

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Departamento Acadêmico de Eletrônica

Máquinas Elétricas



# Motores de Corrente Contínua e Dispositivos de Acionamento

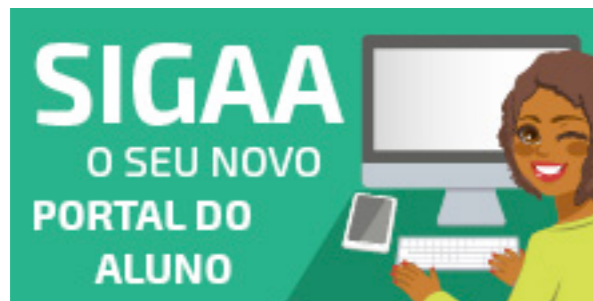
Prof. Clovis Antonio Petry.

Florianópolis, março de 2026.

# Máquinas Elétricas

O material do curso está disponível em:

1. SIGAA para os alunos matriculados na disciplina;
2. Página do professor;
3. Canal no youtube do professor.



<https://sigaa.ifsc.edu.br>

ProfessorPetry  
Conhecimento para uma vida plena

PRINCIPAL PROJETO PUBLICAÇÕES CONTATO



**Bem vindo ao Website pessoal de Clovis Antonio Petry**

O objetivo desta página é a divulgação de informações sobre eletrônica, em especial eletrônica de potência. Todos os materiais disponibilizados podem ser livremente utilizados, desde que citados os autores. As disciplinas do semestre corrente podem ser acessadas clicando na imagem da esquerda abaixo. Material didático pode ser encontrado clicando na imagem da direita abaixo.

**Eventos**

**Outubro, 2020**  
**SNCT 2020**  
Semana Nacional de Ciência e Tecnologia 2020, Florianópolis, SC.  
[Acesse...](#)

**Setembro, 2020**  
**COBENGE 2020**  
XLVIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE) e III Simpósio Internacional de Educação em Engenharia da ABENGE, Bento Gonçalves, RS. [Acesse...](#)



[www.ProfessorPetry.com.br](http://www.ProfessorPetry.com.br)



<https://www.youtube.com>

# Agenda

**Esta aula está organizada em:**

1. Máquinas de corrente contínua:
  - Definições iniciais;
  - Princípio de funcionamento das máquinas de corrente contínua;
  - Exemplos e construção.
2. Geradores de corrente contínua:
  - Funcionamento dos geradores de corrente contínua;
  - Aplicações dos geradores de corrente contínua.
3. Motores de corrente contínua:
  - Funcionamento dos motores de corrente contínua;
  - Circuito elétrico do motor de corrente contínua;
  - Tipos de motores de corrente contínua;
  - Aplicações dos motores de corrente contínua;
  - Vantagens e desvantagens dos acionamentos em corrente contínua.
4. Quadrantes de operação das máquinas de corrente contínua:
  - Circuito elétrico equivalente e símbolo do motor de corrente contínua;
  - Quadrantes de operação da máquina elétrica de corrente contínua;
  - Circuitos básicos para acionamento de motores de corrente contínua.
5. Elementos de circuitos de acionamento de motores:
  - Elementos de proteção;
  - Dispositivos eletromecânicos e eletromagnéticos;
  - Semicondutores;
  - Circuitos integrados;
  - Conversores ca-cc e cc-cc.



# Motivação

Os motores elétricos de corrente contínua são utilizados em diversas aplicações e em vários níveis de potências.

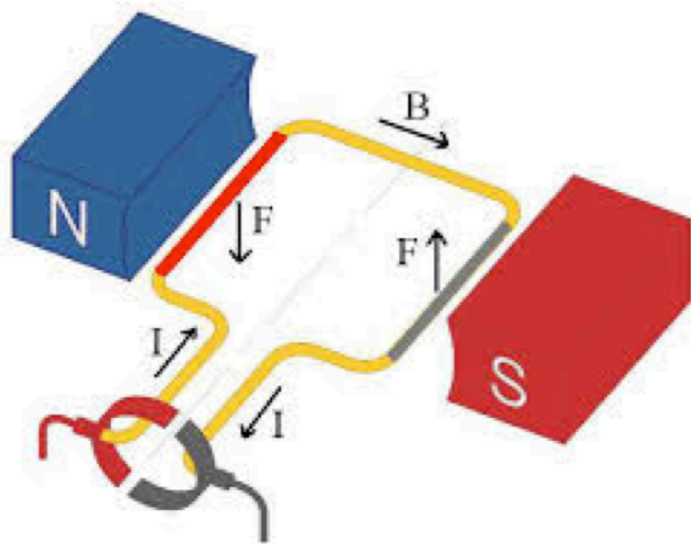


<https://gopro.com>

# Princípio de funcionamento dos motores elétricos

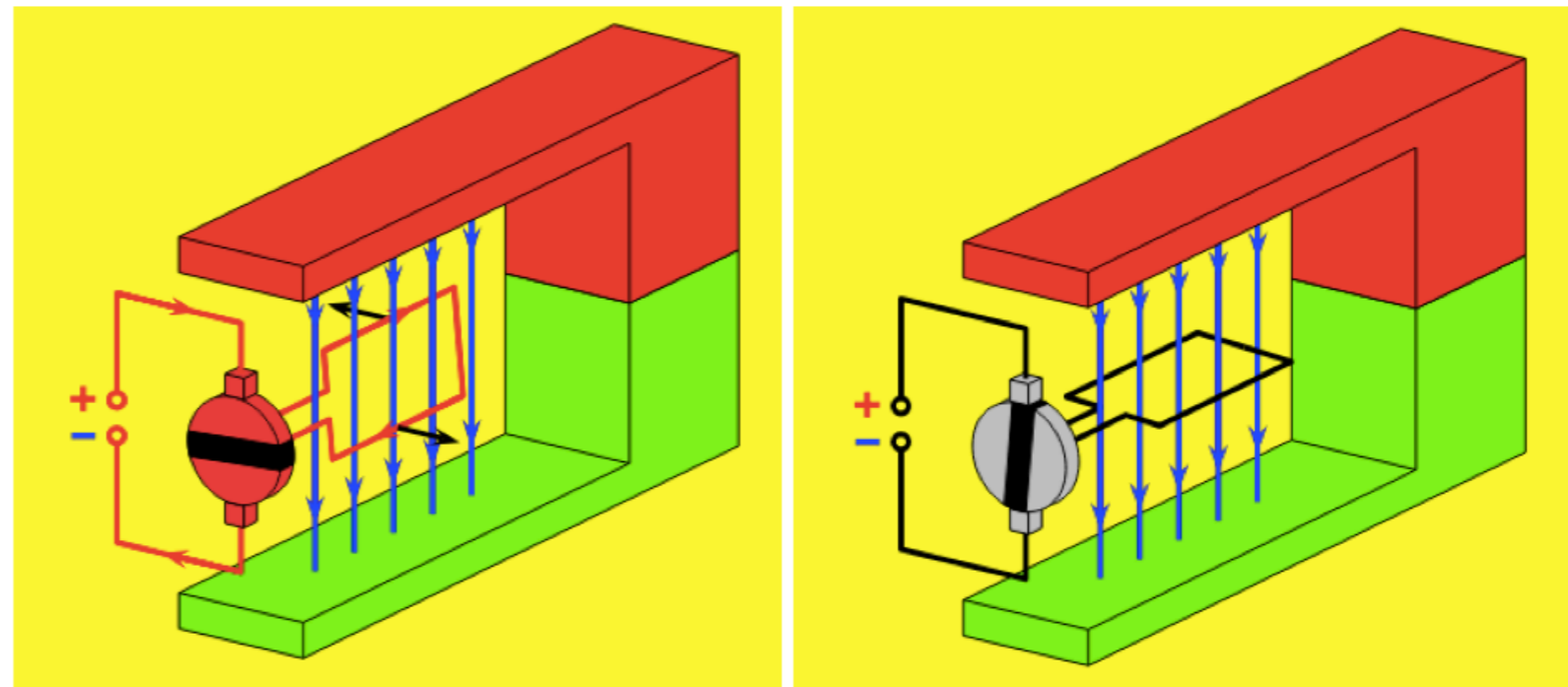
## Princípios utilizando a força eletromagnética:

- Princípio motor - o princípio motor determina que um conjunto de espiras imerso em um campo magnético estará sujeito a uma força, denominada de Força de Lorentz, em decorrência dos estudos e descobertas de Hendrik Antoon Lorentz, por volta do ano 1892;
- Princípio gerador - o princípio gerador, por sua vez, determina que uma espira ou bobina, imersa em um campo magnético variante no tempo, estará sujeita a uma corrente induzida, constituindo um gerador eletromagnético.



Espira em um campo magnético

Fonte: <https://www.dt.fee.unicamp.br>



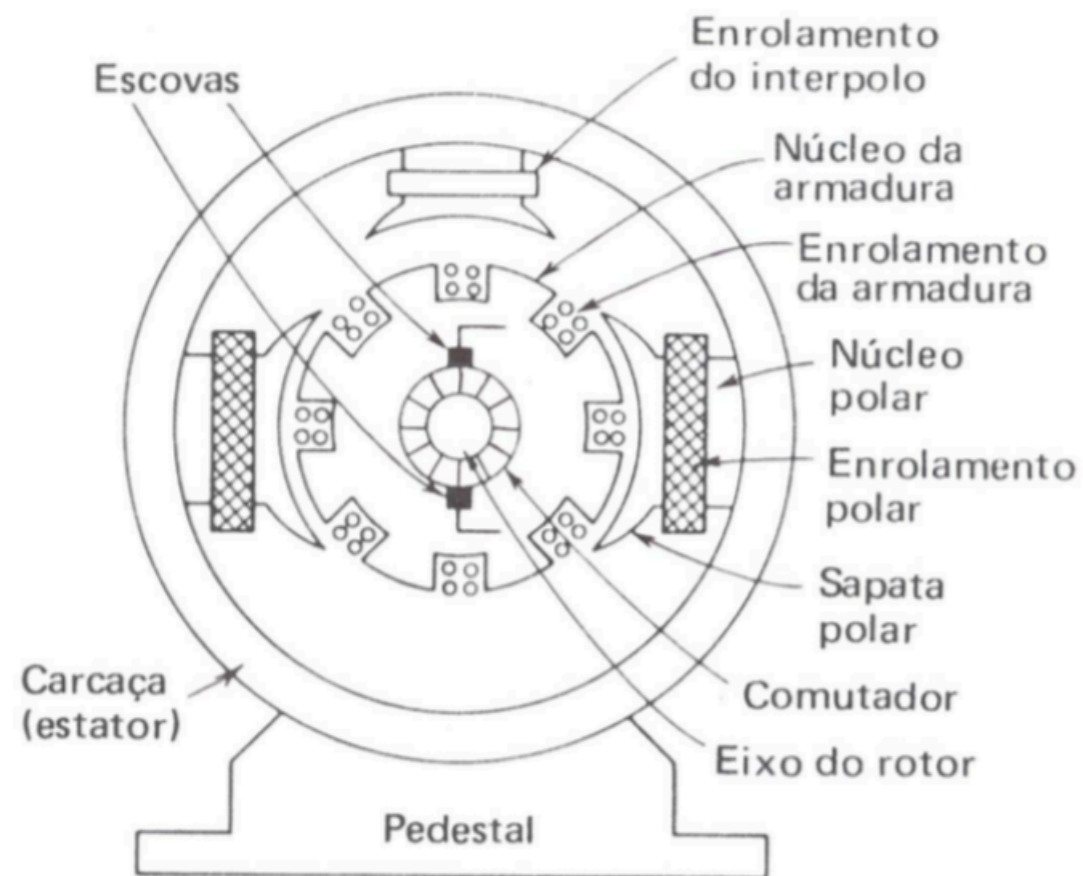
Funcionamento do motor cc

Fonte: <https://www.walter-fendt.de>

# Funcionamento das máquinas de corrente contínua

## Partes de uma máquina de corrente contínua:

- Estator ou campo;
- Rotor ou armadura;
- Coletor comutador;
- Escovas.



Estator



Rotor



Coletor



Escovas

Partes de um motor elétrico

Fonte: <https://www.americanas.com.br>

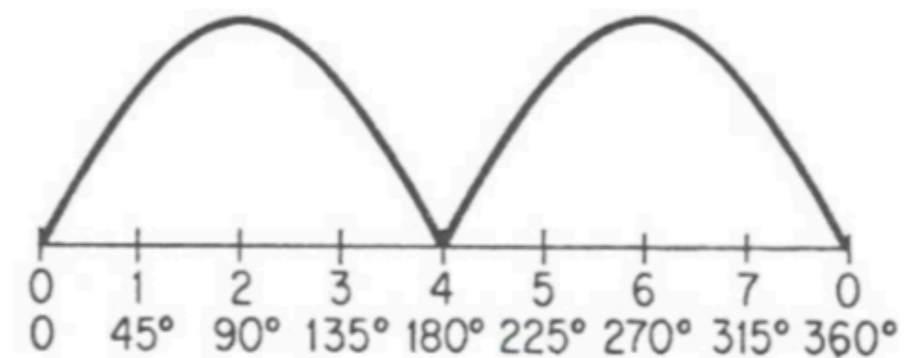
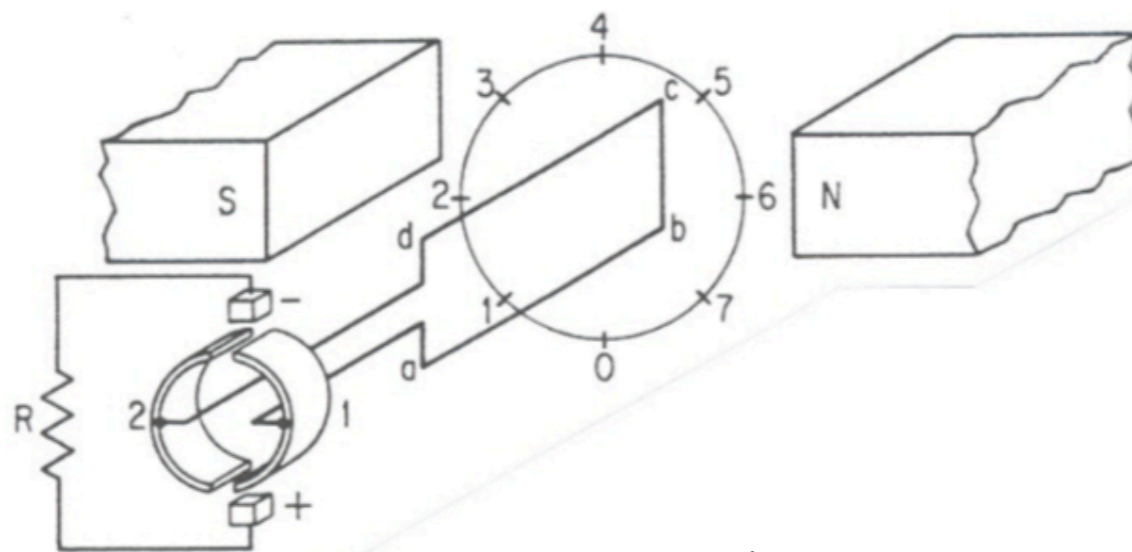
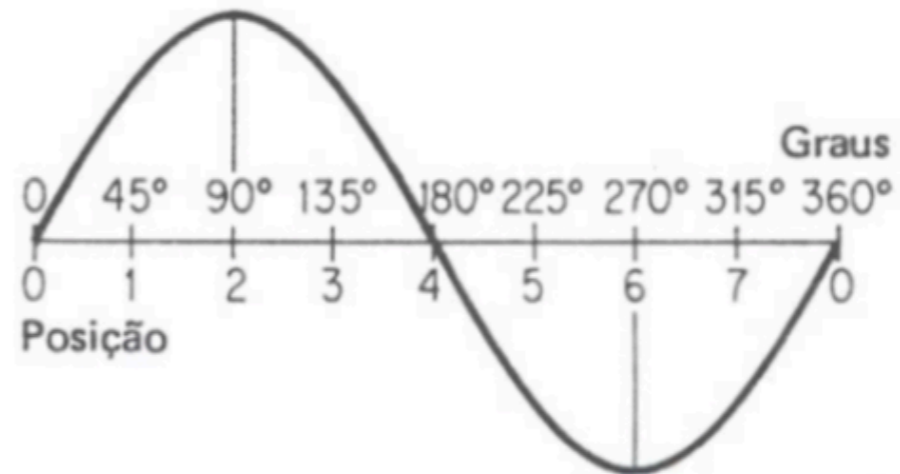
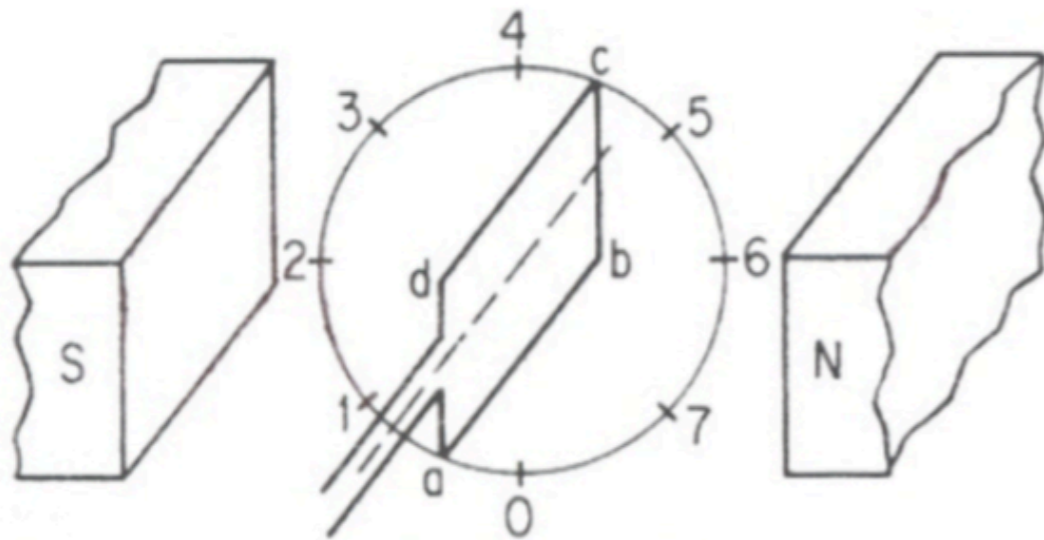
Partes da máquina de corrente contínua

Fonte: (Kosow, 2005)

# Geradores de corrente contínua

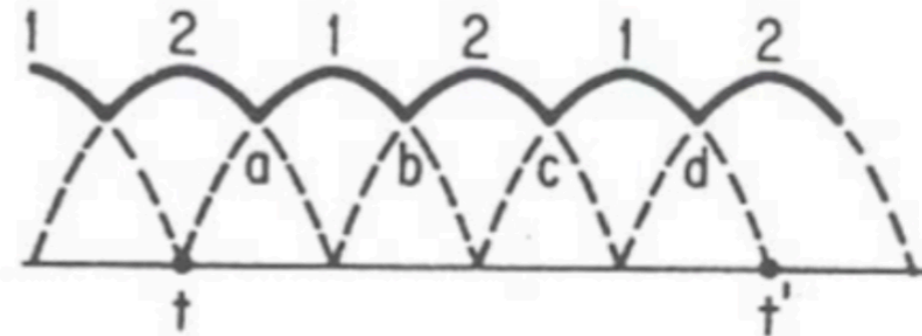
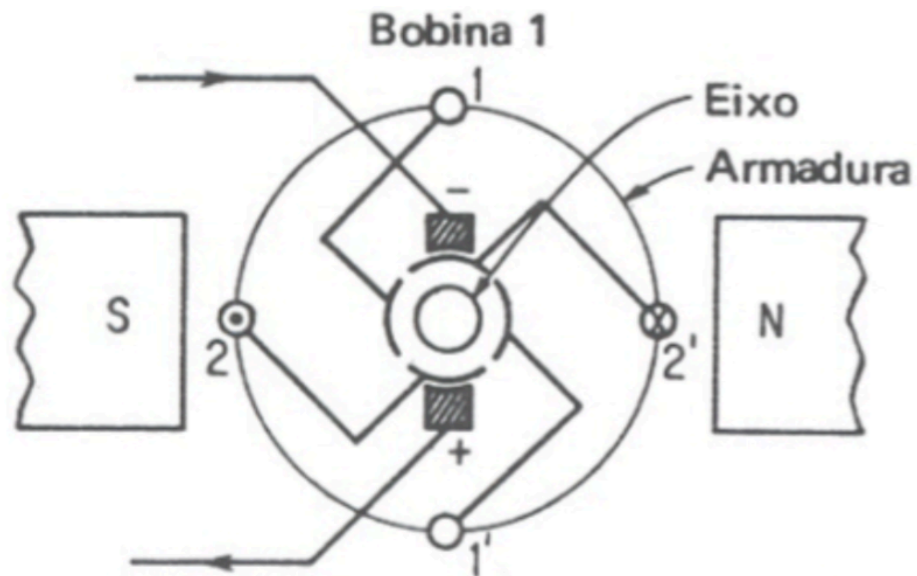
## Lembrando:

- Princípio gerador - o princípio gerador, por sua vez, determina que uma espira ou bobina, imersa em um campo magnético variante no tempo, estará sujeita a uma corrente induzida, constituindo um gerador eletromagnético.



Geradores ca e cc  
Fonte: (Kosow, 2005)

# Geradores de corrente contínua



Funcionamento do gerador de corrente contínua

Fonte: (Kosow, 2005)



Gerador eólico

Fonte: <https://www.alternative-energy-tutorials.com>



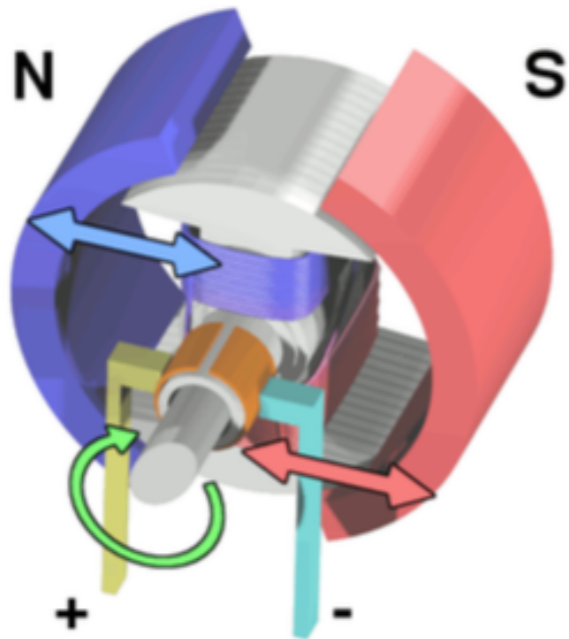
Encoder

Fonte: <https://www.globalsources.com>

# Motores de corrente contínua

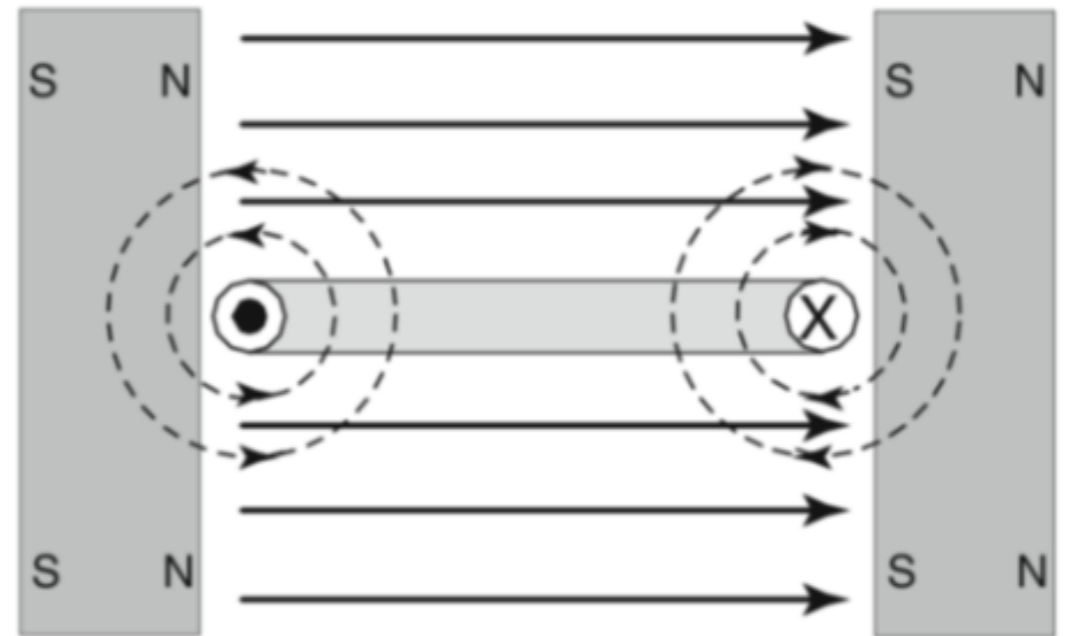
## Lembrando:

- Princípio motor - o princípio motor determina que um conjunto de espiras imerso em um campo magnético estará sujeito a uma força, denominada de Força de Lorentz, em decorrência dos estudos e descobertas de Hendrik Antoon Lorentz, por volta do ano 1892.



Motor simples

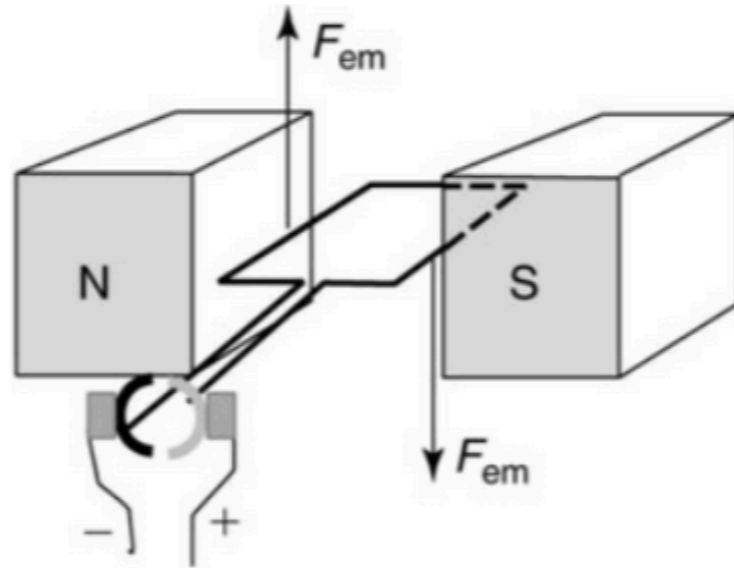
Fonte: <https://en.wikipedia.org>



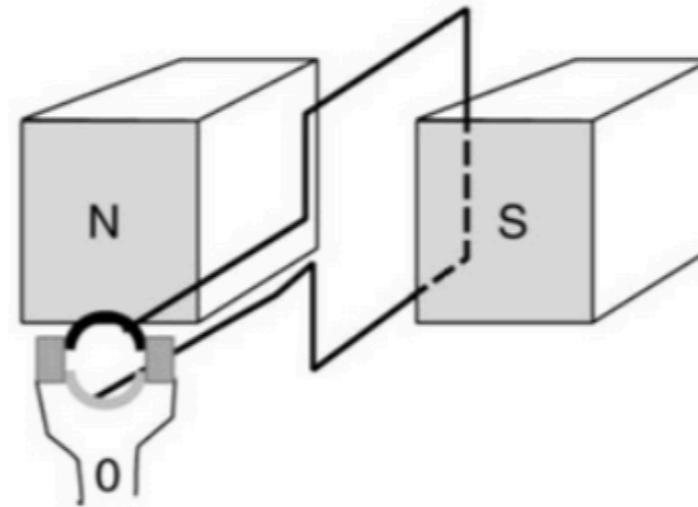
Fluxo magnético no motor de corrente contínua

Fonte: <https://electricalacademia.com>

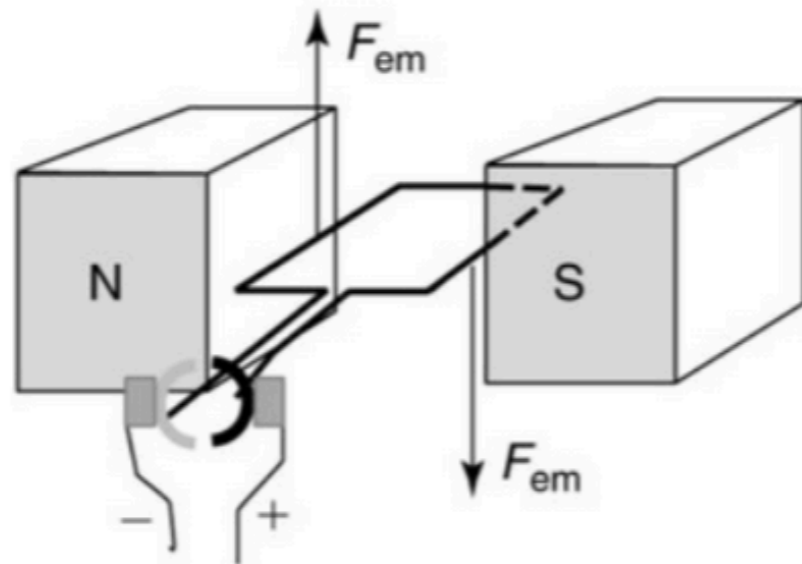
# Motores de corrente contínua



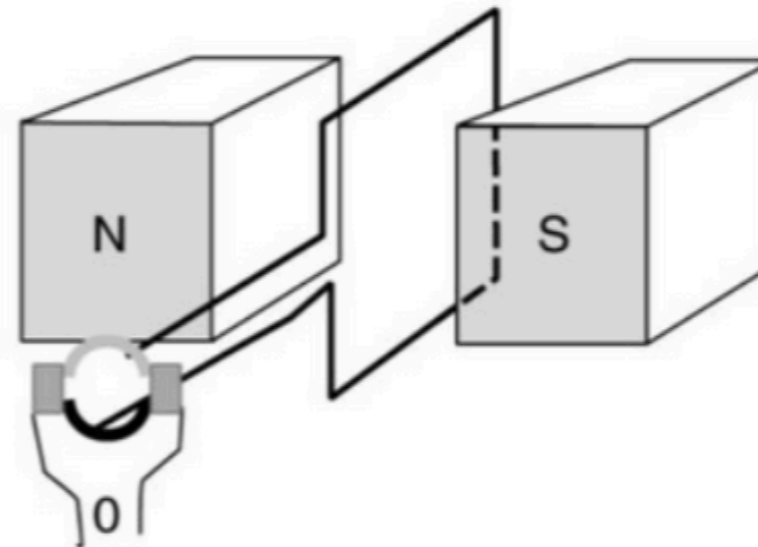
Posição inicial (a)



Posição neutra (0)



Posição intermediária (c)



Posição neutra (0)

Funcionamento do motor de corrente contínua

Fonte: <https://electricalacademia.com>

# Motores de corrente contínua

## Definições e considerações:

- O motor elétrico de corrente contínua é uma máquina elétrica rotativa que converte energia elétrica em energia mecânica para acionamento de cargas acopladas em seu eixo, sendo alimentado por uma fonte de alimentação em tensão contínua (cc);
- O gerador elétrico de corrente contínua é uma máquina elétrica rotativa que converte energia mecânica em energia elétrica a partir da rotação provida ao seu eixo, servindo como fonte de alimentação de circuitos em tensão contínua (cc);
- Exemplos de máquinas de corrente contínua:



Motor elétrico

Fonte: <http://www.asten.com.br>



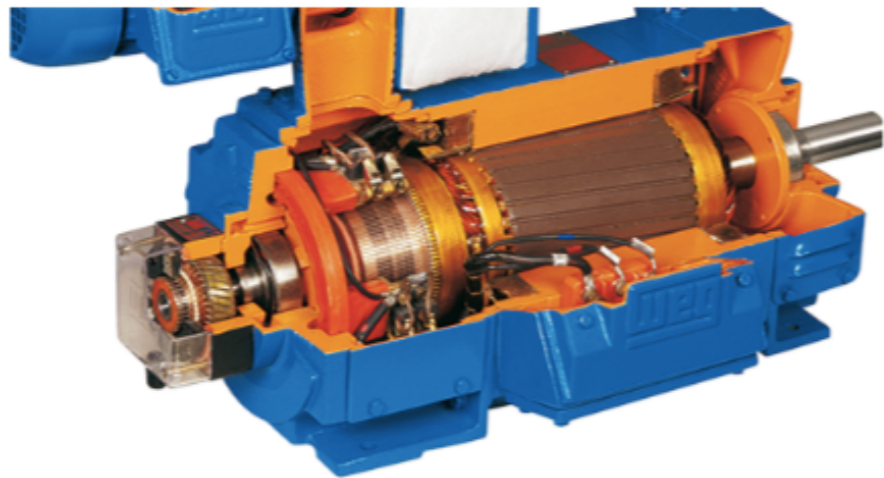
Gerador elétrico

Fonte: <https://www.auroragenerators.com>

# Motores de corrente contínua

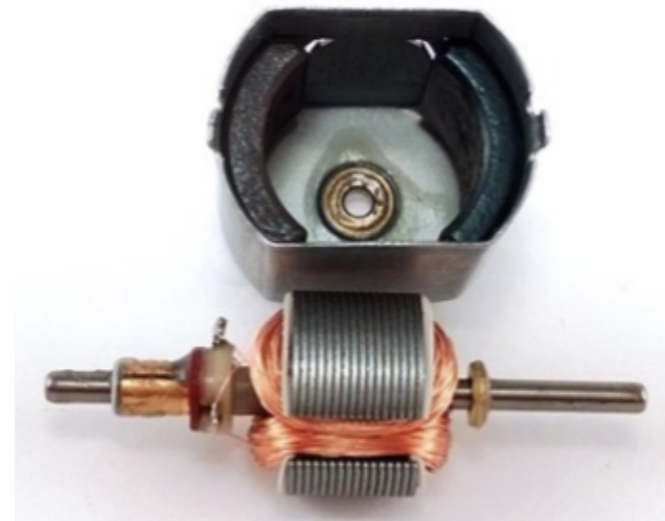
## Exemplos e aplicações dos motores de corrente contínua:

- Principais aplicações: impressoras, limpadores de para-brisas, vidros elétricos, fresadoras, robótica, brinquedos, parafusadeiras, furadeiras, motores de partida, dentre outras.



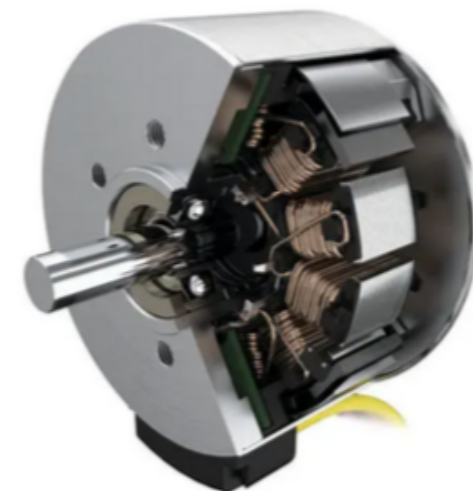
Motor de alta potência

Fonte: <https://www.weg.net>



Motor com imã permanente

Fonte: <https://www.robotgear.com.au>



Motor sem escovas

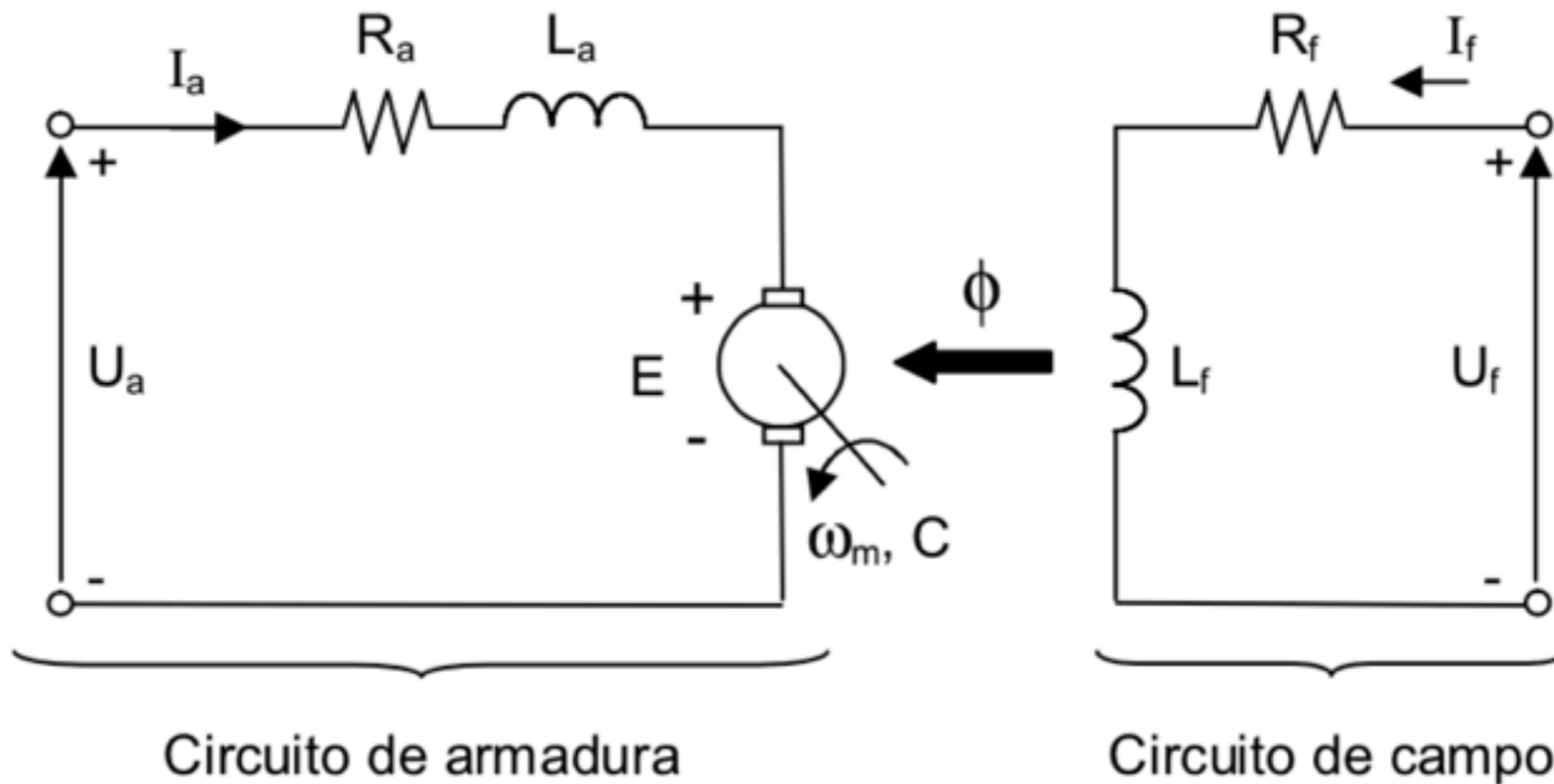
Fonte: <https://www.faulhaber.com>

# Motores de corrente contínua

## Circuito elétrico:

- Tensão de armadura ( $U_a$ ) - Tensão terminal na bobina de armadura do motor;
- Corrente de armadura ( $I_a$ ) - Corrente no enrolamento de armadura do motor;
- Resistência de armadura ( $R_a$ ) - Resistência do enrolamento de armadura, incluindo a resistência das escovas e dos contatos do comutador;
- Indutância de armadura ( $L_a$ ) - Indutância de armadura;
- $E$  - Força eletromotriz induzida ou força contra-eletromotriz de armadura ou ainda, tensão de armadura do motor;
- Resistência de campo ( $R_f$ ) - Resistência do enrolamento de campo do motor;
- Indutância de campo ( $L_f$ ) - Indutância de campo do motor;
- Tensão de campo ( $U_f$ ) - Tensão terminal na bobina de campo do motor;
- Corrente de campo ( $I_f$ ) - Corrente no enrolamento de campo do motor;
- Fluxo magnético ( $\phi$ ) - Fluxo no entreferro da máquina;
- Velocidade angular ( $\omega_m$ ) - Velocidade angular no eixo do motor;
- Conjugado ( $C$ ) - Conjugado no eixo do motor.

# Motores de corrente contínua

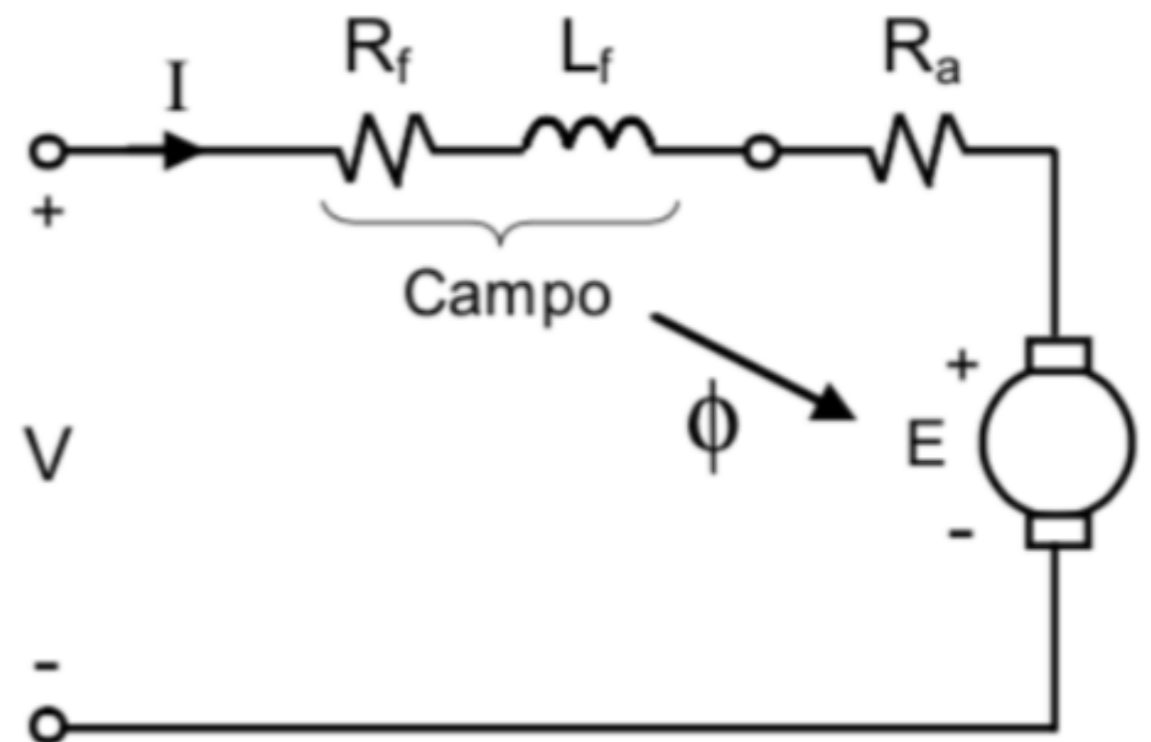


Circuito equivalente do motor cc  
Fonte: (Siemens, 2006)

# Motores de corrente contínua

## Motor de corrente contínua série:

- Bobinas de campo estão em série com o enrolamento da armadura;
- Só há fluxo no entreferro da máquina quando a corrente da armadura for diferente de zero (máquina carregada);
- Conjugado é função quadrática da corrente, uma vez que o fluxo é praticamente proporcional à corrente de armadura;
- Conjugado elevado em baixa rotação;
- Potência constante;
- Velocidade extremamente elevada quando o motor é descarregado, por isso não se recomenda utilizar transmissões por meio de polias e correias.

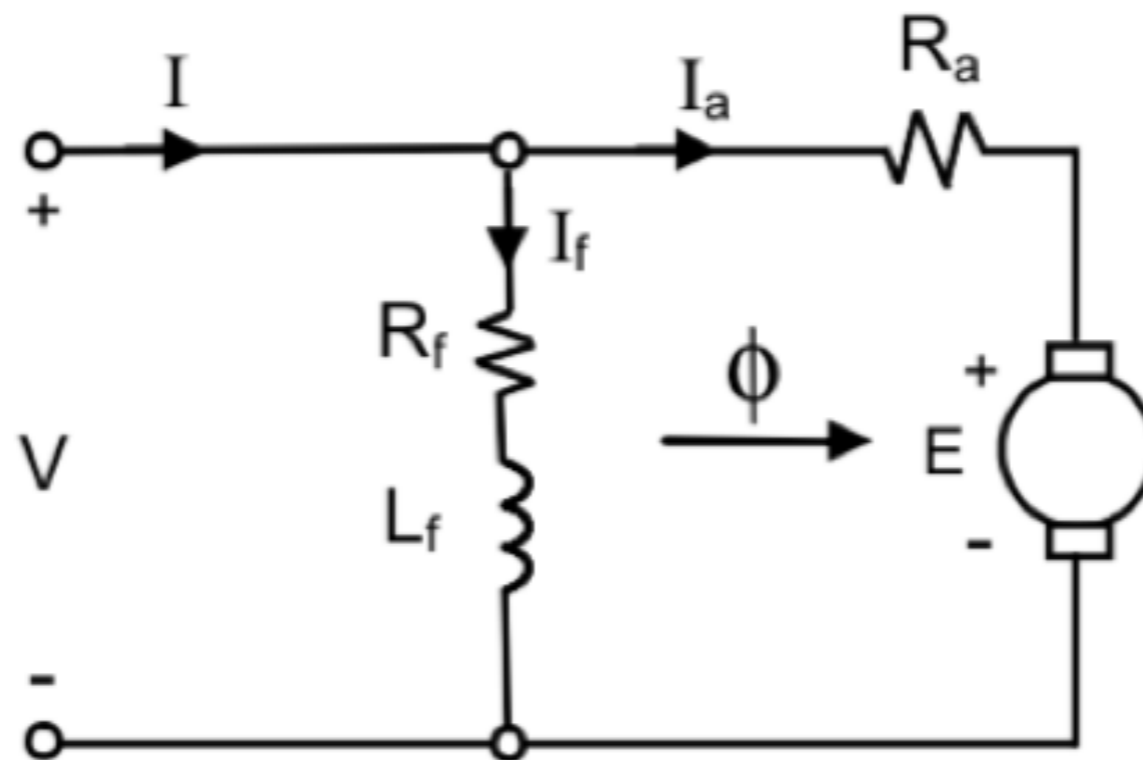


Ligação série  
Fonte: (Siemens, 2006)

# Motores de corrente contínua

## Motor de corrente contínua paralelo:

- Velocidade praticamente constante;
- Velocidade ajustável por variação da tensão de armadura.

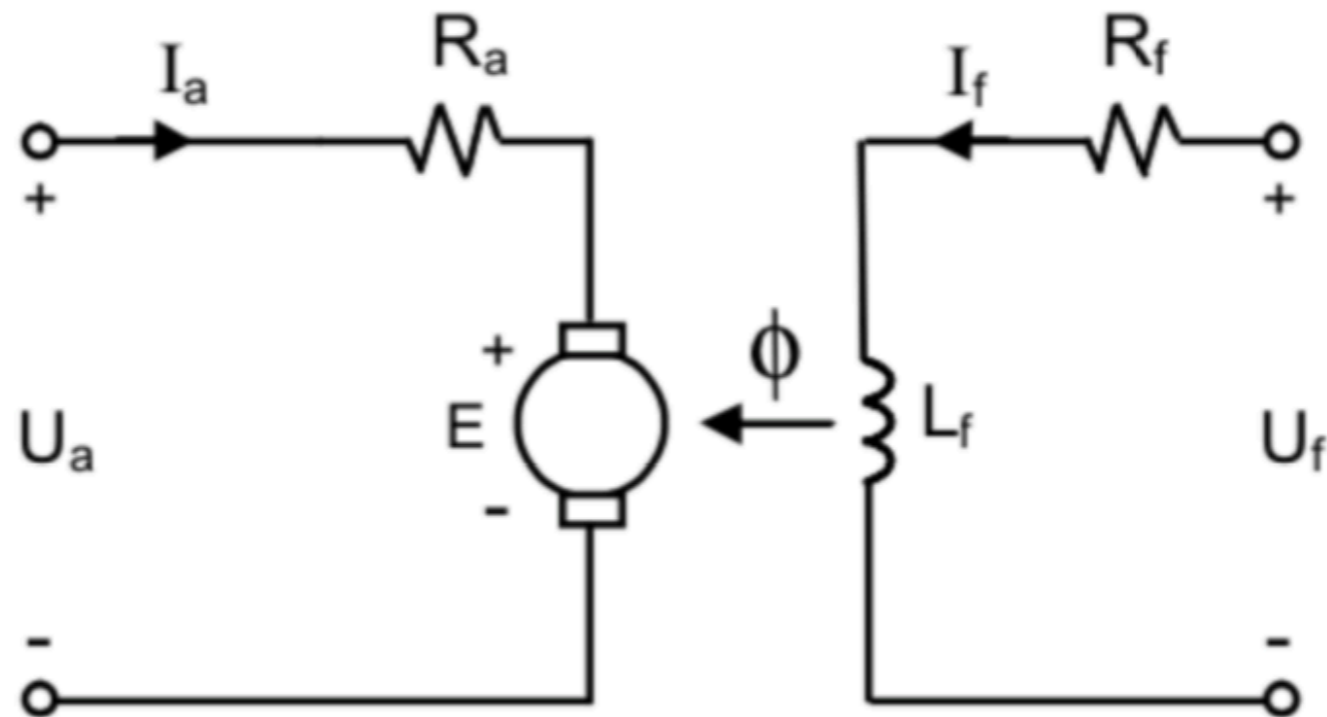


Ligação paralela  
Fonte: (Siemens, 2006)

# Motores de corrente contínua

## Motor de corrente contínua com ligações independentes:

- Motor alimentado externamente pelo circuito de campo;
- Velocidade praticamente constante;
- Velocidade ajustável por variação da tensão de armadura e também por enfraquecimento de campo;
- São os motores mais aplicados com conversores ca-cc na indústria;
- Aplicações mais comuns: máquinas de papel, laminadores, extrusoras, fornos de cimento, etc.

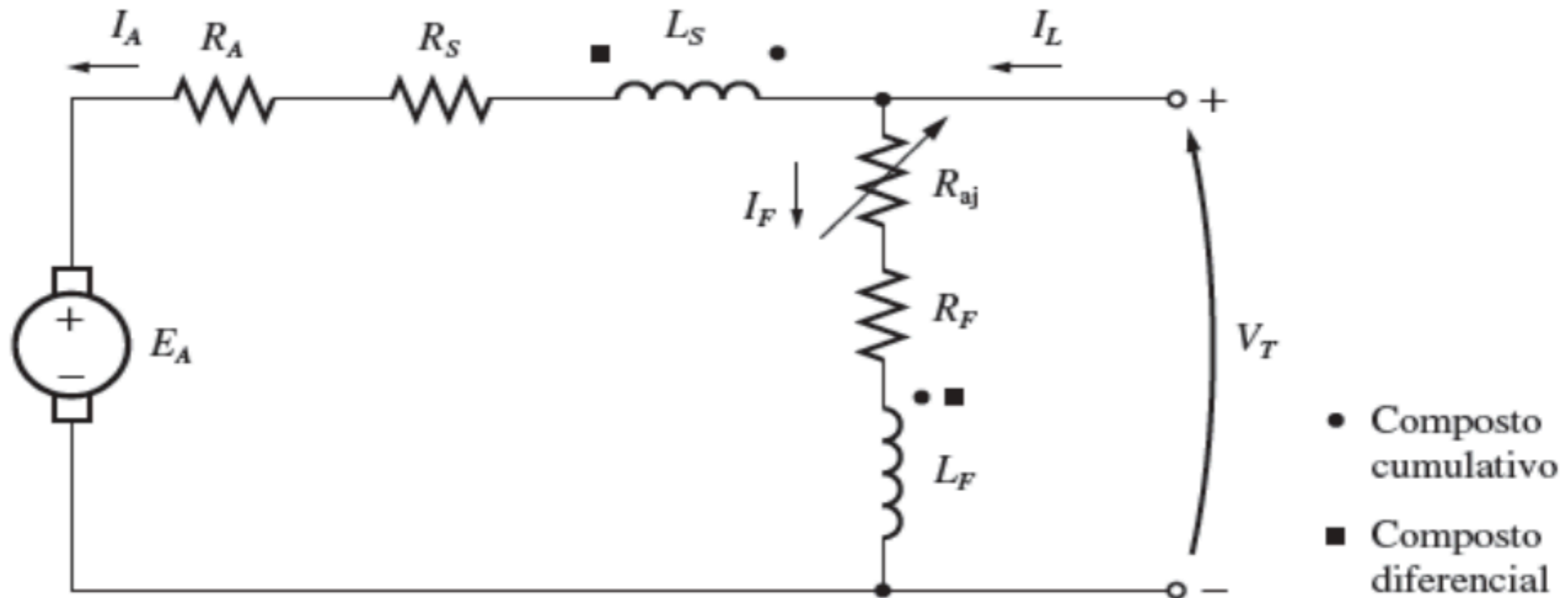


Ligações independentes  
Fonte: (Siemens, 2006)

# Motores de corrente contínua

## Motor de corrente contínua composto:

- Enrolamento de campo independente e dividido;
- Apresenta um fluxo mínimo mesmo com o motor em vazio;
- Não utilizado para fins práticos.



Ligação composta

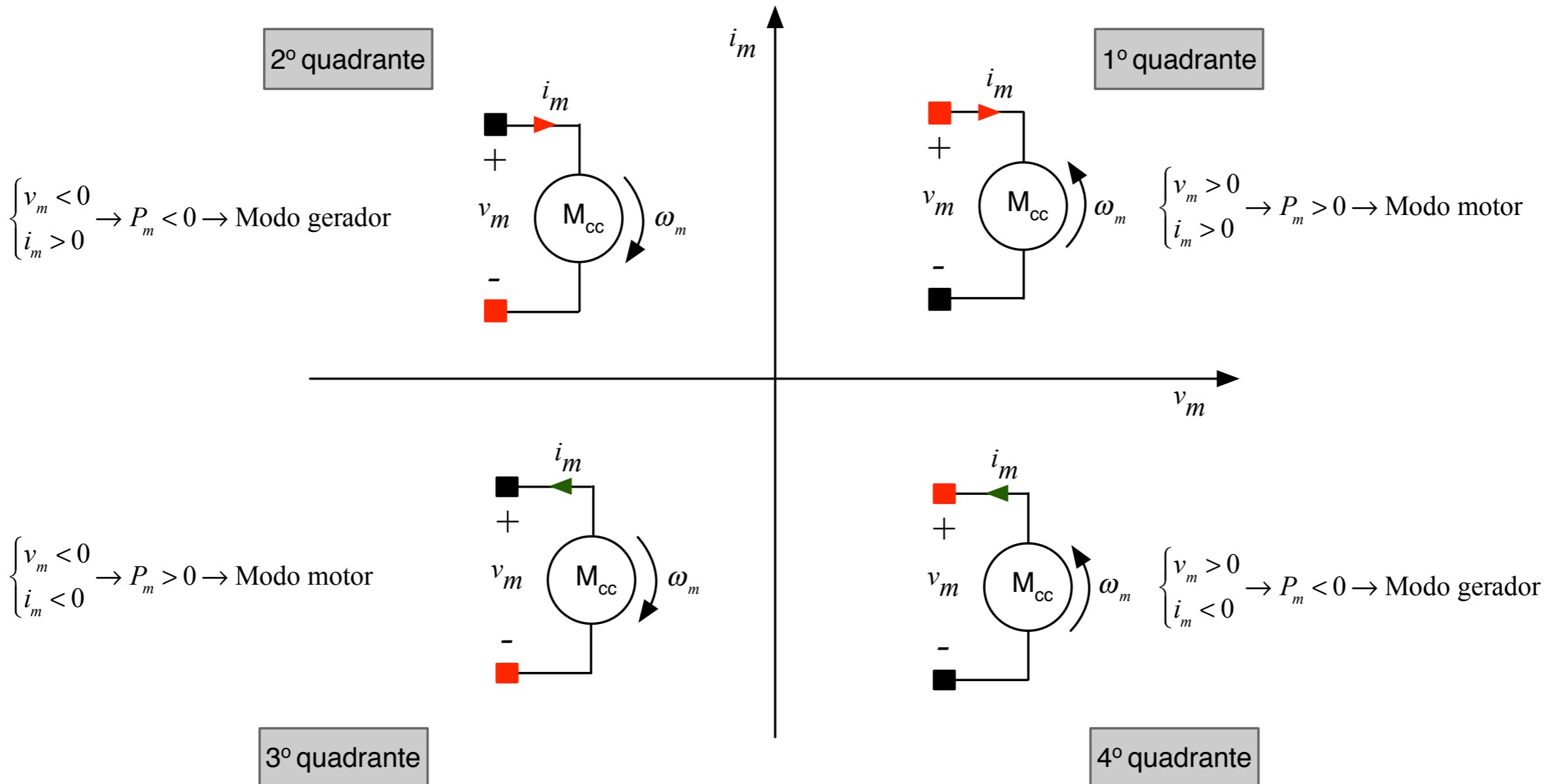
Fonte: <https://edisciplinas.usp.br>

# Motores de corrente contínua

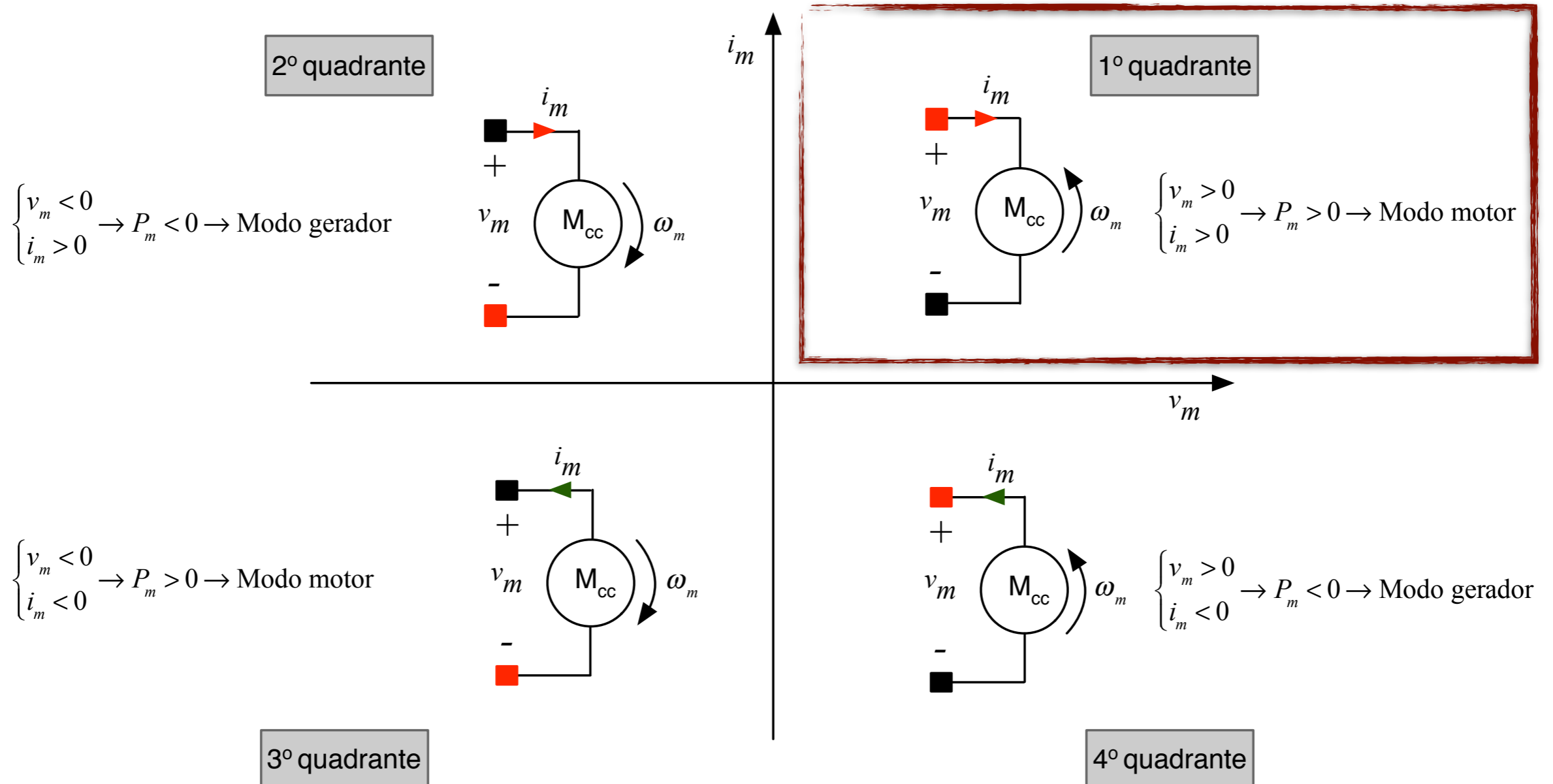
## Vantagens e desvantagens do acionamento com motores de corrente contínua:

- Vantagens:
  - Custos mais baixos para operação em quatro quadrantes;
  - Ciclo contínuo de operação, inclusive em baixas rotações;
  - Alto torque de partida e em baixas rotações;
  - Facilidade para variação e controle de velocidade;
  - Menores circuitos de acionamento (conversores ca-cc);
  - Alta confiabilidade;
  - Grande flexibilidade com diferentes tipos de acionamentos;
  - Simplicidade e facilidade de acionamento usando conversores cc-cc.
- Desvantagens:
  - Para potência semelhante, os motores de corrente contínua são maiores e mais caros que os motores de indução;
  - Maior necessidade de manutenção em virtude da presença do comutador;
  - Apresenta arcos e faíscas elétricas em virtude da comutação, não podendo ser aplicado em ambientes perigosos, como os inflamáveis, por exemplo;
  - A tensão de alimentação, em virtude da operação em corrente contínua, não pode exceder 900 V, enquanto motores de indução podem ser para milhares de volts;
  - Necessidade de atenção na partida, mesmo em pequenos motores.

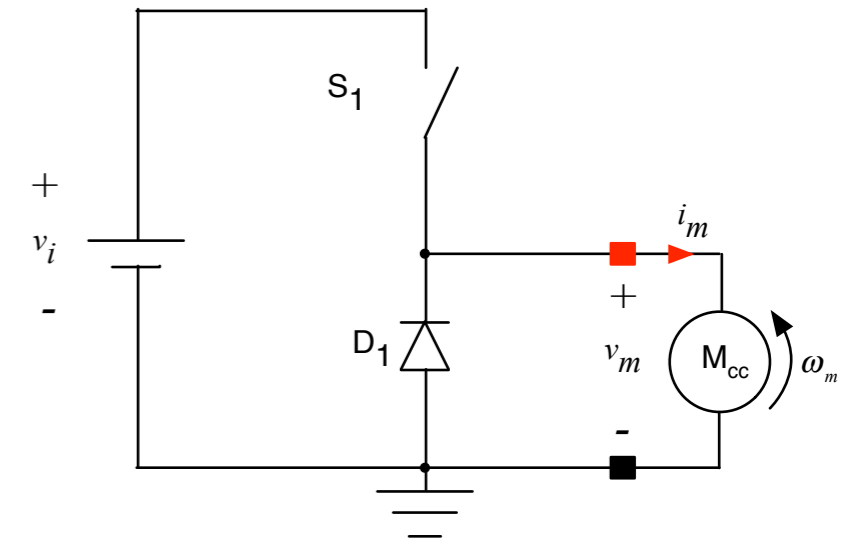
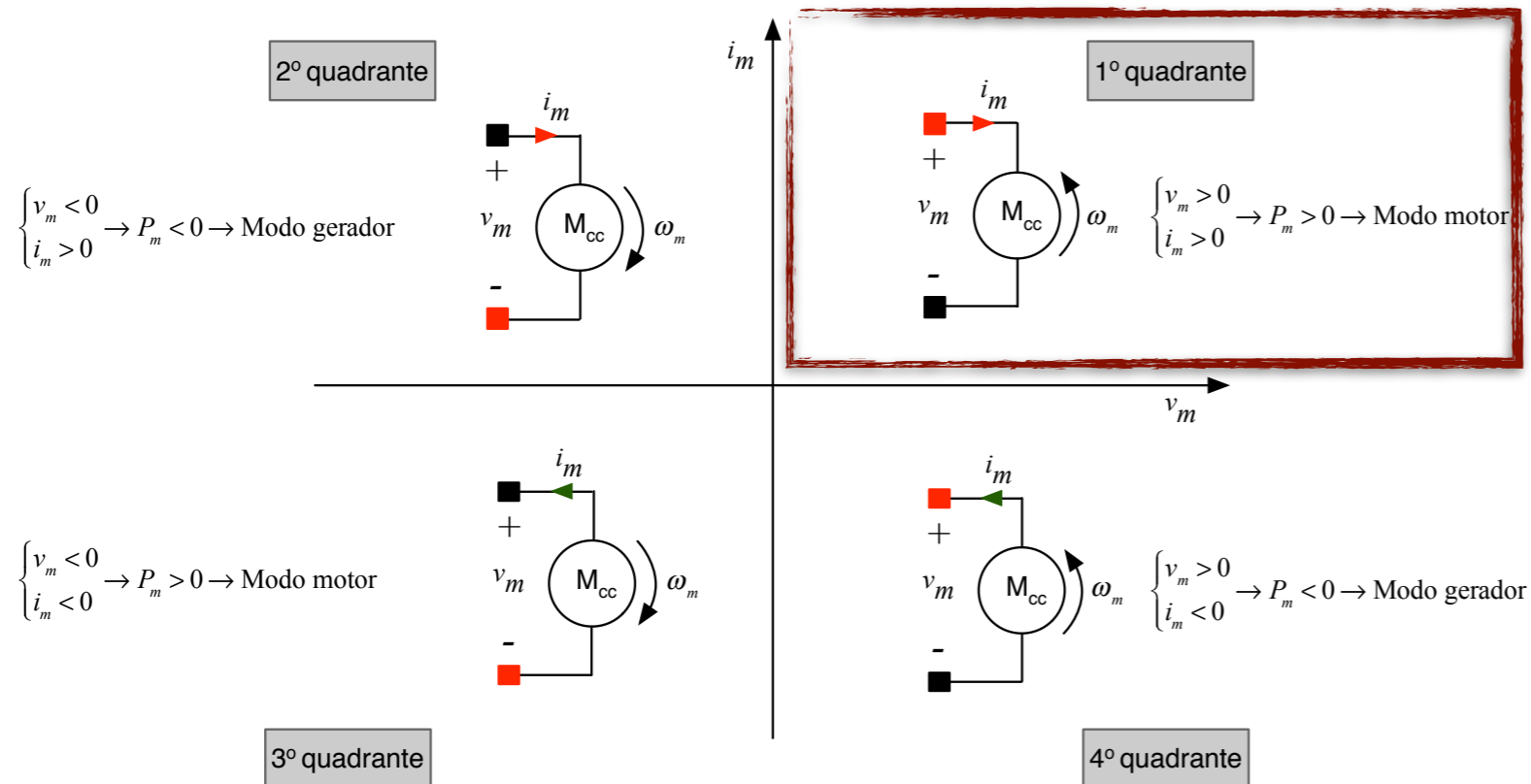
# Quadrantes de operação dos motores cc



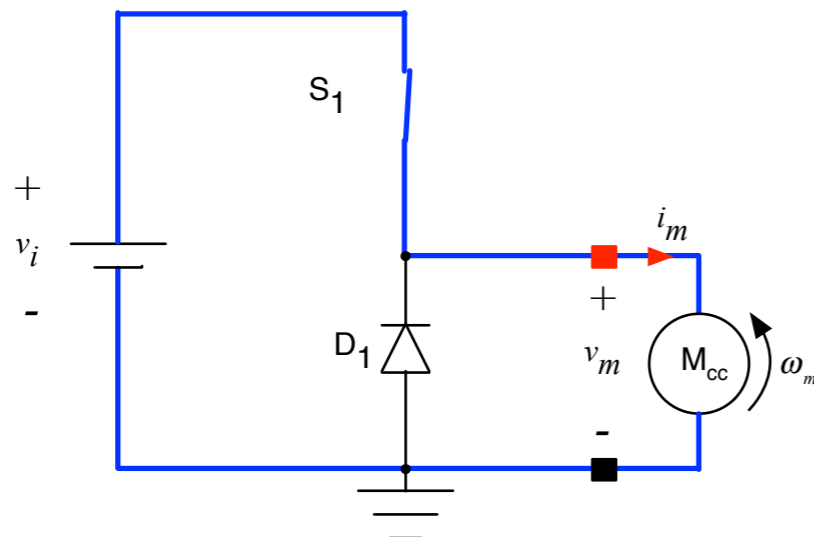
# Quadrantes de operação dos motores cc



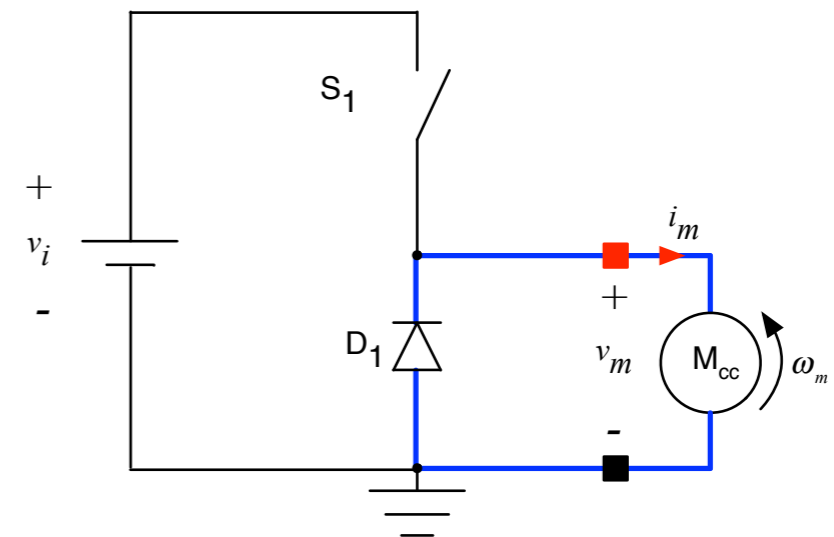
# Quadrantes de operação dos motores cc



Conversor simples com chave

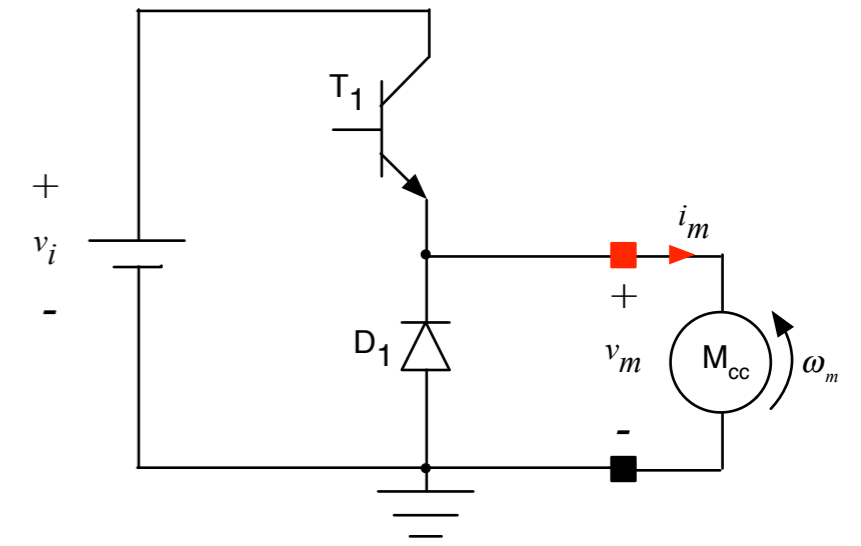
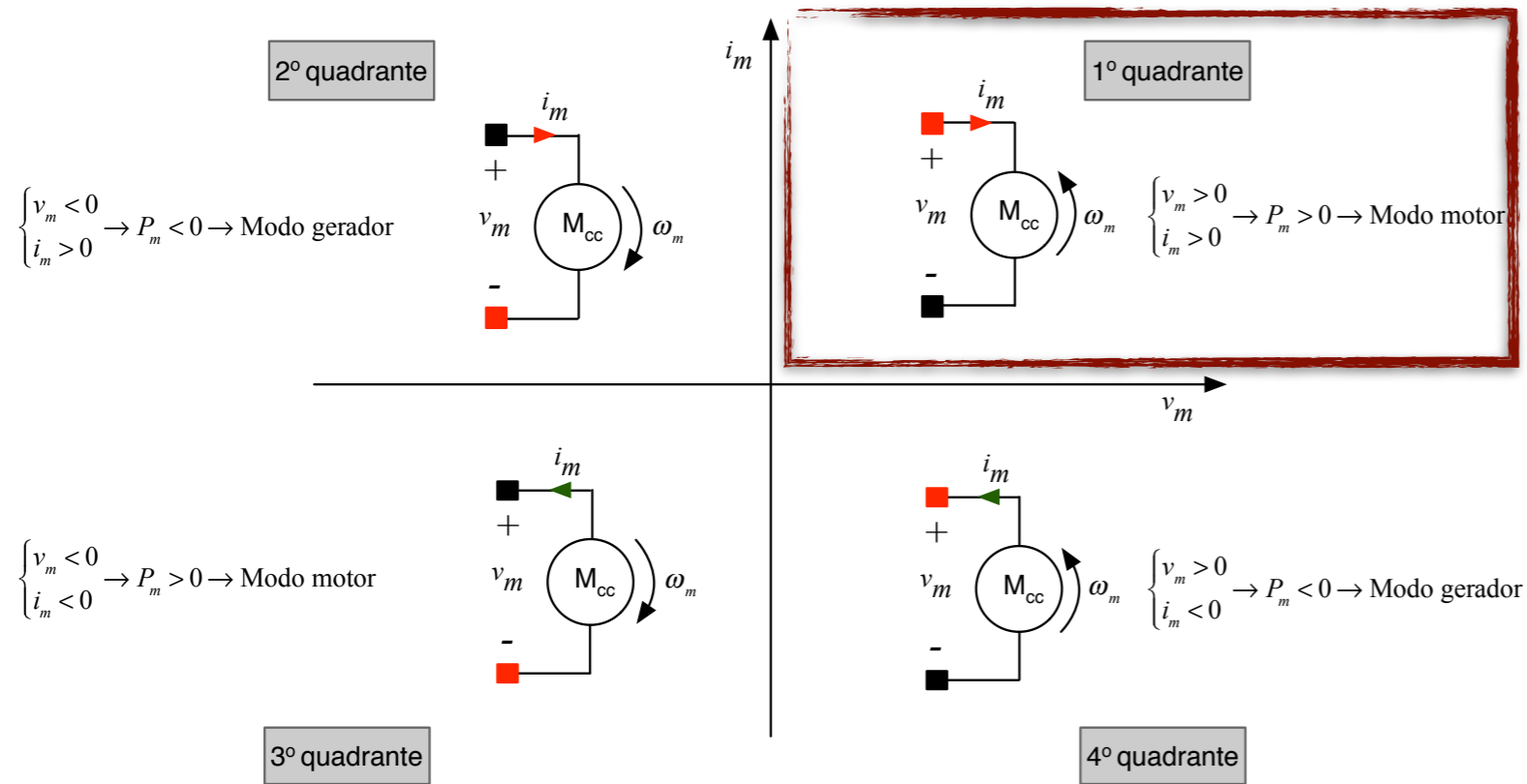


Primeira etapa

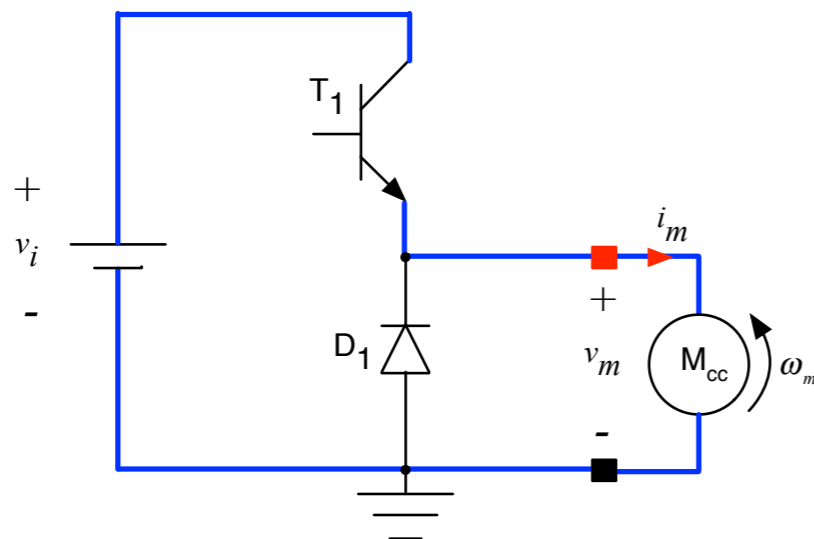


Segunda etapa

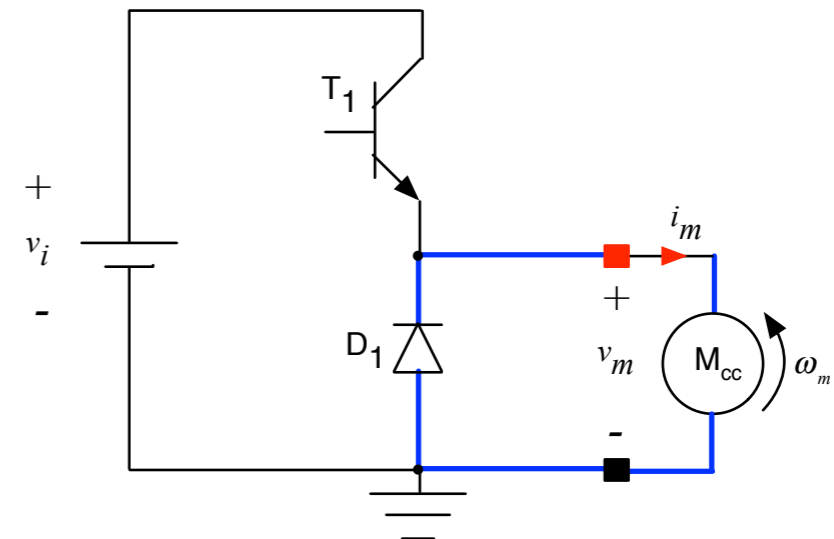
# Quadrantes de operação dos motores cc



Conversor simples com transistor



Primeira etapa

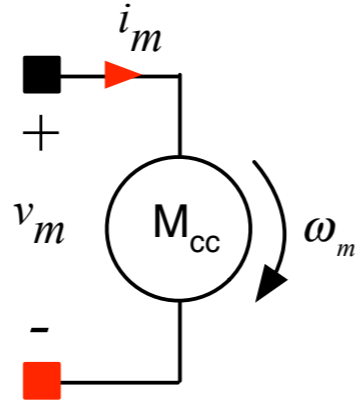


Segunda etapa

# Quadrantes de operação dos motores cc

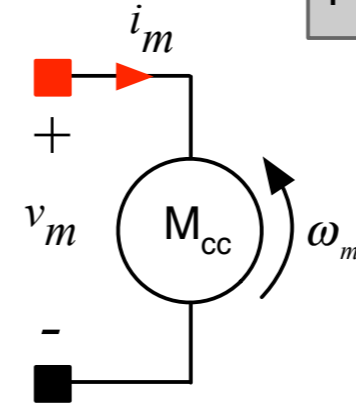
2º quadrante

$$\begin{cases} v_m < 0 \\ i_m > 0 \end{cases} \rightarrow P_m < 0 \rightarrow \text{Modo gerador}$$

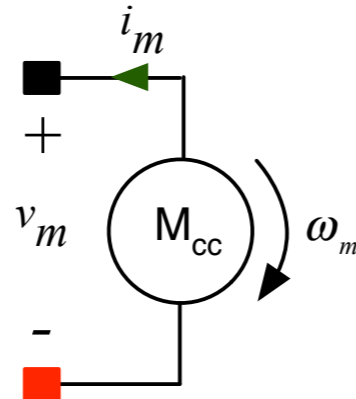


1º quadrante

$$\begin{cases} v_m > 0 \\ i_m > 0 \end{cases} \rightarrow P_m > 0 \rightarrow \text{Modo motor}$$



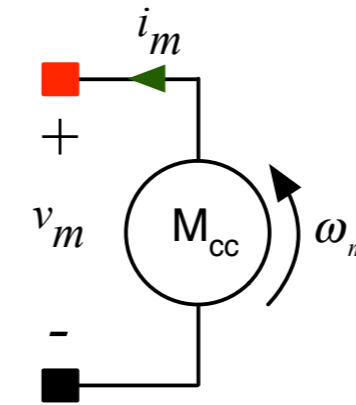
$$\begin{cases} v_m < 0 \\ i_m < 0 \end{cases} \rightarrow P_m > 0 \rightarrow \text{Modo motor}$$



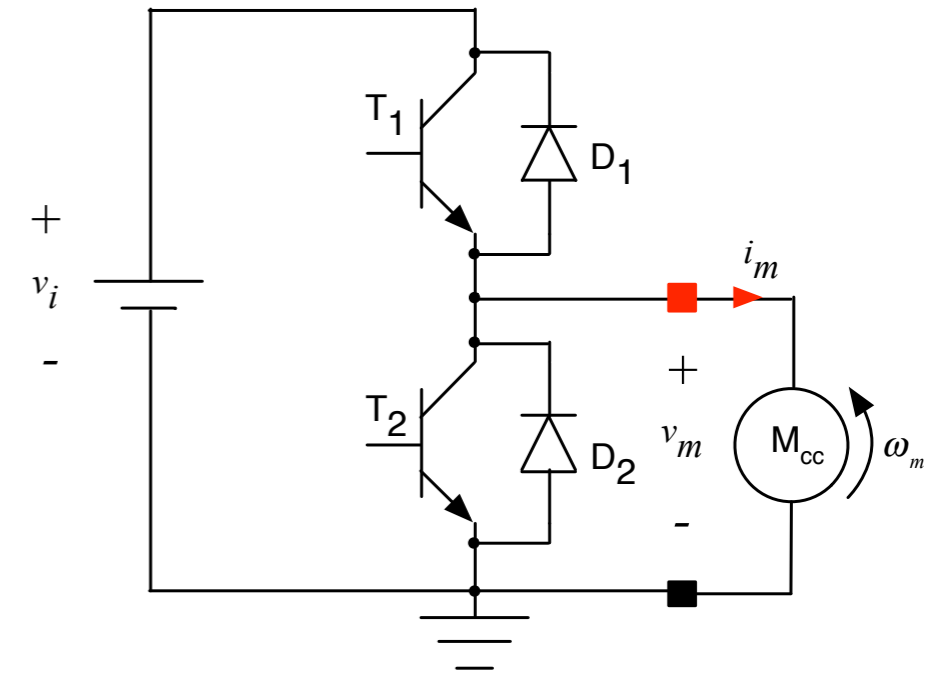
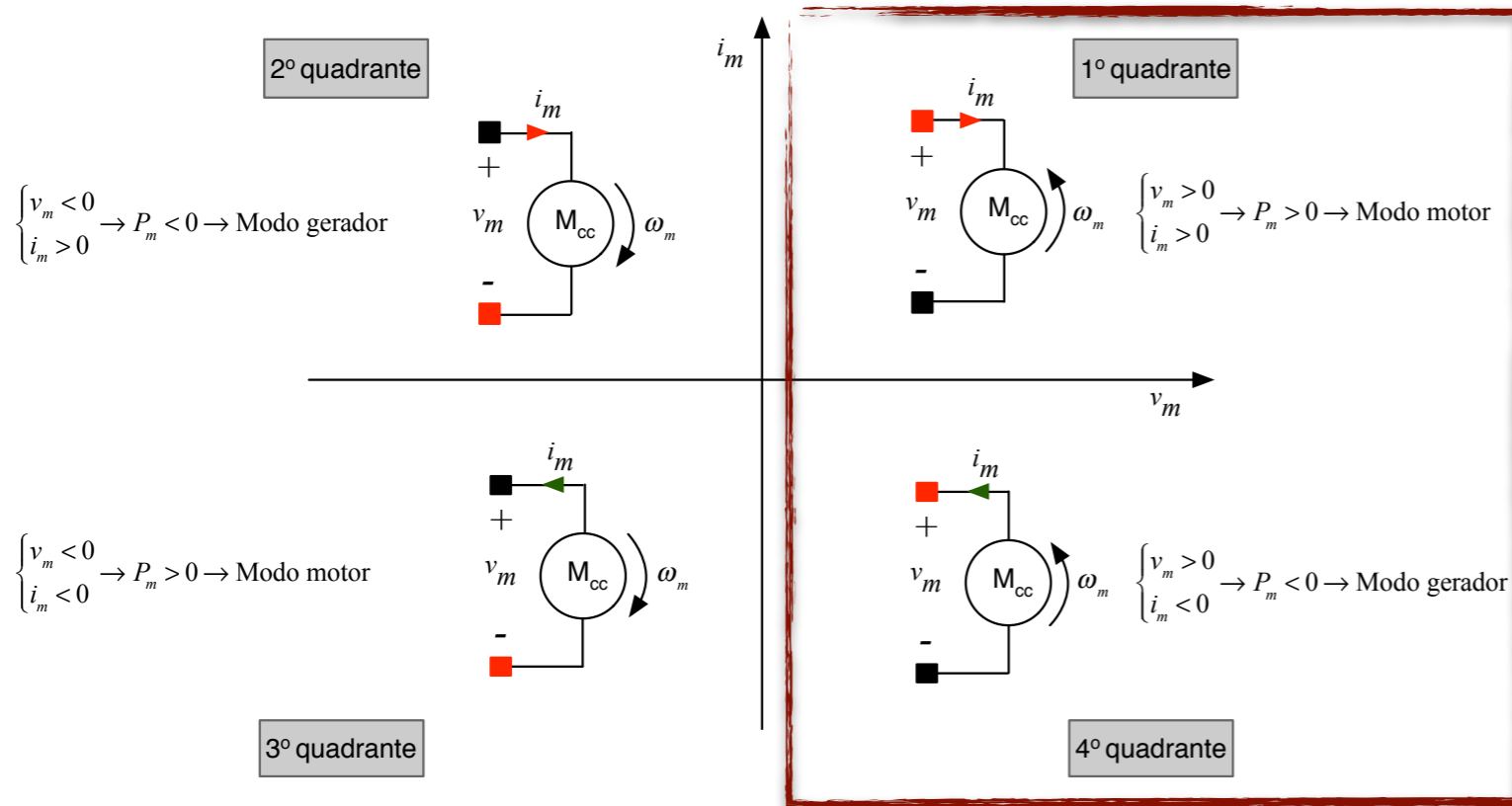
3º quadrante

4º quadrante

$$\begin{cases} v_m > 0 \\ i_m < 0 \end{cases} \rightarrow P_m < 0 \rightarrow \text{Modo gerador}$$

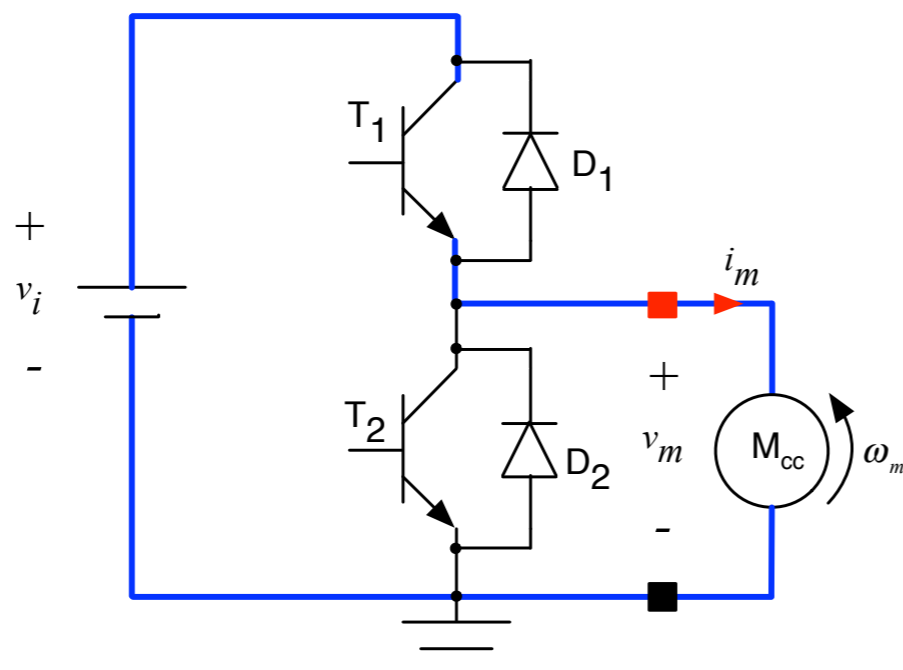


# Quadrantes de operação dos motores cc

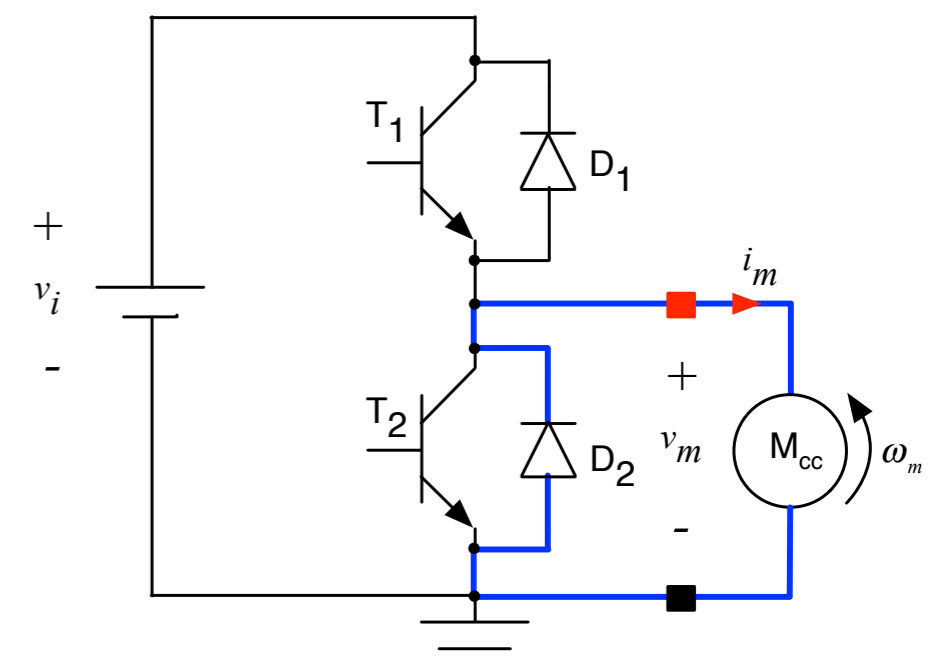


Conversor meia ponte

**Modo motor**

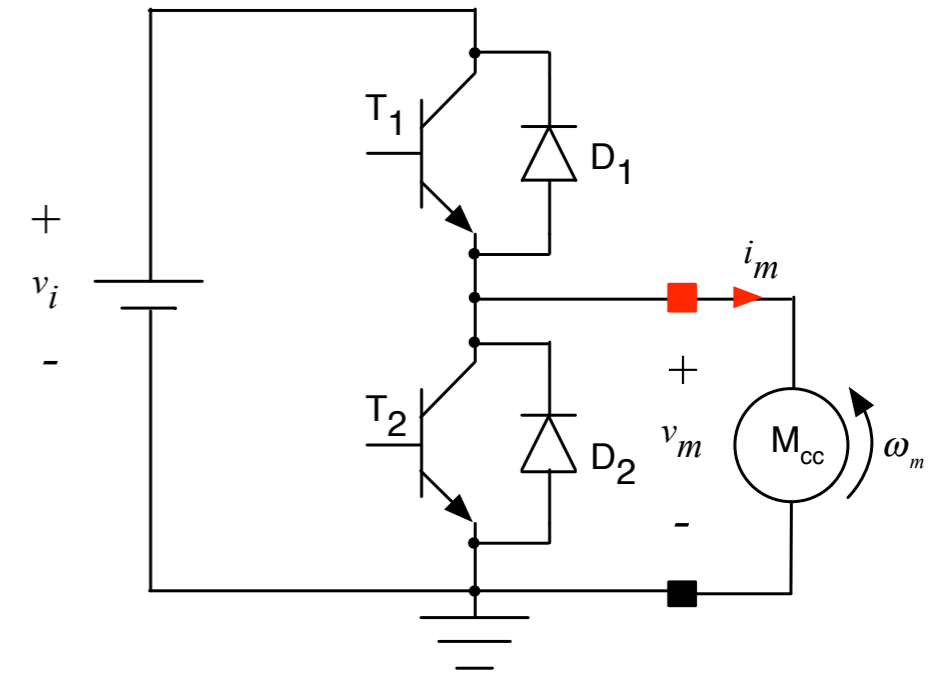
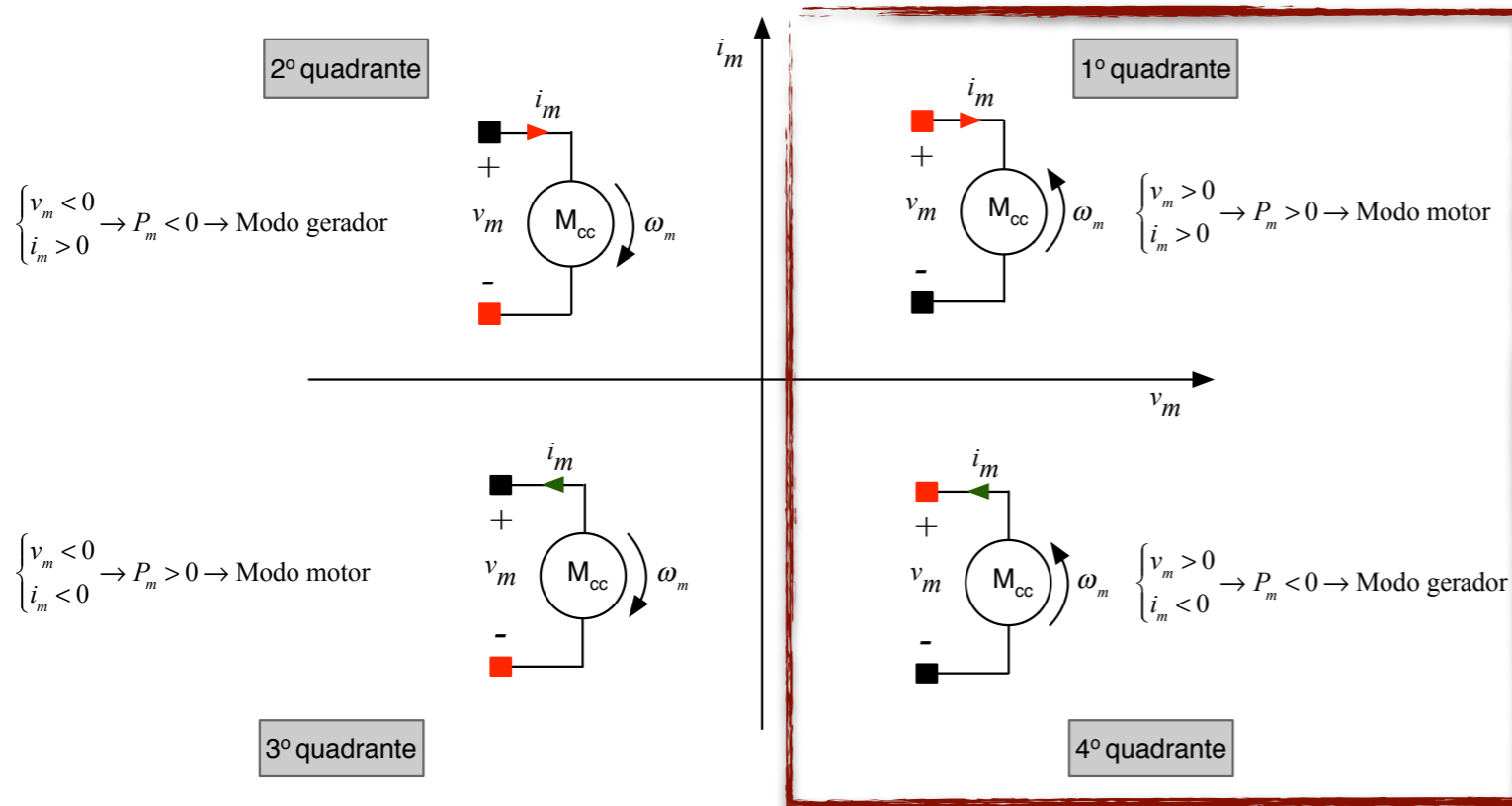


Primeira etapa



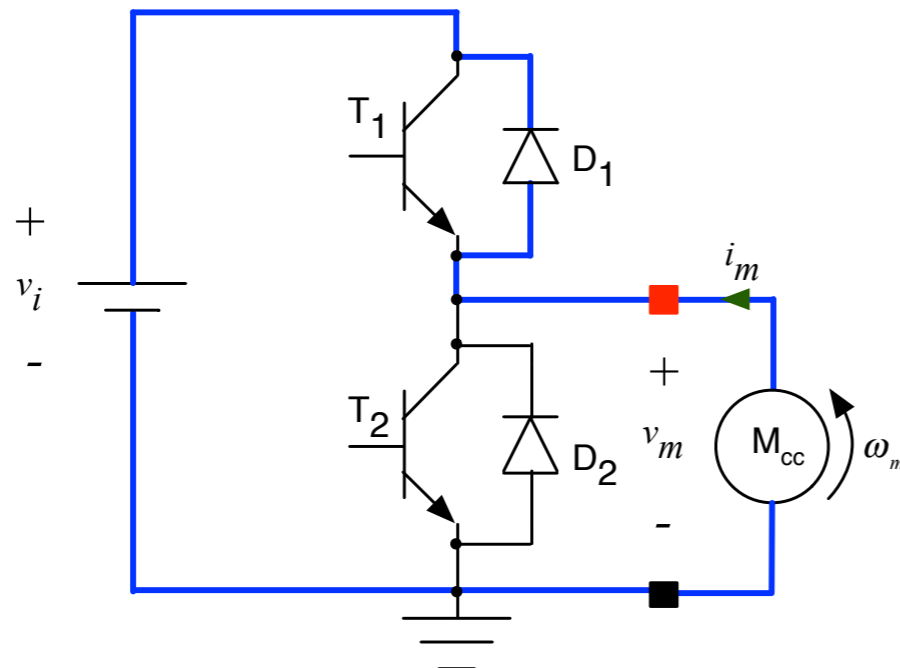
Segunda etapa

# Quadrantes de operação dos motores cc

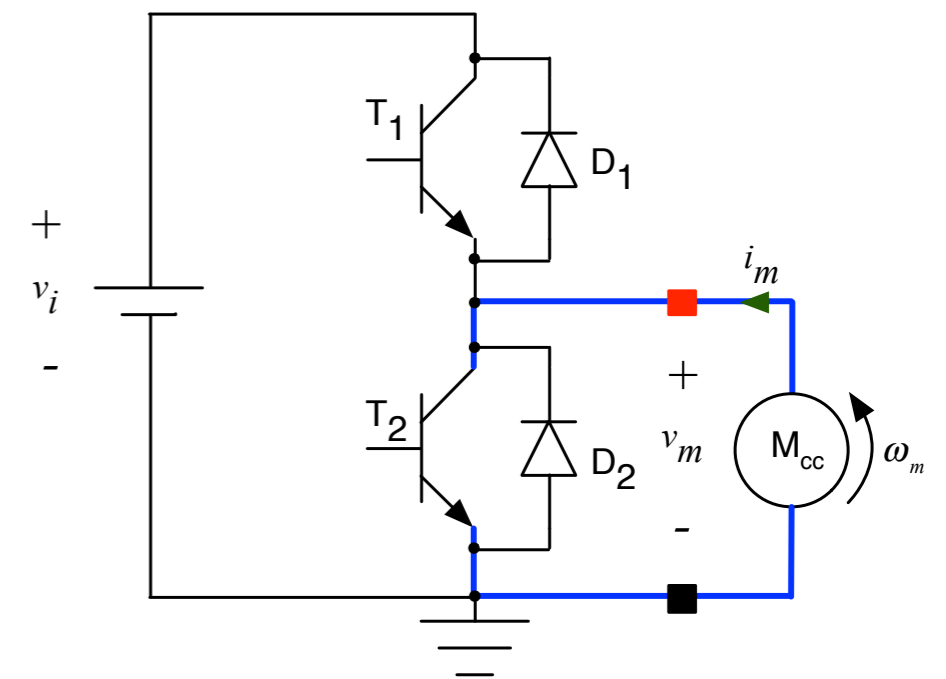


Conversor meia ponte

## Modo gerador

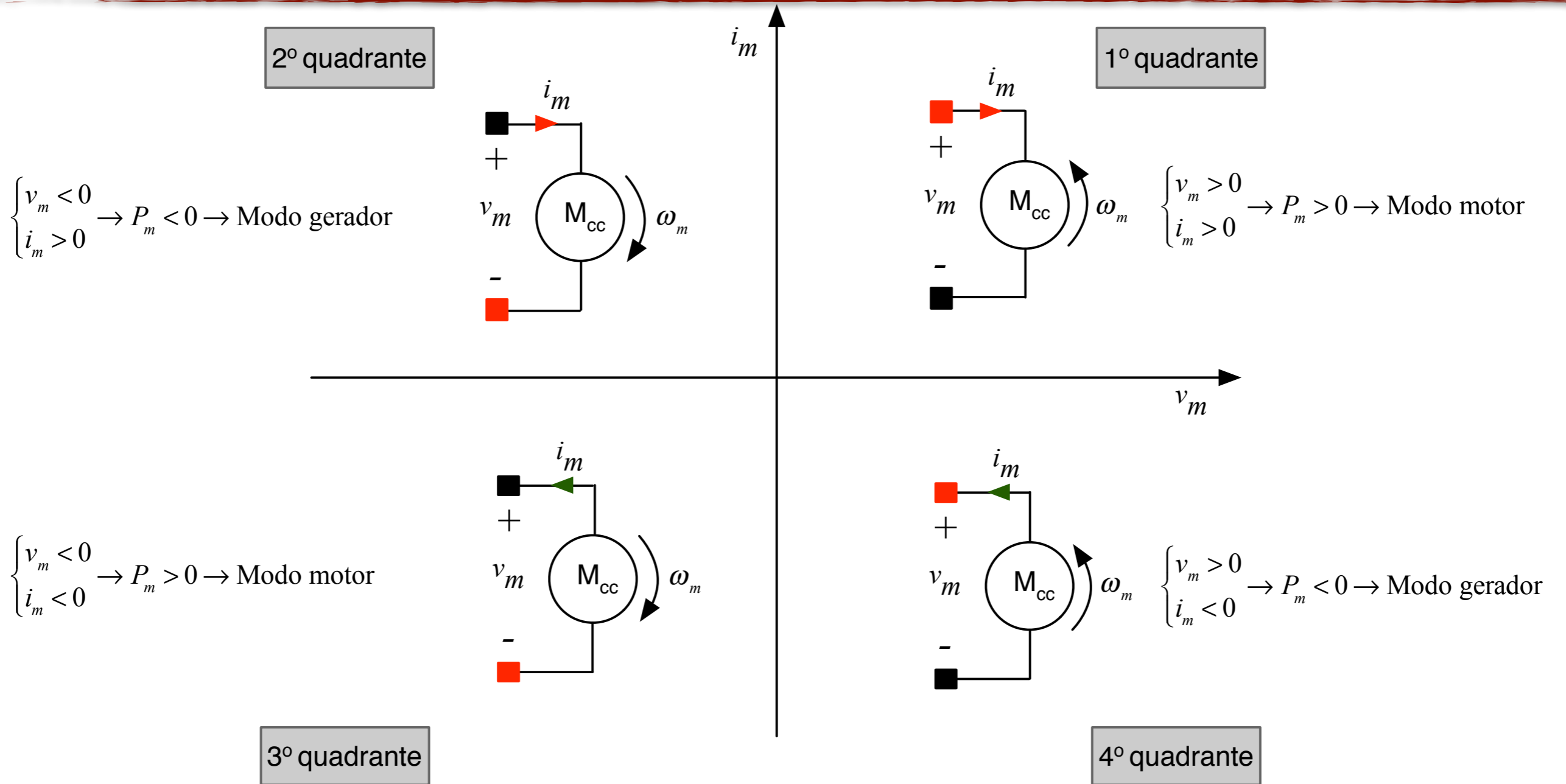


Primeira etapa

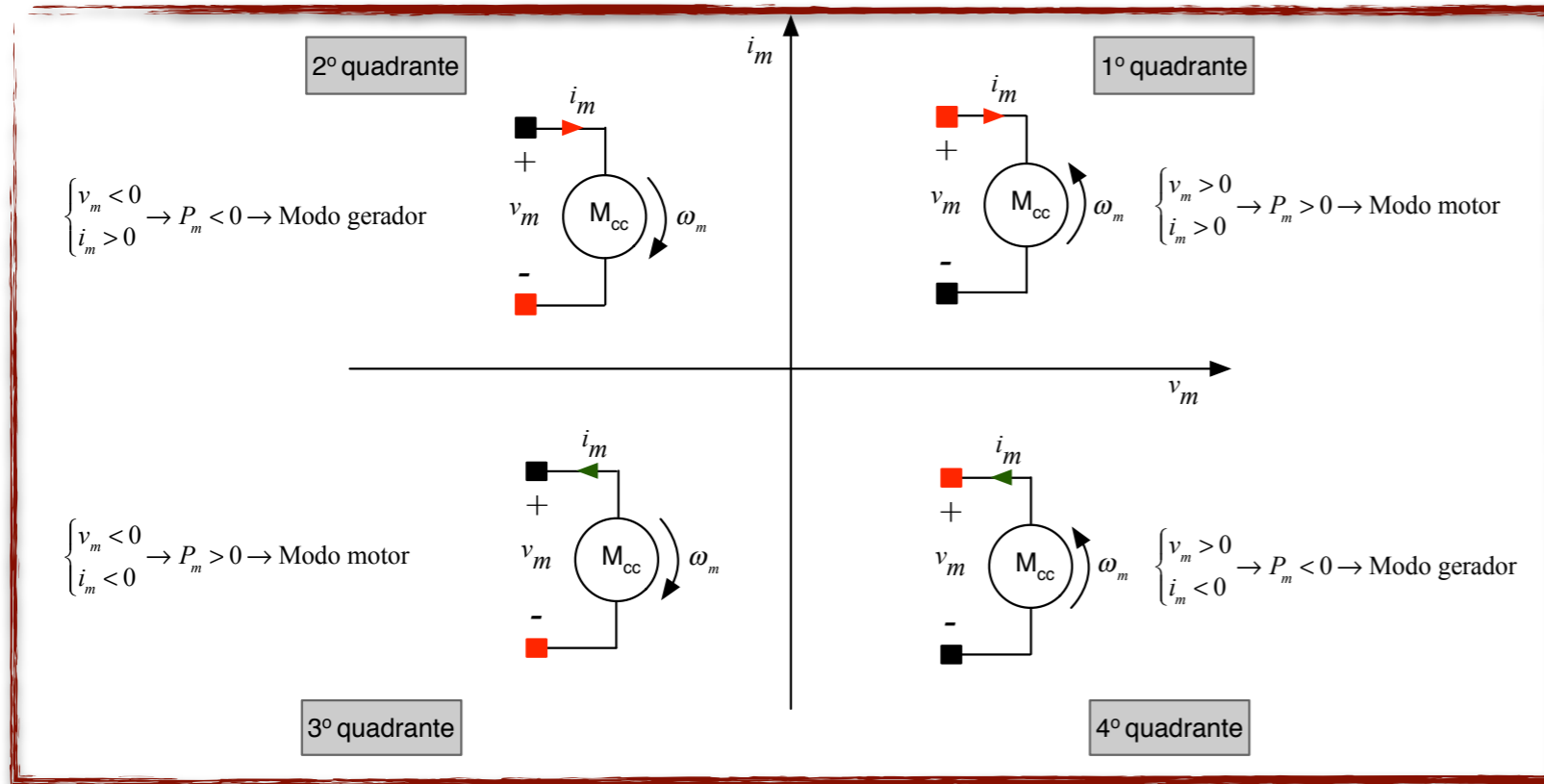


Segunda etapa

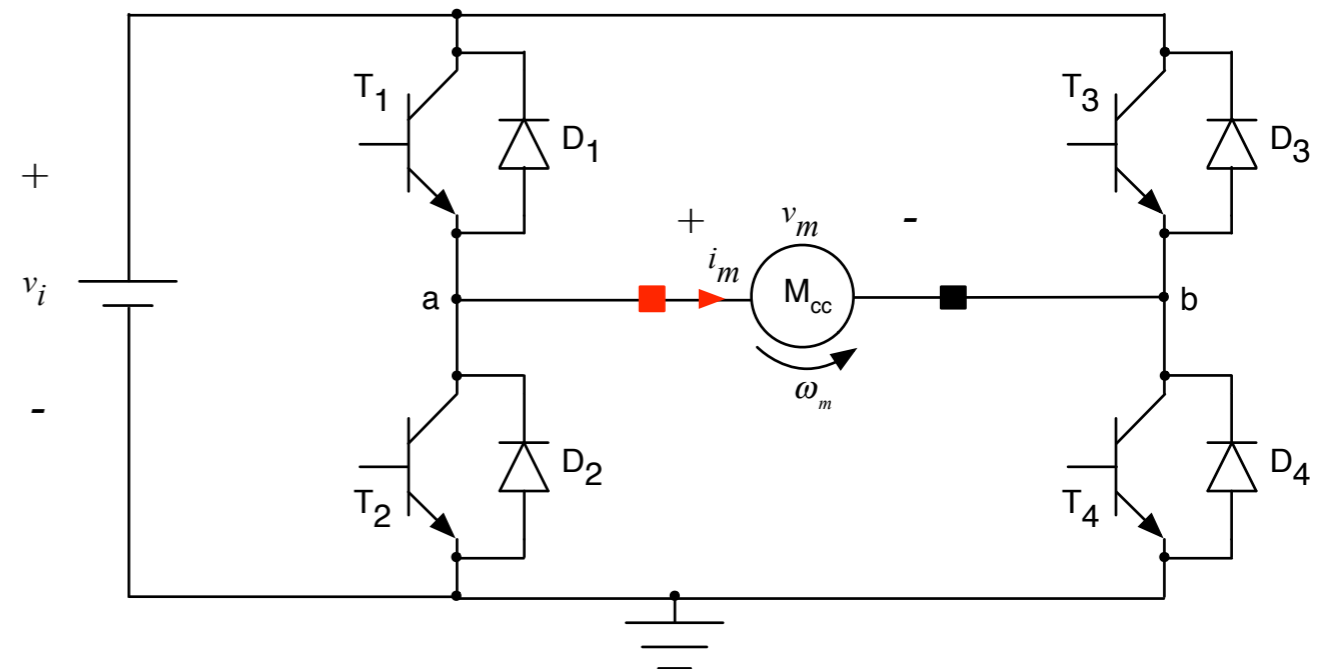
# Quadrantes de operação dos motores cc



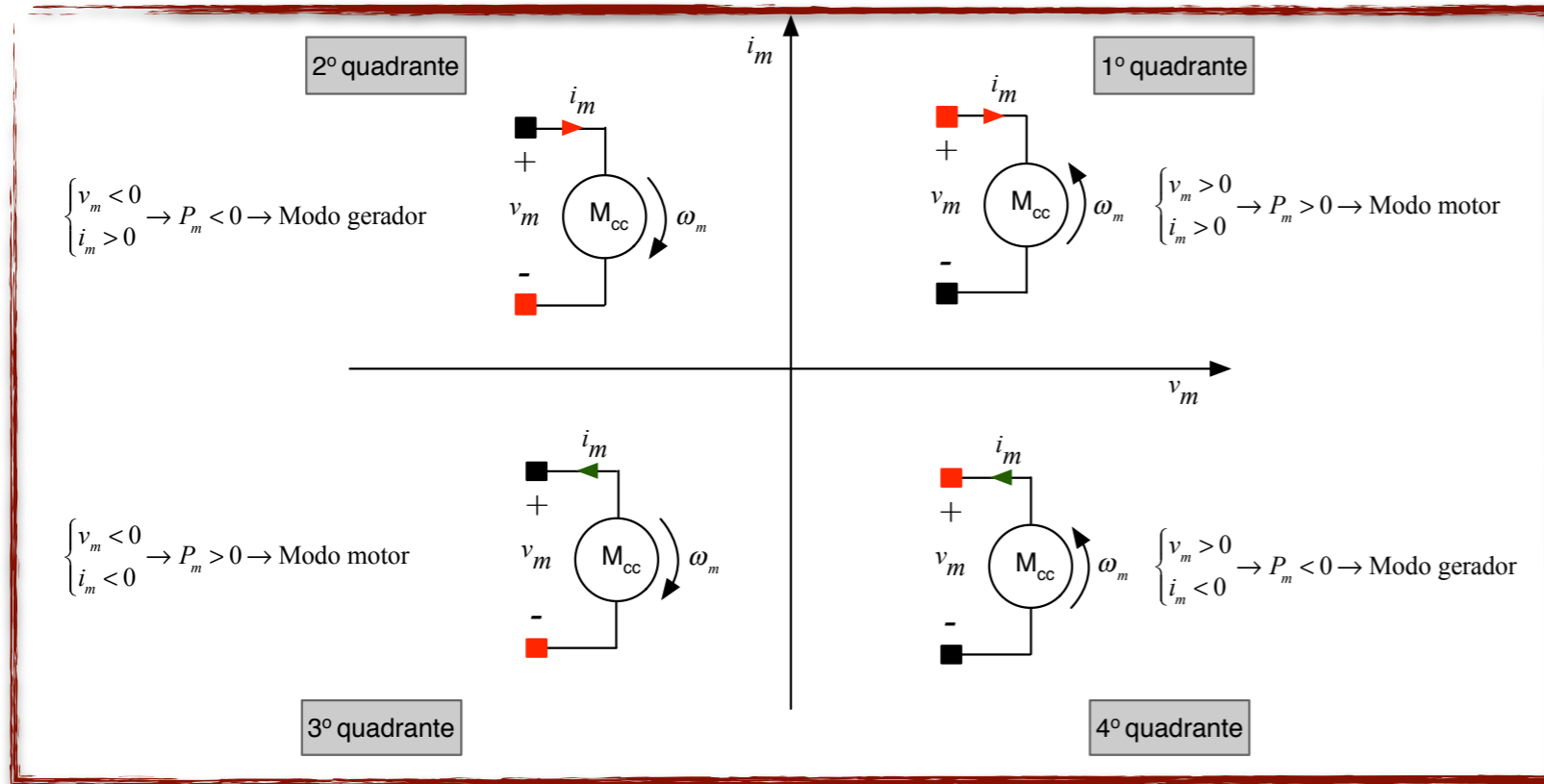
# Quadrantes de operação dos motores cc



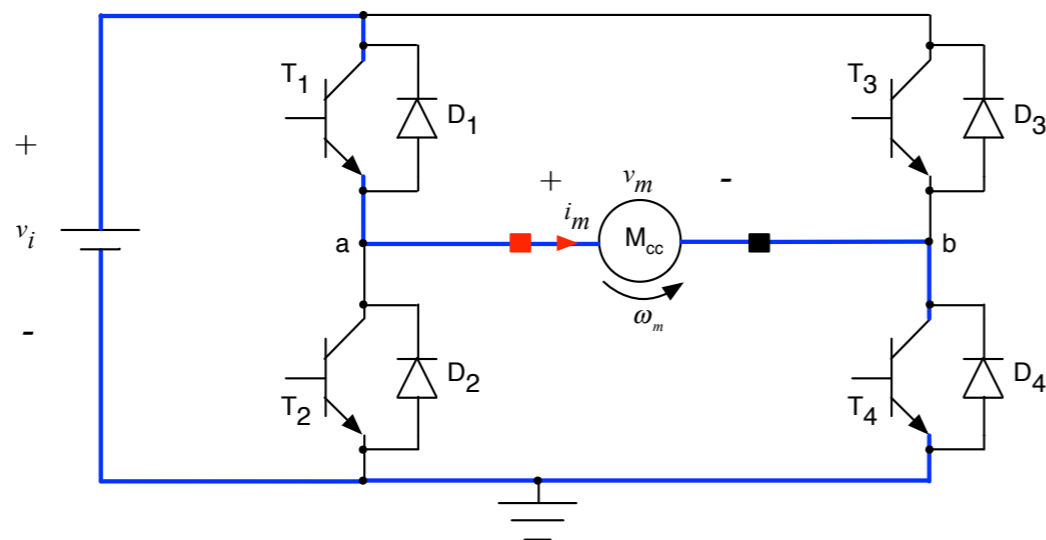
Conversor ponte completa



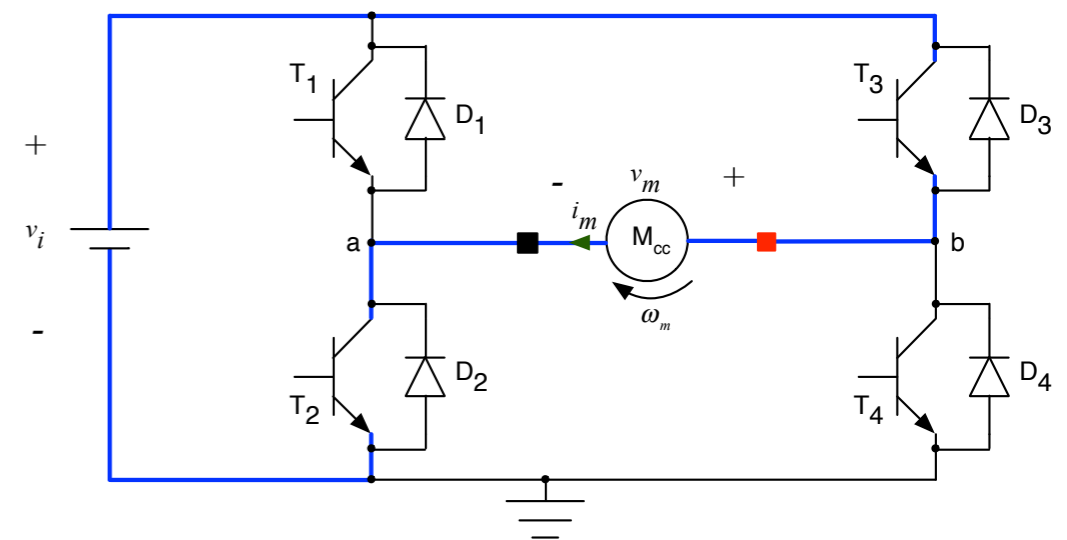
# Quadrantes de operação dos motores cc



## Modo motor

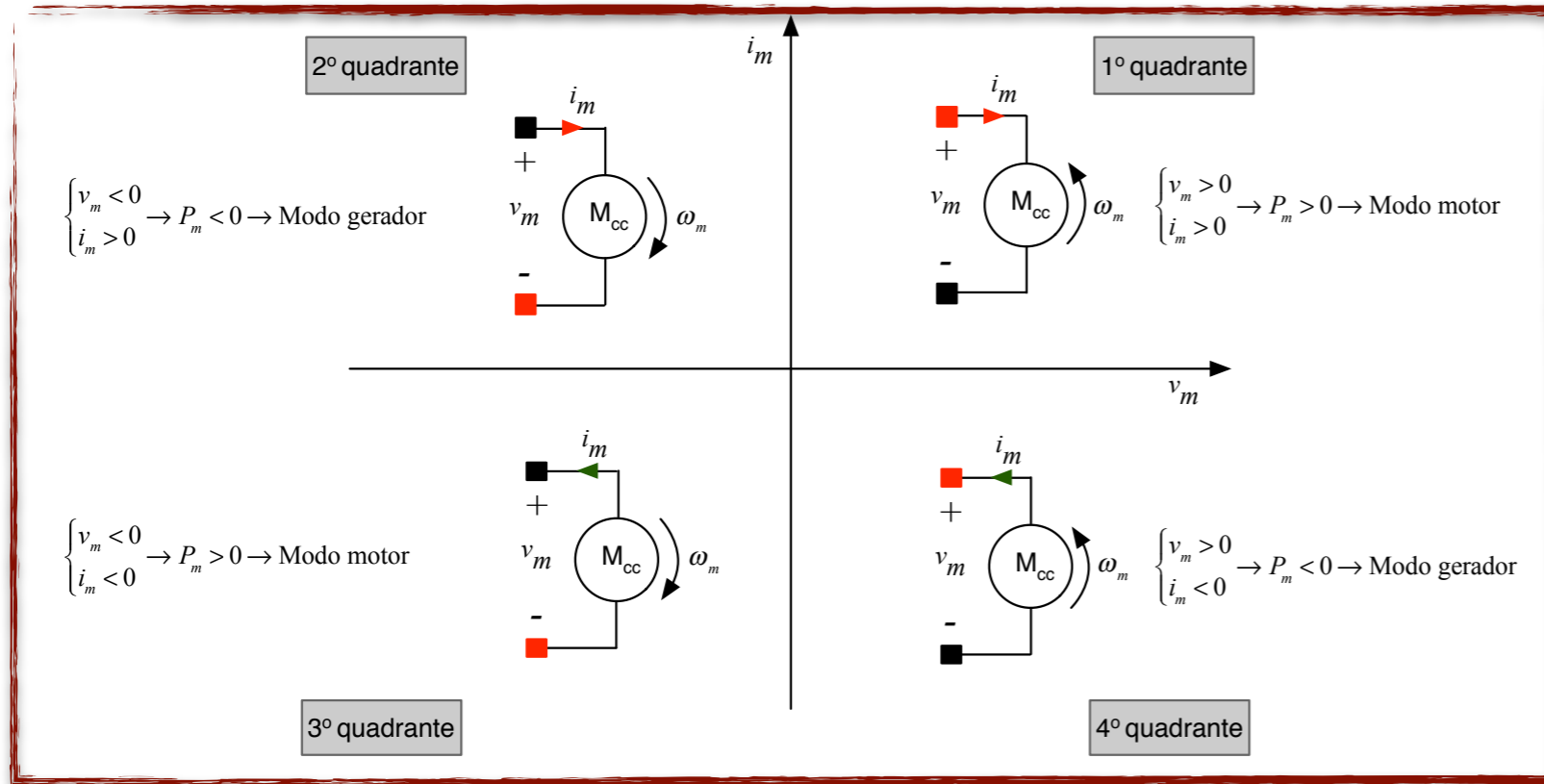


Rotação em um sentido

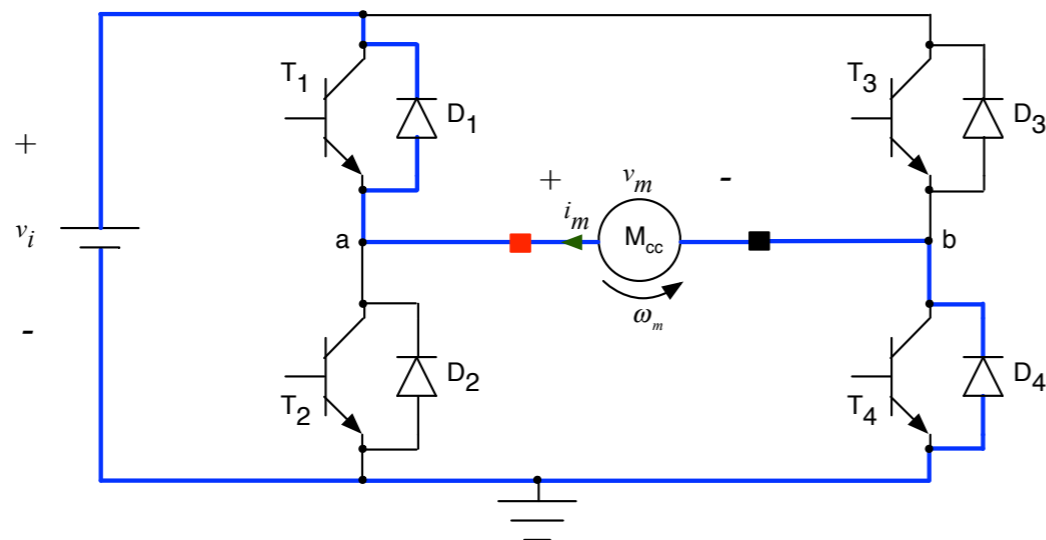


Rotação em outro sentido

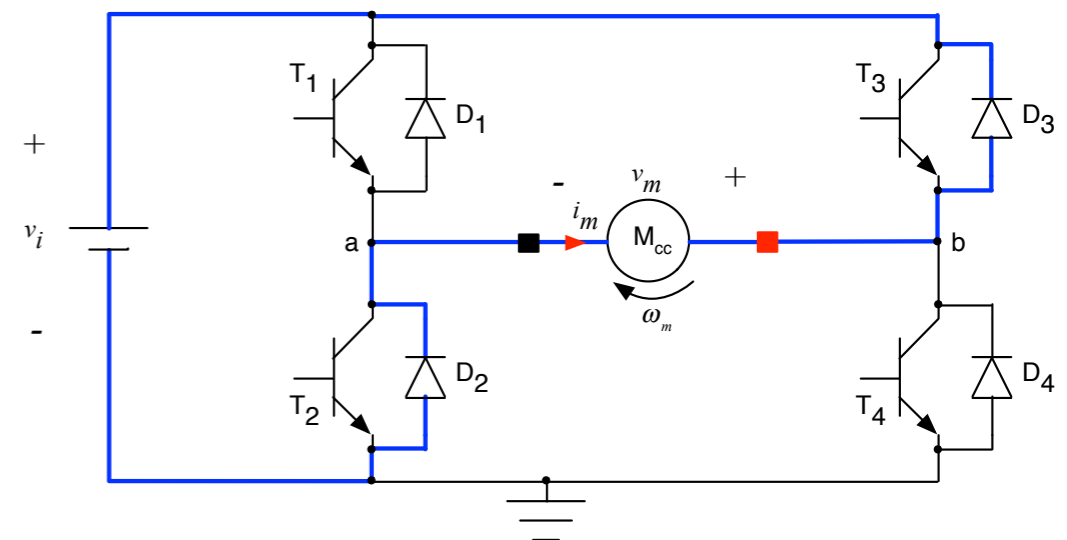
# Quadrantes de operação dos motores cc



## Modo gerador



Rotação em um sentido



Rotação em outro sentido

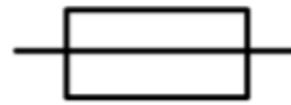
# Elementos para acionamento de motores cc

## Elementos de proteção:

- Fusíveis;
- Disjuntores.



*Fusível*



*Fusível*



*Disjuntor*



*Vidro*



*Cerâmica*



*Areia*

Exemplos de fusíveis

Fonte: <https://www.americanas.com.br>

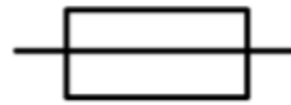
# Elementos para acionamento de motores cc

## Elementos de proteção:

- Fusíveis;
- Disjuntores.



*Fusível*



*Fusível*



*Disjuntor*



Disjuntor termomagnético para corrente contínua

Fonte: <https://www.soprano.com.br>

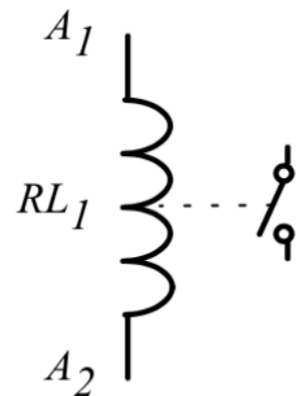
# Elementos para acionamento de motores cc

## Dispositivos eletromecânicos e eletromagnéticos:

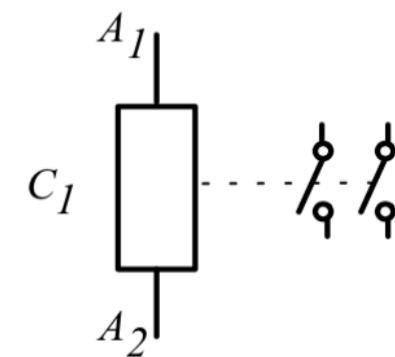
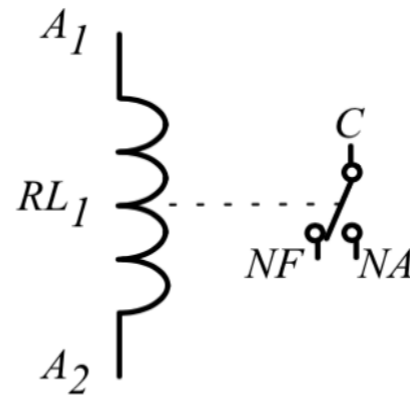
- Chaves;
- Relés.



Chave liga-desliga



Relé simples e duplo

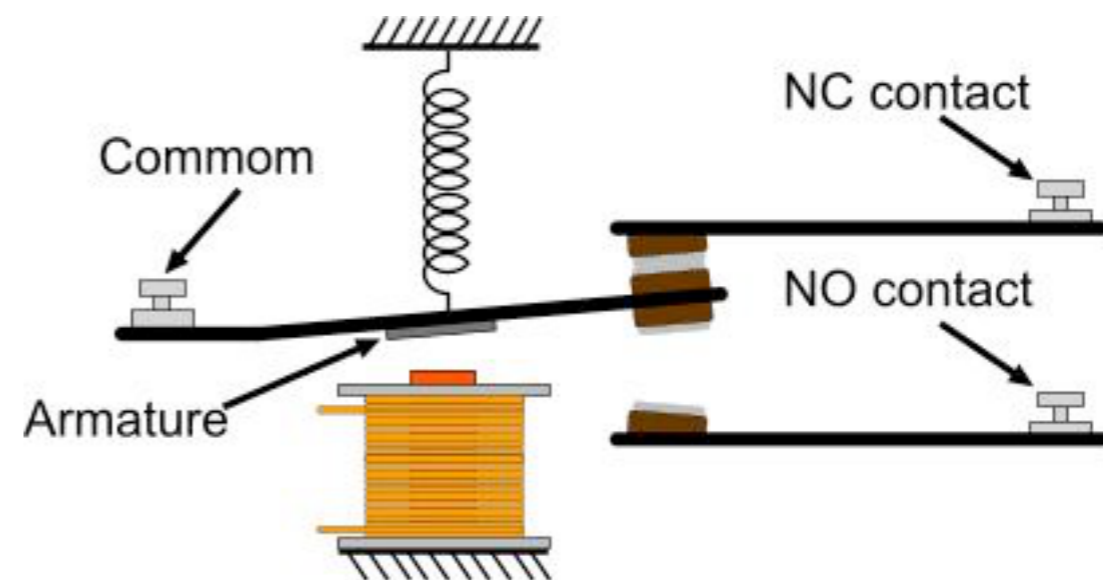


Contator



Aspecto de um relé eletromagnético

Fonte: <https://www.metaltex.com.br>



Funcionamento do relé eletromagnético

Fonte: <https://www.robocore.net>

# Elementos para acionamento de motores cc

Dispositivos eletromecânicos e eletromagnéticos:

- Chaves;
- Relés.



*Alavanca*



*Gangorra retangular*



*Gangorra redonda*

Exemplos de chaves eletromecânicas  
Fonte: <https://www.shoptime.com.br>

# Elementos para acionamento de motores cc

Dispositivos eletromecânicos e eletromagnéticos:

- Chaves;
- Relés.



*Relé com contatos simples*



*Relé com contatos duplos*



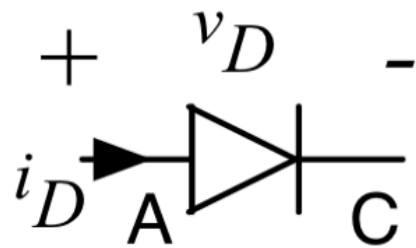
*Contator para corrente contínua*

Exemplos de relés eletromagnéticos  
Fonte: <https://www.shoptime.com.br>

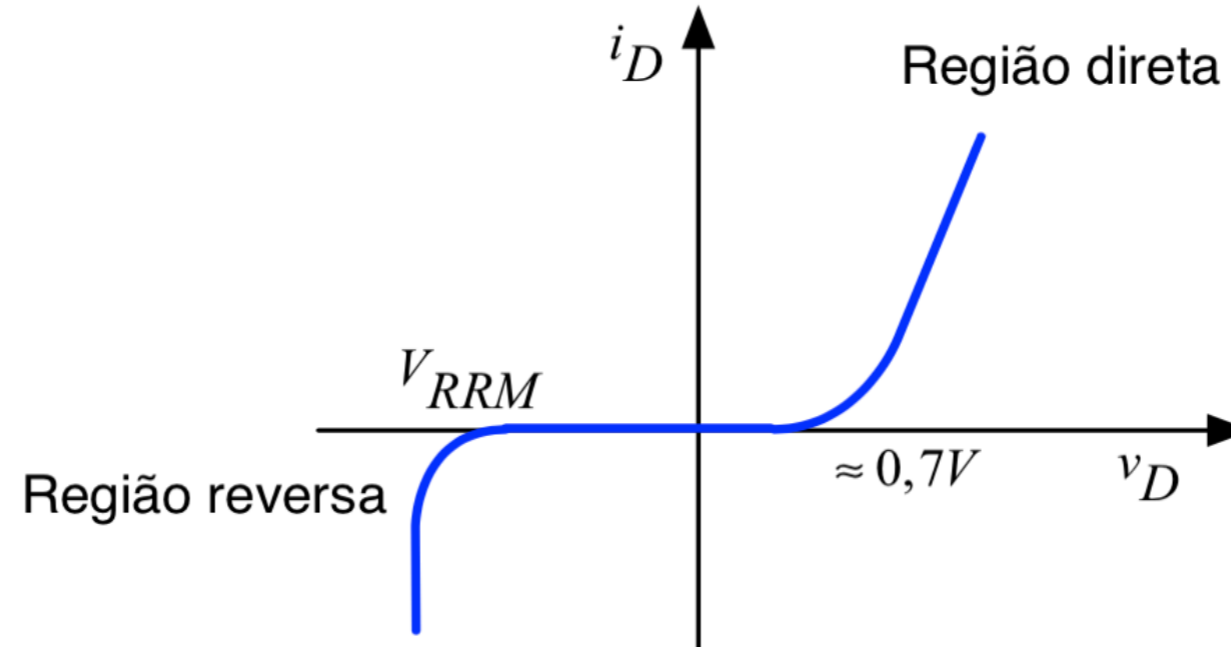
# Elementos para acionamento de motores cc

## Diodo semiconductor:

- Os diodos semicondutores são componentes não-lineares construídos a partir da junção de materiais do tipo p (falta de elétrons) e n (excesso de elétrons);
- Na região direta o diodo entra em condução quando a tensão direta for da ordem de 0,7 V. Já na região reversa o diodo não deve entrar em condução, a não ser que seja atingida a tensão reversa máxima ( $V_{RRM}$ ). Ao entrar em condução na região reversa, o diodo pode ser danificado por excesso de calor.



*Símbolo*



*Curva característica*

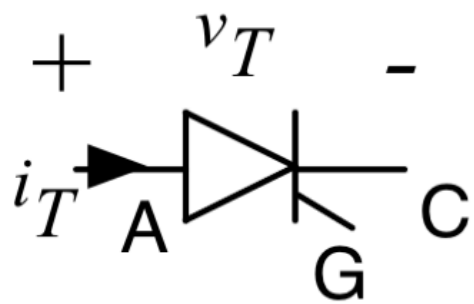


*Aspecto típico*

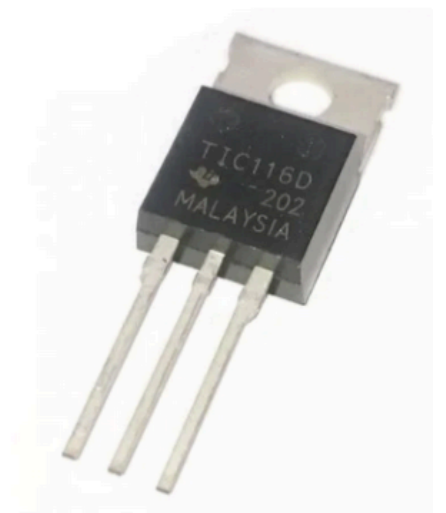
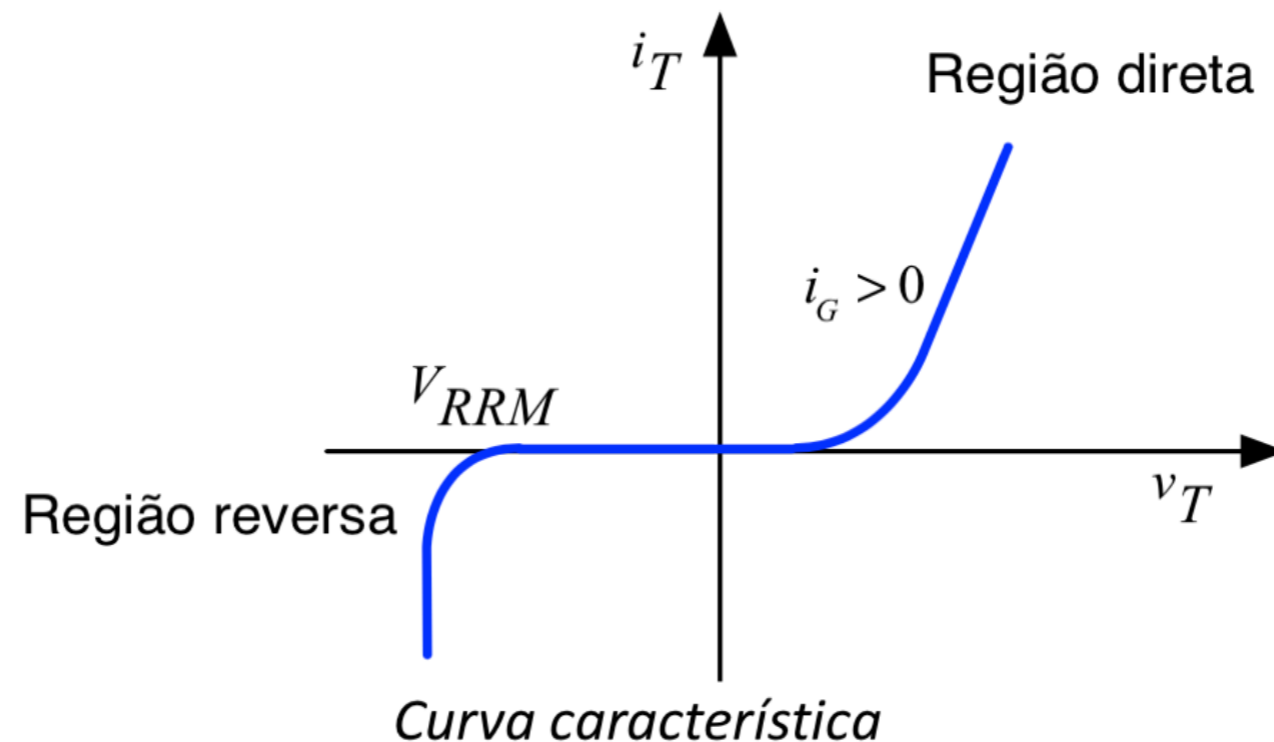
# Elementos para acionamento de motores cc

## Tiristores:

- SCR - Diodo retificador de silício; é um diodo unidirecional em corrente com terminal de controle (gatilho);
- TRIAC - É um tiristor bidirecional, mas com apenas um terminal de controle, usado em conversores para corrente alternada, pois pode conduzir no semiciclo positivo e negativo da tensão;
- DIAC ou SIDAC - São diodos para corrente alternada, utilizados nos circuitos de disparo de SCRs ou TRIACs.



*Símbolo*

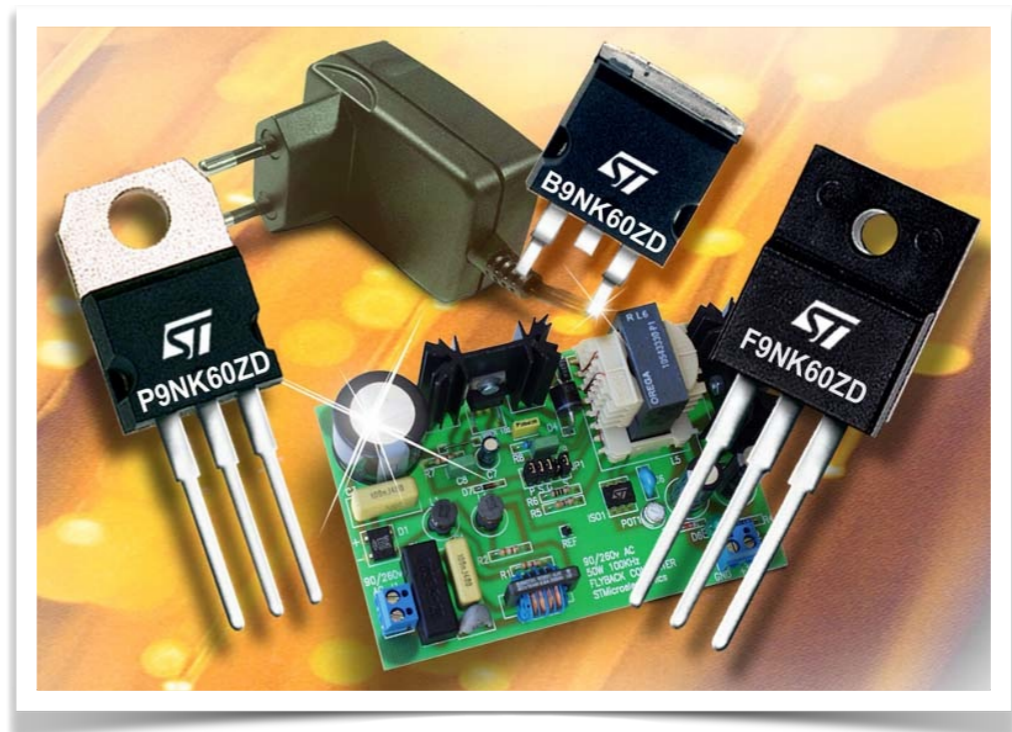


*Aspecto típico*

# Elementos para acionamento de motores cc

## Transistores:

- Corte - É a região em que o transistor não está conduzindo, sua corrente é nula e a tensão sobre o mesmo, em geral, é igual a da fonte de alimentação. Nesta região de operação o transistor não tem perdas, isto é, não processa (dissipa) potência;
- Ativa - É a região de operação em que a corrente de saída varia linearmente com a corrente ou tensão de entrada, por isso é usada para amplificação. Nesta região se tem altas perdas, pois a potência no transistor é o produto da corrente pela queda de tensão no mesmo;
- Saturação - É a região onde o transistor está conduzindo plenamente, com alta corrente. Por outro lado, a queda de tensão é a menor possível, o que implica em perdas menores do que na região ativa.



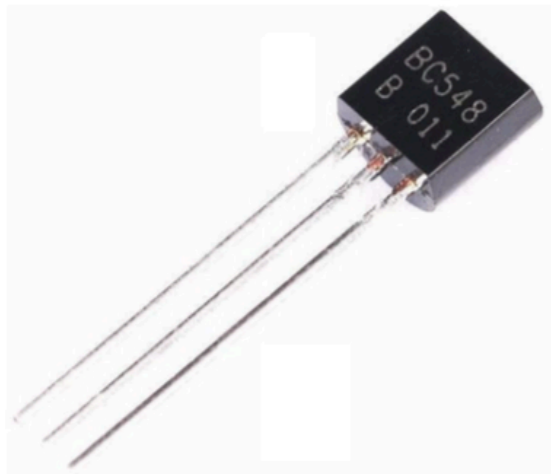
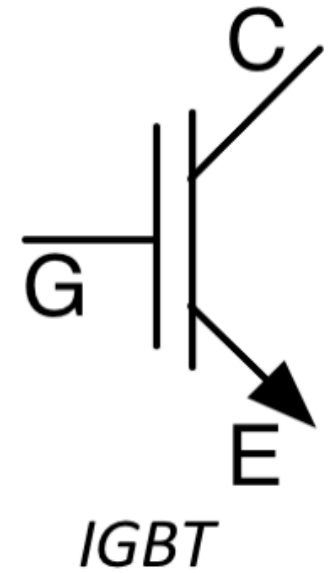
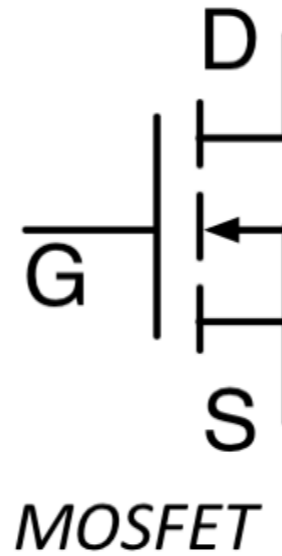
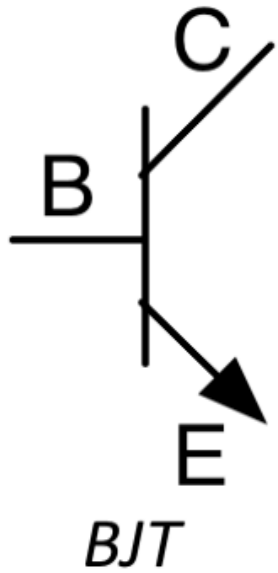
# Elementos para acionamento de motores cc

## Tecnologias de transistores para acionamentos eletrônicos:

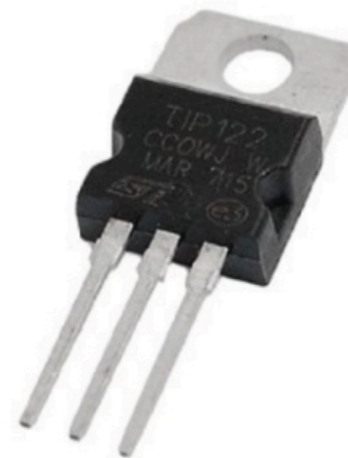
- BJT - Transistor bipolar de junção. São os transistores clássicos do tipo NPN ou PNP, acionados pela corrente de base, isto é, a corrente de coletor depende diretamente (ganho) da corrente na base do transistor;
- MOSFET - São transistores mais rápidos, com diferentes tecnologias de fabricação e que conduzem ou não pela aplicação de uma tensão no gatilho (gate), que por intermédio do campo elétrico, proporcionará a abertura ou fechamento do canal e, portanto, a condução ou não do transistor;
- IGBT - São componentes construídos a partir da tecnologia BJT e MOSFET, incorporando características de ambos. São acionados por tensão como os MOSFETs, mas possuem perdas semelhantes ao BJT.
- Silicon Carbide FET - São transistores de efeito de campo, mas que utilizam a tecnologia de carbeto de silício para diminuir os problemas da recuperação reversa, permitindo a operação com frequências mais altas;
- GaN - Transistores de nitreto de gálio (gallium nitride) que possuem características melhores que os transistores de silício, operando com frequências mais altas e tendo menores perdas, por possuírem resistência interna menor.

# Elementos para acionamento de motores cc

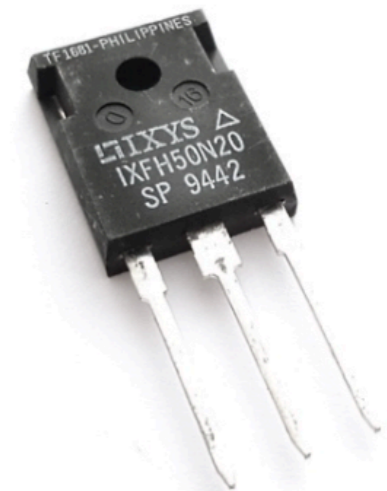
## Transistores:



Baixas correntes (100 mA)



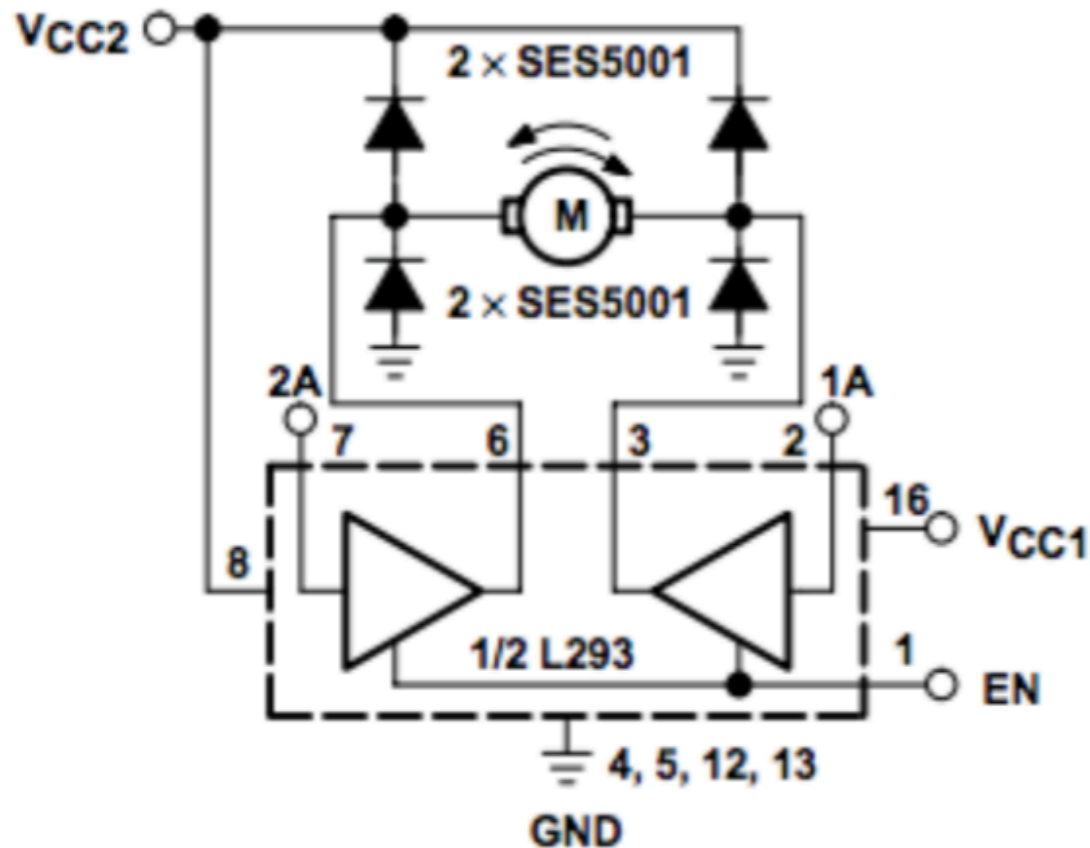
Médias correntes (5 A)



Altas correntes (50 A)

# Elementos para acionamento de motores cc

Circuitos integrados:

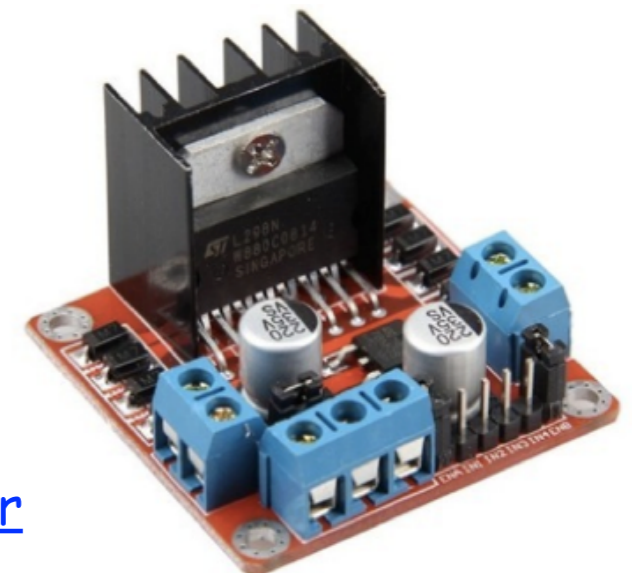


EN	1A	2A	FUNCTION
H	L	H	Turn right
H	H	L	Turn left
H	L	L	Fast motor stop
H	H	H	Fast motor stop
L	X	X	Fast motor stop

L = low, H = high, X = don't care

Conexão interna do L293

Fonte: <http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/L293d.pdf>



Placa com o L293

Fonte: <https://www.curtocircuito.com.br>

# Elementos para acionamento de motores cc

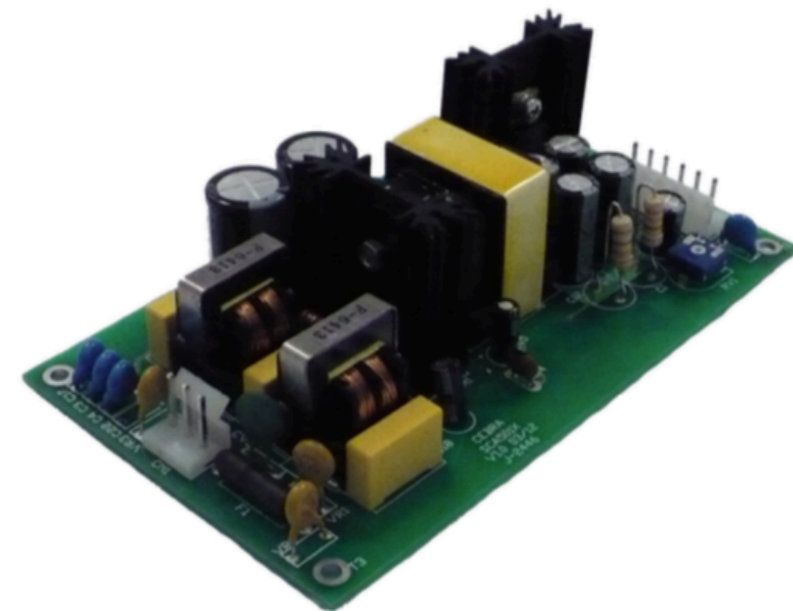
Conversores ca-cc e cc-cc:



Drive de acionamento de motor cc  
Fonte: <http://jyazbek.com.br>



Conversores ca-cc de alta potência  
Fonte: <https://www.positronic.com.br>



Conversores cc-cc para diferentes aplicações  
Fonte: <https://www.cebra.com.br>

# Próxima Aula

## Laboratório de motores de corrente contínua

