

Funcionamento:

Aulas Teóricas

Aulas de Laboratório

Avaliação:

Exercícios de 3 em 3 semanas 40%

Relatórios dos trab. de laboratório 20%

Exame Final 40%

Bibliografia:

Textos de Apoio

Guias de Laboratório

Colecção de Problemas

Livros

Contactos:

Beatriz Vieira Borges (responsável)

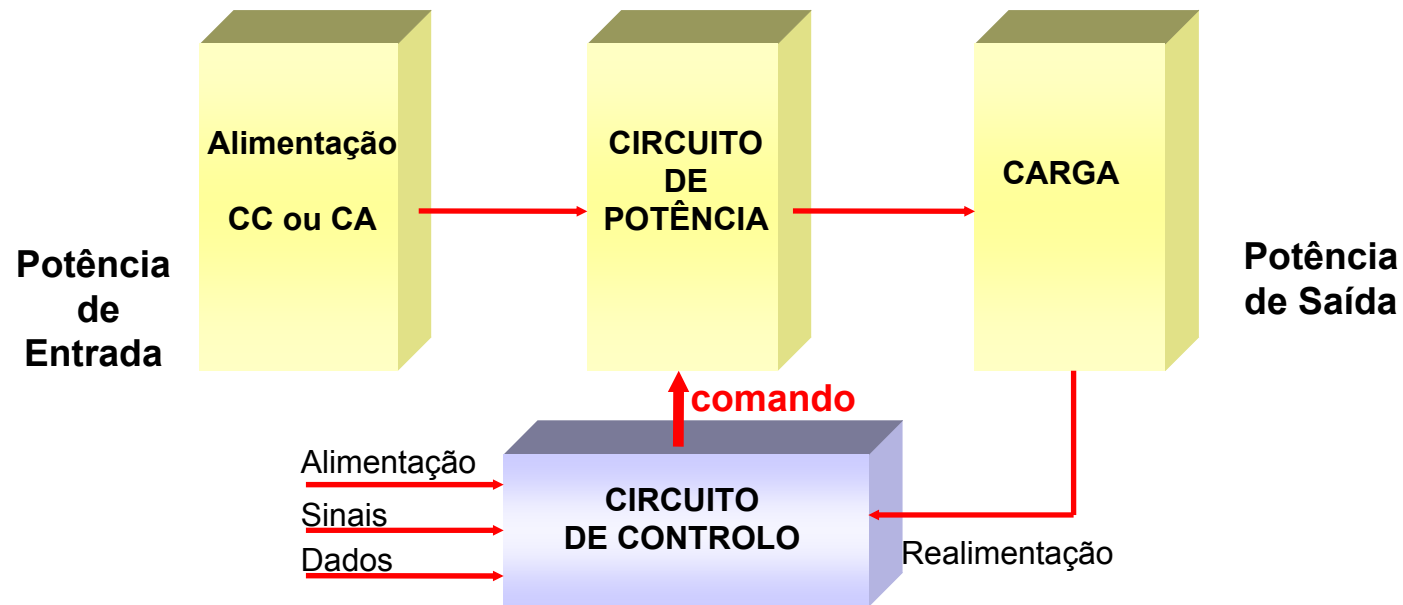
email: bborges@lx.it.pt

Conteúdo da Disciplina:

1. Introdução à Electrónica de Potência
2. Dispositivos electrónicos
3. Circuitos com interruptores e diodos
4. Regimes transitórios, recuperação de energia.
5. Conversores CA/CC (rectificadores monofásicos):
 - Rectificadores não controlados**
 - Rectificadores controlados**
 - Condução simultânea**

6. Conversores CC/CC:
 - Topologias básicas**
 - Princípios de operação**
 - Fontes de alimentação de comutada c. isolam. galvânico**
 - Modelização de conversores**
7. Transformadores e bobines de alta frequência
8. Conversores CC/CA:
 - Princípios de operação e técnicas de modulação**
9. Amplificadores audio comutados
10. Técnicas de comutação ressonante

Conversor Electrónico



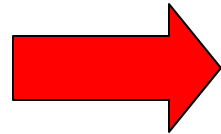
CIRCUITO DE POTÊNCIA

- dispositivos semicondutores
- filtros de entrada e de saída
- transformador de potência
- protecções

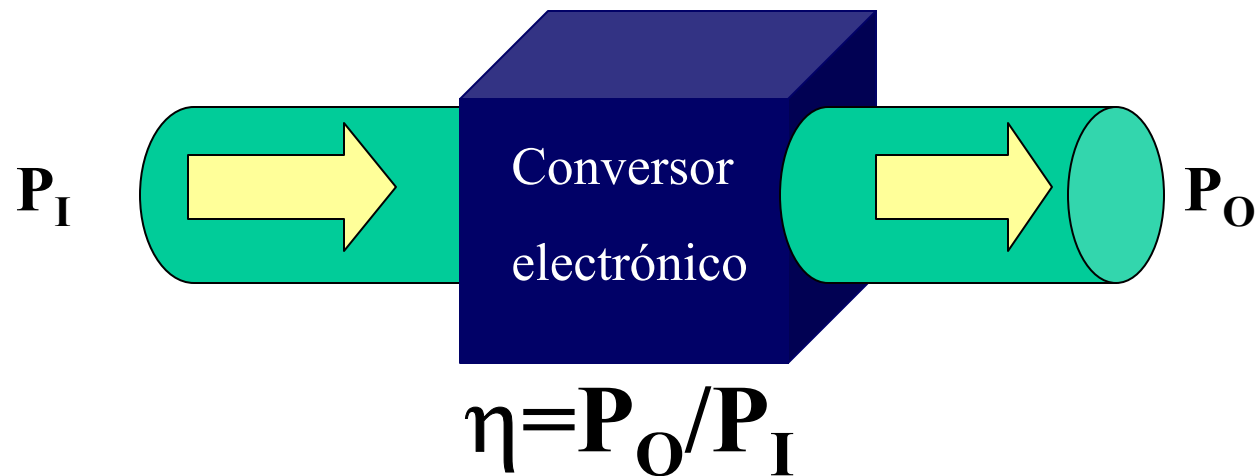
CIRCUITO DE CONTROLO E COMANDO

- dispositivos electrónicos necessários à regulação e comando do conversor

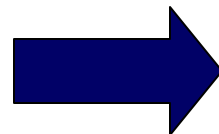
**Alto
rendimento**



**Grande densidade de
potência [W/cm³]**



Quando o rendimento é baixo, há grande **dissipação térmica** no interior do conversor. O calor gerado tem que ser retirado para o exterior

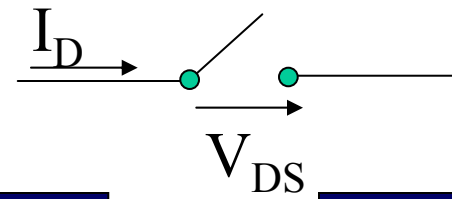


perda de

FIABILIDADE

**GRANDES DIMENSÕES
(dissipadores)**

Dispositivos electrónicos a funcionar na condução e no corte



CONDUÇÃO

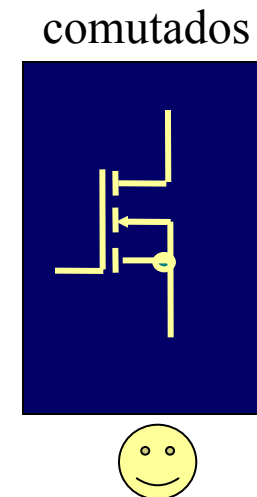
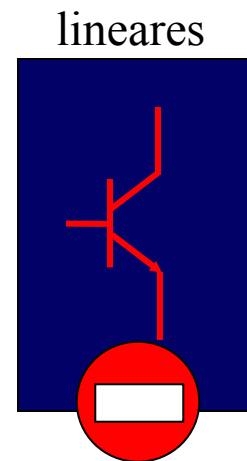
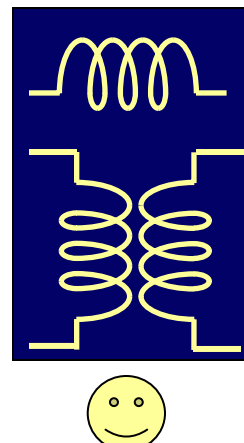
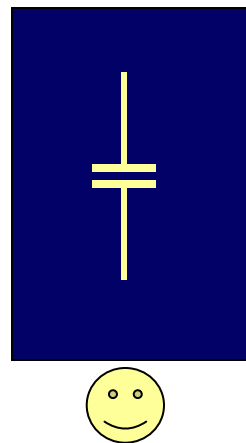
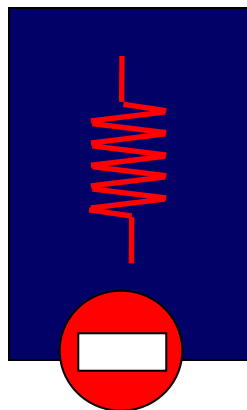
$$V_{DS}=0$$

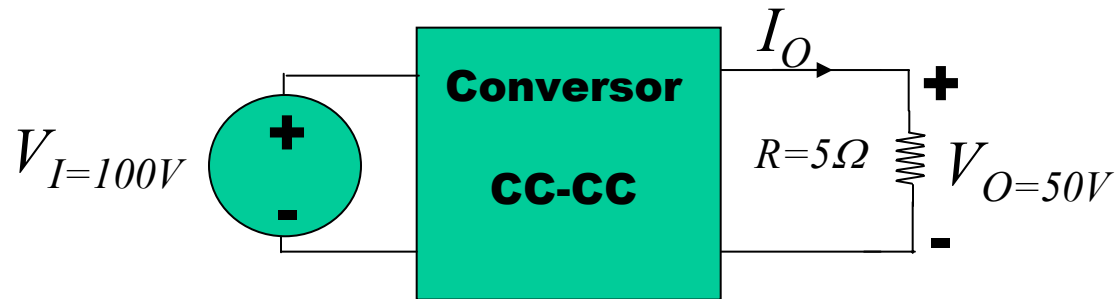
CORTE

$$I_D=0$$

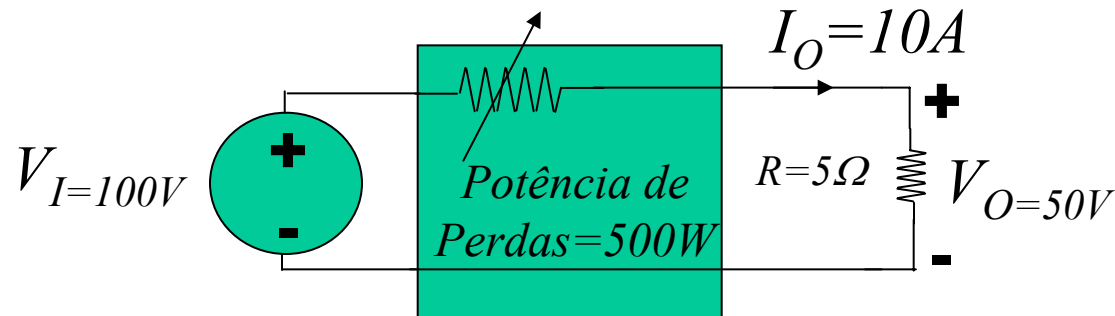
$$P_D=I_D * V_{DS}=0$$

Componentes não dissipativos



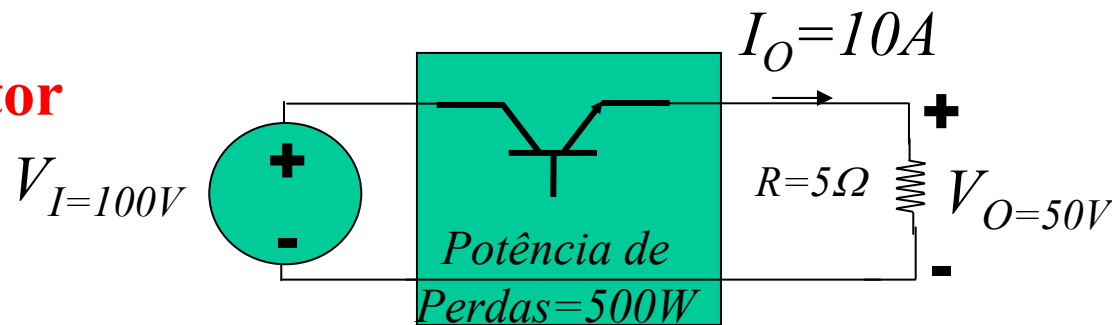


Resistência
variável
 $\eta=50\%$



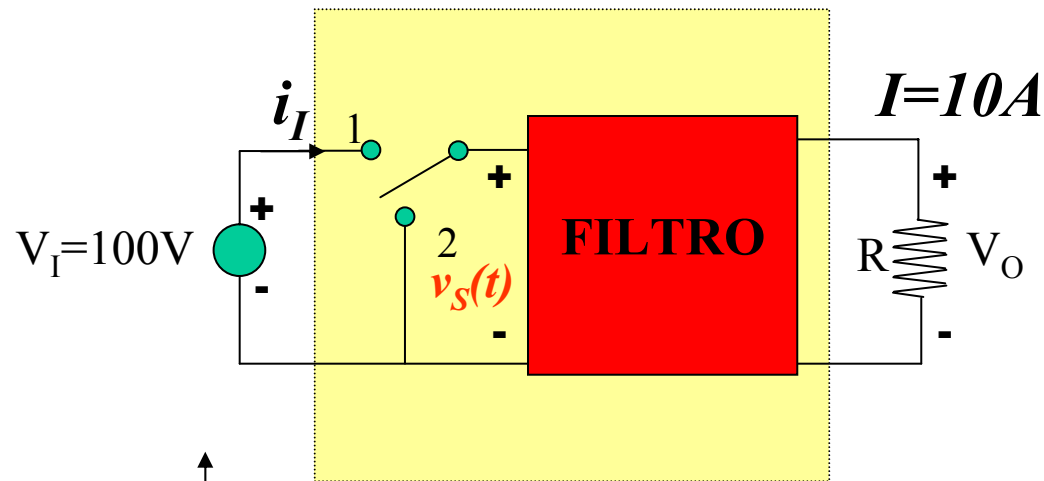
X

Semicondutor
linear
 $\eta=50\%$

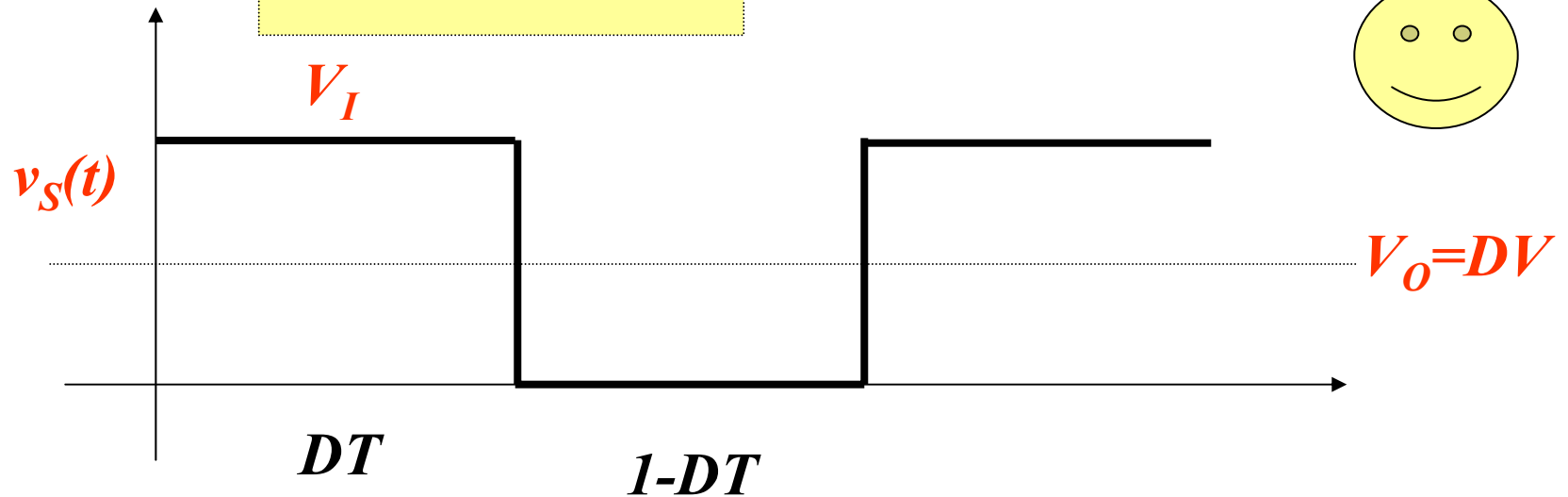


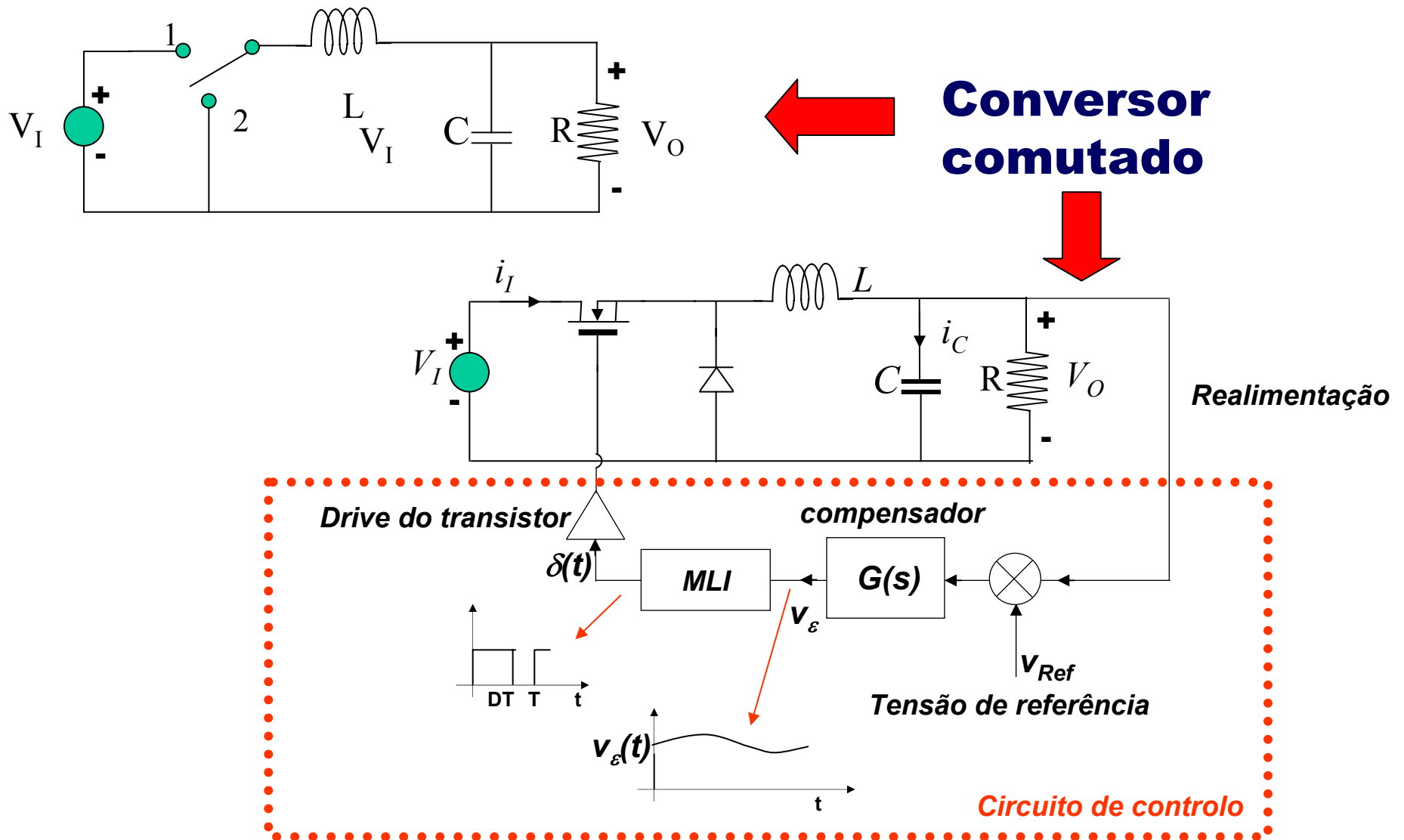
X

Conversor comutado $\eta=100\%$



$$V_O = \frac{1}{T} \int_0^T v_S(t) dt = DV_I$$





Classificação de conversores quanto às formas de onda das tensões de entrada e de saída

Conversores CA-CC

rectificadores

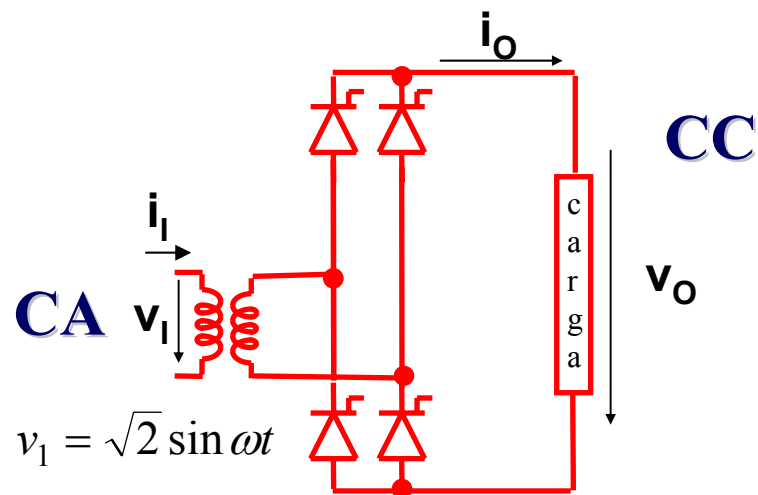
Conversores CA-CA

Conversores CC-CC

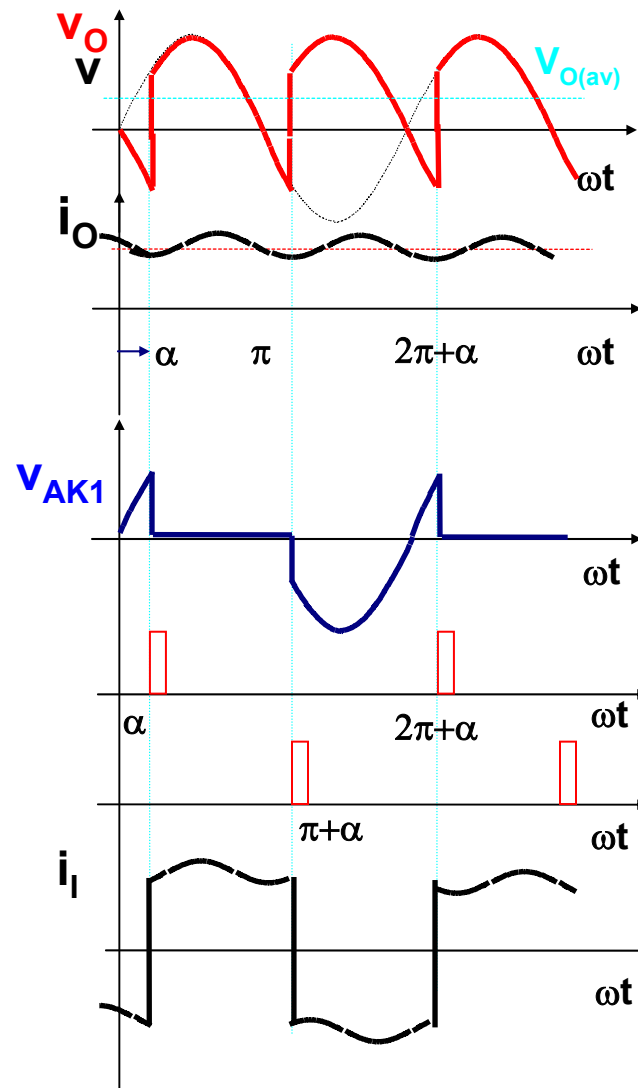
Conversores CC-CA

inversores

Conversores CA-CC Comutação natural

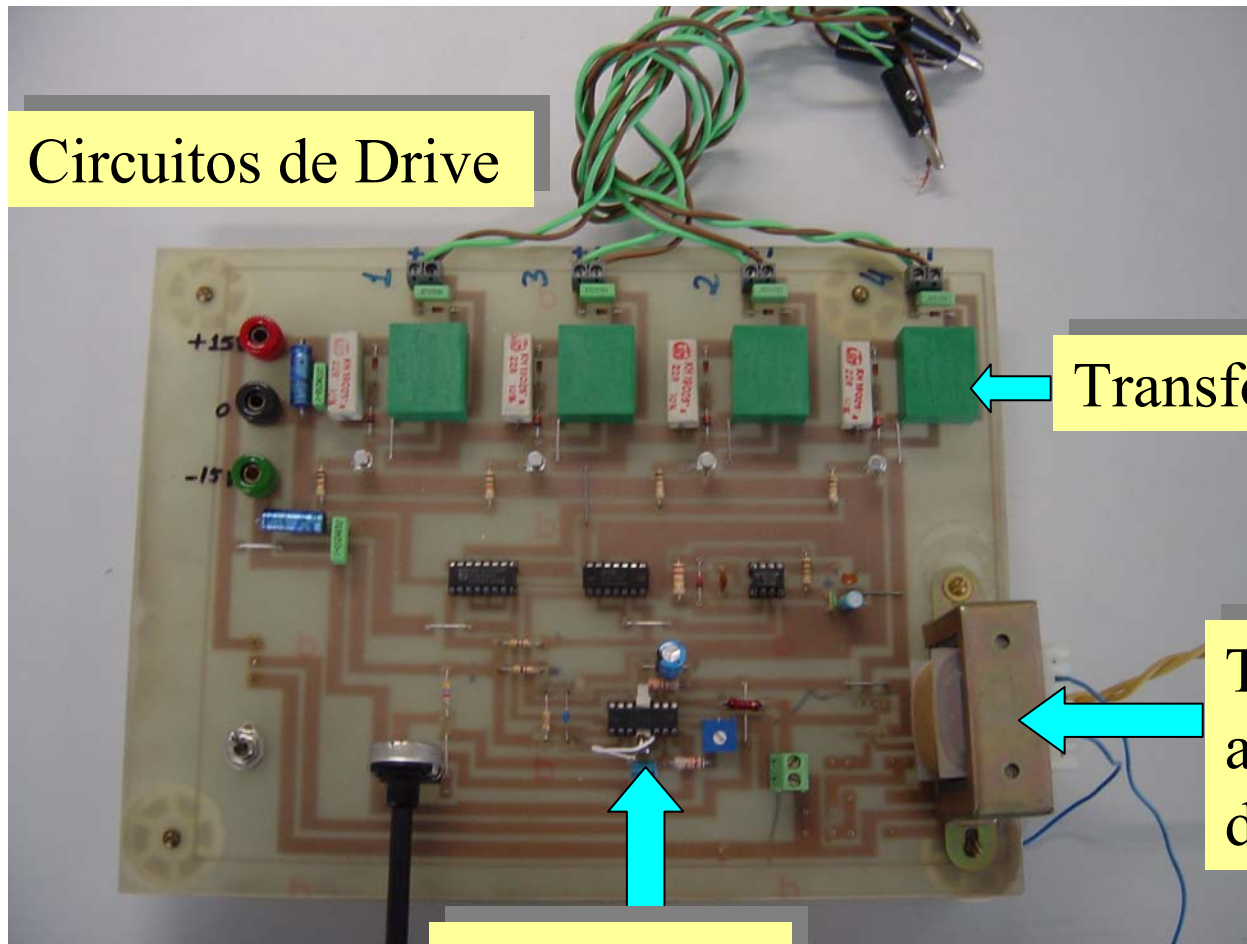


$$i_o > 0 \text{ e } v_o > 0 \text{ ou } < 0$$

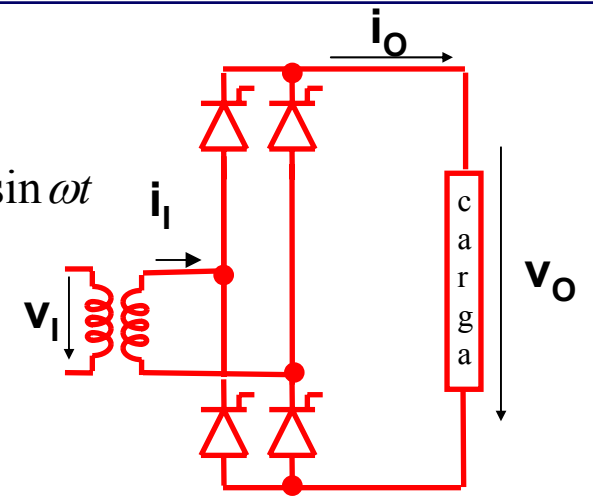


Conversores CA-CC

Circuitos de Drive



$$v_1 = \sqrt{2} \sin \omega t$$

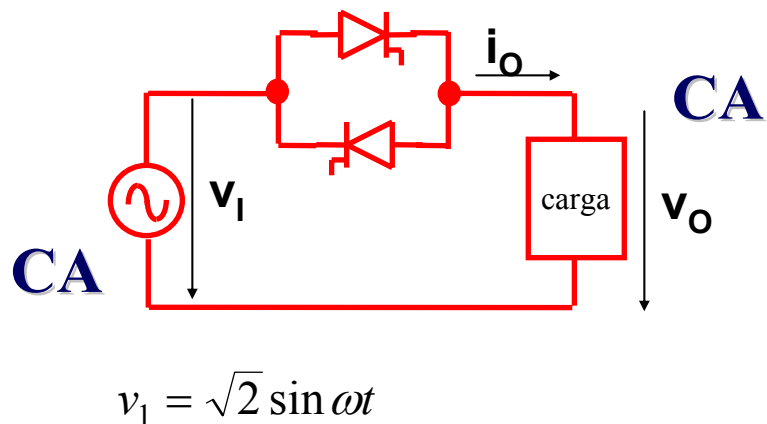


Transformadores de impulsos

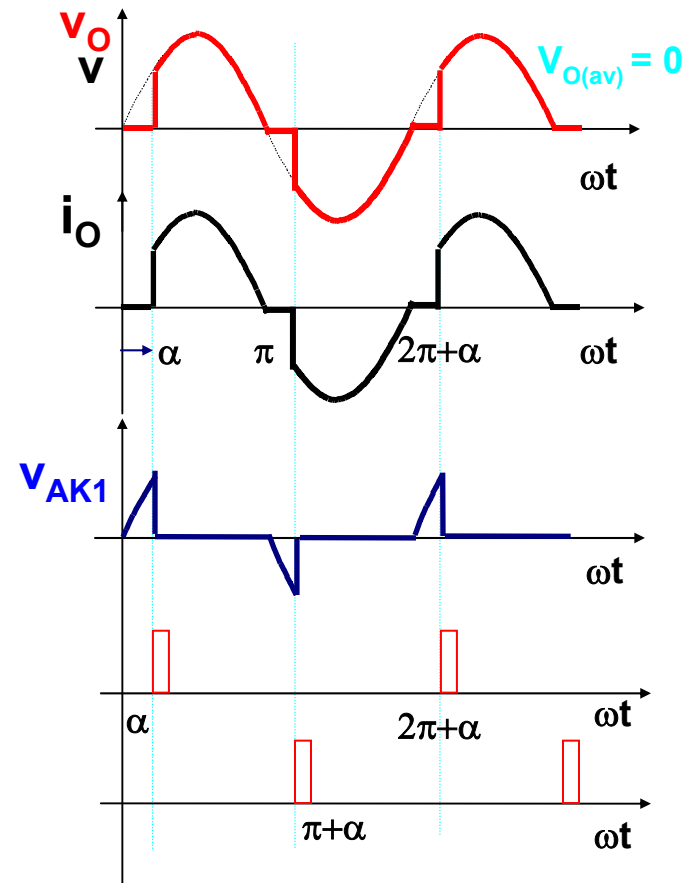
Transformador de amostragem da tensão de entrada

Controlador

Conversores CA-CA Comutação natural

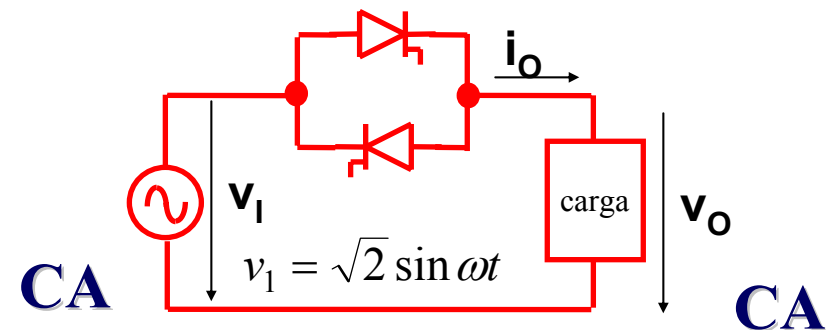


$i_o > 0$ ou < 0 e $v_o > 0$ ou < 0

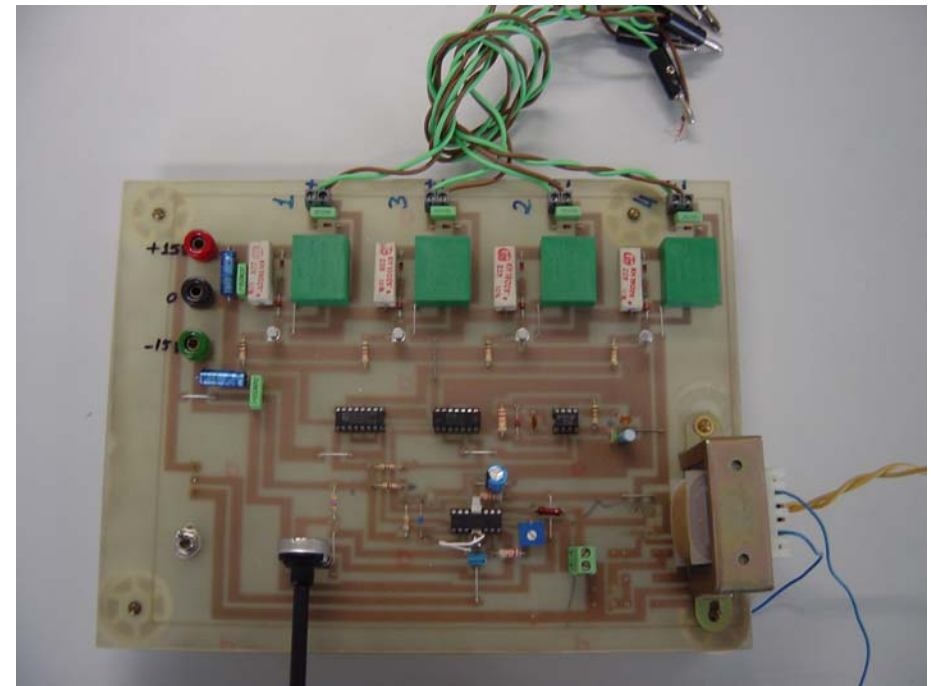


Conversores CA-CA

Comutação natural

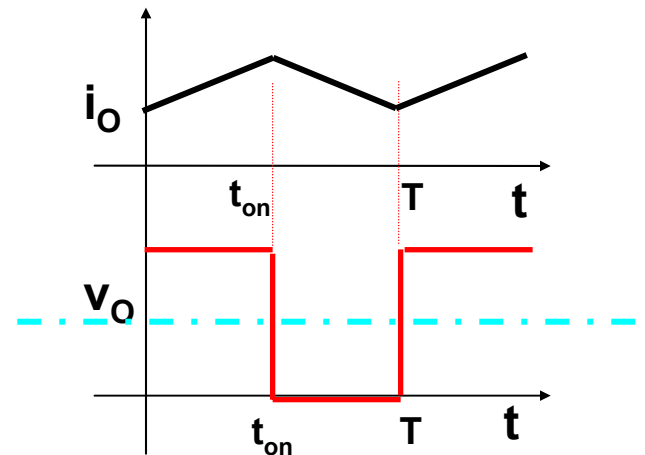
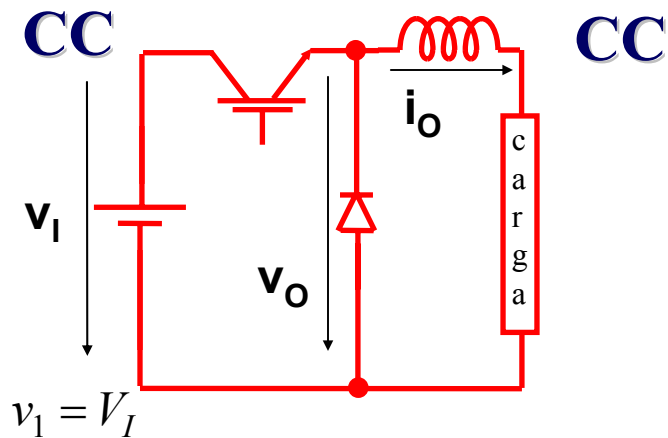


Circuitos de “drive”
idênticos aos dos
rectificadores

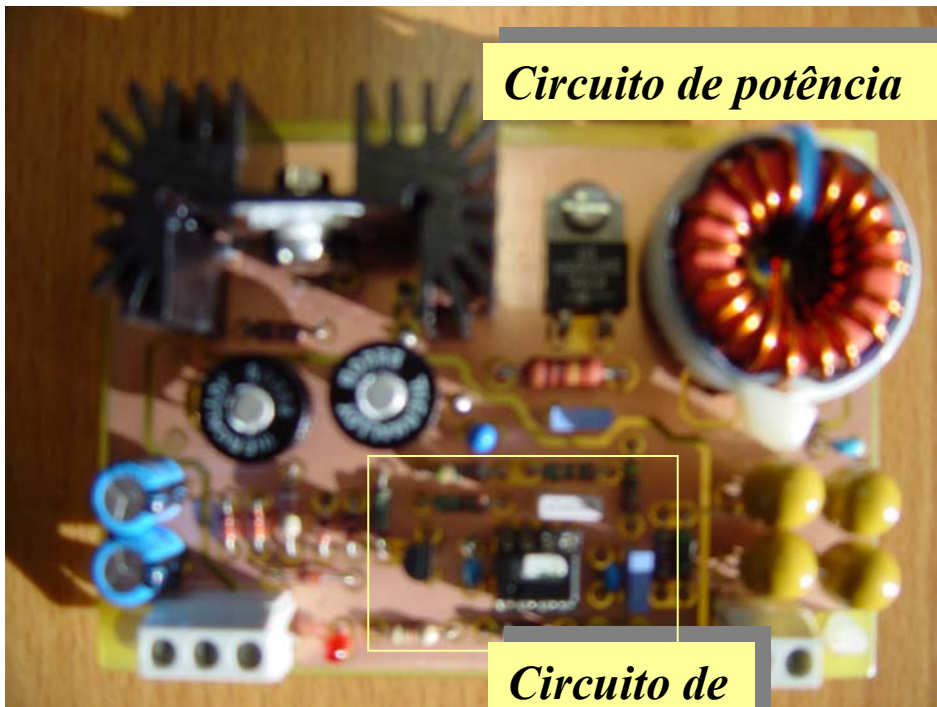


Conversores CC-CC

Comutação forçada

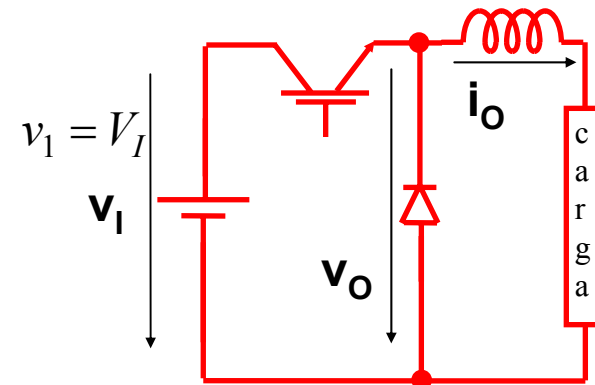


Conversores CC-CC Comutação forçada



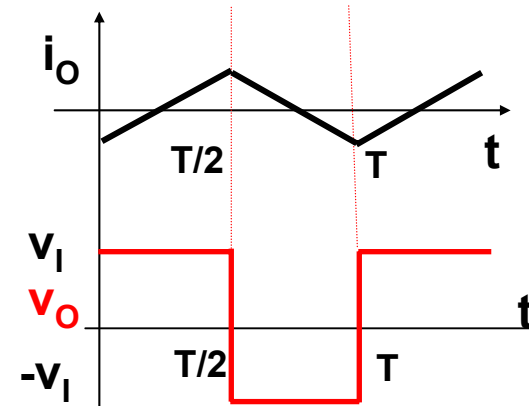
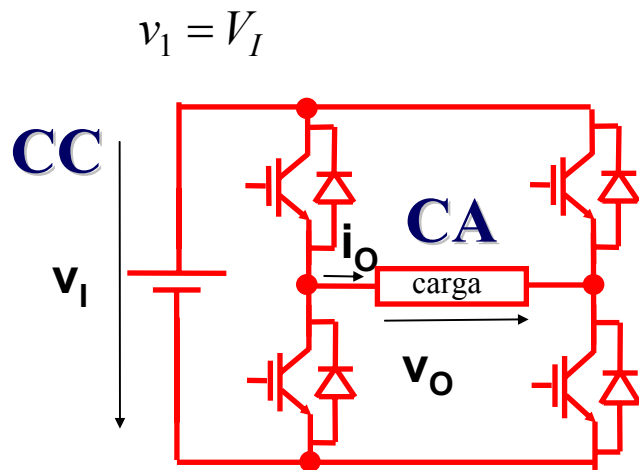
Circuito de potência

Circuito de controlo



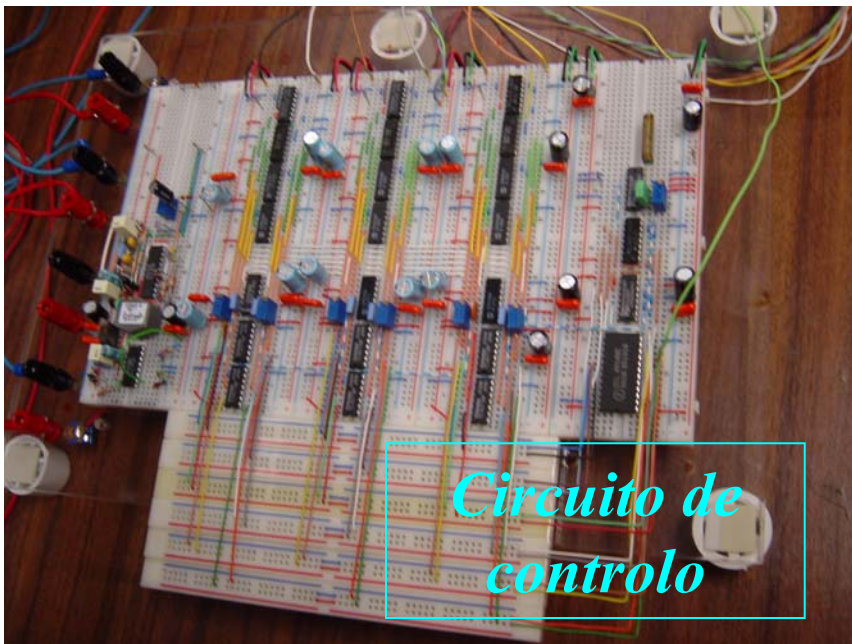
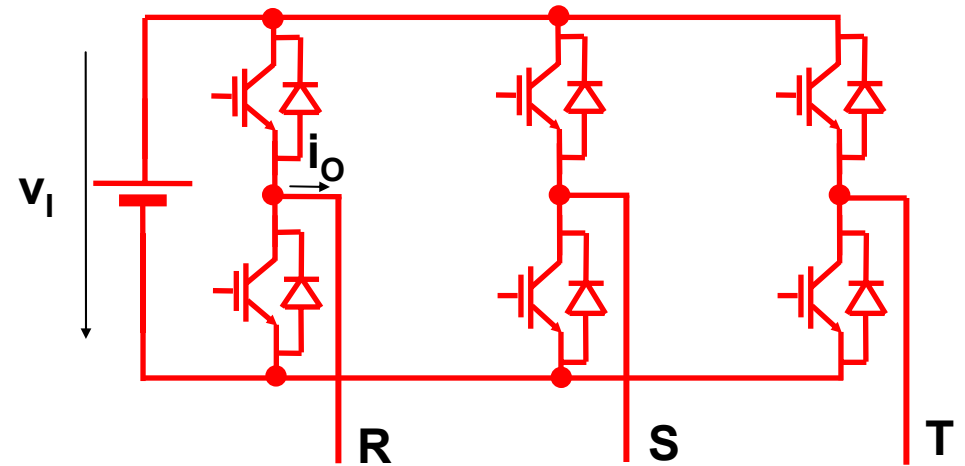
Conversores CC-CA

Comutação forçada

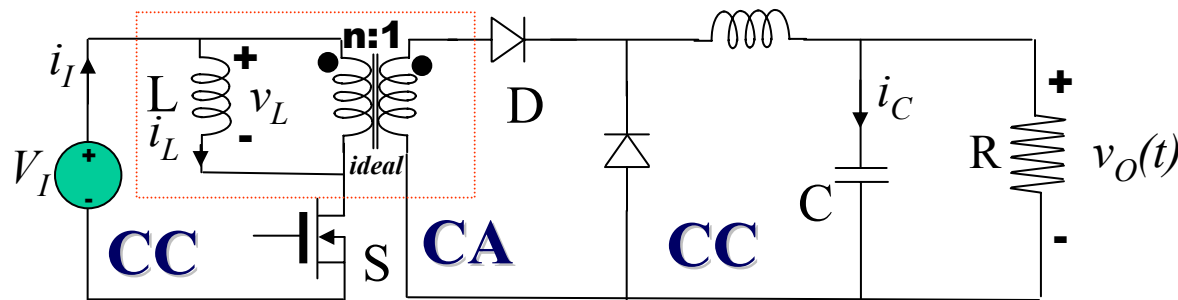


i_o e $v_o > \text{ou} < 0$

Conversores CC-CA

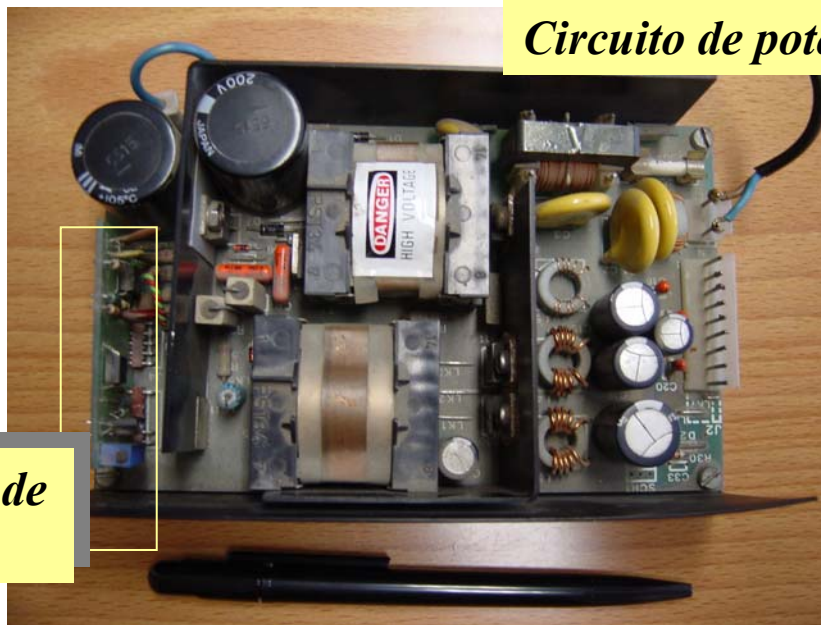


Conversores Especiais



Fonte
comutada de
alta
frequência

CC-CA_{hf}-CC



Circuito de potência

Circuito de controlo

Freq. [100kHz]

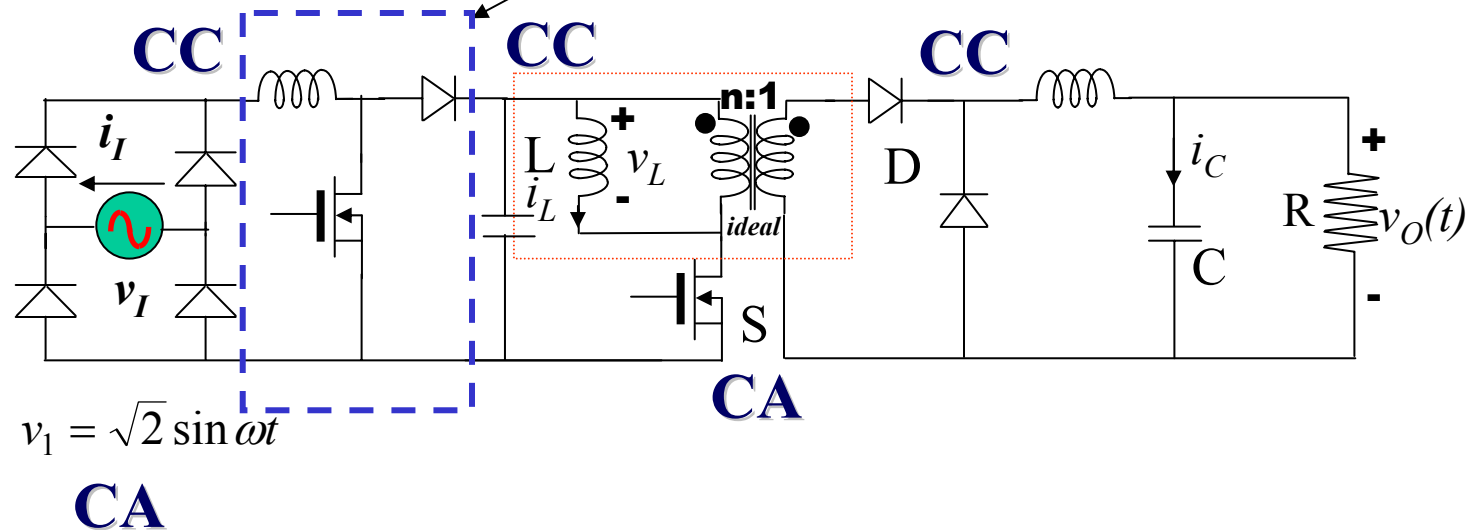
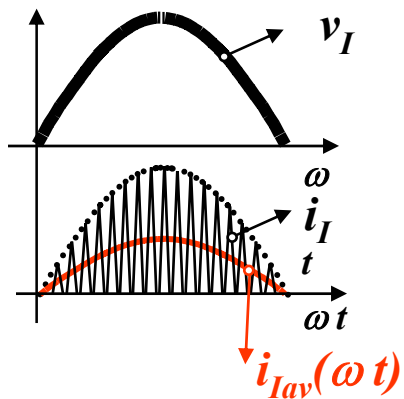
Pot < 100W

$\eta < 85\%$

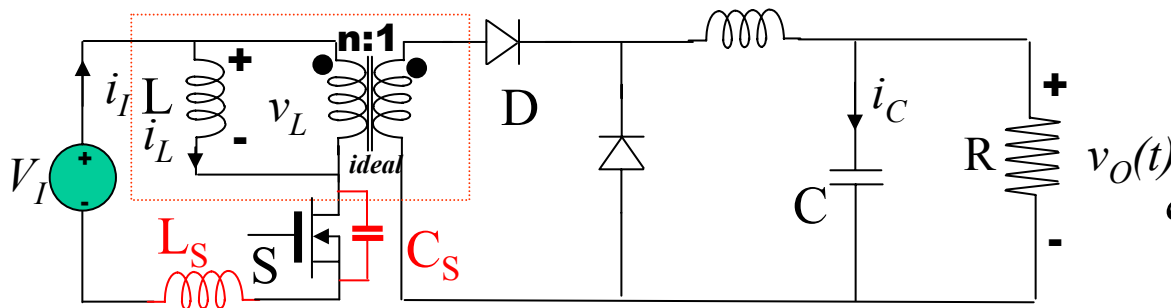
Conversores Especiais

CA-CC-CC-CA_{hf}-CC

Fonte comutada
com correcção do
factor de potência



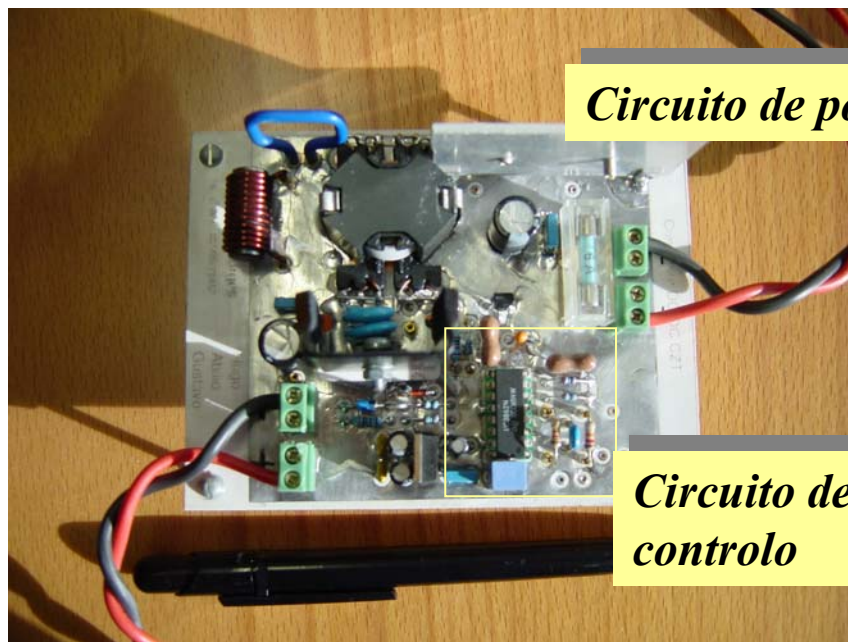
Conversores Especiais



Fonte Quase Ressonante

ZVS

“Zero Voltage Switching”



Circuito de potência

Circuito de controle

CC-CA_{hf}-CC

Frequência:
[1MHz]

Pot < 50W
 $\eta < 95\%$

Conversores Especiais

Fonte com comutação

Ressonante

“Zero Voltage Switching”

CC-CA_{hf}-CC

Frequência:
[250kHz]

Pot < 1kW

$\eta = 97\%$



Conversores Especiais

**Amplificador
Audio
Comutado**

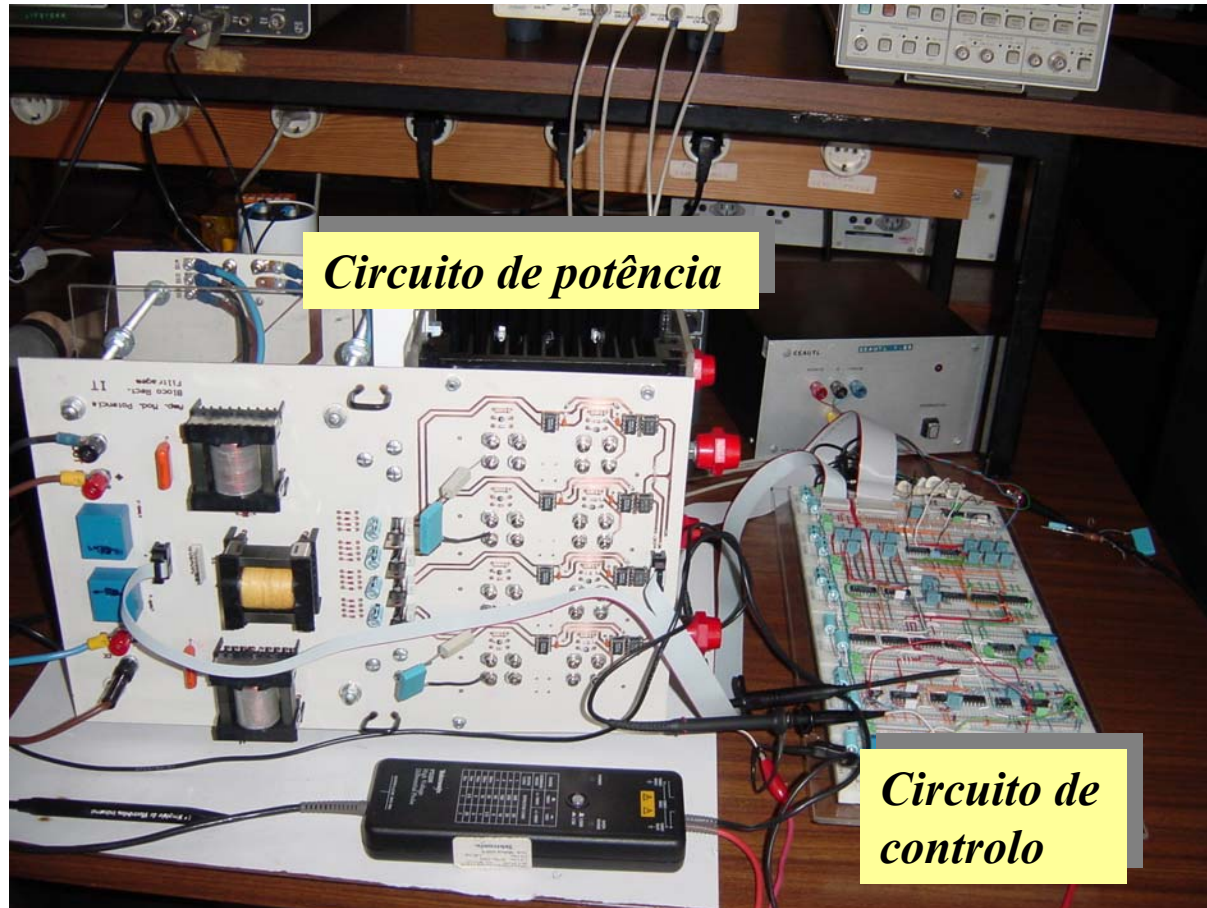
CA-CC-CA_{hf}-CA

Frequência:

[132 kHz]

Pot < 2kW

$\eta < 80\%$

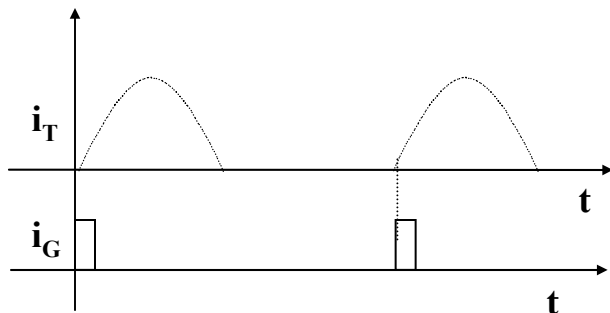
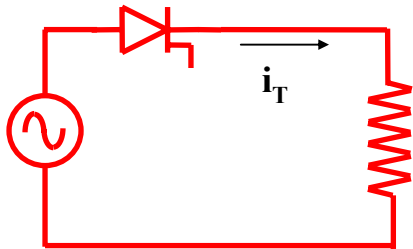


Processos de comutação:

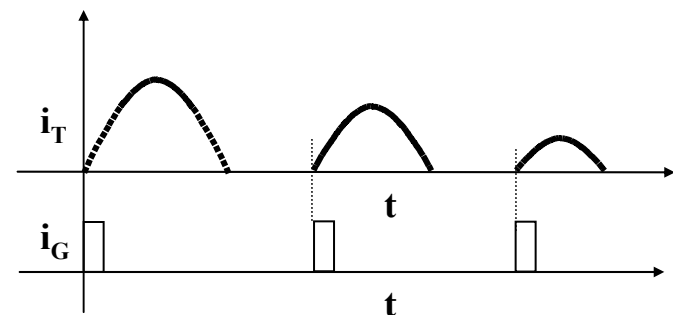
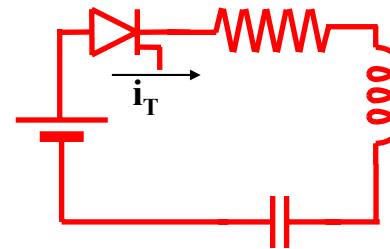
comutação natural:

Quando num circuito estão criadas as condições, por via da *fonte de alimentação* ou da *carga*, ou por entrada de outro dispositivo do circuito por forma que a corrente num dispositivo se anule, passando este ao estado de corte, *sem actuação exterior*.

comutação pela fonte

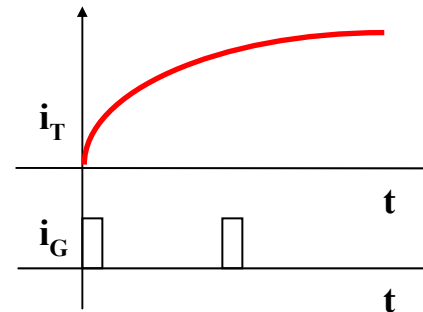
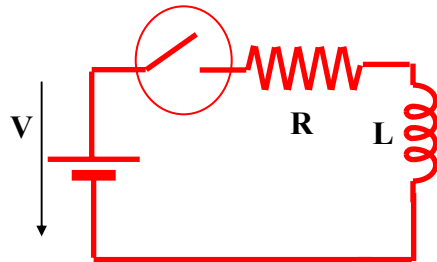


comutação pela carga



comutação forçada:

- Quando é necessário actuar no terminal de controlo do dispositivo, ou num circuito auxiliar, para passar o dispositivo do estado de condução ao estado de corte.

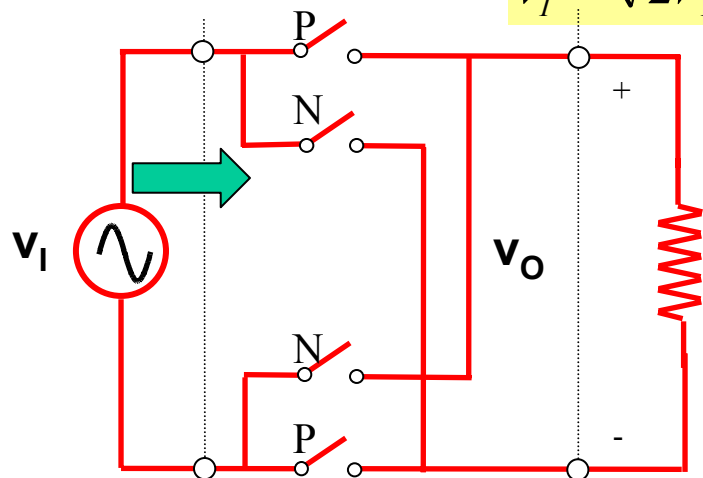


natural - $\left\{ \begin{array}{l} \text{linha} \quad (\text{comutam devido à forma das tensões de entrada}) \\ \quad \quad \quad \text{“line frequency converters”} \\ \text{carga} \quad (\text{a carga que provoca o anulamento de corrente}). \\ \quad \quad \quad \text{“load commutated converters”} \end{array} \right.$

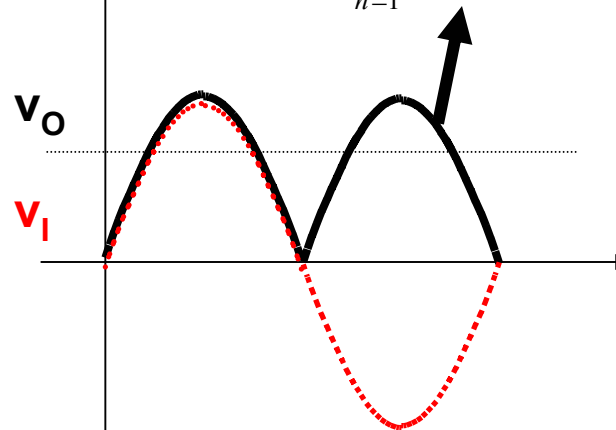
forçada - conversores comutados “switching converters”

Conversor CA-CC

$$v_I = \sqrt{2}V_I \sin \omega t$$



$$v_O = V_O + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega t$$

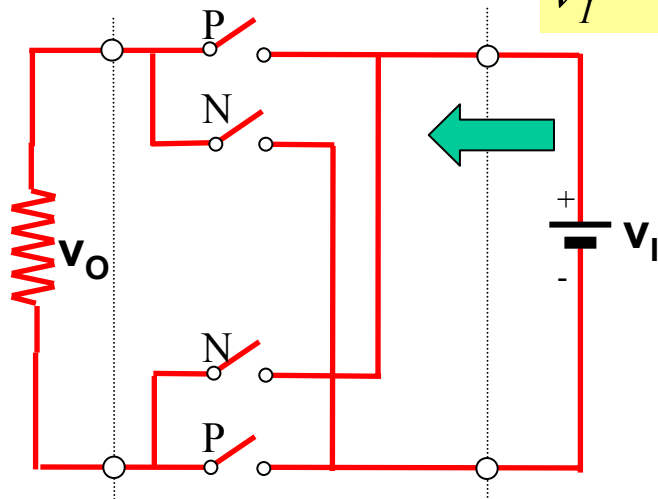


Ideal
 $v_O = V_O$

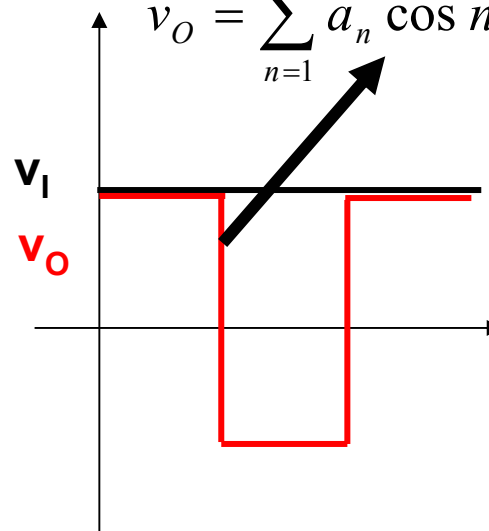
Filtragem

Conversor CC-CA

$$v_I = V_I$$



$$v_O = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega t$$



Ideal
 $v_O = \sqrt{2} V_O \sin \omega t$

Filtragem

Procedimentos básicos em electrónica de potência:

Não ligar em série geradores de correntes diferentes.

Não ligar em paralelo fontes de tensão diferentes.

Não abrir circuitos indutivos.

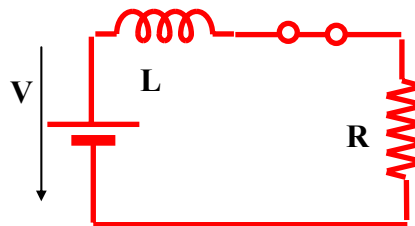
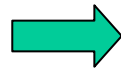
Não curto-circuitar circuitos capacitivos.

Se a alimentação é uma fonte de tensão a carga tem características de fonte de corrente (*bobine em série com a carga*).

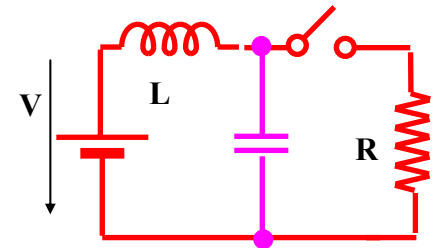
Se a alimentação é uma fonte de corrente a carga tem características de fonte de tensão (*condensador em paralelo com a carga*).

Eliminação de incompatibilidades por introdução de elementos reactivos de adaptação:

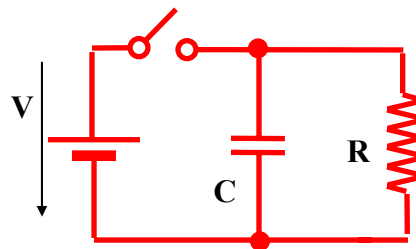
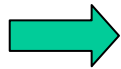
introdução de C para
abrir circuito indutivo



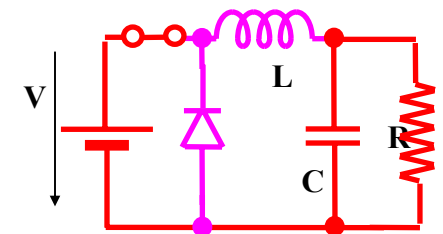
abrir



introdução de L para ligar
duas fontes de tensão
diferentes



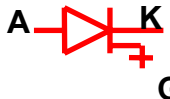
fechar

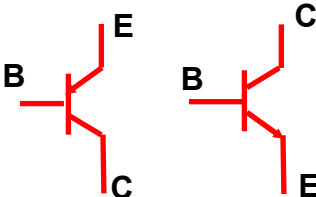


DISPOSITIVOS SEMICONDUTORES DE POTÊNCIA:

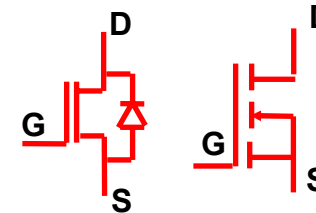
1. **diodo** 

2. **tiristor** - (SCR) “silicon controlled rectifier”. 

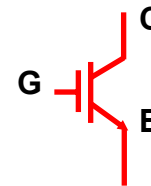
3. tiristor de corte comandado (GTO) - “gate turn off thyristor”. 

4. transistor bipolar - (TJB). 

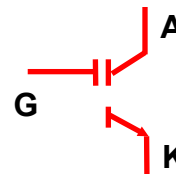
5. **transistor de efeito de campo de potência** (MOSFET).



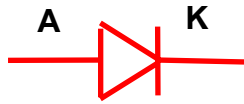
6. IGBT - “insulated gate bipolar transistor”.



7. MCT - “MOS controlled thyristor”.



Diodo

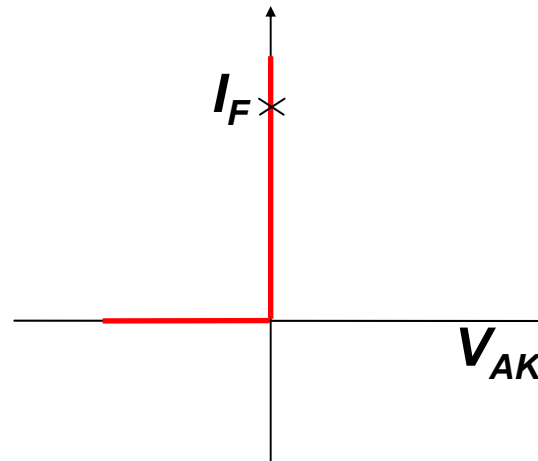


Conduz se a tensão v_{AK} se tornar positiva.

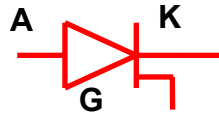
Bloqueia se a corrente I_F se tornar negativa



Característica
ideal



Tiristor



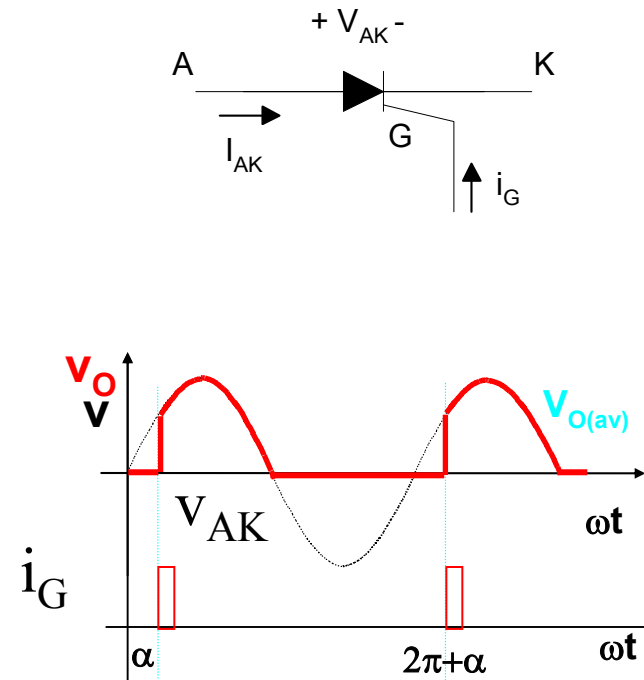
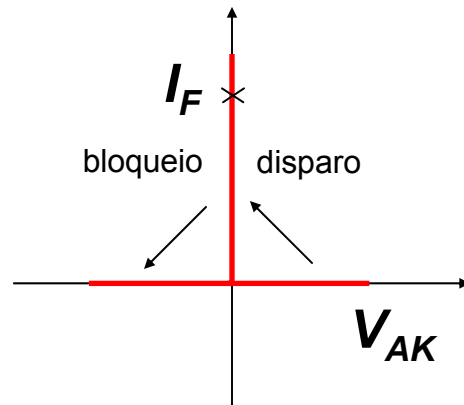
Semi-controlado

Conduz se v_{AK} for positivo e se existir um impulso de corrente na “gate” de curta duração.

Bloqueia se a corrente I_F se tornar negativa

Controlo apenas na passagem a **ON**

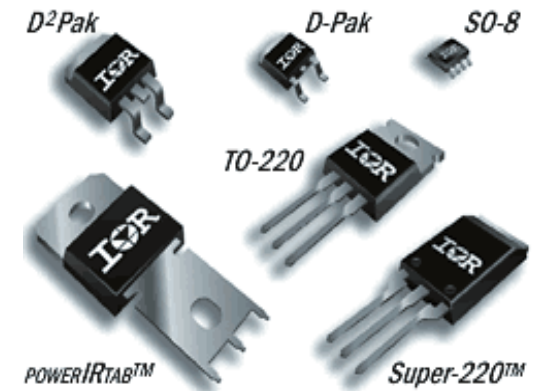
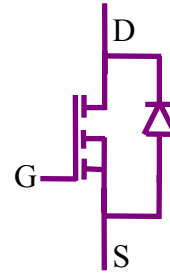
Característica ideal



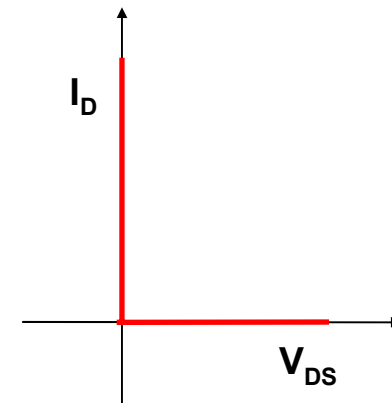
MOSFET

Totalmente controlado. Conduz se v_{GS} for positiva.

Bloqueia se v_{GS} se tornar nula ou negativa



Característica ideal

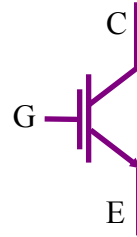


IGBT

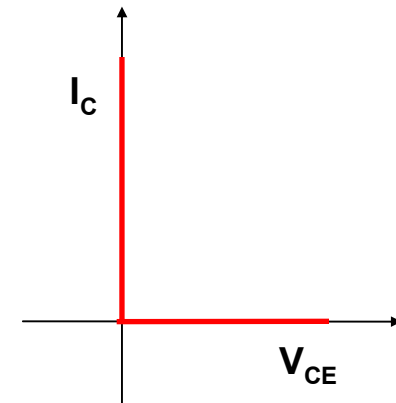
Freq. [20 kHz]

Totalmente controlado. Conduz se v_{GE} for positiva.

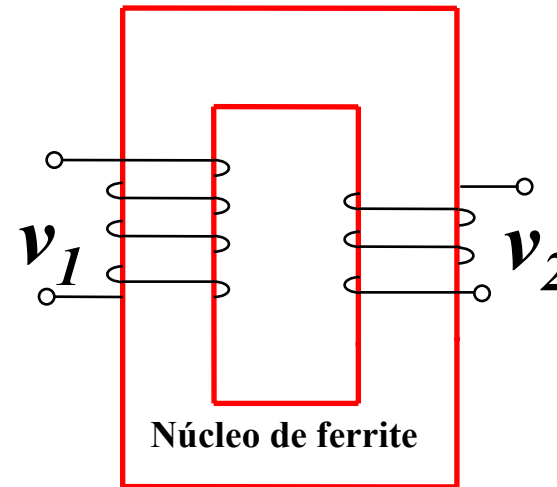
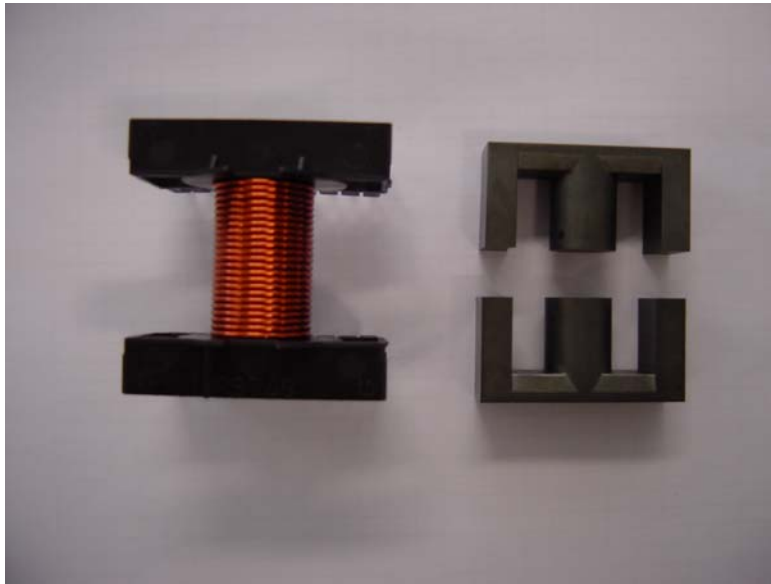
Bloqueia se v_{GE} se tornar nula ou negativa



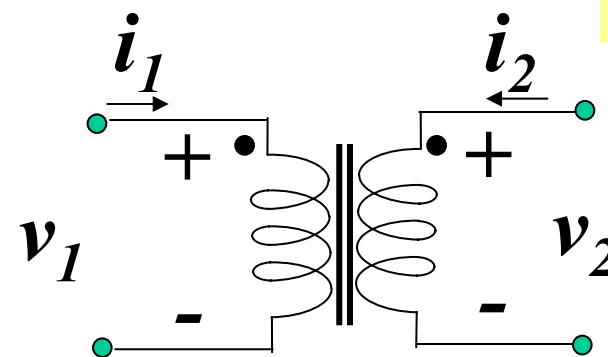
Característica ideal



Transformadores de Alta Frequência

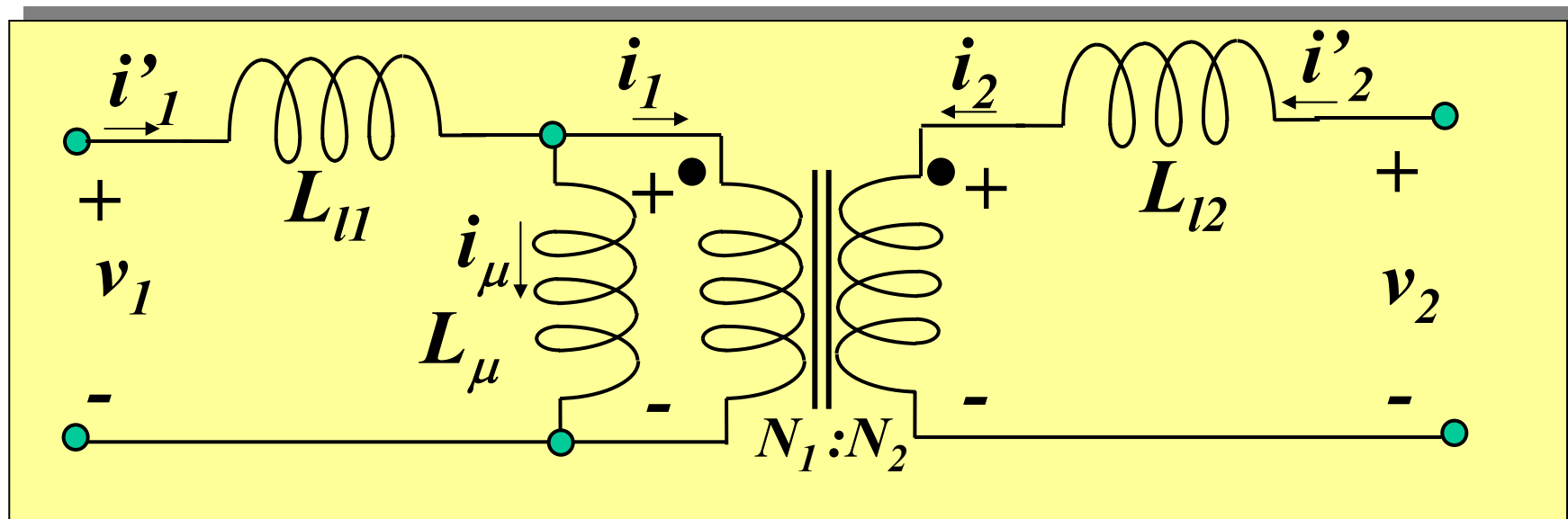


$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2}$$
$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

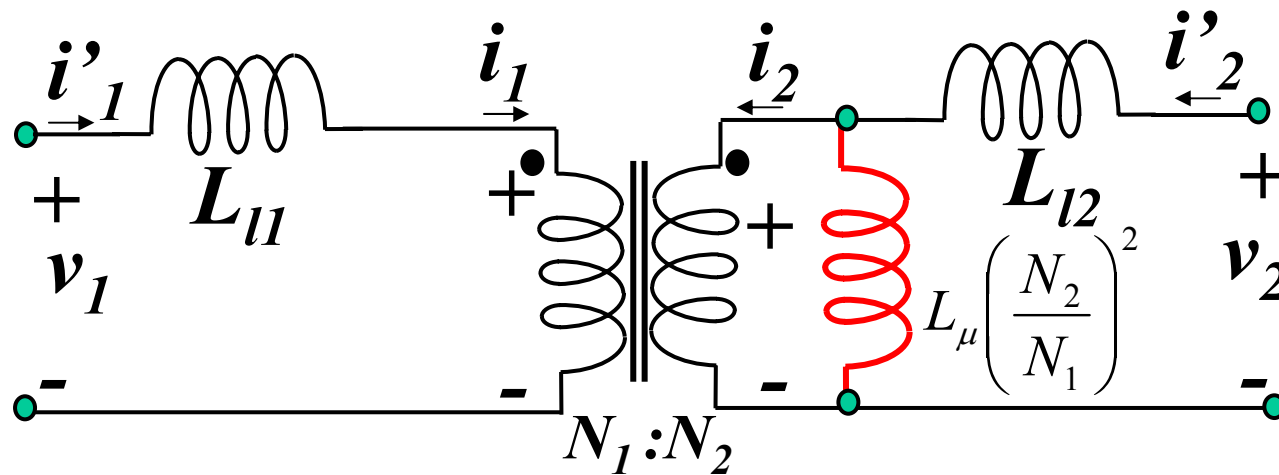


Transformadores de Alta Frequência

Esquema equivalente



Transformadores de Alta Frequência



$$L_\mu = \text{infinita}$$

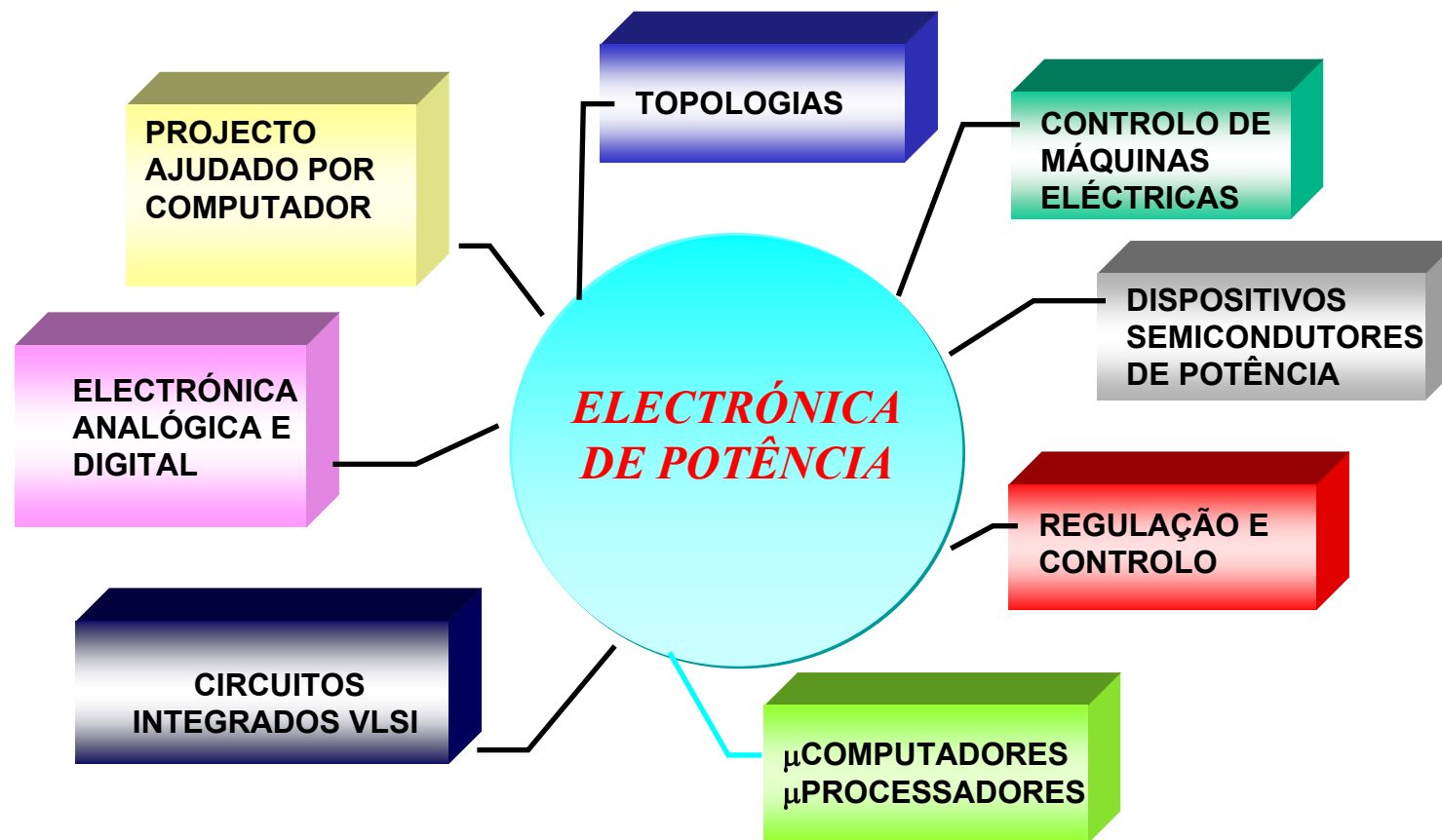
(indutância de magnetização)

$$L_{l1} \text{ e } L_{l2} = 0$$

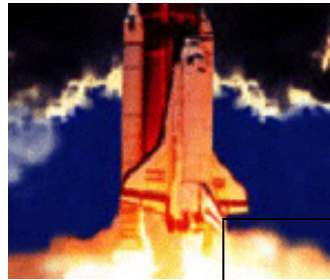
(indutâncias de dispersão)

ELECTRÓNICA DE POTÊNCIA (área multidisciplinar)

Estudo dos conversores electrónicos: topologias, dispositivos semicondutores, técnicas de modelação, processos de controlo e sua caracterização, técnicas de filtragem e supressão de harmónicas, etc.



Principais campos de aplicação / áreas emergentes



Sistemas
aeroespaciais e de
satélites

Equipamento
Informático



Telecomunicações

fontes de
alimentação

alguns produtos

Iluminação

Balastros electrónicos
Controlo intensidade luminosa

Máquinas
eléctricas

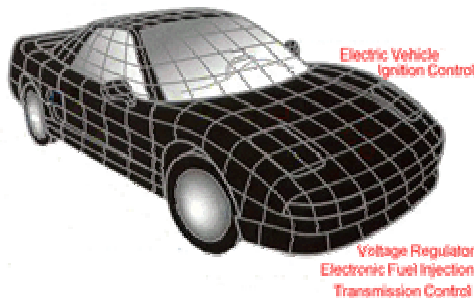
Conversores f

Energias
alternativas

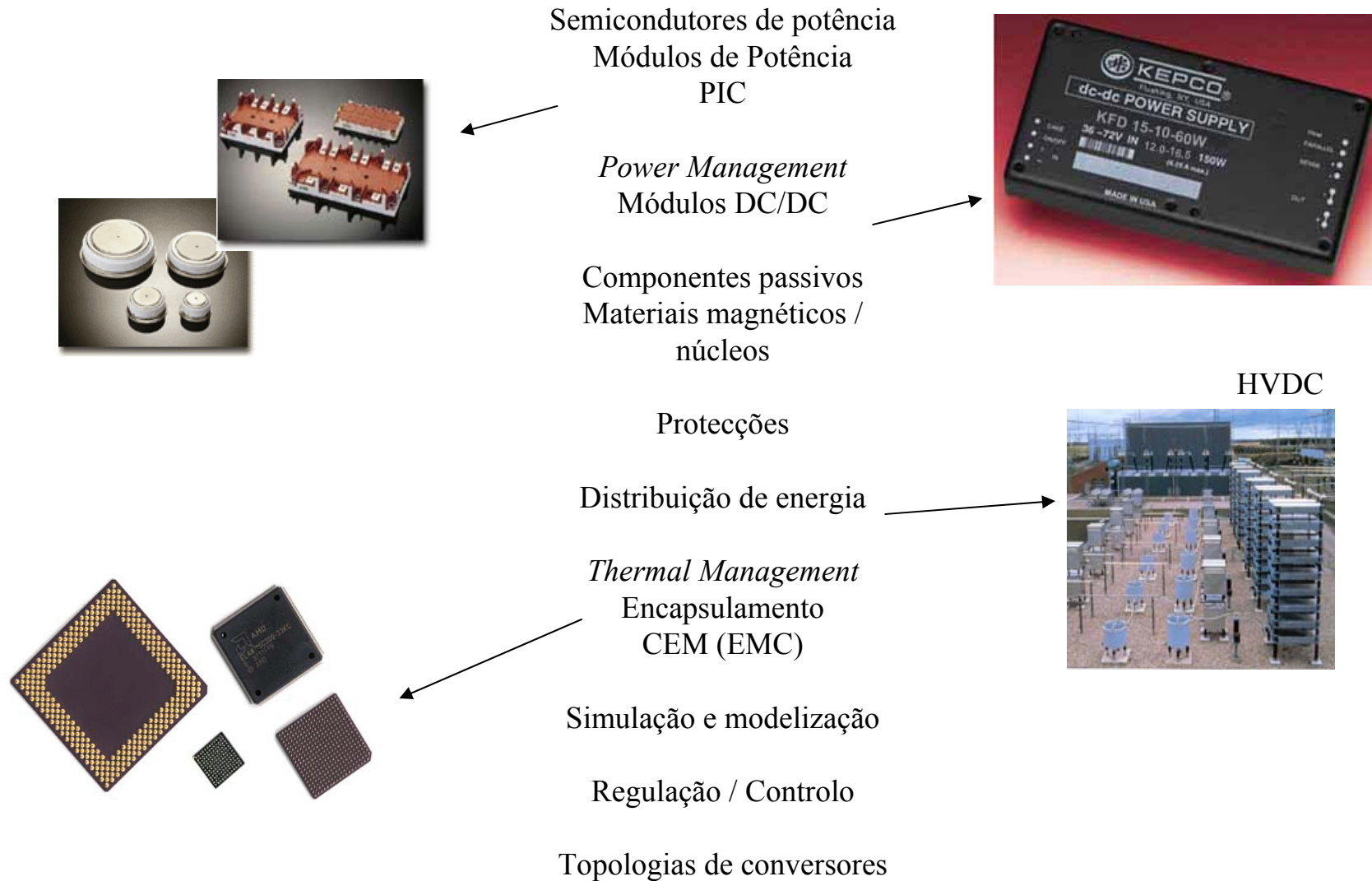
Ignição e injeção
electrónica



Indústria
automóvel



Áreas tecnológicas de aplicação / áreas emergentes



Produtos e sistemas envolvidos na Electrónica de Potência

Semicondutores de potência

Módulos Darlington
Módulos Diodo/tiristor (híbridos)
Módulos IGBT
Smart Power IC e PICs
Diodos potência
Módulos MOSFET
Motor Drivers
Relés estáticos
Converter IC
Application-oriented ICs
Opto-Semiconductor Components

Componentes passivos

L
C
R
Transformadores (isolamento,
HF, ...)
núcleos, ferrites, materiais
magnéticos
enrolamentos

Sistemas de alimentação

Transformadores
fontes DC e AC
Conversores de Frequência
UPS
Estabilizadores
Fontes de laboratório
Baterias
sistemas de Power Management
módulos/conversores DC/DC

Sensores e Microsistemas

Sensores de parâmetros eléctricos e
magnéticos
Sensores de temperatura
Micro-actuadores

Thermal management

Dissipadores
Radiadores e
refrigeradores
Ventoinhas
Elementos de Peltier

Ferramentas CAD / CAE

Software de desenvolvimento
Software de simulação
Software de teste
Software para aplicações
específicas

APLICAÇÕES

- **INDUSTRIAIS:**

Bombas; Compressores; Ventoinhas
Máquinas ferramentas (Robots)
Fornos de indução
Iluminação
“Lasers”
Máquinas de soldadura
Processos electroquímicos.

- **COMERCIAIS:**

Aquecimento, ventilação e ar condicionado
Aparelhagem de frio
Iluminação
Computadores e equipamento de escritório
Fontes de alimentação ininterruptíveis (UPS)
Elevadores.

- **TRANSPORTES:**

Controlo e accionam. de veículos eléctricos de
tracção

Carregadores de baterias
Locomotivas eléctricas
Metropolitano
Carros eléctricos, automóveis, etc.

- **REDES DE ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA:**

Transmissão em corrente contínua e alta tensão (HVDC)
Sistemas VAR estáticos
Fontes de energia de recurso
Sistemas de armazenamento de energia.

- **INDUSTRIA AERONÁUTICA E ESPACIAL:**

Sistemas de alimentação de potência de naves espaciais
Sistemas de alimentação de potência de satélites
Sistemas de alimentação de aviões.

- **TELECOMUNICAÇÕES:**

Carregadores de baterias
Fontes de alimentação
Fontes de alimentação ininterruptíveis.

- **APLICAÇÕES DOMÉSTICAS:**

Refrigeração e congelação; Aquecimento; Fornos;
Electrónica de uso doméstico; Iluminação.