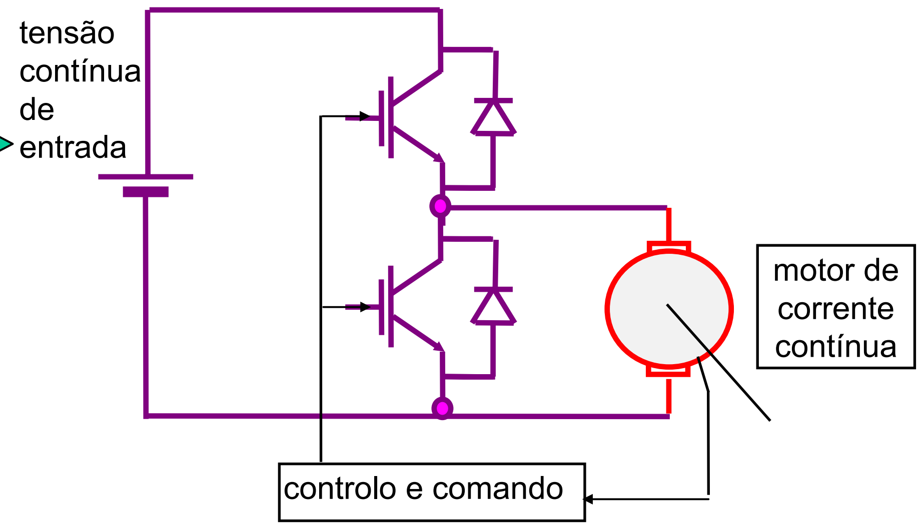
CONVERSORES CC-CC

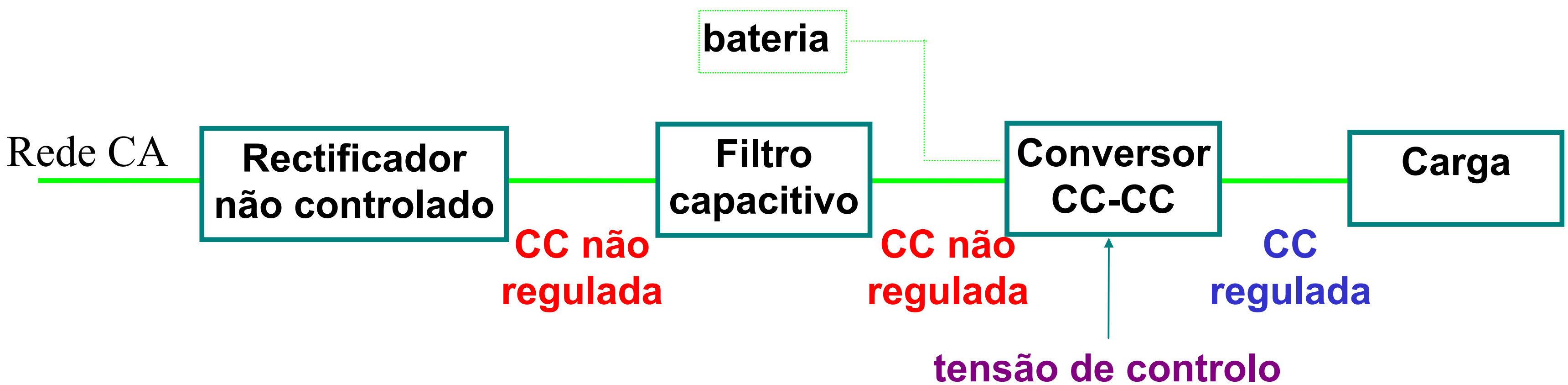
Aplicações:

Controlo de motores de CC-CC

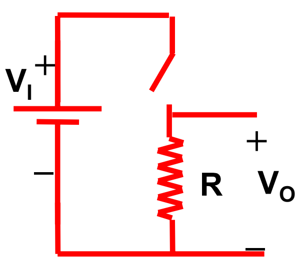
Fontes de alimentação comutadas

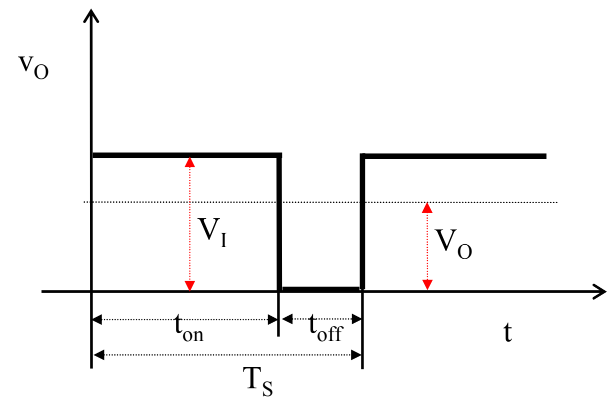
Carga de baterias



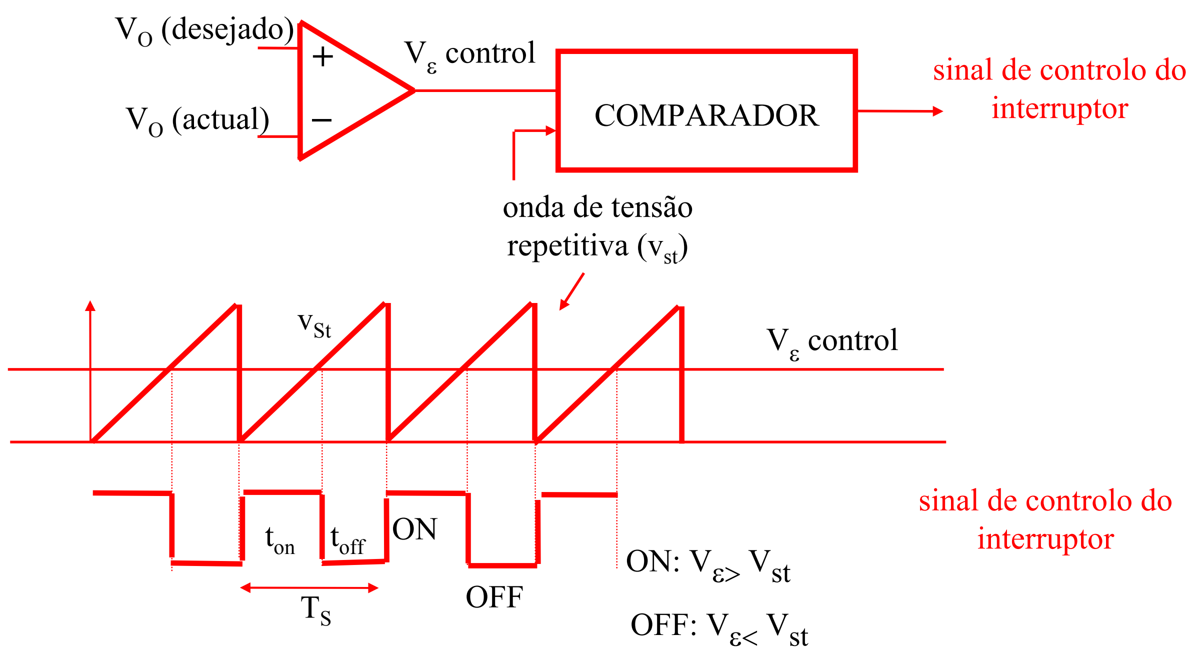


Controlo por modulação de largura de impulso - MLI "PWM"

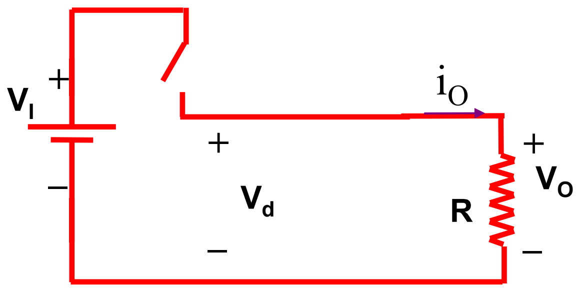


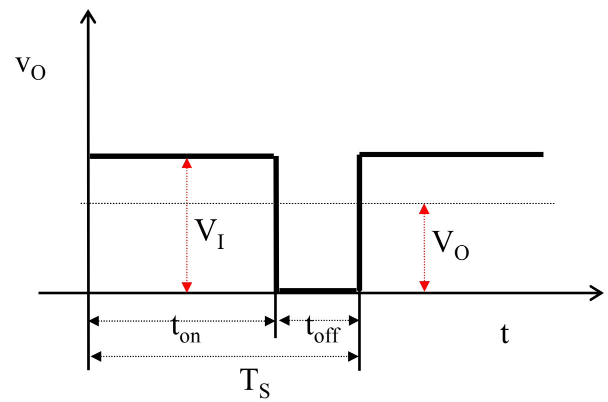


$$D = \frac{t_{on}}{T_S} = \frac{v_{control}}{V_{st}}$$



Conversor redutor de um quadrante com carga resistiva





$$D = \frac{t_{on}}{T_S} = \frac{V_O}{V_I}$$

Valor médio da tensão e da corrente na carga

$$V_O = \frac{1}{T_S}\int_0^{T_S} v_O(t)dt = \frac{1}{T_S}\left(\int_0^{t_{on}} v_I dt + \int_{t_{on}}^{T_S} 0 dt\right) = \frac{t_{on}}{t_S} V_I = D V_I$$

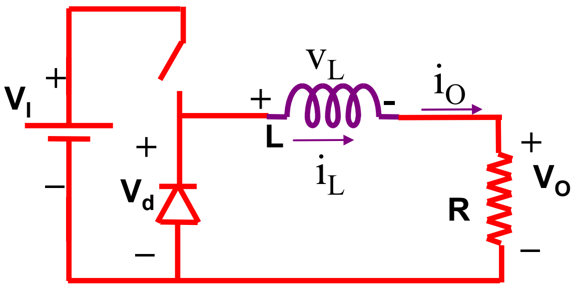
$$I_O = \frac{V_O}{R}$$

Valor eficaz da tensão e da corrente na carga

$$V_{Oef} = \left[\frac{1}{T_S}\int_0^{T_S} (v_O(t))^2 dt\right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{1}{T_S}\int_0^{t_{on}} V_I^{\,2} dt\right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{V_I^2}{T_S} t_{on}\right]^{\frac{1}{2}} = V_I\sqrt{\frac{t_{on}}{T_S}} = V_I\sqrt{D}$$

$$I_O = \frac{V_{Oef}}{R}$$

Conversor redutor de um quadrante com carga RL



$$v_O = Ri_O + L\frac{di_O}{dt}$$

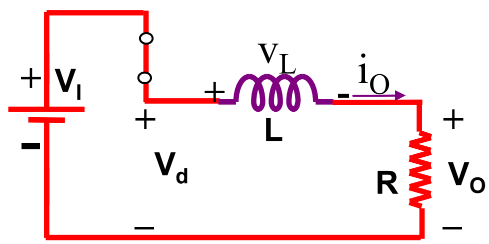
$$\begin{cases} V_I = Ri_O + L\dfrac{di_O}{dt} \\ 0 = Ri_O + L\dfrac{di_O}{dt} \end{cases}$$

Modo 1

S on D off

$0 < t < DT$

$v_O = V_I$



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

$$i_{Oforçado} = \frac{V_I}{R}$$

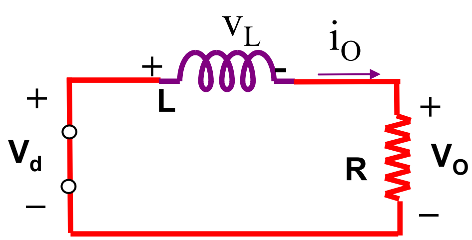
$$\Rightarrow \quad i_{O1} = Ae^{-\frac{R}{L}t} + \frac{V_I}{R}$$

Modo 2

S off D on

$DT < t < T$

$v_O = 0$



$$i_{Olivre} = Be^{-\frac{R}{L}(t-t_{on})}$$

$$i_{Oforçado} = 0$$

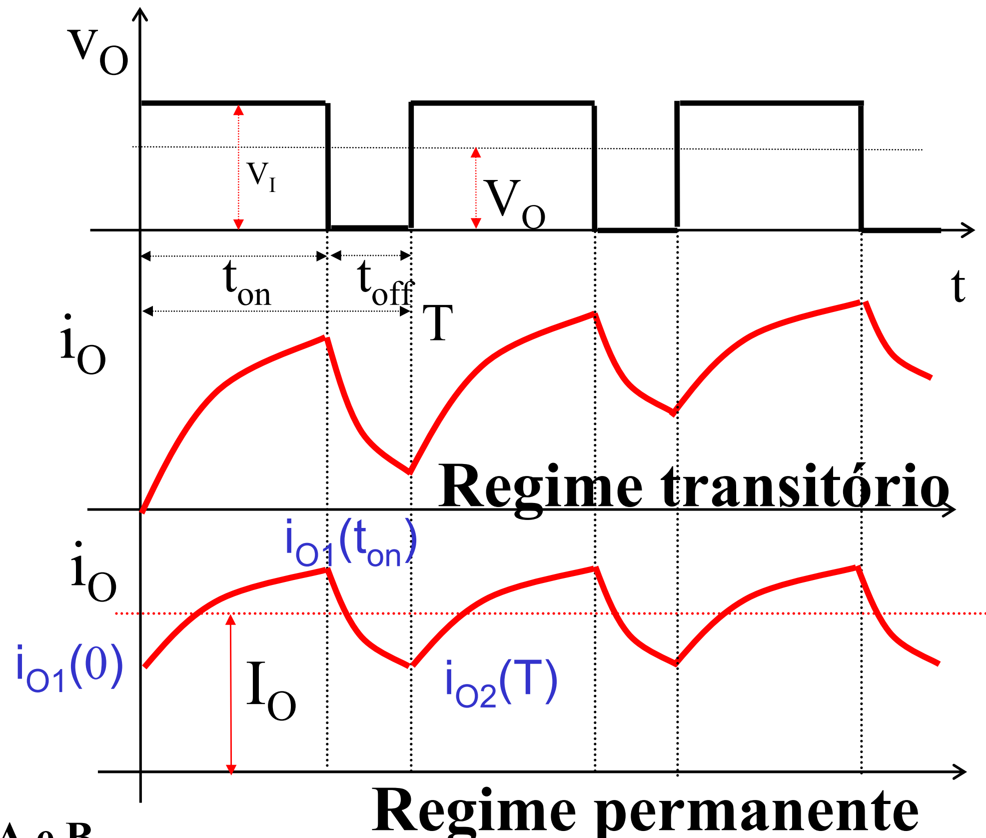
$$\Rightarrow \quad i_{O2} = Be^{-\frac{R}{L}(t-t_{on})}$$

Condições de regime permanente:

$$i_{O1} = Ae^{-\frac{R}{L}t} + \frac{V_I}{R} \qquad i_{O2} = Be^{-\frac{R}{L}(t-t_{on})}$$

$i_{O1}(0)=i_{O2}(T)$ $\quad$ $i_{O1}(t_{on})=i_{O2}(t_{on})$

$$\begin{cases} i_{O1}(t_{on}) = Ae^{-\frac{R}{L}t_{on}} + \frac{V_I}{R} = Be^{0} = i_{O2}(t_{on}) \\ i_{O1}(0) = Ae^{0} + \frac{V_I}{R} = Be^{-\frac{R}{L}(T-t_{on})} = i_{O2}(T) \end{cases}$$



Resolvendo o sistema de equações determina-se A e B

$$A = \frac{V_I}{R}\frac{-1+e^{-\frac{R}{L}(T-t_{on})}}{1-e^{-\frac{R}{L}(T)}} \qquad B = \frac{V_I}{R}\frac{1-e^{-\frac{R}{L}(t_{on})}}{1-e^{-\frac{R}{L}(T)}}$$

Factor de ciclo

$$D=\frac{t_{on}}{T}=\frac{V_O}{V_I}$$

Valor médio da tensão na carga

$$V_O=\frac{t_{on}}{T}V_I=DV_I$$

Valor eficaz da tensão na carga

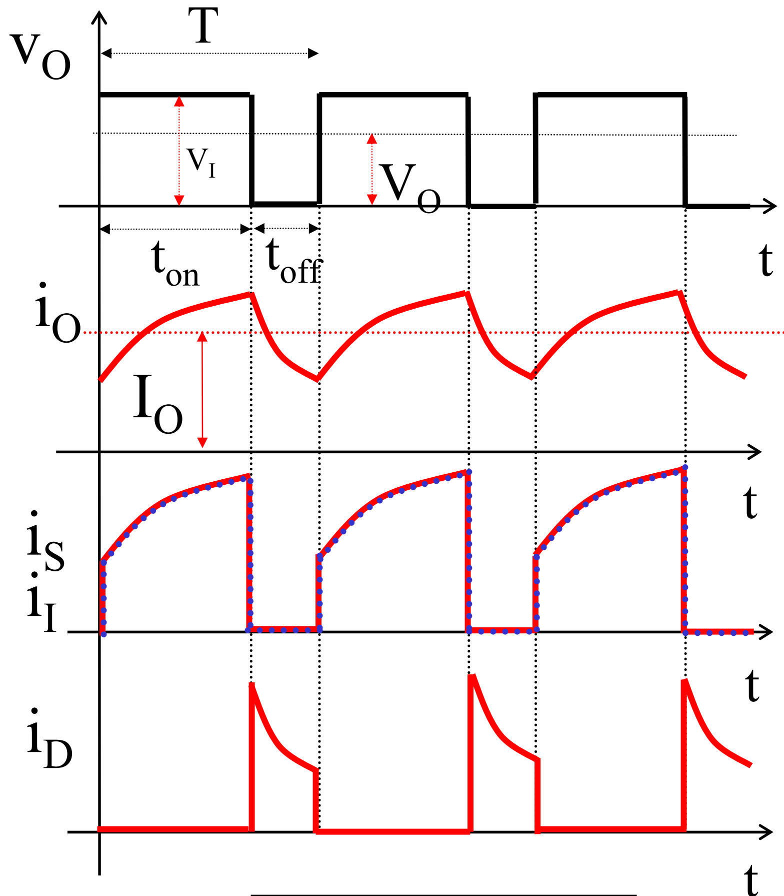
$$V_{Oef}=V_I\sqrt{\frac{t_{on}}{T_S}}=V_I\sqrt{D}$$

Valor médio da corrente na carga

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

Valor eficaz da corrente na carga

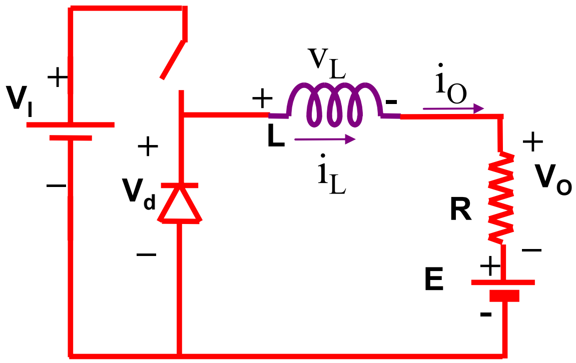
$$I_{Oef}=\left[\frac{1}{T}\int_0^T i_O(t)^2\,dt\right]^{\frac{1}{2}}=\left[\frac{1}{T}\left(\int_0^{t_{on}} i_{O1}^2\,dt+\int_{t_{on}}^{T} i_{O2}^2\,dt\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$



$$i_{O1}=Ae^{-\frac{R}{L}t}+\frac{V}{R}$$

$$i_{O2}=Be^{-\frac{R}{L}(t-t_{on})}$$

Conversor redutor de um quadrante com carga RLE



$$v_O = Ri_O + L\frac{di_O}{dt} + E$$

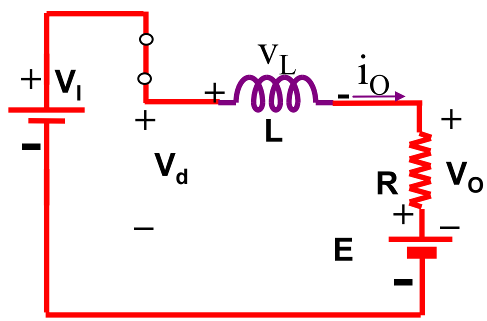
$$\begin{cases} V_I = Ri_O + L\dfrac{di_O}{dt} + E \\ 0 = Ri_O + L\dfrac{di_O}{dt} + E \end{cases}$$

Modo 1

S on D off

$0 < t < DT$

$v_O = V_I$



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

$$i_{Oforçado} = \frac{V_I - E}{R}$$

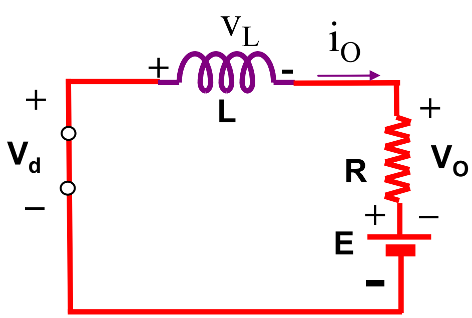
$$i_{O1} = Ae^{-\frac{R}{L}t} + \frac{V_I - E}{R}$$

Modo 2

S off D on

$DT < t < T$

$v_O = 0$



$$i_{Olivre} = Be^{-\frac{R}{L}(t - t_{on})}$$

$$i_{Oforçado} = -\frac{E}{R}$$

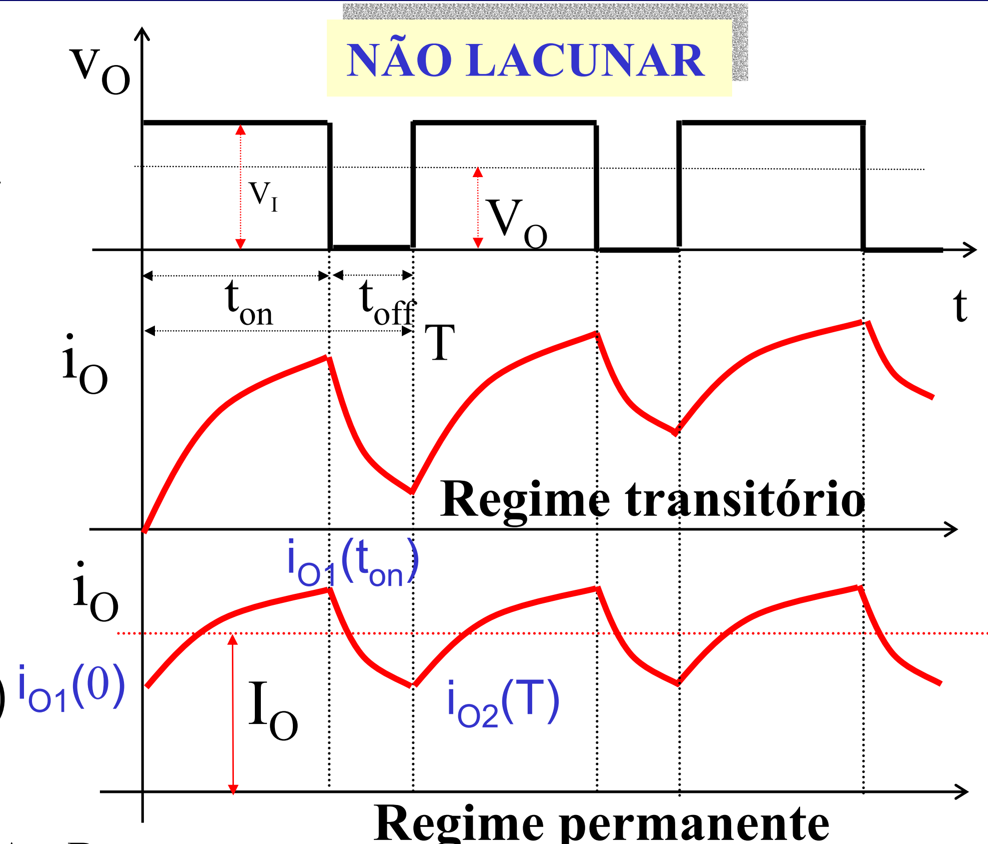
$$i_{O2} = Be^{-\frac{R}{L}(t - t_{on})} - \frac{E}{R}$$

Condições de regime permanente:

$$i_{O1} = Ae^{-\frac{R}{L}t} + \frac{V_I - E}{R} \qquad i_{O2} = Be^{-\frac{R}{L}(t-t_{on})} - \frac{E}{R}$$

$i_{O1}(0)=i_{O2}(T)$ $\qquad$ $i_{O1}(t_{on})=i_{O2}(t_{on})$

$$\begin{cases} i_{O1}(t_{on}) = Ae^{-\frac{R}{L}t_{on}} + \dfrac{V_I - E}{R} = Be^{0} - \dfrac{E}{R} = i_{O2}(t_{on}) \\ i_{O1}(0) = Ae^{0} + \dfrac{V_I - E}{R} = Be^{-\frac{R}{L}(T-t_{on})} - \dfrac{E}{R} = i_{O2}(T) \end{cases}$$

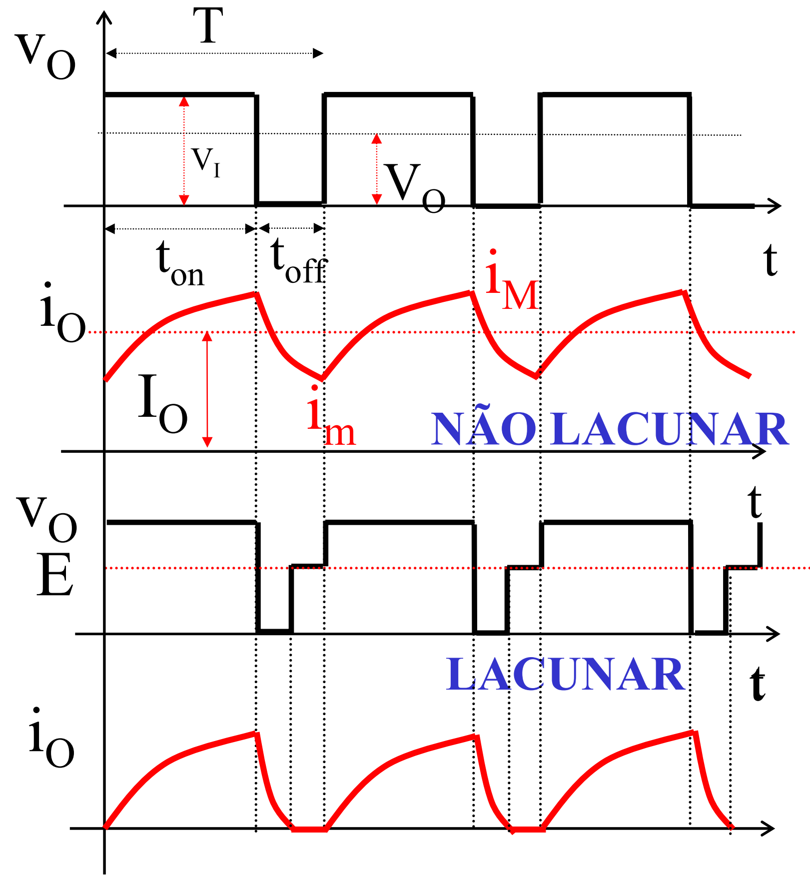


Resolvendo o sistema de equações determina-se A e B

$$A = \frac{V_I - E}{R}\,\frac{-1 + e^{-\frac{R}{L}(T-t_{on})}}{1 - e^{-\frac{R}{L}(T)}} \qquad B = \frac{V_I - E}{R}\,\frac{1 - e^{-\frac{R}{L}(t_{on})}}{1 - e^{-\frac{R}{L}(T)}}$$

Factor de ciclo

$$D = \frac{t_{on}}{T} = \frac{V_O}{V_I}$$



Valor médio da tensão na carga (não lacunar)

$$\boxed{V_O = \frac{t_{on}}{T} V_I = D V_I}$$

Valor eficaz da tensão na carga (não lacunar)

$$V_{Oef} = V_I \sqrt{\frac{t_{on}}{T_S}} = V_I \sqrt{D}$$

Valor médio da corrente na carga

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

Valor eficaz da corrente na carga

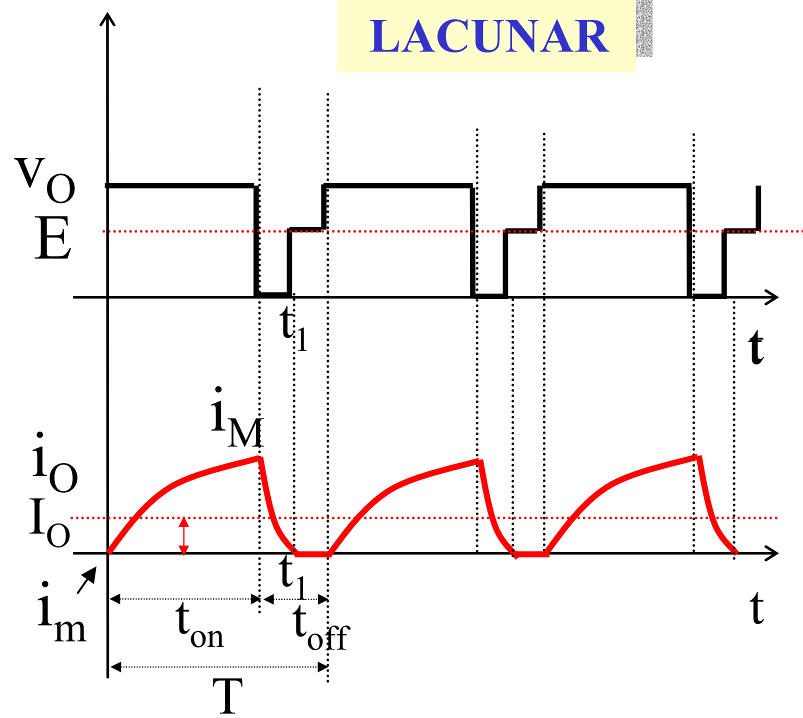
$$I_{Oef} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T i_O(t)^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{1}{T} \left(\int_0^{t_{on}} i_{O1}^2 dt + \int_{t_{on}}^{T} i_{O2}^2 dt \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$i_{O1} = A e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{V_I - E}{R}$$

$$i_{O2} = B e^{-\frac{R}{L}(t - t_{on})} - \frac{E}{R}$$

A relação V_O/V_I depende do ponto de anulamento da corrente, isto é, da carga

LACUNAR



Valor médio da tensão na carga (lacunar)

$$V_O = \frac{1}{T}\int_0^T v_O(t)dt = \frac{1}{T}\left(\int_0^{t_{on}} V_I dt + \int_{t_1}^T E dt\right)$$

Valor eficaz da tensão na carga (lacunar)

$$V_O = \left[\frac{1}{T}\int_0^T v_O(t)^2 dt\right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{1}{T}\left(\int_0^{t_{on}} V_I^2 dt + \int_{t_1}^T E^2 dt\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

Valor médio da corrente na carga

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

Valor eficaz da corrente na carga

$$I_{Oef} = \left[\frac{1}{T}\int_0^T i_O(t)^2 dt\right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{1}{T}\left(\int_0^{t_{on}} i_{O1}^2 dt + \int_{t_{on}}^T i_{O2}^2 dt\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$i_{O1} = Ae^{-\frac{R}{L}t} + \frac{V_I - E}{R}$$

$$i_{O2} = Be^{-\frac{R}{L}(t - t_{on})} - \frac{E}{R}$$

i_M=valor máximo da corrente

$$i_M = Ae^{-\frac{R}{L}t_{on}} + \frac{V_I - E}{R}$$

i_m= valor mínimo da corrente

$$i_m = i_M e^{-\frac{R}{L}(t-T)} - \frac{E}{R}$$

Considerando o valor das constantes A e B, e sendo i_M o valor da corrente i_{O1} em $t=t_{on}$ e o valor de i_m o valor da corrente i_{O2} em t=T obtêm-se os valores máximo e mínimo da corrente:

$$I_M = \frac{V_I - E}{R}\frac{1-e^{-\frac{R}{L}(t_{on})}}{1-e^{-\frac{R}{L}(T)}}$$

$$I_m = \frac{V_I - E}{R}\frac{1-e^{\frac{R}{L}(t_{on})}}{1-e^{\frac{R}{L}(T)}}$$

O ponto de anulamento dá-se para i_m=0

$$0 = \frac{V_I - E}{R}\frac{1-e^{\frac{R}{L}(t_{on})}}{1-e^{\frac{R}{L}(T)}}$$

A equação anterior estabelece a fronteira entre o funcionamento lacunar e não lacunar, a partir da qual se determinam as curvas características do funcionamento do conversor redutor de um quadrante, com carga R,L e E

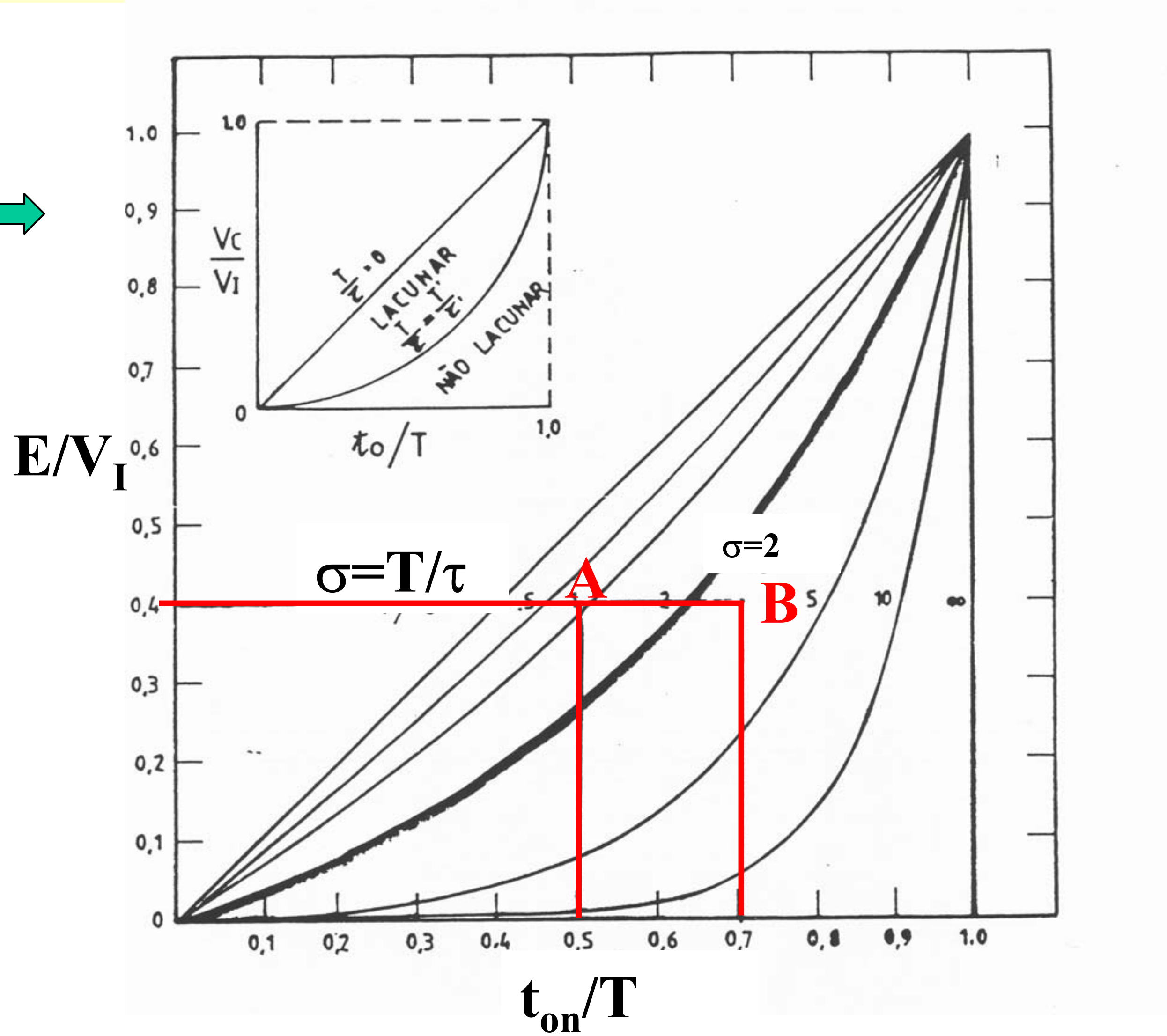
Funcionamento do conversor redutor de um quadrante com carga R,L e E (Curvas Características)

$$0 = \frac{V-E}{R}\,\frac{1-e^{\frac{R}{L}(t_{on})}}{1-e^{\frac{R}{L}(T)}}$$

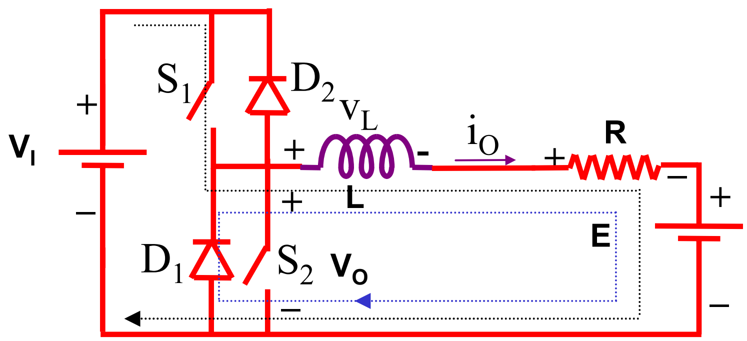
$\sigma = T/\tau = TR/L$

A LACUNAR

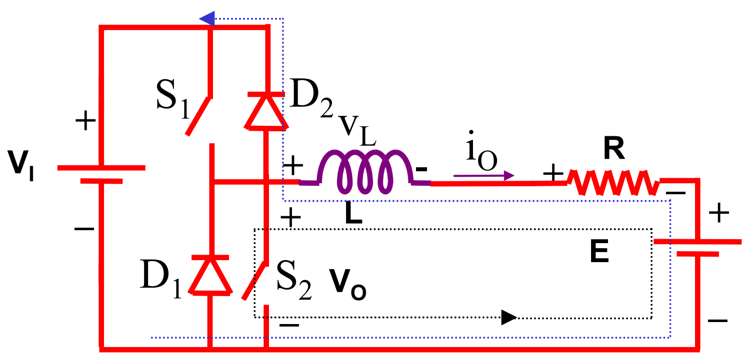
B NÃO LACUNAR



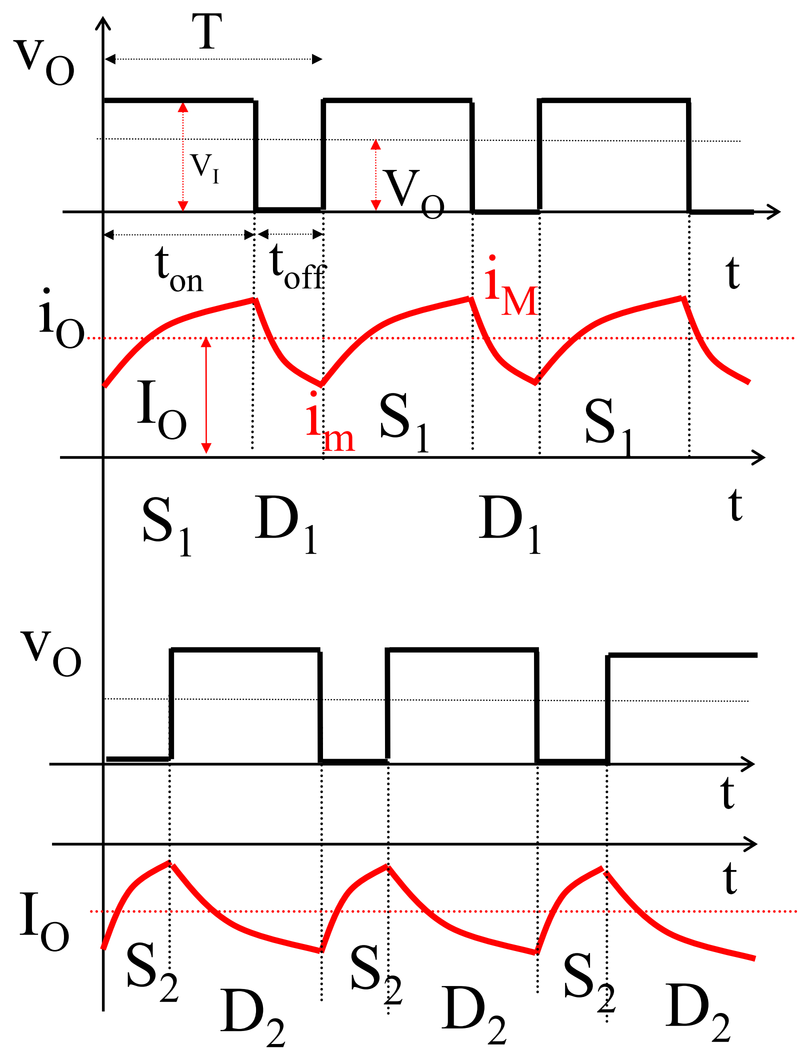
Conversor redutor de dois quadrantes com carga RLE

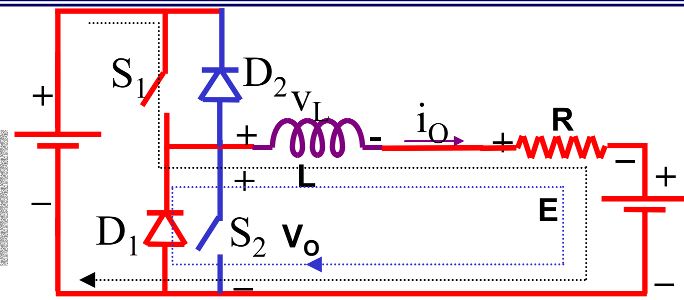


Operação no 1º quadrante opera S1 e D1 arranque e controlo de velocidade de um MCC (corrente e tensão positivas)

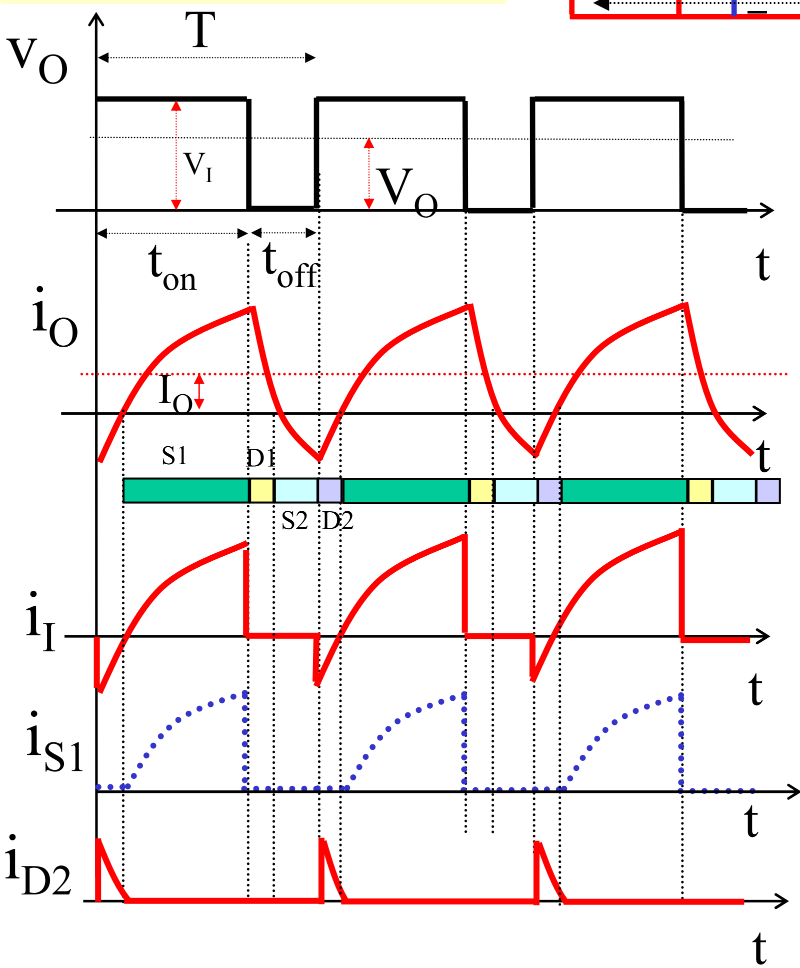


operação no 2º quadrante opera S2 e D2 travagem de um MCC com envio de energia para a fonte (corrente negativa e tensão positiva)

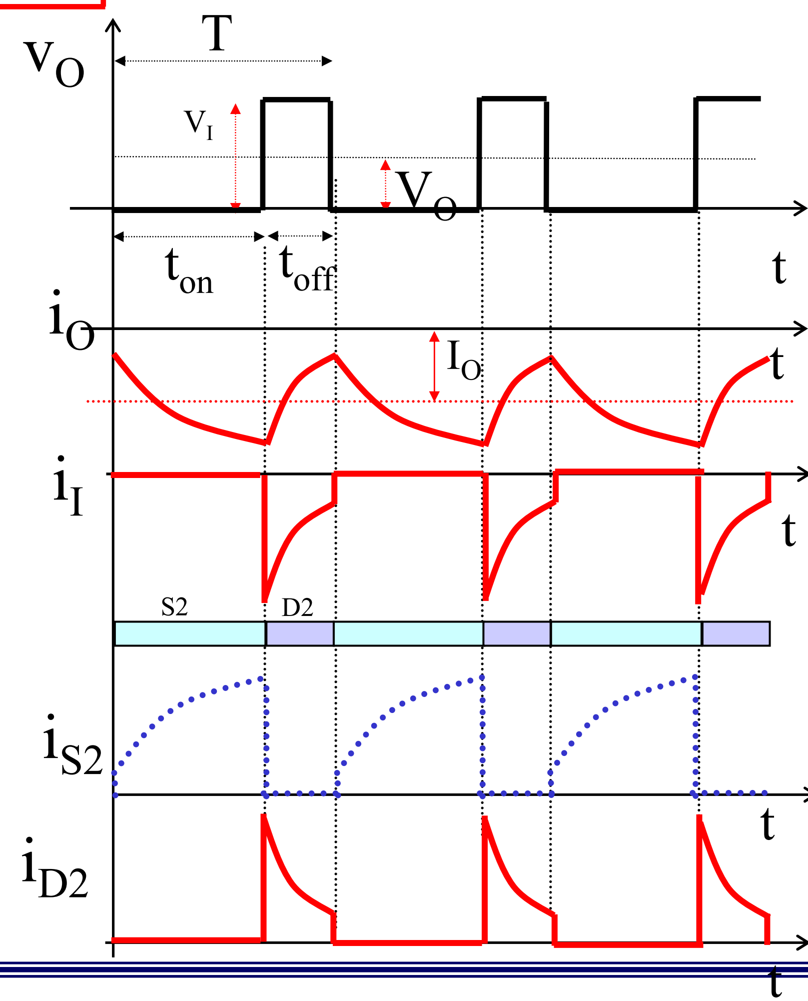


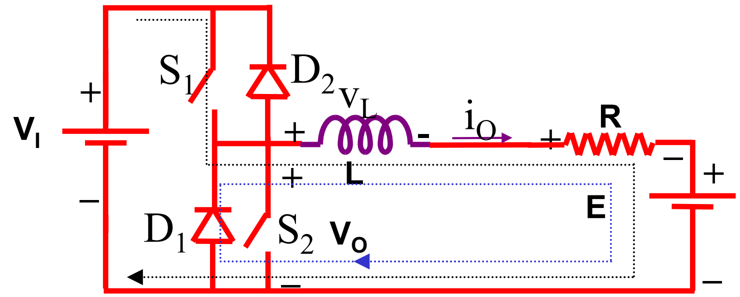


Funcionamento no 1º quadrante $I_O>0$



Funcionamento no 2º quadrante $I_O<0$





Potência de entrada P_I

$$P_I = \frac{1}{T}\int_0^T V_I i_I(t)dt = \frac{V_I}{T}\left(\int_0^{t_{on}} i_I(t)dt\right) = V_I I_I$$

$P_I > 0$

Funcionamento no 1º quadrante $I_I>0$
Fonte V_I fornece energia

com

$I_M>0$ e $I_m>0$ ou $I_M>0$ e $I_m<0$

Controlo de velocidade e arranque de um MCC

$P_I < 0$

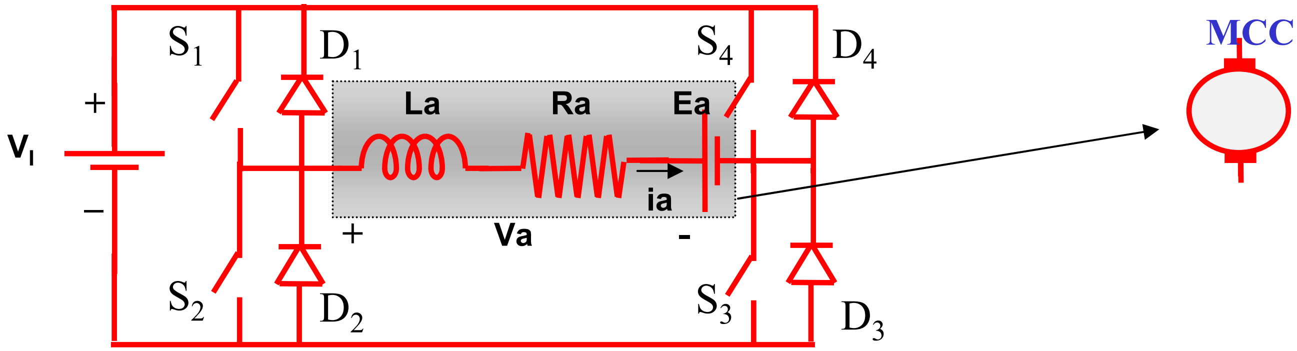
Funcionamento no 2º quadrante $I_I<0$
Fonte V_I recebe energia

com

$I_M>0$ e $I_m<0$ ou $I_M<0$ e $I_m<0$

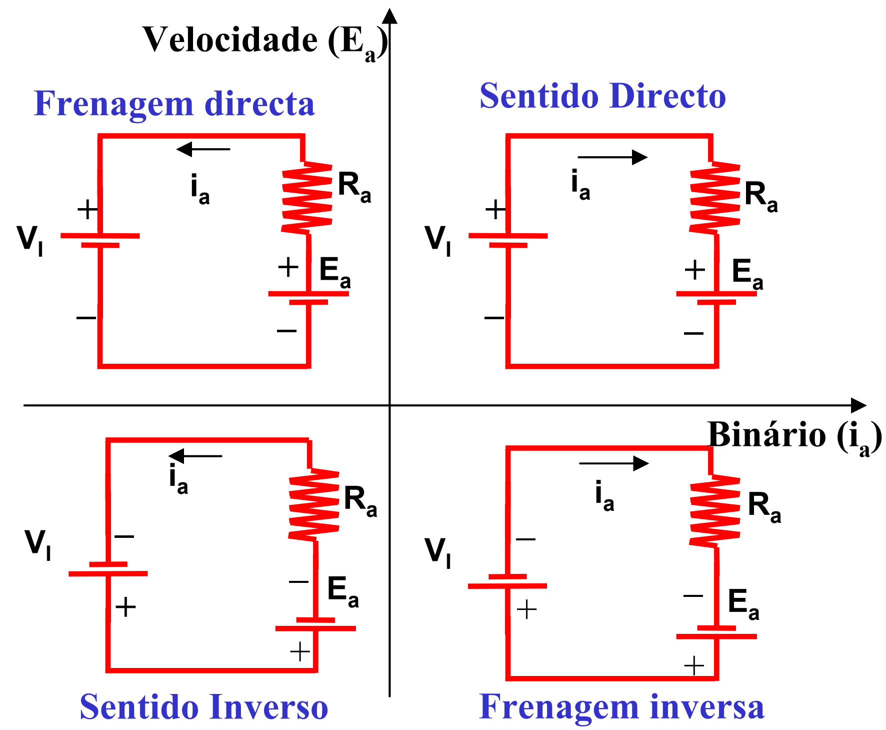
Frenagem regenerativa de um MCC

Conversor redutor de quatro quadrantes com carga RLE

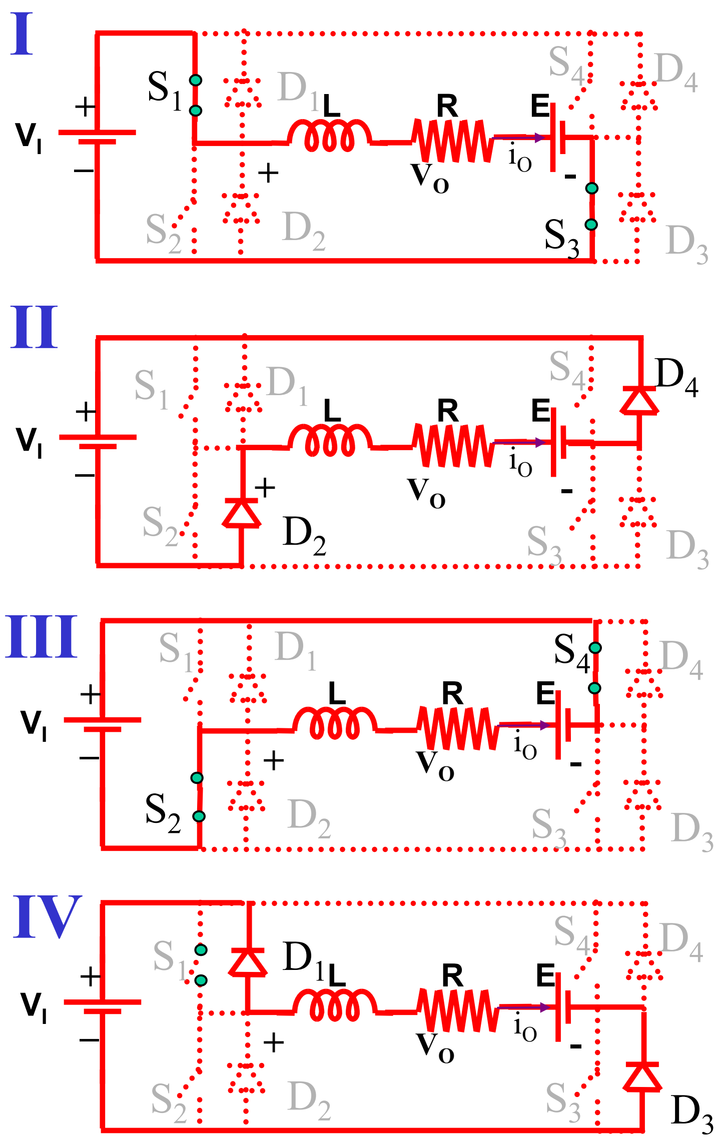


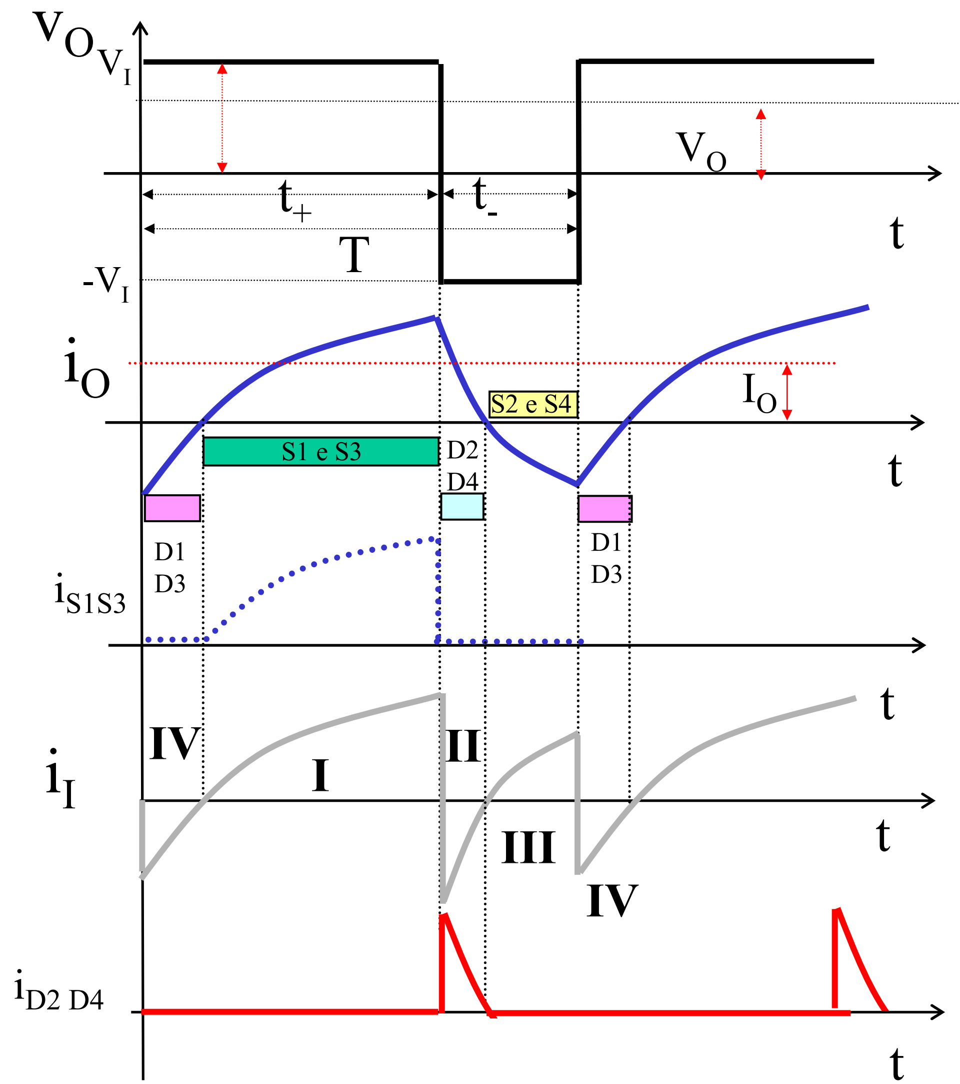
A operação nos quatro quadrantes permite o controlo de velocidade de um motor de corrente contínua:

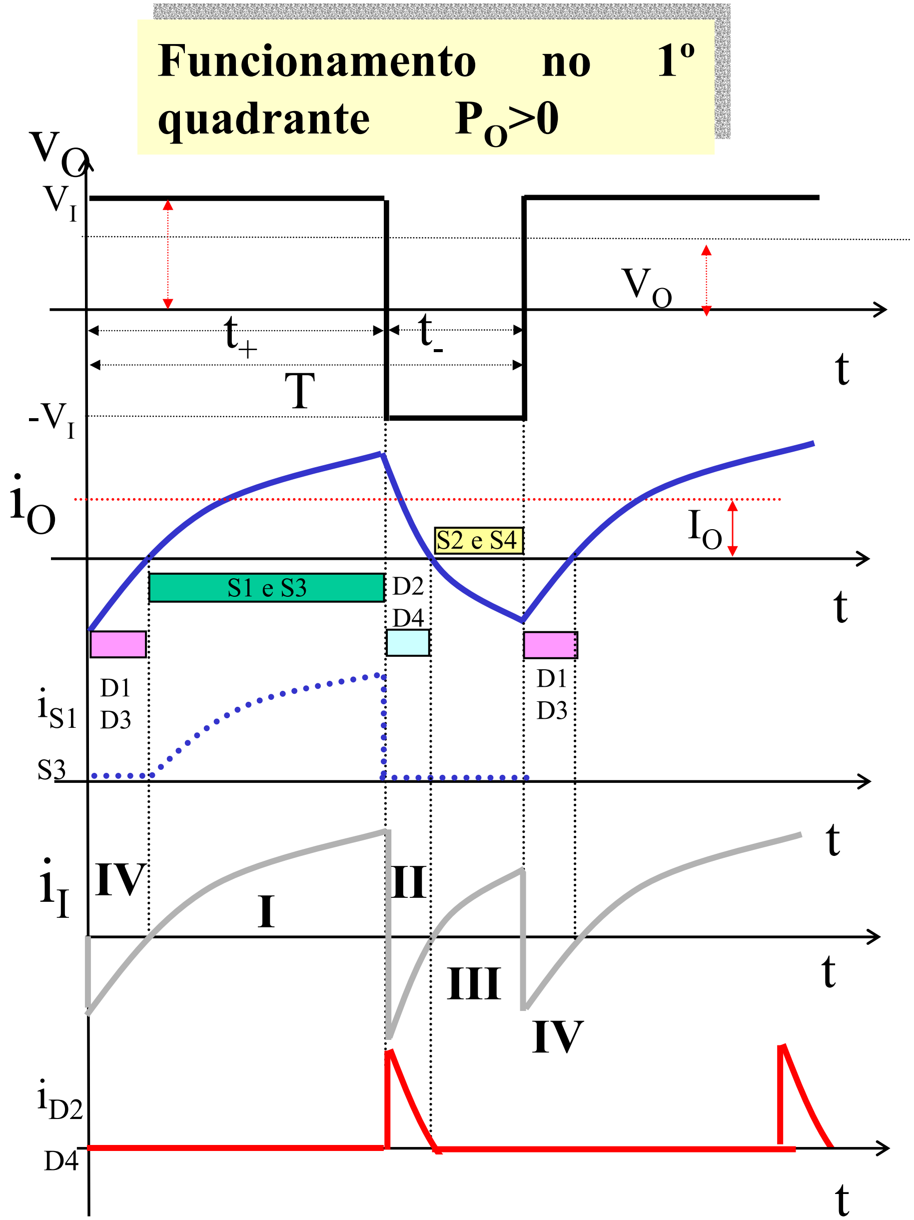
- Arranque
- Regulação de velocidade
- Frenagem regenerativa
- Inversão do sentido de rotação

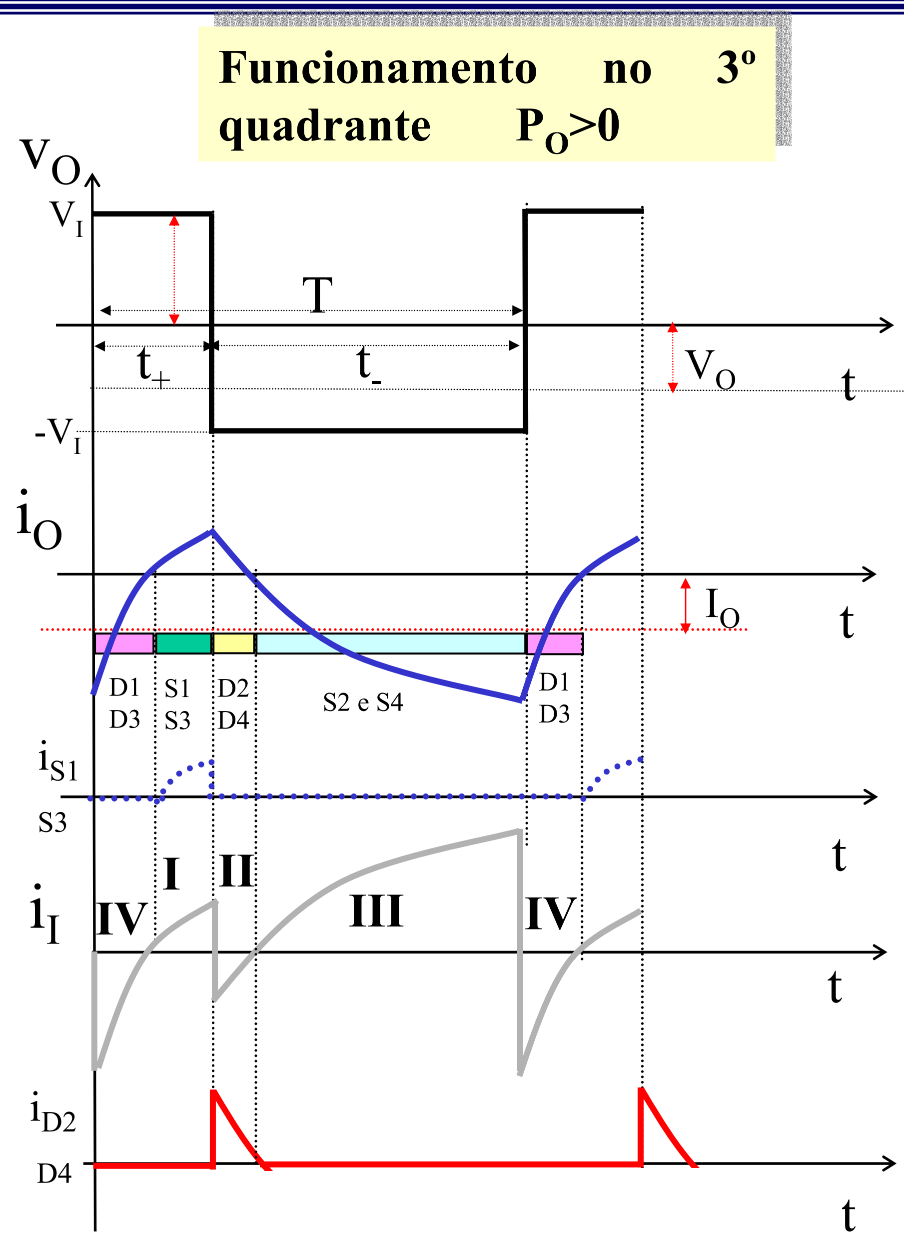


Conversor redutor de quatro quadrantes com carga RLE






Funcionamento no 1º quadrante $P_O>0$
V_O
V_I
V_O
t_+
t_-
T
t
$-V_I$
i_O
I_O
S2 e S4
S1 e S3
D2
D4
D1
D3
i_{S1}
S3
i_I
IV
I
II
III
IV
i_{D2}
D4
t


Funcionamento no 3º quadrante $P_O>0$
V_O
V_I
T
t_+
t_-
V_O
t
$-V_I$
i_O
I_O
D1
D3
S1
S3
D2
D4
S2 e S4
D1
D3
i_{S1}
S3
i_I
IV
I
II
III
IV
i_{D2}
D4
t

Valor médio da tensão na carga

$$V_O = \frac{1}{T_S}\int_0^{T_S} v_O(t)dt = \frac{1}{T_S}\left(\int_0^{t_+} V_I dt + \int_{t_+}^{T_S} -V_I dt\right) = \left(2\frac{t_+}{T} - 1\right)V_I = (2D-1)V_I$$

Valor eficaz da tensão na carga= V_I

Valor médio da corrente na carga

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

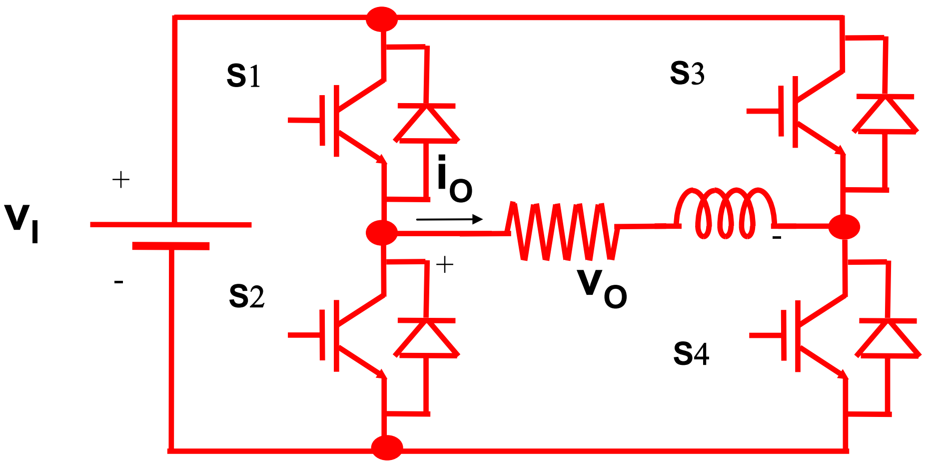
Valor eficaz da corrente na carga

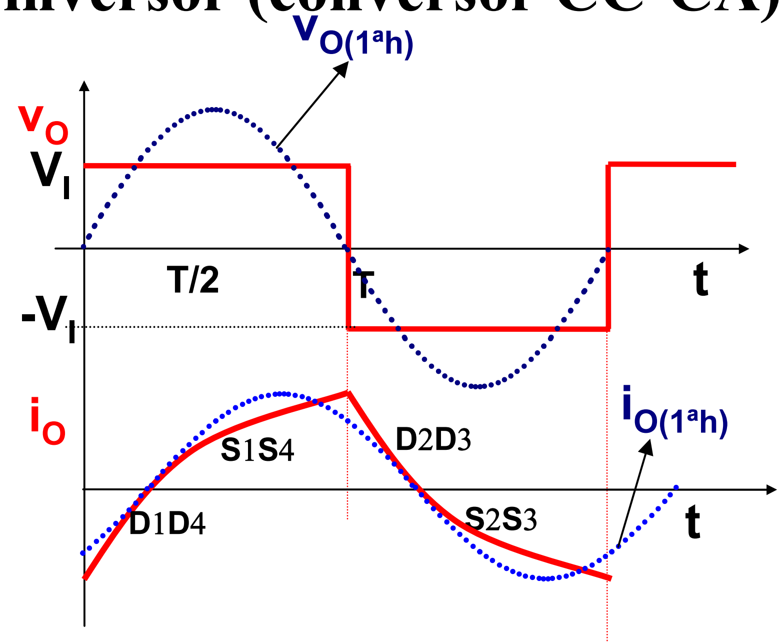
$$I_{Oef} = \left[\frac{1}{T}\int_0^{T} i_O(t)^2 dt\right]^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{1}{T}\left(\int_0^{t_+} i_{O1}^2 dt + \int_{t_+}^{T} i_{O2}^2 dt\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$i_{O1} = Ae^{-\frac{R}{L}t} + \frac{V_I - E}{R}$$

$$i_{O2} = Be^{-\frac{R}{L}(t-t_+)} + \frac{-V_I - E}{R}$$

Quando o factor de ciclo é 50% o conversor redutor de quatro quadrantes opera como um inversor (conversor CC-CA)





Os valores médios da tensão e da corrente de saída são neste caso nulos

$$v_O = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega t$$

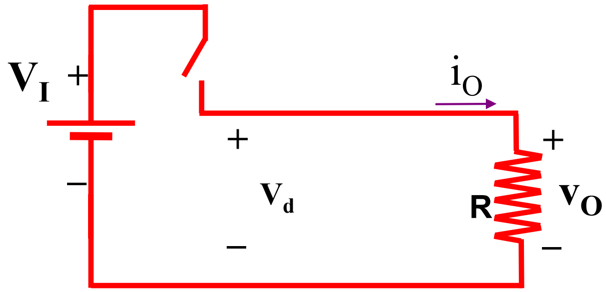
$$i_O = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n}{Z_n} \cos\left(n\omega t + \phi_n\right) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{b_n}{Z_n} \sin\left(n\omega t + \phi_n\right)$$

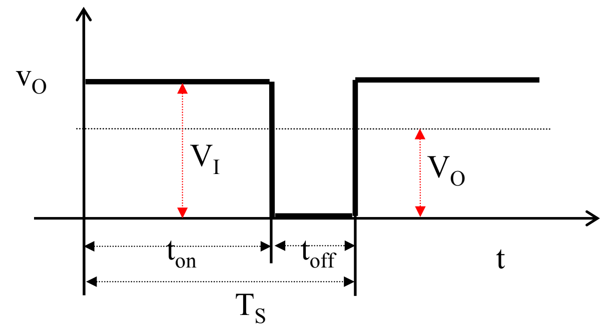
com

$$Z_n = \sqrt{R^2 + \left(n\omega L\right)^2}$$

$$\phi_n = \tan^{-1} \frac{n\omega L}{R}$$

CONVERSOR REDUTOR (“step down” ou “buck”)

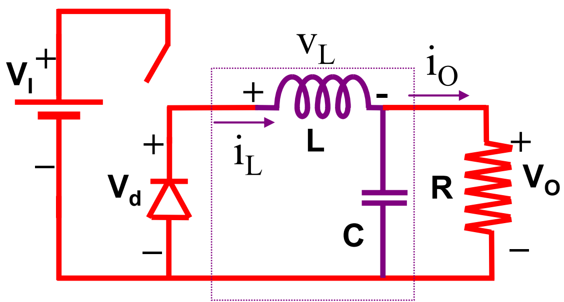


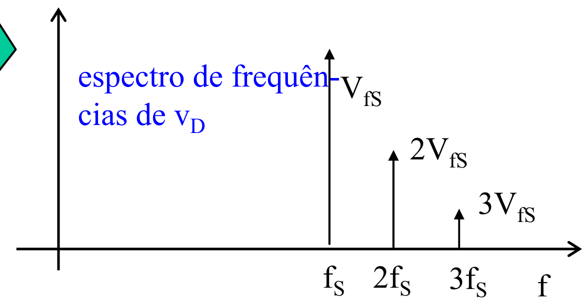


$$D = \frac{t_{on}}{T_S} = \frac{V_O}{V_I}$$

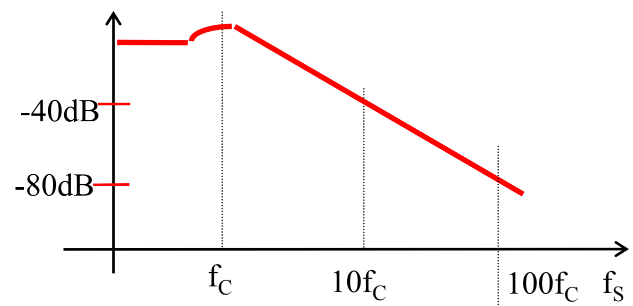
filtro LC

$$v_O = V_O + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega t$$





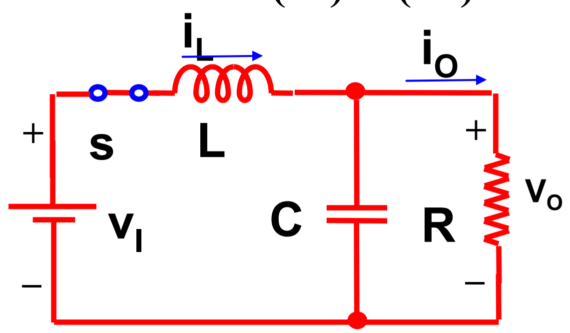
Característica do filtro LC:
$f_C <<<< f_S$ para eliminar o ruído de comutação na tensão de saída



MODO DE CONDUÇÃO CONTÍNUA (MCC)

$i_L(t)>0$

Modo I S (on) D (off)

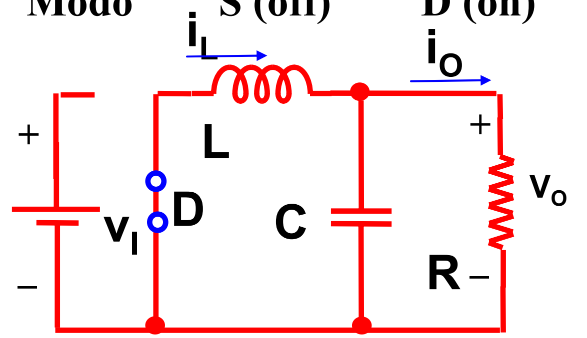


$\boxed{0<t<DT}$

$$v_L = V_I - V_O$$

$$i_L = I_{L1} + \left(V_I - V_O\right)t / L$$

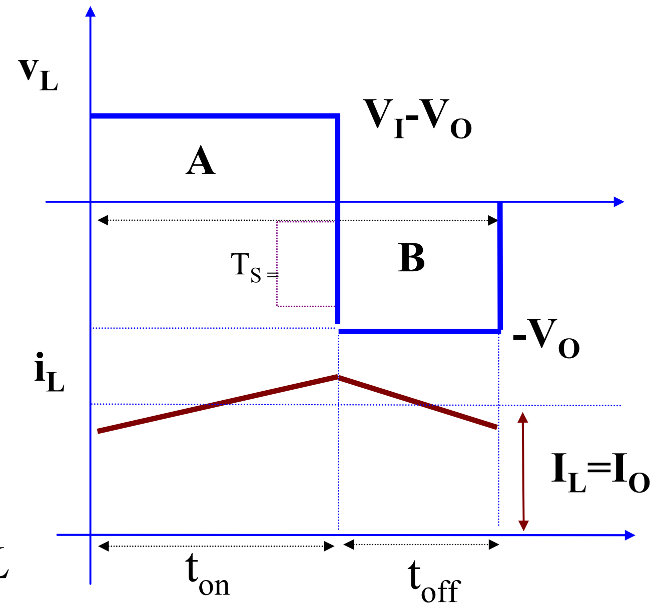
Modo S (off) D (on)



$\boxed{DT<t<T}$

$$v_L = -V_O$$

$$i_L = I_{L2} + \left(-V_O\right)\left(t - t_{on}\right) / L$$



Em regime permanente tem-se : V_L (valor médio)= 0 A=B

$$\int_0^{T_S} v_L(t)dt = \int_0^{t_{on}} v_L dt + \int_{t_{on}}^{T_S} v_L dt = 0$$

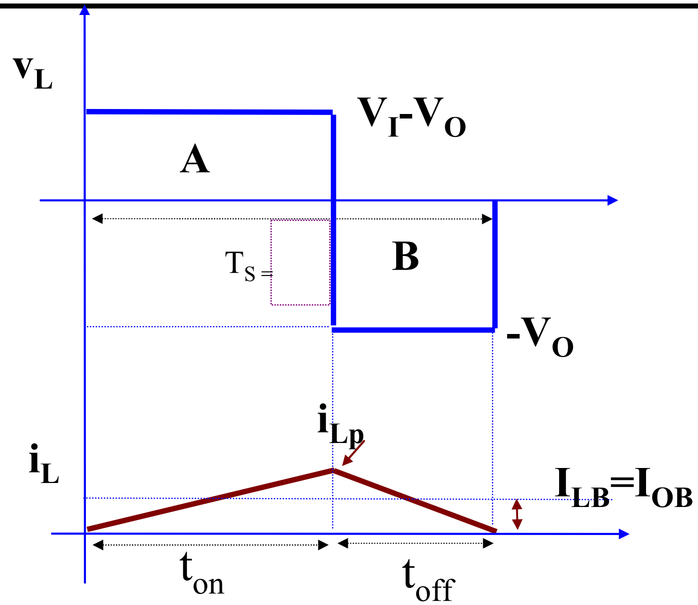
$$\left(V_I - V_O\right)t_{on} = \left(V_O\right)\left(T_S - t_{on}\right) \Rightarrow D = \frac{t_{on}}{T_S} = \frac{V_O}{V_I}$$

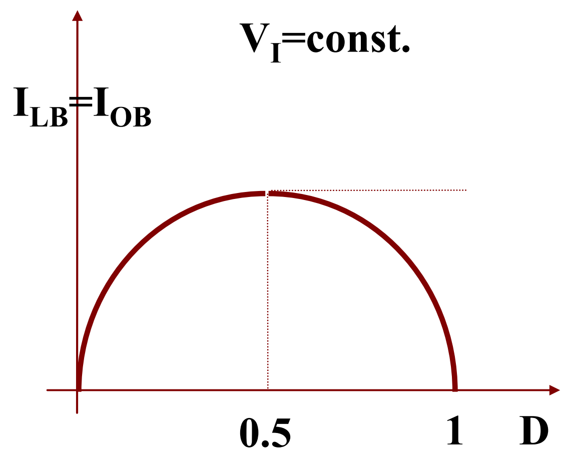
Potência de entrada e potência de saída

Num conversor ideal a potência de perdas é nula $P_p=0$

$P_I=P_O$ $\qquad$ $V_I I_I=V_O I_O$ $\qquad$ $V_O/V_I=I_I/I_O=D$

Fronteira entre os modos de condução contínua e descontínua:





Na fronteira o valor médio de $i_L(t)=I_{LB} = 1/T.1/2.i_{LP}.T$ $\qquad$ *$i_{LP}=(V_I-V_O)/L.t_{on}$*

$$I_{LB}=\frac{1}{2}i_{LP}=\frac{t_{on}}{2L}\left(V_I-V_O\right)=\frac{DT}{2L}\left(V_I-V_O\right)=I_{OB}$$

$$I_{LB}=\frac{DT}{2L}(1-D)V_I=I_{OB}$$

Se o valor médio de $i_L(t)$ se tornar menor que I_{LB} o funcionamento torna-se descontinuo

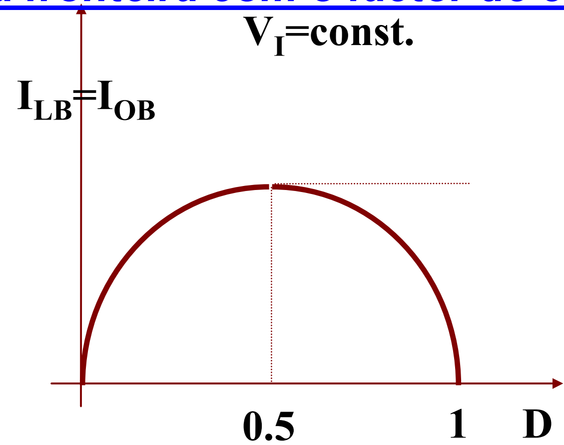
Variação do valor médio da corrente da bobine na fronteira com o factor de ciclo D

$$\boxed{I_{LB} = \frac{DT}{2L}(1-D)V_I = I_{OB}}$$

$$I_{LB} = 4I_{LB\max}D(1-D)$$

D=0,5

$$I_{LB\max} = \frac{TV_I}{8L}$$



Variação do valor médio de i_L em função de D

- **Operação no modo de condução descontínuo**

Cálculo de V_O/VI:

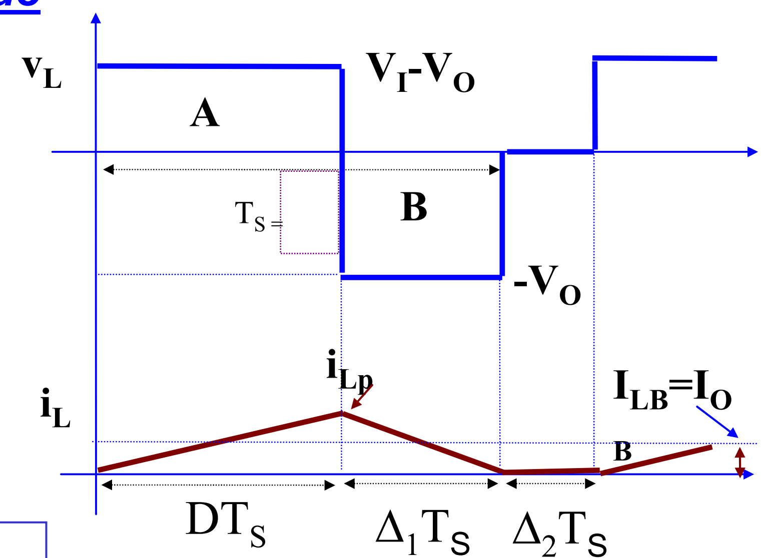
$$(V_I - V_O)DT_S + (-V_O)\Delta_1 T_S = 0 \Rightarrow \frac{V_O}{V_I} = \frac{D}{D+\Delta_1}$$

com $D+\Delta_1<1$

$i_{LP}=V_O/L.\Delta_1 T_S$

$$I_O = \frac{D+\Delta_1}{2}i_{LP} = \frac{V_O T_S}{2L}(D+\Delta_1)\Delta_1$$

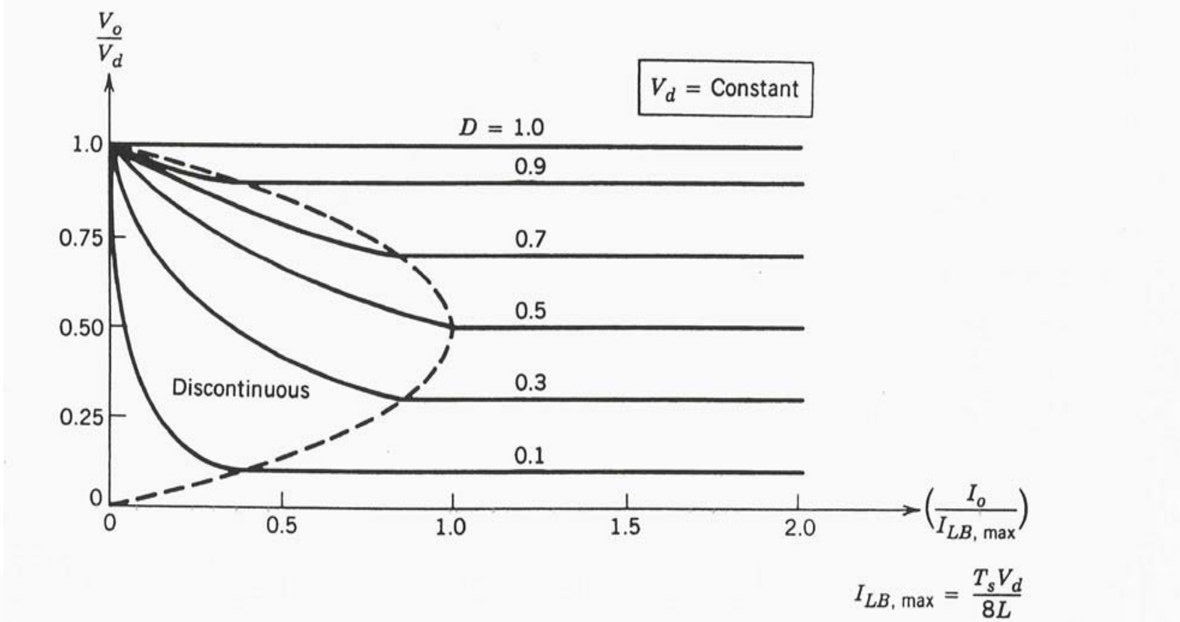
$$I_O = \frac{V_I T_S}{2L}(D\Delta_1) = 4I_{LB\max}D\Delta_1$$



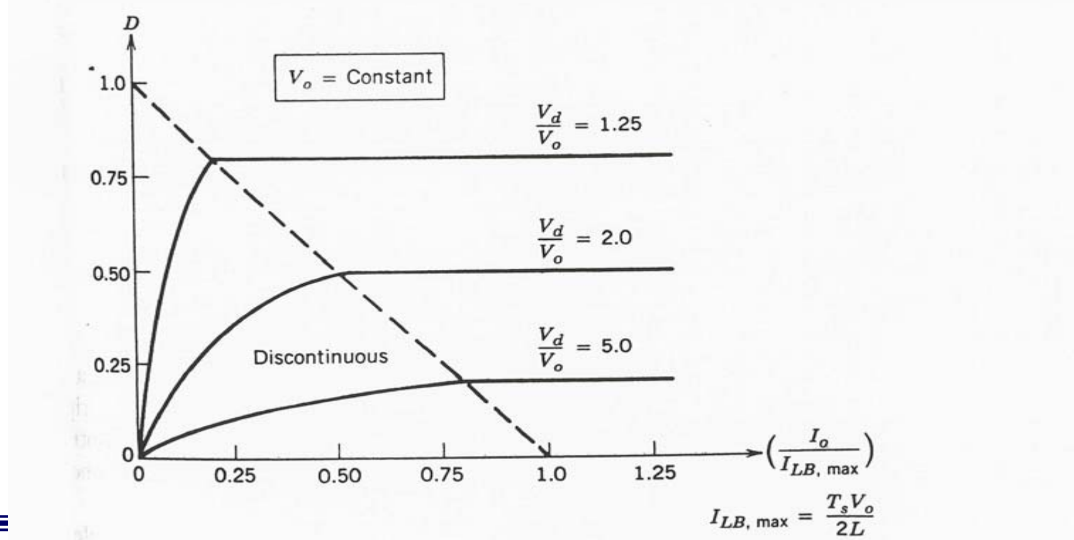
donde $\Delta_1 = \dfrac{I_O}{4I_{LB\max}D}$ pelo que $\Rightarrow$ $\boxed{\dfrac{V_O}{V_I} = \dfrac{D^2}{D^2 + \dfrac{I_O}{4I_{LB\max}}}}$ $\Rightarrow$ **Dependente da carga**

Curvas características: $V_O/V_I\ (I_O/I_{LB\ max})$

TENSÃO DE ENTRADA CONSTANTE



TENSÃO DE SAÍDA CONSTANTE



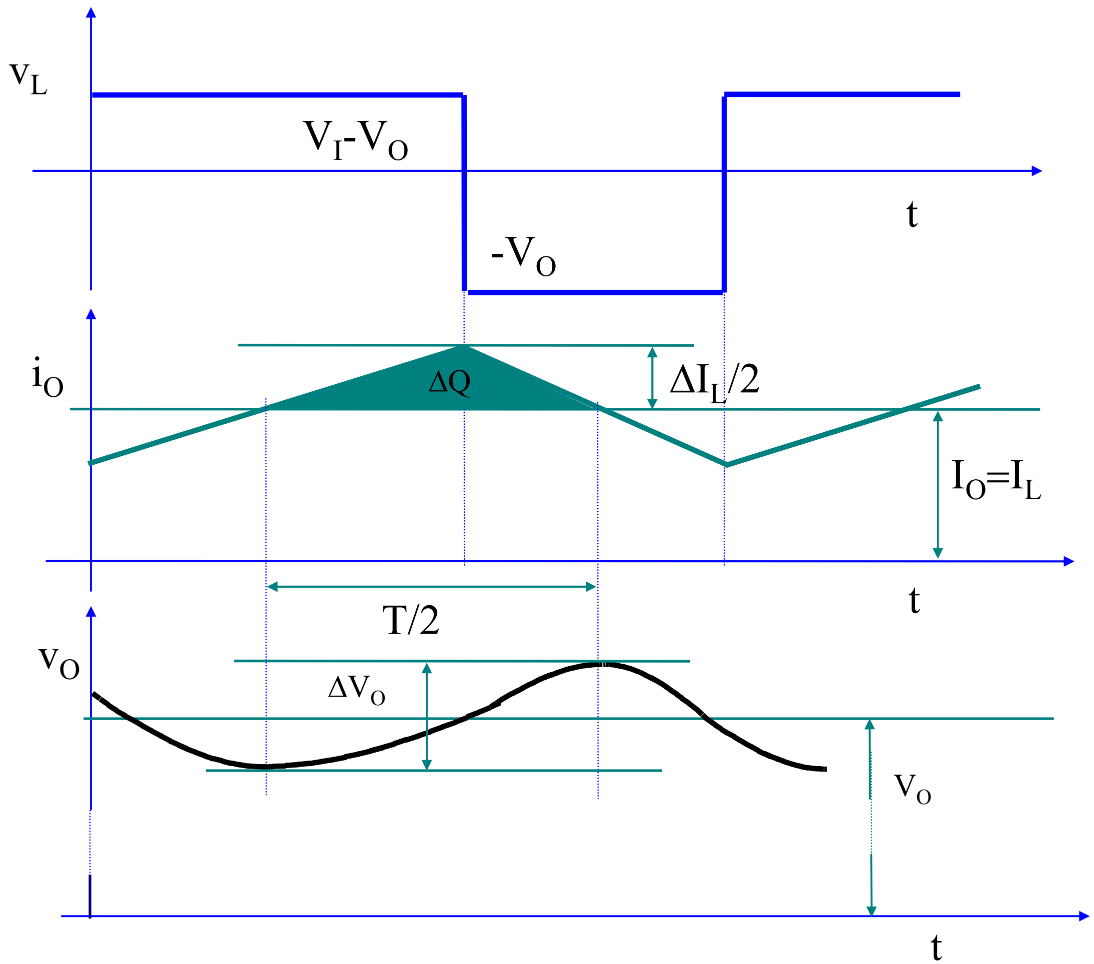
Distorção da tensão de saída:

$$\Delta I_L = \frac{V_I - V_O}{L} DT$$

$$\Delta V_O = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{C}\frac{1}{2}\frac{\Delta I_L}{2}\frac{T_S}{2}$$

$$\boxed{\frac{\Delta V_O}{V_O} = \frac{T_S{}^2}{8}\frac{(1-D)}{LC} = \frac{\pi^2}{2}(1-D)\left(\frac{f_C}{f_S}\right)^2}$$

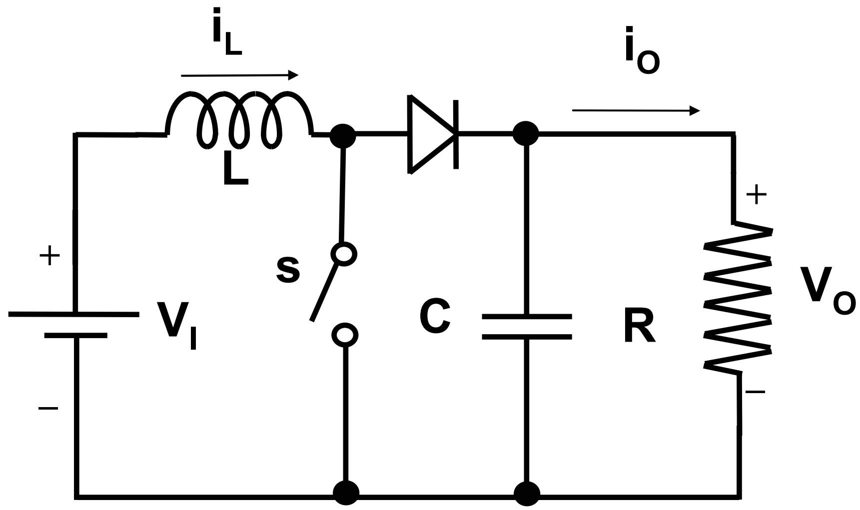
expressão válida para para $f_C <<< f_S$
$\Delta V_o / V_O < 1\%$



frequência de operação $f = \dfrac{1}{T}$

frequência de corte do filtro $f_C = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

CONVERSOR AMPLIADOR ("step up" ou "boost")

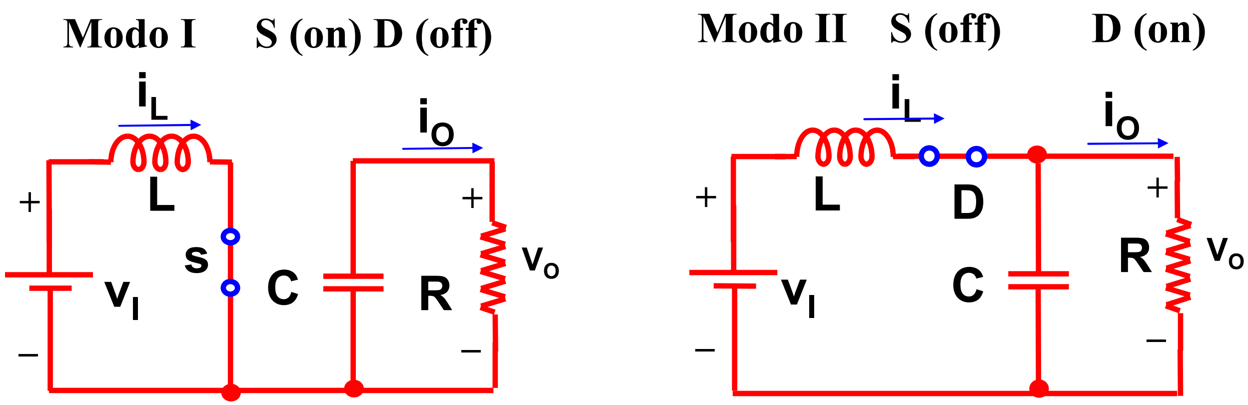


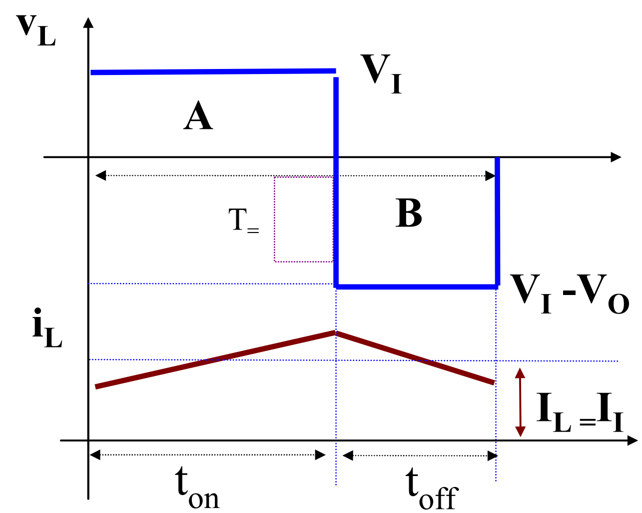
$$\frac{V_O}{V_I} = \frac{1}{1-D}$$

Tensão de saída sempre maior que a tensão de entrada

MODO DE CONDUÇÃO CONTÍNUA (MCC)

$i_L(t)>0$





$\boxed{0 < t < DT}$

$$v_L = V_I$$

$$i_L = I_{L1} + (V_I)t / L$$

$\boxed{DT < t < T}$

$$v_L = V_I - V_O$$

$$i_L = I_{L2} + (V_I - V_O)(t - t_{on}) / L$$

Em regime permanente tem-se: **V_L (valor médio)= 0 A=B**

$$\int_0^T v_L(t)dt = \int_0^{t_{on}} V_I dt + \int_{t_{on}}^T (V_I - V_O)dt = 0$$

$$V_I t_{on} + (V_I - V_O)t_{off} = 0 \Rightarrow \boxed{\frac{V_O}{V_I} = \frac{T}{t_{off}} = \frac{1}{1-D}}$$

$$\frac{I_O}{I_I} = 1 - D$$

Potência de entrada e potência de saída

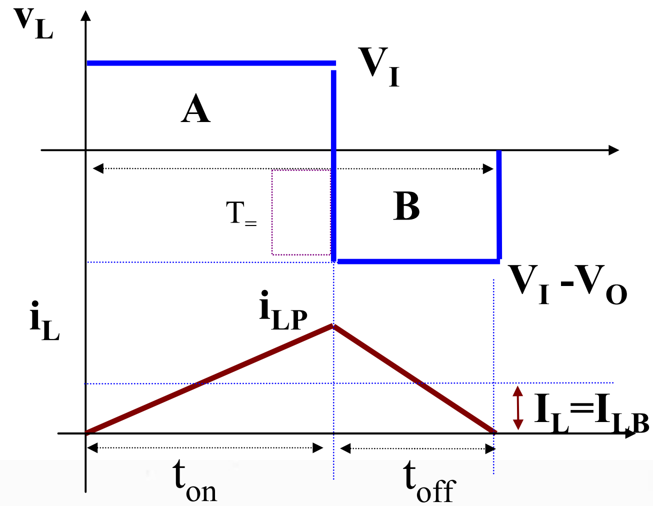
Num conversor ideal a potência de perdas é nula $P_p=0$

$P_I=P_O$ $\qquad$ $V_I I_I=V_O I_O$ $\qquad$ $V_O/V_I=I_I/I_O=1/(1-D)$

Fronteira entre os modos de condução contínua e descontínua:

Na fronteira o valor médio de $i_L(t)=I_{LB} = 1/T.1/2.i_{LP}.T$

$i_{LP}=V_I/L.t_{on}$



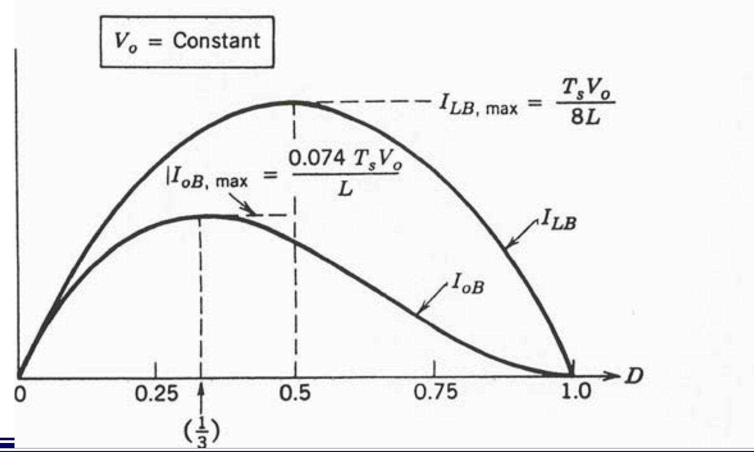
$$I_{LB}=\frac{1}{2}i_{LP}=\frac{t_{on}}{2L}(V_I)=\frac{V_O T_S}{2L}D(1-D)=I_{IB}$$

$i_I=i_L \Rightarrow I_O/I_I=1-D \Rightarrow I_{OB}=(1-D)I_{IB}$

$\bar{I}_{OB}=T_S V_O/(2L)D(1-D)^2$

$\bar{I}_{LBmax}=T_S V_O/(8L)$

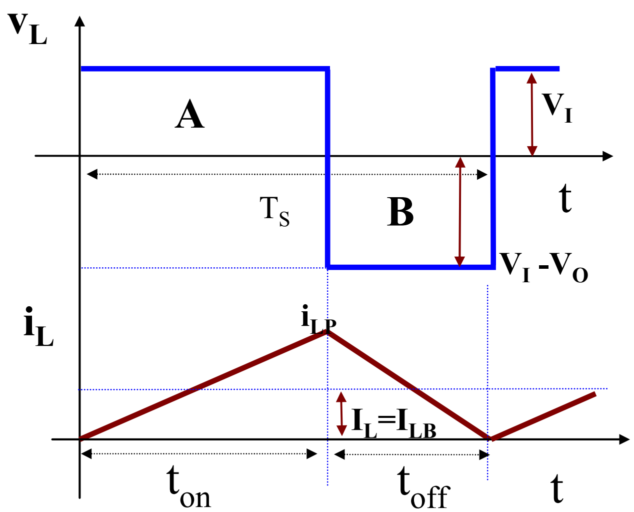
$\bar{I}_{OBmax}=2/27.T_S.V_O/(L)=0.074T_S.V_O/L$



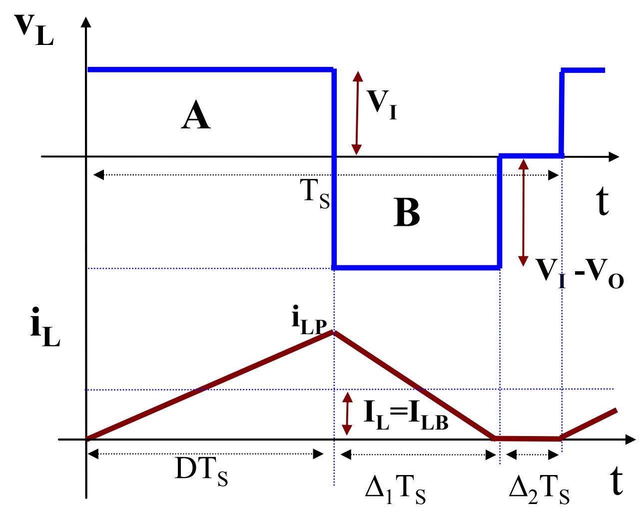
Se o valor médio de $i_L(t)$ se tornar menor que I_{LB} o funcionamento torna-se descontinuo

- *Operação no modo de condução descontínua*

V_I e D constantes



P_O diminui »»»» I_O diminui »»»»» I_L diminui



$$v_L = V_I D T_S + \left(V_I - V_O\right)\Delta_1 T_S = 0$$

$$\frac{V_O}{V_I} = \frac{\left(\Delta_1 + D\right)}{\Delta_1}$$

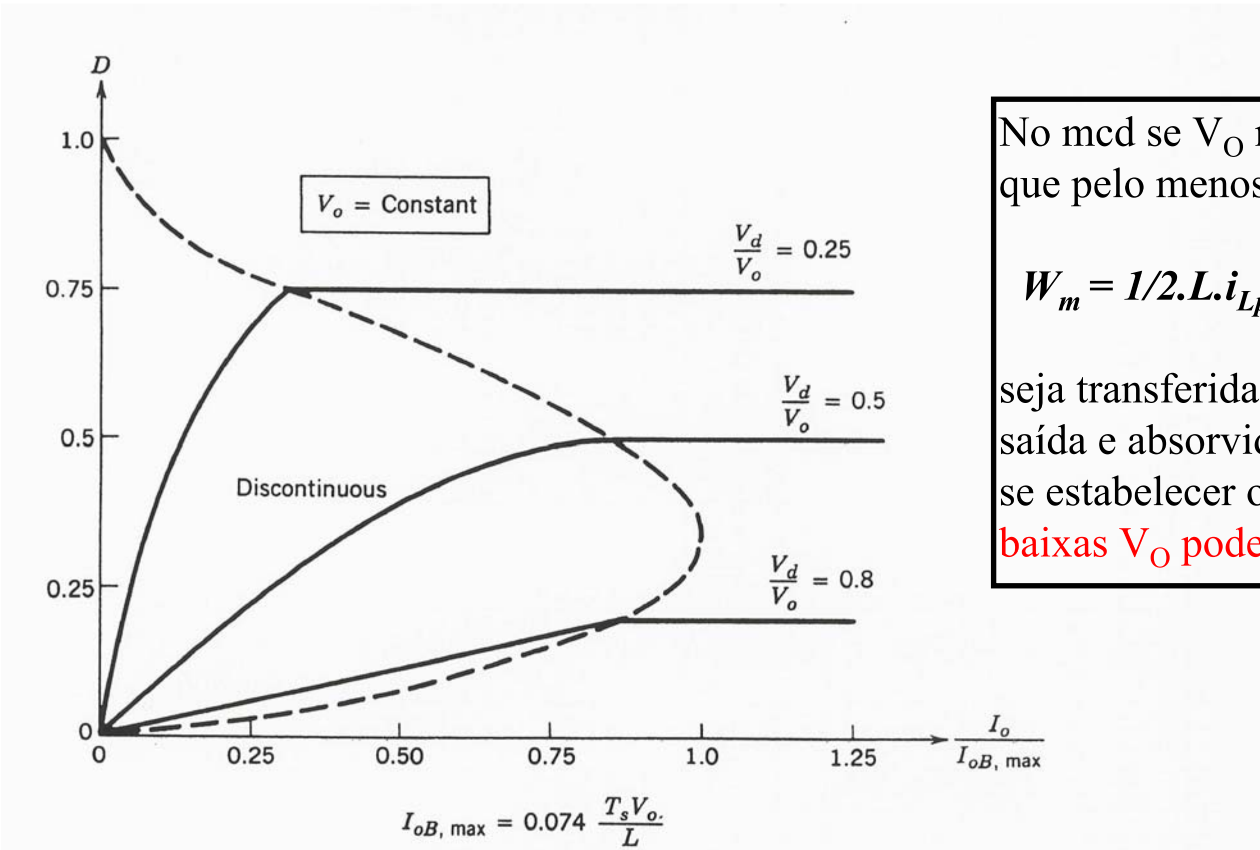
como $P_O = P_I$ **fica** $\dfrac{I_O}{I_I} = \dfrac{\Delta_1}{\left(\Delta_1 + D\right)}$

como $I_I = \dfrac{V_I}{2L} D T_S \left(D + \Delta_1\right)$ **fica** $I_O = \dfrac{V_I T_S}{2L} D \Delta_1$

- *Curvas características a V_O constante*

$$D = \left[\frac{4}{27} \frac{V_O}{V_I} \left(\frac{V_O}{V_I} - 1 \right) \frac{I_O}{I_{OB\max}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

(D varia em função de V_I para manter V_O constante)

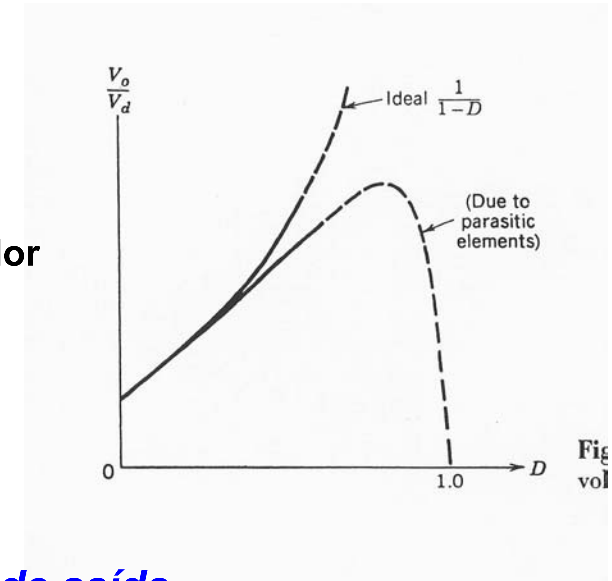


No mcd se V_O não for controlado por forma a que pelo menos a energia

$$W_m = 1/2.L.i_{Lpico}{}^2 = (V_I.D.T_S)^2/(2.L)$$

seja transferida da entrada para o condensador de saída e absorvida pela carga, V_O aumentará até se estabelecer o balanço energético. (Com cargas baixas V_O pode aumentar perigosamente.)

- *efeito de elementos parasitas na tensão de saída*



- perdas na bobine
- perdas no condensador
- perdas no transistor
- perdas no diodo

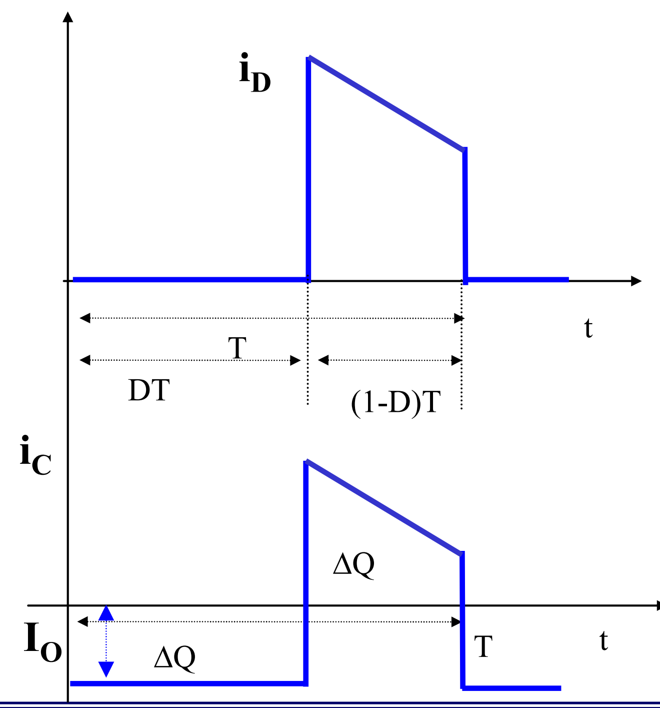
distorção na tensão de saída

(dimensionamento do filtro RC)

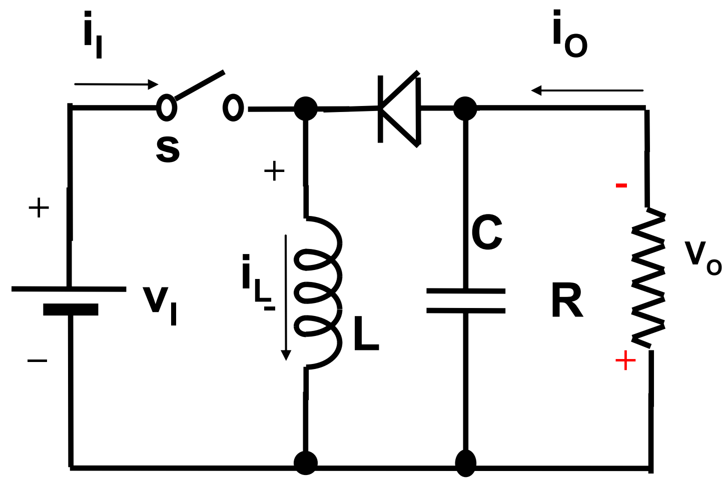
ΔQ = Carga do condensador *I_O= constante*

$$\Delta V_O = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_O D T_S}{C} = \frac{V_O}{R}\frac{DT_S}{C}$$

$$\frac{\Delta V_O}{V_O} = \frac{DT_S}{RC} = D\frac{T_S}{\tau}$$



CONVERSOR REDUTOR - AMPLIADOR ("buck-boost")

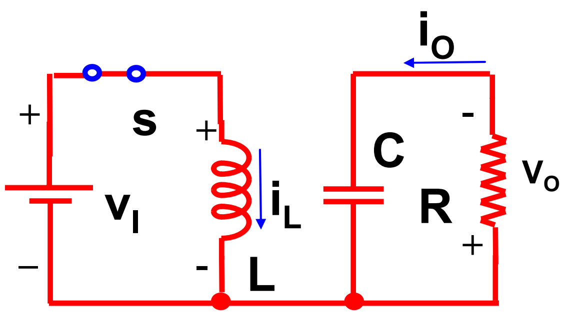


$$\frac{V_O}{V_I} = -\frac{D}{1-D}$$

Tensão de saída sempre maior ou menor que a tensão de entrada, com polaridade inversa

MODO DE CONDUÇÃO CONTÍNUA (MCC) $i_L(t)>0$

Modo I S (on) D (off)

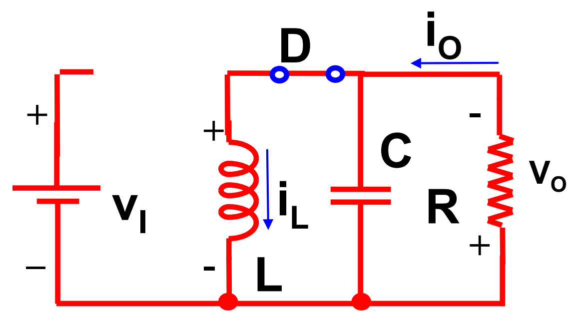


$\boxed{0 < t < DT}$

$$v_L = V_I$$

$$i_L = I_{L1} + (V_I)t / L$$

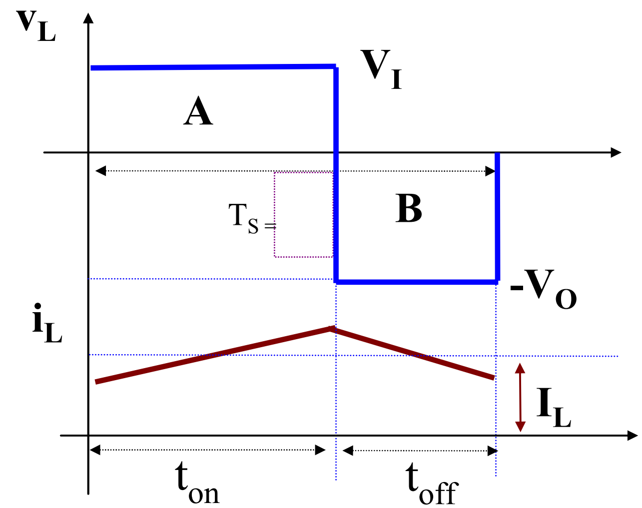
Modo II S (off) D (on)



$\boxed{DT < t < T}$

$$v_L = -V_O$$

$$i_L = I_{L2} + (-V_O)(t - t_{on}) / L$$



Em regime permanente tem-se : V_L **(valor médio)=0 A=B**

$$\int_0^{T_S} v_L(t)dt = \int_0^{t_{on}} V_I dt + \int_{t_{on}}^{T} -V_O dt = 0$$

$$V_I t_{on} + (-V_O) t_{off} = 0 \quad \Longrightarrow \quad \boxed{\frac{V_O}{V_I} = -\frac{D}{1-D}}$$

Potência de entrada e potência de saída

Num conversor ideal a potência de perdas é nula $P_p=0$

$P_I=P_O$ $\quad V_I I_I=V_O I_O$ $\quad V_O/V_I=I_I/I_O=D/(1-D)$

Fronteira entre os modos de condução contínua e descontínua

$$I_{LB}=\frac{1}{2}i_{LP}=\frac{t_{on}}{2L}(V_I)=\frac{V_I T}{2L}D=\frac{V_O T}{2L}(1-D)$$

$$I_O=I_L-I_I$$

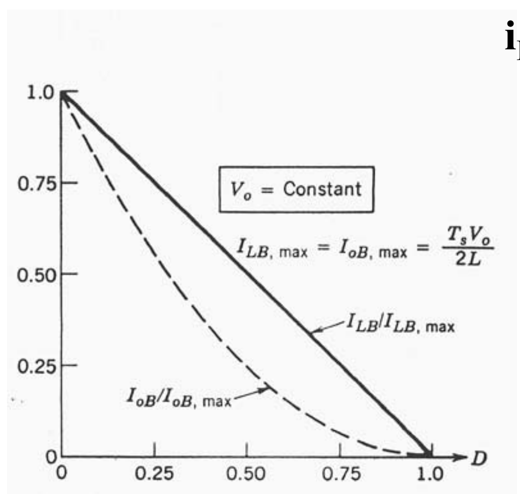
$$I_{OB}=\frac{V_O T}{2L}(1-D)^2$$

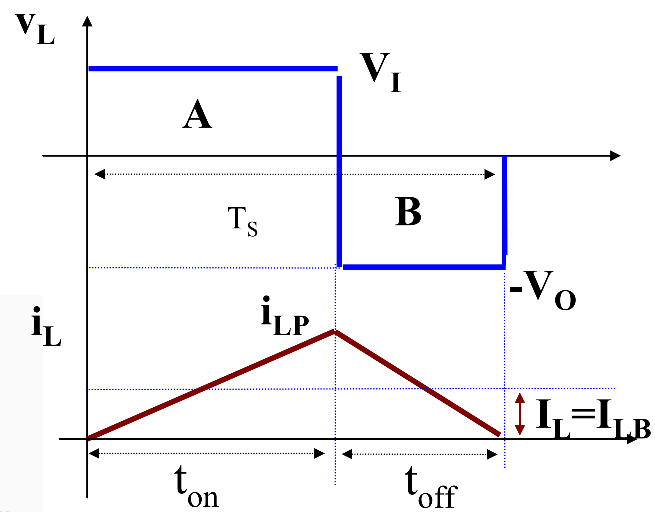
$$I_{LB\max}=\frac{V_I T}{2L}$$

$$I_{LB}=I_{LB\max}(1-D)$$

$$I_{OB\max}=\frac{V_I T}{2L}$$

$$I_{OB}=I_{OB\max}(1-D)^2$$





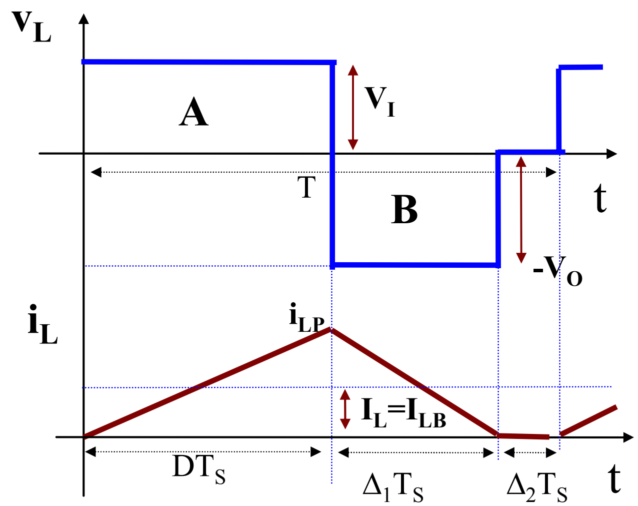
modo de condução descontínua

$$V_I DT + (-V_O)\Delta_1 T = 0$$

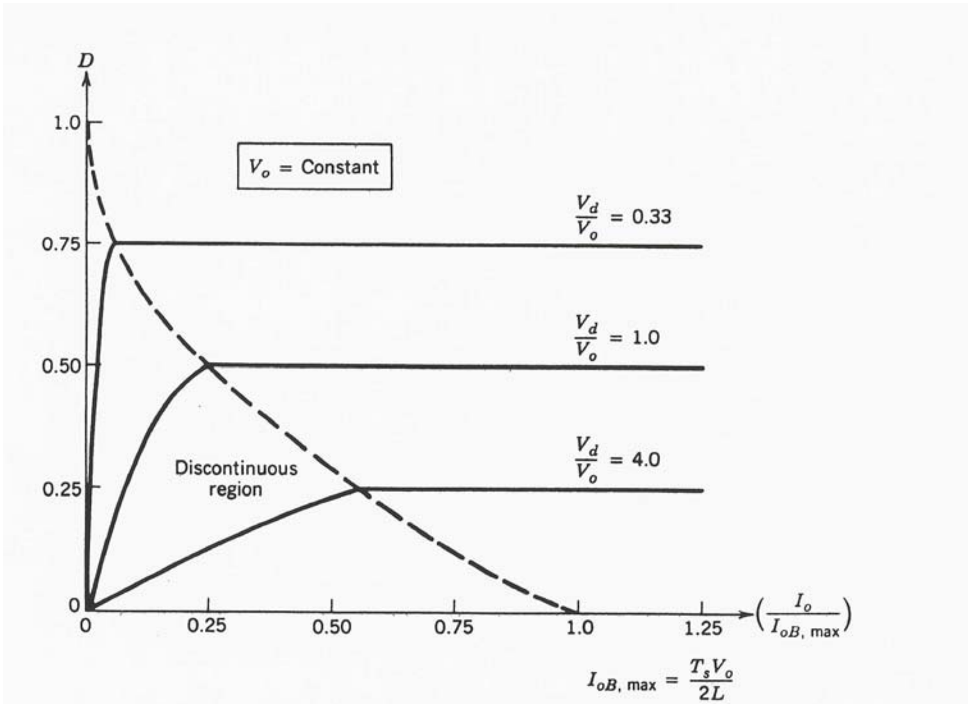
$$\frac{V_O}{V_I} = \frac{D}{\Delta_1}$$

$$\frac{I_O}{I_I} = \frac{\Delta_1}{D}$$ pois $P_I = P_O$

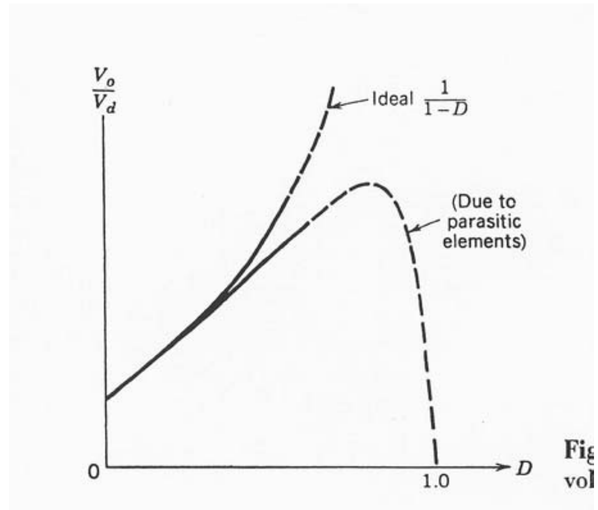
$$I_L = \frac{V_I T}{2L} D(D - \Delta_1)$$



curvas características a V_O constante



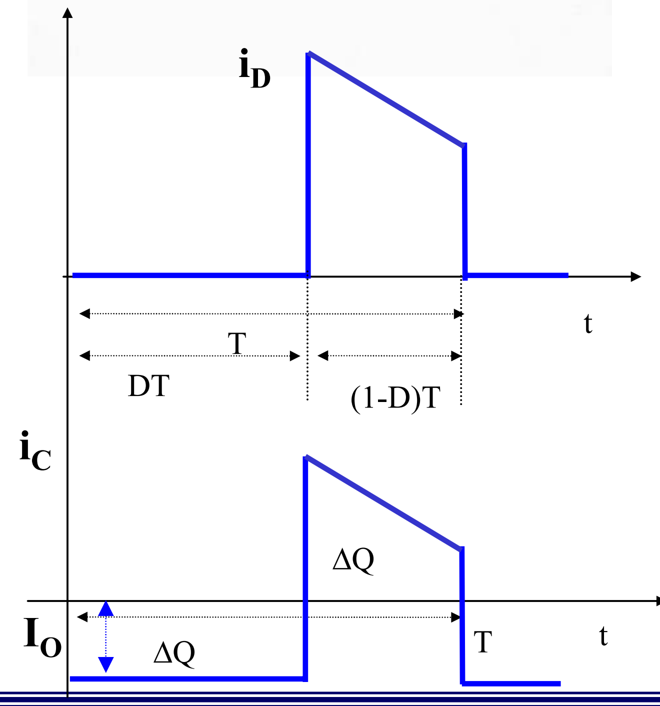
efeito de elementos parasitas na tensão de saída



impacto sobre a relação de conversão
- *estabilidade na realimentação*
- *factores de ciclo elevados impraticáveis*

distorção na tensão de saída

(dimensionamento do filtro LC)



Q = Carga do condensador; I_O= constante

$$\Delta V_O = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_O DT}{C} = \frac{V_O}{R}\frac{DT}{C} \qquad \frac{\Delta V_O}{V_O} = \frac{DT}{RC} = D\frac{T}{\tau}$$