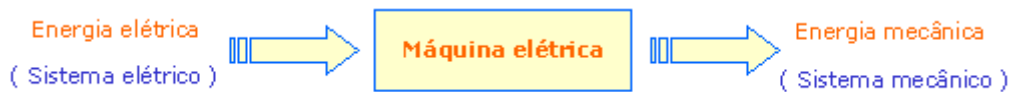


Motores de indução e ligações

Os motores elétricos são máquinas elétricas bastante simples cuja finalidade é converter a energia elétrica em energia mecânica, e com isso obter movimento.



As máquinas elétricas podem ser classificadas como:

- ❑ Máquina de corrente contínua - (Motores DC);
- ❑ Máquina síncrona - (geradores); e
- ❑ Máquina assíncrona - (motores de indução).

A esse capítulo daremos uma atenção especial ao motor de indução trifásico de corrente alternada, que é o mais comum na indústria, e as razões são várias, entre elas:

Vantagens

- ❑ A energia é em sua grande maioria é produzida e distribuída em corrente alternada (AC);
- ❑ São mais simples e mais “baratos” que os motores de corrente contínua;
- ❑ Não necessita que qualquer entreposto entre ele e a fonte de energia;
- ❑ Não há ligação elétrica ao rotor, não existindo, portanto, anéis e escovas como nos motores de corrente contínua; e
- ❑ A velocidade é determinada pela frequência da fonte de energia, o que propicia excelentes condições para seu funcionamento a velocidades constantes.

Porém, o motor de indução trifásico de corrente alternada não é feito somente de vantagens, mas também de desvantagens, entre elas:

- ❑ A eletrônica para controle de velocidade tem custo elevado;
- ❑ Instabilidade em operar com velocidades baixas; e
- ❑ A eletrônica para controle de posicionamento tem custo elevado.

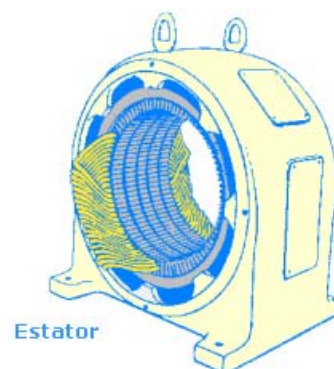
Características construtivas

São constituídos basicamente de duas partes:

Estator ⇒ é a parte fixa, que consiste de enrolamentos alojados nas ranhuras existentes na periferia interna de um núcleo de ferro laminado (carcaça). Os enrolamentos do estator são alimentados com tensão trifásica, que produz um campo magnético que gira com velocidade síncrona.



Rotor



Estator

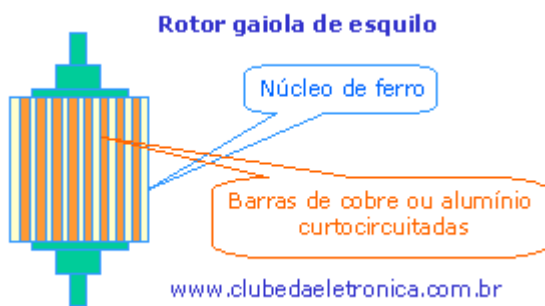
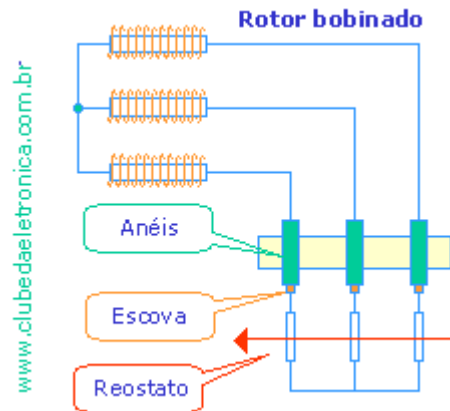
Rotor ⇒ é uma parte móvel do motor, ligada ao eixo de transmissão de movimento. Nesta parte do motor normalmente existem bobinas, percorridas por correntes elétricas que geram campos magnéticos. Em função da polaridade, os campos magnéticos submetem o rotor a forças de atração e repulsão, produzindo o movimento giratório do rotor.

O rotor, que é construído em dois tipos:

Rotor em curto-circuito ou bobinado.

O rotor bobinado consta de um núcleo em tambor, provido de ranhuras onde são alojados enrolamentos semelhantes ao do estator, e produzindo o mesmo número de pólos.

No motor trifásico estes enrolamentos são geralmente ligados em estrela, e as três extremidades livres dos enrolamentos são ligadas a três anéis coletores montados no eixo, permitindo a inserção de resistor variável em série em cada fase.

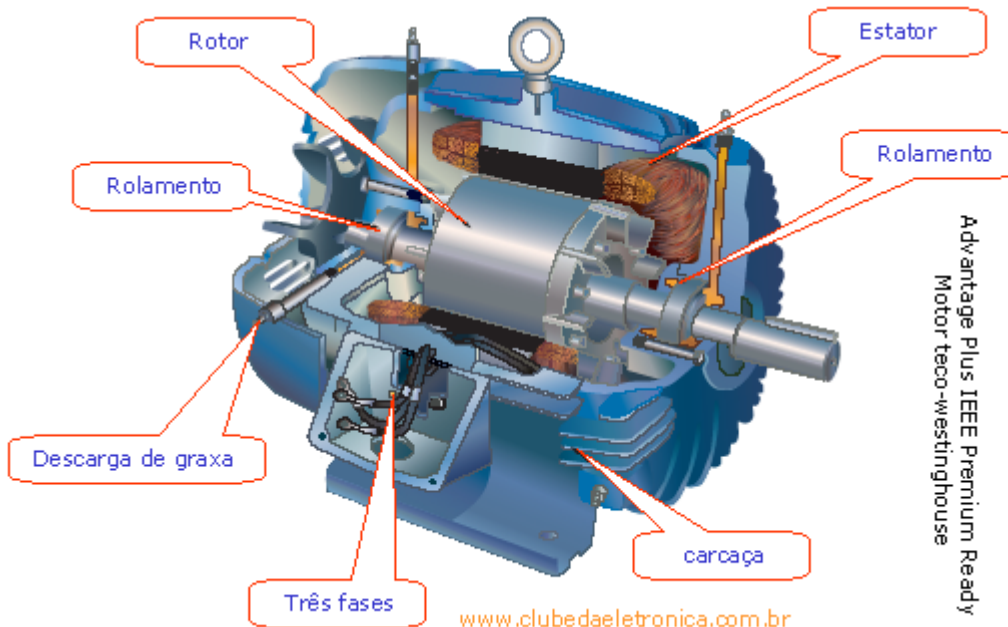


Gaiola de esquilo ou simplesmente gaiola.

O rotor tipo gaiola de esquilo consta de um núcleo em tambor, providos de ranhuras, nas quais são alojados fios ou barras de cobre curto-circuitados nos extremos por anéis.

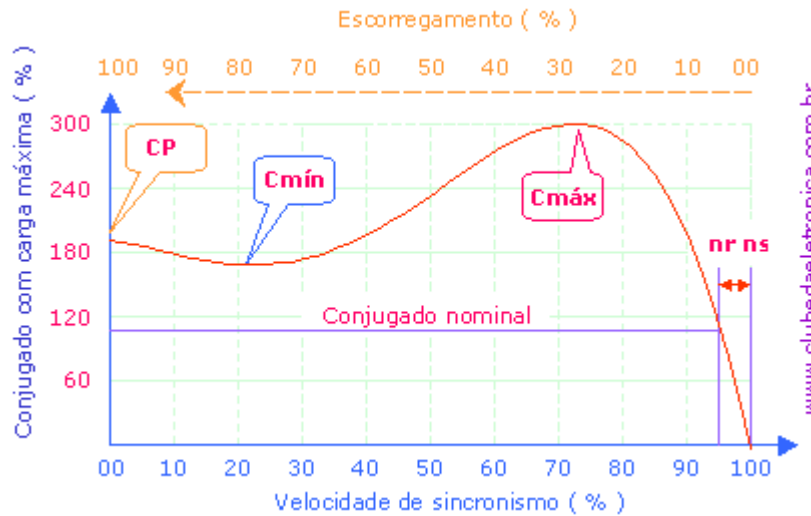
Os núcleos magnéticos de ambos os tipos de rotores são de ferro laminado.

O motor em corte transversal



O conjugado do motor

A característica fundamental de qualquer motor de indução é a sua curva de conjugado versus rotação.



A curva mostra que à medida que o escorregamento aumenta de zero até cerca de 10 % o torque aumenta linearmente com o escorregamento. À medida que a carga e o escorregamento aumentam além do torque especificado, o torque atinge um valor máximo de cerca de 25% de escorregamento. Esse valor máximo do torque é chamado de torque de ruptura. Se a carga aumentar ainda mais, além do ponto de ruptura, o motor irá parar rapidamente.

Nota : Os valores de $C_{máx}$, $C_{mín}$ e C_p são especificados pela norma NBR 7094.

Conjugado Máximo ($C_{máx}$): É o conjugado máximo que o motor irá desenvolver com tensão e freqüência nominal sem queda abrupta na rotação.

Conjugado de Partida ou com Rotor Bloqueado (C_p): É o conjugado mínimo que o motor irá desenvolver em repouso com tensão e freqüência nominal aplicada.

Conjugado Mínimo ($C_{mín}$): O conjugado mínimo que o motor irá desenvolver durante o período de aceleração do repouso até a rotação em que o conjugado máximo ocorre. Para motores que não possuem um conjugado máximo definido o conjugado mínimo é o menor conjugado desenvolvido até a rotação nominal.

Conjugado Nominal (C_N): É o conjugado necessário para produzir a potência nominal à rotação nominal.

O prototo newton.metro (N.m) é igual a potência em CV vezes 7022 dividido pela rotação nominal em rpm.

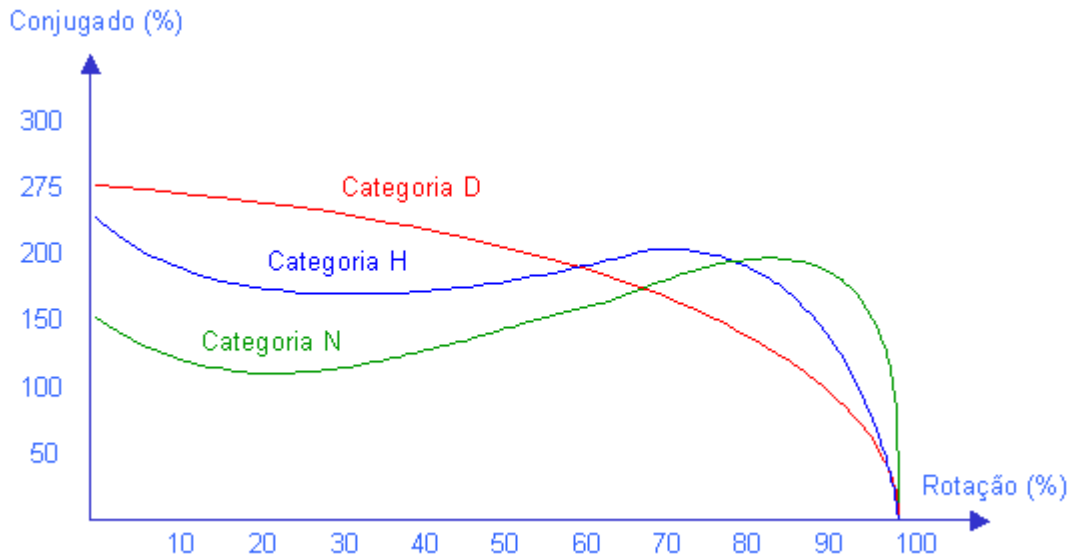
Categoria de conjugado

Conforme as suas características de conjugado em relação à velocidade e corrente de partida, os motores são classificados em categorias, cada uma adequada a um tipo de carga. Estas categorias são definidas em norma, e são as seguintes:

N	Conjugado normal, corrente de partida normal e baixo escorregamento;
H	Conjugado alto, corrente de partida normal e baixo escorregamento;
D	Conjugados altos ($C_p \geq 275\% C_n$), Corrente de partida normal e alto escorregamento (5 a 8% e 8 a 13%).

NY	São motores com características parecidas com os motores de categoria normal (designados como N), mas previstos para partida estrela-triângulo. Na ligação em estrela o torque de partida é de 25% do valor indicado para os motores de categoria N.
HY	São motores com características parecidas com os motores de categoria H, mas previstos para partida estrela-triângulo. Na ligação em estrela o torque de partida é de 25% do valor indicado para os motores de categoria H.

Veja a curva do conjugado para cada uma das categorias apresentadas.



Identificação dos motores

Os motores elétricos possuem uma placa identificadora, colocada pelo fabricante, na qual pelas normas, deve ser fixada em local bem visível.

Para instalar adequadamente um motor, é imprescindível que o instalador saiba interpretar os dados de placa. Estes dados são:

- Dados do fabricante e modelo;
- Potência (CV, HP e kW);
- Frequência nominal (Hz);
- Velocidade nominal (RPM);
- Fator de serviço (FS)
- Classe de isolamento (ISOL)
- Corrente de Partida/Nominal (IP/IN)
- Grau de proteção (IP)
- Tensões/correntes nominais e ligações;
- Categoria CAT (visto acima)
- Regime de operação (REG)

Placa identificadora

WEG		ALTO Plus	
RENDIMENTO		NBR7094	
~ 3 100L			
MOTOR INDUÇAO - GAIOLA		HZ 60	CAT N
kW(cv)		3.7(5.0) RPM 3500	
FS 1.15	ISOL B	Δ †	k Ip/In 9.0 IP55
220/380 V		13.0/7.53 A	
REG S 1	MAX AMB	ALT m	
6206-ZZ A BASE DE LITIO 6205-ZZ		34.0 Kg	
		PNCEE REND. % = 87.5% cos ϕ 0.85	
03202		CE	

Potência do motor kW (cv)

A potência de um motor trifásico deve ser especificada em CV ou HP, na placa identificadora. A potência em watts pode se calculada pela seguinte equação:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot \eta \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\phi$$

1,0 CV = 735,75W
1,0 HP = 746,7W.

- Fator de potência
- Corrente de linha (A)
- Tensão de linha (V)
- Rendimento
- Potencia trifásica (W)

Frequência nominal (Hz) e Velocidade nominal (RPM)

Velocidade síncrona (ns): A frequência da rede de energia no Brasil é padronizada em 60Hz, alterações na frequência alteram a velocidade do campo girante (velocidade síncrona) no estator é dada pela seguinte equação:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P}$$

- Frequência da rede (Hz) (f)
- Numero de pólos do motor (P)
- Velocidade campo girante do estator (RPM) (ns)

Velocidade do rotor (nr): A velocidade do rotor é sempre menor que a velocidade síncrona produzida pelo estator, ou seja, não há sincronismo entre as duas velocidades. Por isso, estes motores são também chamados assíncronos.

$$n_r = n_s \cdot (1 - s)$$

- escorregamento (s)
- velocidade síncrona (rpm) (ns)
- velocidade nominal (rpm) (nr)

Escorregamento (slip): É a diferença entre as duas velocidades é chamada escorregamento é tomado sempre em valores percentuais ou em pu da velocidade síncrona, ou seja:

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

- Velocidade do rotor (RPM) (nr)
- Velocidade do campo girante do estator (RPM) (ns)
- Escorregamento (%) (s)

O fator de serviço – FS

O fator de serviço é um parâmetro que trata a capacidade do motor em suportar sobrecargas contínuas.

$$F_s = \frac{\text{Potência operacional máxima}}{\text{Potência nominal}}$$

Essa característica melhora o desempenho do motor em condições desfavoráveis, caso o fator de serviço for maior que 1,0 deve ser considerado para o cálculo da corrente de linha.

Classe de isolamento – ISOL

Define o limite máximo de temperatura que o enrolamento do motor pode suportar continuamente, sem que haja redução na sua vida útil. As primeiras classes de isolamento e suas respectivas temperaturas – limites são:

A (105 °C) ⇒ pouco utilizado na industria.

E (120 °C) ⇒ pouco utilizado na industria.

B (130 °C) ⇒ mais usado na industria em motores IP23.

F (155 °C) ⇒ mais usado na industria em motores IP54 e 55.

H (180 °C) ⇒ mais usado na industria em motores IP54, 55, 64 e locais com pouca troca de calor.

Razão entre a corrente de pico e nominal - IP/IN

Ao “partir” um motor a corrente de pico (IP) pode chegar até 6 vezes o valor da corrente nominal (IN). Isso ocorre porque é necessário retirar o rotor de seu estado estático, após isso a corrente é estabilizada.

Exemplo:

IP/IN = 9,0 significa que no momento da partida a corrente pode atingir nove vezes o valor da corrente nominal.

Grau de proteção - IP

O grau de proteção é um código padronizado, formado pelas letras IP seguidas de um número de dois algarismos, que define o tipo de proteção do motor contra a entrada de água ou de objetos estranhos, conforme mostrado no quadro abaixo.

Motor		1° Numeral		2° Numeral
Classe de proteção		Proteção contra contato	Proteção contra corpos sólidos	Proteção contra água
Aberto	IP11	Toque acidental com a mão	Corpos sólidos de dimensões de 50 mm	Pingos de água nas verticas
	IP12			Pingos de água até uma inclinação de 15° com a vertical
	IP13			Água de chuva de inclinação de 60° com a vertical
	IP21	Toque com os dedos	Corpos sólidos de dimensões acima de 12 mm	Pingos de água nas verticas
	IP22			Pingos de água até uma inclinação de 15° com a vertical
	IP23			Água de chuva até uma inclinação de 60° com a vertical
Totalmente fechado	IP44	Toque com as ferramentas	Corpos sólidos de dimensão acima 1mm	Respingos de todas as direções
	IP54	Proteção completa contra toques	Protegido contra acúmulo de poeira nociva ao motor	Jatos de água de todas as direções

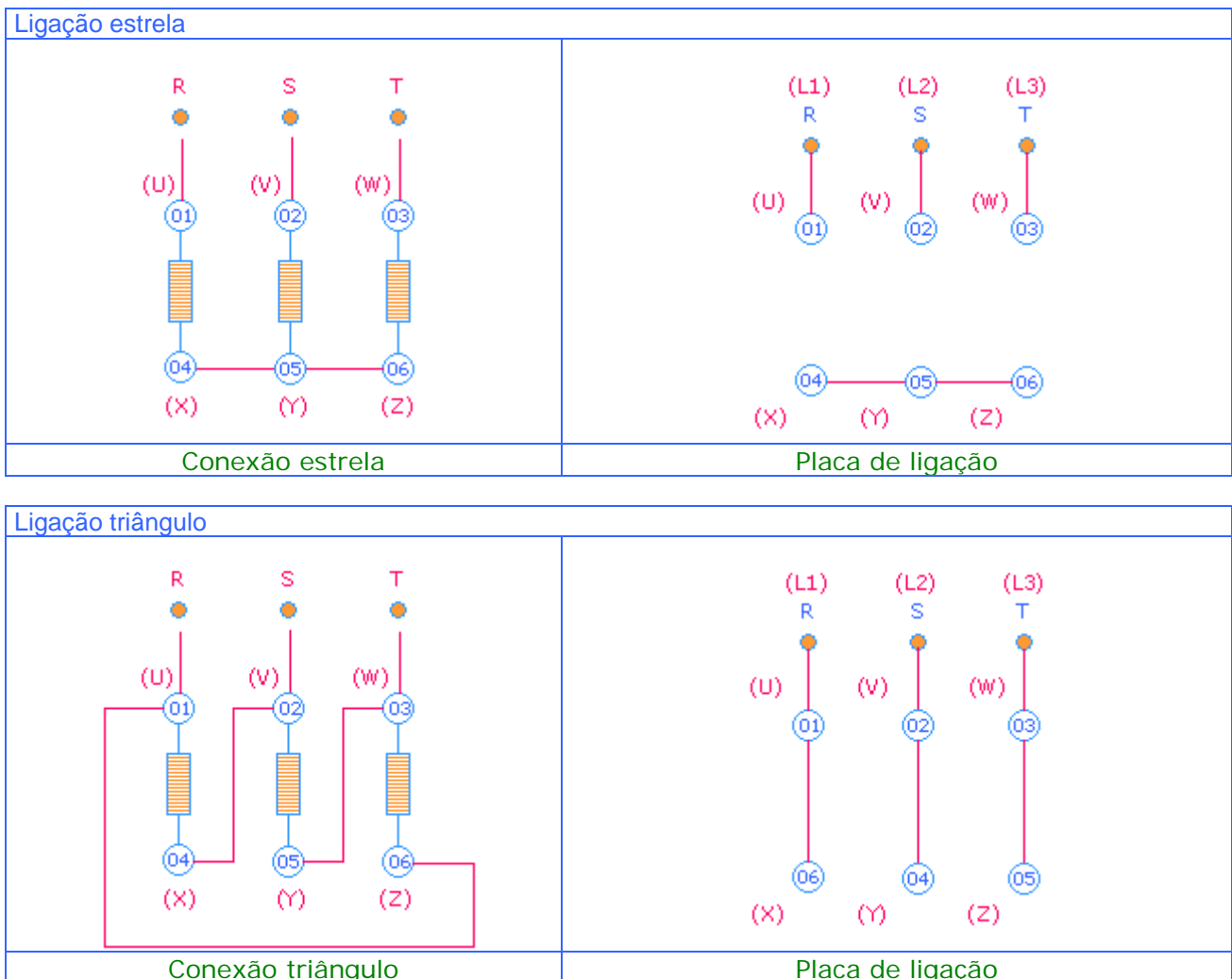
Tensões e correntes nominais

A maioria dos motores é fornecida com terminais do enrolamento religáveis, de modo que podem funcionar em rede de pelo menos duas tensões / correntes diferentes.

Os principais tipos de religação de terminais de motores para funcionamento em mais de uma tensão são:

a) Ligação estrela – triângulo

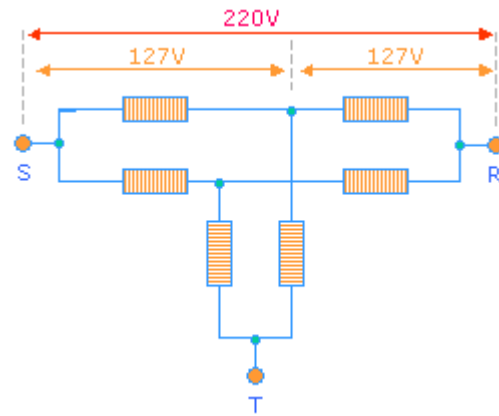
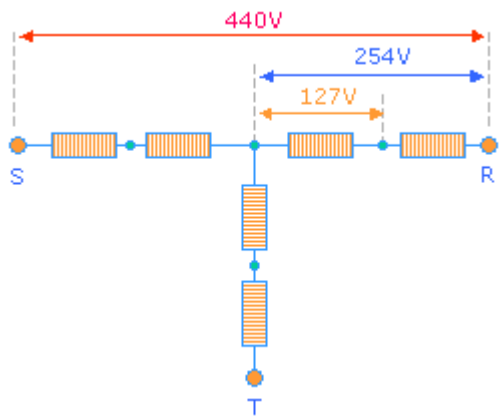
A conexão estrela permite ligar um motor com tensão nominal **V** em uma rede **V. √3**, exemplo, um motor 127 V pode ser ligado a uma rede 220V e motor 220 V pode ser ligado a uma rede 380V e assim por diante. Esse tipo de ligação exige no mínimo seis terminais e serve para quaisquer tensões nominais duplas, desde que a segunda seja igual a primeira multiplicada por $\sqrt{3}$. A conexão triângulo permite que 100% da tensão da rede seja entregue a cada fase.



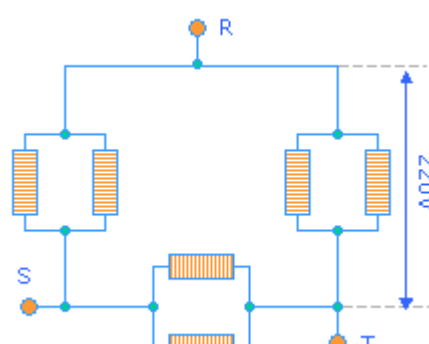
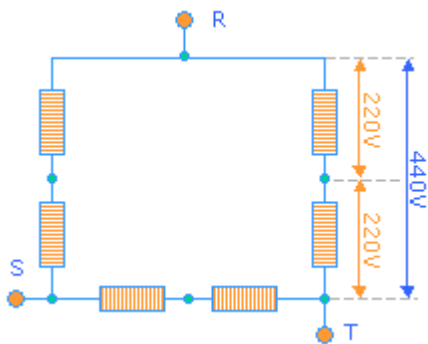
b) Ligação série – paralelo

O enrolamento de cada fase é dividido em duas partes. Ligando as duas metades em série o motor, cada metade ficará com metade da tensão de fase nominal do motor. Ligando as duas metades em paralelo, o motor poderá ser alimentado com uma tensão igual a metade da tensão anterior, sem que se altera a tensão aplicada a cada bobina.

Ligação estrela série – paralelo



Ligação triângulo série – paralelo

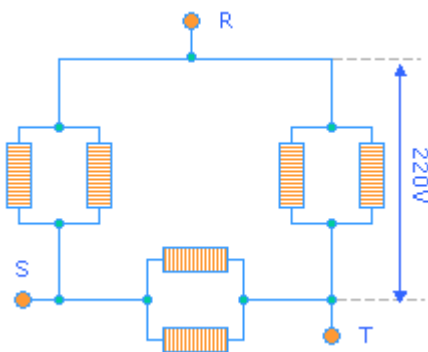


c) Tripla tensão nominal (motor de quatro tensões)

Combinando os casos anteriores: o enrolamento de cada fase é dividido em duas metades para a ligação série - paralelo. Além disso, todos os terminais são acessíveis, para podermos ligar as três fases em estrela ou triângulo. Deste modo temos quatro combinações possíveis.

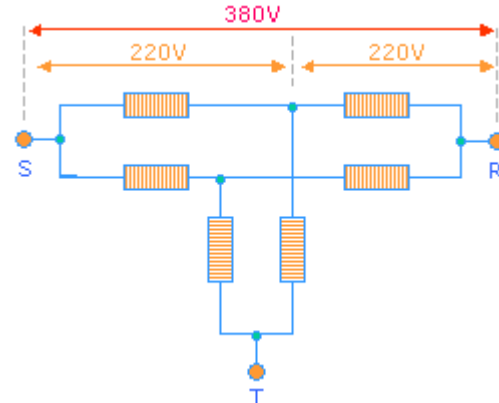
Vejam os exemplos: 220V/380V/440V e 760V.

Ligação: Triângulo – paralelo

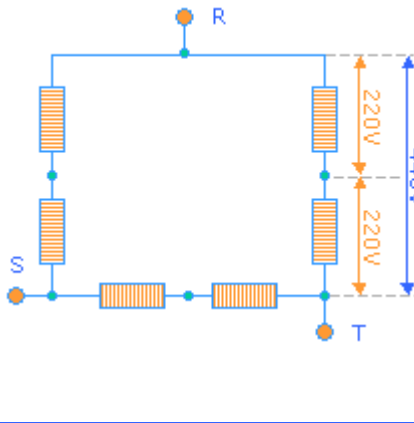
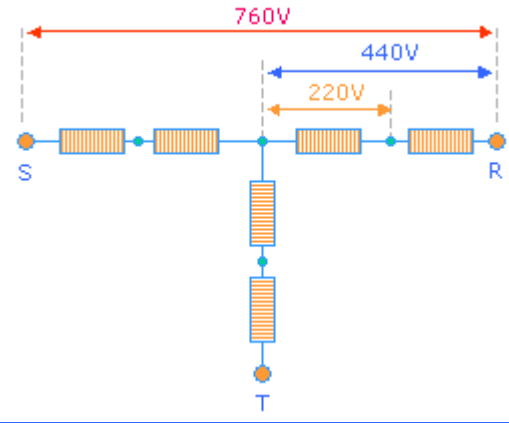


Recebe a tensão V (220V)

Ligação: Estrela – paralelo



Recebe a $V \cdot \sqrt{3}$ (380V)

Ligação: triângulo – série	Ligação: estrela – série
	
<p>Recebe o dobro da primeira tensão (440V)</p>	<p>Recebe a tensão $\sqrt{3}$ vezes a terceira (760V)</p>

Regime - REG

O regime é o grau de regularidade da carga a que o motor é submetido. Os motores normais são projetados para regime contínuo (S1), isto é, um funcionamento com carga constante, por tempo indefinido, desenvolvendo potência nominal. São previstos, por norma, vários tipos de regimes de funcionamento.

Rendimento – REND

É a relação entre a potência de saída (realmente aproveitada) e a potência de entrada, que pode ser calculado pela seguinte expressão.

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} \cdot 100 \quad (\text{para expressar o valor em porcentagem})$$

↗ Potência de saída (watts)
↘ Potência de entrada (watts)
↖ Rendimento (%)

Fator de potência (cosφ)

O fator de potência (cosφ), indica a relação entre a potência ativa e a potência aparente. Matematicamente podemos escrever:

$$\text{Fator de potência} = \cos\phi = \frac{\text{Potência ativa (W)}}{\text{Potência aparente (VA)}}$$

Referências bibliográficas:

- ❑ <http://www.dsee.fee.unicamp.br/~sato/ET515/ET515.html>
- ❑ <http://www.geindustrial.com.br/download/artigos/nt01.pdf>
- ❑ <http://www.weg.com.br>
- ❑ <http://www.tecowestinghouse.com>

Não somos responsáveis apenas pelo que fazemos, mas também pelo que deixamos de fazer.
(Molière, dramaturgo francês)

www.clubedaeletronica.com.br