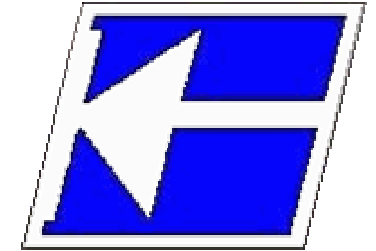


Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina

Departamento de Eletrônica

Eletrônica Básica e Projetos Eletrônicos



Retificadores com Filtros Capacitivos

Clóvis Antônio Petry, professor.

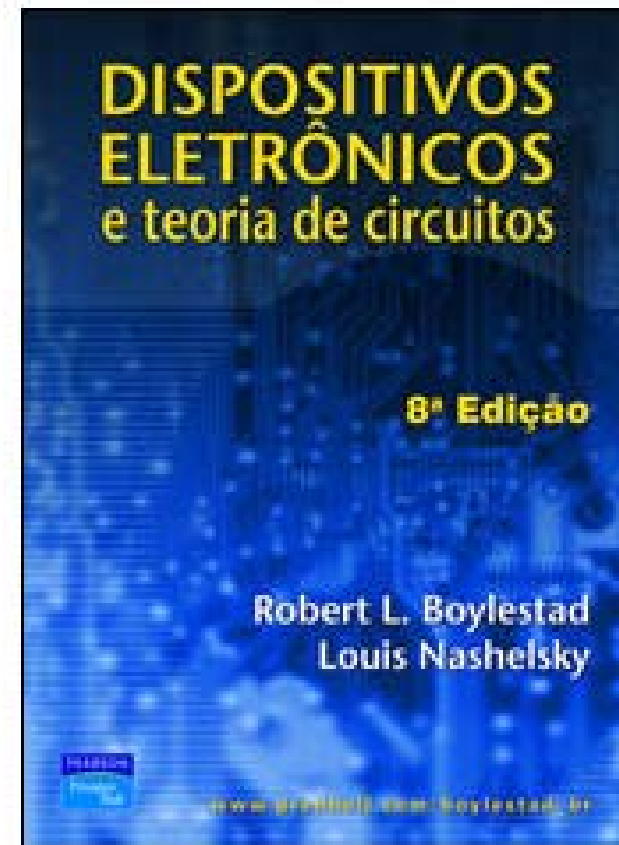
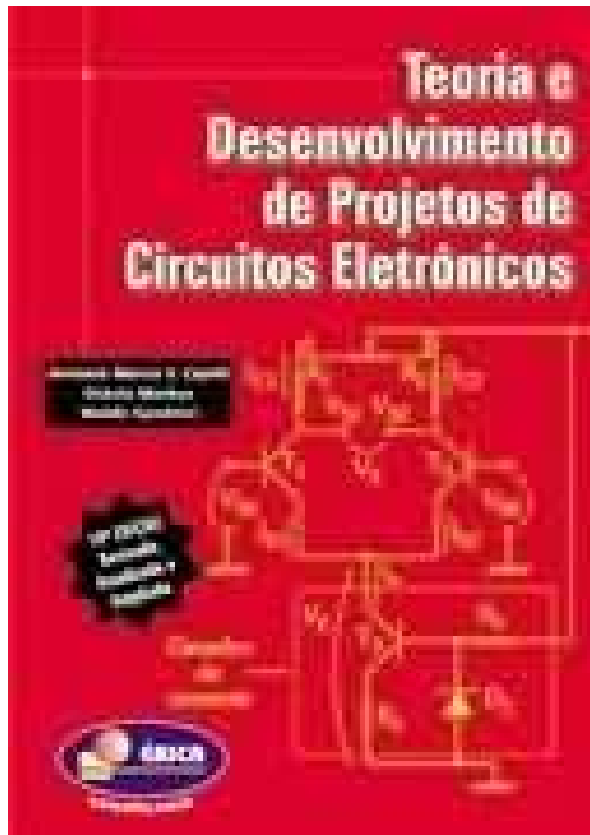
Florianópolis, abril de 2007.

Nesta aula

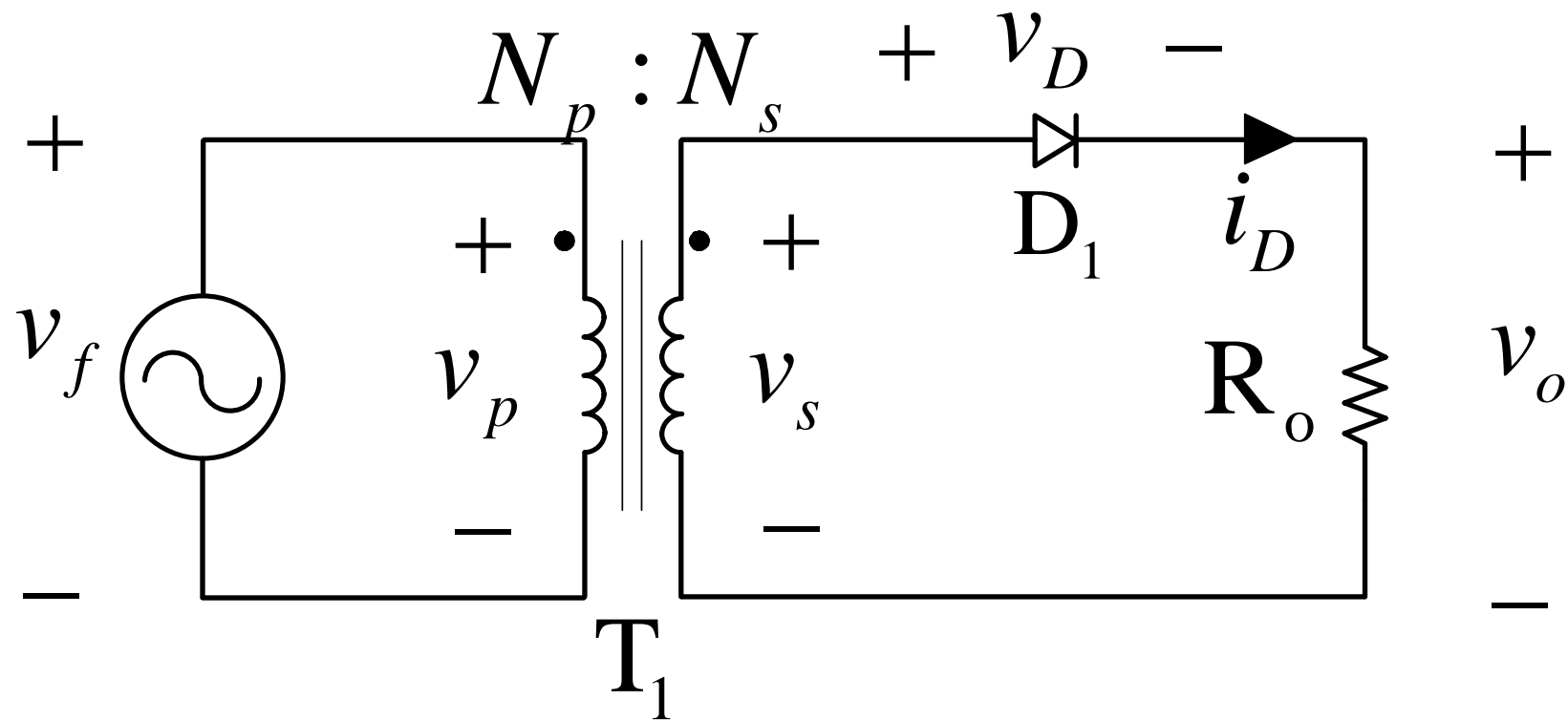
Seqüência de conteúdos:

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

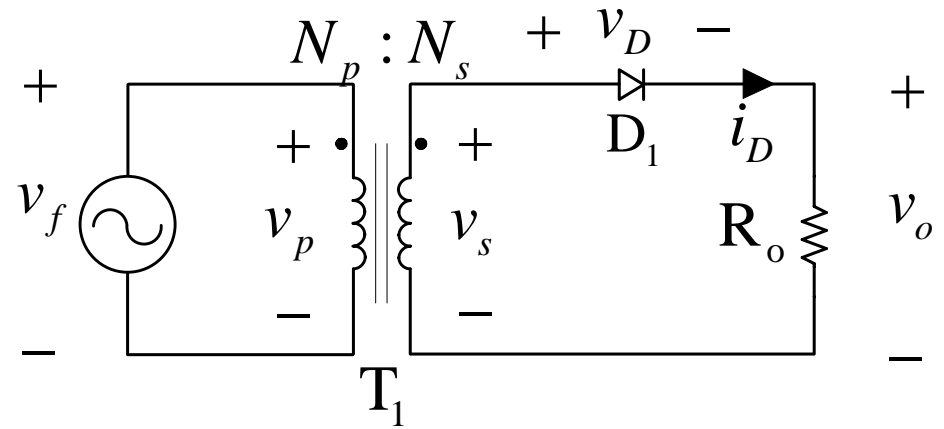
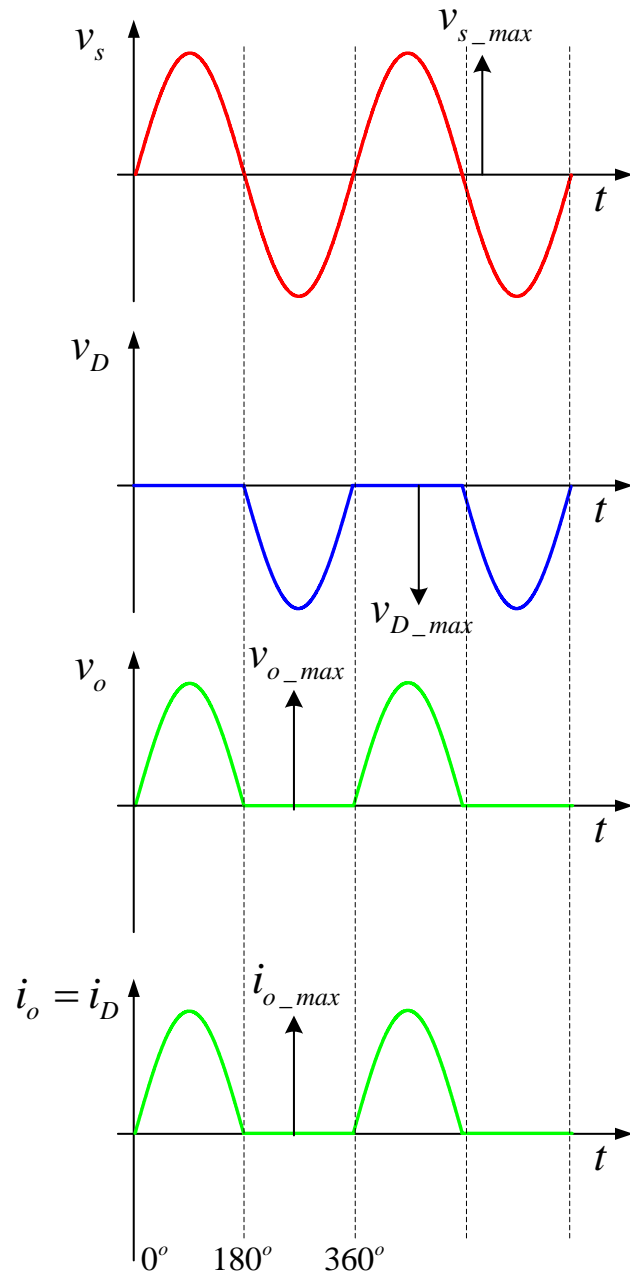
Bibliografia



Retificador de meia onda



Retificador de meia onda

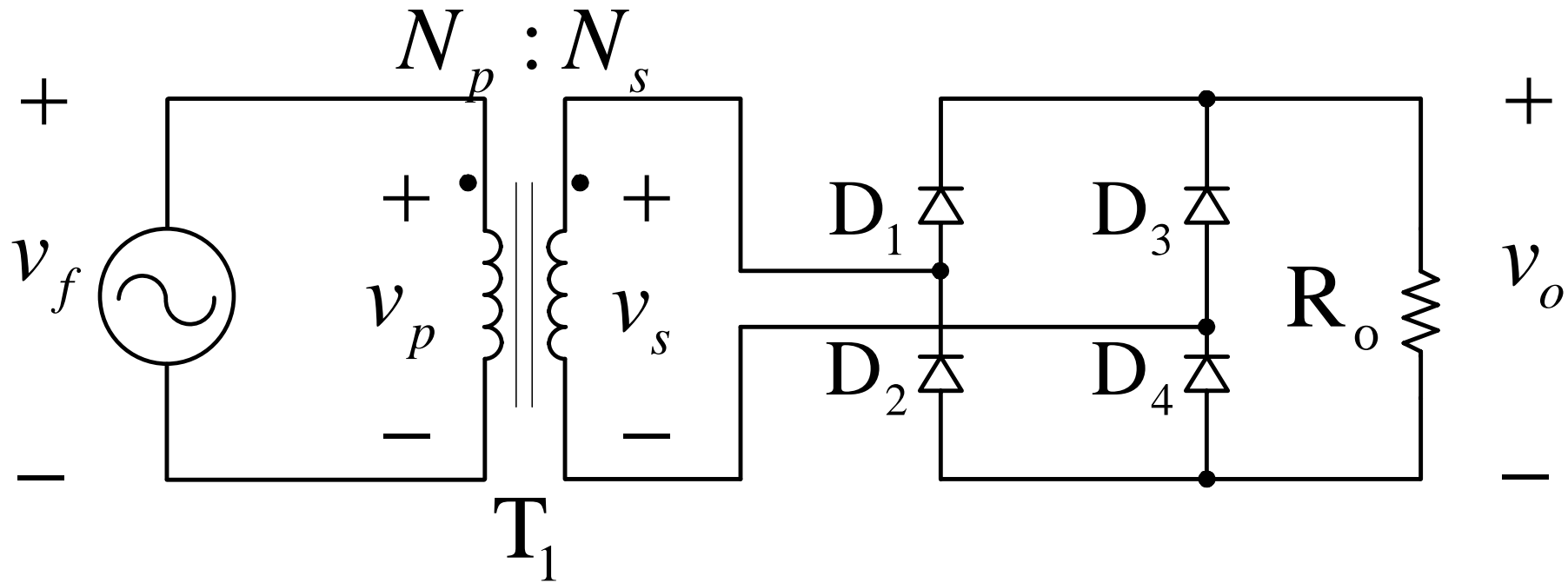


Tensão média na carga:
$$V_{o_DC} = \frac{V_{o_max}}{\pi}$$

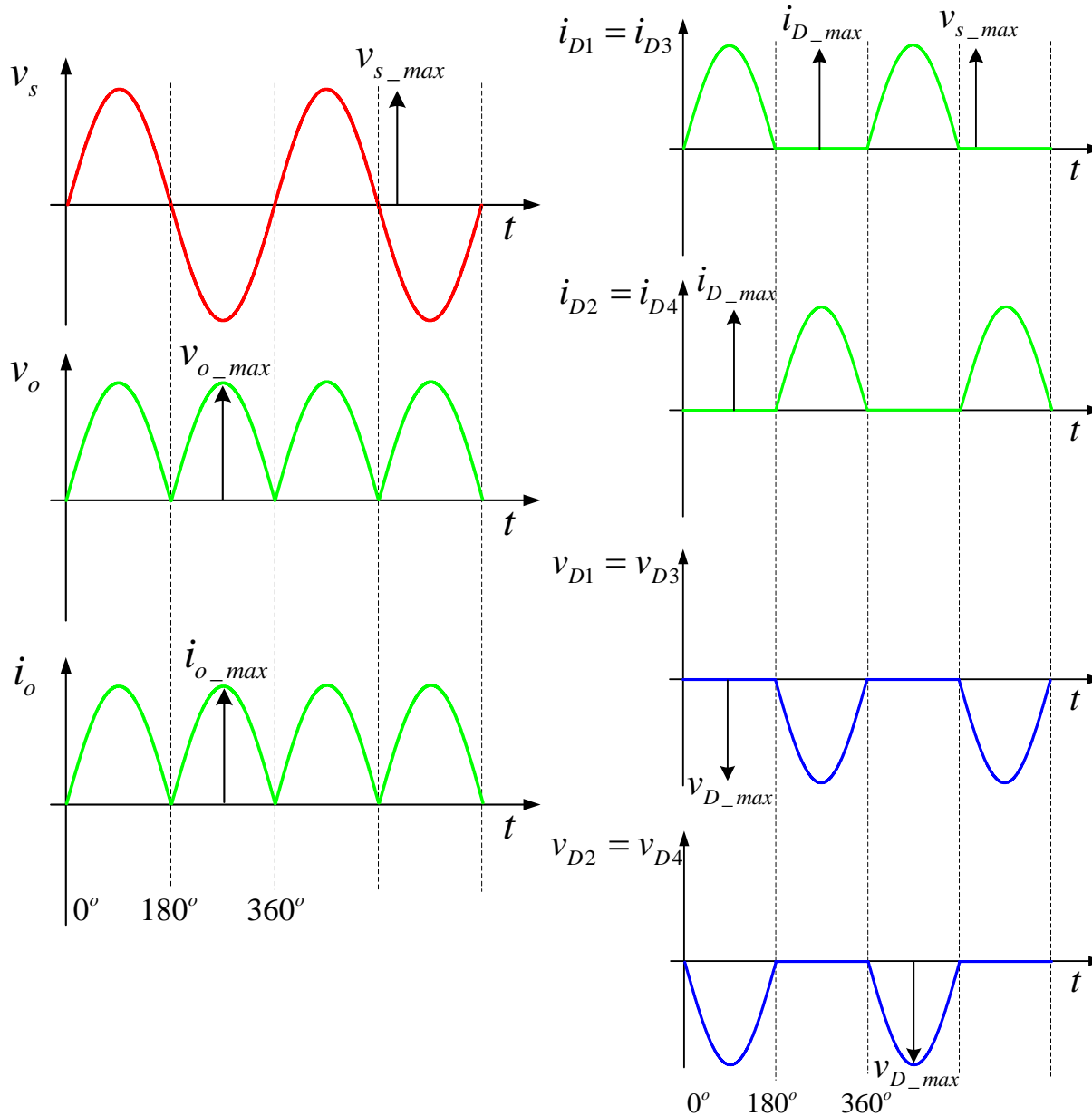
Corrente média na carga:
$$I_{o_DC} = \frac{I_{o_max}}{\pi}$$

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:

$$V_{o_DC} = \frac{2 \cdot V_{o_max}}{\pi}$$

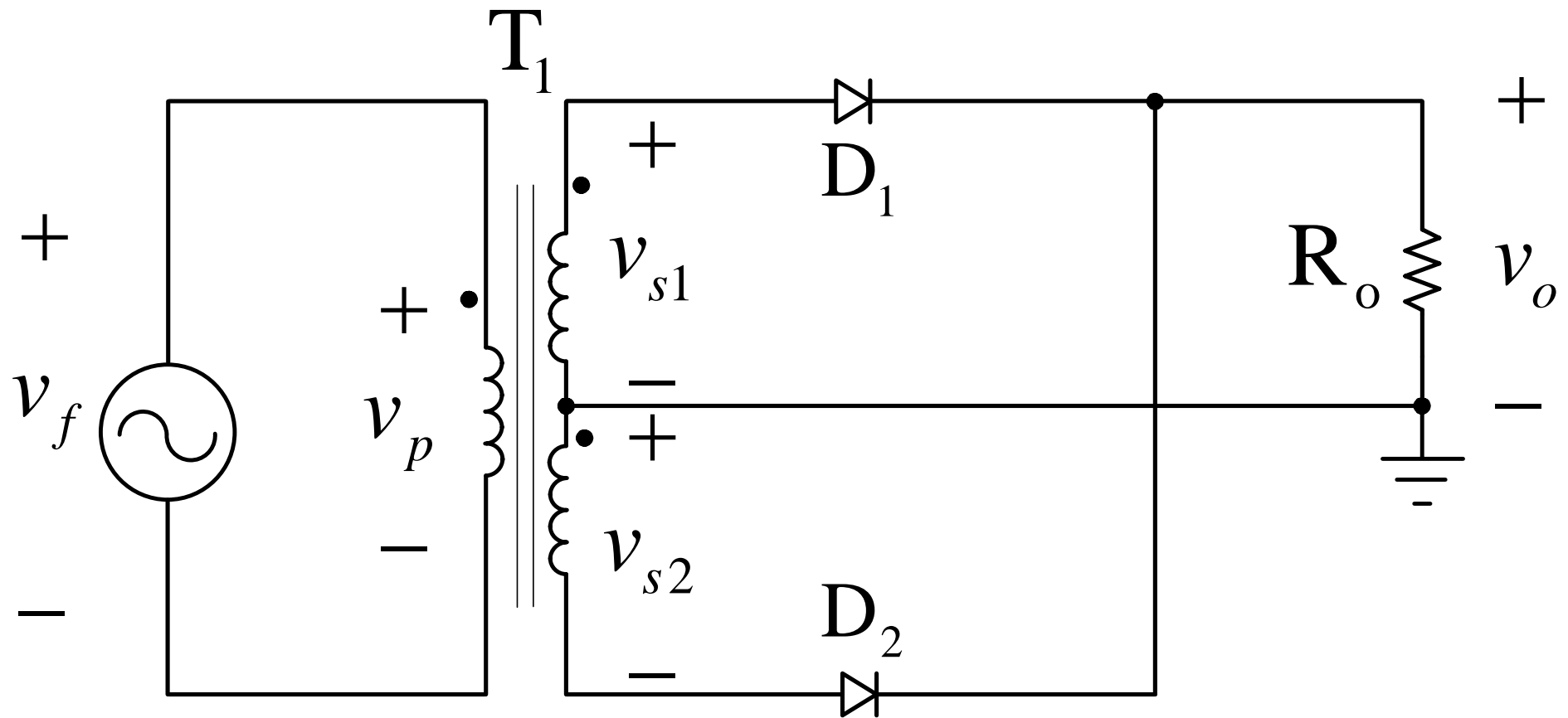
$$V_{o_RMS} = \frac{V_{o_max}}{\sqrt{2}}$$

Nos diodos:

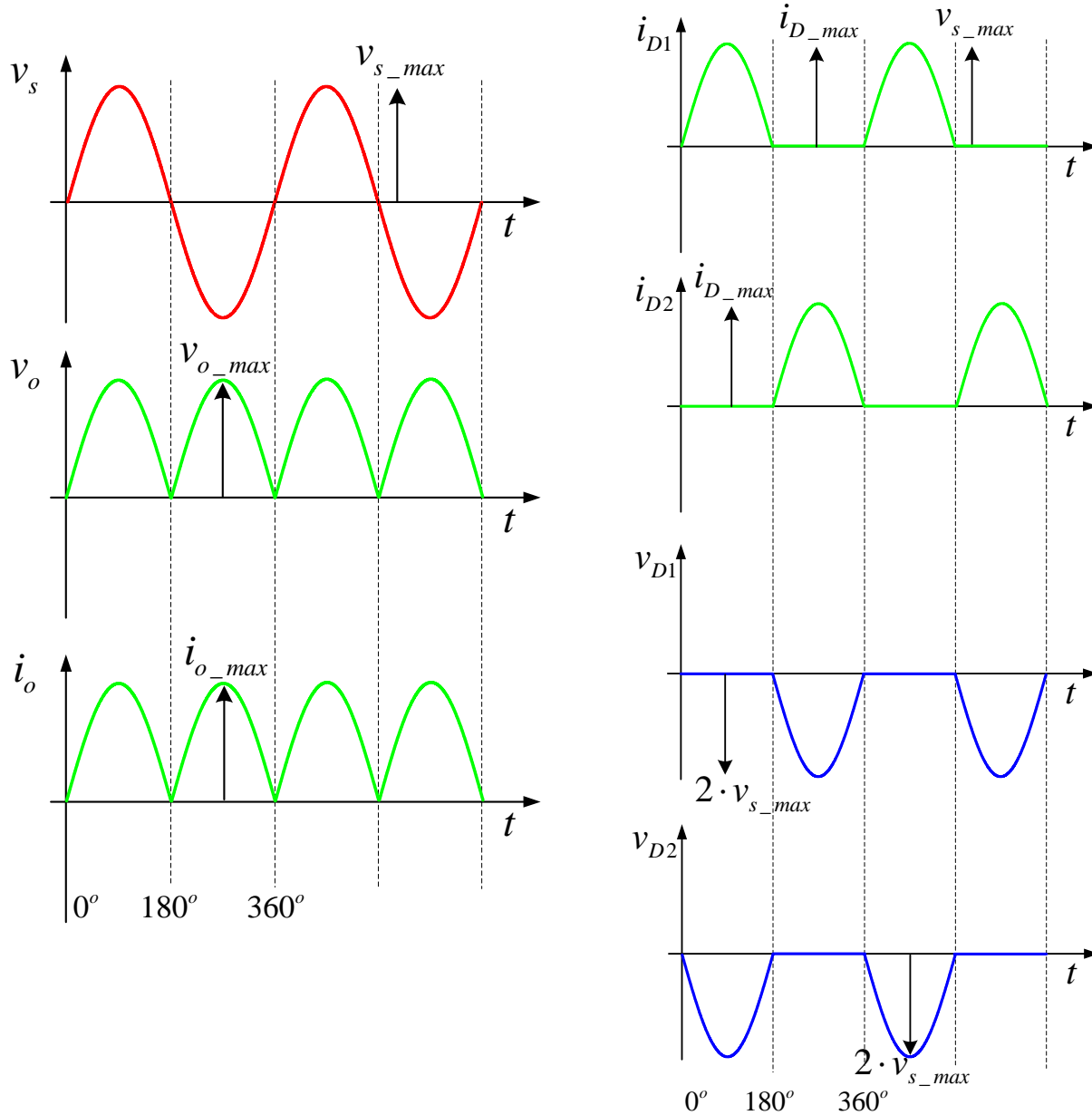
$$V_{D_max} = v_{s_max}$$

$$I_{D_DC} = \frac{I_{o_max}}{\pi}$$

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:

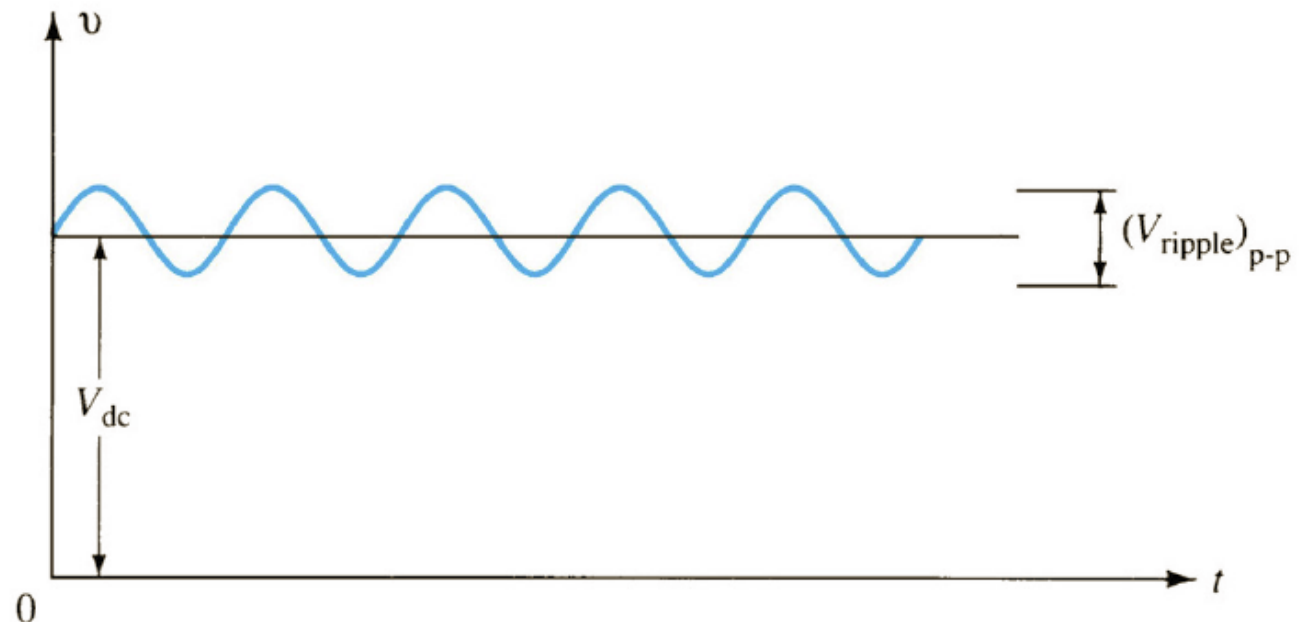
- Definido como:

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

$$r = \frac{V_{o_rms}}{V_{o_DC}} \cdot 100\%$$

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):

$$v_{o_DC} = 0,636 \cdot v_{o_max}$$

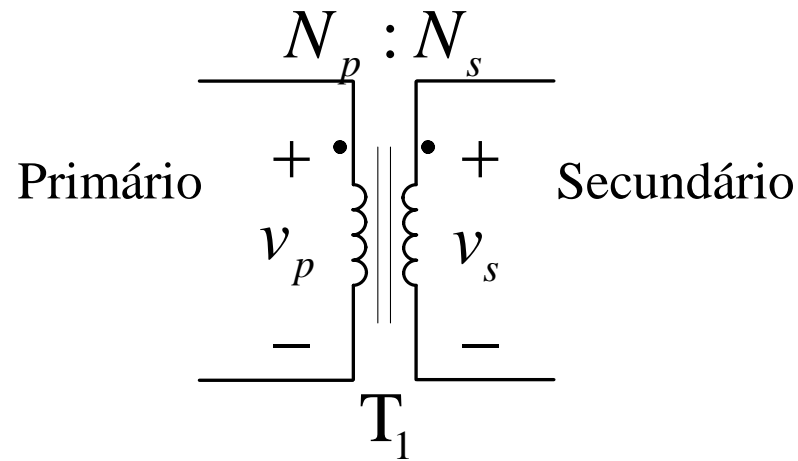
$$v_{o_RMS} = 0,308 \cdot v_{o_max}$$

$$r = \frac{v_{o_rms}}{v_{o_DC}} \cdot 100\% = \frac{0,308 \cdot v_{o_max}}{0,636 \cdot v_{o_max}} \cdot 100\%$$

$$r = 48\%$$

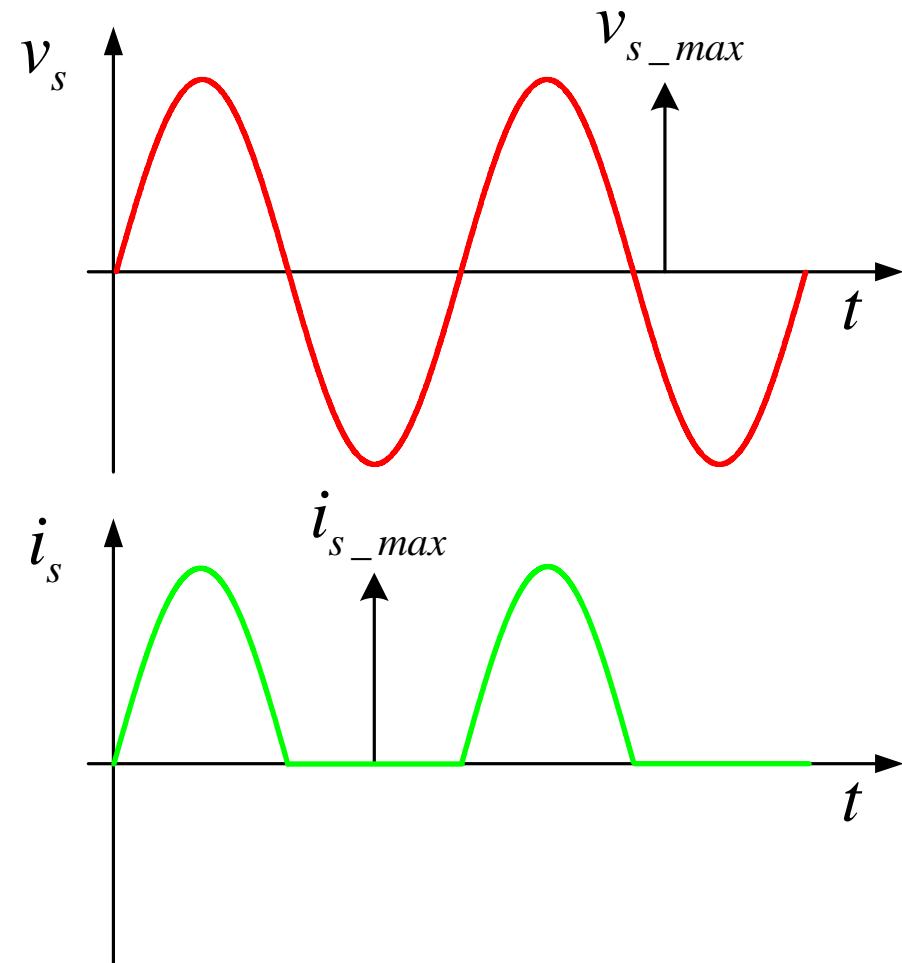
Aproveitamento do transformador

Retificador de meia onda – no transformador:



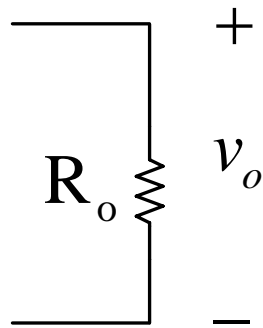
$$v_{s_ef} = \frac{v_{s_max}}{\sqrt{2}}$$

$$i_{s_ef} = \frac{i_{s_max}}{2}$$



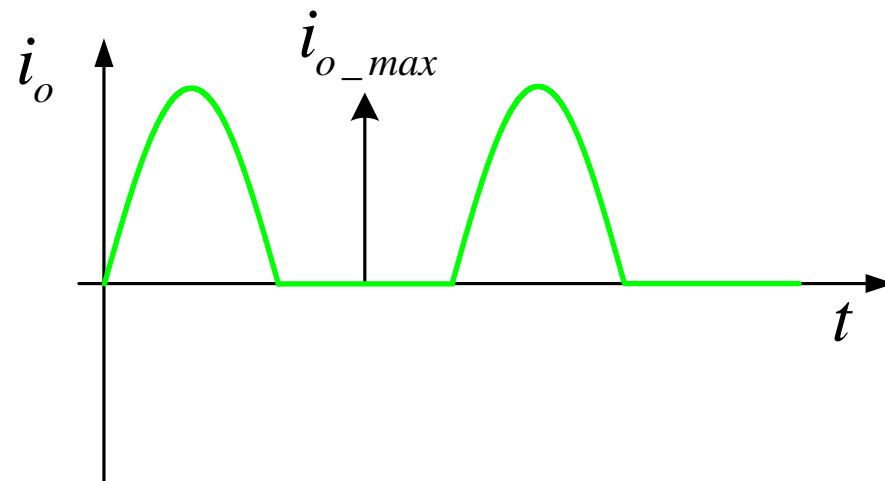
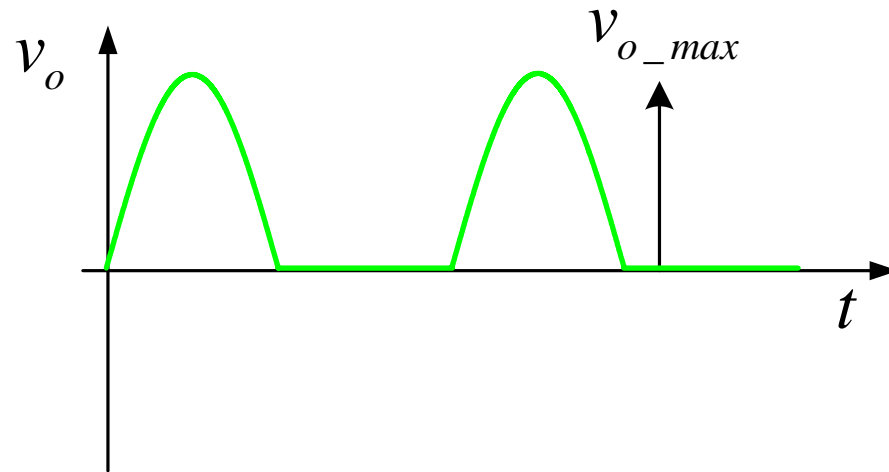
Aproveitamento do transformador

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

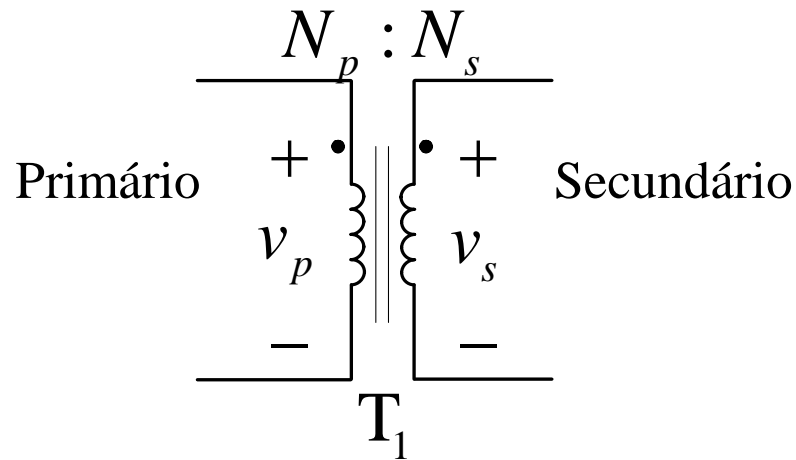


$$\frac{P_s}{P_o} = 3,49$$

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

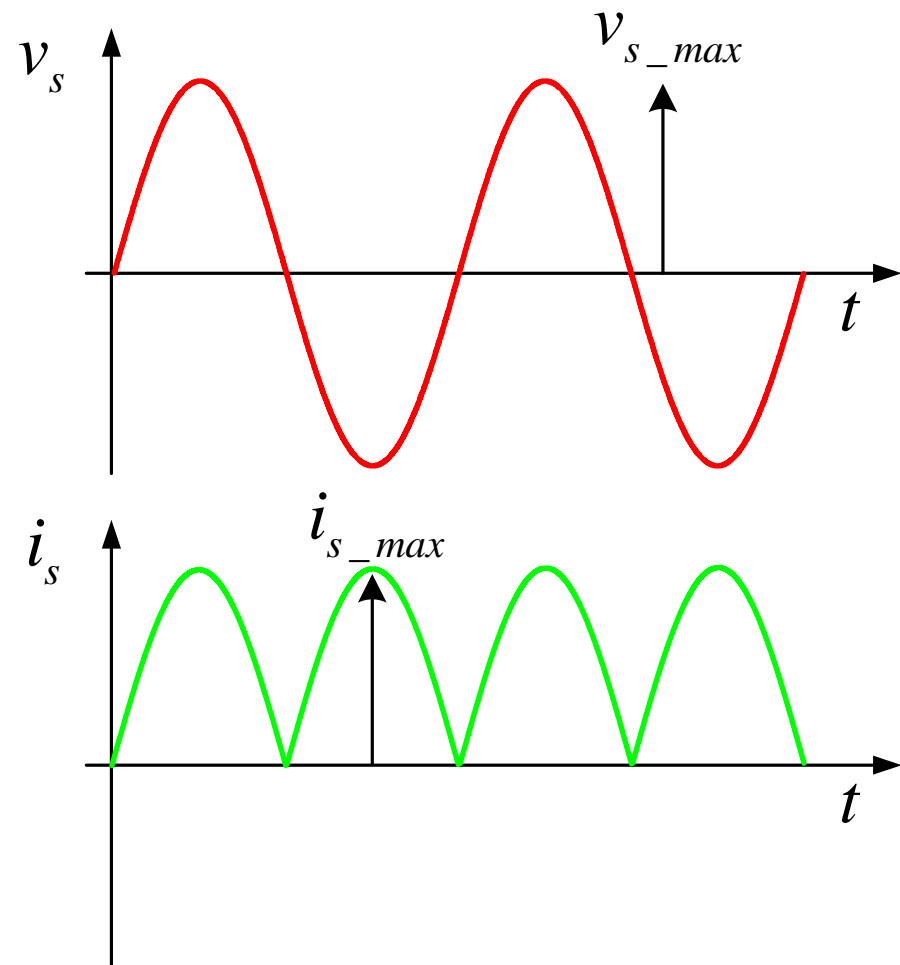
Aproveitamento do transformador

Retificador de onda completa em ponte – no transformador:



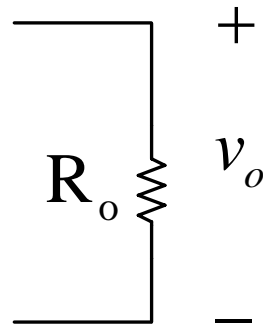
$$v_{s_ef} = \frac{v_{s_max}}{\sqrt{2}}$$

$$i_{s_ef} = \frac{i_{s_max}}{\sqrt{2}}$$



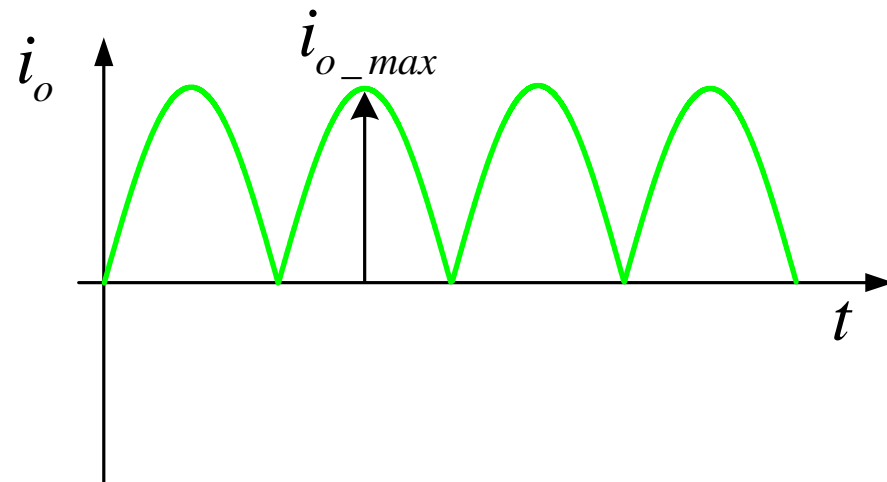
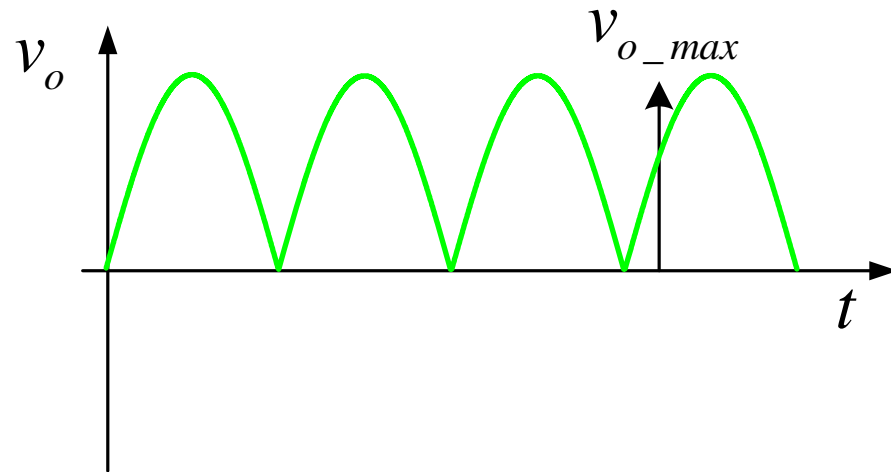
Aproveitamento do transformador

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:

$$v_{o_max} = v_{s_max}$$

$$i_{o_max} = i_{s_max}$$

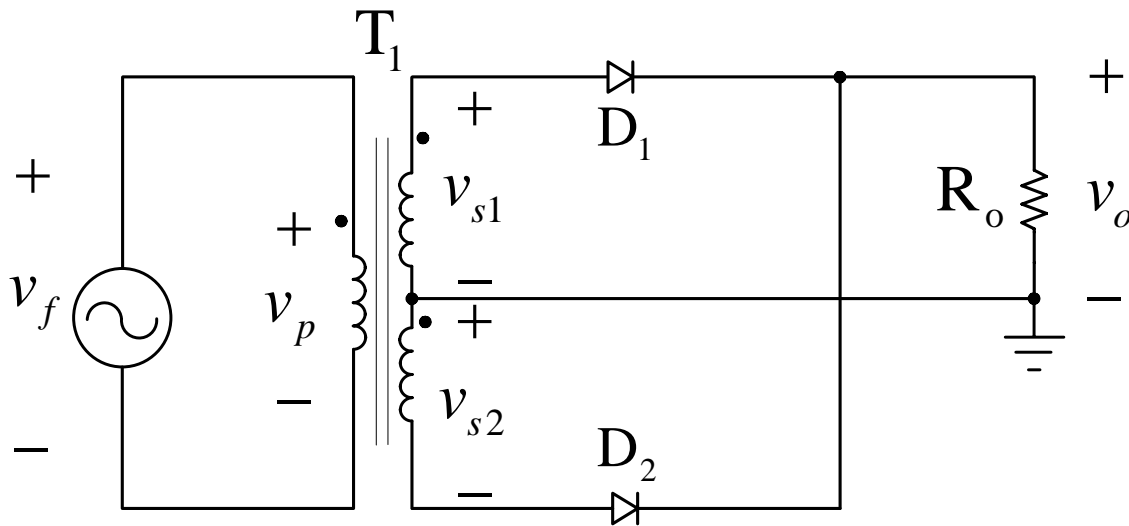
$$\frac{P_s}{P_o} = \frac{0,5}{0,4053}$$

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

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

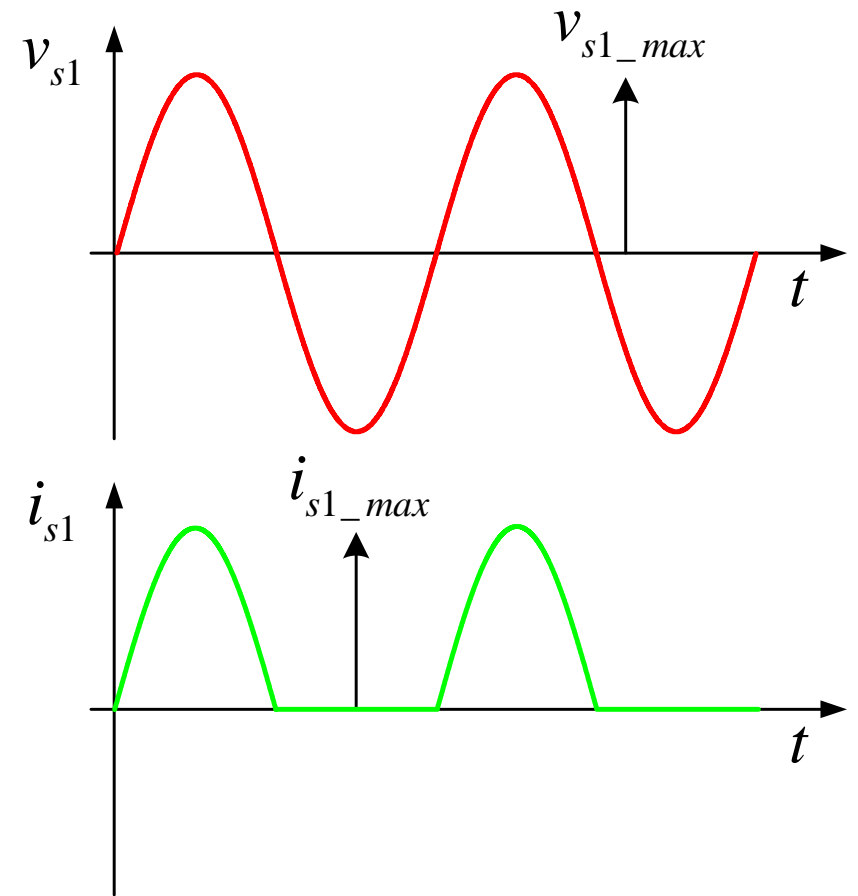
Aproveitamento do transformador

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



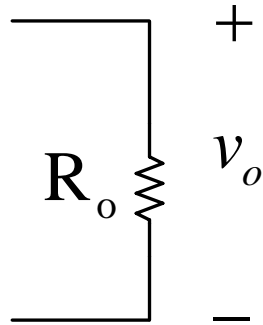
$$v_{s1_ef} = \frac{v_{s_max}}{\sqrt{2}}$$

$$i_{s2_ef} = \frac{i_{s_max}}{2}$$



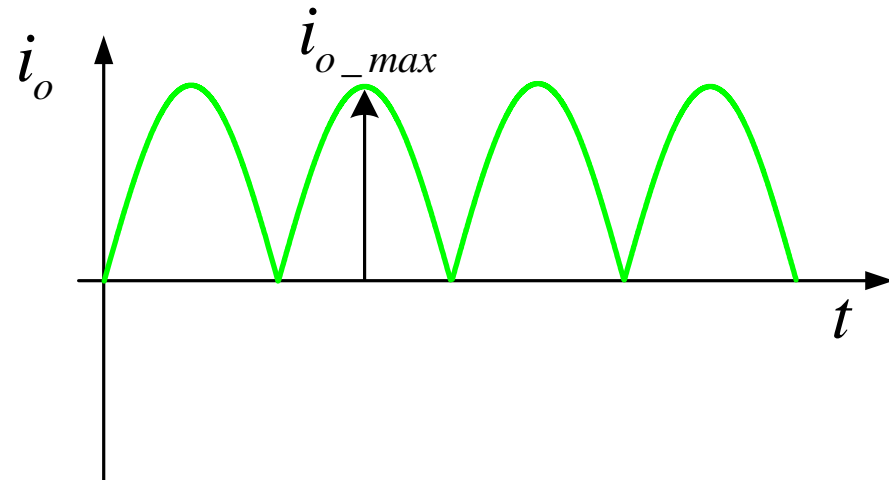
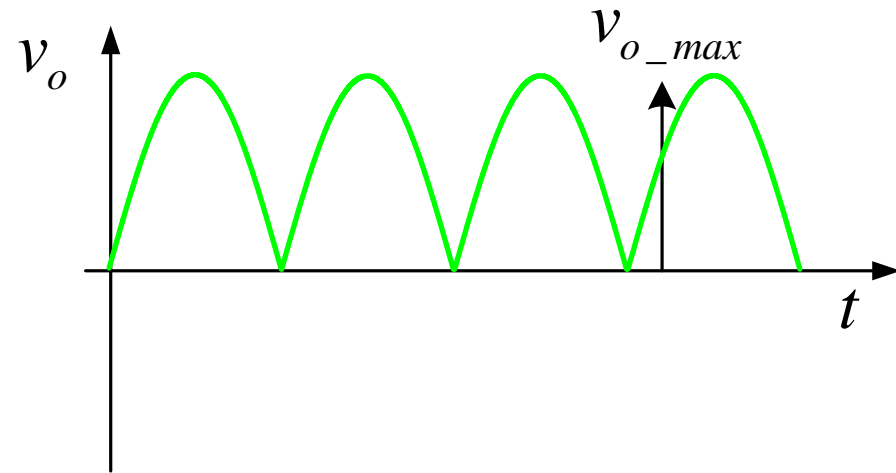
Aproveitamento do transformador

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



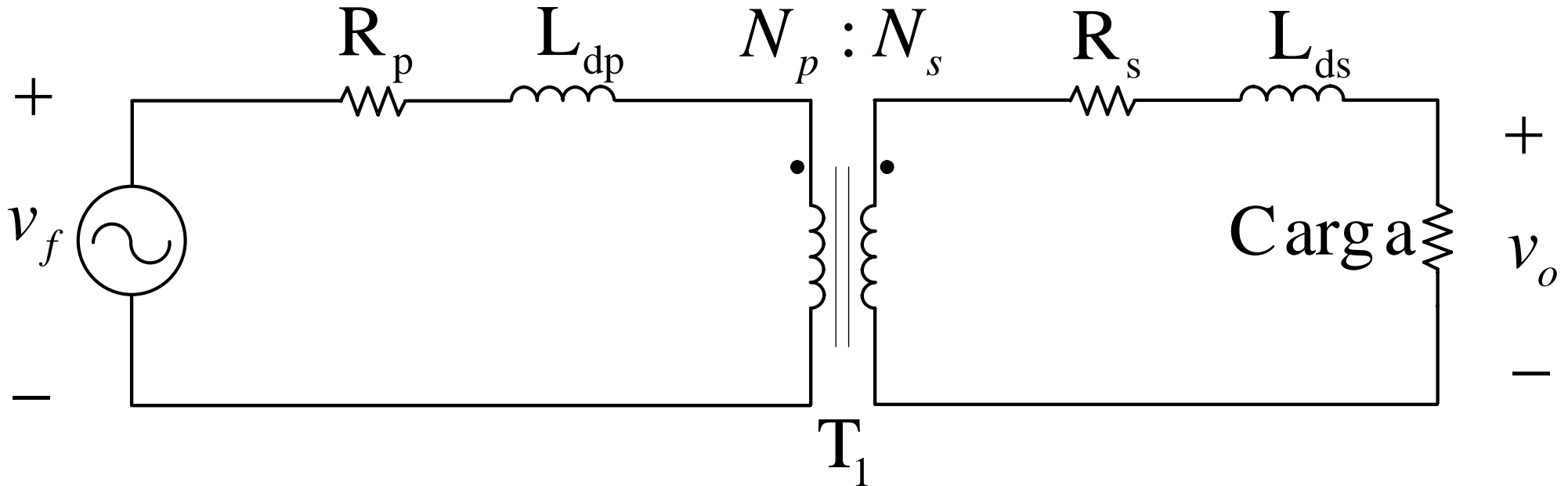
$$\frac{P_s}{P_o} = 1,75$$

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

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	$3,49 \cdot P_o$	$1,75 \cdot P_o$	$1,23 \cdot P_o$

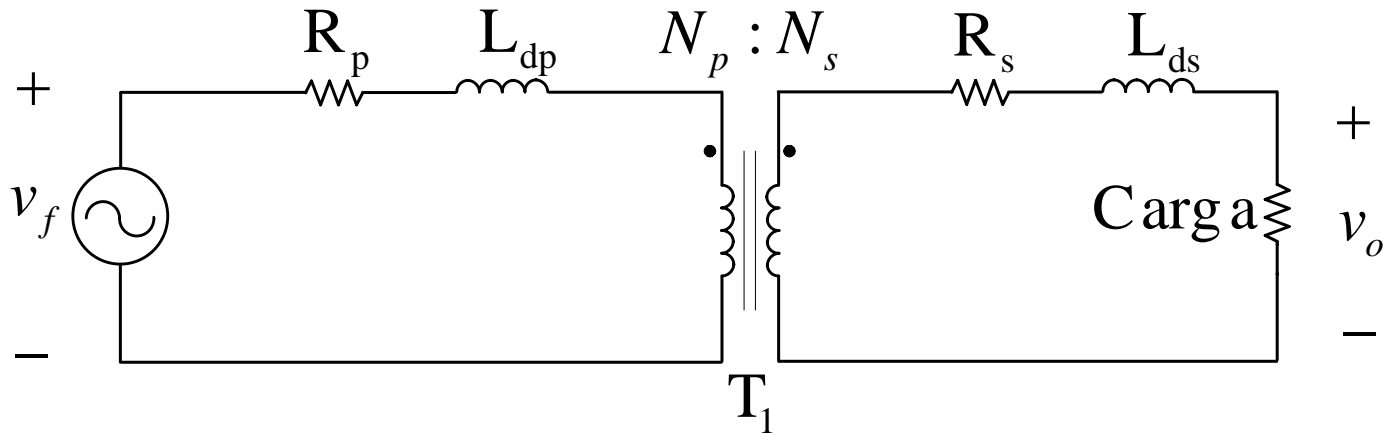
Regulação de um transformador



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:

$$V_{vazio} = 14V$$

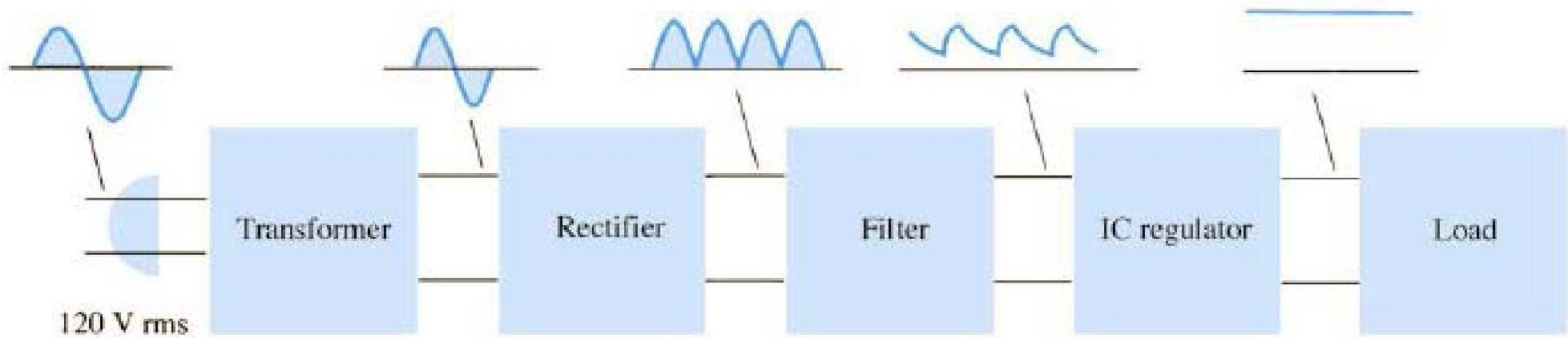
$$V_{carga} = 12V$$

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

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

Filtragem com capacitor

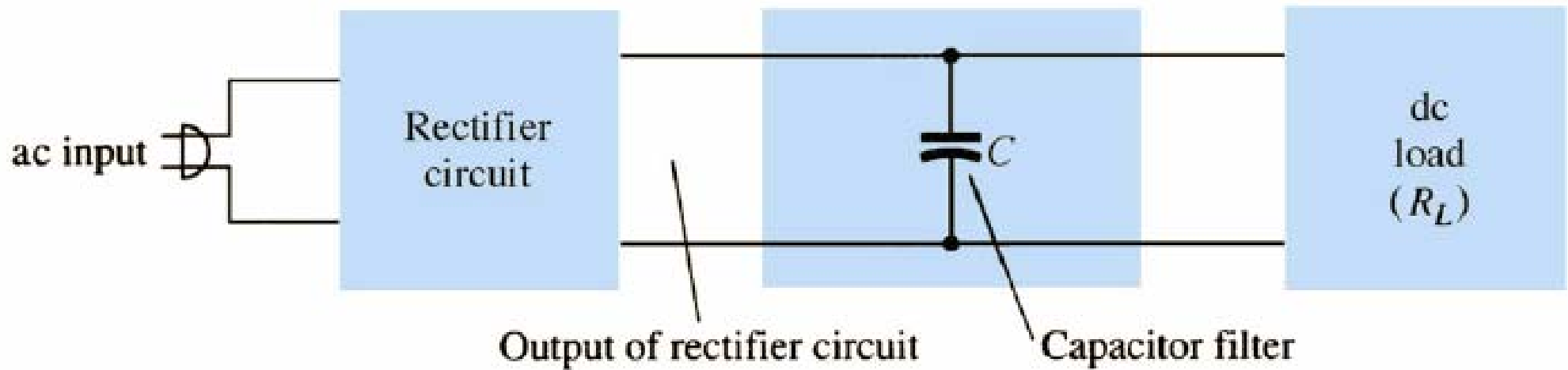
Diagrama de blocos de uma fonte linear:



Etapa em estudo

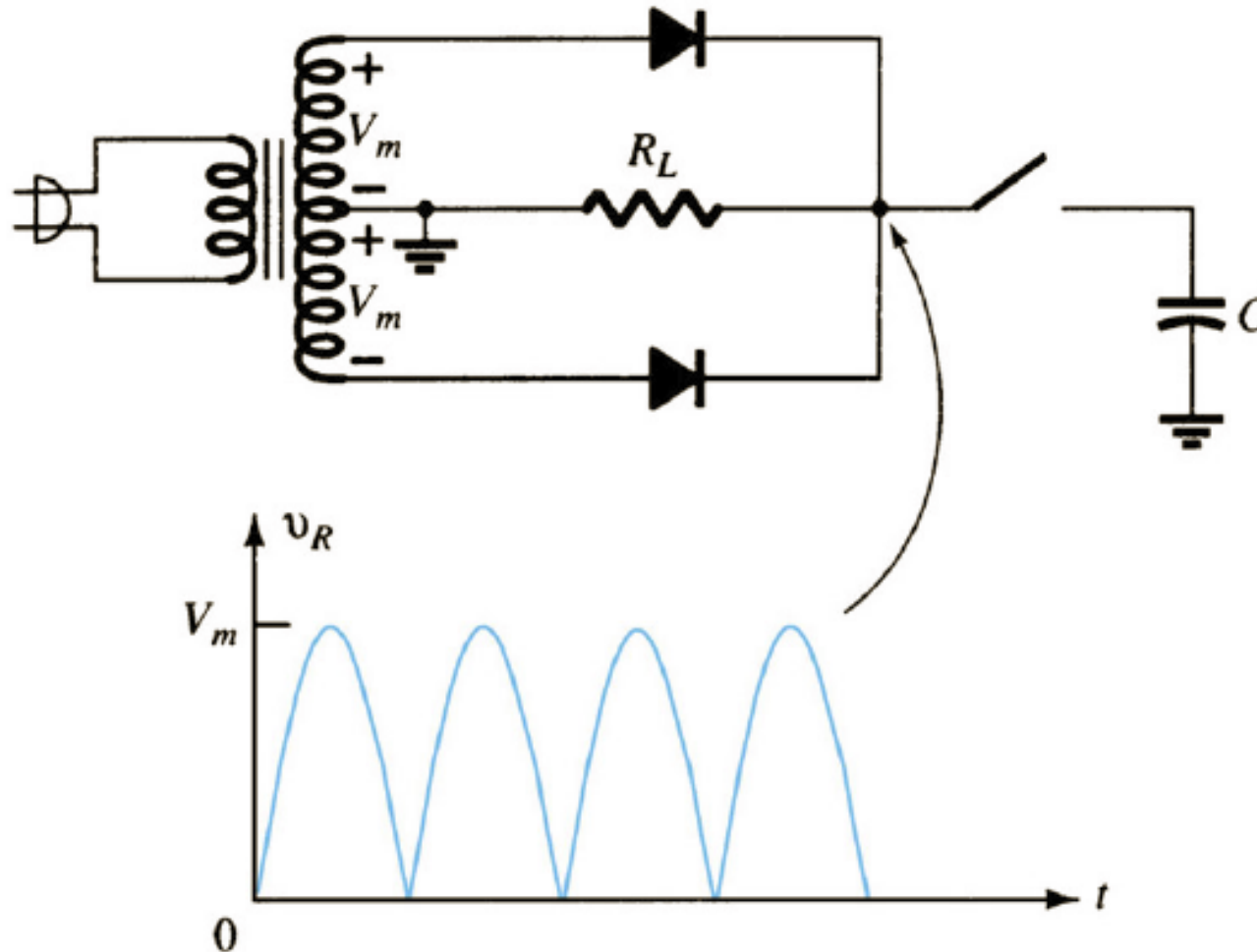
Filtragem com capacitor

Filtro com um único capacitor:



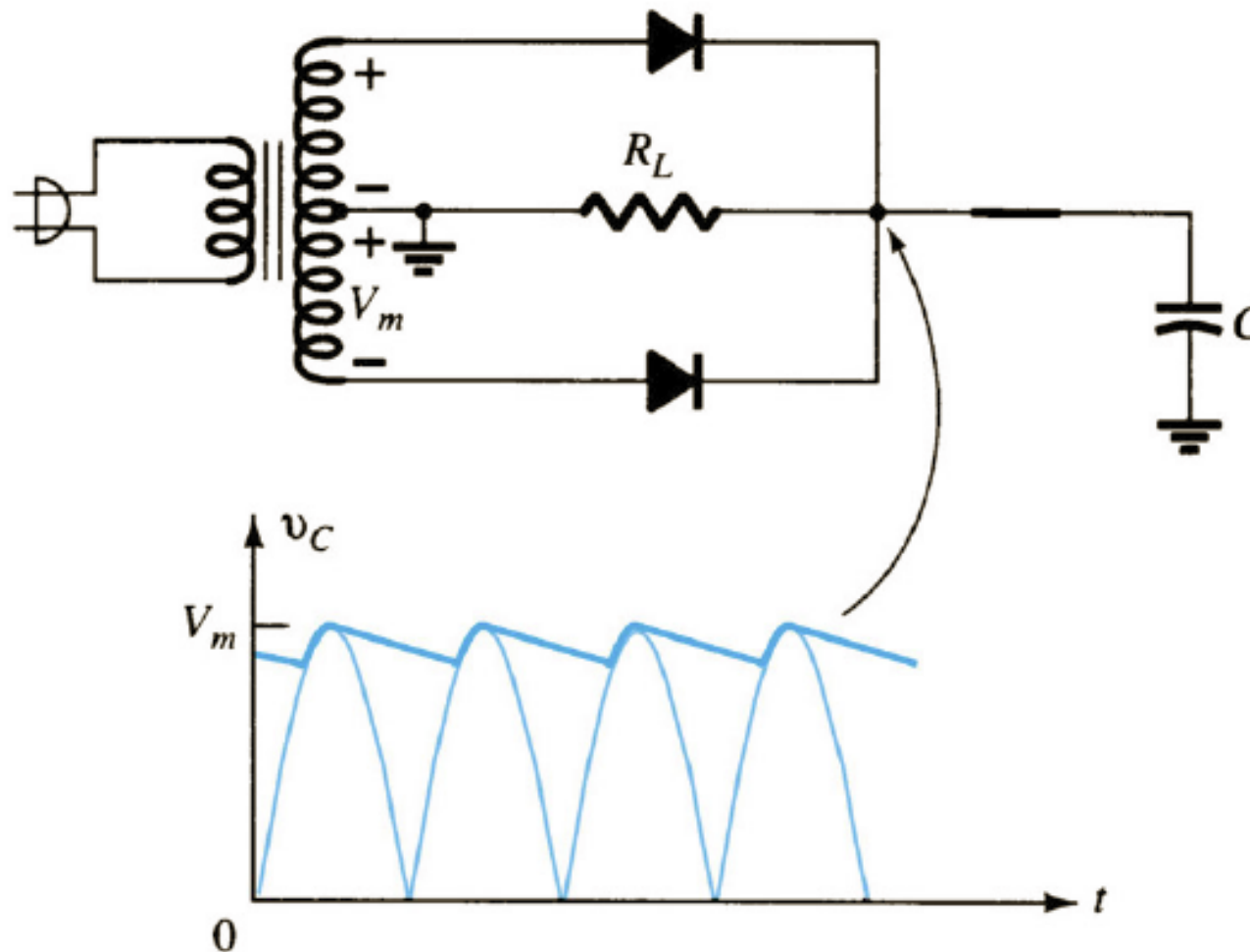
Filtragem com capacitor

Tensão retificada sem o uso de capacitor:



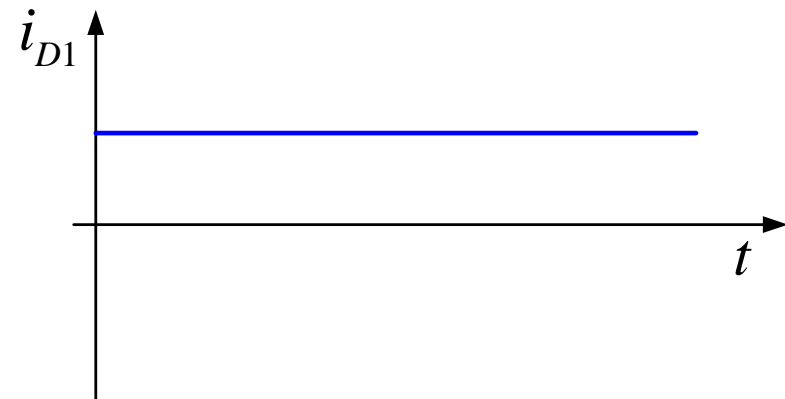
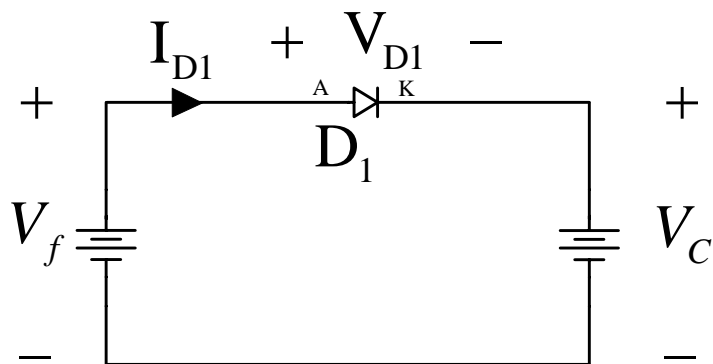
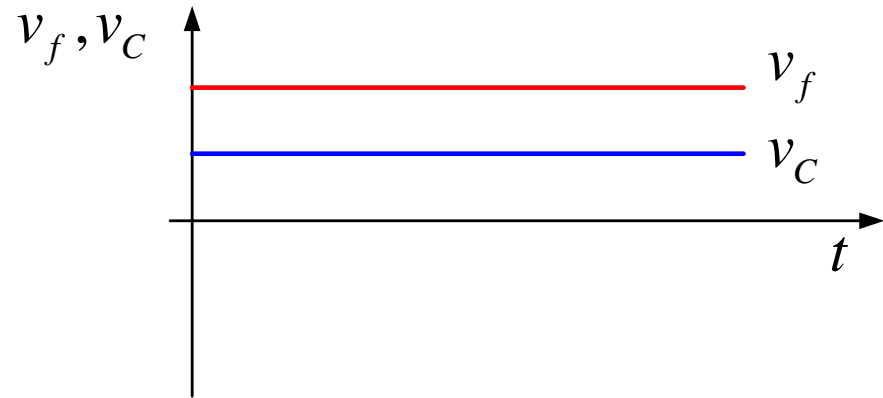
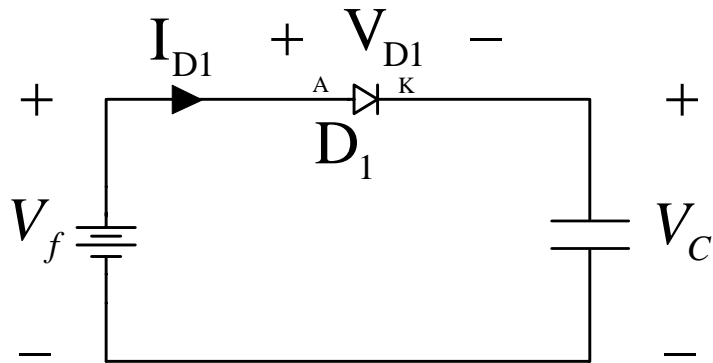
Filtragem com capacitor

Tensão de saída após a inclusão de um capacitor:



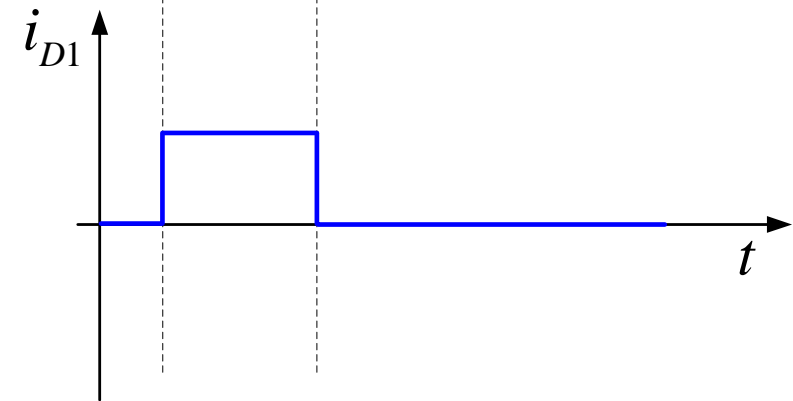
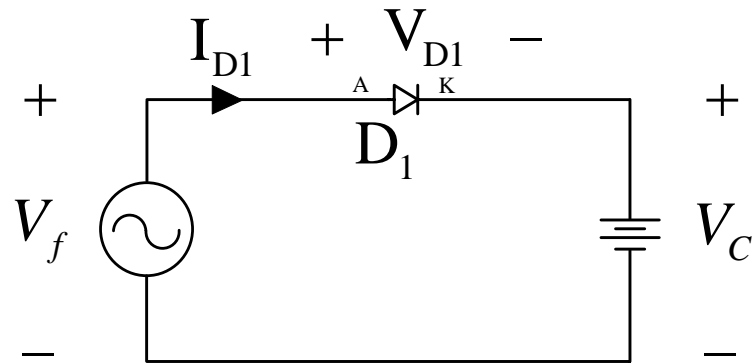
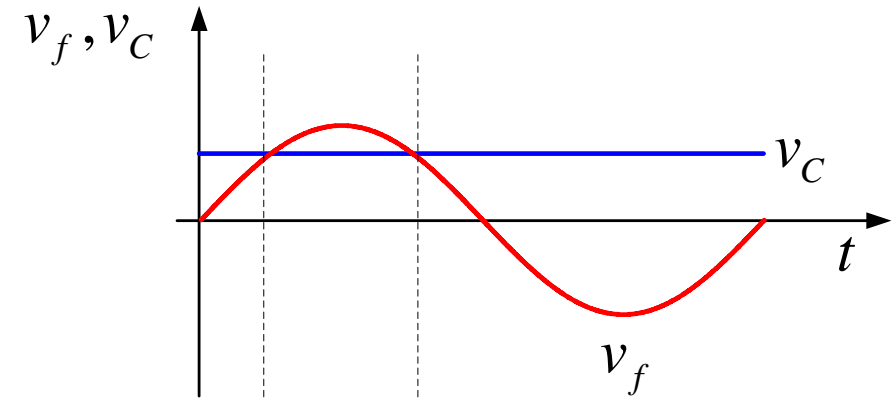
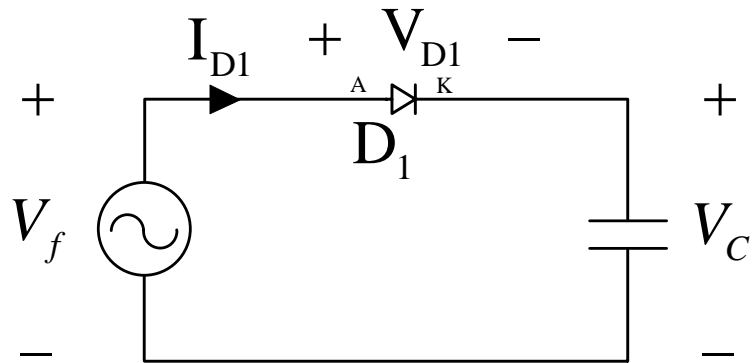
Filtragem com capacitor

Princípio de funcionamento:



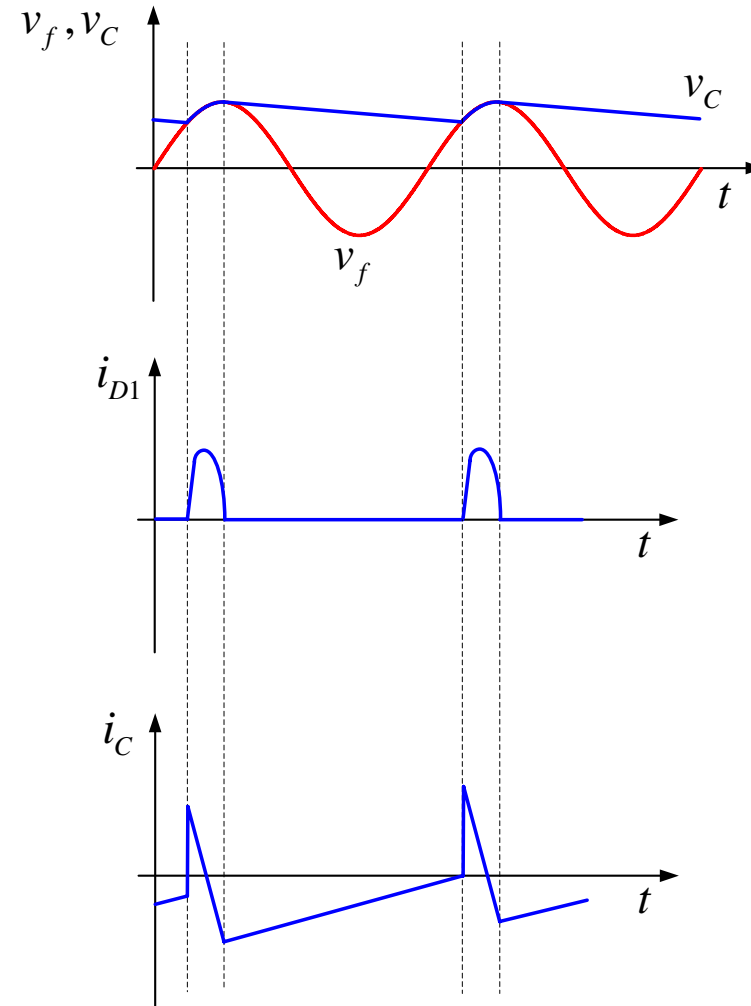
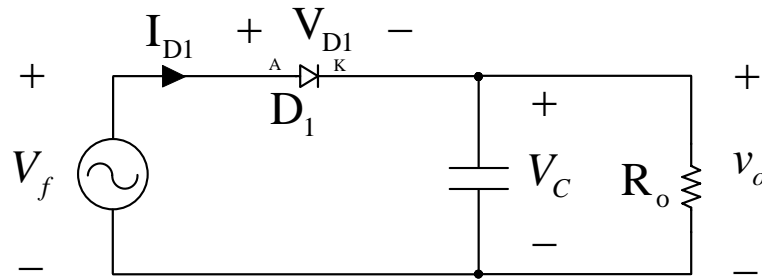
Filtragem com capacitor

Princípio de funcionamento:



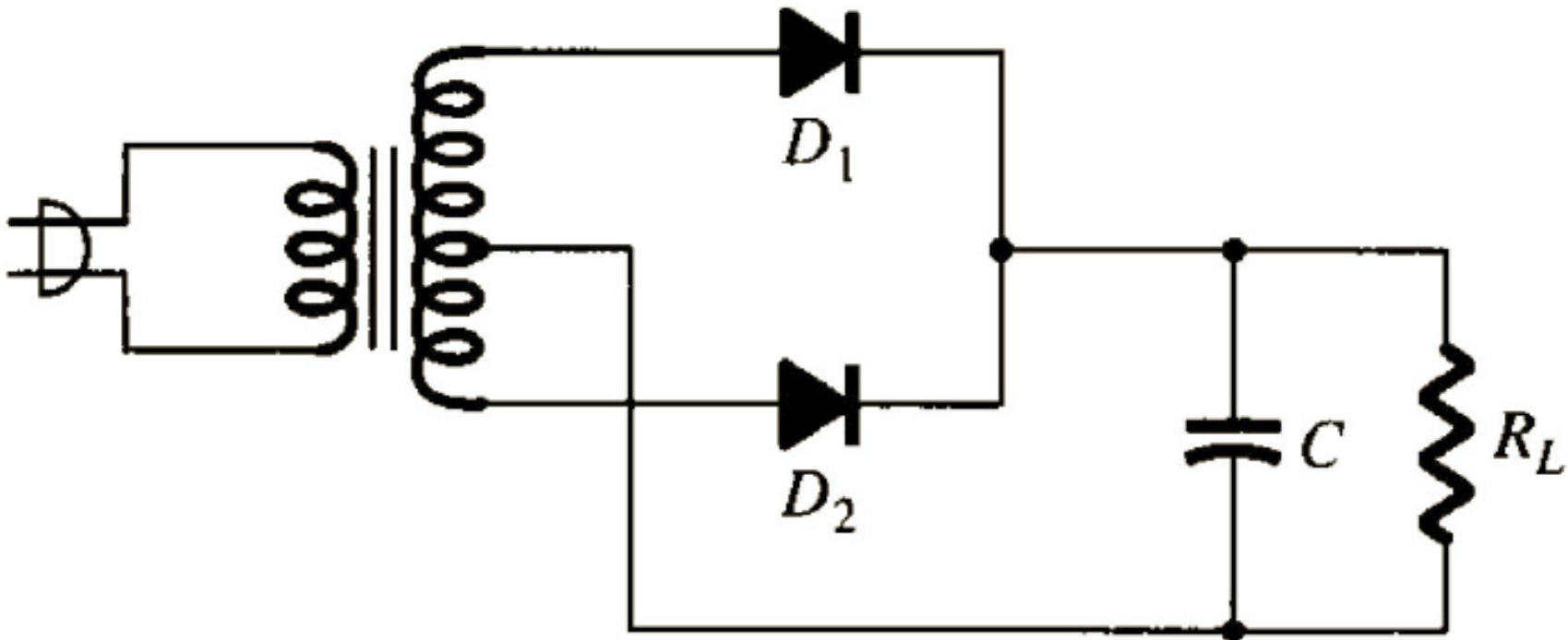
Filtragem com capacitor

Princípio de funcionamento:



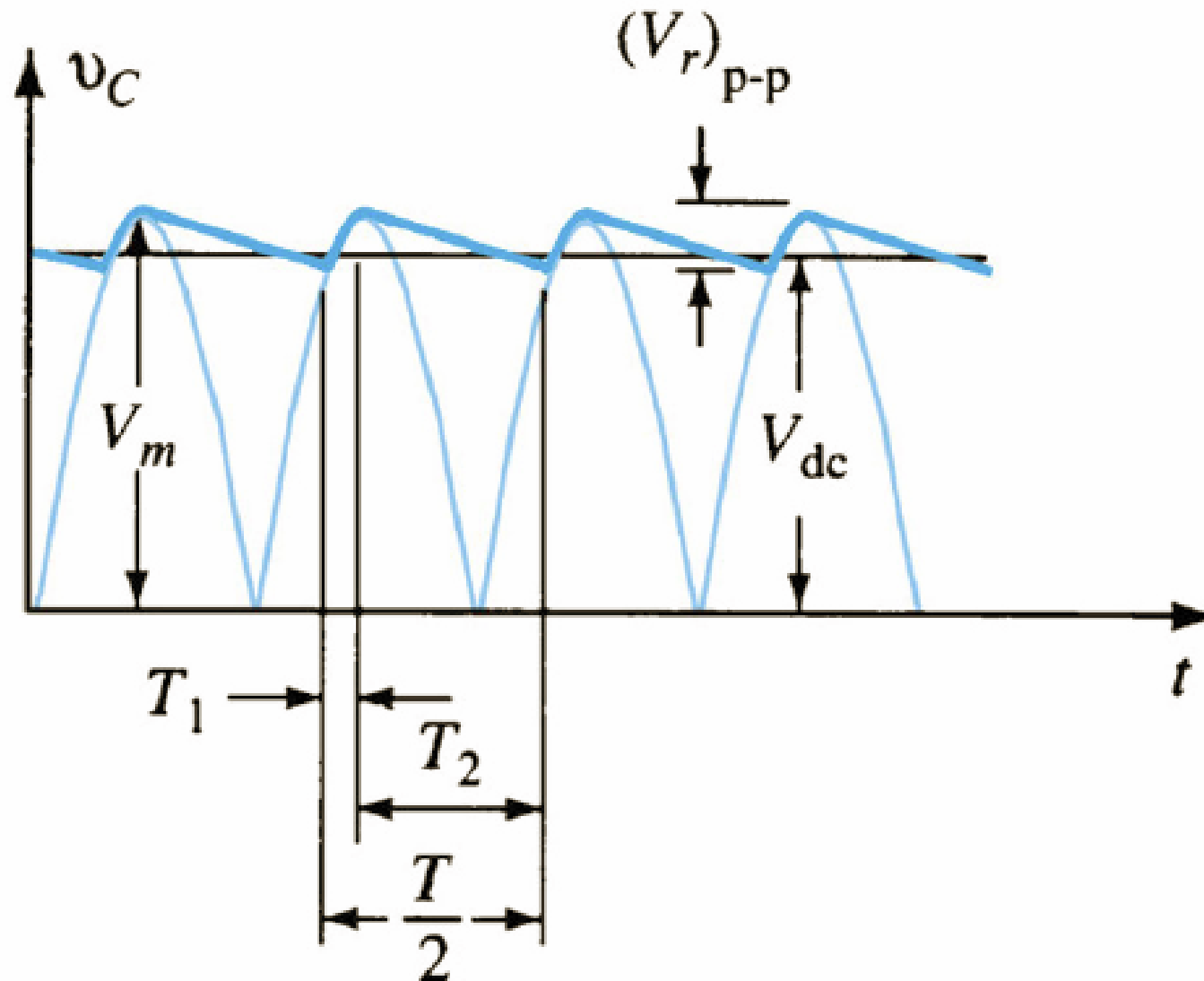
Filtragem com capacitor

Princípio de funcionamento:



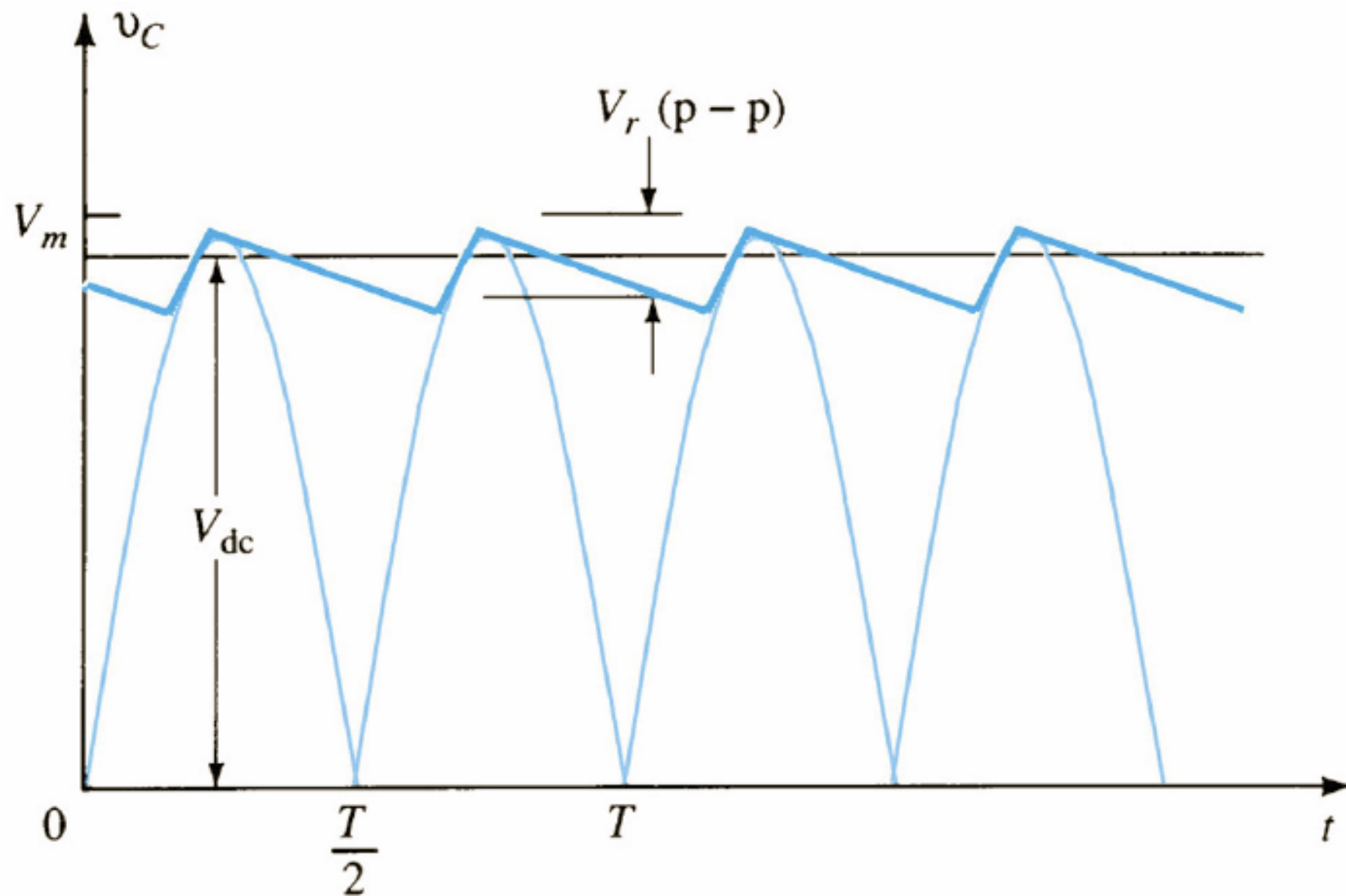
Filtragem com capacitor

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):

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

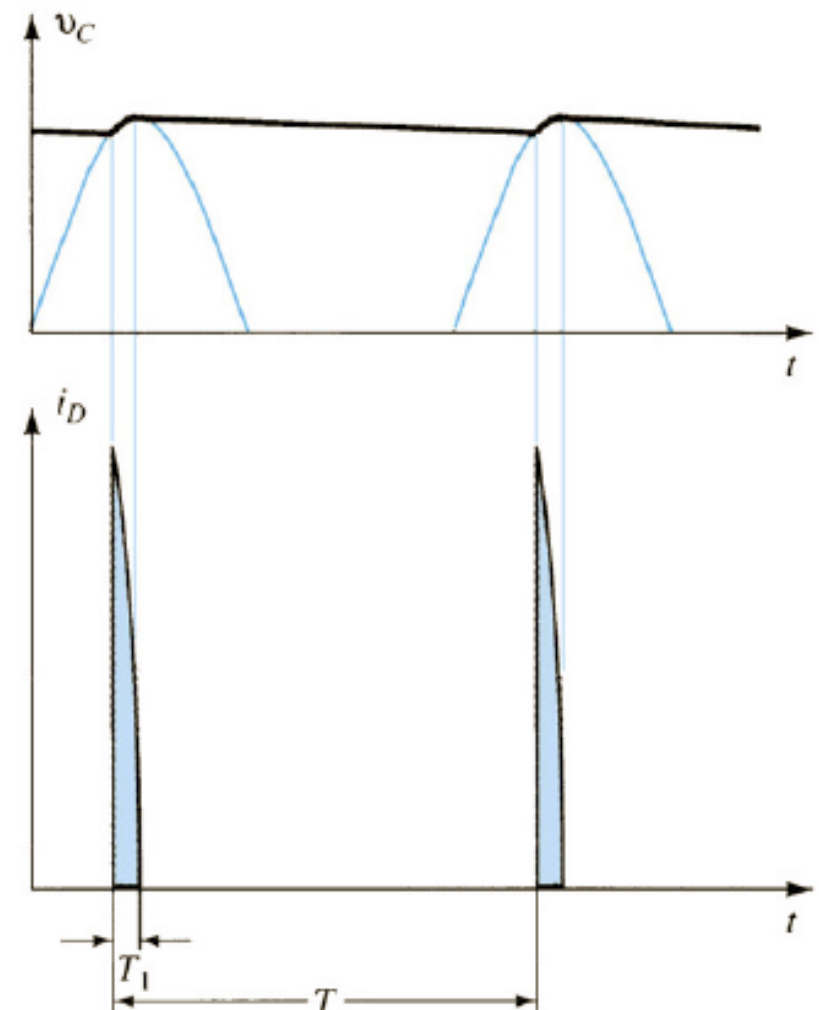
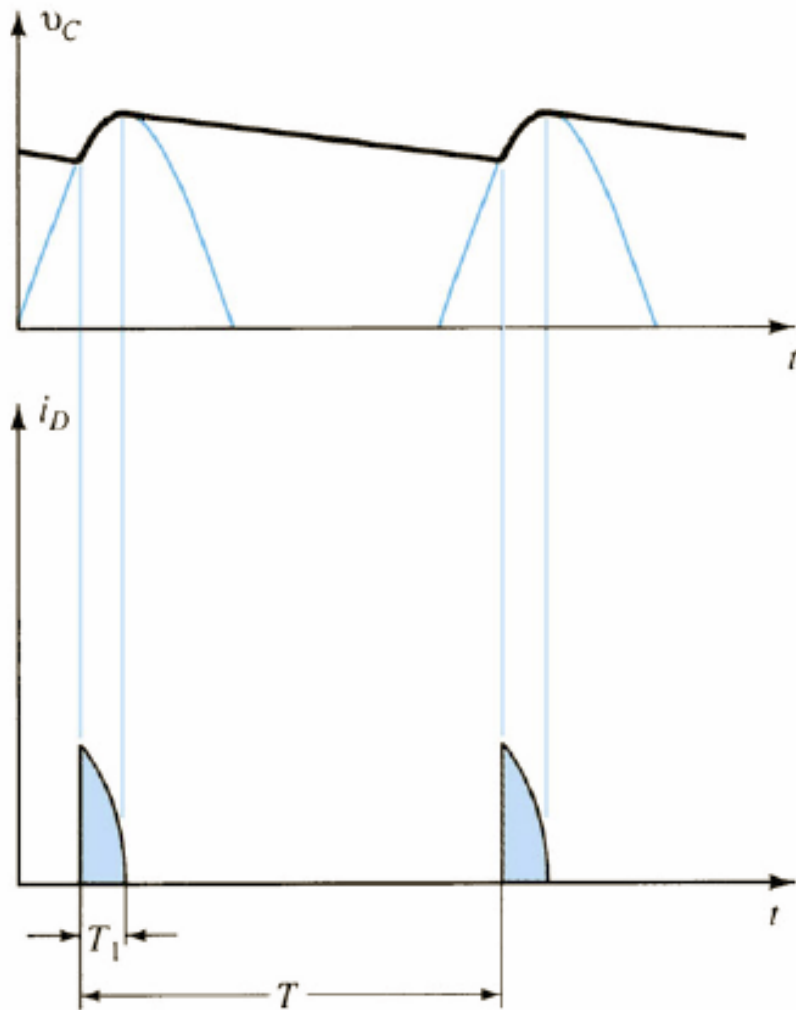
$I_{DC} \rightarrow$ miliampères;

$C \rightarrow$ microfarads;

$V_{max} \rightarrow$ tensão de pico.

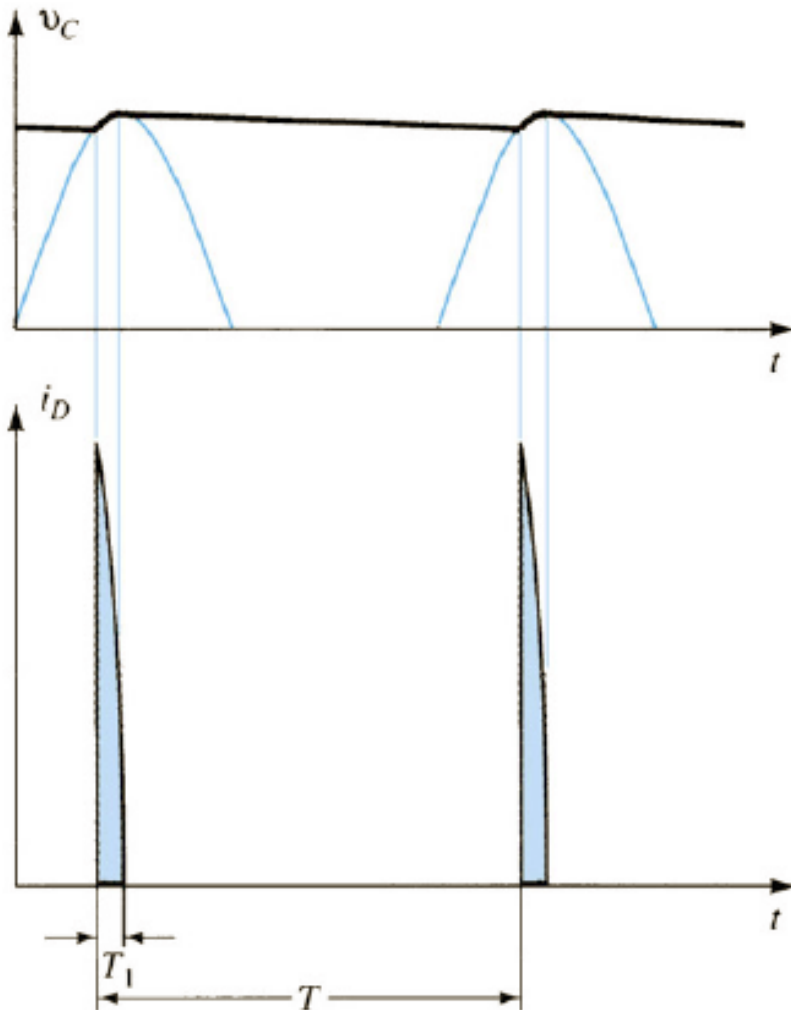
Filtragem com capacitor

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. Ensaio de circuitos retificadores em laboratório.