

Como escolher um grupo electrogéneo

CARLOS LEMOS ANTUNES

Professor Doutor Eng. Elect.

Gabinete de Investigação e Desenvolvimento (FRAPIL — Aveiro)

resumo

O artigo apresenta os critérios a ter em atenção na escolha de um grupo electrogéneo, nomeadamente a determinação da potência aparente (kVA) do alternador e da potência efectiva da máquina primária. São tidas em consideração as cargas permanentes e cíclicas que podem ligar-se ao grupo bem como as correntes instantâneas de arranque dos dispositivos accionados por motores eléctricos, geralmente não considerados e que conduzem a um subdimensionamento do respectivo grupo.

1. Introdução

O grupo electrogéneo é um sistema electromecânico de maior importância, quer seja integrado na cadeia normal de distribuição de energia como sistema de apoio, quer faça parte de uma distribuição perfeitamente autónoma. Efectivamente pode garantir a continuidade total ou parcial do abastecimento da energia eléctrica, ou mesmo fornecer a energia eléctrica essencial a instalações bastante afastadas da rede de distribuição local.

Um problema fundamental na selecção de um grupo electrogéneo é a determinação da potência apa-

abstract

The article presents the criteria to bear in mind when choosing generating sets in terms of the apparent power (kVA) of the alternator and the effective power of the prime mover. Steady state and cyclic loads are taken into account as well as peak starting currents of electric motors which are not generally considered and that lead to a subdimensioning of the generating set.

rente do alternador (em kVA) e da potência do respectivo motor primário (em kW ou CV).

A maneira mais simples e expedita de efectuar este cálculo é fazer a discriminação dos receptores de energia eléctrica com os respectivos valores da potência eléctrica nominal de consumo e somá-los aplicando ao total um factor de simultaneidade. Este processo é rápido mas conduz a resultados grosseiros e só deverá ser seguido quando se pretenderem valores aproximados que deverão ser tratados ou utilizados com a devida prudência. Poderá ser aplicado em instalações de reduzida dimensão onde os dispositivos

eléctricos têm potência reduzida e valor semelhante entre si com idênticas condições de funcionamento. O factor de simultaneidade a aplicar ao valor total da potência de consumo dos vários dispositivos dependerá da probabilidade de estes funcionarem ou não simultaneamente. O seu valor está normalmente compreendido entre 0,3 e 0,6.

Poderão obter-se valores mais correctos fazendo a listagem dos dispositivos por grupos com semelhança funcional, explicitando assim o ciclo de cargas da instalação. A discriminação dos vários grupos permite obter a potência de consumo somando os totais parciais afectados de um factor de diversidade dependente de cada grupo.

Um processo mais aperfeiçoado consiste no dimensionamento do grupo tendo em consideração, além das cargas cíclicas e permanentes, as pontas de corrente dos dispositivos a alimentar, vulgarmente não consideradas e que conduzem a um subdimensionamento do referido grupo electrogéneo.

1.1. Arranque de motores de indução

Se os accionamentos eléctricos envolvem motores de indução o valor da potência aparente no arranque aplicada ao alternador é muito maior do que a potência aparente absorvida pelos motores em regime nominal e dependerá do tipo de motor e de método de arranque utilizado.

Os tipos mais comuns de motores de indução são motores em gaiola de esquilo e motores de rotor bobinado (ou de anéis). Há vários processos de arranque de motores de indução em gaiola, nomeadamente por arranque directo, arranque estrela-triângulo e por auto-transformador. Para os motores de rotor bobinado o processo preferido é o da resistência rotórica (reóstato de arranque).

Um valor aproximado para a potência aparente absorvida no arranque S_{ar} (kVA) por um motor de indução pode ser obtido multiplicando a potência nominal do motor hp_n (em hp) por um factor K de arranque (Quadro I), ou seja,

$$S_{ar} \text{ (kVA)} = K \times hp_n$$

Atendendo aos baixos valores do factor de potência no arranque de um motor de indução em gaiola, as correntes de arranque impostas ao alternador poderão ser elevadas. Porém o valor máximo da potência activa absorvida não corresponde ao instante inicial de arranque.

QUADRO I

Factor da corrente de arranque de motores eléctricos

TIPO DE MOTOR	MÉTODO DE ARRANQUE	FACTOR $K = \frac{I_a}{I_n}$ (*)
Gaiola	Directo	5-8 (7)
Gaiola	Estrela-triângulo	1,5-3,5 (2,5)
Gaiola	Auto-transformador	2-4 (3)
Anéis	Resistência	1-2,5 (1,5)

* Entre parêntesis indicam-se os valores típicos aproximados.

Durante o período de arranque o factor de potência aumenta significativamente e o valor máximo da potência absorvida surge quando $n \simeq 0,8 n_s$, $\cos \varphi \simeq 0,65$ e $I \simeq 0,75 I_a$ (estes valores devem entender-se como valores genéricos típicos), sendo n — velocidade do motor, n_s — velocidade de sincronismo, I — corrente absorvida e I_a — corrente de arranque.

O valor máximo da potência activa absorvida pelo motor é portanto obtido multiplicando a potência aparente de arranque S_{ar} (kVA) pelo factor de potência máximo e pela relação I/I_a à potência máxima. Para os valores indicados anteriormente o factor multiplicativo será 0,49.

1.2. Regulação de tensão e queda de tensão transitória

Em termos de regulação de tensão as necessidades do utilizador variam grandemente. De um modo geral impõe-se que a tensão do alternador não flutue mais do que $\pm 2,5\%$ em regime nominal.

Os reguladores de tensão comparam o valor eficaz da tensão do alternador (monofásico ou trifásico) com o valor da tensão de referência e ajustam o campo deste de forma que a variação de tensão em regime nominal não ultrapasse os limites referidos.

A queda de tensão transitória é definida como sendo a variação de tensão nos terminais do alternador quando existe uma variação de carga, e está normalmente associada com o tempo necessário para restabelecer a tensão dentro dos limites aceitáveis em regime nominal. Apresenta-se na figura 1 a característica típica de recuperação da tensão do alternador.

O valor da queda de tensão transitória máxima admissível deve ser tal que evite o mau funcionamento dos equipamentos a serem alimentados pelo alternador. É portanto um valor que depende do tipo de carga aplicada. Com cargas do tipo estático, isto é,

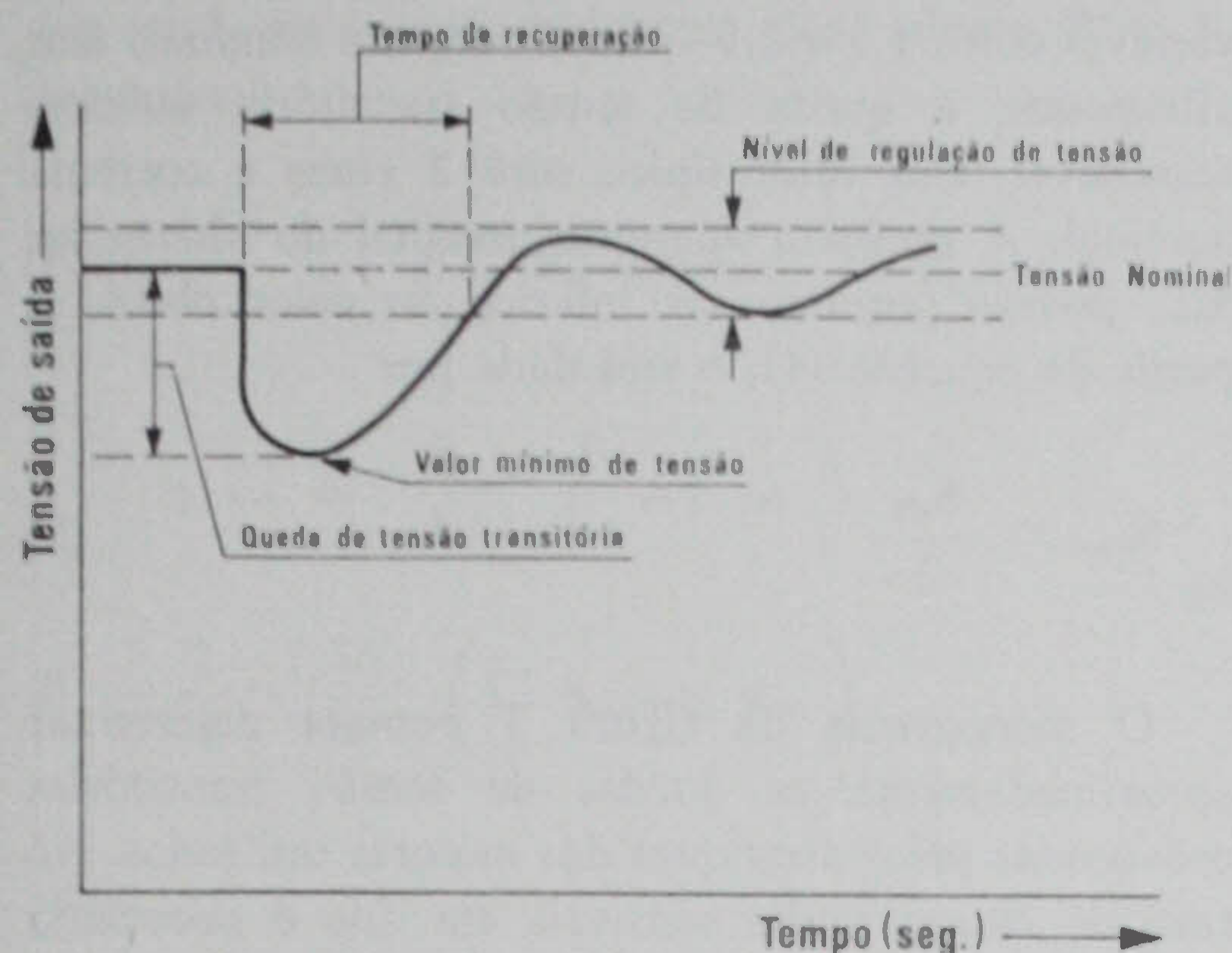


Fig. 1 — Característica de recuperação de um alternador

aquecimento, iluminação e elevado número de pequenos motores (quando a potência de saída de cada um é pequena em relação à carga total aplicada ao grupo) com um factor de potência 0,8 indutivo, é costume admitir um máximo de queda de tensão transitória entre 15% e 20%. Outros equipamentos mais sofisticados poderão eventualmente requerer uma regulação de tensão mais apertada e uma queda de tensão transitória inferior ao valor indicado.

Uma vez determinada a potência do grupo electrogénico deverá verificar-se portanto se a queda de tensão transitória e a regulação de tensão do alternador satisfazem as necessidades da instalação.

2. Escolha do alternador

A escolha do tipo do alternador e modo de excitação dependem:

- da potência total, pedida em regime permanente;
- da potência máxima, pedida em regime transitório;
- dos factores de potência ($\cos \varphi$) da instalação em regime transitório e permanente;
- do tempo de duração da potência transitória;
- da queda de tensão transitória admissível;
- da regulação da tensão necessária, em regime permanente.

2.1. Determinação da potência aparente do alternador a partir da potência aparente total em regime permanente

Como foi referido no parágrafo 1, este é o processo mais simples de determinação da potência apa-

rente do alternador. Esta pode ser obtida depois de efectuada uma análise à distribuição de cargas. Os motores e outras cargas indutivas devem ser listados separadamente das cargas resistivas, isto é, com $\cos \varphi = 1$ (como, por exemplo, aquecimento, alguns tipos de iluminação) conjuntamente com o ciclo de cargas de instalação.

Para cargas (motores) indicados em hp (horsepower) a potência eléctrica absorvida vem dada por:

$$P \text{ (kW)} = \frac{P \text{ (hp)} \cdot 0,746}{\eta_M} \quad (2)$$

onde η_M é o rendimento do motor. Se este não for conhecido, poderão utilizar-se os valores indicados na figura 2.

Os valores de η_M correspondem a cargas nominais. Se tal não for o caso, poderão utilizar-se os valores de η_M retirados do Quadro II ($\cos \varphi = 0,8$ ind.).

QUADRO II

Rendimento de motores eléctricos em função da carga

4/4 %	3/4 %	1/2 %	1/4 %
95	94,5	93	89
94	93,5	92	88
93	92,5	91	86
92	91,5	90	84
91	90,5	89	83
90	89,5	88	81
89	88,5	87	80
88	87,5	86	78
87	86,5	85	77

Como muitas cargas (tais como motores de indução, iluminação fluorescente, etc) possuem um certo grau de correcção do factor de potência ($\cos \varphi$), este pode ser considerado como compreendido entre 0,8 e 1. Se o $\cos \varphi$ não puder ser obtido através das características dos equipamentos, adopta-se o valor 0,8 indutivo.

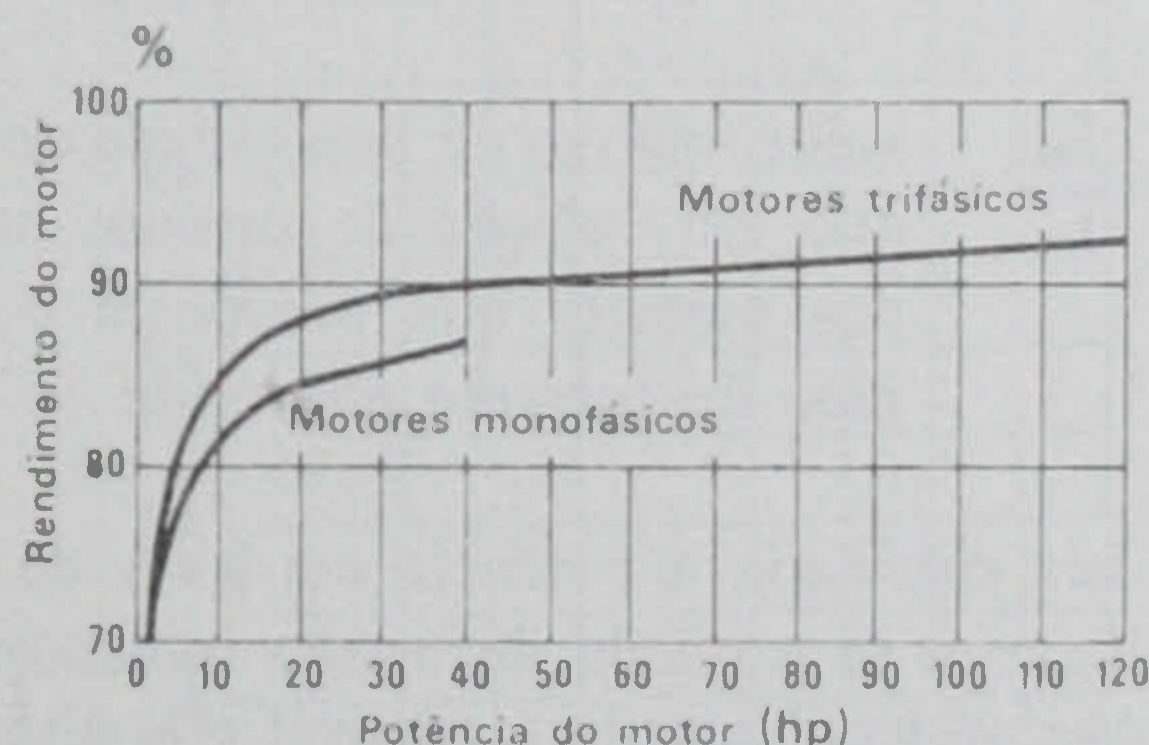


Fig. 2 — Rendimento de motores eléctricos em função da potência

Estamos assim habilitados a calcular a carga total em regime permanente que corresponde à potência mínima S_{min} do alternador a eleger:

$$S_{alt} = S_{min} = \sum_m S_m \quad (3)$$

onde

S_{alt} — potência aparente do alternador (em kVA);

$\sum_m S_m$ — somatório das potências aparentes (em kVA) em regime nominal.

2.2. Determinação da potência aparente do alternador a partir da potência aparente máxima em regime transitório

O dimensionamento do grupo electrogéneo será mais correcto se forem tomadas em consideração, além das cargas permanentes e cíclicas, as pontas de correntes dos dispositivos a alimentar, que como se indicou podem assumir valores particularmente elevados.

O alternador a eleger deverá fornecer a potência aparente máxima exigida durante o arranque de cada motor e a potência aparente total absorvida pelos motores quando funcionam em regime nominal.

A potência aparente máxima absorvida em regime transitório correspondente à potência aparente do alternador a eleger será dada por:

$$S_{alt} = \sum_m S_m - \sum_i S_i + \sum_i S_i \cdot K_i \quad (4)$$

onde

$\sum_i S_i$ — Somatório das potências aparentes (em kVA) em regime nominal, dos motores que arrancam simultaneamente e que provocam o maior pico de corrente absorvida;

$K_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}$ — valor relativo da intensidade de arranque em relação à corrente nominal dos motores que provocam o maior pico de corrente absorvida.

Uma vez calculada a potência em kVA do grupo deve verificar-se se a queda de tensão transitória não excede o valor tecnicamente aceitável. Os alternadores poderão debitar durante algum tempo uma intensidade de corrente superior à nominal (geralmente

variável entre 1,5 e 2,5 vezes a corrente nominal) sem ultrapassar a queda de tensão transitória máxima admissível. Um valor típico será 2 vezes a corrente nominal. A potência aparente nominal do alternador S_{nom} poderá portanto ser inferior ao valor obtido a partir da equação (4), e virá dada por

$$S_{nom} = \frac{S_{alt}}{2} \quad (5)$$

O monograma da figura 3 permite determinar aproximadamente as quedas de tensão transitórias provocadas pelos arranques dos motores utilizados. No caso de cargas muito sensíveis em que é necessária uma queda de tensão menor é necessário utilizar um alternador de maior potência.

O factor de potência nominal do alternador a eleger deverá ser igual ao factor de potência médio da instalação a alimentar. Se tal não for o caso é necessário utilizar coeficientes de correcção como se expõe no parágrafo 4.

3. Determinação da potência da máquina primária

A máquina primária mais utilizada é um motor térmico (diesel). O valor máximo da potência fornecida por um motor térmico é geralmente cerca de 10% superior à sua potência nominal. Assim uma vez conhecida a potência activa de saída máxima que o alternador deve fornecer é possível determinar a potência correspondente da máquina primária P_{mp} (em CV).

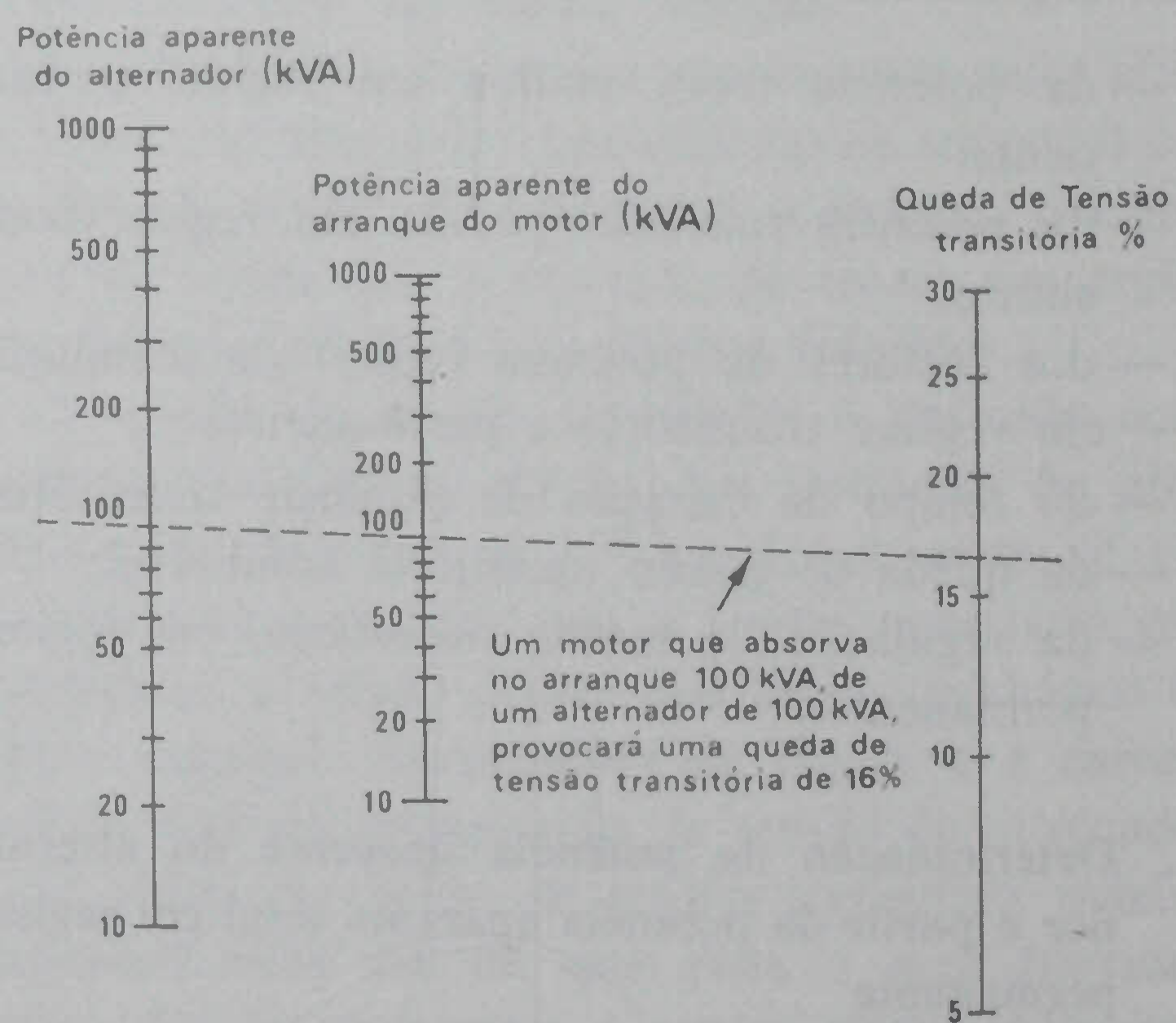


Fig. 3 — Monograma de cálculo aproximado da queda de tensão transitória no arranque de motores

Ela será dada pelo majorante dos valores P' e P'' seguintes:

$$P' = \frac{1,36}{1,1} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \left(\sum_m S_m \cos \varphi_m - \sum_i S_i \cos \varphi_i + \sum_i S_i \cdot \frac{I_{ai}}{I_{ni}} \cdot \frac{I}{I_{ai}} \cos \varphi_{ai} \right) \quad (6)$$

$$P'' = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{1,36}{1,1} \cdot \left(\sum_m S_m \cos \varphi_m \right)$$

onde

$\cos \varphi_m$ — factor de potência dos motores em regime nominal;

$\cos \varphi_i$ — factor de potência nominal dos motores de potência S_i que arrancam simultaneamente e que provocam o maior pico de corrente;

$\cos \varphi_{ai}$ — factor de potência à potência activa máxima dos motores de potência S_i (valor típico 0,65);

η — rendimento do alternador (valor típico 0,9);

$\frac{I}{I_{ai}}$ — factor de corrente à potência activa máxima dos motores de potência S_i (valor

$\frac{I_{ai}}{I_{ni}}$ — factor de arranque (Quadro I).

4. Correções à potência fornecida

A partir do balanço energético do sistema e das condições nominais de funcionamento é possível escolher o tipo de grupo seguindo o procedimento que se indicou.

As condições admitidas referem-se a máquinas que trabalham a uma temperatura ambiente $t_a = 40^\circ \text{C}$, altitude h inferior a 1000 m, factor de potência $\cos \varphi = 0,8$ ind., tensão nominal U inferior a 660 V e ligação dos enrolamentos em estrela.

Se as condições de funcionamento forem diferentes das indicadas é necessário corrigir o valor da potência calculada de acordo com os coeficientes de correcção que se apresentam nas figuras seguintes.

Assim, se a temperatura ambiente t_a for diferente de 40°C , o valor da potência calculada deverá ser multiplicada pelos coeficientes indicados na figura 4.

Para instalações situadas a uma altitude h superior a 1000 m acima do nível do mar, devem usar-se os coeficientes multiplicativos dados pela figura 5.

Se o factor de potência da instalação for inferior a 0,8, o valor da potência obtida deverá ser multiplicada pelos valores indicados na figura 6.

Utilizando ligações em triângulo e não em estrela a potência deve ser multiplicada por 0,866.

Utilizando sistemas trifásicos a 60 Hz o valor da potência obtida deverá ser multiplicada por 1,2.

No caso de máquinas monofásicas a potência determinada deverá ser multiplicada por 0,58.

Poderá assim determinar-se a potência que o grupo deverá fornecer de acordo com estas condições de funcionamento.

E, inversamente, se um determinado grupo electrogéneo for colocado a funcionar nas situações anteriores a potência real que poderá fornecer é obtida divi-

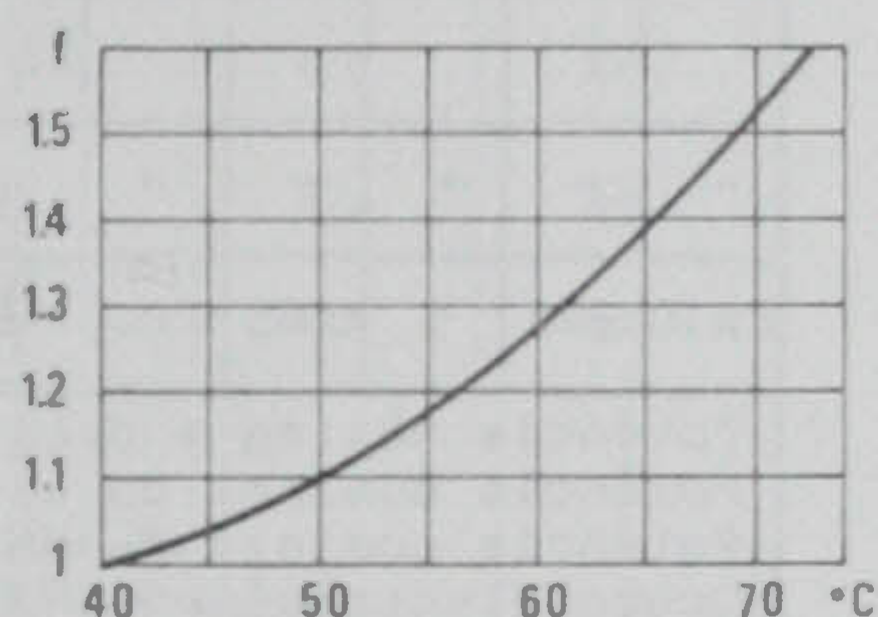


Fig. 4 — Factor de correcção da temperatura ambiente

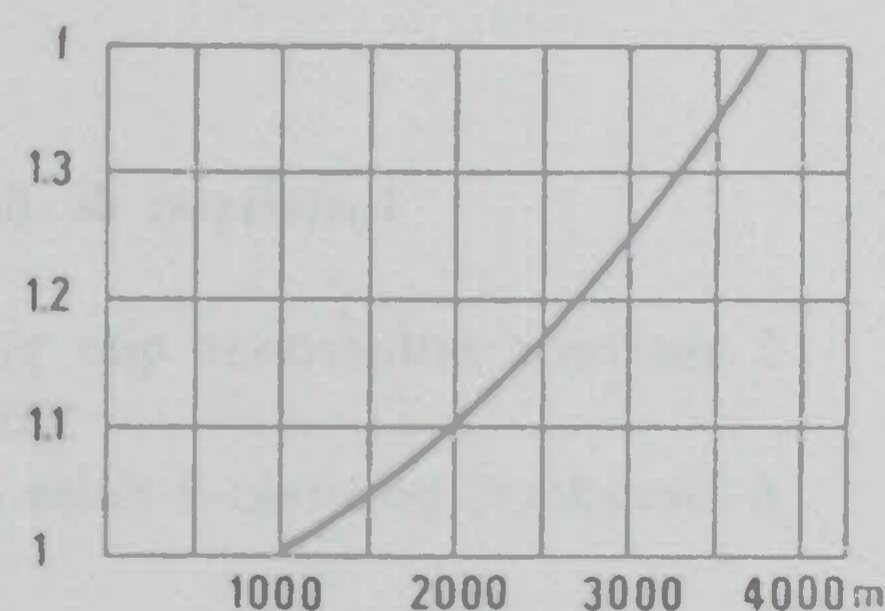


Fig. 5 — Factor de correcção da altitude

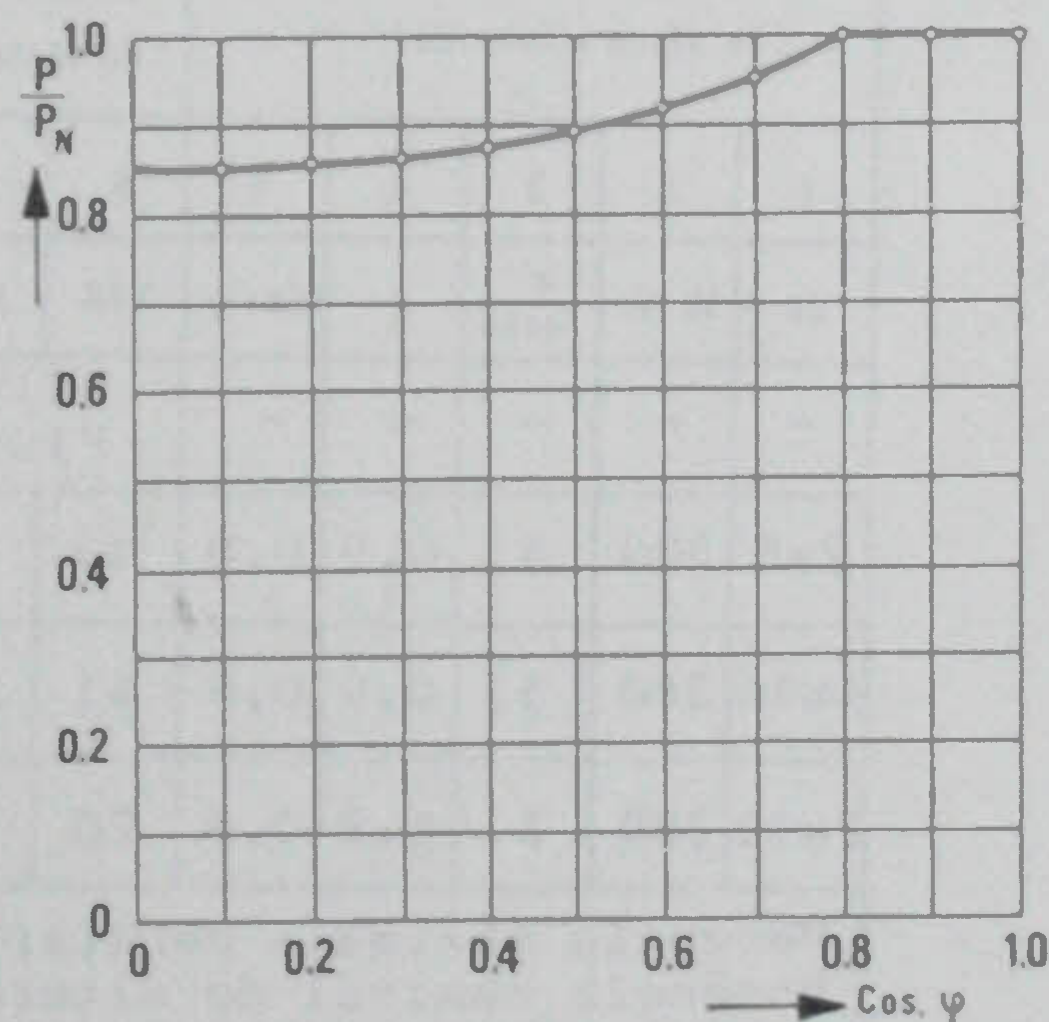


Fig. 6 — Factor de correcção do factor de potência

dindo a potência nominal do grupo pelos coeficientes de correcção.

res e iluminação) e onde se pretende determinar a potência aparente nominal do alternador e a potência nominal do motor térmico.

5. Exemplos de aplicação

São apresentados em seguida alguns exemplos de aplicação onde existem combinações de cargas (moto-

Como há a necessidade de fazer uma compilação dos dados relativos às cargas a alimentar e efectuar operações aritméticas simples foi preparado um formulário que facilita o processo de cálculo.

EXEMPLO 1

Instalação de iluminação de incandescência de 50 kVA (cos φ = 1)

8 motores de indução que podem arrancar simultaneamente com as características: rotor curto-circuito, 10 CV, 380 V, trifásicos, η = 0,85, cos φ 0,80, arranque directo

Informação sobre o Motor (da placa sinalética)					Potência nominal do Motor		Potência arranque do Motor		Potência nominal acumulada somada à potência de arranque do Motor seguinte		Potência nominal acumulada das cargas a alimentar	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
C _M	V _n (V)	N ^o Fases	η	Cos φ	kVA	kW	kVA	kW	(kVA) máx.	(kW) máx.	(kVA) cont.	(kW) cont.
-	-	-	-	-	Iluminação Incandescente				-	-	50	50
8x10	380	3	0.85	0.80	86	69	602	295	652	345	136	119
Potência máxima a debitar 652 kVA; 345 kW Potência nominal do alternador = 652/2 = 330 kVA Potência nominal da máquina primária = 345/99 ≈ 350 kW (476 CV) Grupo electrogéneo = 330 kVA/350 kW; trifásico; 380 V												

Obs.: Sugere-se aos leitores a repetição do problema utilizando métodos auxiliares de arranque.

EXEMPLO 2

Instalação de iluminação fluorescente de 50 kVA (cos φ = 0,6)

2 motores assíncronos que podem arrancar simultaneamente com as características: 5 CV, 380 V, trifásicos, η = 0,9, cos φ = 0,8;

6 elevadores podendo 2 deles arrancar simultaneamente com as características: 10 CV, 380 V, trifásicos, η = 0,9, cos φ = 0,8

Informação sobre o Motor (da placa sinalética)					Potência nominal do Motor		Potência arranque do Motor		Potência nominal acumulada somada à potência de arranque do Motor seguinte		Potência nominal acumulada das cargas a alimentar	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
C _M	V _n (V)	N ^o Fases	η	Cos φ	kVA	kW	kVA	kW	(kVA) máx.	(kW) máx.	(kVA) cont.	(kW) cont.
-	-	-	-	-	Iluminação Fluorescente				-	-	50	30
2x5	380	3	0.9	0.8	10	8	70	34	120	64	60	38
4x10	380	3	0.9	0.8	41	33	287	141	347	179	101	71
2x10	380	3	0.9	0.8	20	16	140	69	241	140	121	87
Potência máxima a debitar = 241 kVA; 140 kW Potência nominal do alternador = 241/2 = 120 kVA Potência nominal da máquina primária = 141 kW (192 CV) Grupo electrogéneo = 120 kVA/141 kW; trifásico; 380 V												

EXEMPLO 3

Instalação de iluminação incandescente e aquecimento de 10 kVA ($\cos \varphi = 1$)

4 motores de indução que arrancam separadamente com as seguintes características:

1 motor rotor bobinado, 20 CV, 380 V, trifásico, $\eta = 0,88$, $\cos \varphi = 0,8$;

1 motor rotor curto-circuito, 15 CV, 380 V, trifásico, $\eta = 0,86$, $\cos \varphi = 0,8$, arranque estrela-triângulo;

1 motor rotor curto-circuito, 10 CV, 380 V, trifásico, $\eta = 0,85$, $\cos \varphi = 0,7$, arranque estrela-triângulo;

1 motor rotor curto-circuito, 5 CV, 220 V, monofásico, $\eta = 0,8$, $\cos \varphi = 0,6$, arranque directo.

Informação sobre o Motor (da placa sinaletica)					Potência nominal do Motor		Potência arranque do Motor		Potência nominal acumulada somada a potência de arranque do Motor seguinte		Potência nominal acumulada das cargas a alimentar	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
C _N	V _n (V)	N ^o Fases	η	$\cos \varphi$	kVA	kW	kVA	kW	(kVA) máx.	(kW) máx.	(kVA) cont.	(kW) cont.
-	-	-	-	-	Iluminação e Aquecimento				-	-	10	10
20	380	3	0,88	0,8	21	17	32	16	42	26	31	27
15	380	3	0,86	0,8	16	13	40	20	71	47	47	40
10	380	3	0,85	0,7	13	9	33	16	80	56	60	49
5	220	1	0,8	0,6	8	5	56	27	116	76	68	54
Potência máxima a debitar = 116 kVA, 76 kW Potência nominal do alternador = 60 kVA Potência nominal da máquina primária = 80 kVA (109 CV) Grupo electrogéneo = 60 kVA/80 kW; trifásico; 380 V												