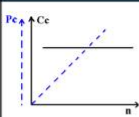
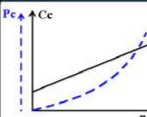
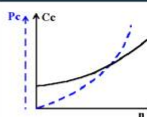
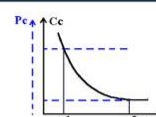


MOTORES ELÉTRICOS

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

Conj. Res. de Carga	Constante	Linear	Parabólico	Hiperbólico
Curva: Conjugado X Rotação				
Exemplos de Aplicação	<ul style="list-style-type: none"> Compressores à pistão; Talhas; Bombas à pistão; Britadores; Transportadores contínuos. 	<ul style="list-style-type: none"> Calandras; Bombas de vácuo. 	<ul style="list-style-type: none"> Bombas centrífugas; Ventiladores; Misturadores centrífugos; Compressor centrífugos. 	<ul style="list-style-type: none"> Bobinadeiras de fios, panos e papel Descascador de toras. Tornos
Categoria do motor	N H	N H	N	Corrente Contínua
Conjugado de Carga médio ($C_{cméd}$)	C_{cn} OBS: Compressor a parafuso 1,15 C_{cn}	$\frac{C_0 + C_{cn}}{2}$	$\frac{2C_0 + C_{cn}}{3}$	$\frac{C_{cn} \times n_c}{n_c - n_1} \cdot \ln\left(\frac{n_c}{n_1}\right)$

2

2

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

Momento de inércia da carga referido ao eixo		$J_{ce} = J_c \times \left(\frac{n_c}{n}\right)^2$
Relação de Transmissão		$R = \left(\frac{n_c}{n}\right)$
Conjugado resistente médio		$C_{rméd} = R.C_{cméd}$
Conjugado do motor médio	N / H	$C_{mméd} = 0,45 \times \left(\frac{C_p}{C_n} + \frac{C_{máx}}{C_n}\right) \times C_n (\times 9,81)$
	D	$C_{mméd} = 0,60 \times \left(\frac{C_p}{C_n}\right) \times C_n (\times 9,81)$
Tempo de Aceleração		$t_a = 2.\pi.n \times \left(\frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}}\right)$

n = rotação do motor [rps]

nc = rotação da carga [rps]

Jm = Inércia do motor [kgm²]

Cp/Cn = relação de conjugado de partida por nominal

Cmax/Cn = Relação entre conjugado máximo por nominal

Cn = Conjugado nominal [kg.f.m]

3

3

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

ETAPAS DE CÁLCULO:

- 1° Determinação da rotação (polaridade) do motor
- 2° Cálculo da potencia da carga
- 3° Cálculo da potencia do motor
- 4° Cálculo do conjugado médio do motor
- 5° Cálculo do conjugado médio da carga
- 6° Cálculo do conjugado resistente médio da carga
- 7° Cálculo da inércia da carga referida ao eixo do motor
- 8° Cálculo do tempo de aceleração do motor
- 9° Verificação (Comparar ta e trb)

4

4

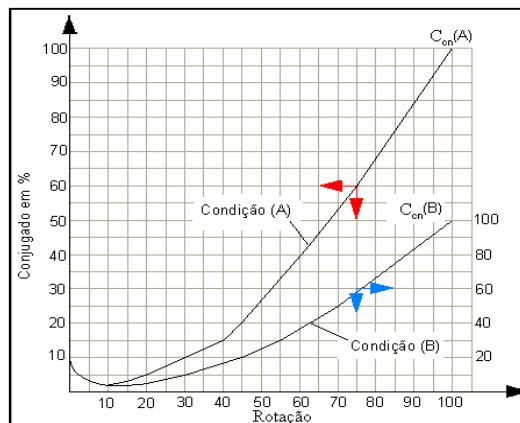
4

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

EXERCÍCIO 1:

Deseja-se saber que motor **W22 IR4 Super Premium** deve ser acoplado a um ventilador que possui as características a seguir:

- $n_c = 1780 \text{ rpm}$;
- $J_c = 20 \text{ kgm}^2$;
- Acoplamento direto;
- $C_{cn}(A) = 320 \text{ Nm}$;
- $C_{cn}(B) = 270 \text{ Nm}$.



5

5

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

Solução: Condição [A]

1) Determinação da velocidade do motor:

$$n = \frac{n_c}{R} = \frac{1780}{1} = 1780 \text{ rpm}$$

$$n = \frac{1780}{60} = 29,7 \text{ rps}$$

2) Determinação da potência nominal da carga na **condição A** (mais severa):

Sabendo-se que o $C_{cn}(A) = 320 \text{ Nm}$, e $n_c = 1780 \text{ rpm}$ (29,7 rps), temos:

$$P_c = 10^{-3} \cdot 2 \pi \cdot n_c \cdot C_{cn}$$

$$P_c = 10^{-3} \cdot 2 \pi \cdot 29,7 \cdot 320$$

$$P_c = 59,7 \text{ kW}$$

6

6

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

3) Determinação da potência nominal do motor:

$$P_n = \frac{P_c}{\eta_{ac}}$$

$$P_n = \frac{59,7}{\cancel{\eta_{ac}}} \rightarrow 1$$

$$P_n = 59,7 \text{ kW}$$

Portanto o motor WEG será de IV Polos 75 kW.

4) Determinação do conjugado médio do motor :

Com a definição do motor, conseguimos com o auxílio do catálogo, determinar o seu conjugado médio ($C_{mméd}$):

$$C_{mméd} = 0,45 \times \left(\frac{C_p}{C_n} + \frac{C_{máx}}{C_n} \right) \times C_n (\times 9,81)$$

Do catálogo, para o motor de 75kW - IV polos, temos:

$$C_p / C_n = 3,8 \quad C_{máx} / C_n = 3,9 \quad C_n = 40,9 \text{ kgfm}$$

$$C_{mméd} = 0,45 \times (3,8 + 3,9) \times 40,9 \times 9,81$$

$$C_{mméd} = 1390,3 \text{ Nm}$$

7

7

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

5) Determinação do conjugado médio da carga:

O conjugado resistente médio depende do tipo de carga.

Para bombas e ventiladores, sabemos que o conjugado é parabólico, então:

$$C_{cmed} = \frac{2 \cdot C_0 + C_{cn}}{3}$$

$$C_{cmed} = \frac{2 \cdot 32 + 320}{3}$$

$$C_{cmed} = 128 \text{ Nm}$$

Do gráfico do ventilador, para o caso (A), temos:

$$C_{cn}(A) = 320 \text{ Nm}$$

$$C_0 = 0,10 \times C_{cn}(A) = 0,10 \times 320 \quad C_0 = 32 \text{ Nm}$$

8

8

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

6) Determinação do conjugado resistente médio da carga:

O conjugado resistente médio carga depende da relação de transmissão:

$$C_{rméd} = C_{cméd} \cdot R \quad C_{rméd} = 128 \cdot 1 = 128 \text{ Nm}$$

7) Determinação do momento de inércia da carga referida ao eixo:

$$J_{ce} = J_c \cdot \left(\frac{n_c}{n_m} \right)^2 \quad J_{ce} = J_c \cdot R^2$$

$$R = \left(\frac{n_c}{n_m} \right) \quad J_{ce} = 20 \cdot 1^2 = 20 \text{ kgm}^2$$

9

9

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

8) Determinação do tempo de aceleração:

$$t_a = 2 \pi \cdot n \cdot \left(\frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \right) [s]$$

Do catálogo, para o motor de 75kW - IV polos, temos:
 $J_m = 1,21 \text{ kgm}^2$ $t_{rb} = 12 \text{ s}$

O momento de inércia da carga referido ao eixo do motor é:

$$J_{ce} = 20 \cdot 1^2 = 20 \text{ kgm}^2$$

$$t_a = 2 \pi \cdot 29,7 \cdot \left(\frac{1,21 + 20}{1390,3 - 128} \right) [s] \quad t_a = 3,13 [s]$$

9) Verificação do tempo de aceleração:

$$t_a \leq 0,8 \cdot t_{rb} \quad t_a \leq 0,8 \cdot 12 \quad t_a \leq 9,6 [s]$$



Motor aciona a carga

10

10

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

Considerando o motor da **condição A**, partindo com uma chave **estrela-triângulo** tem-se um novo valor de seu conjugado médio ($C_{méd}$):

a) **Determinação do conjugado médio do motor:**

$$C_{méd} = 0,45 \times \left(\frac{C_p}{C_n} + \frac{C_{máx}}{C_n} \right) \times C_n \quad (\times 9,81) \cdot 0,33$$

Do catálogo, para o motor de 75kW - IV polos, temos:

$$C_p / C_n = 3,8 \quad C_{máx} / C_n = 3,9 \quad C_n = 40,9 \text{ kgfm}$$

$$C_{méd} = 0,45 \cdot (3,8 + 3,9) \cdot 40,9 \cdot 9,81 \cdot 0,33$$

$$C_{méd} = 459 \text{ Nm}$$

11

11

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

b) **Determinação do conjugado resistente médio:**

Como não estamos mudando a carga a ser acionada, o conjugado resistente médio e o momento de inércia da carga referida ao eixo continuam o mesmo da **condição A**.

$$C_{rméd} = 128 \text{ Nm}$$

$$J_{ce} = 20 \text{ kgm}^2$$

12

12

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

c) Determinação do tempo de aceleração:

$$t_a = 2 \pi \cdot n \cdot \left(\frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \right) [s]$$

$$t_a = 2 \pi \cdot 29,7 \cdot \left(\frac{1,21 + 20}{459 - 128} \right) [s]$$

$$t_a = 12[s]$$

O tempo de rotor bloqueado de catálogo precisa ser corrigido para a tensão reduzida da partida Y/Δ:

$$t_{rb} = t_b \cdot \left(\frac{U_n}{U_r} \right)^2 [s]$$

$$t_{rb} = 12 \cdot \left(\frac{U_n}{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} \right)^2 [s]$$

$$t_{rb} = 12,3[s]$$

$$t_{rb} = 36[s]$$

$$t_a \leq 0,8 \cdot t_{rb}$$

$$t_a \leq 0,8 \cdot 36$$

$$12 \leq 28,8[s]$$



Motor aciona a carga

13

13

COMPRESSORES

CARACTERÍSTICAS DOS COMPRESSORES

- Momento de inércia (J_c) [kgm^2];
- Conjugado de partida (C_p) [N.m];
- Conjugado nominal (C_n) [N.m];
- Rotação nominal (n_c) [rps];
- Dados do acoplamento;
- Esforços radiais e/ou axiais.

Motores | Automação | Energia | Transmissão & Distribuição | Tintas



14

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

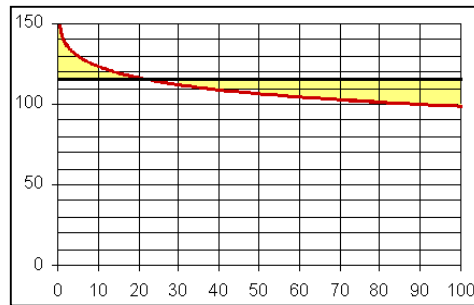
DETERMINAÇÃO DO CONJUGADO MÉDIO DA CARGA ($C_{rméd}$):

Depende do tipo de carga.

Para o caso de compressores, temos:

$$C_{rméd} = C_{cméd} \cdot R$$

$$C_{cméd} = 1,15 \cdot C_{cn}$$



Obs: Conjugado médio da carga obtido pela integração da curva característica da carga.

15

15

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

EXERCÍCIO 2:

Deseja-se saber que motor W22 IR3 Premium deve ser empregado para acionar um compressor a parafuso com as seguintes características:

- $n_c = 1125$ rpm;
- $J_c = 6,9$ kgm²;
- Conjugado nominal $C_{cn} = 24$ Nm;
- Redução do acoplamento $R = 0,65$;
- Rendimento do acoplamento $\eta_{ac} = 97\%$.

16

16

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

SOLUÇÃO:

1) Determinação da velocidade do motor:

$$n = \frac{n_c}{R} = \frac{1125}{0,65} = 1730 \text{ rpm}$$

Portanto o motor WEG será de **IV Polos**.

$$n = \frac{1730}{60} = 28,8 \text{ rps}$$

2) Determinação da potência nominal da carga:

Sabendo-se que o $C_{cn} = 24 \text{ Nm}$, e $n_c = 1125 \text{ rpm}$ (18,75 rps), temos:

$$P_c = 2 \pi \cdot n_c \cdot C_{cn} \cdot 10^{-3}$$

$$P_c = 2 \pi \cdot 18,75 \cdot 24 \cdot 10^{-3}$$

$$P_c = 2,82 \text{ kW}$$

17

17

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

3) Determinação da potência nominal do motor

Conhecendo-se a potência nominal da carga, temos que a potência nominal do motor será:

$$P_n = \frac{P_c}{\eta_{ac}} = \frac{2,82}{0,97} = 2,91 \text{ kW}$$

Com o auxílio do **catálogo**, observamos que a potência normalizada, imediatamente superior é de **3 kW**.

3 kW - IV PÓLOS



Para termos certeza de que este motor acionará a carga, devemos calcular o tempo de aceleração.

$$t_a = 2 \pi \cdot n \cdot \left(\frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \right) [s]$$

18

18

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

4) Determinação do conjugado do motor médio:

Com a definição do motor, conseguimos com o auxílio do catálogo, determinar o seu conjugado médio (C_{mmed}):

$$C_{mmed} = 0,45 \times \left(\frac{C_p}{C_n} + \frac{C_{max}}{C_n} \right) \times C_n \quad (\times 9,81)$$

Do catálogo, para o motor de 3kW - IV polos, temos:
 $C_p / C_n = 4$ $C_{max} / C_n = 4$ $C_n = 1,67 \text{ kgfm}$

$$C_{mmed} = 0,45 \times (4 + 4) \times 1,67 \times 9,81$$

$$C_{mmed} = 58,98 \text{ N.m}$$

19

19

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

5) Determinação do conjugado resistente médio:

O conjugado resistente médio depende do tipo de carga.

Para compressores a parafuso, sabemos que o conjugado é constante, então:

$$C_{cmed} = 1,15 \cdot C_{cn}$$

Sabendo-se que:

$$C_{cn} = 24 \text{ Nm}$$

$$C_{cmed} = 1,15 \cdot 24$$

$$C_{cmed} = 27,6 \text{ Nm}$$

20

20

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

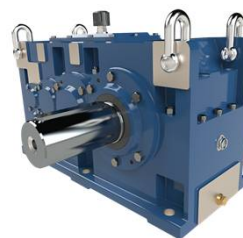
6) Determinação do conjugado resistente médio da carga:

O conjugado resistente médio carga depende da relação de transmissão:

$$C_{rméd} = C_{cméd} \cdot R$$

$$C_{rméd} = 27,6 \cdot 0,65$$

$$C_{rméd} = 17,94 \text{ Nm}$$



7) Determinação do momento de inercia da carga referida ao eixo:

$$J_{ce} = J_c \cdot R^2$$

$$J_{ce} = 6,9 \cdot 0,65^2$$

$$J_{ce} = 2,91 \text{ kgm}^2$$

21

21

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

8) Determinação do tempo de aceleração:

$$t_a = 2 \pi \cdot n \cdot \left(\frac{J_m + J_{ce}}{C_{mméd} - C_{rméd}} \right) [s]$$

$$t_a = 2 \pi \cdot 29,08 \cdot \left(\frac{0,00964 + 2,91}{58,97 - 17,94} \right)$$

$$t_a = 13 [s]$$

Do catálogo, para o motor de 3kW - IV polos, temos:

$J_m = 0,00964 \text{ kgm}^2$ $t_{rb} = 15 \text{ s}$ **RPM = 1745**

9) Verificação (Comparar t_a e t_{rb}):

$$t_a \leq 0,8 \cdot t_{rb}$$

$$t_a \leq 0,8 \cdot 15$$

$$13 \leq 12 [s]$$



Problemas de proteção

22

22

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

Para que a condição seja atendida e o motor esteja corretamente dimensionado, temos duas opções:

1ª Opção: Manter o motor de 3kW e trocar a classe de isolamento, de "F" para "H", considerando o motor inicialmente classe "F".

Classe "H" em relação a classe "F":

$$\frac{trb_{(H)}}{trb_{(F)}} = \frac{\frac{235 - 40 - 80}{k}}{\frac{210 - 40 - 80}{k}} = \frac{115}{90} = 1,2778$$



$$t_{rb(H)} = 1,2778 \cdot t_{rb(F)}$$

$$t_{rb(H)} = 1,2778 \cdot 15$$

$$t_{rb(H)} = 19,2 [s]$$

Verificação:
(Comparar t_a e t_{rb}):

$$t_a \leq 0,8 \cdot t_{rb}$$

$$t_a \leq 0,8 \cdot 19,2$$

$$13 \leq 15,3 [s]$$



Motor aciona a carga

23

23

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

2ª Opção: Escolher um motor de maior potência:

Adotando-se o motor imediatamente superior ao anterior, ou seja:

3,7kW - IV polos, temos:

Cn = 2,07 kgfm

trb = 14 s

Cp / Cn = 4,2

Jm = 0,01191 kgm²

Cmáx / Cn = 4,2

RPM = 1740

$$C_{mmed} = 0,45 \times \left(\frac{C_p}{C_n} + \frac{C_{máx}}{C_n} \right) \times C_n \quad (\times 9,81)$$

$$C_{mmed} = 0,45 \times (4,2 + 4,2) \times 2,07 \times 9,81$$

$$C_{mmed} = 76,75 \text{ N.m}$$

24

24

ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

Determinação do tempo de aceleração:

$$t_a = 2 \pi \cdot 29 \cdot \left(\frac{0,01191 + 2,91}{76,75 - 17,94} \right)$$

$$t_a = 9 \text{ [s]}$$

Verificação: (Comparar t_a e t_{rb}):

$$t_a \leq 0,8 \cdot t_{rb}$$

$$t_a \leq 0,8 \cdot 14$$

$$9 \leq 11,2 \text{ [s]}$$



Motor aciona a carga

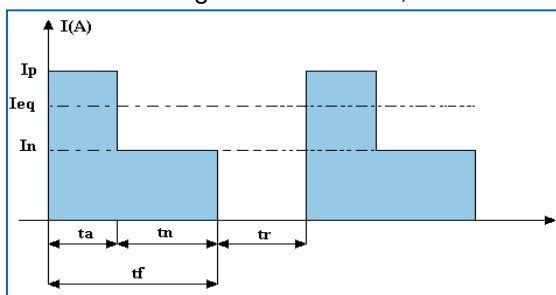
25

25

REGIME DE TRABALHO

CORRENTE EQUIVALENTE

Para um regime intermitente, analisamos a aplicação em termos de corrente equivalente:



onde:

I_{eq} - Corrente equivalente [A];

I_n - Corrente nominal [A];

I_p / I_n - Relação entre corrente de partida por nominal;

t_a - Tempo de aceleração [s];

t_n - Tempo em regime nominal [s];

t_r - Tempo de repouso[s];

t_f - Tempo de funcionamento [s];

$$\left(\frac{I_{eq}}{I_n} \right)^2 = \frac{\left(\frac{I_p}{I_n} \right)^2 \cdot t_a + t_n}{t_f + \frac{t_r}{3}}$$

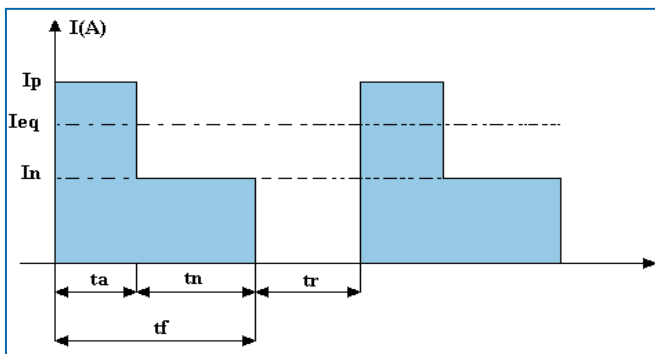
$$\left(\frac{I_{eq}}{I_n} \right)^2 < \left(\frac{\Delta t_{classe}}{\Delta t_n} \right)$$

26

26

REGIME DE TRABALHO

CORRENTE EQUIVALENTE



$$\left(\frac{I_{eq}}{I_n} \right)^2 = \frac{\left(\frac{I_p}{I_n} \right)^2 \cdot t_a + t_n}{t_f + \frac{t_r}{3}}$$

Se $(I_{eq} / I_n)^2 \leq 1,0$ - Utilizar motor classe B;

Se $(I_{eq} / I_n)^2 \leq 1,25$ - Utilizar motor classe F;

Se $(I_{eq} / I_n)^2 \leq 1,56$ - Utilizar motor classe H.

27

27

REGIME DE TRABALHO

EXERCÍCIO 3 – Método da Corrente Equivalente:

Considerando o motor W22 IR3 Premium de 3,7kW - IV polos.

Verificar se o motor poderá acionar a carga para um regime intermitente.

Dados:

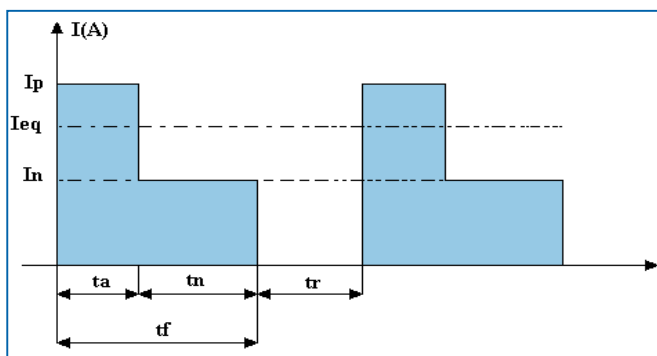
- Regime S4;
- 50% ED;
- 3 partidas por hora.

28

28

REGIME DE TRABALHO

CORRENTE EQUIVALENTE



$$t_f + t_r = \frac{3600}{3} = 1200 \text{ [s]}$$

$$t_f = 1200 \cdot 0,5 = 600 \text{ [s]}$$

$$t_r = 1200 \cdot 0,5 = 600 \text{ [s]}$$

$$t_a = 9 \text{ [s]}$$

$$t_n = t_f - t_a$$

$$t_n = 600 - 9 = 591 \text{ [s]}$$

29

29

REGIME DE TRABALHO

EXERCÍCIO 3 – Método da Corrente Equivalente:

Cálculo da Corrente Equivalente

$$\left(\frac{I_{eq}}{I_n} \right)^2 = \frac{\left(\frac{I_p}{I_n} \right)^2 \cdot t_a + t_n}{t_f + \frac{t_r}{3}}$$

$$\left(\frac{I_{eq}}{I_n} \right)^2 = \frac{(8,3)^2 \cdot 9 + 591}{600 + \frac{600}{3}}$$

$$\left(\frac{I_{eq}}{I_n} \right)^2 = 1,51$$

Se $(I_{eq} / I_n)^2 \leq 1,0$ - Utilizar motor classe B;

Se $(I_{eq} / I_n)^2 \leq 1,25$ - Utilizar motor classe F;

Se $(I_{eq} / I_n)^2 \leq 1,56$ - Utilizar motor classe H.

30

30