

MANUEL BOLOTINHA

Máquinas Rotativas de Corrente Alternada

**Princípio de
Funcionamento,
Características, Comando,
Controlo e Protecção**

AUTOR

Manuel Bolotinha

TÍTULO

MÁQUINAS ROTATIVAS DE CORRENTE ALTERNADA - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO, CARACTERÍSTICAS, COMANDO, CONTROLO E PROTECÇÃO

EDIÇÃO

Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

Praça da Corujeira n.º 38 · 4300-144 PORTO

Tel: 220 939 053 · E-mail: geral@quanticaeditora.pt · www.quanticaeditora.pt

CHANCELA

Engebook – Conteúdos de Engenharia

DISTRIBUIÇÃO

Booki – Conteúdos Especializados

Tel. 220 104 872 · Fax 220 104 871 · E-mail: info@booki.pt · www.booki.pt

PARCEIRO DE COMUNICAÇÃO

oelectricista – Revista Técnica

REVISÃO

Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

DESIGN

Delineatura - Design de Comunicação · www.delineatura.pt

IMPRESSÃO

Dezembro, 2021

DEPÓSITO LEGAL

489605/21



A **cópia ilegal** viola os direitos dos autores.

Os prejudicados somos todos nós.

Copyright © 2021 | Todos os direitos reservados à Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

A reprodução desta obra, no todo ou em parte, por fotocópia ou qualquer outro meio, seja eletrónico, mecânico ou outros, sem prévia autorização escrita do Editor e do Autor, é ilícita e passível de procedimento judicial contra o infrator.

Por opção do autor, este livro não segue o novo Acordo Ortográfico de 1990.

CDU
621.3 Engenharia Elétrica

ISBN
Papel: 9789899017818
E-book: 9789899017825

Catálogo da publicação
Família: Eletrotecnia
Subfamília: Máquinas Elétricas

ÍNDICE

SIGLAS E ACRÓNIMOS	IX
PARTE I – TÓPICOS GERAIS.....	11
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. ÂMBITO DA OBRA.....	14
3. ALTERNADORES E CENTRAIS ELÉCTRICAS	14
4. MOTORES ELÉCTRICOS.....	18
5. REFRIGERAÇÃO DE MÁQUINAS ELÉCTICAS ROTATIVAS.....	18
6. LEIS FUNDAMENTAIS DA ELECTROTECNIA	19
6.1. LEI DE OHM.....	19
6.2. LEI DE JOULE.....	19
6.3. LEIS DE KIRCHHOFF.....	19
6.4. LEI DE GAUSS.....	20
6.5. LEI DE AMPÈRE-MAXWELL.....	20
6.6. LEIS DE LENZ E DE FARADAY	20
7. COMPONENTES SIMÉTRICAS DOS SISTEMAS TRIFÁSICOS	21
8. NORMAS E REGULAMENTOS APLICÁVEIS	22
PARTE II – GERADORES TRIFÁSICOS.....	25
9. GERADORES TRIFÁSICOS – CONCEITOS GERAIS.....	27
9.1. CONSTITUIÇÃO DOS GERADORES E CARACTERÍSTICAS	27
9.2. ASPECTOS GERAIS DE MONTAGEM E MANUTENÇÃO PREVENTIVA	29
9.3. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO. TEORIA BÁSICA.....	30

9.4.	LIGAÇÃO DOS ENROLAMENTOS DO ESTATOR.....	33
9.5.	TIPOS DE EXCITAÇÃO DOS ALTERNADORES.....	34
9.6.	CARACTERÍSTICAS DOS ALTERNADORES.....	35
9.7.	REGULAÇÃO DE TENSÃO.....	38
10.	PARALELO DE ALTERNADORES.....	38
11.	REGIME DE NEUTRO.....	40
12.	INSTALAÇÃO À TENSÃO DE PRODUÇÃO.....	42
13.	ALTERNADORES REVERSÍVEIS – FUNCIONAMENTO COMO MOTOR SÍNCRONO ...	43
14.	COMPENSADORES SÍNCRONOS.....	45
15.	TIPOS DE DEFEITOS E PROTECÇÕES.....	46
15.1.	TIPOS DE DEFEITOS.....	46
15.1.1.	Aspectos Gerais.....	46
15.1.2.	Defeitos Internos.....	46
15.1.3.	Defeitos Externos.....	47
15.2.	PROTECÇÕES.....	48
16.	GRUPOS GERADORES DE EMERGÊNCIA BT.....	53
16.1.	APLICAÇÕES.....	53
16.2.	CONSIDERAÇÕES GERAIS. POTÊNCIA NOMINAL.....	54
16.3.	CONSTITUIÇÃO E MONTAGEM.....	55
16.4.	ENTRADA EM SERVIÇO. INVERSOR REDE-GRUPO.....	59
16.5.	PRINCÍPIOS DE MANUTENÇÃO.....	61
PARTE III – MOTORES ELÉCTRICOS.....		63
17.	MOTORES – CONCEITOS GERAIS.....	65
17.1.	CONSTITUIÇÃO DOS MOTORES E CARACTERÍSTICAS.....	65
17.2.	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO. TEORIA BÁSICA.....	66
17.3.	CARACTERÍSTICAS DOS MOTORES DE CORRENTE ALTERNADA.....	67
17.4.	RENDIMENTO E PERDAS.....	69
17.5.	TEMPO DE ARRANQUE – UMA APROXIMAÇÃO DE PRINCÍPIO.....	71
17.6.	BINÁRIO E VELOCIDADE.....	72
17.7.	MOTORES SÍNCRONOS.....	74
17.8.	O COMPORTAMENTO DOS MOTORES TRIFÁSICOS NOS CURTO-CIUITOS EXTERNOS À MÁQUINA.....	75
17.9.	INFLUÊNCIA DAS HARMÓNICAS NO FUNCIONAMENTO DOS MOTORES.....	75

17.10.	INFLUÊNCIA DOS DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO NO FUNCIONAMENTO DOS MOTORES.....	76
17.11.	TIPOS CONTRUTIVOS DOS MOTORES.....	77
17.12.	MOTORES MONOFÁSICOS DE BAIXA TENSÃO.....	78
18.	REGIMES SERVIÇO E DE FUNCIONAMENTO.....	81
19.	MOTORES SUBMERSÍVEIS.....	82
20.	MOTORES PARA AMBIENTES EXPLOSIVOS.....	83
21.	TIPOS DE DEFEITOS E PROTECÇÕES.....	84
21.1.	TIPOS DE DEFEITOS.....	84
21.2.	PROTECÇÕES.....	87
22.	EQUIPAMENTOS DE MANOBRA; CORTE E PROTECÇÃO.....	92
22.1.	INTRODUÇÃO.....	92
22.2.	SECCIONADORES MT.....	94
22.3.	INTERRUPTORES BT.....	95
22.4.	CONTACTORES MT E BT.....	95
22.5.	DISJUNTORES MT E BT.....	97
22.6.	FUSÍVEIS BT.....	98
22.7.	DISPOSITIVOS SENSÍVEIS À CORRENTE DIFERENCIAL-RESIDUAL.....	99
22.8.	QUADROS DE MÉDIA TENSÃO.....	99
22.9.	QUADROS DE BAIXA TENSÃO.....	101
23.	ARRANQUE DE MOTORES TRIFÁSICOS.....	102
23.1.	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	102
23.2.	MOTORES TRIFÁSICOS BT.....	103
24.	VARIAÇÃO DE VELOCIDADE E DUPLO SENTIDO DE MARCHA DE MOTORES TRIFÁSICOS.....	115
24.1.	ASPECTOS GERAIS.....	115
24.2.	VARIAÇÃO DE VELOCIDADE.....	115
24.3.	DUPLO SENTIDO DE MARCHA.....	119
25.	FRENAGEM DE MOTORES TRIFÁSICOS.....	120
26.	PRINCÍPIOS BÁSICOS DE INSTALAÇÃO DE MOTORES ELÉCTRICOS.....	125
27.	MANUTENÇÃO DE MOTORES ELÉCTRICOS.....	126
27.1.	PRINCÍPIOS GERAIS.....	126

27.2. MANUTENÇÃO DE MOTORES PARA ATMOSFERAS EXPLOSIVAS.....	128
27.3. TERMOGRAFIA.....	129
PARTE IV – INSPECÇÕES, ENSAIOS E COMISSIONAMENTO.....	131
28. PRINCÍPIOS GERAIS	133
29. PLANO DE INSPECÇÕES E ENSAIOS.....	134
30. ENSAIOS EM FÁBRICA (FAT)	134
31. INSPECÇÕES E ENSAIOS EM OBRA (SAT)	135
ANEXOS	CXXXIX
ANEXO 1 – ÍNDICES DE PROTEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	CXLI
A1.1. INTRODUÇÃO.....	CXLI
A1.2. ÍNDICE DE PROTEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS CONTRA A PENETRAÇÃO DE CORPOS SÓLIDOS E DE ÁGUA.....	CXLI
A1.3. ÍNDICE DE PROTEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS CONTRA OS IMPACTOS MECÂNICOS	CXLII
ANEXO 2 – CLASSIFICAÇÃO DOS LOCAIS COM RISCO DE EXPLOÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS.....	CXLIII
ANEXO 3 – SISTEMA DE UNIDADES.....	CXLVII
BIBLIOGRAFIA	CLI
ÍNDICE DE FIGURAS	CLIII
ÍNDICE DE TABELAS	CLVII

A **lei de Faraday** define que o valor da **f.e.m. induzida** depende de:

- Grandeza da variação do fluxo.
- Rapidez da variação do fluxo.
- Quantidade de espiras do circuito do induzido.

O **sentido da corrente induzida** é determinado pela chamada **lei de Lenz**, que se pode enunciar da seguinte forma:

O sentido da corrente induzida na espira é tal que o fluxo por ela produzido tende a opor-se ao fluxo que lhe deu origem.

A **lei de Lenz**, que alguns académicos consideram ser uma *pseudo-lei*, é também conhecida pela **regra do saca-rolhas**.

7. COMPONENTES SIMÉTRICAS DOS SISTEMAS TRIFÁSICOS

As *redes e equipamentos* têm uma **impedância interna** que pode ser dividida em **três componentes simétricas**, associadas à **rotação do campo electromagnético**, que no caso de um sistema não equilibrado são as seguintes:

- **Componente directa ou síncrona** [X_d / Z_d] – o campo electromagnético gira no **sentido dos ponteiros do relógio**, com uma **desfasagem entre fases de 120°**.
- **Componente inversa** [X_i / Z_i] – o campo electromagnético gira no **sentido contrário ao dos ponteiros do relógio**, sendo a **desfasagem igualmente 120°**.
- **Componente homopolar** [X_0 / Z_0] – o campo electromagnético é **estático e não há desfasagem entre fases**.

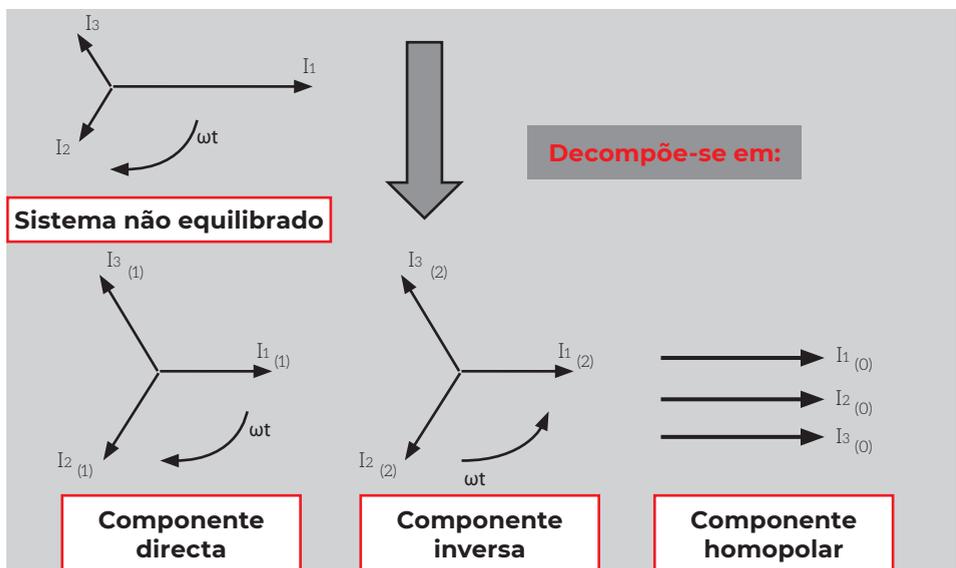


Figura 7.1. – Componentes simétricas

As grandezas são pois **sinusoidais**, com uma desfasagem de **120°**, como se mostra na Figura 9.8..

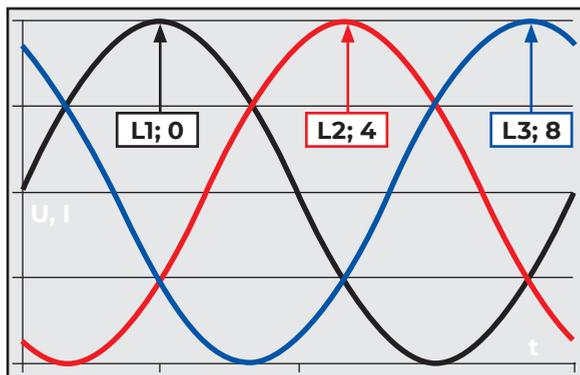


Figura 9.8. – Representação sinusoidal das grandezas eléctricas

O valor da tensão produzida pelo alternador depende da **força do campo electromagnético** e da **velocidade do rotor**. Geralmente os alternadores funcionam a **velocidade constante** e, conseqüentemente, o valor da tensão depende da **excitatriz (excitação do campo da máquina)**.

A **potência do alternador** depende da **capacidade do accionador** **ultrapassar as perdas da máquina** e da **capacidade** de esta **dissipar o calor gerado** – lei de Joule.

9.4. LIGAÇÃO DOS ENROLAMENTOS DO ESTATOR

Os enrolamentos dos alternadores trifásicos podem ligar-se em **triângulo** ou **estrela**, sendo este último o tipo de ligação mais usual.

Na prática, aos terminais dos alternadores **vão ligar 6 condutores**, sendo cada par de condutores as **extremidades das bobinas A, B ou C**.

- Montagem em estrela

No caso da montagem em estrela (Figura 9.9), o ponto comum de ligação a'b'c' (**ponto 0**) é chamado o **neutro do sistema**.

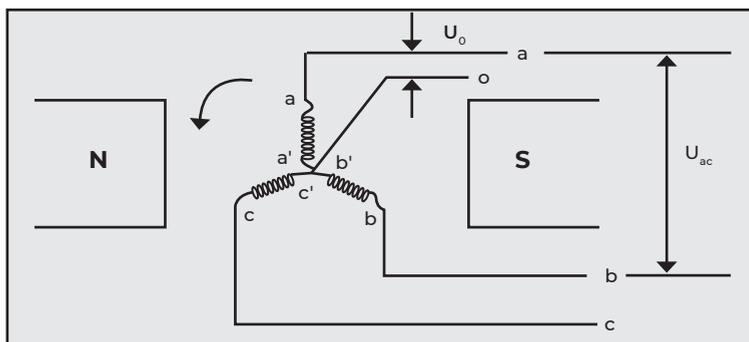


Figura 9.9. – Ligação em estrela das bobinas de um alternador

As **condições de sincronização** entre máquinas síncronas, para *funcionarem em paralelo*, ou de uma máquina síncrona com um sistema eléctrico são:

- *Igualdade das frequências* – correspondência entre a velocidade da máquina e a frequência das grandezas eléctricas da(s) outra(s) máquina(s) ou do sistema eléctrico.
- *Igualdade das tensões eficazes* – igualdade da amplitude da tensão eléctrica.
- *Igualdade das fases* – igualdade de fases da tensão da máquina e da tensão da(s) outra(s) máquina(s) ou do sistema eléctrico no ponto de ligação.

A tensão é **ajustada** através do **regulador de tensão** do alternador, e a frequência faz-se variar, **regulando a velocidade** da máquina motriz.

Inicialmente os comandos para o ajuste da tensão e da frequência e a ordem de fecho dos disjuntores dos alternadores a colocar em paralelo (entre eles ou com o sistema eléctrico) eram feitos **manualmente**, sendo as condições de sincronismo **verificadas** da seguinte forma:

- O **primeiro** método utilizado foi o designado "**das 3 lâmpadas**". Cada lâmpada é **ligada entre fases homólogas** dos equipamentos a sincronizar. Quando as 3 lâmpadas estão a **apagar-se e a acender-se simultaneamente** estão **criadas as condições para fazer o paralelo**, que **só deve ser realizado no momento em que as 3 lâmpadas estão apagadas**.
- Posteriormente passou-se a utilizar um **sequencímetro** ou **coluna de sincronização**, constituída por um **sincronoscópio** (para avaliar se as tensões estão ou não em fase), um **voltímetro duplo** (para comparação das tensões dos equipamentos/redes a sincronizar) e um **frequencímetro duplo de lâminas vibrantes** (para comparação das frequências dos equipamentos/redes a sincronizar), que se representa na Figura 10.1.

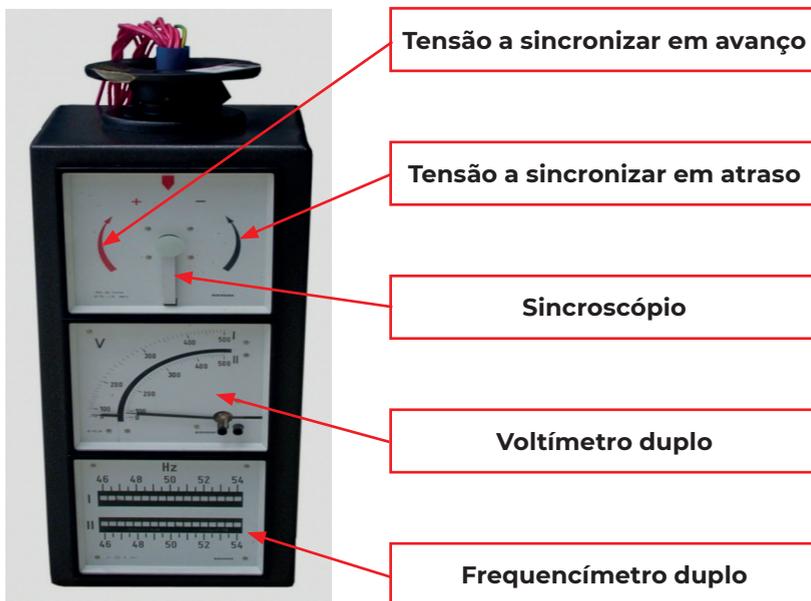


Figura 10.1. – Coluna de sincronização

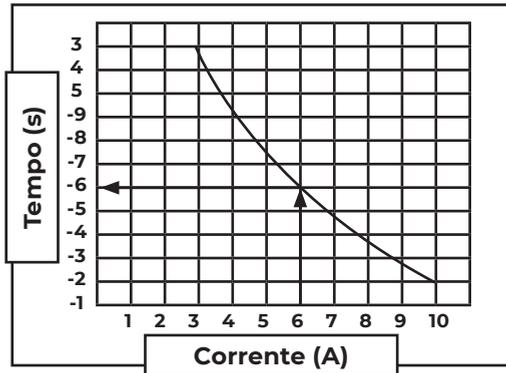


Figura 15.5. – Curva I^2t

Estas curvas são **indicadas pelo fabricante** e *dependem do accionador*.

A **protecção contra a operação como motor (potência inversa)** – código ANSI/IEEE/IEC 32 – usa um **relé direccional de potência**, sendo o seu esquema ilustrado na Figura 15.6.

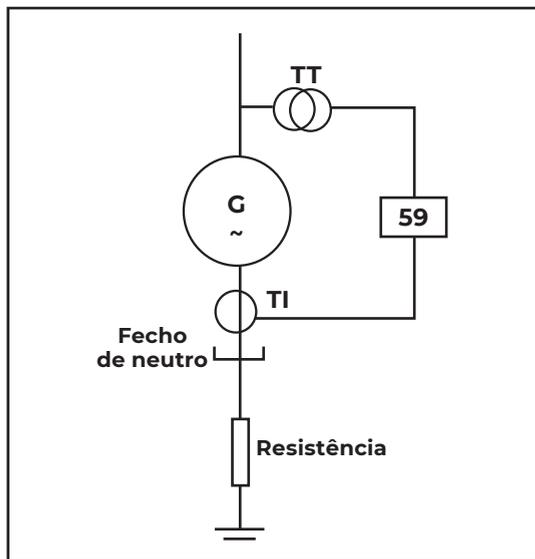


Figura 15.6. – Esquema da protecção de potência inversa

A **protecção de falta de sincronismo**, que é complementar da protecção de falta de excitação, e utiliza **relés de impedância** (ligados a TT e TI), detecta esta situação devido a perturbações da rede a que o alternador se encontra ligado, em vez de defeitos na máquina, identificando o **escorregamento**³¹ do primeiro pólo do gerador, dando origem ao disparo do respectivo disjuntor. Nestas circunstâncias o accionador não sai de serviço, permitindo assim que o alternador seja re-sincronizado depois de eliminado o defeito.

31 O **escorregamento** de uma máquina eléctrica rotativa acontece quando a sua velocidade de rotação é inferior à **velocidade de sincronismo**.

Tabela 16.1. – Valores das potências de alguns grupos em função do regime de funcionamento

TIPO	POTÊNCIA (KVA)		
	STAND BY	PRIME	CONTINUO
A	2688	2425	2200
B	3575	3250	2938
C	5375	4850	4400
D	7150	6500	5875

Sendo a *rede BT* alimentada pelo grupo uma **rede isolada e com cargas desequilibradas**, o *ponto de neutro do gerador* é **ligado directamente à terra**, uma vez que este regime de neutro melhora o **comportamento do gerador com aquele tipo de cargas**³⁴.

16.3. CONSTITUIÇÃO E MONTAGEM

Aspectos Gerais

Os **principais constituintes** de um grupo gerador de emergência são (ver Figura 16.1):

- Motor
- Alternador
- Base comum
- Bateria de arranque
- Sistema de abastecimento de combustível
- Tubagem de escape
- Quadro eléctrico de comando, controlo e protecção

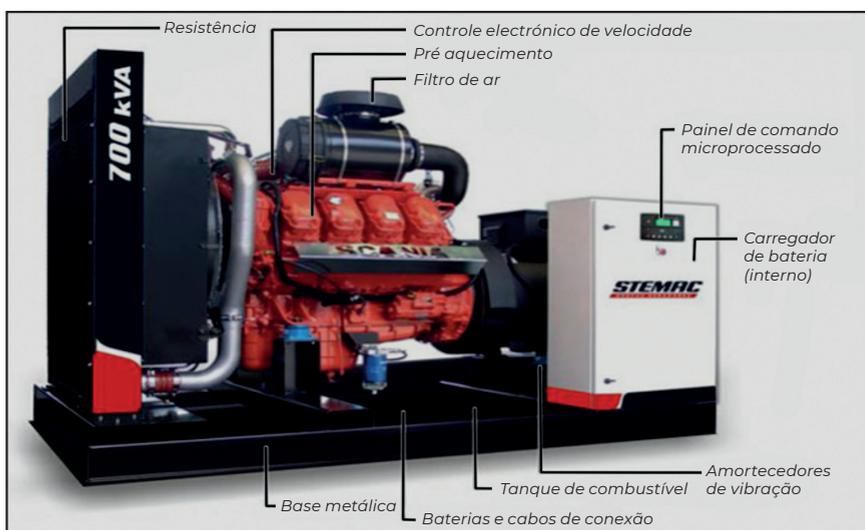


Figura 16.1. – Principais constituintes de um grupo gerador de emergência

³⁴ Ver Capítulo 11.

O referido painel de automatismo garantirá também um **número de tentativas consecutivas de arranque** (nunca inferior a **3**), intervaladas entre si, para regeneração da bateria, e comandará o **inversor rede-grupo**.

O **inversor rede-grupo** é constituído por **dois aparelhos de corte e manobra**, (contactores, interruptores ou disjuntores), com comando eléctrico de abertura e fecho, **encravados entre si eléctrica e mecanicamente**, destinado a promover a **transferência da alimentação das cargas prioritárias** da instalação da rede de utilização para o **grupo gerador de emergência**, aquando da **falta da rede pública** e a **restabelecer a alimentação a partir daquela rede**, aquando do seu regresso. Os encravamentos referidos destinam-se a **evitar o paralelo entre a rede pública e o grupo gerador de emergência**.

O **inversor rede-grupo** poderá ser instalado no **quadro eléctrico de comando, controlo e protecção do grupo** ou no **quadro eléctrico de entrada da instalação**, **solução que o Autor preconiza**.

Todos os **quadros eléctricos** (de **entrada e parciais**) que **alimentem simultaneamente cargas prioritárias e não prioritárias** deverão dispor de um **aparelho de corte e manobra** (contactor, interruptor ou disjuntor), de **comando automático**, destinado a **cortar a alimentação das cargas não prioritárias**. A Figura 16.6. ilustra o esquema de ligação do **inversor rede-grupo**.

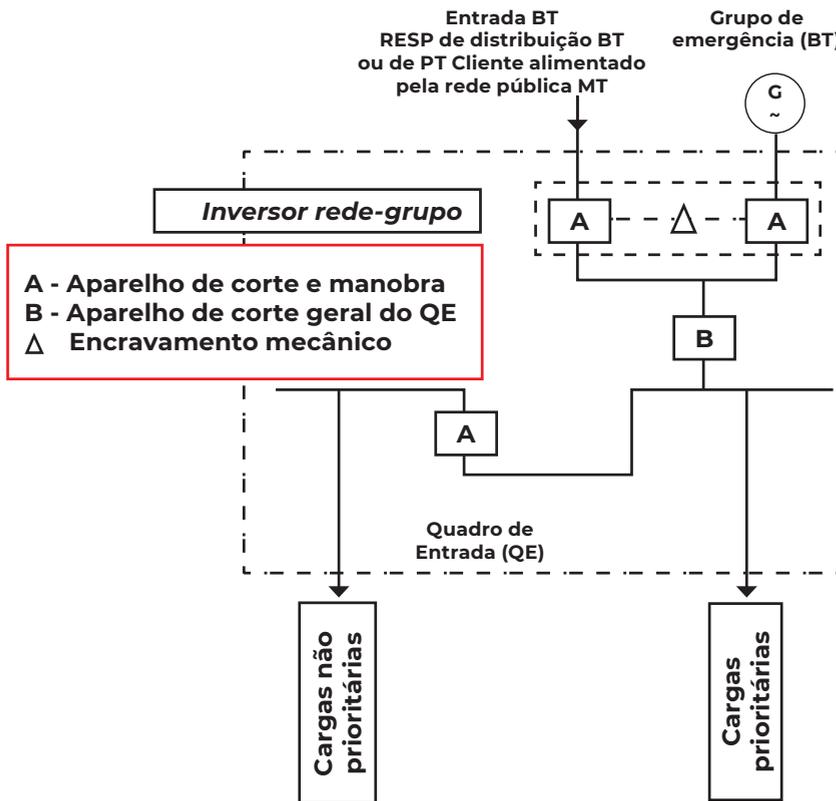


Figura 16.6. – Esquema de ligação do inversor rede-grupo

17.4. RENDIMENTO E PERDAS

Os motores, para potências acima de **3 kW**, são actualmente considerados equipamentos com uma **elevada eficiência**, apresentando **rendimentos (η) superiores a 80%** quando *não funcionam a plena carga*, e na **gama de 90-95%** a plena carga.

Deve notar-se que apesar destes valores elevados do rendimento, uma, ainda que **pequena quebra**, deste, *representa habitualmente custos elevados* devido ao importante consumo de energia eléctrica dos motores.

O rendimento dum motor depende das características dos materiais utilizados no rotor e nos enrolamentos do estator, da sua disposição física e também dos **cuidados a que devem ser observados durante a montagem** (ver Capítulo 15).

Os **principais factores** que afectam as **perdas** e consequentemente o rendimento do motor, cujo **peso e variação com a carga** se apresentam na Figura 17.2., são:

- Condutores dos enrolamentos e rotor – *dependente da carga.*
- Material do circuito magnético – *fundamentalmente constante.*
- Comportamento térmico – *fundamentalmente dependente da carga.*
- Forma aerodinâmica – *constante.*
- Fabricação, controlo de qualidade e montagem – *constante.*

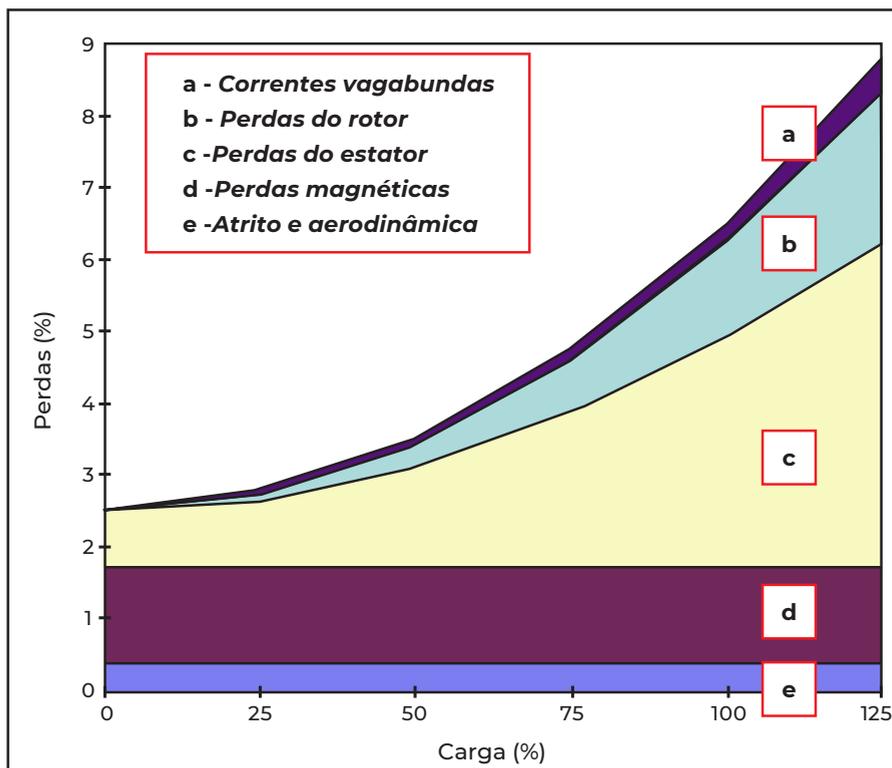


Figura 17.2. – Perdas de um motor em função da carga

Os **valores típicos** indicados para a *velocidade de sincronismo dos alternadores* na Tabela 53 (Capítulo 9.6 – Parte II), em função do número de par de pólos, para as frequências de **50 e 60 Hz**, são também **válidas** para os motores.

Na Figura 17.6. representa-se a *variação do binário em função da variação da velocidade de sincronismo*.

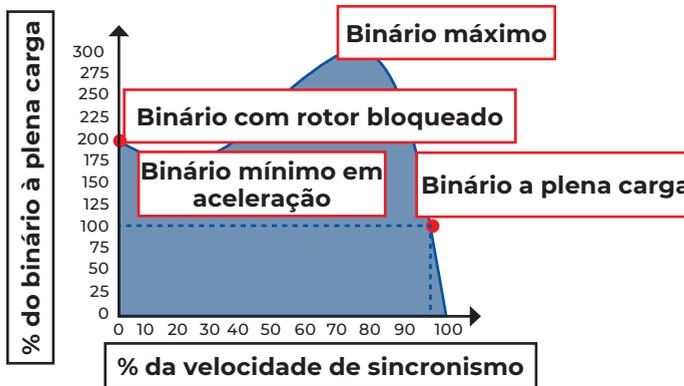


Figura 17.6. – Variação do binário com a percentagem da velocidade de sincronismo

Os motores com *velocidade nominal inferior* à *velocidade de sincronismo* designam-se por **assíncronos**, ou de **indução**.

Quanto maior for a carga, maior é o binário necessário para o seu accionamento, o que obriga a que o motor rode a uma velocidade inferior à velocidade de sincronismo, para que as correntes induzidas e os respectivos campos magnéticos sejam maiores.

17.7. MOTORES SÍNCRONOS

Os motores que **rodam à velocidade de sincronismo**, designados por **motores síncronos**, distinguem-se dos *motores assíncronos* pelo facto de a **excitação ser feita através de uma fonte externa de corrente contínua**, necessitando de **anéis e escovas** para *injectar corrente no rotor*.

Quando a *carga do motor* aumenta **para além da carga estipulada**, acrescida pela *sobrecarga admissível*, o **motor deixa de rodar à velocidade de sincronismo e de produzir binário e pára**.

Este tipo de motor necessita de um **equipamento auxiliar de arranque**, que o leve à *velocidade de sincronismo*, uma vez que o **binário só é desenvolvido a essa velocidade** (como auxiliar de arranque utiliza-se usualmente um **motor de corrente contínua**, *acoplado ao mesmo veio*).

Quando o motor *atinge a velocidade de sincronismo*, uma **corrente alternada** é aplicada aos terminais dos enrolamentos do estator; o motor de corrente contínua **funciona como gerador de corrente contínua**, *alimentando a excitação do motor*.

poeira combustível existente no local da instalação, de acordo com os documentos normativos anteriormente referidos.

De igual forma o índice de *protecção* **IP⁵²** deve ser *compatível* com as **características do local e da atmosfera** onde os motores forem instalados.

Os tipos de *protecção* “**Ex**” a serem *especificados* devem considerar os *requisitos aplicáveis* para as **actividades de montagem, inspecção, manutenção, reparação**, tendo em atenção o referido na Tabela A2.3 do Anexo 2, que se *aplicam igualmente aos elementos que constituem o motor*, designadamente o **veio**, as **chumaceiras** e os **bucins corta-fogo**, para a *entrada dos cabos no motor*.

Quando os *motores, e/ou os seus componentes*, constituem um **risco de poderem inflamar uma atmosfera explosiva**, devem ser **confinados em invólucros** que **possam suportar a pressão durante uma explosão interna** de uma *mistura explosiva* e que **previnam a transmissão da explosão** para uma. A Figura 20.1. mostra exemplos destes *motores e de bucins corta-fogo*.

Os motores a instalar em zonas ATEX devem estar de acordo com o sistema IECEx.

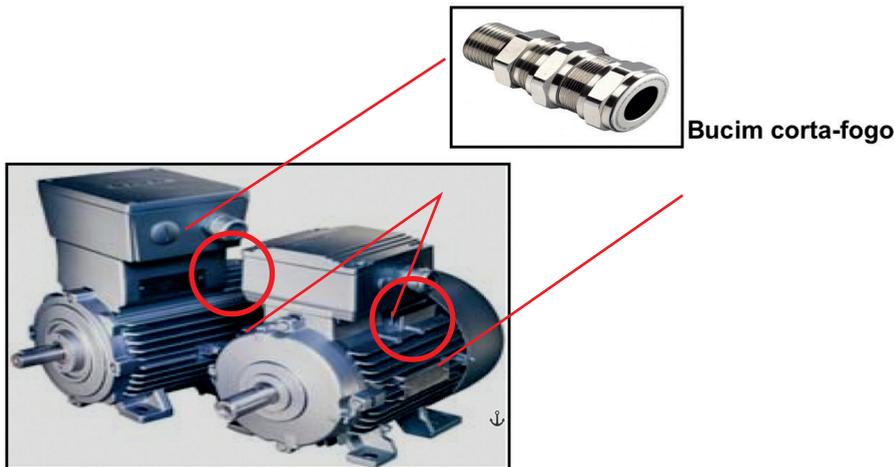


Figura 20.1. – Motores para ambientes explosivos e bucim corta-fogo

21. TIPOS DE DEFEITOS E PROTECÇÕES

21.1. TIPOS DE DEFEITOS

Os *motores*, sendo **equipamentos não-estáticos** estão sujeitos a **esforços eléctricos e mecânicos**.

52 Ver Anexo 1.

A **protecção das chumaceiras** é realizada de forma *idêntica* à dos enrolamentos do estator e do rotor (**sondas de temperatura**) e também utilizando **acelerómetros** em cada um dos lados da chumaceira.

A **protecção contra vibrações** é igualmente realizada por **acelerómetros**, como se mostra na Figura 21.3.



Figura 21.3. – Sensor de vibrações

Actualmente utilizam-se *unidades de protecção, comando e controlo micro-processadas*, os **IED**, que **agrupam todas as funções de protecção**.

22. EQUIPAMENTOS DE MANOBRA, CORTE E PROTECÇÃO

22.1. INTRODUÇÃO

Os *equipamentos* utilizados para as **funções de corte e isolamento, manobra e protecção** dos *motores eléctricos* estão indicados na Tabela 22.1.

Tabela 22.1. – Equipamentos de corte e isolamento, manobra e protecção de motores eléctricos

FUNÇÃO	MOTORES MT	MOTORES BT
Corte e isolamento	<i>Seccionadores</i>	<i>Interruptores</i> (associados a fusíveis e relés térmicos para protecção)
Manobra	<i>Contactores ou disjuntores</i>	<i>Contactores</i>
Protecção	<i>Disjuntores, associados a IED</i>	<i>Disjuntores com curva motor</i> (protecção contra curto-circuitos), associados a <i>relés térmicos</i> (protecção contra sobrecargas)
		<i>Disjuntores reguláveis</i> (protecção contra curto-circuitos e sobrecargas)
		<i>Fusíveis</i> dos tipos <i>aM</i> ou <i>gC</i> (protecção contra curto-circuitos), associados a <i>relés térmicos</i> (protecção contra sobrecargas)

As Figuras 22.1. a 22.4.⁵⁵ ilustram os **esquemas unifilares dos circuitos de alimentação** dos *motores eléctricos*.

⁵⁵ Em **todos os esquemas** desta obra é utilizada a simbologia da *Norma IEC 60617*.

22.6. FUSÍVEIS BT

Os **fusíveis BT** são montados em **bases fusíveis normalizadas** e os que são utilizados na **protecção de motores** apenas desempenham a **função de protecção contra curto-circuitos**. As principais características dos fusíveis são:

- Tensão estipulada.
- Corrente estipulada (I_n) – **valor máximo da corrente** que o fusível pode conduzir **continuamente** sem interromper o circuito.
- Poder de corte estipulado (I_p) – **corrente máxima** que o fusível pode **interromper com segurança**, variando habitualmente entre **23 kA e 63 kA**, embora em alguns tipos possa atingir os **100 kA**.
- Corrente convencional de funcionamento ou corrente convencional de fusão (I_f) – **corrente mínima que provoca a fusão do fusível**.
- Corrente convencional de não funcionamento (I_{nf}) – **valor da corrente** que o fusível é capaz de conduzir **sem fusão**, durante um **tempo definido** (designado por **tempo convencional**), expresso como um **múltiplo de I_n** (exemplo: $I_{nf} = 1,25xI_n$).
- Fusão convencional (I^2t): **medida da energia** necessária para provocar a **fusão do fusível** (esta característica baseia-se na **lei de Joule**).
- Curva tempo-corrente (ver Figura 22.8.) – indica o **tempo de actuação do fusível** em função da corrente (característica habitualmente fornecida pelo fabricante e que está definida nas normas aplicáveis).

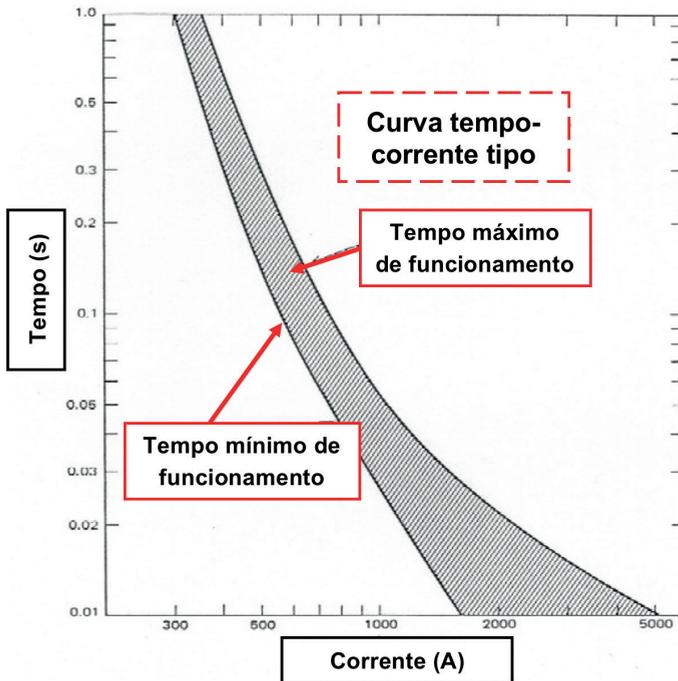


Figura 22.8. – Exemplo da curva tempo-corrente de um fusível

Softstarter

A **tensão aplicada** ao motor é **regulada** por um *circuito impresso*, constituído por **tiristores** integrados no *circuito de potência*, **ligados em anti-paralelo**, o que permite controlar o *ângulo de fase da onda de tensão em ambas as alternâncias*.

Sendo o valor da **tensão baixo** no momento do **arranque**, o mesmo acontece à **corrente e ao binário**. A **tensão é gradualmente aumentada** (*em rampa*) até atingir o valor nominal, o **binário também aumenta** e o **motor acelera**, alcançando a *velocidade e a corrente nominais*. Na Figura 23.9. apresenta a *curva tipo de evolução da tensão aplicada ao motor com arranque por softstarter*.

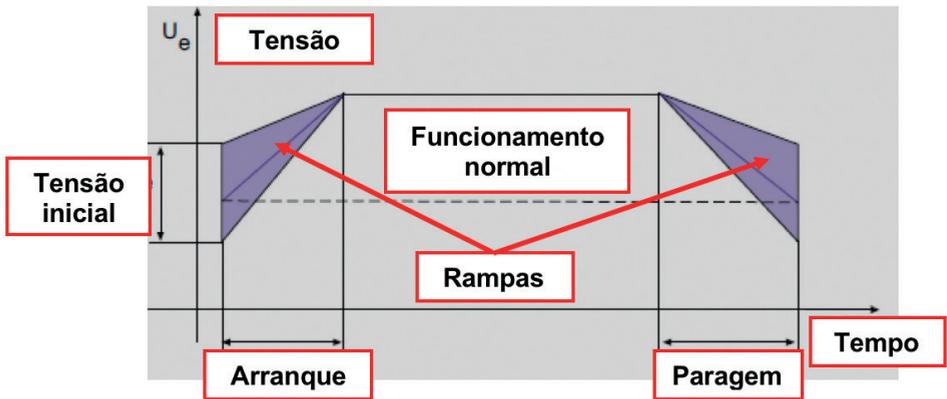


Figura 23.9. – Curva da variação da tensão aplicada a um motor com softstarter

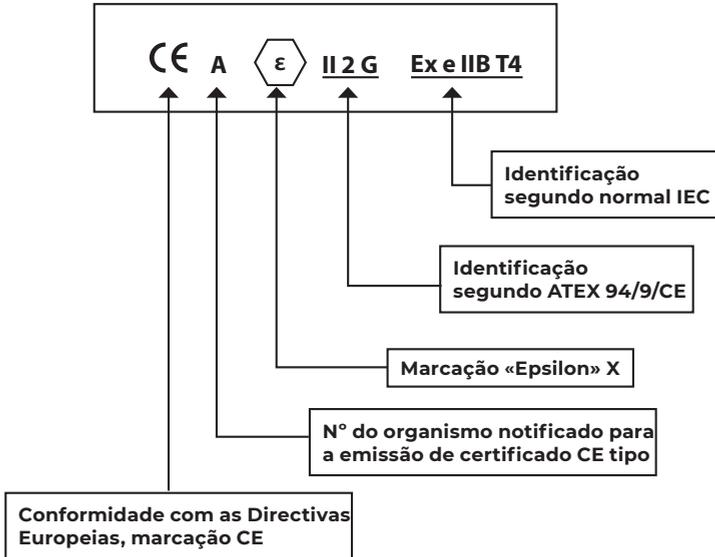
Uma das **vantagens** deste *método de arranque* é que é possível **regular o valor do binário** de acordo com as *características da carga*.

Uma das *funcionalidades* deste *tipo de arrancador* é permitir que a **paragem** do motor se faça de **forma progressiva**, *não cortando instaneamente a tensão aplicada*, mas fazendo-a **diminuir gradualmente** (*em rampa*) até que seja *atingido o valor da tensão inicial*, que é o *ponto onde o arrancador inicia ou termina as suas rampas*.

Este *método de paragem de motores* tem uma **vantagem muito significativa** nos *sistemas de águas* ao fazer *parar lentamente a(s) bomba(s) circulação de água*, *reduzindo o golpe de aríete nas tubagens*.

Ex e IIB T4

Já de acordo com as Normas EN-IEC 60079 e EN 61241 e 13463, a marcação seria:



Na Tabela A2.5. indicam-se os modos de protecção dos equipamentos eléctricos em função da classificação das zonas.

Tabela A2.5. – Modos de protecção dos equipamentos eléctricos em função da classificação das zonas

AGENTE EXPLOSIVO	CÓDIGO DE PROTECÇÃO	ZONAS			
		0	1	2	
Gases	d		X	X	
	e		X	X	
	i	ia	X	X	X
		ib		X	X
	m		X	X	
	n			X	
Poeiras	tD		X	X	
	mD	maD	X	X	X
		mbD		X	X
	iD	X	X	X	

Todos os equipamentos a instalar em zonas ATEX devem possuir o certificado de conformidade do sistema IECEx (*International Electrotechnical Commission System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Explosive Atmospheres*).

Máquinas Rotativas de Corrente Alternada

Princípio de Funcionamento, Características, Comando, Controlo e Protecção

MANUEL BOLOTINHA

Sobre a obra

As máquinas eléctricas rotativas são elementos fundamentais na produção e utilização de energia eléctrica, sendo necessário garantir que são devidamente utilizadas e mantidas, que os equipamentos de protecção, corte e manobra são os mais adequados, e ainda o seu funcionamento e a fiabilidade.

Para além dos conceitos teóricos e os principais componentes das máquinas rotativas de corrente alternada (geradores e motores), o autor aborda nesta obra aspectos práticos relacionados deste tipo de máquinas, destacando-se o princípio de funcionamento, as aplicações, o comando e controlo, o arranque dos motores, os defeitos e respectivas protecções, os equipamentos de corte e manobra, os ensaios em fábrica e em obra e os princípios básicos de montagem e manutenção.

Sobre o autor

Manuel Bolotinha, MSc, licenciou-se em 1974 em Engenharia Electrotécnica (Ramo de Energia e Sistemas de Potência) no Instituto Superior Técnico – Universidade de Lisboa (IST/UL), onde foi Professor Assistente, e obteve o grau de Mestre em Abril de 2017 em Engenharia Electrotécnica e de Computadores na Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL).

Tem desenvolvido a sua actividade profissional, ao longo de mais de 40 anos, nas áreas do projecto, fiscalização de obras e gestão de contratos de empreitadas, designadamente de projectos de geração e transporte de energia em alta tensão, instalações industriais e infra-estruturas de distribuição de energia, aeroportuárias e ferroviárias, não só em Portugal, mas também em África, Ásia e América do Sul.

Membro Sénior da Ordem dos Engenheiros, é também Formador Profissional, credenciado pelo IEFP, conduzindo cursos de formação, de cujos manuais é autor, em Portugal, África e Médio Oriente.

É também autor de diversos artigos técnicos publicados em Portugal, Brasil, Croácia e Índia e de livros técnicos, particularmente os editados com a chancela Engebook, em português e inglês, e tem proferido palestras na OE, ANEP, FCT-UNL, IST, ISEP e VIII e IX ESW Brasil (IEEE).

Apoio

o electricista 

Também disponível em formato e-book



ISBN: 978-989-901-781-8



9 789899 017818

www.engebook.pt