

## MÁQUINAS DE CORRENTE CONTÍNUA

### Geradores e motores

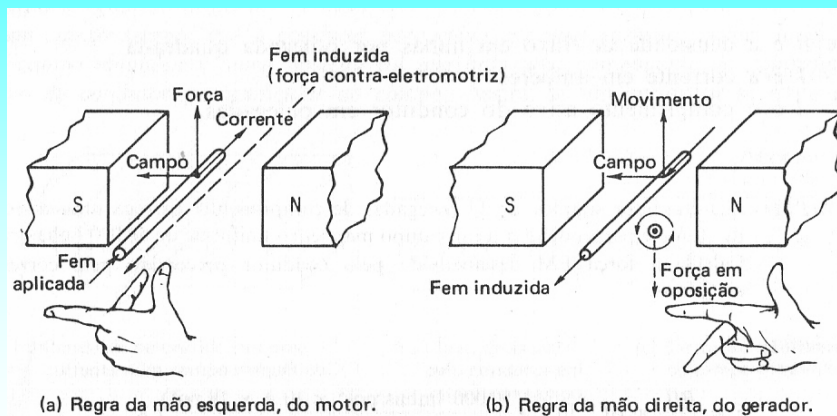
A máquina é um motor quando transforma **energia elétrica** em **energia mecânica**. Quando transforma energia mecânica em energia elétrica, ela é um **gerador**.

Do ponto de vista da construção, motores e geradores de CC são iguais. Assim, um motor de CC pode funcionar como gerador de CC e vice-versa.

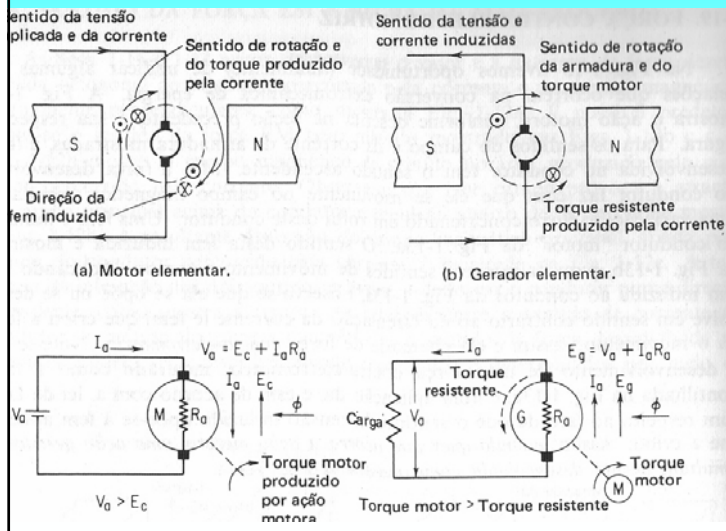
### Construção

As máquinas de CC são compostas basicamente por duas partes: o **estator** e o **rotor**.

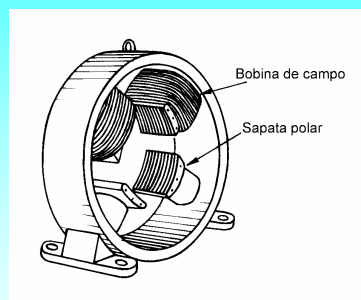
### Sentido da Força EM e a regra da mão esquerda



### Comparação entre ação motora e ação geradora



O **estator** (ou **carcaça**) é a parte fixa da máquina. Nele se alojam as bobinas de campo cuja finalidade é conduzir o fluxo magnético.



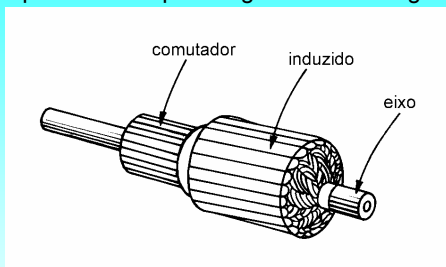
O estator é formado por:

**Pólos de excitação** (ou sapatas polares) - constituídas por condutores enrolados sobre o núcleo de chapas de aço laminadas;

**Pólos de comutação** - têm a função de evitar o deslocamento da linha neutra em carga e reduzir a possibilidade de centelhamento. Localizam-se na região interpolar e por eles passa a corrente da armadura (rotor);

**Conjunto porta-escova** - aloja as escovas feitas de material condutor e que têm a função de realizar a ligação elétrica entre a armadura e o exterior.

O **rotor** é a parte móvel que abriga as bobinas ligadas ao comutador.



É formado pelas seguintes partes:

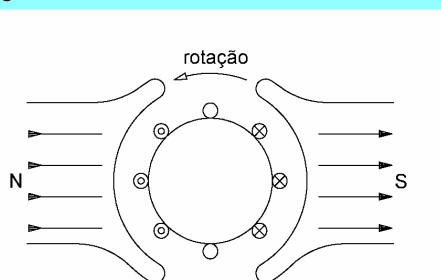
**Induzido** (ou armadura) - fica dentro do estator. O mais usado é o do tipo tambor. É constituída por chapas de aço laminadas em cujas ranhuras se acomoda o enrolamento;

**Comutador** - constituído por lâminas de cobre isoladas uma das outras por lâminas de mica; sua função é transferir a energia do enrolamento da armadura para o exterior;

**Eixo** - é o elemento que transmite a potência mecânica desenvolvida pela máquina.

### Gerador de CC - princípio de funcionamento

O funcionamento do gerador de CC baseia-se no princípio da indução eletromagnética, ou seja, quando um condutor elétrico é submetido a um campo magnético, surge no condutor uma **tensão reduzida**.



Além disso, a magnitude dessa tensão induzida é diretamente proporcional à **intensidade** do fluxo magnético e à **razão** de sua variação.

O gerador de CC funciona segundo esses dois princípios. Assim, ao ser girado com velocidade ( $n$ ), o induzido (rotor) faz os condutores cortarem as linhas de força magnética que formam o campo de excitação do gerador CC.

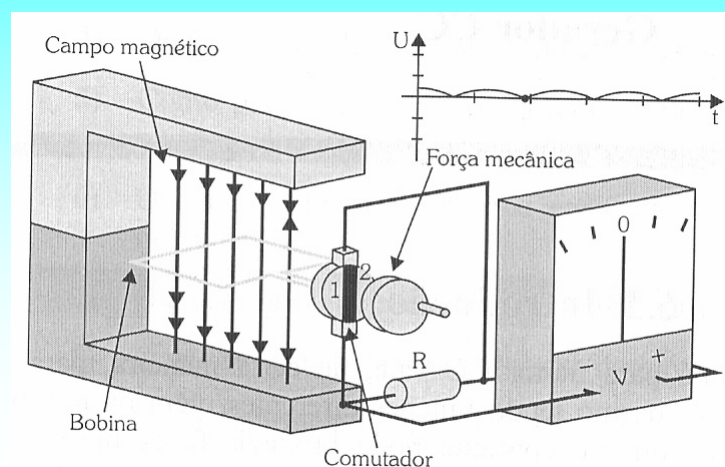
Nos condutores da armadura aparece, então, uma força eletromotriz induzida. Essa força depende da velocidade de rotação ( $n$ ) e do número de linhas magnéticas que tais condutores irão cortar, ou do fluxo magnético ( $\Phi$ ) por pólo do gerador.

Representando a tensão induzida por  $E\Phi$  ou tensão gerada  $E_g$  (quando o gerador está em vazio), conclui-se:

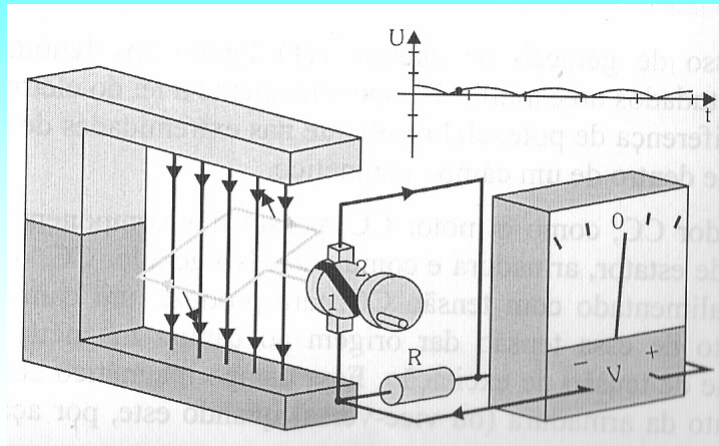
$$E\Phi(E_g) = k \cdot n \cdot \Phi$$

Onde:  $k$  é uma constante que depende das características construtivas da máquina,  
 $n$  é a velocidade de rotação,  
 $\Phi$  é o fluxo magnético.

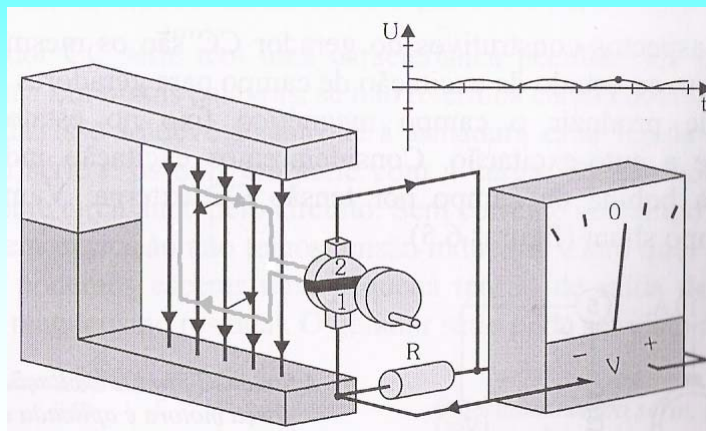
### Primeiro estágio



### Segundo estágio



### Terceiro estágio



### Classificação dos geradores de CC

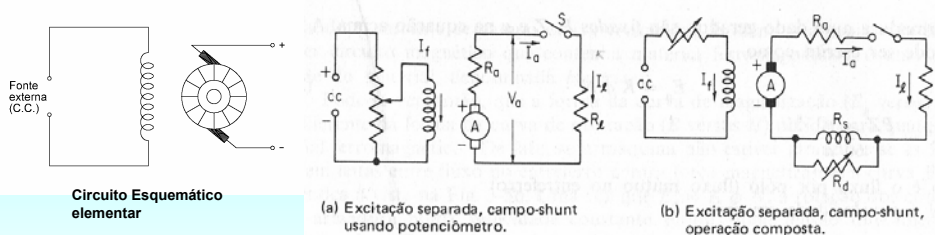
Os geradores de CC são classificados de acordo com o tipo de ligação (excitação) para a alimentação de suas bobinas de campo.

Assim, temos:

**Geradores de CC com excitação independente** - quando a corrente de alimentação vem de uma fonte externa;

**Geradores com auto-excitação** - quando a corrente de excitação vem do próprio gerador.

No **gerador de CC com excitação independente**, as bobinas de campo são construídas com várias espiras de fio relativamente fino. Essas espiras são **alimentadas** (excitadas) por uma fonte externa, como mostra a representação esquemática a seguir.



Quando esse gerador começa a funcionar, mesmo sem excitação, aparece uma força eletromotriz (fem) de pequeno valor devido ao magnetismo remanente. Durante a excitação gradativa do gerador, ocorre também um aumento gradativo do fluxo magnético. Conseqüentemente, a tensão gerada eleva-se de modo gradual. Isso ocorre até que haja a saturação magnética. Quando isso acontece, o acréscimo da corrente excitadora não aumenta mais o fluxo magnético.

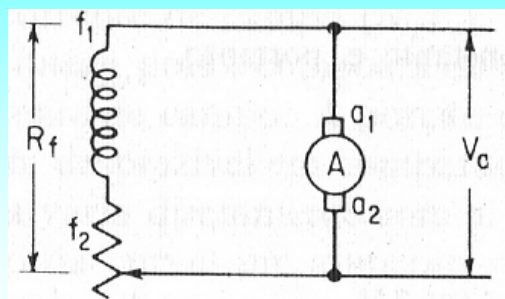
Quando o gerador é posto em carga, a tensão por ele fornecida diminui. Isto se deve a três fatores:

- Resistência do enrolamento do induzido;
- Resistência de contato nas escovas;
- Diminuição do fluxo indutor pela reação do induzido.

Nesses tipos de geradores, para que a tensão se mantenha constante, para cada aumento de carga deve haver, manual ou automaticamente, um aumento da excitação.

Um exemplo desse tipo de gerador de CC é o dínamo do automóvel.

No **gerador de CC auto-excitado**, as bobinas de campo são ligadas ao induzido. Assim, o próprio gerador se auto-alimenta.



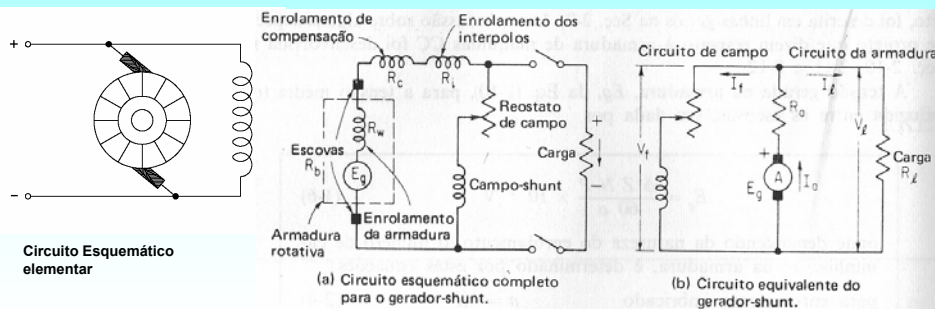
Gerador-shunt auto-excitado

**Tipos de geradores Conforme o tipo de ligação entre as bobinas de campo e o induzido:**

- Gerador de CC em série
- Gerador de CC em paralelo (shunt)
- Gerador de CC composta (misto).

No **gerador de CC em paralelo**, as bobinas de campo são ligadas em paralelo com o induzido. Elas são formadas por várias espiras de fio relativamente fino.

A corrente de excitação provem de uma pequena parcela da corrente do gerador e pode ser controlada por um reostato ligado em série com o campo magnético.



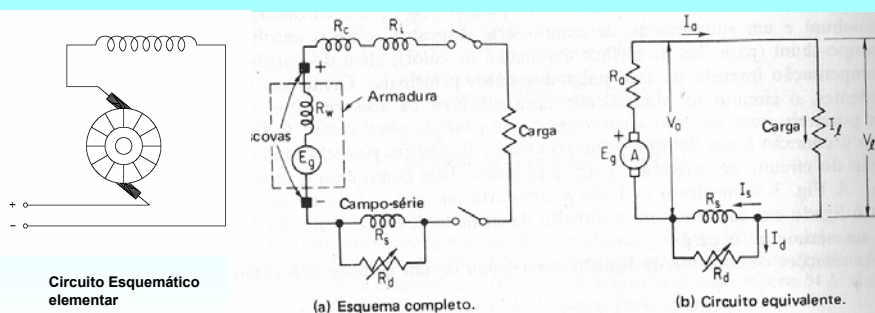


Assim que o gerador entra em funcionamento, a tensão geradora em vazio é devida ao magnetismo remanente. Essa tensão faz circular uma corrente pela bobina de excitação, o que, por sua vez, reforça o fluxo magnético e eleva a tensão gerada até o ponto de saturação do fluxo. É neste momento que a tensão se estabiliza.

A corrente do gerador deve alimentar tanto a carga como a bobina de campo, pois ambas estão em paralelo. Assim, a tensão gerada diminui com o aumento de carga.

A cada aumento de carga há uma diminuição na excitação e, conseqüentemente, uma queda na tensão. Se ocorrer um curto, ocorre também uma elevação instantânea da corrente. Em seguida, o gerador deixa de gerar energia, pois a tensão nos terminais será nula, não havendo, portanto, excitação.

No **gerador de CC em série**, as bobinas de campo são constituídas por poucas espiras de fio relativamente grosso, ou seja, com bitola suficiente para suportar a corrente de armadura. As espiras são ligadas em série com o induzido como mostra a figura a seguir.



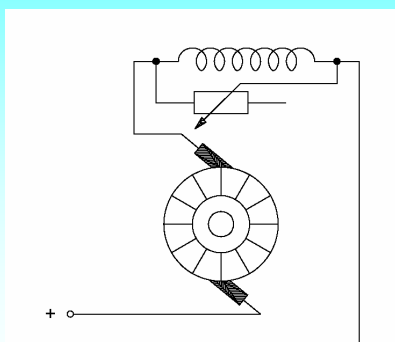
É preciso notar que neste gerador a **corrente de carga** é a própria **corrente de excitação**. No trabalho em vazio a fem é gerada apenas pelo magnetismo residual das sapatas polares.

Ao acrescentar carga ao gerador, uma corrente circula pela carga e pela bobina de excitação, fazendo com que aumente o fluxo indutor e, por conseguinte, a tensão gerada.

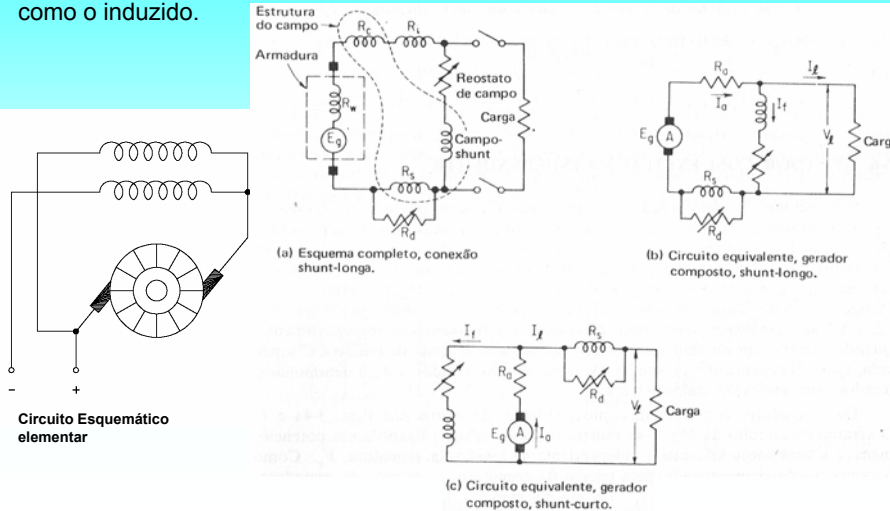
Ao elevar-se a tensão, a corrente aumenta e, conseqüentemente, aumenta também o fluxo indutor. Isso se repete até que se verifique a saturação magnética, quando a tensão se estabiliza.

#### Observações:

Antes da saturação magnética, a tensão pode alcançar valores perigosos. Para evitar que a tensão se eleve, quando se acrescenta uma carga ao circuito, coloca-se um reostato em paralelo com a excitação.



No gerador de CC composto, a excitação é efetuada por dois enrolamentos. Um deles é constituído por poucas espiras de fio grosso ligadas em série com o induzido. O outro é formado por várias espiras de fio fino ligadas em paralelo como o induzido.



Neste gerador, a tensão mantém-se constante, tanto em carga como em vazio, já que ele reúne as características dos geradores em série e em paralelo.

A tensão gerada é controlada através de reostato em série com a bobina de campo em paralelo e de reostato em paralelo com a bobina de campo em série.

### Características de tensão a vazio dos geradores CC

$$E_g = k \cdot n \cdot \Phi$$

$$K = (P \cdot Z \times 10^{-8}) / 60 \cdot a$$

P= n° polos

Z= n° total condutores da armadura

a= n° caminhos

### Variação da tensão gerada com variação da velocidade

$$E_{\text{final}} / E_{\text{orig}} = N_{\text{final}} / N_{\text{orig}}$$

$$E_{\text{final}} = E_{\text{orig}} \cdot (N_{\text{final}} / N_{\text{orig}})$$

### Regulação de tensão de um gerador

A relação entre as tensões em vazio e em carga de qualquer tipo de gerador é denominada de **tensão de regulação** e é dada em porcentagem pela seguinte fórmula:

$$VR = ((V_{NL} - V_{FL}) / V_{FL}) \cdot 100$$

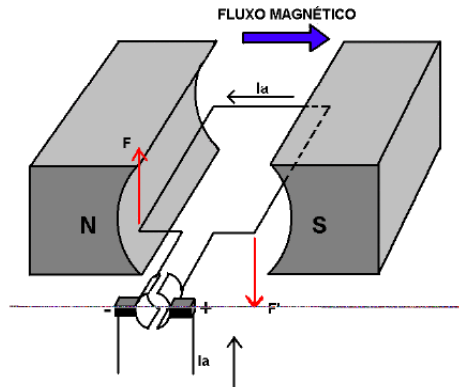
VR= Regulação de tensão percentual

VNL= tensão terminal (nominal) sem carga

VFL= tensão terminal a plena carga

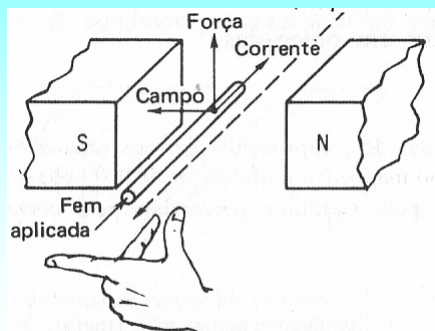
### MOTOR CC

O funcionamento do motor CC baseia-se nas forças resultantes da interação entre o campo magnético e a corrente que circula na armadura. Tais forças tendem a mover o condutor num sentido perpendicular ao plano da corrente elétrica e do campo magnético (regra da mão esquerda).

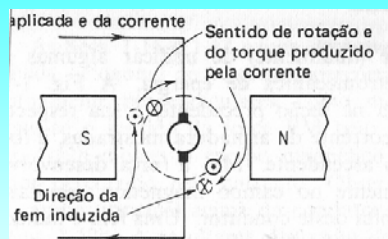


A figura mostra o sentido das forças que agem em uma espira. Sob a ação das forças a espira irá se movimentar até seu plano se tornar perpendicular ao campo magnético, onde as forças se anulam. Neste instante é necessária a inversão da corrente na espira para que o movimento de rotação continue. Esta é a função do comutador, que permite a circulação de corrente alternada no rotor a partir de uma fonte de corrente contínua.

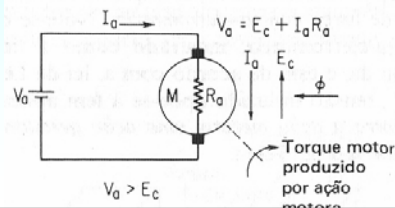
### Ação Motora – Regra da mão esquerda



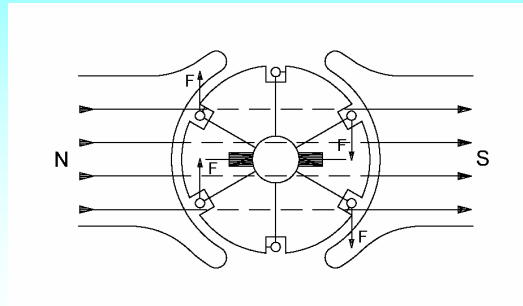
(a) Regra da mão esquerda, do motor.



(a) Motor elementar.



Para a obtenção de um conjugado constante ao longo de uma revolução completa da armadura do rotor, as espiras colocadas nas ranhuras da armadura devem estar defasadas entre si e interligadas ao circuito externo através do coletor e escova.



Os condutores da armadura , quando se movimentam, produzem tensões induzidas (**força contra-eletromotriz - fcem**) que se opõem à tensão aplicada.

A força contra-eletromotriz é proporcional à velocidade de rotação do rotor e ao fluxo magnético.

$$E = n \times \phi \times C_E$$

E → fcem

n → rotação

C<sub>E</sub> → constante

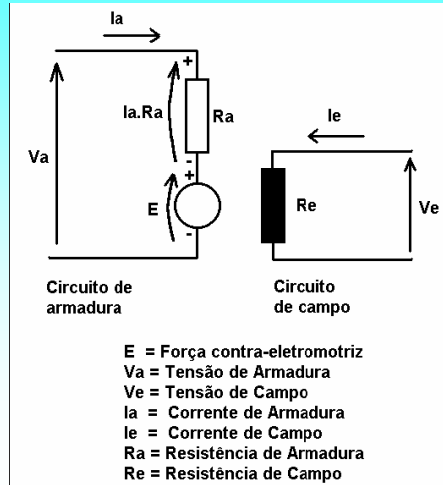
$$C = C_M \times \phi \times I_A$$

C → Conjugado motor

C<sub>M</sub> → Constante

I<sub>A</sub> → Corrente de armadura

**CIRCUITO ELÉTRICO EQUIVALENTE DE UM MOTOR CC**



$$V_a = E + I_a \times R_a$$

**Como:**

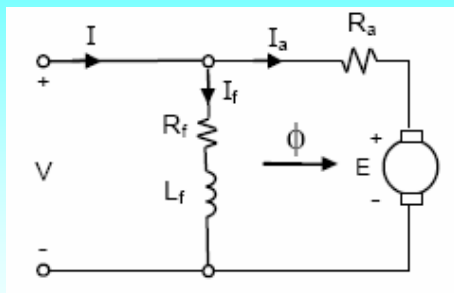
$$E = n \times \phi \times C_E$$

**Então:**

$$n = \frac{V_a - I_a \times R_a}{C_E \times \phi}$$

**TIPOS DE EXITAÇÃO DO MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA**

**EXCITAÇÃO PARALELO (SHUNT)**



O enrolamento de campo está em paralelo com a armadura e estão ligados à alimentação. Pode-se inserir um reostato em série com o enrolamento de campo, para diminuir o fluxo gerado e aumentar a velocidade, mas deve-se ter cuidado de não eliminar o campo totalmente.

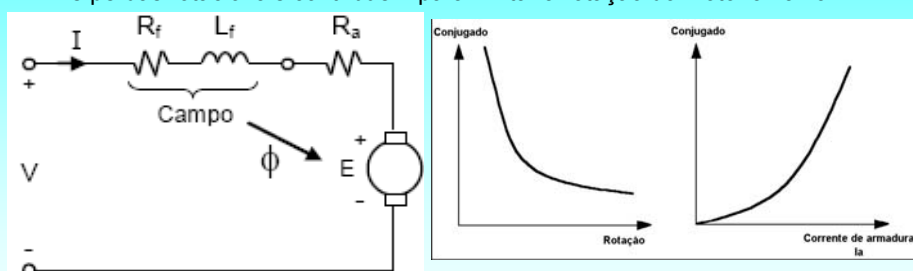
Este motor sofre pouca variação de velocidade com o aumento de carga.

Mantendo o campo shunt, a FCEM induzida na armadura impede que o motor atinja velocidades perigosas sem carga e este é o grande atrativo desse tipo de ligação.

Se reduzirmos, através de um reostato, a tensão no enrolamento shunt, teremos aumento na velocidade, mais isso é extremamente perigoso. Deve-se tomar o cuidado de nunca abrimos o shunt, sob o risco de o motor atingir velocidade muito alta, impondo riscos desnecessários às pessoas.

### EXCITAÇÃO SÉRIE

O motor série tende a ter um conjugado extremamente elevado em baixas rotações e uma velocidade bastante elevada quando o motor é descarregado. As perdas rotacionais contribuem para limitar a rotação do motor à vazio.

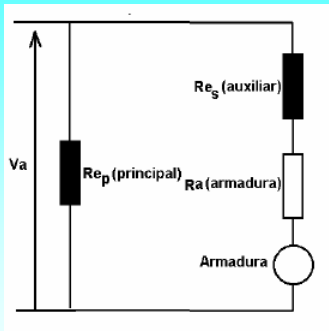


É recomendado que o motor CC série parta com carga, pois com o torque elevado na partida, sem carga, eles tendem a atingir velocidades que podem resultar na destruição do motor.

O motor CC série é excelente em aplicações em que há uma alta carga de inércia, como trens e aplicações com forte tração.



### EXCITAÇÃO COMPOSTA



Buscando eliminar o risco de elevadas rotações com baixas correntes de carga, apresentado pelo motor com excitação série, foi desenvolvido o motor com excitação composta.

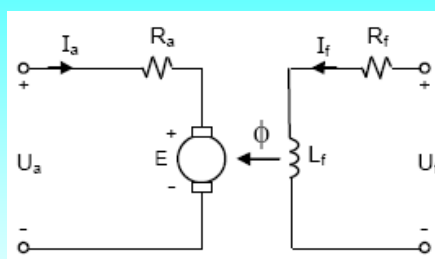
No motor com excitação composta, o campo é constituído por dois enrolamentos, um série (auxiliar) e outro paralelo (principal).

Na maioria das aplicações, os dois enrolamentos são ligados de forma que seus respectivos fluxos magnéticos se adicionem.

Este tipo de excitação é ideal para acionamentos com variações bruscas de carga, e permitem um comportamento mais estável da máquina.

Esse motor pode disparar quando a corrente de armadura aumenta com o aumento de carga e o campo no enrolamento série também aumenta.

### EXCITAÇÃO INDEPENDENTE



Motor excitado externamente pelo circuito de campo

- Velocidade praticamente constante
- Velocidade ajustável por variação da tensão de armadura e também por enfraquecimento de campo.

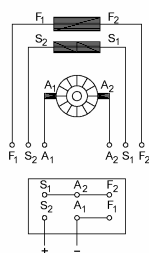
No controle de velocidade pela **tensão de armadura**, quando a corrente de armadura é mantida constante, o conjugado motor também é constante e a potência é proporcional à rotação.

No controle de velocidade pela **corrente de campo**, se a corrente de armadura for mantida constante, o conjugado motor é proporcional à rotação e a potência é constante.

### Identificação dos terminais das máquinas de CC

Elemento	Norma	
	DIN	ASA
Armadura ou induzido	A.B.	A1 A2
Campo de derivação	C.D.	F1 F2
Campo em série	E.F.	S1 S2

Veja agora um exemplo da placa de máquina de CC conectada para funcionar como motor misto de acordo com a norma ASA



### Vantagens e desvantagens dos acionamentos em corrente contínua

#### Vantagens

- Ciclo contínuo mesmo em baixas rotações
- Alto torque na partida e em baixas rotações
- Ampla variação de velocidade
- Facilidade em controlar a velocidade
- Confiabilidade
- Flexibilidade (vários tipos de excitação)

#### Desvantagens

- Os motores de corrente contínua são maiores e mais caros que os motores de indução, para uma mesma potência
- Maior necessidade de manutenção (devido aos comutadores)
- Arcos e faíscas devido à comutação de corrente por elemento mecânico (não pode ser aplicado em ambientes perigosos).
- Necessidade de medidas especiais de partida, mesmo em máquinas pequenas.

## MOTORES CA - MONOFÁSICOS

Os motores monofásicos possuem apenas um conjunto de bobinas e sua alimentação é feita por uma única fase de CA. Dessa forma, eles absorvem energia elétrica de uma rede monofásica e transformam-na em energia mecânica.

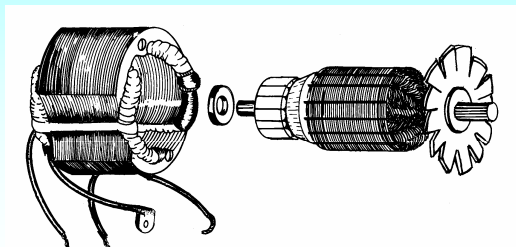
Os motores monofásicos são empregados para cargas que necessitam de motores de pequena potência como, por exemplo, motores para ventiladores, geladeiras, furadeiras portáteis.

## TIPOS DE MOTORES MONOFÁSICOS

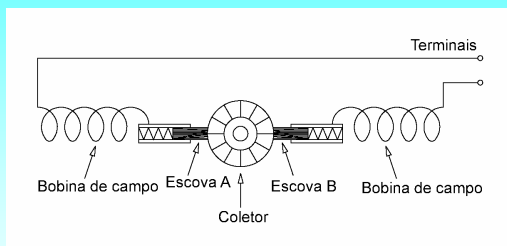
De acordo com o funcionamento, os motores monofásicos podem ser classificados em dois tipos: **universal** e **de indução**.

### Motor universal

Os motores do tipo universal podem funcionar tanto em CC como em CA; daí a origem de seu nome.



O motor universal é o único motor monofásico cujas bobinas do estator são ligadas eletricamente ao rotor por meio de dois contatos deslizantes (escovas). Esses dois contatos, por sua vez, ligam em série o estator e o rotor.



É possível inverter o sentido do movimento de rotação desse tipo de motor, invertendo apenas as ligações das escovas, ou seja, a bobina ligada à escova A deverá ser ligada à escova B e vice-versa.

#### Funcionamento

A construção e o princípio de funcionamento do motor universal são iguais ao do motor em série de CC.

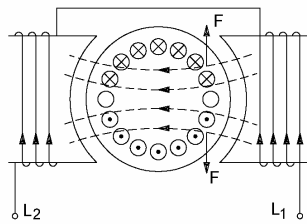
Quando o motor universal é alimentado por corrente alternada, a variação do sentido da corrente provoca variação no campo, tanto do rotor quanto do estator. Dessa forma, o conjugado continua a girar no mesmo sentido inicial, não havendo inversão do sentido da rotação.

Os motores universais apresentam conjugado de partida elevado e tendência a disparar, mas permitem variar a velocidade quando o valor da tensão de alimentação varia. Sua potência não ultrapassa a 500W ou 0,75cv e permite velocidades de 1.500 a 15.000 rpm.

Esse tipo de motor é o motor de CA mais empregado e está presente em máquinas de costura, liquidificadores, enceradeiras e outros eletrodomésticos, e também em máquinas portáteis, como furadeiras, lixadeiras e serras.

### Motor de indução

Os motores monofásicos de indução possuem um único enrolamento no estator. Esse enrolamento, gera um campo magnético que se alterna juntamente com as alternâncias da corrente. Neste caso, o movimento provocado **não** é rotativo.

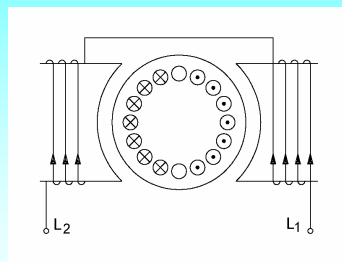


#### Funcionamento

Quando o rotor estiver parado, o campo magnético do estator, ao se expandir e se contrair, induz correntes no rotor.

O campo gerado no rotor é de polaridade oposta à do estator. Assim, a oposição dos campos exerce um conjugado nas partes superior e inferior do rotor, o que tenderia a girá-lo 180 de sua posição original. Como o conjugado é igual em ambas as direções, pois as forças são exercida pelo centro do rotor e em sentidos contrários, o rotor continua parado.

Se o rotor estiver girando, ele continuará o giro na direção inicial, já que o conjugado será ajudado pela inércia do rotor e pela indução de seu campo magnético. Como o rotor está girando, a defasagem entre os campos magnéticos do rotor e do estator não será mais de 180°.



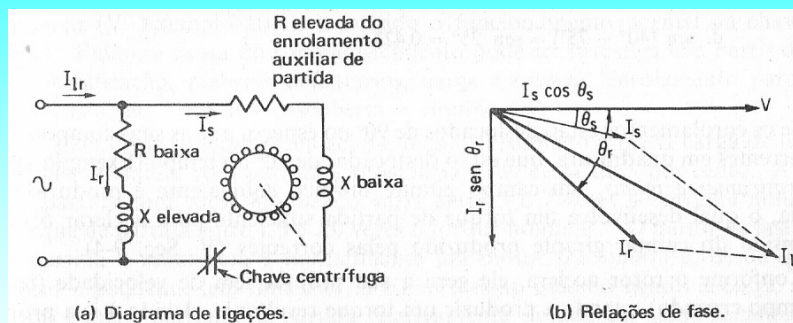
### Motor de indução de fase dividida

É o de mais larga aplicação. Sua construção mecânica é igual à dos motores trifásicos de indução.

Assim, no estator há dois enrolamentos: um de fio mais grosso e com grande número de espiras (enrolamento principal ou de trabalho) e outro de fio mais fino e com poucas espiras (enrolamento auxiliar ou de partida).

O enrolamento principal fica ligado durante todo o tempo de funcionamento do motor, mas o enrolamento auxiliar só atua durante a partida. Esse enrolamento é desligado ao ser acionado um dispositivo automático localizado parte na tampa do motor e parte no rotor.

### Motor de indução de fase dividida (Partida à resistência)



Fisicamente o enrolamento auxiliar está posicionado, em um motor de quatro pólos, a 45° do enrolamento principal. Sabe-se agora que a divisão de fase permite que criemos um pólo no enrolamento auxiliar e em seguida, alguns graus depois, um pólo no enrolamento principal.

No rotor são induzidas correntes por esses campos magnéticos, que criam campos magnéticos opostos, têm-se então pólos contrários no estator e no rotor. Como pólos contrários se atraem, o rotor é forçado a acompanhar o deslocamento de  $45^\circ$  dos pólos auxiliar para o principal, iniciando o movimento do rotor.

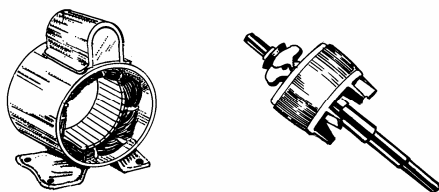
Claro que isso se torna uma seqüência e o rotor não volta para o pólo inicial, pois é mais fácil, devido à direção do movimento, ir para o pólo auxiliar seguinte a  $90^\circ$ .

Quanto maior o ângulo entre a corrente no enrolamento auxiliar e a corrente no enrolamento principal, maior será o torque de partida do motor.

Após a partida o enrolamento auxiliar é desligado pela chave centrífuga e o rotor segue o campo girante produzido pelo enrolamento principal.

Inverter a rotação é simples, basta inverter a ligação do enrolamento auxiliar.

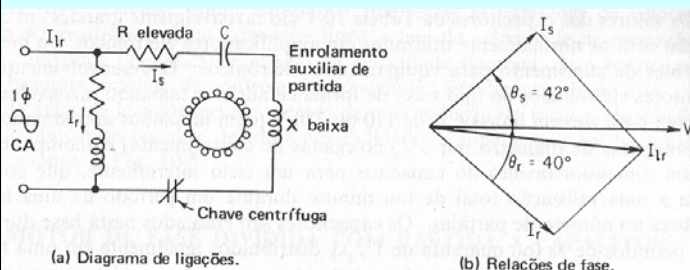
### Motor de indução de fase dividida com partida a capacitor



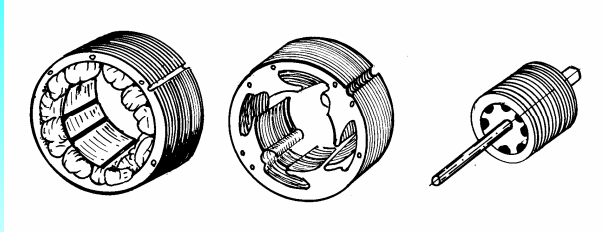
Para aumentar o ângulo de defasagem entre as correntes, um capacitor de partida é instalado em série com o enrolamento auxiliar.

O Capacitor de partida eleva o torque na partida e é retirado do circuito juntamente com o enrolamento auxiliar quando a chave centrífuga abre.

Inverter a rotação é simples, basta inverter a ligação do enrolamento auxiliar.

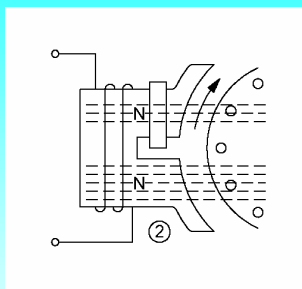
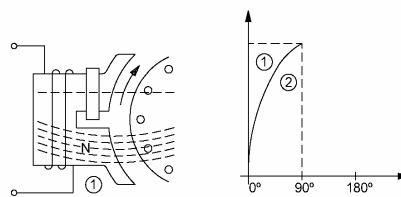


### Motor de indução de pólo ranhurado



#### Funcionamento

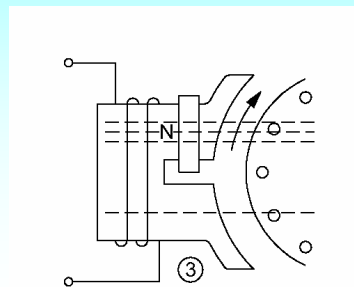
Quando o campo magnético do estator começa a aumentar (a partir de zero) as linhas de força cortam o anel em curto. A corrente induzida no anel gera um campo magnético que tende a se opor ao campo principal.



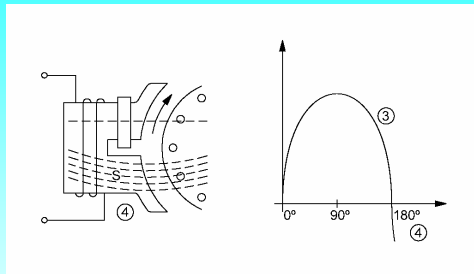
Com o aumento gradativo do campo até 90°, a maior parte das linhas de força fica concentrada fora da região do anel. Quando o campo atinge o máximo, ou seja, os 90°, não há campo criado pela bobina auxiliar, formada pelo anel e ele se distribui na superfície da peça polar.

De 90° a 180° o campo vai se contraindo e o campo da bobina auxiliar tende a se opor a essa contração, concentrando as linhas de força na região da bobina auxiliar.

De 0 a 180°, o campo se movimentava ao longo da superfície polar, definindo assim o sentido de rotação.





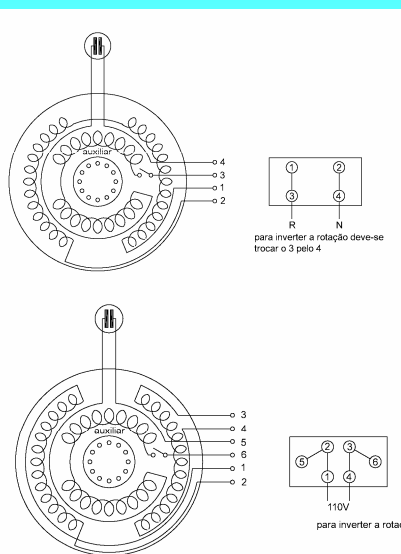


De 0 a 180°, o campo se movimenta ao longo da superfície polar, definindo assim o sentido de rotação.

O movimento do campo produz um conjugado fraco, mas suficiente para dar partida ao motor. Como o conjugado é pequeno, esse tipo de motor é usado para alimentar cargas leves.

Esses motores são usados, por exemplo, em ventiladores, toca-discos, secadores de cabelo etc.

### Ligação dos motores monofásicos de indução de fase dividida



Os de quatro terminais são construídos para uma tensão (110 ou 220V).

De modo geral, os terminais do enrolamento principal são designados pelos números 1 e 2 e os do auxiliar por 3 e 4.

Para inverter o sentido de rotação, é necessário inverter o sentido da corrente no enrolamento auxiliar, isto é, trocar o 3 pelo 4.

o enrolamento principal é designado pelos números 1, 2, 3 e 4 e o auxiliar por 5 e 6. Para a inversão do sentido de rotação, troca-se o terminal 5 pelo 6.

As bobinas do enrolamento principal são ligadas em paralelo, quando a tensão é de 110V e em série, quando a tensão é de 220V.

## MOTORES TRIFÁSICOS DE CA

### Tipos de motores trifásicos de CA

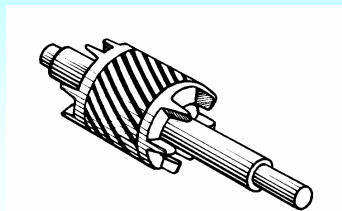
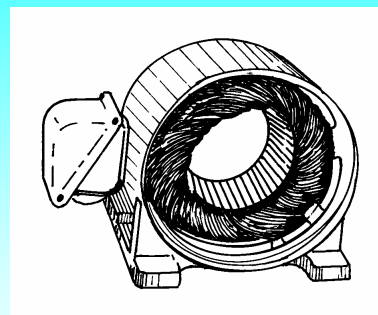
Os motores trifásicos de CA são de dois tipos: motores assíncronos (ou de indução) e motores síncronos.

#### Motores assíncrono de CA

O motor assíncrono de CA é o mais empregado por ser de construção simples, forte e de baixo custo. O rotor desse tipo de motor possui uma parte auto-suficiente que não necessita de conexões externas.

Esse motor também é conhecido como **motor de indução**, porque as correntes de CA são induzidas no circuito do rotor pelo campo magnético rotativo do estator.

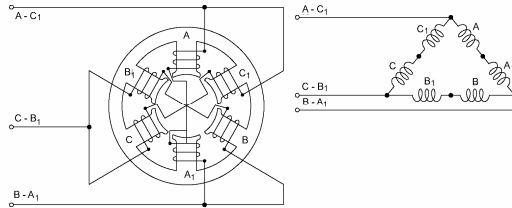
No estator do motor assíncrono de CA estão alojados três enrolamentos referentes às três fases. Estes três enrolamentos estão montados com uma defasagem de 120°.



O rotor é constituído por barras de cobre ou de alumínio colocadas nas ranhuras do rotor (rotor gaiola de esquilo).

**Funcionamento**

Quando a corrente trifásica é aplicada aos enrolamentos do estator do motor assíncrono de CA, produz-se um campo magnético rotativo (campo girante). A ilustração a seguir mostra a ligação interna de um estator trifásico em que as bobinas (fases) estão defasadas em 120° e ligadas em triângulo.

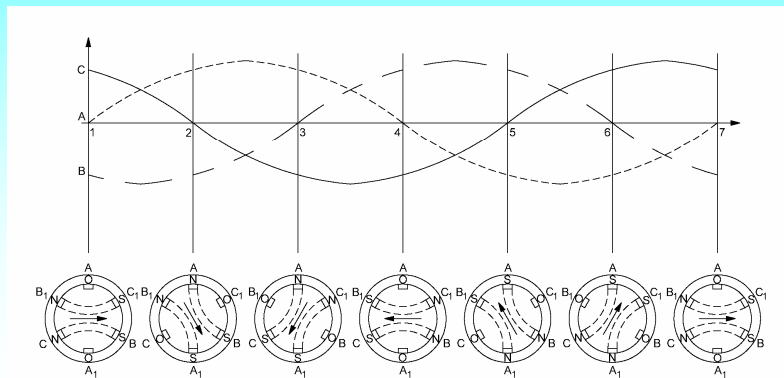


O campo magnético gerado por uma bobina depende da corrente que no momento circula por ela. Se a corrente for nula, não haverá formação de campo magnético; se ela for máxima, o campo magnético também será máximo.

Como as correntes nos três enrolamentos estão com uma defasagem de 120°, os três campos magnéticos apresentam também a mesma defasagem.

Os três campos magnéticos individuais combinam-se e disso resulta um campo único cuja posição varia com o tempo. Esse campo único, giratório é que vai agir sobre o rotor e provocar seu movimento.

O esquema a seguir mostra como agem as três correntes para produzir o campo magnético rotativo num motor trifásico.



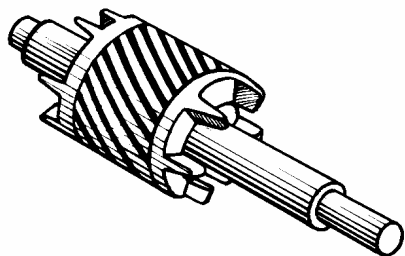
### Tipos de motores assíncronos

Os motores assíncronos diferenciam-se pelo tipo de enrolamento do rotor. Assim, temos:

- Motor com rotor em gaiola de esquilo;
- Motor de rotor bobinado.

### Motor com rotor em gaiola de esquilo

O motor com rotor em gaiola de esquilo tem um rotor constituído por barras de cobre ou de alumínio colocadas nas ranhuras do rotor. As extremidades são unidas por um anel também de cobre ou de alumínio.

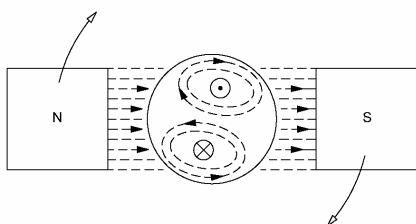


Esse tipo de motor apresenta as seguintes características:

- Velocidade que varia de 3 a 5% de vazio até a plena carga,
- Ausência de controle de velocidade,
- Possibilidade de ter duas ou mais velocidades fixas,
- Baixa ou média capacidade de arranque, dependendo do tipo de gaiola de esquilo do rotor (simples ou dupla).

Esses motores são usados para situações que não exijam velocidade variável e que possam partir com carga. Por isso, são usados em moinhos, ventiladores, prensas e bombas centrífugas, por exemplo.

No funcionamento do motor com rotor em gaiola de esquilo, o rotor, formado por condutores de cobre é submetido ao campo magnético giratório, já explicado anteriormente. Como consequência, nesses condutores (barras da gaiola de esquilo) circulam correntes induzidas, devido ao movimento do campo magnético.



Segundo a lei de Lenz, as correntes induzidas tendem a se opor às variações do campo original. Por esse motivo, as correntes induzidas que circulam nos condutores formam um campo magnético de oposição ao campo girante.

Como o rotor é suspenso por mancais no centro do estator, ele girará juntamente com o campo girante e tenderá a acompanhá-lo com a mesma velocidade. Contudo, isso não acontece, pois o rotor permanece em velocidade menor que a do campo girante.

Se o rotor alcançasse a velocidade do campo magnético do estator, não haveria sobre ele tensão induzida, o que o levaria a parar.

Na verdade, é a **diferença** entre as velocidades do campo magnético do rotor e a do campo do estator que movimenta o rotor. Essa diferença recebe o nome de **escorregamento** e é dada percentualmente por:

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \cdot 100$$

Onde:

$N_s$  é a velocidade de sincronismo,

$N_r$  é a velocidade real do rotor.

Quando a carga do motor é aumentada, ele tende a diminuir a rotação e a aumentar o escorregamento. Consequentemente, aumenta a corrente induzida nas barras da gaiola de esquilo e o conjugado do motor.

Desse modo, o conjugado do motor é determinado pela diferença entre a velocidade do campo girante e a do rotor.

Para determinar a velocidade de rotação do campo girante, é necessário estabelecer a relação entre frequência ( $f$ ) e o número de pares de pólos ( $p$ ) pela seguinte fórmula:

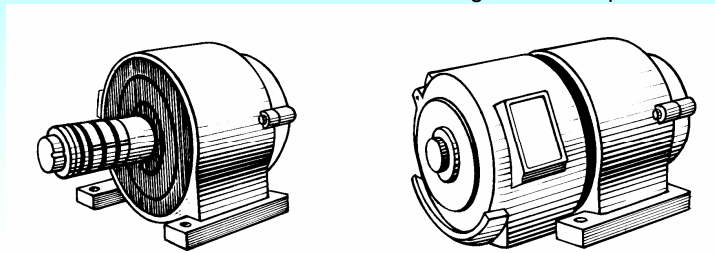
$$N_s = \frac{f \cdot 60}{p} \text{ (rpm)}$$

### Motor de rotor bobinado

O motor com rotor bobinado trabalha em rede de corrente alternada trifásica. Permite um arranque vigoroso com pequena corrente de partida. Ele é indicado quando se necessita de partida com carga e variação de velocidade como é o caso de compressores, transportadores, guindastes, pontes rolantes.

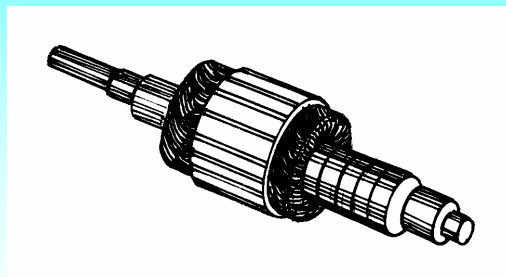
O motor de rotor bobinado é composto por um estator e um rotor.

O estator é semelhante ao dos motores trifásicos gaiola de esquilo.



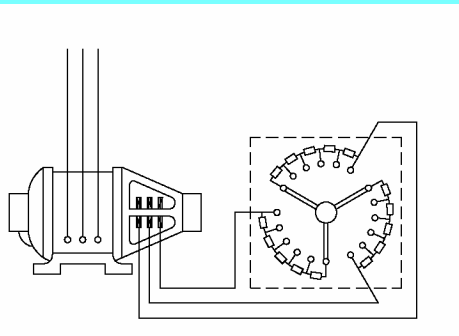
O rotor bobinado usa enrolamentos de fios de cobre nas ranhuras, tal como o estator.

O enrolamento é colocado no rotor com uma defasagem de  $120^\circ$  e seus terminais são ligados a anéis coletores nos quais, através das escovas se tem acesso ao enrolamento.



Ao enrolamento do rotor bobinado deve ser ligado um reostato (reostato de partida) que permitirá regular a corrente nele induzida. Isso torna possível a partida sem grandes picos de corrente e possibilita a variação de velocidade dentro de certos limites.

O reostato de partida é composto de três resistores variáveis, conjugados por meio de uma ponte que liga os resistores em estrela, em qualquer posição de seu curso.



O motor trifásico de rotor bobinado é recomendado nos casos em que se necessita de partidas a plena carga. Sua corrente de partida apresenta baixa intensidade: apenas uma vez e meia o valor da corrente nominal.

Também usado em trabalhos que exigem variação de velocidade, pois o enrolamento existente no rotor, ao fazer variar a intensidade da corrente que percorre o induzido (rotor), faz variar a velocidade do motor.

Deve-se lembrar porém, que o motor de rotor bobinado é mais caro que os outros devido ao elevado custo de seus enrolamentos e ao sistema de conexão das bobinas do rotor, tais como: anéis, escovas, porta-escovas, reostato.

Em pleno regime de marcha, o motor de rotor bobinado apresenta um deslizamento maior que os motores comuns.

É importante saber que há uma relação entre o enrolamento do estator e o do rotor. Essa relação é de 3:1, ou seja, se a tensão do estator for 220V, a do rotor em vazio será de  $220 : \sqrt{3}$ , ou 73V aproximadamente.

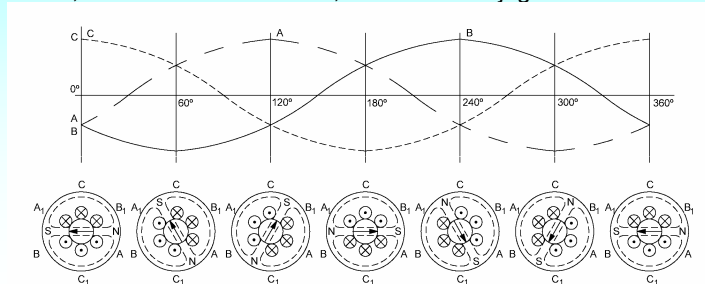
A mesma relação pode ser aplicada às intensidades da corrente. Se a intensidade no estator for 10A, o rotor será percorrido por uma corrente de  $10 \cdot 3 = 30A$ .

Consequentemente, a seção do fio do enrolamento deve ser calculada para essa corrente. Por isso, os enrolamentos dos induzidos têm fios de maior seção que os do indutor.

### Funcionamento

O princípio de funcionamento do motor com rotor bobinado é o mesmo que o do motor com rotor em gaiola de esquilo.

A única diferença é que a resistência do enrolamento do rotor bobinado pode ser alterada, pois esse tipo de rotor é fechado em curto na parte externa, através de reostatos. Isso permite o controle sobre o valor da corrente que circula no enrolamento do rotor e, portanto, a variação de velocidade, dentro de certos limites, mantém o conjugado constante.



### Motor síncrono de CA

Esse tipo de motor apresenta as seguintes características:

- Velocidade constante (síncrona);
- Velocidade dependente da frequência da rede;
- Baixa capacidade de arranque.

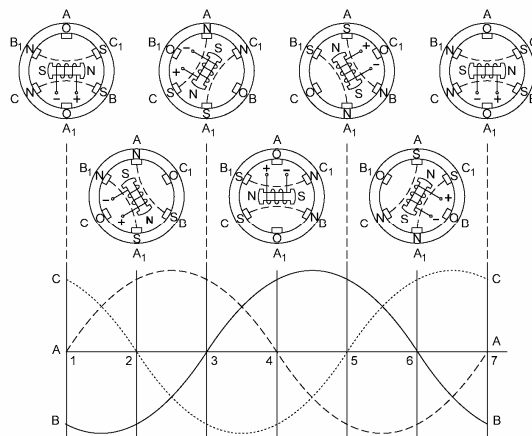
Por essas características, o motor síncrono é usado quando é necessária uma velocidade constante.



### Funcionamento

A energia elétrica de CA no estator cria o campo magnético rotativo, enquanto o rotor, alimentado com CC, age como um ímã.

Um ímã suspenso num campo magnético gira até ficar paralelo ao campo. Quando o campo magnético gira, o ímã gira com ele. Se o campo rotativo for intenso, a força sobre o rotor também o será. Ao se manter alinhado ao campo magnético rotativo, o rotor pode girar uma carga acoplada ao seu eixo.



# FIM

**Prof. Mauro César Fonseca Cardoso**

**Departamento de Engenharia de Controle e Automação**

**FACIT – Faculdade de Ciência e Tecnologia de Montes Claros**

**FEMC – Fundação Educacional Montes Claros**