

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Eletrónica Industrial

Grupo de Eletrónica de Potência e Energia



Conversor CC-CC para Alimentação de uma Rede Elétrica de Baixa Tensão em Corrente Contínua

Grupo 6

Projeto Integrador em Eletrónica Industrial e Computadores 2021/2022

Martim Machado pg47513@alunos.uminho.pt

Vítor Pinto a68544@alunos.uminho.pt

Projeto orientado pelo docente:

Vitor Monteiro



ÍNDICE

- Apresentação do problema e contexto associado
- Caracterização de cenários de aplicação ou casos de estudo
- Definição dos objetivos e dos resultados esperados
- Identificação dos requisitos e restrições
- Identificação do estado da arte relacionado com o problema
- Definição da proposta de solução para o problema
- Definição do plano de implementação que identifique os recursos necessários
- Definição do plano de testes, nomeadamente testes unitários de integração e funcionais
- Definição de um calendário de tarefas para o projeto
- Descrição das tarefas realizadas e resultados obtidos

APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E CONTEXTO ASSOCIADO

- Tendência para o desenvolvimento de tecnologias de produção e armazenamento de energia carbonicamente neutras.
- Estas tecnologias impõe novos desafios à rede eléctrica atual.
- A fim de enfrentar alguns destes desafios, tem-se vindo a assistir ao aparecimento de redes eléctricas inteligentes (smart grids).
- Estas redes inteligentes são capazes de monitorizar e otimizar de forma autónoma e automática os fluxos fornecimento de energia eléctrica.

APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E CONTEXTO ASSOCIADO

- Muitas destas redes elétricas inteligentes operam exclusivamente em corrente contínua (CC).
- Maior necessidade de desenvolver e aprofundar o conhecimento sobre conversores CC-CC que permitam que estas redes comuniquem entre si.

CARACTERIZAÇÃO DE CENÁRIOS DE APLICAÇÃO OU CASOS DE ESTUDO

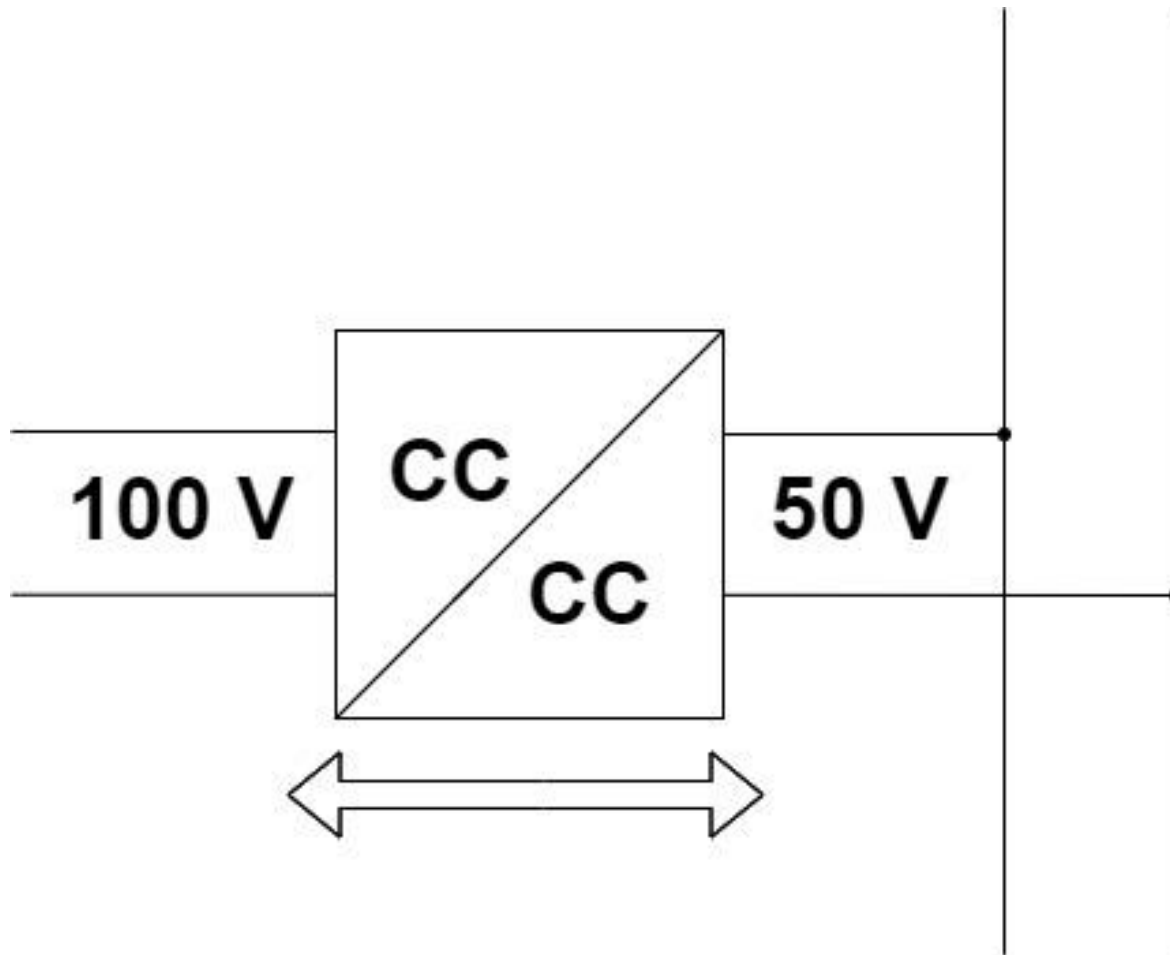
- O conversor CC-CC que irá ser dimensionado neste projeto, poderá ser inserido num sistema de carga/descarga de baterias.
- Este conversor será projetado para apresentar a melhor eficiência energética, tendo como objetivo a redução das perdas nos semicondutores e elementos armazenadores de energia, no que sucede um menor desgaste das baterias.

DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS E DOS RESULTADOS ESPERADOS

- Desenvolvimento de um conversor CC-CC bidirecional, capaz de atuar como um conversor abaixador num sentido e como conversor elevador no sentido contrário.
- Será controlado por uma corrente de referência definida pelo sistema onde se insere.
- Corrente com o menor valor de *ripple* possível.

IDENTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS E RESTRIÇÕES

- Corrente constante de 16 A.



IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

Para a realização deste projeto foi necessário consolidar o estado de arte das diferentes topologias de conversores CC-CC bidirecionais.

Deste modo, serão explorados os seguintes tópicos:

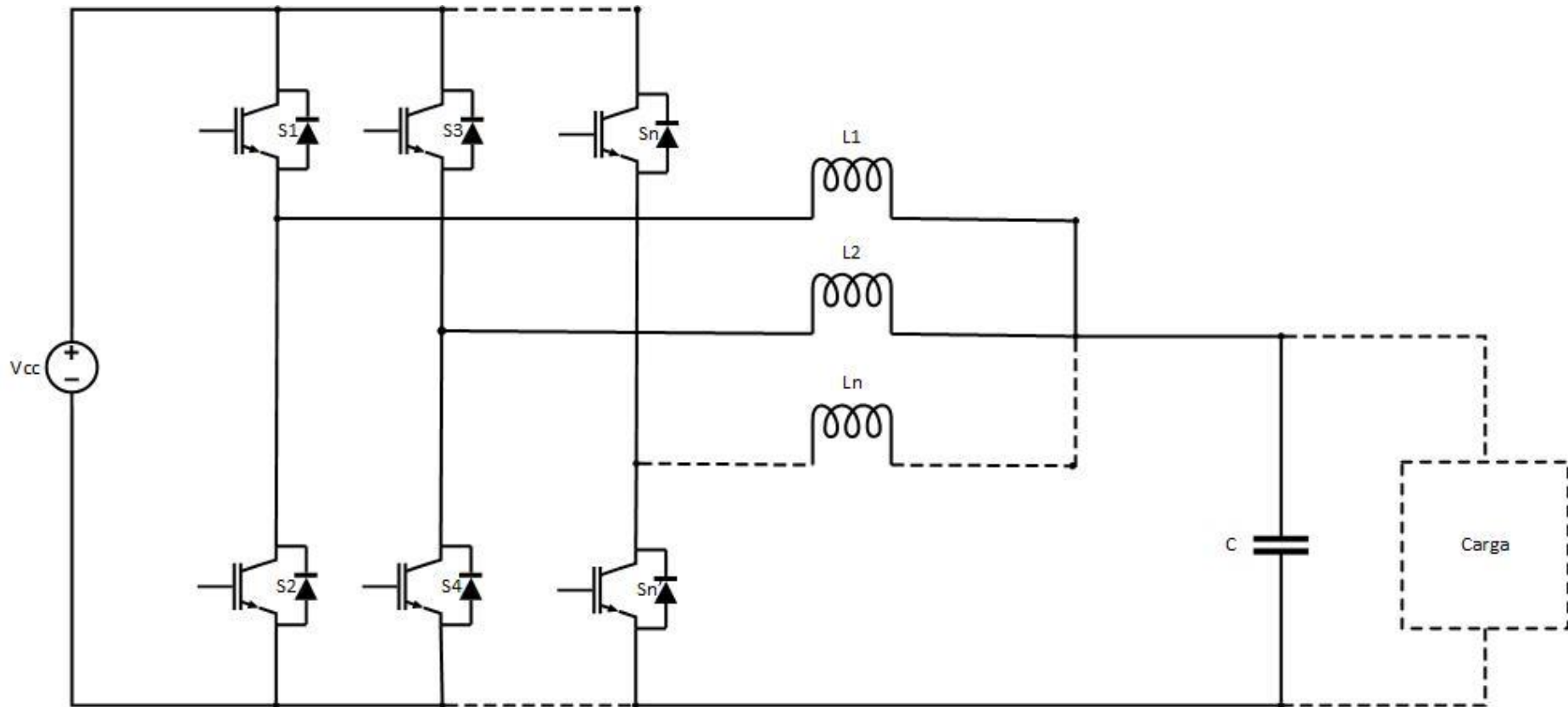
- ☐ Modo de operação;
- ☐ Topologia *interleaved*;
- ☐ Conversor unidirecional abaixador;
- ☐ Conversor unidirecional elevador;
- ☐ Conversor bidirecional abaixador-elevador;
- ☐ Conversor bidirecional abaixador-elevador com topologia *interleaved*;

IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Modo de operação**
 - Qualquer topologia pode ser classificada como unidirecional ou bidirecional.
 - Sendo a topologia unidirecional, a corrente pode apenas fluir num único sentido.
 - Quando a topologia é bidirecional, a corrente pode fluir em ambos os sentidos.

IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- Topologia *interleaved*



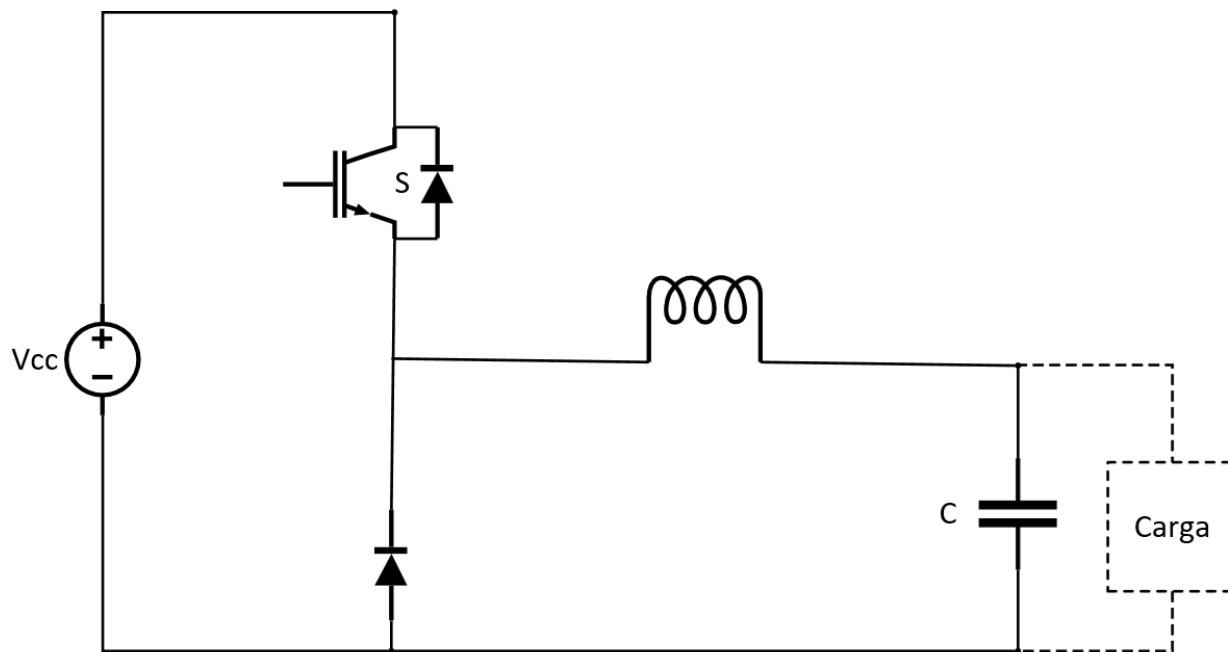
IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- Topologia *interleaved*
 - Minimiza o ripple da corrente de saída, pois é aplicado um desfasamento (D) aos sinais de PWM aplicados aos semicondutores.
 - Maior rendimento, pois existe uma redução de perdas, face ao menor sobreaquecimento nos semicondutores e elementos armazenadores de energia.
 - Os elementos armazenadores de energia não necessitam de possuir valores tão altos.
 - Para se calcular o desfasamento é utilizada a seguinte equação, onde n é o número de conversores em paralelo.

$$D = \frac{2\pi}{n}$$

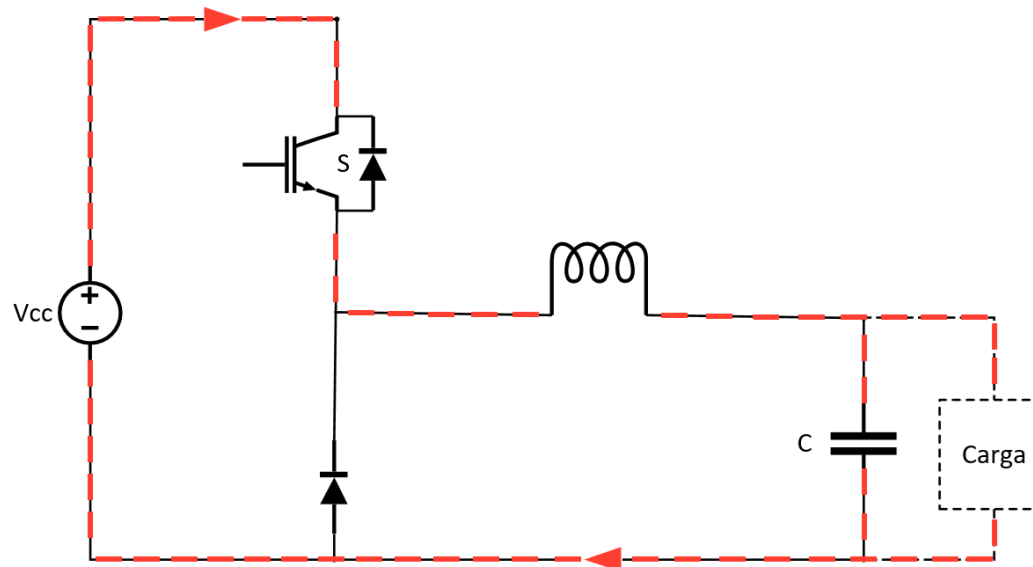
IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Conversor unidirecional abaixador**
 - Diminui a tensão de saída relativamente à tensão de entrada.



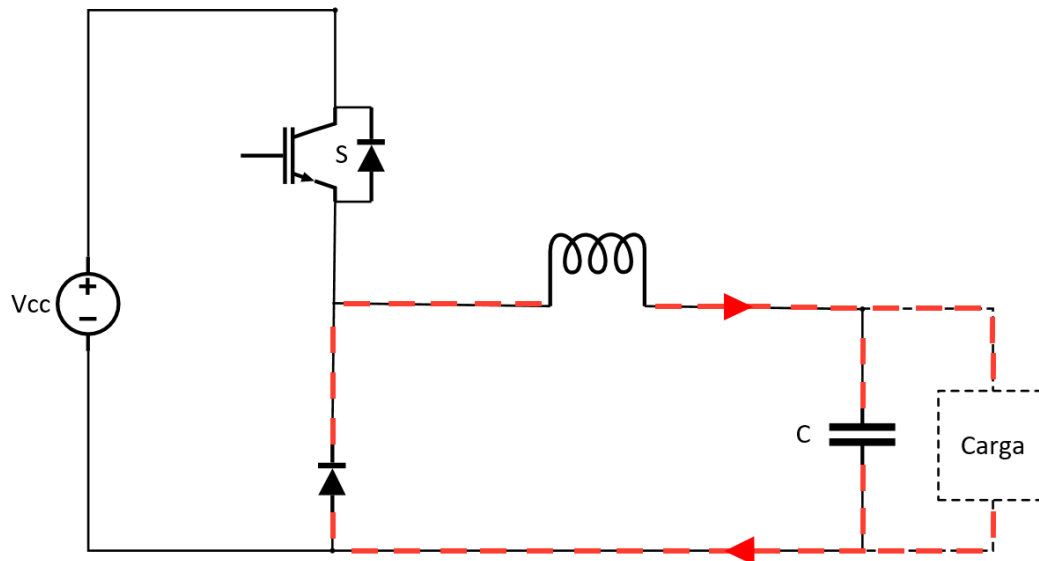
IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Conversor unidirecional abaixador**
 - Quando o semicondutor (S) é ligado, a corrente flui da fonte para a carga através da bobina.
 - Existe o armazenamento de energia pela bobina e a sua tensão é positiva.



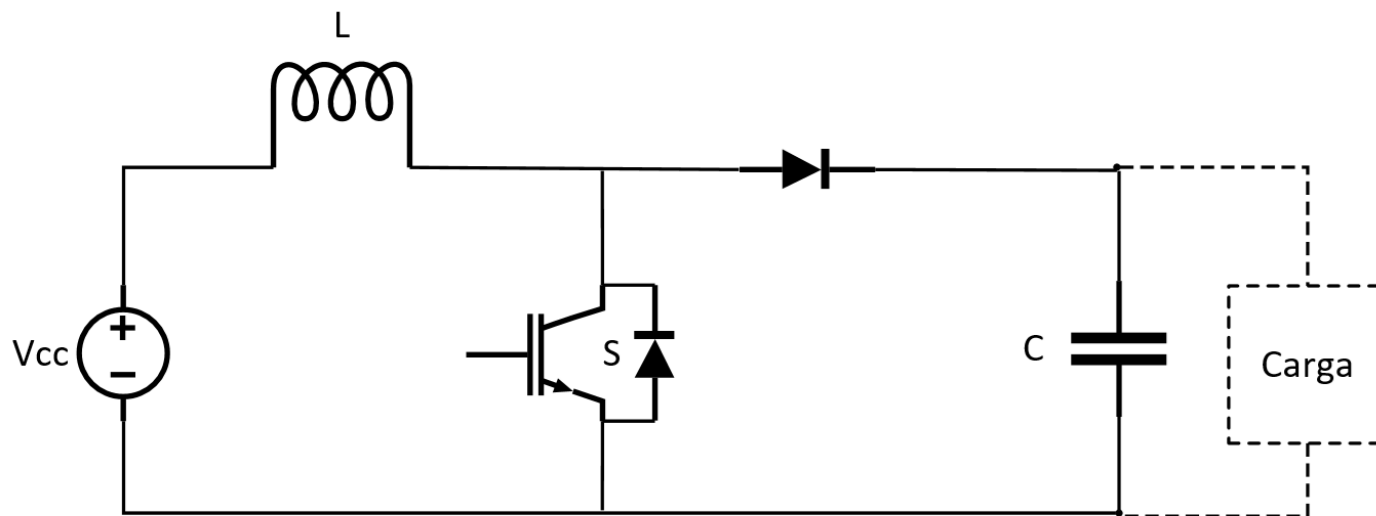
IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Conversor unidirecional abaixador**
 - Assumindo o semicondutor (S) desligado, a corrente armazenada anteriormente pela bobina flui para a carga.
 - A bobina alimenta a carga, pelo que a tensão aos seus terminais é negativa.



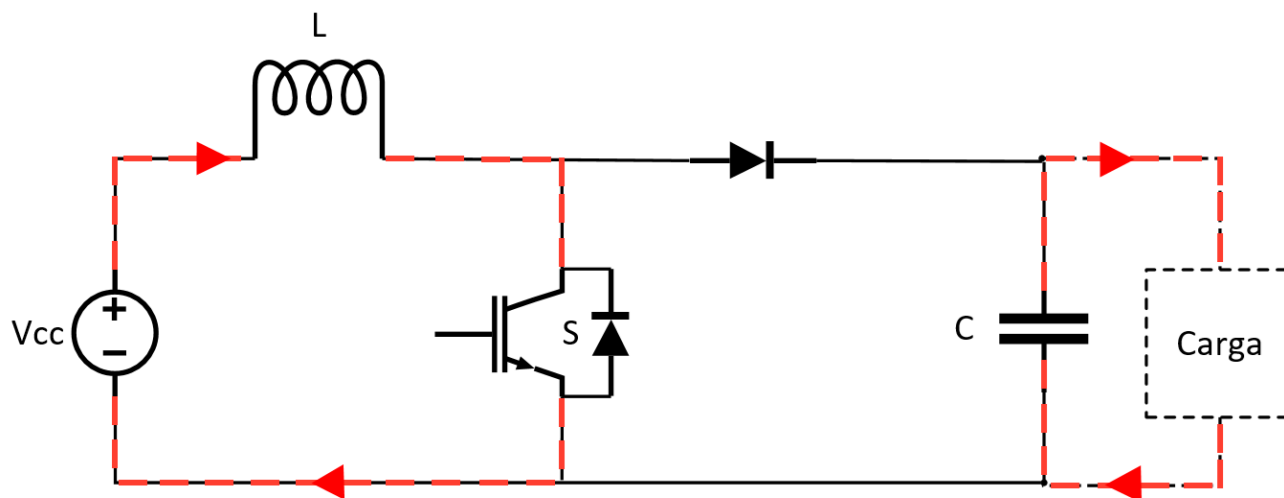
IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Conversor unidirecional elevador**
- Eleva a tensão de saída, face à tensão de entrada.



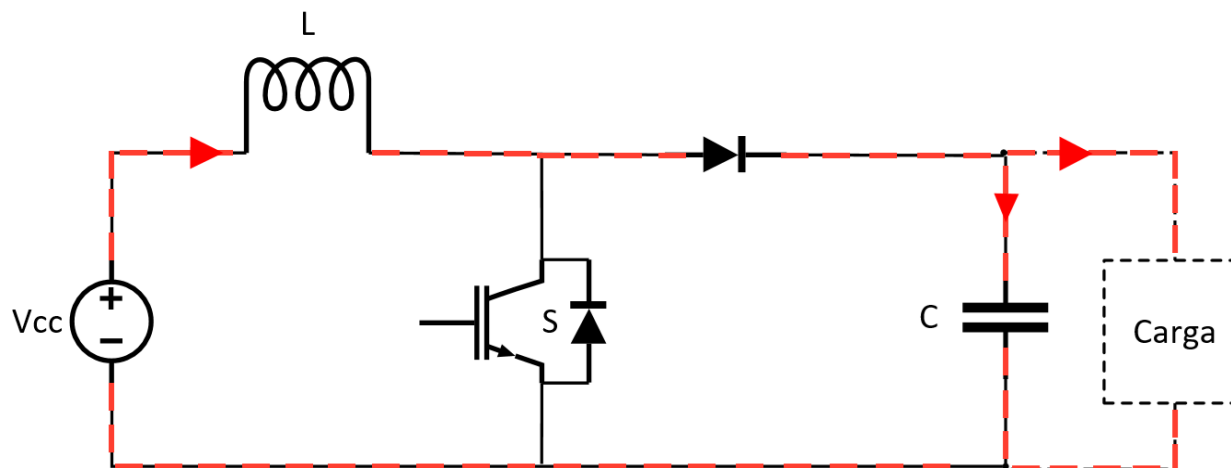
IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Conversor unidirecional elevador**
 - Quando S é ligado a corrente não flui da fonte para a carga.
 - A bobina armazena energia e a tensão aos seus terminais é positiva.



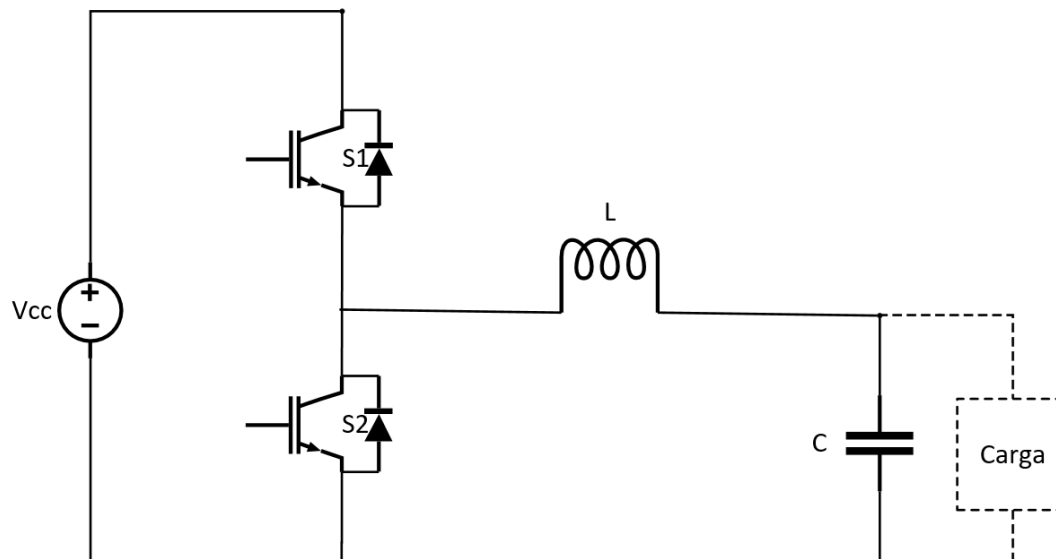
IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Conversor unidirecional elevador**
 - No caso de S desligado, existe a transferência de energia armazenada na bobina para a carga.
 - O condensador de saída carrega.



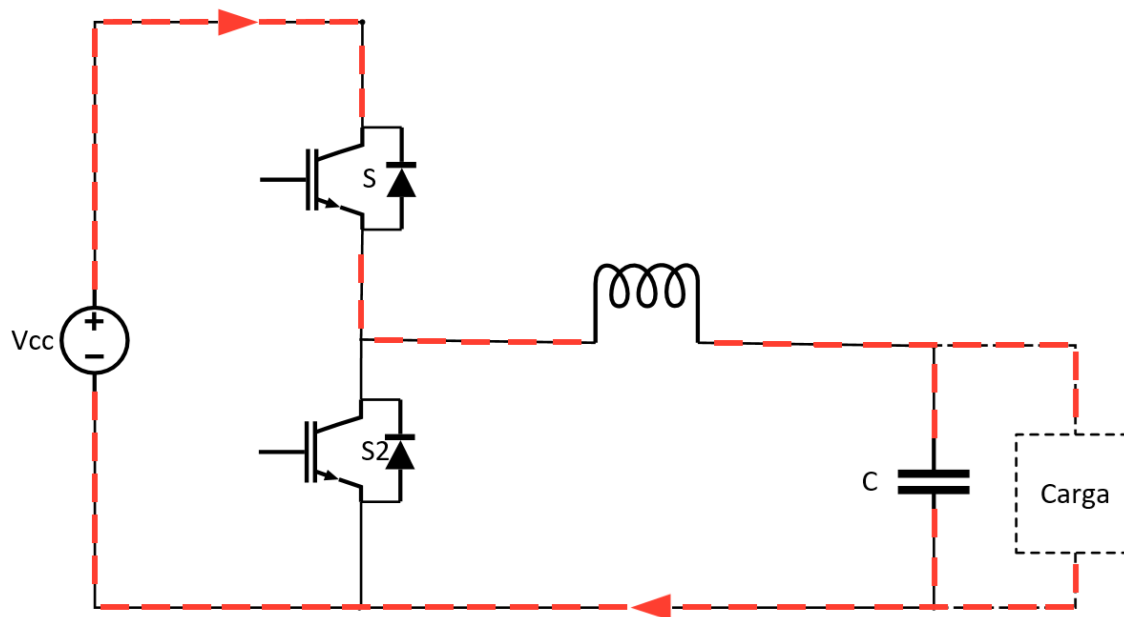
IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Conversor bidirecional abaixador-elevador**
 - Este conversor resulta da junção dos conversores abaixador elevador, sendo então possível operar em ambos sentidos.
 - Possui dois semicondutores para ser possível o controlo do modo de operação.



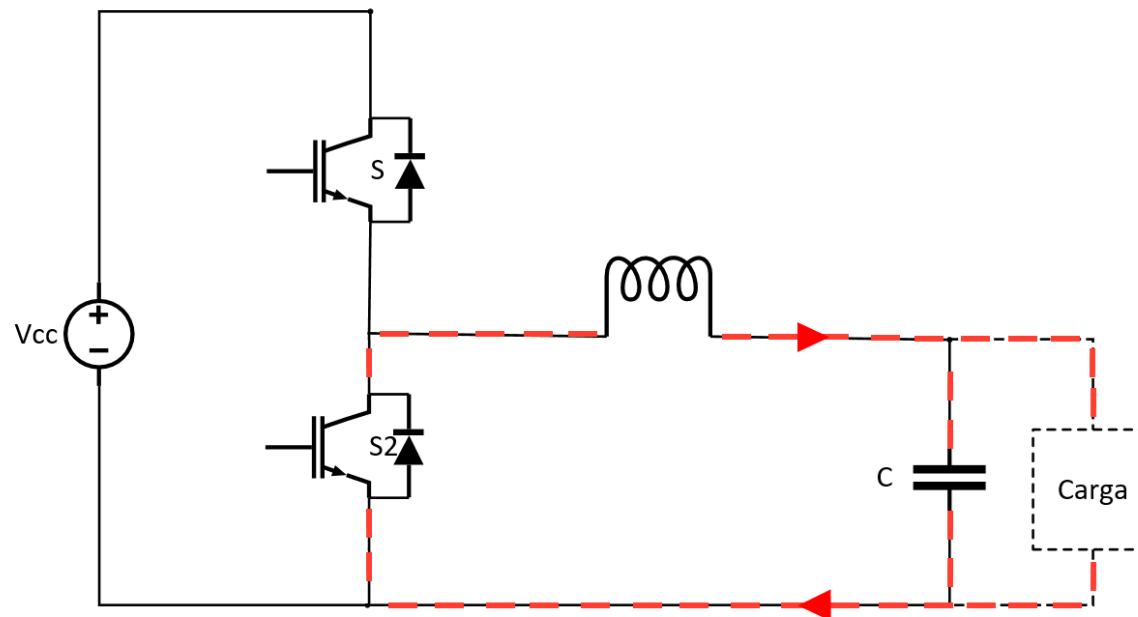
IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Conversor bidirecional abaixador-elevador**
 - **Modo abaixador**
 - O semicondutor S2 está sempre desligado.
 - No momento em que S1 está ligado a corrente flui da fonte V_{cc} para a carga e condensador.



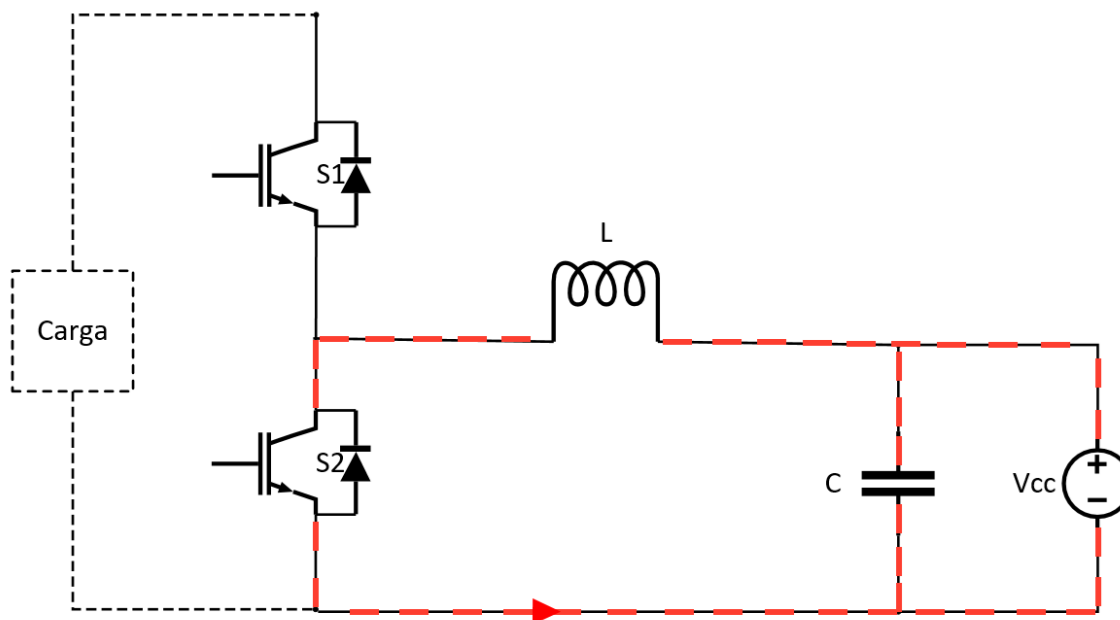
IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Conversor bidirecional abaixador-elevador**
 - **Modo abaixador**
 - Assim que S1 é desligado, a carga não é alimentada pela fonte V_{cc} , mas sim pelo condensador e pela bobina.



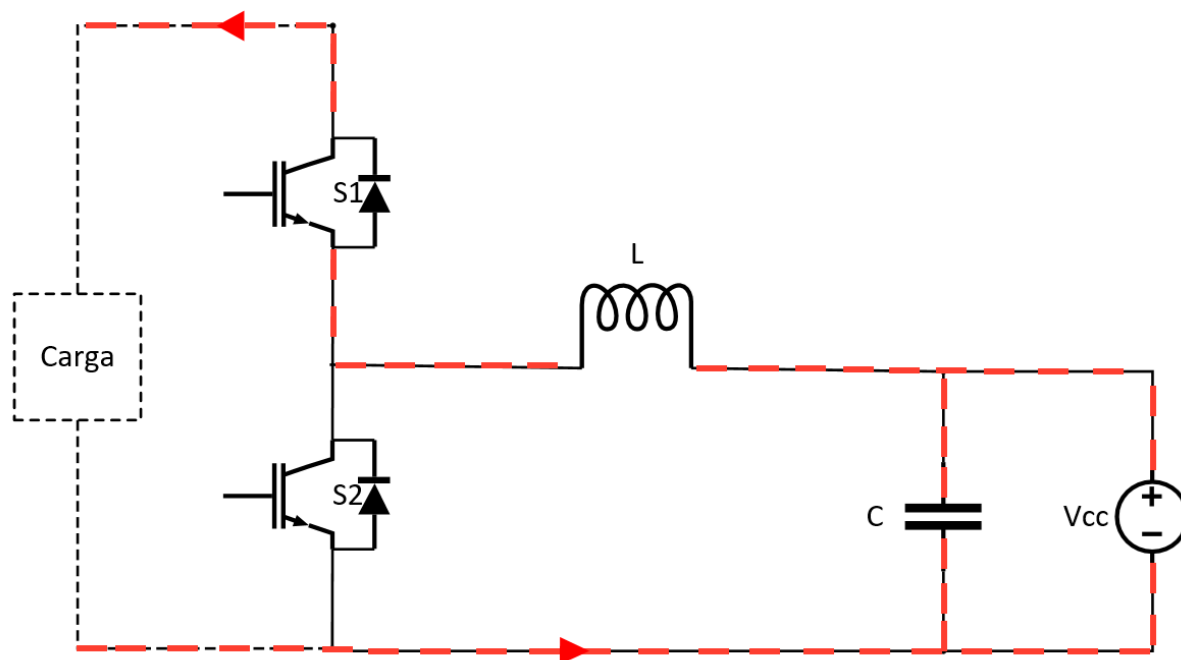
IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Conversor bidirecional abaixador-elevador**
 - **Modo elevador**
 - É imprescindível que S1 esteja sempre desligado.
 - Na ocasião em que S2 se encontra ligado, a corrente flui através deste.



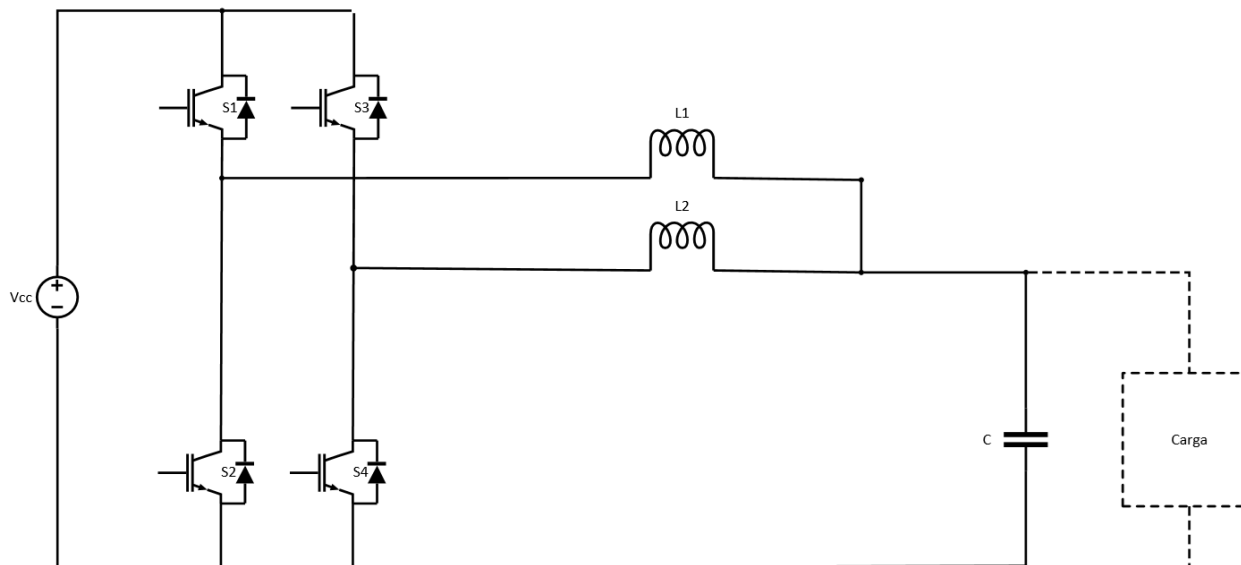
IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Conversor bidirecional abaixador-elevador**
 - **Modo elevador**
 - Com S2 desligado, a corrente flui deste a fonte V_{cc} até à carga e condensador.



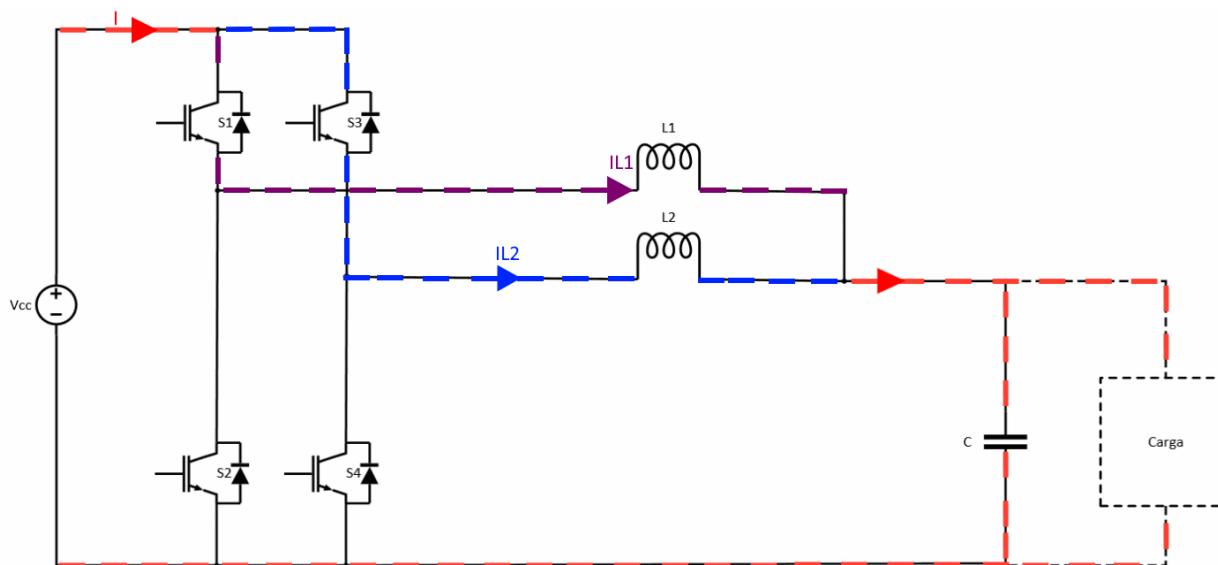
IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Conversor bidirecional abaixador-elevador com topologia interleaved**
- Adição de um conversor abaixador-elevador em paralelo.
- Controlo de dois semicondutores em cada modo de operação.
- Sinais de PWM com desfasamento de 180 graus.



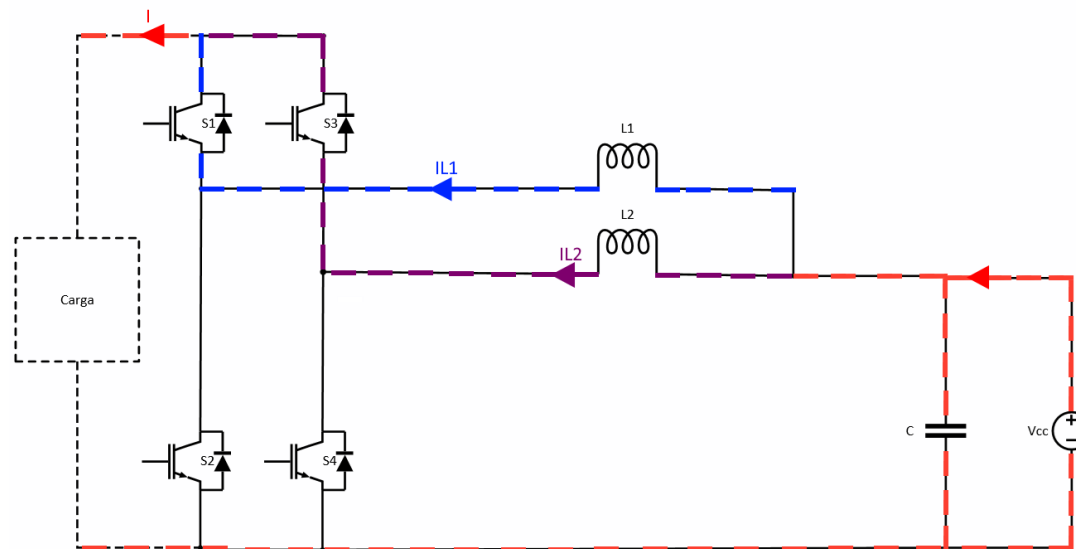
IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Conversor bidirecional abaixador-elevador com topologia interleaved**
- **Modo abaixador**
- Apenas irão ser comutados **S1** e **S3**, ficando **S2** e **S4** permanentemente desligados.
- **S1** e **S3** não comutam em simultâneo.



IDENTIFICAÇÃO DO ESTADO DE ARTE RELACIONADO COM O PROBLEMA

- **Conversor bidirecional abaixador-elevador com topologia interleaved**
- **Modo elevador**
- Apenas irão ser comutados **S2** e **S4**, ficando **S1** e **S3** permanentemente desligados.
- **S2** e **S4** não comutam em simultâneo.



DEFINIÇÃO DA PROPOSTA DE SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA

- Será necessária uma solução capaz de se comportar tanto como conversor elevador, quer como conversor abaixador.
- Solução esta que poderá, num determinado ponto de operação, baixar ou elevar a tensão de saída face à entrada com corrente constante.
- Tendo em conta as várias topologias de conversores estudadas anteriores, a melhor que se adequa é designada de conversor abaixador-elevador com topologia *interleaved*.

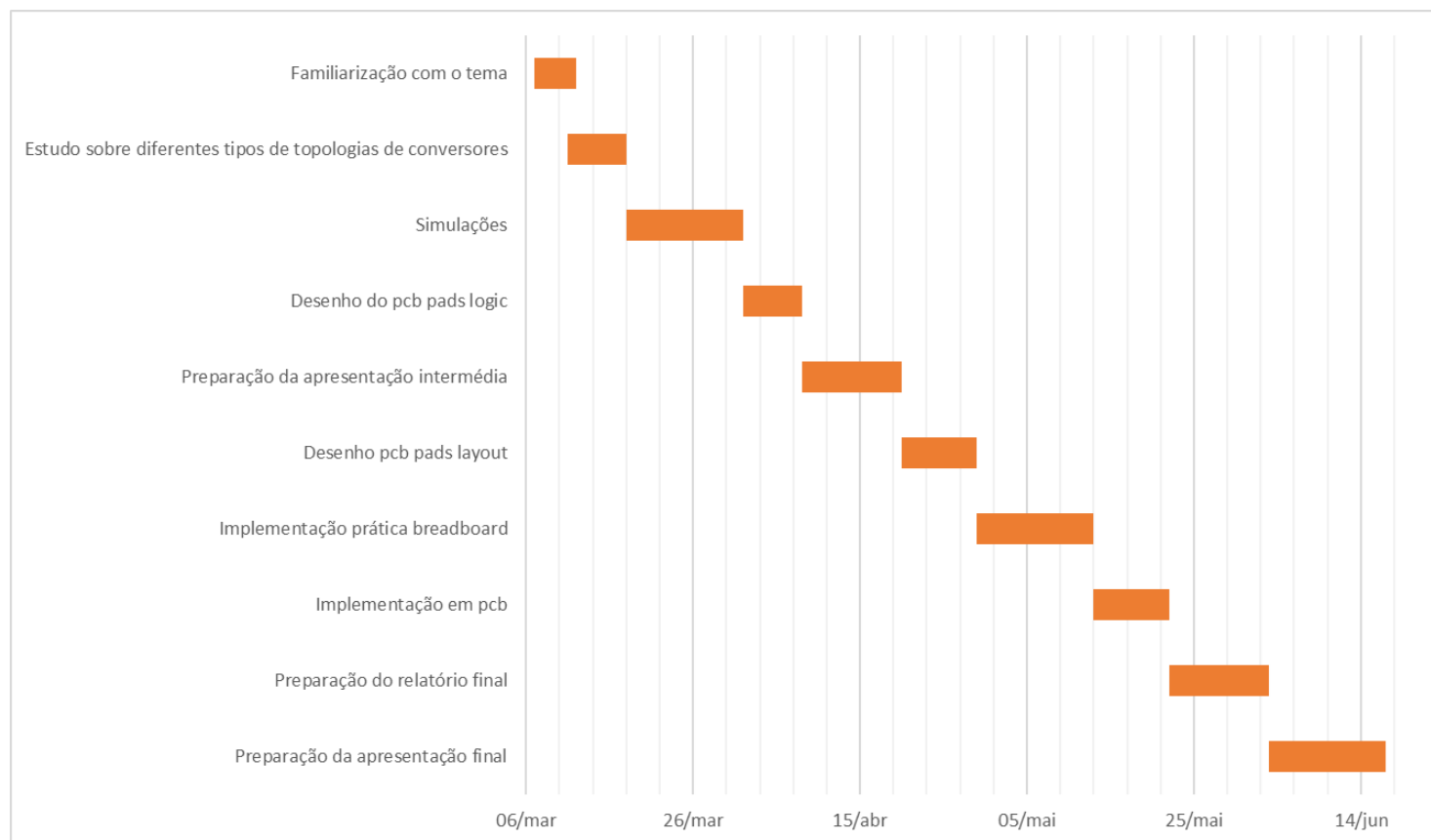
DEFINIÇÃO DO PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO

- Validação do conversor com simulação no psim
- Estudo e aquisição dos componentes necessários
- Desenho e validação da pcb
 - Desenho com recurso ao software PADS.
- Implementação prática em breadboard
 - Sistema de aquisição e controlo com recurso à placa de desenvolvimento STM32
 - Utilização de MOSFET's discretos
 - Circuito de *driver* com utilização de Optoacoplador HCPL-3120
- Implementação prática em PCB

DEFINIÇÃO DO PLANO DE TESTES

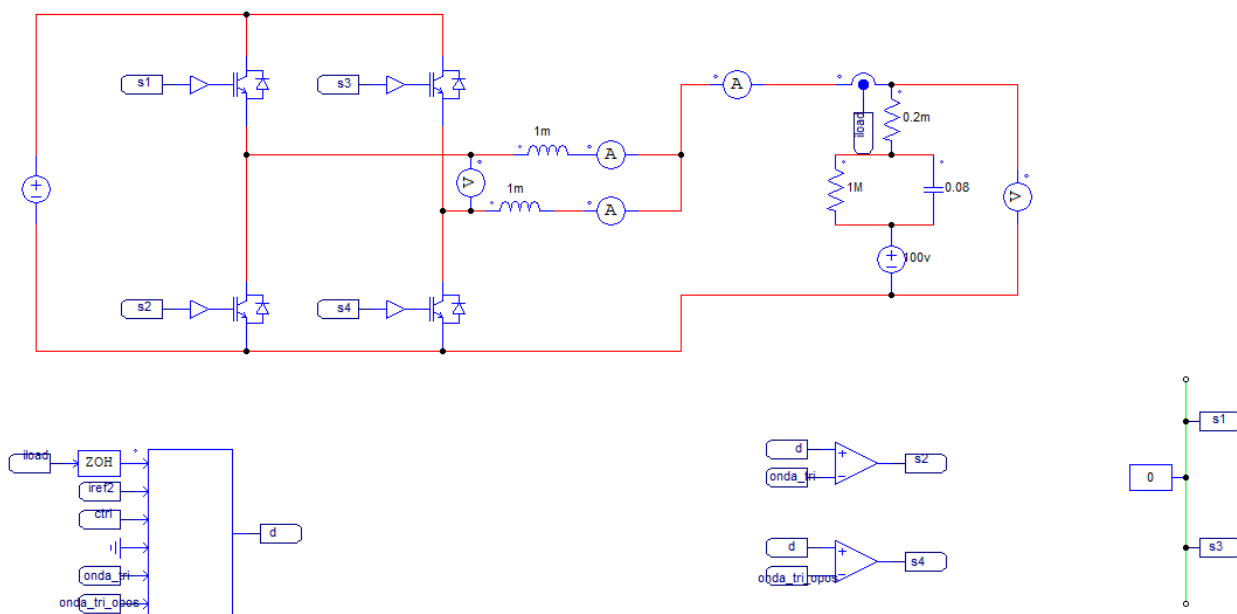
- Validação da aquisição do sinal através dos sensores utilizados
 - Acondicionamento do sinal para transformar valor lido para gama entre 0-3V
- Verificação da amostragem do sinal
- Obtenção do valor de *duty-cycle* através de controlo PI para corrente
- Ajuste da largura de pulso PWM
 - Utilização do registo *capture-compare* do timer responsável pelo PWM
 - Verificação do *dead-time*

DEFINIÇÃO DE UM CALENDÁRIO DE TAREFAS PARA O PROJETO



DESCRIÇÃO DAS TAREFAS REALIZADAS E RESULTADOS OBTIDOS

De forma a validar e observar o comportamento do conversor abaixador-elevador com topologia *interleaved*, foi utilizado o *software* PSIM.



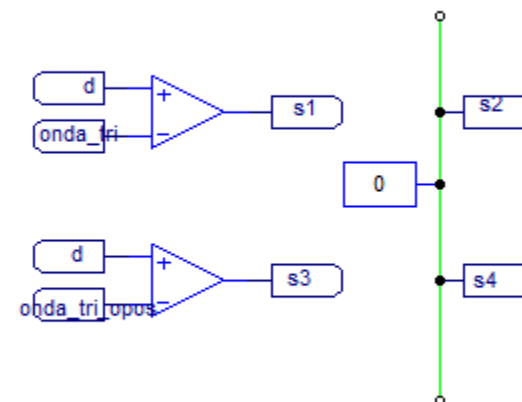
DESCRIÇÃO DAS TAREFAS REALIZADAS E RESULTADOS OBTIDOS

- Simulação PSIM

→ Funcionamento como conversor abaixador

```
void duty_cycle_control_buck()
{
    erro = iref2 - iload;
    integral += erro;
    d = kp*erro + ki*integral;
};
```

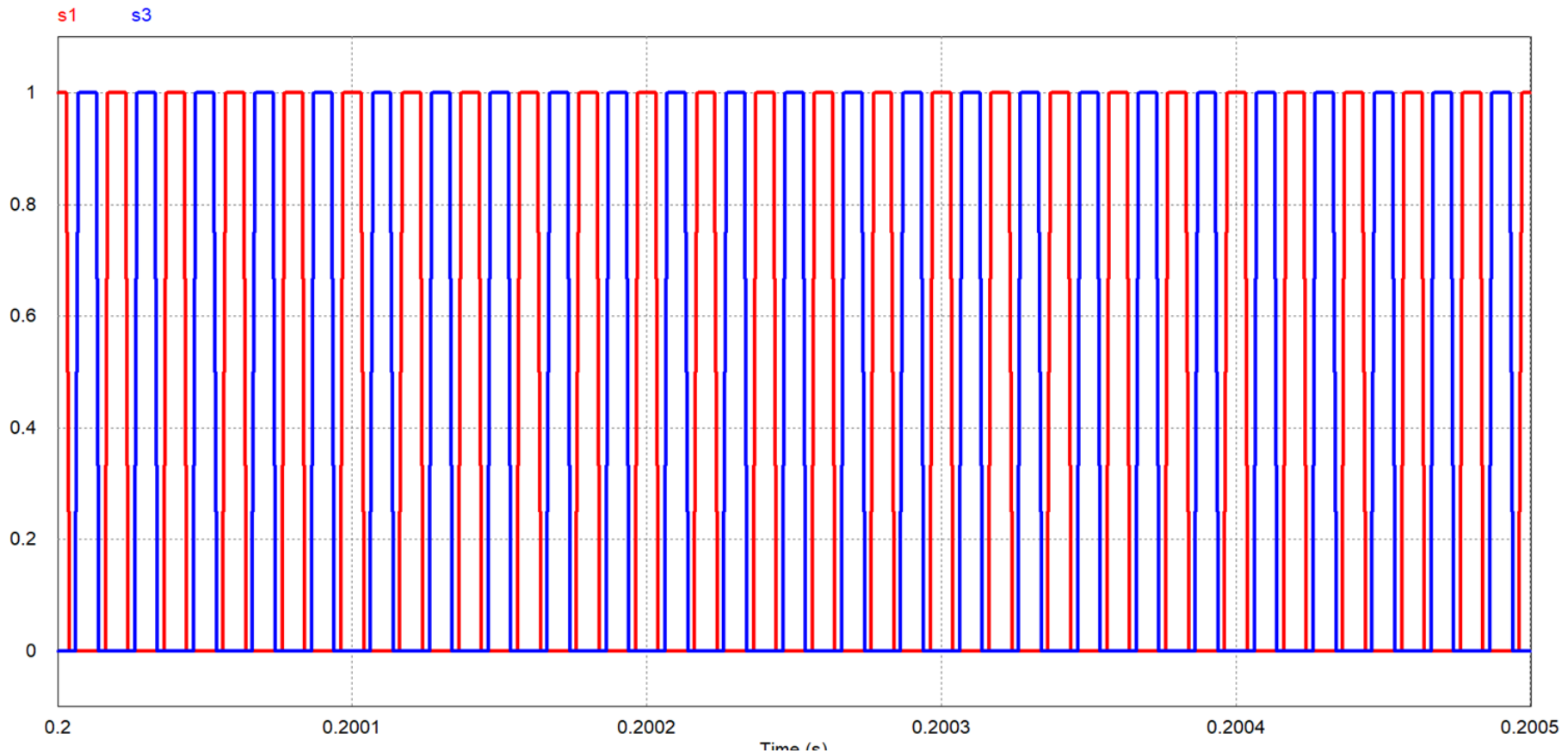
Edit Image Check Code



DESCRIÇÃO DAS TAREFAS REALIZADAS E RESULTADOS OBTIDOS

- Simulação PSIM

→ Funcionamento como conversor abaixador

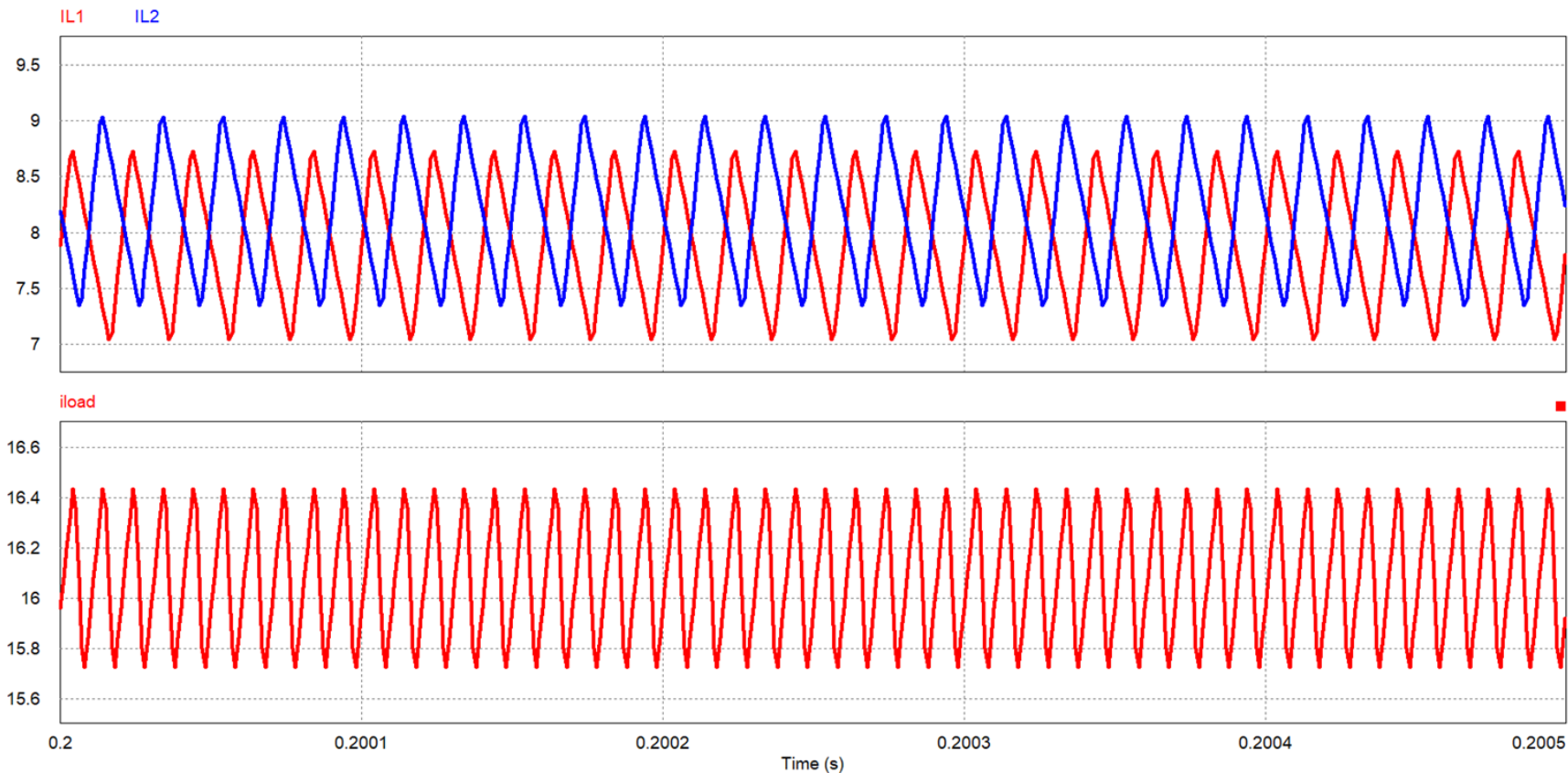


DESCRIÇÃO DAS TAREFAS REALIZADAS E RESULTADOS OBTIDOS

- Simulação PSIM

→ Funcionamento como conversor abaixador

Resultados obtidos com um K_p de 100 e K_i de 0,1

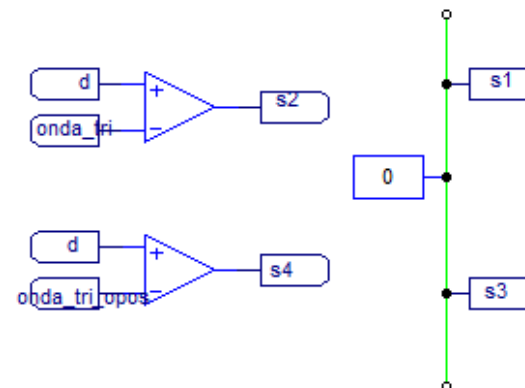
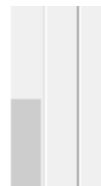


DESCRIÇÃO DAS TAREFAS REALIZADAS E RESULTADOS OBTIDOS

- Simulação PSIM

→ Funcionamento como conversor elevador

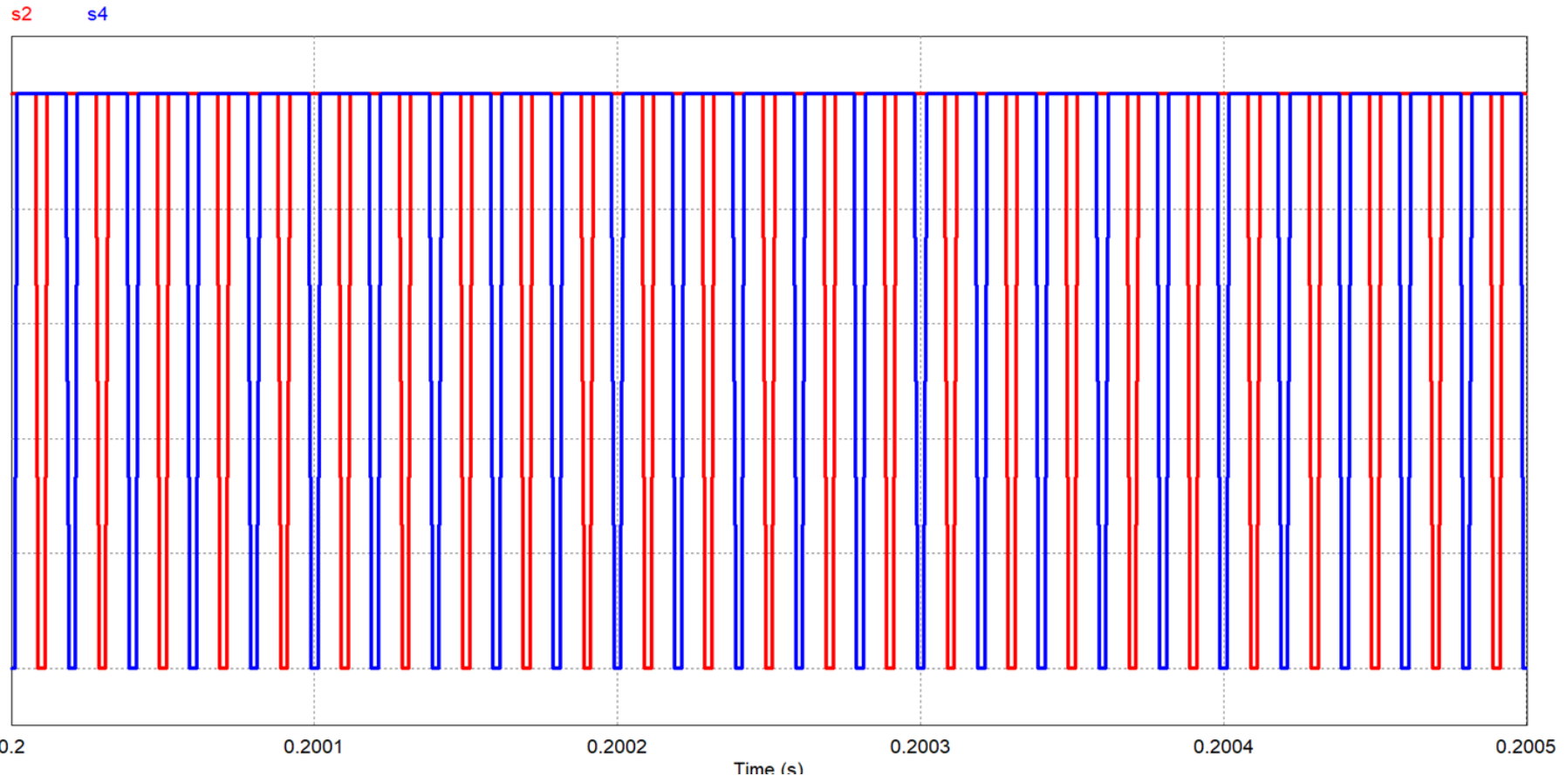
```
void duty_cycle_control_boost()
{
    erro = -iref2 - iload;
    integral += erro;
    d = -(kp*erro + ki*integral);
};
```



DESCRIÇÃO DAS TAREFAS REALIZADAS E RESULTADOS OBTIDOS

- Simulação PSIM

→ Funcionamento como conversor elevador

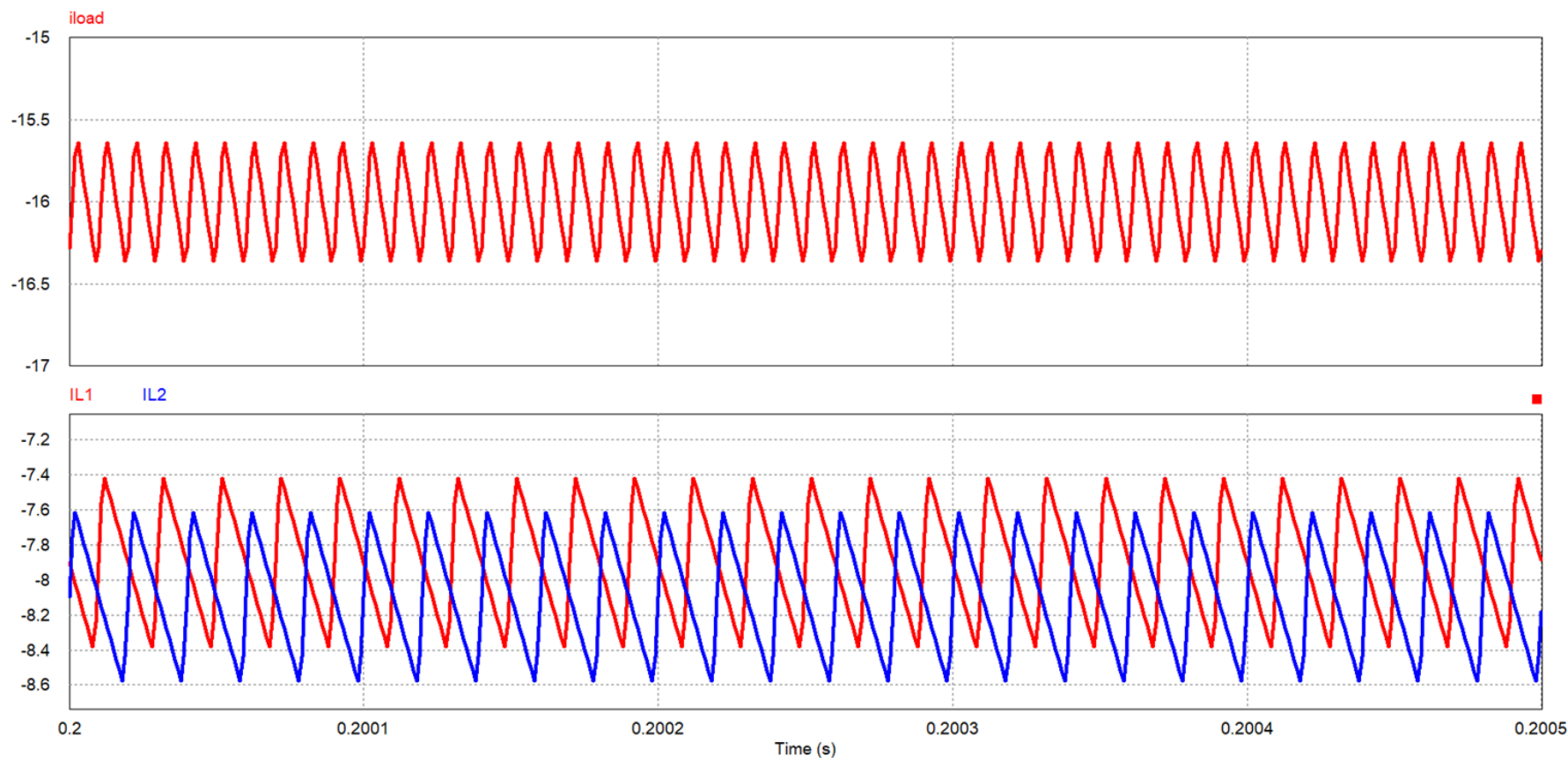


DESCRIÇÃO DAS TAREFAS REALIZADAS E RESULTADOS OBTIDOS

- Simulação PSIM

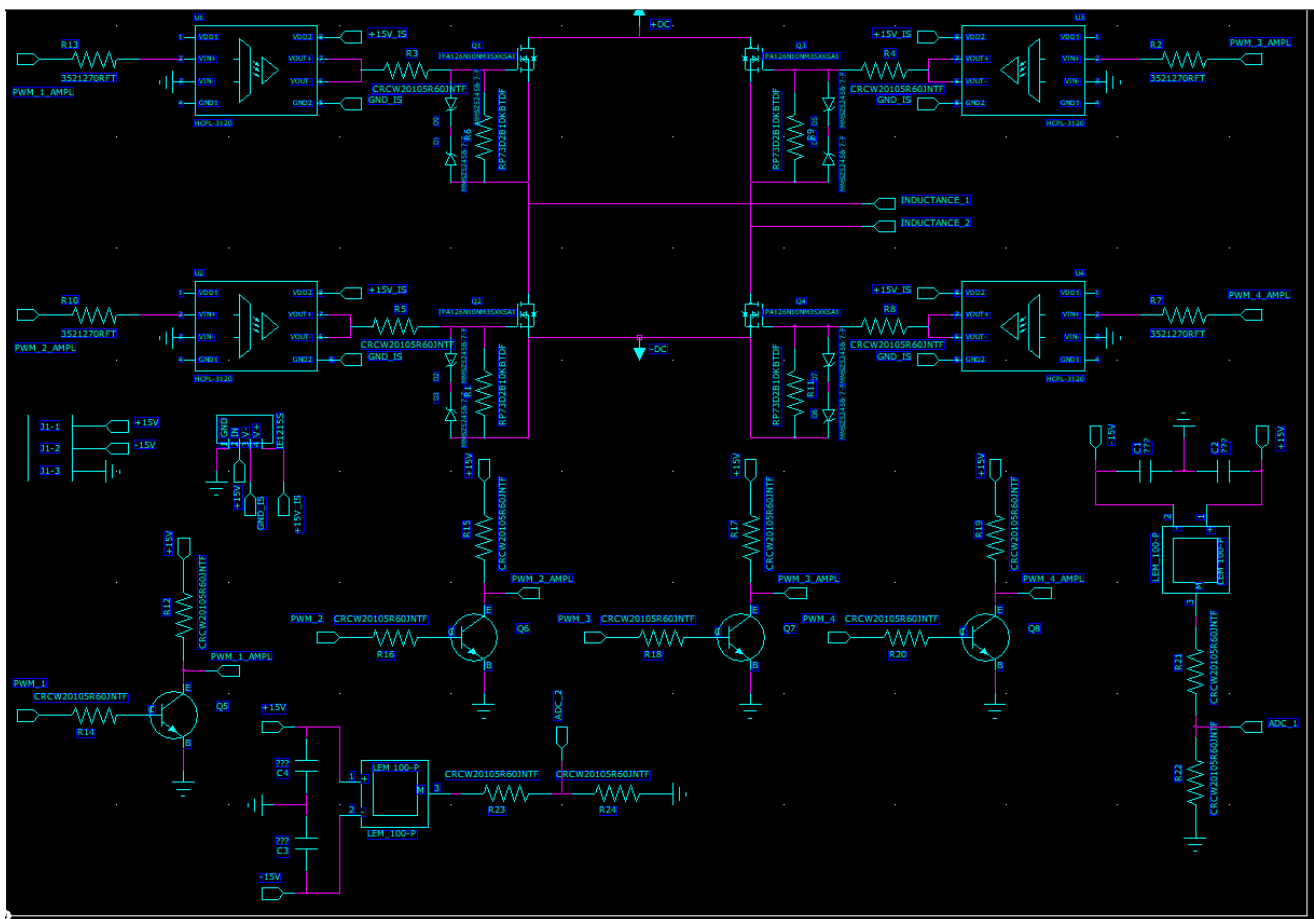
→ Funcionamento como conversor elevador

Resultados obtidos com um K_p de 100 e K_i de 0,1



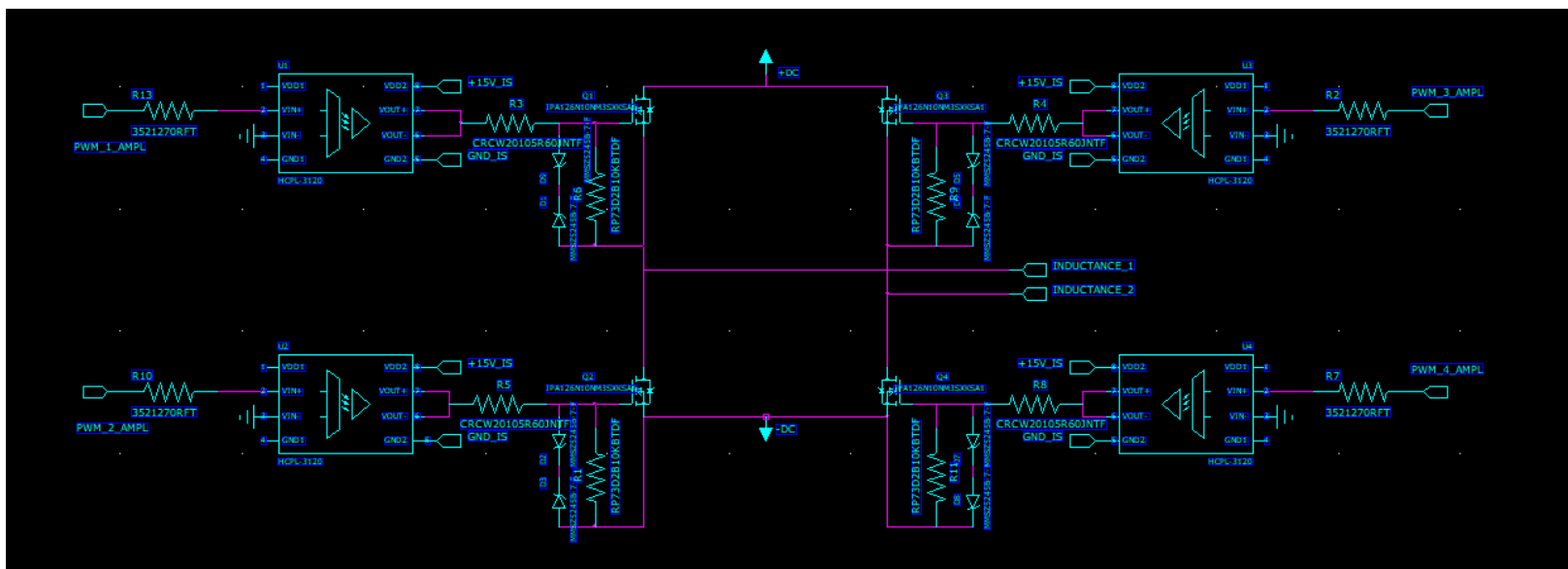
DESCRIÇÃO DAS TAREFAS REALIZADAS E RESULTADOS OBTIDOS

- Desenho PCB
 - PADS Logic



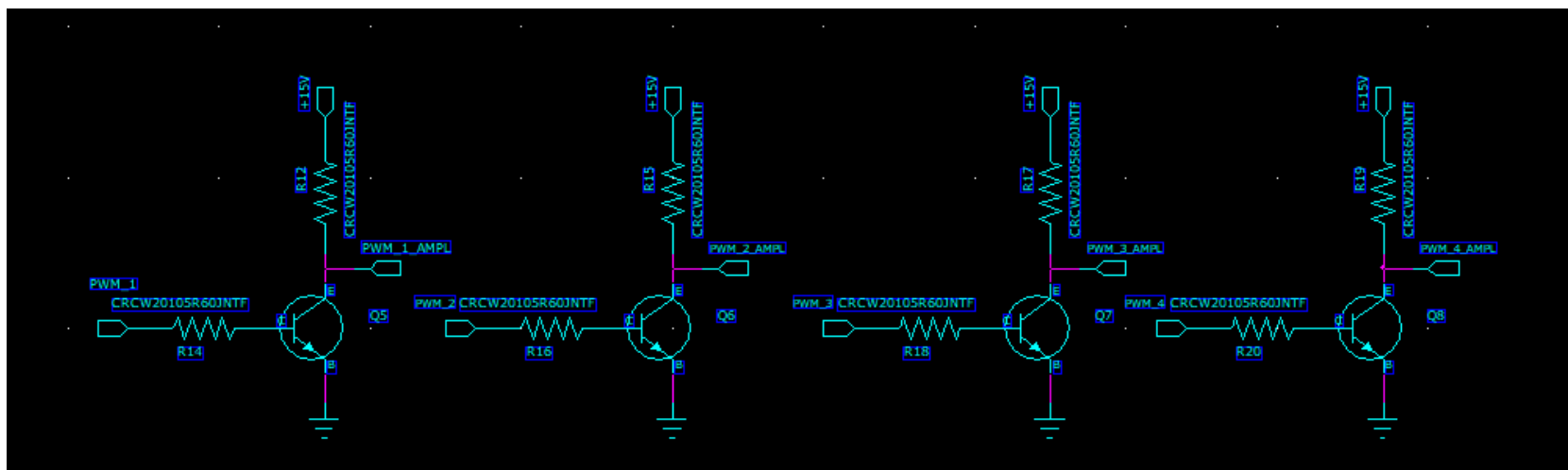
DESCRIÇÃO DAS TAREFAS REALIZADAS E RESULTADOS OBTIDOS

- Desenho PCB
 - Circuito de potência
 - Utilização de mosfets discretos
 - Circuito de driver constituído por optoacoplador



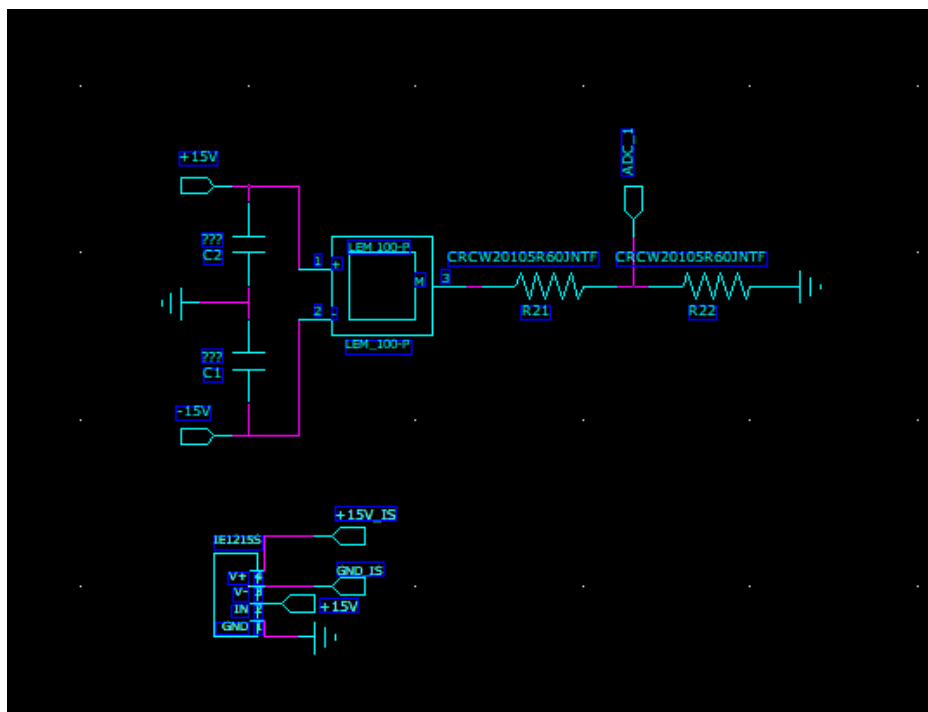
DESCRIÇÃO DAS TAREFAS REALIZADAS E RESULTADOS OBTIDOS

- Desenho PCB
 - Circuito de comando
 - Amplificação do valor da corrente
 - $10\text{mA} < I < 16\text{mA}$



DESCRIÇÃO DAS TAREFAS REALIZADAS E RESULTADOS OBTIDOS

- Desenho PCB
 - Circuito de aquisição de sinal



FIM

Obrigado pela vossa atenção!