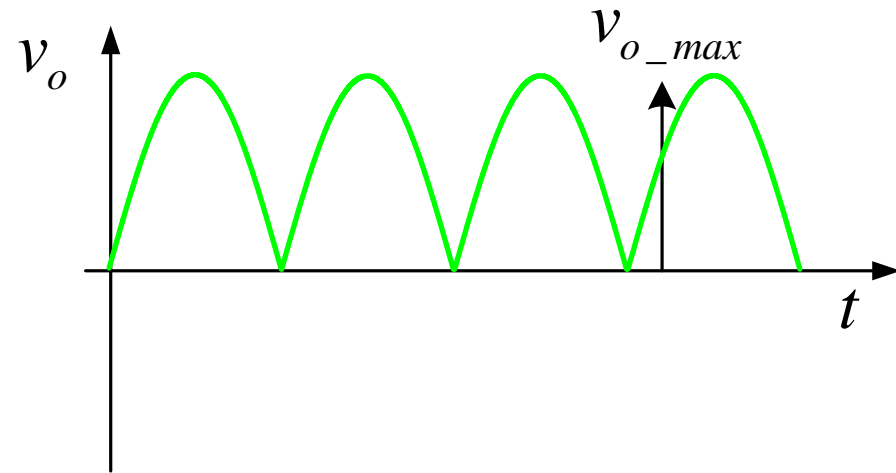
# Aproveitamento do transformador

Retificador de onda completa em com tap central – na carga:



$$v_{o\_DC} = \frac{2 \cdot v_{o\_max}}{\pi}$$

$$i_{o\_DC} = \frac{2 \cdot i_{o\_max}}{\pi}$$



# Aproveitamento do transformador

Retificador de onda completa com tap central – potências:

Em tensões alternadas:

$$P_{s1} = v_{s1\_ef} \cdot i_{s1\_ef}$$

$$P_{s1} = \frac{v_{s1\_max}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{i_{s1\_max}}{2}$$

$$P_{s1} = 0,3536 \cdot v_{s1\_max} \cdot i_{s1\_max}$$



No transformador

Em tensões contínuas:

$$P_o = v_{o\_DC} \cdot i_{o\_DC}$$

$$P_o = \frac{2 \cdot v_{o\_max}}{\pi} \cdot \frac{2 \cdot i_{o\_max}}{\pi}$$

$$P_o = 0,4053 \cdot v_{o\_max} \cdot i_{o\_max}$$



Na carga

# Aproveitamento do transformador

Retificador de onda completa com tap central – relação entre potência do transformador e na carga:

$$P_s = 2 \cdot P_{s1}$$

$$\frac{P_s}{P_o} = \frac{2 \cdot 0,3536 \cdot v_{s\_max} \cdot i_{s\_max}}{0,4053 \cdot v_{o\_max} \cdot i_{o\_max}}$$

Considerando os diodos ideais:

$$v_{o\_max} = v_{s\_max}$$

$$i_{o\_max} = i_{s\_max}$$

$$\frac{P_s}{P_o} = \frac{0,7071}{0,4053}$$

Relação das potências



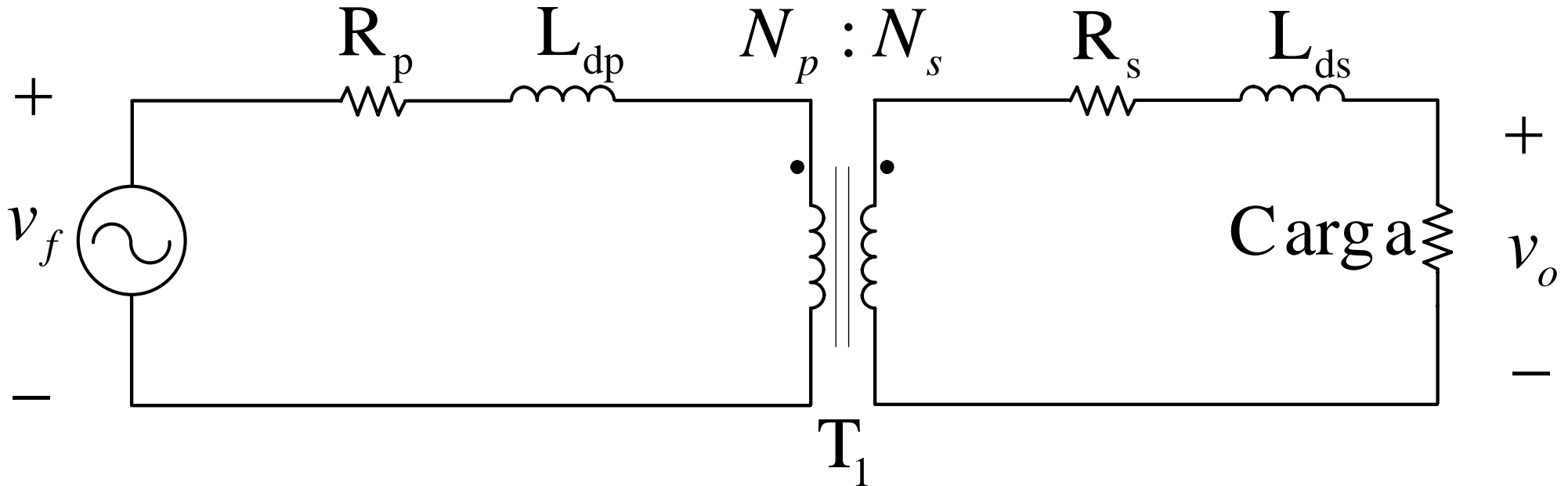
$$\frac{P_s}{P_o} = 1,75$$

$$P_s = P_o \cdot 1,75$$

# Resumo do comportamento dos retificadores

Grandeza	Meia onda	Onda completa (tap central)	Onda completa (ponte)
Tensão média na carga $v_{o\_DC}$	$\frac{v_{max}}{\pi}$	$\frac{2 \cdot v_{max}}{\pi}$	$\frac{2 \cdot v_{max}}{\pi}$
Tensão eficaz na carga $v_{o\_ef}$	$\frac{v_{max}}{2}$	$\frac{v_{max}}{\sqrt{2}}$	$\frac{v_{max}}{\sqrt{2}}$
Tensão reversa nos diodos $V_{RRM}$	$v_{max}$	$2 \cdot v_{max}$	$v_{max}$
Fator de ripple $r$	120%	48%	48%
Capacidade do transformador	$3,49 \cdot P_o$	$1,75 \cdot P_o$	$1,23 \cdot P_o$

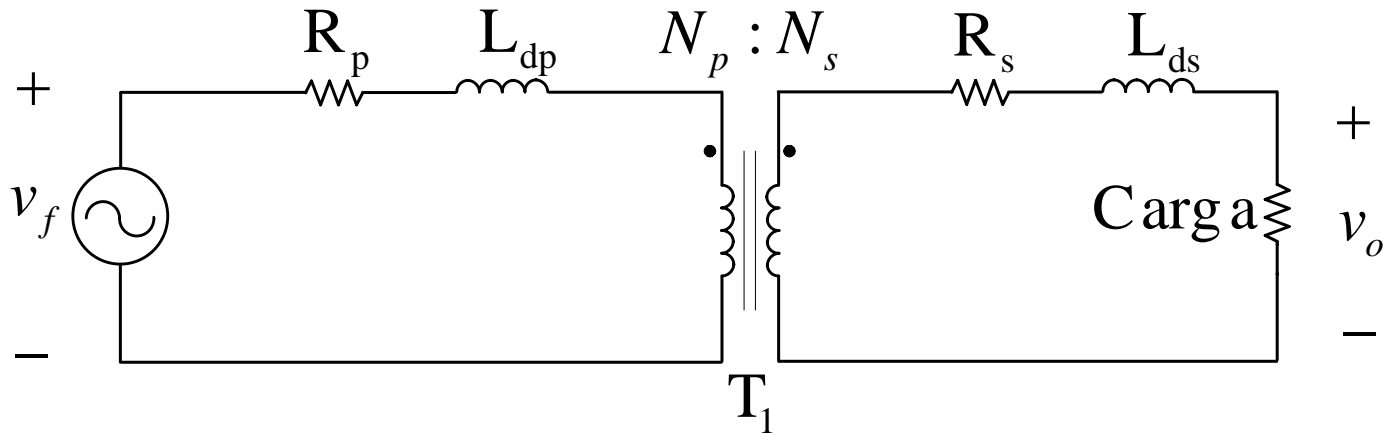
# Regulação de um transformador



Com carga, a tensão de saída de um transformador é diferente do que na situação em aberto, ou seja, a vazio.

$$\text{Regulação} = \frac{\text{tensão sem carga} - \text{tensão com carga nominal}}{\text{tensão com carga nominal}}$$

# Regulação de um transformador



$$\%VR = \frac{V_{vazio} - V_{carga}}{V_{carga}} \cdot 100\%$$

Exemplo:

$$V_{vazio} = 14V$$

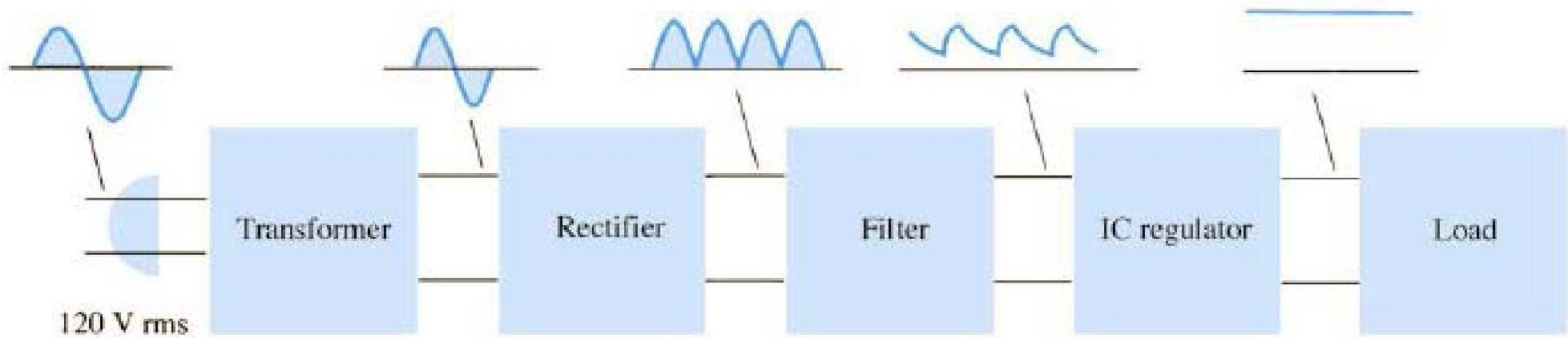
$$V_{carga} = 12V$$

$$\%VR = \frac{V_{vazio} - V_{carga}}{V_{carga}} \cdot 100\% = \frac{14 - 12}{12} \cdot 100\%$$

$$\%VR = 16,7\%$$

# Filtragem com capacitor

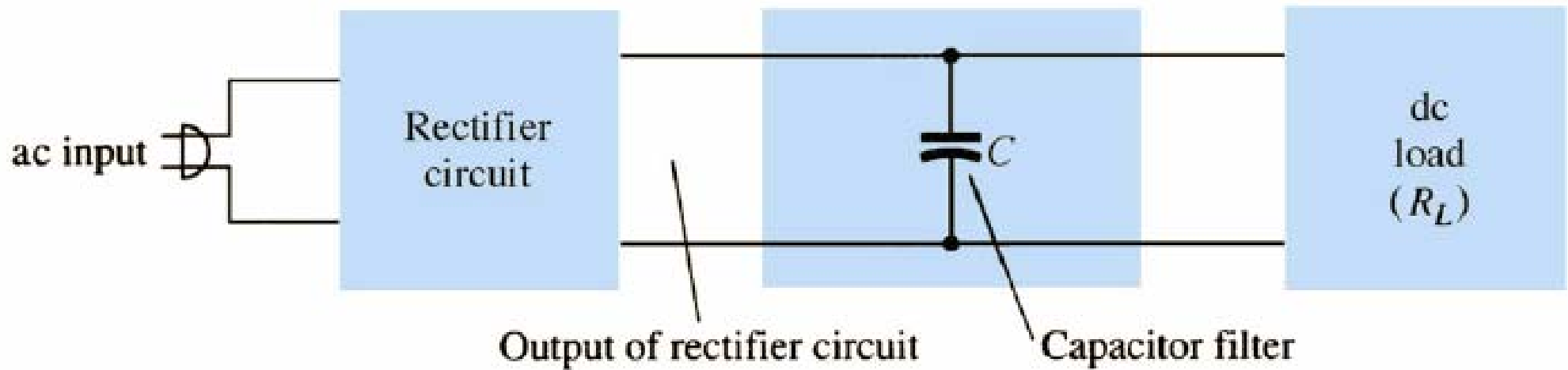
Diagrama de blocos de uma fonte linear:



Etapa em estudo

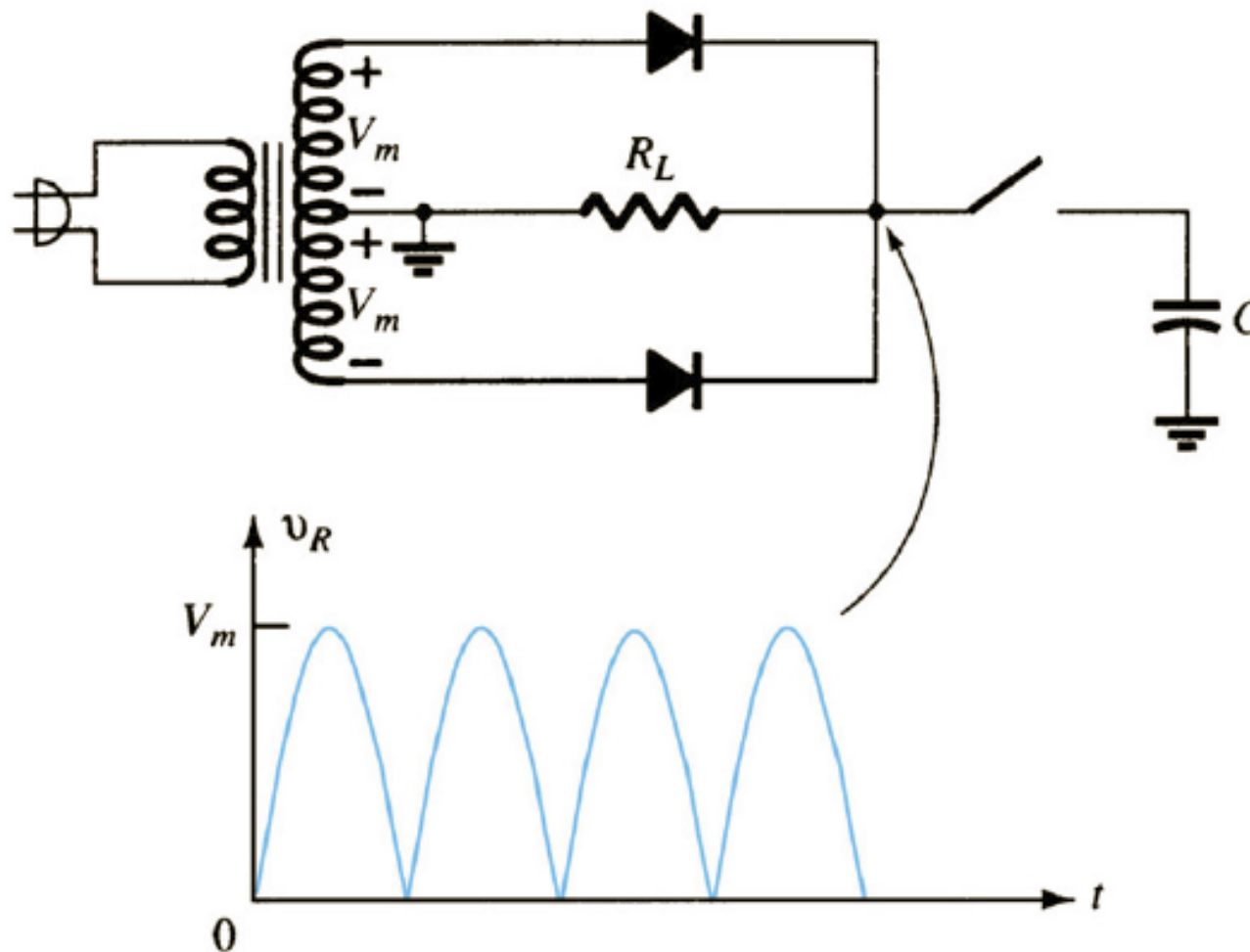
# Filtragem com capacitor

Filtro com um único capacitor:



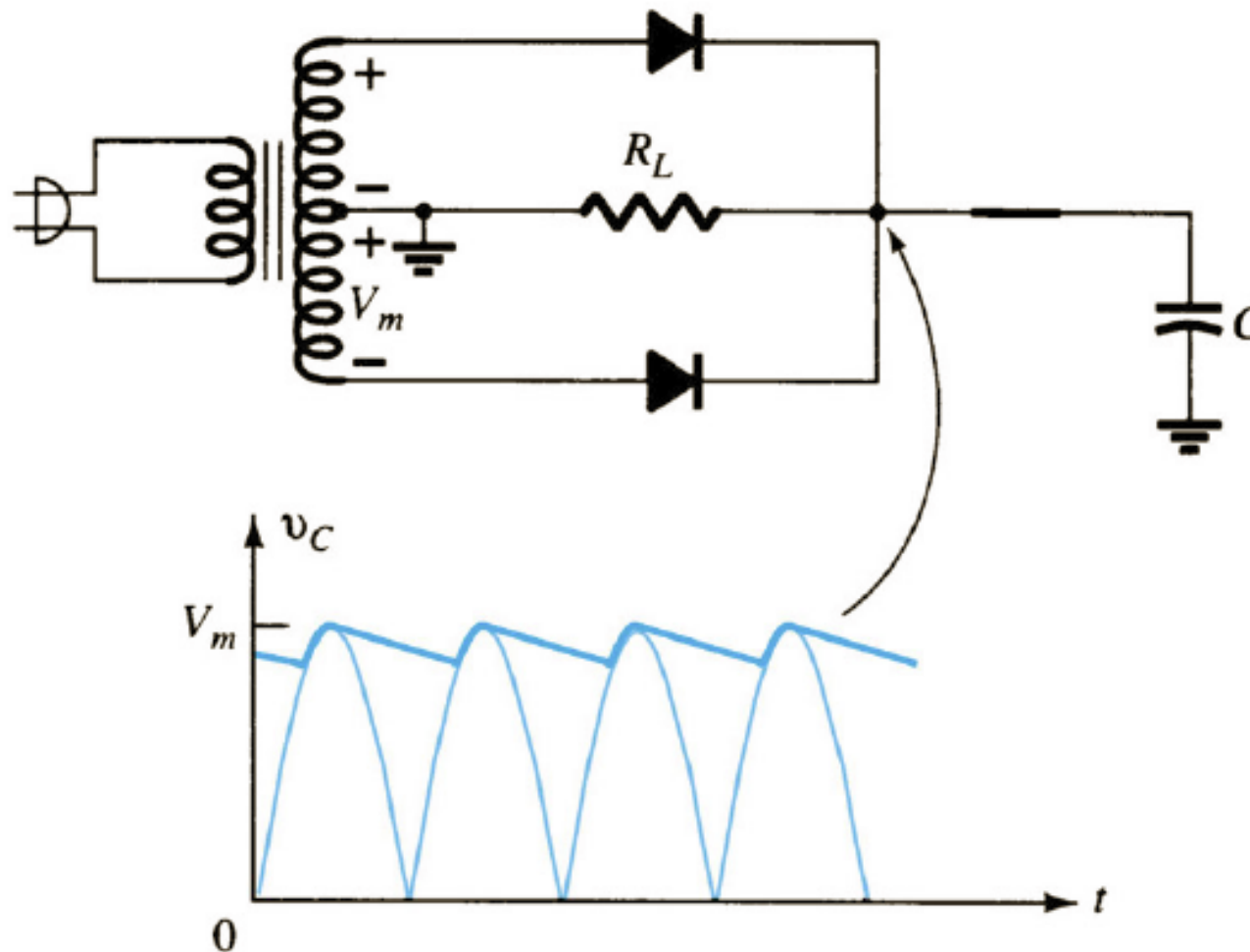
# Filtragem com capacitor

Tensão retificada sem o uso de capacitor:



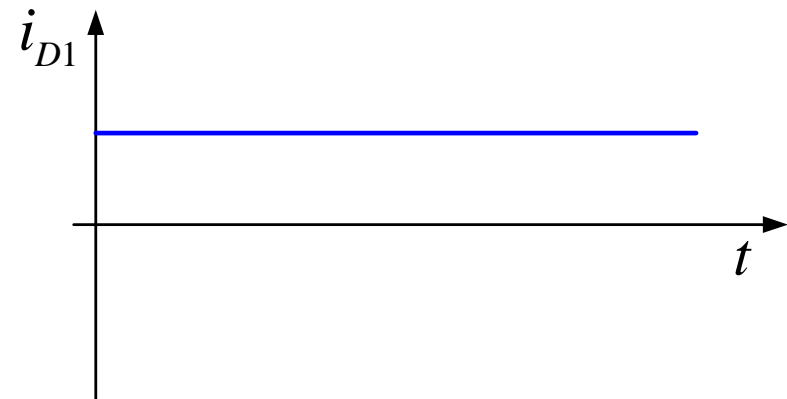
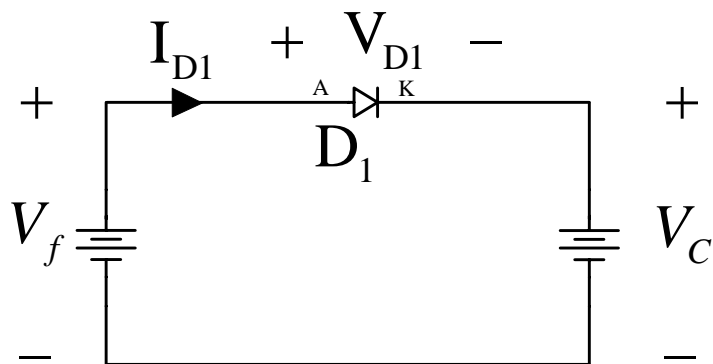
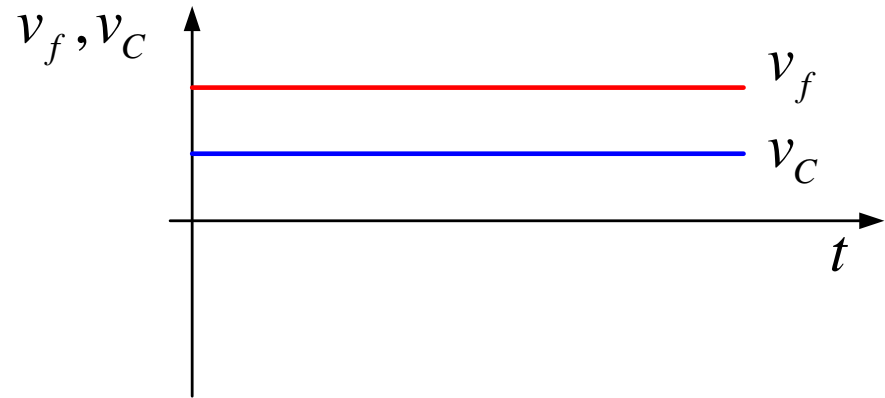
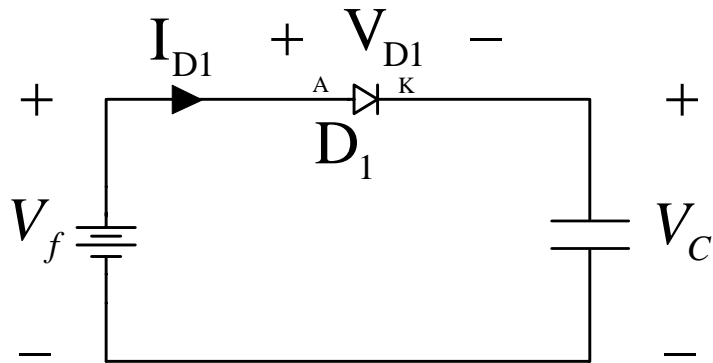
# Filtragem com capacitor

Tensão de saída após a inclusão de um capacitor:



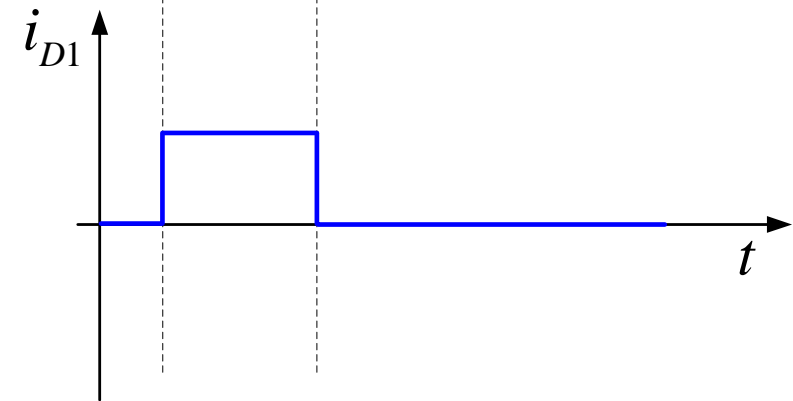
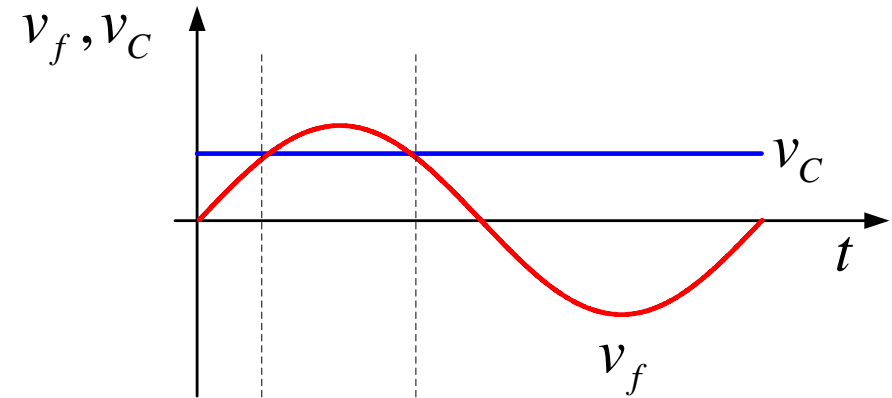
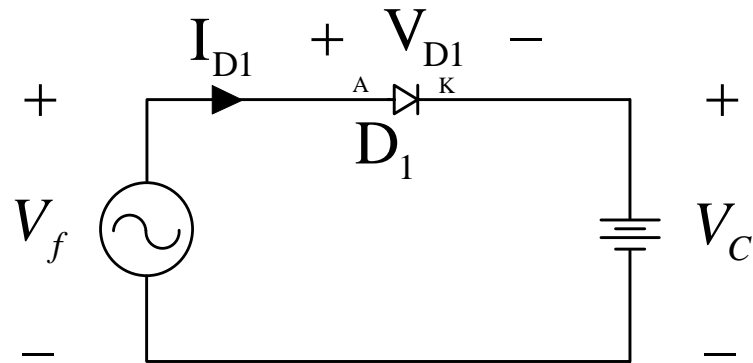
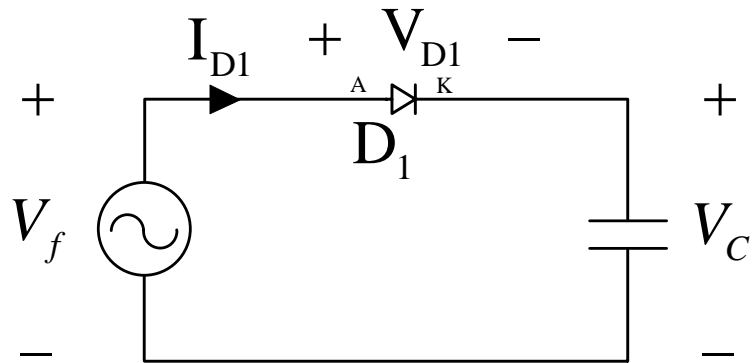
# Filtragem com capacitor

Princípio de funcionamento:



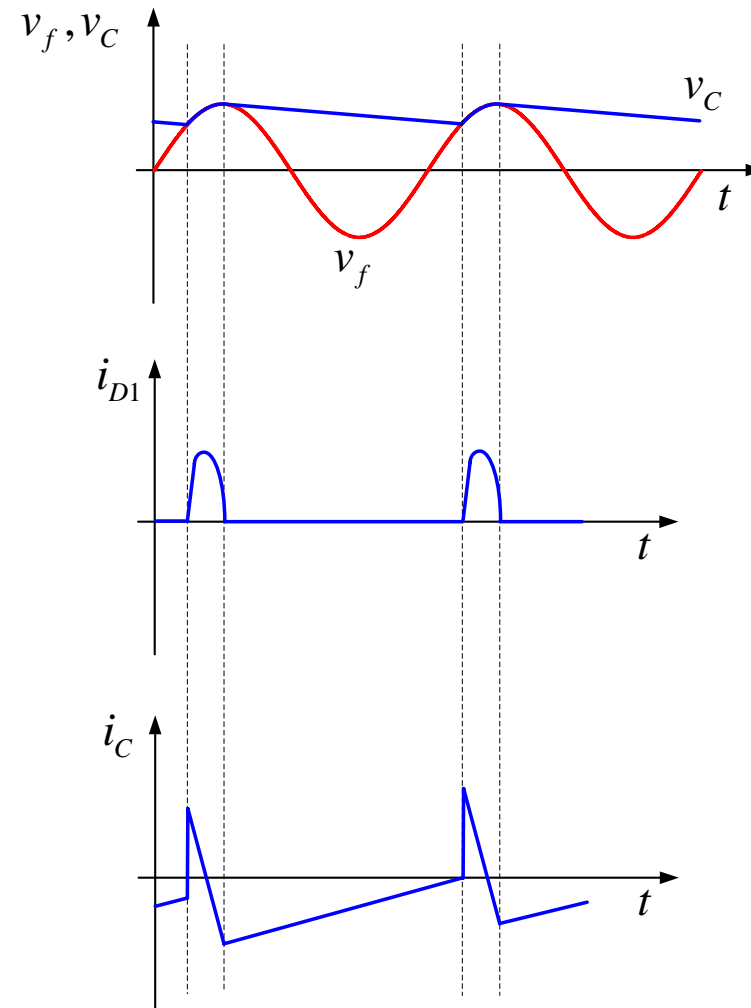
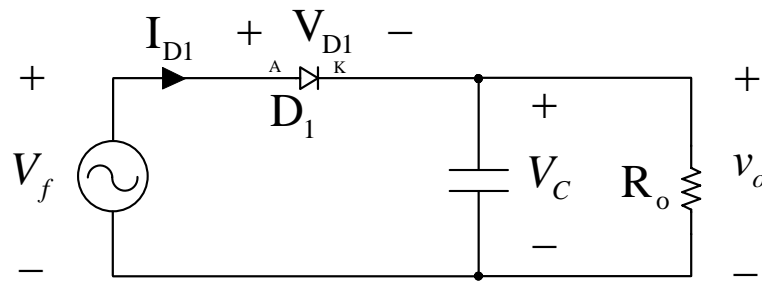
# Filtragem com capacitor

Princípio de funcionamento:



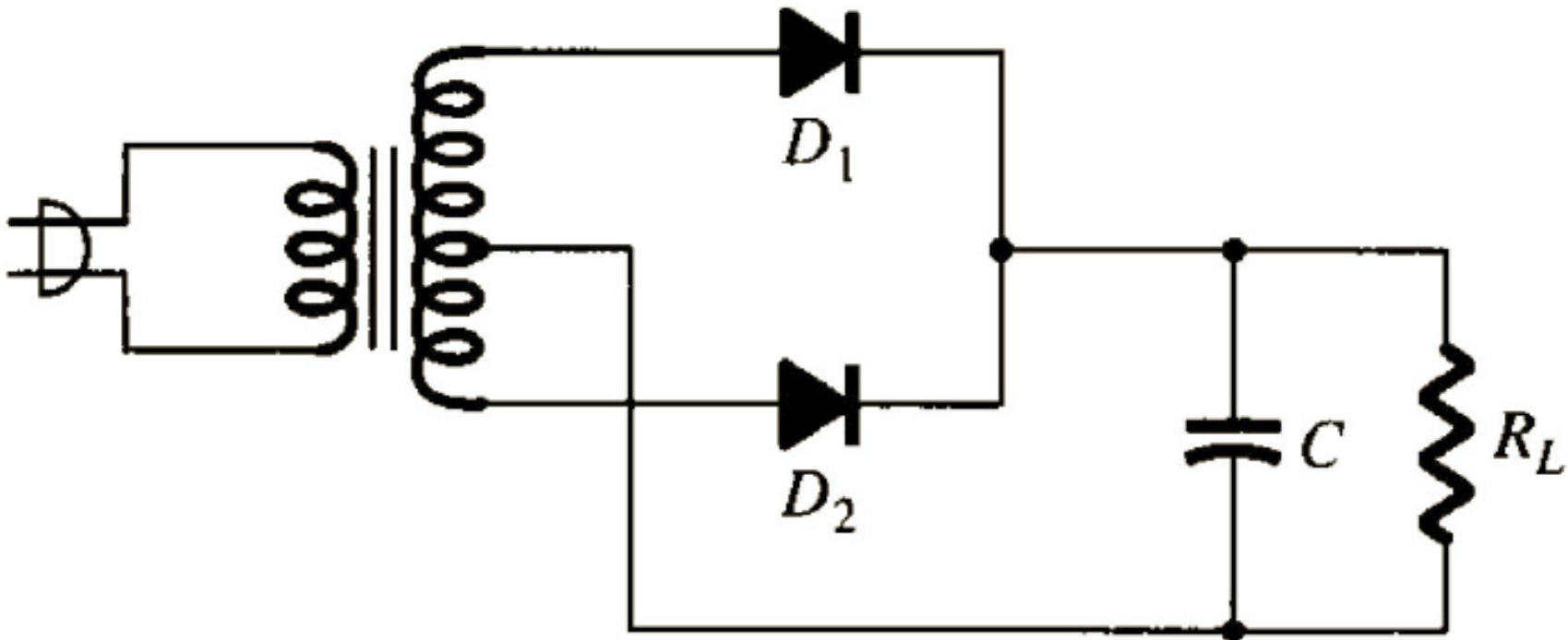
# Filtragem com capacitor

Princípio de funcionamento:



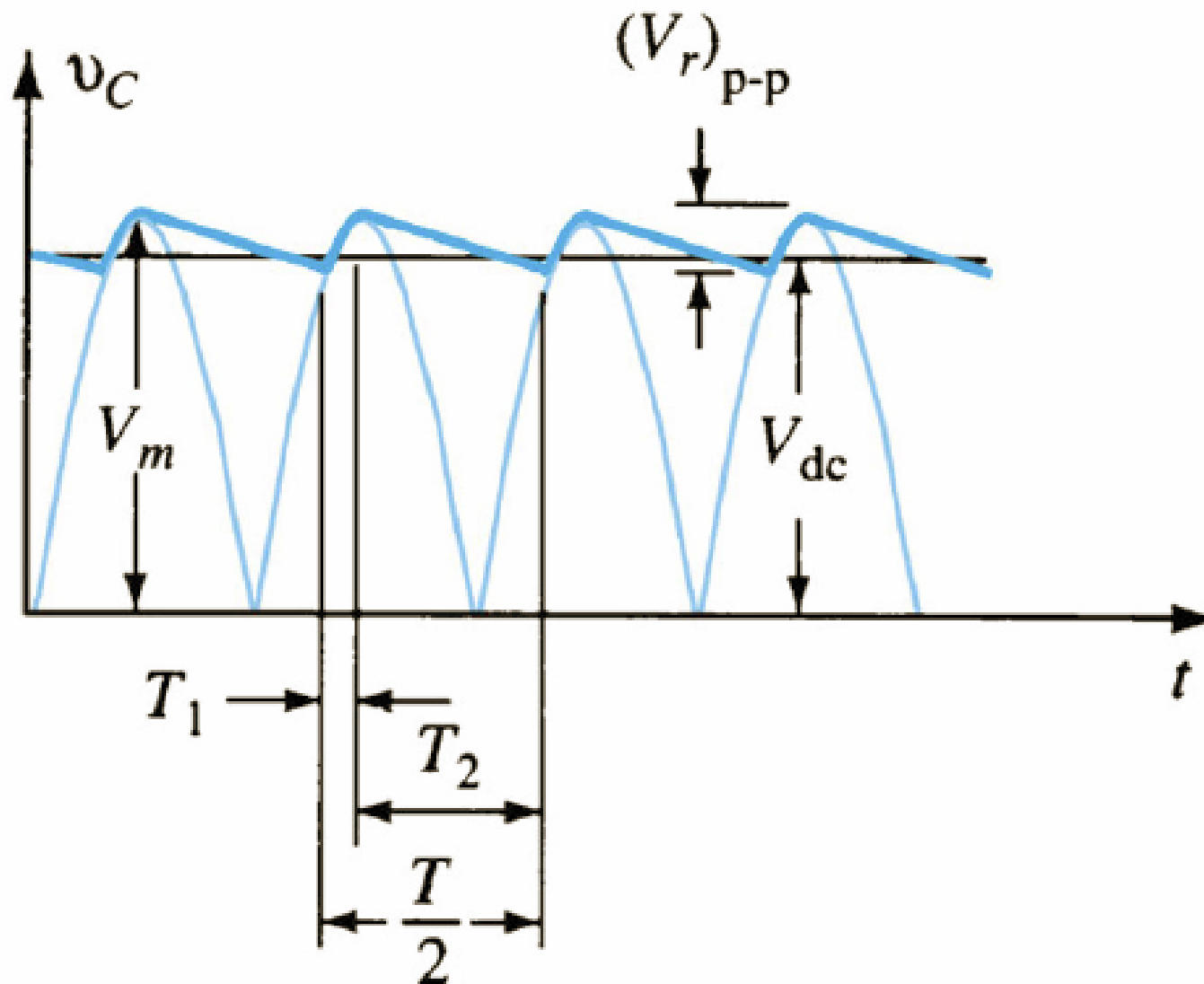
# Filtragem com capacitor

Princípio de funcionamento:



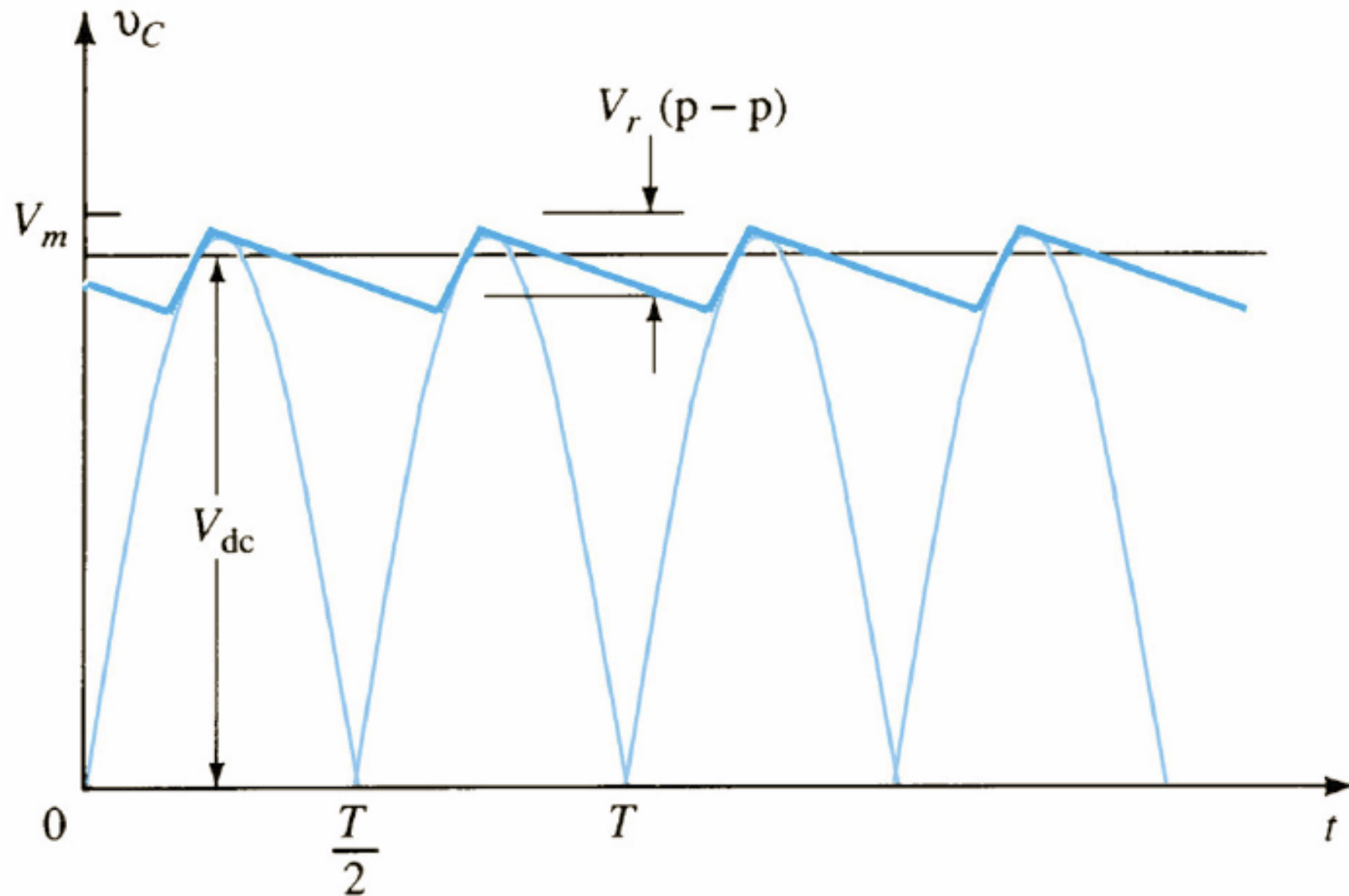
# Filtragem com capacitor

Princípio de funcionamento:



# Filtragem com capacitor

Princípio de funcionamento:



# Filtragem com capacitor

**Tensão de ondulação:**

$$V_{ripple\_RMS} = \frac{I_{DC}}{4 \cdot \sqrt{3} \cdot f \cdot C} = \frac{2,4 \cdot I_{DC}}{C} = \frac{2,4 \cdot V_{C\_DC}}{R_o \cdot C}$$

$I_{DC} \rightarrow$  miliampères;

$C \rightarrow$  microfarads;

$R_o \rightarrow$  quiloohms.

# Filtragem com capacitor

**Tensão de ondulação:**

$$V_{ripple} = \Delta V = \frac{V_{ripple\_RMS}}{V_{C\_DC}} \cdot 100\% = \frac{2,4 \cdot I_{DC}}{C \cdot V_{C\_DC}} \cdot 100\% = \frac{2,4}{R_o \cdot C} \cdot 100\%$$

$I_{DC} \rightarrow$  miliampères;

$C \rightarrow$  microfarads;

$V_{C\_DC} \rightarrow$  volts;

$R_o \rightarrow$  quiloohms.

# Filtragem com capacitor

**Tensão contínua sobre o capacitor (valor médio):**

$$V_{C\_DC} = V_{max} - \frac{I_{DC}}{4 \cdot f \cdot C} = V_{max} - \frac{4,17 \cdot I_{DC}}{C}$$

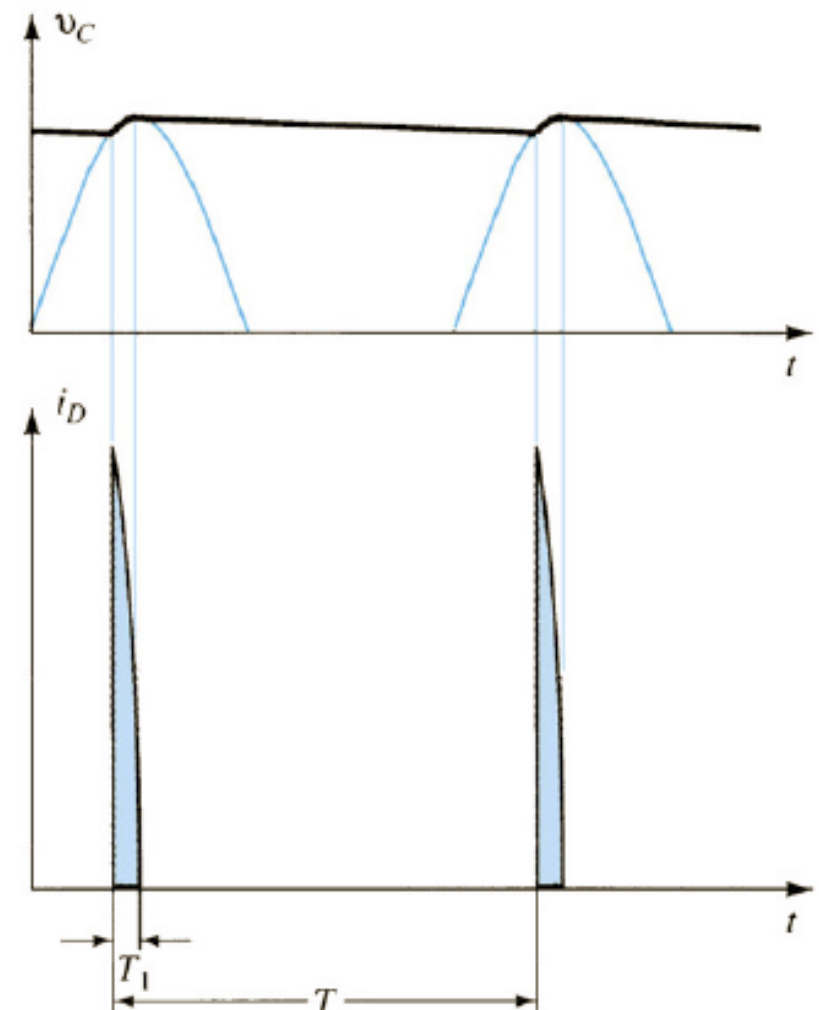
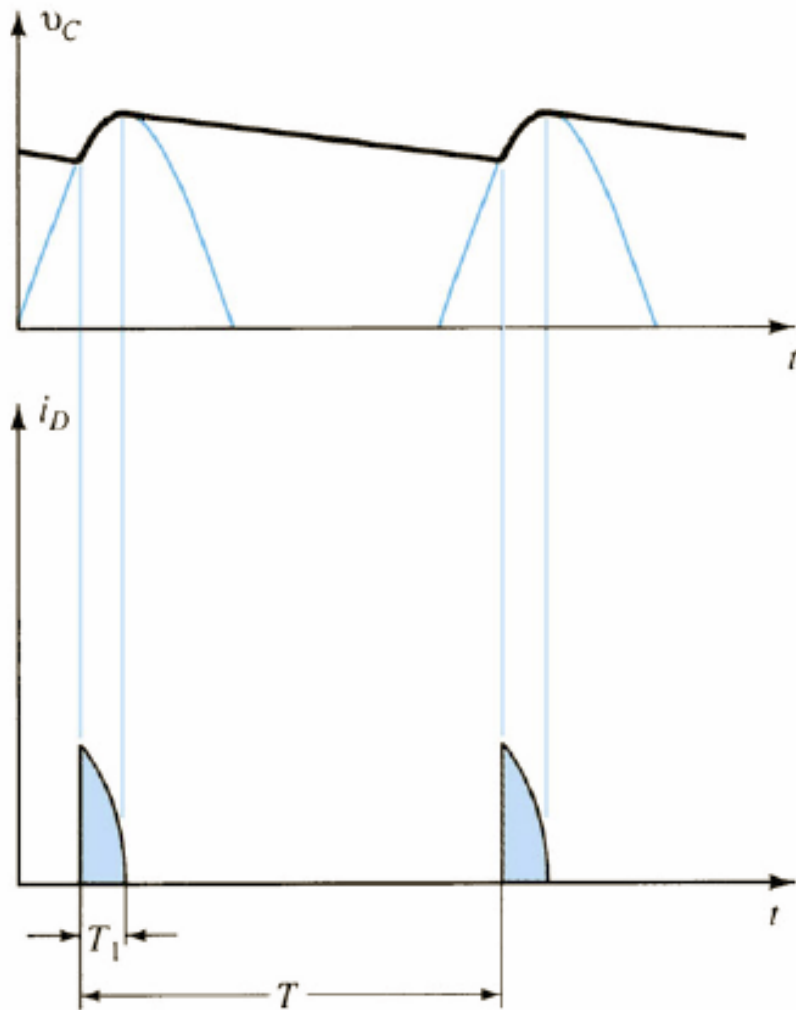
$I_{DC} \rightarrow$  miliampères;

$C \rightarrow$  microfarads;

$V_{max} \rightarrow$  tensão de pico.

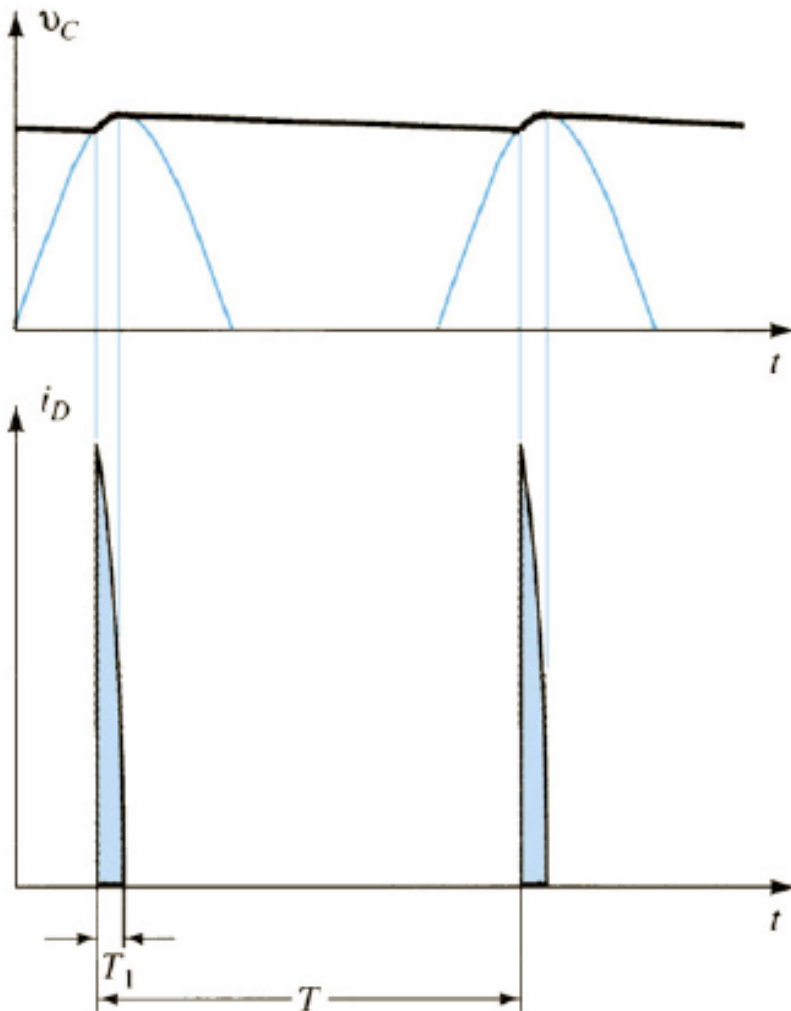
# Filtragem com capacitor

Período de condução do diodo e corrente de pico:



# Filtragem com capacitor

Período de condução do diodo e corrente de pico:



$$I_{D\_DC} = \frac{T_1}{T} \cdot I_{pico}$$

$$I_{pico} = \frac{T}{T_1} \cdot I_{D\_DC}$$

$T_1 \rightarrow$  tempo de condução;

$T \rightarrow \frac{1}{f} (1/60)$ ;

$I_{D\_DC} \rightarrow$  corrente média da carga;

$I_{D\_pico} \rightarrow$  corrente de pico nos diodos.

# Filtragem com capacitor

**Expressão para determinar o capacitor:**

$$C = \frac{P_{in}}{f \cdot (V_{max}^2 - V_{min}^2)} \quad [F]$$

$f$  [Hz] → frequência da tensão retificada;

$P_{in}$  [W] → potência na saída do retificador -  $P_{in} = \frac{P_o}{\eta}$ ;

$V_{max}$  [V] → tensão de pico na saída do retificador;

$V_{min}$  [V] → tensão mínima admitida no capacitor.

# Na próxima aula

---

## **Seqüência de conteúdos:**

1. Reguladores de tensão.