

PARTIDAS DE MOTORES ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

Sinésio Raimundo Gomes

Araraquara

2020

Partidas de Motores Elétricos Industriais

© Gomes, Sinésio Raimundo – Araraquara - SP – 2020.

Livro com descrição de funcionamento e diagramas elétricos de comando e potência de sistemas de partidas de motores elétricos industriais elaborado e aplicado em aulas de Máquinas e Comandos Elétricos por Sinésio Raimundo Gomes, Professor nos Cursos de Aprendizagem Industrial e Técnicos de Eletromecânica e Eletroeletrônica da Escola SENAI “Henrique Lupo” de Araraquara.

Dados Internacionais de Catalogação na Câmara Brasileira do Livro

G5 Gomes, Sinésio Raimundo; 1973 -

Partidas de Motores Elétricos Industriais. Araraquara, 2020.

116 f. : il.

Bibliografia.

ISBN: 978-65-00-08999-8

Partidas de Motores Elétricos Industriais. Araraquara – 2020
– 116 pi.

1. Engenharia Elétrica. 2. Eletroeletrônica. 3. Máquinas
Elétricas. 4. Comandos Elétricos.

CDD-621

Sumário

1.	INTRODUÇÃO Á PARTIDA DE MOTORES ELÉTRICOS INDUSTRIAIS.....	5
1.1	Equipamentos á Motores Elétricos	5
1.2	Potência, Rotação e Rendimento de Motores	5
1.3	Tensão e Corrente elétrica em Motor de Indução.....	8
1.4	Placa de Identificação de Motores Elétricos	8
2.	TIPOS MOTORES ELÉTRICOS INDUSTRIAIS.....	9
2.1	Motor de Indução Trifásico em corrente alternada	10
2.2	Motores de Indução Trifásicos de Multivelocidades	15
2.3	Motor de Indução Trifásico de Rotor Bobinado.....	17
2.4	Motor de Indução Monofásico	18
2.5	Motor de Corrente Contínua Composto	19
3.	COMPONENTES UTILIZADOS EM DIAGRAMA DE COMANDO E POTÊNCIA	21
3.1	Dispositivos de acionamento de Motores Elétricos.....	22
3.2	Painel elétrico de comando	22
3.3	Conexões elétricas	25
3.4	Chaves seccionadoras	27
3.5	Fusíveis	27
3.6	Disjuntor motor	29
3.7	Contator de potência e de comando	30
3.8	Relé térmico.....	31
3.9	Relés temporizados	32
3.10	Relé de sequência de fase	33
3.11	Relés com controle de simultaneidade.....	33
3.12	Controlador Lógico Programável	33
3.13	Reostato.....	34
3.14	Botoeiras e chaves de comando.....	36
3.15	Interruptores de limite de curso.....	39
3.16	Sinaleiros utilizados em comandos elétricos.....	39
3.17	Sinaleiros sonoros.....	41
3.18	Fonte Chaveada	41
4.	SEGURANÇA OPERACIONAL EM MÁQUINAS ELÉTRICAS	43
4.1	Relé de Segurança	45
4.2	Cortina de luz de segurança	46
4.3	Tapete de Segurança	46
4.4	Chave Alavanca de Três Posições.....	46
4.5	Dispositivo de Comando Bimanual.....	47
4.6	Botões de Parada de Emergência	47
4.7	Botoeiras de Esforço Zero.....	48
4.8	Chaves de Travamento de Proteção	48
4.9	Interruptores Magnéticos	48

4.10	Sensores de Segurança sem Contato.....	49
4.11	Interruptores de Segurança de Intertravamento.....	49
4.12	Contatores para aplicações de Segurança.....	49
4.13	CLPS de Segurança	50
5.	PARTIDA DE MOTORES INDUSTRIAIS.....	51
5.1	Partidas de Motores por Chave Eletromecânica.....	51
5.2	Partidas Diretas de Motores de Indução Por Contatores	52
5.3	Partidas Indiretas de Motores de indução por Contatores.....	54
5.4	Partidas com dispositivos auxiliares de Motores de indução.....	57
5.5	Partidas Indiretas de Motores de indução de 12 terminais.....	59
5.6	Partida de Motores de Multivelocidades.....	61
5.7	Partida de Motores de Indução de rotor bobinado com aceleração.....	62
5.8	Partida de Motores de corrente contínua.....	63
5.9	Partida de Motores de Indução do Tipo Monofásico.....	64
6.	PARTIDA DE MOTORES INDUSTRIAIS POR CONVERSORES.....	65
6.1	Partida de motor com Soft-Starter	65
6.2	Partida de motor com Inversor de Frequência.....	66

1. INTRODUÇÃO Á PARTIDA DE MOTORES ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

Neste livro você encontrará diferentes circuitos para partida de motores de indução monofásico, trifásicos e de corrente contínua que você deve conhecer e que, com certeza, você precisará em seu dia a dia, seja no teste de admissão em uma empresa, em uma prova de concurso público ou mesmo quando for solicitado para realizar uma intervenção corretiva, preventiva ou preditiva em uma máquina que possua estes equipamentos.

Tenha sempre em mente que, mesmo que saiba da existência de recursos eletrônicos para o acionamento e partida de motores elétricos trifásicos, as chaves de partida convencional sempre existirão e você será cobrado direta ou indiretamente a respeito de seu funcionamento, interpretação e desenvolvimento.

1.1 Equipamentos á Motores Elétricos

Os equipamentos á motor constituem cargas em que a corrente elétrica durante a partida é bastante superior à de funcionamento normal. A potência elétrica em funcionamento é determinada pela potência mecânica no eixo. Estas características podem resultar em sobrecarga a instalação se não houver proteção adequada. Os circuitos que alimentam equipamentos á motor devem possuir proteção contra correntes de sobrecargas que suportem a corrente de partida do motor.

1.2 Potência, Rotação e Rendimento de Motores

Está abaixo as principais fórmulas que abrangem a rede trifásica e motores AC, independentemente de o motor ser síncrono ou assíncrono. Em um motor trifásico projetado corretamente, a tensão e a corrente serão iguais entre as fases. Isso significa $V_{f1} = V_{f2} = V_{f3}$; $I_{f1} = I_{f2} = I_{f3}$. O mesmo fenômeno ocorre quando falamos de tensões de linha e correntes. $V_{L1} = V_{L2} = V_{L3}$; $I_{L1} = I_{L2} = I_{L3}$. A relação entre as tensões de linha e tensões de fase, dependem inteiramente do sistema de conexão que encontramos instalado, ou estrela ou triângulo.

A potência mecânica é definida como sendo a força aplicada sobre um corpo, para deslocá-lo uma certa distância em um determinado intervalo de tempo. James Watt foi um engenheiro que se celebrou por seu trabalho a respeito e foi o criador dos termos watts e hp (Horse Power).

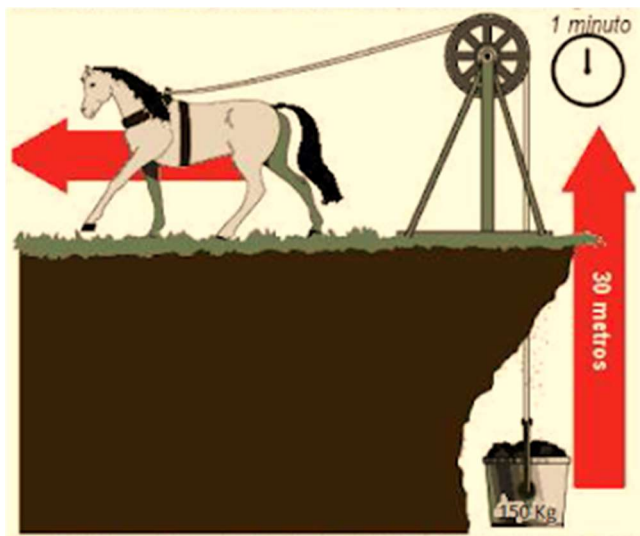


Figura 1 - Conceito de potência mecânica (Horse Power).

Em avaliações que ele realizou junto aos cavalos que retiravam carvão das minas, Watt concluiu que em média, cada cavalo era capaz de içar dos fundos das minas, cerca de 330 libras (149.7 kg) de carvão, por uma distância de 100 pés (30.48 metros) em um intervalo de 1 minuto (60 Segundos), ou seja, 33000 lb.ft/min (746,7 W). Tal potência ficou conhecida e é utilizada até hoje, como sendo o equivalente a 1 hp.

O trabalho e potência mecânica de um motor são definidos pela força do motor. A Força é o produto da massa pela aceleração, peso é uma força que age sobre a massa pela aceleração da gravidade ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$), sua unidade é N ou Kgf.

Define-se como trabalho mecânico o produto da força aplicada a um determinado corpo pelo deslocamento dele, sua unidade é o [Nm] ou [J]. O trabalho necessário para elevar um corpo de 150 kgf a uma altura de 30 m é: 4500 Kgf.m

$$P = \frac{F \times D}{T}$$

Equação 1 -Potência Mecânica.

A potência mecânica é o trabalho mecânico realizado (força x deslocamento) na unidade de tempo (1 j/s = 1 watts). A potência mecânica necessária para elevar um corpo de 150 kgf a uma altura de 30 m em 60 segundos é: 75 Kgf.m/s.

Como a força (da gravidade) que se opõe ao movimento é de $9,81 \text{ m/s}^2$, temos $75 \times 9,81 = 736 \text{ Watts} = 1 \text{ cv}$.

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \quad [\text{m/s}]$$

Equação 2 - Velocidade periférica.

Para movimentos circulares, a distância é substituída pela velocidade periférica, isto é, pelo caminho percorrido em metros na periferia da peça girante em um segundo. Onde: v = Velocidade angular em m/s, d = Diâmetro da peça em metros e n = Velocidade em rpm.

$$P_{\text{mec}} = \frac{F \cdot v}{75} \quad [\text{cv}]$$

Equação 3 - Potência Mecânica em movimentos circulares.

A potência elétrica (P) é calculada pela fórmula ao lado que representa o consumo de energia. Onde: U = tensão da rede em volts; I = intensidade da corrente em amperes e $\cos^*$ é o fator de potência.

Potência elétrica ativa é a parte da potência aparente que é realmente transformada em energia. É obtida do produto entre a potência aparente e o fator de potência. Se a carga for puramente resistiva o $\cos \phi = 1$, a potência ativa e a potência aparente terão o mesmo valor.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi$$

Equação 4 - Potência Elétrica.

O Fator de potência é indicado usualmente pela expressão e representa o ângulo de defasagem da tensão em relação à corrente, além de representar a relação entre a potência real P (ativa, efetivamente transformada em trabalho) e a potência aparente S.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \cdot 100$$

Equação 5 - Rendimento.

A potência aparente é a soma vetorial da potência ativa e da potência reativa Q, potência esta que não realiza trabalho e é transferida e armazenada nos elementos passivos (capacitores e indutores) do circuito.

O rendimento, também conhecido pelo símbolo η , representa a relação entre a potência real ou útil P_u (efetivamente transferida para a ponta do eixo) e a potência total absorvida da rede P_a , ambas são potências ativas. O rendimento é calculado pela fórmula abaixo. Onde: P_u = Potência mecânica e P_a = Potência elétrica.

$$N = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Equação 6 - Rotação síncrona.

Os motores assíncronos em corrente alternada têm a sua operação na produção de um campo magnético rotativo produzido pelas três bobinas fixas com um desfasamento de 120° e correntes alternadas com o mesmo ângulo de fase elétrica. A velocidade do motor não depende do valor da tensão, mas o valor da frequência da rede de energia AC e o número de pares de polos magnéticos da máquina, conforme fórmula abaixo, onde: N: Velocidade em rotações por minuto (rpm); f: frequência em Hz; e p: Número de pares de polos.

Deduz se, portanto, que a técnica mais significativa para variar a velocidade de um motor de indução em um ponto envolve a modificação do número de polos que têm a máquina ou alterar o valor da frequência. Quanto a sistemas para variar a velocidade de agir sobre o número de polos do motor incluem: Os motores de enrolamentos independentes e o motor tipo Dahlander ou a modificação da frequência da rede elétrica com uso de conversores de frequência.

$$n = \frac{60 \cdot f}{P} (1-S)$$

Equação 7 - Rotação assíncrona.

A rotação do motor é calculada pela fórmula ao lado que representa o as rotações por minuto do rotor. Onde: n = velocidade nominal do eixo do motor assíncrono; F = frequência da rede; P = pares de polos do motor e S o escorregamento do rotor.

É importante dimensionar os motores para uma condição de funcionamento entre 75% e 100% do valor nominal, onde estes apresentam valores de rendimento mais elevados, o que proporciona uma redução nos gastos com energia elétrica.

1.3 Tensão e Corrente elétrica em Motor de Indução

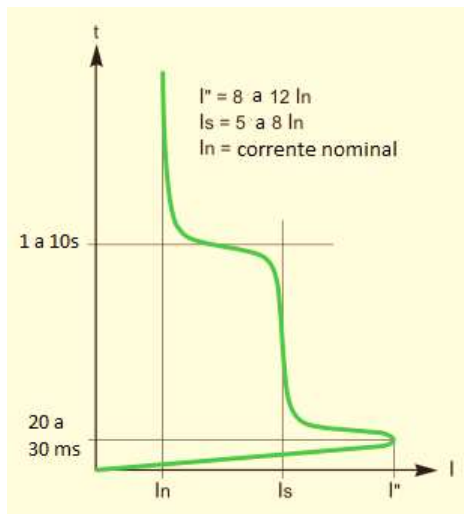


Figura 2 - Características da corrente de partida direta de um motor de indução.

As quedas de tensão entre a origem (QD) e os terminais dos motores não devem ultrapassar 4% nos circuitos alimentados por rede pública em baixa tensão e 7% nas redes com alimentadas com transformador próprio durante o funcionamento normal do motor. Durante a partida a queda máxima admitida é de 10%.

Os motores elétricos são máquinas que recebem energia elétrica da rede e fornecem energia mecânica através da movimentação de seu eixo. Quando um motor é energizado, este exige uma corrente (corrente de partida) extremamente elevada, podendo atingir valores de 6 a 10 vezes o valor nominal especificado.

Se o motor é energizado em vazio (sem carga) ele adquire rapidamente sua velocidade nominal e a diminuição da corrente de partida será rápida também. Porém, se o motor partir “em carga” a situação é mais complicada, pois as correntes serão maiores e as solicitações elétricas dos dispositivos de acionamento também serão elevadas.

1.4 Placa de Identificação de Motores Elétricos

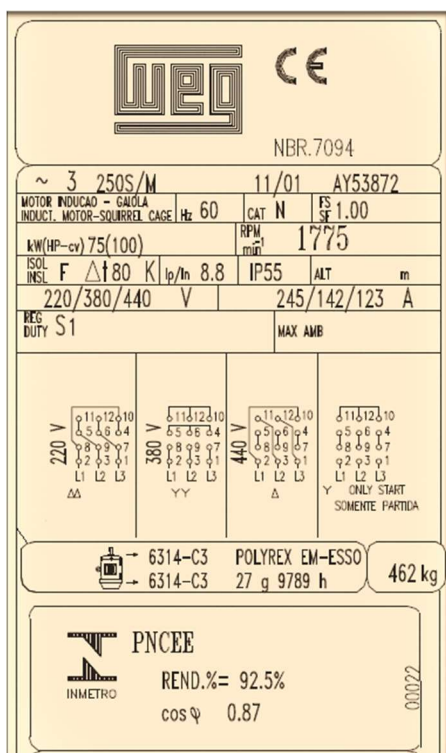


Figura 3 - Placa de Motor de Indução WEG.

Uma última característica importante de motores de indução a ser citada é a sua placa de identificação, que traz informações importantes, listadas a seguir:

- CV: Potência mecânica do motor em c.v.;
- I_p/I_n : Relação entre as correntes de partida e nominal;
- Hz: Frequência da tensão de operação do motor;
- RPM: Velocidade do motor na frequência nominal de operação;
- V: Tensão de alimentação;
- A: Corrente requerida pelo motor em condições nominais de operação;
- F.S.: Fator de serviço, quando o fator de serviço é igual a 1,0, isto implica que o motor pode disponibilizar 100% de sua potência mecânica.

2. TIPOS MOTORES ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

O motor elétrico é a máquina mais simples para se obter energia mecânica através da transformação de energia elétrica. Sendo que o motor de indução é o mais

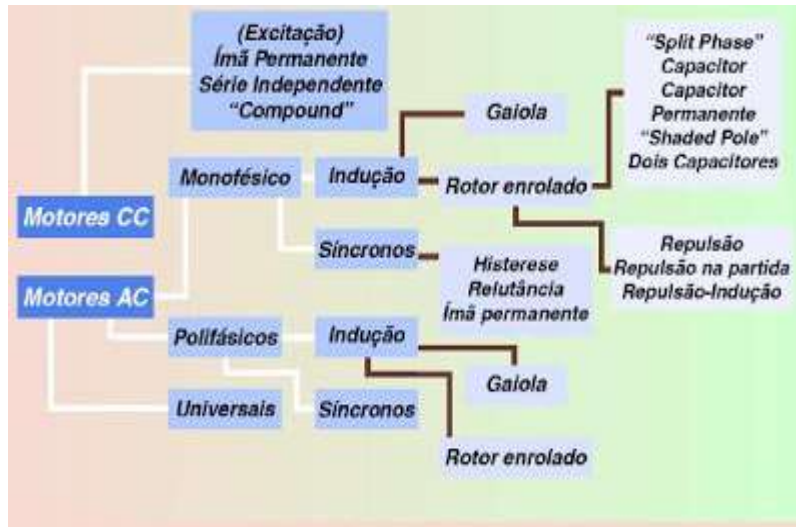


Figura 4 - Tipos de motores elétricos.

usado entre todos os tipos de motores, pois concilia robustez, grande versatilidade de aplicação, baixo custo, melhores rendimentos e não é poluente, aliados ao fato de se utilizar energia elétrica como fonte de alimentação (energia de fácil disponibilidade e baixo custo). Os tipos mais comuns de motores elétricos são mostrados na

figura acima.

Motores de corrente alternada são motores que sua alimentação é feita através de uma fonte de corrente alternada. Podem ser classificados em assíncronos (indução) e síncronos. As máquinas síncronas possuem velocidade fixa e têm sua aplicação bastante limitada, devido ao alto custo. Já os motores de indução tipo gaiola de esquilo são utilizados na grande maioria das aplicações que necessitam de motores elétricos.

Motores de corrente contínua são motores que precisam de uma fonte de corrente contínua, ou de um dispositivo que converta a corrente alternada em contínua. Sua velocidade pode ser ajustada de acordo com a tensão aplicada. Tem sua utilização principal nas aplicações que requeiram elevado conjugado de partida (como tração elétrica) e controle de velocidade sobre grandes faixas, principalmente em potências elevadas. Devido a necessidade de uma fonte de corrente contínua, e forma construtiva tem o seu custo elevado.

Motor universal é um tipo de motor de funciona tanto em corrente contínua quanto em corrente alternada. O motor universal é um motor CC com excitação série, ou seja, um motor CC cujos enrolamentos de campo e de armadura estão conectados em série, podendo ser alimentado por uma única fonte, que pode ser contínua ou alternada monofásica.

2.1 Motor de Indução Trifásico em corrente alternada

Os Motores de Indução Trifásicos são compostos basicamente de duas partes: um estator e um rotor. O estator constitui a parte estática de um motor e o rotor sua parte móvel.

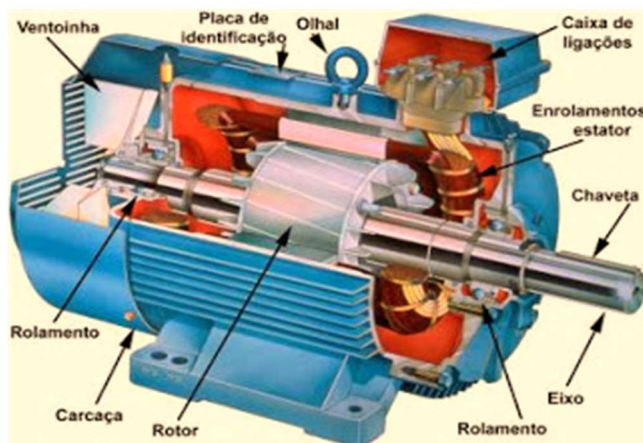


Figura 5 - Partes do motor de indução.

O motor de indução trifásico com rotor em gaiola de esquilo é constituído por um núcleo de chapas ferromagnéticas, 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 provocam um curto-circuito nos condutores.

As barras condutoras da gaiola esquilo são colocadas geralmente com uma certa inclinação para evitar as trepidações e ruídos pela ação eletromagnéticas entre os dentes das cavas do estator e do rotor. A principal desvantagem é que o torque de partida é reduzido em relação à corrente absorvida pelo estator.

O estator é composto de chapas finas de aço magnético tratadas termicamente para reduzir ao mínimo as perdas por correntes parasitas e histerese. Estas chapas têm o formato de um anel com ranhuras internas (vista frontal) de tal maneira que possam ser alojados enrolamentos que deverão criar um campo magnético no estator, alimentados pela rede de corrente alternada trifásica.

O rotor em gaiola de esquilo é constituído por um núcleo de chapas ferromagnéticas, 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 provocam um curto-circuito nos condutores.

A vantagem desse rotor é que resulta em uma construção do induzido mais rápida, mais prática e mais barata. Trata-se de um motor robusto, barato, de rápida produção, que não exige coletor (elemento sensível e caro) e de rápida ligação na rede.

A aplicação de uma tensão nos enrolamentos do estator irá fazer com que apareça uma tensão nos enrolamentos do rotor. Assim o estator pode ser considerado como o primário de um transformador e o rotor como seu secundário. O espaço entre o estator e o rotor é denominado entreferro. Os enrolamentos, ou bobinas, são em número de três. Estas bobinas, alojadas nas ranhuras do estator, podem ser ligadas em estrela ou triângulo. No rotor os enrolamentos, enrolados longitudinalmente a seu

eixo, podem ser realizados de duas maneiras, o que dá origem a dois tipos de rotores: rotor gaiola de esquilo e rotor bobinado.

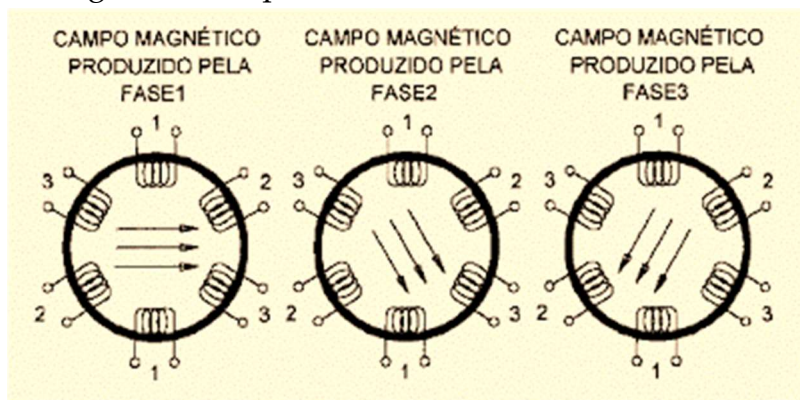


Figura 6 - Campo magnético em motor de indução.

O funcionamento de um motor de indução trifásico baseia-se no princípio do acoplamento eletromagnético entre o estator e o rotor, pois há uma interação eletromagnética entre o campo girante do estator e as correntes induzidas nas barras do rotor, quando

estas são cortadas pelo campo girante.

O campo girante é criado devido aos enrolamentos de cada fase estarem espaçados entre si de 120° . Sendo que ao alimentar os enrolamentos com um sistema trifásico, as correntes I_1 , I_2 e I_3 originarão seus respectivos campos magnéticos H_1 , H_2 e H_3 , também, espaçados entre si 120° conforme figura 2 – Campo giratório em motor de indução trifásico.

Além disso, como os campos são proporcionais às respectivas correntes, serão defasados no tempo, também de 120° entre si. A soma vetorial dos três campos H_1 , H_2 e H_3 , será igual ao campo total H resultante.

A composição do campo gerado pela corrente induzida no rotor com o campo girante do estator resulta em uma força de origem magnética que gera um conjugado no eixo do motor, tendendo a fazer o rotor girar no sentido do campo girante. Se o conjugado é suficiente para vencer o conjugado resistente aplicado sobre o eixo, o rotor começa a girar. A energia elétrica fornecida ao estator pela rede é transformada em energia mecânica através do eixo do motor.

2.1.1 Motor de Indução Trifásicos de 6 terminais

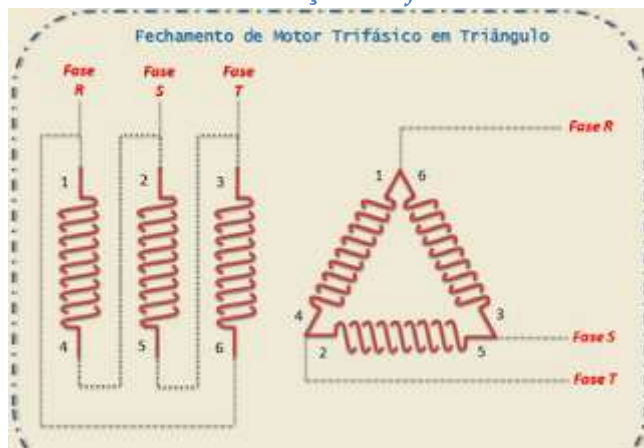


Figura 7 - Ligação em triângulo de motor de indução trifásico de 6 terminais.

O motor de Indução de 6 pontas - São fabricados para operar com 2 tensões relacionadas por 1,73, usualmente 220-380 V ou 380-660 V.

Na tensão mais baixa serão ligados em triângulo e na mais alta em estrela.

O uso de partida estrela triângulo exige que o motor tenha disponível pelo menos seis terminais e que a tensão nominal seja igual à