

Sistemas de Accionamento Electromecânico

Comando e protecção de motores

Introdução

SISTEMAS de ACCIONAMENTO ELECTROMECHANICO,

O que são?

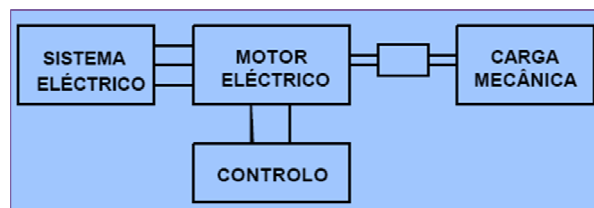
Sistemas capazes de converter energia eléctrica em energia mecânica (movimento), mantendo sob controlo todo o processo de conversão.

Utilizados em máquinas ou equipamentos que requerem algum tipo de movimento controlado, como por exemplo a velocidade de rotação de uma bomba.

Normalmente empregam motores de indução (monofásicos ou trifásicos)

Introdução

- Actualmente e em regra os sistemas de accionamento combinam os seguintes elementos:
 - **Motor eléctrico** – Converte energia eléctrica em mecânica
 - **Aparelho electrónico** – controla/ comanda a potência eléctrica entregue ao motor
 - **Transmissão mecânica** – adapta a velocidade e inércia entre o motor e a carga (máquina accionada)



3

Introdução

- A “**selecção do motor**” e dos aparelhos de comando/ regulação, é condicionada por:
 - **Fonte de alimentação** - tensão, frequência, nº de fases, etc.
 - **Aspectos ambientais** - altitude, presença de vapores e gases, poeiras, risco de explosão, etc.)
 - **Características da máquina** – Potência necessária, velocidade, tipo de máquina, regime de operação, etc.
 - É necessário analisar os binários resistentes e de arraste, impostos pelos diversos tipos de cargas, de modo a evitar problemas, como sejam: vibrações, aquecimento, desgaste prematuro, etc.

4

Necessidade de Controlo de Motores

Controlar correntes de arranque ("cavas de tensão", Regulamentação, etc.)

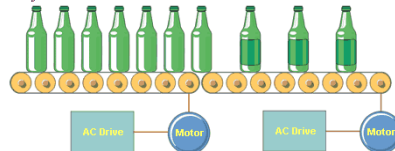
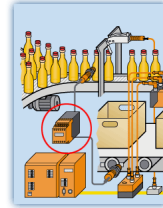
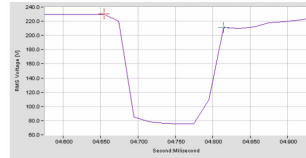
Arranques suaves (elevadores, esteiras rolantes, etc)

Adequação de binário de aceleração

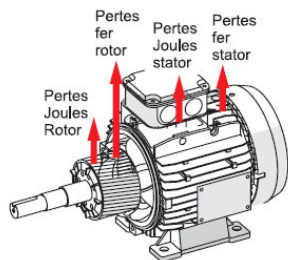
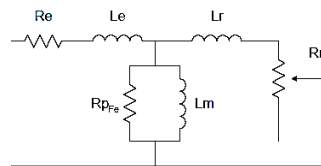
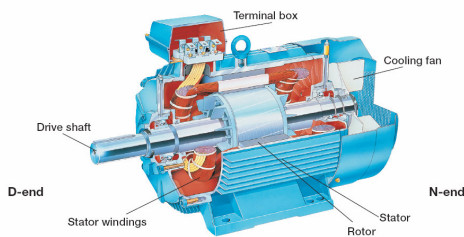
Gestão de energia eléctrica (redução de velocidade vs estrangulamento de condutas)

Adequação de velocidades

...



Motor de Indução (modelo)



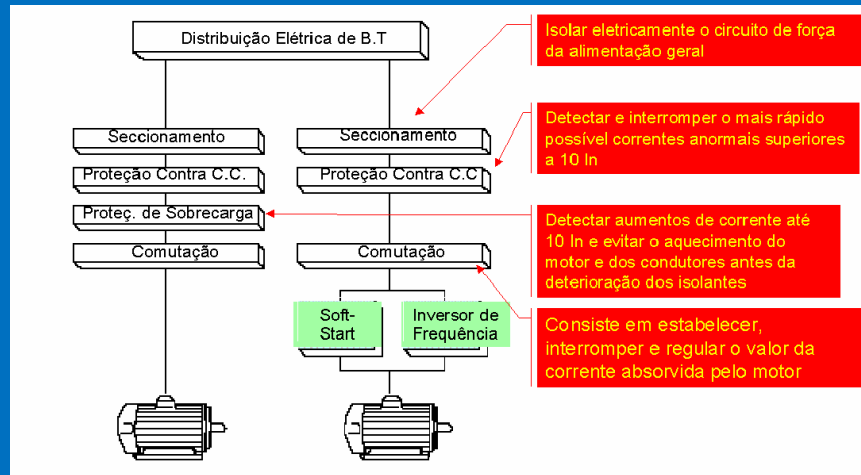
- Potência mecânica desenvolvida internamente no rotor

$$P_d = 3 I_r^2 (R_r/s) (1 - s)$$

- Binário interno desenvolvido na máquina

$$T_d = P_d / \omega_m = \{P_g (1 - s)\} / \{\omega_s (1 - s)\}$$

Constituição e funções dos dispositivos arrancadores

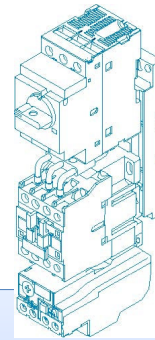


7

Arrancadores

- Constituição

- Contêm os elementos necessários para controlar e proteger os motores eléctricos e deles depende:
 - O **rendimento** de toda a instalação
 - O **nível de protecção**
 - O funcionamento a **velocidade constante ou variável**



- Garantem funções de:

- **Seccionamento** – Permite isolar electricamente as instalações e máquinas da rede de alimentação e manipulação com total segurança, segundo critérios estabelecidos em norma (IEC – 947-3).
Seccionadores, interruptores seccionadores, aparelhos de múltiplas funções
- **Comutação** – Consiste em estabelecer, cortar ou ajustar (caso da variação de velocidade) o valor da corrente absorvida pelo motor.
Interruptores, contactores, arrancadores suaves, variadores de velocidade
- **Protecção contra** – curto-circuitos e sobrecargas.
Fusíveis, disjuntores, relés-térmicos

Seccionadores

- **Dispositivo mecânico de ligação** que na posição de “**Aberto**” cumpre as condições de isolamento segundo os critérios de segurança das normas. Utilizam-se para garantir a desconexão da instalação quando em trabalhos de manutenção
- **Não tem poder de fecho nem de corte**. Não devem ser manobrados em carga, sob pena de destruição
- **Comando manual** - a velocidade de operação é a que o operador aplicar (ocasionalmente empregam-se molas para acelerar a manobra).
 - Elementos principais – Bloco tri- ou tetrapolar e comando lateral ou frontal para abrir ou fechar os pólos
 - Podem dispor de contacto auxiliar de precorte que actua sobre o contactor em caso de manipulação acidental com carga

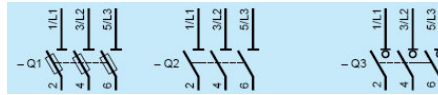
9

Interruptores

- **Interruptor**: aparelho mecânico de conexão capaz de estabelecer, suportar e interromper a corrente do circuito em condições normais e circunstancialmente em anomalia (curto-circuito, em condições específicas e por tempo determinado)
- **Interruptor automático ou disjuntor**: Interruptor projectado para interromper correntes anormais como as de curto-circuito
- **Contactor**: aparelho mecânico de ligação com apenas uma posição de repouso estável (aberto ou fechado), capaz de ser accionado por diversas formas de energia, mas não a manual. Podem estabelecer, interromper e suportar correntes normais da instalação e ocasionalmente as de curto-circuito.

10

Seccionadores e interruptores – representação simbólica



Seccionador
c/ fusíveis

Seccionador
s/ fusíveis

Interruptor -
Seccionador

•A função de seccionamento é efectuada por

•**Seccionadores**

•**Interruptores – seccionadores**

•**Disjuntores** e “**contactores – disjuntores**”, sempre que o fabricante certifique que são aptos para a função

	<i>Seccionador</i>	<i>Interruptor</i>	<i>Interruptor - seccionador</i>
Manobra em carga	Não	Sim	Sim
Isolamento na posição “Aberto” ou “0”	Sim	Não	Sim

11

Seccionadores – aspecto físico



12

Interruptores – Aspecto físico



•**Interruptores - seccionadores**
de comando rotativo
(Dispositivos de manobra)



•**Interruptores automáticos – disjuntores**
(dispositivos de protecção)

13

Contactores – categoria de emprego em motores

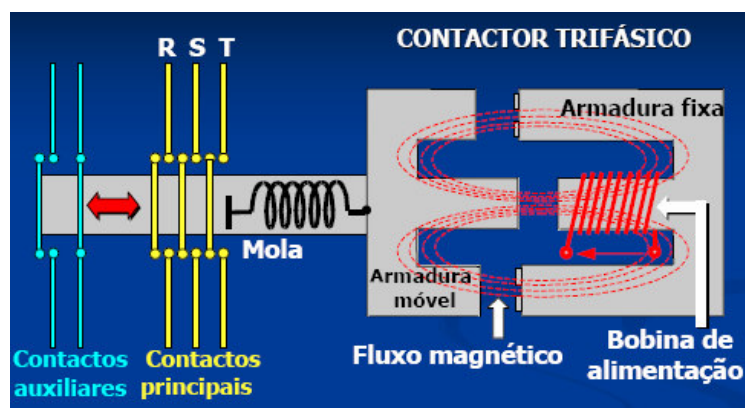
- A IEC classificou os contactores segundo a sua capacidade de suporte dos esforços decorrentes da interrupção de correntes superiores à sua corrente nominal e ainda da sua durabilidade ao serem submetidos a operações repetidas.
- Essa classificação leva em conta:
 - a frequência das operações de ligar - desligar,
 - valor das sobrecargas,
 - factor de potência da carga,
 - tipo de operação dos motores: na arranque, na frenagem, na inversão da rotação, etc.

Tipos de contactores

- **Electromagnéticos** – a força necessária para fechar o circuito provém de um electroíman
- **Pneumáticos** – a força para efectuar a ligação provém do ar comprimido
- **Electropneumáticos** – similares aos pneumáticos, mas com o circuito de comando governado por electroválvulas.

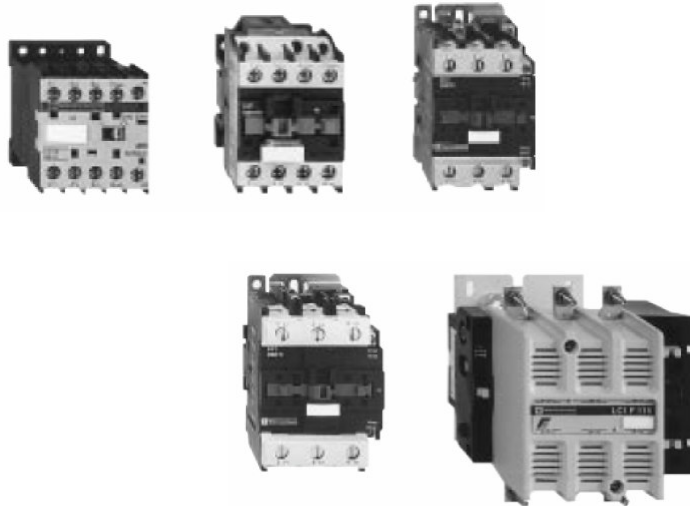
15

Contactor electromagnético



- Apenas quando se alimenta a bobina do contactor, é que os contactos principais se fecham e se comutam os auxiliares.

Aspecto físico dos contactores



17

Categorias de emprego de contactores em corrente alterna

- AC-1:** Receptores de corrente alterna com $\cos \varphi < 0,95$ (aquecimento, distribuição,...)
- AC-2:** Arranque, frenagem a contra-corrente e marcha por impulsos dos motores de rotor bobinado
- AC-3:** arranque dos motores de gaiola de esquilo com corte em motor lançado
- AC-4:** Arranque, frenagem a contra corrente e marcha por impulsos dos motores de rotor em gaiola de esquilo
- AC-5a, AC-5b:** Comando de lâmpadas de descarga e filamento
- AC-6a, Ac-6b, AC-8a:** Comando de transformadores, condensadores, compressores herméticos de refrigeração com rearme manual das protecções de sobrecarga

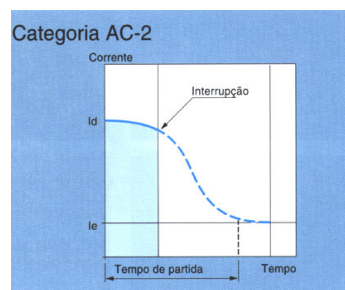
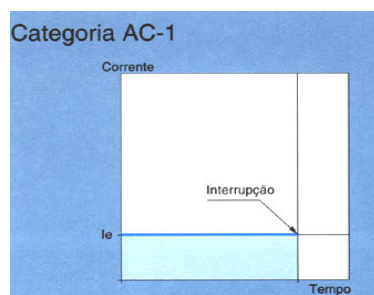
18

Contactores: Categoria de emprego

- **Categorias de emprego segundo IEC 947-4**
 - As categorias de emprego normalizadas fixam os valores de corrente que o contactor deve estabelecer ou interromper, mantendo vida útil de 1,0 a $10,0 \times 10^7$ manobras.
 - Elas dependem:
 - da natureza do receptor controlado: motor de gaiola ou de anéis, resistências, condensadores, lâmpadas fluorescentes, etc.
 - das condições nas quais são efectuados os fechos e aberturas: motor em regime normal ou bloqueado ou em arranque, inversão do sentido de rotação, frenagem por contracorrente.

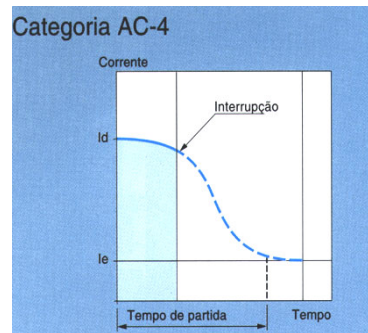
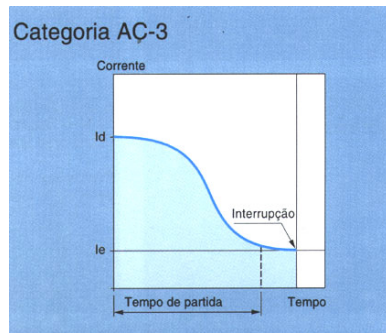
Contactores: Categoria de emprego em motores

- Categorias de emprego em corrente alternada



Contactores: Categoria de emprego em motores

- Categorias de emprego em corrente alternada



Contactores: Categoria de emprego em motores

EXEMPLOS DE APLICAÇÕES	CATEGORIA	APLICAÇÕES	SERVIÇO NORMAL		SERVIÇO OCASIONAL	
			LIGAR	DESLIGAR	LIGAR	DESLIGAR
-Aquecedores -Lâmpadas incandescentes -Lâmpadas fluorescentes compensadas	AC1	manobras leves; carga ôhmica ou pouco indutiva	1 x In	1 x In	1,5 x In	1,5 x In
-Guinchos -Bombas -Compressores	AC2	comando de motores com rotor bobinado. Desligamento em regime	2,5 x In	1 x In	4 x In	4 x In
-Bombas -Ventiladores -Compressores	AC3	serviço normal de manobras de motores c/rotor de gaiola. Desligamento em regime	6 x In	1 x In	10 x In	8 x In
-Pontes rolantes -Tornos	AC4	manobras pesadas; acionar motores com carga plena; comando intermitente (pulsatório); reversão a plena marcha e paradas por contra corrente	6 x In	6 x In	12 x In	10 x In

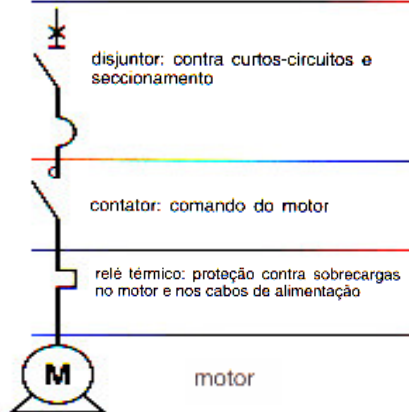
Categorias de emprego segundo IEC 947-4

Coordenação

associação de disjuntores
+ contadores (IEC 947-4.1)

- A **coordenação das protecções** é o acto de associar, de maneira **selectiva**, um dispositivo de protecção contra os curto-circuitos (fusíveis ou disjuntores) com um contactor e um dispositivo de protecção contra sobrecargas. Tem por objectivo interromper, em tempo útil, toda corrente anormal, sem perigo para as pessoas e assegurando uma protecção adequada da aparelhagem contra uma corrente de sobrecarga ou uma corrente de curto-circuito.

disjuntor-motor magnético + relé térmico + contator



Coordenação

- Sem coordenação
 - São grandes os riscos para o operador, como também podem ser grandes os danos físicos e materiais.
- Coordenação tipo 1
 - É aceite uma deterioração do contactor e do relé sob 2 condições:
 - nenhum risco para o operador,
 - todos os demais componentes, excepto o contactor e o relé térmico, não devem ser danificados.
- Coordenação tipo 2
 - O risco de soldagem dos contactos do contactor é admitido se estes puderem ser facilmente separados. Após ensaios de coordenação tipo 2, as funções dos componentes de protecção e de comando continuam operacionais.
 - É a solução que permite a continuidade de serviço.
- Coordenação total
 - É a solução em que não é aceite qualquer dano ou desregulação dos aparelhos.

Coordenação

associação disjuntor + contator + relé térmico

O quadro abaixo indica a associação entre:
 ■ disjuntor Merlin Gerin;
 ■ contator e relé térmico Telemecanique.



temperatura: 55 °C
 funcionamento: NC100L MA 220 V 100 kA
 NC100L MA 380 V 50 kA
 NC100L MA 440 V 30 kA

motores trifásicos				tipo 2 partida: classe 10			tipo 1 partida: classe 10						
potência		corrente nominal		disjuntores NC100L MA**		contatores	relés térmicos		disjuntores		contatores	relés térmicos	
kW	cv	I(A)220 V	Ie máx.	In(A)	Irm(A)	referência	referência	Irth(A)	In(A)	Irm(A)	referência	referência	Irth(A)
0.37	0.5	1.8	2.5	2.5	30	LC1 D09	LR2 D13 07	1.6/2.5	2.5	30	LC1 D09	LR2 D13 07	1.6/2.5
0.55	0.75	2.8	4	4	50	LC1 D09	LR2 D13 08	2.5/4	4	50	LC1 D09	LR2 D13 08	2.5/4
0.75	1	3.5	4	4	50	LC1 D09	LR2 D13 08	2.5/4	4	50	LC1 D09	LR2 D13 08	2.5/4
1.1	1.5	4.4	6	6.3	75	LC1 D25	LR2 D13 10	4/6	6.3	75	LC1 D09	LR2 D13 10	4/6
1.5	2	6.1	8	10	120	LC1 D25	LR2 D13 12	5.5/8	10	120	LC1 D09	LR2 D13 12	5.5/8
2.2	3	8.7	10	10	120	LC1 D25	LR2 D13 14	7/10	10	120	LC1 D09	LR2 D13 14	7/10
3	4	11.5	12.5	12.5	150	LC1 D25	LR2 D13 16	9/13	12.5	150	LC1 D12	LR2 D13 16	9/13
3.7	5	13.5	16	16	190	LC1-D25	LR2 D13 21	12/18	16	190	LC1 D18	LR2 D13 21	12/18
4	5.5	14.5	16	16	190	LC1 D25	LR2 D13 21	12/18	16	190	LC1 D18	LR2 D13 21	12/18
5.5	7.5	20	25	25	300	LC1 D25	LR2 D13 22	17/25	25	300	LC1 D25	LR2 D13 22	17/25
7.5	10	27	32	40	480	LC1 D40	LR2 D33 53	23/32	40	480	LC1 D32	LR2 D23 53	23/32
9	12	32	40	40	480	LC1 D40	LR2 D33 55	30/40	40	480	LC1 D40	LR2 D33 55	30/40
11	15	39	50	63	750	LC1 D50	LR2 D33 57	37/50	63	750	LC1 D50	LR2 D33 57	37/50
15	20	52	63	63	750	LC1 D65	LR2 D33 59	48/65	63	750	LC1 D65	LR2 D33 59	48/65

Arrancadores

Classificação

Arrancadores directos tipo: "tudo" ou "nada"

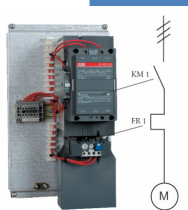
- O motor arranca com as suas próprias características e o regime de velocidade estabelecido é constante

Arrancadores electrónicos (tipo soft-start)

- Arranque e frenagem controlados, regime de velocidade constante

Arrancadores com variadores electrónicos de velocidade ("VEV's")

- Arranque e frenagem controlados, regime de velocidade dependente de regulação ou sinal exterior.



D.O.L. starter with contactor and OL relay.
 Single line diagram for a D.O.L.
 KM 1 Main contactor
 FR 1 Overload relay



Softstarter



Frequency converter

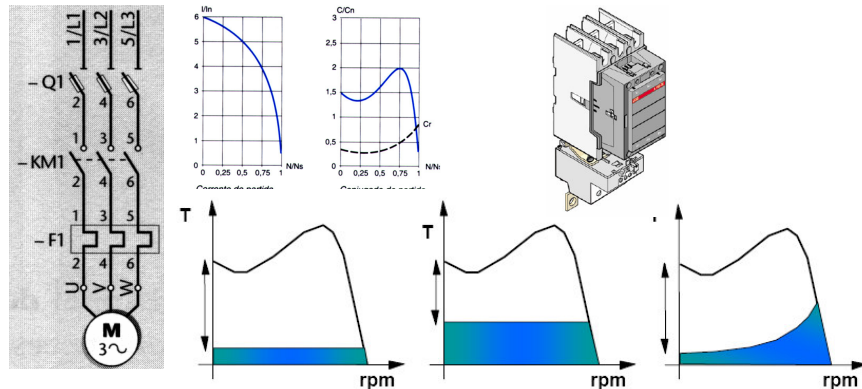
Direct-on-line start (D.O.L)

Tipos de arranque de motores assíncronos

• Arranque directo

É o modo mais simples, com o estátor ligado directamente à rede. O motor arranca com as suas características naturais.

Para motores de grande porte, não é utilizado (grande I_a !!!)



Tipos de arranque de motores assíncronos

• Arranque directo - Principais características

- Destina-se a máquinas com arranque em vazio ou com carga;
- Partidas normais (< 10s). Para partidas prolongadas (pesadas), deve-se ajustar as especificações do contactor, relé de sobrecarga, condutores, etc;
- Relé de sobrecarga: ajustar para a corrente de serviço (nominal do motor);
- Frequência de manobras: média 15 manobras/hora.

Tipos de arranque de motores assíncronos

• Arranque directo

VANTAGENS

- Menor custo
- Muito simples de implementar
- Alto binário de arranque

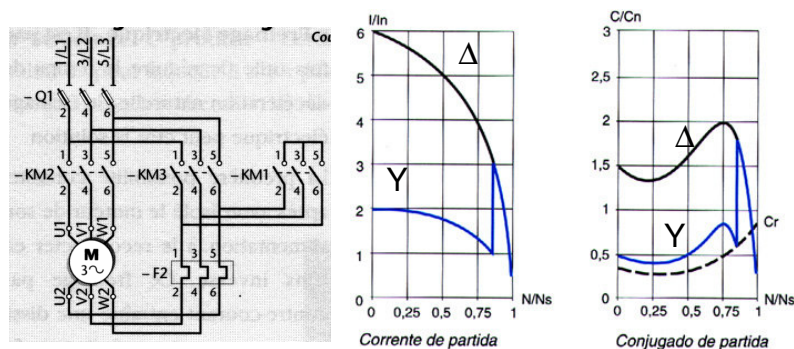
DESVANTAGENS

- Elevada corrente de arranque, provoca queda de tensão na rede de alimentação (interferência em equipamentos ligados na mesma instalação)
- É necessário sobredimensionar cabos e contactores
- limitação do número de manobras/hora

Tipos de arranque de motores assíncronos

• Arranque estrela - triângulo

processo de arranque que só pode ser utilizado em motores em que os 6 terminais estão acessíveis na placa. Consiste na alimentação do motor com redução de tensão durante a fase de arranque.

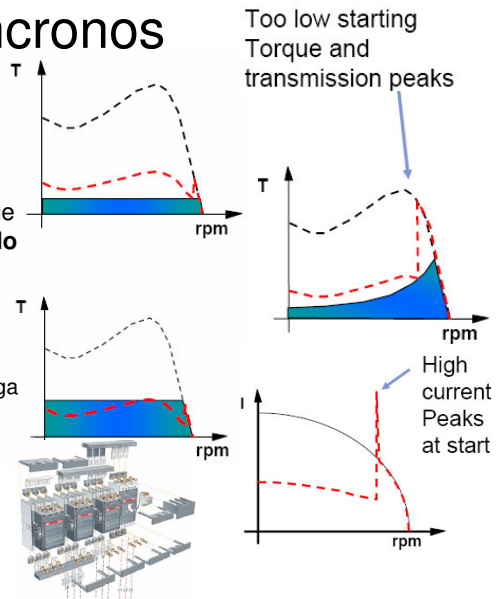


Tipos de arranque de motores assíncronos

•Arranque estrela - triângulo

Principais características:

- Apropriada para máquinas com baixo binário resistente no arranque (**até 1/3 do binário de arranque do motor**), e praticamente constante
- É aplicada quase que exclusivamente para arranques em vazio (sem carga). Só depois de se ter atingido a rotação nominal a carga poderá ser aplicada;
- O binário resistente da carga não deve ultrapassar o binário motor, nem a corrente no instante da comutação deve atingir valores muito elevados.



Tipos de arranque de motores assíncronos

• Arranque estrela - triângulo

VANTAGENS

- custo reduzido
- a corrente de arranque é reduzida a 1/3 quando comparada com arranque directo
- não existe limitação do número de manobras/hora

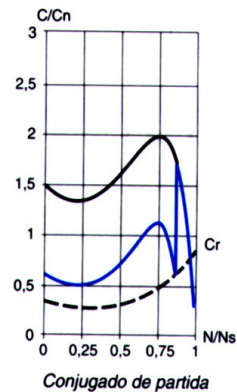
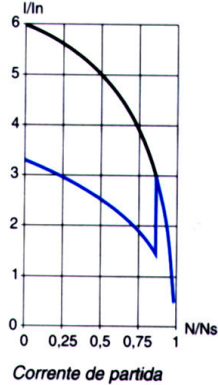
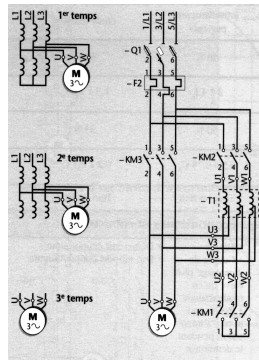
DESVANTAGENS

- redução do binário de arranque a aproximadamente 1/3 do nominal
- são necessários motores para duas tensões com seis bornes acessíveis
- caso o motor não atinja pelo menos 90% da velocidade nominal, o pico de corrente na comutação estrela para triângulo é equivalente ao de arranque directo
- em casos de grande distância entre o motor e o arrancador, o custo é elevado devido a necessidade de 2 cabos de 3 condutores (6 fios)

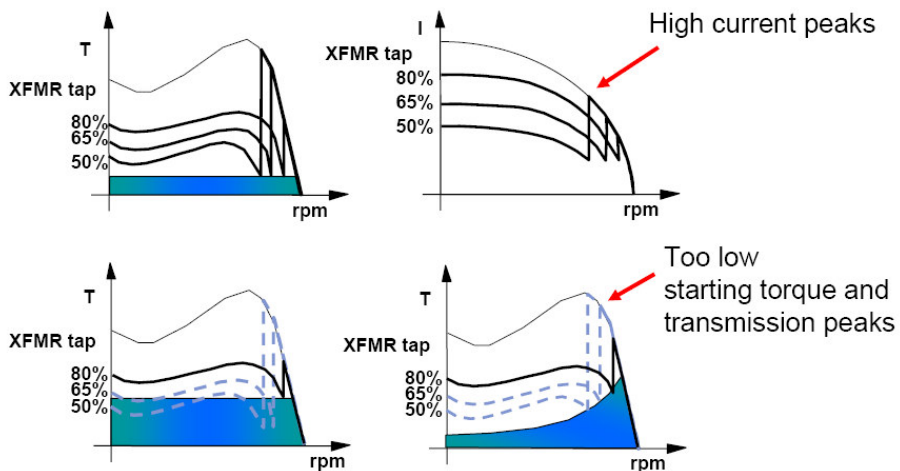
Tipos de arranque de motores assíncronos

- **Arranque por auto-transformador**

O motor é alimentado com tensão reduzida através de um autotransformador, que é desligado do circuito no final do arranque



Tipos de arranque de motores assíncronos



Tipos de arranque de motores assíncronos

• Principais características

- Destina-se a **máquinas de grande porte**, que arrancam com aproximadamente metade da carga nominal ($Tr \leq \frac{1}{2} \cdot T_{motor}$), tais como: calandras, britadores, compressores, etc;
- arranques normais (< 20s). Para arranques prolongados (pesados), deve-se ajustar as especificações do contactor, relé de sobrecarga, condutores, etc;
- Auto-transformador (com protecção térmica): taps de 65 a 80%;
- Relé de sobrecarga: ajustar para a corrente de serviço (nominal do motor);
- Relé de tempo: ajustar a um tempo de aceleração à aproximadamente 90% da rotação nominal;
- Frequência de manobras: média de 10 à 15 manobras/hora.

Tipos de arranque de motores assíncronos

• Arranque por auto - transformador

VANTAGENS

- pode ser usada para arranque de motores sob carga
- proporciona um binário ajustável às necessidades da carga
- a corrente de arranque é reduzida (proporcional a I^2):
 - TAP 65% de U_n : redução para 42% do seu valor de arranque directo
 - TAP 80% de U_n : redução para 64% do seu valor de arranque directo

DESVANTAGENS

- custo maior que a estrela - triângulo, além da construção mais volumosa, necessitando de quadros maiores
- frequência de manobras limitada

Tipos de arranque de motores assíncronos

QUADRO COMPARATIVO

Tipo arranque	Tensão	I_{arranque}	Torque	Arranque
Directo	100%	I_a	T_{arranque}	A plena carga
Estrela-triângulo	58%	$I_a \times 0,33$	$T_{\text{arranque}} \times 0,33$	Praticam. a vazio*
Auto – transfor- mador	80%	$I_a \times 0,64$ TAP 80%	$T_{\text{arranque}} \times 0,64$ TAP 80%	Com carga
	65%	$I_a \times 0,42$ TAP 65%	$T_{\text{arranque}} \times 0,42$ TAP 65%	

* ex: bombas e ventiladores com registro fechado, correias transportadoras sem carga, compressores com válvula fechada, etc.

Tipos de arranque de motores assíncronos

**TODOS OS MÉTODOS DE ARRANQUE VISTOS
CONSEGUEM UMA REDUÇÃO NA CORRENTE,
TENSÃO E BINÁRIO DE ARRANQUE, À CUSTA DE
COMUTAÇÃO POR DEGRAUS DE TENSÃO**

$$I = f(U) \text{ nos bornes}$$

$$T = f(U^2)$$