

# Prédimensionnement d'un moteur à courant continu sans balai - COMPEL 2005

## Données issues du cahier des charges

$$C := 20 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$\Omega := 721 \cdot \frac{\pi}{30} \cdot \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\Omega_{\max} := 1442 \cdot \frac{\pi}{30} \cdot \text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

## Propriétés des matériaux

$$k_r := 0.5$$

$$\rho_{\text{cu}} := 1.72 \cdot 10^{-8} \cdot \text{ohm} \cdot \text{m}$$

$$q_t := 2.5 \cdot \text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$B_r := 1.045 \cdot \text{T}$$

$$d_t := 7850 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$f_t := 50 \cdot \text{Hz}$$

$$B_c := 0.05 \cdot \text{T}$$

$$d_a := 7400 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$B_t := 1.5 \cdot \text{T}$$

$$\mu_a := 1.05$$

$$d_{\text{cu}} := 8950 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$k_{\text{foi}} := 0.95$$

$$\mu_o := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot \text{T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$$

$$d_{\text{cr}} := 7850 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$P_m := 15 \cdot \text{W}$$

$$k_{\text{fui}} := 0.8$$

## Paramètres d'entrée

$$D_s := 189 \cdot \text{mm}$$

$$e := 0.8 \cdot \text{mm}$$

$$B_d := 1.8 \cdot \text{T}$$

$$L_m := 45 \cdot \text{mm}$$

$$U_{\text{dc}} := 120 \cdot \text{V}$$

$$B_{\text{cr}} := 1.2 \cdot \text{T}$$

$$r_{\text{rs}} := 1.11$$

$$B_e := 0.75 \cdot \text{T}$$

$$B_{\text{cs}} := 0.8 \cdot \text{T}$$

$$\delta := 3 \cdot \text{A} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$p := 6$$

$$N_e := \frac{3}{2} \cdot p$$

$$N_e = 9$$

## Equations dimensionnantes

fem optimale, eq (9)

$$\alpha := \frac{\pi}{p}$$

$$\alpha = 30 \text{ deg}$$

fem optimale, eq (10)

$$\beta := \frac{\pi}{p}$$

$$\beta = 30 \text{ deg}$$

fem optimale, eq (11)

$$\alpha_i := \frac{\alpha}{5}$$

$$\alpha_i = 6 \text{ deg}$$

convertisseur, eq (61)

$$k_v := \frac{\Omega_{\max}}{\Omega}$$

$$k_v = 2$$

convertisseur, eq (55)

$$E := \frac{U_{\text{dc}}}{\gamma \cdot k_v}$$

$$E = 30 \text{ V}$$

conversion électromécanique, eq (2)  $I := C \cdot \frac{\Omega}{2 \cdot E}$   $I = 25.168 \text{ A}$

loi de lenz, eq (8)  $n := \frac{4 \cdot E}{Be \cdot Ds \cdot Lm \cdot \Omega}$   $n = 249.162$

conservation du flux, eq (28)  $li := \frac{Be}{Bd} \cdot \alpha i \cdot \frac{Ds}{2}$   $li = 4.123 \text{ mm}$

conservation du flux, eq (27)  $ld := \frac{Be}{Bd} \cdot \alpha \cdot \frac{Ds}{2}$   $ld = 20.617 \text{ mm}$

conservation du flux, eq (29)

$$eb := \left[ \frac{Be}{Bd} \cdot \left( \frac{\alpha}{2} - \text{asin} \left( \frac{ld}{Ds} \right) \right) \cdot \frac{Ds}{2} \right] + \frac{Ds}{2} \cdot \left( 1 - \cos \left( \text{asin} \left( \frac{ld}{Ds} \right) \right) \right)$$

$eb = 6.569 \text{ mm}$

conservation du flux, eq (31)  $hcs := \frac{1}{2} \cdot \frac{Bd}{Bcs} \cdot ld$   $hcs = 23.194 \text{ mm}$

conservation du flux, eq (32)  $Ba := \frac{Be \cdot \alpha \cdot \frac{Ds}{2}}{\beta \cdot \left( \frac{Ds}{2} + e \right) \cdot rrs \cdot kfui}$   $Ba = 0.838 \text{ T}$

conservation du flux, eq (30)  $hcr := \frac{1}{2} \cdot \frac{Ba}{Bcr} \cdot \beta \cdot \left( \frac{Ds}{2} + e \right)$   $hcr = 17.413 \text{ mm}$

géométrique, eq (13)  $Senc := \frac{\frac{3}{2} \cdot n \cdot \frac{I}{\delta}}{kr}$   $Senc = 6.271 \times 10^3 \text{ mm}^2$

géométrique, eq (12)  $f(hd) := Senc - hd \cdot \left[ 2 \cdot \pi \cdot \left( \frac{Ds}{2} - eb \right) - \pi \cdot hd - Ne \cdot (li + ld) \right]$

$TOL := 1 \cdot 10^{-9}$   $x := 0 \cdot m$   $hd := \text{root}(f(x), x)$   $hd = 24.934 \text{ mm}$   $f(hd) = 2.195 \times 10^{-7} \text{ mm}^2$

géométrique, eq (15)  $Dint := Ds - 2 \cdot (eb + hd + hcs)$   $Dint = 79.607 \text{ mm}$

énergétique et perte, eq (38)  $f := \frac{p \cdot \Omega}{2 \cdot \pi}$   $f = 72.1 \text{ Hz}$

géométrique, eq (16) 
$$hc := \left[ \frac{eb}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - \frac{Ds}{2} \cdot \left( \frac{1}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - 1 \right) \right] \quad hc = 3.467 \text{ mm}$$

géométrique, eq (17) 
$$hi := \left[ \frac{Ds}{2} \cdot \left( 1 - \cos\left(\frac{\alpha_i}{2}\right) \right) + hc \cdot \cos\left(\frac{\alpha_i}{2}\right) \right] \quad hi = 3.591 \text{ mm}$$

géométrique, eq (18) 
$$Rtb := \left[ \frac{ld - li}{4} + \left( \frac{Ds}{2} - eb - \frac{hd}{2} \right) \cdot \frac{\pi}{2 \cdot Ne} \right] \quad Rtb = 17.294 \text{ mm}$$

géométrique, eq (19) 
$$Lds := \left( \frac{Lm}{kfoi} + \pi \cdot Rtb \right) \quad Lds = 101.7 \text{ mm}$$

géométrique, eq (20) 
$$Ltot := \left[ \frac{Lm}{kfoi} + 2 \cdot \left[ \left( \frac{Ds}{2} - eb - \frac{hd}{2} \right) \cdot \frac{\pi}{Ne} - \frac{li}{2} \right] \right] \quad Ltot = 95.929 \text{ mm}$$

géométrique, eq (23) 
$$Mcs := dt \cdot \pi \cdot hcs \cdot \left[ -hcs + 2 \cdot \left( \frac{Ds}{2} - eb - hd \right) \right] \cdot Lm \quad Mcs = 2.646 \text{ kg}$$

géométrique, eq (24) 
$$Mds := dt \cdot Ne \cdot \left[ (ld + li) \cdot hd + \frac{Ds}{2} \cdot \left( \alpha_i \cdot \frac{hi + hc}{2} + \alpha \cdot \frac{eb + hc}{2} \right) \right] \cdot Lm$$
  

$$Mds = 2.862 \text{ kg}$$

énergétique et perte, eq (39) 
$$Pf := qt \cdot \left( \frac{f}{ft} \right)^{1.5} \cdot \left[ Mcs \cdot \left( \frac{Bcs}{Bt} \right)^2 + Mds \cdot \left( \frac{Bd}{Bt} \right)^2 \right] \quad Pf = 21.096 \text{ W}$$

### Propriétés matériaux pour la thermique

$$\alpha_a := -5 \cdot 10^{-4} \cdot K^{-1} \quad \alpha_{cu} := 3.8 \cdot 10^{-3} \cdot K^{-1}$$

$$T_{ext} := 50 \cdot K \quad \text{°C et non °K} \quad h := 10 \cdot W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

### Valeurs initiales des 7 inconnues

**valeurs initiales  
indispensables ---->**

$$R_{ph} := 1 \cdot \text{ohm} \quad h_a := 1 \cdot \text{mm} \quad D_{ext} := 1 \cdot \text{mm} \quad T_a := 1 \cdot K$$

$$P_j := 1 \cdot W \quad S_{ext} := 1 \cdot m^2 \quad T_{cu} := 1 \cdot K$$

### Expressions des 7 équations

Given **<---- mot clé pour définir les équations**

thermique, eq (41)  $T_{cu} = T_a$

théorème d'Ampère, eq (34) 
$$\frac{Ba - Br \cdot (1 + \alpha_a \cdot T_a)}{\mu_a} \cdot h_a + Be \cdot e = 0$$

géométrique, eq (14)  $D_{ext} = D_s + 2 \cdot (e + h_a + h_{cr})$

énergétique et perte, eq (36)  $R_{ph} = \rho_{cu} \cdot (1 + \alpha_{cu} \cdot T_{cu}) \cdot \frac{n}{2} \cdot L_{ds} \cdot \frac{\delta}{l}$

énergétique et perte, eq (37)  $P_j = 2 \cdot R_{ph} \cdot I^2$

thermique, eq (42)  $S_{ext} = \frac{\pi}{2} \cdot D_{ext}^2 + \pi \cdot D_{ext} \cdot L_{tot}$

thermique, eq (43)  $T_{cu} = T_{ext} + \frac{P_j + P_f + P_m}{h \cdot S_{ext}}$

$$\begin{pmatrix} T_a \\ T_{cu} \\ h_a \\ D_{ext} \\ R_{ph} \\ P_j \\ S_{ext} \end{pmatrix} := \text{Find}(T_a, T_{cu}, h_a, D_{ext}, R_{ph}, P_j, S_{ext}) \quad \leftarrow \text{résolution globale des équations}$$

$T_a = 102.4 \text{ K} \quad h_a = 4.091 \text{ mm} \quad D_{ext} = 233.608 \text{ mm}$

$T_{cu} = 102.4 \text{ K} \quad R_{ph} = 0.036 \text{ ohm} \quad P_j = 45.713 \text{ W} \quad S_{ext} = 0.156 \text{ m}^2$

théorème d'Ampère, eq (35)

$$I_{max} := -\frac{4 \cdot p}{n} \left[ \frac{B_c - B_r \cdot (1 + \alpha_a \cdot T_a)}{\mu_o \cdot \mu_a} \cdot h_a + \frac{B_c}{\mu_o} \cdot \frac{\beta}{\alpha} \cdot \left( 1 + \frac{2 \cdot e}{D_s} \right) \cdot r_{rs} \cdot k_{fui} \cdot e \right]$$

$I_{max} = 278.44 \text{ A}$

géométrique, eq (21)  $M_a := d_a \cdot p \cdot \beta \cdot h_a \cdot \left[ h_a + 2 \cdot \left( \frac{D_s}{2} + e \right) \right] \cdot L_m \cdot r_{rs} \quad M_a = 0.925 \text{ kg}$

géométrique, eq (22)  $M_{cr} := d_{cr} \cdot \pi \cdot h_{cr} \cdot \left[ h_{cr} + 2 \cdot \left( \frac{D_s}{2} + e + h_a \right) \right] \cdot L_m \cdot r_{rs} \quad M_{cr} = 4.637 \text{ kg}$

géométrique, eq (25)  $M_{cu} := d_{cu} \cdot \frac{3}{2} \cdot n \cdot \frac{l}{\delta} \cdot L_{ds} \quad M_{cu} = 2.854 \text{ kg}$

géométrique, eq (26)  $M_{tot} := M_a + M_{cr} + M_{cs} + M_{ds} + M_{cu} \quad M_{tot} = 13.924 \text{ kg}$

énergétique et perte, eq (40)  $\eta := \frac{C \cdot \Omega - P_m}{C \cdot \Omega + P_j + P_f} \quad \eta = 94.812 \%$

convertisseur, eq (48) 
$$F_{encIrc} := \mu_0 \cdot \frac{1}{16} \cdot \frac{n^2}{Ne} \cdot \left[ \frac{hd \cdot Lm}{\left( \frac{Ds}{2} - eb - \frac{hd}{2} \right) \cdot \frac{\pi}{Ne} - \frac{li + ld}{2}} \right]$$

$$F_{encIrc} = 4.351 \times 10^{-5} \text{Wb} \cdot \text{A}^{-1}$$

convertisseur, eq (49) 
$$F_{entIrc} := \mu_0 \cdot \frac{3}{16} \cdot \frac{n^2}{Ne} \cdot \frac{Lm}{e + ha} \cdot \alpha \cdot \frac{Ds}{2}$$

$$F_{entIrc} = 7.399 \times 10^{-4} \text{Wb} \cdot \text{A}^{-1}$$

convertisseur, eq (50) 
$$F_{becIrc} := \mu_0 \cdot \frac{3}{16} \cdot \frac{n^2}{Ne} \cdot \frac{hc \cdot Lm}{\left( \frac{Ds}{2} - \frac{hc}{2} \right) \cdot \left( \frac{\pi}{Ne} - \frac{\alpha + \alpha i}{2} \right)}$$

$$F_{becIrc} = 7.83 \times 10^{-5} \text{Wb} \cdot \text{A}^{-1}$$

convertisseur, eq (51) 
$$L_{ph} := \frac{3}{2} \cdot F_{entIrc} + 2 \cdot (F_{encIrc} + F_{becIrc})$$

$$L_{ph} = 1.353 \text{mH}$$

convertisseur, eq (58) 
$$t1 := -\frac{L_{ph}}{R_{ph}} \cdot \ln \left[ 1 - \frac{3 \cdot R_{ph} \cdot I}{U_{dc} \cdot \left( 2 - \frac{1}{kv} \right)} \right]$$

$$t1 = 5.721 \times 10^{-4} \text{s}$$

$$t1 \cdot 30 \cdot f = 1.237$$