# Conversor em Ponte Completa com ZVS

## Introdução

Neste capítulo apresentaremos o circuito que será usado nesse estudo, assim como sua dinâmica de funcionamento e etapas de projeto do mesmo.

## Características do Conversor

Esse circuito, pelas normas da ANATEL[“norma 542 da anatel”], necessita ter alta eficiência e segundo[“Design Considerations for High-Voltage High-Power Full-Bridge Zero-Voltage-Switched PWM Converter”] e [“A High-Performance ZVS Full-Bridge DC–DC 0–50-V/0–10-A Power Supply with Phase-Shift Control”], ele possui poucas perdas durante o chaveamento, por causa da frequência de chaveamento constante(o controle é feito apenas ajustando a fase de condução das chaves analógicas).

Diferentemente das arquiteturas presentes na literatura, o circuito que será utilizado e é mostrado na Figura 1.1 tem um retificador de onda completa no secundário do transformados. Isso é para reduzir o número de diodos presentes no circuitos, pois aprensenta-se uma alta perda nesses componentes, logo essa mudança tem por objetivo tornar o conversor ainda mais eficiente.



Figura 1.1 - Circuito do conversor

Além da alta eficiência, o conversor em ponte completa com ZVS e controle por desvio de fase apresenta outras vantagens, tais como:

* Baixa interferência eletromagnénica, devido à comutação sob tensão zero[“A High-Performance ZVS Full-Bridge DC–DC 0–50-V/0–10-A Power Supply with Phase-Shift Control”].
* Máxima corrente nos transitores de chaveamento igual à máxima corrente de saída espelhada para o primário do transformador [“*Análise e Projeto de Compensadores para Comversores Full-Bridge-ZVS-PWM-OS”*]
* Perdas no chaveamento muito baixas [“*Análise e Projeto de Compensadores para Comversores Full-Bridge-ZVS-PWM-OS”]*

## Dinâmica de funcionamento

## Etapas do projeto

O projeto desse conversor é baseado em conversores em ponte completa normais[“*Análise e Projeto de Compensadores para Comversores Full-Bridge-ZVS-PWM-OS”*]. As etapas do projeto seguem o exemplo apresentado em [“*Unidade Retificadora de Alta Performance 1500W – 25A, para Telecomunicações*”].

Antes de apresentarmos as equações do projeto, vamos às especificações. Lembrando que esse conversor é o segundo estágio de um projeto de uma unidade retificadora, assim a sua entrada é definida como a saída de um conversor boost já projetado.

|  |  |
| --- | --- |
| Tensão de Entrada () | (400 ±10) V |
| Tensão de saída () | 48VDC ~ 59VDC |
| Corrente nominal de saída() | 10A |
| Frequência de Chaveamento() | 100kHz |
| Ripple de saída | 0.2V |
| Eficiência Mínima | 95% |

Tabela 1.1 - Especificações

### Cálculo dos componentes

Vamos primeiramente ao cálculo da da relação de espiras do transformador, do indutor de ressonância e do filtro de saída [“*Unidade Retificadora de Alta Performance 1500W – 25A, para Telecomunicações*”]:

#### Cálculo da relação de espiras ()

Com a seguinte equação, é possível calcular a relação de espiras entre primário e secundário do transformador:

onde: é a razão cíclica efetiva máxima, um valor muito usado é 0,85

é a queda de tensão sobre os diodos retificadores,

#### Indutor de ressonância

A indutância é calculada como:

onde: é a perda de razão cíclica, estima-se 15% de perda ().

Lembrando que nesse cálculo, está contido a indutância do primário do transformador. Assim após o dimensionamento do transformador, precisa-se atualizar o valor da indutância de ressonância, compensando o valor da indutância do primário, logo:

#### Indutor do filtro de saída

O indutor do filtro de saída é definido como:

onde: é a razão cíclica efetiva mínima, definida como

é a variação de corrente no indutor do filtro, defini-se como 10% da corrente nominal de saída.

#### Capacitor do filtro de saída ()

O capacitor do filtro de saída é definido como:

### Dimensionamento do transformador e indutores

## Conclusão

# Modelagem do Conversor em Ponte Completa

## Introdução

Nesse capítulo vamos abordar como montar o modelo de pequenos sinais de um conversor em ponte completa. Como possibilidade de métodos, temos a modelagem por média de espaço de estados ou mesmo substituir o modelo das chaves analógicas no circuito do conversor e obter o modelo do mesmo.

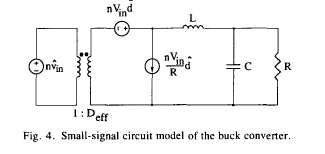
Entretanto, o conversor em Ponte Completa pode ser visto como um circuito derivado do conversor buck. Assim, o seu modelo pode ser obtido a partir do modelo do buck[1 - “Small-Signal Analysis of the Phase-Shifted PWM Converter”], introduzindo os efeitos da indutância de ressonância e do controle por desvio de fase.

De acordo com [2 - *Análise e Projeto de Compensadores para Comversores Full-Bridge-ZVS-PWM-OS*], a ultima alternativa se apresenta como a melhor, uma vez que os dois primeiros métodos citados são bem mais trabalhosos se comparados à modelagem a partir do modelo do conversor buck, devido à complexidade da topologia.

Com o modelo pronto, são calculadas as funções de transferência necessárias para o projeto dos controladores que será visto no capítulo seguinte.

Lembrando que o símbolo ‘^’ é utilizado para denotar uma variação no valor médio da grandeza correspondente. O valor médio será representado por letras maiúsculas e a variação por letras minúsculas com o sinal ‘^’.

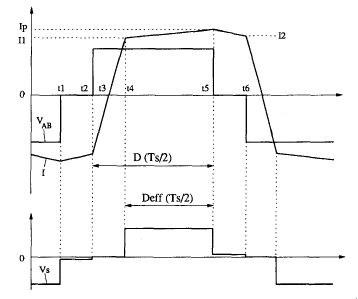
## Modelo do conversor Buck



**Figura 2.1**

## Modelo do conversor em Ponte Completa

A **Figura 2.2** apresenta as formas de onda de parâmetros que irão nos auxiliar na análise, tais como corrente no indutor do filtro de saída, tensão do primário e do secundário do transformador.

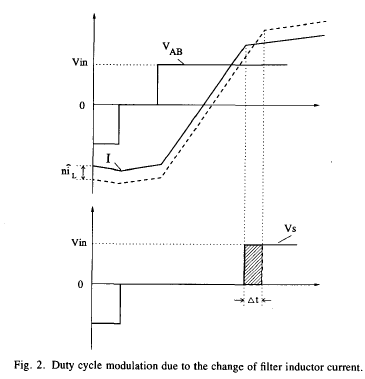
****

**Figura 2.2 - Formas de onda do conversor**

De acordo com a**Figura 2.2**, temos que:

### Pertubação da razão ciclica devido à variação da corrente no indutor do filtro.

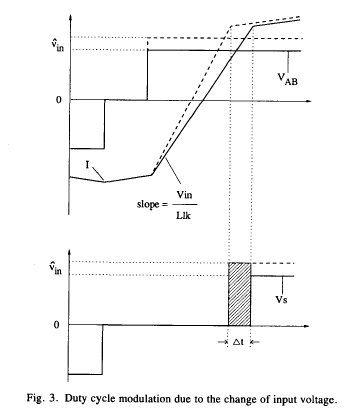
A **Figura 2.3** representa o efeito da variação da corrente no indutor no valor da razão cíclica gerada pelo controle. A linha contínua mostra o formato de em regime permanente, e a tracejada representa a perturbação . Essa variação causa um decréscimo no valor da razão cíclica. Lembrando que esses valores estão refletidos para o primário do transformador, por isso a multiplicação pelo fator n. De acordo com [1 - “Small-Signal Analysis of the Phase-Shifted PWM Converter”]:



**Figura 2.3**

### Pertubação da razão ciclica devido à variação de tensão na entrada do conversor

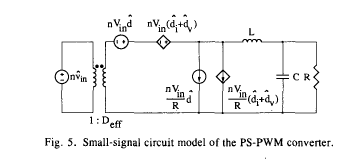
De acordo com a **Figura 2.4**, um aumento na tensão na entrada provoca um carregamento mais rápido do indutor do filtro de saída. Assim observa-se um aumento da razão cíclica efetiva no secundário. De acordo com [1 - “Small-Signal Analysis of the Phase-Shifted PWM Converter”]:



**Figura 2.4**

### Modelo de pequenos sinais

Com a definição das relações das pertubações que variações de e causam no valor da razão cíclica calculada no controle, podemos obter o modelo de pequenos sinais do conversor em ponte completa. De acordo com [2 - *Análise e Projeto de Compensadores para Comversores Full-Bridge-ZVS-PWM-OS*.], o método mais fácil é acrescentar os efeitos calculados nos itens anteriores ao modelo de um conversor buck, apresentado na **Figura 2.1**.



**Figura 2.5**

Agora com o modelo definido, algumas funções de transferência devem ser obtidas a partir da **Figura 2.5**. Para isso, é necessário definir qual o controle será utilizado. Seguindo a idéia de [3 - “A High-Performance ZVS Full-Bridge DC–DC 0–50-V/0–10-A Power Supply with Phase-Shift Control”,], temos dois loops de controle, um por corrente e outro por tensão. O controle será explicitado detalhadamente no próximo capítulo.

Precisamos definir qual a relação entre a corrente no indutor do filtro e a razão cíclica que comanda o acionamento das chaves e a relação entre a tensão na saída do conversor e a corrente no indutor de filtro. Lembrando que para facilitar os cálculos, desprezamos a resistência parasita no capacitor e indutor.

Para calcular , segundo [3 - “A High-Performance ZVS Full-Bridge DC–DC 0–50-V/0–10-A Power Supply with Phase-Shift Control”,] as fontes de correntes se tornam circuito aberto e desprezamos perturbações devido a variações de :

Para calcular , apenas observamos a corrente do indutor do filtro gerando uma tensão no circuito RC paralelo.

## Conclusão

# Referências

[1] SABATÉ, J. A., VLATKOVIC, V., RIDLEY, R. B., LEE, F. C., CHO, C. H., “Design Considerations for High-Voltage High-Power Full-Bridge Zero-Voltage-Switched PWM Converter”, *IEEE Transactions on Power Eletronics,* v. 7, pp. 275-284, 1992.

[2] Norma 542 da anatel, acessado em:

[1] VLATKOVIĆ, V., SABATÉ, J. A., “Small-Signal Analysis of the Phase-Shifted PWM Converter”, *IEEE Transactions on Power Eletronics,* v. 7, n.1, pp. 128-135, janeiro de 1992.

[2] LOURENÇO, E. M., *Análise e Projeto de Compensadores para Comversores Full-Bridge-ZVS-PWM-OS*. M.Sc. dissertation, Universidade Federal de Santa Catarina, Dezembro de 1994.

[3] GAIDZINSKI, P. R*., Unidade Retificadora de Alta Performance 1500W – 25A, para Telecomunicações.* M.Sc. dissertation, Universidade Federal de Santa Catarina, Agosto de 1993.

[3] BRUNORO, M., VIEIRA, L. F., “A High-Performance ZVS Full-Bridge DC–DC 0–50-V/0–10-A Power Supply with Phase-Shift Control”, *IEEE Transactions on Power Eletronics*, v. 14, n. 3, maio de 1999.