

g.5) Corrente no enrolamento primário

$$I_p = \frac{4P_{out}}{V_{min}} = \frac{4 \cdot 120}{249} \approx 1,93A$$

$$I_{ef} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} \approx 1,4A$$

Será empregado o fio 22 AWG.

Handwritten: $I_{pr} = 20\% I_{R_{max}}$
 $I_{T1} = 20\% I_{pr}$

Handwritten: 4º uma lâmina primária
 22 " secundária

$$N_L = \frac{L \cdot I_{pr}}{B_{max} \cdot A_e} \approx 22 \mu P$$

$$I_g = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot A_e \cdot I_o^2}{2 \cdot L} = 0,105$$

$$C = \frac{\Delta L}{2 \cdot f_s \cdot \Delta V_c} > 79 \mu F$$

Handwritten: para saber se vai dar OK!

$$13NP \cdot S_{22} + N_5 (2.518) + N_5 (29) < AW$$

Projetos de Fontes Chaveadas

Handwritten: na prática usa 2.
 Qual S e a área com cobre

CAPÍTULO 4

CONVERSORES BRIDGE, HALF-BRIDGE E

PUSH-PULL

4.1 - Conversor em meia-ponte (Half-Bridge)

a) Estrutura e etapas de funcionamento

A estrutura básica do conversor em meia-ponte está representada na Fig. 4.1.

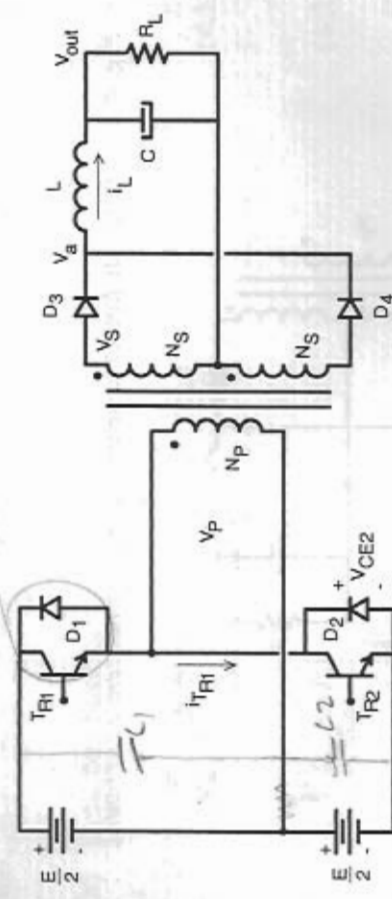


Fig. 4.1: Conversor meia-ponte.

Definições:

$$D = \frac{T_1}{T} = \text{razão cíclica;}$$

T - período da tensão de entrada do filtro de saída;
 $T_S = 2T$ - período de funcionamento do conversor.

Nas etapas de funcionamento descritas a seguir, o transformador é considerado ideal.

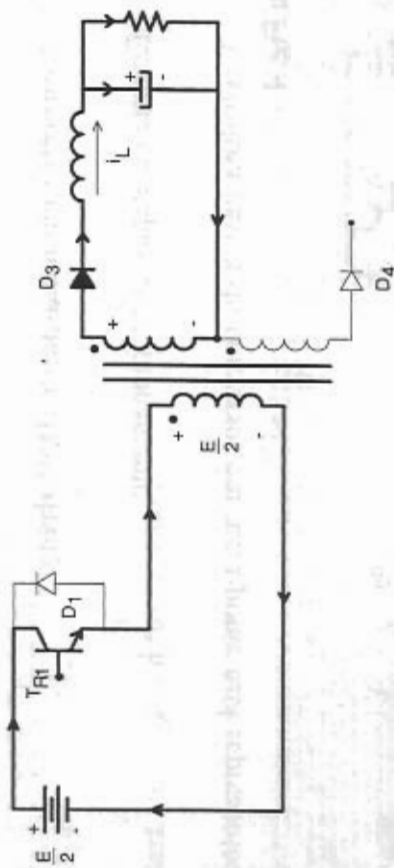


Fig. 4.2: 1ª Etapa de funcionamento (T_{R1} e D_3 conduzem a corrente).

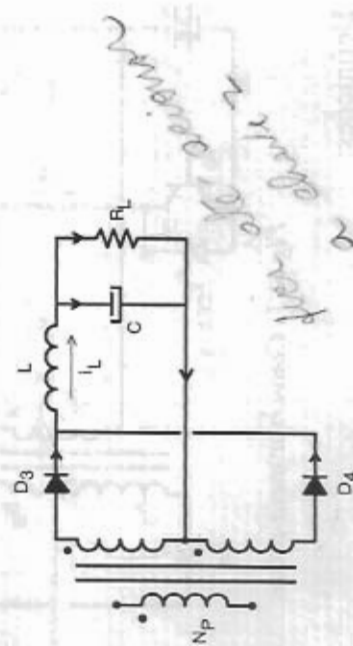


Fig. 4.3: 2ª Etapa de funcionamento (os dois interruptores são mantidos bloqueados).

é também a 4ª etapa de funcionamento

a razão cíclica máxima é 0,45
 $D_{max} = 0,45$

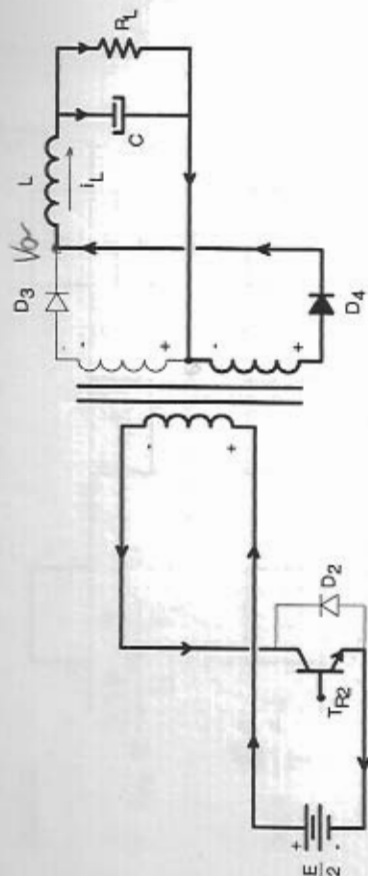


Fig. 4.4: 3ª Etapa de funcionamento (T_{R2} é mantido fechado; D_4 conduz a corrente de carga).

As formas de onda mais importantes estão representadas na Fig. 4.5.

b) Relações básicas

$$V_{out} = \frac{E N_s D}{2 N_p} \quad (4.1)$$

$$V_{CE_{max}} = E \quad (4.2)$$

$$P_{in} = \frac{E}{2} i_{TR} \frac{T_1}{T} = \frac{P_{out}}{\eta} \quad (4.3)$$

A V_s depende D e tempo de atraso
plurifase entre os diodos

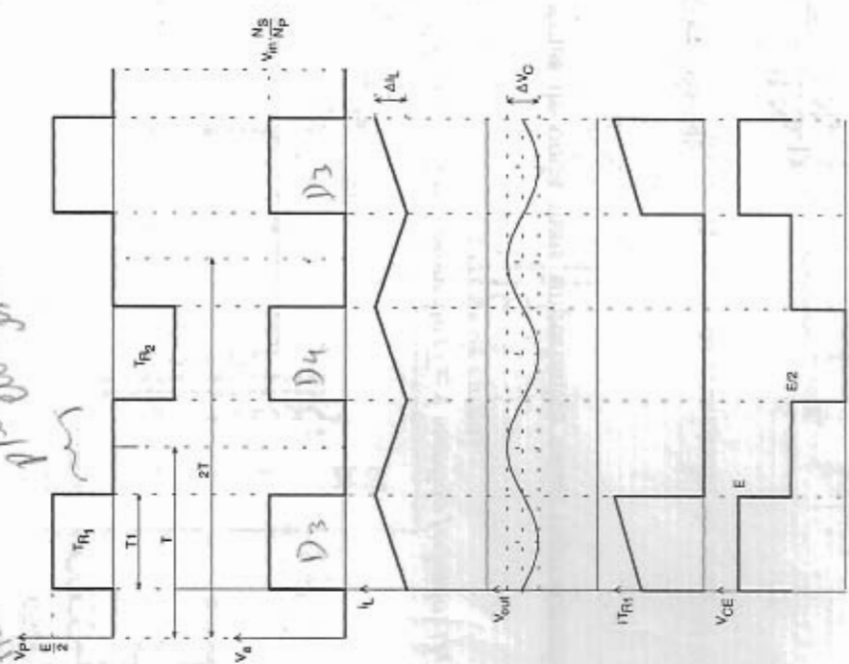


Fig. 4.5: Formas de onda para o conversor representado na Fig. 4.1.

Assim:

$$P_{out} = i_{TR} \frac{P}{\eta} \frac{T}{T_1} E \quad (4.4)$$

Seja $\eta = 0,8$.

Assim:

$$i_{TR} \cong \frac{2,5 P_{out}}{E} \frac{T}{T_1} \quad (4.5)$$

Seja $\frac{T_1}{T} = 1$

sem tempo morto, o máximo de corrente
é o máximo de corrente
na chave T_1

Considerando o efeito da componente magnetizante da corrente pode-se adotar:

$$i_{TR} \cong \frac{3 P_{out}}{E} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{max} \\ \eta = 0,8 \end{array} \right.$$

OBS.: As tensões e correntes nos diodos e o filtro de saída são calculados de modo semelhante ao conversor Forward.

Deve-se considerar o fato de que a frequência da corrente do filtro de saída é o dobro da frequência de comutação. $V_D, I_{DR}, f_{ultra} = 2f_s$

c) O capacitor série

Nos conversores Full-Bridge ou Half-Bridge, emprega-se em série com o primário do transformador um capacitor destinado a impedir a circulação de componentes contínuas de corrente no próprio transformador. Tais correntes provocariam a saturação do núcleo, provocando como consequência uma provável falha de um dos interruptores (ou ambos).

A componente contínua aparece devido às desigualdades dos tempos de comutação dos interruptores.

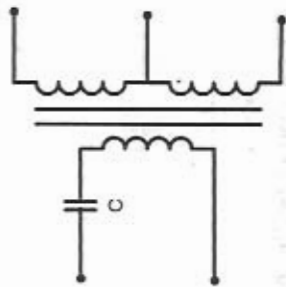


Fig. 4.6: Capacitor em série com o transformador.

O capacitor série (C) e a indutância de filtragem formam um circuito ressonante, cuja frequência de ressonância é dada pela expressão (4.8).

$$L_p = \left(\frac{N_p}{N_s} \right)^2 L \quad (4.7)$$

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_p C}} \quad (4.8)$$

Assim:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f_R^2 \left(\frac{N_p}{N_s} \right)^2 L} \quad (4.9)$$

É recomendado tomar f_R 4 vezes menor que a frequência de comutação. Assim:

$$f_R = \frac{f_s}{4} \quad (4.10)$$

sendo f_s a frequência de comutação do conversor.

Desse modo:

$$C = \frac{4}{\pi^2 f_s^2 \left(\frac{N_p}{N_s} \right)^2 L} \quad (4.11)$$

Outro aspecto a ser considerado na escolha do capacitor é a sua impedância; quanto menor o valor de C, maior será a queda de tensão que ele provoca, consequentemente provocando uma redução da tensão de saída. Seja a Fig. 4.7.

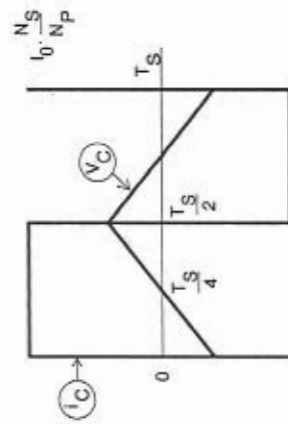


Fig. 4.7: Tensão e corrente no capacitor série.

$$V_{C_{\max}} = I_o \frac{N_s}{N_p} \frac{T_s}{4C} = I_o \frac{N_s}{N_p} \frac{1}{4f_s C} \quad (4.12)$$

$$\Delta V_C = 2V_{C_{\max}} = \frac{N_s}{N_p} \frac{I_o}{2f_s C} \quad (4.13)$$

Assim:

$$C \geq \frac{N_s}{N_p} \frac{I_o}{2f_s \Delta V_C} \quad (4.14)$$

* Recomenda-se $0,05E \leq \Delta V_C \leq 0,1E$.

d) Exemplo de cálculo

Sejam os seguintes valores:

$$\begin{aligned} f_s &= 20\text{kHz} & \frac{N_p}{N_s} &= 10 \\ P_{\text{out}} &= 200\text{W} & f_R &= \frac{f_s}{4} = 5\text{kHz} \\ L &= 20\mu\text{H} & E &= 320 \pm 20\%V \end{aligned}$$

Assim, pelo 1º critério:

$$C \geq \frac{4}{\pi^2 \cdot 4 \cdot 10^8 \cdot 100 \cdot 20 \cdot 10^{-6}} = 0,5\mu\text{F}$$

Pelo segundo critério:

$$E_{\min} = 0,8 \cdot 320 = 256\text{V}$$

$$I_C = \frac{3P_{\text{out}}}{E_{\min}} = \frac{N_s I_o}{N_p}$$

$$I_C = \frac{3 \cdot 200}{256} = 2,34\text{A}$$

Assim:

$$C \geq \frac{2,34}{2 \cdot 20000 \cdot 20} \approx 3\mu\text{F}$$

Deve portanto ser empregado um capacitor de $3\mu\text{F}$; por segurança é recomendado um capacitor de 200V .

É importante que seja empregado um capacitor para tensão alternada de baixas perdas (polipropileno).

e) Diodos de Recuperação

Os diodos colocados em antiparalelo com os interruptores são chamados de diodos de recuperação e têm por finalidade devolver à fonte E a energia acumulada na indutância de dispersão do

transformador e ao mesmo tempo impedir que um interruptor fique submetido a uma tensão V_{CE} negativa. Devem ser empregados diodos rápidos com tensão de bloqueio maior que a tensão nominal dos interruptores.

4.2 - Conversor em Ponte Completa (Full-Bridge)

Utilizado em potências elevadas > 500W

A topologia do tipo *Half-Bridge* normalmente é recomendada para potências inferiores a 500W; para potências maiores é empregado o conversor do tipo *Full-Bridge*, com topologia representada na Fig. 4.8.

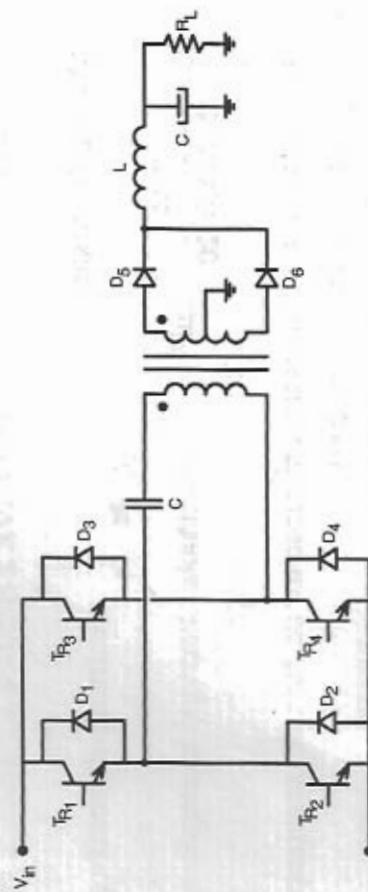


Fig. 4.8: Conversor CC-CC do tipo *Full-Bridge*.

4.3 - Conversor *Push-Pull*

O conversor *Push-Pull* pode ser considerado como um caso particular do conversor *Full-Bridge* ou *Half-Bridge*. Ele é destinado a pequenas potências por propiciar um mau aproveitamento do

transformador e dificultar o emprego de técnica para evitar a saturação no núcleo devido a desigualdade entre os tempos de comutação dos interruptores. Além disso, é mais recomendado para baixas tensões por submeter os interruptores à tensões muito elevadas.

A estrutura do conversor do tipo *Push-Pull* está representada na Fig. 4.9.

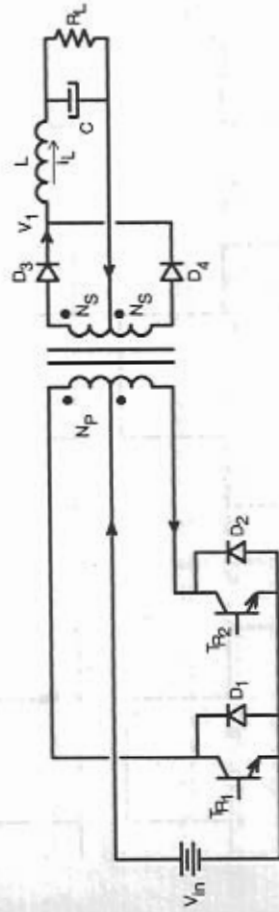


Fig. 4.9: Conversor *Push-Pull*.

Na 1ª etapa de funcionamento o interruptor T_{R2} é mantido fechado; o diodo D_3 conduz a corrente do indutor L de filtragem; D_4 se mantém polarizado reversamente e portanto, bloqueado.

Na 2ª etapa de funcionamento os dois interruptores mantêm-se bloqueados. A corrente do indutor circula pelos diodos D_3 e D_4 simultaneamente e V_1 é igual a zero.

Na 3ª etapa de funcionamento o interruptor T_{R1} é mantido fechado; D_4 assume a corrente i_L enquanto o diodo D_3 se mantém bloqueado.

As formas de onda mais importantes estão representadas na Fig. 4.10.

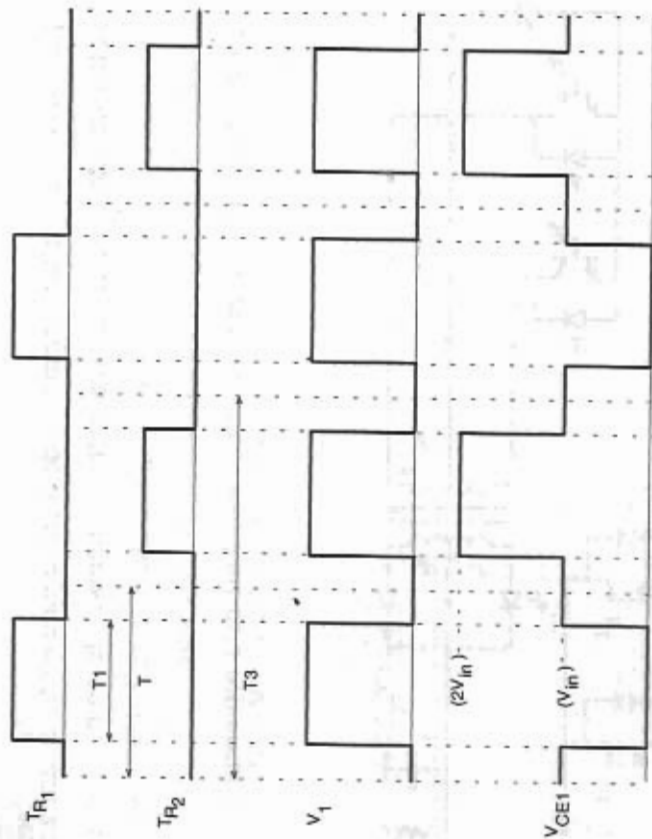


Fig. 4.10: Formas de onda para o conversor *Push-Pull*.

O cálculo do filtro de saída do transformador é semelhante ao conversor *Half-Bridge*.

4.4 - Cálculo do Transformador

No caso do conversor *Half-Bridge* ou *Full-Bridge*, a corrente de pico é dada pela relação:

$$I_p = \frac{3P_{out}}{V_{in\ min}} \quad (4.15)$$

Desse modo, seguindo o mesmo procedimento adotado no transformador destinado ao conversor *Forward*, obtém-se a relação (4.16).

$$A_e A_w = \frac{1,5 P_{out} 10^3}{k_w k_p J f \Delta B} \quad (4.16)$$

onde: $k_w = 0,40$
 $k_p = 0,41$

Verifica-se que para as mesmas condições, o transformador exigido torna-se menor, em relação ao conversor *Forward*.

Os demais passos de cálculo são idênticos aos estabelecidos para o conversor *Forward*.