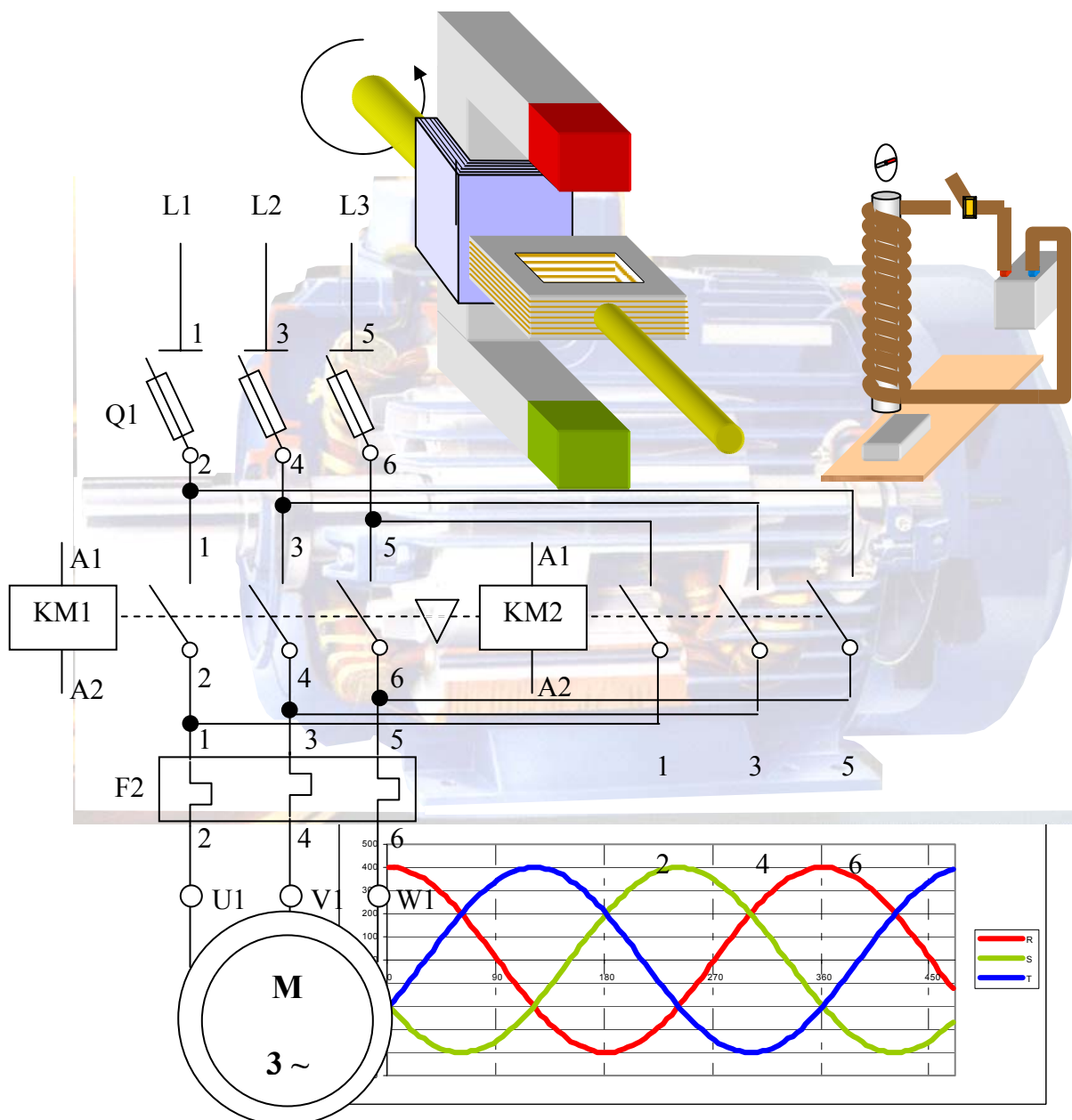


# Sebenta de Equipamentos Electromecânicos



## Cap. I - Introdução aos Sistema de Automatização

### Conceito de comando

Aparelho de comando como o que é destinado a modificar o regime de funcionamento de uma instalação ou de um aparelho de utilização.

- Comando manual;
- Comando automático.

**Comando manual** – o operador altera directamente a ligação do receptor, através de interruptores ou de outros dispositivos.

**Comando automático** – a alteração é feita por intermédio de um contactor, etc.

### Partes principais de um elemento de comando

- Dispositivo de comando;
- Contactos;
- Invólucro.

### **Dispositivo de comando**

A sua escolha faz-se considerando as **condições de utilização** e a **natureza de intervenção**: comando manual (intervenção Humana), por botão de pressão, comutador rotativo, pedal, etc., comando automático, por comando mecânico, termóstatos, interruptor de bóia, interruptores de fim-de-curso, etc..

Neste último tipo de comando, a escolha dos dispositivos auxiliares é ainda em função da natureza do material a comandar (sólidos, líquidos ou gasosos), da velocidade e da massa (caso de dispositivos móveis), da frequência de manobra, etc..

### **Contactos**

Temos os auxiliares que são equipados de um certo número de contactos, NA (normalmente abertos) ou NF (normalmente fechados).

### **Invólucro**

Consoante o local de utilização, assim o invólucro obedece a determinadas exigências quanto à protecção:

- Protecção contra a contactos acidentais ou involuntários, com peças sob tensão;
- Protecção contra a penetração de poeiras e líquidos;
- Protecção contra o choque;
- Etc.

## **Dispositivo de comando por intervenção Humana**

São dispositivos que tem obrigatoriamente ter a intervenção Humana, para desempenhar uma determinada função para a qual está dirigida. Pode permitir, se necessário, o arranque e paragem a partir de vários locais de comando, bem como impedir o arranque intempestivo após um corte de corrente, etc..

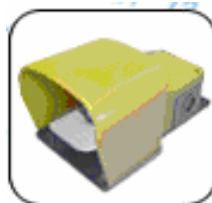
### **Botoneiras**

São equipadas de contactos que, em função do tipo e do dispositivo de comando podem abrir ou fechar os contactos com a intervenção Humana.



### **Pedais**

De impulso ou de engate, estes aparelhos destinam-se ao comando de contactores, máquinas-ferramentas, etc., são frequentemente utilizados quando o operador tem as mãos ocupadas com outras tarefas.



## Dispositivos de Comando Automático

O comando automático pode verificar-se por deslocamento de um objecto (detectores fotoeléctricos, interruptores de fim-de-curso, etc.), por variação de temperatura (termostatos), por variação de pressão (pressostatos), etc..

### Fim-de-curso

São aparelhos destinados a controlar a posição de um órgão de uma máquina. O móvel acciona, quando em movimento, contactos colocados em certas posições do seu percurso, permitindo o arranque ou paragem da máquina.



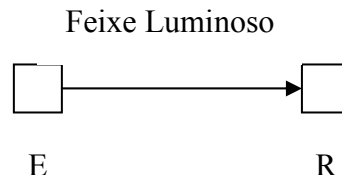
### Detector fotoeléctrico (células fotoeléctricas)



- Baseiam-se em foto-díodos que permite a passagem de corrente eléctrica quando sob um feixe de fotões (raio de luz);
- Destinam-se a detectar a passagem de partes em movimento;
- São constituídas por um elemento emissor e um receptor;
- Existem três tipos de montagem:
  - Sistema barragem;
  - Sistema reflex;
  - Sistema de proximidade.

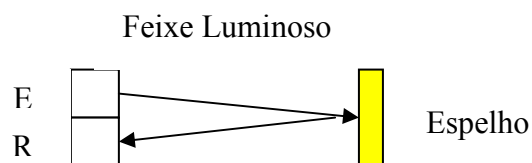
### \* Sistema barragem

- O emissor e o receptor estão separados;
- Utilizados para distâncias longas, detecção de objectos opacos e reflectores.



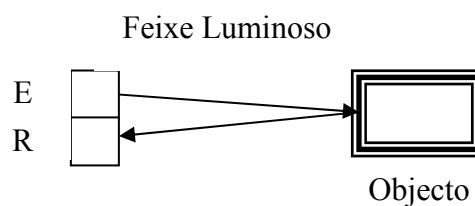
### \* Sistema reflex

- O emissor e o receptor estão dentro do mesmo invólucro e existe um espelho que reflecte os raios luminosos;
- Utilizados para objectos não reflectores.

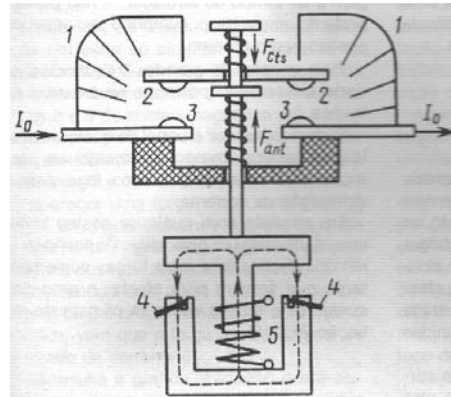


### \* Sistema de proximidade

- O emissor e o receptor estão dentro do mesmo invólucro, mas não existe espelho, sendo a reflexão produzida pela passagem do objecto;
- Está indicado para objectos transparentes ou translúcidos, para a detecção etiquetas e marcas.



## Contactor Translação e Acessórios



- 1- Câmara de grelhas;
- 2- Contacto móvel;
- 3- Contacto fixo;
- 4- Espira de frager;
- 5- Bobina;
- $I_0$  – Corrente cortada.

Aparelho de corte e comando, accionado em geral por meio de um electroímã, concebido para executar elevado número de manobras.

Permite a interrupção ou estabelecimento de correntes e potências elevadas, mediante correntes e potências fracas.

Permite também ser comandados à distância por meio de contactos diminutos e sensíveis, tais como botões de pressão, manipuladores e ainda automaticamente, por meio detectores: termóstatos, interruptores de fim curso, bóias, etc.

Vantagens contactor:

- Permite fazer o comando de receptores com um consumo reduzido nas bobinas;
- Permite efectuar o comando local e à distância de determinados circuitos comando simultâneo a partir de certos locais;
- Permite efectuar o comando automático e semi-automático de circuitos utilizando os sensores adequados;
- Permite o comando manual (utilizando botoneiras) e o comando automático (utilizando sensores).

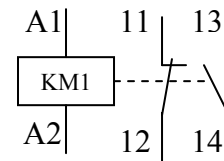
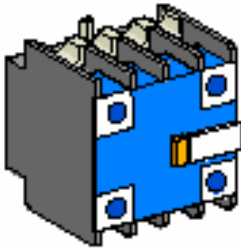
Partes do contactor:

- Contactos auxiliares;
- Contactos principais;
- Circuito electromagnético;
- Suporte ou estrutura do aparelho.

→ **Contactos auxiliares** - são aqueles que servem para o comando e sinalização do contactor.

Asseguram a alimentação ou o corte da corrente em diferentes elementos do chamado circuito de comando tais como:

- Lâmpadas de sinalização;
- Bobinas dos contactores;
- Buzinas.



Quando o contactor se encontra em repouso, os contactos auxiliares podem estar abertos ou fechados; e, como geralmente servem para dar passagem a correntes pouco intensas, costumam ser de dimensões reduzidas.

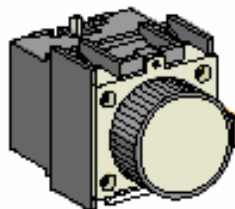
O número de contactos auxiliares existentes num contactor depende dos tipos de manobra a realizar.

- Contactos auxiliares instantâneos;
- Contactos auxiliares temporizados.

### **Contactos auxiliares instantâneos**

Abrem e fecham imediatamente após a bobine do contactor respectivo ser alimentado ou após perder a alimentação.

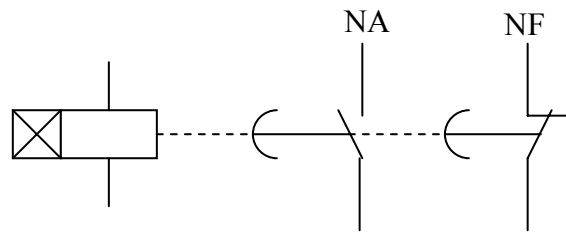
### **Contactos auxiliares temporizados**



Só abrem ou fecham passado algum tempo (regulável pelo temporizados) da bobine ser alimentada ou de perder a alimentação.

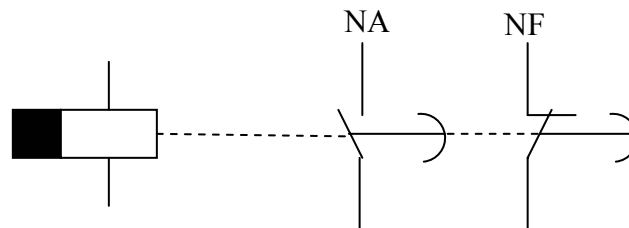
- Contacto temporizado ao trabalho;
- Contacto temporizado ao repouso.

**Contactos temporizados ao trabalho**



Quando a bobina é alimentada o contacto só abre ou fecha passado algum tempo, quando a bobina perde a alimentação o contacto fecha ou abre instantaneamente.

**Contactos temporizados ao repouso**

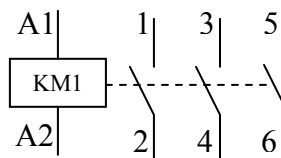
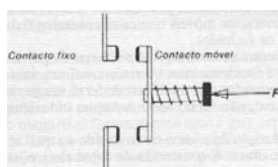


Quando a bobina é alimentada o contacto abre ou fecha instantaneamente, quando a bobina perde a alimentação o contacto só fecha ou abre passado algum tempo este tempo será o tempo regulado pelo temporizador.

→ **Contactos principais** – servem para realizar o fecho ou abertura do circuito principal (circuito potência), pelo qual é fornecida a corrente ao circuito de utilização.

Os contactos principais de um contactor podem ser unipolares, bipolares, tripolares, etc.; e são uns fixos e outros móveis.

Asseguram a alimentação ou o corte da corrente aos receptores que fazem parte do circuito de potência.



Os contactos são geralmente fabricados com ligas metálicas e não com metais puros, a não ser para fracas intensidades de corrente (cobre electrolítico).



As ligas mais importantes para este uso são:

- Prata – cádmio;
- Prata – paládio;
- Prata – níquel.

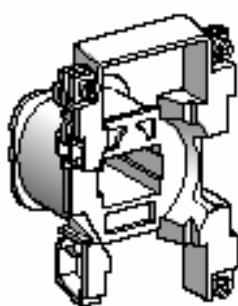
As condições a que deve satisfazer um bom contacto são:

- ❖ Ter boa resistência mecânica, não ser oxidável;
- ❖ Oferecer pequena resistência eléctrica no ponto de contacto;
- ❖ Resistir bem à erosão pelo arco eléctrico;
- ❖ Não formar óxidos isolantes;
- ❖ Não ter tendência para colar ou soldar.

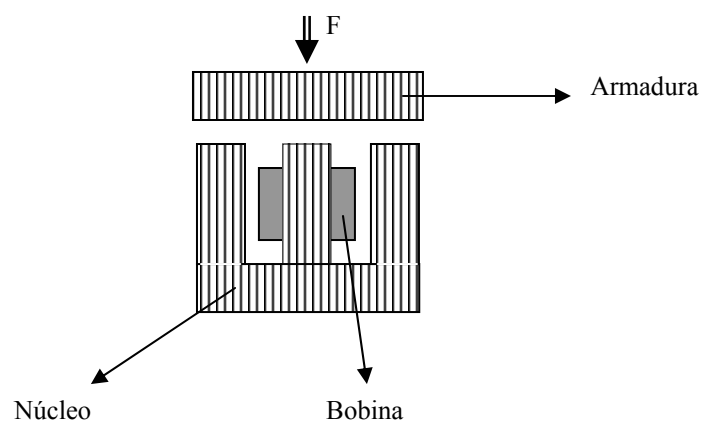
Os contactos são as peças mais delicadas do contactor e por isso é preciso prestar-lhe cuidados de manutenção, afim de que o circuito possa sempre funcionar normalmente. Por isso devem estar protegidos contra o pó, a gordura, humidade, insectos, etc..

### Circuito electromagnético

Pode ser para corrente alternada ou continua.



Bobina



O circuito magnético é constituído essencialmente por:

- Núcleo;
- Armadura;
- Bobina.

## Conceito de regulação

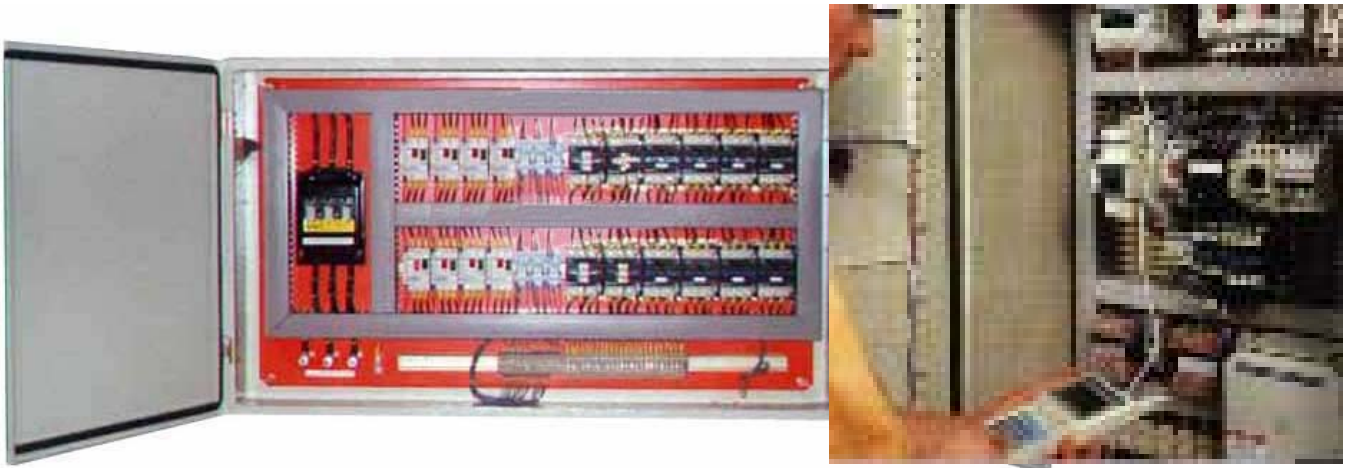
A regulação é um processo automático que mantém constante a saída de um sistema, independentemente das perturbações que tendam a alterá-la.

### Reguladores de velocidade

São sistemas de controlo que podem variar a velocidade de um determinado motor, com a variação de uma das seguintes variáveis: Resistência, Intensidade, tensão ou frequência.



### Cablagem



#### 1. Tipo de condutores

- Será flexível para 750V com uma secção mínima de  $1\text{mm}^2$  e uma máxima de  $25\text{mm}^2$ . Para secções maiores utilizar barras.

#### 2. Identificação de circuitos por cores

- Os terminais dos cabos ou barras serão providos nas suas extremidades de uma manga de “electroflex” de 11 a 20mm de comprimento e das seguintes cores, segundo as características dos circuitos e tensões:
  - Circuito de potência em corrente continua ----- Verde;
  - Circuito de potência em corrente alternada ----- Preto;

- Circuito de controlo em corrente continua ----- Azul;
- Circuito de controlo em alterna 110V ----- Vermelho;
- Fio comum de bobinas e pilotos ----- Branco;
- Neutro ----- Verde/amarelo;
- Terra ----- Duas mangas;

### 3. Referenciação

- Os extremos dos condutores de potência e controlo serão referenciados com os mesmos números ou letras que figuram no esquema principal.

A referenciação far-se-á com anéis flexíveis com o número ou letras gravadas.

### 4. Execução da cablagem

- Segundo o esquema principal;
- Em cada borne dois condutores como máximo;
- A cablagem pela frente salvo no caso de utilização de barras;
- Os condutores flexíveis serão alojados em calhas que se encherão até uns 75%;
- Fio comum de bobinas e lâmpadas será instalado primeiro para permitir uma eventual modificação dos outros condutores;
- No caso de vários contactores auxiliares montados junto uns aos outros, não é necessário passar o fio comum pelas calhas;
- Colocar o comum de bobinas no borne destas situado no lado esquerdo superior segundo os tipos;
- Os condutores que vão a aparelhos situados nas portas serão agrupados e protegidos com uma manga de plástico.

## Acessórios

### 1. Código de cores para botões de contactores segundo a sua função e utilização:

Paragem:

- Paragem de emergência;
- Paragem geral;
- Paragem individual -----Vermelho.

Marcha:

- Posta em tensão de uma instalação;
- Posta em marcha de elementos auxiliares (bomba de óleo, grupos hidráulicos, etc.);
- Passagem a comando manual da máquina ou instalação ----- Verde.

Marcha:

- Início de um ciclo ou de uma sequência;
- Comando directo individual;
- Passagem a marcha automática ----- Preto.

Volta a zero:

- Colocação da máquina nas condições de origem de ciclo ----- Amarelo.

## 2. Código de cores em lâmpadas de sinalização:

Perigo ou condição anormal:

- Posta em tensão;
- Marcha automática;
- Defeitos em circuitos tais como ar, água, lubrificação, etc. ---- Vermelho.

Atenção:

- Motores em marcha;
- Máquina em ciclo;
- Unidade em posição adiante ----- Laranja.

Segurança:

- Final de ciclo;
- Unidade em posição atrás;
- Motor parado;
- Volante parado;
- Contactador em repouso ----- Verde.

Condição normal:

- Ar, água, lubrificação;
- Pressão normal, etc. ----- Branca.

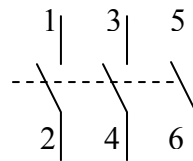
## Numeração dos Bornes dos Aparelhos

Permite uma economia importante quando da concepção do esquema e da cablagem do equipamento. Facilita as operações de ensaio de manutenção e de reparação de avarias.

**Contactos principais** ( contactores, seccionadores e relés de protecção contra sobrecargas):

Os bornes são referenciados com 1 só algarismo.

- de 1 a 6 em tripolar;
- de 1 a 8 em tetrapolar;
- de 1 a 0 em pentapolar.



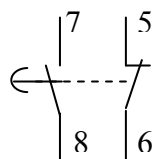
**Contactos auxiliares:** os bornes dos contactos dos circuitos de comando são referenciados por números com 2 algarismos. Os algarismos das unidades indicam a função do contacto auxiliar.

1 e 2 : contacto normalmente fechado (NF);

3 e 4 : contacto normalmente aberto (NA);

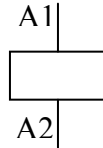
5 e 6 : contactos normalmente fechados (de funcionamento especial tal como temporizado, decalado, de passagem, de protecção dum relé de sobrecarga);

7 e 8 : contactos normalmente abertos (de funcionamento especial tal como temporizadores, decalado, de passagem, de protecção dum relé de sobrecarga).



**Órgãos de Comando (bobinas):** as referências são alfanuméricas, estando a letra colocada em primeiro lugar:

Bobina de comando dum contactor A1 e A2 (em certos aparelhos utiliza-se ainda A e B);



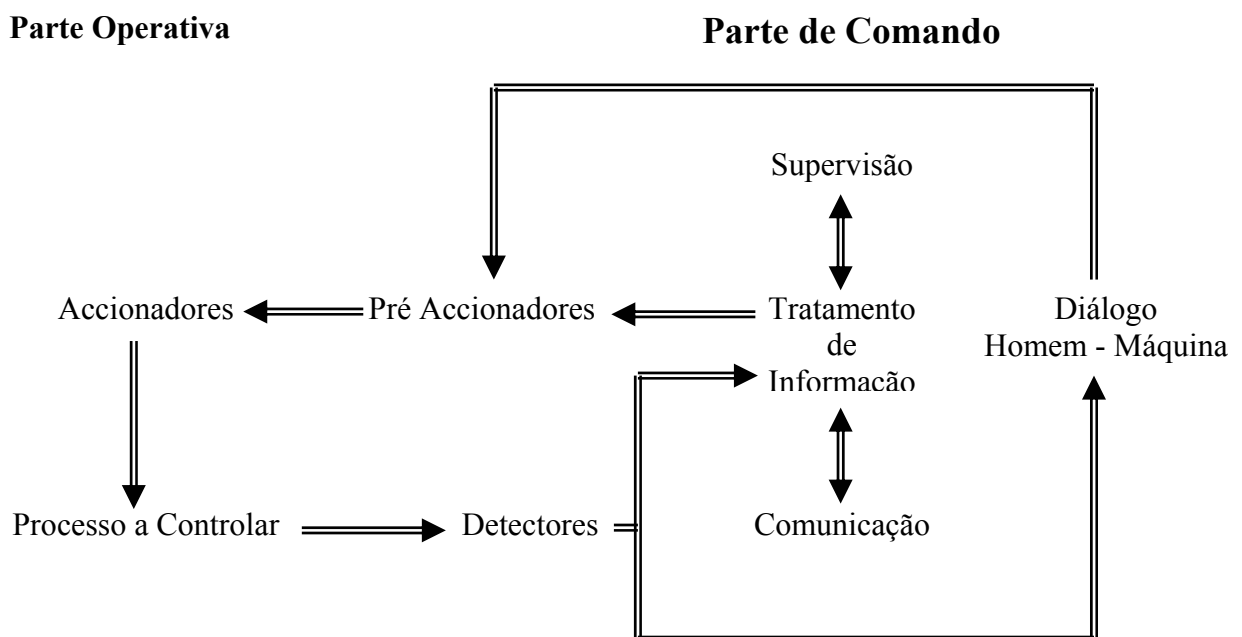
### Referenciação dos Bornes nas Caixas de Bornes

#### Circuito de potência :

- Alimentação : L1 – L2 – L3 – N – PE;
- Para um motor : U – V – W; K – L – M;
- Para resistências de arranque : A – B – C, etc.

**Circuito de comando:** Em cada grupo de bornes, a numeração vai em ordem crescente e da esquerda para direita, de 1 a n.

### Estrutura de um sistema Automatizado



## Cap. II – Introdução às Máquinas Eléctricas

**Máquinas eléctricas** - são máquinas cujo funcionamento se baseia em fenómenos do electromagnetismo.

Fenómenos associados:

- indução electromagnética;
- força electromagnética.

### Classificação das máquinas

Podemos classificar estas máquinas de várias formas, consoante as características que se pretendam.

- **Quanto ao movimento:**

- Estática - por não ter peças em movimento (transformador);
- Rotativas - pelo facto de terem peças em movimento rotativo (motor).

- **Quanto ao tipo de alimentação:**

- corrente alternada;
- corrente contínua.

- **Quanto à função:**

- Geradores
- Motores

## Corrente Contínua

**Em corrente contínua existem vários tipos de dínamos e motores**, dos quais os mais usuais são os seguintes :

**Dínamos** - dínamos de excitação independente, de excitação em derivação (ou shunt), de excitação em série e de excitação composta (ou compound), havendo ainda vários tipos destes últimos. Cada um tem características e aplicações diferentes dos restantes. Por exemplo, o dínamo shunt pode ser usado para alimentar redes de corrente contínua por manter a tensão relativamente constante para variações de carga, enquanto o dínamo série não é adequado para este efeito, mas pode ser usado para alimentar aparelhos de soldadura.

Existem vários tipos de motores, dos quais os mais usuais são os seguintes.

**Motores** - motores de excitação independente, de excitação em derivação (ou shunt), de excitação em série e de excitação composta (ou compound), havendo ainda vários tipos destes últimos. Cada um tem características e aplicações diferentes dos restantes. Por exemplo, o motor shunt é adequado para máquinas-ferramenta, por ter uma velocidade relativamente estável com a carga (não sendo no entanto o melhor para este efeito), o motor série não é adequado para esta aplicação, mas é adequado para tracção eléctrica, pois tem um bom binário de arranque. Em geral, os motores compound têm algumas características de algum dos outros, mas melhoram certas características destes, sendo no entanto mais caros. Uma característica própria dos motores de corrente contínua é a facilidade de controlo da sua velocidade, o que não acontece nos de corrente alternada.

## Corrente Alternada

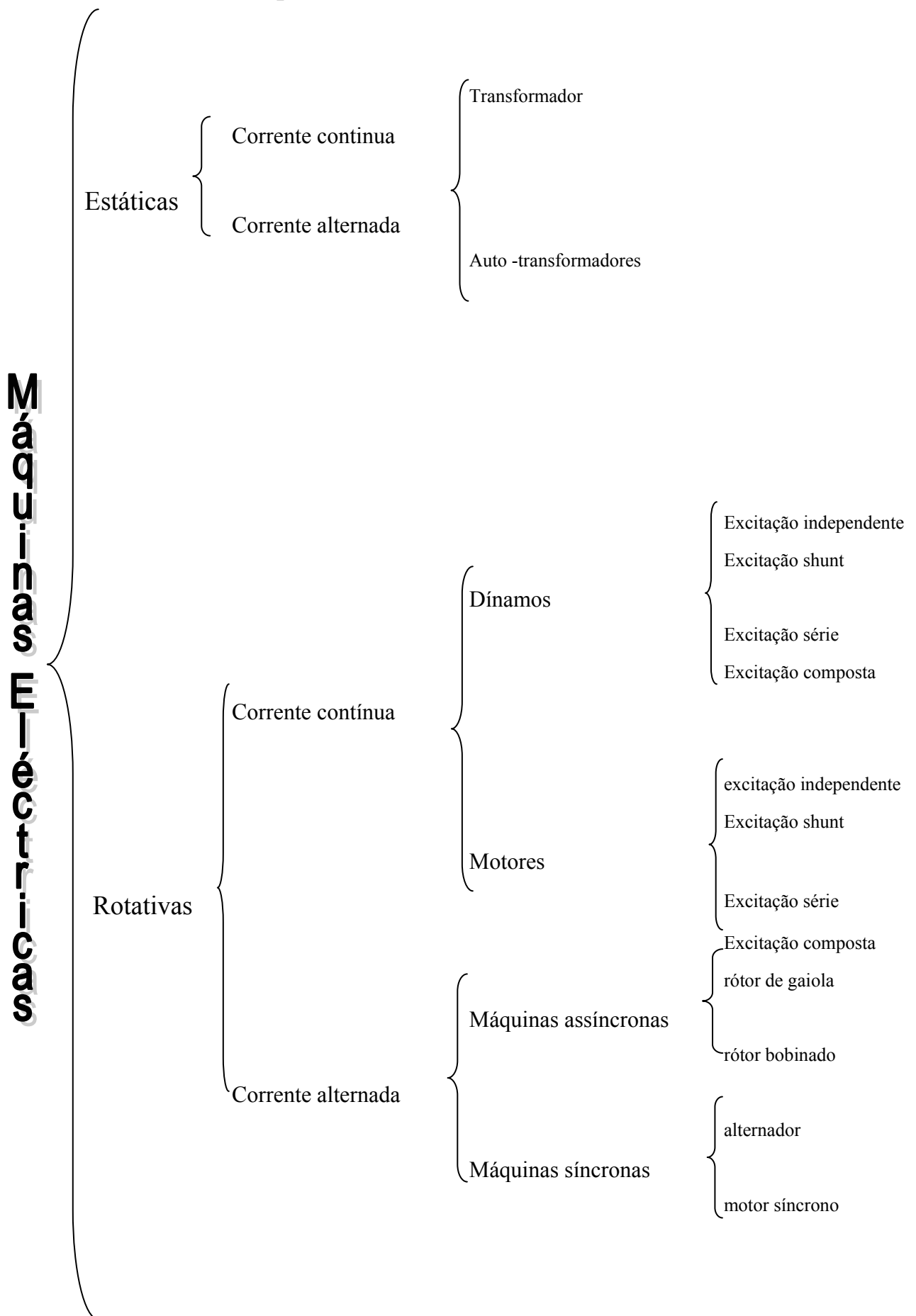
**Em corrente alternada existe o alternador e vários tipos de motores**, dos quais os mais usuais são os seguintes :

**Alternador** - os alternadores têm inúmeras aplicações, pois são eles que produzem a maior parte da energia que se consome no mundo. São eles que produzem a energia na maioria das centrais eléctricas dos mais variados tipos (com excepção das fotovoltaicas), inclusive nas centrais nucleares. Em potências menores, usam-se por exemplo, em estaleiros de obras em que não exista rede pública disponível.

**Motores** - motores assíncronos (muito usados em variadíssimas aplicações, por serem robustos e baratos) e motores síncronos (mantêm a velocidade constante, além de terem outras características que os destinam a aplicações especiais). Dos motores assíncronos há dois grupos principais diferentes : os de rotor em gaiola de esquilo (os mais simples e mais usados) e os de rotor bobinado



## Classificação das máquinas eléctricas



## Transformações de energia

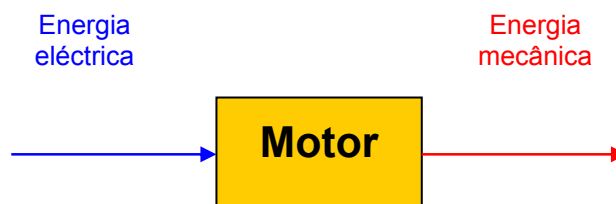
- **Gerador**



O gerador transforma energia mecânica em energia eléctrica.

- A energia mecânica é a energia absorvida;
- A energia eléctrica é a energia fornecida ou útil.

- **Motor**



O motor transforma energia eléctrica em energia mecânica.

- A energia eléctrica é a energia absorvida;
- A energia mecânica é a energia fornecida ou útil.

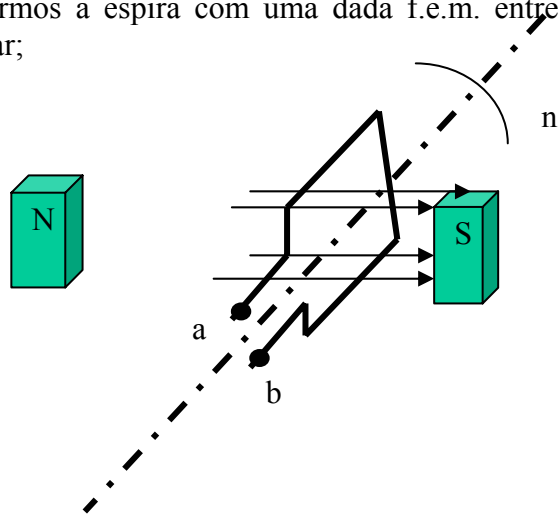
**Grandezas eléctricas e mecânicas principais que condicionam a escolha de uma determinada máquina eléctrica rotativa são:**

- o tipo de corrente ( contínua ou alternada )
- a tensão utilizada
- a frequência ou gama de frequências
- a velocidade ou gama de velocidades
- a potência útil
- o binário de arranque
- o binário resistente
- a corrente nominal
- a corrente de arranque

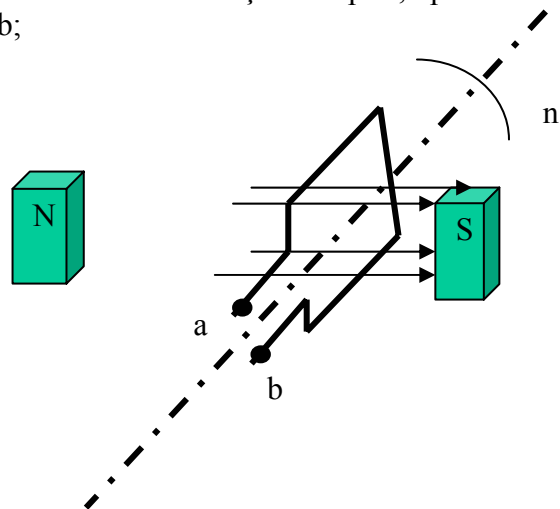
**Princípio de funcionamento destas máquinas:**

- **Leis de Lenz e Faraday** – sempre que um condutor ou uma espira se movimentam dentro de um campo magnético, cortando as suas linha de força, aparece aos seus terminais uma força electromotriz (f.e.m.) induzida que tende a opor-se à causa que lhe deu origem;
- **Lei de Laplace** – se um condutor (ou espira), alimentado por uma fonte de energia, for introduzido no seio de um campo magnético, exerce-se sobre ele uma força electromagnética  $F$  que o faz deslocar com um determinado sentido;

**Motor:** se alimentarmos a espira com uma dada f.e.m. entre a e b, a espira começa a rodar;



**Gerador:** se dermos movimento de rotação à espira, aparece uma f.e.m. entre os terminais a e b;



**Nota:** máquinas rotativas, estas são constituídas por enrolamentos com várias espiras, apoiadas num eixo, pelo que o conjunto entra em movimento de rotação.

## Cap. III - Transformadores

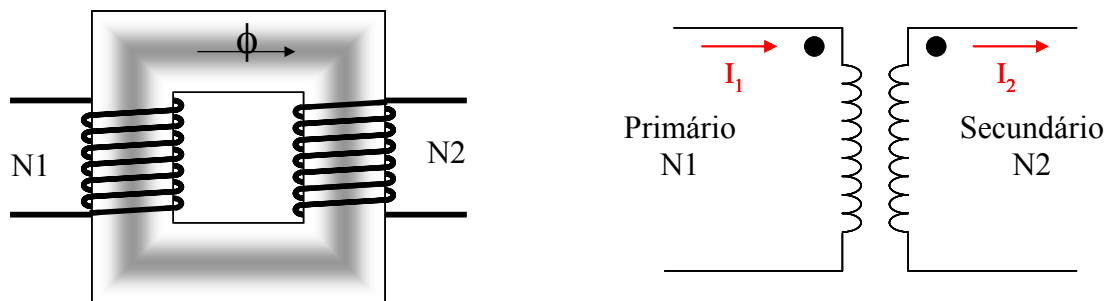
O transformador é um caso particular. Transforma energia eléctrica em energia eléctrica. O interesse da transformação é que permite transformar uma alta tensão numa baixa (transformador redutor) ou transformar uma baixa tensão numa alta (transformador elevador).

As aplicações dos transformadores são enormes, desde os transformadores de grande potência que existem nas subestações à saída das centrais eléctricas onde se produz a energia eléctrica, às subestações que existem ao longo do transporte e da distribuição da energia, até todo o tipo de aparelhagem industrial e doméstica (como televisores, gravadores, carregadores de baterias para automóveis e telemóveis).

O transformador está em quase toda a parte. Este é responsável pelo peso dos aparelhos, pois é provavelmente o componente mais pesado, devido a ter um núcleo de ferro.

### → Transformador monofásico

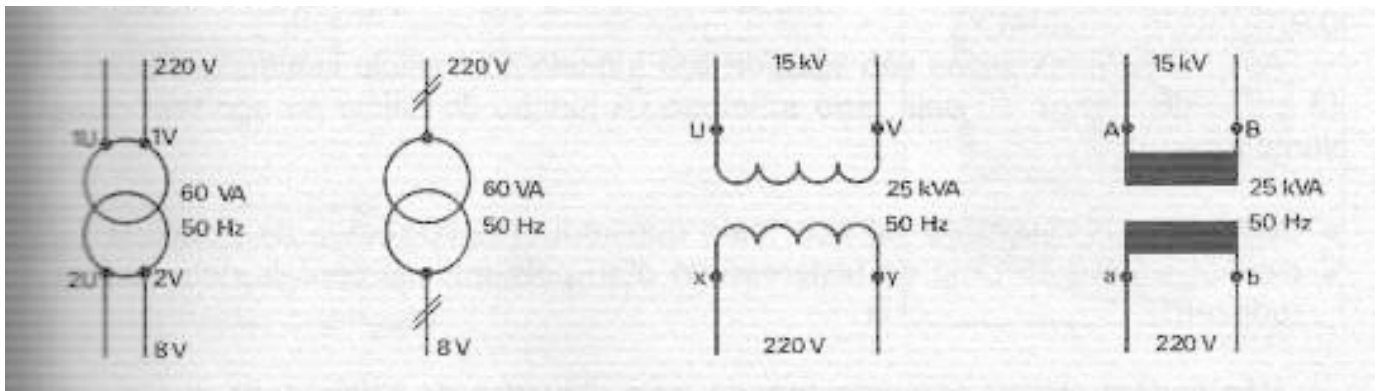
- é constituído por um **circuito magnético** (núcleo) e por dois enrolamentos condutores designados por **primário** e **secundário**.



## Transformador ideal

- a resistência dos enrolamentos é nula;
- não há perdas por histerese;
- não há perdas por correntes de Foucault;
- a dispersão é nula.

### → Simbologia transformador monofásico



### → Noções

- índice **1**, para as grandezas do primário;
- índice **2**, para as grandezas do secundário;
- índice **0**, para as grandezas do primário ou secundário quando transformador em vazio;
- índice **n**, para as grandezas do primário ou do secundário em condições nominais.

### Exemplo:

$U_{20}$  → tensão aos terminais do secundário em vazio;

$I_{10}$  → intensidade da corrente no primário, quando o transformador está em vazio;

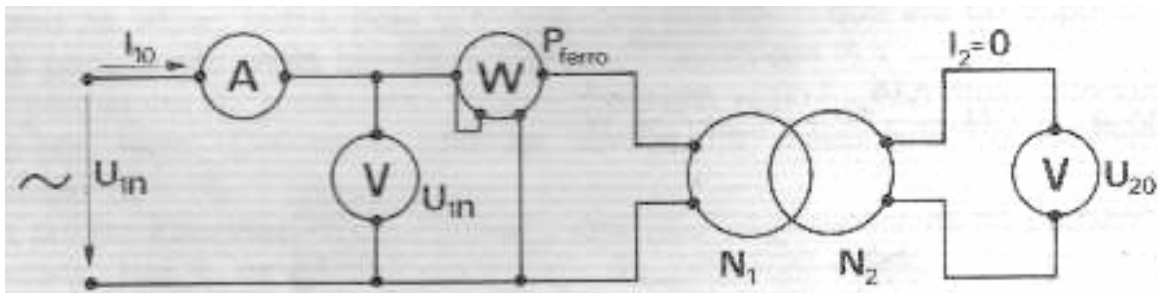
$I_{1n}$  → intensidade nominal da corrente no primário.

\* **Transformador redutor:**  $\rightarrow r_t = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{N_1}{N_2}$

\* **Transformador elevador:**  $\rightarrow r_t = \frac{U_{20}}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$

### Transformador em vazio

No ensaio do transformador em vazio, aplica-se ao primário a tensão nominal  $U_{1n}$  (indicada na chapa de características) estando o secundário em vazio. O wattímetro deverá ser adequado a medições em circuitos com baixo  $\cos \varphi$ .



Com este ensaio consegue-se calcular :

- Relação de transformação  $\rightarrow r_t = \frac{U_{1n}}{U_{20}} \cong \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2}$
- Intensidade de corrente em vazio  $\rightarrow I_{10}$
- Sendo  $R_1$  reduzido, as perdas  $R_1 \cdot I_{10}^2$  são desprezáveis. Assim o wattímetro mede o valor das perdas no ferro  $\rightarrow P_{ferro} = U_{1n} \cdot I_{10} \cdot \cos \varphi_0$
- Factor de potência em vazio  $\rightarrow \cos \varphi_0 = \frac{P_{ferro}}{U_{1n} \cdot I_{10}}$

1. O primário de um transformador monofásico 220/24V tem 660 espiras.
- Determine a relação de transformação.
  - Calcule o número de espiras do secundário.
  - O que acontece quando se aumenta o número de espiras do primário em 5%?
  - E quando se diminui o número de espiras do primário em 5%?

**Resolução:**

$$U_1 = 220V$$

$$U_2 = 24V$$

$$N_1 = 660 \text{ espiras}$$

$$a) \quad r_t = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{220}{24} = 9.17$$

$$b) \quad \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1} \rightarrow N_2 = N_1 \cdot \frac{U_2}{U_1} = 660 \cdot \frac{24}{220} = 72 \text{ espiras}$$

$$c) \quad \text{Aumenta de 5\% em } N_1 : N_1 = 660 \cdot 1,05 = 693 \text{ espiras}$$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} = 220 \cdot \frac{72}{693} = 22,9 \text{ V} \rightarrow \text{a tensão do secundário baixa.}$$

$$d) \quad \text{Diminuição de 5\% em } N_1 : N_1 = 660 \cdot 0,95 = 627 \text{ espiras}$$

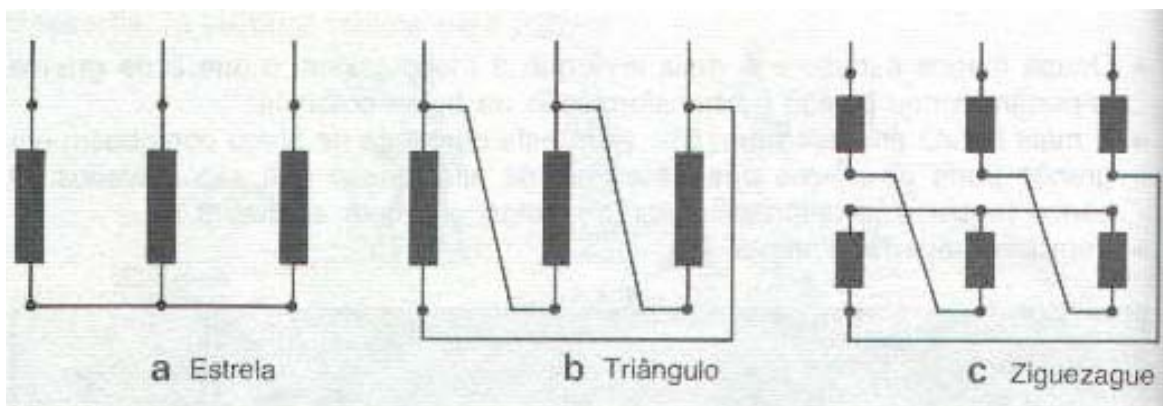
$$U_2 = 220 \cdot \frac{72}{627} = 25,3 \text{ V} \rightarrow \text{a tensão do secundário aumenta.}$$

→ Transformadores trifásicos

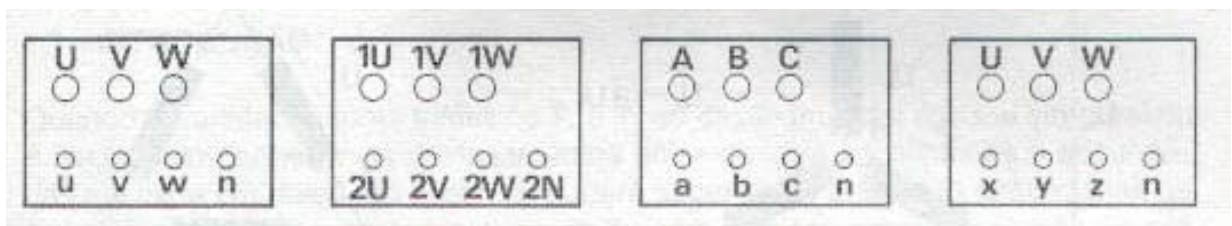
Ligação dos enrolamentos

Os três enrolamentos primário e secundário podem ser ligados:

- estrela;
- triângulo;
- ziguezague.



Convenções da placa terminais



→ Quando utilizam letras maiúsculas referem-se a tensões mais elevadas e minúsculas a tensões mais baixas.

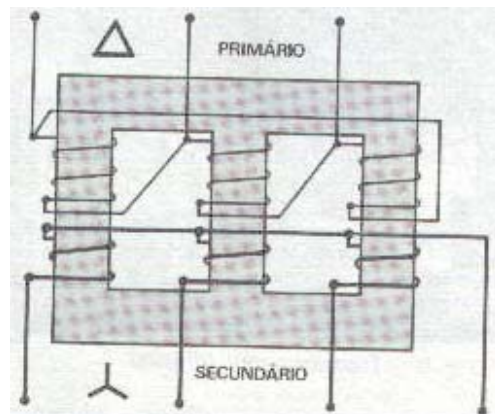
	Tensão superior	Tensão inferior
Estrela	Y	y
Triângulo	D	d
Ziguezague	Z	z



→ **transformador elevador** Dy, tem o primário ligado em estrela e o secundário ligado em triângulo. Com o efeito a primeira letra representa-se sempre a tensão superior (maiúscula) e a segunda letra a tensão inferior.

→ **transformador redutor** Yzn, tem o primário ligado em estrela e o secundário em zigzague com neutro acessível.

### Exemplo:



Corresponde a um transformador redutor triângulo-estrela com neutro. Então é representado por: Dyn

### Aplicação de cada ligação

→ **ligação em estrela** – é aplicada aos seus enrolamentos uma tensão simples, é utilizado este tipo de circuito quando à necessidade de utilizar o neutro.

→ **ligação em triângulo** - é aplicada aos seus enrolamentos uma tensão composta, é utilizado para correntes elevadas, pois deste modo a corrente no enrolamento ( $I_f$ ) é  $\sqrt{3}$  vezes inferior à corrente na linha ( $I_L$ ).

→ **ligação em zigzague** – é utilizada quando se prevêm no circuito de carga desequilíbrios. Com efeito este tipo de ligação, estando subdividido por colunas diferentes, tem a vantagem de uma sobrecarga numa fase do consumidor afectar duas fases da rede de distribuição, minimizando assim, o efeito do desequilíbrio. Por este motivo esta ligação é utilizada no secundário de transformadores de distribuição.

## Formulário para transformador trifásico

→ relação de transformação

$$r_t = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_{f1}}{I_{f2}}$$

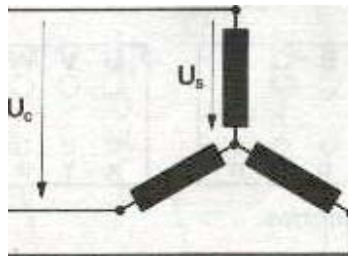
→ perdas em vazio, são calculadas pelo ensaio em vazio do transformador trifásico, normalmente utiliza-se o método dos dois wattímetros (método de Aron).

$P = P_A + P_B$  e  $Q = \sqrt{3} \cdot (P_A - P_B)$ , onde  $P_A$  e  $P_B$  são as potências indicadas por cada um dos dois wattímetros.

→ relação global de transformação

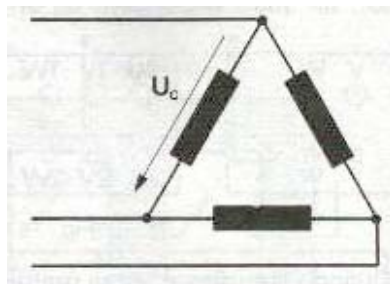
$$r'_t = \frac{U_1}{U_{20}}$$

→ ligação em estrela



$$U_C = \sqrt{3} \cdot U_f \quad \text{e} \quad I_L = I_f$$

→ ligação em triângulo



$$U_C = U_f \quad \text{e} \quad I_L = \sqrt{3} \cdot I_f$$

→ Potência activa

$$P = \sqrt{3}.U_C.I_L.\cos\varphi$$

→ Potência reactiva

$$Q = \sqrt{3}.U_C.I_L.\sin\varphi$$

→ Potência aparente

$$S = \sqrt{3}.U_C.I_L \quad \implies \text{potência nominal do transformador} \rightarrow$$

$$S = \sqrt{3}.U_{1n}.I_{1n} = \sqrt{3}.U_{20}.I_{2n}$$

→ rendimento

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\sqrt{3}.U_2.I_2.\cos\varphi_2}{\sqrt{3}.U_2.I_2.\cos\varphi_2 + P_{ferro} + P_{Cobre}}$$

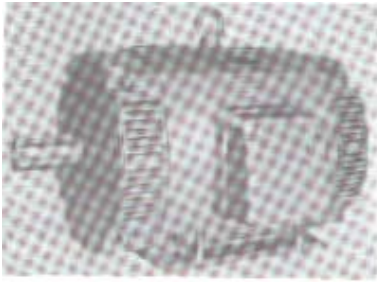
$$\eta = \frac{C.\sqrt{3}.U_2.I_2.\cos\varphi_2}{C.\sqrt{3}.U_2.I_2.\cos\varphi_2 + P_{ferro} + C^2.P_{Cobre}}$$

## Exercício 1 – Transformadores trifásicos

Um transformador trifásico Dy com neutro no secundário tem uma relação de transformação  $N_1/N_2 = 27,3$ . A tensão composta no primário é igual a 6000V. Determine:

- a) As tensões disponíveis no secundário;
- b) A intensidade da corrente nos enrolamentos do primário, sabendo que a corrente que percorre os enrolamentos do secundário é  $I_2 = 100 \text{ A}$ .
- c) A intensidade da corrente na linha que alimenta o primário nas condições da alínea anterior.

## Cap. IV - Motor Assíncrono Monofásico e Trifásico



Motor trifásico de rotor bobinado



Motor trifásico de rotor em gaiola

### Número pares de pólos

É o conjunto de pares de pólos (Norte e Sul) que um motor é formado.

$$f = p \cdot n \quad ; \quad f = \frac{p \cdot n}{60} \implies \text{com : } n \text{ --- velocidade de rotação (rpm)}$$

f --- frequência da corrente (Hertz);

p --- número de pares de pólos;

n --- velocidade de rotação (rps).

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad ; \quad \omega_g = \frac{\omega}{p}$$

$\omega_g$  --- velocidade angular do campo girante;

$\omega$  --- velocidade angular das correntes do estator (rad/seg).

### Escorregamento --- g

É o quociente entre a velocidade relativa  $n_g$  e a velocidade de sincronismo  $n$ .

$$g = \frac{n_g}{n} = \frac{n - n'}{n} = 1 - \frac{n'}{n} \implies \text{em percentagem } \times 100\%$$

→ diz-se que o motor escorrega relativamente à velocidade de sincronismo, com uma velocidade relativa  $n_g$ .

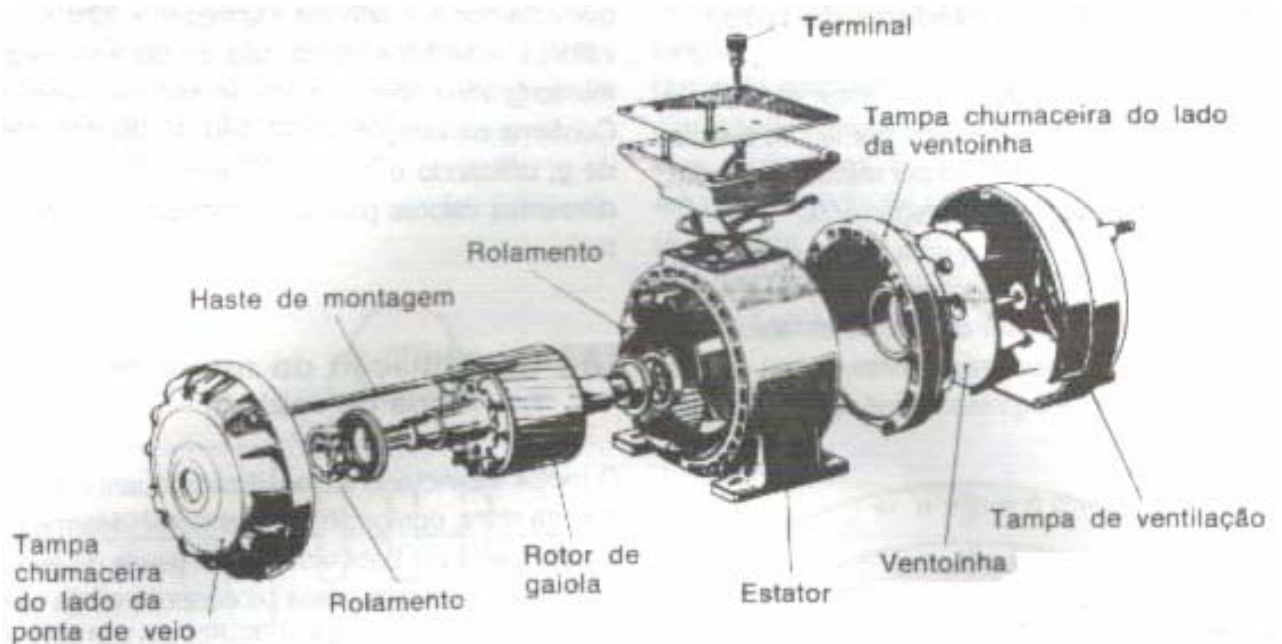
→ o rotor do motor assíncrono roda a uma velocidade  $n'$  inferior à velocidade de sincronismo  $n$ , a diferença é dada por:

$$n_g = n - n'$$

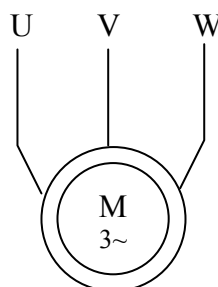
## Motor assíncrono trifásico com rotor de gaiola de esquilo ou com rotor em curto-circuito

→O rotor é constituído por um núcleo de chapas ferro-magnéticas, isoladas entre si, sobre o qual são colocadas barras de alumínio (condutores), dispostas paralelamente entre si e unidas nas suas extremidades por dois anéis condutores, também em alumínio, que curto-circuitarão os condutores;

→O estator, é constituído por um núcleo ferro-magnético laminado, nas caves do qual são colocados os enrolamentos alimentados pela rede de corrente alternada (monofásico ou trifásico).



## Simbologia



## Motor assíncrono trifásico com rotor bobinado

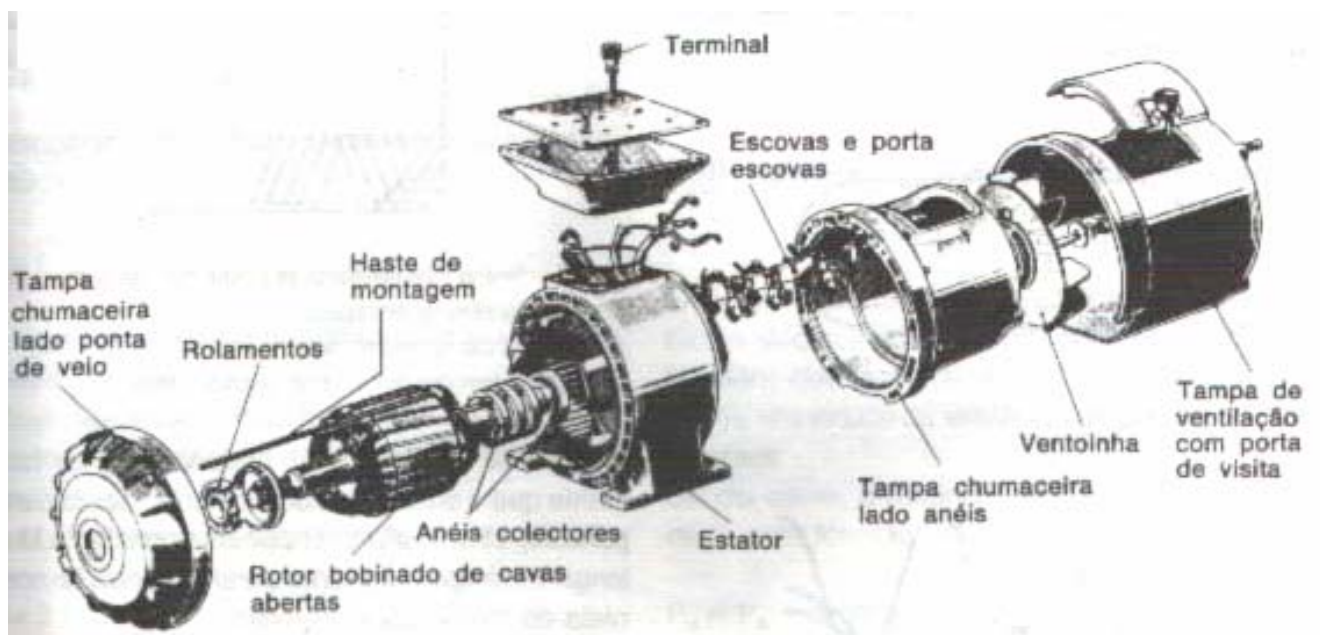
→ Difere do motor de rotor em gaiola, apenas quanto ao rotor.

→ Neste o rotor é constituído por núcleo ferro-magnético laminado, sobre o qual são alojadas as espiras que constituem o enrolamento trifásico, geralmente ligado em estrela.

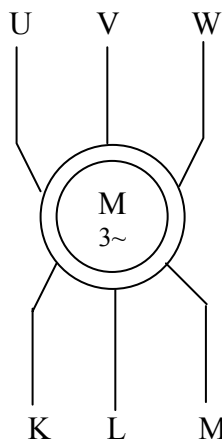
→ Os três terminais livres de cada uma das três bobinas do enrolamento trifásico são ligados a três anéis colectores.

→ Os anéis ligam exteriormente a um reóstato de arranque constituído por três resistências variáveis ligadas em estrela.

→ A função do reóstato é reduzir as correntes de arranque elevadas.



### Simbologia



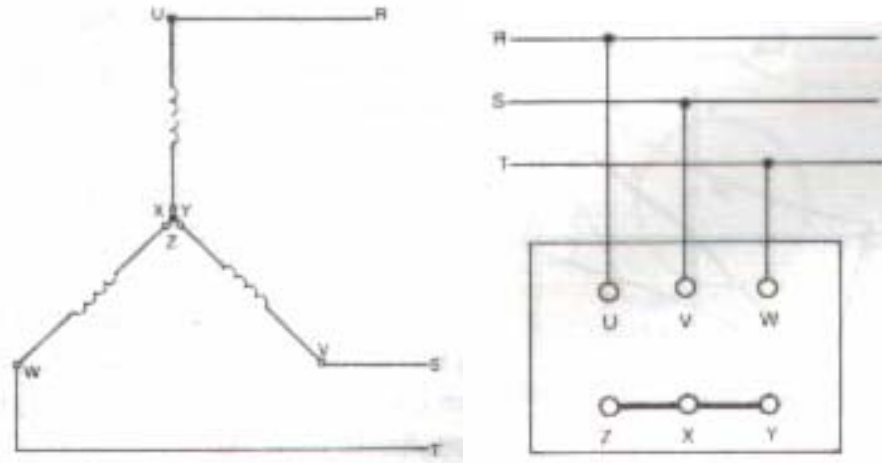
## Constituição das máquinas eléctricas rotativas

- As máquinas eléctricas rotativas são constituídas por três órgãos :
  - Mecânicos;
  - Eléctricos;
  - Magnéticos.
  
- Principais órgãos mecânicos são:
  - Carcaça – constituída em ferro fundido ou em liga de alumínio, lisa ou com alhetas para refrigeração;
  - Veio;
  - Rolamentos;
  - Tampas chumaceiras – equipadas com casquilhos para apoio dos rolamentos;
  - Ventilador – construído em plástico ou em liga de alumínio;
  - Placa de bornes.
  
- Os órgãos mecânicos servem para:
  - Assegurar a posição relativa do estator e do rotor;
  - Assegurar a transmissão da energia mecânica;
  - Assegurar a protecção dos órgãos magnéticos e dos órgãos eléctricos;
  - Assegurar a fixação da máquina.

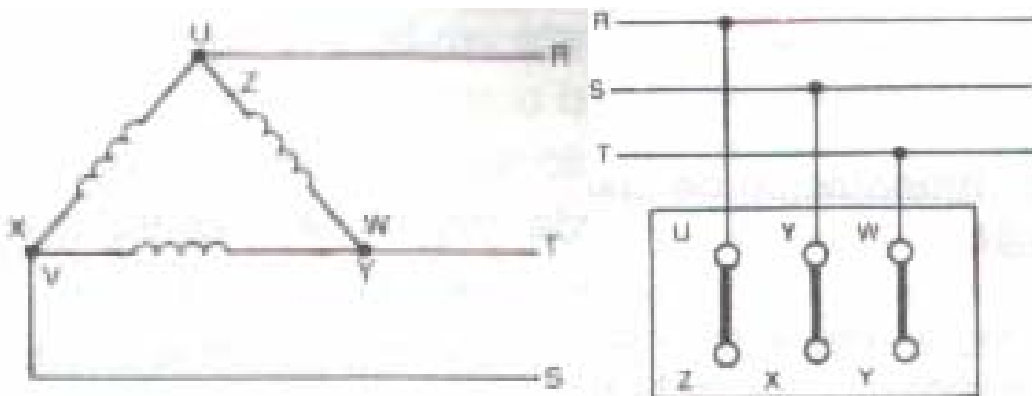


## Tipo de ligações

→ Estrela



→ Triângulo



## Chapa de características de motores

MARCA	<input type="text"/>		
N.º	<input type="text"/>		
TIPO	<input type="text"/>		
λ	380V	3,34 A	1,5 KW
Δ	220 V	5,78 A	2 CV
1420 r.p.m.		50 Hz	
U <sub>rotor</sub> = 140 V		I <sub>rotor</sub> = 7,3 A	

## Potências

$$* \text{ Potência mecânica } P_m \text{ (W)} \rightarrow P_m = 2.\pi.n.M = \frac{2.\pi.n'}{60}.M$$

$n'$  ---Velocidade de rotação (r.p.m.)

$n$  ---Velocidade de rotação (r.p.s)

$M$  ---Binário motor (N.m)

### Nota:

Esta é a potência mecânica total produzida. No entanto, devido ao atrito, à ventilação e às perdas no ferro, nem toda a potência mecânica produzida é utilizada, pois há perdas do binário motor. Assim, a potência que o motor fornece efectivamente é a potência útil  $P_u$ .

\* **Potência útil  $P_u$  (W)**  $\rightarrow$

$$P_u = 2.\pi.n.M_u = \frac{2.\pi.n'}{60}.M_u = P_a - \text{perdas}$$

### Nota:

A potência nominal de um motor assíncrono é definida como o valor da sua potência útil, em regime nominal e com  $\cos\varphi$ =constante.

\* **Potência eléctrica absorvida pelo motor (W)**  $\rightarrow P_a = \sqrt{3}.U_c.I.\cos\varphi$

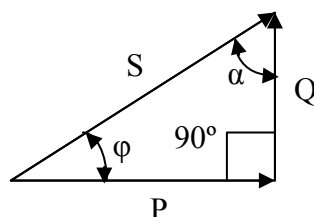
$U_c$  ---Tensão composta, isto é, tensão entre fases (V)

$I$  ---Intensidade da corrente eléctrica absorvida pelo motor (A)

$\cos\varphi$  ---Factor de potência

\* **Potência reactiva (VAr)**  $\rightarrow Q_a = \sqrt{3}.U_c.I.\sin\varphi$

\* **Potência aparente (VA)**  $\rightarrow S_a = \sqrt{3}.U_c.I = \sqrt{P_a^2 + Q_a^2}$



\* **Potências de perdas (W)** →  $p_{\text{perdas}} = p_j + p_{fe} + p_{jr} + p_{fr} + p_m$

$p_{je}$  ---Perdas por efeito de Joule no estator

$p_{fe}$  ---Perdas no ferro no estator

$p_{jr}$  ---Perdas por efeito de Joule no rotor

$p_{fr}$  ---Perdas no ferro no rotor

$p_m$  ---Perdas mecânicas (devido ao atrito)

\* **Potência total transmitida ao rotor (W)** →  $P_t = M.\omega = P_a - p_{je} - p_{fe}$

em que:

$$\omega = 2.\pi.n$$

$\omega$  ---Velocidade angular do campo girante (rad/s)

\* **Potência mecânica transmitida ao rotor (W)** →  $P' = M.\omega'$

em que:

$$\omega' = 2.\pi.n'$$

$\omega'$  ---Velocidade angular do rotor

\* **Perdas por efeito de Joule no estator (W)**

**Nota:**

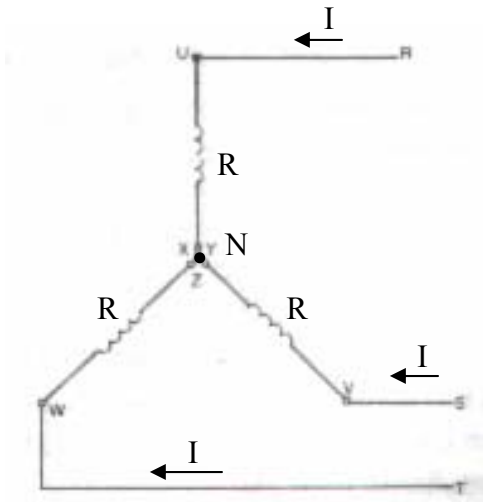
Variam com o regime de carga.

- Ligação dos enrolamentos no estator:

--- em estrela;

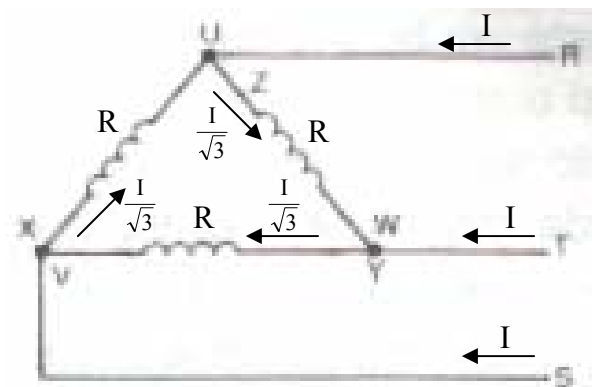
---em triângulo.

## Ligação em estrela



$$p_{je} = 3.R.I^2$$

## Ligação em triângulo



$$p_{je} = 3.R.\left(\frac{I}{\sqrt{3}}\right)^2 = 3.R.\frac{I^2}{3} = R.I^2$$

**Nota:**

As perdas no ferro do estator ( $p_{fe}$ ) e as perdas mecânicas ( $p_m$ ) são praticamente independentes do regime de carga. Estas perdas são consideradas as perdas constantes do motor, podendo estas ser calculadas pelo ensaio em vazio do motor.

As perdas no ferro no rotor ( $p_{fr}$ ) são geralmente desprezáveis, logo  $p_{fr} \approx 0$ .

→ As perdas por efeito de joule no rotor ( $p_{jr}$ ) são perdas devido ao escorregamento do rotor.

$$p_{jr} = P_t - P' = M \cdot \omega - M \omega' = M \cdot (\omega - \omega') = M \cdot \omega \cdot \frac{(\omega - \omega')}{\omega} = (M \cdot \omega) \cdot g = P_t \cdot g$$

→ Rendimento do rotor

$$\eta_r = \frac{P'}{P_t} = \frac{P_t - p_{jr}}{P_t} = \frac{P_t - g \cdot P_t}{P_t} = \frac{P_t \cdot (1 - g)}{P_t} = 1 - g$$

→ Rendimento total do motor

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{P_u + p} = \frac{P_a - p}{P_a} = \frac{P_a - p_{je} - p_{fe} - p_{jr} - p_m}{P_a} \\ &= \frac{(1 - g) \cdot (P_a - P_{fe}) - p_m}{P_a} \end{aligned}$$

→ Arranque do motor assíncrono

- Para que o motor arranque é necessário que binário de arranque ( $M_a$ ) > ao binário resistente ( $M_r$ );
- O motor estabiliza a sua velocidade quando binário motor ( $M$ ) = binário resistente ( $M_r$ );
- O binário de aceleração é a diferença entre o binário motor ( $M$ ) e o binário resistente ( $M_r$ ):

$$M_{acelerador} = M - M_r$$

→ Coeficiente de estabilidade

$$\text{Coeficiente de Estabilidade} = \frac{M_{\text{máx}}}{M_n}$$

**\* Tipos de arranque dos motores assíncronos trifásicos:**

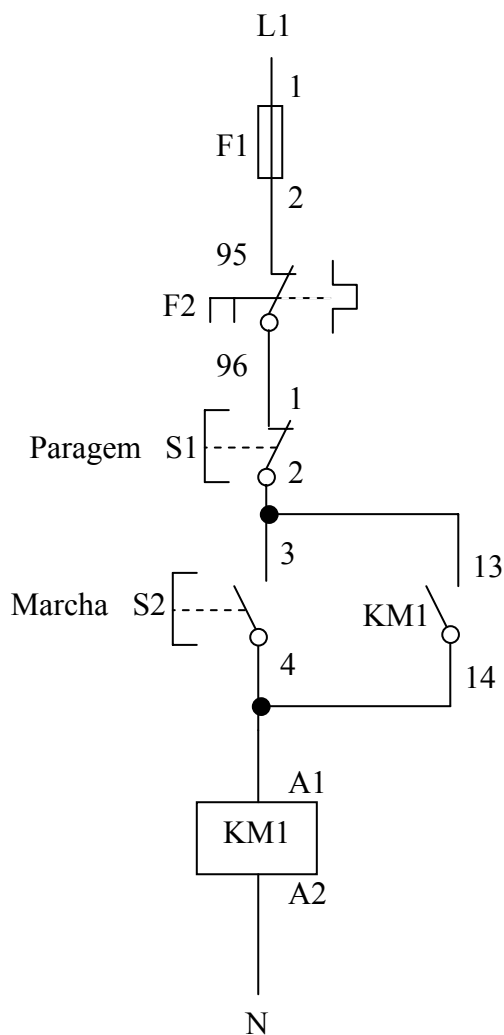
- Arranque directo;
- Arranque estrela – triângulo;
- Arranque por resistências estatóricas;
- Arranque por autotransformadores;
- Arranque por resistências rotóricas;
- Arranque electrónico.

## Motores assíncronos trifásicos de rotor em curto-circuito

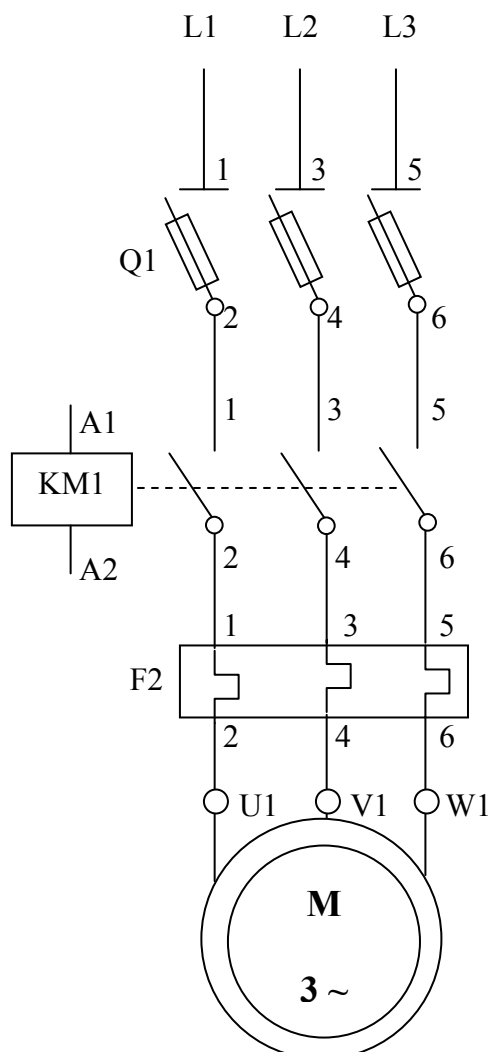
### Arranque directo

- Ligação do motor directamente à rede (à sua tensão nominal);
- O arranque efectua-se a um só tempo;
- A intensidade da corrente de arranque é elevada, cerca de 4 a 8 vezes a intensidade da corrente nominal;
- O binário de arranque pode atingir valores da ordem de 1,5 vezes o binário nominal;
- Este tipo de arranque é utilizada normalmente em motores com potência útil nominal  $\leq 4\text{KW}$ ;
- É o processo de arranque mais simples e mais barato.

### Circuito de comando

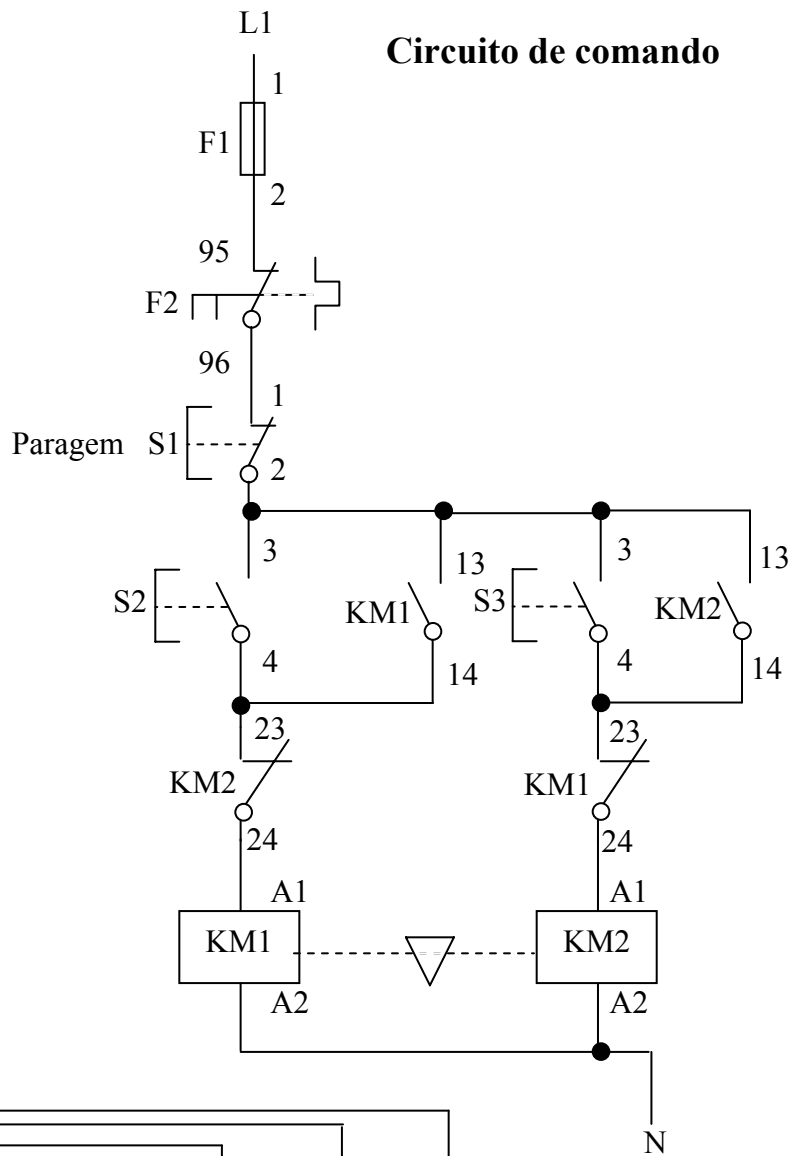


### Circuito de Potência

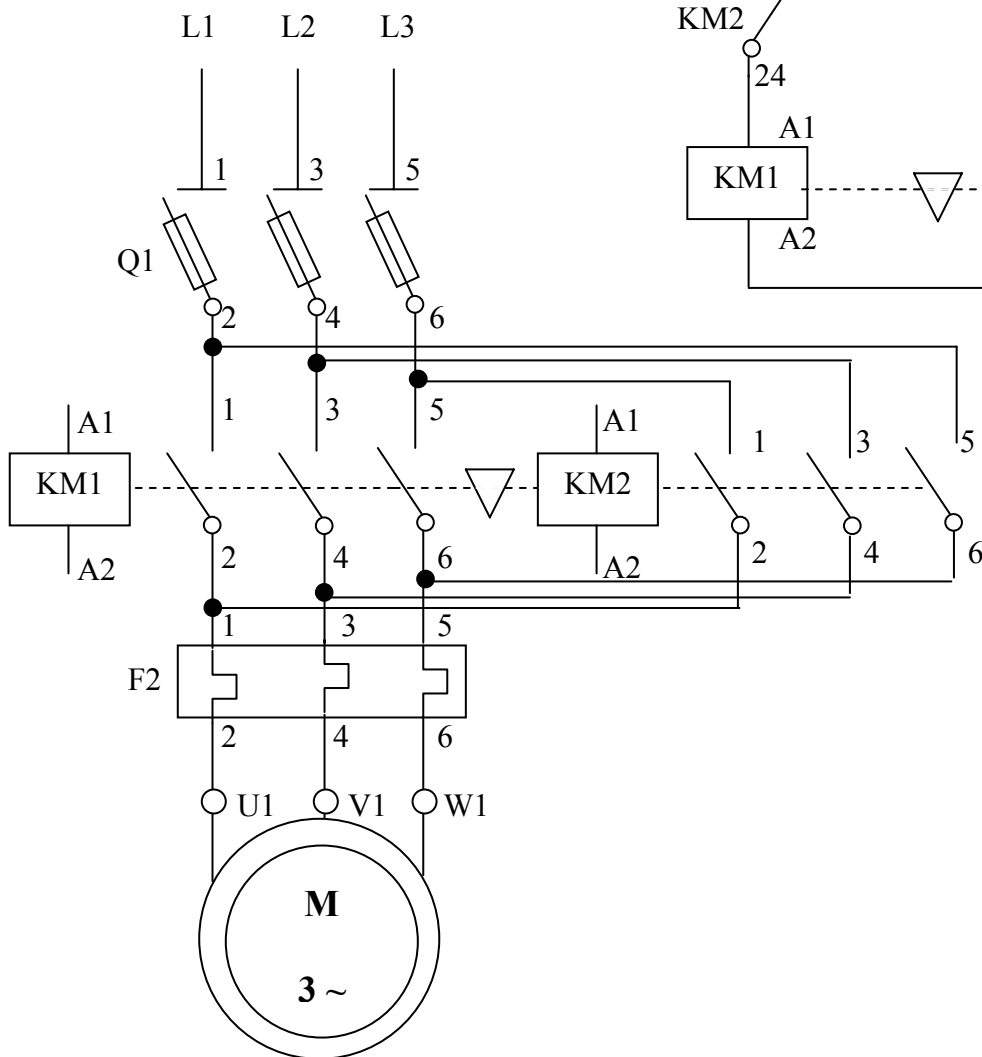


## Arranque directo com inversão

**Circuito de comando**



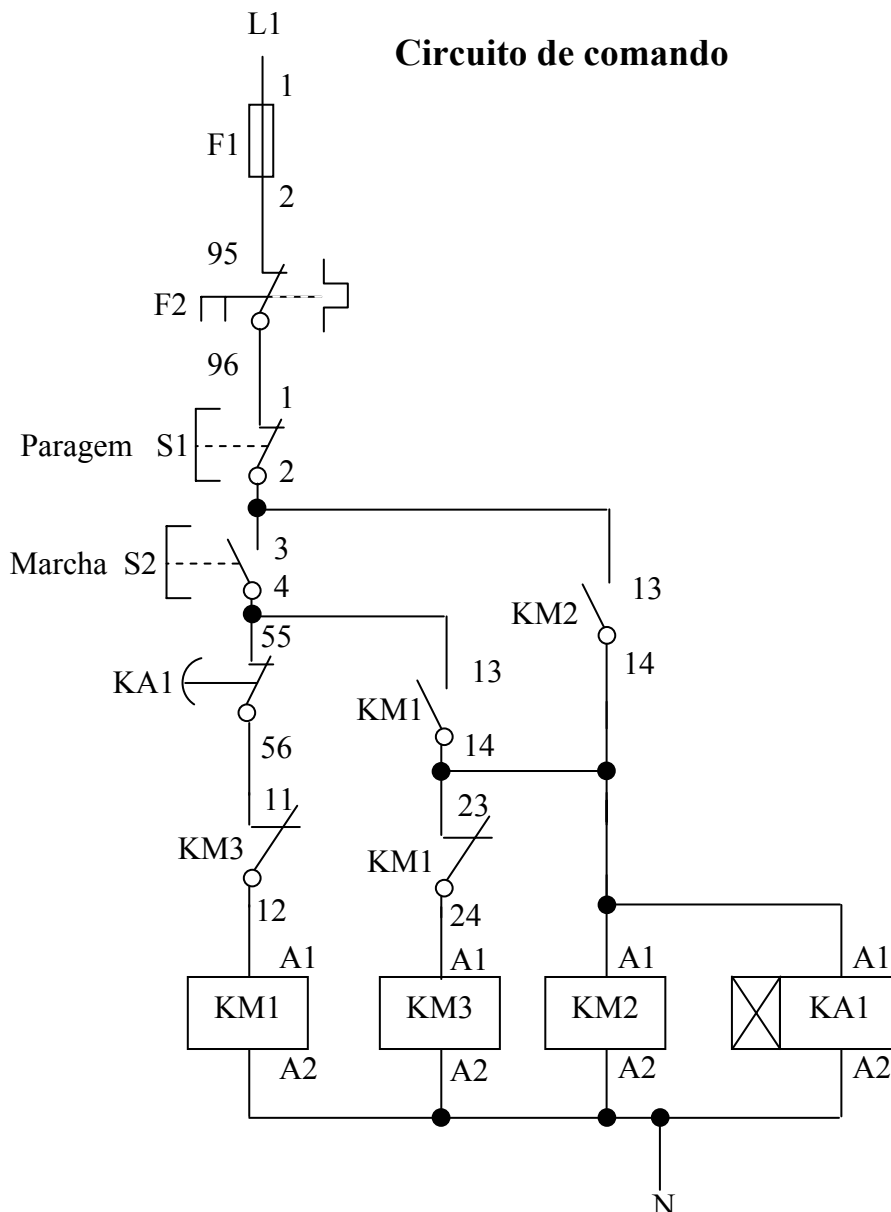
**Circuito de Potência**



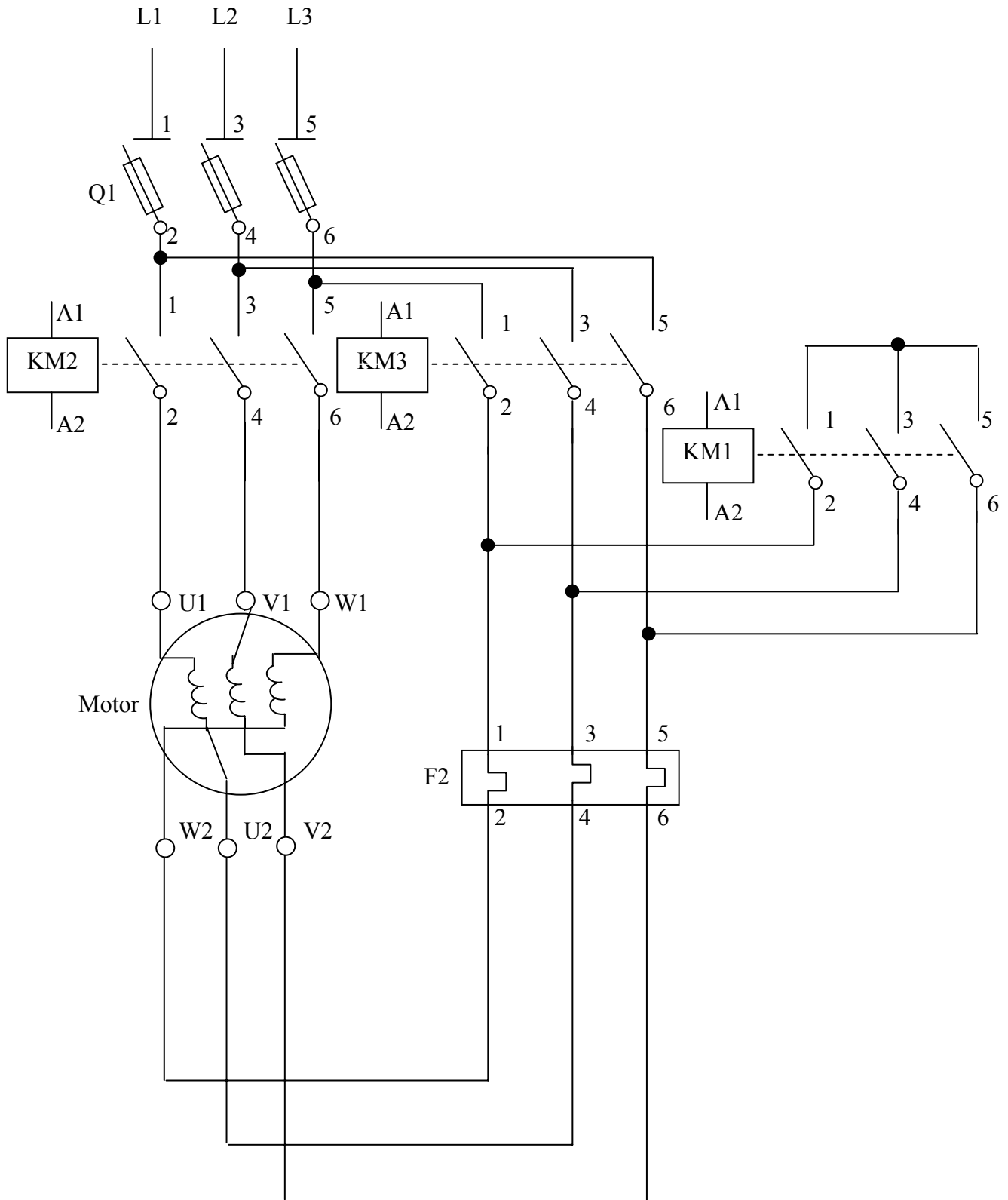


## Arranque estrela – triângulo ( $\lambda / \Delta$ )

- O arranque efectua-se em dois tempos;
- No primeiro tempo de arranque a tensão aplicada ao motor é  $1/\sqrt{3}$  da tensão nominal;
- A intensidade da corrente da corrente de arranque é cerca de 1,3 a 2,6 da intensidade da corrente nominal;
- O binário de arranque pode atingir valores da ordem de 0,5 vezes o binário nominal;
- A passagem de estrela a triângulo realiza-se para valores da velocidade superiores a 75% da velocidade nominal;
- Este tipo de arranque é utilizado normalmente em motores com potência útil nominal  $> 4$  KW.

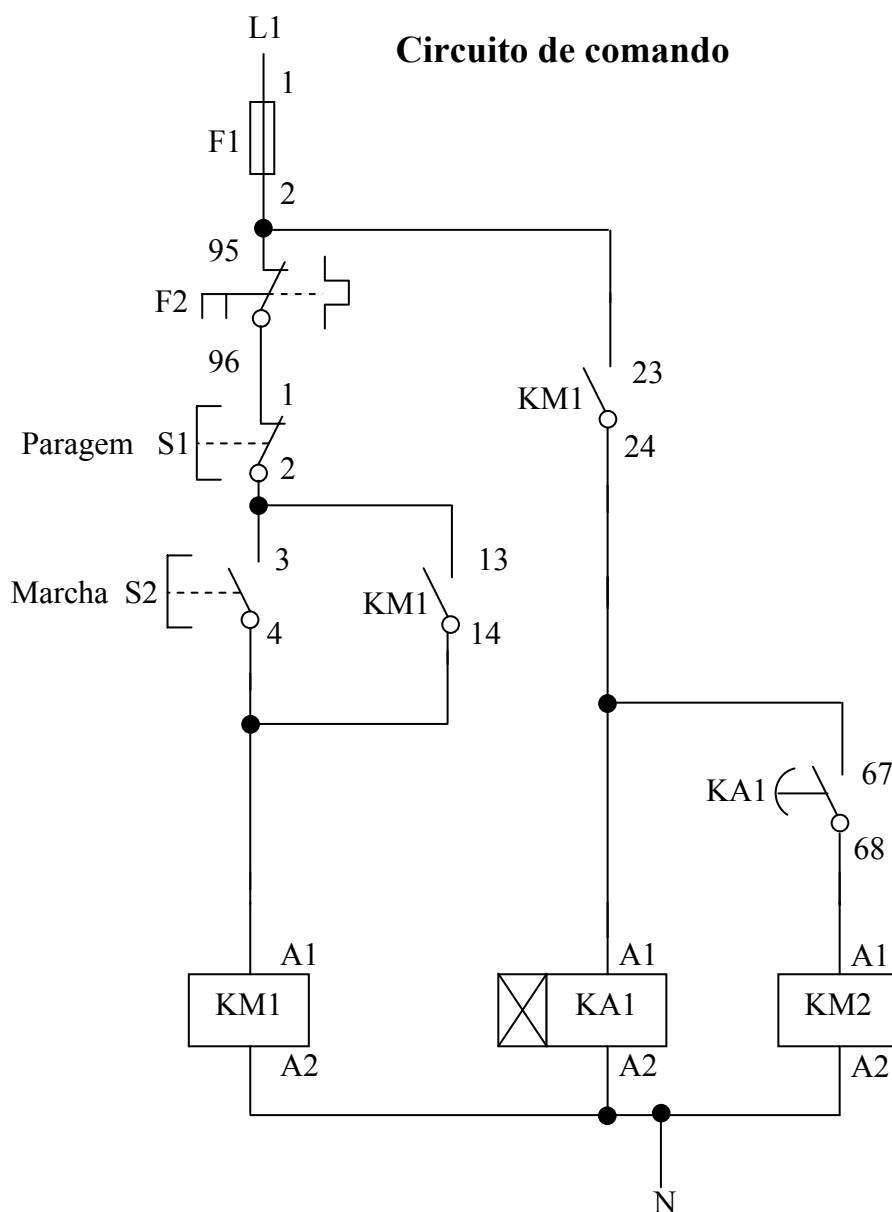


## Circuito de Potência

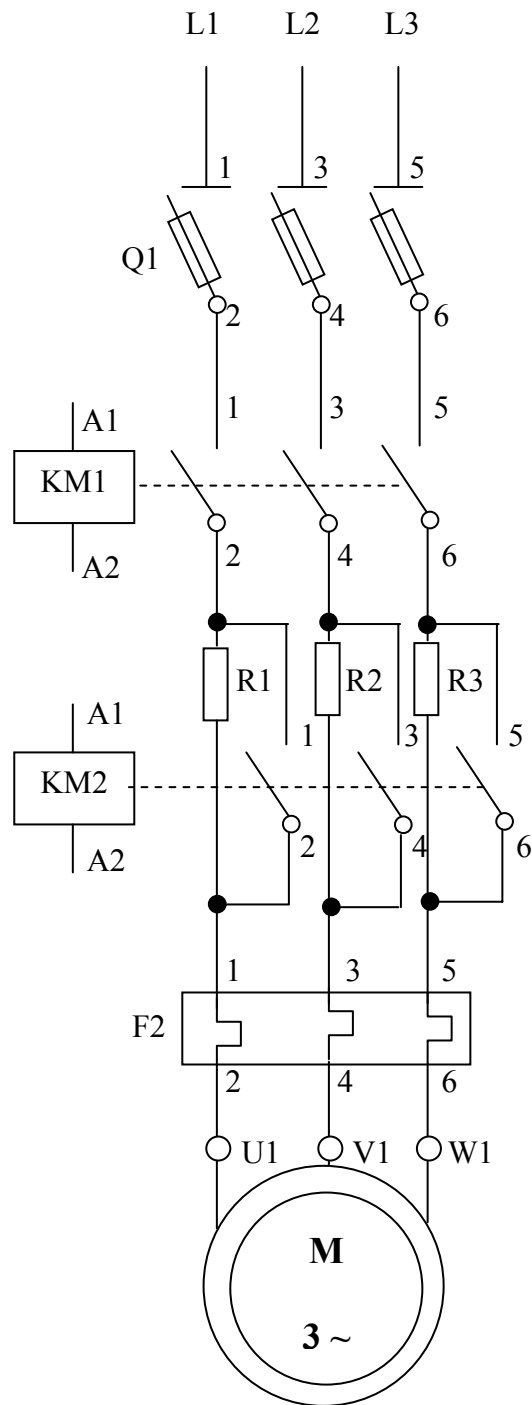


## Arranque por resistências estáticas

- O arranque efectua-se em dois tempos;
- No primeiro tempo de arranque a tensão aplicada ao motor é inferior à tensão nominal;
- A intensidade da corrente de arranque é cerca de 4,5 vezes a intensidade da corrente nominal;
- O binário de arranque pode atingir valores da ordem de 0,85 vezes o binário nominal.

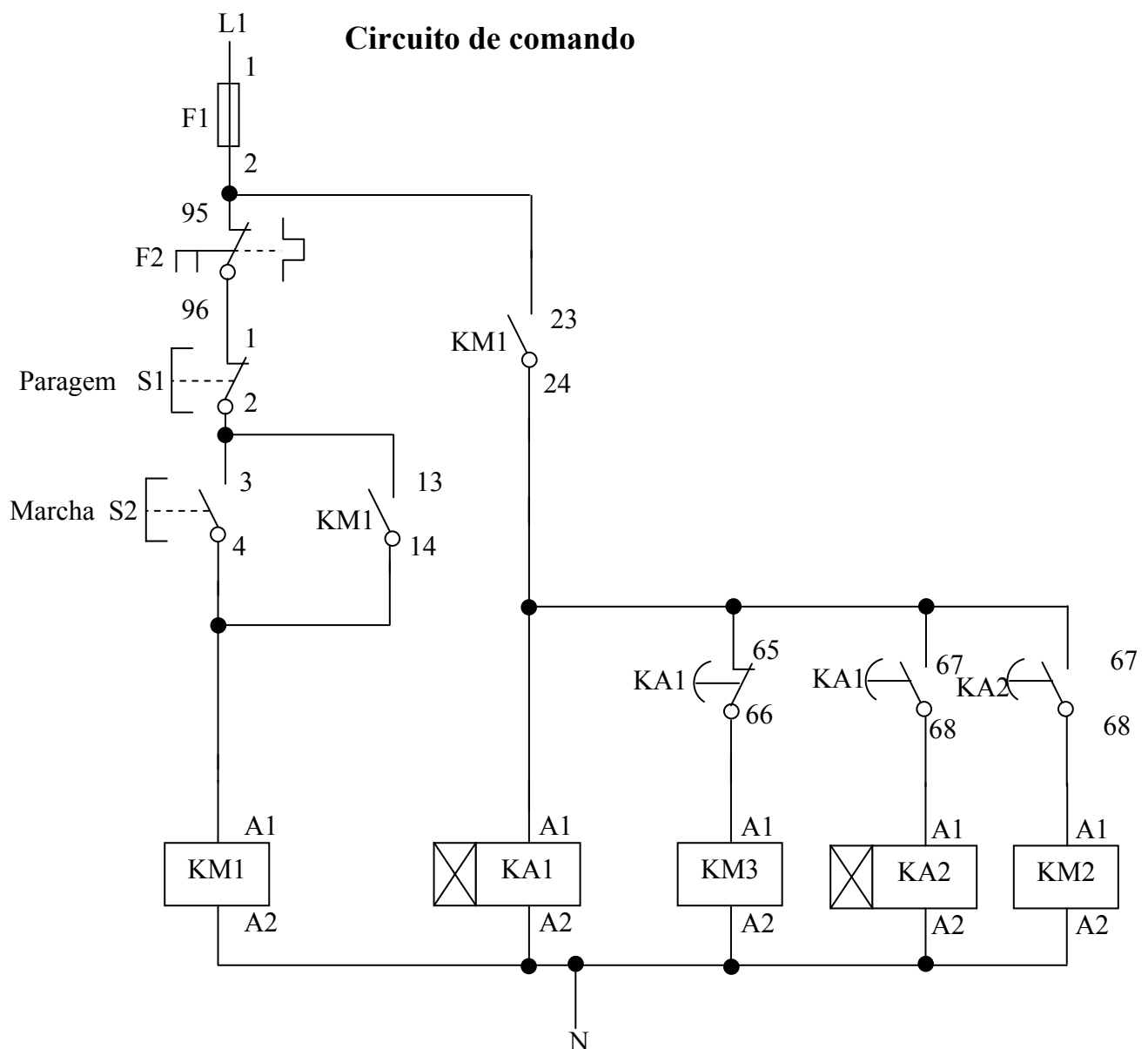


## Circuito de Potência

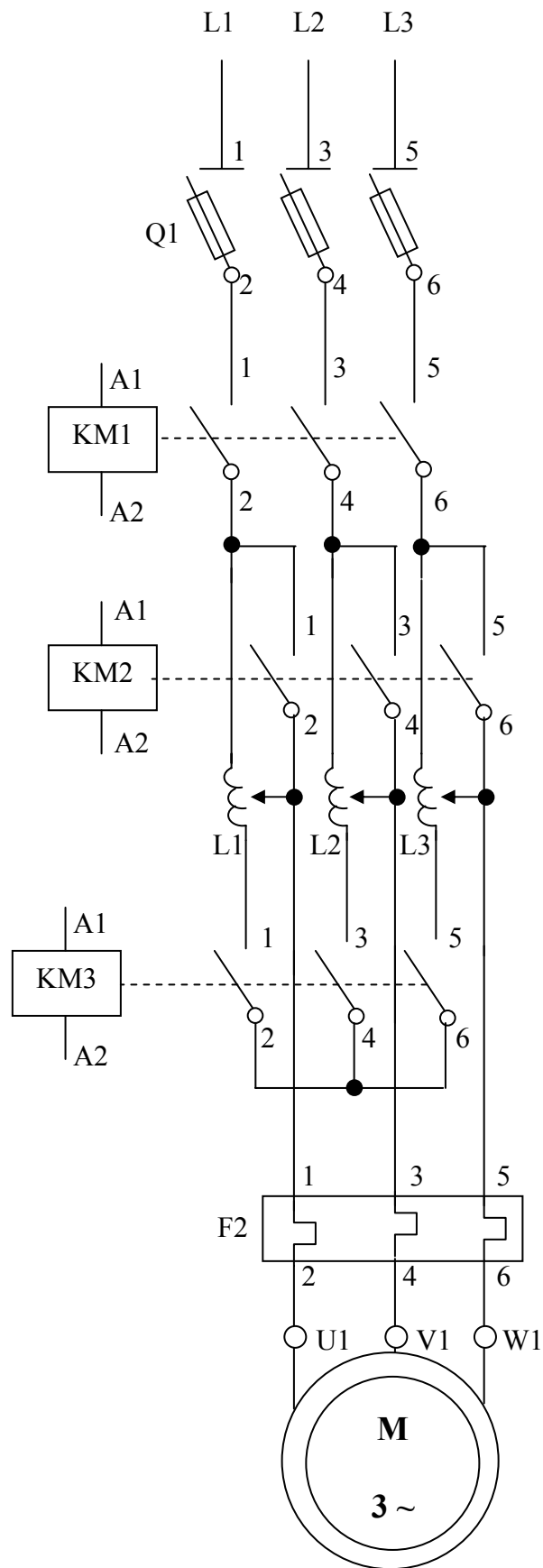


## Arranque por auto-transformador

- O arranque efectua-se em três tempos;
- No primeiro tempo de arranque a tensão aplicada ao motor é inferior à tensão nominal;
- No segundo tempo de arranque a tensão aplicada ao motor é praticamente igual à tensão nominal;
- No terceiro tempo de arranque o auto-transformador é curto-circuitado;
- A intensidade da corrente de arranque é cerca de 1,7 a 4 vezes a intensidade da corrente nominal;
- O binário de arranque pode atingir valores da ordem de 0,85 vezes o binário nominal.



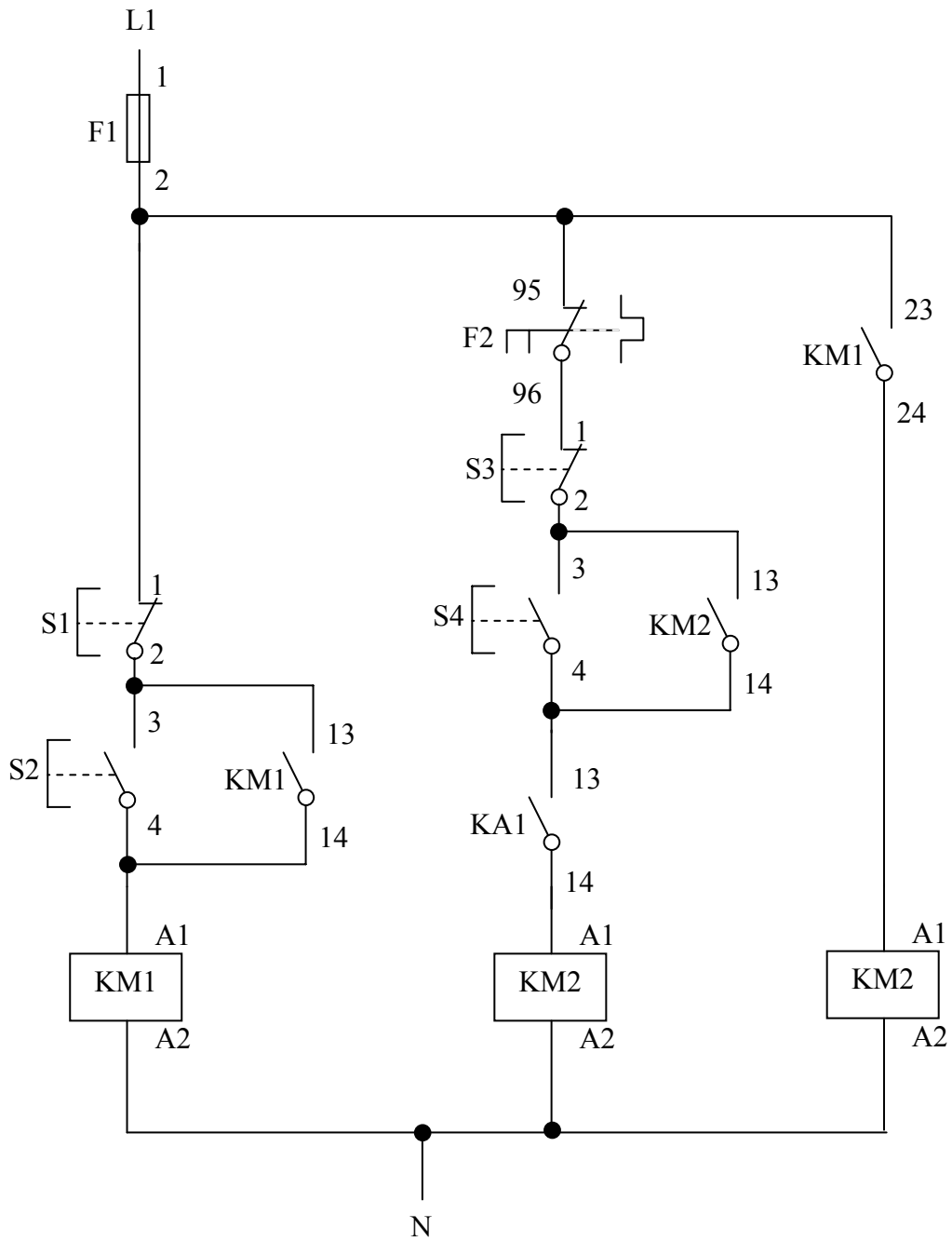
## Circuito de Potência



## Arranque electrónico

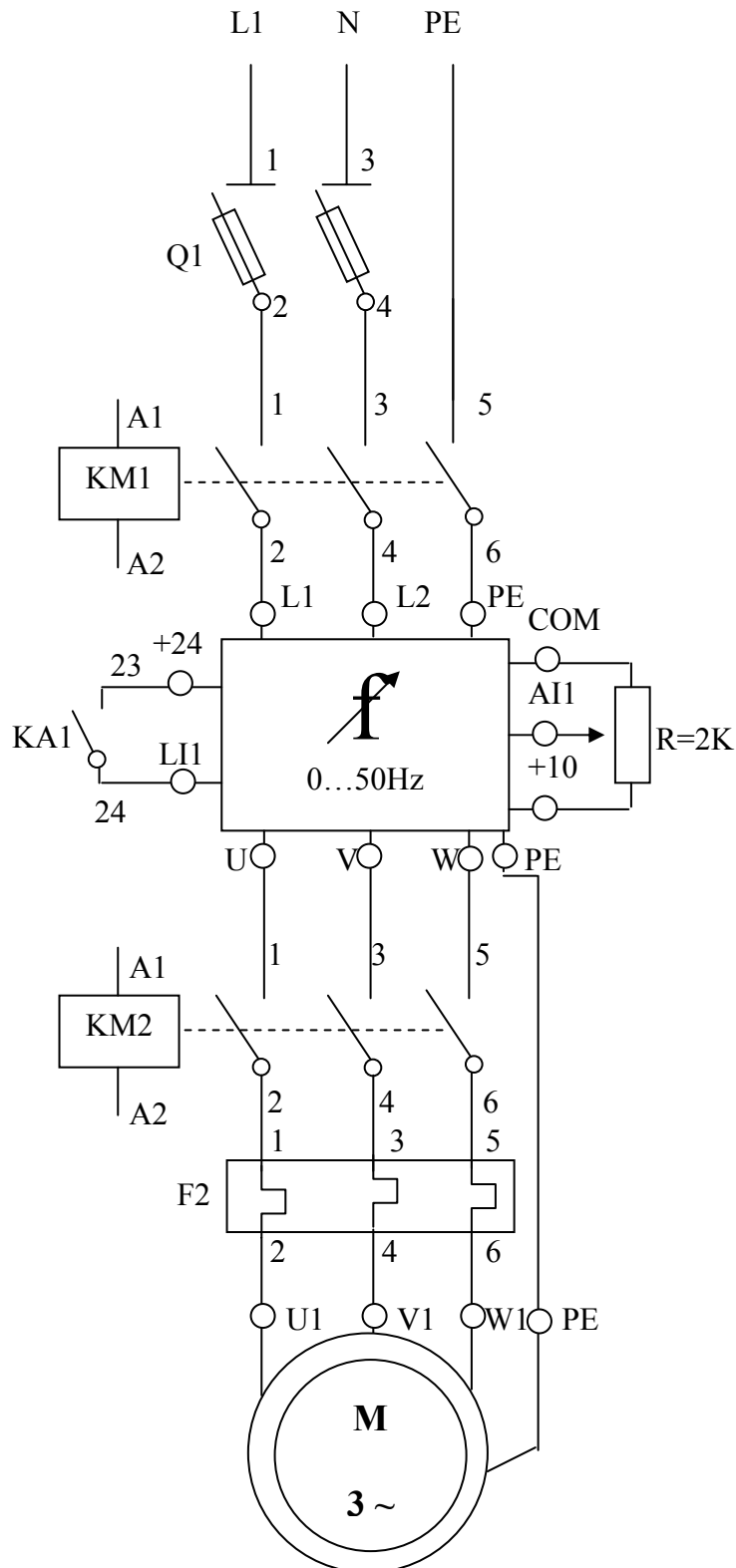
- Os arrancadores electrónicos são os sistemas de arranque mais modernos e baseiam-se na tecnologia dos semicondutores e circuitos integradas e na sua aplicação ao comando de sistemas de potência, o que constitui o campo ao qual se dá o nome de electrónica de potência;
- Estes arrancadores permitem comandar os motores dos fornos mais variados, com regulação e controlo não só da velocidade, como de outras grandezas, nomeadamente, intensidade da corrente de arranque, binário de arranque e tensão de alimentação do motor;
- Estes arrancadores permitem realizar o arranque suave e progressivo do motor até este atingir a sua velocidade nominal (em ambos os sentidos de rotação do motor);
- A regulação da velocidade é conseguida pela variação da frequência da tensão de alimentação do motor;
- Normalmente estes arrancadores integram quer a protecção técnica quer a protecção contra curto-circuitos do motor;
- Sendo um processo de arranque caro apenas é utilizado quando existe a necessidade de regulação da velocidade do motor.

## Circuito de comando





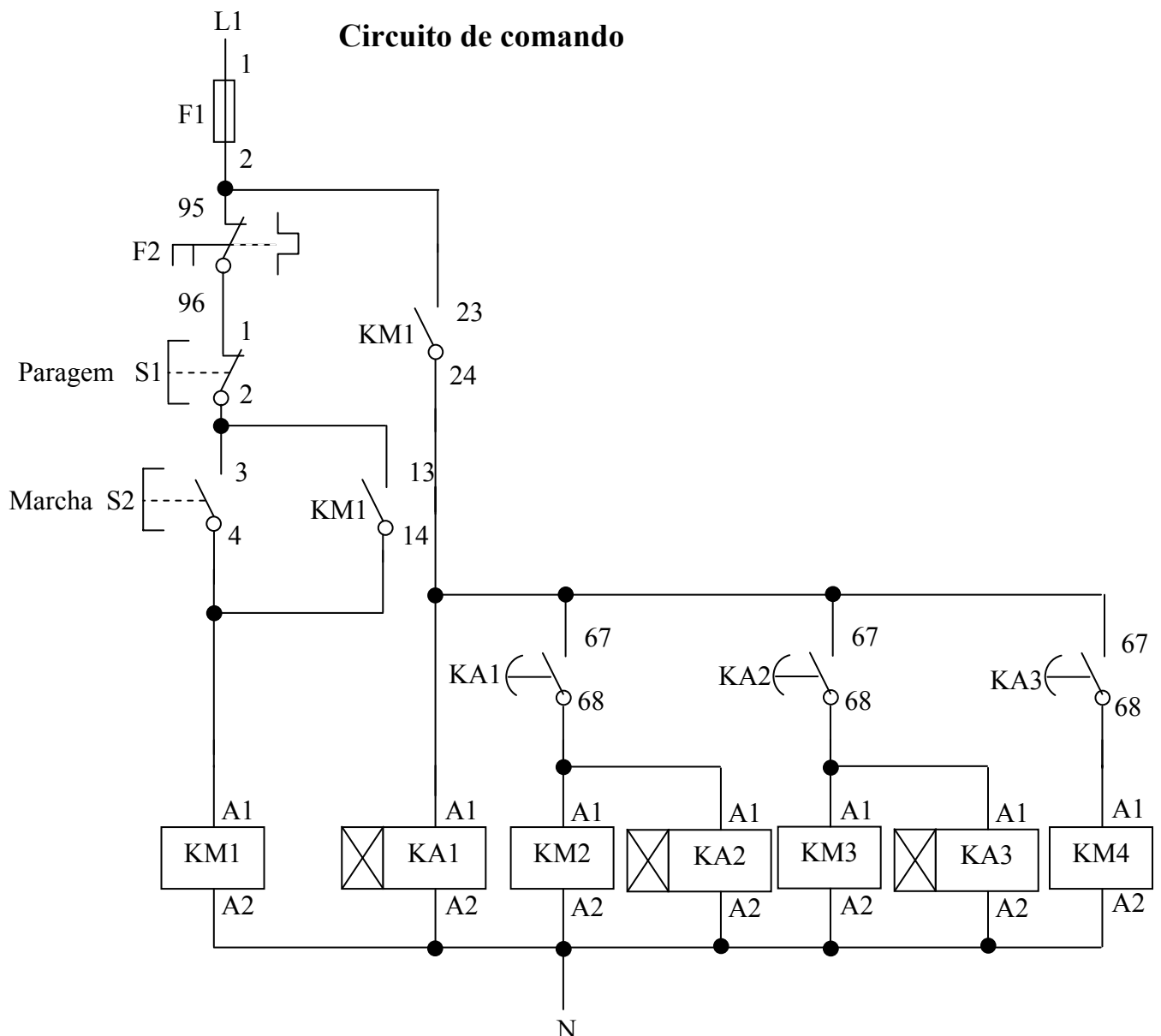
## Circuito de Potência



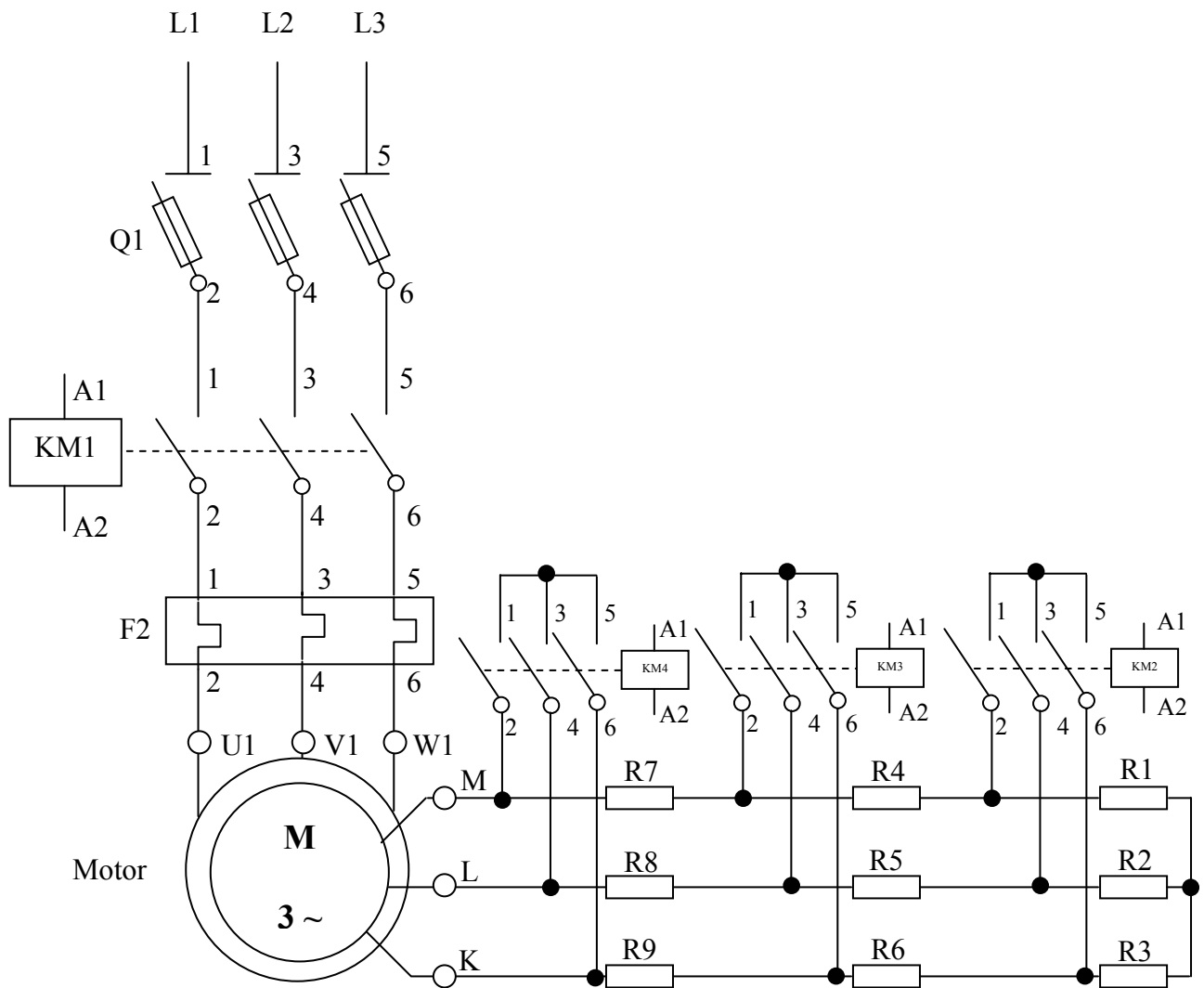
## Motores assíncronos trifásicos de rotor bobinado

### Arranque por resistências rotóricas

- O arranque efectua-se em vários tempos;
- No ultimo tempo de arranque as resistências são curto-circuitadas permitindo que o motor atinja a sua velocidade nominal;
- Para um determinado valor de binário, a velocidade é tanto menor quanto maior for o valor das resistências inseridas em série com os enrolamentos do rotor;
- A intensidade da corrente de arranque é normalmente inferior a 2,5 da intensidade da corrente nominal;
- O binário de arranque pode atingir valores da ordem de 2,5 vezes o binário nominal.



## Circuito de Potência



## Protecção dos motores assíncronos trifásicos

→ *Protecção contra sobreintensidade:*

- Sobrecargas;
- Curtos-circuitos.

\* A protecção dos motores contra sobrecargas é normalmente assegurada por aparelhos de funcionamento automático, os relés térmicos.

\* A protecção dos motores contra curtos-circuitos é normalmente assegurada por fusíveis.

→ *Escolha das protecções do motor:*

- **Relé térmico** – para o arranque directo o relé térmico deverá ser escolhido de modo a permitir a sua regulação para a intensidade de corrente nominal do motor ( $I_n$ ). No caso do arranque estrela-triângulo o relé térmico deverá ser escolhido de modo a permitir a sua regulação para ( $I_n/\sqrt{3}$ ).



- **Fusíveis** – a intensidade nominal dos fusíveis ( $I_n$ ) deverá ter um valor igual ou imediatamente superior à intensidade corrente nominal do motor ( $I_n$ ).



## Dimensionamento da canalização de alimentação do motor

$I_n$  – intensidade da corrente nominal do motor;

$I_N$  - intensidade nominal ou de regulação dos aparelhos de protecção;

$I_Z$  – intensidade de corrente máxima admissível pela canalização ( de acordo com as condições da instalação);

$$I_Z = I_{máx} \cdot \alpha \cdot \beta$$

$I_{máx}$  – intensidade de corrente máxima admissível pela canalização (consulta da tabela);

$\alpha$  - factor de correcção para temperatura ambiente diferente de 20°C;

$\beta$  – factor de correcção para cabos instalados em grupos.

→ **Condições a respeitar:**  $I_Z \geq I_N \geq I_n$

## Exemplos

**(Consultar as tabelas – Aparelhagem Eléctrica → Telemecanique)**

→ Arranque directo (dimensionamento dos condutores)

1.º  $I_Z = I_{máx} \cdot \alpha \cdot \beta = 28 \cdot 0,88 \cdot 0,75 = 18,5 \text{ A} \rightarrow 18,5 \geq 22 \geq 22 \rightarrow \text{Falso}$

2.º  $I_Z = I_{máx} \cdot \alpha \cdot \beta = 36 \cdot 0,88 \cdot 0,75 = 24 \text{ A} \rightarrow 24 \geq 12,7 \geq 12,7 \rightarrow \text{Verdadeiro}$

→ Arranque estrela - triângulo (dimensionamento dos condutores)

2.º  $I_Z = I_{máx} \cdot \alpha \cdot \beta = 28 \cdot 0,88 \cdot 0,75 = 18,5 \text{ A} \rightarrow 24 \geq 12,7 \geq 12,7 \rightarrow \text{Verdadeiro}$   
Secção mínima é de 2,5mm<sup>2</sup>

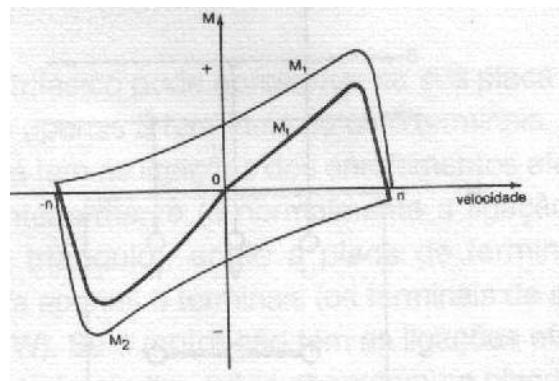
## → Motor Assíncrono Monofásico

O motor monofásico tem uma constituição interna semelhante à do trifásico, com a diferença de que o estator tem apenas um enrolamento. Quanto ao rotor, é obviamente constituído por um núcleo ferromagnético com gaiola de esquilo. O rotor bobinado não é aqui utilizado, visto que as potências são reduzidas.

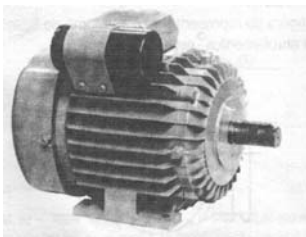
O enrolamento monofásico produz um campo magnético com uma direcção fixa, campo este que pode ser decomposto em dois campos girantes iguais e rodando em sentido contrário.

O rotor poderá, por isso, rodar num sentido ou no outro, conforme o sentido do impulso inicial. Este impulso não é manual mas sim provocado por elementos eléctricos que são introduzidos no circuito de alimentação do estator, de modo a criarem uma força electromagnética suplementar num dos sentidos.

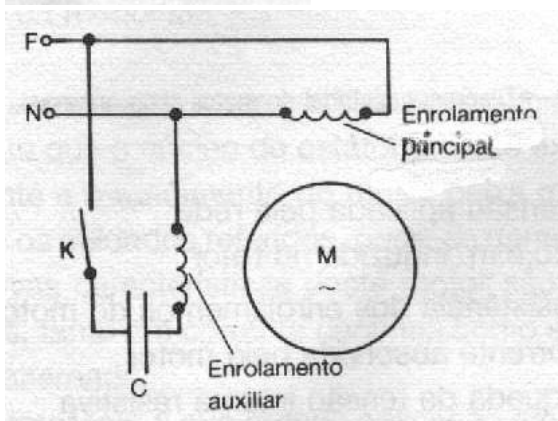
Tendo dois campos girantes vai ter também dois binários motores em sentido contrário, sendo o valor do binário total a soma dos dois binários motores.



### Motor monofásico de fase auxiliar

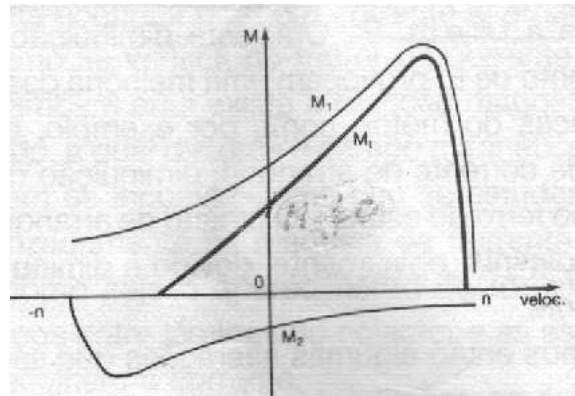


Um dos processos consiste em colocar no estator do motor um segundo enrolamento (enrolamento auxiliar), o qual irá criar um segundo campo magnético de forma a ser perpendicular ao campo do enrolamento principal.



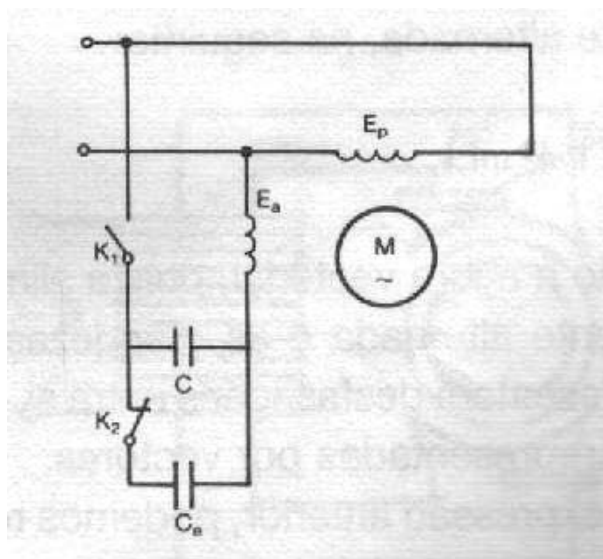
No enrolamento auxiliar é ligado em série um condensador que vai provocar uma defasagem, inferior a  $90^\circ$ , mas suficiente para provocar a rotação do rotor num dos sentidos.

Com este efeito, este campo vai somar-se a um dos dois campos girantes, reforçando-o e fazendo com que o binário resultante, no arranque, seja maior num sentido do que no outro.



### Inverter o Sentido de Rotação

- Basta trocar as polaridades da alimentação (a fase com o neutro do enrolamento auxiliar).



---

**Nota :** os condensadores têm ainda a vantagem de melhorar o factor de potência das instalações. Daí que geralmente se utilize, no arranque destes motores, dois condensadores em paralelo.

## Manutenção de uma máquina eléctrica assíncrona

### **→ operações a realizar na revisão geral de um motor assíncrono trifásico de rotor em curto-circuito:**

- Desmontar o motor;
- Limpar o interior do motor, lavando o estator com desengordurante;
- Secar em estufa ( $\pm 100^{\circ}\text{C}$ ;  $\pm 90$  minutos);
- Envernizar o estator com verniz da classe F;
- Secar em estufa ( $\pm 120^{\circ}\text{C}$ ;  $\pm 90$  minutos);
- Verificar o estado do veio;
- Verificar o estado da ventoinha;
- Verificar o estado dos escatéis e das chavetas;
- Verificar o estado das tampas chumaceiras;
- Substituir e lubrificar os rolamentos;
- Verificação do estado das ligações dos enrolamentos do estator aos bornes da placa do motor;
- Montar o motor;
- Medir as resistências eléctricas dos enrolamentos do estator;
- Medir a resistência de isolamento entre os enrolamentos do estator e a carcaça do motor (megaohmímetro  $\geq 0,5\text{M}\Omega$ );
- Ensaiar o motor em vazio;
- Limpeza e pintura do exterior do motor;
- Medição do motor em carga.

### **→ operações a realizar na revisão geral de um motor assíncrono trifásico de rotor bobinado:**

- Todas as operações indicadas para os motores de rotor em curto-circuito;
- Medir as resistências eléctricas dos enrolamentos do rotor (dois a dois);
- Medir a resistência de isolamento entre os enrolamentos do rotor e a massa do rotor;
- Verificar o estado dos anéis colectores;
- Verificar o estado das escovas;
- Verificar o estado da porta-escovas.



**→ A periodicidade com que as revisões gerais devem ser realizadas dependem de vários factores:**

- Recomendações do fabricante do motor;
- Condições do meio ambiente em que o motor trabalha (temperatura, humidade, poeiras, etc.);
- Número de horas de funcionamento diário;
- Espaçamento entre arranques (ciclo arranque / paragem / arranque);
- Função desempenhada pelo motor no equipamento em que se encontra instalado;
- Grau de criticidade do equipamento.

**Problemas**

1. Calcule a intensidade de corrente absorvida por um motor assíncrono trifásico de 5 KW, 380 V,  $\eta = 85\%$  e  $\cos\phi = 0,8$ .
2. Um motor assíncrono trifásico, alimentado por uma rede de 50 Hz, roda a 970rpm.
  - a) Indique o valor da velocidade de sincronismo.
  - b) Calcule o número de pares de pólos (fictícios) do motor.
  - c) Calcule o escorregamento
3. Um motor assíncrono trifásico de 380V, 50Hz, absorve uma corrente de 52 A, com um factor de potência de 0,86. O escorregamento é de 4%, os enrolamentos estóricos estão ligados em estrela e cada um deles tem uma resistência de  $0,1\Omega$ . As perdas no ferro do estator são 400W e as perdas mecânicas são de 420W. Calcule:
  - a) A velocidade do rotor, sabendo que o motor tem 6 pólos.
  - b) As perdas por efeito de joule no estator.
  - c) A potência absorvida pelo motor.
  - d) A potência total transmitida ao rotor.
  - e) As perdas por efeito de joule no rotor.
  - f) O binário motor total.
  - g) A potência mecânica transmitida ao rotor.
  - h) A potência mecânica útil.
  - i) O rendimento total do motor.
  - j) O binário útil.

## Cap. V – Dínamo / Motor de Corrente Continua

Uma máquina de corrente continua diz reversível – pois se fornecermos energia eléctrica ao induzido ela fornecer-nos-á energia mecânica (funciona como motor) e se lhe fornecermos energia mecânica no veio, ela fornecer-nos-á energia eléctrica pelo induzido(funciona como gerador).

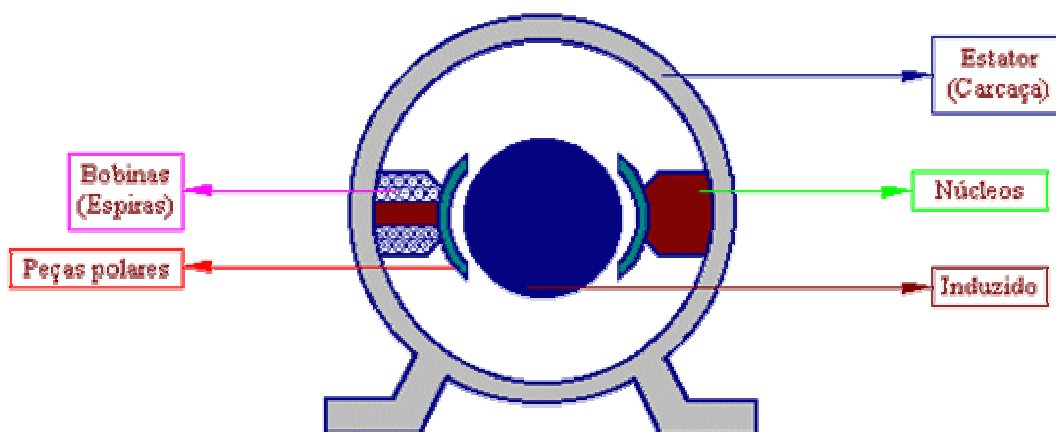
**Dínamo** - é uma máquina que pode ser utilizada, para a obtenção de corrente continua e empregue em locais onde seja fundamental a utilização deste tipo de tensão para o funcionamento de determinados equipamentos. Esta é uma máquina que requer grande delicadeza na sua construção, daí advém o seu elevado custo.

**Motor corrente continua** - é utilizado quando se pretender um motor com fortes apetências para obter uma grande variação de velocidade ou onde se disponha de uma tensão continua para alimentar o motor.

### Constituição de um Motor de Corrente Continua

As máquinas de corrente continua, quer geradores, quer motores são constituídos por: Indutor, induzido, colectores, escovas.

**Indutor** - Tem como finalidade produzir o campo magnético, em que a carcaça (estator) faz parte do circuito magnético. Este campo tanto pode ser produzido por um íman permanente como por um electroímã, sendo estes últimos os mais utilizados, pois podem produzir campos magnéticos reguláveis e mais intensos. O indutor é constituído por três partes: A parte externa, denominada por carcaça, pelos núcleos onde são implantadas as bobinas indutoras e pelas peças polares, por entre as quais se desloca o induzido.



Os pólos são aparafusados ao estator e as bobinas são colocadas nas peças polares de forma circular, sendo estas enroladas de forma a terem polaridades opostas. Os electroímãs das bobinas são excitados por corrente continua, que passa nas bobinas que envolvem os pólos.

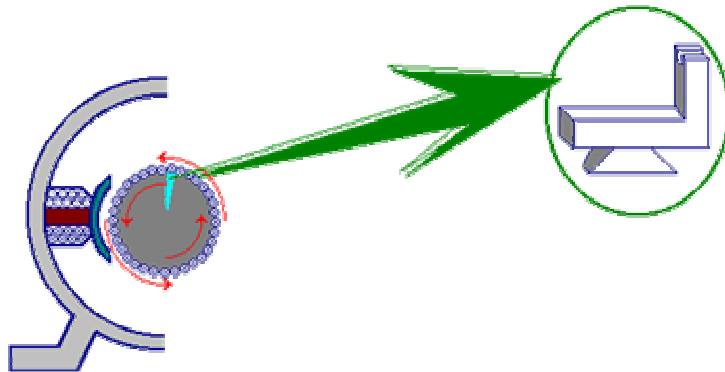
Há dois tipos de bobinas indutoras ou de excitação:

Bobinas shunt ou paralelo, que contem um grande número de espiras de fio fino, e a sua resistência é de centenas de ohms.

Bobinas série, são constituídas por um pequeno número de espiras de fio grosso, e tem um resistência da ordem das décimas de ohms.

**Induzido** - Está sujeito a movimento, é constituído por um certo número de bobinas, bobinas estas que se encontram encaixadas em ranhuras existentes na periferia do cilindro, que resultam da junção de várias chapas magnéticas, de pequena espessura devidamente isoladas entre si de forma a reduzir as perdas por correntes de Foucault.

**Colector** - Este elemento é formado por um conjunto de lâminas de cobre que são dispostas lado a lado ficando permeio folhas de mica que as isolam entre si. A sua disposição, depois de apertadas formam um cilindro, ficando solidárias com o veio. O colector permite captar as correntes estabelecidas nos condutores do induzido, fazendo-as passar para o circuito exterior sob a forma de corrente unidimensional, isto é, corrente continua.



**Escovas** - São peças com o formato de um paralelepípedo, sendo fabricadas em grafite, estas peças encontram-se incorporadas, numa outra peça denominada por porta escovas, onde existe um mola que comprime a escova sobre o colector. Existem vários factores que influenciam a escolha da grafite como material para a produção de escovas de máquinas rotativas. A grafite tem como propriedade de lubrificar, reduzindo assim o atrito com o colector.

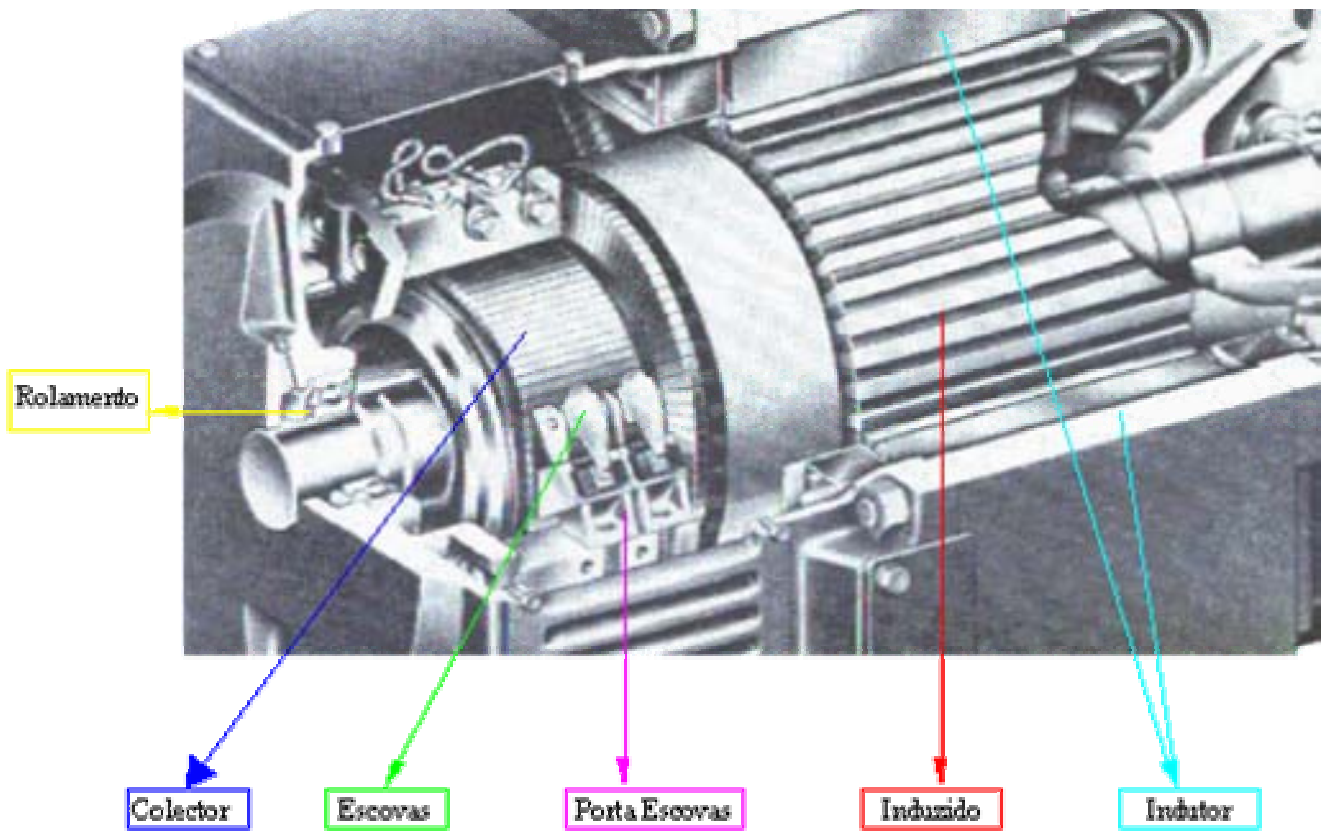
---

**Resumidamente**

As máquinas rotativas são constituídas por duas partes distintas; a parte fixa ou estator e a parte móvel ou rotor.

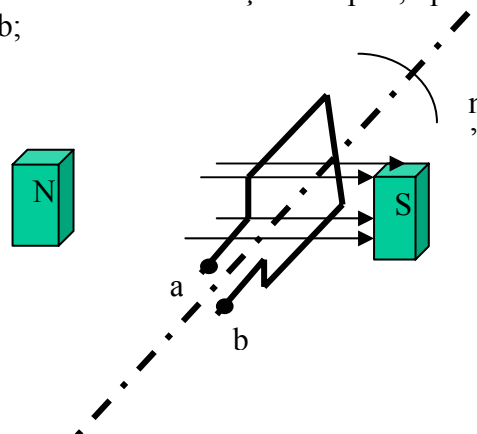
No estator nós encontramos um indutor, as tampas laterais, onde se encontram fixas nesta as chumaceiras, os porta escovas onde estão alojadas as respectivas escovas.

O rotor é constituído pelo induzido e pelo colector.



## Dínamo

**Gerador:** se dermos movimento de rotação à espira, aparece uma f.e.m. entre os terminais a e b;



**Leis de Lenz e Faraday** – sempre que um condutor ou uma espira se movimentam dentro de um campo magnético, cortando as suas linha de força, aparece aos seus terminais uma força electromotriz (f.e.m.) induzida que tende a opor-se à causa que lhe deu origem;

### Função das lâminas do colectador e das escovas

As lâminas do colectador rodam deslizando sob um par de escovas de grafite, fixas, as quais têm a função de fazer a transferência da corrente eléctrica das espiras do induzido para o circuito de carga (no caso do gerador) ou da fonte de alimentação para as espiras do induzido (caso do motor). Estas lâminas têm o objectivo de reduzir as perdas no ferro do induzido.

### Comportamento do fluxo magnético

Fluxo magnético através de uma espira é dado por  $\Phi = B.S.\text{sen}\alpha$ , em que B é a indução magnética, S é a secção da espira e  $\alpha$  é o ângulo formado pelo plano da espira com a direcção dos pólos.

Quando a espira se encontra na posição vertical, temos  $\alpha = 90^\circ$  e portanto  $\text{sen}\alpha = 1$ , logo o fluxo é máximo. Quando a espira está na posição horizontal temos  $\alpha = 0^\circ$  e portanto  $\text{sen}\alpha = 0$ , logo o fluxo é nulo.

A rotação de  $90^\circ$  corresponde à passagem do fluxo máximo para um fluxo nulo.

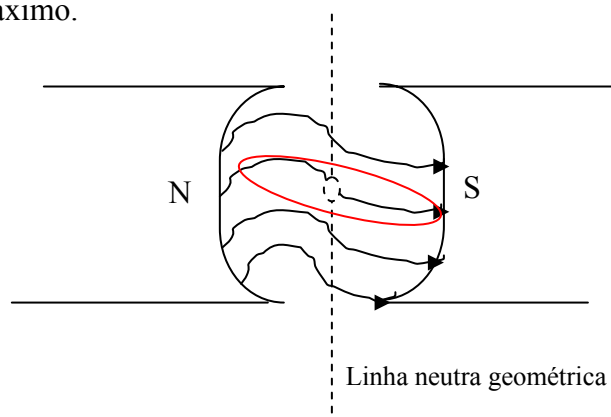
### Como obter corrente continua

Quanto maior for o número de pares de lâminas (portanto mais pequenas) mais continua será a f.e.m, obtida. O resultado seria, uma corrente ligeiramente pulsatória mas muito próxima de uma recta.



### Linha neutra (geométrica)

Linha em que é nula a força electromotriz da espira que por ela passa, correspondendo ao fluxo máximo.

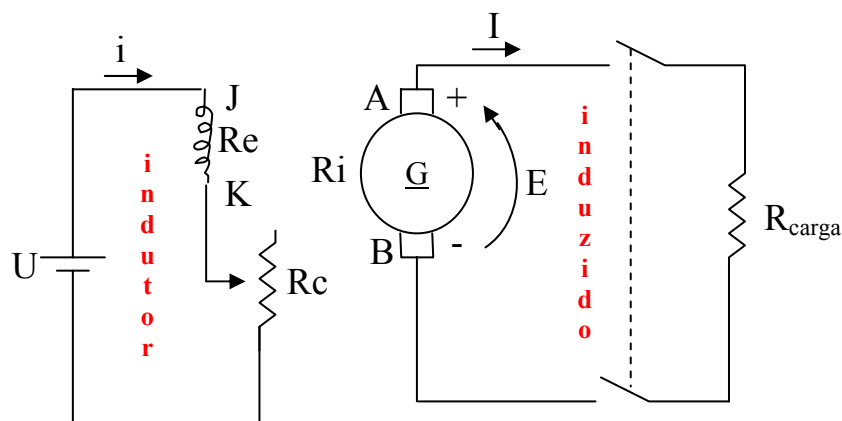


**Classificação dos dínamos**

- de excitação independente;
- de auto-excitação:
  - Série;
  - Paralelo ou shunt;
  - Composta ou compound.

**Tabela de identificação de terminais**

Enrolamentos	Simbologia Alemã
Induzido	A-B
Indutor-Shunt	C-D
Indutor-Série	E-F
Pólos Auxiliares	G-H
Indutor Independente	J-K

**Dínamo de excitação independente****Legenda:**

- $i$  – Corrente de excitação;
- $I$  – Corrente de carga;
- $R_e$  – resistência eléctrica do enrolamento de excitação (indutor);
- $R_i$  – resistência eléctrica do enrolamento induzido;
- $R_{carga}$  – resistência da carga;
- $R_c$  – reóstato de campo;
- J e K – terminais do indutor independente;
- A e B – terminais do induzido;
- E – força electromotriz (f.e.m);
- G – símbolo do gerador.

Os enrolamentos indutor e induzido são independentes entre si, isto é, não são ligados um ao outro.

Para meter o dínamo a funcionar, temos de regular previamente o reóstato de campo para a posição correspondente à sua resistência máxima de modo que a corrente de excitação  $i$  seja mínima no início. Depois faz-se rodar o dínamo até atingir a sua velocidade nominal, para isso ligamos um motor ao dínamo. De seguida variamos o reóstato de campo, através do cursor, aumentando a corrente de excitação  $i$ , o fluxo  $\Phi$  e a f.e.m  $E$ , até atingirmos a tensão nominal e depois vamos alimentar a carga.

Para inverter o sentido do dínamo, temos dois processos ou invertemos o sentido de rotação do motor ou invertemos o sentido da corrente de excitação  $i$  e para ambos os casos é necessário passar o terminal positivo A (do induzido) para o negativo e o terminal negativo B para o positivo.

Não podendo inverter duas em simultâneo.

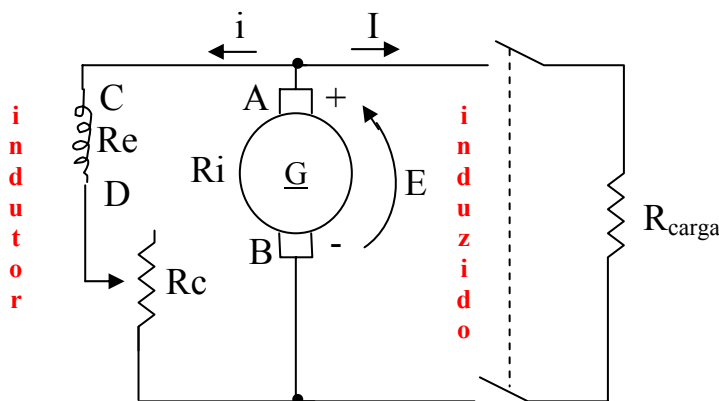
Para manter constante a tensão aos terminais do dínamo, podemos variar a velocidade de rotação do rotor, o que implica a variação da velocidade do motor de accionamento, a outra é variar a corrente de excitação do dínamo, por intermédio do reóstato de campo.

**Nota:**  $E=K.n.N.\Phi$  (em que  $K=p/c$  é uma constante). Assim, para variar o valor da f.e.m de um dínamo, podemos fazê-lo variando a velocidade  $n$  do rotor ou o fluxo indutor  $\Phi$ , já que  $K$  e  $N$  são constantes para cada máquina.

Vantagens, inconvenientes e aplicações:

- É utilizado em situações em que se exijam tensões muito altas ou muito baixas;
- É utilizado frequentemente como excitatriz dos grandes alternadores;
- Permite uma boa regulação de tensão, fornecendo tensões estáveis para grandes variações de carga;
- Constitui a excitação ideal utilizada nos ensaios laboratoriais de máquinas eléctricas.

## Dínamo de excitação em derivação



$$E = U + R_i \cdot (I + i) \rightarrow \text{f.e.m}$$

$$P_{je} = R_e \cdot i \rightarrow \text{perdas por efeito Joule enr. Indutor;}$$

$$P_{ji} = R_i \cdot (I + i)^2 \rightarrow \text{perdas efeito Joule induzido;}$$

$$P_j = p_{ji} + p_{je} \rightarrow \text{perdas efeito Joule totais;}$$

$$P_e = E + I t = E \cdot (I + i) \rightarrow \text{Potência eléctrica gerada;}$$

O enrolamento indutor é ligado em paralelo com o enrolamento induzido.

O enrolamento C e D é o enrolamento indutor ligado em derivação com o enrolamento induzido A e B. Neste dínamo não existe uma fonte de energia auxiliar para alimentar o enrolamento indutor. O que acontece é que os pólos indutores mantêm sempre um certo magnetismo remanescente (com fluxo  $\Phi_0$ ), mesmo quando os seus enrolamentos não são alimentados por corrente. Este magnetismo remanescente ou residual, de fraca intensidade, é suficiente para criar uma pequena f.e.m na máquina logo que ela entra em rotação ( $E = K \cdot n \cdot N \cdot \Phi$ ), ou seja estas máquinas são auto-excitadas, pois excitam-se a si próprio sem a necessidade de fonte alimentação exterior.

### Funcionamento

Leva-se o dínamo à sua velocidade nominal, devido ao campo remanescente cria-se logo uma pequena f.e.m no induzido, a qual fica aplicada também ao enrolamento indutor, pois estão em paralelo. Esta f.e.m cria uma corrente indutora  $i$  que vai criar um campo magnético, somando-se ao campo remanescente e aumentando assim o fluxo; depois repete-se tudo até que apareça uma força electromotriz nominal e liga-se a carga.

### Causas para não conseguir excitar a máquina

- O sentido de rotação da máquina não é o correcto, pois provoca no indutor um campo magnético de sentido contrário ao remanescente, desmagnetizando a máquina;
- As bobinas indutoras e induzido não estão ligados correctamente, isto é, a ligação está invertida. A ligação correcta consiste em ligar A com C e B com D e não A com D e B com C. nesta última situação o campo produzido no indutor seria também contrário ao remanescente.
- O magnetismo remanescente da máquina é demasiado fraco, não sendo suficiente para excitar a máquina. É necessário, por isso, reforça-lo.



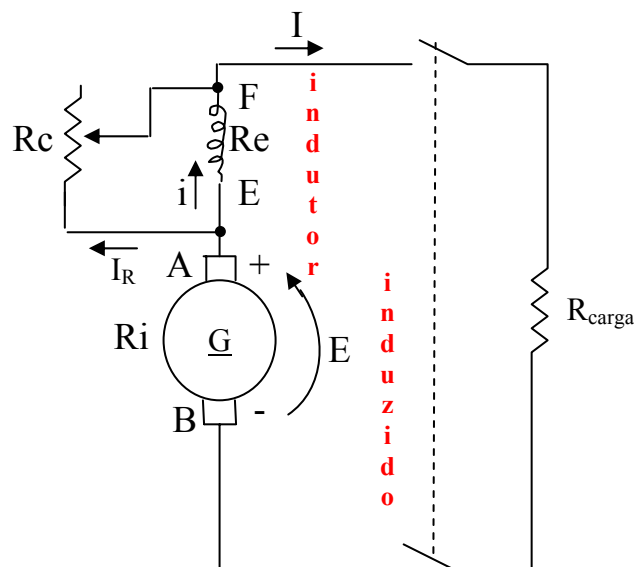
Para isso, liga-se o enrolamento indutor a uma fonte de corrente continua exterior, com a tensão e polaridades adequadas.

- A resistência de campo  $R_e$  é demasiada elevada, de tal modo que a máquina não se excita devido ao facto de a corrente indutora ser demasiada fraca no arranque. Há, pois que movimentar o cursor do reóstato de modo a aumentar a corrente indutora.

Vantagens, inconvenientes e aplicações:

- ❖ Mantém uma tensão razoavelmente constante, quando funciona na zona pouco inclinada da característica em carga (zona AB);
- ❖ Para cargas elevadas, há necessidade de ajustar a tensão, regulando a excitação tanto mais quanto maior for a corrente  $I$ ;
- ❖ Se a velocidade diminuir consideravelmente, a resistência critica pode ser ultrapassada e a máquina desexcitar-se.

### Dínamo de excitação em série



O enrolamento indutor é ligado em série com o enrolamento induzido.

Também é uma máquina que funciona a partir de um magnetismo remanescente.

Se a máquina estiver bastante tempo parada, pode desmagnetizar, se o sentido de rotação não for o adequado ou se o indutor ou o induzido forem ligados ao contrário pode não ser suficiente o magnetismo residual.

Para haver corrente indutora é necessário a resistência de carga.

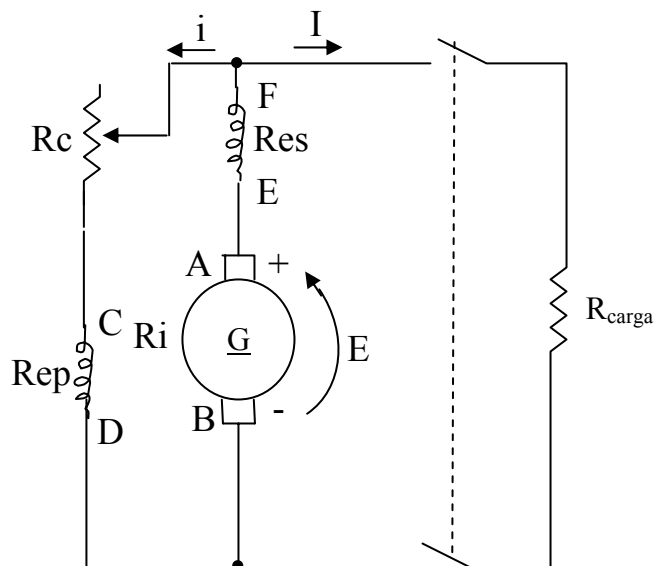
Neste tipo de dínamo a regulação da tensão é bastante instável com a variação da corrente (não é aconselhável para alimentar redes).

### Dínamo de excitação composta

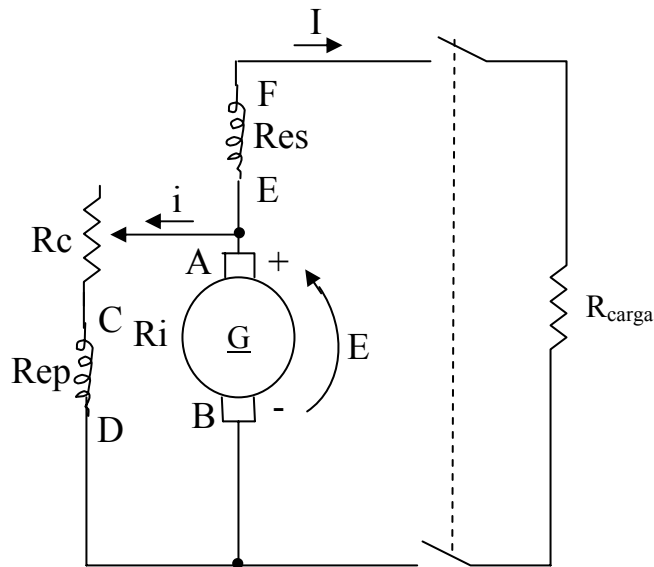
- Longa derivação diferencial
- Curta derivação adicional.

O dínamo de excitação composta é constituído por dois enrolamentos indutores: o enrolamento shunt e o enrolamento série.

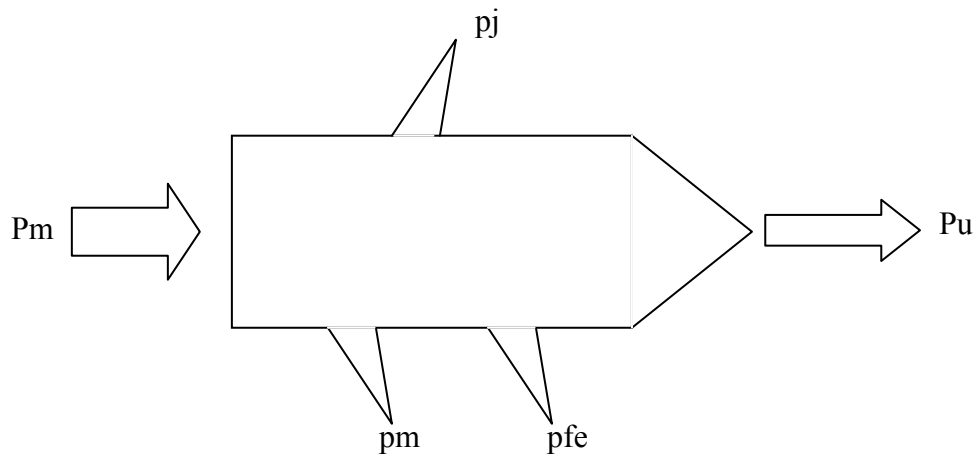
#### Dínamo de excitação composta de longa derivação diferencial



Nesta ligação o enrolamento shunt está ligado em paralelo com o conjunto: enrolamento induzido + enrolamento indutor série.

**Dínamo de excitação composta de curta derivação adicional**

Na ligação em curta derivação o enrolamento shunt está em paralelo directamente com enrolamento induzido, ficando este conjunto em série com o indutor série.

**Balço energético do dínamo**

$P_e = E \cdot I \rightarrow$  Potência eléctrica gerada;

$P_j = r_i \cdot I^2 \rightarrow$  Perdas por efeito Joule;

$P_u = U \cdot I \rightarrow$  Potência útil;

$p = P_m - P_u \rightarrow$  Perdas totais;

$\eta_e = P_u / P_e \rightarrow$  Rendimento eléctrico;

$P_m = P_u + p_j + p_{fe} + p_m \rightarrow$  Potência mecânica;

$\eta_t = P_u / P_m \rightarrow$  Rendimento total;

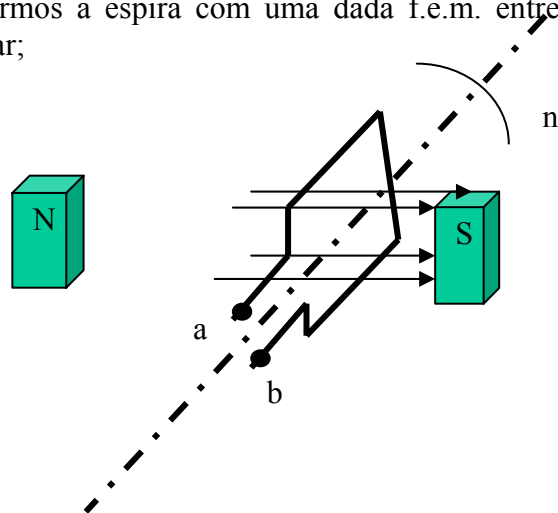
As perdas mecânicas e as perdas no ferro são perdas constantes da máquina.

## Problemas – Dínamos

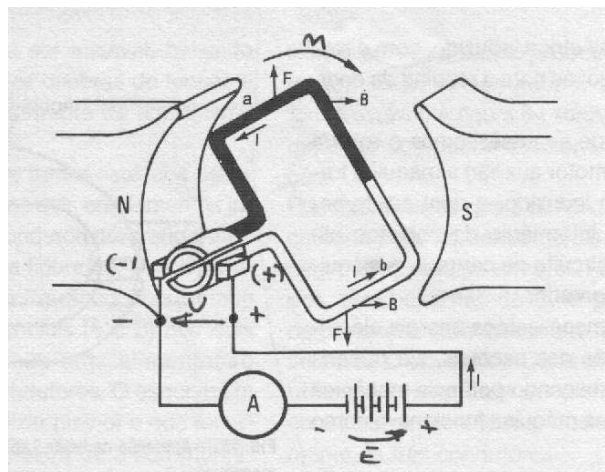
1. Um dínamo shunt, em que o induzido tem uma resistência de  $0,82\Omega$  e o indutor uma resistência de  $114\Omega$ , fornece 16 A a uma carga, sob 115V. Determine:
  - a) A corrente de excitação;
  - b) A potência de excitação;
  - c) A corrente total gerada;
  - d) A força electromotriz.
  
2. Um dínamo série fornece uma potência de 11340W, com uma corrente de 5 A, a um conjunto de lâmpadas ligadas em série. Sabendo que o induzido tem uma resistência de  $20\Omega$  e o indutor tem uma resistência de  $9\Omega$ . Em paralelo com o indutor está ligado um reóstato de campo de  $22\Omega$ . Determine:
  - a) A tensão total aplicada às lâmpadas;
  - b) As perdas por efeito de Joule no paralelo indutor + reóstato de campo;
  - c) A tensão aos terminais do induzido;
  - d) A f.e.m do dínamo;
  - e) A potência eléctrica gerada pelo dínamo;
  - f) As perdas por efeito de Joule no induzido;
  - g) O rendimento eléctrico do dínamo.
  
3. Um dínamo de excitação independente fornece a uma carga uma intensidade de 20 A, sob uma tensão de 220V. A resistência do induzido é de  $0,6\Omega$  e o rendimento total é de 82%. Determine:
  - a) O valor da resistência de carga;
  - b) O valor da f.e.m;
  - c) O valor da potência útil;
  - d) A potência eléctrica gerada;
  - e) O rendimento eléctrico;
  - f) As perdas no induzido;
  - g) A potência mecânica absorvida;
  - h) As perdas totais.

## Motor de corrente continua

**Motor:** se alimentarmos a espira com uma dada f.e.m. entre a e b, a espira começa a rodar;

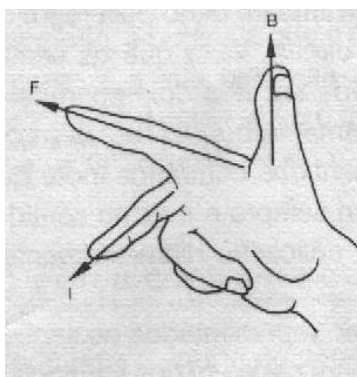


**Lei de Laplace** – se um condutor (ou espira), alimentado por uma fonte de energia, for introduzido no seio de um campo magnético, exerce-se sobre ele uma força electromagnética  $F$  que o faz deslocar com um determinado sentido;



Visto que o sentido da corrente dos dois condutores são contrários e sabe-se que o sentido da indução é sempre a mesma, mas com os pontos de aplicação opostos. Assim, estas duas forças criam um binário motor, o que faz rodar a espira, apoiada num eixo.

O sentido da força é conseguido pela **regra dos 3 dedos da mão direita**.



B – indução;

F – Força;

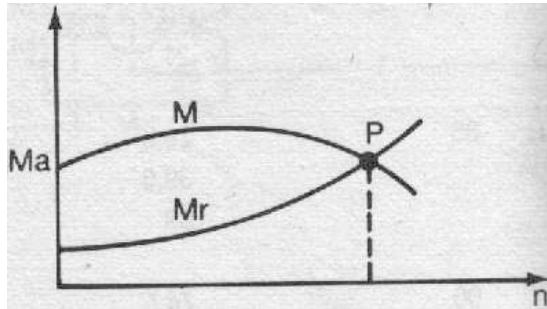
I – Corrente.

### Força contra – electromotriz ---- E'

Uma máquina de corrente contínua se encontrar a rodar como motor, os seus enrolamentos vão cortar as linhas de força do campo magnético indutor.

“ Leis da indução, variação de fluxo através das suas espiras e por tanto no caso dos motores cria uma força contra – electromotriz. “

### Binário motor e binário resistente



Ma – Binário de arranque;

M – Binário motor;

Mr – Binário resistente;

P – Ponto de funcionamento motor.

Importante fornecer ao motor o binário de arranque necessário para vencer a inércia da carga. Com efeito, se o binário de arranque for inferior ao binário resistente da carga o motor não chega a arrancar.

- Para motor arrancar é necessário  $Ma > Mr$ ;
- Para estabilizar  $M = Mr$ .

### A velocidade do motor depende:

- Tensão de alimentação do motor (U) --- a velocidade aumenta com o aumento da tensão de alimentação do motor;
- Carga do motor, a qual vai exigir que este absorva da rede uma corrente I, maior ou menor --- a velocidade diminui com o aumento do binário resistente;
- Fluxo magnético ( $\Phi$ ) produzido pelo enrolamento indutor --- a velocidade diminui com o aumento do fluxo indutor.

### Utilização do reóstato de arranque em série com induzido

- limita o valor da corrente inicial.

### Regulação do binário motor

- regular o valor do fluxo, de modo a regular o valor do binário para o valor indispensável.

Para regular a velocidade de um motor, faz-se regulando o fluxo indutor através de um reóstato de campo.

## Inverter o sentido de rotação do motor

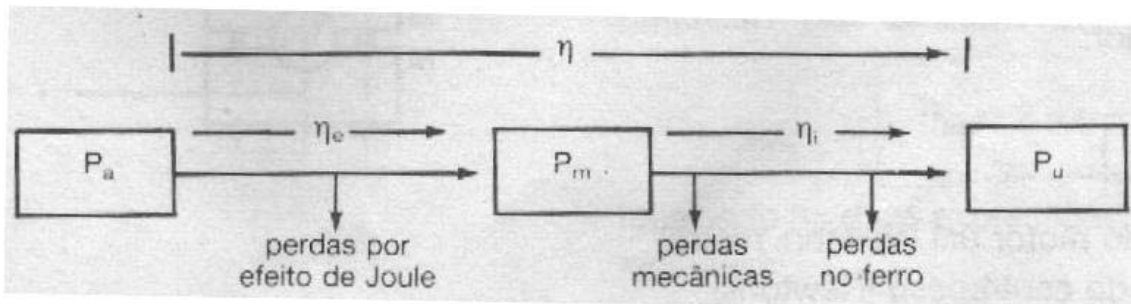
- Trocar as polaridades do induzido;
- Trocar as polaridades do indutor;

!!!! Trocando, simultaneamente, as polaridades do induzido e do indutor, o sentido de rotação do motor mantém-se o mesmo!!!!

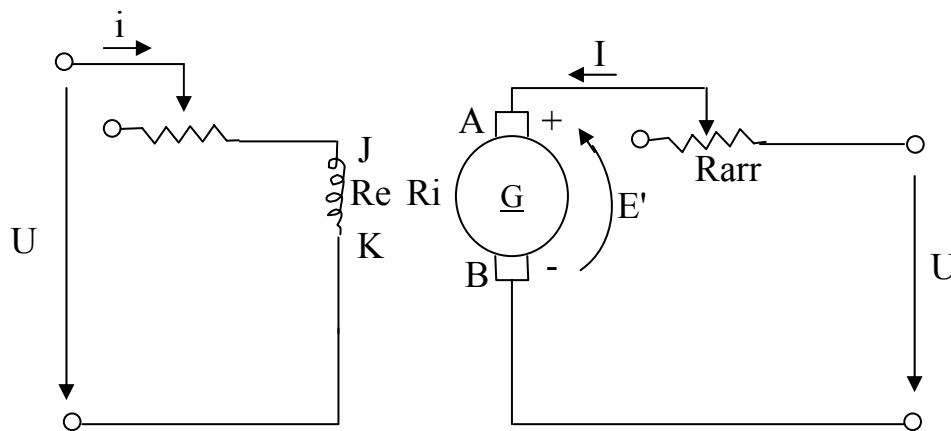
## Tipos de motores de corrente continua

- ❖ De excitação independente;
- ❖ De auto-excitação:
  - Motor série;
  - Motor shunt;
  - Motor compound.

## Balço energético



## Estudo do motor de excitação independente



$E' = K * n * \phi$  (n em rps) --- força contra electromotriz

$$E' = K * \frac{N}{60} * \phi \text{ (N em rpm)}$$

$$U = E' + \Delta U \quad ; \quad \Delta U = R_i * I \quad ; \quad U = E' + R_i * I$$

$$P_a = U * I \quad \text{--- Potência eléctrica absorvida}$$

$$P_m = E' * I \quad \text{--- Potência mecânica total transmitida ao rotor}$$

$$P_m = P_a - R_i * I^2$$

$$p_{ji} = R_i * I^2 \quad \text{--- Perdas por efeito Joule no induzido}$$

$$P_u = P_a - p_{ji} - p_{fe} - p_m \quad \text{--- Potência mecânica útil fornecida pelo motor}$$

$$\eta_e = \frac{P_m}{P_a} \quad \text{--- Rendimento eléctrico}$$

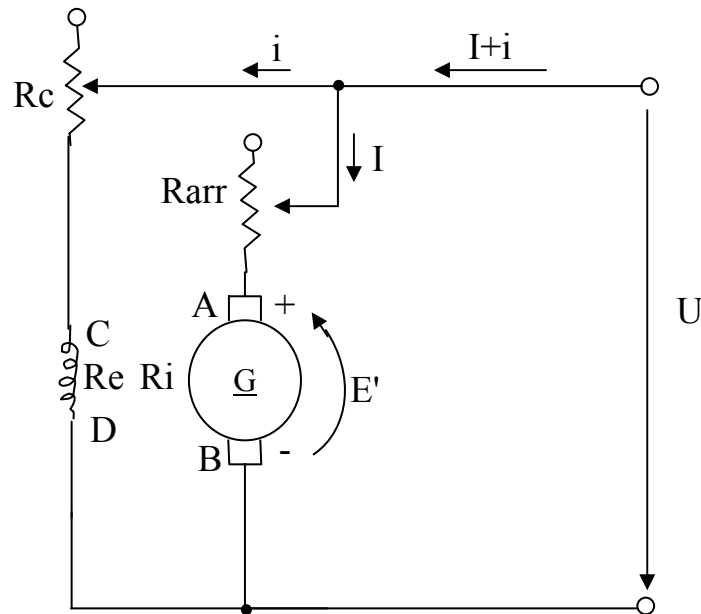
$$\eta_i = \frac{P_u}{P_m} \quad \text{--- Rendimento do induzido}$$

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad \text{--- Rendimento total do motor}$$

$$\eta = \eta_e * \eta_i$$



## Estudo do motor de excitação em derivação (Paralelo ou shunt)



$E' = K * n * \phi$  (n em rps) --- força contra electromotriz

$$E' = K * \frac{N}{60} * \phi \quad (N \text{ em rpm})$$

$$U = E' + \Delta U \quad ; \quad \Delta U = R_i * I \quad ; \quad U = E' + R_i * I$$

$P_a = U * (I + i)$  --- Potência eléctrica absorvida

$P_m = E' * I$  --- Potência mecânica total transmitida ao rotor

$$P_m = P_a - R_i * I^2$$

$p_{ji} = R_i * I^2$  --- Perdas por efeito Joule no induzido

$p_{je} = R_e * i^2$  --- Perdas por efeito Joule no indutor

$P_u = P_a - p_{ji} - p_{je} - p_{fe} - p_m$  --- Potência mecânica útil fornecida pelo motor

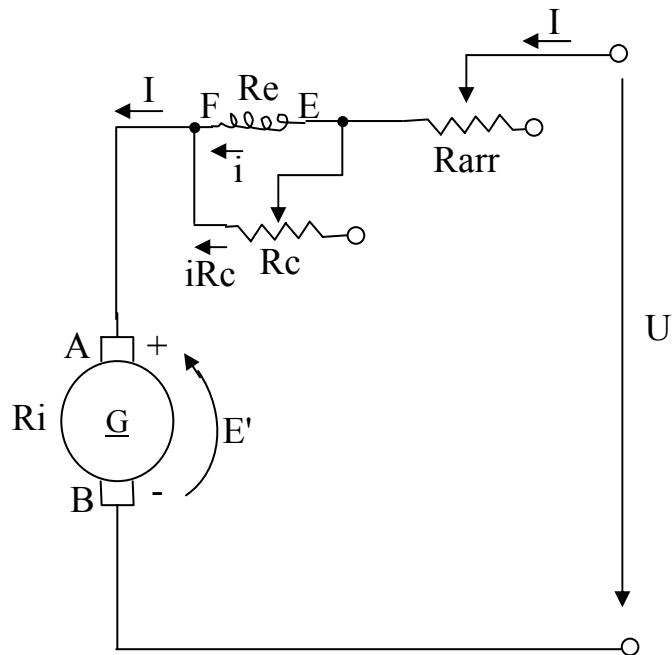
$$\eta_e = \frac{P_m}{P_a} \quad \text{--- Rendimento eléctrico}$$

$$\eta_i = \frac{P_u}{P_m} \quad \text{--- Rendimento do induzido}$$

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad \text{--- Rendimento total do motor}$$

$$\eta = \eta_e * \eta_i$$

## Estudo do motor de excitação em série



$E' = K * n * \phi$  (n em rps) --- força contra electromotriz

$E' = K * \frac{N}{60} * \phi$  (N em rpm)

$I = i + iRc$  como  $iRc \ll i \implies I \cong i$

$U = E' + \Delta U$  ;  $\Delta U = Ri * I + Re * I = (Ri + Re) * I$ ;  $U = E' + (Ri + Re) * I$

$P_a = U * I$  --- Potência eléctrica absorvida

$P_m = E' * I$  --- Potência mecânica total transmitida ao rotor

$P_m = P_a - Ri * I^2$

$p_{ji} = Ri * I^2$  --- Perdas por efeito Joule no induzido

$p_{je} = Re * i^2$  --- Perdas por efeito Joule no indutor

$P_u = P_a - p_{ji} - p_{je} - p_{fe} - p_m$  --- Potência mecânica útil fornecida pelo motor

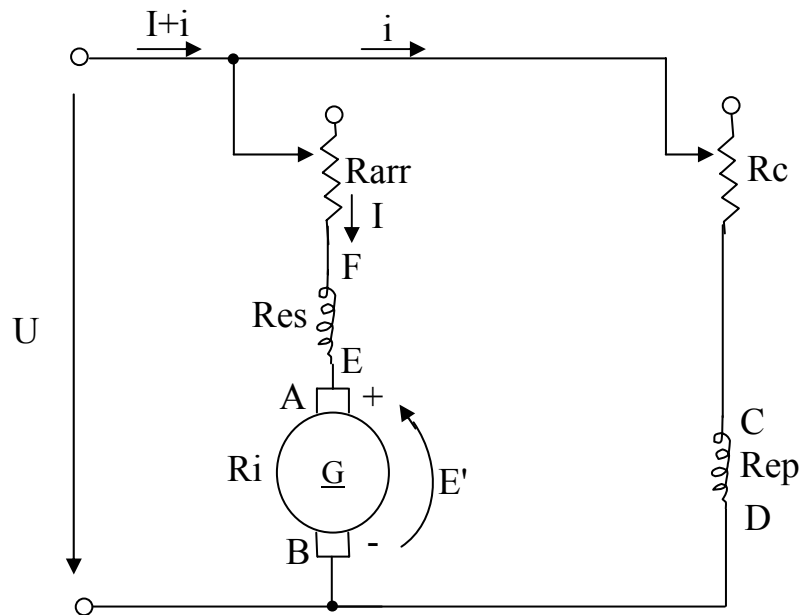
$\eta_e = \frac{P_m}{P_a}$  --- Rendimento eléctrico

$\eta_i = \frac{P_u}{P_m}$  --- Rendimento do induzido

$\eta = \frac{P_u}{P_a}$  --- Rendimento total do motor

$\eta = \eta_e * \eta_i$

## Estudo do motor de excitação em composta diferencial



$E' = K * n * \phi$  (n em rps) --- força contra electromotriz

$E' = K * \frac{N}{60} * \phi$  (N em rpm)

$U = E' + \Delta U$  ;  $\Delta U = (R_i + R_{es}) * I$  ;  $U = E' + (R_i + R_{es}) * I$

$P_a = U * (I + i)$  --- Potência eléctrica absorvida

$P_m = E' * I$  --- Potência mecânica total transmitida ao rotor

$P_m = P_a - R_i * I^2$

$p_{ji} = R_i * I^2$  --- Perdas por efeito Joule no induzido

$p_{jes} = R_{es} * I^2$  --- Perdas por efeito Joule no indutor do enrolamento série

$p_{jep} = R_{ep} * i^2$  --- Perdas por efeito Joule no indutor do enrolamento paralelo

$P_u = P_a - p_{ji} - p_{jes} - p_{jep} - p_{fe} - p_m$  --- Potência mecânica útil fornecida pelo motor

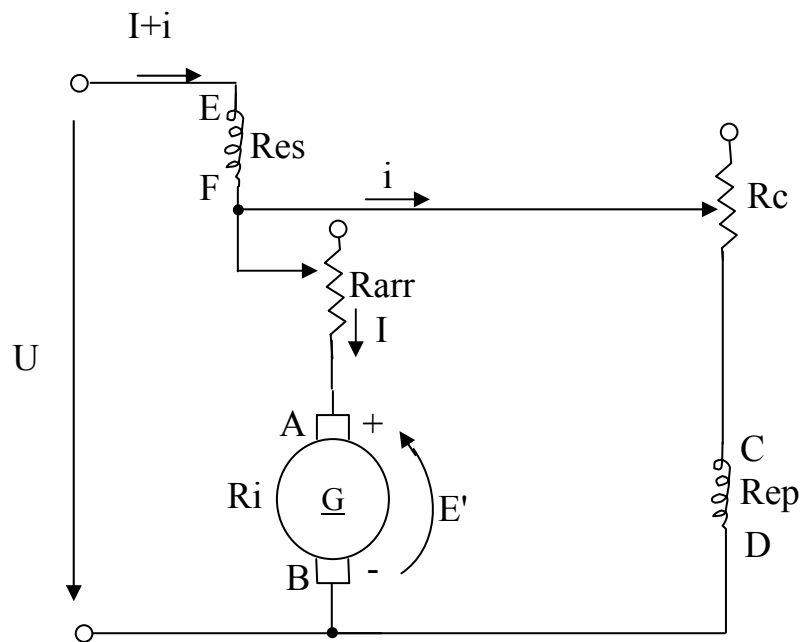
$\eta_e = \frac{P_m}{P_a}$  --- Rendimento eléctrico

$\eta_i = \frac{P_u}{P_m}$  --- Rendimento do induzido

$\eta = \frac{P_u}{P_a}$  --- Rendimento total do motor

$\eta = \eta_e * \eta_i$

## Estudo do motor de excitação em composta adicional



$E' = K * n * \phi$  (n em rps) --- força contra electromotriz

$E' = K * \frac{N}{60} * \phi$  (N em rpm)

$U = E' + \Delta U$  ;  $\Delta U = Res * (I + i) + Ri * I$  ;  $U = E' + Res * (I + i) + Ri * I$

$P_a = U * (I + i)$  --- Potência eléctrica absorvida

$P_m = E' * I$  --- Potência mecânica total transmitida ao rotor

$P_m = P_a - Ri * I^2$

$p_{ji} = Ri * I^2$  --- Perdas por efeito Joule no induzido

$p_{jes} = Res * (I + i)^2$  --- Perdas por efeito Joule no indutor do enrolamento série

$p_{jep} = Rep * i^2$  --- Perdas por efeito Joule no indutor do enrolamento paralelo

$P_u = P_a - p_{ji} - p_{jes} - p_{jep} - p_{fe} - p_m$  --- Potência mecânica útil fornecida pelo motor

$\eta_e = \frac{P_m}{P_a}$  --- Rendimento eléctrico

$\eta_i = \frac{P_u}{P_m}$  --- Rendimento do induzido

$\eta = \frac{P_u}{P_a}$  --- Rendimento total do motor

$\eta = \eta_e * \eta_i$

## Quadro comparativo de motores de corrente continua

Tipo	Binário de arranque	Velocidade	Utilização
Excitação separada	Fraco	Constante	Rodar
Série	Elevado	Variável (embala em vazio)	Aparelhos elevatórios Tracção mecânica
Shunt	Fraco	Constante	Máquinas ferramentas
Compound Adicional	Elevado	Pouco variável	Aparelhos elevatórios
compound diferencial	Fraco	Constante	Máquinas ferramentas Máquinas de tecidos

## Avárias típicas de um motor de Corrente Continua

Qualquer máquina de corrente contínua quando em funcionamento permanente ou não, fica sujeita a que surjam algumas avárias. Estes defeitos de funcionamento podem ser agrupados do seguinte modo:

- ❖ Produção de faíscas entre o colectore e as escovas.
- ❖ Aquecimento anormal dos órgãos dum motor.
- ❖ O motor não arranca.
- ❖ Funcionamento ruidoso.

### Produção de faíscas entre o colectore e as escovas

As escovas podem estar em má posição ou o contacto com o colectore pode ser defeituoso; a sua qualidade pode ser má ou a montagem no porta escovas pode não ser a mais correcta, podendo também ser um problema da mola que pressionar a escova contra o colectore. Como o colectore necessita de um ajuste perfeito com as escovas, se existir neste um mau estado de conservação, por exemplo sujo e com irregularidades ou com micras salientes. Para além disto uma outra situação que pode influenciar as faíscas é o caso das bobinas indutoras se encontrarem em curto-circuito, também pode acontecer que as bobinas dos pólos auxiliares estejam com defeito na ligação, portanto mal ligados ou em curto-circuito. O curto-circuito no indutor e a inadequada ligação das bobinas do induzido às lâminas do colectore podem também provocar faíscas. Se houver falta de isolamento entre as lâminas do colectore pode-se provocar um curto-circuito que mais uma vez pode ser a causa das ditas faíscas que surgem no colectore. A sobrecarga e a velocidade excessiva também influenciam o aparecimento deste fenómeno.

## **Aquecimento anormal dos órgãos dum motor**

### **Aquecimento do induzido**

Este aquecimento pode ser provocado pela sobrecarga ou pelo curto circuito, sendo também de considerar as perdas exageradas por histeress e pelas correntes " parasitas" ou correntes de Foucoul ou ainda defeitos de fabrico. Como a máquina quando está em funcionamento é considerada um todo, se houver aquecimento de outros órgãos da máquina este aquece, como consequência. O defeito de isolamento em relação à carcaça devido à humidade ou o curto circuito entre espiras ou entre as extremidades das espiras provoca uma redução brusca da resistência do circuito fazendo elevar a temperatura do mesmo.

### **Aquecimento do indutor**

A corrente de excitação que passa nas bobinas indutoras quando excessivas provoca um aquecimento. Devido a este aquecimento quando a temperatura começa a ser preocupante pode provocar quebras no isolamento ( derretendo o verniz que isola espiras entre elas ) provocando um curto-circuito.

### **Aquecimento do colector**

O aquecimento do colector pode ser provocado pela pressão exagerada das escovas ou pela defeituosa colocação das mesmas em relação ao colector ou um mau dimensionamento das escovas para o colector em questão. A sobrecarga e o mau isolamento entre as lâminas do colector devido à sujidade também são factores que influenciam o aumento de temperatura.

### **Aquecimento dos apoios**

Se a máquina tiver em funcionamento e lubrificação não for efectuada regularmente e de uma forma eficaz, ou por qualquer motivo o óleo que se destinava à lubrificação estiver em falta ou ainda se estiver em mau estado ou impróprio, ou também é possível que os anéis de lubrificação estejam em mau funcionamento ou defeituosos, assim a máquina começa a girar comprimindo "ferro com ferro" provocando um aquecimento. Se o sistema a que o motor está ligada não for adequado para as suas características este fica sujeito a uma tensão excessiva tendo também como consequência um aquecimento exagerado.

### **Motor não arranca**

Caso o motor não arranque deve-se verificar se existe falta de tensão e se o circuito eléctrico até ao motor se encontra em pleno estado de conservação e de funcionamento. No entanto, deve-se verificar se o reóstato de arranque está em perfeito estado de funcionamento e senão possui nenhuma inrterupção no seu circuito eléctrico, podendo também existir erros de ligação do reóstato. Um outro motivo pelo qual o motor pode não arrancar deve-se à interrupção ou curto-circuito nos enrolamentos indutores ou à má posição das escovas. No caso de existir um defeituoso isolamento do motor este poderá também não funcionar.

## Funcionamento ruidoso

O funcionamento ruidoso do motor pode dever-se a um curto-circuito ou à falta de carga que poderá levar o motor a atingir velocidades muito elevadas. A sobrecarga, o mau estado do colectore e das escovas, o choque do induzido contra as peças polares, o induzido desequilibrado, defeitos nos apoios do veio, parafusos desapertados, rolamentos mal lubrificados e defeitos no acoplamento da correia de transmissão são factores que farão certamente com que o motor funcione de uma forma ruidosa.

## Manutenção

1º Caso o motor não funcione, verificar o estado energético da bateria.

2ª Evitar um funcionamento prolongado, a fim de evitar um aquecimento nas bobinas que pode provocar um curto circuito devido ao verniz que serve como isolante entre espiras derreter com o calor.

3ª A lubrificação dos rolamentos e chumaceiras, bem como, a do bendix deve ser constante e adequada evitando assim o aquecimento destas peças.

4º A limpeza e a verificação do estado do colectore também se deve fazer pelo menos uma vez por ano.

5ª A inspecção das escovas, bem como, as das molas dos porta escovas deve ser feita cuidadosamente a fim de manter estas em óptimo estado

6ª Devem-se manter todas as peças do motor bem limpas, evitando a acumulação de pó que juntamente com a humidade poderia provocar um possível curto circuito.

---

### Observações

Todo o material isolante exterior é em alumínio tendo como grande vantagem a dissipação do calor. Todas as peças são substituíveis, o que quando realizada uma manutenção planeada e eficaz poderá prolongar em muitos anos a vida deste motor.

## Problemas – Motores corrente continua

1. O induzido de um motor shunt absorve, a plena carga uma corrente de 12.2 A, sob 220V, sabe-se ainda que a resistência do induzido mede 1 $\Omega$ . Determine o valor do reóstato de arranque de modo que a corrente de arranque não ultrapasse 1.5 vezes a corrente nominal.
  
2. Um motor série roda a 1450rpm, absorve uma corrente de 10 A, sob 220V. A resistência do induzido é de 0.9 $\Omega$ , a do indutor é de 1.1 $\Omega$ . Determine:
  - a) A força contra electromotriz;
  - b) O binário total produzido;
  - c) A nova velocidade do motor, se o alimentar a 110V, admitindo que a corrente e portanto o binário matem os mesmos valores.
  
3. Um motor de excitação independente temos os seguintes valores na sua chapa de características : P=1550W; U=115V; I=16 A; n=2000rpm.
  - a) A f.c.e.m;
  - b) Potência mecânica total produzida;
  - c) Binário motor total;
  - d) O rendimento total do motor, se as perdas no induzido forem de 100W.



## **Bibliografia**

José Roldán, **Manual de Automação por Contactores**, Plátano Edições Técnicas

Francisco Sacristán, **M. Manutenção M. Eq. Eléctricos**, Plátano Edições Técnicas, 1997

José Rodrigues, José Matias, **Transformadores**, Didáctica Editora, 1992

Tory Doll, **Máquinas Eléctricas Corrente Alternada**, Almedina, 1985

José Matias, Ludgero Leote, **Automatismos Industriais**, Didáctica Editora, 1993

José Matias, **Máquinas Eléctricas Corrente Alternada**, Didáctica Editora, 1994

José Matias, **Máquinas Eléctricas Corrente Continua**, Didáctica Editora, 1990

# Anexos

