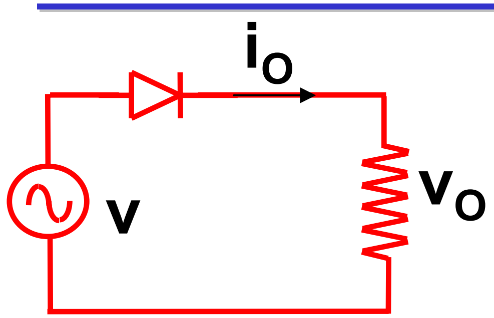
RECTIFICADOR DE MEIA ONDA:

Carga Resistiva



D on

$0 < \omega t < \pi$

$v_O = \sqrt{2} V sen(\omega t)$

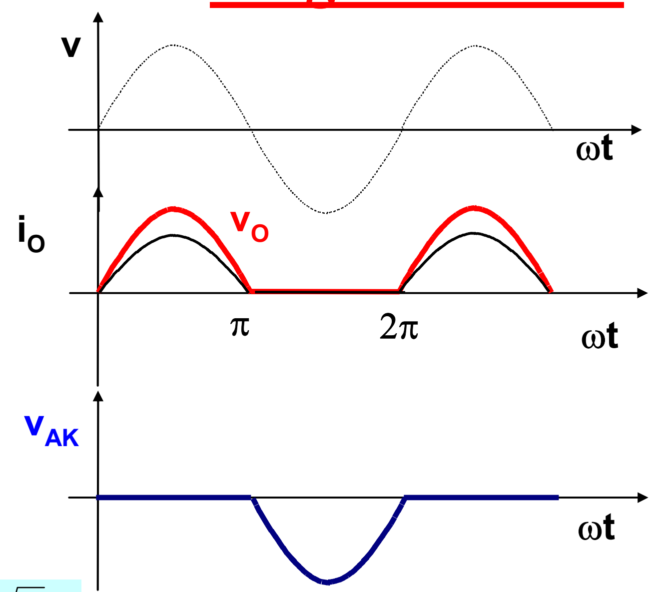
$i_O = \sqrt{2} \frac{V}{R} sen(\omega t)$

D off

$\pi < \omega t < 2\pi$

$v_O = 0$

$i_O = 0$



Valores médios da tensão e da corrente de saída:

$$V_O = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} \sqrt{2} V sen(\omega t) d\omega t = \frac{\sqrt{2}V}{\pi}\left[-\cos \omega t\right]_0^{\pi} = \frac{\sqrt{2}V}{\pi}$$

$$I_O = \frac{V_O}{R} = \frac{\sqrt{2}V}{R\pi}$$

Valores eficazes da tensão e da corrente de saída:

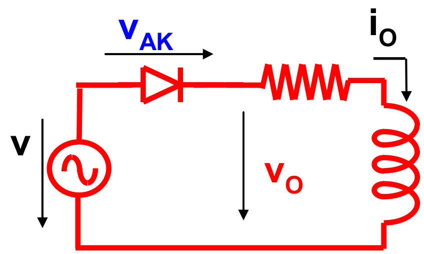
$$V_O ef = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi} \left(\sqrt{2} V \sin(\omega t)\right)^2 d\omega t} = \frac{\sqrt{2}V}{\sqrt{2\pi}}\sqrt{\int_0^{\pi} \left(\sin(\omega t)\right)^2 d\omega t} =$$

$$\frac{V}{\sqrt{\pi}}\sqrt{\int_0^{\pi} \frac{1-\cos(2\omega t)}{2} d\omega t} = \frac{V}{\sqrt{2\pi}}\sqrt{\left[\omega t - \frac{1}{2}\sin(2\omega t)\right]_0^{\pi}} = \frac{V}{\sqrt{2}}$$

$$I_O ef = \frac{V_O ef}{R} = \frac{V}{\sqrt{2}R}$$

RECTIFICADOR DE MEIA ONDA:

Carga Indutiva



D on

$0 < \omega t < \beta$

$v_O = \sqrt{2} V sen(\omega t)$

D off

$\beta < \omega t < 2\pi$

$v_O = 0$

$i_O = 0$

$$v_O = \sqrt{2} V sen(\omega t) = R i_O + L \frac{di_O}{dt}$$

solução do regime livre:

$$i_{Olivre} = A e^{-\frac{R}{L} t}$$

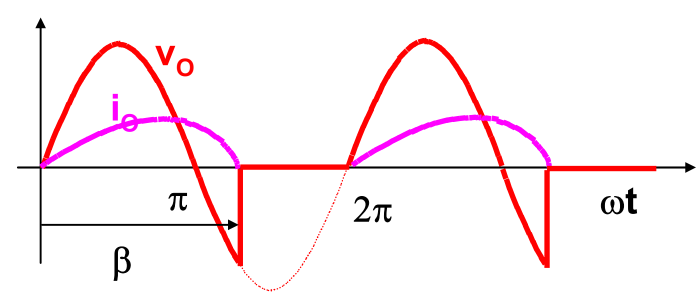
solução do regime forçado:

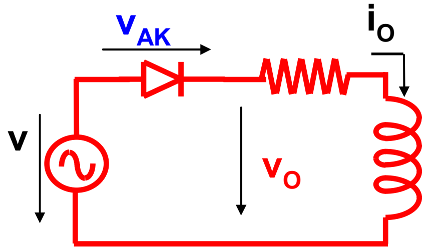
$$i_{Oforçado} = \sqrt{2} \frac{V}{Z} sen(\omega t - \phi)$$

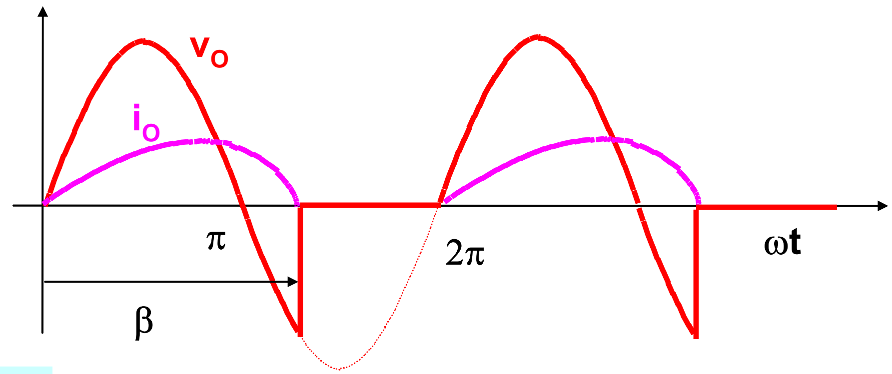
solução geral:

$$i_{Olivre} + i_{Oforçado}$$

$$i_O = A e^{-\frac{R}{L} t} + \sqrt{2} \frac{V}{Z} sen(\omega t - \phi)$$







solução geral:

$$i_O = Ae^{-\frac{R}{L}t} + \sqrt{2}\frac{V}{Z}sen(\omega t - \phi)$$

Cálculo da constante de integração A:

Condição inicial: $i_O(0)=0$

$$i_O(0) = Ae^{-\frac{R}{L}0} + \sqrt{2}\frac{V}{Z}sen(0-\phi) = 0$$

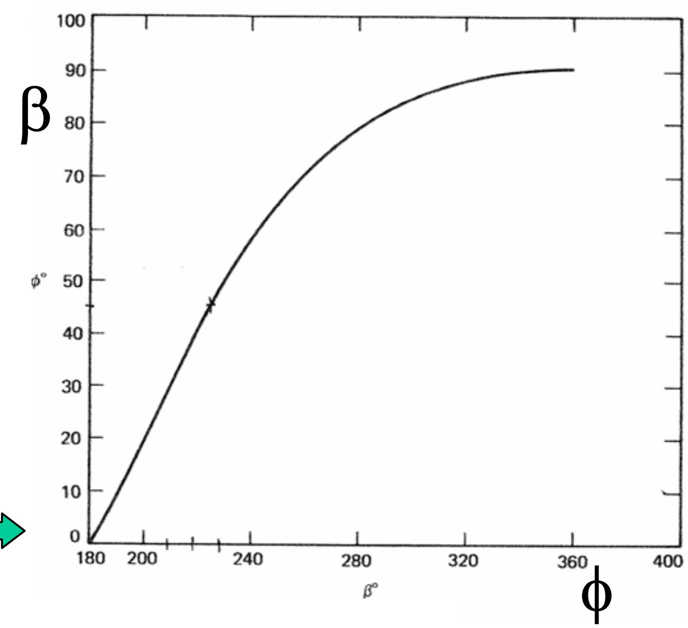
$$A = \sqrt{2}\frac{V}{Z}sen\phi$$

solução geral:

$$i_O = \sqrt{2}\frac{V}{Z}(sen\phi\ e^{-\frac{R}{L}t} + sen(\omega t - \phi))$$

ponto de anulamento da corrente:

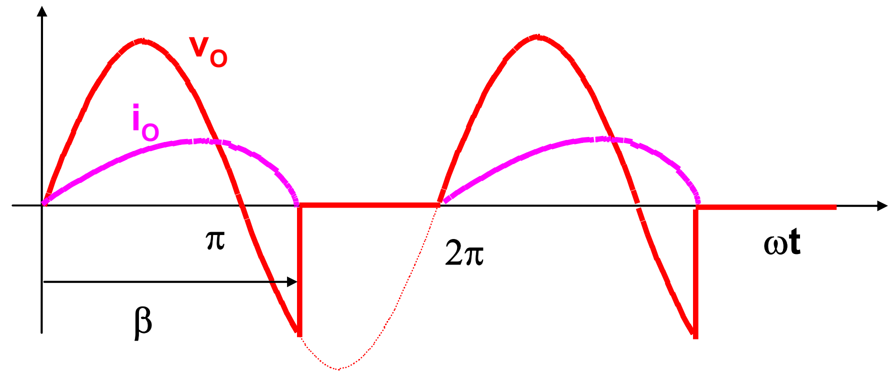
$$0 = (sen\phi\ e^{-\frac{R}{L}\frac{\beta}{\omega}} + sen(\beta - \phi))$$



Tensão e Corrente na carga

$$v_O = \sqrt{2}V sen(\omega t)$$

$$i_O = \sqrt{2}\frac{V}{Z}(sen\phi\ e^{-\frac{R}{L}t} + sen(\omega t - \phi))$$



Valor médio da tensão de saída: $$V_O = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\beta}\sqrt{2}V sen(\omega t)d\omega t = \frac{\sqrt{2}V}{\pi}\left[-\cos\omega t\right]_0^{\beta} = \frac{\sqrt{2}V}{\pi}(1-\cos\beta)$$

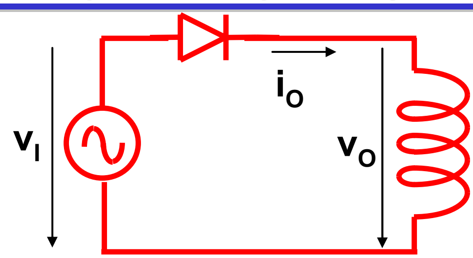
Valor médio da corrente de saída: $$I_O = \frac{V_O}{R} = \frac{\sqrt{2}V}{R\pi}(1-\cos\beta)$$

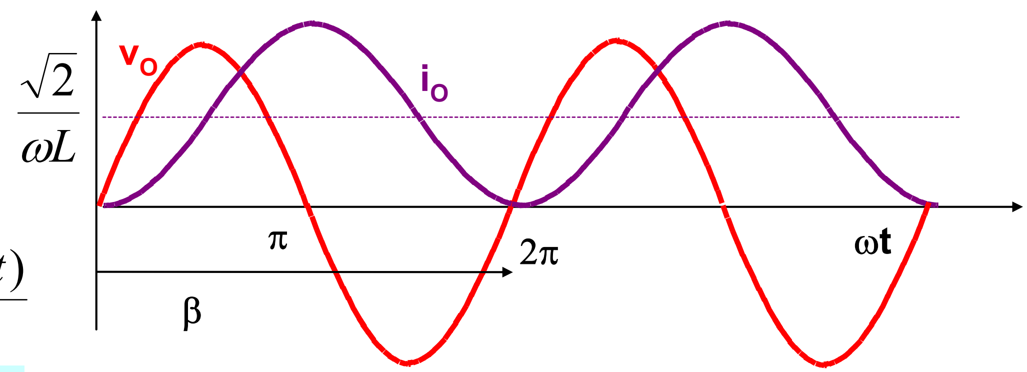
Valor eficaz da tensão de saída: $$V_O ef = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_0^{\beta}\left(\sqrt{2}V\sin(\omega t)\right)^2 d\omega t} = \frac{\sqrt{2}V}{\sqrt{2\pi}}\sqrt{\int_0^{\beta}(\sin(\omega t))^2 d\omega t} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow V_O ef = \frac{V}{\sqrt{\pi}}\sqrt{\int_0^{\beta}\frac{1-\cos(2\omega t)}{2}d\omega t} = \frac{V}{\sqrt{2\pi}}\sqrt{\left[\omega t - \frac{1}{2}\sin(2\omega t)\right]_0^{\beta}} \Leftrightarrow V_O ef = \frac{V}{\sqrt{2}}\sqrt{\beta - \frac{1}{2}\sin 2\beta}$$

Valor eficaz da corrente de saída: $$I_O ef = \frac{V_O ef}{R}$$

RECTIFICADOR DE MEIA ONDA: Carga Indutiva Pura





$$v_O = \sqrt{2}V sen(\omega t) = L\frac{di_O}{dt} \qquad \frac{di_O}{dt} = \frac{\sqrt{2}V sen(\omega t)}{L}$$

solução geral: $$i_O = -\frac{\sqrt{2}V\cos(\omega t)}{\omega L} + A$$

Cálculo da constante de integração A:

condição inicial: $i_O(0)=0$ ⇒ $i_O(0) = -\frac{\sqrt{2}}{\omega L}V + A$ ⇒ $A = \frac{\sqrt{2}}{\omega L}V$ $$i_O(\omega t) = \frac{\sqrt{2}}{\omega L}V(1+\cos\omega t)$$

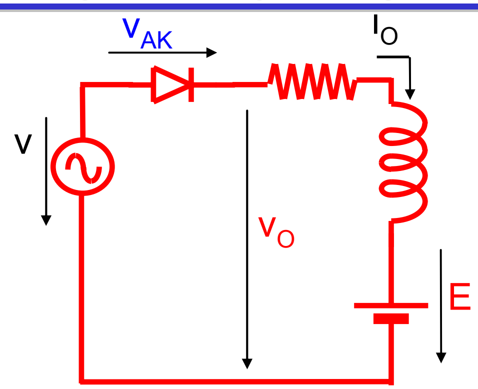
ponto de anulamento da corrente: ⇒ $(1+\cos\beta) = 0$ ⇒ $\beta = 2\pi$

Valores médios da tensão da corrente de saída: $V_O = 0 \qquad I_O = \frac{\sqrt{2}}{\omega L}$

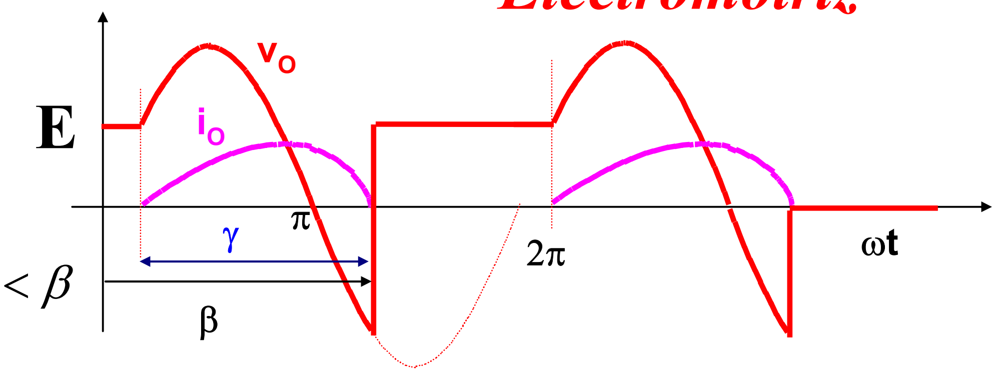
Valores eficazes da tensão da corrente de saída: $V_{Oef} = V$

$$I_O ef = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2\pi}\omega L}V\sqrt{\int_0^{2\pi}(1-\cos\omega t)^2 d\omega t} \qquad I_O ef = \frac{\sqrt{3}}{\omega L}V$$

RECTIFICADOR DE MEIA ONDA: Carga Indutiva e Força Electromotriz



$$sen^{-1}\frac{E}{\sqrt{2}V} < \omega t < \beta$$



$$v_O = \sqrt{2}V sen(\omega t)$$

$$v_O = \sqrt{2}V sen(\omega t) = Ri_O + L\frac{di_O}{dt} + E$$

solução geral: → $i_{Olivre} + i_{Oforçado}$ →

$$i_O = Ae^{-\frac{R}{L}\left(t-\frac{\alpha}{\omega}\right)} + \sqrt{2}\frac{V}{Z}sen(\omega t - \phi) - \frac{E}{R}$$

$$i_{Olivre} = Ae^{-\frac{R}{L}t} \qquad i_{Oforçado} = \sqrt{2}\frac{V}{Z}sen(\omega t - \phi) - \frac{E}{R}$$

Cálculo da constante de integração A: **Condição inicial:** → $i_O(a/\omega)=0$

$$i_O\left(\frac{\alpha}{\omega}\right) = Ae^0 + \sqrt{2}\frac{V}{Z}sen(\alpha - \phi) - \frac{E}{R} = 0$$

→

$$A = -\sqrt{2}\frac{V}{Z}sen\left(\alpha - \phi\right) + \frac{E}{R}$$

Ângulo de condução em função de m e ϕ

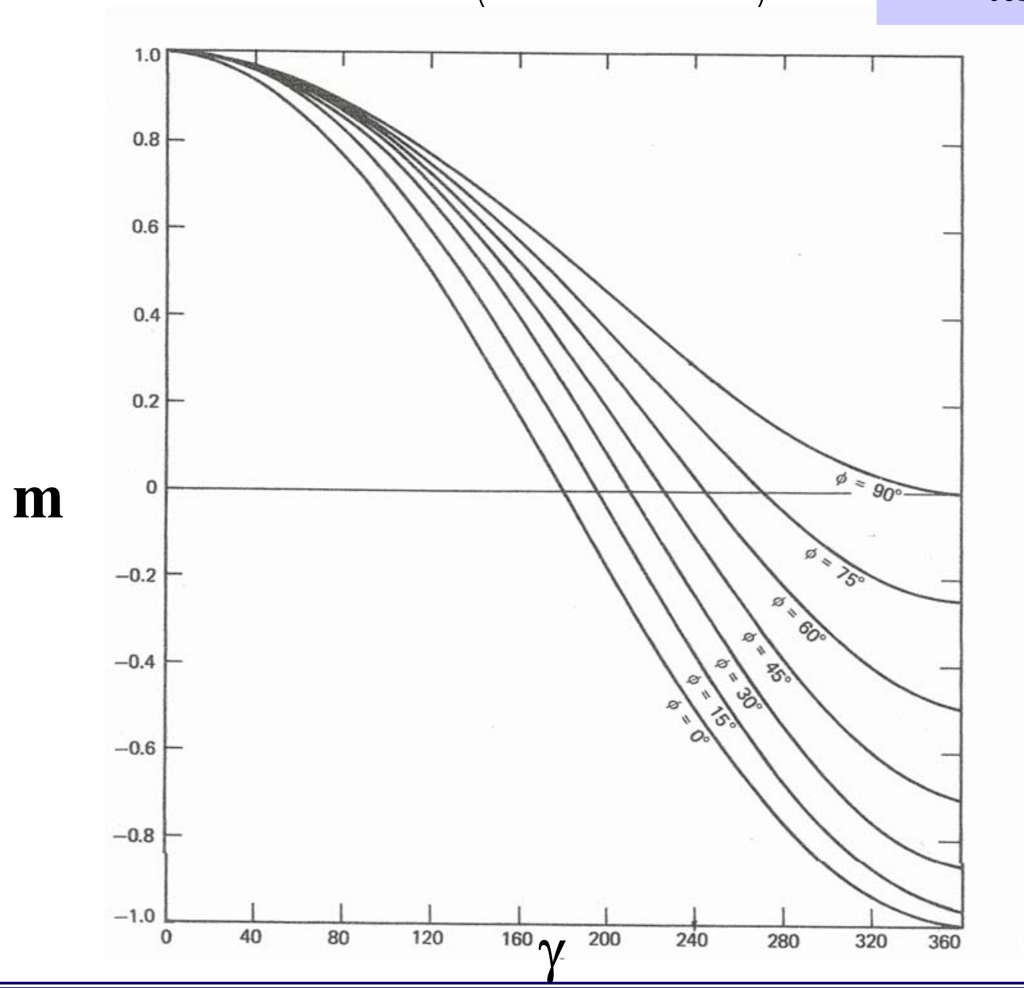
$$R = Z\cos\phi$$

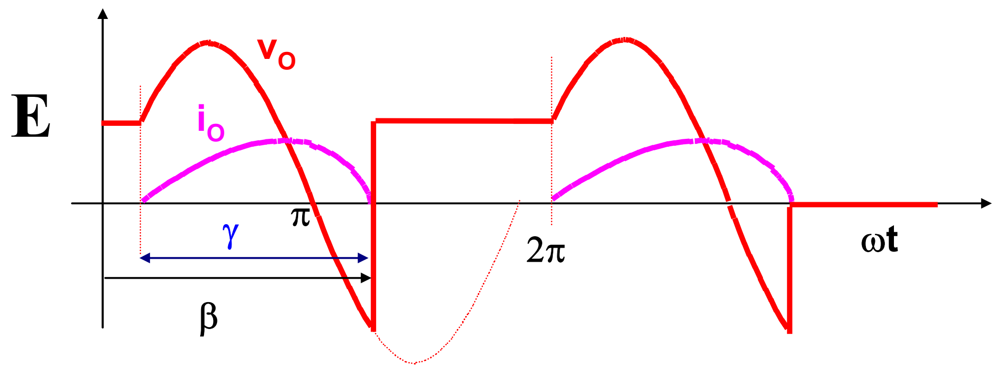
$$m = E/\sqrt{2}V$$

$$B = \frac{m}{\cos\phi} - sen(\alpha-\phi)$$

ponto de anulamento da corrente:

$$i_o(\beta) = 0 = sen(\beta-\phi) - \left(\frac{m}{\cos\phi} - Be^{-\frac{R\beta}{L\omega}}\right)$$





Valores médios da tensão da corrente de saída:

$$V_O = \frac{1}{2\pi}\left(\int_{\alpha}^{\beta}\sqrt{2}V sen(\omega t) d\omega t + \int_{\beta}^{2\pi+\alpha} E d\omega t\right)$$

$$I_O = \frac{V_O - E}{R}$$

$$i_O = Ae^{-\frac{R}{L}t} + \sqrt{2}\frac{V}{Z}sen(\omega t - \phi) - \frac{E}{R}$$

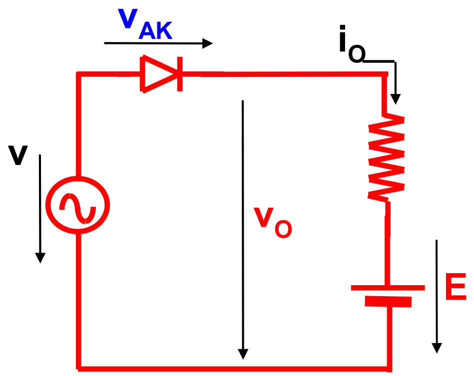
Valores eficazes da tensão da corrente de saída:

$$V_{Oef} = \left[\frac{1}{2\pi}\left(\int_{\alpha}^{\beta}\left(\sqrt{2}V sen(\omega t)\right)^2 d\omega t + \int_{\beta}^{2\pi+\alpha} E^2 d\omega t\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$I_{Oef} = \left[\frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta}\left(i_O(\omega t)\right)^2 d\omega t\right]^{\frac{1}{2}}$$

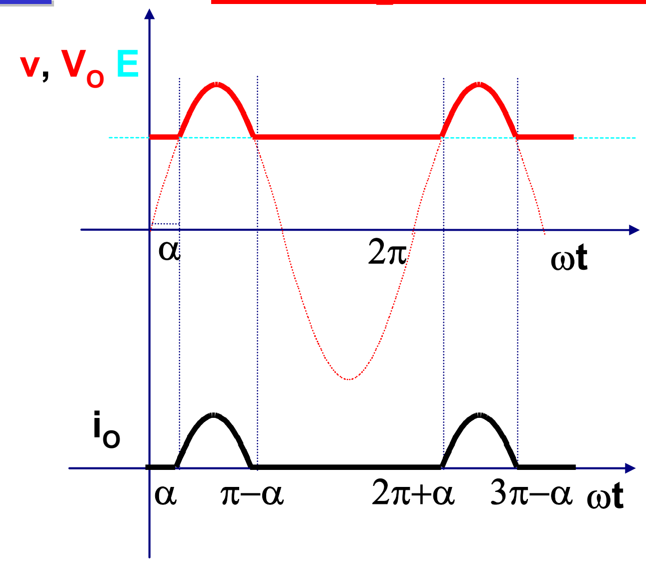
RECTIFICADOR DE MEIA ONDA:

Casos particulares:R,E



$$\alpha < \omega t < \alpha + \gamma$$

$$v_O = Ri_O + E$$



solução :

$$i_O = \frac{\sqrt{2}}{R}\sin\omega t - \frac{E}{R}$$

ponto de anulamento da corrente:

$$i_O(\beta) = 0 \Leftrightarrow \sin\omega t = E/\sqrt{2} = \pi - \alpha$$

$$\beta = \pi - \alpha \qquad \gamma = \pi - 2\alpha$$

Valores eficaz da corrente de saída:

$$I_{Oef} = \sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi-\alpha}\left(\frac{\sqrt{2}}{R}V\sin\omega t - \frac{E}{R}\right)^2 d\omega t}$$

Valores médios da corrente e da tensão de saída:

$$I_O = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi-\alpha}\left(\frac{\sqrt{2}}{R}V\sin\omega t - \frac{E}{R}\right)d\omega t$$

$$V_O = RI_O + E$$

Potência útil

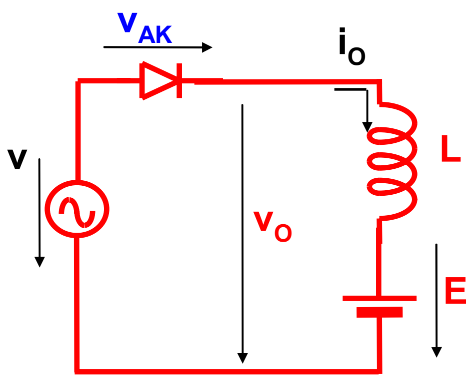
$$P_{util} = RI_{Oef}^{\ 2} + EI_{Oav}$$

Factor de potência

$$FP = \frac{P_{util}}{S} = \frac{RI_{Oef}^{\ 2} + EI_{Oav}}{V_{ef}I_{Oef}}$$

RECTIFICADOR DE MEIA ONDA:

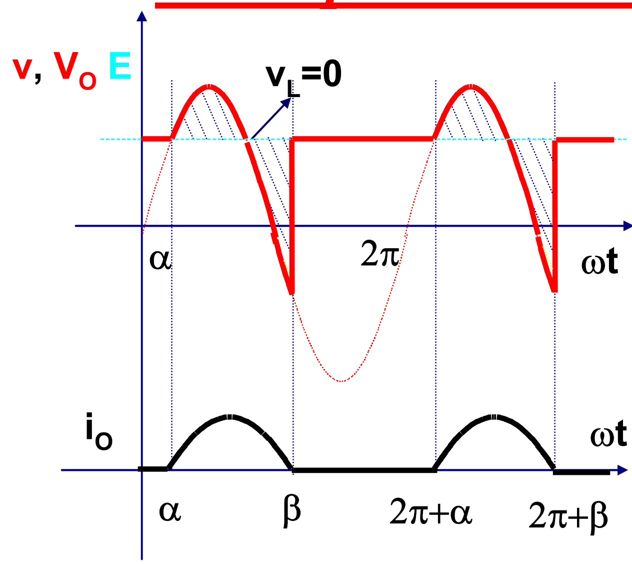
Casos particulares:L,E



$$\alpha < \omega t < \beta$$

$$v = L\frac{di_O}{dt} + E$$

$$\frac{di_O}{dt} = \frac{\sqrt{2}V\sin\omega t - E}{L}$$



$$i_o = \int_{\frac{\alpha}{\omega}}^{t} \frac{\sqrt{2}V\sin\omega t - E}{L}dt$$

$$i_o = \int_{\frac{\alpha}{\omega}}^{t} \frac{\sqrt{2}V\sin\omega t - E}{L}dt = \left[\frac{\sqrt{2}V}{\omega t}(-\cos\omega t)\right]_{\frac{\alpha}{\omega}}^{t} - \left[\frac{E}{L}t\right]_{\frac{\alpha}{\omega}}^{t}$$

$$i_o = \frac{\sqrt{2}V}{\omega t}(\cos\alpha - \cos\omega t) - \frac{E}{L}\left(t - \frac{\alpha}{\omega}\right)$$

Valores médios da corrente e da tensão de saída:

$$V_O = E$$

$$I_O = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta}\left[\frac{\sqrt{2}V}{\omega t}(\cos\alpha - \cos\omega t) - \frac{E}{L}\left(t - \frac{\alpha}{\omega}\right)\right]d\omega t$$

RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA: Carga Resistiva

D1 e D3 on

$$0 < \omega t < \pi$$

$$v_O = \sqrt{2}V sen(\omega t)$$

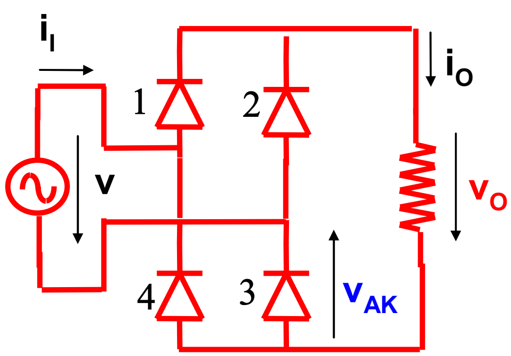
$$i_O = \frac{\sqrt{2}V}{R} sen(\omega t)$$

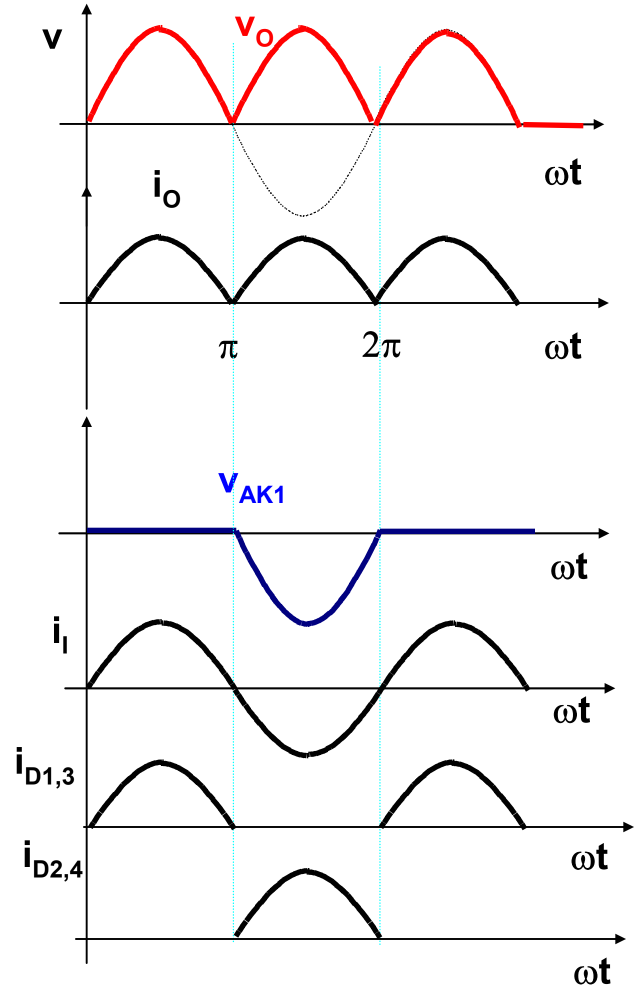
D2 e D4 on

$$\pi < \omega t < 2\pi$$

$$v_O = -\sqrt{2}V sen(\omega t)$$

$$i_O = -\frac{\sqrt{2}V}{R} sen(\omega t)$$





Valores médios e eficazes da tensão e da corrente de saída:

$$V_O = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} \sqrt{2}V sen(\omega t) d\omega t = \frac{2\sqrt{2}V}{\pi}$$

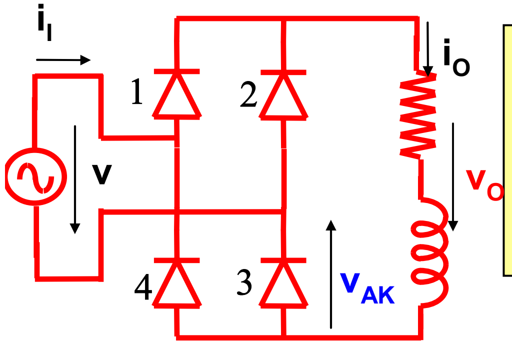
$$I_O = \frac{V_O}{R}$$

$$V_O ef = V$$

$$I_O ef = \frac{V}{R}$$

$$I_{FAV} = \frac{V_O}{2R} \qquad I_{FRMS} = \frac{I_{Oef}}{\sqrt{2}}$$

RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA: Carga Indutiva



D1 e D3 on

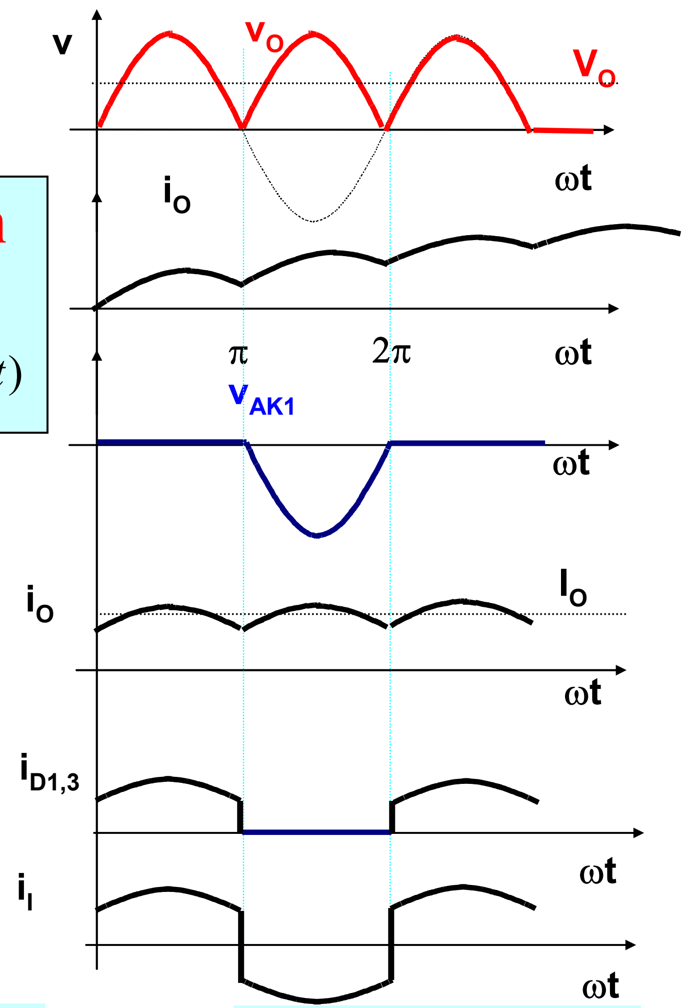
$$0 < \omega t < \pi$$

$$v_O = \sqrt{2} V sen(\omega t)$$

D2 e D4 on

$$\pi < \omega t < 2\pi$$

$$v_O = -\sqrt{2} V sen(\omega t)$$



$$v_O = \sqrt{2} V sen(\omega t) = R i_O + L \frac{di_O}{dt}$$

$$i_O = A e^{-\frac{R}{L}t} + \sqrt{2}\frac{V}{Z} sen(\omega t - \phi)$$

Cálculo da constante de integração de regime permanente A:

$$i_O(0) = i_O(\pi)$$

$$i_O(0) = A e^{-\frac{R}{L}0} + \sqrt{2}\frac{V}{Z} sen(0 - \phi) = A e^{-\frac{R}{L}\frac{\pi}{\omega}} + \sqrt{2}\frac{V}{Z} sen(\pi - \phi) = i_O(\pi)$$

$$A = \frac{2\sqrt{2}V}{Z} \frac{sen(\phi)}{1 - e^{-\frac{R}{L}\frac{\pi}{\omega}}}$$

Valores médios e eficazes da tensão e da corrente de saída:

$$V_O = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi}\sqrt{2}V sen(\omega t)d\omega t = \frac{2\sqrt{2}V}{\pi}$$

$$I_O = \frac{V_O}{R}$$

$$I_{FAV} = \frac{I_O}{2}$$

$$V_O ef = V$$

$$I_{FRMS} = \frac{I_{Oef}}{\sqrt{2}}$$

Cálculo do valor eficaz da corrente de saída:

Se ωL>>>R a corrente de saída é aproximadamente constante

$$Se\,\omega L >>> R \Leftrightarrow I_O ef \cong I_O$$

$$i_O = 2\sqrt{2}\frac{V}{Z}\frac{\sin\phi}{1-e^{-\frac{R}{L}\frac{\pi}{\omega}}}e^{-\frac{R}{L}t} + \sqrt{2}\frac{V}{Z}sen(\omega t-\phi)$$

$$I_{Oef} = \left[\frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta}\left(i_O(\omega t)\right)^2 d\omega t\right]^{\frac{1}{2}}$$