Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Pós-Graduação em Desen. de Produtos Eletrônicos
Conversores Estáticos e Fontes Chaveadas

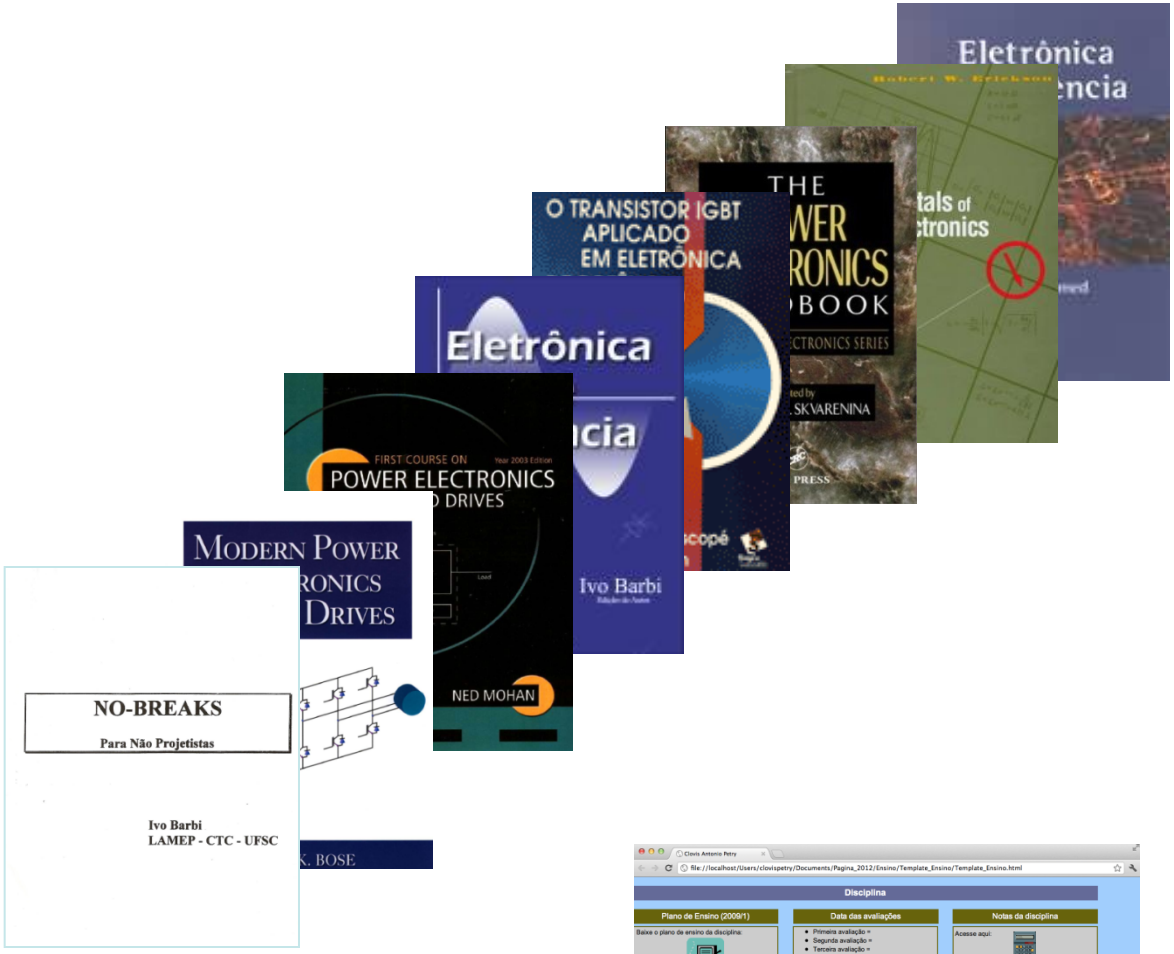
Conversores CC-CA e CA-CA

Prof. Clóvis Antônio Petry.

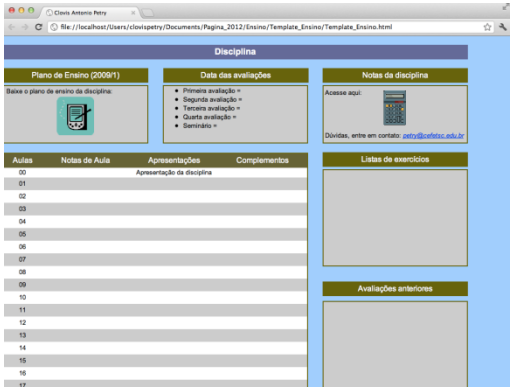
Prof. Joabel Moia.

Florianópolis, abril de 2014.

Bibliografia para esta aula



www.ProfessorPetry.com.br



Conteúdo desta aula

Conversores CC-CA:

1. Introdução;
2. Principais características;
3. Inversor monofásico meia ponte;
4. Inversor monofásico ponte completa;
5. Outras topologias de inversores de tensão;
6. Semicondutores.

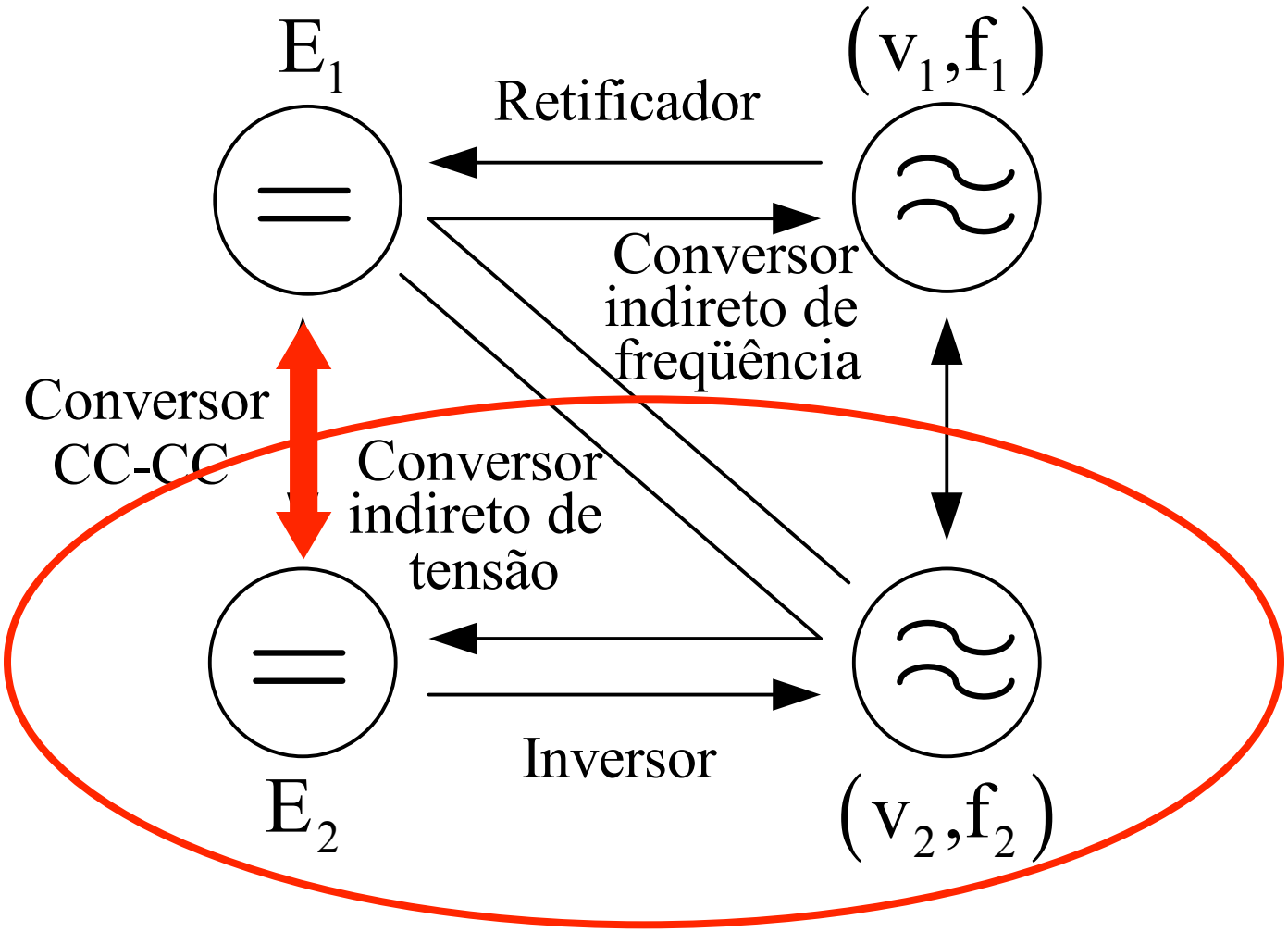
Conversores CA-CA:

1. Introdução;
2. Principais características;
3. Conversores CA-CA PWM;

Microrredes e Redes Inteligentes de Energia Elétrica

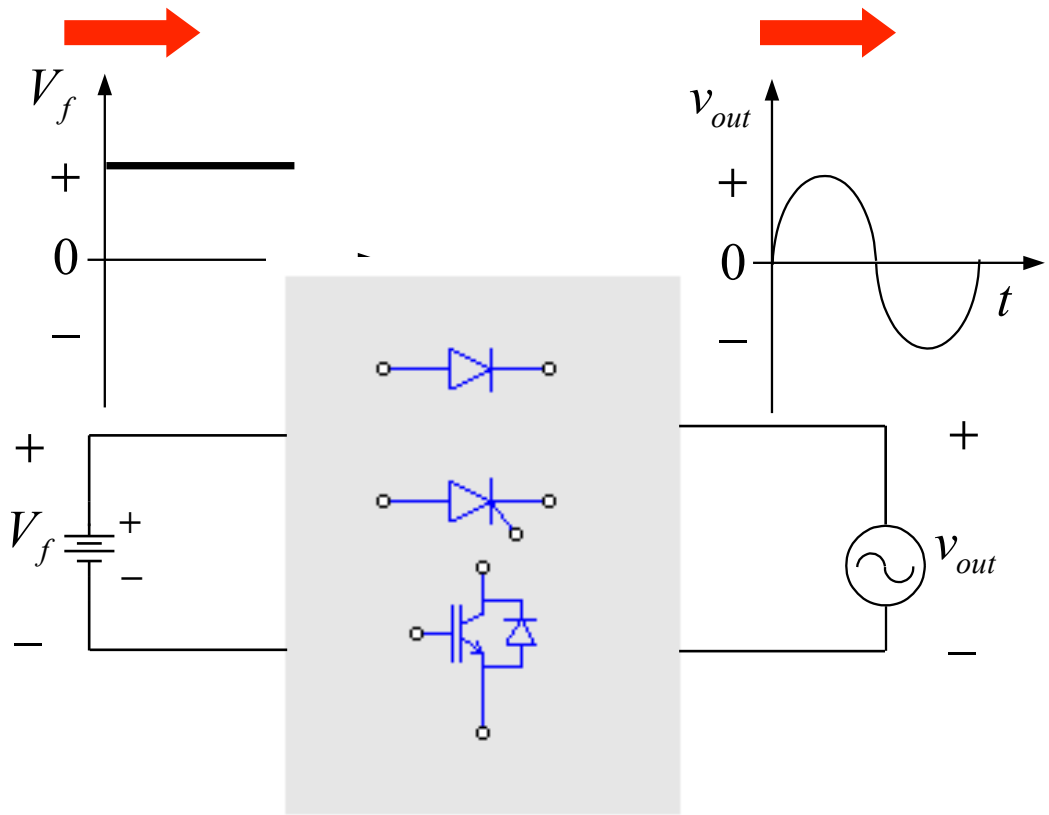
Conversores CC-CA (inversores)

Conversores CC-CA



Princípio geral:

Controla o fluxo de potência entre uma fonte de tensão contínua e outra alternada.



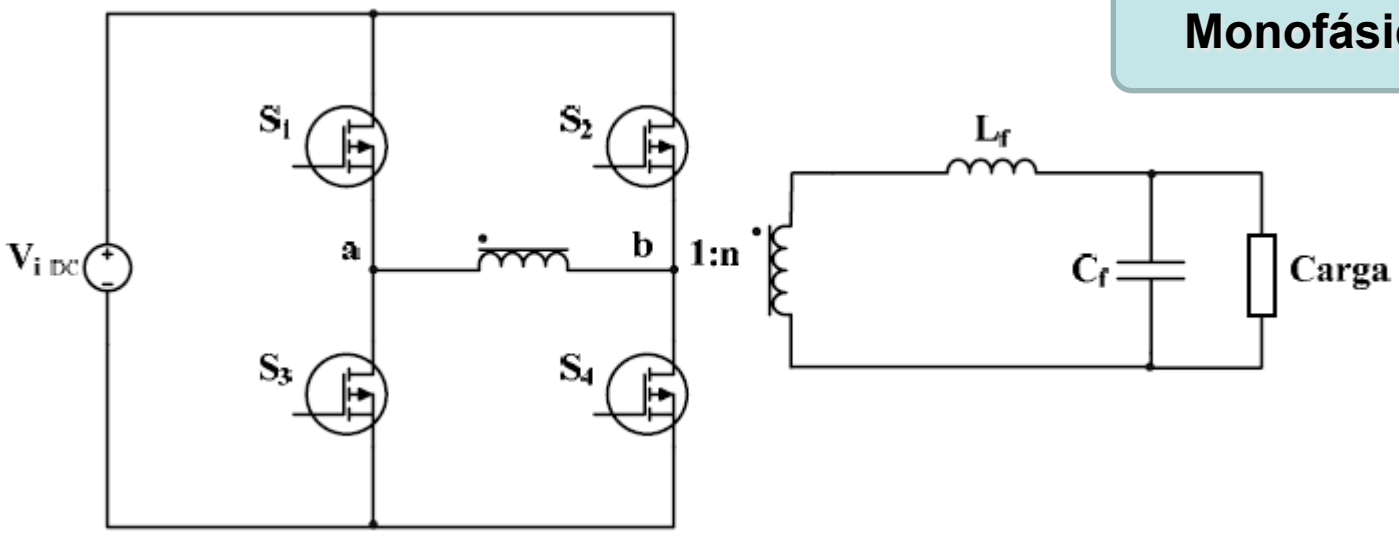
Conversores CC-CA

Conversores CC-CA:

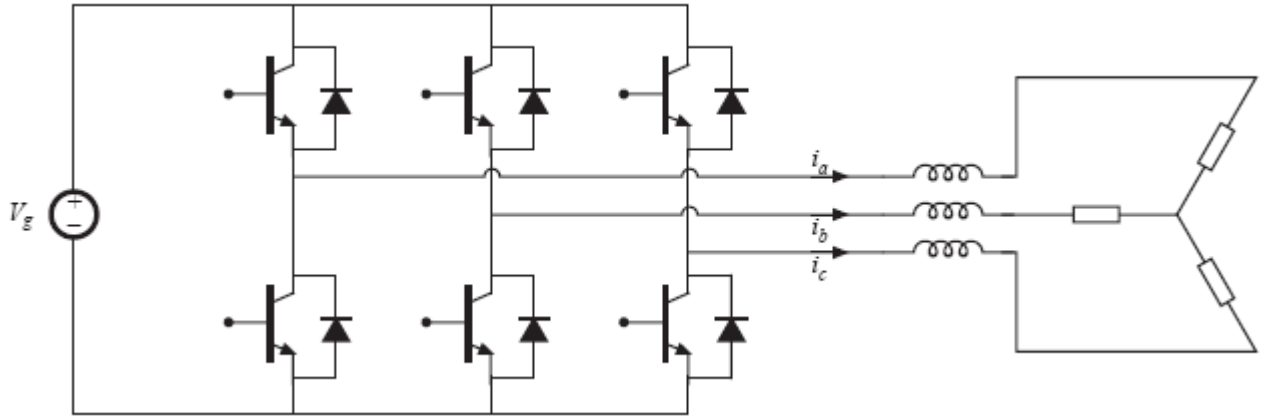
- Denominados de inversores: convertem tensão contínua em tensões alternadas;
- Podem ser monofásicos, trifásicos ou n-fásicos;
- Unidirecionais ou bidirecionais;
- Comandados em alta freqüência
- Modulação simples ou complexa;
- Dois níveis ou multiníveis;
- Podem ser isolados ou não-isolados;
- Podem operar em condução contínua ou descontínua;
- Controlados no modo tensão ou corrente;
- Comutação normal ou suave;
- Inversores de tensão ou corrente;
- Aplicações dos conversores CC-CA.

Conversores CC-CA – Número de Fases

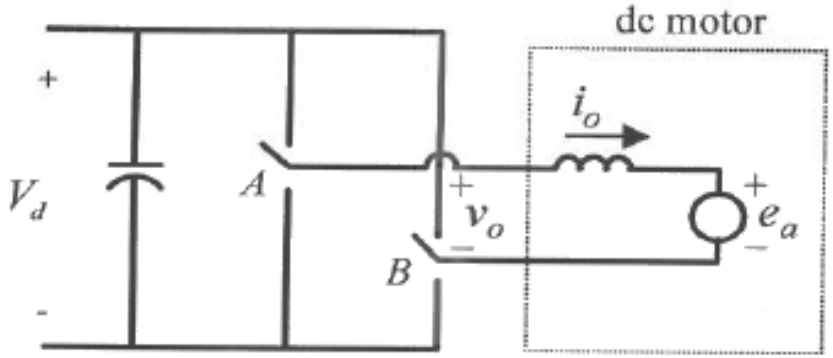
Monofásico

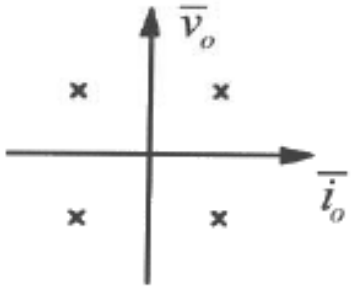


Trifásico

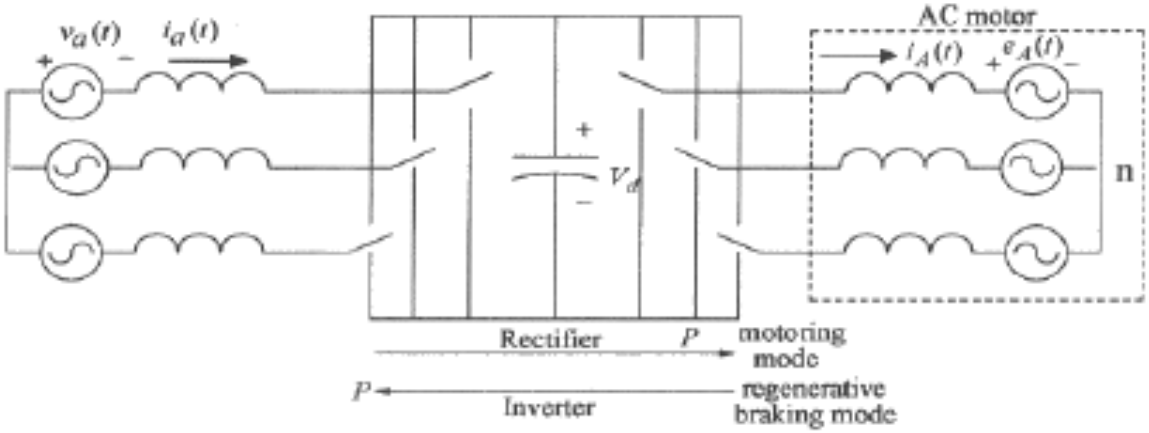


Conversores CC-CA - Bidirecionalidade



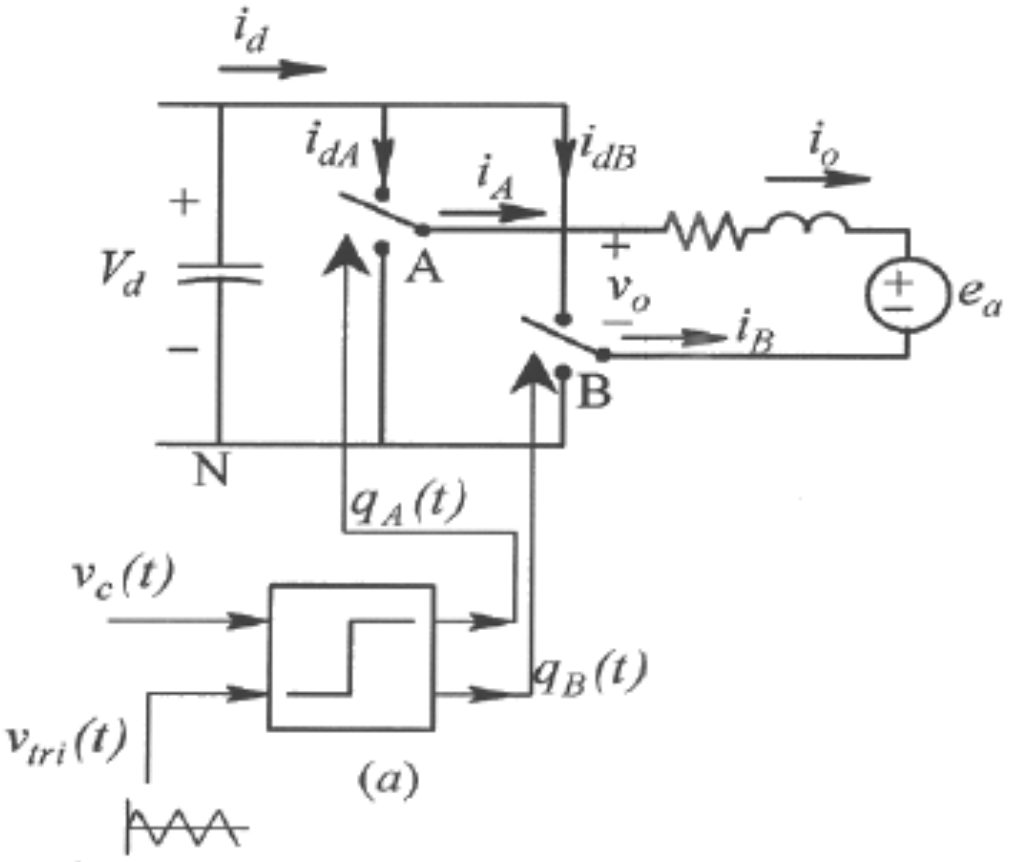


Unidirecional?



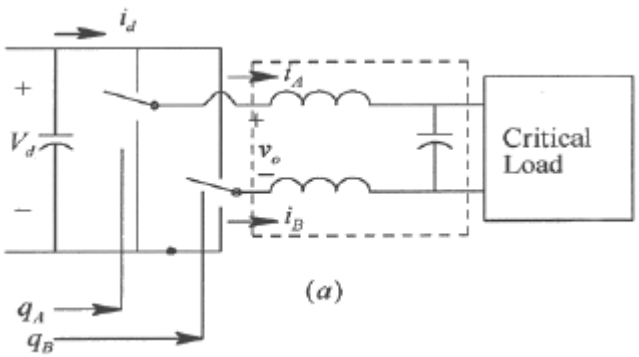
Bidirecional

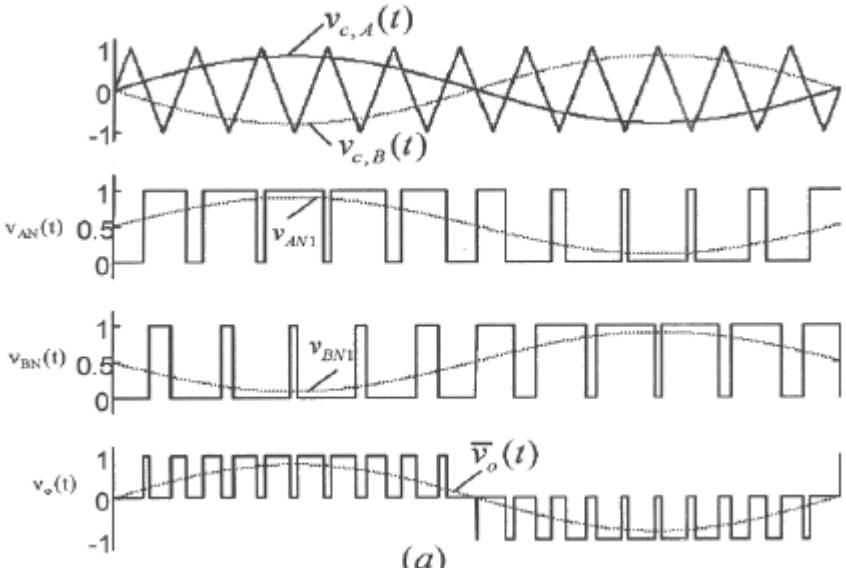
Conversores CC-CA - Comando



PWM alta freqüência

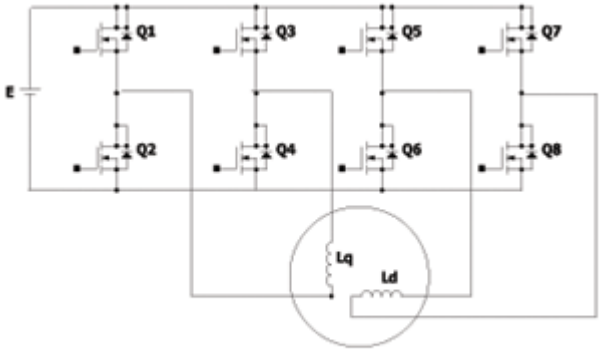
Conversores CC-CA - Modulação

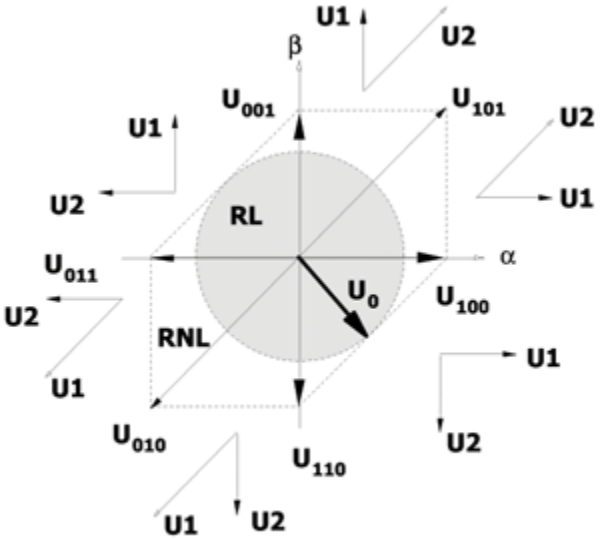




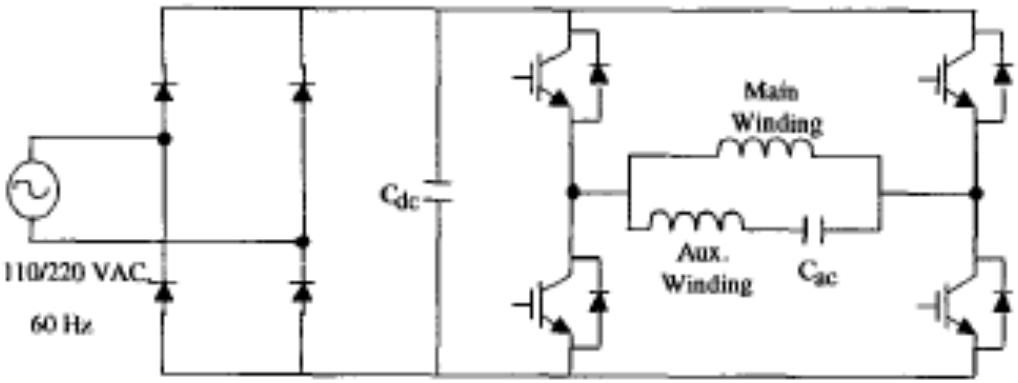
PWM Senoidal

Vetorial

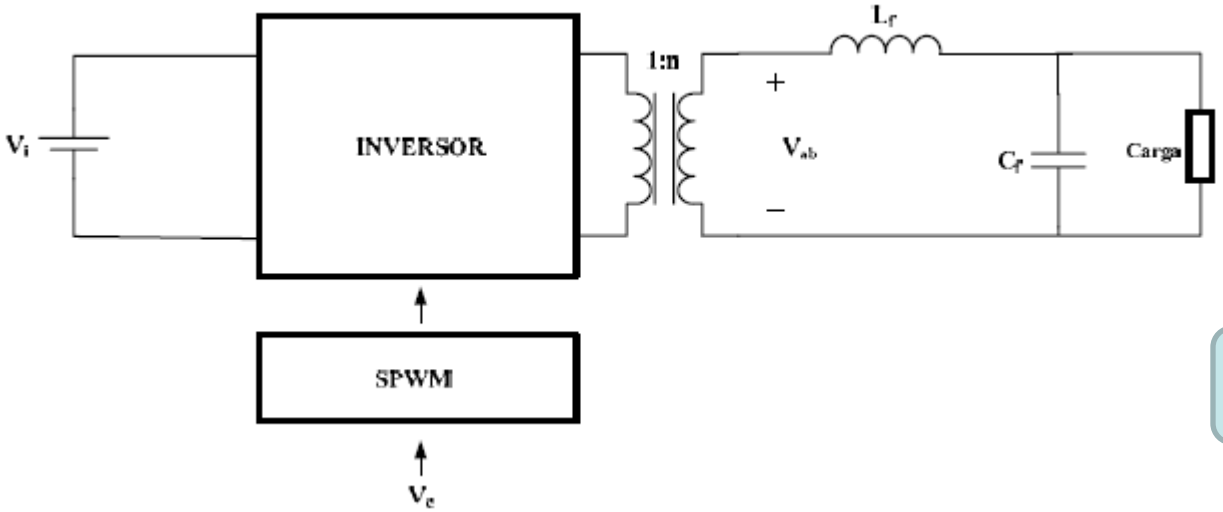




Conversores CC-CA - Isolamento

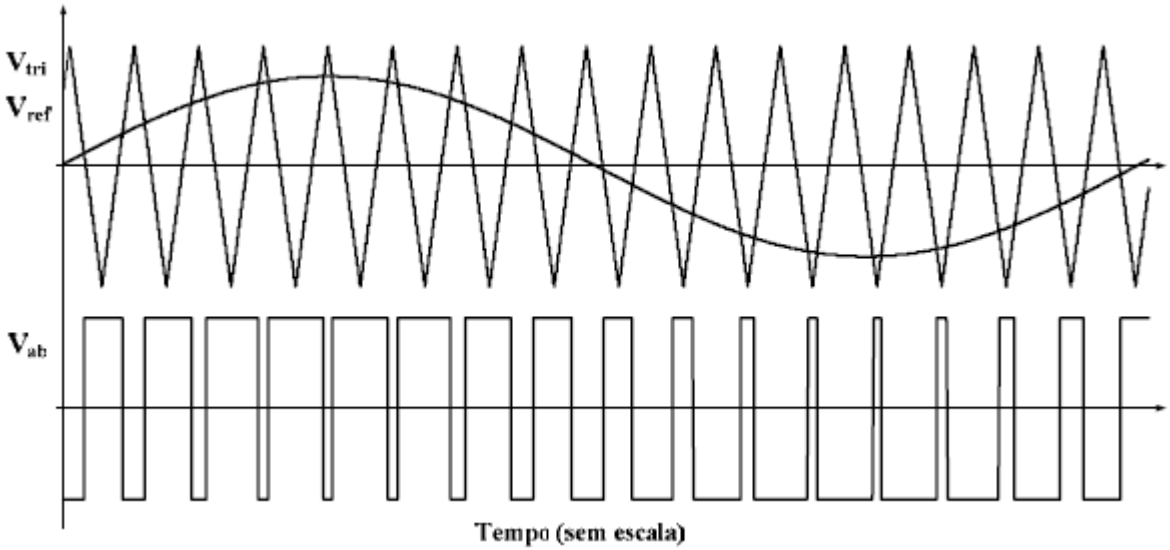


Não-isolado

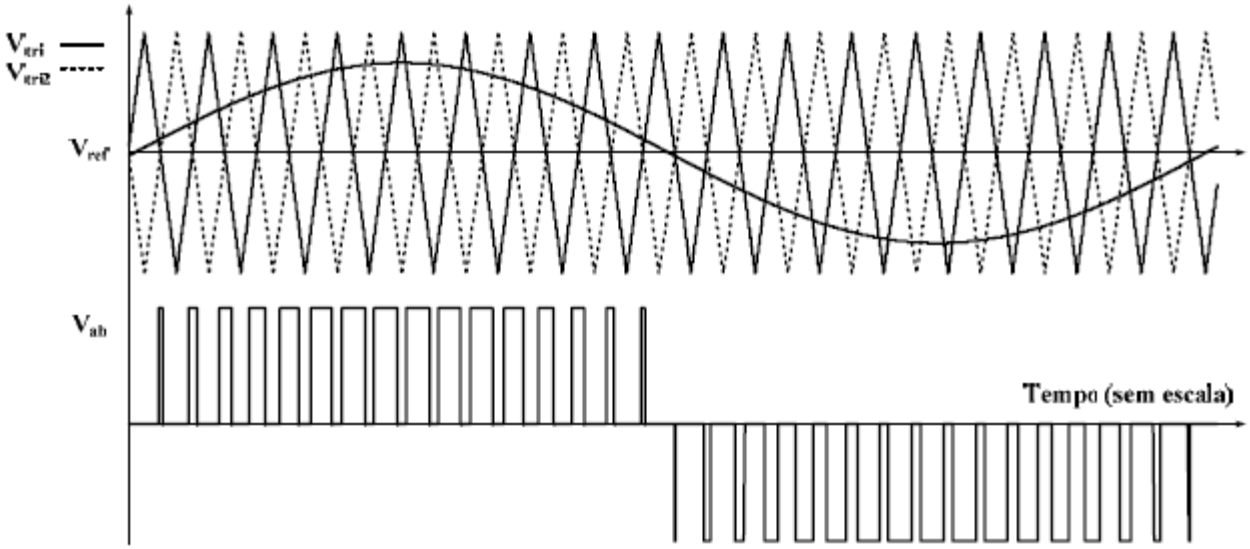


Isolado

Conversores CC-CA – Número de Níveis

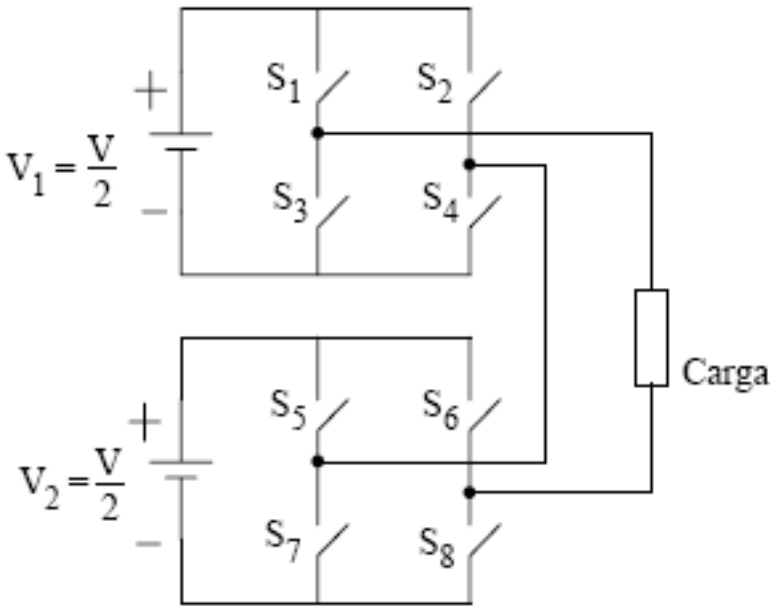


Dois níveis

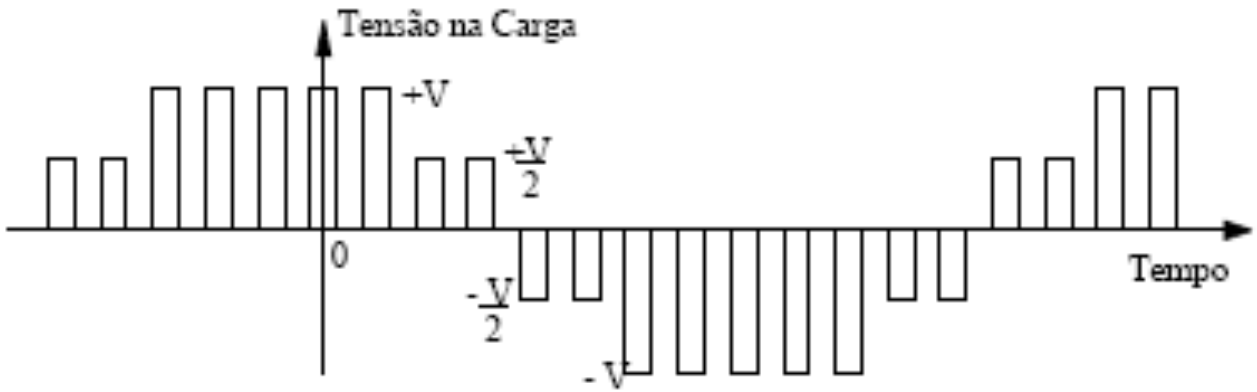


Três níveis

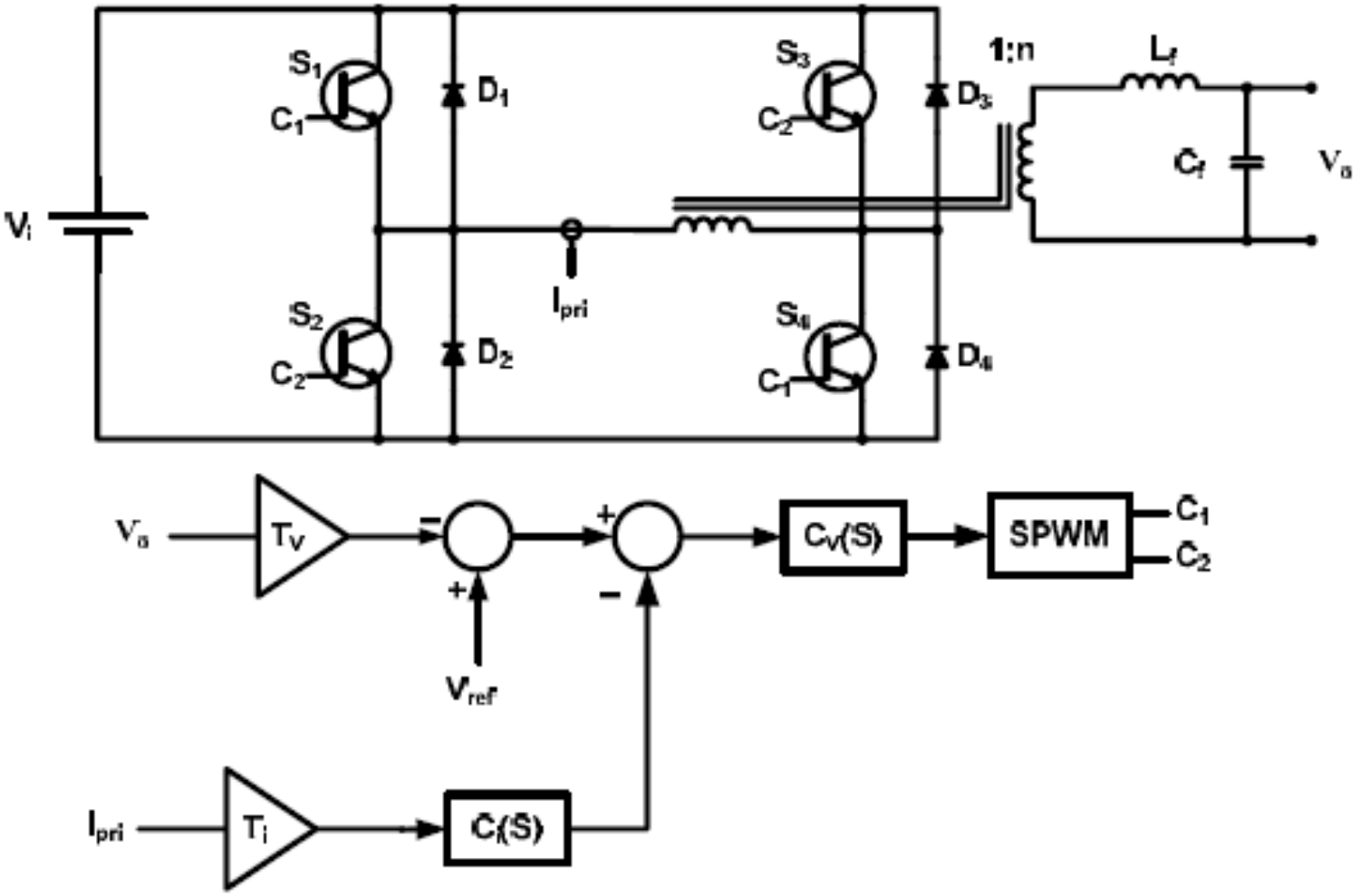
Conversores CC-CA – Número de Níveis



Multiníveis

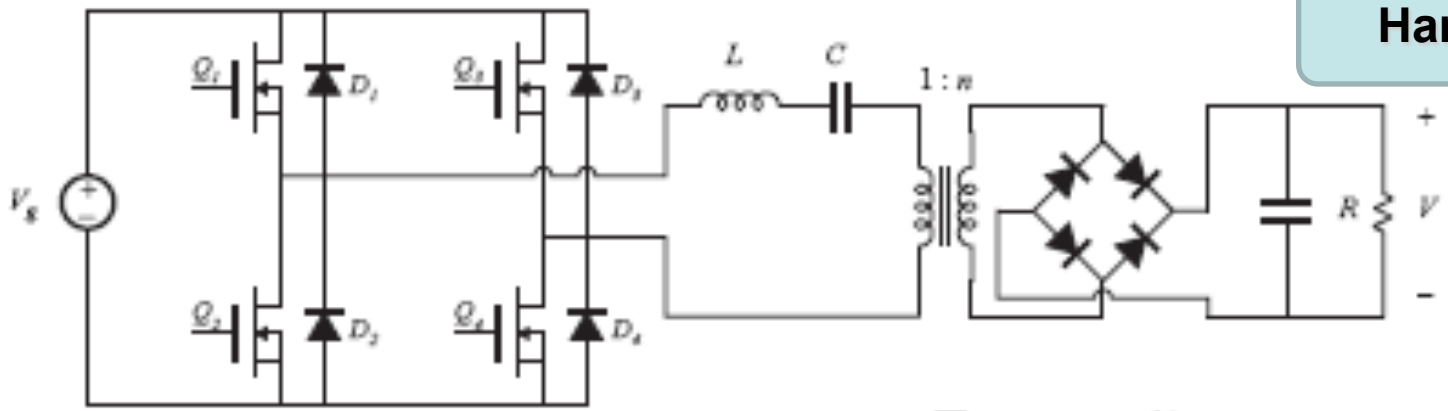


Conversores CC-CA – Controle de V ou I

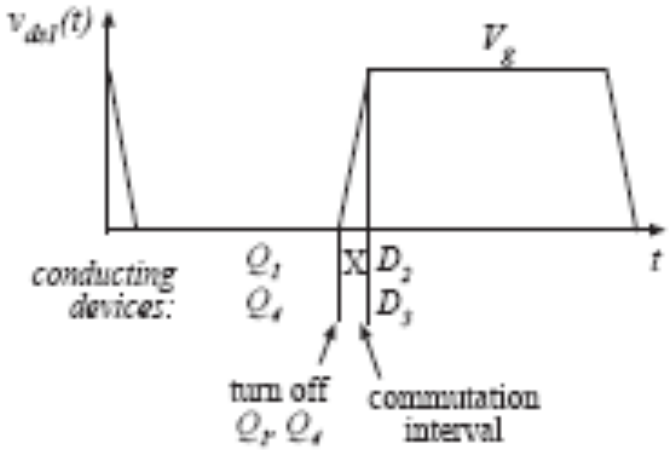


Conversores CC-CA - Comutação

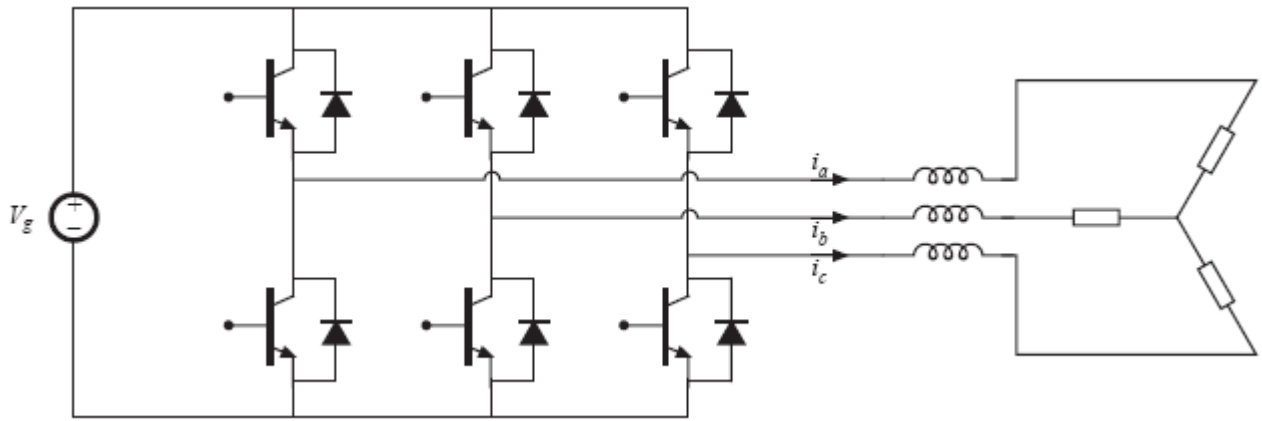
Hard x soft



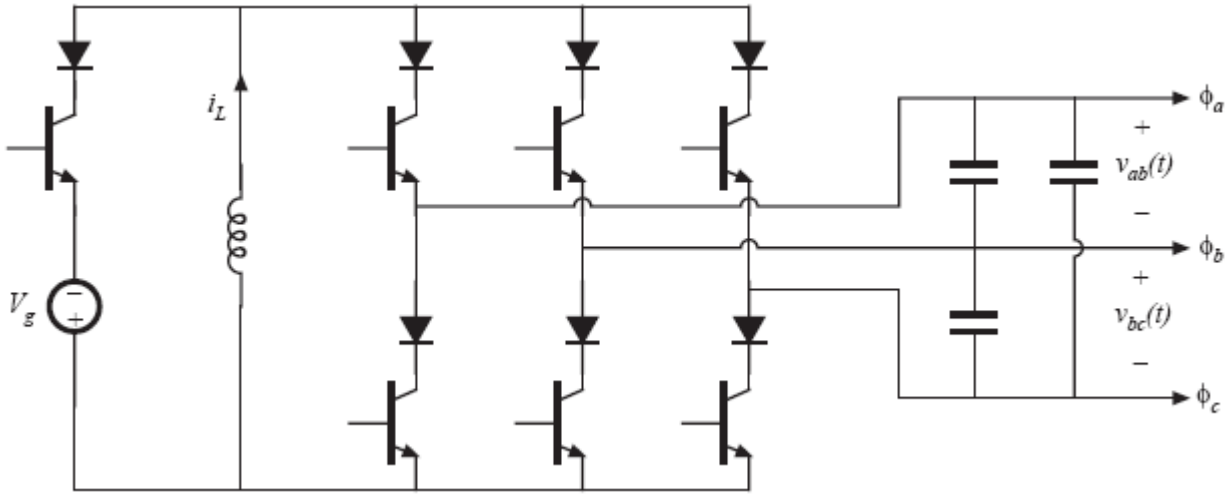
Zero voltage switching



Conversores CC-CA – Tensão ou Corrente



Tensão - VSI

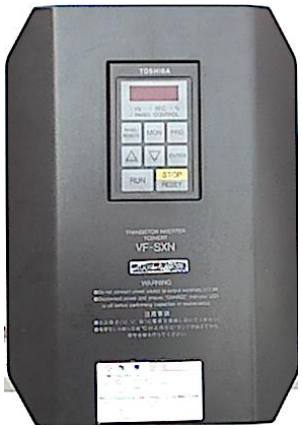


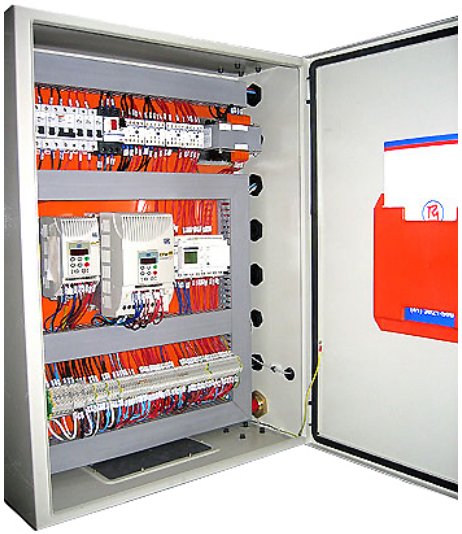
Corrente - CSI

Conversores CC-CA - Aplicações

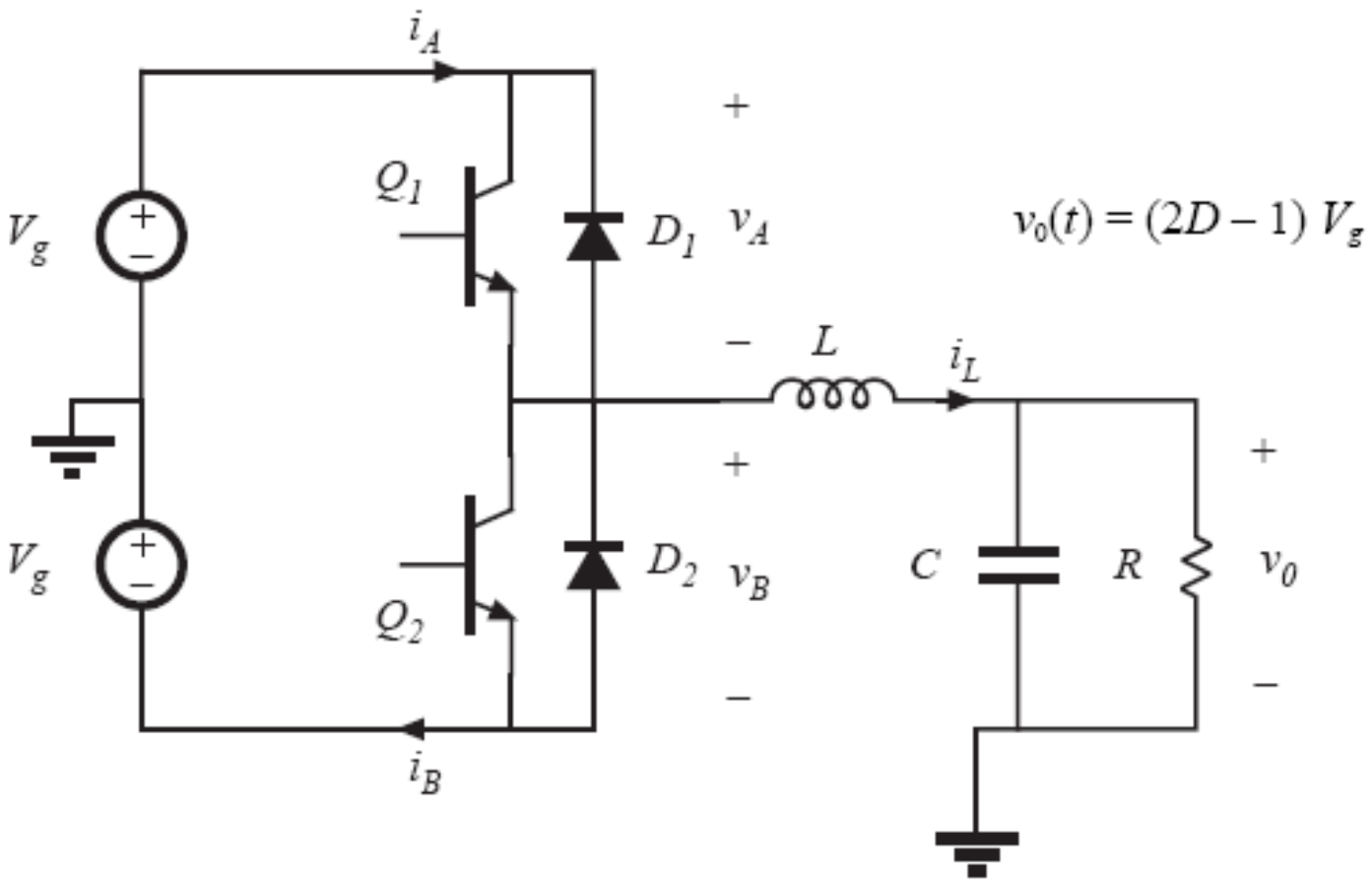
Algumas aplicações:

- Acionamento de motores de corrente contínua;
- Acionamento de motores de corrente alternada;
- Energias alternativas;
- Isolamento em alta freqüência;
- Filtros ativos;
- Estabilizadores de tensão;
- UPS;
- Aplicações espaciais, aeronáuticas e veiculares
- Entre outras.



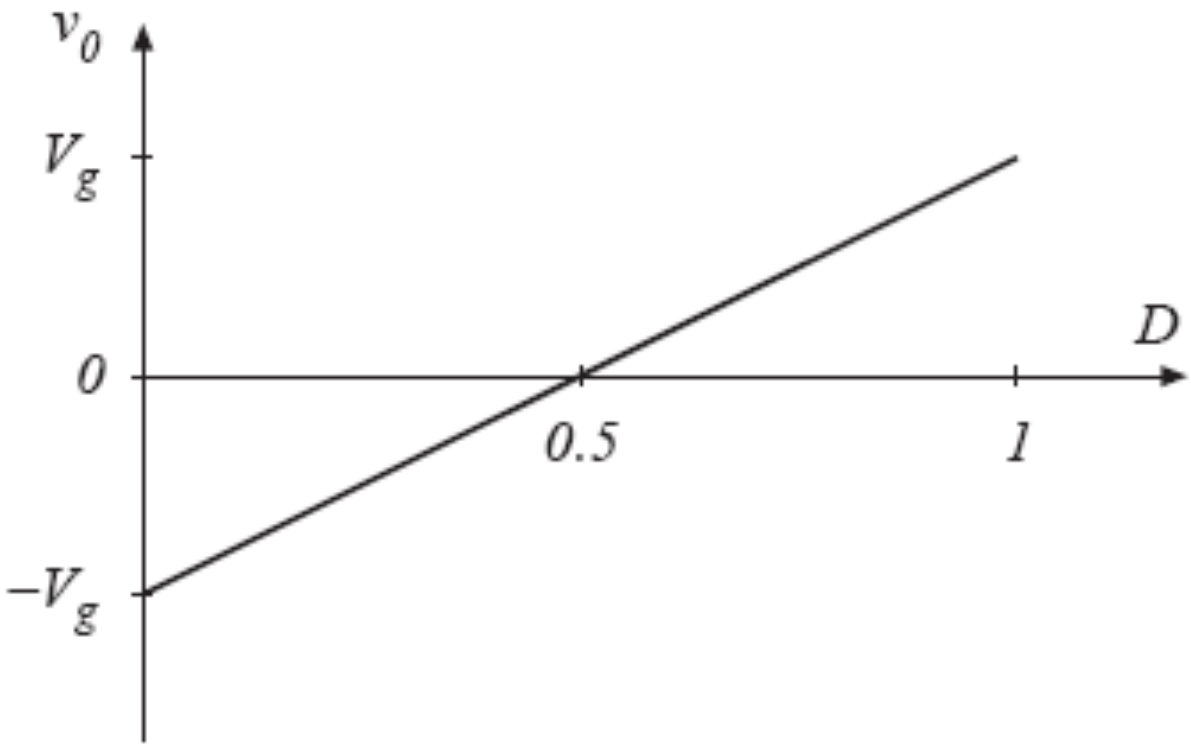


Inversor Monofásico Meia Ponte



Inversor Monofásico Meia Ponte

$$v_0(t) = (2D - 1)\, V_g$$

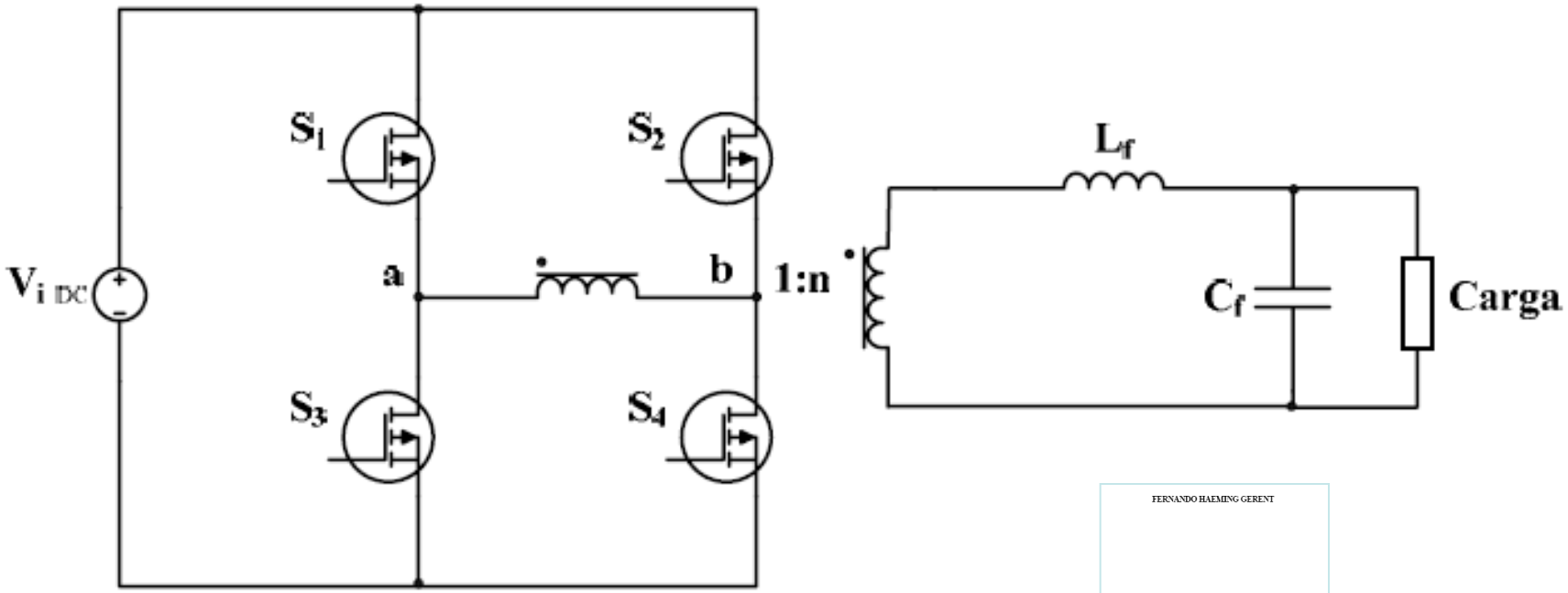


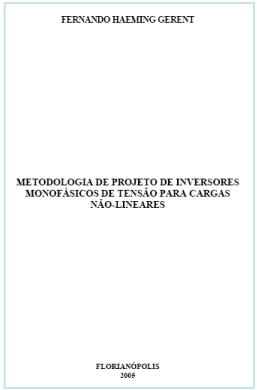
$$D(t) = 0.5 + D_m \sin(\omega t)$$

$$i_L(t) = \frac{v_0(t)}{R} = (2D - 1)\frac{V_g}{R}$$

Inversor Monofásico Ponte Completa

Estrutura do conversor:




FERNANDO HAEMING GERENT

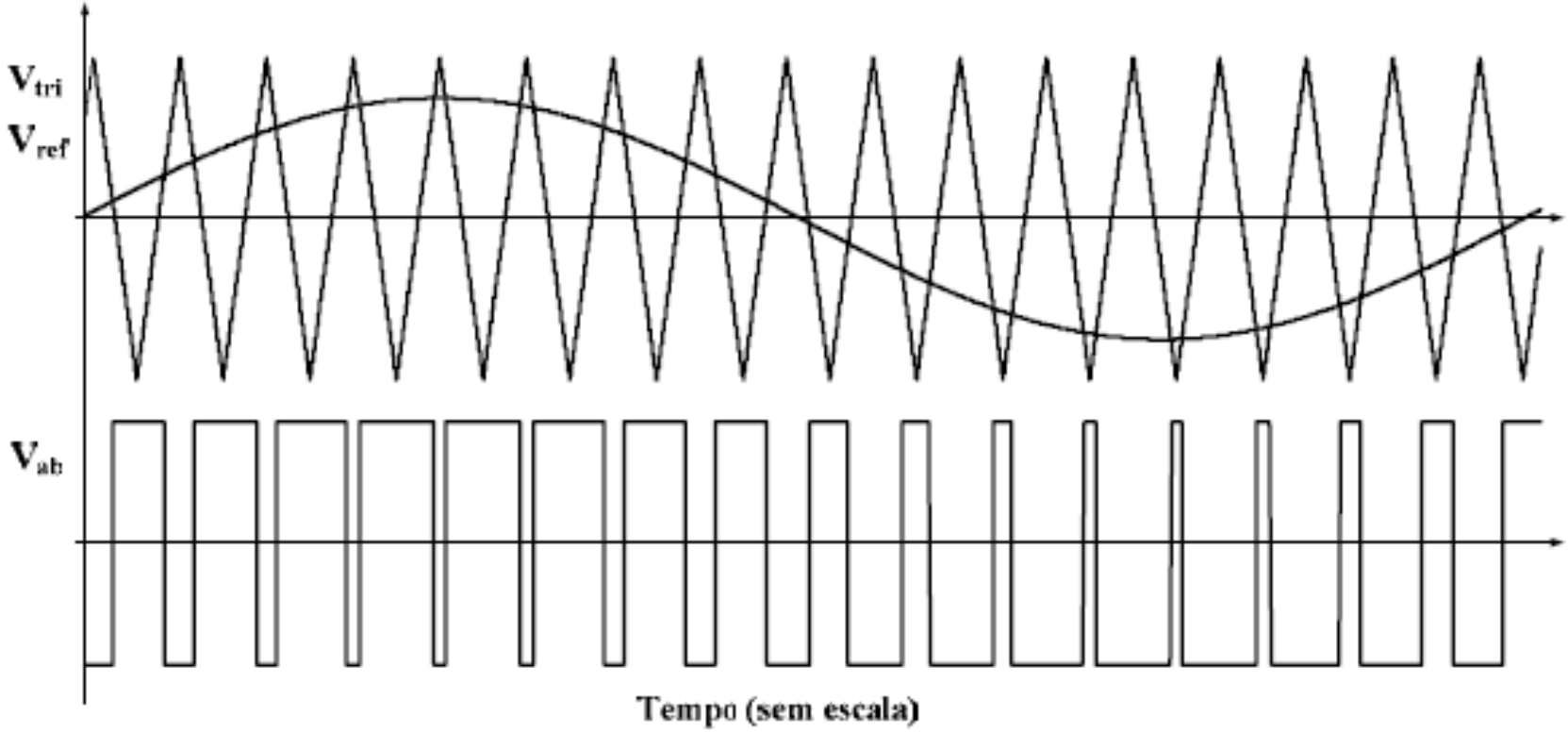
METODOLOGIA DE PROJETO DE INVERSORES MONOFÁSICOS DE TENSÃO PARA CARGAS NÃO-LINEARES

FLORIANÓPOLIS
2009

Dissertação de Fernando H. Gerente

Inversor Monofásico Ponte Completa

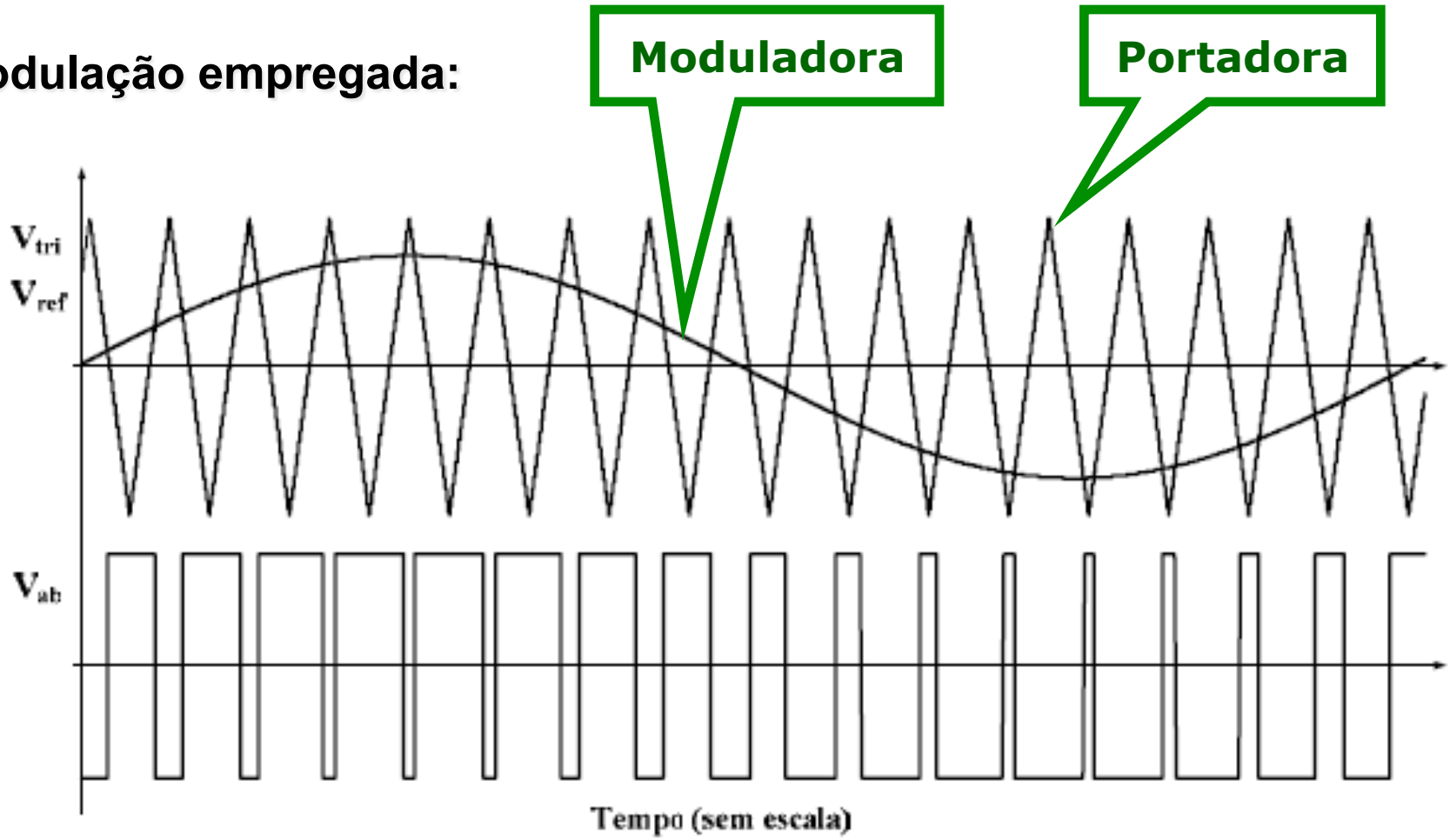
Modulação empregada:



Bipolar ou dois níveis

Inversor Monofásico Ponte Completa

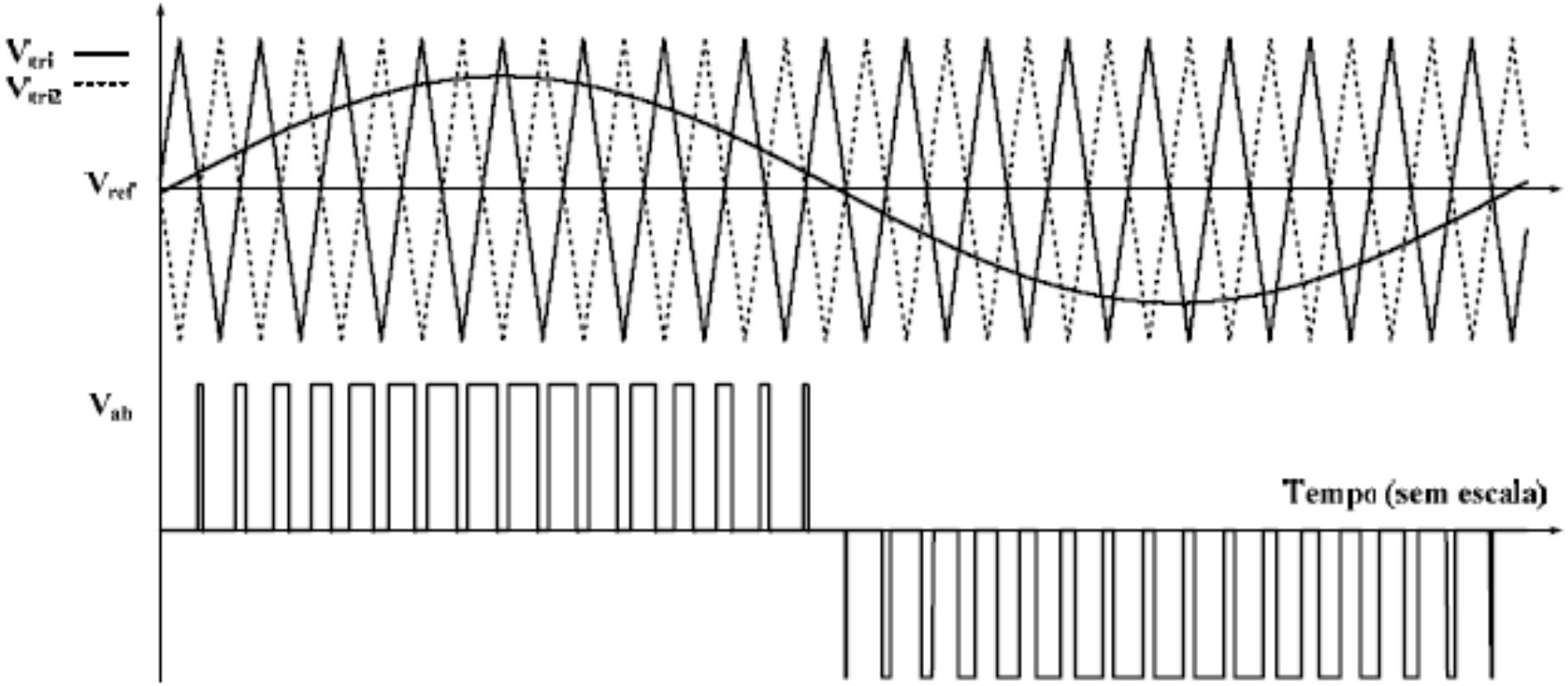
Modulação empregada:



Bipolar ou dois níveis

Inversor Monofásico Ponte Completa

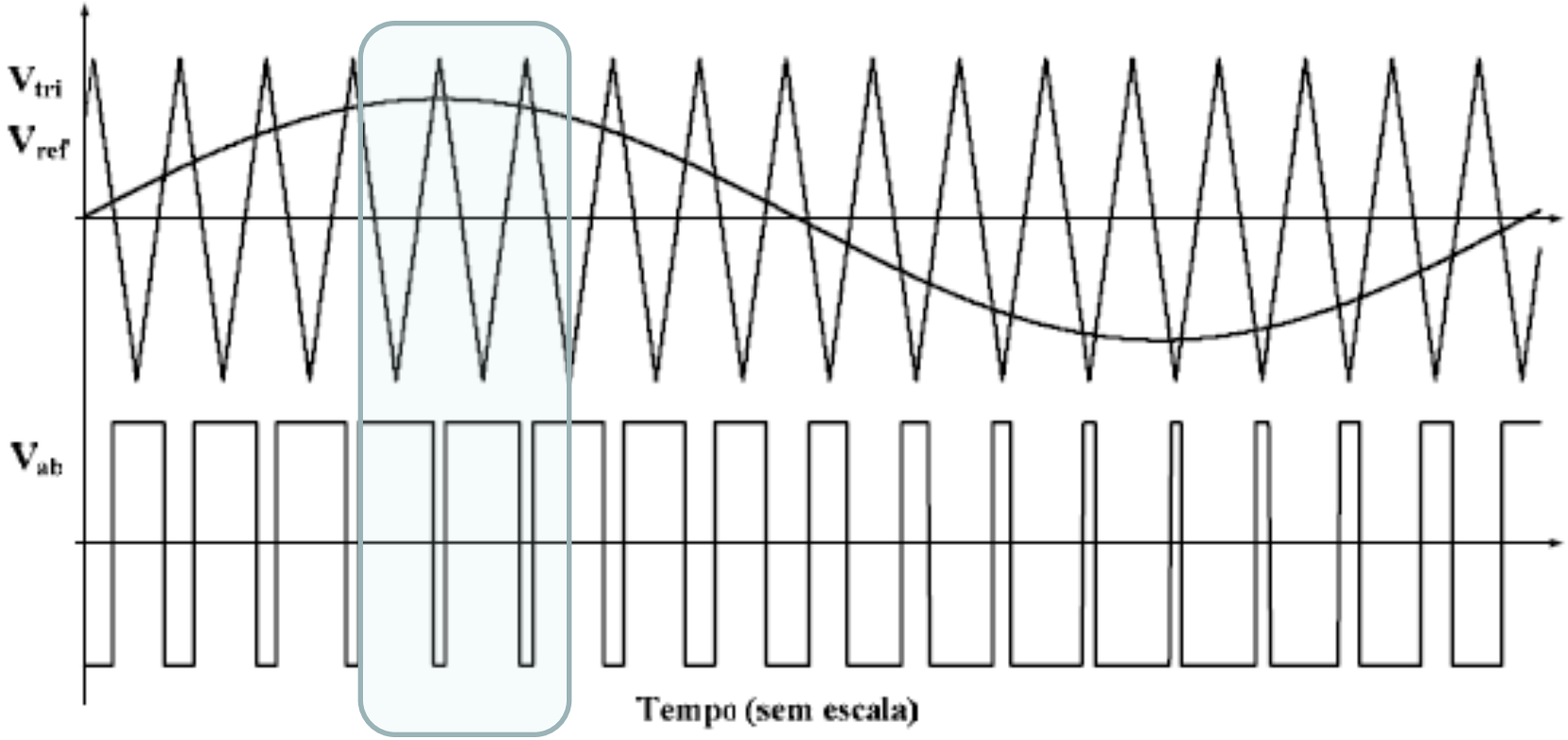
Modulação empregada:



Unipolar ou três níveis

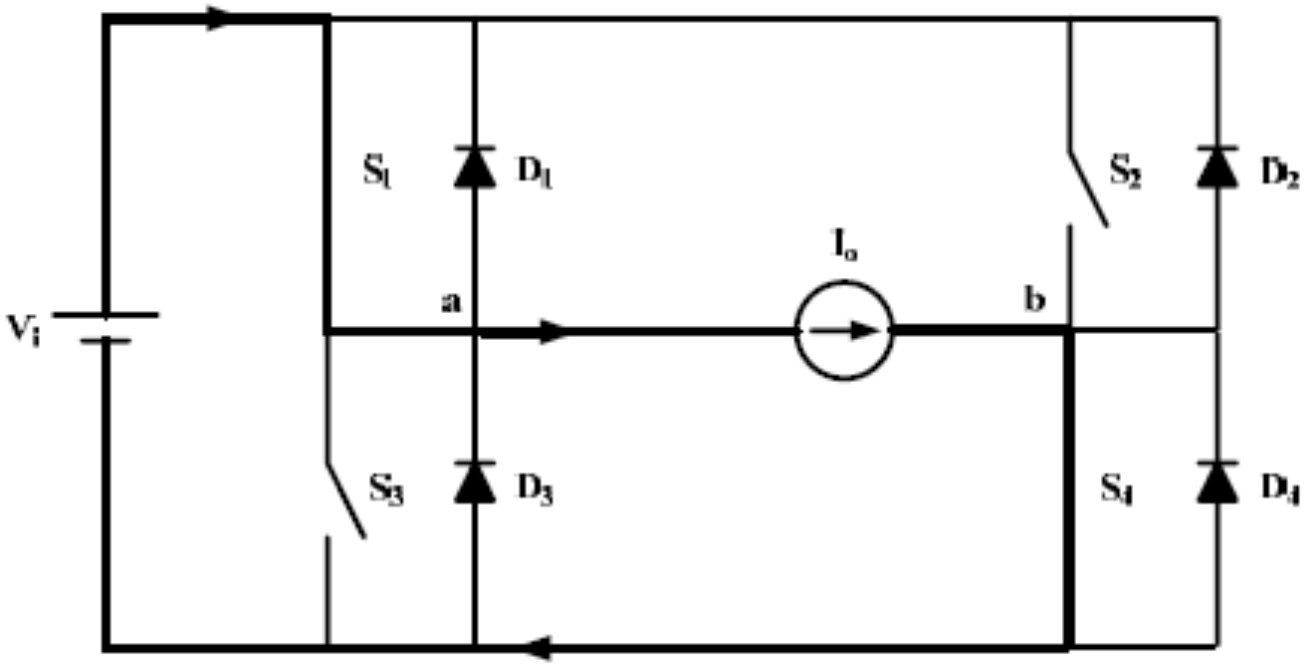
Inversor Monofásico Ponte Completa

Etapas de operação (modulação SPWM bipolar):



Inversor Monofásico Ponte Completa

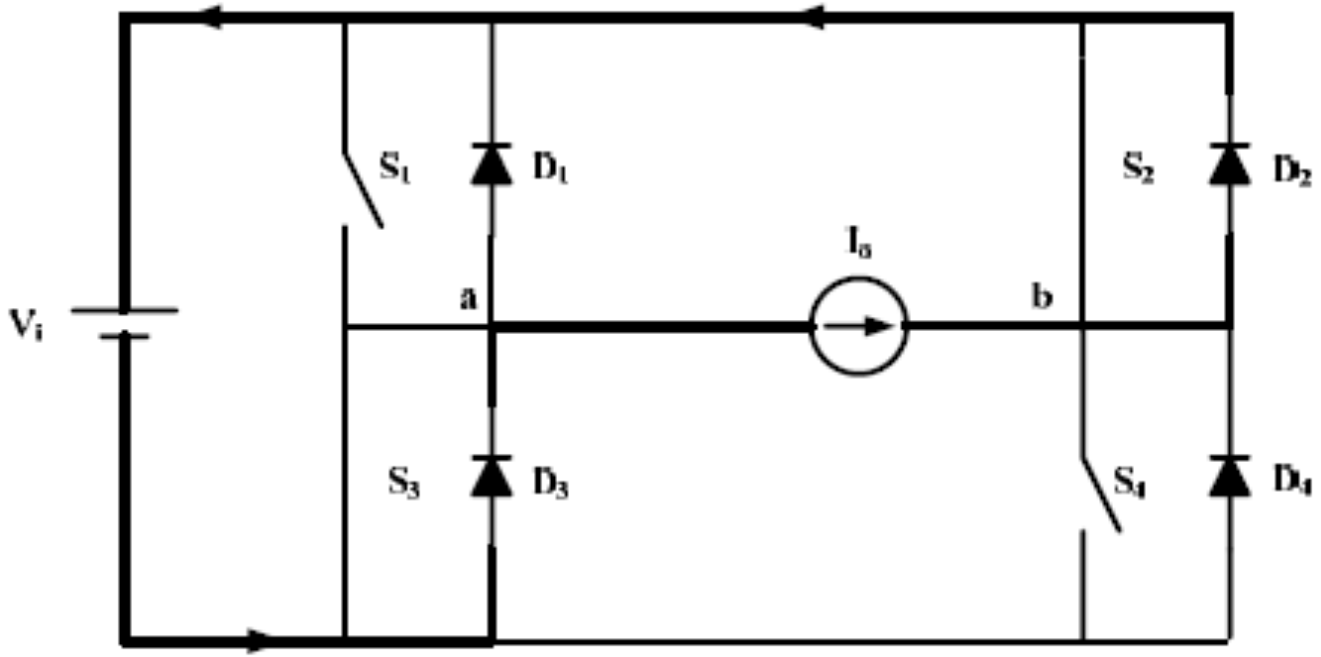
Etapas de operação (modulação SPWM bipolar):



Primeira etapa de operação

Inversor Monofásico Ponte Completa

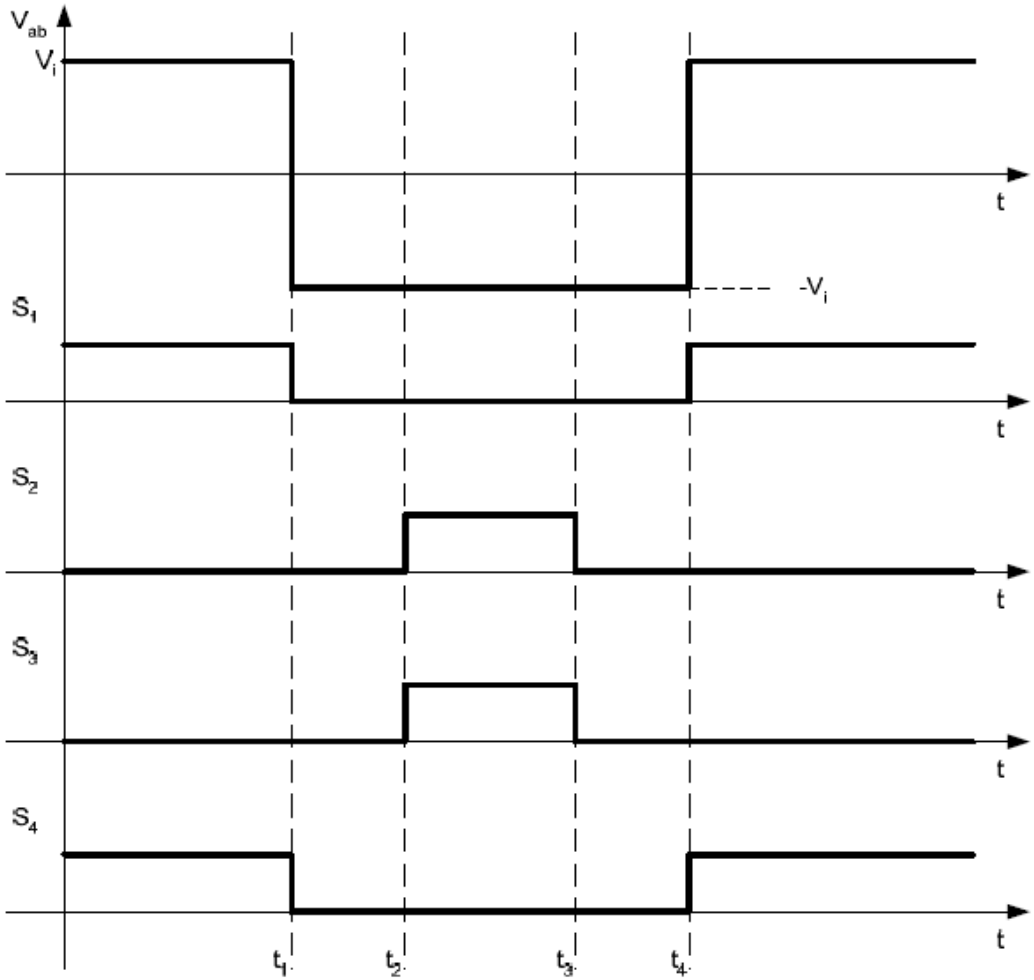
Etapas de operação (modulação SPWM bipolar):



Segunda etapa de operação

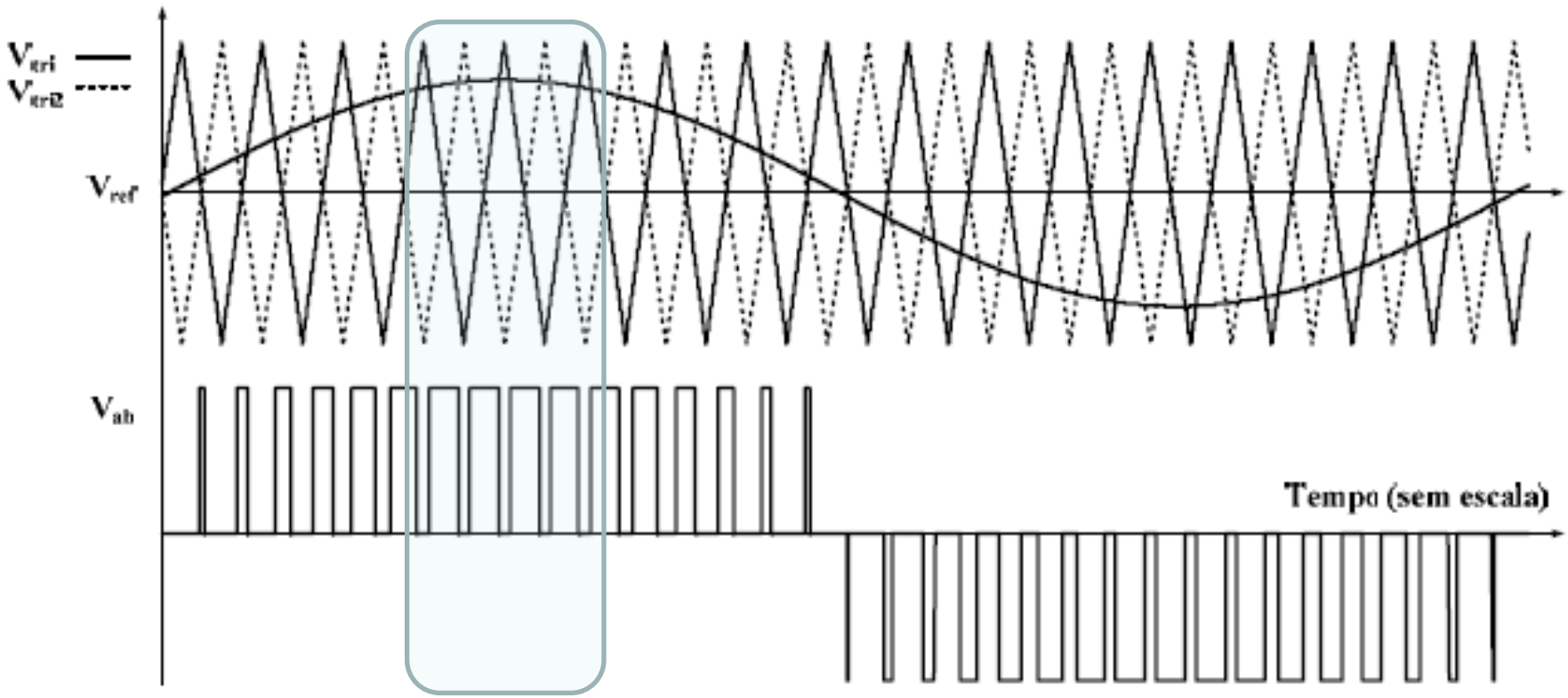
Inversor Monofásico Ponte Completa

Principais formas de onda (modulação SPWM bipolar):



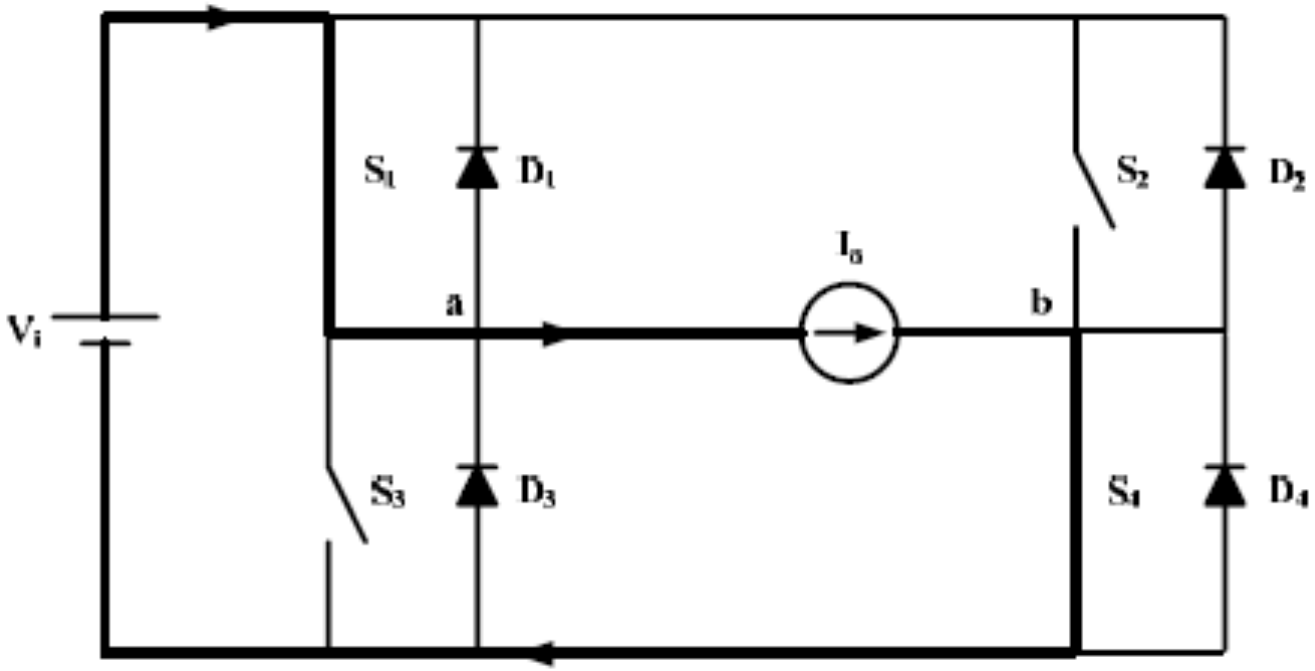
Inversor Monofásico Ponte Completa

Etapas de operação (modulação SPWM unipolar):



Inversor Monofásico Ponte Completa

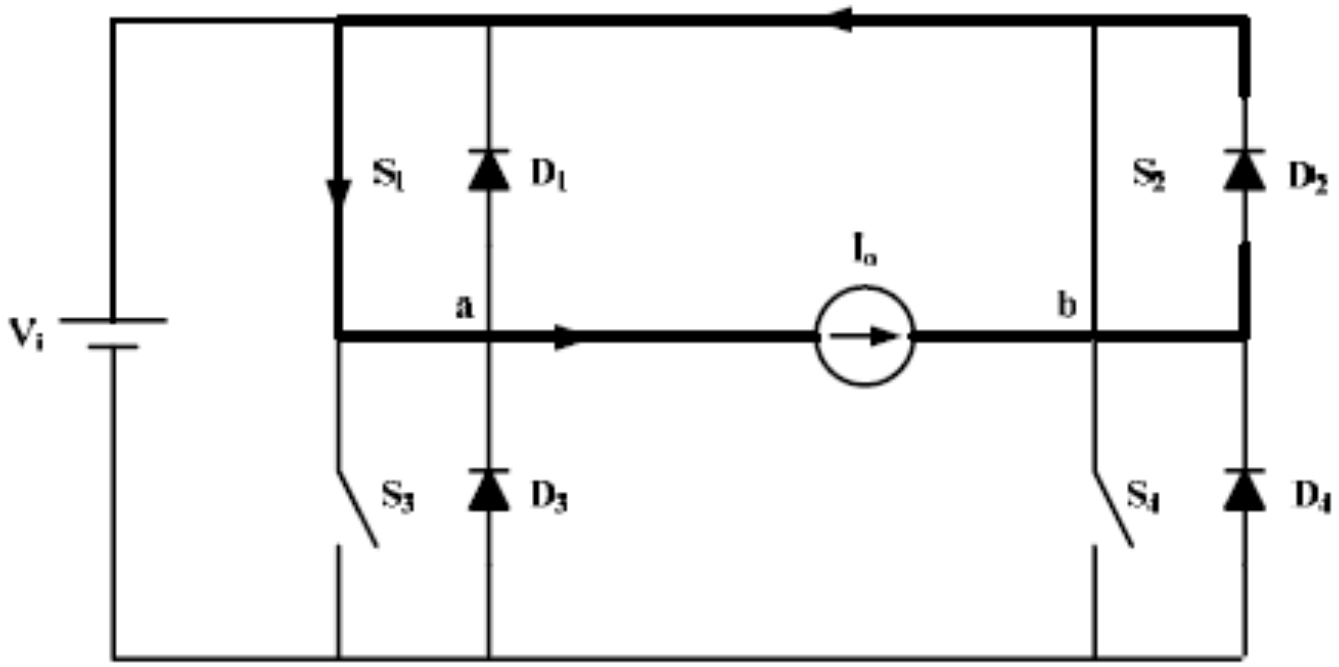
Etapas de operação (modulação SPWM unipolar):



Primeira etapa de operação

Inversor Monofásico Ponte Completa

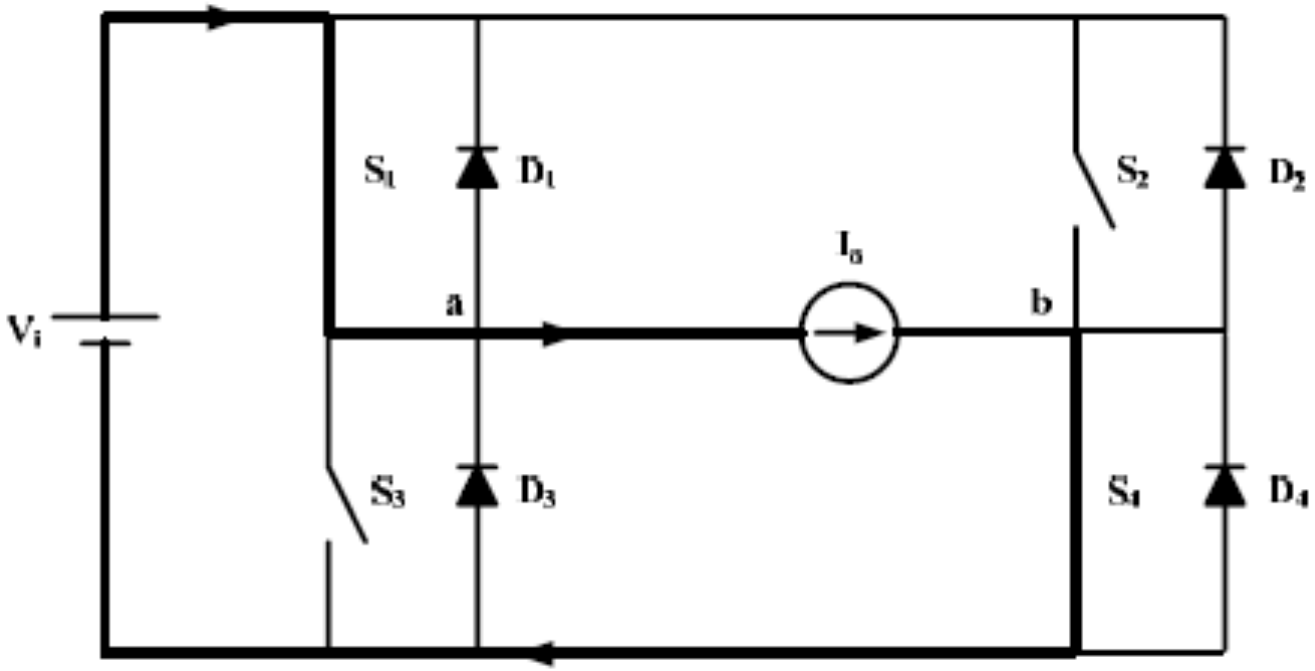
Etapas de operação (modulação SPWM unipolar):



Segunda etapa de operação

Inversor Monofásico Ponte Completa

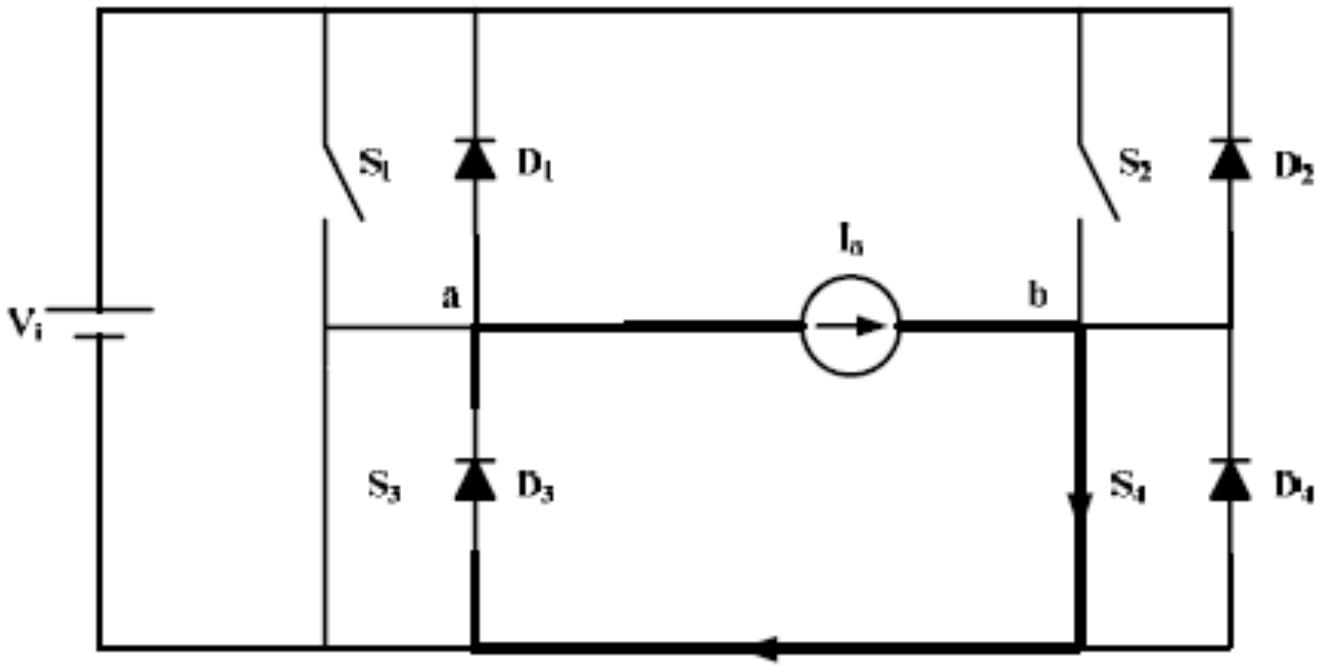
Etapas de operação (modulação SPWM unipolar):



Terceira etapa de operação

Inversor Monofásico Ponte Completa

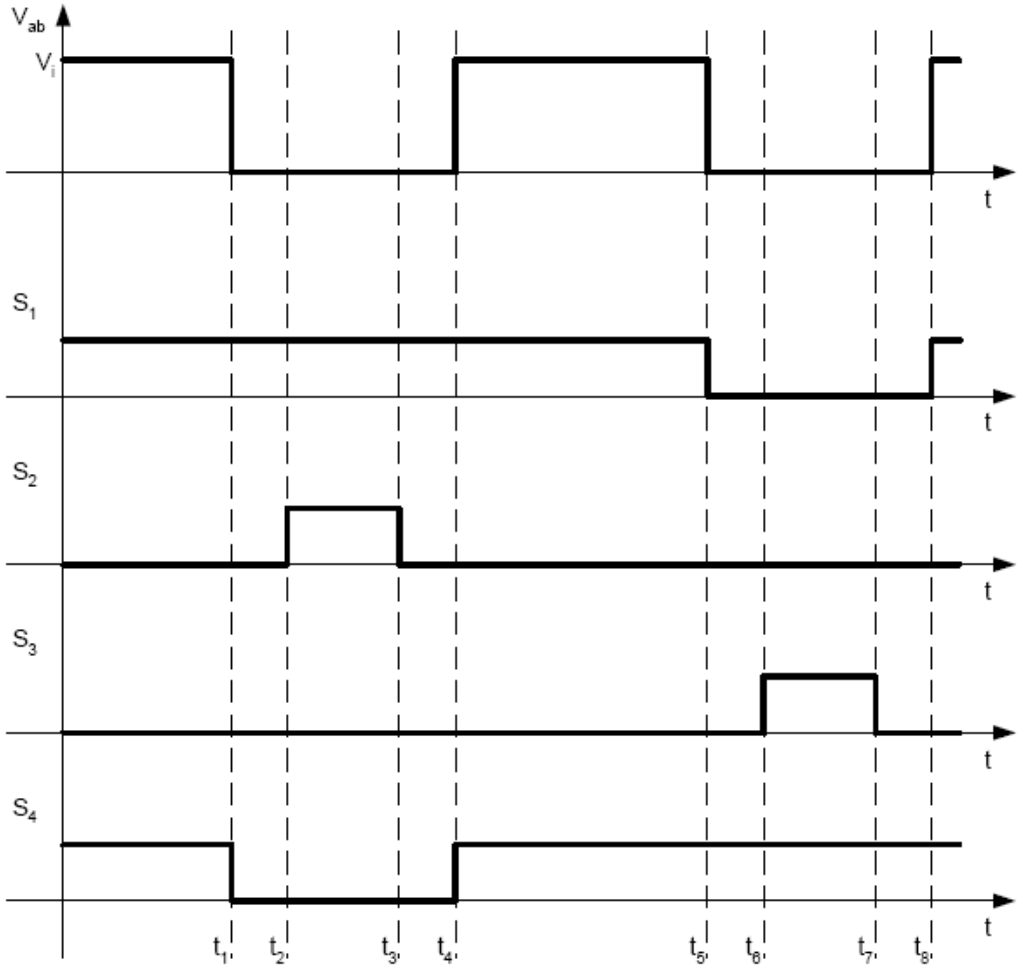
Etapas de operação (modulação SPWM unipolar):



Quarta etapa de operação

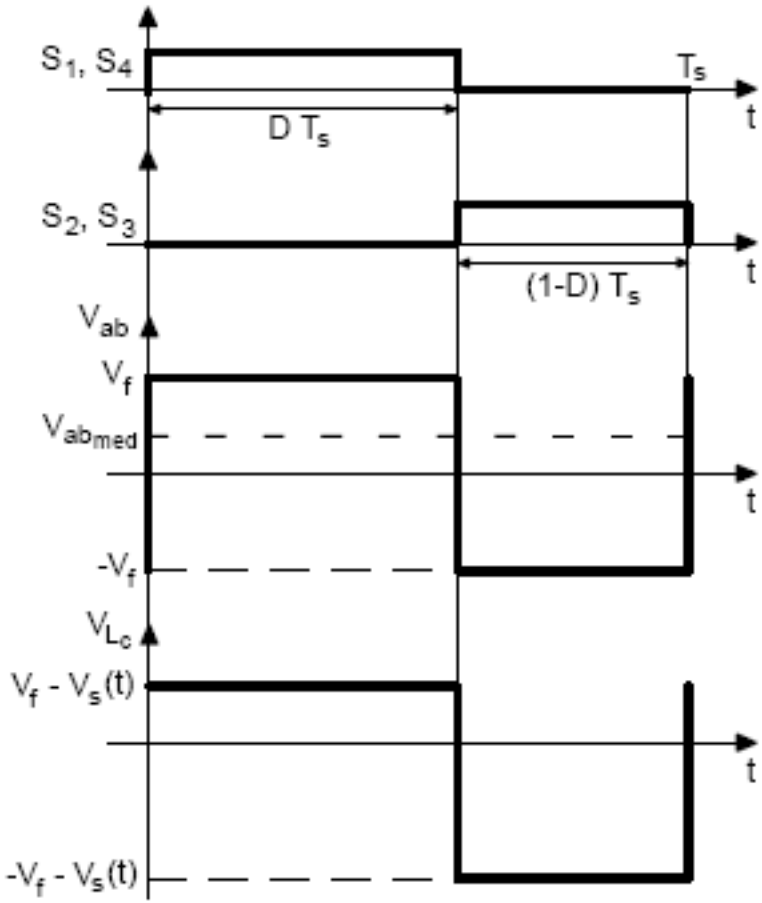
Inversor Monofásico Ponte Completa

Principais formas de onda (modulação SPWM unipolar):



Inversor Monofásico Ponte Completa

Tensão de saída (modulação SPWM bipolar):



$$V_{ab} = \frac{1}{T_s}\left(\int_0^{D \cdot T_s} V_f \cdot dt + \int_{D \cdot T_s}^{T_s} -V_f \cdot dt \right)$$

$$V_{ab} = V_f \cdot (2 \cdot D - 1)$$

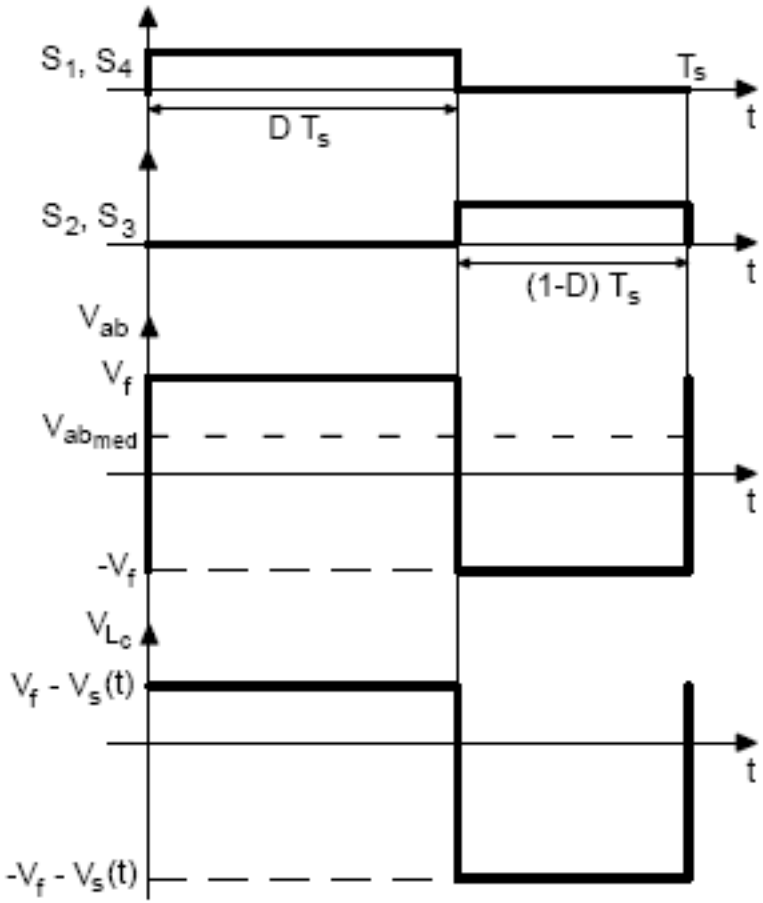
$$d(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{V_{ab_pk}}{V_f} \cdot sen(\omega \cdot t)$$

Índice de modulação:

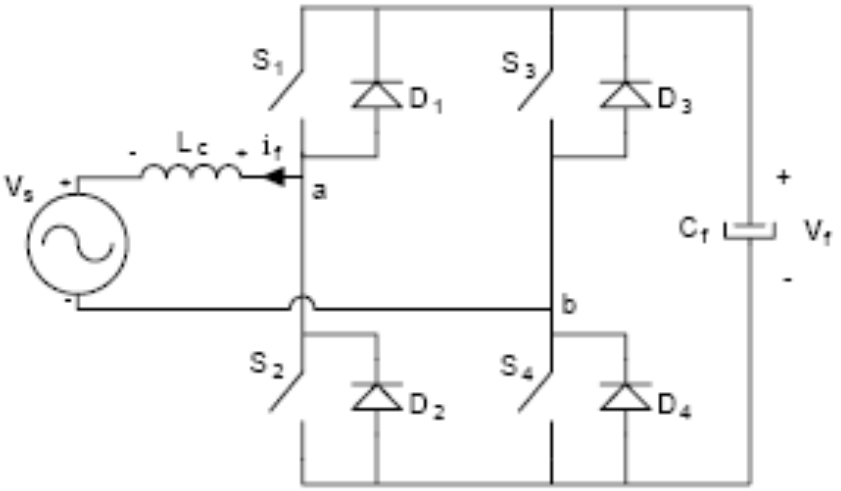
$$MI = \frac{V_{ab_pk}}{V_f}$$

Inversor Monofásico Ponte Completa

Determinando o indutor (modulação SPWM bipolar):

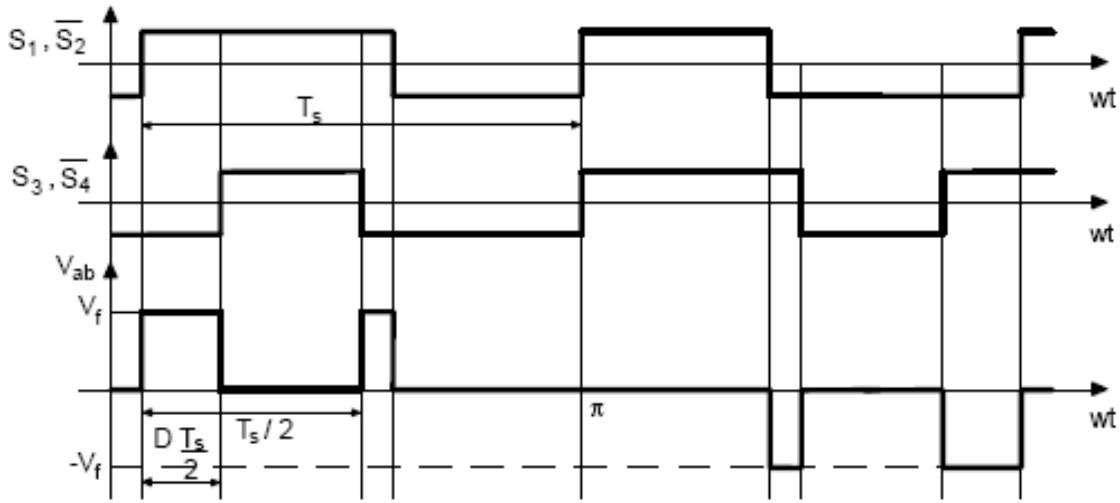


$$L = \frac{V_f}{2 \cdot \Delta IL_{o\max} \cdot F_s}$$



Inversor Monofásico Ponte Completa

Tensão de saída (modulação SPWM unipolar):



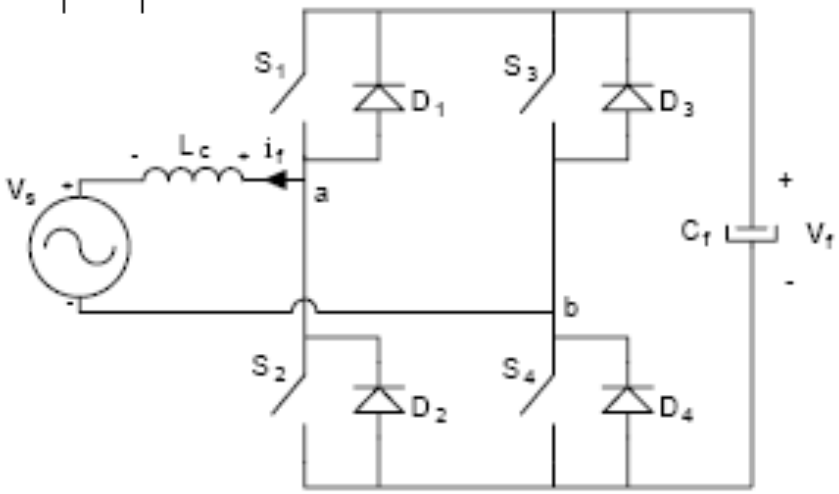
Índice de modulação:

$$MI = \frac{V_{ab_pk}}{V_f}$$

$$V_{ab} = \frac{1}{T_s/2} \int_0^{D.T_s/2} V_f \cdot dt$$

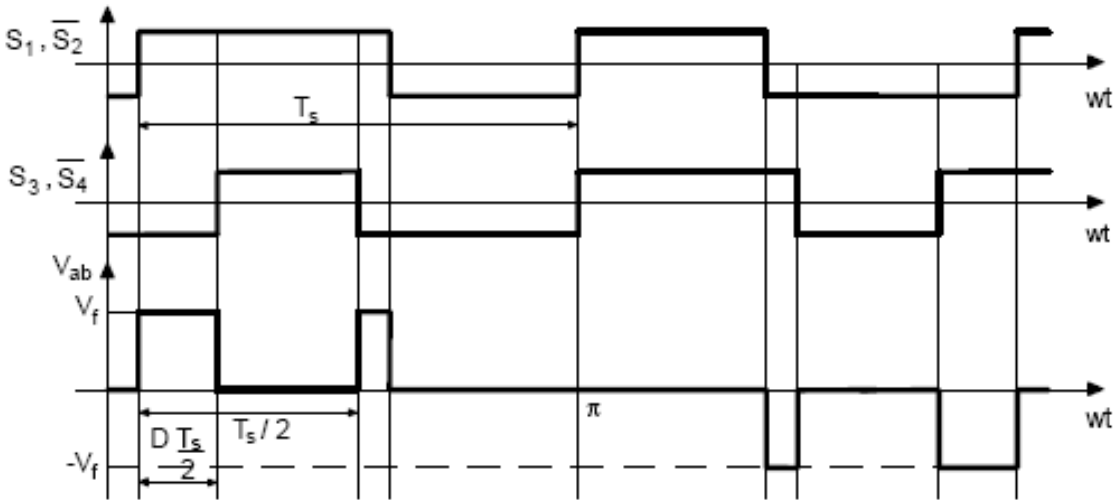
$$V_{ab} = V_f \cdot D$$

$$d(t) = \frac{V_{ab_pk}}{V_f} \cdot sen(\omega \cdot t)$$

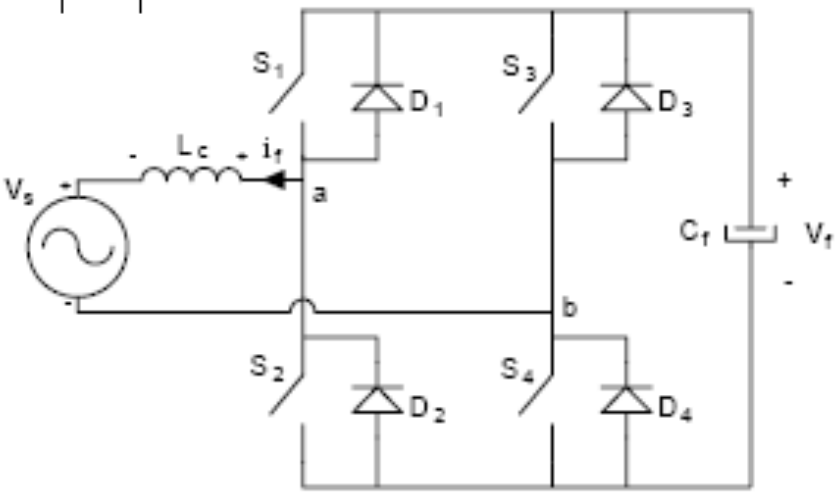


Inversor Monofásico Ponte Completa

Determinando o indutor (modulação SPWM unipolar):



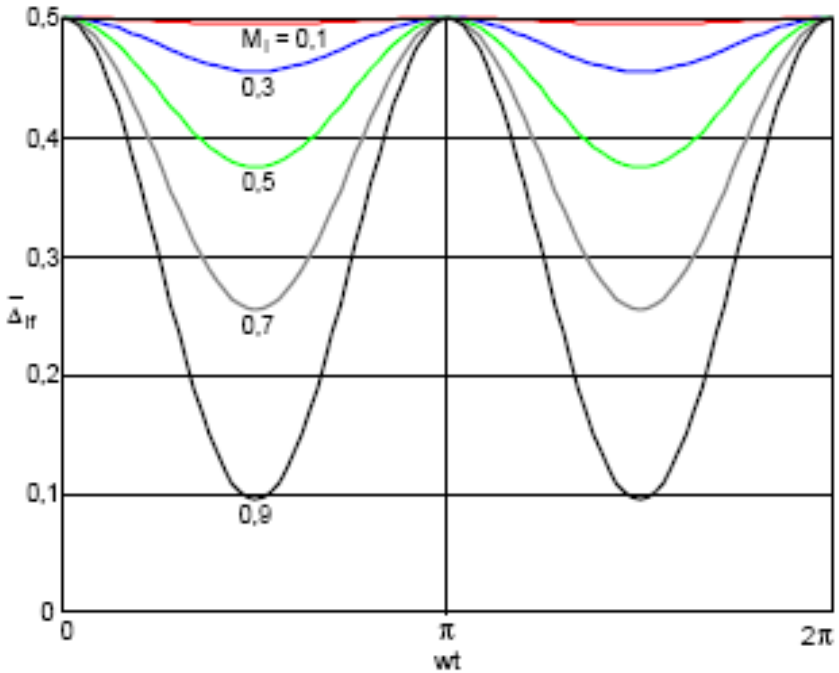
$$L = \frac{V_f}{4 \cdot \Delta IL_{o\max} \cdot F_s}$$



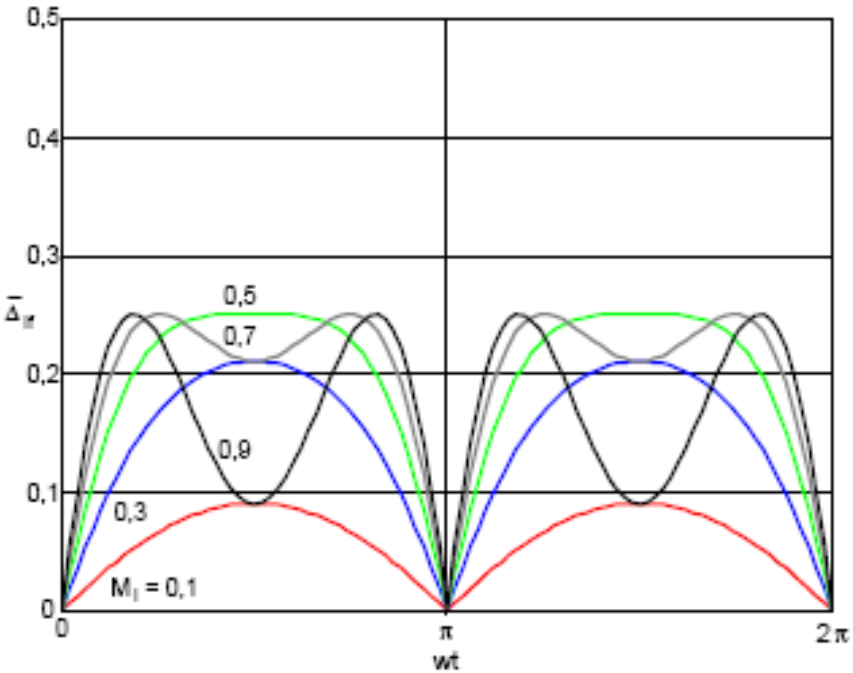
Inversor Monofásico Ponte Completa

Indutor (modulação SPWM bipolar x SPWM unipolar):

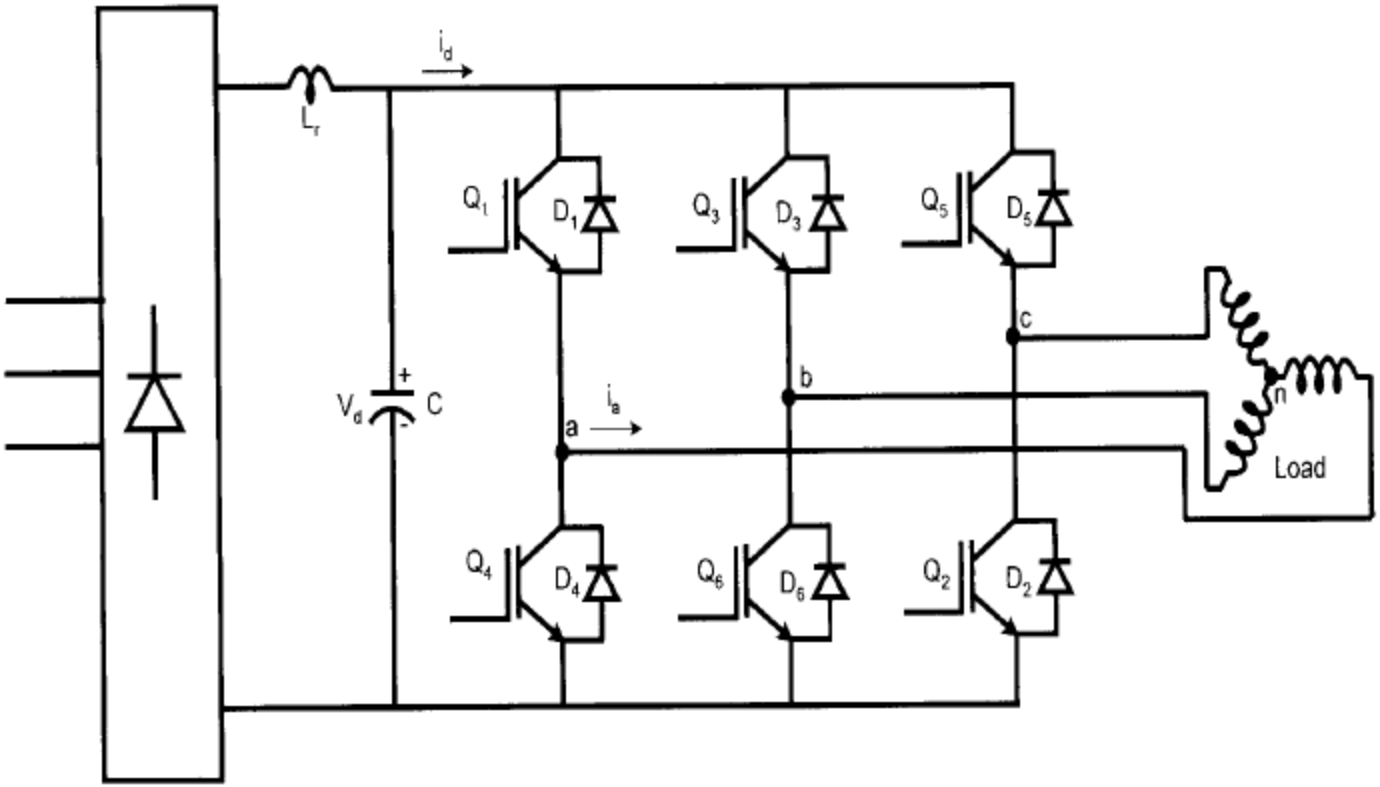
2 níveis



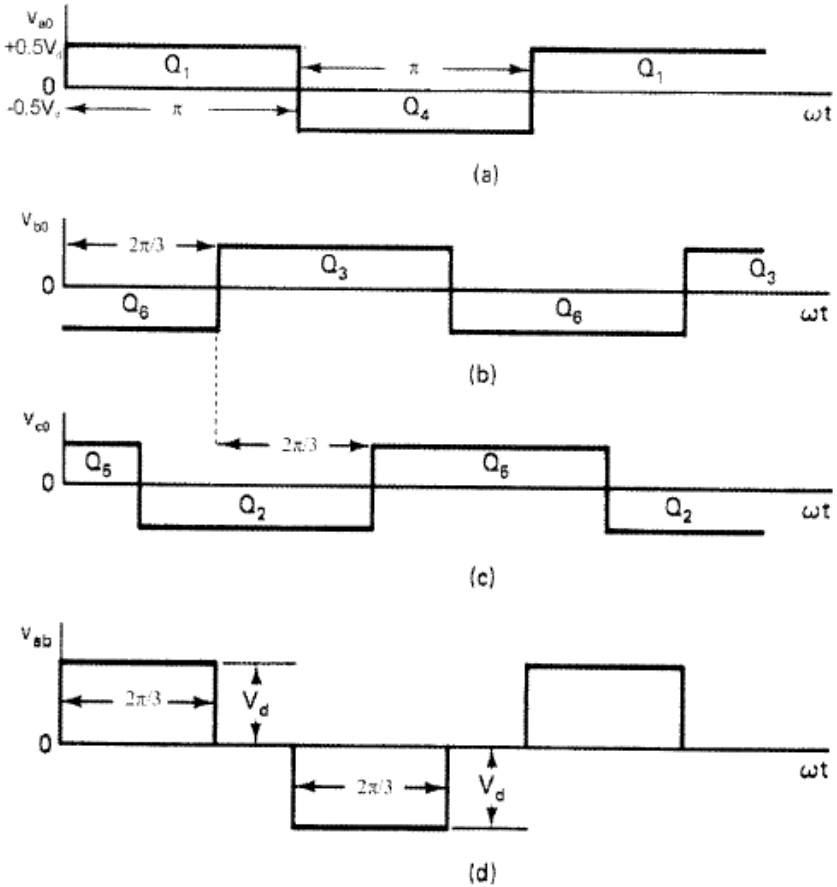
3 níveis

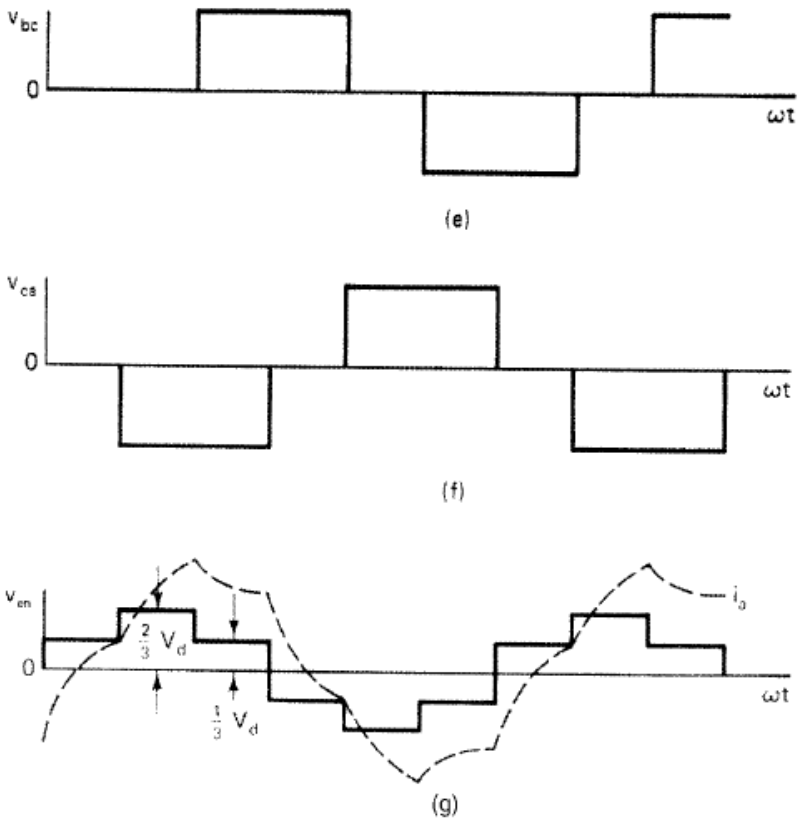


Inversor Trifásico

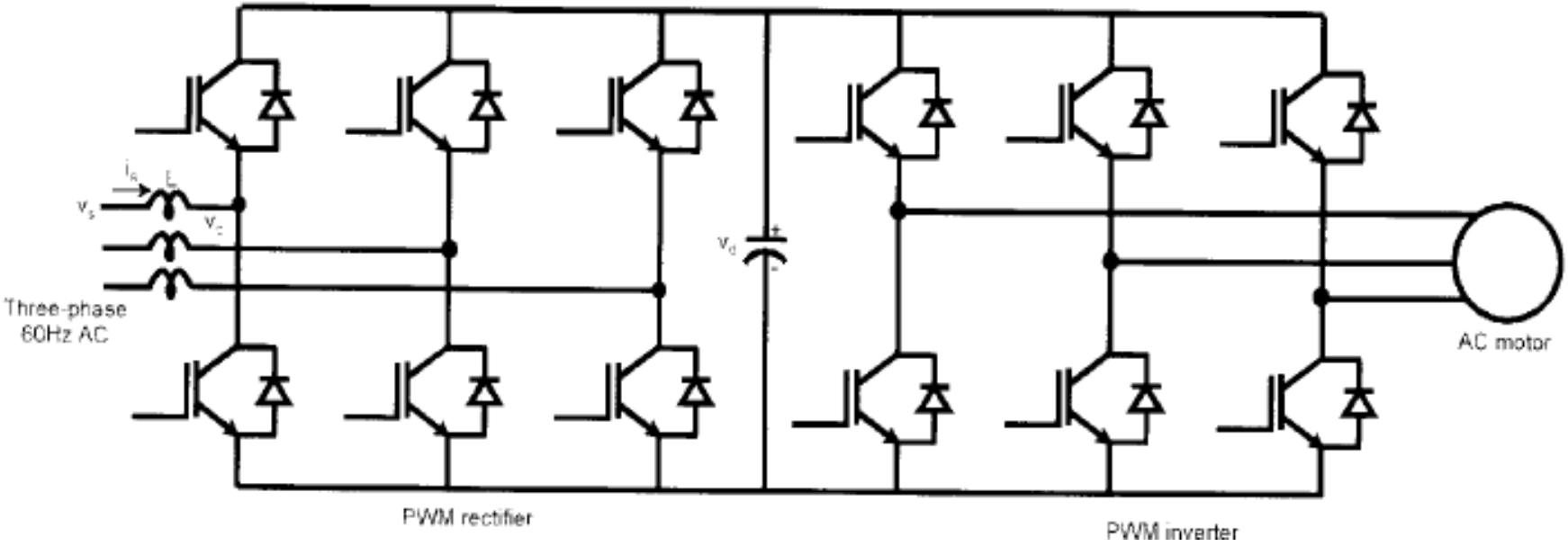


Inversor Trifásico

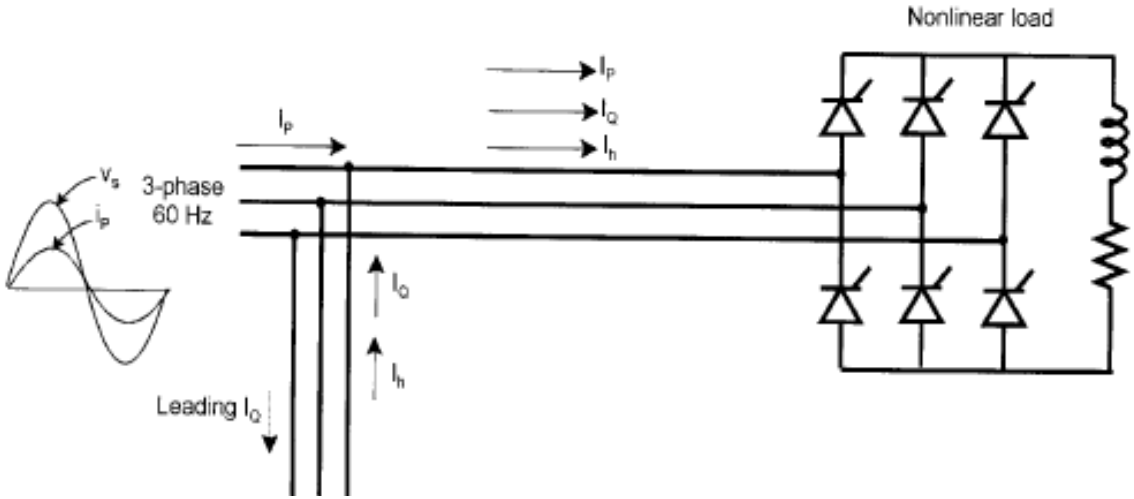


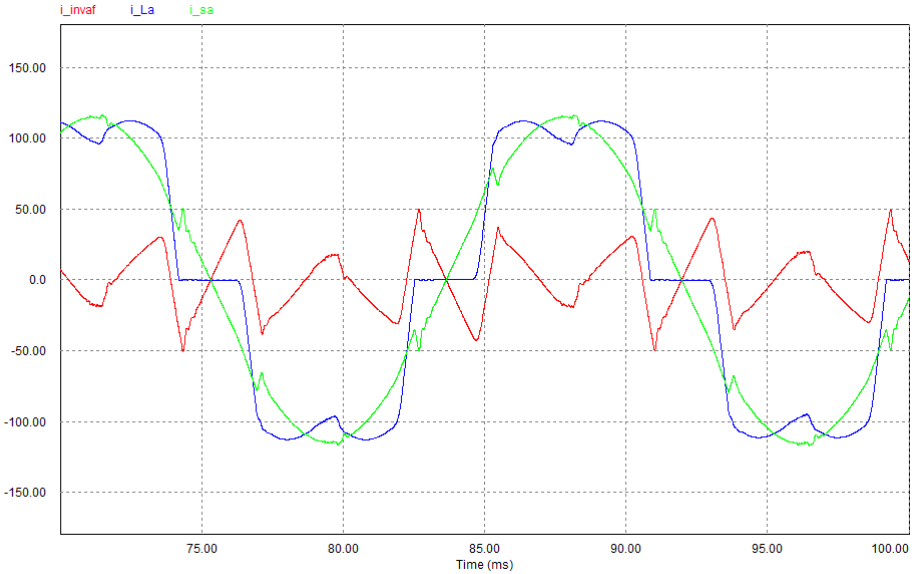


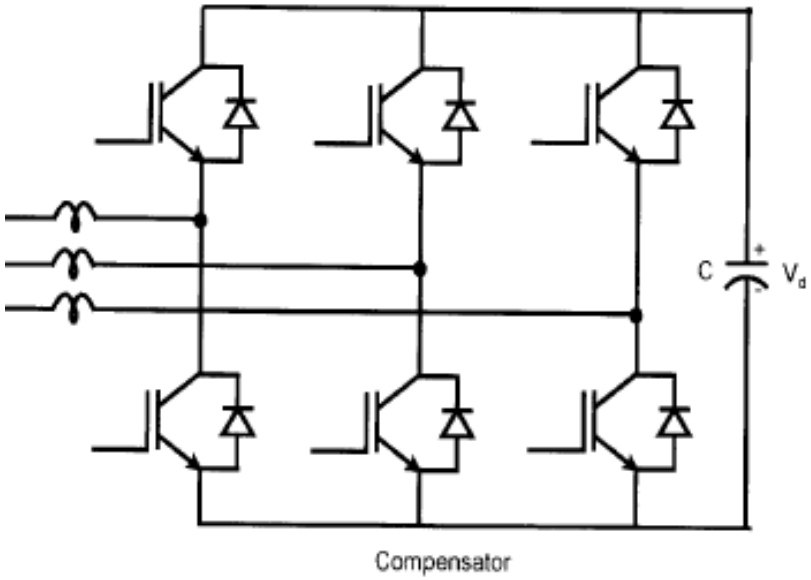
Inversor Trifásico Bidirecional



Inversor Trifásico Aplicado em Filtros Ativos

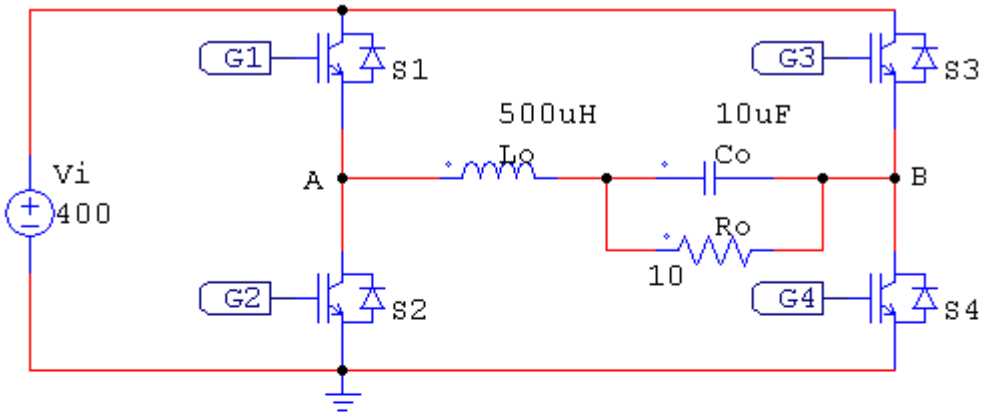


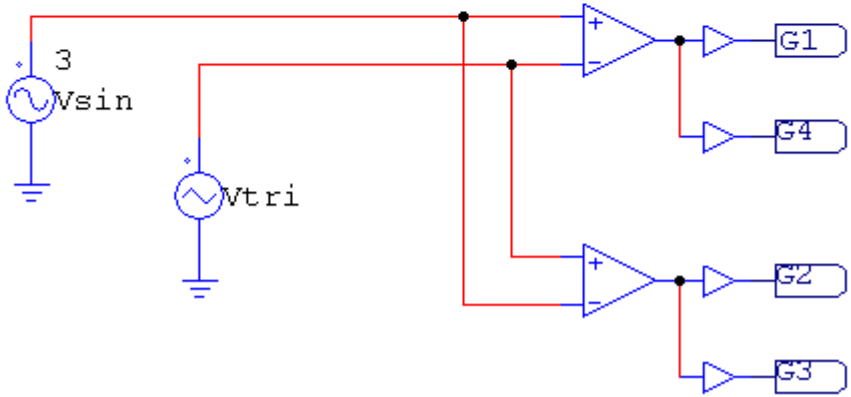




Inversor Monofásico Ponte Completa - Simulação

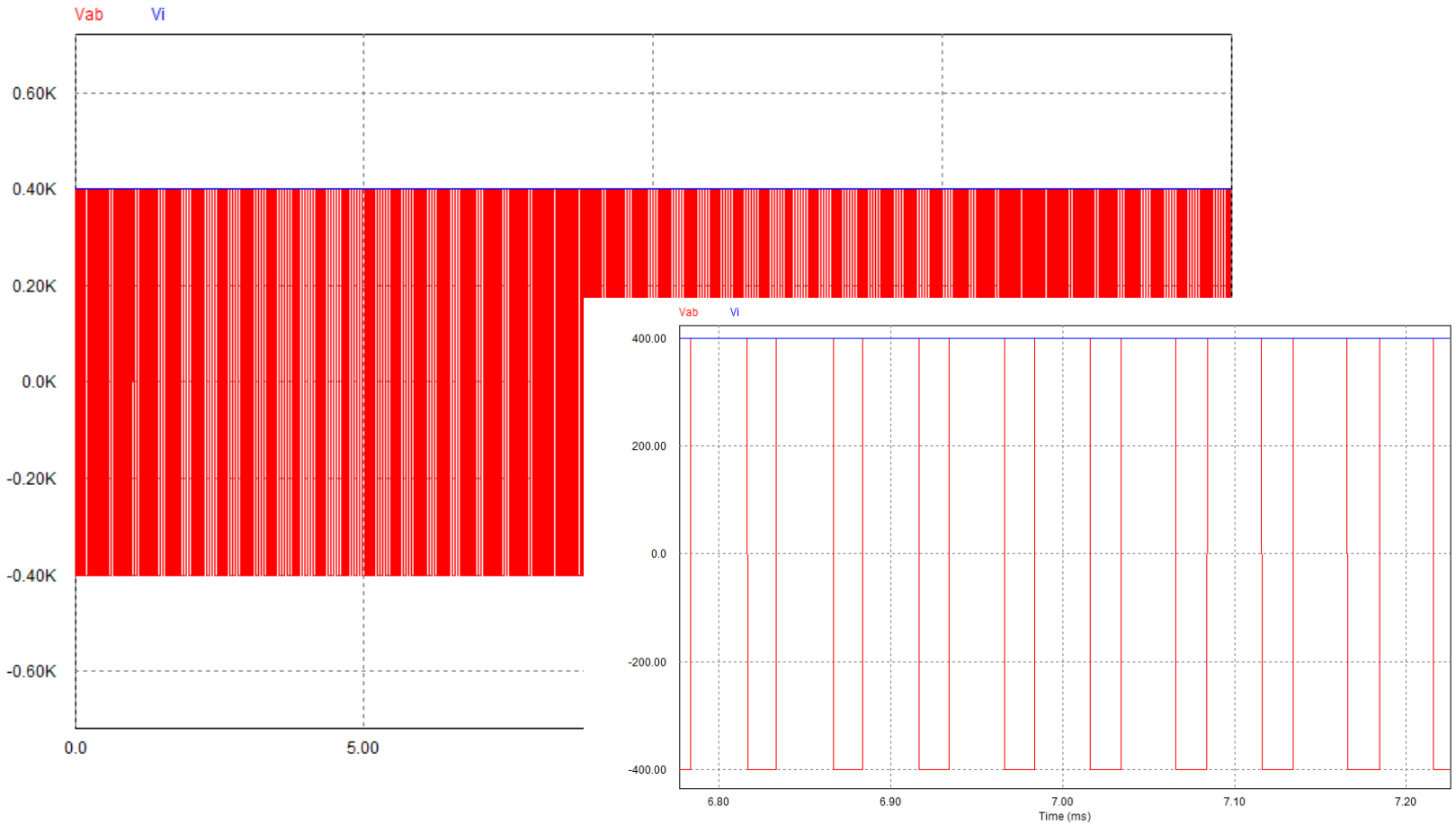
Simulação (modulação SPWM bipolar):





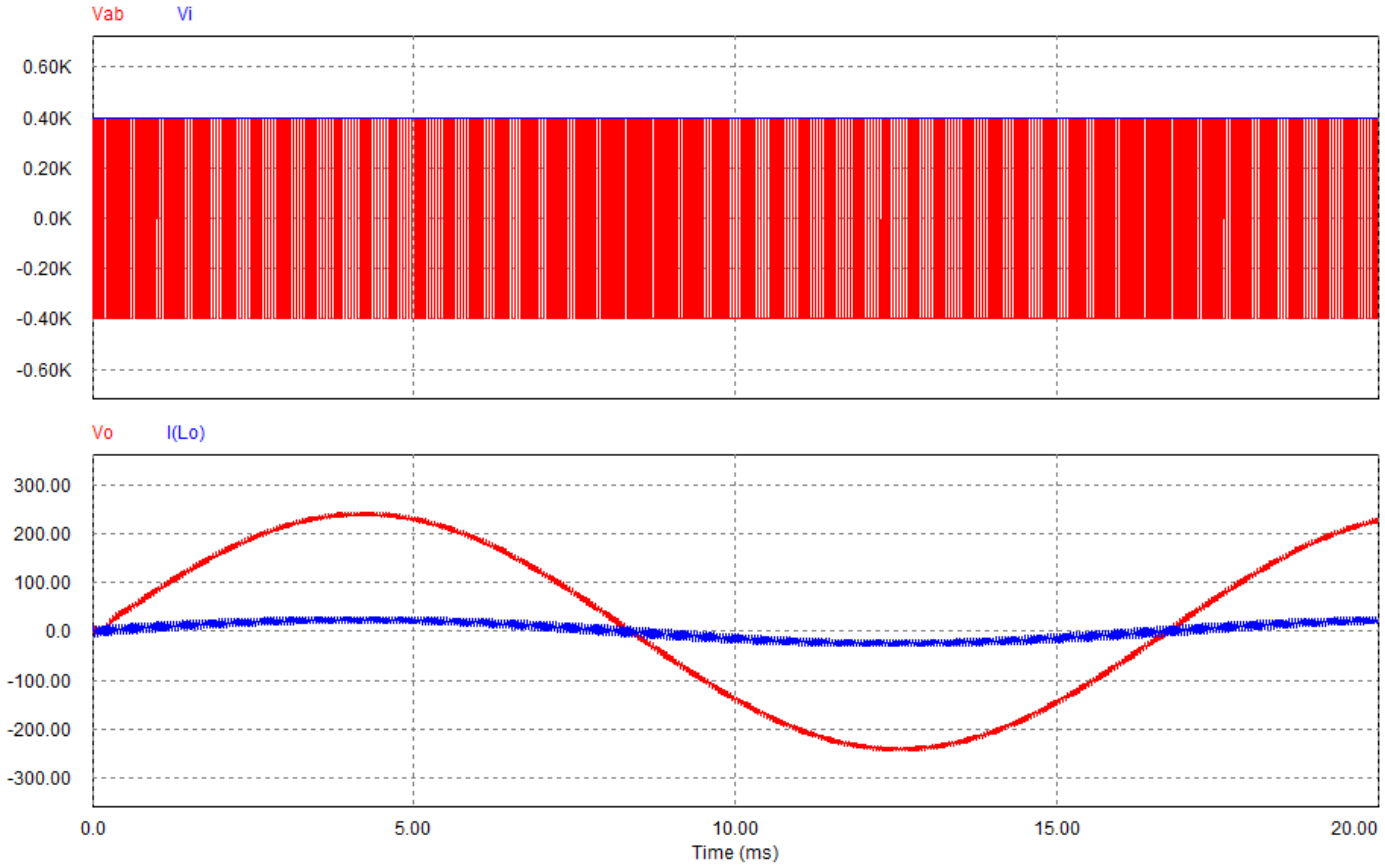
Inversor Monofásico Ponte Completa - Simulação

Simulação (modulação SPWM bipolar):



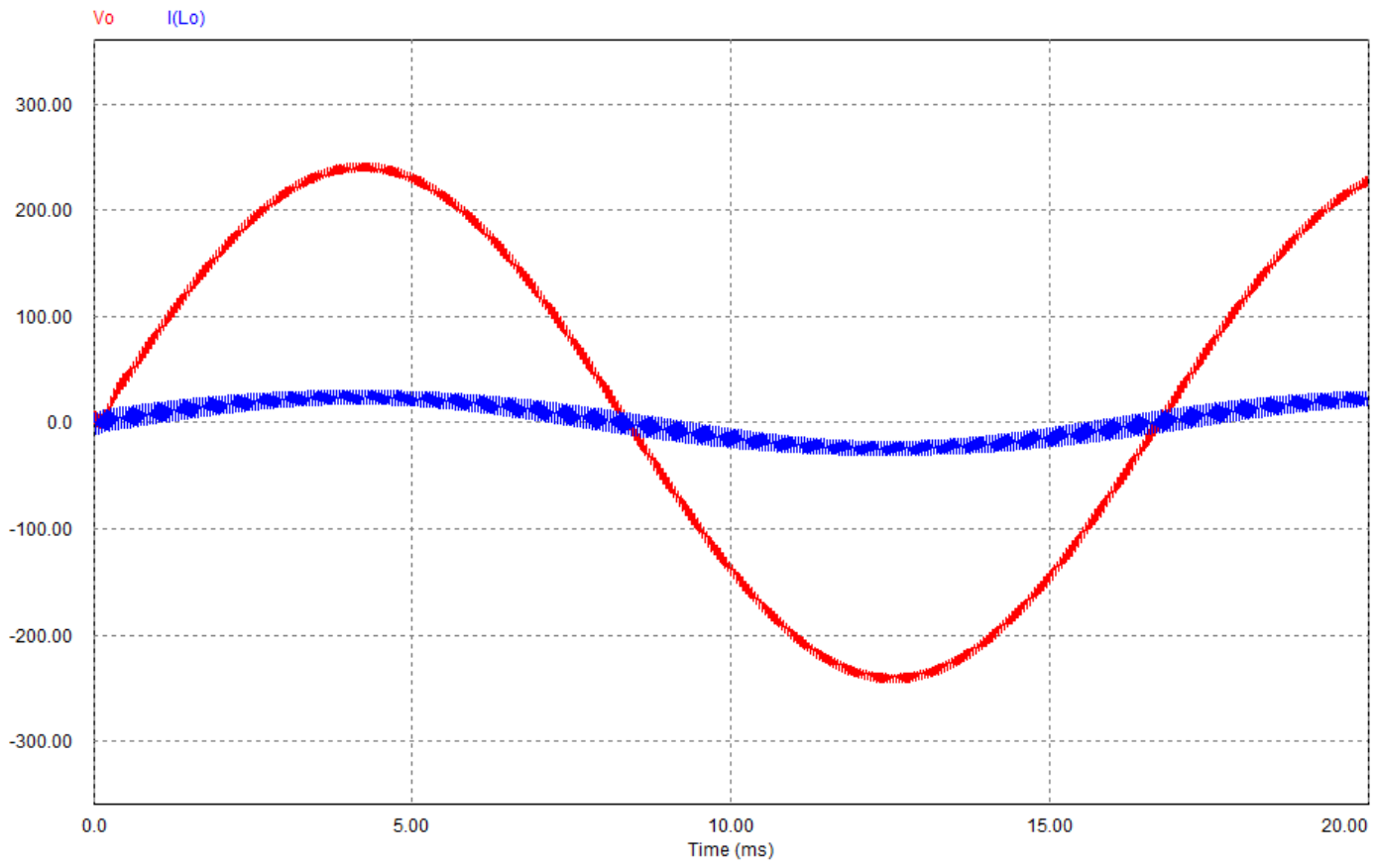
Inversor Monofásico Ponte Completa - Simulação

Simulação (modulação SPWM bipolar):



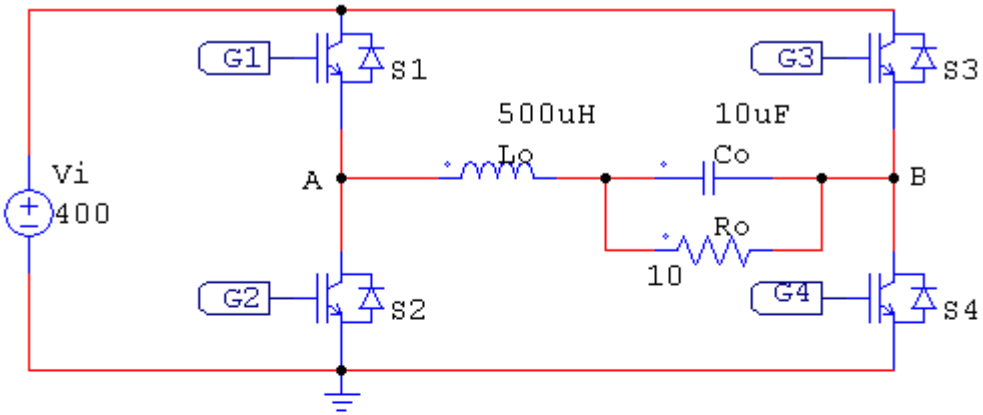
Inversor Monofásico Ponte Completa - Simulação

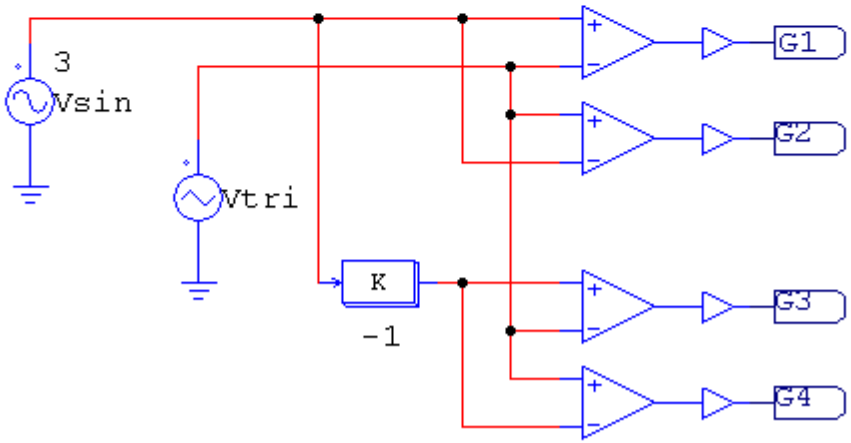
Simulação (modulação SPWM bipolar):



Inversor Monofásico Ponte Completa - Simulação

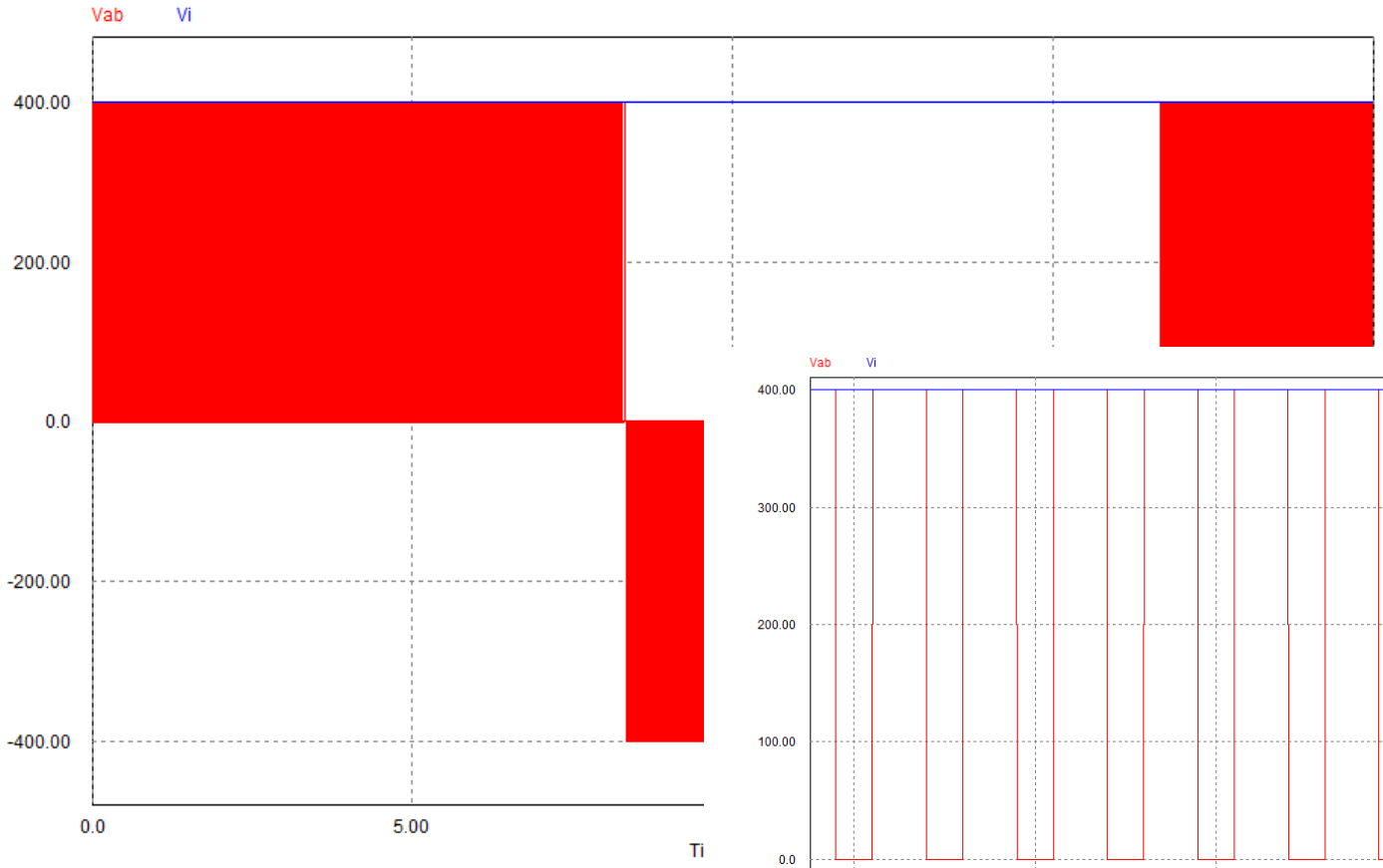
Simulação (modulação SPWM unipolar):

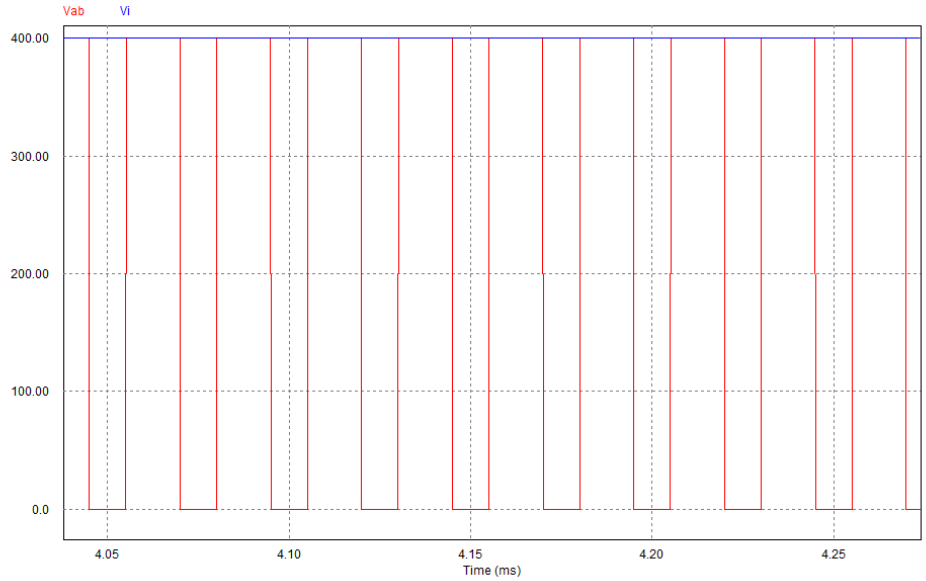




Inversor Monofásico Ponte Completa - Simulação

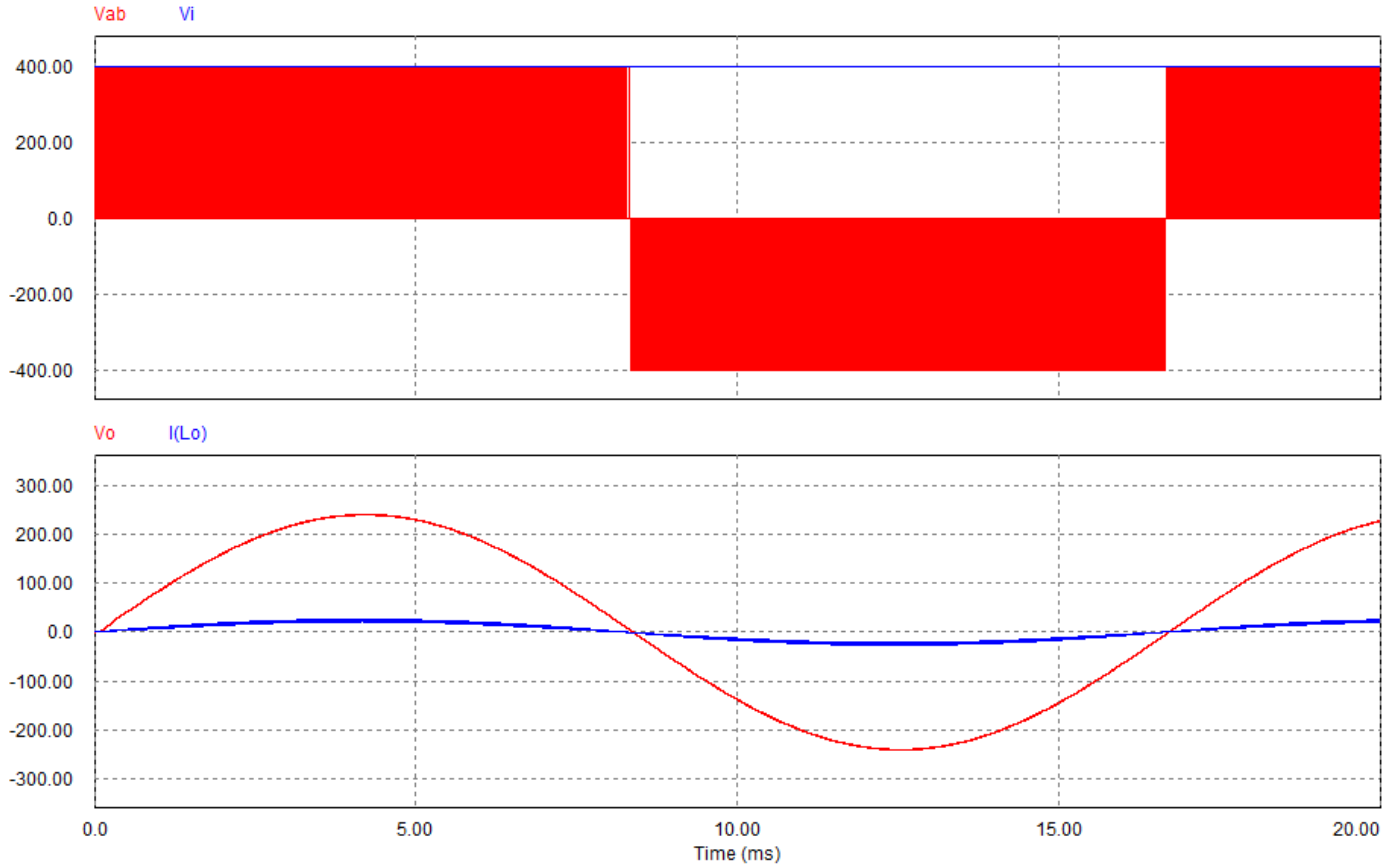
Simulação (modulação SPWM unipolar):





Inversor Monofásico Ponte Completa - Simulação

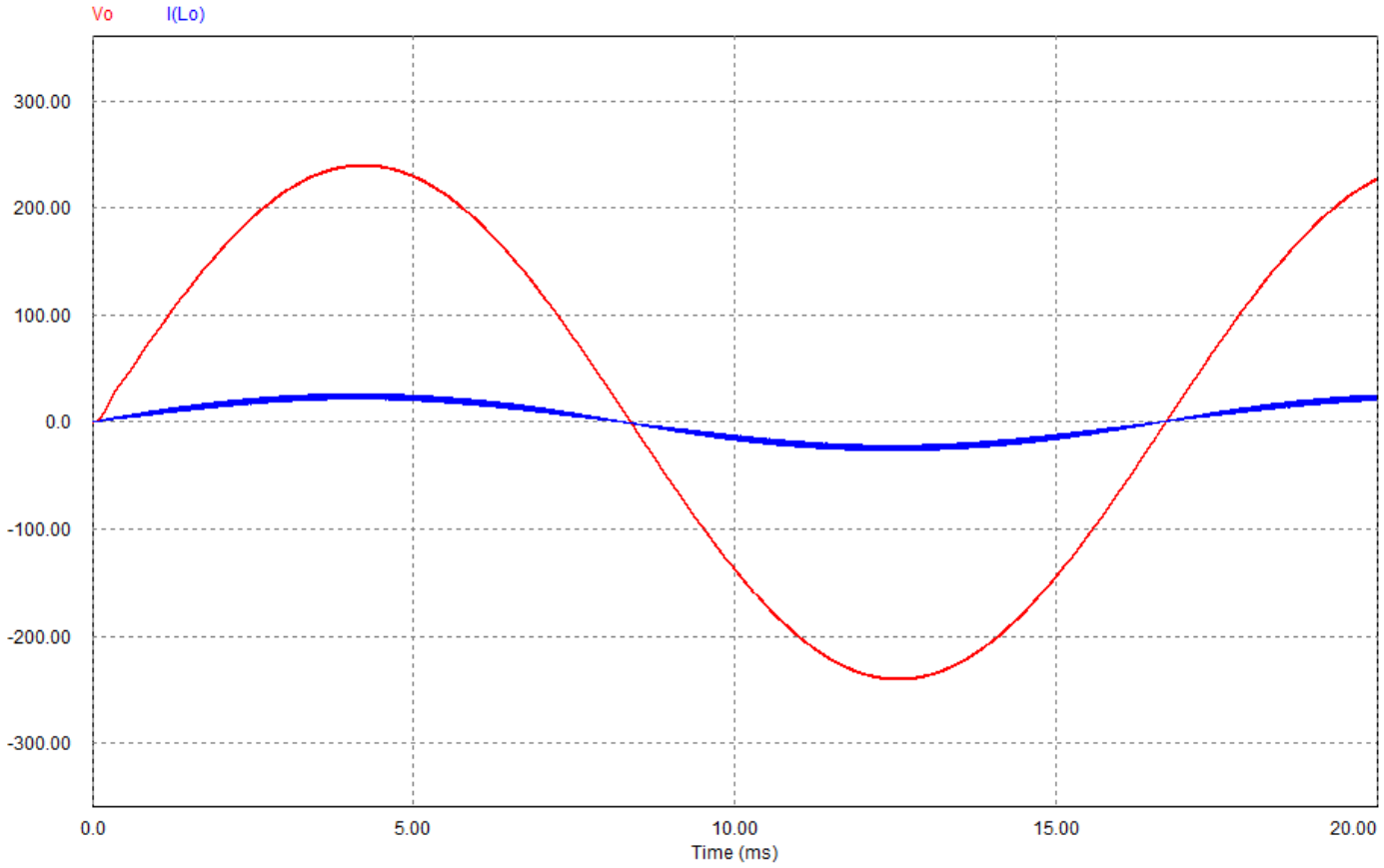
Simulação (modulação SPWM unipolar):



Inversor Monofásico Ponte Completa - Simulação

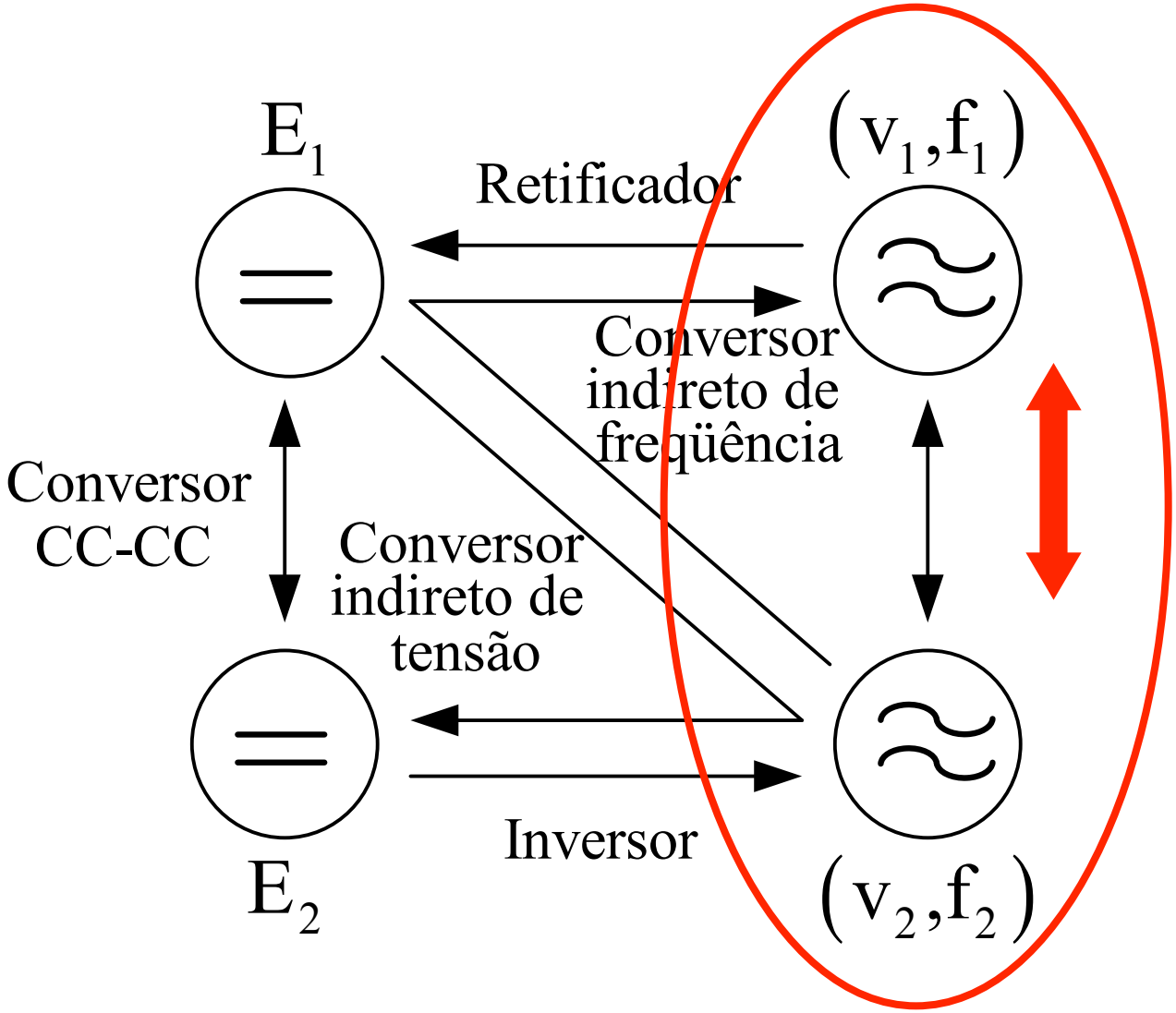
INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Simulação (modulação SPWM unipolar):



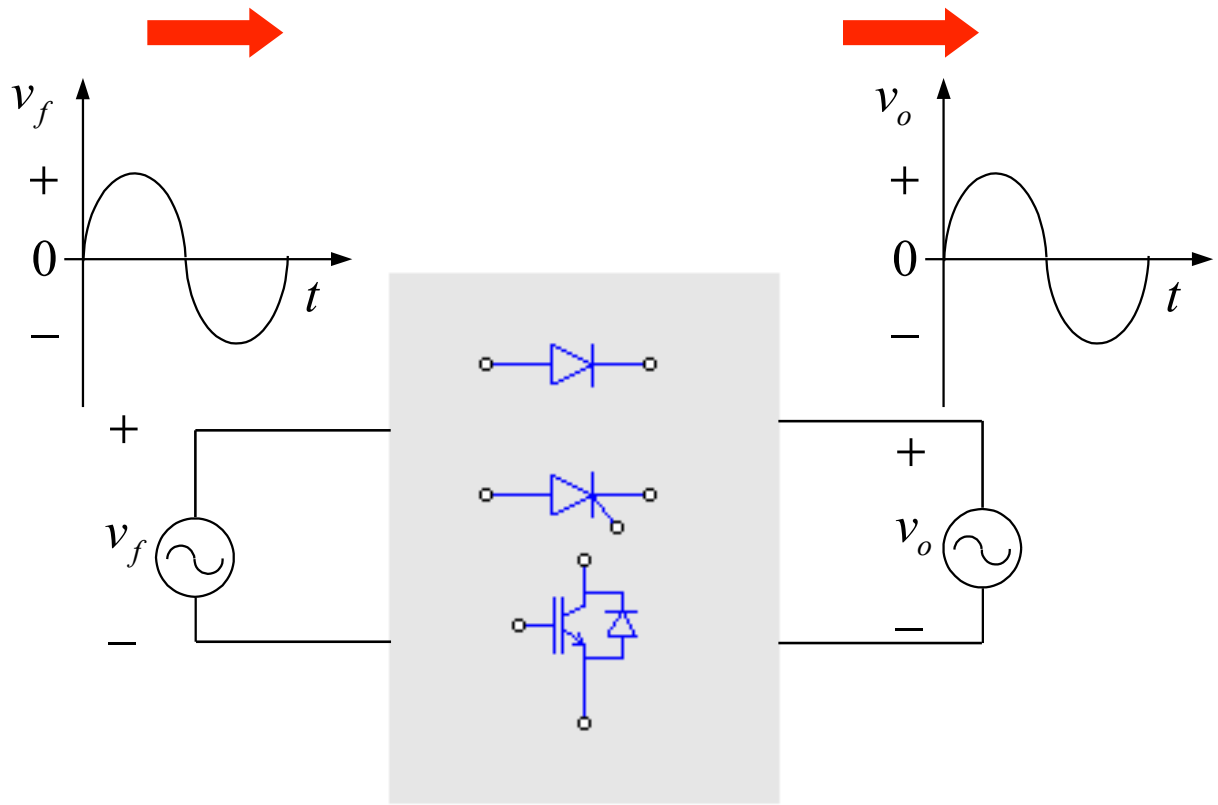
Conversores CA-CA

Conversores CA-CA

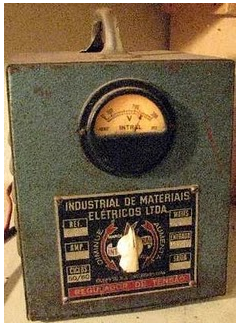


Princípio geral:

Controla o fluxo de potência entre uma fonte duas fontes de tensão alternada.



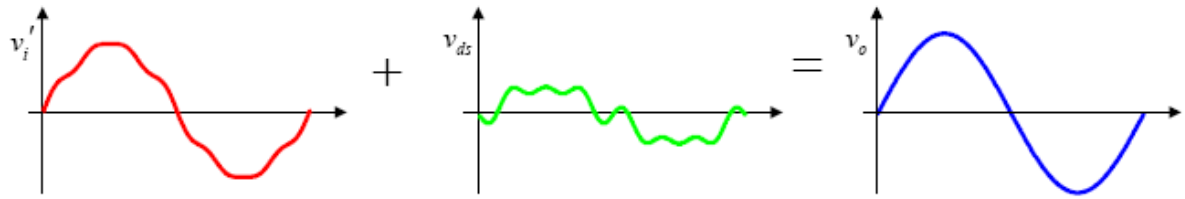
Conversores CA-CA - Aplicações



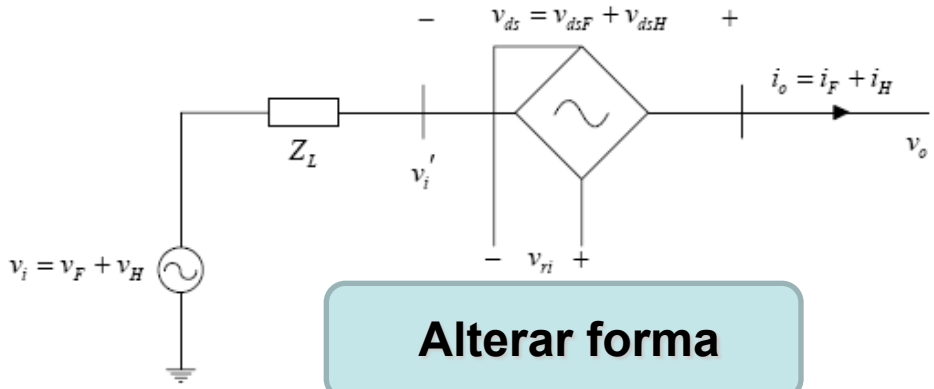
Algumas aplicações:

- Controle de intensidade luminosa;
- Controle de temperatura;
- Controle de velocidade de motores de indução;
- Limitação da corrente de partida de motores de indução;
- Estabilizadores de tensão;
- Filtros ativos;
- Pré-estabilização em fontes de alimentação e UPS;
- Economia de energia;
- Sistemas de potência;
- Entre outras.

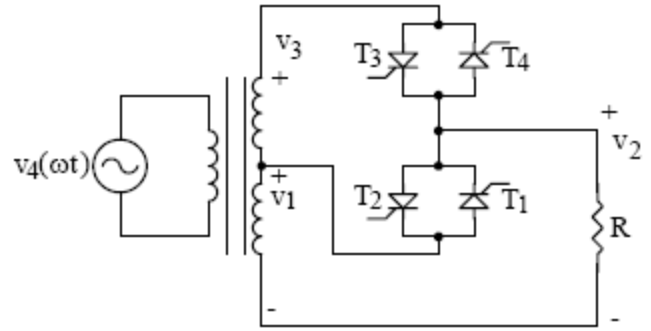
Conversores CA-CA - Funções

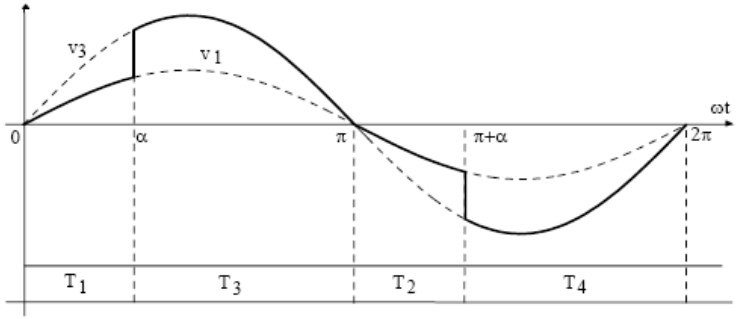


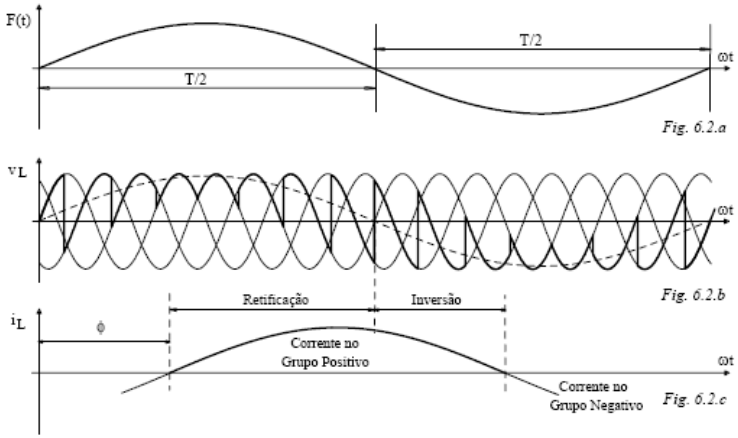
Alterar amplitude



Alterar forma

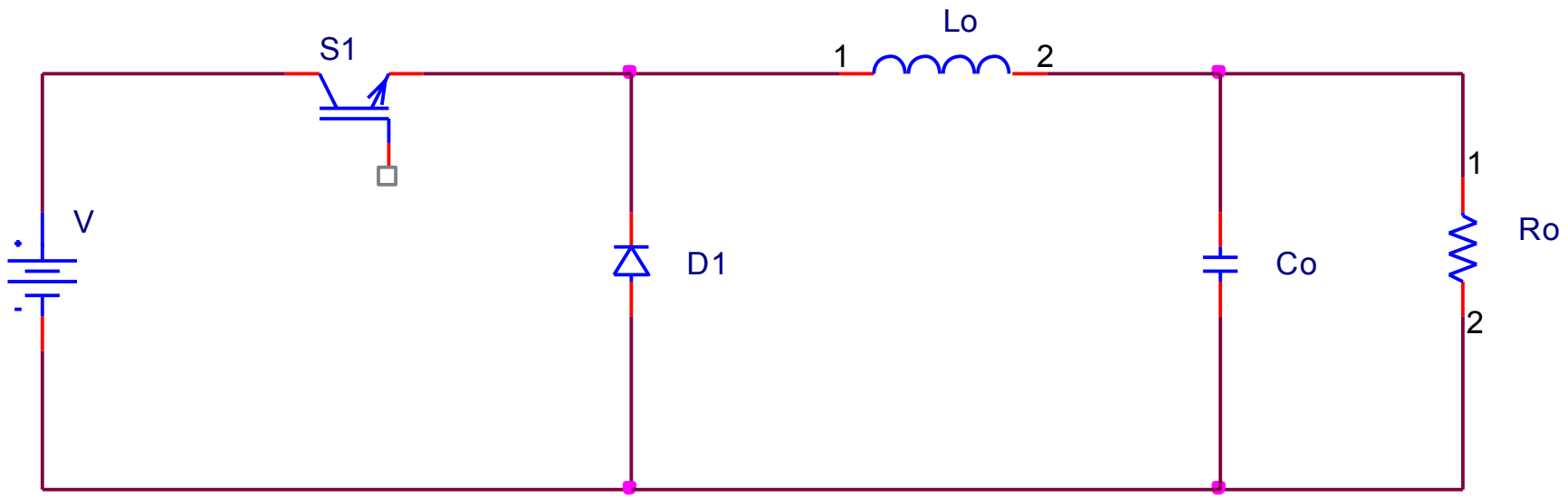






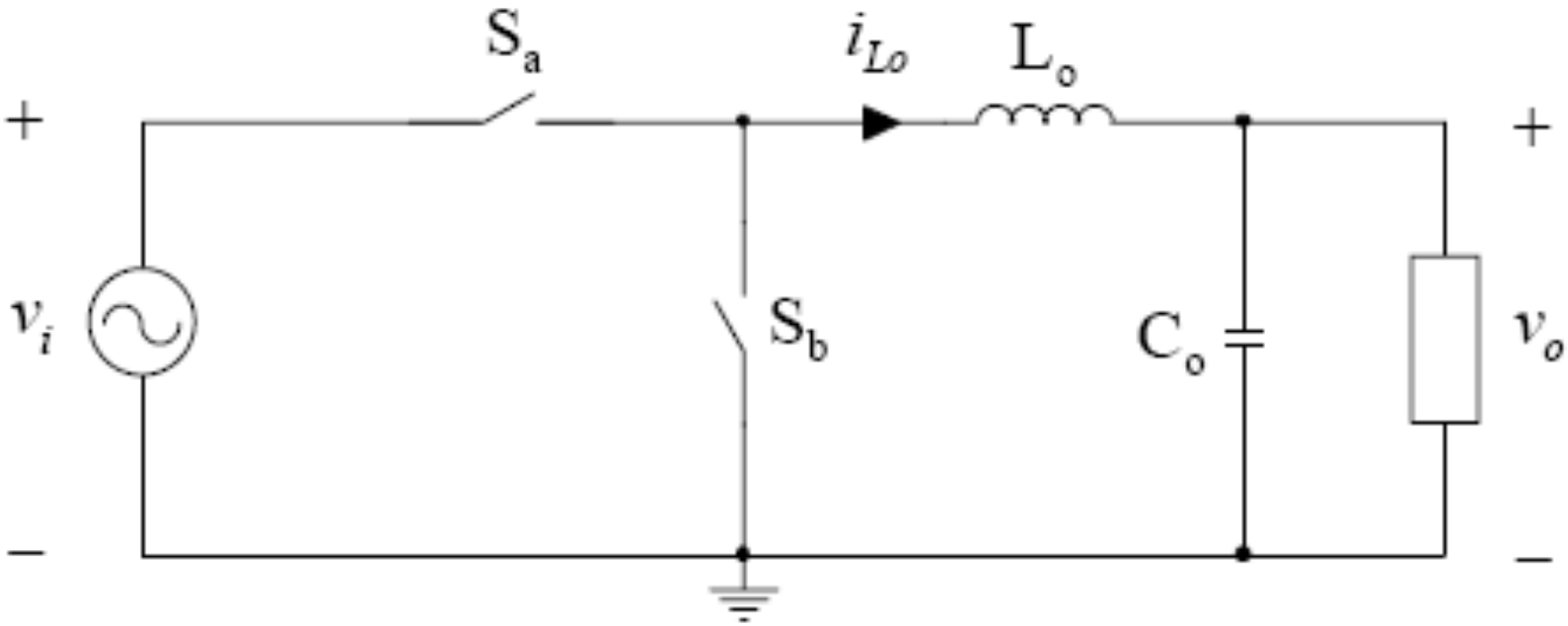
Alterar freqüência

Conversor CA-CA PWM - Comutação



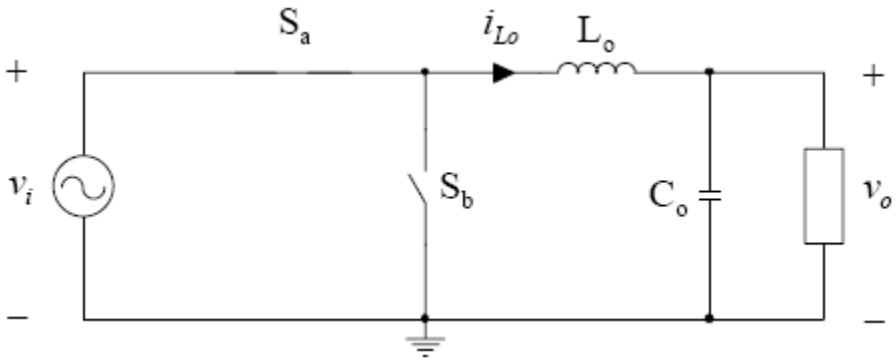
Conversor CC-CC

Conversor CA-CA PWM - Comutação

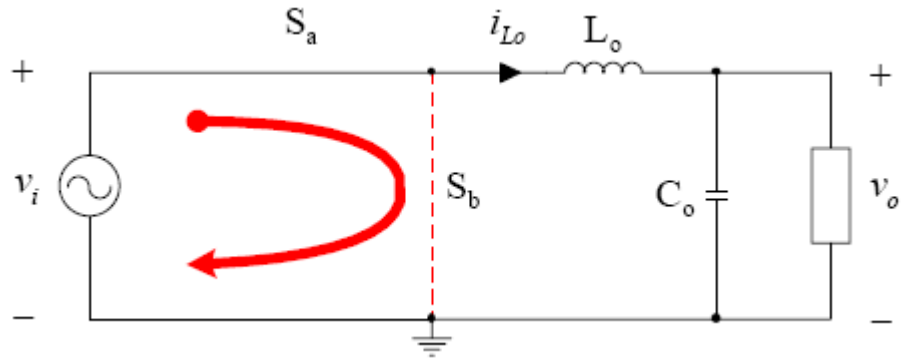


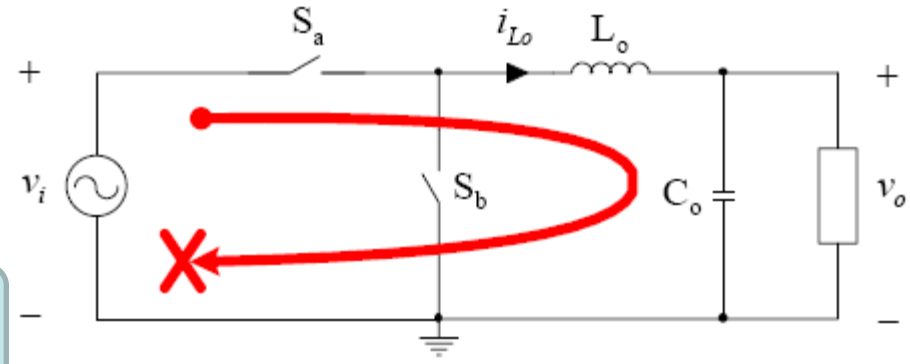
Conversor CA-CA

Conversor CA-CA PWM - Comutação



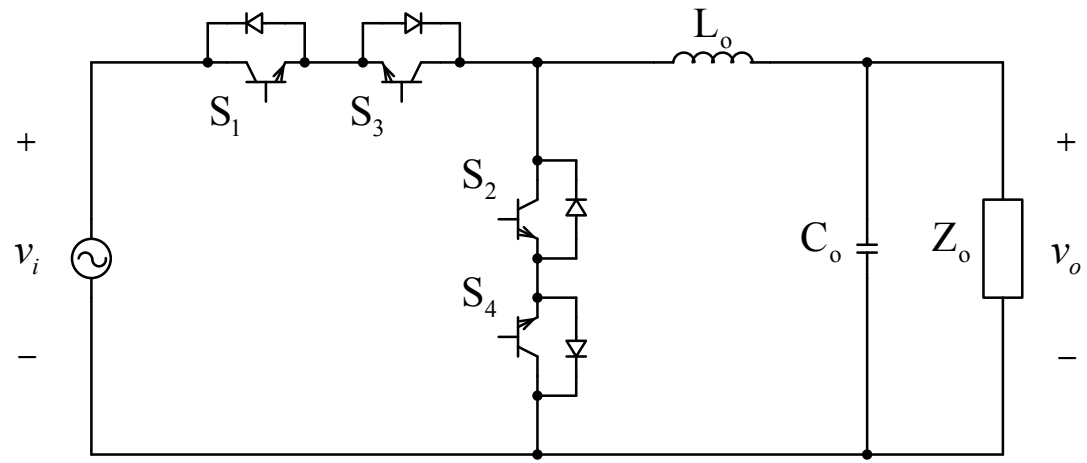
Sobreposição

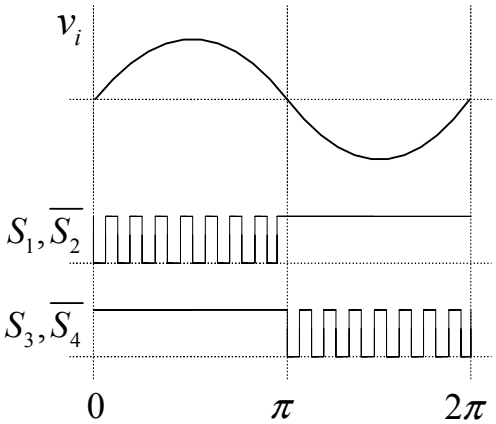




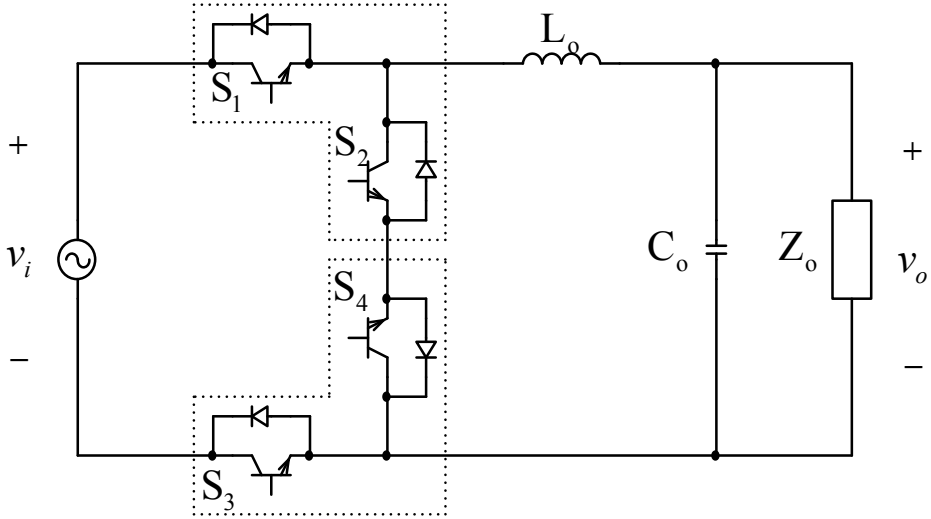
Tempo morto

Conversor CA-CA PWM - Comutação

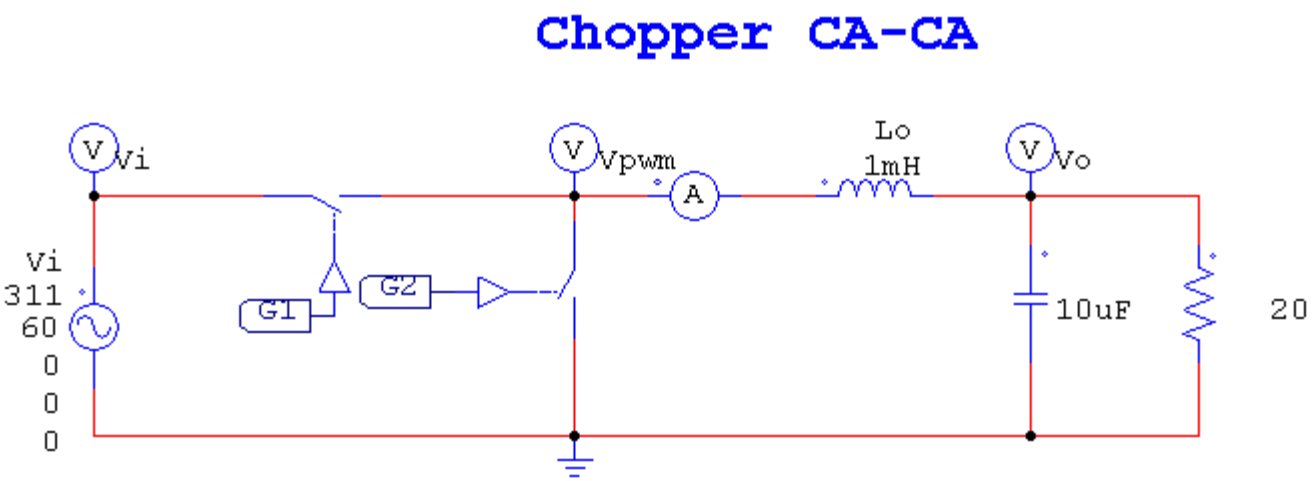


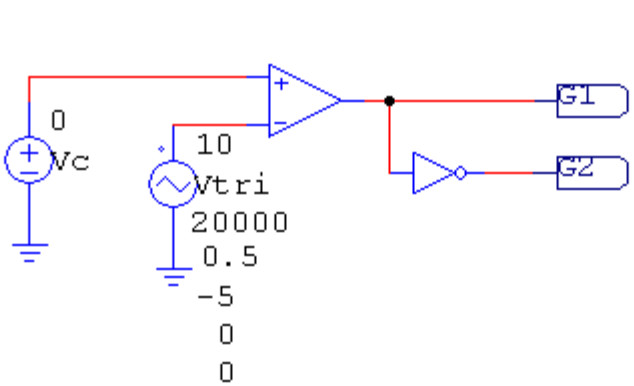


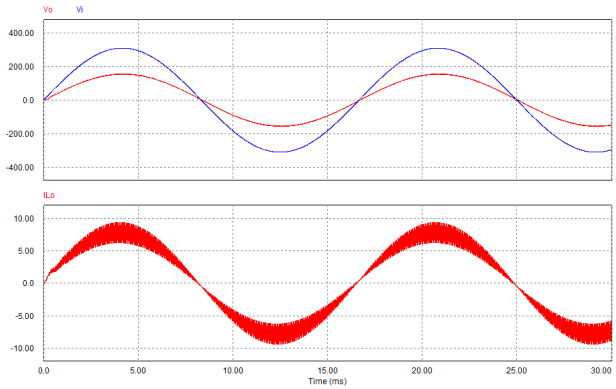
	$v_i > 0$	$v_i < 0$
S_1	*pwm*	*on*
S_2	*pwm*	*on*
S_3	*on*	*pwm*
S_4	*on*	*pwm*



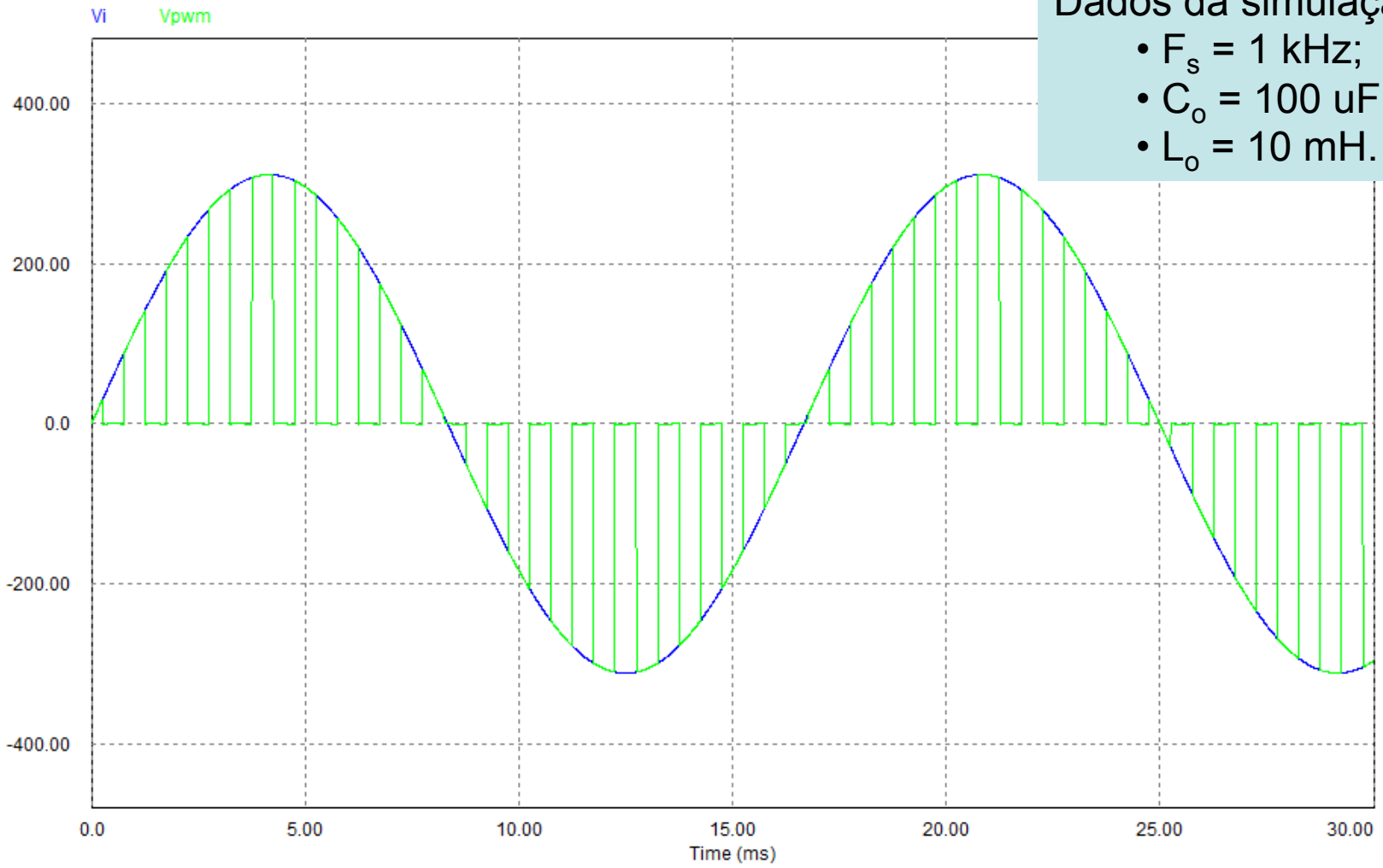
Conversor CA-CA PWM - Simulação







Conversor CA-CA PWM - Simulação



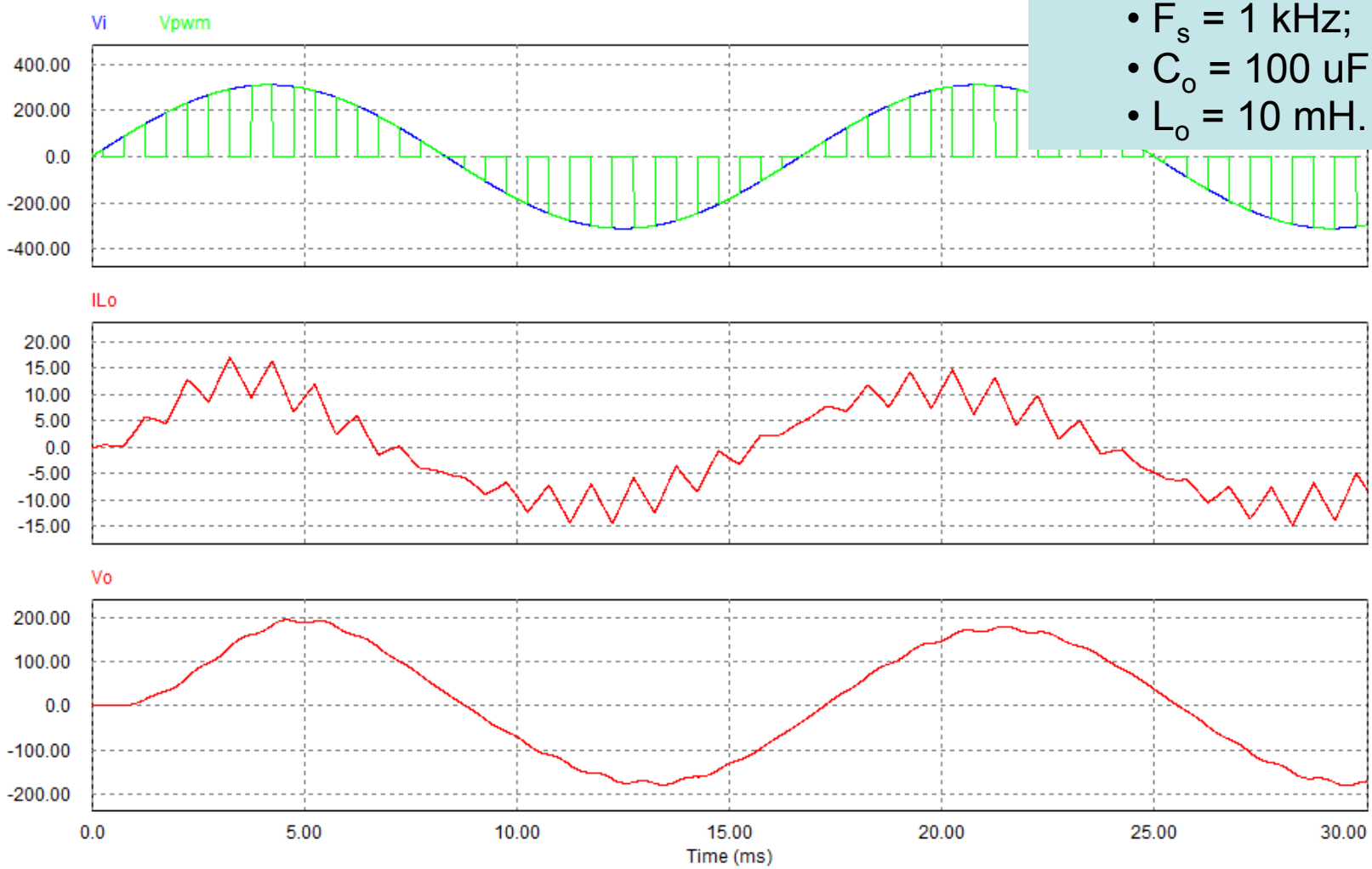
Dados da simulação:

- F_s = 1 kHz;
- C_o = 100 uF;
- L_o = 10 mH.

Conversor CA-CA PWM - Simulação

Dados da simulação:

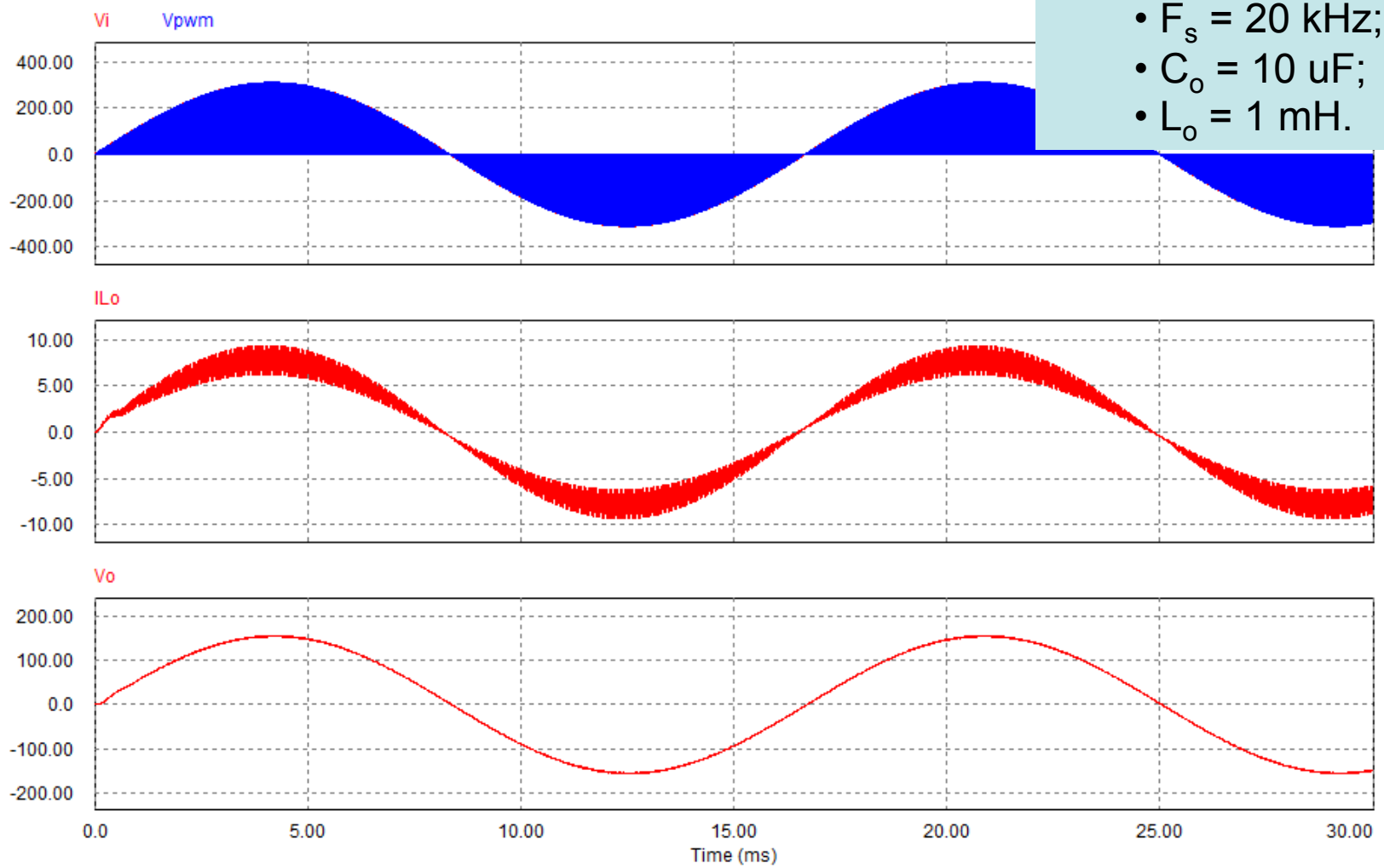
- F_s = 1 kHz;
- C_o = 100 uF;
- L_o = 10 mH.



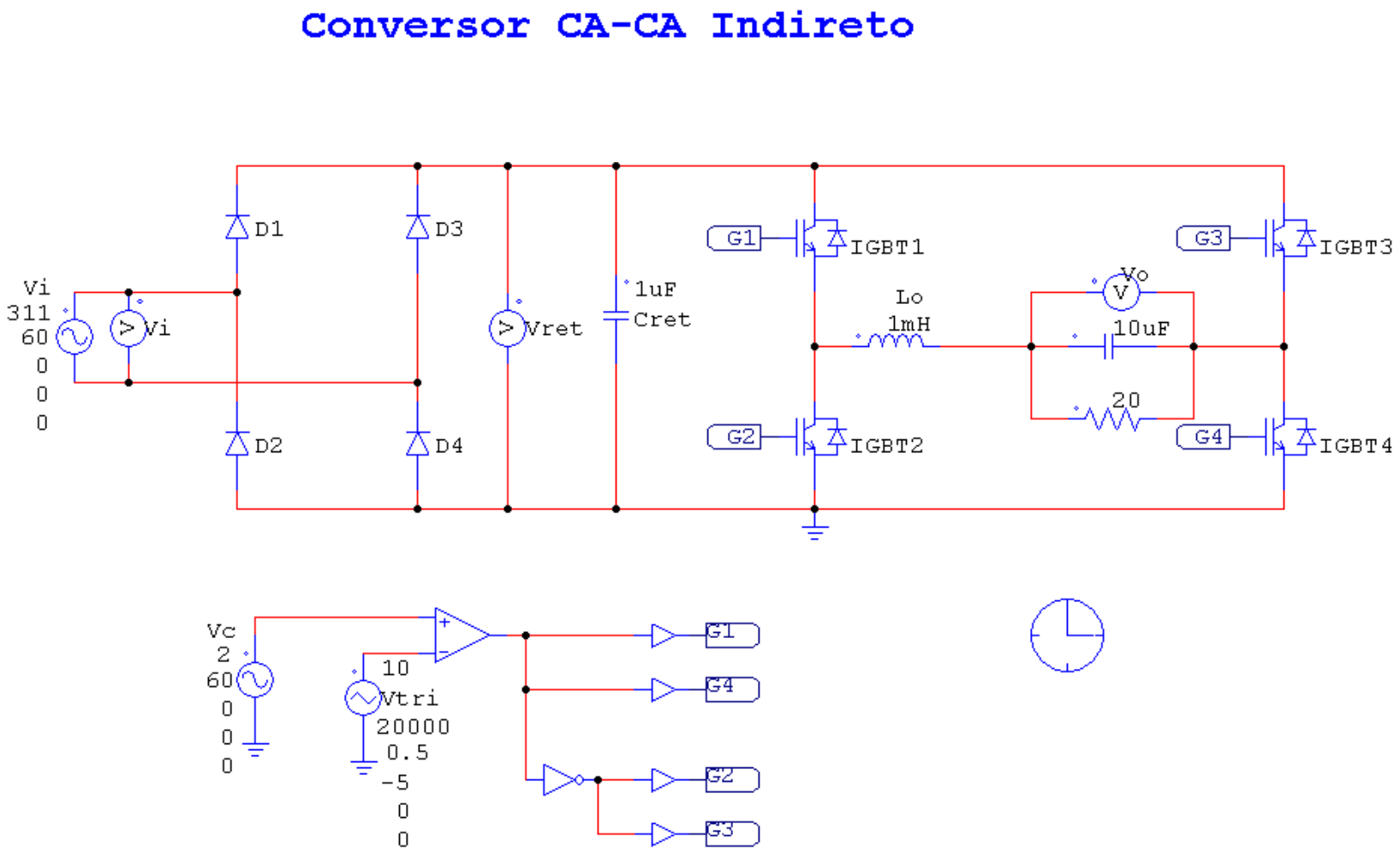
Conversor CA-CA PWM - Simulação

Dados da simulação:

- F_s = 20 kHz;
- C_o = 10 uF;
- L_o = 1 mH.



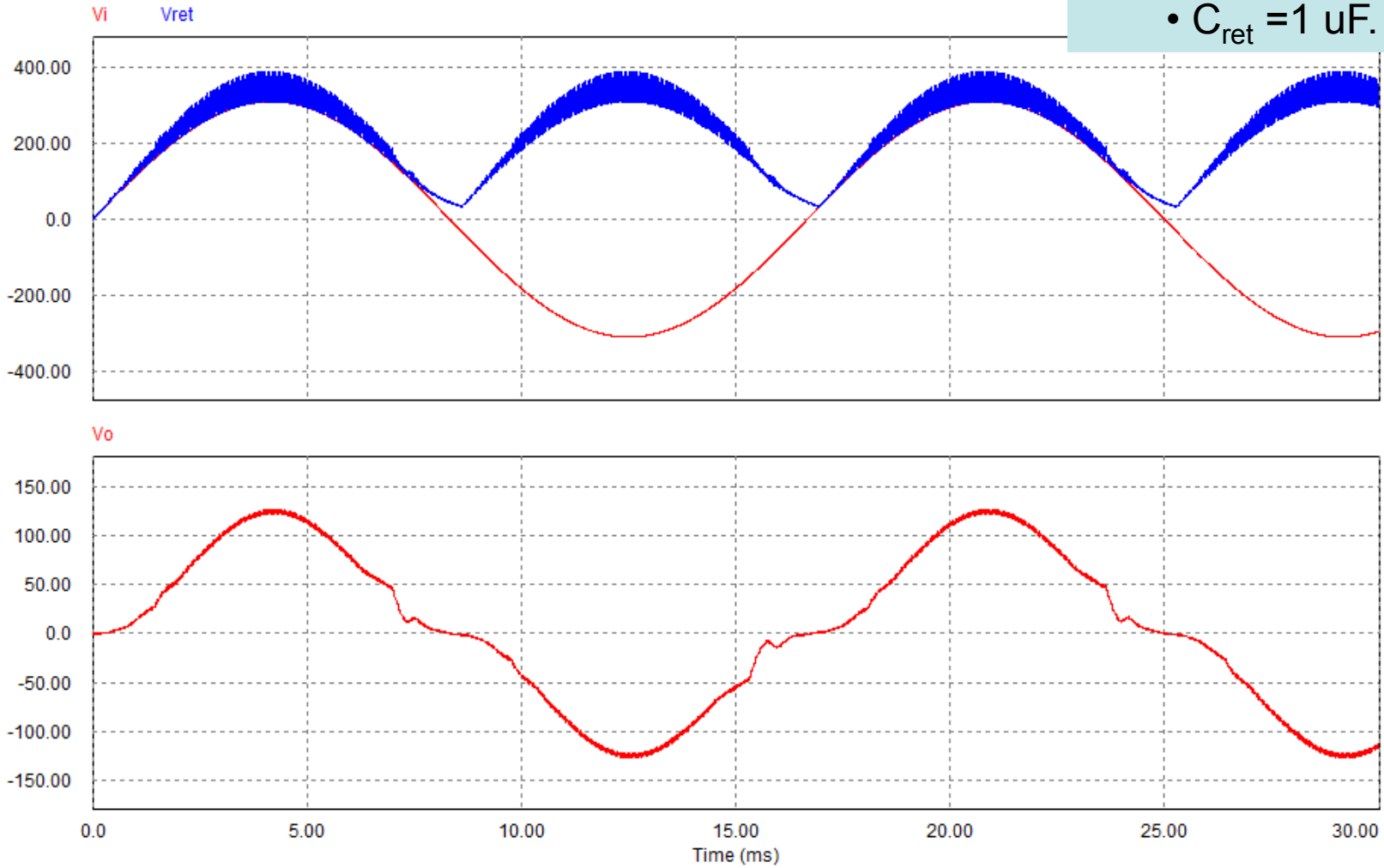
Conversor CA-CA PWM - Simulação



Conversor CA-CA PWM - Simulação

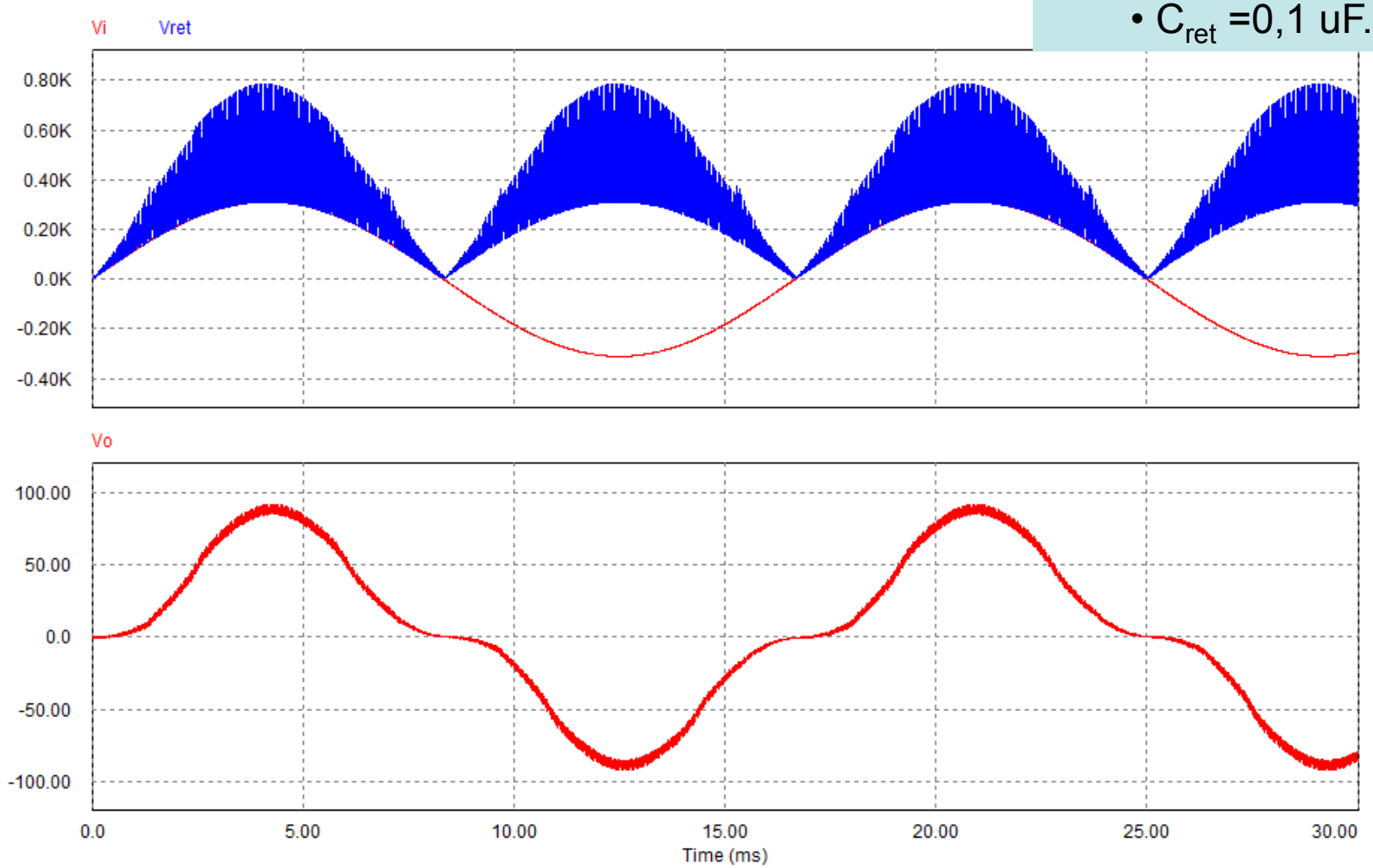
Dados da simulação:

- C_{ret} =1 uF.



Conversor CA-CA PWM - Simulação

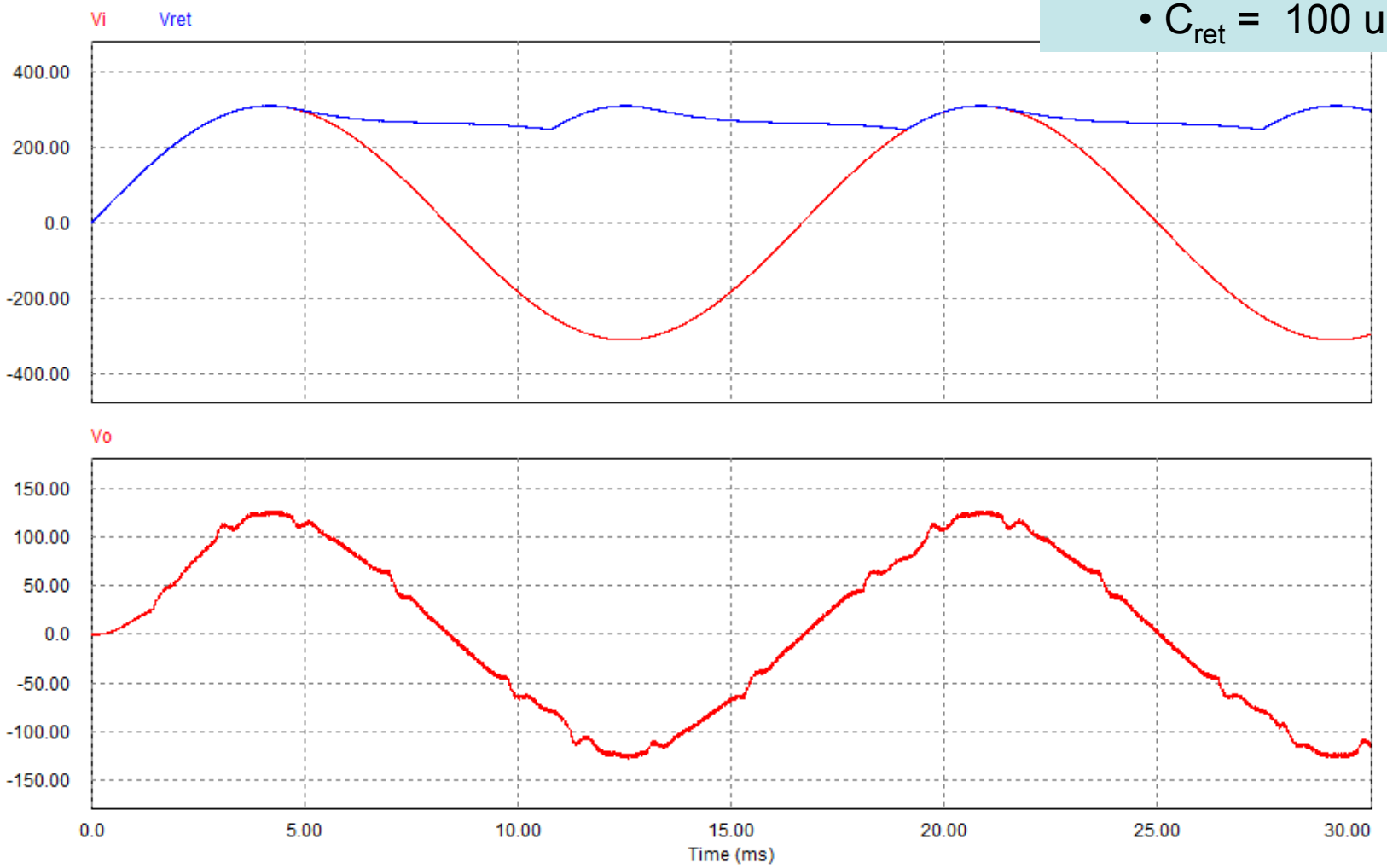
Dados da simulação:
- C_{ret} =0,1 uF.



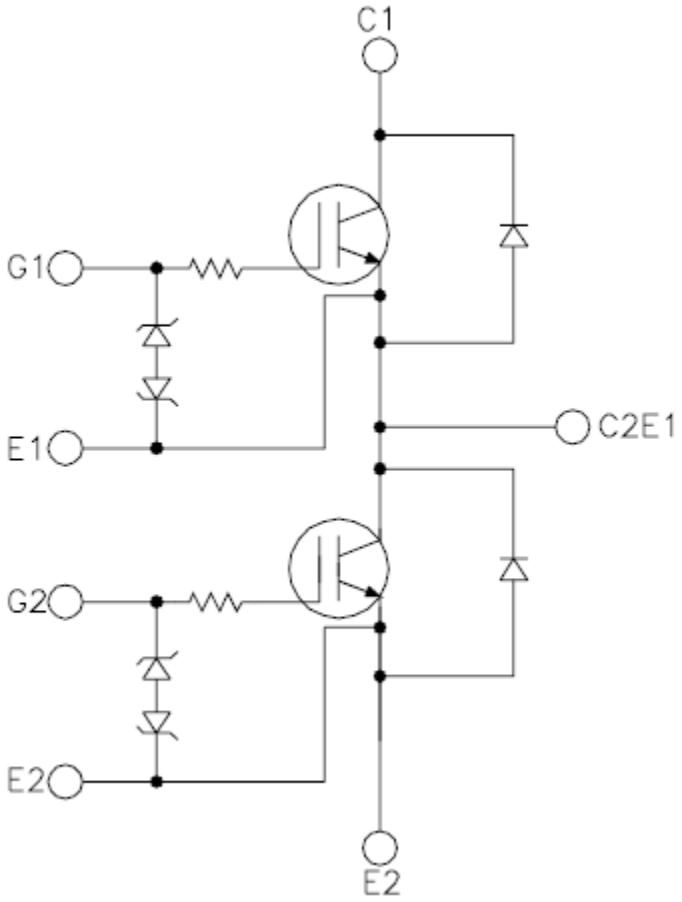
Conversor CA-CA PWM - Simulação

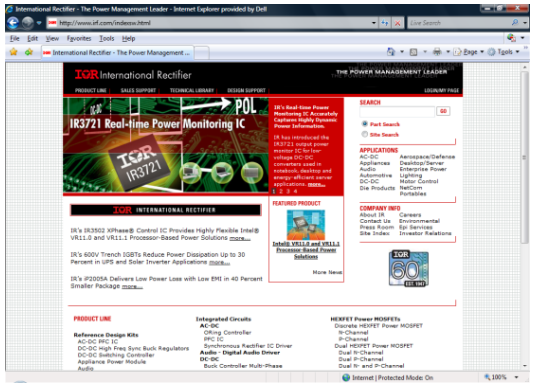
Dados da simulação:

- C_{ret} = 100 uF.



Conversores CC-CA e CA-CA - Semicondutores





www.irf.com

IOR International Rectifier

HiRel™ INT-A-Pak 2, PLASTIC HALF-BRIDGE IGBT MODULE

Product Summary

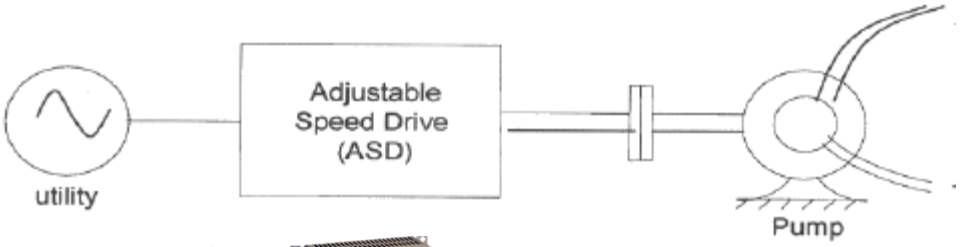
Part Number	V_{CE}	I_C	$V_{CE(SAT)}$
G450HHBK06P2	600V	450A	1.8

Conversores CC-CA e CA-CA - Semicondutores

Drive ✖ **Driver**

Para acionamento de motores

Para acionamento semicondutores



Conversores CC-CA e CA-CA - Semicondutores

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

SEMIKRON
innovation + service

SEMIDRIVER™

Type	Number of Channels	V_{CE} max. V	Gate voltage V	Output peak current A	Output charge □C	Switching frequency kHz	Isolation voltage kV	dv/dt max. kV/□s
SKYPER™ Driver Core								
SKYPER□32 (R)	2	1700	+15 / -7	15	2,5	50	4	50
SKYPER□32PRO (R)	2	1700	+15 / -7	15	6,3	50	4	50
SKHI-DRIVER PCB-mountable								
SKHI□21A (R)	2	1200	+15 / 0	8	4	50	2,5	50
SKHI□22□A□/□B (R)	2	1200	+15 / -7	8	4			
SKHI□22□A / B H4 (R)	2	1700	+15 / -7	8	4			
SKHI□24 (R)	2	1700	+15 / -8	15	5			
SKHI□61 (R)	6	900	+15 / -6,5	2	1			
SKHI□71 (R)	7	900	+15 / -6,5	2	1			
SKHI-DRIVER Plug-and-Play								
SKHI□10/12 (R)	1	1200	+15 / -8	8	9,6			
SKHI□10/17 (R)	1	1700	+15 / -8	8	9,6			
SKHI□23/12 (R)	2	1200	+15 / -8	8	4,8			
SKHI□23/17 (R)	2	1700	+15 / -8	8	4,8			
SKHI□26W,□SKHI□26F *	2	1600	+15 / -8	8	10			
SKHI□27W *	2	1700	+15 / -8	30	30	10	4	75
SKHIT□01 (R)	3	-	-	-	-	-	2,5	-

Microrredes e Redes Inteligentes de Energia Elétrica

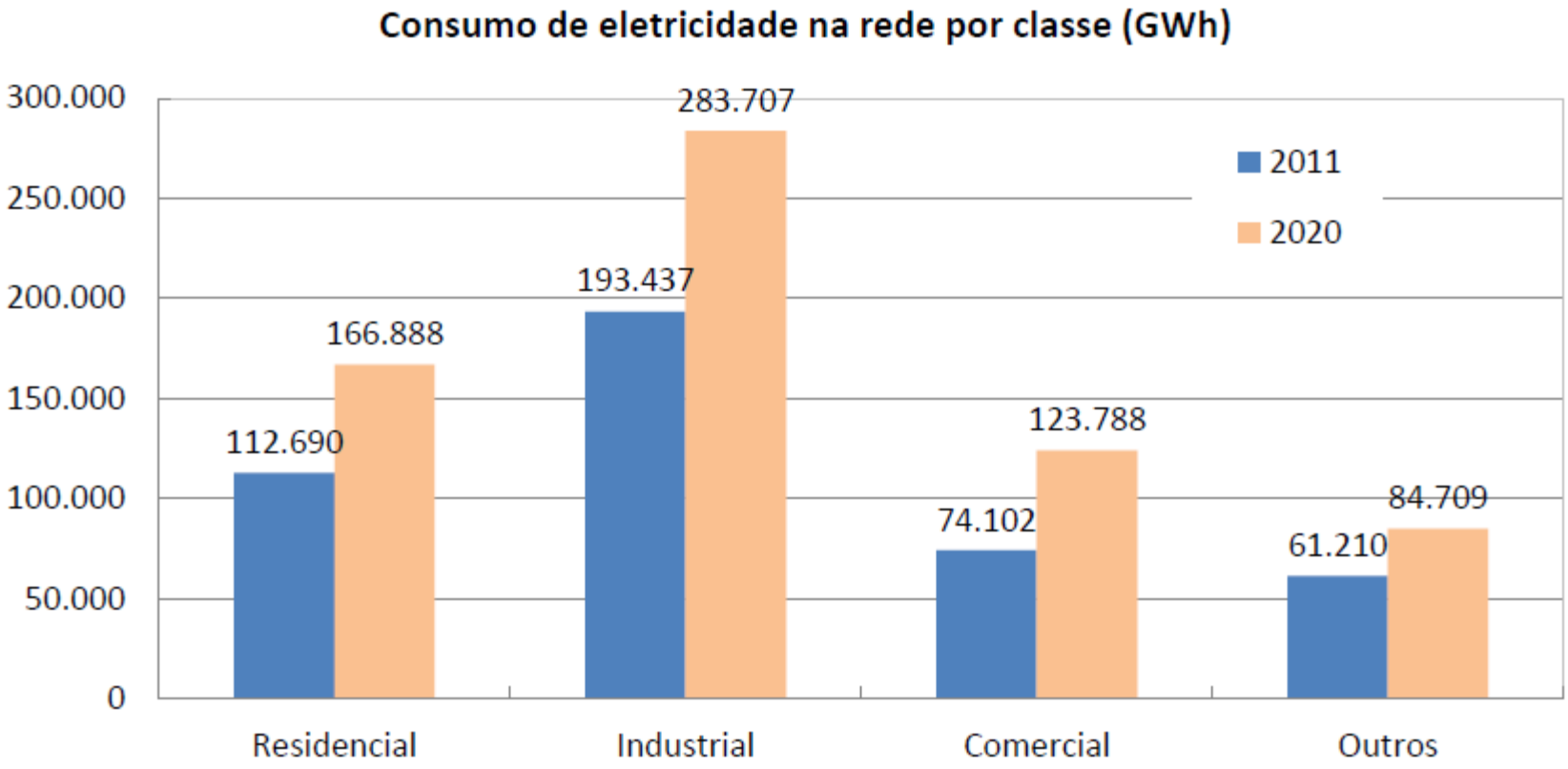
Redes Elétrica do Futuro: Introdução

- A demanda mundial por energia elétrica aumentará significativamente nas próximas décadas:
  - Taxa de aumento é de 2,7% ao ano (U.S. EIA);
    - Inclusão de fontes de energias renováveis e limpas;
      - Preocupação com o impacto socioambiental;

- Os sistemas elétricos vêm passando por profundas mudanças:
  - Modernização (área tecnológica);
  - Busca de aumento do rendimento e confiabilidade;

- Inclusão de Recursos de Energias Distribuídas nas redes de distribuição:
  - Geração Distribuída (*Distributed Generation*);
  - Unidades de Armazenamento Distribuído (*Distributed Storage*);
  - Microgerações (*Microsources*);

Redes Elétrica do Futuro: Introdução



2011:
441.44 GWh

2020:
+ 218 GWh

Fonte: EPE, “Plano Decenal de Expansão de energia elétrica 2020”

Redes Elétrica do Futuro: Microrredes

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Definição Microrrede (*microgrid*):

- É a integração de vários recursos de geração distribuída e um conjunto de cargas em uma pequena rede local, formada por redes de média e baixa tensão.

- A microrrede deve estar preparada para operar conectada com a rede de distribuição principal e, em casos de falta desta, possuir a capacidade de operar de maneira ilhada.

Redes Elétrica do Futuro: Microrredes

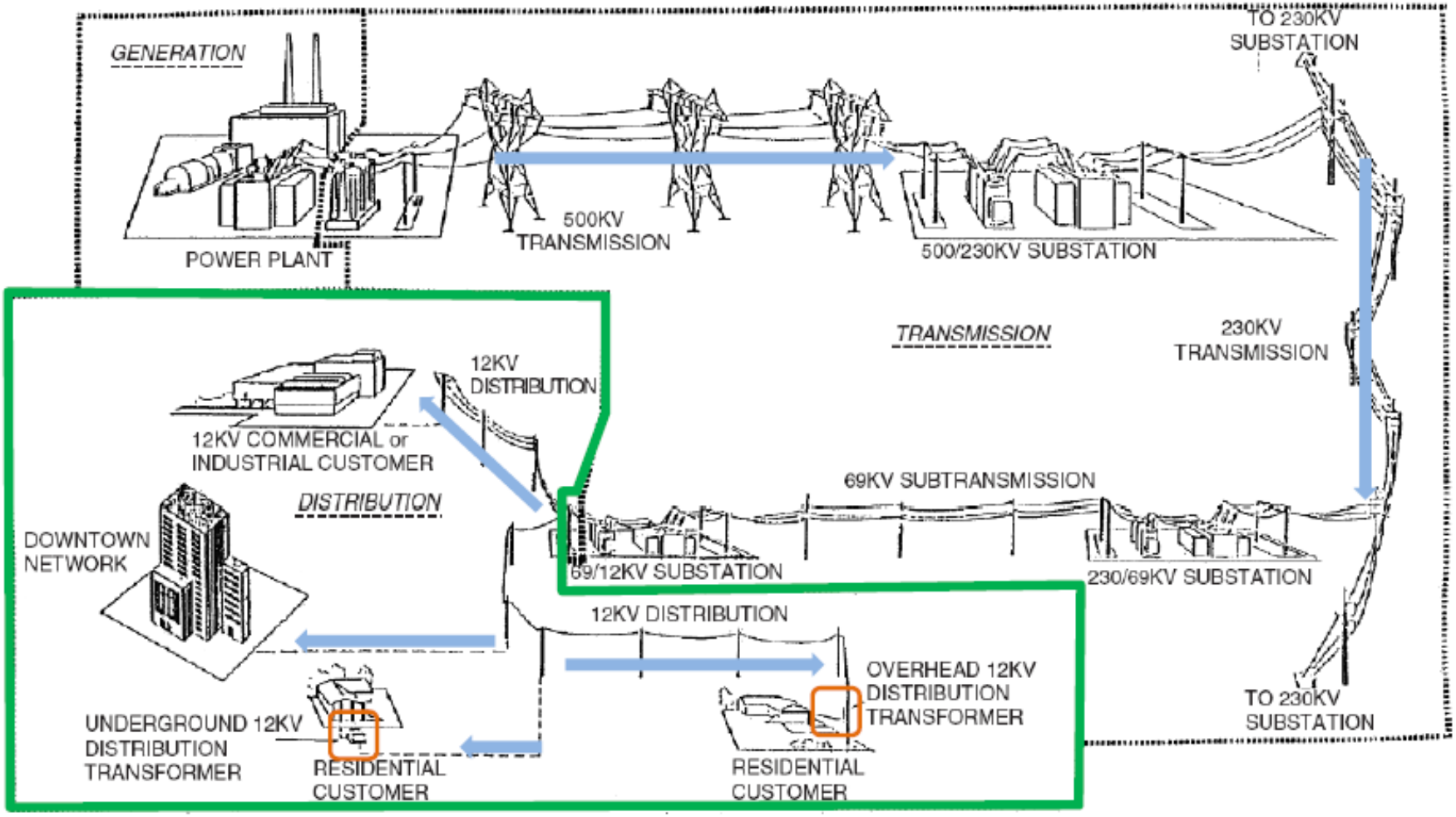
A Inclusão de Recursos de energia distribuídos e novas tecnologias:

- Atuarão como pequenos sistemas de distribuição/geração;
- Constituindo assim a denominação das microrredes (*microgrid*);
- Originando o conceito de redes ativas de distribuição;
- Podem tornar as redes mais inteligentes (*smart grid*);
- Os clientes serão também microgeradores de energia elétrica (ANEEL, RN 482, 2012).

Redes Elétrica do Futuro: Microrredes

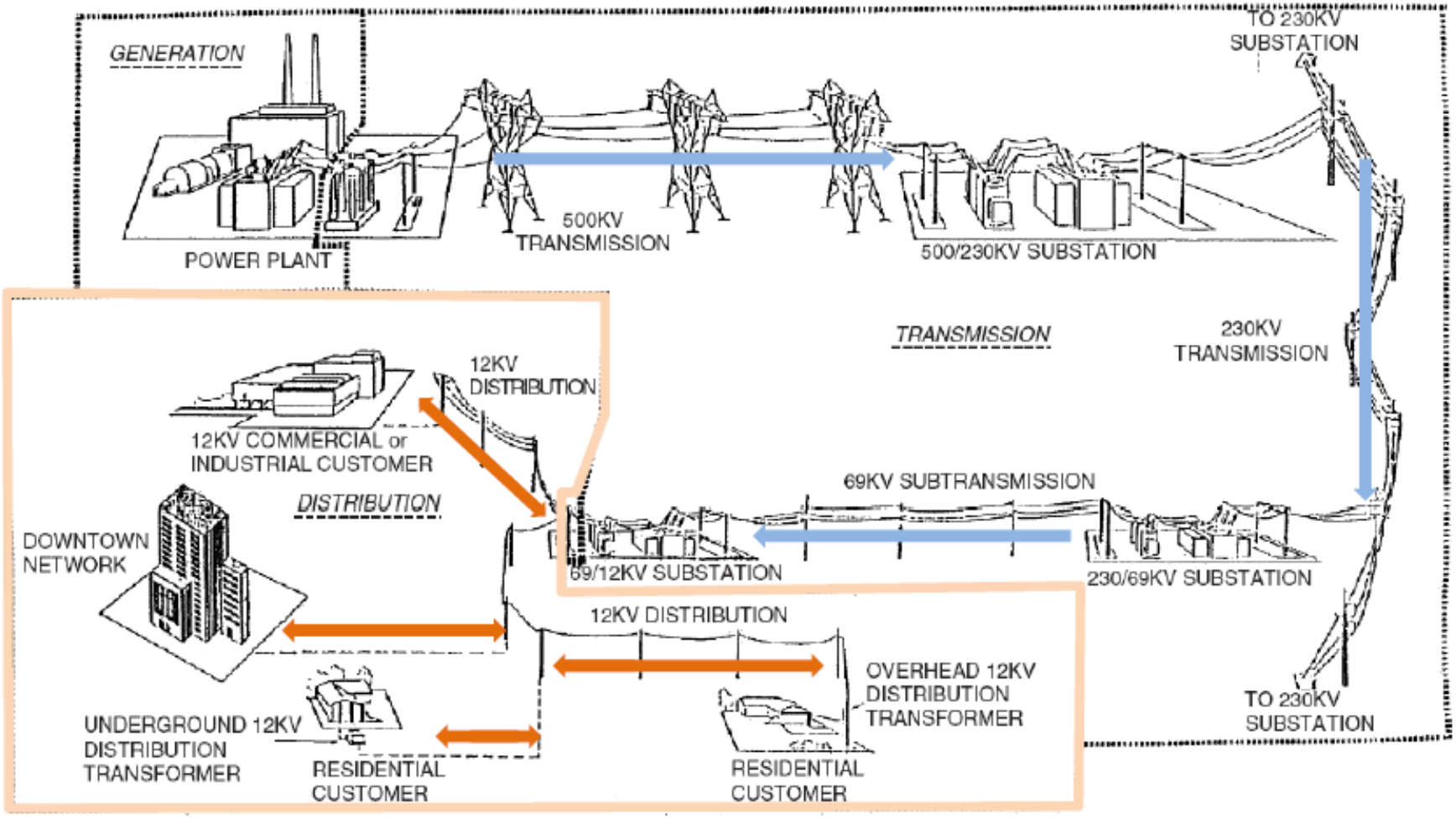
- Principais Vantagens das Microrredes:
  - Redução de perdas de transmissão e distribuição;
  - Redução no custo de transmissão;
  - Redução de picos de demanda;
  - Possibilidade de geração de energia renovável;
  - Menor investimento.

Redes Elétrica do Futuro: Microrredes



Redes de distribuição (unidirecional)

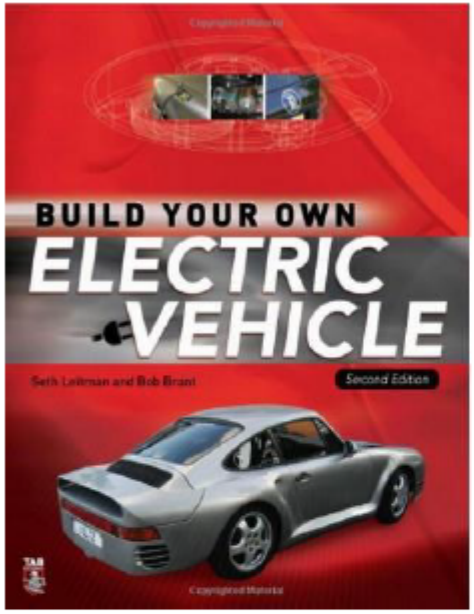
Redes Elétrica do Futuro: Microrredes

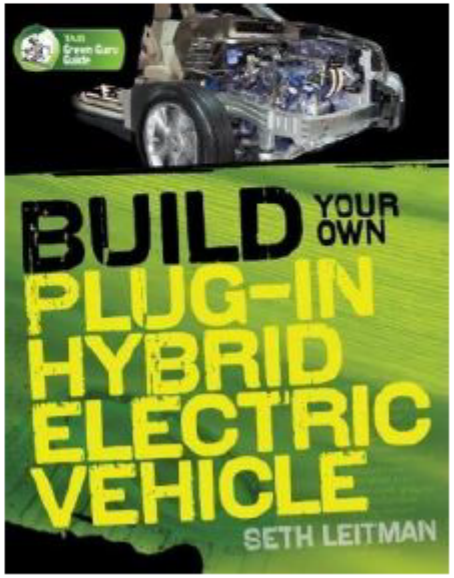


Rede ativa de distribuição (bidirecional)

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

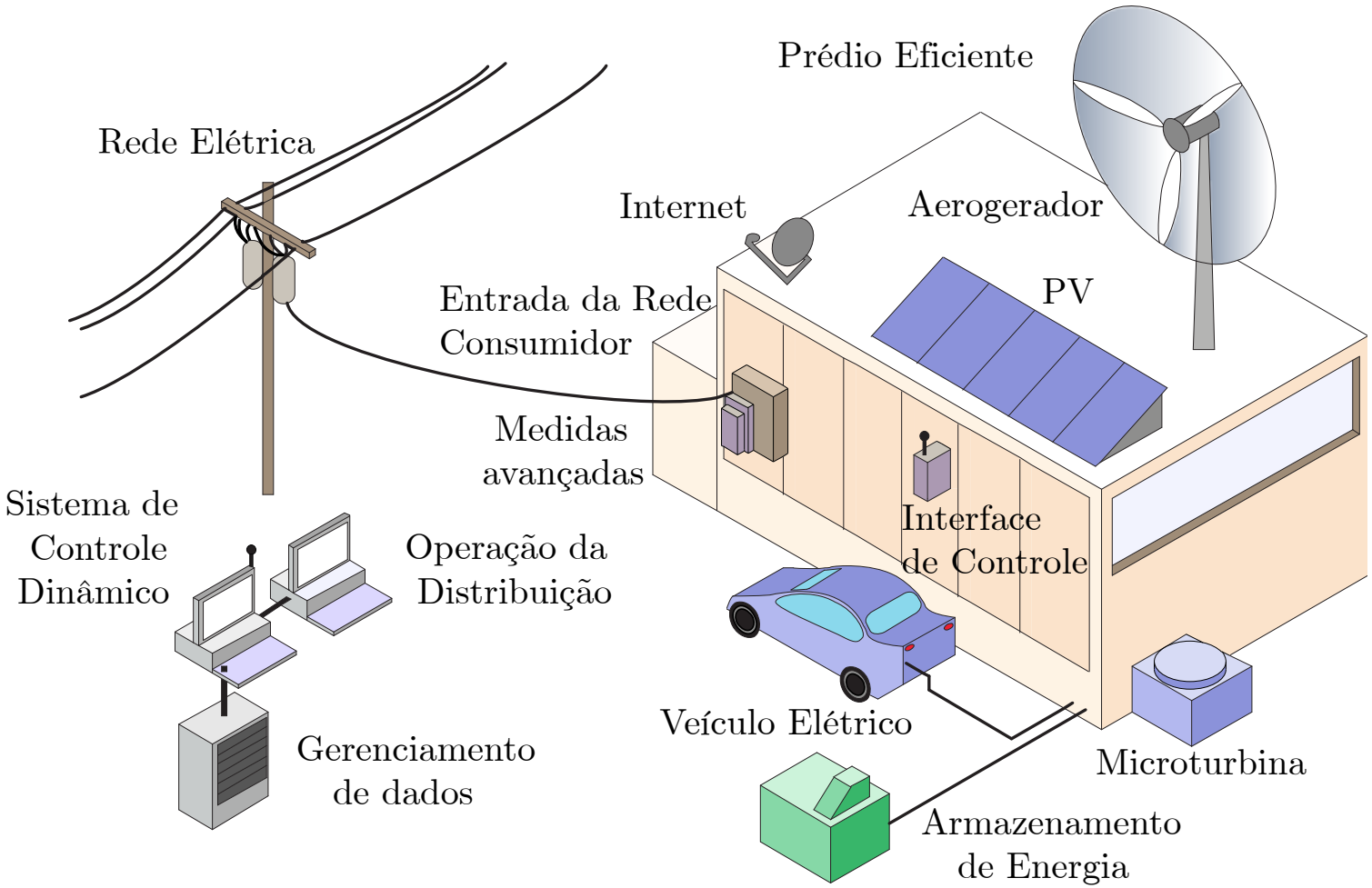
Popularização de Veículos Elétricos:





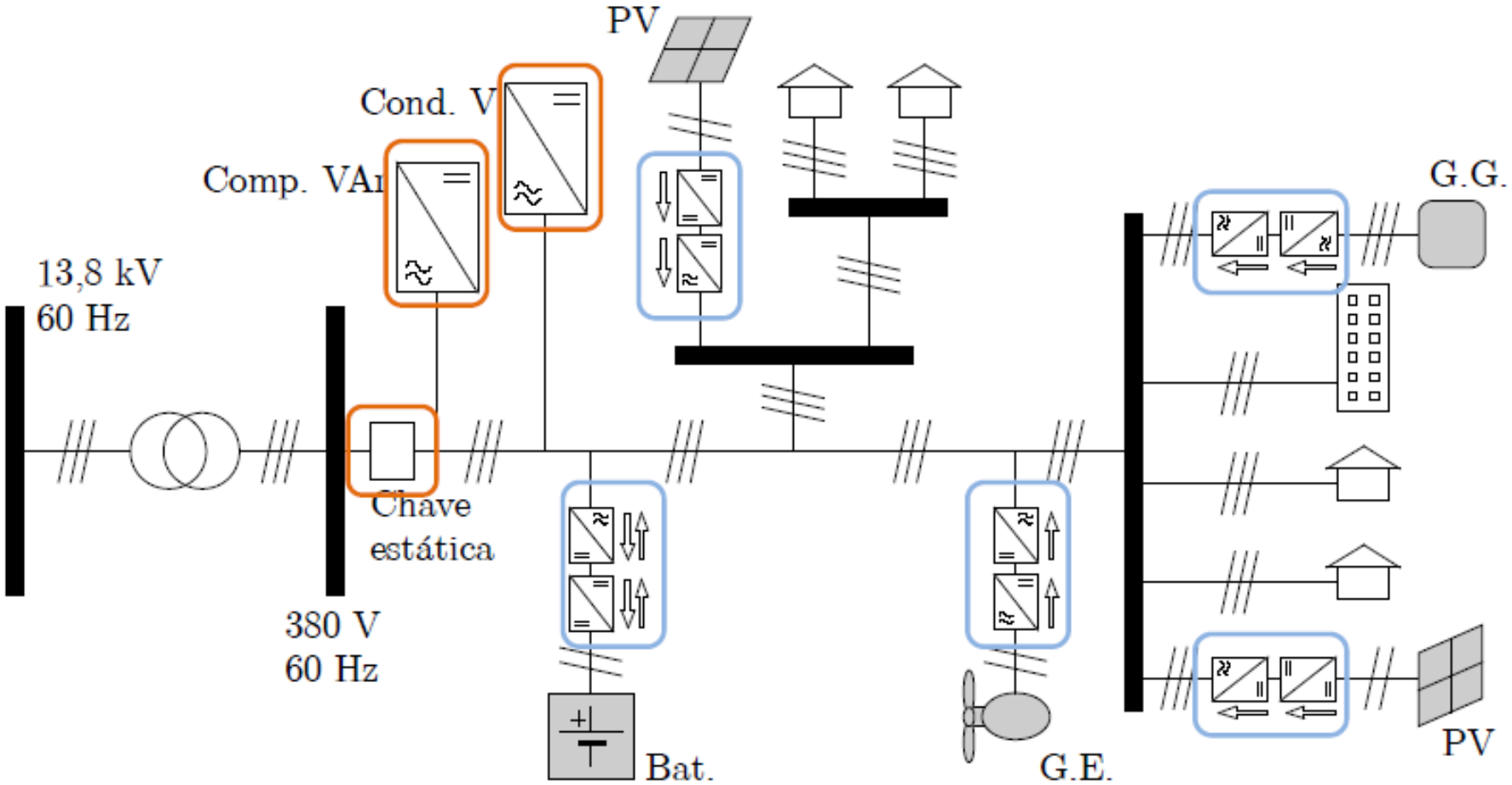
Redes Elétrica do Futuro: Microrredes

- Exemplo: Microrrede em um prédio



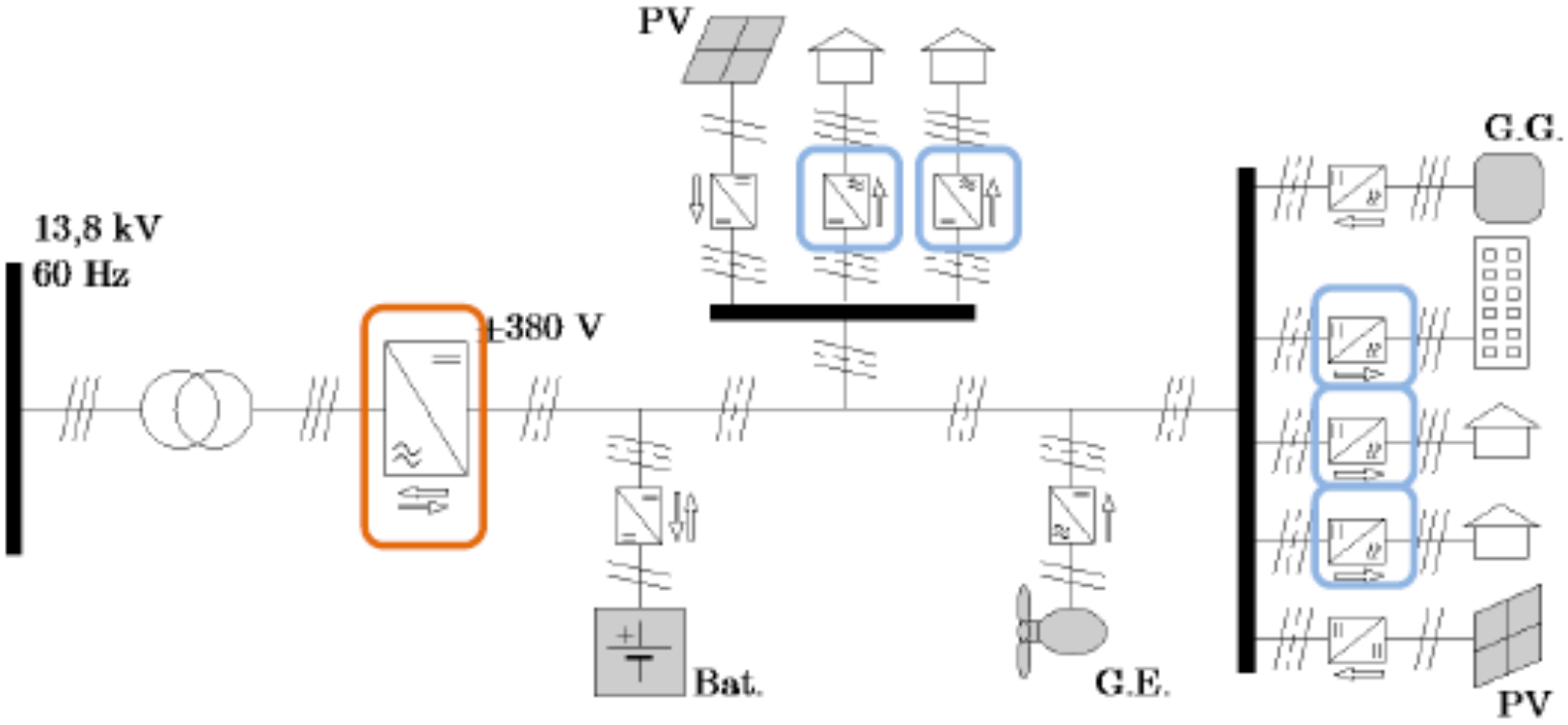
Redes Elétrica do Futuro: Microrredes

Microrrede em CA:



Redes Elétrica do Futuro: Microrredes

Microrrede em CC:

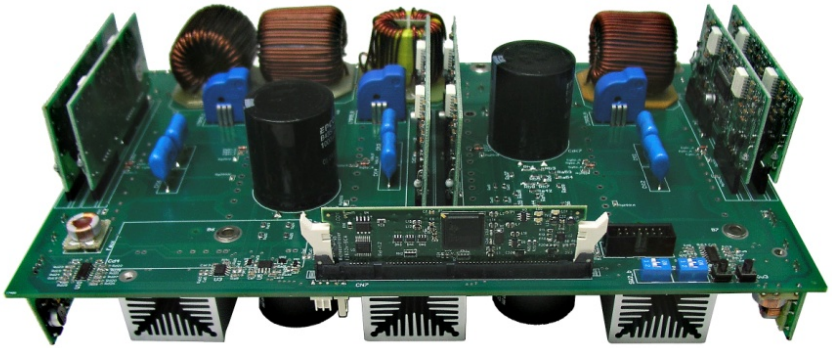


Redes Elétrica do Futuro: Eletrônica de Potência

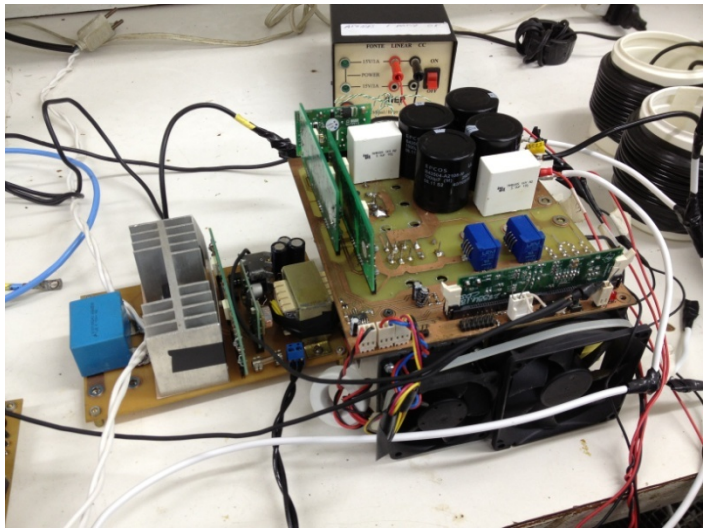
- A eletrônica de potência é uma das chaves para a implementação das microrredes:
  - Interface entre a rede principal e as microfontes de energia e fontes de armazenamento;
  - Emprego de conversores estáticos para melhoria da qualidade de energia elétrica.
- Graças as avanços tecnológicos dos dispositivos semicondutores:
  - Aumento da capacidade de processamento da energia;
  - Melhor desempenho e menor custo.

Redes Elétrica do Futuro: Eletrônica de Potência

- A eletrônica de potência é uma das chaves para a implementação das microrredes:



Retificadores com alto fator de potência



Conversores CC-CC

Retificador + Inversor

Redes Elétrica do Futuro: Exemplos

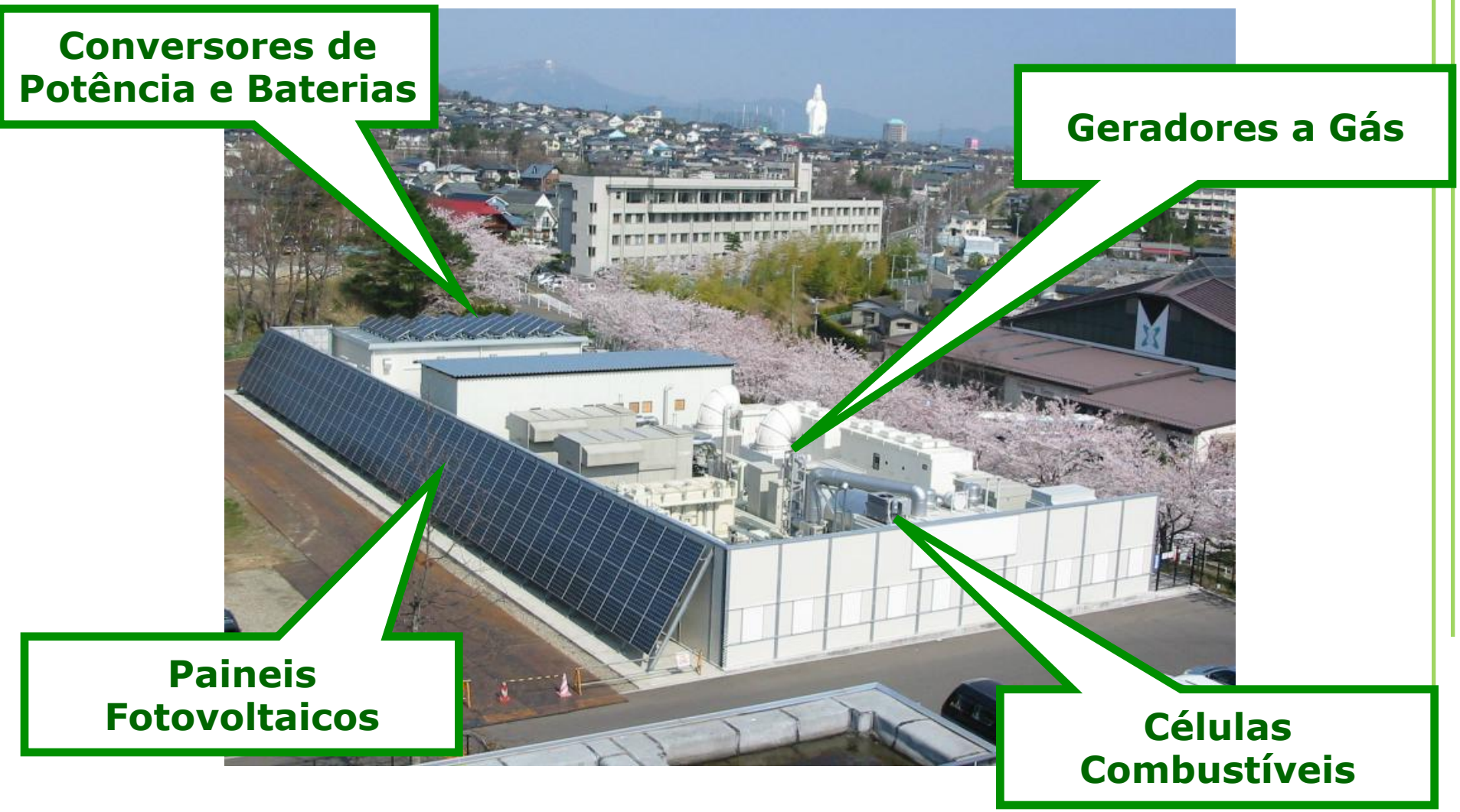
- Exemplos de implementação de microrredes.

Sendai, Japão

Redes Elétrica do Futuro: Exemplos

- Exemplos de implementação de microrredes.

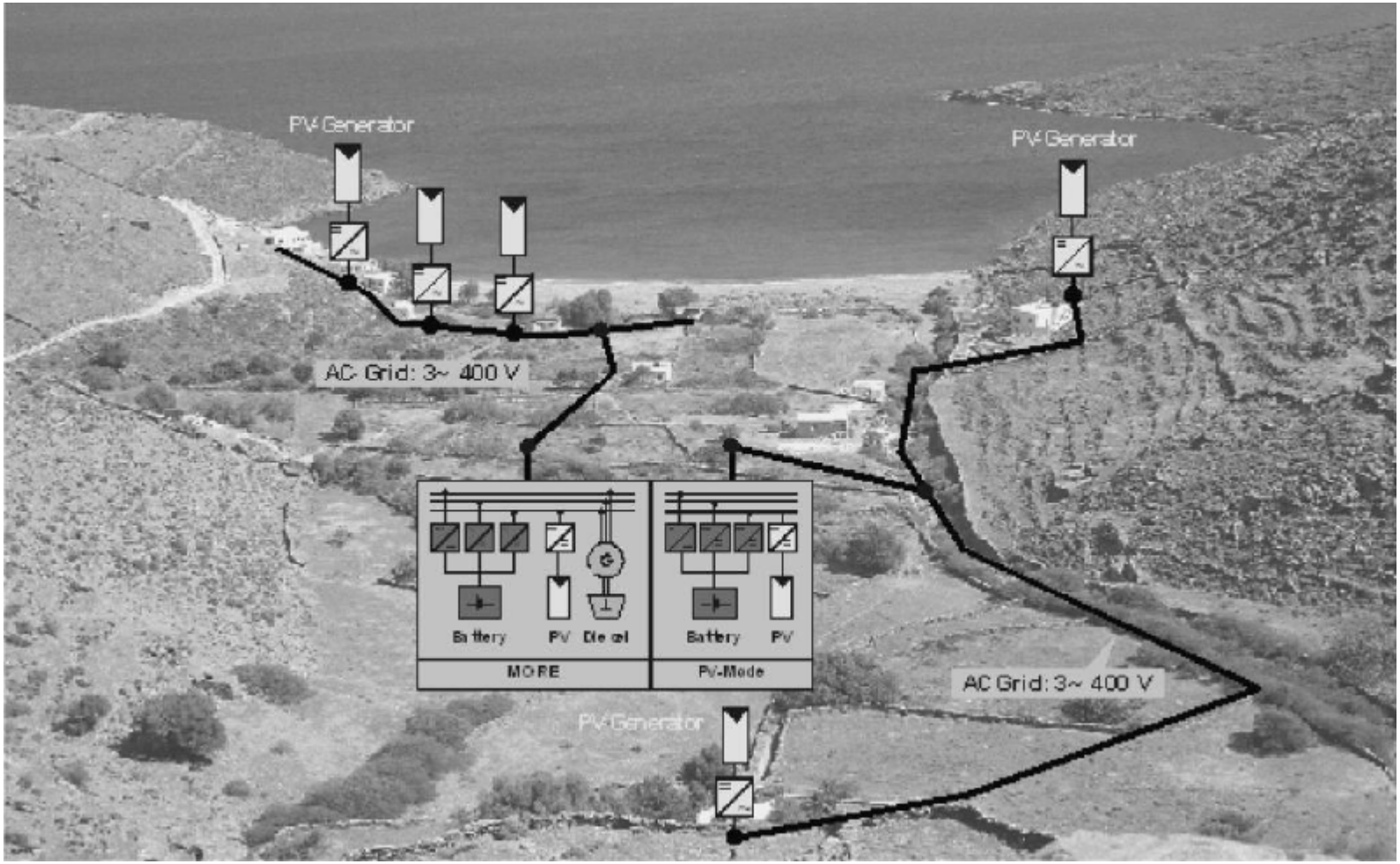
Sendai, Japão



Redes Elétrica do Futuro: Exemplos

- Exemplos de implementação de microrredes.

Kythnos, Grécia



Redes Elétrica do Futuro: Redes Inteligentes

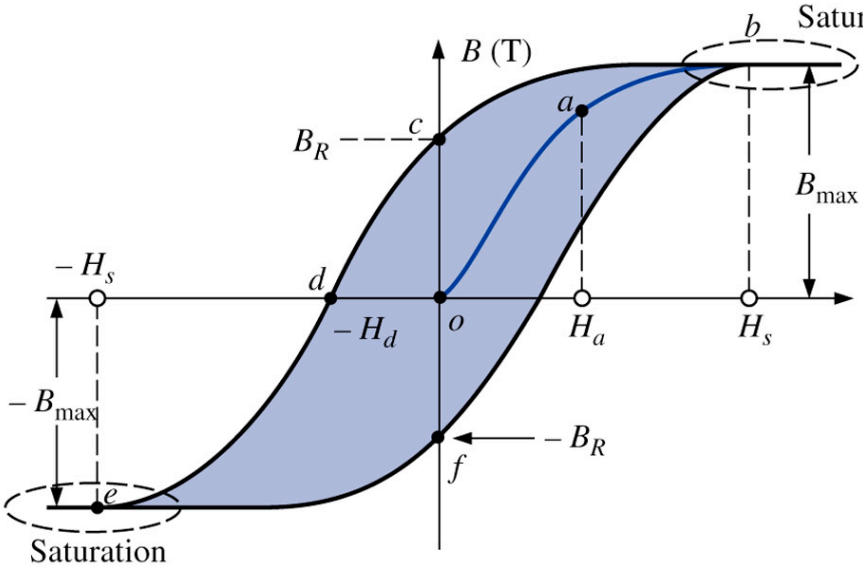
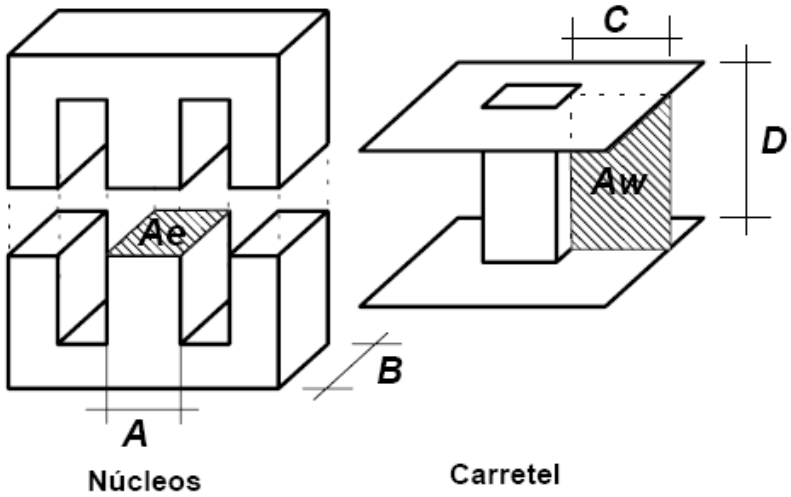
- Redes Inteligentes (*Smart Grid*):
  - Utilização de Tecnologia de Informação e Comunicação;
  - Aumento do controles dos sistemas;
  - Otimização dinâmica de operações;
  - Integração de fontes distribuída;
  - Aumento de controles “smart” do consumo;
  - Utilização de técnicas de redução de pico;
  - Fornecimento de dados para usuários;
  - Outros;

Redes Elétrica do Futuro: Redes Inteligentes

- Redes Inteligentes (*Smart Grid*):

Fonte: www.smartgrid.epri.com

Próxima aula

Projeto de elementos magnéticos:

- Revisão de eletromagnetismo;
- Projeto de indutores e transformadores.