1. **Configuração básica de um conversor Buck-Boost**

O conversor DC-DC Buck-Boost, conforme a Figura X, é um tipo de conversor de potência que pode produzir uma tensão de saída maior ou menor que a tensão de entrada.

Figura X: Esquemático do Conversor Buck-Boost

A diagram of a circuit

AI-generated content may be incorrect.

Fonte: SLVA535B

Ele é composto pelos seguintes componentes principais:

* **SW 1, SW 2, SW 3, SW 4:** quatro comutadores, geralmente implementadas com MOSFETs. O chaveamento controlado dessas chaves determina o aumento ou redução da tensão.
* **L:** indutor responsável por armazenar a energia e realizar sua transferência a partir do funcionamento dos comutadores.
* **CIN:** capacitor de entrada para filtrar oscilações e fornecer uma tensão mais estável para o conversor.
* **COUT:** capacitor de saída para suavizar oscilações e fornecer uma tensão de saída mais estável para a carga.

**2. Princípio de Operação**

Ciclo de Trabalho é a fração de tempo em que um sinal ou uma chave está ligado dentro de um período fixo.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (X) |

Onde:

Ciclo de Trabalho Complementar é a fração de tempo em que o mesmo sinal está desligado dentro do mesmo período fixo.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (X) |

Onde:

A Figura X descreve graficamente esse conceito e será útil futuramente, pois o ciclo de trabalho e seu complementar será necessário durante a aplicação do conversor.

Figura X: Ciclo de Trabalho Complementar

A screenshot of a diagram

AI-generated content may be incorrect.

Fonte: Autor (Mathematica)

**2.1 Buck Síncrono**

A Figura X demonstra esse modo de funcionamento. O comutador Q3 é totalmente ligado e o comutador Q4 é totalmente desligado. Q1 e Q2 são controlados por D e 1 - D, respectivamente, e o sistema se torna um conversor Buck sincronizado.

Figura X: Buck Síncrono

A diagram of a circuit

AI-generated content may be incorrect.

Fonte: PMP21529

O ciclo de trabalho do modo Buck é calculado conforme a equação a seguir.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (X) |

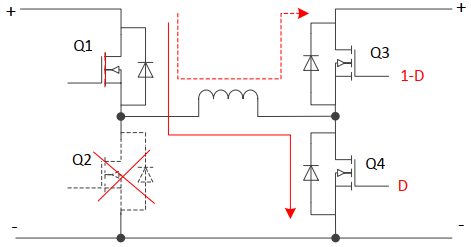
Onde:

Como nesse modo deseja-se reduzir a tensão de entrada, é necessário que esta seja maior que a tensão de saída (). Apenas duas chaves são comutadas, e não é possível operar com , pois nessas condições e o comutador Q1 fica ligado junto ao comutador Q3, causando um curto no sistema.

**2.2 Boost Síncrono**

A Figura X demonstra esse modo de funcionamento. O comutador Q1 é totalmente ligado e o comutador Q2 é totalmente desligado. Q3 e Q4 são controlados por 1 - D e D, respectivamente, e o sistema se torna um conversor Boost sincronizado.

Figura X: Bost Síncrono

****

Fonte: PMP21529

O ciclo de trabalho do modo Boost é calculado conforme a equação a seguir.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (X) |

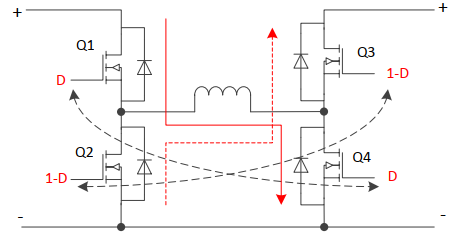
Onde:

Como nesse modo deseja-se aumentar a tensão de entrada, é necessário que esta seja menor que a tensão de saída (). Apenas duas chaves são comutadas, e não é possível operar com , pois nessas condições e o comutador Q1 fica ligado junto ao comutador Q3, causando um curto no sistema.

**2.3 Buck-Boost Síncrono**

A Figura X demonstra esse modo de funcionamento. O comutador Q1 e Q4 são controlados por D, enquanto Q2 e Q3 são controlados por 1 - D, e o sistema se torna um conversor Buck-Boost sincronizado.

Figura X: Buck-Bost Síncrono

****

Fonte: PMP21529

O ciclo de trabalho do modo Buck-Boost é calculado conforme a equação a seguir.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (X) |

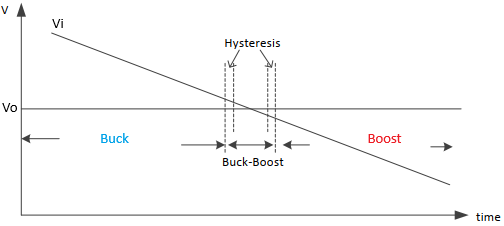
Onde:

Como nesse modo deseja-se reduzir ou aumentar a tensão de entrada, é possível utilizar durante a condição restrita dos modos anteriores, quando no modo Buck ou no modo Boost, pois na condição em que no modo Buck-Boost, . As quatros chaves são comutadas, reduzindo a eficiência em troca de operar nas condições restritas.

**3. Modo de Operação**

Os quatro interruptores alteram o modo de operação de acordo com a tensão de entrada e a tensão de saída, conforme mostrado na Figura X. Para evitar um salto entre as operações e evitar oscilações, uma histerese pode ser adicionada entre a transição dos modos.

Figura X: Modos de Operação com Base nas Tensões



Fonte: PMP21529

Durante a operação Buck, conforme a tensão de entrada diminui, o valor do ciclo de trabalho aproxima-se de 1, conforme a Equação X e o sistema realiza a troca de modo antes dessa ocorrência. O mesmo ocorre durante a operação Boost, conforme a tensão de entrada aumenta, o valor do ciclo de trabalho aproxima-se de 0, conforme a Equação X e o sistema troca de modo antes dessa ocorrência. Portanto, deve-se definir o limiar para a realização de trocas de modo, por exemplo, trocar de Buck para Buck-Boost quando .

**4. Implementação**

Os comutadores usados nessa aplicação serão MOSFETs. Um tempo de inatividade durante a comutação deve ser considerado para evitar correntes de disparo, evitando, por exemplo, que Q1 e Q2 estejam acionados ao mesmo tempo. Para acionamento dos comutadores, é necessário o uso de gate drives, pois as saídas dos circuitos de controle são de baixa potência, sendo incapazes de realizar o acionamento adequada dos comutaores.

Para o dimensionamento dos componentes em cada modo de operação, utiliza-se as equações a seguir.

**4.1 Buck**

|  |  |
| --- | --- |
|  | (X) |

Onde:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (X) |

Onde:

**4.2 Buck-Boost**

|  |  |
| --- | --- |
|  | (X) |

Onde:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (X) |

Onde:

**4.3 Boost**

|  |  |
| --- | --- |
|  | (X) |

Onde:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (X) |

Onde:

**5. Design**

Para esse projeto, as considerações iniciais para desenvolvimento são:

A Tabela X a seguir resume o cálculo do ciclo de trabalho para cada modo de operação, para os cálculos das regiões de operação a seguir.

Tabela X: Resumo do Ciclo de Trabalho por Modo de Operação

|  |  |
| --- | --- |
| Modo de operação | Ciclo de trabalho |
| Buck |  |
| Buck-boost |  |
| Boost |  |

**5.1 Região Buck**

Utilizando a Equação X, calcula-se os valores mínimos e máximos da tensão de saída possíveis nessa região com base no ciclo de trabalho determinado.

Agora calcula-se uma relação entre entrada e saída que limitam essa região.

Assim, enquanto a relação estiver entre 1.25 e 5, o modo de operação será Buck.

Considera-se a região esquerda como Buck, central como Buck-Boost e direita como Boost para as definições seguintes.

Quando o limite esquerdo 1.25 é atingido, é possível calcular a tensão de saída mínima e máxima de transição com base na tensão de entrada mínima e máxima, determinando a fronteira da região Buck com a região central.

Obtém-se que a região Buck opera com tensões de entrada entre 18 e 30 V, e tensões de saída entre 6 e 24 V. A fronteira com a região central consiste em uma reta com tensões de saída entre 14.4 e 24 V.

**5.2 Região Boost**

Utilizando a Equação X, calcula-se os valores mínimos e máximos da tensão de saída possíveis nessa região com base no ciclo de trabalho determinado.

Agora calcula-se uma relação entre entrada e saída que limitam essa região.

Assim, enquanto a relação estiver entre 0.2 e 0.8, o modo de operação será Buck.

Quando o limite direito 0.8 é atingido, é possível calcular a tensão de saída mínima e máxima de transição com base na tensão de entrada mínima e máxima, determinando a fronteira da região Boost com a região central.

Obtém-se que a região Boost opera com tensões de entrada entre 18 e 30 V, e tensões de saída entre 22.5 e 150 V. A fronteira com a região central consiste em uma reta com tensões de saída entre 22.5 e 37.5 V.

**5.2 Região Buck-Boost**

A região central, é obtida automaticamente ao identificar-se as duas fronteiras. Portanto, obtém-se que a região Buck-Boost opera com tensões de entrada entre 18 e 30 V, e tensões de saída entre 14.4 e 37.5 V.

**5.3 Regiões de operação**

Novas considerações:

A Tabela X a seguir resume as novas informações obtidas para cada modo de operação.

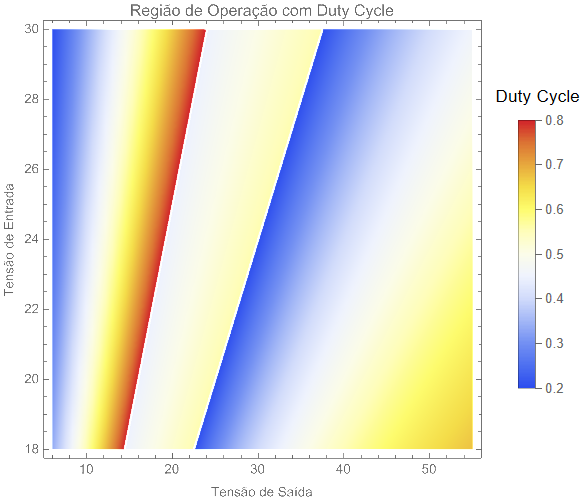
Tabela X: Resumo da Região de Operação/Tensão de Operação por Modo de Operação

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Modo de operação | Região de operação | Tensão de operação |
| Buck |  |  |
| Buck-Boost |  |  |
| Boost |  |  |

**5.3.1 Regiões de operação**

A partir das informações obtidas anteriormente, é possível calcular o ciclo de trabalho para cada combinação de entradas e saídas, e construir um gráfico de contorno que representa as regiões de operação, facilitando a visualização das fronteiras entre elas, conforme a Figura X.

Figura X: Gráfico de Contorno das Regiões de Operação



Fonte: Autor (Mathematica)

Para visualizar a profundidade, pode-se converter os eixos em uma variável única que represente tensão de entrada sobre tensão de saída no eixo horizontal e representar o Duty Cycle no eixo vertical, conforme a Figura X.

Figura X: Gráfico do Duty Cycle por Região de Operação

A graph with colored lines

AI-generated content may be incorrect.

Fonte: Autor (Mathematica)

Vale comentar que, pela tensão máxima ter sido considerada 55 V, o valor de Duty Cycle teórico não atinge o valor de 0.8 na região Boost.

**5.4 Cálculo dos Componentes**

Novas considerações:

**5.4.1 Buck**

A partir das Equações X e Y.

**5.2 Buck-Boost**

A partir das Equações X e Y.

**5.3 Boost**

A partir das Equações X e Y.

**5.4 Verficação**

Com os componentes de cada modo de operação obtidos, utiliza-se aqueles com o maior valor para cobrir todo o funcionamento do sistema.

Novas considerações:

Calcula-se o ripple máximo da corrente do indutor e da tensão de saída com base nas equações anteriores.

**5.4.1 Buck**

**5.4.2 Buck-Boost**

**5.4.2 Boost**

Por fim, verificou-se que os valores estão dentro do considerado para esse design.

**5.4.3 Resumo Final**

As informações adquiridas do design até o momento são resumidas na Tabela X a seguir.

Tabela X: Gráfico do Duty Cycle por Região de Operação

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Modo de operação | Faixa de operação (V) | Duty Cycle | Vi/Vo | (A) | (V) |
| Buck |  |  |  |  |  |
| Buck-Boost |  |  |  |  |  |
| Boost |  |  |  |  |  |