

---

## 4. Conversores de corrente contínua-corrente contínua com isolamento

### Exercício nº4.1

Pretende-se dimensionar um conversor CC-CC redutor com isolamento galvânico para controlar a potência fornecida a uma carga resistiva a partir de uma fonte de tensão contínua de  $350V \pm 10\%$ , operando a uma frequência interna de 100kHz. As características da carga são as seguintes:

- tensão: 24V
- potência: 120 W
- distorção máxima da corrente de saída .1 A
- distorção máxima da tensão de saída 50 mV

- a) De entre os conversores que estudou escolha uma topologia que melhor se adapte a esta aplicação tendo em conta o factor custo e desenhe o seu esquema eléctrico. Justifique a necessidade de inclusão de um transformador e de um filtro de saída.
- b) No caso de existência de transformador determine a relação do número de espiras sabendo que o factor de ciclo pode variar entre 10 e 90%.
- c) Determine a gama de variação do factor de ciclo e estabeleça os valores máximos das correntes e tensões nos dispositivos semicondutores em qualquer condição de operação.
- d) Para a tensão de entrada mínima determine o factor de potência do circuito e os diagramas de tensão e de corrente nos dispositivos semicondutores e na carga.
- e) Determine a frequência de corte do filtro de saída e diga em que parâmetro se poderia actuar para diminuir as dimensões do filtro, mantendo as especificações. Qual a consequência directa dessa alteração.
- f) Indique justificando qual o tipo de dispositivos e respectivas protecções a utilizar nesta aplicação.

### Exercício nº4.2

Pretende-se projectar um conversor CC-CC directo, comutado a 100 kHz para utilização como fonte de alimentação em determinado equipamento informático que se comporta como uma resistência. As especificações do conversor são as seguintes:

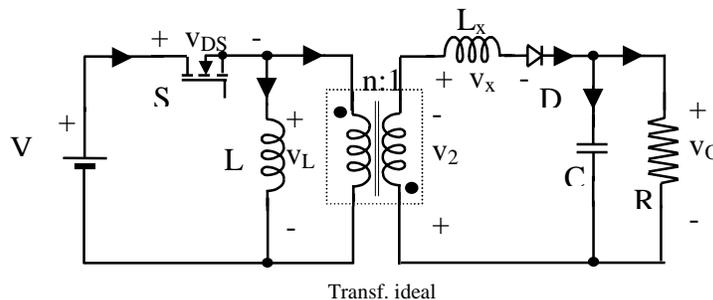
- tensão de entrada:  $400V \pm 10\%$
- potência de entrada: 100 W
- tensão de saída: 5V
- distorção máxima da corrente de saída .1 A
- distorção máxima da tensão de saída 50 mV

- a) Desenhe o esquema eléctrico do conversor e justifique a necessidade de inclusão de um transformador e de um filtro de saída.
- b) Considerando o transformador ideal, explique o funcionamento do circuito e determine a relação de conversão ( $VO/VI$ ) em função do número de espiras do transformador e do factor de ciclo. Sabendo que o factor de ciclo máximo é 50% dimensione o transformador.
- c) Determine a gama de variação do factor de ciclo e estabeleça os valores máximos das correntes e tensões nos dispositivos semicondutores em qualquer condição de operação, indicando qual o tipo de dispositivos que utilizaria.

- d) Determine os valores de L e de C de e diga em que parâmetro se poderia actuar para diminuir as dimensões do filtro, mantendo as especificações. Qual a consequência directa dessa alteração.
- e) Para a tensão de entrada mínima determine o valor eficaz da corrente de entrada no conversor e os diagramas de tensão e de corrente nos dispositivos semicondutores e na bobine de filtragem.
- f) Considere que o transformador não é ideal apresentando uma corrente de magnetização diferente de zero. Modifique o circuito por forma a que opere correctamente e explique o seu funcionamento. Trace o diagrama temporal da corrente de magnetização, da corrente no transistor e da tensão no primário durante um período de operação do conversor.

### Exercício nº4.3

O conversor representado na figura é utilizado como fonte de alimentação comutada a 80 kHz em certo equipamento electrónico, fornecendo na saída uma tensão contínua. A tensão de entrada do conversor é  $48 \text{ V} \pm 10 \%$ . O transformador é ideal e tem uma relação de transformação  $n=5$ .  $R=10\Omega$  e  $L=10\text{mH}$   $C=1000\mu\text{F}$



#### A - Considere $L_x=0$ .

- Considere um factor de ciclo de 70% e a tensão nominal de entrada. Explique o funcionamento do circuito calculando as expressões de regime permanente e desenhando as formas de onda das seguintes grandezas eléctricas: tensão e corrente na bobine L, tensão e corrente no transistor S, tensão e corrente no diodo D, corrente no primário e tensão no secundário do transformador. Calcule o valor médio de  $v_O$ .
- Determine a gama de variação do factor de ciclo  $\delta$ , supondo que se pretende uma tensão de saída de 12V. Dimensione o transistor e o diodo em tensão e em corrente.
- Determine, justificando, os valores das amplitudes máximas (valores pico a pico) das componentes alternadas da corrente na bobine e da tensão no condensador na situação da alínea a).
- Determine o valor médio da corrente na bobine e da corrente na carga em função do factor de ciclo na fronteira entre o funcionamento lacunar e não lacunar.

#### B - Considere $L_x=5\mu\text{H}$ e $\delta=\delta_{\text{min}}$ .

- Explique como se altera o funcionamento do circuito por introdução da bobine  $L_x$ .

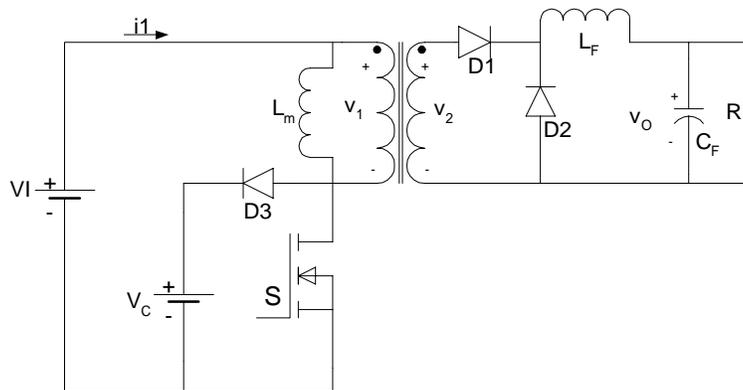
- f) Esboce as formas de onda das seguintes grandezas eléctricas: correntes na bobine  $L_x$  e no transistor  $S$ , tensão e corrente no primário do transformador, e tensão em  $L_x$ .

### Exercício nº4.4

O conversor representado na figura opera a uma frequência de 100 kHz e destina-se a controlar a potência contínua fornecida a uma carga resistiva com as seguintes características:

- tensão: 12V
- distorção máxima da corrente de saída 100m A
- potência: 120 W
- distorção máxima da tensão de saída 50 mV

A tensão contínua de entrada tem o valor  $V_I = 400V \pm 10\%$ .



*i-* Considere que  $L_m = \infty$

- a) Considerando que o conversor opera no modo de condução contínua, explique o funcionamento do circuito e determine a relação do número de espiras do transformador (ideal) sabendo que o factor de ciclo máximo é 50%.
- b) Determine a gama de variação do factor de ciclo
- c) Para a tensão de entrada mínima determine a potência de entrada no conversor e os diagramas de tensão e de corrente nos dispositivos semicondutores e na carga.
- d) Determine os valores de  $L_F$  e de  $C_F$ . e estabeleça os valores máximos das correntes e tensões nos dispositivos semicondutores em qualquer condição de operação, indicando qual o tipo de dispositivos que utilizaria.

*ii-* Considere que  $L_m \neq \infty$

- e) Diga qual a função do circuito auxiliar composto por  $V_C$  em série com o diodo  $D_3$  e explique o seu funcionamento, traçando os diagramas de  $v_1$ ,  $i_1$  e  $i_m$ .
- f) Determine o valor mínimo da tensão  $V_C$  necessário para que o circuito opere correctamente com um factor de ciclo de 40%. Indique o valor da máxima da tensão aos terminais do interruptor  $S$ .

**Exercício nº4.5**

Considere uma fonte de tensão comutada a 50 kHz que é alimentada através da rede de tensão alternada ( $V_I = 230V \pm 10\%$ , 50Hz) e o seu andar de entrada é constituído por uma ponte de rectificação a diodos e por um condensador electrolítico de capacidade elevada, por forma a garantir que a tensão à saída do rectificador é aproximadamente constante e igual a  $V_{I\max}$ . A topologia da fonte é um conversor CC-CC redutor com isolamento galvânico, e destina-se a controlar a potência contínua fornecida a uma carga resistiva com as seguintes características:

- tensão: 12V
- potência: 120 W
- distorção máxima da corrente de saída .1 A
- distorção máxima da tensão de saída 50 mV

a) De entre os conversores que estudou escolha uma topologia que melhor se adapte a esta aplicação tendo em conta os factores custo e potência e desenhe o seu esquema eléctrico. Justifique a opção tomada e a necessidade de inclusão de um transformador e de um filtro de saída.

b) No caso de existência de transformador determine a relação do número de espiras sabendo que o factor de ciclo máximo é 50%. Indique quais os problemas que resultariam se se utilizasse um factor de ciclo máximo de valor superior ao dado?

c) Determine a gama de variação do factor de ciclo e estabeleça os valores máximos das correntes e tensões nos dispositivos semicondutores em qualquer condição de operação, indicando qual o tipo de dispositivos que utilizaria.

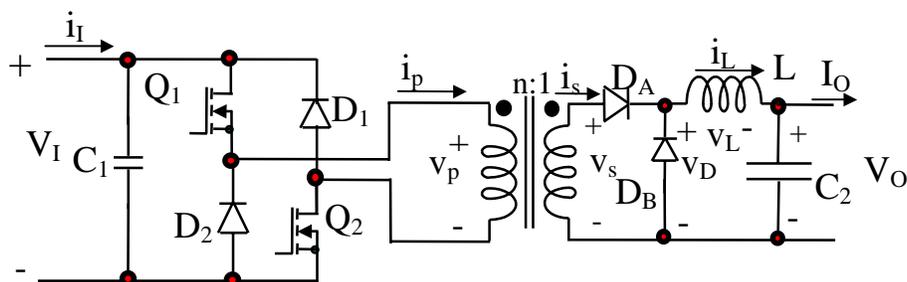
d) Para a tensão de entrada mínima determine a potência de entrada no conversor e os diagramas de tensão e de corrente nos dispositivos semicondutores e na carga.

e) Determine a frequência de corte do filtro de saída e diga em que parâmetro se poderia actuar para diminuir as dimensões do filtro, mantendo as especificações. Qual a consequência directa dessa alteração.

f) Faça um esboço aproximado da tensão e da corrente aos terminais da fonte de tensão alternada e, de forma qualitativa, teça comentários acerca do factor de potência aos terminais da fonte de tensão alternada e indique um processo de o melhorar.

**Exercício nº4.6**

O conversor CC - CC da figura é utilizado para converter uma tensão contínua variável entre 200 e 300 V numa tensão contínua e constante de 5 V. A potência de saída do conversor é de 100W, e a carga é resistiva. Os transistores Q1 e Q2 operam simultâneamente com MLI a uma frequência de 100 KHz, com um factor de ciclo variável entre 0 e 50%. Considere que o conversor opera no modo de condução contínua.



**A – Considere que o transformador é ideal.**

- a) Explique o funcionamento do circuito, indicando os intervalos de condução dos dispositivos semicondutores, e determine, para  $D=0.5$ , os diagramas das seguintes grandezas eléctricas:  $i_P$  e  $v_P$ ,  $i_S$  e  $v_S$ ,  $i_L$  e  $v_L$  e  $v_D$ .
- b) Determine a relação de conversão e a relação de número de espiras entre o primário e o secundário do transformador.
- c) Determine os valores de  $L$  e de  $C_2$  por forma a que as amplitudes pico a pico da corrente e da tensão no condensador  $C_2$  sejam respectivamente, 2% do valor médio da corrente da bobine, para  $D=0.5$ , e 1% do valor nominal de  $V_O$ .

**B – Considere que o transformador apresenta  $L_\mu=10\text{mH}$  (indutância de magnetização) e  $L_f=1\mu\text{H}$  (indutância de dispersão no secundário)**

- d) Para a tensão de entrada máxima determine os diagramas da corrente de magnetização do transformador e das grandezas  $i_P$ ,  $v_P$ ,  $i_S$ ,  $v_S$  e  $v_D$ . **(Despreze a componente alternada da corrente na bobine  $L$ )**
- e) Determine as expressões da corrente de magnetização e da corrente nos transistores.
- f) Determine o factor de ciclo efectivo do conversor e indique o valor médio da tensão de saída nestas condições.

Indique justificando quais as vantagens que este conversor apresenta face ao conversor directo.

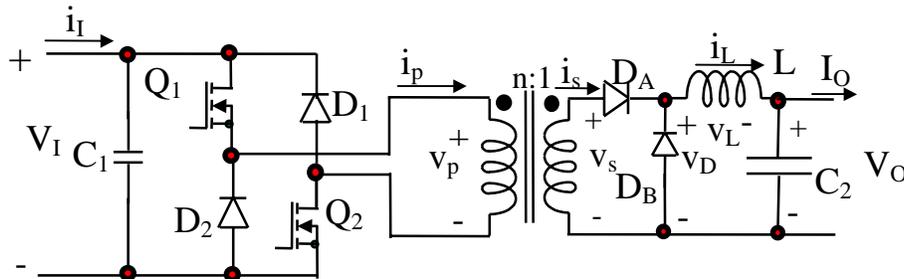
**Exercício nº4.7**

O conversor CC-CC redutor da Fig. 2 é alimentado a partir de uma fonte de tensão contínua de 350V e destina-se a controlar a potência fornecida a uma carga  $R=0,6\Omega$ , através de um transformador ideal, e de um filtro passa baixo,  $L$   $C_2$ . A tensão na carga pode variar entre  $48V\pm 10\%$ , e os dispositivos Q1 e Q2 são controlados por modulação de largura de impulso (com  $5\%<\delta<50\%$ ) sendo postos à condução ou ao corte simultaneamente, a uma frequência de 25 kHz.

- a) Explique o funcionamento do conversor e esboçe para  $\delta = \delta_{\max}$ , os diagramas temporais das seguintes grandezas:
- corrente e tensão em Q1:  $i_{Q1}$ ,  $v_{CE1}$
  - correntes e tensões no primário e no secundário:  $i_P$ ,  $v_P$ ,  $i_S$ ,  $v_S$
  - corrente e tensão na bobine de filtragem:  $i_L$  e  $v_L$
- b) Determine relação de número de espiras do transformador e a potência de entrada em função de  $\delta$ .
- c) Dimensione o filtro por forma a que o valor máximo da amplitude p-p da corrente no condensador  $C_2$  seja 5% do valor médio nominal da corrente  $i_L$ .

d) Considere que o **transformador não é ideal** apresentando uma indutância de magnetização de  $L_m = 200\text{mH}$ . Determine a expressão da corrente de magnetização e explique o funcionamento do circuito indicando os diagramas das seguintes grandezas eléctricas:  $i_m$  (corrente de magnetização),  $i_p$ ,  $v_p$ ,  $i_s$  e  $v_s$ .

e) Diga qual a função dos diodos D1 e D2.

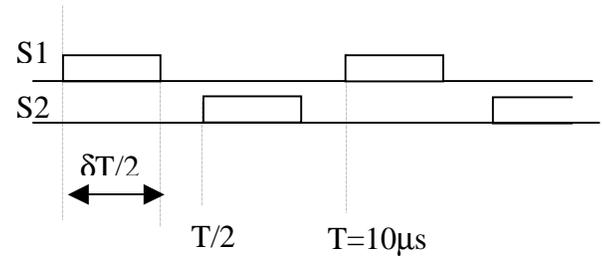
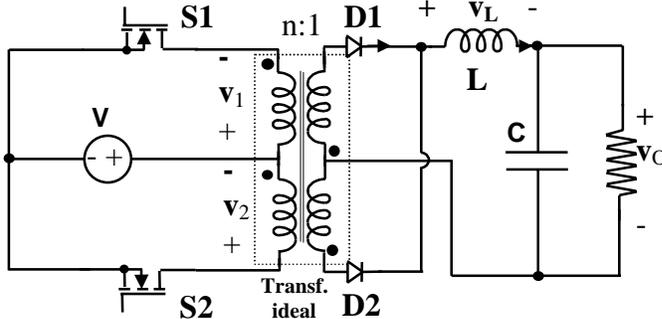


### Exercício nº4.8

Considere o conversor CC-CC de topologia em “push-pull” representado na figura. Os dispositivos S1 e S2 são dispositivos semicondutores de corte comandado (considerados ideais), e operam alternadamente com uma frequência de trabalho de  $50\text{kHz}$ , com modulação de largura de impulso, com factor de ciclo variável entre 10 e 90%. As condições nominais de operação são:  $V_I=320$ ,  $V_O=24\text{V}$ ,  $I_O=10\text{A}$ . Considere:

- 1 - que a bobine de filtragem de saída é suficientemente elevada para que o funcionamento seja sempre não lacunar.
- 2 - que o transformador é ideal.

- a) Explique sucintamente o funcionamento do circuito em regime permanente traçando os diagramas temporais das grandezas que achar convenientes e determine a relação de conversão  $V_O/V_I$  em função da relação do nº de espiras do transformador e do factor de ciclo.
- b) Sabendo que as tensões de entrada e de saída podem sofrer variações de mais ou menos 10%, determine a relação do nº de espiras do transformador.
- c) Determine o valor do factor de ciclo para que o conversor opere nas condições nominais e elabore para um período de operação do conversor os diagramas temporais das seguintes grandezas:  $i_{p1}$ ,  $v_{p1}$ ,  $v_{DS1}$ ,  $v_D$ ,  $i_L$ .
- d) Determine os valores de  $L_f$  e de  $C_f$  para que a distorção de saída e da corrente na bobine de filtragem sejam menores que 1% dos seus valores nominais.
- e) Determine a potência de entrada.
- f) Que tipo de transistores utilizaria nesta aplicação? Dimensione os transistores quanto aos valores de  $I_D$  e  $V_{DS}$ . Indique um parâmetro importante de selecção destes dispositivos. Justifique.



### Exercício nº4.9

Um conversor directo controla a potência fornecida a uma carga resistiva a partir de uma fonte de tensão contínua de  $350V \pm 10\%$ . A frequência de operação do transistor de potência é  $50\text{kHz}$ . As características da carga são as seguintes:

- tensão:  $12\text{V}$
- potência:  $120\text{W}$
- distorção máxima da corrente de saída:  $1\text{A}$
- distorção máxima da tensão de saída:  $50\text{mV}$

**A – Considere que o transformador é ideal (corrente de magnetização e coeficiente de dispersão nulos)**

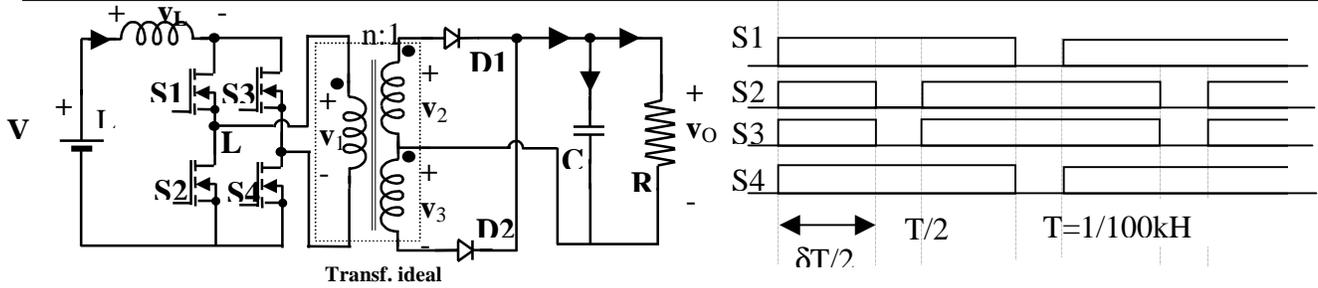
- Esboce o esquema eléctrico do conversor e determine a relação entre as tensões de entrada e saída em função do factor de ciclo. Determine a relação do número de espiras do transformador sabendo que o factor de ciclo pode variar entre 5 e 80%.
- Para a tensão de entrada mínima determine os diagramas de tensão e de corrente nos dispositivos semicondutores, no primário do transformador e na carga.
- Dimensione os dispositivos semicondutores para qualquer condição de operação.
- Determine a frequência do filtro de saída e diga em que parâmetro se poderia actuar para diminuir as dimensões do filtro, mantendo as especificações. Qual a consequência directa dessa alteração.

**B – Considere que a corrente de magnetização do transformador não é nula.**

- Indique qual a alteração que é necessário fazer ao circuito para que opere correctamente. Nestas condições determine a expressão da corrente de magnetização e esboce o seu diagrama temporal, para um factor de ciclo de 80%.

### Exercício nº4.10

O conversor representado na figura é utilizado como fonte de alimentação comutada a  $100\text{kHz}$  em certo equipamento electrónico, fornecendo na saída uma tensão contínua. Os sinais de comando dos quatro interruptores estão representados na figura. A tensão de entrada do conversor é  $48\text{V} \pm 10\%$ . O transformador é ideal e tem uma relação de transformação  $n=5$ . ( $R=1\Omega$ ;  $L=1\text{mH}$  e  $C=1000\mu\text{F}$ )



- Considere um factor de ciclo de 70% e a tensão nominal de entrada. Explique o funcionamento do circuito calculando as expressões de regime permanente e desenhando as formas de onda das seguintes grandezas eléctricas: tensão e corrente na bobine  $L$ , tensão e corrente no transistor  $S1$ , tensão e corrente no diodo  $D1$ , corrente no primário  $v_1$  e tensão no secundário do transformador  $v_2$ . Calcule o valor médio de  $v_o$ .
- Determine a gama de variação do factor de ciclo  $\delta$ , supondo que se pretende uma tensão de saída de 50V e escreva uma expressão que lhe permita determinar o valor máximo da corrente no transistor.
- Determine, justificando, os valores das amplitudes máximas (valores pico a pico) das componentes alternadas da corrente na bobine e da tensão no condensador na situação da alínea a).