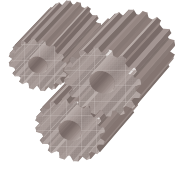




DEE  
IPT



ACCIONAMIENTOS ELECTROMECAÑICOS

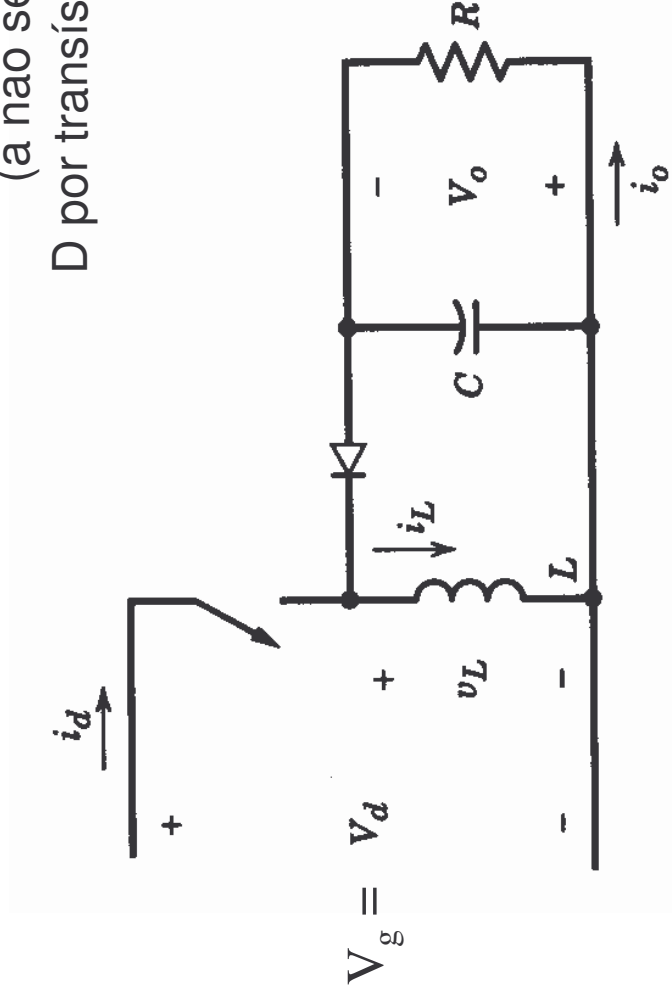
# Accionamentos Electromecânicos Conversores de Electrónica de Potência (continuação)

Conversor reductor-elevador (buck-boost)

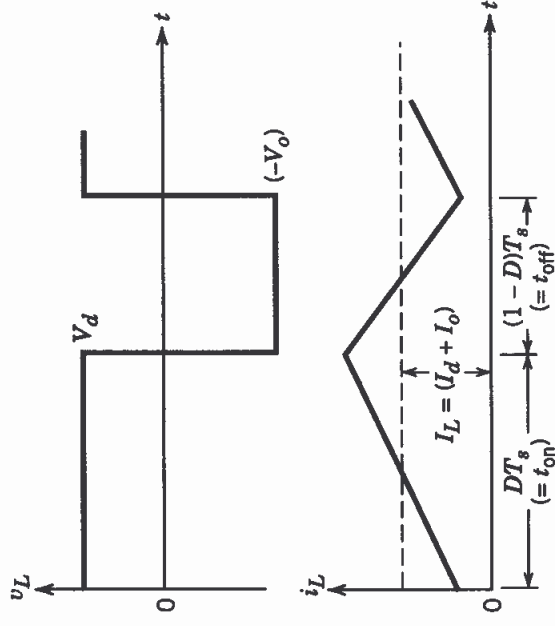
1º quadrante

(a não ser que se substitua

D por transistor, neste caso 1º e 4º)



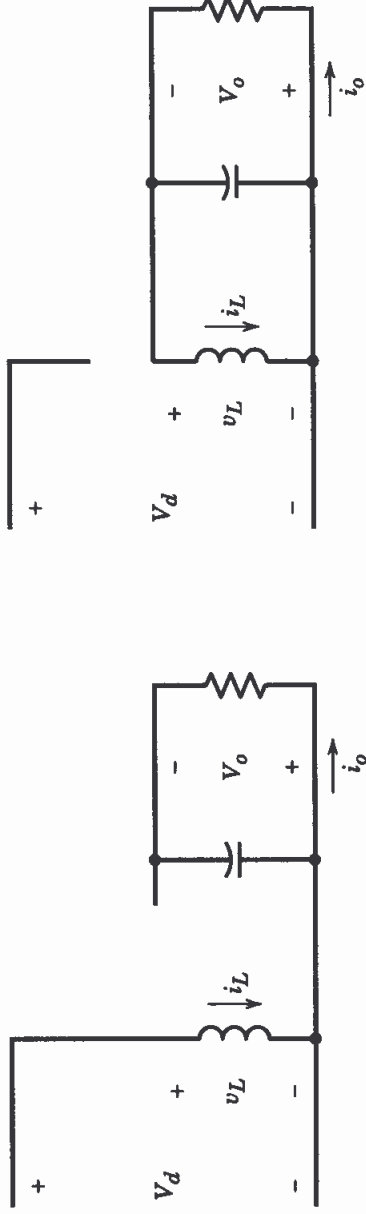
Relação entre tensões de entrada e de saída



$$V_g T_{on} + (-V_o) T_{off} = 0$$

$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{D}{1-D}$$

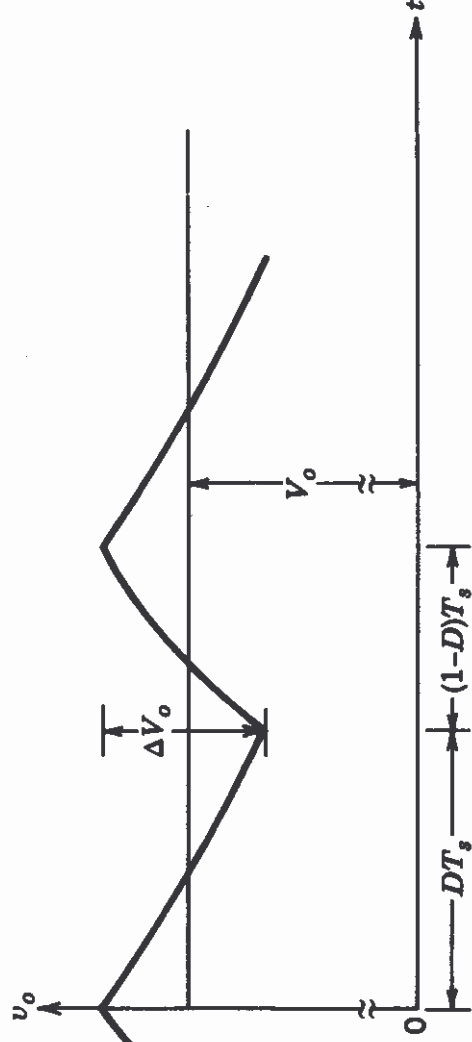
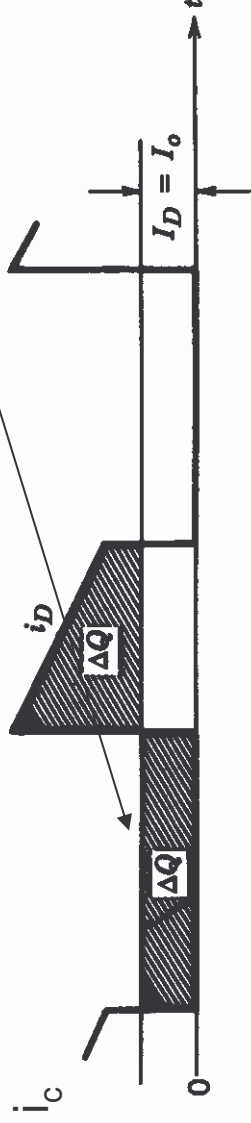
$$\frac{I_o}{I_g} = \frac{1-D}{D}$$



Tensão de tremor

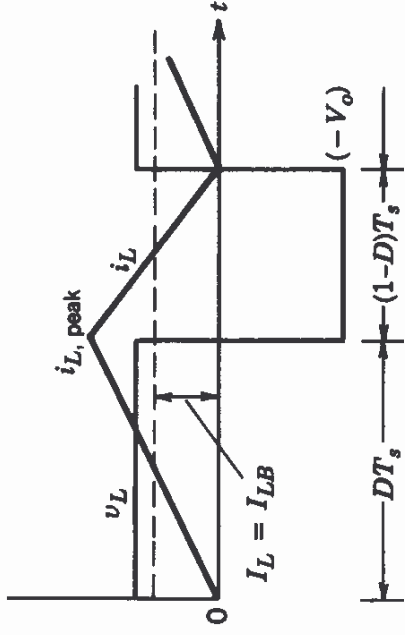
$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_o DT}{C} = \frac{V_o DT_s}{R C}$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{DT_s}{RC}$$



Output voltage ripple in a buck-boost converter.

# Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECAÑICOS

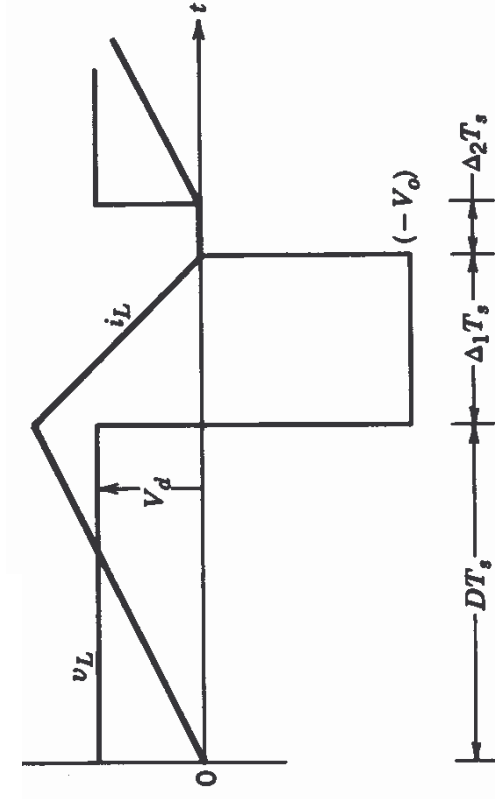


$$\Delta I_L = \frac{V_o T_s}{L} (1-D)$$

$$\Leftrightarrow I_{LB} = \frac{V_o T_s}{2L} (1-D)$$

$$I_{oB} = \frac{V_o T_s}{2L} (1-D)^2 \frac{T_{off}}{T_s}$$

$$\Leftrightarrow I_{oB} = \frac{V_o T_s}{2L} (1-D)^2$$



$$\frac{V_o}{V_g} = \frac{D}{\Delta_1}$$

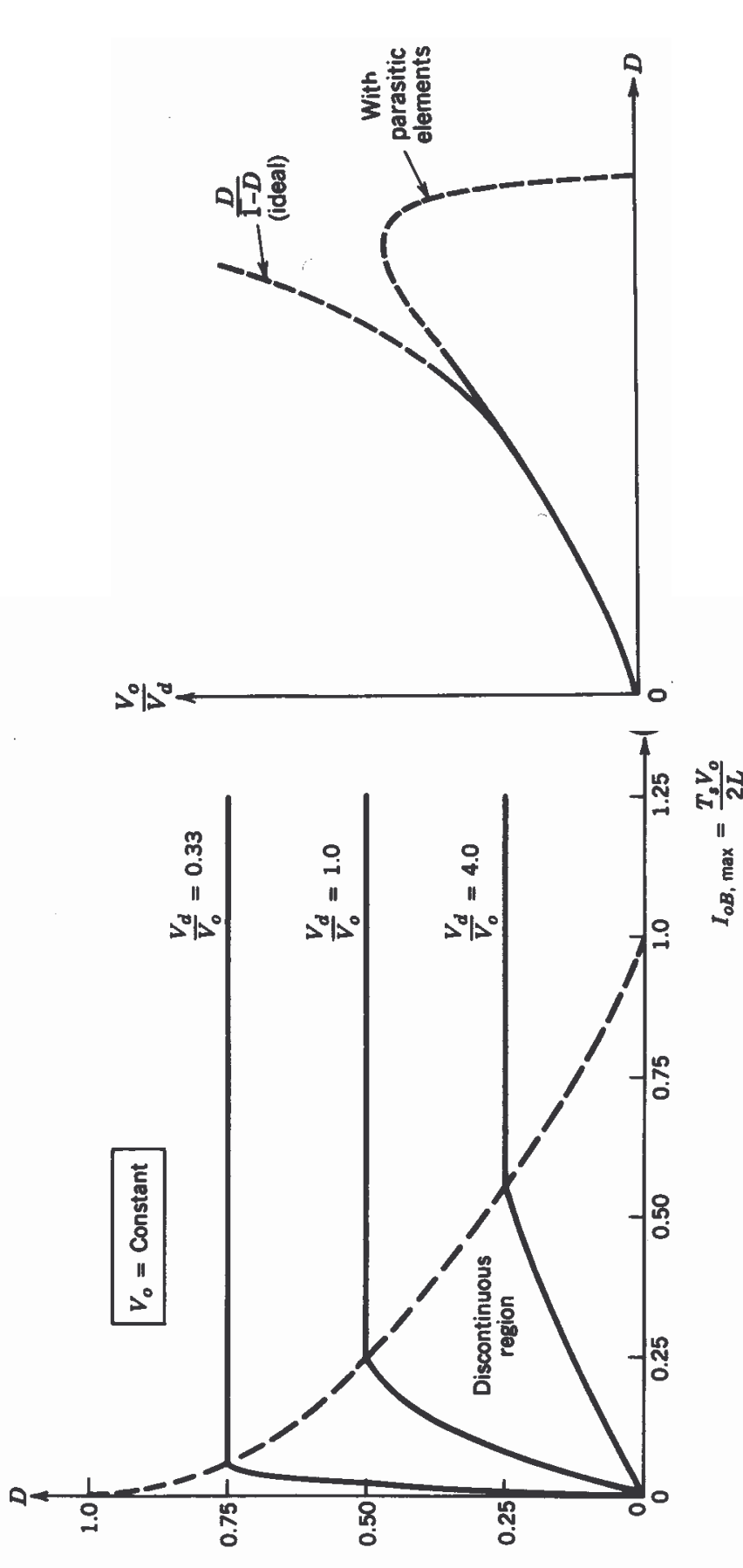
$$I_L = \frac{V_g}{2L} D T_s (D + \Delta_1)$$

$$I_{LB \max} = \frac{V_o T_s}{2L}$$

$$I_{oB \max} = \frac{V_o T_s}{2L}$$

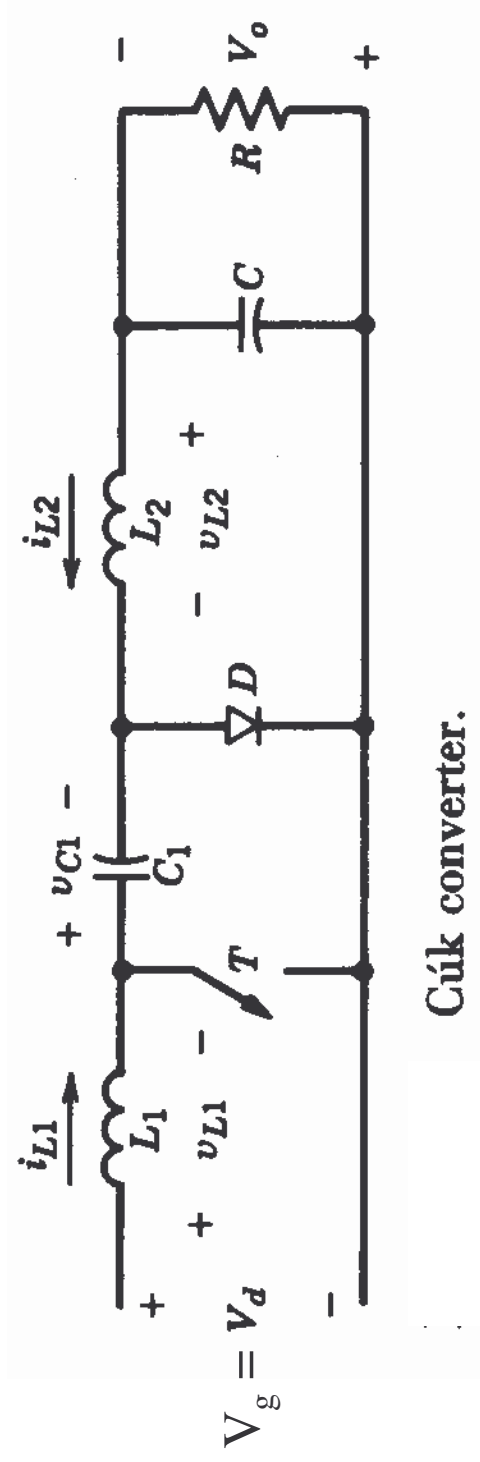
Modo descontinuo

## Modo descontinuo



Buck-boost converter characteristics keeping  $V_o$  constant.

## Conversor Cúk



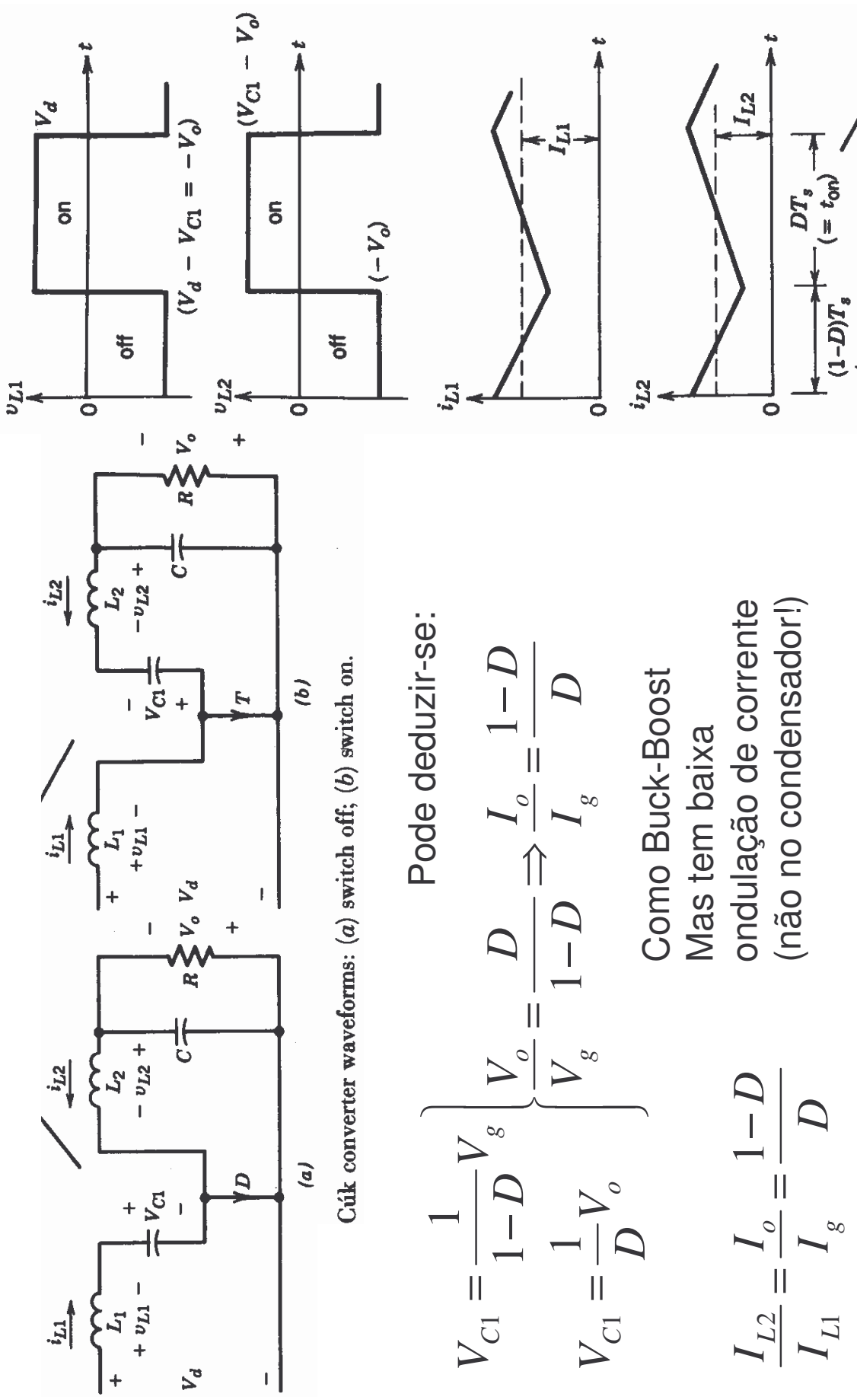
$V_{C1} = V_g + V_o$  Tensão em C1 assume-se constante

Regime permanente

em L:  $L_1 \Rightarrow V_g DT_s + (V_g - V_{C1})(1 - D)T_s = 0$

$L_2 \Rightarrow (V_{C1} - V_o)DT_s + (-V_o)(1 - D)T_s = 0$

# Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECÂNICOS

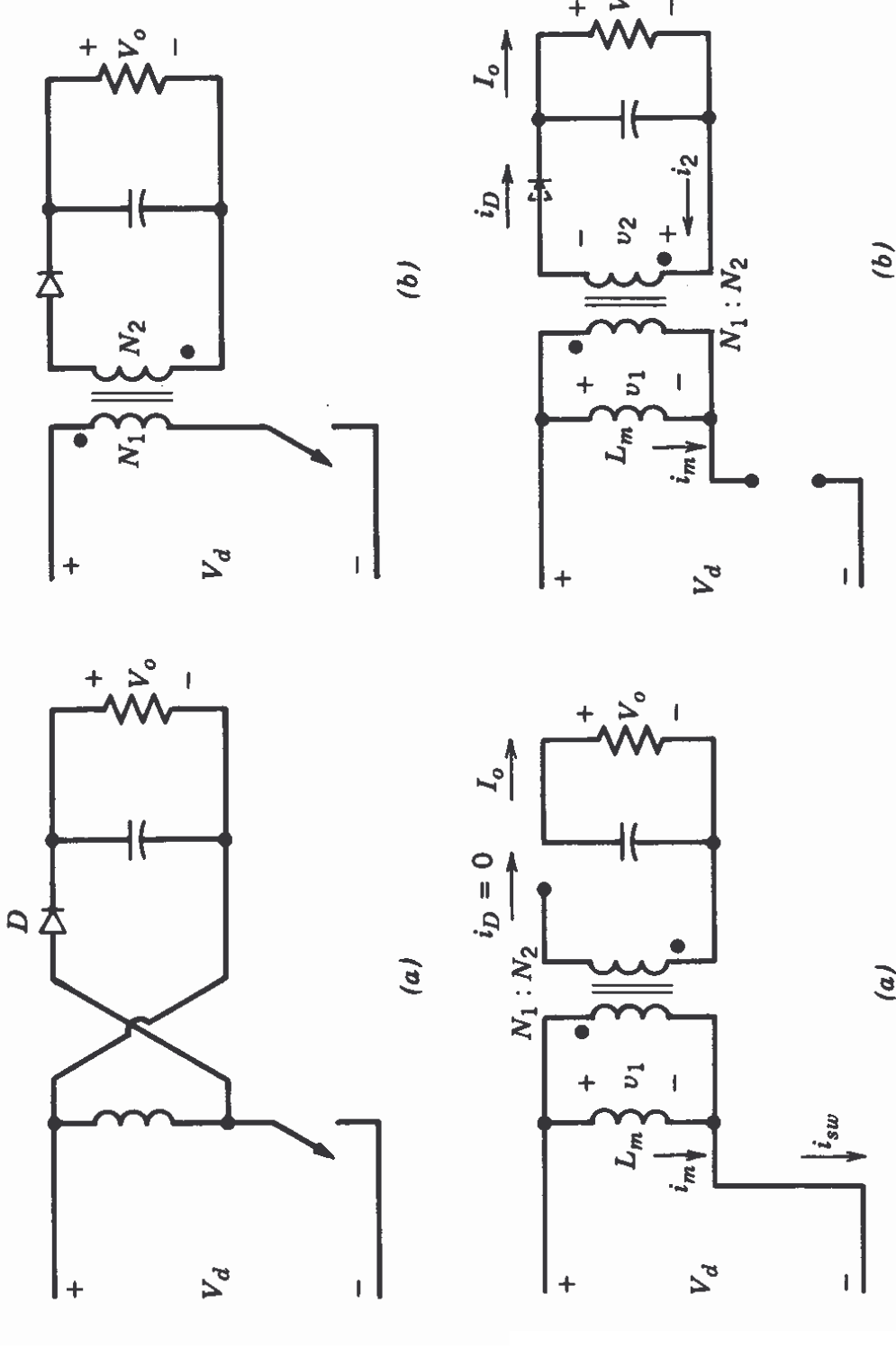




# Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECÂNICOS

Conversores com isolamento - Flyback

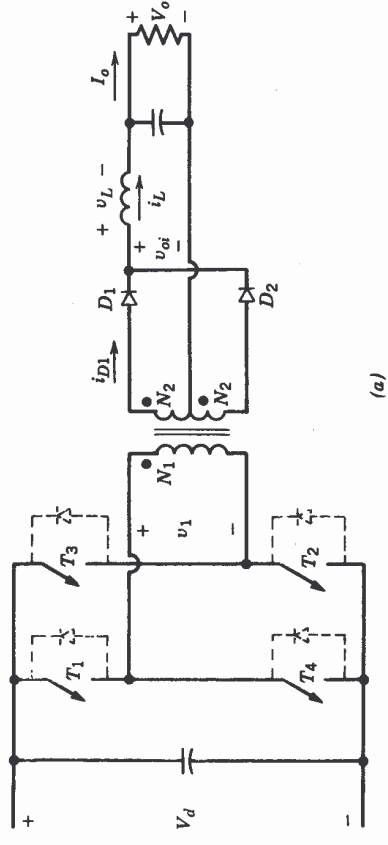
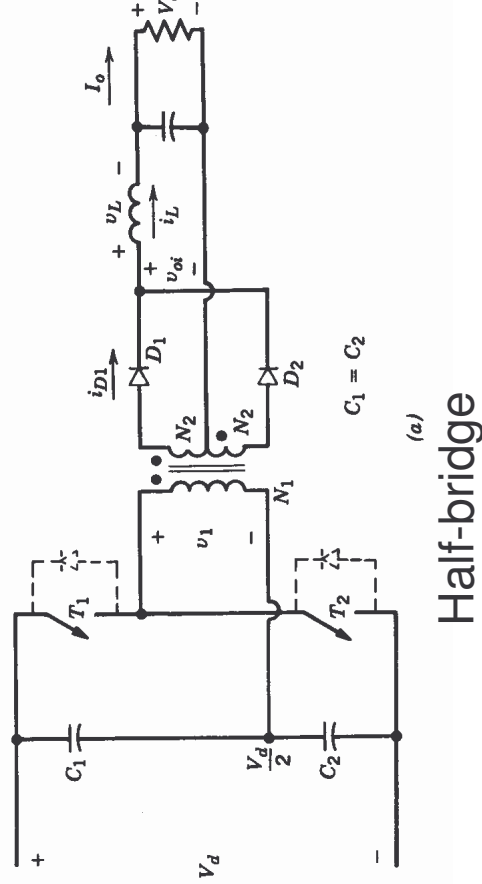
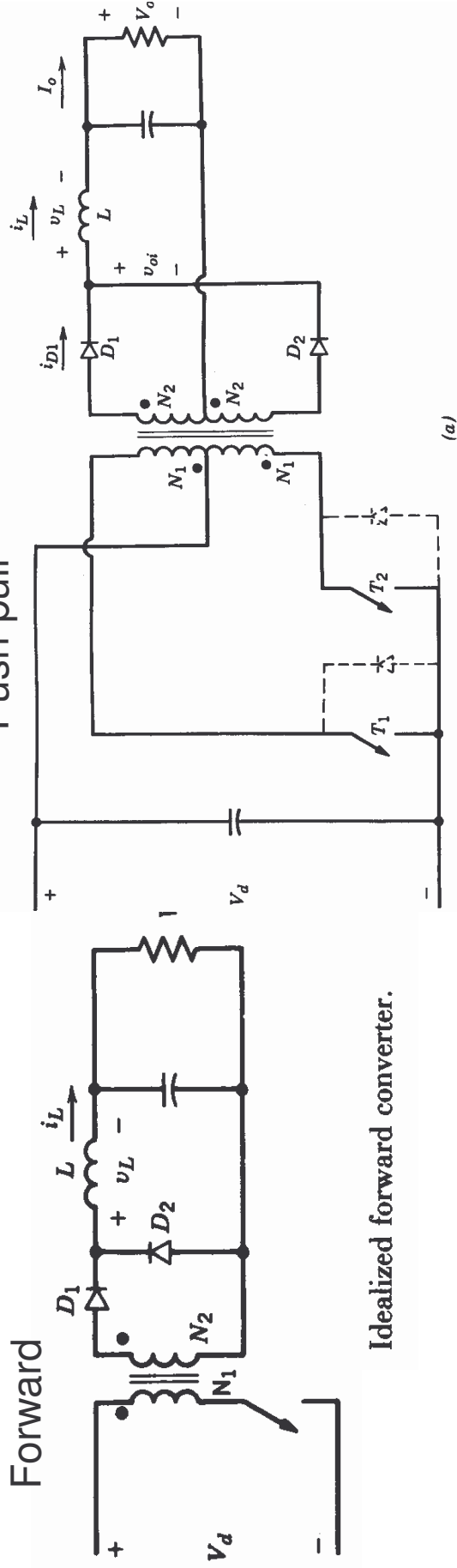
Potencias < 50W



Flyback converter circuit states: (a) switch on; (b) switch off.

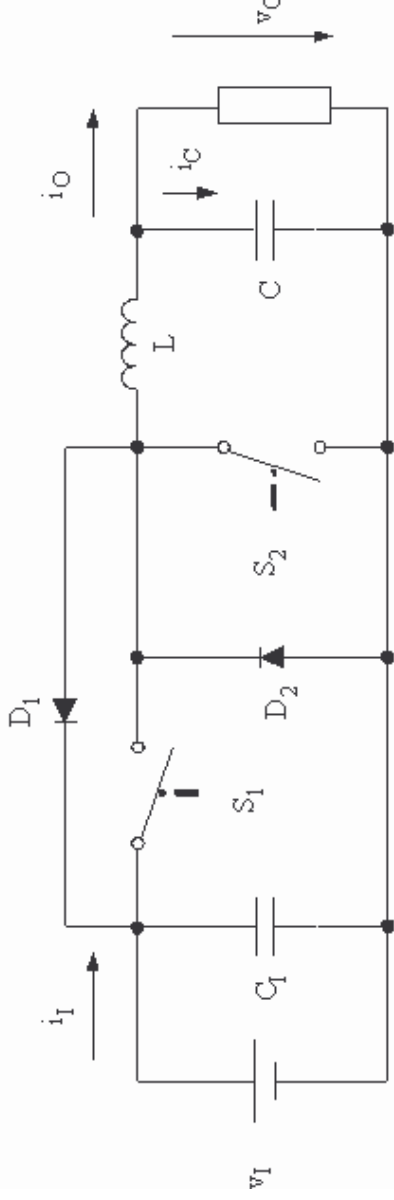
# Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECÂNICOS

## Conversores com isolamento



## Conversor em meia ponte:

Associando os dois (reductor e ampliador): 1º e 4º quadrante



O conjunto  $S_1$ ,  $D_2$ ,  $L$  e  $C$  constitui um conversor reductor, enquanto  $S_2$ ,  $D_1$ ,  $L$  e  $C$ , constituem um conversor ampliador.

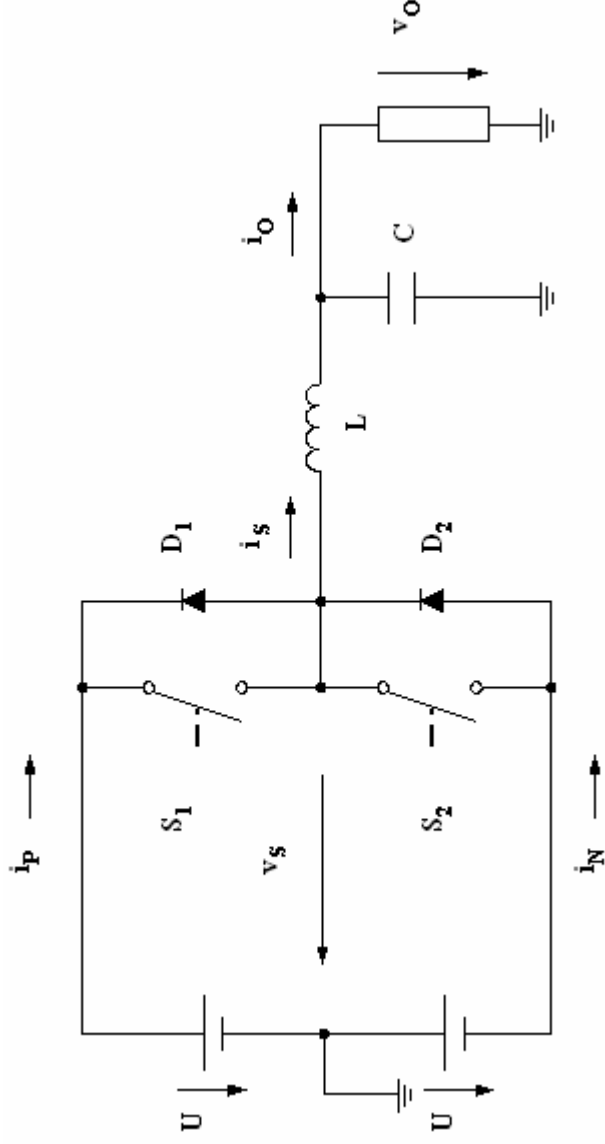
O conversor opera com uma tensão de saída positiva mas a corrente de saída pode ser positiva ou negativa, operando em dois quadrantes.

Para corrente positiva opera  $S_1$  e  $D_2$  estando  $S_2$  e  $D_1$  ao corte, o circuito funciona como conversor reductor.

Para corrente negativa (no caso de ser injectada potência na saída) os papéis invertem-se,  $S_2$  e  $D_1$  operam e  $S_1$  e  $D_2$  estão ao corte, formando um conversor ampliador.

Modificação ao conversor em meia ponte apresentado:

Duas fontes em série, formando uma alimentação simétrica ( $\pm U$ )

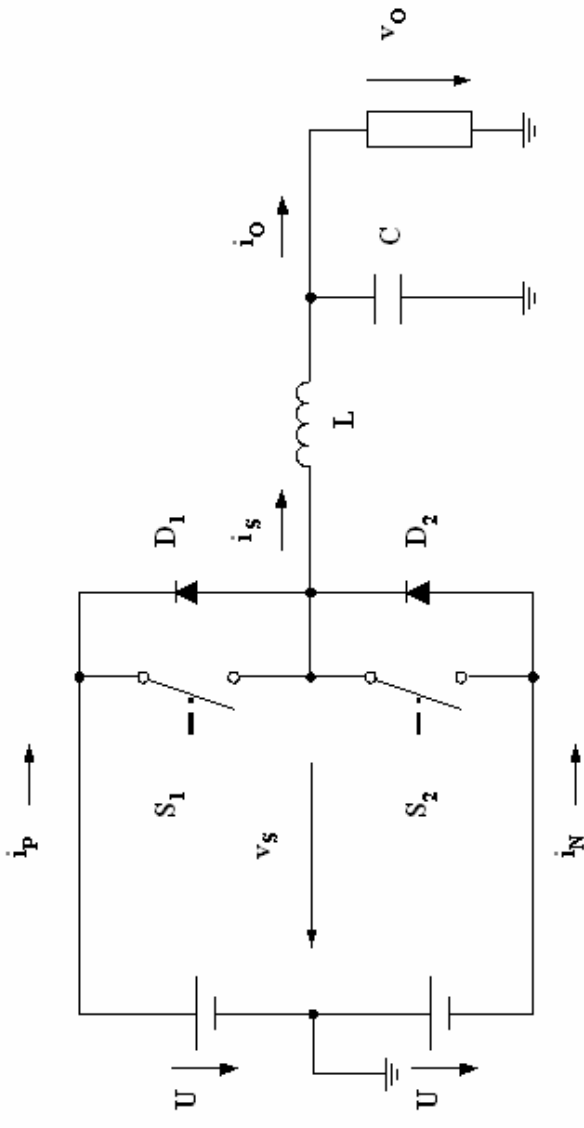


A saída é referenciada ao ponto intermédio de ligação entre as fontes, permitindo a operação em quatro quadrantes.

# Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECÂNICOS

Período  $T_s$ :

- $t_{on} = [0, t_{on}]$ ,  $S_1$  está actuado
- $[t_{on}, T_s]$ ,  $S_2$  está actuado



Em regime permanente:

pode-se concluir que  $I_s = I_o$  e  $V_s = V_o$ . As relações entre as várias tensões e correntes identificadas na Figura 2.8:  $i_N$ ;  $i_P$ ;  $i_S$ ;  $i_o$ ;  $v_S$  e  $U$  são:

$$\text{para } t \in [0, t_{on}]: \begin{cases} i_s = i_P \\ v_s = U \end{cases}$$

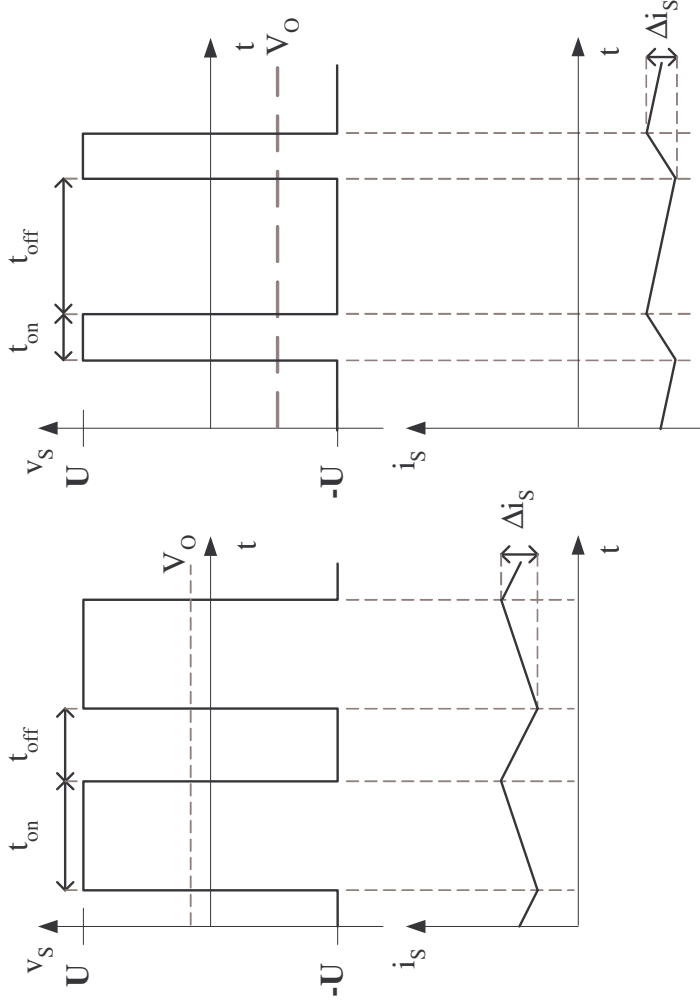
$$\text{para } t \in [t_{on}, T_s]: \begin{cases} i_s = i_N \\ v_s = -U \end{cases}$$

As correntes médias,  $I_P$  e  $I_N$  são:

$$I_P = \frac{1}{T_s} \int_0^{t_{on}} i_s dt = I_s \frac{t_{on}}{T_s} = \delta I_O$$

$$I_N = \frac{1}{T_s} \int_{t_{on}}^{T_s} i_s dt = I_s \frac{t_{off}}{T_s} = (1 - \delta) I_O$$

Representação da evolução temporal típica de  $v_S$  e  $i_S$  (1º e 3º quadrantes).



Durante o tempo  $t_{on}$ , a tensão  $v_S$  toma o valor  $+U$ , como resultado da condução de  $S_1$  ou  $D_1$ , conforme  $i_S \geq 0$ , ou  $i_S \leq 0$ , respectivamente. Do mesmo modo, durante o tempo  $t_{off}$ , a tensão  $v_S$  toma o valor  $-U$  como resultado da condução de  $S_2$  ou  $D_2$ . A operação dá-se deste modo, nos quatro quadrantes possíveis das variáveis de saída.

O valor médio da tensão de saída,  $V_o$ , é determinado a partir do valor médio da tensão  $V_s$ :

$$V_o = V_s = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_s dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{t_{on}} U dt + \frac{1}{T_s} \int_{t_{on}}^{T_s} -U dt = U(2\delta - 1)$$

Verifica-se que variando  $\delta$  de 0 até 1, se obtém uma variação na tensão de saída de  $-U$  a  $+U$ , sendo a saída nula para  $\delta=0,5$



**Tremor da corrente na bobina:**

$$\text{Corrente na bobina: } i_s = \frac{1}{L} \int_0^t v_L dt + i_s(0)$$

$$\Delta i_{S_{on}} = \frac{U - V_o}{L} \delta T_s \quad (0 \leq t \leq \delta T_s)$$

$$\Delta i_{S_{off}} = \frac{-U - V_o}{L} (1 - \delta) T_s \quad (\delta T_s \leq t \leq T_s)$$

Conjugando as equações (iguais em reg. permanente), obtém-se:

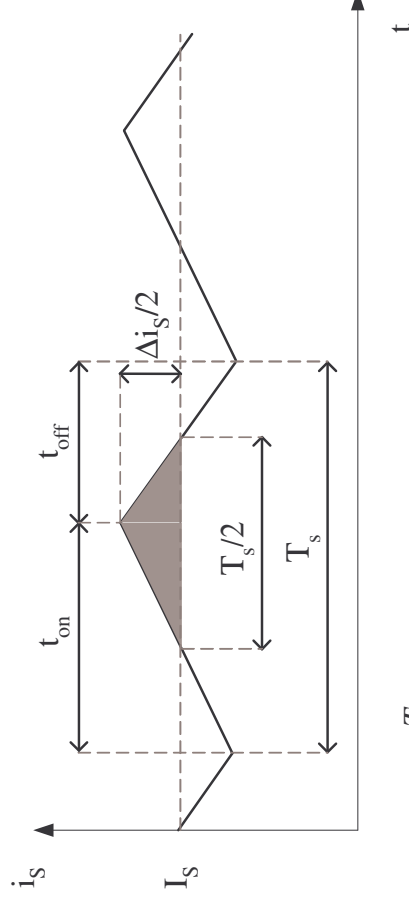
$$\Delta i_{S_{on}} = \frac{U - U(2\delta - 1)}{L} \delta T_s = \frac{2UT_s(\delta - \delta^2)}{L}$$

Corrente de tremor,  $I_r$ :

$$I_r = \frac{UT_s(\delta - \delta^2)}{L}$$

## Tremor da tensão de saída

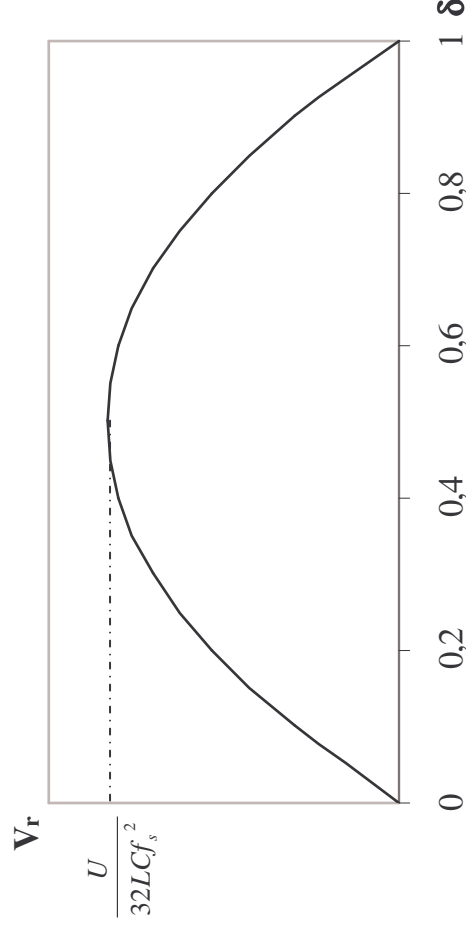
será considerado que toda a corrente de tremor presente na bobina de saída circula pelo condensador de filtragem C.



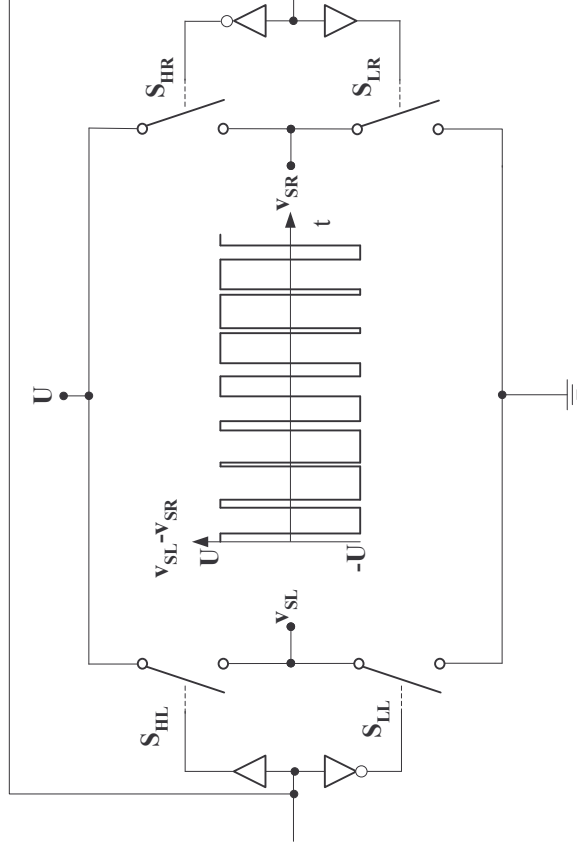
$$\Delta v_o = \frac{\Delta q}{C} \Leftrightarrow \Delta v_o = \frac{1}{C} \int_0^{T_s/2} i_c dt \Leftrightarrow \Delta v_o = \frac{1}{C} \left( \frac{1}{2} \frac{\Delta i_s T_s}{2} \right) \Leftrightarrow \Delta v_o = \frac{T_s \Delta i_s}{8C}$$

Conjugando esta equação com a variação da corrente já deduzida obtém-se a amplitude da tensão de tremor,  $V_r$ :

$$\Delta v_o = \frac{T_s}{8C} \frac{2UT_s(\delta - \delta^2)}{L} \Leftrightarrow V_r = \frac{U(\delta - \delta^2)}{8LCf_s^2}$$



## Conversor em ponte:



Do ponto de vista da saída é equivalente a uma meia-ponte mas com uma única alimentação.

Os transístores só têm que suportar  $U$  (meia-ponte era  $2U$ )

**Não há regime lacunar!!**



# Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECÂNICOS

---

**Fim**