

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA
 Conversores Estáticos (ELP - 20306)

AULA LAB 09
SIMULAÇÃO DE CONVERSORES CC-CA (INVERSORES)

1 INTRODUÇÃO

Esta aula de laboratório tem por objetivo consolidar os conhecimentos obtidos nas aulas teóricas referentes ao estudo de conversores CC-CA, ou inversores de tensão, quanto a seu funcionamento e sua modulação. Para tanto, o conversor com seu circuito de comando e controle será simulado com o software Orcad.

Em síntese, objetiva-se:

- Entender o funcionamento da modulação PWM dois níveis;
- Simular o circuito de comando de um inversor;
- Simular um conversor cc-cc bidirecional;
- Entender o funcionamento de inversores de tensão;
- Simular um inversor de tensão meia ponte;
- Simular um inversor de tensão ponte completa;
- Simular um inversor de tensão trifásico.

2 CONVERSORES MONOFÁSICOS

2.1. Conversor cc-cc bidirecional

Circuito de comando

Desenho o circuito mostrado na figura 1. Diversos componentes conectados aos terminais do SG1524B têm apenas a finalidade de evitar erros de simulação.

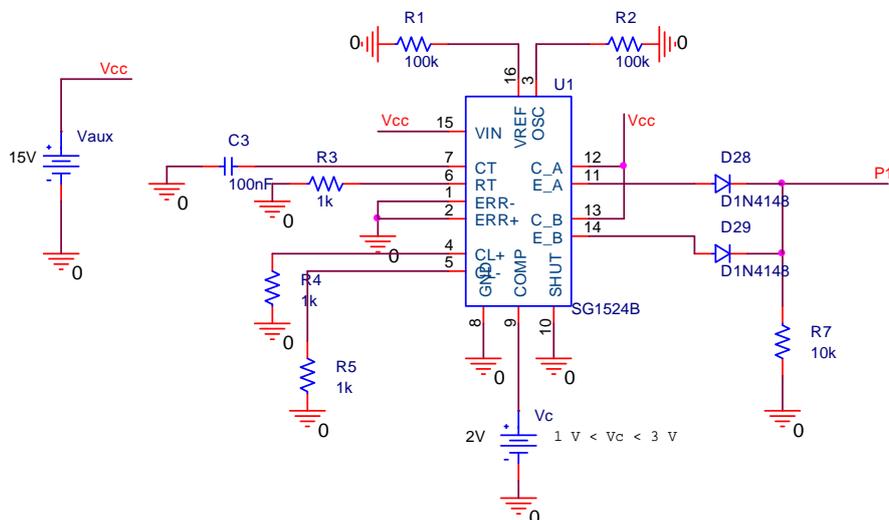


Figura 1 – Circuito de comando para os conversores sem modulação senoidal.

A frequência de operação de 20 kHz deve ser determinada internamente ao SG1524, fixando o período em 50 μ S. Isto é feito clicando duas vezes no componente e alterando o valor adequadamente.

Erros de simulação podem ser evitados ajustando os parâmetros de simulação conforme as figuras a seguir.

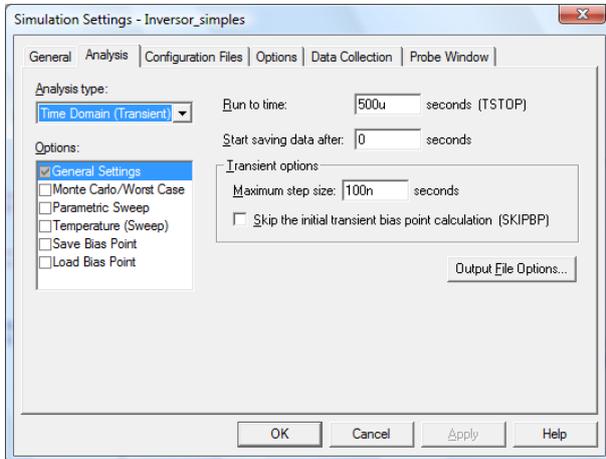


Figura 2 – Parâmetros de simulação.

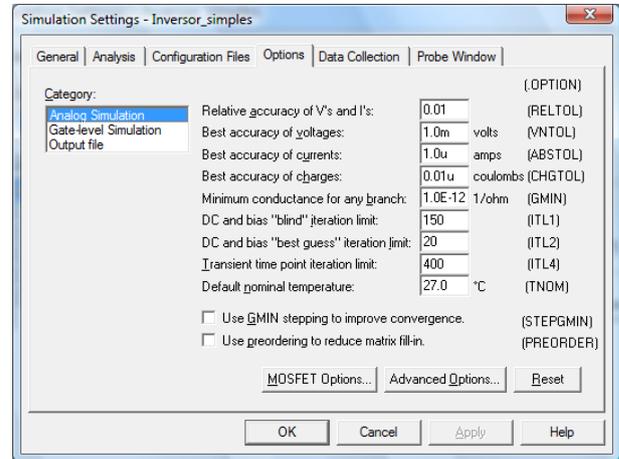


Figura 3 – Parâmetros de simulação.

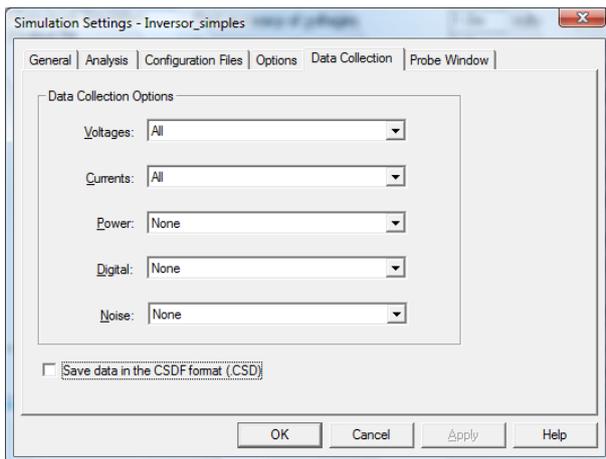


Figura 4 – Parâmetros de simulação.

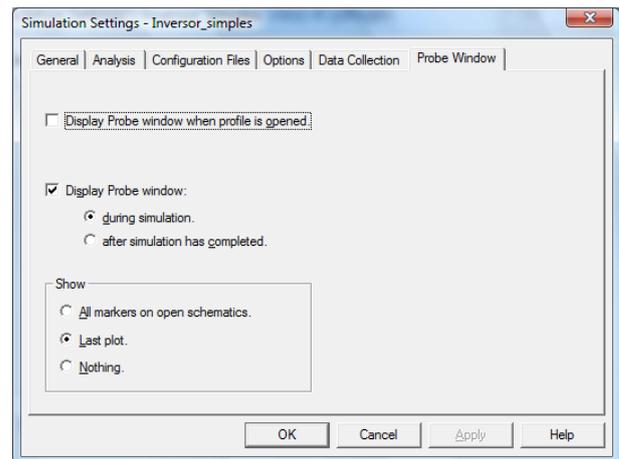


Figura 5 – Parâmetros de simulação.

Simule o circuito da figura 1 e verifique se o sinal presente no ponto P₁ está conforme o esperado.

Circuitos de acionamento dos interruptores

Na simulação não será possível utilizar os componentes utilizados em aulas de laboratório, por exemplo, os drivers IR2111 e FAN7382.

No entanto, gerar os sinais de gatilho não referenciados à massa do circuito é facilmente conseguido utilizando fontes de tensão controladas, conforme mostrado na figura 7.

O circuito mostrado na figura 6 é responsável por gerar o tempo morto para o acionamento dos interruptores evitando curto-circuito nos braços do conversor.

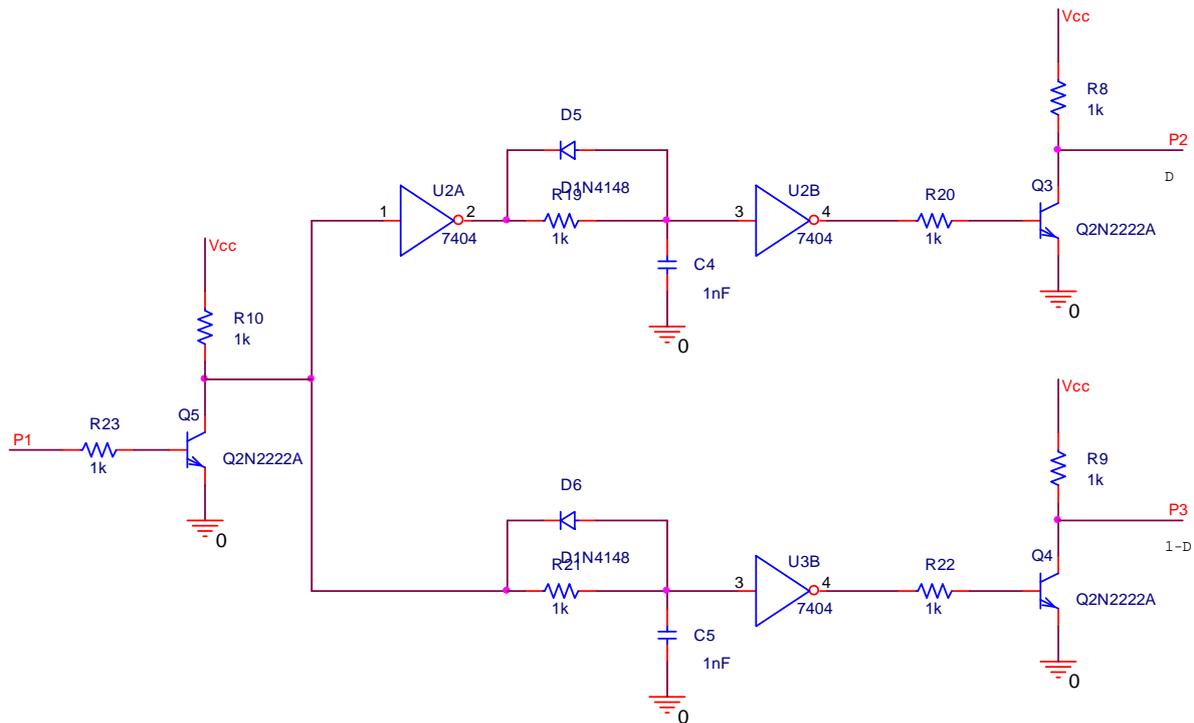


Figura 6 – Circuito para geração do tempo morto.

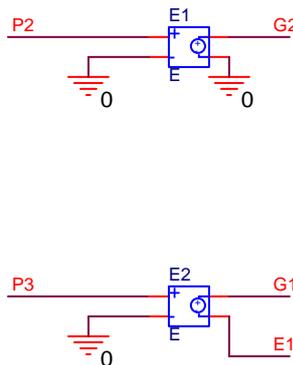


Figura 7 – Circuito de acionamento dos interruptores.

Simule os circuitos da figura 6 e 7 e verifique se os sinais nos pontos P₂ e P₃ estão corretos. Para evitar erros de simulação conecte temporariamente o terminal E₁ no terminal de terra do circuito.

Estágio de potência – Conversor cc-cc bidirecional

Desenhe e simule o circuito da figura 8, que é um conversor cc-cc bidirecional e verifique seu correto funcionamento.

Verifique também as tensões sobre os interruptores (V_{DS}) e observe o tempo de comutação dos mesmos. Veja que nesta situação não ocorrem sobretensões nos interruptores.

Adicione uma indutância parasita, representando os condutores de conexão da fonte de alimentação, conforme mostrado na figura 9 e observe novamente a tensão sobre os interruptores (V_{DS}). Note que neste caso aparecem sobretensões nos mesmos.

Mitigue este problema adicionando um capacitor sobre o braço, conforme a figura 9.

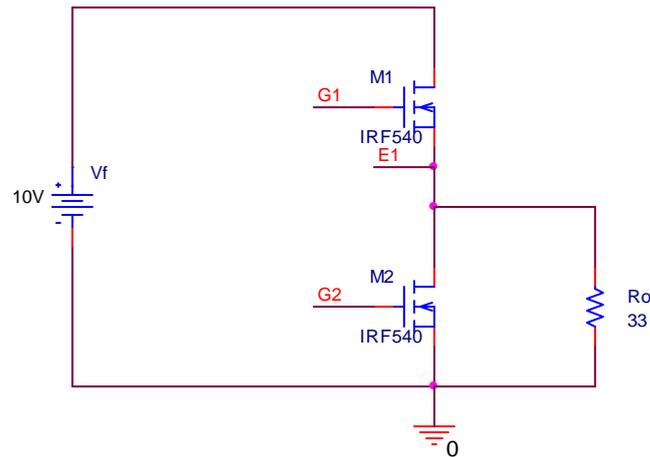


Figura 8 – Estágio de potência do conversor cc-cc bidirecional.

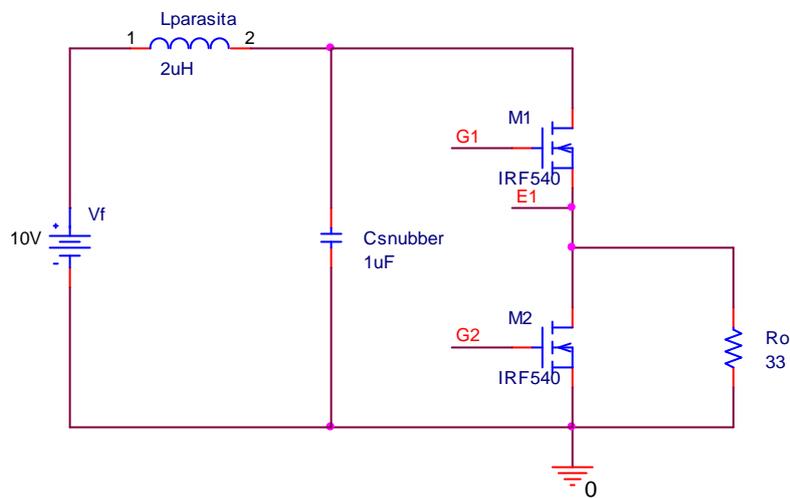


Figura 9 – Estágio de potência do conversor cc-cc bidirecional com indutância parasita e capacitor de snubber.

Observe que ao adicionar o capacitor de 1 μF a tensão sobre os interruptores (VDS) se torna um pouco oscilatória. Isto ocorre porque não se tem amortecimento no circuito L_{parasita} e C_{snubber} . Se for adicionada uma resistência em série com o capacitor, representando a resistência interna do mesmo, da ordem de alguns $\text{m}\Omega$, a oscilação irá diminuir. O mesmo ocorre se o indutor possuir resistência série.

Importante: Salve o projeto desta simulação com um nome simples, por exemplo:
conversor_cc_cc_bidirecional

Em seguida os esquemáticos poderão ser utilizados em outros projetos e assim, este circuito simulado será preservado de alterações.

Os esquemáticos podem ser copiados de um projeto para outro livremente.

No Orcad existe a opção de usar múltiplas páginas, no entanto, a simulação se torna mais lenta, se os circuitos forem complexos, o que é o caso em questão.

2.2. Inversor meia ponte monofásico

Circuito de comando e de acionamento dos interruptores

Para o inversor meia ponte monofásico o circuito de comando e de acionamento dos interruptores é o mesmo que para o conversor cc-cc bidirecional. Portanto, utilize os circuitos das figuras 1, 6 e 7.

Estágio de potência

O estágio de potência do inversor meia ponte está mostrado na figura 10. Note o divisor capacitivo formado por C_{div1} e C_{div2} .

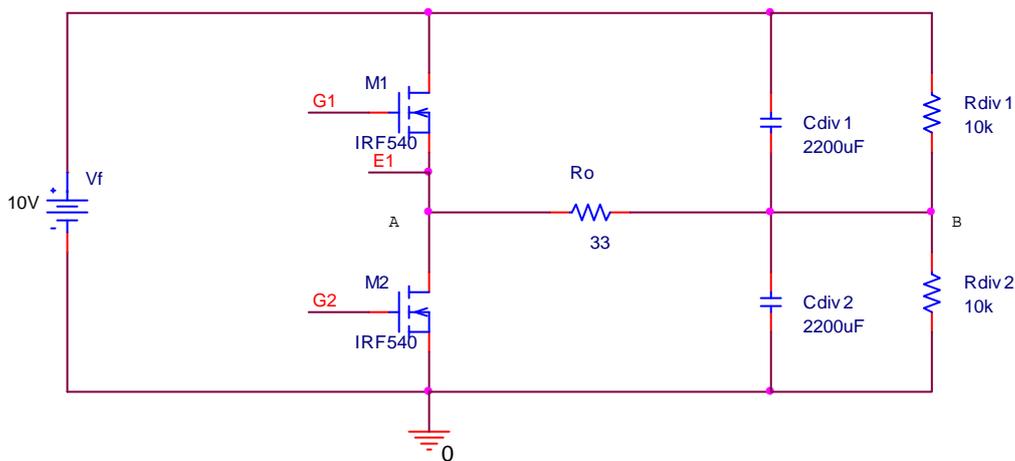


Figura 10 – Estágio de potência do inversor meia ponte monofásico.

Para que o circuito funcione corretamente na simulação é necessário colocar condições iniciais nos capacitores C_{div1} e C_{div2} , ou seja, especificar IC (condição inicial) de 5 V em cada um. A polaridade dos mesmos é importante.

Especifique uma razão cíclica diferente de 50% e observe as tensões sobre os capacitores C_{div1} e C_{div2} depois de algum tempo, por exemplo, 5 ms. Note que lentamente as tensões nestes capacitores começam a ficar desequilibradas.

2.3. Inversor ponte completa monofásico PWM

Circuito de comando e de acionamento dos interruptores

Para este inversor, se a modulação for dois níveis, a única modificação necessária no circuito de comando e de acionamento dos interruptores é adicionar um estágio de acionamento para o segundo braço do inversor. Esta alteração está mostrada na figura 11 abaixo.

Estágio de potência

Ao estágio de potência deve ser incorporado mais um braço, formando então um conversor ponte completa com dois braços e quatro interruptores, como está mostrado na figura 12 a seguir.

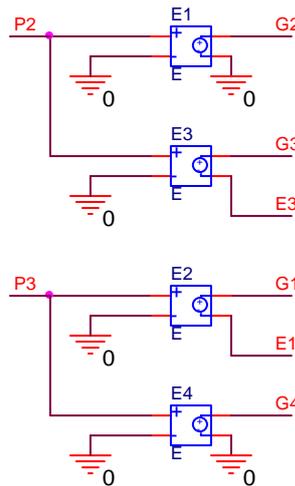


Figura 11 – Circuito de acionamento dos interruptores.

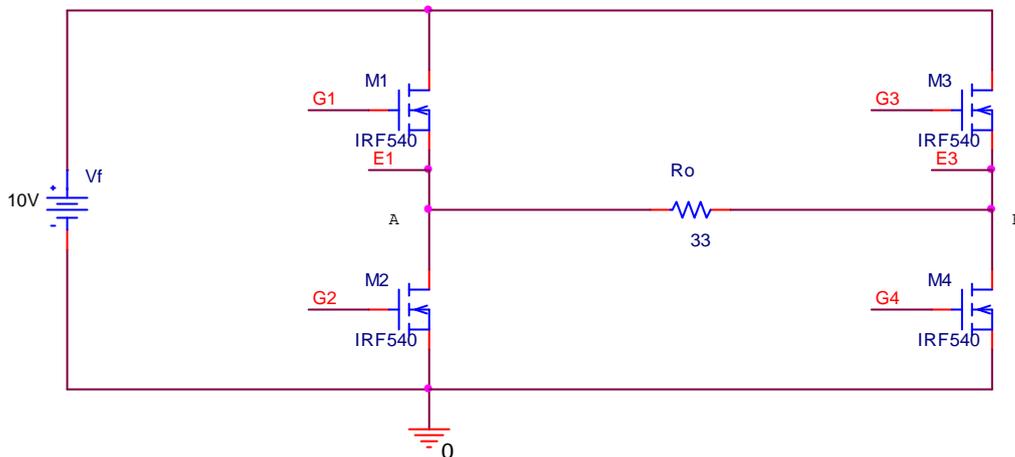


Figura 12 – Estágio de potência do inversor ponte completa monofásico.

Observe que a tensão entre os pontos A e B é retangular, conforme a modulação aplicada (PWM).

Modifique a frequência de operação do SG1524 para 50 Hz, alterando o período para 20 ms. Neste caso o tempo de simulação deve ser aumentado para 50 ms e o passo de cálculo para 10 μ s.

Este conversor é denominado de inversor onda quadrada, muito utilizado em fontes ininterruptas de energia (UPS) de baixa potência.

2.4. Inversor ponte completa monofásico PWM senoidal

Circuito de comando e de acionamento dos interruptores

O circuito de comando e acionamento para o inversor PWM senoidal é idêntico ao usado anteriormente para o inversor ponte completa PWM, com exceção da tensão de modulação, que neste caso deve variar senoidalmente.

Observe pela figura 13 que neste caso, a tensão de controle é uma fonte senoidal com nível contínuo de 2 V.

Para esta simulação especifique no SG1524 uma frequência de comutação de 1 kHz, ou seja, um período de 1 ms. O tempo de simulação pode ser de 40 ms com passo de cálculo de 10 μ s.

Estágio de potência

O estágio de potência é idêntico ao da figura 12.

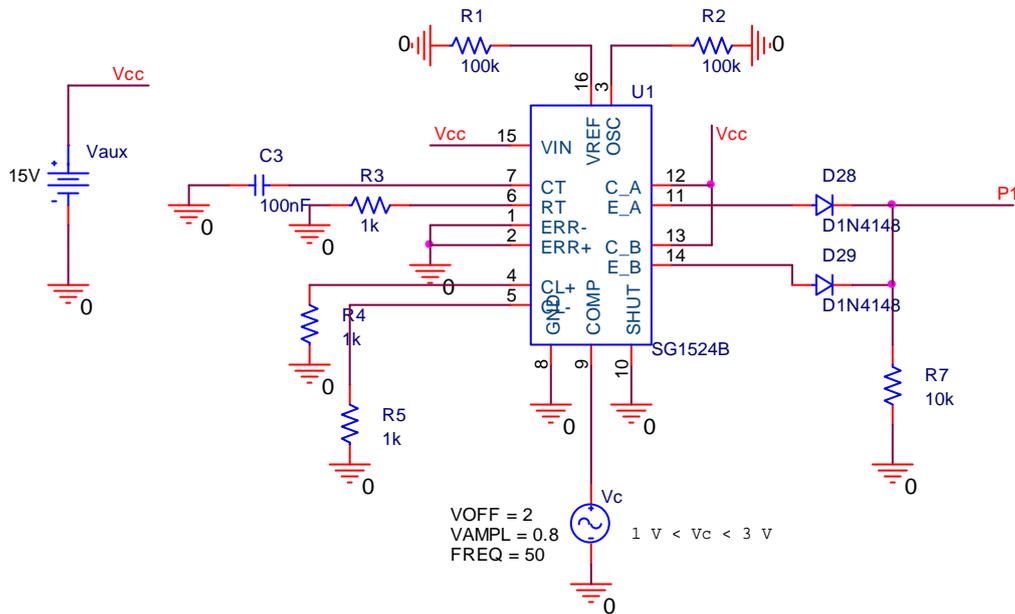


Figura 13 – Circuito de comando para os conversores PWM senoidal.

Verifique que a forma de onda na saída do inversor (tensão V_{AB}) tem pulsos com largura variável senoidalmente, daí a modulação ser denominada de PWM senoidal.

Insira um filtro na saída do inversor, como mostrado na figura 14 e observe que a tensão na carga agora é senoidal com frequência de 50 Hz, de acordo com o sinal modulante aplicado no SG1524.

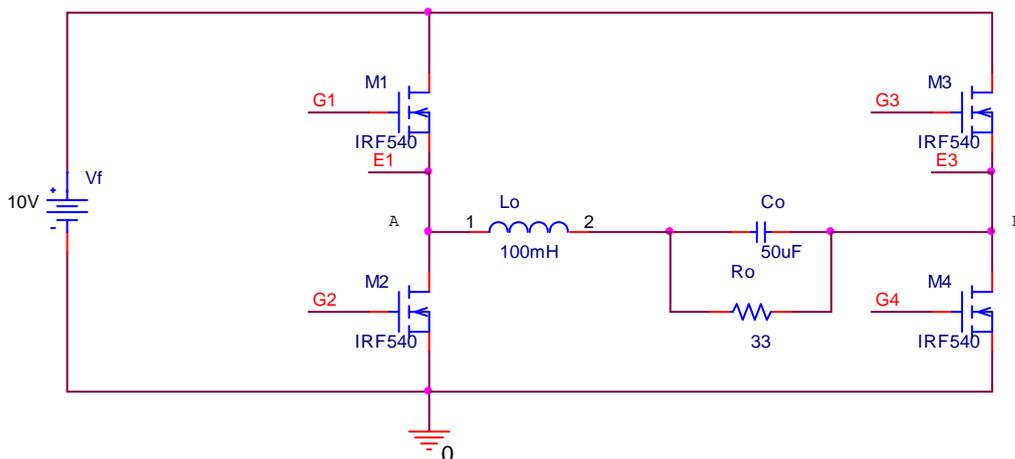


Figura 14 – Estágio de potência do inversor ponte completa monofásico PWM senoidal.

3 CONVERSORES TRIFÁSICOS

3.1. Inversor ponte completa trifásico PWM senoidal

Circuito de comando e de acionamento dos interruptores

O circuito de comando para um inversor trifásico é semelhante ao de um inversor monofásico, com exceção das tensões de controle (sinal modulante), que devem estar defasadas de 120 graus entre si.

Note pela figura 15 que o mesmo circuito é repetido três vezes, o mesmo ocorrendo com o circuito de tempo morto e de acionamento dos interruptores, como está mostrado em detalhe para a fase C, na figura 16.

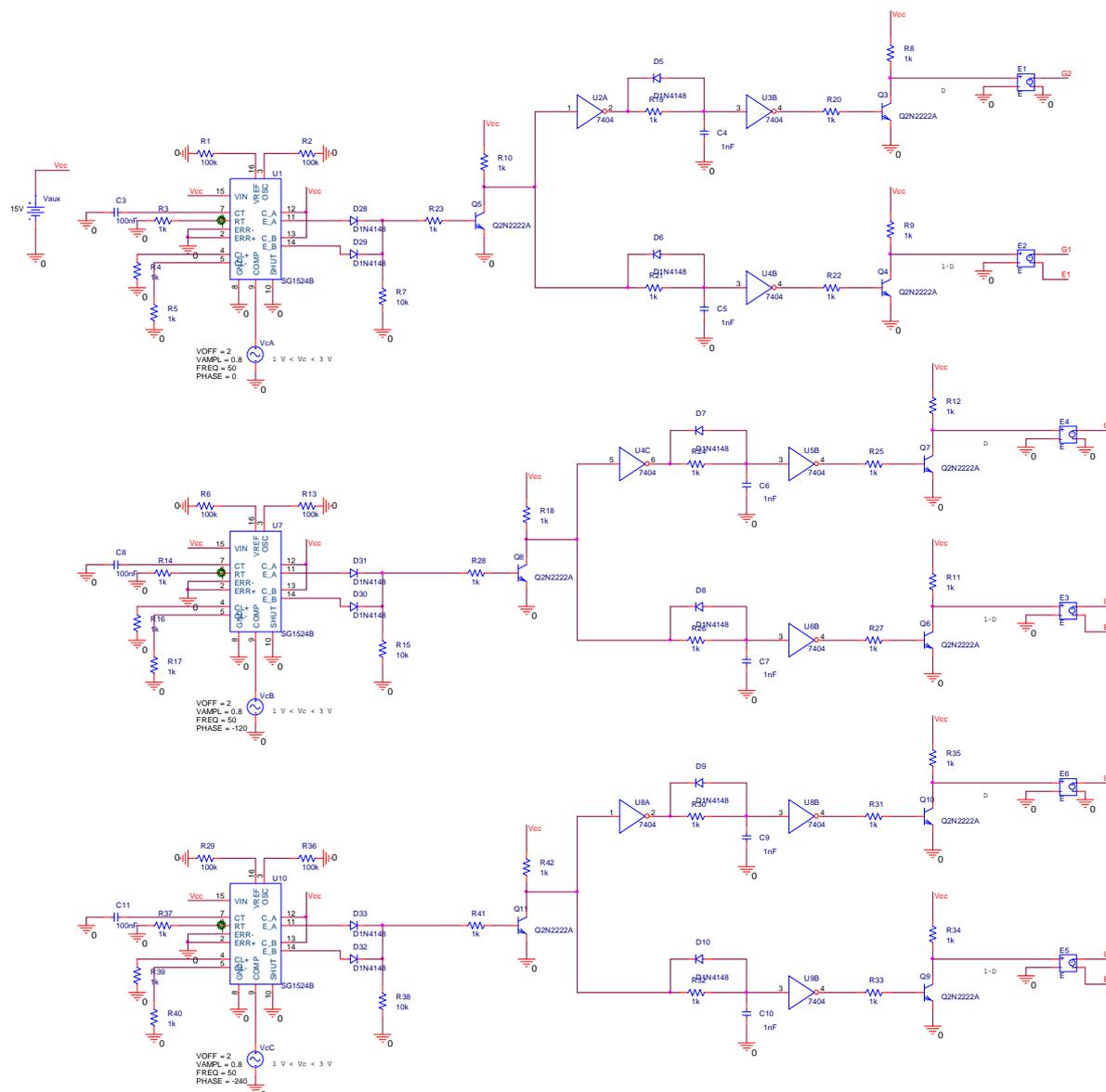


Figura 15 – Circuito de comando para o inversor ponte completa trifásico PWM senoidal – Completo.

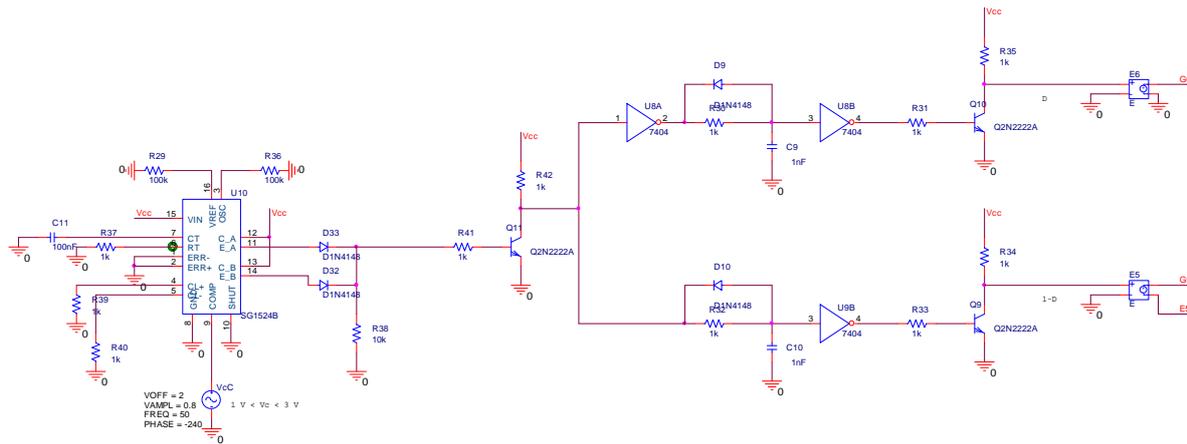


Figura 16 – Circuito de comando para o inversor ponte completa trifásico PWM senoidal – Fase C.

Estágio de potência

O estágio de potência é mostrado na figura 17. Note que as cargas estão conectadas em estrela (Y) e as mesmas, assim como o filtro de saída, são idênticos nas três fases do inversor.

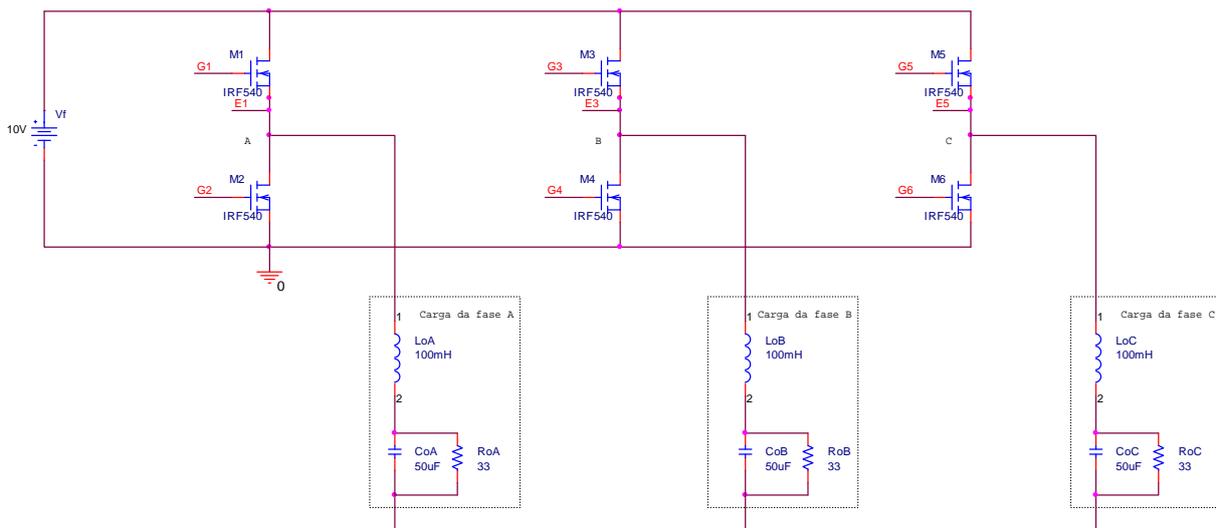


Figura 17 – Estágio de potência do inversor ponte completa trifásico PWM senoidal.

A frequência de comutação especificada nos circuitos integrados SG1524 pode ser de 1 kHz, com um período de 1 ms. O tempo de simulação pode ser de 100 ms, com passo de cálculo de 10 μ s.

Verifique as formas de onda das tensões nas três cargas. Estas tensões devem estar defasadas de 120 graus entre si. O mesmo deve ocorrer com as correntes nos indutores de filtro de saída dos inversores, ou seja, em L_{oA} , L_{oB} e L_{oC} .