

PEA2502 LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA

CONVERSOR CC / CC

W. KAISER 02/2009

1. OBJETIVOS

Familiarização com o funcionamento de um conversor CC/CC a tiristor e medições de desempenho.

2. INTRODUÇÃO

A finalidade de um conversor CC/CC é gerar uma tensão (ou corrente) contínua regulada a partir de uma fonte CC primária. A fonte primária pode ser não regulada e apresentar uma tensão significativamente acima ou abaixo do valor obtido na saída do conversor.

A seleção da topologia mais adequada para o circuito de potência é realizada com base nas especificações de isolamento elétrico e levando em conta a relação entre os níveis de tensão de saída do conversor e da fonte primária.

A variedade de topologias disponíveis dificulta a elaboração de um diagrama de blocos genérico. O diagrama apresentado na fig. 1 descreve um tipo específico de conversor elevador de tensão, que será utilizado nesta experiência.

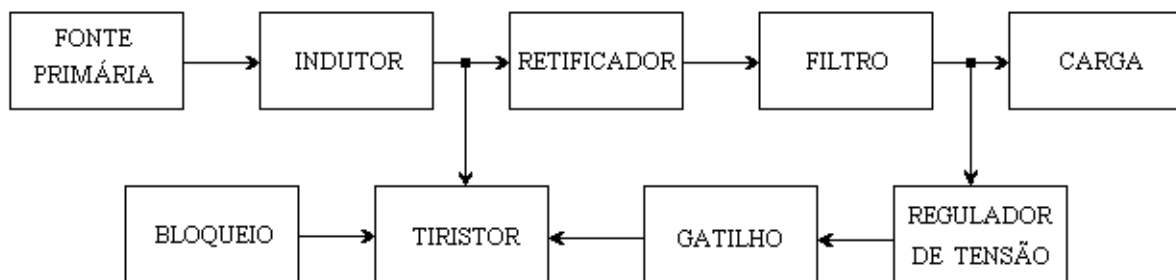


Fig. 1 - Diagrama de blocos do conversor CC/CC do arranjo experimental

3. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A fig. 2. apresenta o circuito simplificado de um conversor elevador de tensão, não isolado, do tipo "boost". Para fins didáticos, admite-se um valor de capacitância C_o elevado, podendo-se assim desprezar a ondulação de tensão na carga.

Quando a chave CH é fechada, a energia proveniente da fonte primária é armazenada no indutor L. O diodo D, reversamente polarizado, evita a descarga do capacitor de filtro C_o .

Com a abertura da chave, existe transferência de energia da fonte e do indutor para a carga, que é armazenada no capacitor C_o . A operação cíclica da chave resulta, portanto, num nível de tensão na saída (V_o) superior ao da fonte primária (V_i).

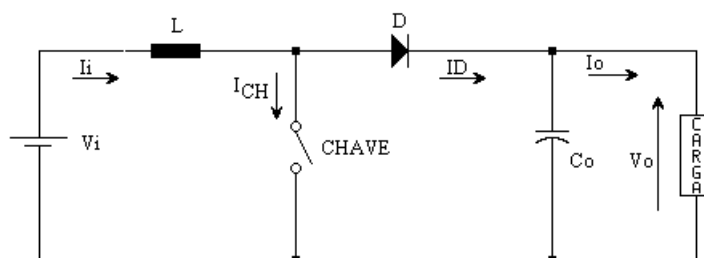


Fig. 2 - Esquema básico de um conversor elevador do tipo "boost"

A fig. 3 apresenta as principais formas de onda no circuito, assumindo-se: componentes ideais; operação em regime permanente; frequência de chaveamento constante e continuidade de corrente no indutor.

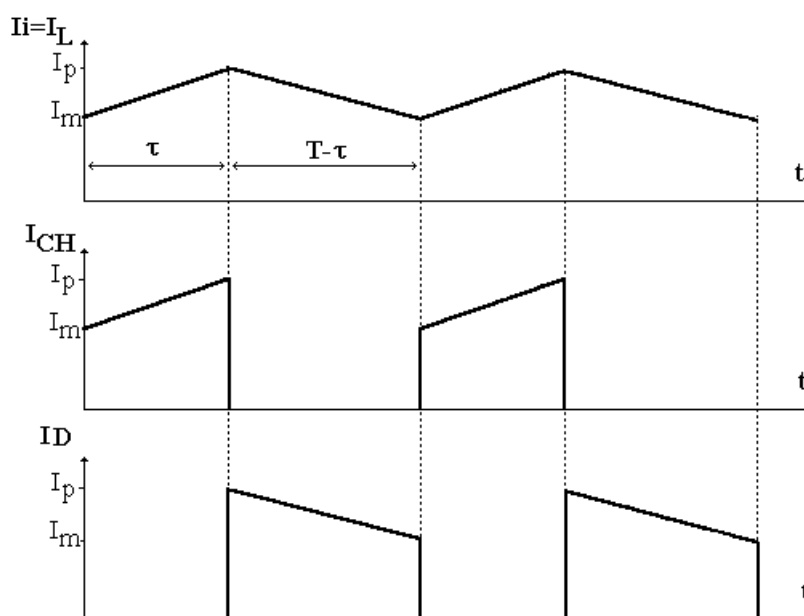


Fig. 3 - Formas de onda de corrente no indutor I_L , na chave I_{CH} e no diodo I_D

Nestas condições, quando a chave é fechada, a energia armazenada no indutor é dada por $V_i \cdot I \cdot \tau$ (onde I é o valor médio de I_j) e a energia transferida do indutor para o capacitor, quando a chave é aberta, corresponde à $(V_o - V_i) \cdot I \cdot (T - \tau)$. Portanto, igualando-se ambas as energias, a tensão na carga em função do tempo de condução da chave (τ) e o seu período de chaveamento (T) é dada pela expressão:

$$V_o = V_i \cdot \frac{T}{T - \tau} > V_i \quad (1)$$

A utilização de um indutor com dois enrolamentos acoplados, mostrado na fig. 4, possibilita elevar significativamente a tensão de saída V_o sem que o dispositivo de chaveamento seja submetido a tensões muito elevadas.

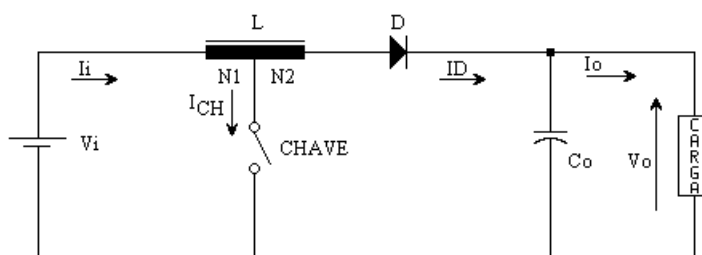


Fig. 4 - Configuração de um conversor elevador utilizando indutor com 2 enrolamentos

Por outro lado, para uma determinada potência transferida, existe uma elevação de corrente pela chave quando comparada com a topologia da fig. 2. O funcionamento de ambos os circuitos é semelhante, exceto pelas correntes, conforme mostra a fig. 5.

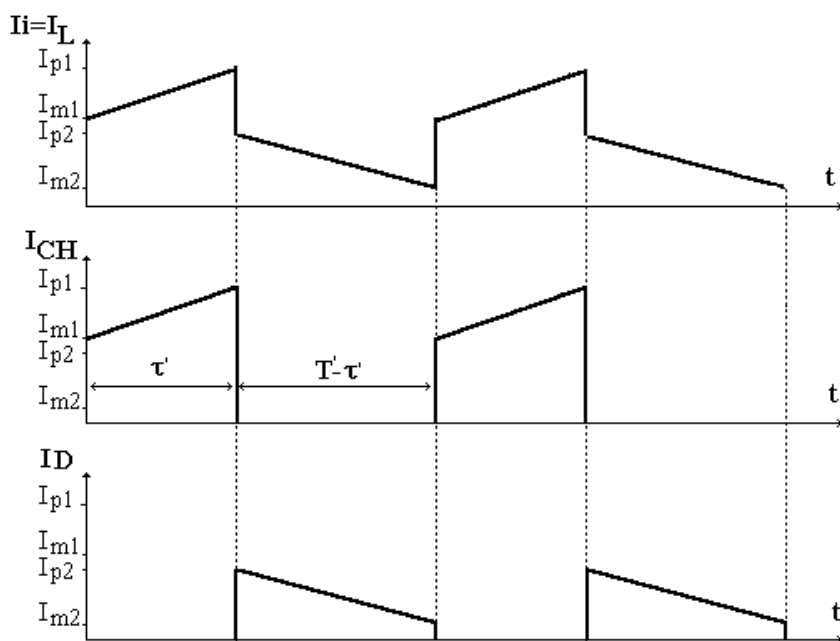


Fig. 5 - Formas de onda de corrente no indutor I_L , na chave I_{CH} e no diodo I_D (vide fig. 4)

Após a abertura ou fechamento da chave existe uma variação de indutância no circuito visto pelos terminais da fonte primária, resultando uma descontinuidade na corrente na fonte. Com a chave fechada, a corrente da fonte circula através de N_1 espiras do indutor, enquanto que, com a abertura da chave, a corrente passa a circular por (N_1+N_2) espiras do conjunto. Da conservação do fluxo magnético resultam as relações:

$$N_1 I_{p1} = (N_1+N_2) I_{p2} \quad (2)$$

$$N_1 I_{m1} = (N_1+N_2) I_{m2} \quad (3)$$

4. DESCRIÇÃO DO CIRCUITO

O circuito do conversor a ser analisado no laboratório é mostrado na fig. 6. A chave é constituída do tiristor T2, diodo D3 e de um circuito L3C3 subamortecido, responsável pelo desligamento do tiristor por corrente imposta. Foi adotada a configuração da fig. 4, sendo que ambos os enrolamentos (N1, N2) têm o mesmo número de espiras (N).

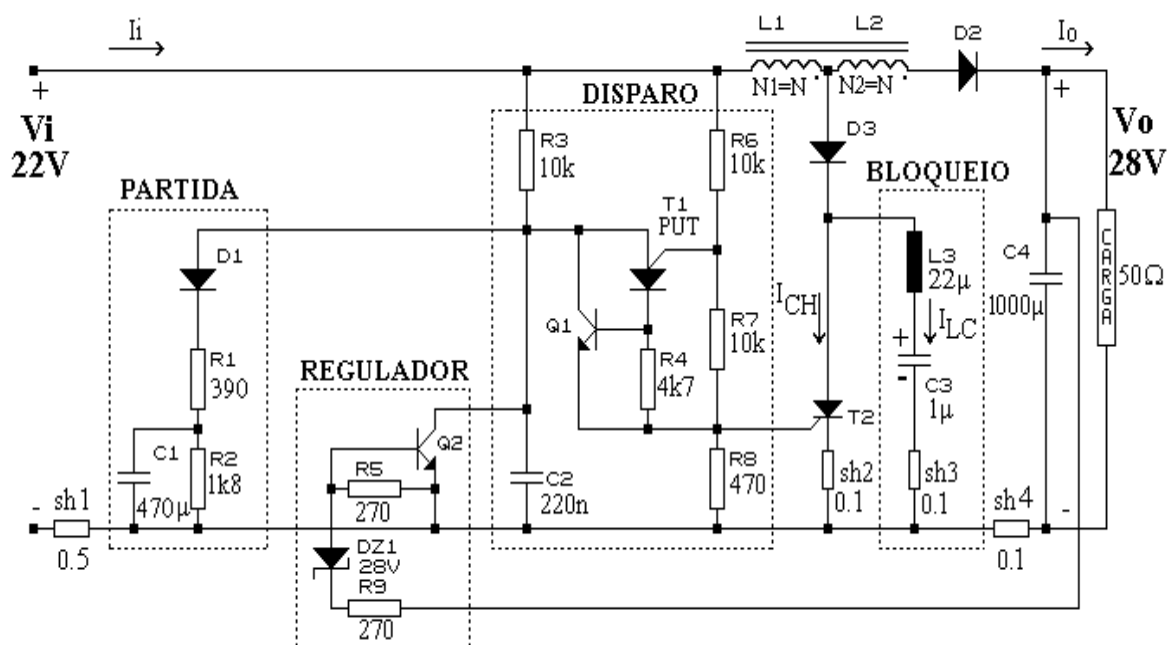


Fig. 6 - Esquema elétrico do conversor CC/CC

Quando o tiristor T2 é gatilhado, circula corrente através do enrolamento N1 e a energia fornecida pela fonte primária é armazenada no indutor durante o intervalo de condução do tiristor.

Uma vez em condução, a corrente pelo tiristor T2 é composta de duas parcelas: a) uma componente em forma de rampa, imposta pela fonte primária, que circula através de L1 e b) uma componente oscilatória, proveniente da energia armazenada no capacitor C3, previamente carregado com tensão Vi e com a polaridade indicada na fig. 6, antes do disparo de T2.

Imediatamente após o disparo do tiristor, ambas as correntes fluem no mesmo sentido até o primeiro instante (decorridos $\pi\sqrt{L3 \cdot C3}$ segundos) de passagem por zero da componente oscilatória. A partir deste instante a componente oscilatória inverte seu sentido ficando em oposição à componente proveniente da alimentação até que a corrente no tiristor fique abaixo do seu valor de manutenção, quando ocorre o seu bloqueio. A tensão aplicada sobre T2 deve ainda permanecer negativa por um intervalo de tempo superior a t_q (tempo de recuperação do tiristor), para garantir o bloqueio do mesmo.

A energia armazenada no indutor é transferida para a carga através do diodo D2. Ao mesmo tempo o capacitor C3 se carrega pela fonte através do enrolamento N1 e o diodo D3 evita a sua descarga através de D2.

A função do circuito de partida (vide fig. 6) é de apenas atrasar o instante de gatilhamento do tiristor T2, até que a tensão no capacitor C3 alcance V_i . Caso contrário a energia armazenada no capacitor C3 será insuficiente para bloquear o tiristor T2.

O circuito de gatilho utiliza um transistor unijunção programável T1 (PUT-Programmable Unijunction Transistor) e um transistor bipolar Q1, cuja função é aumentar a corrente de vale de T1. Desta forma consegue-se obter uma frequência de disparo relativamente elevada e um pulso com energia adequada. O PUT é um transistor unijunção cuja tensão de disparo é programável através de um divisor de tensão externo, constituído no caso pelos resistores R6 e R7.

O capacitor C2 é carregado através de R3 até aproximadamente $V_i \cdot \frac{R7}{R7+R6}$. Neste instante, T1 entra na região de resistência negativa descarregando o capacitor C2 através do gatilho do tiristor T2. A função do capacitor C1 se limita em aumentar o tempo de carga de C2, já que a constante $R3 \cdot C2$ é inferior ao tempo de carga de C3.

O tempo de condução do tiristor T2 é sempre fixo e independe da carga, sendo determinado pelos parâmetros do circuito L3-C3. Portanto, no modo de operação acima, a tensão de saída depende da carga, da tensão da fonte primária e da frequência de operação da chave.

Para manter a tensão de saída constante e independente de variações de carga e/ou da tensão de alimentação, é necessária a presença de um circuito regulador. No caso, o regulador altera a frequência de gatilhamento de T2, sendo constituído pelo diodo Zener DZ1 de 28 V (referência) e pelo transistor Q2. Quando a tensão de saída ultrapassa 28 V, o diodo Zener conduz, permitindo circulação corrente pela base de Q2. Nestas condições, uma parcela da corrente de carga de C2 é desviada pelo coletor de Q2 e o capacitor C2 passa a se carregar mais lentamente, reduzindo assim a frequência de gatilhamento do tiristor T2 e a tensão de saída. Por outro lado, quando a potência na carga aumenta, a tensão de saída diminui e a parcela de corrente desviada pelo coletor de Q2 se reduz ou mesmo nula e o tempo de carga de C2 diminui. Como consequência, a frequência de operação do tiristor e a tensão da saída aumentam.

A atuação do regulador é dinâmica e, mesmo mantendo-se a carga constante, observa-se uma modulação audível na frequência de operação. Este efeito é mais acentuado com variações de carga.

5. PARTE PRÁTICA

5.1 Alimentar o conversor com uma fonte de tensão CC primária, ajustando a tensão de entrada em 22 V.

5.2 Variando a resistência de carga, levantar a curva dos valores médios da tensão de saída (V_o) x corrente de saída (I_o) do conversor, anotando também o valor médio da corrente I_i fornecida pela fonte primária e a frequência de operação média da chave. Avalie a regulação e o rendimento do conversor a partir dos seguintes gráficos (5 pontos são suficientes):

a) tensão de saída (V_o) x corrente na carga (I_o)

b) rendimento (η) x Potência na carga (P_o)

OBS:

- i) A carga é constituída por 6 resistores de fio de 20 W e 300 Ω que podem ser ligados em série/paralelo. A carga **nominal** é de 50 Ω .
- ii) Medir o valor médio da corrente de entrada utilizando o shunt sh1 (0.5 Ω) e um multímetro digital.
- iii) Determinar a freqüência de operação a partir da tensão sobre o tiristor T2 utilizando o osciloscópio
- iv) No caso de falha de bloqueio do tiristor T2 (a fonte primária fica em curto circuito e o conversor deixa de operar), desligue a fonte primária e aguarde aproximadamente 4 segundos para a descarga do capacitor C1.

5.3 Determinar a "regulação de carga" do conversor, definida por:

$$\mathfrak{R}_{\text{carga}}(\%) = \frac{V_o(\text{vazio}) - V_o(\text{carga nominal})}{V_o(\text{carga nominal})} \cdot 100$$

5.4 Variando em $\pm 10\%$ a tensão de entrada (V_i), determinar a "regulação de linha" a plena carga (50 Ω), definida por:

$$\mathfrak{R}_{\text{linha}}(\%) = \frac{V_o(V_i + 10\%) - V_o(V_i - 10\%)}{V_o(V_i \text{ nominal})} \cdot 100$$

5.5 Com tensão de entrada ($V_i = 22 \text{ V}$) e carga (50 Ω) nominais, registrar as formas de onda a seguir. Registre pelo menos um ciclo de operação mas não mais de 3. Durante o registro das formas de onda, meça no osciloscópio os parâmetros necessários para os cálculos do item 6. Para facilitar a visualização, sugere-se a seqüência de medições indicada na tabela:

| Ponta de prova canal 1 | Ponta de prova canal 2 |
|------------------------------|------------------------|
| Corrente em D2 (sh 4) | Corrente em T2 (sh 2) |
| Corrente de Alimentação (Ii) | Corrente em T2 (sh 2) |
| Tensão sobre T2 | Corrente em T2 (sh 2) |
| Corrente em (C3-L3) (sh 3) | Corrente em T2 (sh 2) |
| Corrente em (C3-L3) (sh 3) | Tensão sobre C3 |
| Tensão sobre L3 | Tensão sobre C3 |
| Tensão sobre (C3 + sh 3) | Tensão sobre C2 |
| Tensão sobre L1 | Tensão sobre L2 |
| Tensão sobre L1 | Tensão sobre D3 |

5.6 Com o conversor operando nas condições nominais de alimentação e carga, registrar:

- a) Ondulação da tensão de saída, ou seja, a amplitude pico a pico (mV) da componente alternada na freqüência de chaveamento sobreposta à tensão média de saída. Calcular o seu valor percentual em relação ao valor nominal da tensão de saída.
- b) Ruído da tensão de saída, ou seja, a amplitude pico a pico (mV) de pulsos de tensão sobrepostos à tensão média de saída
- c) Ondulação e ruído da tensão de entrada e calcular o seu valor percentual comparando com os valores obtidos na saída.

OBS.: Para facilitar as medições, desacoplar a componente contínua, operando o osciloscópio no modo AC.

6. CONCLUSÕES

6.1 Comentar todas as formas de onda registradas e, utilizando as formas de onda mostrar em detalhe o processo de comutação forçada no tiristor. Além disso, utilizando as formas de onda medidas no item 5.5 calcular:

6.1.1. Valor da indutância L3, admitindo conhecido $C3=1 \mu\text{F}$. Comparar com o valor nominal de $22 \mu\text{H}$.

6.1.2. Valor da indutância L1. Comparar com o valor nominal de 2.4 mH .

6.1.3. Verificar se o número de espiras de L1 e L2 é igual.

6.1.4 O valor de t_q do tiristor é de aproximadamente $10 \mu\text{s}$. A partir da formas de onda, verificar que o circuito consegue garantir o bloqueio do tiristor. Explicar.

OBS.: Indicar quais formas de onda foram utilizadas nos cálculos, destacar claramente as regiões de onde foram obtidas as informações. Utilize uma escala de tempo conveniente para visualizar de forma adequada estas características.

6.1.5. Comentar o desempenho do conversor

6.2 É possível utilizar este conversor como abaixador de tensão modificando apenas o seu circuito de controle? Explicar.