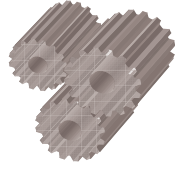




DEE
IPT



ACCIONAMIENTOS ELECTROMECAÑICOS

Accionamientos Electromecânicos Conversores de Electrónica de Potência



O ramo da electrónica que se dedica ao estudo de conversores comutados e seu respectivo controlo é a Electrónica de Potência.

Nas últimas décadas a evolução da Electrónica de Potência tem sido intensa, através do desenvolvimento dos dispositivos existentes, topologias e processos de controlo.

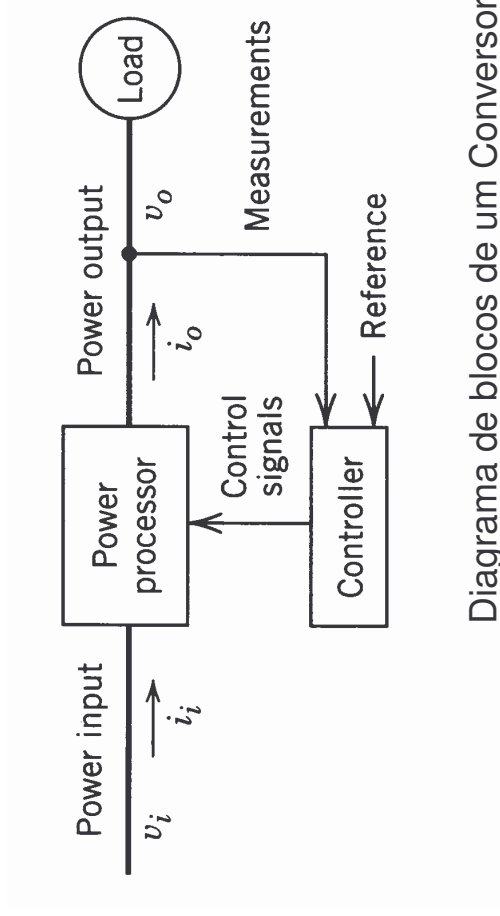
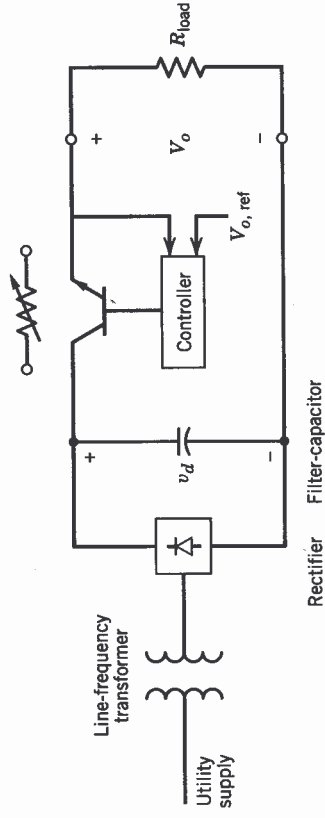


Diagrama de blocos de um Conversor de Electrónica de Potência

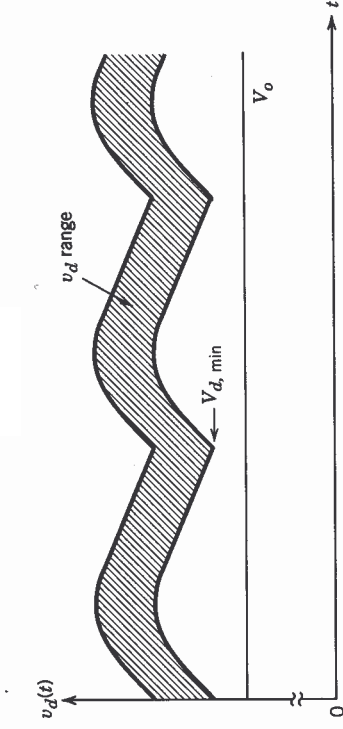
Tipos:

- **Conversores AC/DC (rectificador):** corrente alternada → corrente contínua
- **Conversores DC/DC (inversor):** corrente contínua → corrente alternada
- **Conversores DC/DC (rectificador):** corrente contínua → corrente contínua
- **Conversores AC/AC (cicloconversor):** corrente alternada → corrente alternada

Fonte linear tradicional



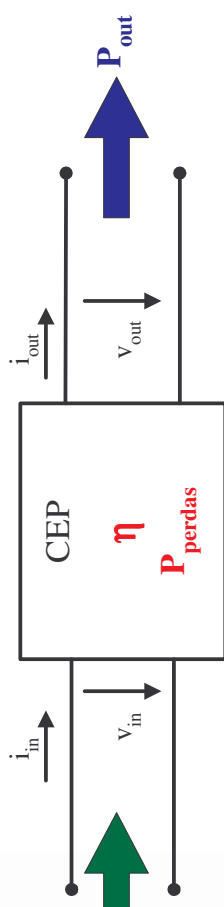
- Utilização de um transistor série como resistência variável
- Baixa eficiência



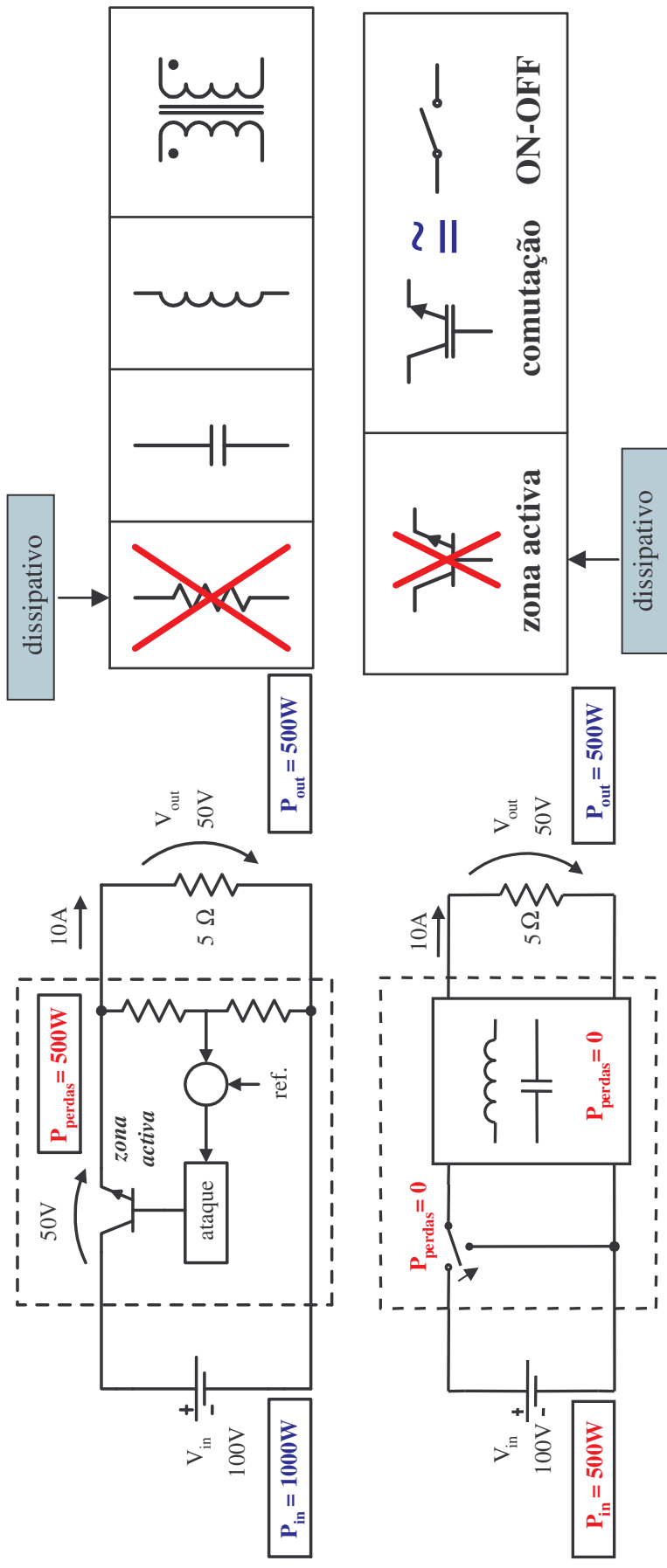
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

Rendimento:

$$P_{perdas} = P_{in} - P_{out} = P_{out} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)$$

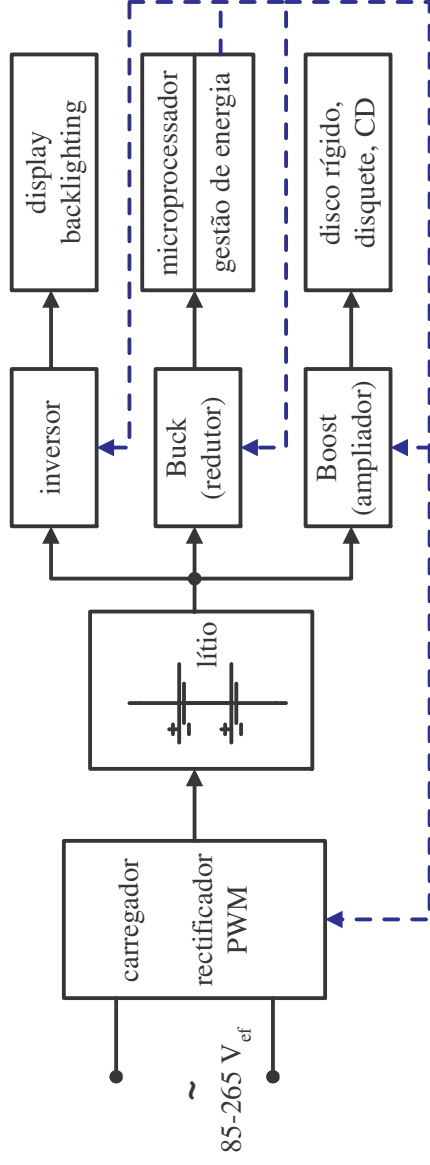


Fonte linear tradicional versus comutada (ideais)

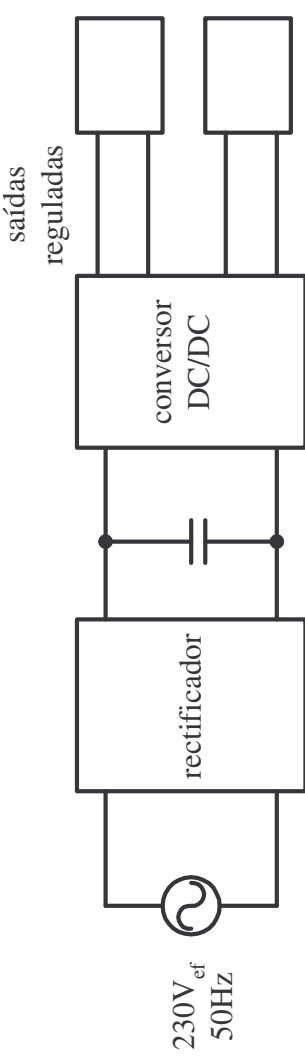


Aplicações:

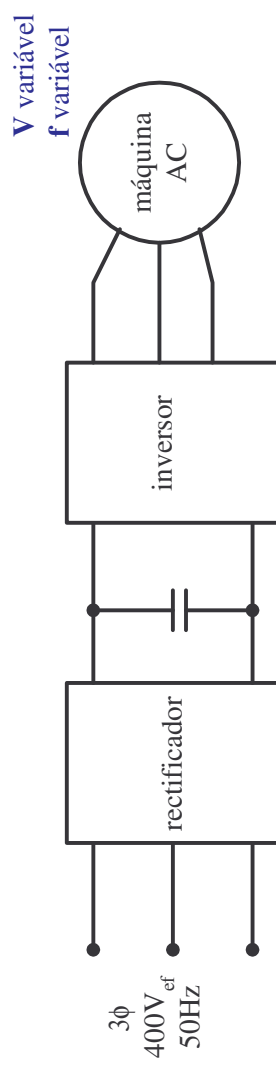
1) Computador portátil



2) Computador de escritório



3) Variação de velocidade de uma máquina AC



Para simplificar a análise dos sistemas conversores, adoptam-se algumas aproximações e considerações. De modo a evitar a sua repetição para cada um deles em particular, procede-se a seguir à sua apresentação.

O funcionamento dos circuitos baseia-se numa sequência de operações, interessa particularmente a análise em regime permanente, (as variáveis em causa não mudam o seu valor de um período temporal para o período seguinte), sendo este também constante e designado por T_s .

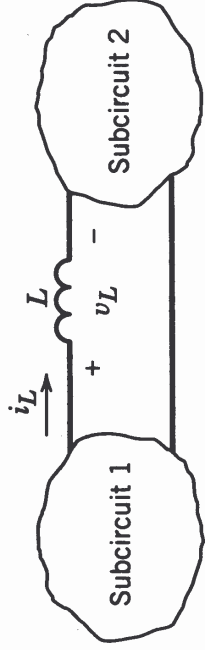
Em regime permanente, a partir das relações entre a tensão e a corrente em elementos reactivos gerais, L e C , pode deduzir-se:

$$i_C(t) = C \frac{dv_C}{dt} \Leftrightarrow v_C(t) - v_C(t_0) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C dt$$

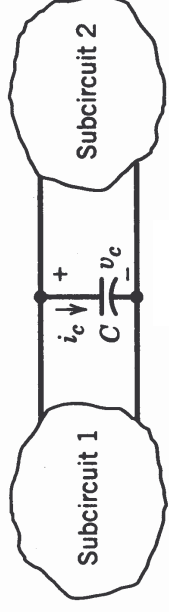
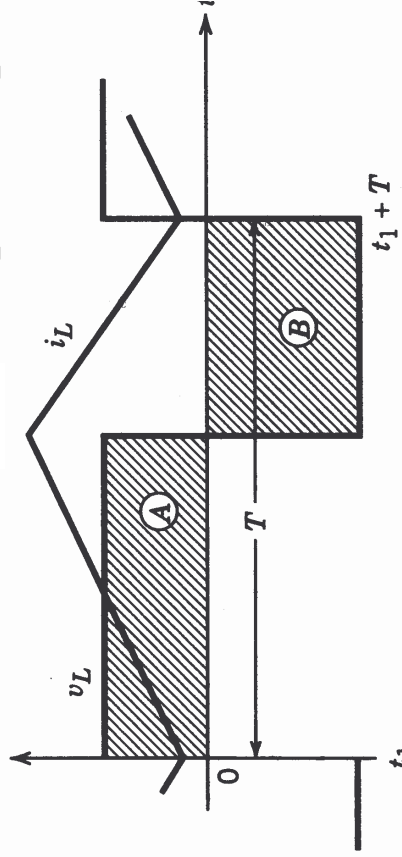
$$v_L(t) = L \frac{di_L}{dt} \Leftrightarrow i_L(t) - i_L(t_0) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t v_L dt$$

Para os circuitos reactivos sujeitos a um sinal periódico, pode-se concluir que:

- Sendo a corrente numa bobina L , igual, no início e no final de cada período, o valor médio da tensão num período de comutação é nulo.
- Sendo a tensão igual, no início e no final do período, o valor médio da corrente no condensador, C , durante este tempo é também nulo.

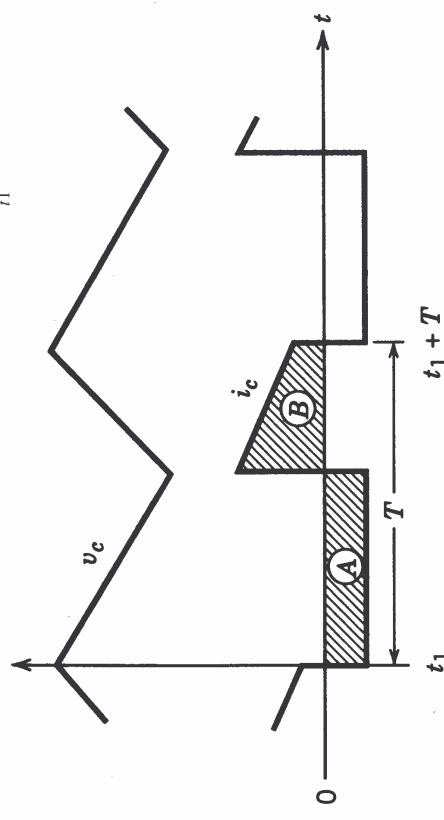


$$\int_{t_1}^{t_1+T} V_L(x) dx = 0$$



$$\int_{t_1}^{t_1+T} I_C(x) dx = 0$$

$$V_L(t+T) = V_L(t) \rightarrow \text{(Sinal Periódico)}$$



Os elementos reactivos L e C armazenam energia, o primeiro sob a forma de um campo magnético e o segundo sob a forma de um campo eléctrico. A energia armazenada numa bobina ou num condensador é expressa pelas equações:

$$W_L = \frac{1}{2} L(i_L)^2 \quad W_C = \frac{1}{2} C(v_C)^2$$

Princípio da continuidade da energia: a derivada de W_L e de W_C corresponde à potência instantânea transferida.

É impossível ser infinita → i_L e v_C são contínuas e com uma derivada limitada.

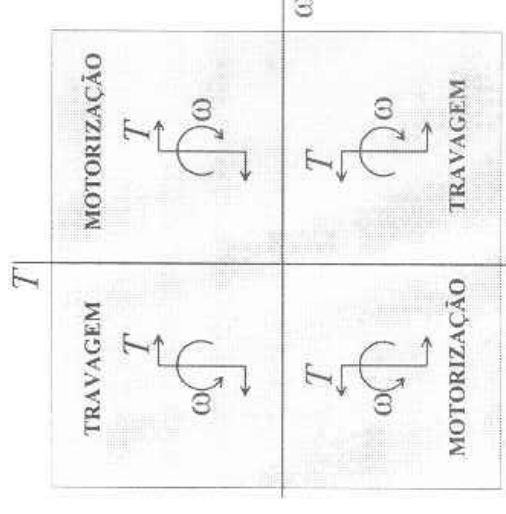
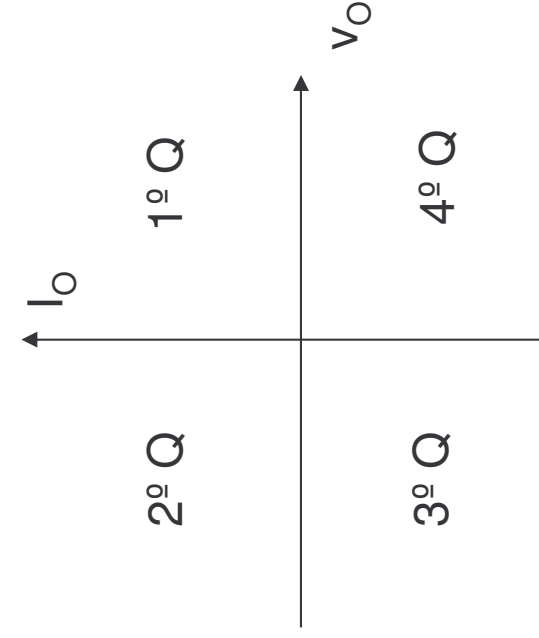
δ (ou D), designado por factor de ciclo (*duty cycle*), é a variável de controlo do sistema:



comutação ON-OFF

$$\delta = \frac{t_{on}}{T_s}$$

Quadrantes de operação de um accionamento.



Considerando um conjunto de eixos ortogonais formado pelas variáveis: tensão de saída, V_O , e corrente de saída, I_O , estes dividem o plano em quatro quadrantes, conforme o sinal das duas grandezas em causa.

Os conversores elementares convertem uma tensão DC noutra tensão DC de saída, com um valor médio dependente da tensão de entrada e da variável de controlo.

Conversor redutor:

1º quadrante

V_O , é sempre menor ou igual do que a tensão de entrada, V_I .

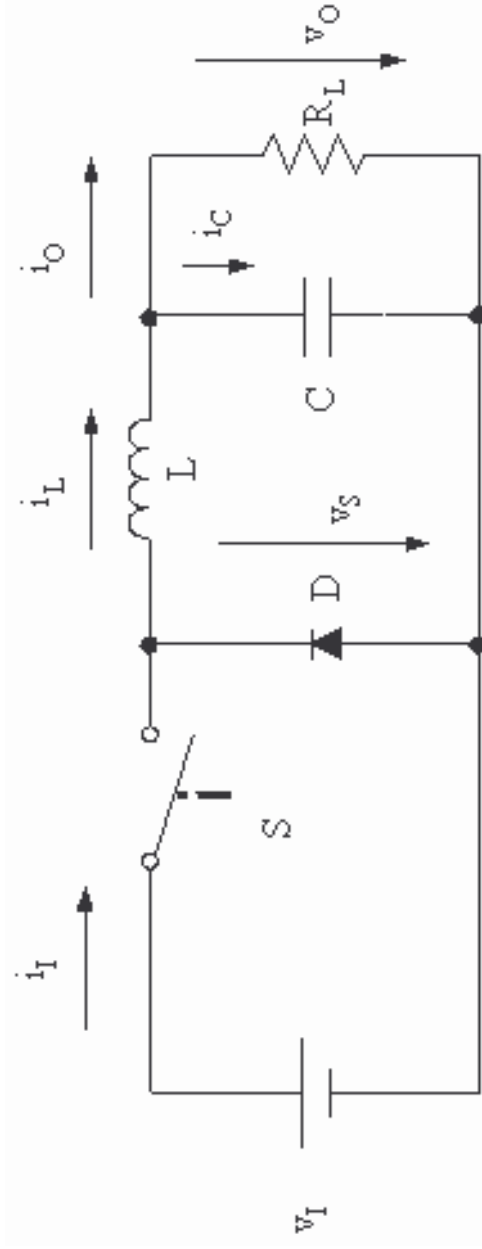
Conversor ampliador:

1º quadrante

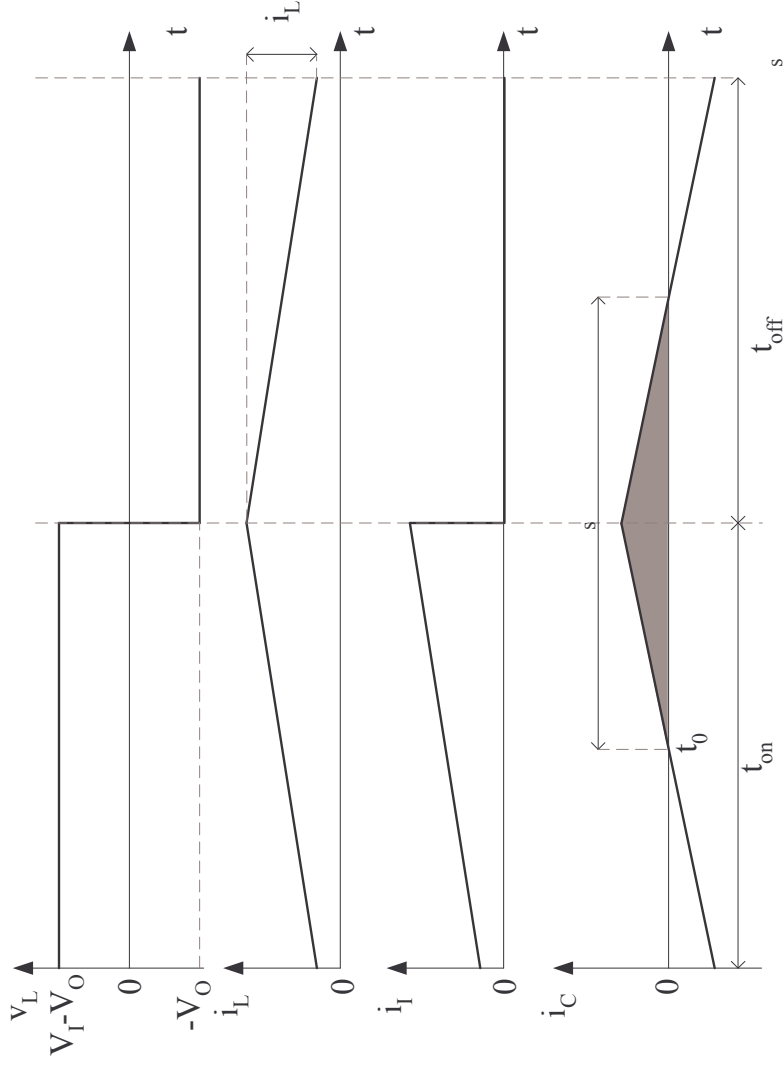
V_O , é sempre maior ou igual do que a tensão de entrada, V_I .

Conversor reductor

v_O , é sempre menor ou igual ao da tensão de entrada, v_I .



Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECÂNICOS



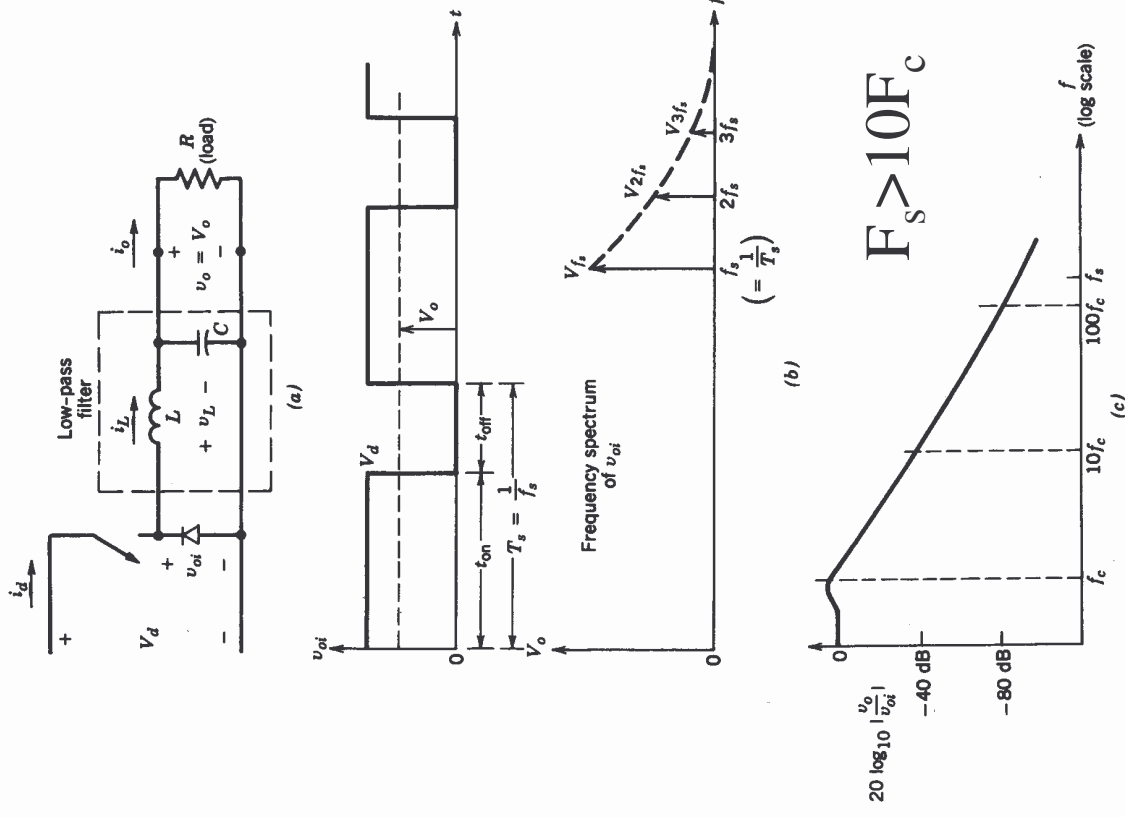
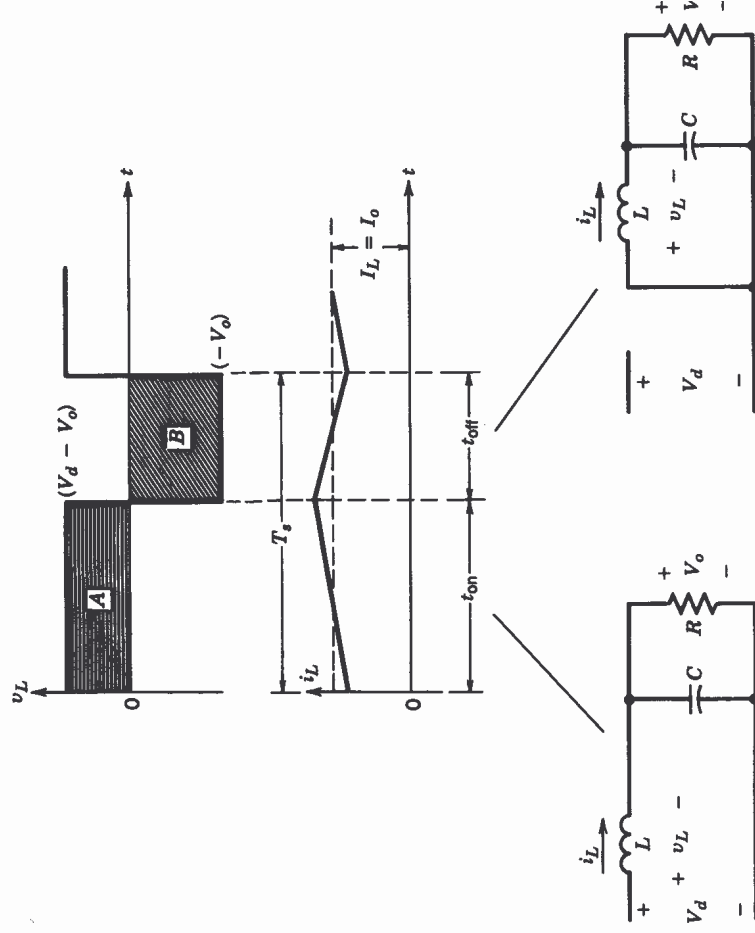
Operação:

Período T_s :

1. $t_{on} = [0, t_{on}]$, S está actuado (interruptor fechado) $\rightarrow v_s = V_I$, i_L aumenta ($v_I > v_O$)
2. $t_{off} = [t_{on}, T_s]$, interruptor aberto, continuidade da energia na bobina $\rightarrow i_L$ vai continuar com o mesmo sentido, percorrendo o diódo, e impondo $v_s = 0$
3. Ciclo repete-se



Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECÂNICOS



Existem dois modos de operação:

Regime não lacunar: valor da auto-indução, L , suficientemente elevado de modo a que a corrente que a atravessa não se anule no intervalo $[t_{on}, T_s]$
É o modo de operação comum.

Regime lacunar: a corrente que atravessa L anula-se no intervalo $[t_{on}, T_s]$

Análise em regime não lacunar:

Aplicando as leis de *Kirchhoff* (em regime permanente) → obtêm-se as grandezas eléctricas em causa.
(assume-se que C é suficientemente elevado para desprezar ΔV)

$$\overline{V_S} = \delta V_I$$

Sendo o valor médio da tensão na bobina num período de comutação nulo:

V_O , varia entre 0 e V_I , sendo proporcional ao factor de ciclo
O filtro atenua altas frequências, obtendo o valor médio

$$V_O = \delta V_I$$

$$(V_I - V_O)T_{on} + (-V_O)T_{off} = 0 \Leftrightarrow \frac{V_O}{V_I} = \delta \frac{T_{on}}{T_I} = \frac{1}{\delta}$$

Ondulação (*ripple*) de corrente na bobine:

Em regime permanente e assumindo que a tensão de saída não varia durante o período T_s :

$$v_L(t) = L \frac{di_L}{dt} \Leftrightarrow \Delta i_L = \frac{1}{L} \int_0^{t_{on}} v_L dt \quad \Delta i_L = \frac{(V_I - V_O)t_{on}}{L} = \frac{V_O t_{off}}{L} = \frac{V_O(1 - \delta)T_s}{L}$$

Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECAÑICOS

Tensão de tremor:

$$\Delta v_o = \frac{\Delta q}{C} \Leftrightarrow \Delta v_o = \frac{\int_{t_0}^{t_0 + \frac{T_s}{2}} i_c dt}{C}$$

Filtro atenua as altas frequências mas não as elimina

Considerando que a componente alternada da corrente na bobina circula totalmente pelo condensador:

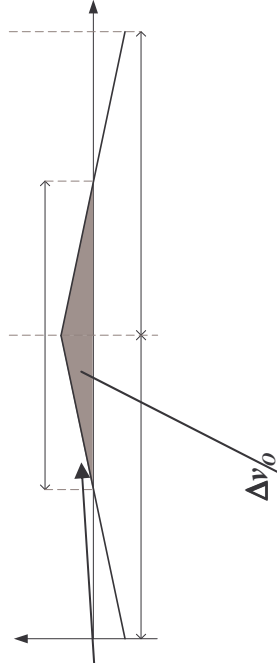
$$\Delta v_o = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{2} \frac{\Delta i_L T_s}{2} \right) \Leftrightarrow \Delta v_o = \frac{T_s \Delta i_L}{8C}$$

Área do triângulo:

Conjugando esta equação com a equação $\Delta i_L = \frac{V_o t_{off}}{L} = \frac{V_o (1-\delta) T_s}{L}$ vem:

$$\Delta v_o = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{2} \frac{V_o (1-\delta) T_s}{2L} \frac{T_s}{2} \right) \Leftrightarrow V_r = \frac{\Delta v_o}{2} = \frac{V_o T_s^2}{16LC} (1-\delta)$$

$\frac{1}{2} \Delta v_o$



Tensão de tremor:

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{(1-\Delta)T^2}{8LC} = \frac{\pi^2}{2} (1-\delta) \left(\frac{F_c}{F_s} \right)^2$$

Alternativa:

$$F_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Potência:

$$P_{in} \cong P_o$$

$$V_I \cdot I_g = V_o \cdot I_o$$

$$\frac{I_o}{I_g} = \frac{V_g}{V_o} = \frac{1}{\delta}$$

Corrente de saída:

$$\frac{1}{T_S} \int_0^{T_S} I_L(t) dt = I_o$$



DEE
IPT

Sistemas mecânicos ACCIONAMENTOS ELECTROMECAÑICOS

Fim