

16/82

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

2er

DEPARTEMENT D'ELECTRICITE

FILIERE D'INGENIEUR EN ELECTROTECHNIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

الجمهورية الوطنية للعلوم والتقنية
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

ETUDE D'UN MOTEUR DE TRACTION

- * Moteur ordinaire
- * Moteur compensé

Proposé par :

Mr Y. TARASSOV

Etudié par :

LABDAOUI Abdelkader

BOUAISSA Khaled

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRICITE

FILIERE D'INGENIEUR EN ELECTROTECHNIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

»O«

ETUDE D'UN MOTEUR DE TRACTION

*** Moteur ordinaire**

*** Moteur compensé**

Proposé par :

Mr Y. TARASSOV

Etudié par :

LABDAOUI Abdelkader

BOUAISSA Khaled

D E D I C A C E S

- # A ma mère
- # A mes frères
- # A tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à l'élaboration de ce projet en particulier M^{rs} TAYEB Tayeb.

Labdaoui Abdelkader

Je dédie ce modeste travail :

- A ma chère mère
- A mon cher père
- A mes frères et sœurs ainsi qu'à toute la famille
- A mes amis intimes.

Khaled. BOUAISSA

REMERCIEMENTS

- Qui il nous soit permis d'exprimer ici, avec le plus grand respect, notre reconnaissance à M^{re} JOURI TARASSOV notre promoteur pour sa clairvoyance et ses efforts déployés pour nous permettre d'accomplir - cette étude.
- Que tous les autres professeurs et assistants de l'école qui ont contribué à notre formation y trouvent l'expression de notre profonde gratitude et nos vifs remerciements -
- Nous n'oublions pas de remercier M^{re} Rezig DJELLOUL agent de la bibliothèque -

TABLE DE MATIERE

- Introduction

- cahier de charge

+ CHAPITRE I

- choix du moteur

+ CHAPITRE II

A - Calcul de la partie mécanique

B - Dimensionnement de l'induit

C - enroulement d'induit

D - encoche

+ CHAPITRE III

I - Moteur ordinaire

A - calcul du flux principal

B - calcul de la f. m. m dans les différentes parties du moteur

C - calcul des paramètres de l'entrefer

D - enroulement d'excitation

II: Moteur compensé

A - enroulement de compensation

B - encoche de l'enroulement de compensation

C - flux principal

D - F.M.M. dans les différentes parties du moteur

E - calcul de l'entrefer

F - enroulement d'excitation

+ CHAPITRE IV

A - Collecteur

B - Balais

C - pôles auxiliaires

D - calcul des perméances

E - force électromotrice réactive moyenne.

F - F.M.M. totale du pôle auxiliaire

G - enroulement de commutation

II - Moteur compensé

A - perméances

B - force électromotrice réactive moyenne

C - F.M.M. du pôle auxiliaire

D - enroulement de commutation

+ CHAPITRE I

Calcul des paramètres et des poids des deux moteurs

+ CHAPITRE II

Calcul des pertes et des rendements des deux moteurs

A - pertes cuivre

B - pertes fer

C - pertes mécaniques

D - rendements

+ CHAPITRE III

Caractéristiques des deux moteurs

I - Caractéristiques magnétiques

II - Caractéristiques électriques

≠ - Conclusion

≠ Bibliographie

INTRODUCTION

- + - + - + - + - + - + - + - + - + - + - + -

- La traction électrique n'est pas seulement un moyen de surmonter les difficultés de traction mais c'est le moyen de faire des économies d'exploitation
- La traction électrique demande beaucoup d'équipement mais ses dépenses peuvent être amorties par la rentabilité d'exploitation, ainsi d'éviter quelques éléments nécessaires dans la traction mixte comme le moteur diesel.
- On distingue plusieurs types de moteurs de traction électriques
 - Moteur à courant continu
 - Moteur à courant monophasé
 - Moteur à courant ondulé
 - Moteur Linéaire
- Le moteur de traction a une construction spéciale vue sa puissance élevée et les dimensions limitées, et les conditions d'utilisation
- Notre projet fera l'objet d'une étude de construction de deux moteurs de traction à courant continu; l'un ordinaire " sans enroulement de compensation " l'autre compensé et de faire une synthèse pour affirmer l'avantage et les inconvénients de chaque moteur pour avoir un choix judiciable de tel sorte que l'exploitation et le rendement soient les meilleurs.

Cahier de charge.

- Puissance nominale : 750 kW.
- tension aux bornes : $U_{nom} = 1000 \text{ V}$
- tension d'isolation du moteur par rapport à la terre $U_{is} = 1000 \text{ V}$
- Force de traction en plein charge $F_{nom} = 5500 \text{ Kg.f}$
- vitesse maximale de la locomotive $V_{r,max} = 100 \text{ Km/h}$.
- Puissance du moteur pour $V_{r,max}$ $P_{m,max} = 0,75 P_{nom}$
- Diamètre des roues $D_r = 1250 \text{ mm}$.
- Klirons $l_r = 125 \text{ mm}$
- vitesse maximale du collecteur $V_{c,max} \leq 55 \text{ m/s}$.
- Isolation :
 - . Enroulement d'induit et de compensation classe B.
 - . bobines des pôles classe H.

I : Choix du moteur de traction

Le moteur serie a été choisi comme moteur de traction non seulement par le passage du courant d'induit dans l'enroulement d'excitation qui porte de gros fils mais d'autres raisons plus profondes.

Les formules fondamentales des moteurs à courant continu

$$E = U - r I \quad (1)$$

$$E = k \cdot N \cdot \phi \quad (2)$$

$$C = k' \phi I \quad (3)$$

avec $k = \frac{p}{a} \cdot n$

$$k' = \frac{p}{a} \cdot \frac{n}{2\pi}$$

D'après les formules (1) et (2) on tire

$$N = \frac{U - r I}{k \cdot \phi}$$

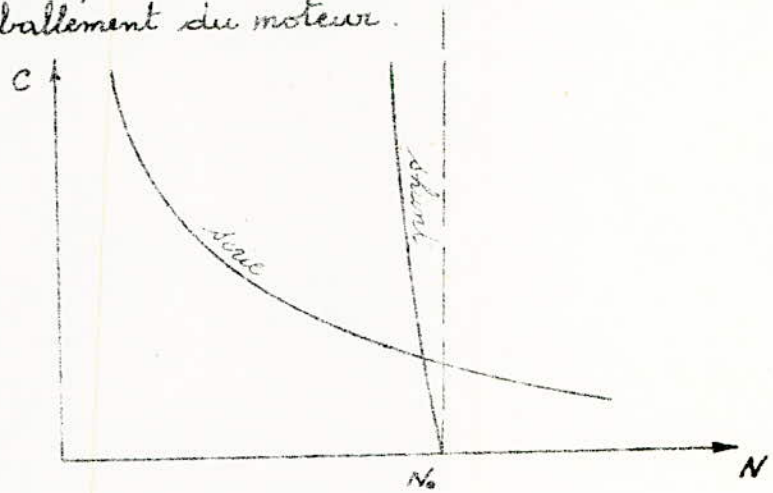
Dans un moteur serie on trouve que la vitesse dépend de la charge, cela est due à la variation du flux (ϕ) qui est reliée directement, au courant de charge et aux chutes ohmiques; tandis que dans un moteur shunt, la vitesse est pratiquement indépendante, car la chute ohmique a une très faible fraction de la tension d'alimentation (U).

Les propriétés du moteur serie :

a) Souplesse d'emploi : due la faible valeur de r , la f.e.m. (E) reste voisine de U quelque soit le type de moteur. Pour un moteur shunt, la vitesse en charge ne s'écartera de la vitesse à vide que de faible valeur pour permettre la circulation du courant, or il est tout différent pour un moteur serie malgré que E reste toujours près de U mais N et ϕ varient largement et par la suite le couple peut avoir des valeurs très différentes, pour une puissance constante le couple varie inversement à la vitesse - ce qui permet

- d'avoir un couple de démarrage élevé - ce qui est imposé dans la traction, de même le couple résistant existe toujours - donc on n'aura pas un risque d'emballlement du moteur.

$C = f(N)$
le couple en fonction de la vitesse



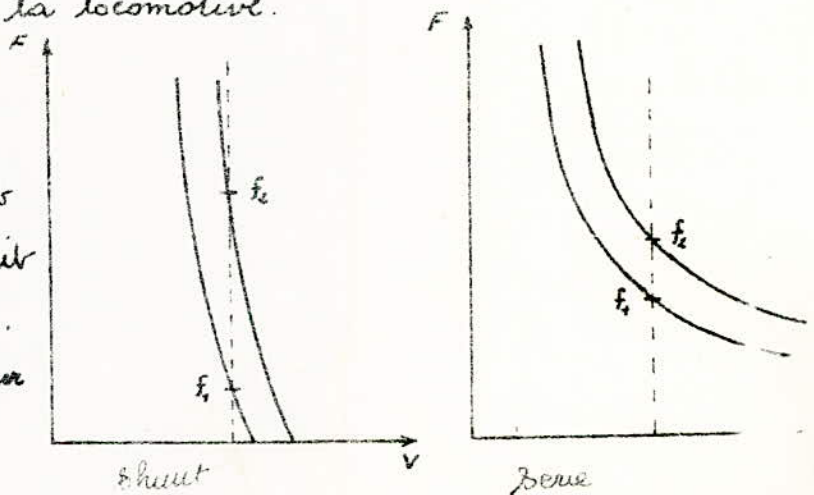
B: Appel d'intensité (I) pour une variation de couple DC :

Dans un moteur shunt une variation de l'effort résistant appelle une variation d'intensité proportionnelle alors dans le moteur si ie on a une faible variation du courant - cela est dû à la variation du flux en même temps et dans le même sens.

C: Répartition des forces

Dans la construction il y'a toujours une certaine tolérance dans les dimensions que dans les caractéristiques des moteurs et cela existe surtout dans les roues de la locomotive.

la répartition des forces sera la même pour les roues identiques cependant une légère différence apparaît dans les caractéristiques. cela nous montre que pour un moteur shunt la répartition des forces est



fortement inégale, alors que pour le moteur serie la répartition des forces est presque égale.

d. Effet d'une variation de tension en ligne :

Pour une variation de tension brusque dans la ligne, la f.c.e.m. varie que sous l'effet du flux car la vitesse ne varie pas instantanément. Supposons que les courants s'établissent directement dans l'induit et dans l'inducteur mais la variation de la f.c.e.m. n'est pas proportionnelle à la tension d'alimentation à cause de la saturation du flux donc il y'aura un appel de courant assez grand pour un moteur shunt tandis que pour le moteur serie il est nettement faible qu'au précédent et les conséquences de cette variation de courant peuvent donner des risques assez grands au moteur shunt qu'au moteur serie. car la variation de courant dans l'inducteur n'est pas instantanément vue de sa grande réactance, et pour cela les risques de flash sont beaucoup plus probables dans un moteur shunt que dans un moteur serie.

- Les caractéristiques du moteur compound sont toujours entre les caractéristiques shunt et serie, et vue du net avantage qu'il possède ce dernier au moteur shunt, on peut dire qu'il est aussi mieux qu'un moteur compound.

- En conclusion on constate que le moteur serie est plus souple et plus automatique que les autres moteurs à courant continu tant que la variation du flux se rattache à la variation du courant c'est à dire que le circuit magnétique n'est pas saturé.

II : Dimensions principales du moteur

A : Calcul de la partie mécanique :

Il n'est pas nécessaire d'écrire dans ce paragraphe les parties mécaniques de la locomotive, mais notre objectif est de calculer les paramètres nécessaires pour le dimensionnement du moteur de traction. L'accouplement direct du moteur à la roue impose beaucoup de difficultés, parmi ces difficultés la vitesse élevée du moteur qui ne convient pas à la vitesse de locomotive ; pour avoir une vitesse du moteur qui correspond à la locomotive on doit diminuer la tension d'alimentation, on aura un courant très grand qui sera la cause des problèmes électriques et magnétiques, donc l'emploi du système d'engrenages est nécessaire car il porte beaucoup d'avantages, bon rendement, moins encombré, assurance d'une bonne sécurité de service.

1 Calcul du diamètre de la grande roue dentée :

D'après la planche (I).

$$D_z = D_n - 2b = D_n - 2(\Delta + b)$$

D_n : diamètre de la roue de locomotive

$b \geq 120$ mm la Hérens

$\Delta \approx 20 + 25$ mm.

$$D_z = 1250 - 2(25 + 125) = 950 \text{ mm.}$$

2: Calcul du diamètre de la roue du moteur :

Le diamètre de la roue doit vérifier la relation $d_3 \geq 160$ mm. De plus le rapport du diamètre de la grande roue " D_z " et le diamètre de l'arbre de moteur doit vérifier la relation $\frac{D_z}{d_3} = i$, avec i rapport d'engrenage qui est compris entre 3,5 ÷ 4,6.

la valeur de d_3 est donnée en fonction $\left[\frac{r_{nom}}{K} \right]$ avec $K = 2$ qui représente le nombre de systèmes d'engrenages par moteur.

2.1 Calcul de la vitesse nominale de la locomotive

On a
$$V_{n, nom} = 367 \frac{P_0}{F} \cdot \eta_{eng}$$

$\eta_{eng} = 0,975$ le rendement du système d'engrenage.

$$V_{n, nom} = 367 \cdot \frac{750}{5500} \cdot 0,975 = 48,8 \text{ km/h.}$$

2.2: vitesse de rotation de la roue:

$$N_r = \frac{60 \cdot V_{n, nom}}{\pi D_r} = \frac{60 \cdot 48,8}{3,14 \cdot 1,25} = 208 \text{ tr/min}$$

2.3: vitesse de rotation du moteur:

Pour le calcul de la vitesse de rotation du moteur, on prend une valeur préalable pour le rapport d'engrenage, $i = 4,2$.

$$N_{n, nom} = N_r \cdot i = 208 \times 4,2 = 873,6 \text{ tr/min.}$$

2.4: Couple du moteur:

Il est calculé à partir de la formule.

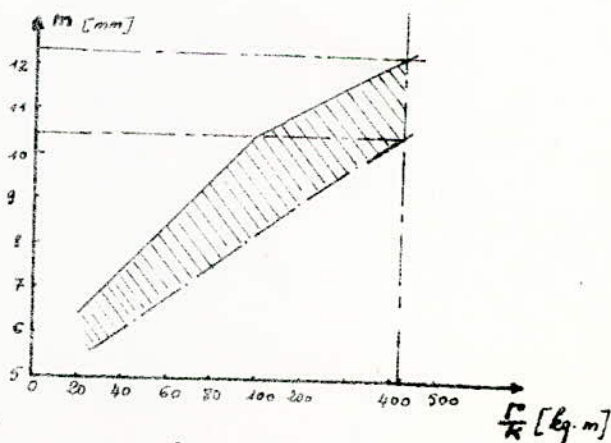
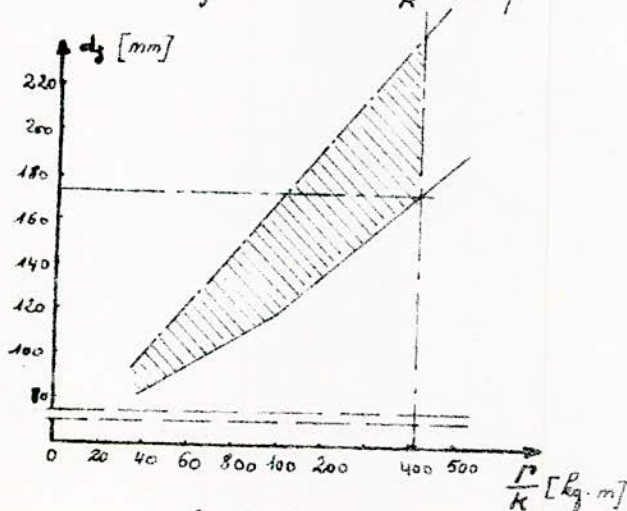
$$\Gamma_{nom} = 974 \frac{P_{nom}}{N_{n, nom}} = 974 \frac{750}{873,6} = 836,2 \text{ kg.m} = 8203 \text{ N.m.}$$

D'après la fig (1) on trouve $d_g = 173 \approx 240 \text{ mm}$

3: module d'engrenage:

Le module d'engrenage est un paramètre qui caractérise la roue dentée.

il est donné en fonction ($\frac{\Gamma_{nom}}{K}$); présenté sur la fig (2)



On trouve $m = 10,4 \div 12,3 \text{ mm}$. On normalise le module, et on le prend à $m = 11 \text{ mm}$

- Nombre d'engrenages de la roue dentée $Z = \frac{D_2}{m} = \frac{950}{11} = 86,4 \implies Z = 86$

- Nombre d'engrenages de la roue du moteur: $z = \frac{d_2}{m}$ avec $d_2 = \frac{D_2}{4,2} = \frac{950}{4,2} = 226$.

$z = \frac{226}{11} = 20,5$. on prend $z = 21$.

Correction: Après avoir fixé le nombre de dents dans les deux roues, on peut donner les dimensions définitives:

$$D_2 = m \cdot Z = 11 \cdot 86 = 946 \text{ mm.}$$

$$d_2 = m \cdot z = 11 \cdot 21 = 231 \text{ mm.}$$

$$i = \frac{Z}{z} = \frac{86}{21} = 4,095 \quad \text{on prend } i = 4,1$$

$$N_{\text{norm}} = N_{\text{nom}} \cdot i = 208 \cdot 4,1 = 853 \text{ tr/min.}$$

$$\Gamma_{\text{norm}} = 974 \frac{P_{\text{nom}}}{N_{\text{norm}}} = 974 \frac{750}{853} = 856,4 \text{ kg.m}$$

4: Calcul de U:

U est la distance entre le centre de la roue dentée et le centre de l'arbre du moteur, elle est calculée à partir de la formule:

$$U = \frac{m}{2}(Z+z) + \frac{m}{2} = \frac{11}{2}(86+21) + \frac{11}{2} = 594 \text{ mm.}$$

B: DIMENSIONS DE L'INDUIT:

1: Calcul du diamètre d'induit:

Le diamètre d'induit a été déduit d'après les formules suivantes:

$$P_u = U \cdot I \cdot \eta_{\text{mot}}$$

$$U = e_{\text{moy}} \cdot \frac{K}{2p}$$

$$I = \frac{2a A \pi}{2K \omega_c} \cdot D_a$$

D'où on tire:

$$D_a = \frac{2 \cdot P_{\text{nom}} \cdot 10^3}{\pi \cdot e_{\text{moy}} \cdot A \cdot \eta_{\text{mot}}} \cdot \frac{p}{a} \cdot \omega_c$$

- e_{moy} : tension moyenne ^{entre} deux lames contigües

$$e_{\text{moy}} \leq 19 \div 20 \text{ V pour un moteur compensé}$$

$$e_{\text{moy}} \leq 16 \div 18 \text{ V pour un moteur non compensé}$$

- On prend $p = a$. car on a une machine de très grande puissance avec une tension très élevée dont le type d'enroulement est le enroulement simple.

$\omega_c = 1$ par ce que les spires de l'enroulement d'induit sont constituées avec des barres.

$\eta_{\text{mot}} = 0,93$ une valeur préalable.

1.1: - Calcul de la charge linéaire:

Elle est donnée en fonction de la puissance utile du moteur; d'après la figure

(3) on trouve $A = 440 \div 543 \text{ A/cm}$.

D'où on trouve les valeurs de D_a : $D_a = 583 \div 713 \text{ mm}$.

- Et d'après la formule empirique $D_a = k_a \sqrt[3]{\frac{P_{\text{a nom}}}{N_{\text{a nom}}}}$

où le coefficient k_a dépend de la classe d'isolation de l'enroulement d'induit

$k_a = 650 \div 750$ pour l'isolation de classe B.

$k_a = 600 \div 675$ pour l'isolation de classe H.

On trouve $D_a = 624 \div 720 \text{ mm}$.

Les diamètres d'induit normalisés sont:

368 - 423 - 493 - 560 - 660 - 740 - 850 - 990 mm.

On prend

$$D_a = 660 \text{ mm}$$

2: - Calcul de la longueur d'induit:

La longueur d'induit est donnée par la formule:

$$l_u = \frac{6 \cdot B_p \cdot 10^4}{4 \cdot B_s \cdot A \cdot D_a \cdot N_a}$$

2.1: Induction magnétique dans l'entrefer:

B_s : induction magnétique dans l'entrefer, caractérisant les sollicitations magnétiques, elle dépend du diamètre d'induit (D_a).

d'après la figure (4) on a $B_s = 9400 \div 10900 \text{ Gs}$.

2.2: Calcul de α_s : les valeurs acceptables pour le rapport α_s de l'arc polaire au pas polaire pour les machines avec pôles auxiliaires sont données en fonction du diamètre d'induit (D_a) représenté sur la figure (5).
on trouve $\alpha_s = 0,64 \div 0,67$; on prend $\alpha_s = 0,67$.

2.3: calcul de la puissance interne :

Elle est donnée par la relation : $P_i = E \cdot I = (U - \Delta U) I = 0,95 U I$

- de plus on a $P_{ab} = U \cdot I = \frac{P_u}{\eta_{mot}}$

$$P_i = 0,95 \cdot \frac{P_u}{\eta_{mot}} = 0,95 \cdot \frac{750}{0,93} = 766,1 \text{ kW}$$

ΔU : chute ohmique dans les différents enroulements.

- finalement on a : $l_a = \frac{6 \cdot 766,1 \cdot 10^4}{0,67 \cdot 10^4 \cdot 454,5 \cdot (66)^2 \cdot 853} = 416 \text{ mm}$

$l_a = 416 \text{ mm}$

3: Nombre de pôles :

Pour un nombre de paires de pôles élevé, le flux par pôle diminue et par conséquent le poids de la machine, de même on a une diminution du pas polaire qui permet d'avoir un gain de cuivre dans les connexions frontales. Mais le rapport (α_s) diminue à cause de l'augmentation du flux de dispersion et par la suite le coefficient de l'utilisation de la machine, ainsi que le nombre des encoches augmente où on risque d'avoir la saturation dans les dents. Or pour la diminution du nombre de paires de pôles donne une perte de cuivre et d'acier, la réaction d'induit augmente.

En général dans les moteurs de traction, le nombre de paires de pôles prend les valeurs 2, 3, 4. et pour les raisons précédentes on prend $p = 3$

4: Pas polaire :

Il est défini comme suit : $\tau = \frac{\pi D_a}{2p} = \frac{3,14 \cdot 660}{6} = 345,4 \text{ mm}$

5: Facteur géométrique de la machine :

Il est défini par le rapport de la longueur au pas polaire et qui doit être compris $0,5 \leq \lambda \leq 1,5$

$$\lambda = \frac{l_a}{\tau} = \frac{416}{345,4} = 1,2$$

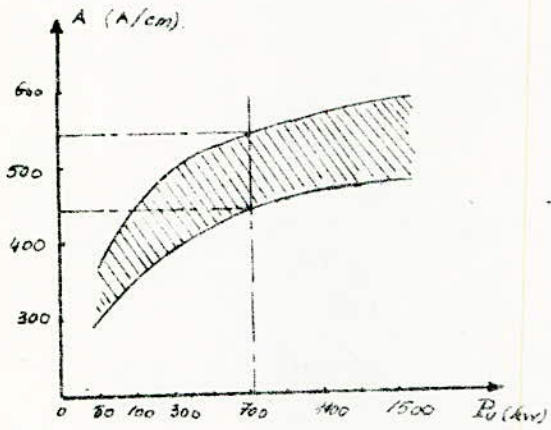


fig (3)

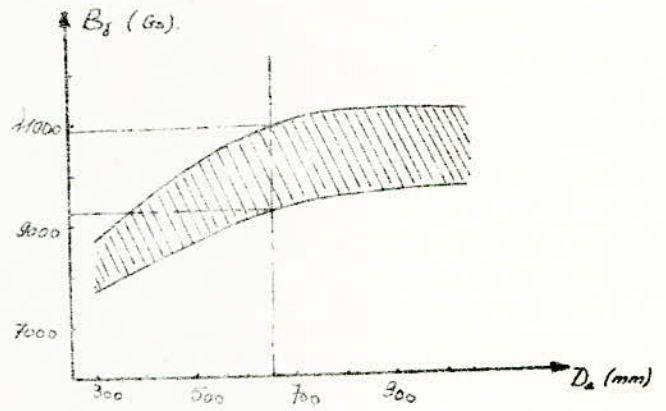


fig (4)

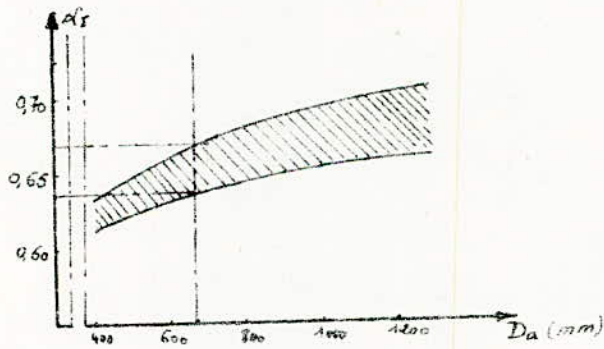


fig (5).

C: Enroulement d'induit :

Dans le choix de l'enroulement d'induit, on doit veiller à ce que cet enroulement soit parfaitement symétrique, car des dissymétries peuvent être la cause de fuites supplémentaires provoquées par le courant de compensation, de formation d'étincelles entre les lames commutées et d'un risque d'arc entre balais contigus. Pour les machines de très grande puissance et de tension élevée, les enroulements qui conviennent, sont l'enroulement imbriqué simple et l'enroulement mixte.

On choisit l'enroulement imbriqué simple à deux couches car il présente plusieurs avantages :

- possibilité de raccourcir le pas d'enroulement qui donne un gain de cuivre et de plus le polygone des f.c.m. se rapproche de plus en plus à un cercle qui favorise la commutation. Sa fabrication est simple car toutes les bobines ont la même forme.

Conditions de symétrie : $Z/p = \text{entier}$; $\frac{k}{p} = \text{entier}$

1: Courant nominal d'induit :

$$I_a = \frac{P_{nom}}{U \cdot \eta_{nom}} = \frac{750 \cdot 10^3}{1000 \cdot 0,93} = 806,5 \text{ A}$$

2: Nombre de branches parallèles de l'enroulement d'induit :

Le rapport du courant nominal d'induit au nombre de branches parallèles doit vérifier la double inégalité :

$$100 \leq \frac{I_a}{2a} \leq 250 \quad \text{d'où on a} \quad 3,2 \leq 2a \leq 8.$$

Et comme on a choisi l'enroulement imbriqué simple on a : $a = p$
 $2a = 6.$

3: Nombre d'encoches d'induit :

Le nombre d'encoches d'induit par pôle (Z/p) doit être compris entre les valeurs

$$Z/p = 12 \div 16 ; \text{ ce qui donne } Z = 72 \div 96 \text{ encoches.}$$

3.1: Nombre de lames du collecteur :

Ce nombre doit vérifier la relation $t_n = 4,5 \div 5 \text{ mm}$.

$$K = \frac{s.p.U}{e_{\text{moy}}} = \frac{6.1000}{e_{\text{moy}}} = 333 \div 375 \quad \text{avec } e_{\text{moy}} = 16 \div 18 \text{ V.}$$

On a $K = U_n \cdot Z$ où U_n : nombre de conducteurs par couche.

- $U_n = 3 \Rightarrow Z = \frac{K}{U_n} = 111 \div 125$ - ne vérifie pas la relation (C-3)

- $U_n = 4 \Rightarrow Z = \frac{K}{U_n} = 83 \div 94$.

- $U_n = 5 \Rightarrow Z = \frac{K}{U_n} = 67 \div 75$ - dans ce cas, la hauteur d'encoche sera très profonde et le coefficient de saturation augmente

On prend $U_n = 4$. et vérifie les conditions de symétrie de l'enroulement

On aura

$$Z = 87$$

et

$$K = 348$$

4: La tension moyenne entre lames :

Si cette tension dépasse une certaine valeur, il se produit facilement une décharge entre balais, et par l'effet de l'arc électrique le collecteur, balais et forte balais se voit endommager

$$e_{\text{moy}} = \frac{U}{(K/2p)} = \frac{6.1000}{348} = 17,24 \text{ V.}$$

5: Pas dentaire :

$$t_n = \frac{\pi D_a}{Z} = \frac{3,14 \cdot 660}{87} = 23,8 \text{ mm.}$$

6: Nombre de conducteurs :

$$N = 2 \cdot K \cdot w_c = 2 \cdot 348 \cdot 1 = 696 \text{ conducteurs.}$$

nombre de conducteurs dans une encoche $(\frac{N}{Z}) = (\frac{696}{87}) = 8 \text{ conducteurs}$

7: La charge linéaire :

La charge linéaire, caractérise la sollicitation électrique des matériaux actifs de la machine,

$$A = \frac{N I_a}{2a \cdot \pi \cdot D_a} = \frac{696 \cdot 806,5}{6 \cdot 3,14 \cdot 66} = 4,51,5 \text{ A/cm.}$$

8: La section des conducteurs :

La section du conducteurs est soumise entre deux contraintes, d'échauffement et la largeur d'encoche

$$AJ \leq 2500 - 3000 \quad AJ: \text{ Contrainte thermique}$$

d'où les valeurs de $J = 5,53 \div 6,64 \text{ A/mm}^2$.

$$S_c = \frac{I_a}{2a \cdot J} = 20,24 \div 24,30 \text{ mm}^2.$$

D'après le tableau de normalisation (3) des dimensions des conducteurs

$$S_c = h_c \cdot b_c = 3,53 \times 6,9 \text{ mm}^2 \quad S_c = 23,1 \text{ mm}^2$$

on a pris $S_c = 23,1 \text{ mm}^2$ car les angles du conducteur sont arrondis

9: La densité de courant :

$$J = \frac{I_a}{2a \cdot S_c} = \frac{806,5}{6 \cdot 23,1} = 5,82 \text{ A/mm}^2.$$

- pas au collecteur $y_k = 1$ car on a un enroulement imbriqué simple.

- pas polaire exprimé par encoche:

$y_0 = \frac{Z}{2p} = \frac{87}{6} = 14,5$ comme on réalise un enroulement imbriqué à pas raccourci on prend $y_0 = 14$ encoches/pôles.

-- pas d'enroulement "premier pas partiel":

$$y_1 = 4_k \cdot y_0 = 4 \cdot 14 = 56 \text{ encoches élémentaires}$$

- deuxième pas partiel: $y_2 = 56 - 1 = 55$ encoches élémentaires.

Disposition des conducteurs :

La disposition horizontale des conducteurs dans les encoches a été choisie pour plusieurs raisons; la diminution des pertes supplémentaires qui sont dues au courant vertical dans le cuivre ainsi la perméance du cuivre pour diminuer la f.e.m induite, et de plus l'avantage de connexions des barres.

10: Encoches :

10.1: profondeur d'encoche h_2 [mm]

Le nombre de conducteurs par encoche égale à 7 disposés horizontalement

| | | |
|---|--|-------|
| 8 - hauteur du cuivre | $8 \times 3,50$ | 28,00 |
| 7 - isolation du conducteur (N°7) avec une bande de mica d'épaisseur (0,4) avec une couche en demi recouvrement | $0,4 \times 1 \times 2 \times 2$ | 3,2 |
| 5 - isolation d'une couche (5) avec une bande de mica d'épaisseur (0,4) avec 4 couches à demi recouvrement | $0,4 \times 4 \times 2 \times 2$ | 6,4 |
| 4 - isolation du couvent avec une bande de verre d'épaisseur (0,15) sans couche de recouvrement (4). | $0,15 \times 1 \times 1 \times 2 \times 2$ | 0,6 |
| 3 - isolation d'encoche de protection avec une bande de carton électrotechnique à la forme de (U) d'épaisseur (0,2) | | 0,4 |
| 2-6 - isolation entre les deux couches (N°5, 6) avec des cartons électrotechnique | $3 \times 0,5$ | 1,5 |
| 1 - le coté | | 5 |
| - le joint de remplissage | | 0,10 |
| - le jeu technologique | | 0,1 |

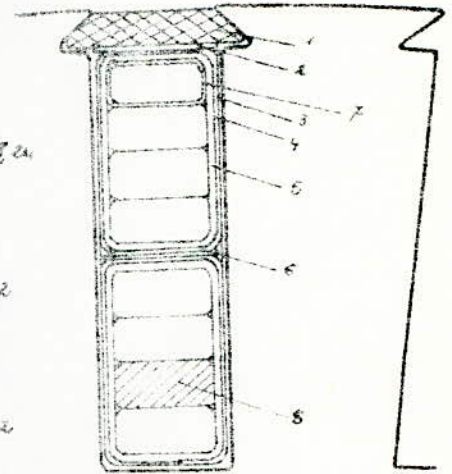


fig (c-10)

$$h_1 = 42,2 \text{ mm}$$

$$h_2 = 10 \text{ mm}$$

10.2: largeur d'encoche b_2 [mm]

| | | |
|---|-----------------------------------|-----------|
| 8 - largeur du cuivre | | 6,3 |
| 7 - isolation du conducteur avec une bande de mica (N°7) en demi recouvrement | $0,4 \times 1 \times 2 \times 2$ | 0,4 |
| 5 - isolation du paquet (5) avec une bande de mica de (0,4) avec 4 couches en demi recouvrement | $0,4 \times 4 \times 2 \times 2$ | 1,6 |
| 4 - isolation du couvent (4) avec une bande de verre d'épaisseur (0,15) une couche sans recouvrement | $0,15 \times 1 \times 1 \times 2$ | 0,3 |
| 3 - isolation d'encoche de protection (3) avec une bande de carton électrotechnique à la forme de U d'épaisseur (0,2) | $0,2 \times 2$ | 0,4 |
| - le joint de remplissage | | 0,2 |
| - le jeu technologique | | 0,2 |
| | | <u>10</u> |

Remarque:

Impregnation des bobinages :

L'impregnation des bobinages se fait au moyen d'un vernis qui a pour effet de protéger les isolants contre l'humidité, pour augmenter la rigidité diélectrique et de favoriser les échanges thermiques. De plus la surface extérieure de l'induit devient lisse et dure pour la protection contre les particules métalliques et les poussières. Dans certaines ^{conditions} de travail, on imprègne les bobinages avec les vernis siliconés qui supportent une température très élevée.

11: Paramètres géométriques de l'encoche:

- Pas dentaire maximal $t_1 = \frac{\pi D_a}{Z} = \frac{3,14 \cdot 660}{87} = 23,8 \text{ mm.}$

- largeur maximale des dents d'induit $b_{g1} = t_1 - b_g = 23,8 - 10 = 13,8 \text{ mm.}$

- Pas dentaire minimal : $t_3 = \frac{\pi (D_a - 2r_g)}{Z} = \frac{3,14 (660 - 2 \cdot 42,2)}{87} = 20,8 \text{ mm.}$

- largeur minimale des dents d'induit $b_{g3} = t_3 - b_g = 20,8 - 10 = 10,8 \text{ mm.}$

- largeur de la dent d'induit au $(\frac{1}{3})$ de la hauteur :

$$t_{1/3} = \frac{\pi (D_a - \frac{4}{3} r_g)}{Z} = \frac{3,14 (660 - \frac{4}{3} \cdot 42,2)}{87} = 21,8 \text{ mm.}$$

$$b_{g1/3} = t_{1/3} - b_g = 21,8 - 10 = 11,8 \text{ mm.}$$

- Pas dentaire moyen $t_{\text{moy}} = \frac{1}{2} (t_1 + t_3) = \frac{1}{2} (23,8 + 20,8) = 22,3 \text{ mm}$

- largeur moyenne de la dent : $b_{\text{moy}} = \frac{1}{2} (b_{g1} + b_{g3}) = \frac{1}{2} (13,8 + 10,8) = 12,3 \text{ mm.}$

III : Calcul du circuit magnétique

I : Moteur Ordinaire

Le calcul du circuit magnétique détermine les dimensions de quelques éléments de la machine, et de concrétiser d'autres.

Ce calcul nous permet de valoriser le nombre de spires aux pôles d'excitation et de l'entrefer pour engendrer la force contre électromoteur désirable. On devrait veiller pour que l'induction magnétique dans chaque tronçon du circuit ait une valeur convenable pour qu'on ait pas une saturation du flux, de même d'économiser l'acier et diminuer les pertes d'hystérésis et les pertes Foucault. Le circuit magnétique est composé de tôles d'acier au silicium de 0,5 mm d'épaisseur moyennement alliéées laminées à froid pour avoir des cristaux orientés de façon que le flux circule dans le sens de laminage. L'isolation entre les tôles est assurée par un revêtement minéral (carlite) capable de résister aux recuits nécessaires.

A: - Calcul du flux principal :

$$\Phi_p = \frac{(U - \Delta U) \cdot a \cdot 60}{N_{nom} \cdot N \cdot P} = \frac{0,95 \cdot 1000 \cdot 60 \cdot 3}{853 \cdot 696 \cdot 3} = 0,096 \text{ Wb}$$

- on prend $\Delta U = 5\% \cdot U$

B: - Calcul de la f.m.m. totale :

1: f.m.m dans les dents d'induit :

Calcul de la section des dents

$$S_{ZK} = K_{ra} \left(\frac{L_{ZK}}{3} \cdot q_s \right) \left(\frac{Z}{e_p} \right) l_a$$

- avec $K_{ra} = 0,94$ coefficient de remplissage dans l'induit

$$S_{2V_2} = (0,048)(0,67) \cdot \frac{17}{6} \cdot 0,416 \cdot 0,94 = 0,045 \text{ m}^2$$

- L'induction magnétique dans les dents :

L'induction magnétique dans les dents varie de 2,1 à 2,2 Tesla. elle est calculée à partir de la formule suivante :

$$B_{2V_2} = \frac{\Phi_0}{S_{2V_2}} = \frac{0,096}{0,045} = 2,133 \text{ Tesla}$$

D'après le tableau (1) on tire la valeur de l'intensité du champ magnétique correspondante - d'où $H_d = 584 \text{ A/cm}$.

$$\text{et: } F_d = H_d \cdot h_g = 584 \cdot 4,22 = 2464 \text{ A.T.}$$

$$F_d = 2464 \text{ A.T.}$$

2: F.M.M. dans le dos d'induit :

Dans le dos d'induit "joug d'induit" on a l'induction magnétique comprise entre les valeurs 1,18 et 1,32 Tesla pour une paire de pôles $2p=6$.

- largeur du dos d'induit :

$$b_a = \frac{1}{2} (D_a - D_i - 2h_g - \frac{2}{3} n_k d_k)$$

$D_i = 335 \text{ mm}$ diamètre intérieur de l'induit

$d_k = 25 \div 30 \text{ mm}$: diamètre d'un canal de ventilation dans notre cas on se $d_k = 30 \text{ mm}$.

$n_k = 2$: nombre de rangées de canaux de ventilation.

$$b_a = \frac{1}{2} (660 - 335 - 2 \cdot 42,2 - \frac{2}{3} \cdot 2 \cdot 30) = 100 \text{ mm.}$$

- Section du dos d'induit

$$S_a = K_{sa} \cdot b_a \cdot h_a = 0,94 \cdot 0,1 \cdot 0,416 = 0,039 \text{ m}^2$$

- induction magnétique dans le dos d'induit

on tire les valeurs limites de l'induction magnétique dans le dos d'induit d'après la figure (1) en fonction de la fréquence.

- fréquence :

$$\text{elle est définie comme suit: } f = \frac{P \cdot N_s}{60} = \frac{3 \cdot 853}{60} = 42,65$$

d'où les valeurs de $B_a = [1,18 \div 1,32] \text{ Tesla}$.

$$B_a = \frac{\Phi}{2. S_a} = \frac{0,096}{2. 0,039} = 1,231 \text{ Tesla}$$

La valeur de l'intensité du champ magnétique correspondante est tirée du tableau (1). $H_a = 10,1 \text{ A/cm.}$

$$F_a = H_a \cdot L_a = 10,1 \times 14 = 141 \text{ A.T.}$$

L_a : la longueur du tronçon parcouru par le flux dans le dos d'induit d'après la planche (2).

$$F_a = 141 \text{ A.T.}$$

3: F. M. M dans les pôles principaux :

- longueur du pôle principal : Dans les moteurs ordinaires, la longueur du pôle doit être inférieure à la longueur de l'induit pour réduire les pertes dans le fer dans les faces frontales, on prend $l_p = 405 \text{ mm.}$

- la largeur du pôle principal :

L'induction magnétique dans les pôles principaux doit être comprise entre 1,4 tesla et 1,7 tesla. la largeur du pôle doit satisfaire la condition précitée et qui est donnée par la formule :

$$l_p = \frac{1,15 \cdot \Phi_p}{c_p \cdot 0,915 \cdot B_p} = \frac{1,15 \cdot 0,096}{0,405 \cdot 0,915 \cdot B_p} \quad B_p = 1,4 \div 1,7 \text{ Tesla}$$

$$l_p = 175 \div 213 \text{ mm} \quad \text{on prend } l_p = 200 \text{ mm.}$$

- l'induction magnétique dans les pôles principaux

$$B_p = \frac{\sigma \cdot \Phi_p}{S_p} \quad \sigma : \text{coefficient de dispersion du flux dans les pôles}$$

$\sigma = 1,15$ pour un moteur ordinaire.

$\sigma = 1,35$ pour un moteur compensé.

$$S_p = K_{rp} \cdot l_p \cdot b_p \quad K_{rp} = 0,915 \text{ - coefficient de remplissage des pôles principaux}$$

$$S_p = 0,915 \cdot 0,2 \cdot 0,405 = 0,074 \text{ m}^2$$

$$B_p = \frac{1,15 \cdot 0,096}{0,074} = 1,49 \text{ Tesla.}$$

la valeur de H_p est tirée du tableau (1) : $H_p = 28 \text{ A/cm.}$

- la hauteur du pôle principal :

$$h_p = \frac{1}{2} (D_o - D_a - 2\delta - 2L_c) \quad D_o = 1130 \text{ mm} : \text{diamètre extérieur}$$

du moteur donné en fonction du diamètre d'induit $D_o \geq 1,6 D_a.$

$$D_o \geq 1056 \text{ mm.}$$

$\delta = 5 \text{ mm}$: l'entrefer ; une valeur préalable.

$h_c = 70 \text{ mm}$: la hauteur de la culasse.

$$h_p = \frac{1}{2} (1130 - 660 - 2 \times 5 - 2 \times 70) = 160 \text{ mm}$$

$$F_p = H_p \cdot h_p = 28 \times 16 = 448 \text{ A.T}$$

$$F_p = 448 \text{ A.T}$$

4: F.M.M. dans la culasse :

Pour calculer la f.m.m. dans la culasse, on divise le tronçon parcouru par le flux en deux parties, l'une située entre les deux pôles principaux, l'autre au-dessous du pôle.

$$h_c = 70 \text{ mm}$$

a) Dans la première partie :

- Longueur de la culasse : La longueur de la culasse d'un moteur ordinaire ou compensé au-dessus des pôles principaux est :

$$l'_c = (l_p + h_c) = 405 + 200 = 605 \text{ mm} \quad \text{si } l_p \text{ et } l_p \text{ sont la longueur et la largeur du pôle principal.}$$

- Section de la culasse :

$$S'_c = h_c \cdot l'_c = 907 \cdot 0,605 = 0,0424 \text{ m}^2$$

- Induction magnétique :

$$B'_c = \frac{\sigma \cdot \Phi}{2 S'_c} = \frac{1,25 \cdot 0,096}{2 \cdot 0,0424} = 1,415 \text{ Tesla} \quad ; \quad \sigma : \text{coefficient de dispersion dans la culasse.}$$

D'après le tableau (2), l'intensité du champ magnétique est donnée en fonction de l'induction magnétique dans la culasse.

$$H'_c = 2144 \text{ A/cm}$$

- Longueur du tronçon parcouru par le flux : elle est donnée en fonction de la largeur du pôle principal.

$$l_c = \frac{l_p}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$F'_c = H'_c \cdot l_c = 2144 \times 10 = 2144 \text{ A.T}$$

$$F'_c = 214 \text{ A.T}$$

b. Dans la 2^e partie:

Longueur de la culasse: elle est calculée à partir de la formule.

$$l_c = \frac{\sigma \cdot \Phi}{2 \cdot l_c \cdot B_c} \quad B_c: \text{ l'induction magnétique dans la culasse qui doit être égale } B_c = 1,3 = 1,5 \text{ Tesla.}$$

$$l_c = \frac{125 \cdot 9096}{2 \cdot 0,07 \cdot B_c} = 0,571 = 0,659 \text{ m} \quad \text{on prend } l_c = 600 \text{ mm}$$

- Induction magnétique: $B_c = \frac{\sigma \cdot \Phi}{2 \cdot l_c \cdot l_c} = \frac{\sigma \cdot \Phi}{2 \cdot l_c \cdot l_c} = \frac{125 \cdot 9096}{2 \cdot 0,07 \cdot 0,06} = 1,428 \text{ Tesla.}$

du tableau (2) on tire $H_c = 22,4 \text{ A/cm}$

La longueur du traçon parcouru par le flux est calculée d'après la planche N°:

$$l_c = 18,4 \text{ cm.}$$

$$F_c = 22,4 \times 18,4 = 412 \text{ A.T}$$

$$F_c = 412 \text{ A.T}$$

5: F.M.M. dans l'entrefer:

Le dimensionnement de l'entrefer est très important dans une machine, cela nous permet le rattachement du flux avec le courant de même il diminue la distorsion du champ qui est due à la réaction ^{d'induit}, et qui permet de réduire le champ qui donne un avantage dans le réglage.

5.1 - Induction magnétique dans l'entrefer:

L'induction magnétique dans l'entrefer est calculable à partir de la formule

$$B_s = \frac{\Phi}{S_s}$$

Section de l'entrefer: $S_s = b_s \cdot l_s = (\alpha_s \cdot \tau) \cdot l_s$

$$l_s = \frac{l_a + l_r}{2} = \frac{416 + 405}{2} = 410,5 \text{ mm.} \quad \text{longueur de l'entrefer}$$

$$B_s = \frac{\Phi}{\alpha_s \cdot b_s \cdot l_s} = \frac{0,096}{0,67 \cdot 0,3454 \cdot 0,41} = 1,01 \text{ Tesla}$$

5.2. Réaction d'induit:

On peut calculer la réaction d'induit F_{ri} d'après la formule:

$$F_{ri} = \frac{\sigma}{2} \cdot A = \frac{3454}{2} \cdot 451,5 = 7797 \text{ A.T}$$

$$F_{ri} = 7800 \text{ A.T}$$

La f.m.m dans l'entrefer (F_2) est donnée par la formule générale :

$$F_2 = \frac{K_y \cdot K_w \cdot K_v}{K'_H} \alpha_v F_{oi}$$

$$K_v = \frac{U_{max}}{U_{nom}} = \frac{\Phi_{i, nom}}{\Phi_{max}} = \frac{100}{48,8} = 2,05$$

$$K_p = \frac{P_{max}}{P_{nom}} = 0,75 \quad \text{le rapport de la puissance du moteur pour la vitesse maximale et la puissance nominale "carter de charge".}$$

$$K_y = 0,8 \div 0,9 \quad \text{pour un moteur ordinaire}$$

$$K_y = 0,5 \div 0,6 \quad \text{Compensé}$$

$$K'_H = \frac{F_B + \Delta F}{F_2'} = \frac{F_B + F_2' \left(\frac{\delta'}{\delta} - 1 \right)}{F_2' \cdot \frac{\delta'}{\delta}} \quad \text{où } F_2' : \text{ f.m.m. totale créée par un pôle}$$

$$K'_H \approx 1 \quad \delta : \text{ grandeur théorique de l'entrefer}$$

$$U_{max}/U_{nom} = 1 \quad \text{puisque on a une tension d'alimentation constante.}$$

$$F_2 = (0,9) (0,75) (2,05) (0,57) (7297) = 7228,7 \text{ A.T.}$$

$$F_2 = 7229 \text{ A.T.}$$

6: F.M.M. totale :

On calcule la f.m.m. créée par un pôle qui ^{est} égale à la somme des f.m.m. dans les différents parties du circuit magnétique.

$$F_T = \sum F_i = F_2 + F_a + F_p + F_c' + F_c + 4F_{ec} + F_5$$

$$= 2464 + 141 + 448 + 214 + 412 + 5224 + 7239 = 16132 \text{ A.T.}$$

$$F_T = 16132 \text{ A.T.}$$

7: Coefficient de saturation :

Le coefficient de saturation est un facteur très important, car à l'aide de ce facteur qui on connaît le fonctionnement du moteur et surtout du point de vue de la saturation. il est compris entre les valeurs. $1,6 \leq K_s \leq 2,5$

$$K_s = \frac{F_T}{F_2} = \frac{16132}{7233} = 2,23$$

8: NOMBRE DE SPIRES DE L'ENROULEMENT D'EXCITATION :

On peut calculer le nombre de spires de l'enroulement d'excitation suivre la formule:

$$w_p = \frac{F_T}{I_a} = \frac{16132}{806,5} = 20 \text{ spires}$$

$$w_p = 20 \text{ spires}$$

$F_2' = w_p \cdot I_a = 806,5 \cdot 20 = 16130 \text{ A.T.}$ Comme il n'existe pas un grand écart, il n'est pas nécessaire de faire la correction.

C: Calcul des paramètres de l'entrefer :

1 - l'entrefer "δ" :

La f.m.m dans l'entrefer peut être calculée à partir de la formule $F_f = \frac{1}{\mu_0} B_f$ avec δ: grandeur théorique de l'entrefer.

$\delta' = K_f \cdot \delta$ on fait le calcul en supposant que l'entrefer est uniforme parce que sa petite variation n'influe pas sur le résultat obtenu

$$K_f = \frac{t_1 + 10\delta}{b_3 + 10\delta} \quad t_1 = 23,8 \text{ mm} \quad \text{point (S.C.11.)}$$

$$t_2 = 13,8 \text{ mm}$$

$$\delta' = \frac{\mu_0 F_f}{B_f} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^7 \cdot 7233}{1,01} = 9 \text{ mm}$$

$$\delta' = \delta K_f = \delta \cdot \frac{t_1 + 10\delta}{b_3 + 10\delta} = 9$$

d'où on tire l'équation $10\delta^2 - (90 - t_1)\delta - 9b_3 = 0$

$\delta = 8,2 \text{ mm}$

2: Coefficient de l'entrefer :

$$K_f = \frac{t_1 + 10\delta}{b_3 + 10\delta} = \frac{23,8 + 10 \cdot 8,2}{13,8 + 10 \cdot 8,2} = 1,1$$

D: Enroulement d'excitation On prend la section d'un conducteur normalisé d'après le tableau (3) $S = 4 \times 65 \text{ mm}^2$ dont sa disposition sera horizontale.

1 - Hauteur de la bobine :

| | |
|---|------|
| - hauteur du cuivre 20×4 | 80 |
| - Isolation entre les spires d'épaisseur (0,6) avec plaque d'amiante
$13 \times 0,6$ | 11,4 |
| - Une couche d'isolation par bande de mica de (0,13 mm), 5 couches à
$(\frac{1}{2})$ recouvrement $0,13 \times 2 \times 5 \times 2$ | 2,6 |
| - L'isolation de protection par bande de verre d'épaisseur (0,2 mm), avec 5
couches à $(\frac{1}{2})$ recouvrement $0,2 \times 2 \times 2$ | 0,8 |

2: Largeur :

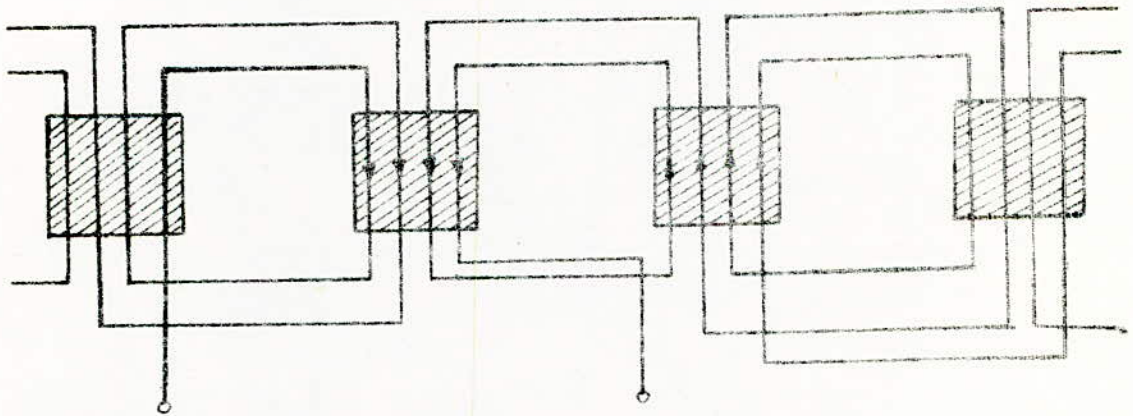
| | |
|--|-----|
| - Largeur du cuivre | 65 |
| - La couche d'isolation par bande de mica de (0,13) avec 5 couches à $(\frac{1}{2})$
recouvrement $0,13 \times 2 \times 2 \times 5$ | 2,6 |
| - isolation de protection par bande de verre de (0,2) mm avec
une couche à $(\frac{1}{2})$ recouvrement $0,2 \times 2 \times 2$ | 0,8 |

$b_{c3} = 70 \text{ mm}$

Calcul du circuit magnétique

II : Moteur Compensé

Le passage du courant dans les conducteurs d'induit engendra un flux dont les lignes de force vont se fermer par les pièces polaires, ce flux a pour effet de tordre le champ principal, cela provoque une diminution de la tension induite dans les barres, de même la saturation dans certains points; pour cela on place un enroulement dans les épanouissements polaires parcouru par le même courant d'induit, et dont les lignes de champ seront opposées aux lignes de champ provoqués par la réaction d'induit pour qu'on aura un champ presque totalement longitudinal. Cet enroulement de compensation est composé de conducteurs en cuivre sous formes de barres capotées, dont l'exécution de cet enroulement se fait d'une manière ^{à ce} que les conducteurs de la partie droite du pôle doivent être reliés avec les conducteurs de la partie gauche du pôle voisin, donc le nombre des escouces par pôle doit être pair.



A: Enroulement de compensation :

Pour avoir une compensation complète, il faut que la f.m.m. créée par l'enroulement de compensation soit égale à la f.m.m. de la réaction d'induit et dans le sens opposé. Et comme la f.m.m. de la réaction d'induit dépend uniquement de la charge linéaire, donc pour vérifier la condition précédente il faut que :

$$A_c = A \quad \text{d'où on aura} \quad F_c = F_a = ds \cdot \frac{5}{2} \cdot A$$

1: Nombre de spires: la f.m.m. crée par l'enroulement de compensation F_c

$$F_c = \alpha_s \cdot \frac{Z}{2} A_c = \omega_c \left(\frac{I_a}{a_c} \right)$$

ω_c : nombre de spires de l'enroulement de compensation
 a_c : nombre de branches parallèles.

$$\omega_c = \frac{\alpha_s \cdot Z \cdot A_c \cdot a_c}{2 \cdot I_a} = \frac{451,5 \cdot 34,54 \cdot 0,67 \cdot 1}{2 \cdot 806,5} = 6,47$$

$\omega_c = 6 \text{ spires}$

2: Nombre de conducteurs par encoche:

$$N_c = \frac{I \cdot a_c}{I_a}$$

avec I : le volume de courant par encoche, qui a les valeurs
 $1500 \leq I \leq 2200 \text{ A}$.

$$N_c = \frac{1800}{806,5} = 2,23 \quad \text{on prend } N_c = 2 \text{ conducteurs par encoche.}$$

3: Nombre des encoches:

$$Z_c = \frac{2 \omega_c}{N_c} = \frac{2 \times 6}{2} = 6 \text{ encoches par pôle.}$$

Le nombre d'encoches doit vérifier la double inégalité:

$$0,6 \left(\frac{Z_{ep}}{2p} \right) \alpha_s < Z_c < 0,9 \left(\frac{Z_{ep}}{2p} \right) \alpha_s \Rightarrow 5,83 < 6 < 8,74$$

4: F.M.M. de l'enroulement de compensation:

$$F_c = \omega_c \cdot \left(\frac{I_a}{a_c} \right) = 6 \times 806,5 = 4839 \text{ A.T}$$

5: Coefficient de compensation: est un facteur qui donne le degré de compensation, il est compris entre les valeurs $0,85 < k_c < 1,15$

$$k_c = \frac{F_c}{F_{ri}} = \frac{4839}{5218} = 0,93$$

on a. $F_{ri} - F_c = F_{ri} \left(1 - \frac{F_c}{F_{ri}} \right) = F_{ri} (1 - 0,93) = 0,07 F_{ri} = F_{ri}'$

B. 1. Choix de la section du conducteur:

Pour avoir une compensation quasi-complète, on doit garder la même densité de courant dans l'enroulement de compensation que dans l'induit.

$$J_c \approx J_{im} = 5,82 \text{ A/mm}^2$$

$$\text{donc } S_c^c = \frac{I_a}{a_c \cdot J_c} = \frac{806,5}{5,82} = 138,6 \text{ mm}^2$$

on normalise cette valeur d'après le tableau (3)

$$S_c = 4,4 \times 35 = 153,1 \text{ mm}^2 \quad \text{et } J_c = \frac{I_a}{S_c} = \frac{806,5}{153,1} = 5,27 \text{ A/mm}^2$$

2: hauteur de l'encoche [mm] :

- La hauteur du cuivre 35 ----- 35
- isolant entre les deux conducteurs avec un carton electrotechnique d'epaisseur (0,3) ----- 0,3
- isolant des deux conducteurs avec 5 couches à demi recouvrement d'epaisseur (0,13) avec une bande de mica : $0,13 \times 5 \times 2 \times 2$ ----- 3,6
- protection extérieure avec une couche à demi recouvrement d'epaisseur (0,2) $0,2 \times 1 \times 2 \times 2$ ----- 0,8
- colle ----- 5
- joint ----- 0,5
- jeu technologique ----- 0,2

$$h_{gc} = 44,5 \text{ mm}$$

3: largeur d'encoche [mm] :

- largeur du cuivre $2 \times 4,4$ ----- 8,8
- largeur de l'isolation entre les deux conducteurs avec une bande de mica de (0,3) ----- 0,3
- isolation du paquet avec un isolant de (0,13) avec 5 couches à demi recouvrement $0,13 \times 5 \times 2 \times 2$ ----- 3,6
- protection extérieure avec une couche à demi recouvrement d'epaisseur (0,2) $0,2 \times 1 \times 2 \times 2$ ----- 0,8
- joint ----- 0,8
- jeu technologique ----- 0,2

$$b_{gc} = 13,5 \text{ mm}$$

4: Calcul des pas dentaire :

$$t_c = \frac{b_p}{Z_c} \cdot \frac{D_a + 2\delta}{D_a} = \frac{20}{6} \cdot \frac{67}{66} = 3,38 \text{ mm.}$$

5: largeur de la pièce polaire :

$$b_r = d_s \cdot \pi \frac{(D_a + 2\delta)}{2p} = 0,67 \cdot 3,14 \cdot \frac{67}{6} = 235 \text{ mm.}$$

6: Inclinaison de l'encoche :

$$\beta = \pi / p = \pi / 6 \text{ rad.}$$

L'inclinaison de l'encoche de compensation est importante du point de vue magnétique et technique, le volume de courant par encoche est grand et le pas dentaire est relativement grand, donc on aura une variation importante du flux, et pour diminuer l'ondulation on incline les encoches.

C: Flux principal: le flux principal dépend de la force contre électromotrice, d'où cette dernière dépend de la chute de tension et par la suite, elle dépend de la résistance des différents enroulements, or pour un moteur compensé le nombre de spires diminue et par conséquent la résistance totale.

$$\Phi_0^c = \frac{(U - \Delta U) 60 \cdot a}{N \cdot N_a \cdot P} \quad \text{on prend } \Delta U = 3,6\% \cdot U$$

$$\Phi_0^c = \frac{964 \cdot 60}{696 \cdot 853} = 0,0974 \text{ weber.}$$

D: Calcul des f.m.m.

Comme on a la tension d'alimentation ainsi que la puissance pour un moteur compensé que pour un moteur ordinaire, donc on garde les mêmes dimensions obtenues pour un moteur ordinaire.

1: F.M.M. dans le dos d'induit :

induction magnétique dans le dos d'induit :

$$B_a^c = \frac{\Phi_0^c}{2S_a} \quad \text{on a } S_a^c = S_a = 0,039 \text{ m}^2$$

$$B_a^c = \frac{0,0974}{2 \cdot 0,039} = 1,249 \text{ Tesla.}$$

- Sur tableau (1) on tire la valeur de l'intensité du champ magnétique

$$H_a^c = 10,9 \text{ A/cm.}$$

$$F_a^c = H_a^c \cdot l_a^c = 10,9 \cdot 14 = 152 \text{ A.T.} \quad l_a^c = l_a = 14 \text{ cm}$$

$$F_a^c = 152 \text{ A.T.}$$

2: F.M.M. dans les dents d'induit :

l'induction magnétique dans les dents d'induit est :

$$B_{2/3}^c = \frac{\Phi_0^c}{S_{2/3}^c} = \frac{0,0974}{0,0448} = 2,174 \text{ Tesla.}$$

$$\text{du tableau (1) on a } H_d^c = 675,43 \text{ A/cm.}$$

$$F_d^c = H_d^c \cdot l_d^c = 675,43 \times 4,42 = 2980 \text{ A.T.}$$

$$F_d^c = 2980 \text{ A.T.}$$

3: F.M.M. dans les pôles principaux :

3-1. f.m.m. dans les dents du pôle : la longueur du pôle dans un moteur compensé doit être un peu supérieure à la longueur d'induit pour éviter la saturation des dents.

$$l_p^c = l_a + (10 \div 15) \text{ mm.}$$

$$l_p^c = 426 \text{ mm.}$$

- la largeur des pôles doit satisfaire que l'induction magnétique dans les dents du pôle principal soit $B_c^c = 1,6 - 1,8$ Tesla.

$$B_c^c = \frac{\sigma^c \cdot \Phi_c^c}{S_p^c} \quad \sigma^c = 1,05 \text{ coefficient de dispersion du flux dans les dents du pôle}$$

$$S_p^c = l_p^c \cdot b_{yc}^c \cdot K_r \quad K_r = 0,94 \text{ coefficient de remplissage}$$

$$b_{yc}^c = \frac{\sigma^c \cdot \Phi_c^c}{l_p^c \cdot K_r \cdot B_c^c} = \frac{1}{0,94} = [142 = 0,160] \text{ m. ; on prend } b_{yc}^c = 15 \text{ cm.}$$

3.1.1 Induction magnétique dans les dents du pôle:

$$B_c^c = \frac{\sigma^c \cdot \Phi_c^c}{l_p^c \cdot b_{yc}^c \cdot 0,94} = \frac{1,05 \cdot 90974}{0,426 \cdot 0,15 \cdot 0,94} = 1,703 \text{ Tesla}$$

et d'après le tableau (1) on tire que $H_c^c = 84,3$ A/cm.

$$- \text{ d'où } F_c^c = H_c^c \cdot l_{yc}^c = 84,3 \cdot 4,45 = 375 \text{ A.T.}$$

$$F_c^c = 375 \text{ A.T.}$$

3.1.2. Calcul de la hauteur de la pièce polaire:

on peut calculer la hauteur de la pièce polaire si partir de la formule:

$$h_{pp}^c \approx h_{yc}^c \cdot \cos(\beta) + \frac{(\alpha_p \cdot \sigma - b_p^c) B_c^c}{2 B_{np}^c} = (44,5) \cdot \cos(30) + \frac{(0,67 \cdot 34(4 - 200) - 1,703}{2 \cdot 1,561} = 55,68$$

on prend $h_{pp}^c = 6$ cm.

3.2. f.m.m dans le noyau polaire:

$$\text{Calcul de la section: } S_p^c = l_p^c \cdot b_p^c \cdot K_r = 0,426 \cdot 0,200 \cdot 0,915 = 0,078 \text{ m}^2$$

$K_r = 0,915$ coefficient de remplissage du pôle principal.

Induction magnétique: L'induction magnétique dans le noyau polaire doit être comprise entre les valeurs. $B_{np}^c = 1,4 - 1,7$ Tesla.

$$B_{np}^c = \frac{\sigma^c \cdot \Phi_c^c}{S_{np}^c} = \frac{1,25 \cdot 0,0974}{0,078} = 1,561 \text{ Tesla.}$$

Du tableau (1) on tire $H_{np}^c = 37,8$ A/cm.

$$F_{np}^c = H_{np}^c \cdot l_{np}^c = 37,8 \times 8 = 297 \text{ A.T.}$$

$$F_{np}^c = 297 \text{ A.T.}$$

4: F.M.M. dans la culasse:

La hauteur de la culasse est la même pour les deux types de moteurs $h_c = h_s = 70 \text{ mm}$

L'induction magnétique dans les deux parties de la culasse $B_c^c = 1,3 - 1,5$ Tesla

et pour calculer la f.m.m dans la culasse, on la divise en deux parties.

4.1 - Dans la première partie :

La longueur de la culasse au-dessous du pôle est $l_c^c = l_p^c + b_p^c = 426 + 200 = 626 \text{ mm}$.

Induction magnétique dans la culasse:

$$B_c^c = \frac{\sigma^c \Phi_c^c}{2 S_c^c} = \frac{\sigma^c \Phi_c^c}{2 l_c^c (l_p^c + b_p^c)} = \frac{125 \cdot 0,0974}{2 \cdot 0,626} = 1,389 \text{ Tesla.}$$

La longueur du tronçon parcourue par les lignes du flux est:

$$l_c^c = b_p^c / 2 = 200 / 2 = 100 \text{ mm.}$$

L'intensité du champ magnétique $H_c^c = 19,35 \text{ A/cm}$ d'après le tableau (2).

$$F_c^c = H_c^c \cdot l_c^c = 19,35 \times 10 = 193,5 \text{ A.T.}$$

$$F_c^c = 194 \text{ A.T.}$$

4.2 - Dans la deuxième partie :

La longueur de la culasse entre les deux pôles principaux est donnée par:

$$l_c^c = \frac{\sigma^c \Phi_c^c}{2 \cdot l_c^c \cdot B_c^c} \quad \text{avec } B_c^c = 1,3 \div 1,5 \text{ Tesla. } l_c^c = 0,07 \text{ m.}$$

$\sigma^c = 1,25$ coefficient de dispersion du flux dans le cul

on trouve $l_c^c = [580 \div 669] \text{ mm}$.

On prend $l_c^c = 600 \text{ mm}$.

Induction magnétique :

$$B_c^c = \frac{\sigma^c \Phi_c^c}{2 l_c^c \cdot l_c^c} = \frac{125 \cdot 0,0974}{2 \cdot 0,6} = 1,449 \text{ Tesla.}$$

L'intensité du champ magnétique $H_c^c = 24,25 \text{ A/cm}$.

la longueur du tronçon $l_c^c = 15 \text{ cm}$ d'après la planche (3).

$$F_c^c = H_c^c \cdot l_c^c = 24,25 \cdot 15 = 363,75 \text{ A.T.}$$

$$F_c^c = 364 \text{ A.T.}$$

5: F.M.M. dans l'entrefer :

5.1 - Longueur de l'entrefer :

$$l_f^c = \frac{l_a^c + l_p^c}{2} = \frac{416 + 426}{2} = 421 \text{ mm.}$$

5.2 - Section de l'entrefer :

$$S_s^c = l_s^c \cdot b_s^c = l_s^c \cdot (\alpha_s \cdot \tau) = 0,421 \cdot 0,67 \cdot 0,3454 = 0,0974 \text{ m}^2.$$

5.3 Induction dans l'entrefer :

L'induction magnétique dans l'entrefer est donnée en fonction du diamètre de l'induit d'après la fig (4) on trouve que $B_s^c = 9400 \div 10900 \text{ Gs}$

$$B_s^c = \frac{\Phi_s^c}{S_s} = \frac{0,0974}{0,0974} = 1 \text{ Tesla.}$$

5.4- La réaction d'induit: pour un pas polaire, la réaction d'induit est donnée par la formule: $F_{ri} = \frac{\sigma}{2} \cdot A_c = \frac{20,54}{2} \cdot 451,5 = 7797 \text{ A.T.}$

$$F_{ri} = 7797 \text{ A.T}$$

$$F_{ri}' = F_{ri} - F_c = F_{ri} (1 - k_c) = 907 \cdot F_{ri} \cdot 0,67 = 366 \text{ A.T}$$

$$F_{ri}' = 367 \text{ A.T}$$

f. m. m. dans l'entrefer :

La f. m. m. dans l'entrefer est donnée par la formule:

$$F_s^c = \frac{K_y \cdot K_p \cdot K_v \cdot d_s}{K_H' \cdot (U_{max}/U_{nom})} F_{ri}$$

$$K_p = 0,75$$

$$K_v = \frac{v_{max}}{v_{nom}} = \frac{100}{48,8} = 2,05$$

$$K_y = 0,5 \div 0,65 \text{ pour un moteur compensé.}$$

$$K_H' \approx 1 \quad ; \quad U_{max}/U_{nom} = 1.$$

$$F_s^c = (0,65) (0,75) (2,05) (0,67) \cdot 7797 = 5221 \text{ A.T.}$$

$$F_s^c = 5221 \text{ A.T}$$

6: F.M.M. totale :

c'est la f. m. m. totale créée par un pôle qui doit être égale à la somme des chutes de f. m. m. dans les différentes parties du circuit magnétique.

$$F_T^c = F_a^c + F_d^c + F_{c0}^c + F_{rp}^c + F_c^c + F_c^c + F_s^c + F_{ri}'$$

$$= 152 + 2850 + 375 + 297 + 194 + 364 + 5221 + 366 = 9999 \text{ A.T.}$$

$$F_T^c = 10000 \text{ A.T}$$

7: Coefficient de saturation :

Les valeurs admissibles du facteur de saturation :

$K_A = 1,6 \div 2,2$; $K_A \leq 1,6$ il y'a un excès d'acier dans la machine.

$K_A \geq 2,2$ il y'a une grande saturation dans la machine.

$$K_A = \frac{F_T^c}{F_S^c} = \frac{9999}{5221} = 1,91$$

3: Nombre de spires de l'enroulement d'excitation :

$$\omega_e^c = \frac{F_T^c}{I_a} = \frac{9999}{806,5} = 12,39$$

$$\omega_e^c = 12 \text{ spires}$$

E: calcul de l'entrefer :

1 - La grandeur théorique de l'entrefer $\delta^c = K_S^c \cdot \delta^c$ ----- (a).

et le facteur de l'entrefer $K_S^c = K_{S_a}^c \cdot K_{S_o}^c = \frac{t_1^c + 10\delta^c}{b_{\beta_1}^c + 10\delta^c} \cdot \frac{t_{1c}^c + 10\delta^c}{b_{\beta_c}^c + 10\delta^c}$

So plus la f.m.m. de l'entrefer est donnée par la formule.

$$F_S^c = \frac{1}{\mu_0} \cdot B_S^c \cdot \delta^c \implies \delta^c = \frac{\mu_0 \cdot F_S^c}{B_S^c}$$

$$\text{et: } \delta^c = K^c \cdot \delta^c; \quad \delta^c = \frac{\delta^c}{K^c} = \frac{\mu_0 \cdot F_S^c}{K^c \cdot B_S^c}$$

$$\text{De l'équation (a) on a } \delta^c = \left(\frac{t_1^c + 10\delta^c}{b_{\beta_1}^c + 10\delta^c} \right) \cdot \left(\frac{t_{1c}^c + 10\delta^c}{b_{\beta_c}^c + 10\delta^c} \right) \delta^c = \frac{\mu_0 \cdot F_S^c}{K^c \cdot B_S^c}$$

$$\begin{cases} t_1^c = 2,38 \text{ cm} \\ b_{\beta_1}^c = 1,38 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\begin{cases} t_{1c}^c = 3,38 \text{ cm} \\ b_{\beta_c}^c = 2,3 \text{ cm} \end{cases}$$

$$F_S = 5221 \text{ AT.}$$

$$B_S = 10.000 \text{ Gs.}$$

$$K^c = 1,05.$$

$$100\delta^3 + (10t_1 + 10t_{1c} - 100\delta^c)\delta^2 + (t_1t_{1c} - 10b_{\beta_1}^c\delta^c - 10b_{\beta_c}^c\delta^c) + b_{\beta_1}^cb_{\beta_c}^c\delta^c = 0.$$

$$\delta^c = \frac{\mu_0 \cdot F_S^c}{K^c \cdot B_S^c} = \frac{4,7 \cdot 10^7 \cdot 5221}{1,05 \cdot 1} = 6,25 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,625 \text{ cm.}$$

$$100\delta^3 - 4,9\delta^2 - 15\delta^c - 1,98 = 0 \quad \text{on trouve } \delta^c = 0,465 \text{ cm}$$

On prend

$$\delta^c = 0,47 \text{ cm}$$

2: facteur de l'entrefer :

$$- K_{S_a}^c = \frac{t_1^c + 10\delta^c}{b_{\beta_1}^c + 10\delta^c} = \frac{2,38 + 4,7}{1,38 + 4,7} = 1,16.$$

$$- K_{S_o}^c = \frac{t_{1c}^c + 10\delta^c}{b_{\beta_c}^c + 10\delta^c} = \frac{3,38 + 4,7}{2,3 + 4,7} = 1,15$$

$$K_8^c = K_{J_8}^c \cdot K_{\delta_{20}}^c = 1,16 \cdot 1,15 = 1,33$$

on a $\delta^c = 6,25 \text{ mm}$; $\delta^{c'} = \delta^c \cdot K' = 6,56 \text{ mm}$.

F: ENROULEMENT D'EXCITATION :

On prend les mêmes conducteurs que dans un moteur non compensé pour garder la même densité de courant. $S_c^c = 4 \times 65 \text{ mm}^2$.

1 densité de courant : $J_c^c = \frac{I_a}{S_c^c} = \frac{806,5}{4 \times 65} = 3,1 \text{ A/mm}^2$.

2: hauteur de l'enroulement [mm]

- hauteur du cuivre 4×14 ----- 48
- isolation entre les spires avec une plaque d'amiante d'épaisseur (0,6) .. $14 \times 0,6$ ----- 6,6
- couche d'isolation par bande de mica (0,13) avec 5 couches à $(\frac{1}{2})$ recouvrement: $0,13 \times 5 \times 2 \times 2$ ----- 2,6
- Isolation de protection par bande de verre (0,2) avec une couche à demi recouvrement $0,2 \times 2 \times 2$ ----- 0,8

$$h_{c_2}^c = 58 \text{ mm}$$

3: largeur de l'enroulement [mm] :

- largeur du cuivre 65 ----- 65
- une couche d'isolation par bande de mica (0,13) avec 5 couches à demi recouvrement $0,13 \times 5 \times 2 \times 2$ ----- 2,6
- Isolation de protection par bande de verre (0,2) avec une couche à demi recouvrement $0,2 \times 2 \times 2$ ----- 0,8

$$b_{c_2}^c = 70 \text{ mm}$$

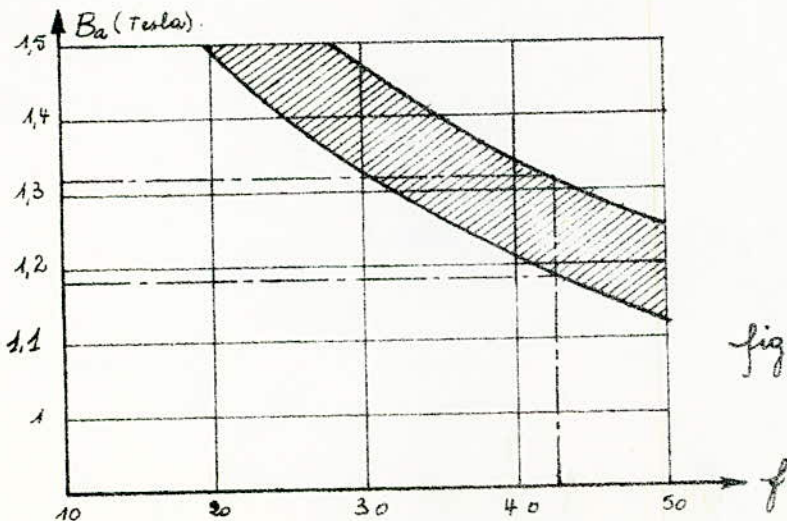


fig (1).

$H = f(B)$; pour l'induit, dents d'induit, pôles principales.

| B ruts | 0 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,6 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3,1 | 3,2 | 3,2 | 3,3 | 3,3 |
| 0,7 | 3,4 | 3,4 | 3,5 | 3,5 | 3,6 | 3,7 | 3,7 | 3,8 | 3,8 | 3,9 |
| 0,8 | 4 | 4 | 4,1 | 4,1 | 4,2 | 4,2 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 4,6 |
| 0,9 | 4,8 | 4,8 | 4,9 | 5,0 | 5,1 | 5,2 | 5,3 | 5,4 | 5,5 | 5,6 |
| 1,0 | 5,7 | 5,8 | 5,9 | 6,0 | 6,2 | 6,3 | 6,5 | 6,7 | 6,9 | 7,1 |
| 1,1 | 7,2 | 7,4 | 7,5 | 7,6 | 7,7 | 8,0 | 8,2 | 8,5 | 8,7 | 8,9 |
| 1,2 | 9,3 | 9,6 | 9,9 | 10,1 | 10,5 | 11 | 11,3 | 11,6 | 11,9 | 12,3 |
| 1,3 | 12,8 | 13,3 | 13,8 | 14,2 | 14,6 | 15 | 15,7 | 16,3 | 17 | 17,6 |
| 1,4 | 18,2 | 19 | 19,8 | 20,0 | 20,2 | 22 | 23,5 | 25 | 26,5 | 28 |
| 1,5 | 29 | 30 | 31 | 32,5 | 33,5 | 35 | 37 | 39 | 41 | 43 |
| 1,6 | 47 | 50 | 53 | 56 | 50 | 63 | 67 | 71 | 75 | 79 |
| 1,7 | 83 | 88 | 93 | 98 | 104 | 110 | 116 | 122 | 128 | 135 |
| 1,8 | 142 | 149 | 156 | 163 | 171 | 179 | 187 | 196 | 205 | 214 |
| 1,9 | 224 | 235 | 246 | 257 | 269 | 281 | 294 | 308 | 323 | 336 |
| 2,0 | 350 | 364 | 378 | 393 | 408 | 423 | 439 | 457 | 476 | 495 |
| 2,1 | 515 | 535 | 556 | 577 | 598 | 620 | 643 | 666 | 689 | 712 |
| 2,2 | 735 | 759 | 783 | 807 | 831 | 855 | 880 | 905 | 930 | 955 |
| 2,3 | 980 | 1006 | 1032 | 1058 | 1085 | 1110 | 1135 | 1165 | 1195 | 1230 |
| 2,4 | 1270 | 1305 | 1340 | 1375 | 1415 | 1455 | 1495 | 1535 | 1570 | 1610 |
| 2,5 | 1650 | 1696 | 1730 | 1775 | 1820 | 1870 | 1920 | 1975 | 2030 | 2090 |

TABEAU (1)

$H = f(B)$ pour la culasse.

TABEAU N° (2).

| B ruts | 0 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,4 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| 0,5 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 |
| 0,6 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| 0,7 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 2,9 | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 3,1 |
| 0,8 | 3,2 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,6 | 3,7 | 3,8 | 3,9 | 4,0 |
| 0,9 | 4,1 | 4,2 | 4,4 | 4,5 | 4,6 | 4,8 | 5,0 | 5,1 | 5,3 | 5,5 |
| 1,0 | 5,6 | 5,8 | 6,0 | 6,2 | 6,4 | 6,6 | 6,8 | 7,0 | 7,2 | 7,4 |
| 1,1 | 7,6 | 7,9 | 8,2 | 8,4 | 8,7 | 9,0 | 9,3 | 9,6 | 9,9 | 10,2 |
| 1,2 | 10,5 | 10,8 | 11,1 | 11,5 | 11,8 | 12,2 | 12,6 | 13 | 13,4 | 13,8 |
| 1,3 | 14,2 | 14,7 | 15,2 | 15,8 | 16,4 | 17,0 | 17,6 | 18,2 | 18,8 | 19,4 |
| 1,4 | 20,1 | 20,9 | 21,7 | 22,5 | 23,4 | 24,3 | 25,3 | 26,5 | 27,7 | 29 |
| 1,5 | 30,5 | 31,8 | 33,4 | 35,2 | 37,1 | 39,0 | 41 | 43,5 | 46 | 49,5 |
| 1,6 | 51 | 53,5 | 56 | 59 | 63 | 65 | 68 | 71 | 74 | 78 |
| 1,7 | 81 | 84 | 88 | 91 | 95 | 99 | 102 | 106 | 110 | 114 |
| 1,8 | 118 | 122 | 126 | 130 | 134 | 139 | 143 | 148 | 152 | 157 |
| 1,9 | 162 | 169 | 177 | 184 | 193 | 200 | 209 | 218 | 227 | 236 |
| 2,0 | 245 | 257 | 269 | 281 | 293 | 307 | 320 | 335 | 352 | 370 |
| 2,1 | 387 | 406 | 425 | 450 | 485 | 515 | 560 | 605 | 655 | 705 |

IV - Commutation

- La commutation est le problème le plus délicat de la machine, pour une certaine valeur de puissance la présence des pôles auxiliaires devient nécessaire munis d'un enroulement connecté en série avec celui d'induit disposés entre les pôles principaux suivant les lignes neutres théoriques. Le phénomène de commutation est lié à la variation du courant dans les conducteurs de l'enroulement d'induit court-circuités par les balais appliqués au collecteur, cela peut provoquer des étincelles entre les balais et le collecteur et même endommager ce dernier.

Ce phénomène peut être d'origine mécanique ou électrique due à l'accroissement de la tension entre les lames du collecteur, densité de courant, notre but dans ce chapitre est de calculer le nombre de spires nécessaire pour réduire la f.e.m induite dans les spires court-circuitées pour qu'on aura une densité au bord de la sortie quasiment nulle, cela nous donne la bonne commutation et la plus propice pour l'exploitation

1: Diamètre du collecteur :

Le calcul des diamètres du collecteur peut se faire sur la base des valeurs suivantes

$$D_c = (0,8 \div 0,85) D_a$$

$$t_c = 0,45 \div 0,5 \text{ cm.}$$

De plus il faut que le diamètre du collecteur doit vérifier la relation :

$$v_{c \max} \leq 55 \text{ m/s} \quad \text{« - cahier de charge »}$$

pour un diamètre d'induit $D_a = 660 \text{ mm}$ on a $D_c = 528 \div 561 \text{ mm}$.

$$\text{et } t_c = \frac{\pi D_c}{K} \Rightarrow D_c = \frac{K \cdot t_c}{\pi} = 499 \div 554 \text{ mm.}$$

On prend $D_c = 540 \text{ mm}$.

2: Vitesse périphérique du collecteur :

Pour assurer une bonne marche sans étincelles aux balais, la vitesse périphérique du collecteur doit être : $v_c \leq 55 \text{ m/s}$.

2.1. vitesse angulaire maximale de la roue :

$$N_{r,max} = \frac{60 \cdot V_{r,max} \text{ (m/s)}}{\pi D_r \text{ (m)}} = 5,3 \frac{V_{r,max} \text{ (km/h)}}{D_r \text{ (m)}} = 5,3 \frac{100}{125} = 424,5 \text{ tr/min.}$$

2.2. vitesse maximale du collecteur :

La vitesse angulaire du collecteur est la même que celle de l'induit

$$N_{c,max} = N_{a,max} = N_{r,max} \cdot i = 424,5 \cdot 4,1 = 1740,5 \text{ tr/min.}$$

et :

$$V_{c,max} = \frac{\pi D_c}{60} \cdot N_{c,max} = \frac{3,14 \cdot 0,54}{60} \cdot 1740,5 = 49,2 \text{ m/s.}$$

3: Pas au collecteur :

il est égale à :

$$t_c = \frac{\pi D_c}{K} = \frac{3,14 \times 540}{348} = 4,87 \text{ mm.}$$

B. Balais :

Choix des balais :

- Les balais assurent la liaison des circuits fixes "inducteurs", et mobile "induit".
- D'après le tableau (4) pour les machines dont la vitesse du collecteur est élevée ($v_c \geq 40$), et une tension d'alimentation $U \leq 1000V$; on utilise des balais électrographitiques qui ne se grippent pas, et possédant un faible coefficient de frottement.

Dans notre cas on utilise des balais électrographitiques du type 314. dont les caractéristiques sont les suivantes: "d'après le tableau 5".

- Chute de tension de contact: $20U_b = 2V.$
- Densité de courant: $F_b = 12 \text{ A/cm}^2.$
- Pression spécifique: $p = (150 \div 200) \text{ gf/cm}^2.$
- Coefficient de frottement: $f_f = 0,25.$

: Nombre des portes-balais :

En général le nombre des portes-balais soit égale au nombre de pôles

$$N_{pb} = 2p = 6.$$

: Courant traversant un balais

$$I_{pb} = \frac{I_a}{(N_{pb}/2)} = \frac{806,5}{3} = 268,8 \text{ A.}$$

4: Section préalable des portes-balais :

$$S_{p0} = \frac{I_{p0}}{J_0} = \frac{268,8}{12} = 22,4 \text{ cm}^2$$

5: largeur du balais :

La largeur du balais est calculée à partir de la condition

$$\frac{b_b}{t_b} \geq U_k + 0,5$$

U_k : nombre de conducteurs par couche

$$b_b \geq t_b (U_k + 0,5) = 4,87 \times 4,5 = 22 \text{ mm}$$

on normalise cette valeur d'après le tableau (4) et on prend

$$b_b = 25 \text{ mm}$$

et la longueur du balais $l_b = 32 \text{ mm}$

la hauteur des balais $h_b = 40 \text{ mm}$

6: Section des balais :

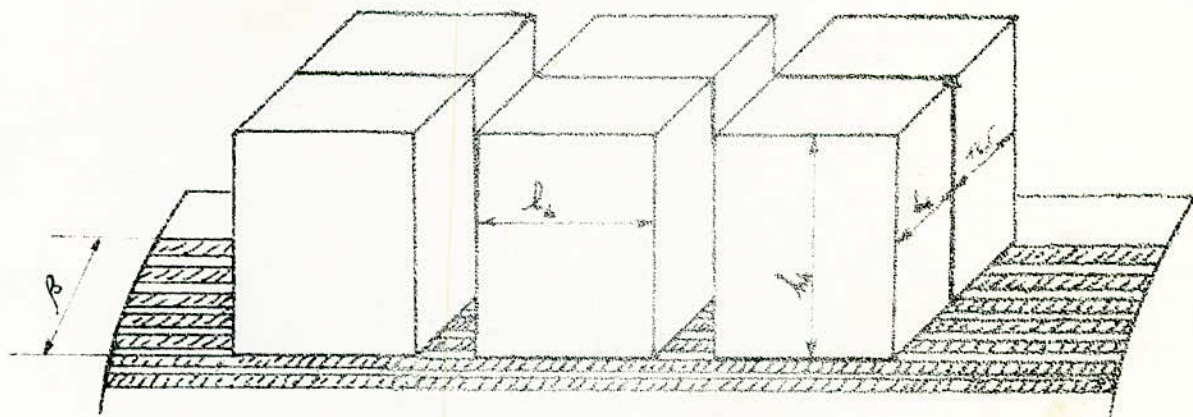
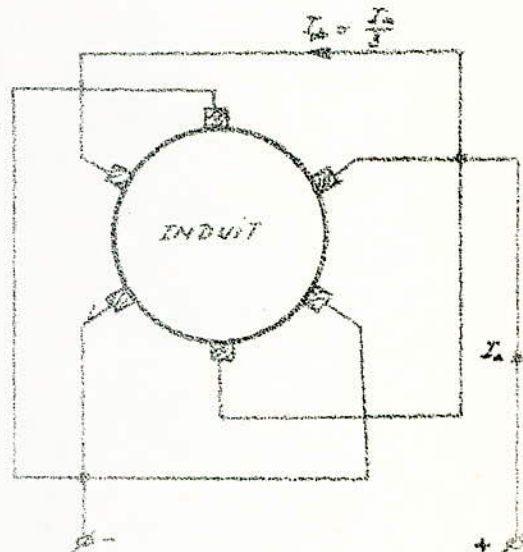
$$S_b = l_b \cdot b_b = 2,5 \times 3,2 = 8 \text{ cm}^2$$

7: Nombre de balais par porte-balais :

$$N'_b = \frac{I_a}{p \cdot J_0 \cdot l_b \cdot b_b} = \frac{806,5}{3 \cdot 12 \cdot 2,5 \cdot 3,2} = 2,8$$

Le nombre de balais sur un porte-balais doit être entier :

$$N'_b = 3$$



8: facteur du recouvrement des balais :

$$\beta = \frac{b_b}{t_b} = \frac{25}{4,87} = 5,13 \text{ lames}$$

9: Nombre total de balais:

$$N_{br} = 3.p. N'_2 = 6.3 = 18 \text{ balais.}$$

10: Densité de courant des balais:

sa valeur est donnée par:

$$J_b = \frac{2 I_a}{N_{br} \cdot S_b} = \frac{2 \cdot 806,5}{18 \cdot 2,5 \cdot 3,2} = 11,2 \text{ A/cm}^2.$$

11: Largeur de la zone de commutation:

elle est calculée à partir de la formule:

$$b_k = t_c \left(u_k + E_k + \beta - \frac{a}{p} \right) \frac{D_c}{D_c}$$

avec $u_k = \frac{2}{p}$ nombre de conducteurs par couche.

$$\beta = 5,13 \quad \text{et} \quad a = p = 3.$$

$$E_k = E_c \cdot u_k = \left(\frac{Z_1}{2p} - y_1 \right) u_k = (14,5 - 14) 4 = 2$$

$$b_k = 0,487 (4 + 2 + 5,13 - 1) \frac{66}{54} = 6,03 \text{ cm.}$$

C: longueur du pôle auxiliaire:

La longueur du pôle auxiliaire est égale à la longueur du pôle principal.

$$l_{pa} = 405 \text{ mm.}$$

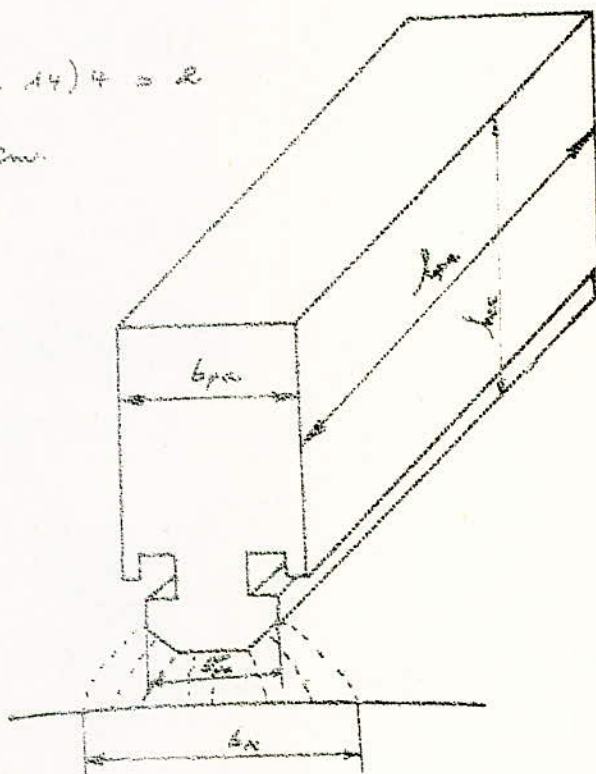
longueur du pôle auxiliaire:

a) longueur de l'épanouissement polaire:

$$b'_{pa} = (1,4 \div 1,6) t_1.$$

$t_1 = 23,8$ pas dentaire maximal.

$$b'_{pa} = (1,4 \div 1,6) 23,8 = 33,3 \div 38 \text{ mm} \quad \text{on prend} \quad b'_{pa} = 36 \text{ mm.}$$



D: Calcul des perméances :

1- Perméance d'isolation d'encoche supérieure :

Elle se calcule à partir de la formule :

$$\lambda_1 = \mu_0 \cdot K_{SN} \cdot \frac{h_1}{b'_3}$$

avec

$$\mu_0 = 0,4 \cdot \pi = 1,256.$$

h_1 : isolation de l'encoche supérieure

il est calculé d'après la fig (C-10)

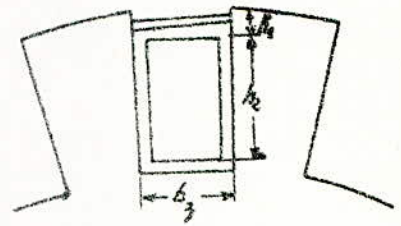
$$h_1 = 5 + 2 \times 0,5 + 0,15 \cdot 1 \cdot 1 + 0,1 \times 4 \cdot 2 + 0,1 \cdot 1 \times 2 + 0,16 = 7,31 \text{ mm.}$$

$$b'_3 = b_3 + 1,74 = 11,74 \text{ mm.}$$

K_{SN} peut être calculé à partir de la formule $K_{SN} = 1 + 0,78 \frac{d^2 m^2}{l a \cdot h_1} \left(\frac{B_{SN} - B_1}{B_1} \right)$

en général $K_{SN} \approx 1$.

$$\lambda_1 = 1,256 \cdot 1 \cdot \frac{7,31}{11,74} = 0,782.$$



2- Perméance du cuivre :

$$\lambda_2 = \mu_0 \cdot K_i \cdot \frac{h_2}{3 b_3} \quad \mu_0 = 0,4 \pi = 1,256.$$

$b_3 = 10 \text{ mm}$ largeur de l'encoche.

$$h_2 = h_3 - h_1 - h_3 = 42,2 - 7,31 - (9,2 + 0,15 \cdot 1 \cdot 1 + 0,1 \cdot 4 \cdot 2 + 0,1 \cdot 1 \cdot 2) = 33,54 \text{ mm}$$

K_i : c'est un coefficient qui tient compte de la dispersion du flux de fuite à cause du déplacement du courant dans le cuivre vers la partie supérieure d'encoche.

Calcul de f' : hauteur amorcée du conducteur d'induit.

est donné par la formule :

$$f' = h_c \sqrt{\frac{b_c \cdot \lambda \cdot f'}{2500 b_3}} \quad ; \quad \begin{array}{l} h_c = 3,53 \text{ hauteur des conducteurs d'induit} \\ b_c = 6,0 \text{ largeur du conducteur d'induit} \end{array}$$

$\lambda = 38 \text{ (m/m}^2 \cdot \Omega)$ conductivité électrique relative de l'enroulement chauffé.

la constante f' est donnée en fonction de la vitesse du collecteur

- vitesse nominale du collecteur $v_{\text{nom}} = \frac{\pi D_c}{60} N_{\text{nom}} = \frac{3,14 \cdot 0,54}{60} \cdot 853 = 24,11 \text{ m/s}$

$$f = \frac{2c}{8k_c(4k + \beta - 1)} = \frac{24,11}{2,0487(4 + 5,13 - 1) \cdot 10^3} = 304,5$$

$$f = 0,353 \sqrt{\frac{6,5 \cdot 304,5 \cdot 38}{10 \cdot 2500}} = 0,63 \text{ mm.}$$

d'après la figure (2) où K_c est donnée en fonction de f ; on tire la valeur de $K_c = 1$.

$$\text{et } \lambda_2 = u \cdot K_c \frac{b_c}{3b_2} = 1,256 \frac{33,54}{3 \cdot 10} = 1,404.$$

3- Perméance des dents d'induit :

$$\lambda_d = u \cdot \frac{b_{pa} - b_p}{4 K_{s2} \delta_p} \quad b_{pa} = 36 \text{ mm. longueur d'épanouissement polaire.}$$

δ_p : entrefer sous le pôle auxiliaire.

$$\delta_p = (1,5 + 2) \delta = (1,3 + 2) 8,2 = 13,3 + 16,4 \text{ mm. on prend } \delta_p = 15 \text{ mm.}$$

K_{s2} : coefficient de l'entrefer

$$K_{s2} = \frac{t_1 + 10\delta_p}{b_{p1} + 10\delta_p} = \frac{23,8 + 150}{13,8 + 150} = 1,06$$

$$\lambda_d = 1,256 \frac{36 - 10}{4 \cdot 1,06 \cdot 15} = 0,513.$$

4- Perméance des parties frontales :

$$\lambda_{pf} = 0,465 \frac{l_{pf}}{l_a} \cdot \log\left(1 + \frac{\pi \cdot \tau}{4 l_f}\right).$$

$l_a = 416 \text{ mm. longueur d'induit}$

$$l_{pf} = 1,3 \tau = 1,3 \cdot 345,4 = 449 \text{ mm.}$$

$$\lambda_{pf} = 0,465 \frac{449}{416} \log\left(1 + \frac{3,14 \cdot 345,4}{4 \cdot 42,2}\right) = 0,437.$$

5- Perméance totale :

$$\lambda_T = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_d + \lambda_{pf} = 0,782 + 1,404 + 0,513 + 0,437 = 3,136$$

E. F. e.m réactive moyenne dans une section commutée :

C'est la f.e.m réactive induite dans les sections commutées lors d'une commutation linéaire, elle donne la grandeur de la difficulté de la commutation, elle dépend de l'inductance résultante, et le temps disponible pour l'inversion, ainsi que les

variation du courant dans le balais, cette f.e.m. réactive de commutation doit être compensée par une f.e.m. d'égal et de sens opposé induite par le champ de commutation.

En partant de la formule générale $e_r = - \frac{d\Phi_s}{dt} \cdot \omega_c \cdot 10^{-6}$ et $R \cdot \Phi_s = N \cdot I$

on aura $\Phi_s = 4 \cdot I_a \cdot U_k \cdot \lambda_r \cdot I_a \cdot \omega_c$.

finalement on a
$$e_r = \frac{8 \cdot I_a \cdot U_k \cdot \omega_c^2 \cdot \lambda_r \cdot I_a \cdot V_a \cdot 10^{-6}}{b_k}$$

avec $I_a = \frac{I_a}{2a} = 134,4$

$U_k = 4$ nombre de conducteurs par couche.

$\omega_c = 1$ nombre de spires connectés à deux bornes.

$\lambda_r = 3,136$ la perméance totale

$l_a = 416 \text{ mm}$ longueur d'induit

$V_a = \frac{\pi D_a}{60} N_{\text{nom}} = \frac{3,14}{60} \cdot 0,66 \cdot 853 = 29,5 \text{ m/s}$.

$b_k = 6,03 \text{ mm}$ largeur de la zone de commutation rapportée à l'induit

et on a $t_{(A)} = \frac{b_k}{V_a} = 0,2 \cdot 10^{-3}$ le temps disponible de commutation.

$$e_r = \frac{8 \cdot 134,4 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 3,136 \cdot 416 \cdot 29,5 \cdot 10^{-6}}{6,03} = 2,75 \text{ V.}$$

F = F.M.M. totale.

1- Induction magnétique de l'entrefer sous le pôle auxiliaire :

L'induction magnétique de l'entrefer sous le pôle auxiliaire est donnée par la formule :

$$B_{sx} = \frac{e_r \cdot 10^6}{2 \omega_c \cdot l_a \cdot V_a} = \frac{2,75 \cdot 10^6}{2 \cdot 1 \cdot 416 \cdot 29,5} = 1120 \text{ Gs.}$$

2- F.M.M. dans l'entrefer sous le pôle auxiliaire :

$$F_{sx} = \frac{1}{\mu_0} \cdot B_{sx} \cdot \delta_p \cdot K_{sx}$$

$$= 0,8 \cdot 1120 \cdot 15 \cdot 106 = 1425 \text{ A.T.}$$

3- F.M.M. de la réaction d'induit :

La réaction d'induit sous un pôle est calculée à partir de la formule suivante :

$$F_{xi} = \frac{G}{2} \cdot A = \frac{34,54}{2} \cdot 451,5 = 7797 \text{ A.T}$$

4. Coefficient de dispersion :

Le coefficient de dispersion est défini comme étant le rapport du flux de pôle auxiliaire au flux de l'entrefer.

$$\sigma_x = \frac{\Phi_{px}}{\Phi_{dx}} = \frac{\Phi_{dx} + \Phi_{dx}}{\Phi_{dx}} \quad \Phi_{dx} : \text{flux de dispersion dans le pôle auxiliaire}$$

4.1. flux de dispersion :

$$\Phi_{dx} = (F_{dx} + F_{xi}) \cdot \frac{l_a + l_{pa}}{2} \cdot \lambda_{dx}$$

$\lambda_{dx} = 0,9 \frac{l_{px}}{S} \mu_0$. la perméance entre le pôle auxiliaire et le pôle principal

l_{px} : la hauteur du pôle auxiliaire

S : la distance entre les deux pôles auxiliaire et principal

$\delta_x = 10 \text{ mm}$. l'entrefer supérieur entre le pôle auxiliaire et la culasse, il est un peu inférieur si l'entrefer principal.

$$l_{px} = (D_o/2 - h_c - \delta_x - \delta'_x - D_a/2) = (1130/2 - 70 - 15 - 10 - 660/2) = 140 \text{ mm}$$

$S = 60 \text{ mm}$: d'après la planche N° 2.

4.2. flux d'entrefer : le flux d'entrefer est donné par :

$$\begin{aligned} \Phi_{dx} &= B_{dx} \cdot l_s (l_{pa} + 3\delta_x) \\ &= 1120 \cdot 41,6 (3,6 + 3 \cdot 1,5) = 0,377 \cdot 10^6 \text{ Mx.} \end{aligned}$$

- finalement on adopte :

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 1 + \frac{\Phi_{dx}}{\Phi_{dx}} = 1 + \frac{(F_{dx} + F_{xi})}{\Phi_{dx}} \cdot \frac{l_a + l_{pa}}{2} \cdot \frac{l_{px}}{S} \\ &= 1 + \frac{(1425 + 7797)}{0,377 \cdot 10^6} \cdot \frac{41,6 + 40,5}{2} \cdot \frac{14}{6} = 3,34. \end{aligned}$$

le coefficient de dispersion est compris entre $2 \leq \sigma_x \leq 5$.

5. Induction magnétique du pôle auxiliaire :

$$B_{px} = B_{dx} \cdot \sigma_x \cdot \frac{l_a + 3\delta_x}{l_{mx}} \cdot \frac{l_a}{l_{pa}} ; \quad l_{mx} = l_{pa} - 0,5 \cdot 4,8 = 3,6 \text{ cm}$$

$$B_{px} = 1120 \cdot 3,34 \cdot \frac{3,6 + 3 \cdot 1,5}{3,6} \cdot \frac{41,6}{40,5}$$

$$B_{px} = 8645 \text{ Gs.}$$

6. perméance de l'entrefer (δ'_x) :

$$\chi'_{sx} = \mu_0 \frac{l_{pa} + 3\delta'_x}{\delta'_x} \cdot 0,95$$

$$\chi'_{sx} = (1,256) \frac{6 + 3 \cdot 1}{1} \cdot 0,95 = 10,74.$$

7. F. M. M. dans l'entrefer (δ'_x) :

La f. m. m. dans l'entrefer supérieur est égale à la f. m. m. de l'entrefer en retranchant la f. m. m. dans les boulons.

7.1. la f. m. m. dans les boulons :

$$F_b = \frac{\Phi_b}{l_{pa} \cdot \chi'_{sx}} \quad \text{et le flux dans les boulons est :}$$

$$\Phi_b = 0,5 \cdot m_b \cdot \pi \left(\frac{d_b}{2}\right)^2 \cdot B_b = 0,4 \cdot m_b \cdot d_b^2 \cdot B_b.$$

où $m_b = 3$ nombre de boulons dans le pôle auxiliaire.

$d_b = 2$ cm diamètre du boulon.

$B_b = 2,5$ Tesla. l'induction magnétique du boulon.

$$F_b = \frac{0,4 \cdot m_b \cdot d_b^2 \cdot B_b}{l_{pa} \cdot \chi'_{sx}}$$

et la f. m. m. dans l'entrefer est :

$$F'_{sx} = \frac{1}{\mu_0} \cdot B_{pa} \cdot \delta'_x \cdot \frac{l_{pa}}{l_{pa} + 3\delta'_x} \cdot 105 - \frac{0,4 \cdot m_b \cdot d_b^2 \cdot B_b}{l_{pa} \cdot \chi'_{sx}}$$

$$F'_{sx} = 0,8 \cdot 8645 \cdot 1 \cdot \frac{6}{6+3} \cdot 105 - \frac{0,4 \cdot 3 \cdot 2^2 \cdot 25000}{40,5 \cdot 10,74}$$

$$F'_{sx} = 4611 \text{ A.T.}$$

8. F. M. M. TOTALE :

$$F_{AT} = F_{sx} + F'_{sx} + F_{ei} = 1425 + 4611 + 7797 = 13833 \text{ A.T}$$

9. calcul du coefficient de compensation par l'enroulement de commutation :

$$K_{cc} = \frac{F_{PT}}{F_{ei}} = \frac{13833}{7797} = 1,77$$

G: ENROULEMENT DE COMMUTATION :

1. Nombre de spires :

$$\omega_{px} = \frac{F_{PT}}{I_a} = \frac{13833}{806,5} = 17,15$$

$$\omega_{px} = 17 \text{ spires}$$

2. Choix des conducteurs: la densité de courant dans les conducteurs de l'enroulement des pôles auxiliaires doit être comprise entre les valeurs $J_z = (4 \div 7) \text{ A/mm}^2$.

et on a $S_{z2} = \frac{I_a}{J_z} = \frac{806,5}{(4 \div 7)} = (115,2 \div 201,6) \text{ mm}^2$.

- Les sections des fils sont normalisées d'après le tableau (3)

$S_{z2} = 74 / 16,8 \text{ mm}^2$.

3. Hauteur de l'enroulement de commutation: [mm]

- hauteur du cuivre 74×17 ----- 125,8
- isolation des spires avec une plaque d'amiante d'épaisseur (0,6)
 $0,6 \times 16$ ----- 9,6
- une couche d'isolation avec bande de mica d'épaisseur (0,13) avec 5 couches à demi recouvrement $0,13 \times 5 \times 2 \times 2$ ----- 2,6
- isolation de protection par bande de verre (0,2) avec une couche à demi recouvrement $0,2 \times 2 \times 2$ ----- 0,8

$h_{ax} = 138,8 \text{ mm}$

4. Largeur [mm]

- largeur du cuivre ----- 16,8
- une couche d'isolation avec bande de mica d'épaisseur (0,13) avec 5 couches à demi recouvrement $0,13 \times 2 \times 2 \times 5$ ----- 2,6
- isolation de protection par bande de verre (0,2) avec une couche à demi recouvrement $0,2 \times 2 \times 2$ ----- 0,8

$b_{ax} = 20,3 \text{ mm}$

II - Moteur Compensé

Pour le moteur compensé, on garde les mêmes dimensions du collecteur et des balais que celles du moteur ordinaire "non compensé"

A. Calcul des perméances :

Le calcul des perméances se fait de la même manière que dans le moteur ordinaire

1. Perméance des isolations d'encoches d'induit :

elle est la même que celle du moteur ordinaire, car elle ne dépend que des dimensions des encoches.

$$\lambda_1^c = \mu_0 \cdot K_{ov} \cdot \frac{h_1^c}{b_3^c} \quad ; \quad h_1^c = h_1 = 7,31 \text{ mm.}$$

$$b_3^c = b_3 = 11,74 \text{ mm.}$$

$$\lambda_1^c = 1256 \cdot 1 \cdot \frac{7,31}{11,74} = 0,782.$$

2. Perméance du cuivre :

elle dépend juste de la hauteur du cuivre des conducteurs de l'enroulement d'induit.

$$\lambda_2^c = \mu_0 \cdot K_i \cdot \frac{h_2^c}{3b_3^c}$$

La constante K_i qui dépend " γ " se calcule de la même façon que dans le moteur ordinaire, on trouve $K_i = 1$ pour $\gamma = 0,63$ fig (2).

$h_2^c = h_2 = 33,54 \text{ mm.}$: la hauteur totale du cuivre

$b_3^c = b_3 = 10 \text{ mm.}$ largeur d'encoche.

$$\lambda_2^c = 1256 \cdot 1 \cdot \frac{33,54}{3 \cdot 10} = 1,404.$$

3. Perméance des dents d'induit :

$$\lambda_d^c = \mu_0 \frac{b_{pa}^c - b_3^c}{4 K_{pa}^c \delta_x^c}$$

$b_{pa}^c = b_{pa}^c = 36 \text{ mm}$ largeur d'épanouissement polaire.

$b_3^c = b_3 = 10 \text{ mm.}$ largeur d'encoche.

δ_x^c : l'entrefer entre l'induit et le pôle auxiliaire

$$\delta_x^c = (2 \div 3) \delta^c = (2 \div 3) 4,7 = 9,4 \div 14,1 \text{ mm.}$$

On prend $\delta_x^c = 12 \text{ mm.}$

K_{sx}^c : coefficient de l'entrefer

$$K_{sx}^c = \frac{l_1^c + 10 \delta_x^c}{b_{s1}^c + 10 \delta_x^c} = \frac{23,8 + 120}{13,8 + 120} = 1,075$$

$$\lambda_d^c = 1,256 \frac{36 - 10}{4 \cdot 12 \cdot 1,075} = 0,633.$$

3. Perméance des parties frontales :

$$\lambda_{pf}^c = 0,37 \mu_0 \cdot \frac{l_{pf}^c}{l_a} \log \left(1 + \frac{\pi \tau}{4 h_s^c} \right).$$

$$l_{pf}^c = 1,3 \tau = 1,3 \cdot 34,54 = 44,9 \text{ cm. longueur de la partie frontale.}$$

$$\lambda_{pf}^c = 0,37 \cdot 1,256 \cdot \frac{44,9}{4,6} \log \left(1 + \frac{3,14 \cdot 34,54}{4 \cdot 42,2} \right) = 0,437.$$

4. Perméance totale :

$$\begin{aligned} \lambda_T^c &= \lambda_1^c + \lambda_2^c + \lambda_d^c + \lambda_{pf}^c \\ &= 0,782 + 1,404 + 0,633 + 0,437 = 3,256. \end{aligned}$$

B. F.E.M. réactive :

Elle est donnée par la formule

$$\begin{aligned} e_r^c &= \left(\frac{z_h^c}{b_h^c} \right) \cdot 8 \cdot i_a \cdot U_x^c \cdot \omega_c^* \cdot l_a \cdot \lambda_T^c \cdot 10 \\ &= \left(\frac{29,5}{503} \right) \cdot 8 \cdot 134,4 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 41,6 \cdot 3,256 \cdot 10^6 = 2,85 \text{ v.} \end{aligned}$$

1. Induction magnétique dans l'entrefer (δ_x) :

Il s'agit de calculer l'induction magnétique dans l'entrefer entre l'induit et le pôle auxiliaire qui dépend de la f.e.m réactive

$$B_{sx}^c = \frac{e_r^c \cdot 10^6}{2 \cdot \omega_c \cdot l_a \cdot z_h^c} = \frac{2,85 \cdot 10^6}{2 \cdot 1 \cdot 41,6 \cdot 29,5} = 1161 \text{ G.}$$

2. F.M.M. dans l'entrefer sous le pôle auxiliaire :

$$F_{sx}^c = \frac{1}{\mu_0} \cdot B_{sx}^c \cdot \delta_x^c \cdot K_{sx}^c \cong 0,8 \cdot 1161 \cdot 12 \cdot 1,075 = 1198 \text{ A.T}$$

$$\delta_x^c = 12 \text{ mm.}$$

$$K_{sx}^c = 1,075.$$

3- hauteur du pôle auxiliaire :

On prend l'entrefer supérieur entre le pôle auxiliaire et la culasse un peu inférieur à l'entrefer principal, en le remplissant avec des cales en matériaux non magnétique

$$\delta_x^c = 9 \text{ mm.}$$

4- Perméance entre le pôle auxiliaire et le pôle principal :

$$\lambda_{sx}^c = 0,8 \mu_0 \frac{l_{px}^c}{g^c}$$

l_{px}^c : hauteur du pôle auxiliaire du moteur compensé.

$$l_{px}^c = (D_{s2}^c - h_c - \delta_x^c - \delta_x^c - D_{a2}^c) \\ = (108 \frac{1}{2} - 70 - 12 - 9 - 66 \frac{1}{2}) = 124 \text{ mm.}$$

$$\lambda_{sx}^c = 0,8 \cdot 1256 \cdot \frac{124}{4,5} = 2,77.$$

5- FLUX DE DISPERSION :

$$\Phi_{sx}^c = (F_{si}^c + F_{ai}^c - F_{co}) \frac{l_a + l_{pa}^c}{2} \cdot \lambda_{sx}^c$$

$$F_{ai}^c = \frac{I_a}{2} \cdot A^c = 7797 \text{ A.T}$$

$$F_{co} = \frac{I_a}{a_0} \cdot \omega_c = 806,5 \times 6 = 4839 \text{ A.T}$$

la f.m.m. créée par l'enroulement de compensation

$$\Phi_{sx}^c = (1198 + 7797 - 4839) \frac{4,6 + 40,5}{2} \cdot 2,77$$

$$\Phi_{sx}^c = 0,473 \cdot 10^6 \text{ Mx}$$

6- Flux d'entrefer :

le flux d'entrefer est donné par :

$$\Phi_{sx}^c = B_{sx}^c \cdot l_s^c (l_{pa}^c + 3 \delta_x^c) = 1161 \cdot 416 (3,6 + 3 \cdot 1,2) = 0,348 \cdot 10^6 \text{ Mx.}$$

7- Coefficient de dispersion :

Il peut être compris entre les valeurs $2 \leq \sigma_x^c \leq 3,5$

$$\sigma_x^c = 1 + \frac{\Phi_{sx}^c}{\Phi_{sx}^c} = 1 + \frac{0,473 \cdot 10^6}{0,348 \cdot 10^6} = 2,36$$

8- Induction magnétique du pôle auxiliaire :

$$B_{px}^c = B_{sx}^c \cdot \sigma_x^c \frac{l_{pa}^c + 3 \delta_x^c}{l_{px}^c} \cdot \frac{l_a}{l_{pa}^c} = 1161 \cdot 2,36 \frac{3,6 + 3 \cdot 1,2}{3,6} \cdot \frac{416}{405} = 56296 \text{ T}$$

10. Perméance de l'entrefer (δ_x^c):

$$\chi_{sx}^c = \mu_0 \frac{l_{pa}^c + 3\delta_x^c}{\delta_x^c} \cdot 0,95$$

$l_{pa}^c = 5$ cm. la largeur du pôle auxiliaire

$$\chi_{sx}^c = 1,256 \frac{5 + 3 \cdot 0,9}{0,9} \cdot 0,95 = 10,2$$

11. F.M.M. dans les boulons:

le flux dans les boulons:

$$\Phi_b^c = 0,5 \text{ m}_b \cdot \pi \left(\frac{d_b}{2}\right)^2 \cdot B_b^c$$

$B_b^c = 2,5$ Tesla l'induction magnétique dans les boulons.

Et la f.m.m. dans les boulons est:

$$F_b^c = \frac{\Phi_b^c}{l_{pa}^c \cdot \chi_{sx}^c} = \frac{0,4 \cdot m_b \cdot d_b^2 \cdot B_b^c}{l_{pa}^c \cdot \chi_{sx}^c} = \frac{0,4 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 25000}{405 \cdot 10,2} = 290 \text{ A.T.}$$

12. F.M.M. dans l'entrefer (δ_x^c):

$$F_{sx}^c = \frac{1}{\mu_0} \cdot B_{pa}^c \cdot \delta_x^c \cdot \frac{l_{pa}^c}{l_{pa}^c + 3 \cdot 0,9} \cdot 1,05 - F_b^c$$

$$F_{sx}^c = 0,8 \cdot 5629 \cdot 0,9 \frac{5}{5 + 3 \cdot 0,9} \cdot 1,05 - 290 = 2473 \text{ A.T.}$$

13. F.M.M. totale :

Cette f.m.m. totale dans le circuit magnétique, doit être créée par l'enroulement de commutation

$$F_{PT}^0 = F_{sx}^c + F_{sx}^c + (F_{ei}^c - F_{eo}^c) \\ = 1198 + 2473 + 7797 - 4839 = 6629 \text{ A.T.}$$

D: ENROULEMENT:

1. Nombre de spires :

$$\omega_{px}^c = \frac{F_{PT}^c}{I_a} = \frac{6629}{806,5} = 8,2 \quad \text{on prend}$$

$$\omega_{px}^c = 8 \text{ spires}$$

2. Coefficient de compensation de la réaction d'induit :

$$k_c^c = \frac{F_p^c + F_{eo}^c}{F_{ei}^c} = \frac{806,5(8+6)}{7797} = 1,45$$

3. Choix des conducteurs : La densité de courant dans les conducteurs de l'enroulement de commutation est limitée par $4 \leq J_x^c \leq 7 \text{ A/mm}^2$
 Les conducteurs normalisés d'après le tableau (3) qui correspondent ont pour dimensions $18,5 \times 11,6 \text{ mm}^2$.

4. hauteur de l'enroulement de commutation [mm] :

- hauteur du cuivre $13,5 \times 8$ ----- 108
- isolation des spires avec une plaque d'amiante d'épaisseur (0,6)
 $0,6 \times 7$ ----- 4,2
- une couche d'isolation avec une bande de mica (0,15) avec 5 couches à
 demi recouvrement $0,13 \times 5 \times 2 \times 2$ ----- 2,6
- isolation de protection par bande de verre (0,2) avec une couche
 à $(\frac{1}{2})$ recouvrement $0,2 \times 2 \times 2$ ----- 0,8

$$h_{opx}^c = 118 \text{ mm.}$$

5. largeur de l'enroulement de commutation [mm] :

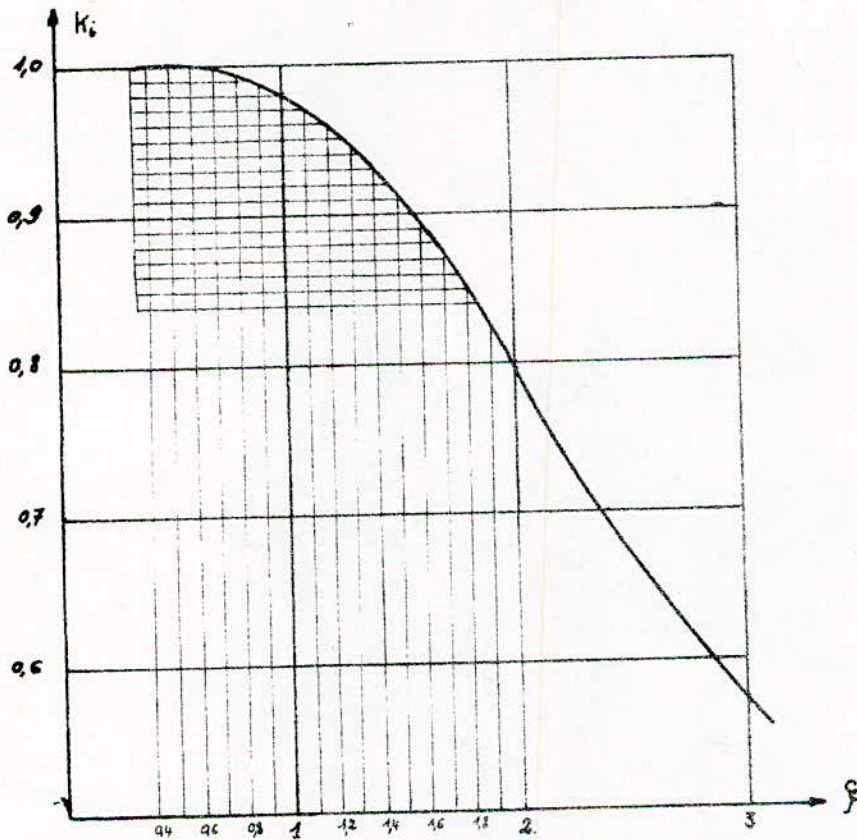
- largeur du cuivre $11,6$ ----- 11,6
- une couche d'isolation avec une bande de mica d'épaisseur
 (0,13) avec 5 couches à demi recouvrement
 $0,13 \times 5 \times 2 \times 2$ ----- 2,6
- isolation de protection par bande de verre (0,2) avec une
 couche à demi recouvrement
 $0,2 \times 2 \times 2$ ----- 0,8

$$b_{ex}^c = 15,5 \text{ mm.}$$

| NATURE | Type | $2\Delta U_b$ (V) | $\frac{I}{S}$ (A/cm ²) | v_c^* (m/s) | P_b (g/cm ²) |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------------|---------------|----------------------------|
| CHARBON GRAPHITE | $T_2 - T_c$ | 2,0 | 6 | 10 | 200-250. |
| BALAIS
GRAPHITIQUES | Γ_1 | 2,2 | 7 | 12 | 200-250 |
| | Γ_2 | 1,9 | 10-11 | 25 | 200-250 |
| | Γ' | 2,0 | 10-12 | 40 | 200-250 |
| BALAIS
ELECTROGRAPHITIQUES | $\exists \Gamma_{2a}$ | 2,6 | 10 | 45 | 200-250 |
| | $\exists \Gamma_4$ | 2,0 | 12 | 40 | 150-200 |
| | $\exists \Gamma_8$ | 2,4 | 10 | 40 | 200-400 |
| | $\exists \Gamma_{14}$ | 2,5 | 10-11 | 40 | 200-400 |
| | $\exists \Gamma_{71}$ | 2,2 | 10-12 | 40 | 200-250 |
| | $\exists \Gamma_{74}$ | 2,7 | 10-15 | 50 | 175-250 |

— { BALAIS } —

TABLEAU (5).



$K_i = f(f)$. Fig (2).

| $\frac{L_0(\text{mm})}{g(\text{mm})}$ | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | $h(\text{mm})$ |
|---------------------------------------|------|----|----|----|----|----|----|----------------|
| 10 | 20 | — | — | 32 | — | — | — | |
| | 25 | 25 | 32 | 40 | 50 | — | — | |
| | 32 | 32 | 40 | 50 | 65 | — | — | |
| 12,5 | — | 25 | 32 | 40 | 40 | — | — | |
| | — | 32 | 40 | 50 | 50 | 50 | 50 | |
| | — | — | — | — | 65 | 65 | 65 | |
| 16 | — | — | 32 | 32 | 40 | — | — | |
| | — | — | 40 | 40 | 50 | 50 | 50 | |
| | — | — | — | 50 | 65 | 65 | 65 | |

DIMENSIONS DES BALAIS

TABLEAU (4)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,90 | 1,00 | 1,08 | 1,16 | 1,25 | 1,35 | 1,45 | 1,56 | 1,68 | 1,81 | 1,95 | 2,10 | 2,26 | 2,44 | 2,63 |
| 2,83 | 3,05 | 3,28 | 3,53 | 3,78 | 4,10 | 4,40 | 4,70 | 5,10 | 5,50 | 5,90 | 6,40 | 6,40 | 6,90 | 7,00 |
| 7,40 | 8,00 | 8,60 | 9,30 | 10,0 | 10,8 | 11,0 | 11,6 | 12,5 | 13,5 | 14,5 | 15,6 | 16,0 | 16,8 | 18,0 |
| 19,5 | 22,0 | 25,0 | 28,0 | 32,0 | 35,0 | 40,0 | 45,0 | 50,0 | 55,0 | 60,0 | 65,0 | 70,0 | 75,0 | 80,0 |

DIMENSIONS DES CONDUCTEURS. [mm]

TABLEAU (3).

V - Calcul des paramètres

- On se propose dans ce chapitre de calculer les résistances des différents enroulements des deux types de moteurs pour une température ambiante (θ_a) une température de travail (110°C) et une température maximale selon la classe de l'isolation.

A: MOTEUR ORDINAIRE:

1 Résistance de l'enroulement d'induit

1.1. Longueur d'un conducteur:

D'après la figure on trouve :

$$l_{ci} = l_a + l_d + l_i + 2a + b + c$$

où

$$l_i = \frac{y_{21}}{2} \cdot t' \cdot \text{tg} \alpha$$

$$l_d = \frac{y_{22}}{2} \cdot t' \cdot \text{tg} \alpha$$

$$t' = \frac{\pi(Da - 2b_2)}{z}$$

$$= 20,8 \text{ mm}$$

$$y_{21} = \frac{Z}{2p} - E_n = 14 \text{ mm point}$$

$$y_{22} = y_{21} - \frac{1}{4n} = 14 - \frac{1}{4} = 13,75 \text{ mm}$$

Et plus l'angle (α) est donné par :

$$\sin \alpha = \frac{b_2 + \delta}{t'} = \frac{17,1 + 0,1}{20,8} = 0,83 \quad \Rightarrow \quad \text{tg} \alpha = 1,48$$

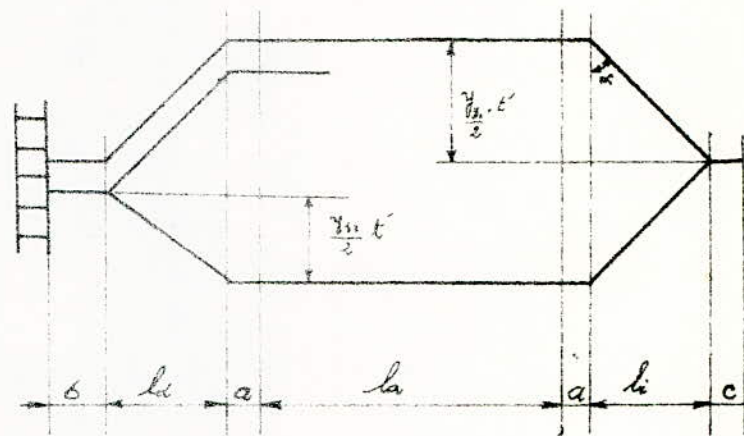
$$- l_i = \frac{14}{2} \cdot 20,8 \cdot 1,48 = 215 \text{ mm}$$

$$- l_d = \frac{13,75}{2} \cdot 20,8 \cdot 1,48 = 211,6 \text{ mm}$$

La longueur (a) dépend de la tension d'alimentation suivant le tableau :

| | | | | | |
|----------|-----|-----|-----|------|------|
| U (V) | 250 | 550 | 750 | 1500 | 3000 |
| a (mm) | 13 | 15 | 19 | 25 | 35 |

on prend $a = 20 \text{ mm}$.



$$b = 8 \div 15 \text{ mm} \quad \text{on prend } b = 10 \text{ mm}$$

$$c = 2 \div 5 \text{ mm} \quad \text{on prend } c = 2,9 \text{ mm.}$$

finalment on a la longueur totale d'un conducteur

$$l_{ei} = 896 \text{ mm.}$$

- La résistance de l'enroulement d'induit pour une température quelconque est donnée par la formule:

$$r_a(\theta) = \rho \frac{l_{ei} \cdot N}{(2a)^2 \cdot S_a} [1 + \alpha \cdot \Delta\theta].$$

$$N = 696. \quad \text{Nombre total des conducteurs.}$$

$$S_a = 23,1 \text{ mm}^2 \quad \text{section du conducteur}$$

$$\rho = \frac{1}{57} \quad \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m.}$$

$$\alpha = 0,04$$

$$\Delta\theta = (\theta - 20).$$

1.2 - à la température (20°C).

$$r_{ei}(20^\circ\text{C}) = \rho \cdot \frac{l_{ei} \cdot N}{(2a)^2 \cdot S_a} = \frac{1}{57} \cdot \frac{0,896 \cdot 696}{36 \cdot 23,1} = 0,0131 \Omega.$$

1.3 - à la température (110°C)

$$r_{ei}(110^\circ\text{C}) = r_{ei}(20^\circ\text{C}) (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

$$= 0,0131 [1 + 0,04 \cdot (110 - 20)] = 1,36 \cdot 0,0131$$

$$r_{ei}(110^\circ\text{C}) = 0,0178 \Omega.$$

1.4 - à la température (130°C).

On calcule la résistance de l'enroulement d'induit à la température maximale (130°C) parce que on utilise l'isolation de classe B. 130°C

$$r_{ei}(130^\circ\text{C}) = r_{ei}(20^\circ\text{C}) (1 + \alpha \cdot \Delta\theta) = [1 + 0,004(130 - 20)] 0,0131$$

$$r_{ei}(130^\circ\text{C}) = 0,0188 \Omega.$$

2 - Résistance de l'enroulement d'excitation :

2.1: la longueur d'une spire :

Elle est calculée à partir de la formule:

$$l_{ex} = 2 [(l_{pp} + 2a) + (b_{pp} + 10)] + 3\pi \cdot r.$$

$$\text{avec. } r = \frac{b_{ex}}{2} = \frac{70}{2} = 35 \text{ mm}$$

$$l_{ex} = 2 [(405 + 20) + (200 + 10)] + 2 \cdot 3,14 \cdot 35 = 1490 \text{ mm.}$$

- La résistance de l'enroulement d'excitation est donnée par la formule suivante pour une température quelconque :

$$r_{ex}(\theta) = \rho \cdot \frac{l_{ex} \cdot w_{ex}}{S_{ex} \cdot K} \cdot \rho \cdot [1 + \alpha (\theta - 20)]$$

$$w_{ex} = 20 \text{ spires}$$

$$S_{ex} = 259,5 \text{ mm}^2 \text{ section du conducteur de l'enroulement d'excitation}$$

$$K = 0,85 \text{ un coefficient qui tient compte de la taille de la bobine.}$$

2.2 - à la température (20°C) :

$$r_{ex}(20^\circ\text{C}) = \rho \cdot \frac{l_{ex} \cdot w_{ex}}{K \cdot S_{ex}} = \frac{1}{57} \cdot 6 \cdot \frac{1,49 \cdot 20}{259,5 \cdot 0,85}$$

$$r_{ex}(20^\circ\text{C}) = 0,0142 \Omega$$

2.3 - à la température (110°C) :

$$\begin{aligned} r_{ex}(110^\circ\text{C}) &= (1 + \alpha \Delta\theta) r_{ex}(20^\circ\text{C}) \\ &= [1 + 0,004 \cdot (110 - 20)] 0,0142 \end{aligned}$$

$$r_{ex}(110^\circ\text{C}) = 0,0193 \Omega$$

2.4 - à la température (180°C) :

$$\begin{aligned} r_{ex}(180^\circ\text{C}) &= (1 + \alpha \Delta\theta) r_{ex}(20^\circ\text{C}) \\ &= (1 + 0,004(180 - 20)) 0,0142 \end{aligned}$$

$$r_{ex}(180^\circ\text{C}) = 0,0233 \Omega$$

3: Résistance de l'enroulement de commutation :

3.1 - La longueur d'une spire de l'enroulement de commutation est :

$$l_c \approx 2(l_a + 0,15 \pi) = 2(416 + 0,15 \cdot 345,4) = 936 \text{ mm.}$$

$$\text{on prend } l_c = 940 \text{ mm}$$

- La résistance de l'enroulement de commutation pour une température quelconque est donnée par :

$$r_c(\theta) = \rho \frac{l_c \cdot w_{pa}}{S_c} \cdot \rho (1 + \alpha \Delta\theta)$$

3.2 - à la température (20°C) :

$$r_c(20^\circ\text{C}) = \rho \frac{l_c \cdot w_{pa}}{S_c} \cdot \rho$$

$$r_c(20^\circ\text{C}) = 6 \frac{0,94 \cdot 17}{74 \cdot 16,8} \cdot \frac{1}{57} = 0,0135 \Omega.$$

3.3. à la température (110°C):

$$r_c(110^\circ\text{C}) = (1 + \alpha \Delta\theta) \cdot r_c(20^\circ\text{C}) = 1,36 \cdot 0,0135 = 0,0184 \Omega.$$

3.4. à la température (180°C):

L'isolation de l'enroulement de commutation est de classe "H":

$$r_c(180^\circ\text{C}) = 1,64 \cdot r_c(20^\circ\text{C}) = 1,64 \cdot 0,0135 = 0,0221 \Omega.$$

B: Paramètres du moteur - compensé :

1. Résistance de l'enroulement d'induit :

Comme on a le même enroulement d'induit, donc on a la même résistance

$$- r_{cu}(20^\circ\text{C}) = r_{ci}(20^\circ\text{C}) = 0,0131 \Omega.$$

$$- r_{cu}(110^\circ\text{C}) = r_{ci}(110^\circ\text{C}) = 0,0178 \Omega.$$

$$- r_{cu}(180^\circ\text{C}) = r_{ci}(180^\circ\text{C}) = 0,0188 \Omega.$$

2. Résistance de l'enroulement d'excitation :

2.1. Longueur d'une spire :

$$l_{cu}^s = 3 [(l_{pp}^c + 20) + (b_{pp}^c + 10)] + 2\pi r_c \quad \text{avec} \quad r_c = \frac{b_{ex}^c}{2} = \frac{70}{2} = 35 \text{ mm.}$$

$$= 3 [426 + 20 + 200 + 10] + 2 \cdot 3,14 \cdot 35$$

$$l_{cu}^s = 1532 \text{ mm.}$$

2.2. La résistance de l'enroulement d'excitation à (20°C) :

$$r_{ex}^c(20^\circ\text{C}) = 2p \frac{l_{ex}^c \cdot w_{ex}^c}{S_{ex}^c \cdot 0,85} \cdot \rho$$

$$= 6 \cdot \frac{1532 \cdot 12}{4 \times 65 \times 0,85} \cdot \frac{1}{57} = 8,7 \cdot 10^3 \Omega.$$

2.3. à la température (110°C):

$$r_{ex}^c(110^\circ\text{C}) = (1 + \alpha \Delta\theta) r_{ex}^c(20) = 1,36 \cdot 8,7 \cdot 10^3 = 0,0118 \Omega.$$

2.4 - à la température (180°C):

$$r_{ex}^c(180^\circ\text{C}) = (1 + \alpha \Delta\theta) r_{ex}^c(20^\circ\text{C}) = 1,36 \times 8,7 \cdot 10^3 = 9,0243 \Omega.$$

3: Résistance de l'enroulement de commutation :

La résistance de l'enroulement de commutation est définie par:

$$r_c^c(\theta) = 2p \frac{l_c^c \cdot w_{pa}^c}{S_{pa}^c} \cdot \rho (1 + \alpha \Delta\theta); l_c^c = l_c = 940 \text{ mm.}$$

$$w_{pa}^c = 8 \text{ spires}$$

$$S_{pa}^c = 11,6 \times 13,5 \text{ mm}^2.$$

3.1 - à la température (20°C):

$$r_c^c(20^\circ\text{C}) = 2p \frac{l_c \cdot w_{pa}^c}{S_{pa}^c} \cdot \rho = 6 \frac{0,94 \cdot 8}{11,6 \times 13,5} \cdot \frac{1}{57} = 5,05 \cdot 10^{-3} \Omega.$$

3.2 - à la température (110°C):

$$r_c^c(110^\circ\text{C}) = 1,36 \cdot r_c^c(20^\circ\text{C}) = 0,007 \Omega.$$

3.3 - à la température (180°C):

$$r_c^c(180^\circ\text{C}) = 1,64 r_c^c(20^\circ\text{C}) = 1,86 \cdot 0,007 = 0,0125 \Omega.$$

4 - Résistance de l'enroulement de compensation :

4.1 - Longueur d'une spire : Elle est donnée par la formule:

$$l_q^c = 2 [l_{pp}^c + 1,1 \tau] = 2 [426 + 1,1 \cdot 345,4] = 1612 \text{ mm.}$$

4.2 - à la température (20°C):

$$r_{cp}(20^\circ\text{C}) = 2p \frac{l_q^c \cdot w_c}{S_c \cdot a_c^c} \cdot \rho = 6 \frac{1612 \times 6}{153,1 \times 1} \cdot \frac{1}{57} = 6,65 \cdot 10^{-3} \Omega.$$

4.3 - à la température (110°C):

$$r_{cp}(110^\circ\text{C}) = 1,36 \cdot r_{cp}(20^\circ\text{C}) = 1,36 \cdot 6,65 \cdot 10^{-3} = 9,05 \cdot 10^{-3} \Omega.$$

4.4 - à la température (130°C):

$$r_{cp}(130^\circ\text{C}) = 1,44 r_{cp}(20^\circ\text{C}) = 1,44 \cdot 6,65 \cdot 10^{-3} = 9,58 \cdot 10^{-3} \Omega.$$

Calcul du poids

Notre objectif dans ce chapitre est de calculer le poids du cuivre et d'acier utilisé dans le moteur ordinaire « non compensé » et le moteur compensé.

A: Moteur ordinaire :

1. poids du cuivre de l'enroulement d'induit :

$$G_{cu,i} = \gamma_{cu} \cdot l_{wi} \cdot S_a \cdot N \cdot 10^{-6} \quad \gamma_{cu} = 8,9 \text{ g/cm}^3 \text{ densité du cuivre}$$

$$N = 696$$

$$S_a = 23,1 \text{ mm}^2$$

$$l_{wi} = 896 \text{ mm}$$

$$G_{cu,i} = 8,9 \times 896 \times 23,1 \times 696 \cdot 10^{-6}$$

$$G_{cu,i} = 128,2 \text{ Kg}$$

2. poids du cuivre de l'enroulement d'excitation

$$G_{cu,ex} = \gamma_{cu} \cdot l_{ex} \cdot w_{ex} \cdot S_{ex} \cdot 2p \cdot 10^{-6}$$

$$= 8,9 \cdot 1490 \cdot 20 \cdot 259,5 \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 413 \text{ Kg}$$

3. poids du cuivre de l'enroulement du pôle auxiliaire :

$$G_{cu,pa} = \gamma_{cu} \cdot l_c \cdot w_{pa} \cdot S_{pa} \cdot 2p \cdot 10^{-6}$$

$$= 8,9 \cdot 940 \cdot 17 \cdot 74 \cdot 16,8 \cdot 6 \cdot 10^{-6}$$

$$G_{cu,pa} = 106 \text{ Kg}$$

4. poids total du cuivre :

$$G_{cu,T} = G_{cu,i} + G_{cu,ex} + G_{cu,pa}$$

$$= 128 + 413 + 106 = 647 \text{ Kg}$$

$$G_{cu,T} = 647 \text{ Kg}$$

B: POIDS D'ACIER

1. poids d'acier du dos d'induit :

$$G_{aci} = K_v \cdot l_a \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \gamma \cdot \left[(D_a - 2h_f)^2 - D_i^2 - m_a \cdot d_a^2 \right] \cdot 10^{-3}$$

$K_2 = 0,94$ - coefficient de remplissage

$\gamma = 7,85 \text{ kg/cm}^3$ densité d'acier

$D_i = 335 \text{ mm}$. diamètre intérieur d'induit

$m_k = 2 \times 22 = 44$ nombre de canaux de ventilation

$d_k = 30 \text{ mm}$. diamètre des canaux de ventilation

$$G_{ac,i} = 0,94 \cdot 44,6 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot 7,85 \left[(66 - 2 \times 4,22)^2 - 33,5^2 - 44 \cdot 3^2 \right] \cdot 10^{-3}$$
$$= 432,5 \text{ kg.}$$

2 - poids d'acier des dents d'induit :

$$G_{ac,d} = \left\{ \frac{\pi}{4} \left[D_a^2 - (D_a - 2b_3)^2 \right] - L \cdot b_3 \cdot h_3 \right\} l_a \cdot K_2 \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3}$$

$$G_{ac,d} = \left\{ \frac{3,14}{4} \left[66^2 - (66 - 2 \times 4,22)^2 \right] - 87 \cdot 1,422 \right\} 44,6 \cdot 0,94 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3}$$

$$G_{ac,d} = 138,6 \text{ kg.}$$

3 - poids d'acier des pôles principales :

$K_2 = 0,94$ - coefficient de remplissage

3.1 - l'épanouissement polaire :

$$G_{ac,ep} = 2p \cdot K_{ep} \cdot R_{app} \cdot b_{app} \cdot l_{pp} \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3}$$

$$m_k = 2 \times 22 = 6 \cdot 0,95 \cdot 6 \cdot 25 \cdot 40,5 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3}$$

$d_k = 30 \text{ mm}$ diamètre des canaux de ventilation

$$G_{ac,ep} = 272 \text{ kg.}$$

3.2 - Noyau polaire :

$$G_{ac,np} = 2p \cdot K_{np} \cdot l_{np} \cdot b_{np} \cdot l_{pp} \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3}$$

$$= 6 \cdot 0,95 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 40,5 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3}$$

$$G_{ac,np} = 362,5 \text{ kg.}$$

4 - poids d'acier des pôles auxiliaires :

4-1 - Noyau polaire

$$G_{ac,pa} = 2p \cdot K_{pa} \cdot l_{pa} \cdot l_{pa} \cdot b_{pa} \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3}$$

$$= 6 \cdot 0,95 \cdot 14 \cdot 40,5 \cdot 6 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} = 152,2 \text{ kg.}$$

3.2 - l'épanouissement polaire :

$$G_{ac,ep} = 2p \cdot K_{ep} \cdot R_{app} \cdot b_{app} \cdot l_{pp} \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3}$$

4.2 - épanouissement polaire

$$G_{ac,pa} = 2p \cdot l_{pa} \cdot l_{pa} \cdot K_2 \cdot \delta_{ac} \cdot 10^{-3}$$

$$= 6 \cdot 1 \cdot 3,6 \cdot 40,5 \cdot 0,95 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} = 6,5 \text{ kg.}$$

5 - poids d'acier de la culasse :

$$G_{ac,c} = \pi \left[\frac{D_{ext}^2}{4} - \frac{(D_{ext} - l_{cu})^2}{4} \right] \cdot l_{cu} \cdot \delta_{ac} \cdot 10^{-3}$$

$$= 3,14 \left[\frac{113^2}{4} - \frac{(113 - 7)^2}{4} \right] \cdot 60,25 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3}$$

$$G_{ac,c} = 569 \text{ Kg.}$$

$$G_{ac,T} = 1933 \text{ Kg.}$$

II: Moteur Compensé :

A: poids du cuivre :

1 - poids du cuivre de l'enroulement d'induit :

$$G_{ac,ci}^c = G_{cu,ci} = 128,2 \text{ Kg.}$$

2 - poids du cuivre de l'enroulement d'excitation :

$$G_{ac,ex}^c = 2p \cdot \delta_{cu} \cdot l_{ex} \cdot S_{ex} \cdot \omega_{ex} \cdot 10^{-6}$$

$$= 6 \cdot 8,9 \cdot 153,2 \cdot 259,5 \cdot 12 \cdot 10^{-6}$$

$$G_{ac,ex}^c = 255 \text{ Kg.}$$

3 - poids du cuivre de l'enroulement du pôle auxiliaire :

$$G_{ac,pa}^c = 2p \cdot \delta_{cu} \cdot l_{pa} \cdot \omega_{pa} \cdot S_{pa} \cdot 10^{-6}$$

$$= 6 \cdot 8,9 \cdot 940 \cdot 8 \cdot 11,6 \cdot 13,5 \cdot 10^{-6} = 63 \text{ Kg.}$$

4 - poids du cuivre de l'enroulement de compensation :

$$G_{ac,cc}^c = 2p \cdot \delta_{cu} \cdot l_{cp} \cdot S_c \cdot \omega_c \cdot 10^{-6}$$

$$= 6 \cdot 8,9 \cdot 161,2 \cdot 153,1 \cdot 6 \cdot 10^{-6}$$

$$G_{ac,cc}^c = 79 \text{ Kg.}$$

$$G_{ac,T}^c = 525 \text{ Kg.}$$

B: poids d'acier :

1 - poids d'acier du dos d'induit :

$$G_{ac,i}^c = G_{ac,i} = 432,5 \text{ Kg.}$$

2. poids d'acier des dents d'induit :

$$G_{ac.d}^c = G_{ac.d} = 138,6 \text{ Kg.}$$

3. poids d'acier des pôles principaux :

3.1 - l'épanouissement polaire

$$\begin{aligned} G_{ep}^c &= K_{ep} \cdot z_p \cdot \gamma_{ac} \cdot h_{ep}^c \cdot b_{ep}^c \cdot l_{pp}^c \cdot 10^{-3} \\ &= 0,95 \cdot 6 \cdot 7,85 \cdot 6 \cdot 25 \cdot 42,6 \cdot 10^{-3} \\ &= 286 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

3.2 - encoches :

$$\begin{aligned} G_{ac.e}^c &= z_p \cdot w_c \cdot b_{ep}^c \cdot l_{ep}^c \cdot h_{ep}^c \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3} \\ &= 6 \cdot 6 \cdot 1,35 \cdot 4,45 \cdot 42,6 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} \\ &= 72,3 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

3.3 - Noyau polaire

$$\begin{aligned} G_{ac.np}^c &= K_{np} \cdot z_p \cdot \gamma_{ac} \cdot h_{np}^c \cdot b_{pp}^c \cdot l_{pp}^c \cdot 10^{-3} \\ &= 0,95 \cdot 6 \cdot 7,85 \cdot 8 \cdot 20 \cdot 42,6 \cdot 10^{-3} \\ &= 305 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

3.4 - poids d'acier total des pôles principaux :

$$G_{acp.T}^c = 519 \text{ Kg.}$$

4. poids d'acier des pôles auxiliaires :

4.1 - Noyau polaire :

$$\begin{aligned} G_{ac.pa}^c &= z_p \cdot K_{pa} \cdot h_{npa}^c \cdot l_{pa}^c \cdot b_{pa}^c \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3} \\ &= 6 \cdot 0,95 \cdot 11,4 \cdot 40,5 \cdot 5 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$G_{ac.pa}^c = 103,3 \text{ Kg.}$$

4.2 - épanouissement polaire :

$$\begin{aligned} G_{ac.npa}^c &= z_p \cdot K_{npa} \cdot h_{npa}^c \cdot l_{pa}^c \cdot b_{pa}^c \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3} \\ &= 6 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 49,5 \cdot 3,6 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} \\ &= 6,5 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

5. poids d'acier de la culasse :

$$G_{ac.cul}^c = \frac{\pi}{4} [D_{ext}^2 - (D_{ext} - h_{cu})^2] h_{cu} \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3}$$

$$= \frac{3,14}{4} [109^2 - (109 - 7)^2] 60,13 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3}$$

$$G_{ac.cul}^c = 547,3 \text{ Kg.}$$

6: pois total de l'acier:

$$G_{ac.T}^c = G_{aci}^c + G_{ac.d}^c + G_{ac.p.T}^c + G_{ac.p.a.T}^c + G_{ac.cul}^c$$

$$= 432,5 + 138,6 + (286 - 72,3 + 305) + (103,3 + 6,5) + 547,3$$

$$= 1745 \text{ Kg.}$$

$$G_{ac.T}^c = 1745 \text{ Kg.}$$

- calcul du gain

a. gain en cuivre:

On a réalisé un gain de cuivre de (122 kg) soit de (19%).

b. gain en acier:

pour l'acier on a réalisé un gain de (180 kg) soit (10%).

VI CALCUL DES PERTES ET RENDEMENT

INTRODUCTION:

- La transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique provoque une certaine perte d'énergie qui se transforme en chaleur et qui sera dissipée dans le milieu ambiant
- La valeur de ces pertes varie de quelques pourcents de l'énergie absorbée
- Le calcul des pertes est nécessaire non seulement pour calculer le rendement du moteur mais réaliser le système de refroidissement de telle façon qu'on aura un fonctionnement économique et d'augmenter la durée de vie du moteur, car on risque de détériorer la qualité des isolants par surchauffement.
- Il existe deux genres de pertes; pertes mécaniques et pertes électriques
- Les pertes mécaniques sont dues au frottement des paliers, du glissement et de roulement et pertes par frottement des balais-collecteur, pertes ventilation.
- ** Les pertes électriques se partagent en deux:
 - pertes fer qui sont dues aux pertes hystérésis et Foucault
 - pertes cuivre: qui sont dues par l'effet de Joule dans les enroulements.Les pertes supplémentaires sont estimées

4: Moteur Ordinaire :

A - Pertes Joule :

Les pertes Joule dans le cuivre des différents enroulements, ce sont, calculées pour une température de (110°C) .

1 - pertes joule dans l'enroulement d'induit :

$$P_{cu_i} = r_{ca}(110^{\circ}\text{C}) \cdot I_a^2 = 0,0178 \cdot (806,5)^2 = 11,58 \text{ Kw.}$$

2 - pertes joule dans l'enroulement d'excitation :

$$P_{cu_{ex}} = r_{ca}(110^{\circ}\text{C}) I_a^2 = (0,0193)(806,5)^2 = 12,55 \text{ Kw.}$$

3 - Pertes joule dans l'enroulement auxiliaire :

$$P_{cu_{pa}} = r_{pa}(110^{\circ}\text{C}) \cdot I_a^2 = 0,0184 \cdot (806,5)^2 = 11,97 \text{ Kw.}$$

B: pertes dans le contact balai - collecteur :

- Ces pertes dans le contact balais - collecteur peuvent être déterminées par la formule. $P_{bc} = \Delta U_b \cdot I_a$ avec ΔU_b est la chute de tension par paire de balais qui dépend des types des balais.

$$P_{bc} = \Delta U_b \cdot I_a = 2 \cdot 806,5 = 1,61 \text{ Kw.}$$

C: Pertes supplémentaires :

- Ces pertes apparaissent dans le fer et dans le cuivre. Certaines pertes supplémentaires sont dues à l'ondulation du flux provoqué par l'existence des dents d'autres par les courants de Foucault qui sont créés par le flux transversal.

Les pertes supplémentaires comme suit :

$$- P_s = 1\% \cdot P_u \quad \text{moteur non compensé}$$

$$- P_s = 0,5\% \cdot P_u \quad \text{moteur compensé.}$$

$$P_s = 1\% \cdot P_u = 1\% \cdot 750 = 7,5 \text{ Kw.}$$

D - pertes principales dans le fer :

- Les pertes principales dans le fer sont les pertes par hystérésis et les pertes par courants de Foucault qui peuvent être calculées par les formules :

pertes hysteresis: $P_h = \sigma_h \left(\frac{f}{100}\right) B^2$

pertes par courants de Foucault $P_f = \sigma_f \left(\frac{f}{100}\right)^2 B^2$

Le choix des coefficients σ_h et σ_f se fait d'après le tableau suivant :

| Acier | épaisseur de la tôle [mm] | σ_h | σ_f |
|---------------------------------|---------------------------|------------|------------|
| faiblement et moyennement allié | 1,0 | 4,4 | 22,4 |
| | 0,5 | 4,4 | 5,6 |
| | 0,35 | 4,7 | 3,2 |
| fortement allié | 0,5 | 3,0 | 1,2 |
| | 0,35 | 2,4 | 0,6 |

dans notre cas on a $\sigma_h = 4,4$ et $\sigma_f = 5,6$.

finalement on a les pertes fer totales :

$$P_{fer} = \left[K_1 \sigma_h \left(\frac{f}{100}\right) + K_2 \sigma_f \left(\frac{f}{100}\right)^2 \right] B_m^2 G_{ac}$$

1. pertes fer dans le dos d'induit :

$$P_{fer,i} = \left[K_1 \sigma_h \left(\frac{f}{100}\right) + K_2 \sigma_f \left(\frac{f}{100}\right)^2 \right] B_m^2 G_{ac,i}$$

$$f = 42,65$$

$$K_1 = 2$$

$$K_2 = 2,3$$

Coefficients qui tiennent compte de l'accroissement des pertes lors des cycles d'aimantation tournante, et les pertes dues à la répartition non uniforme de l'induction

$B_m = 1,23$ Tesla: l'induction magnétique dans le dos d'induit

$G_{ac,i} = 432,5$ kg. poids d'acier du dos d'induit

$$P_{fer,i} = \left[2 \cdot 4,4 \left(\frac{42,65}{100}\right) + 2,3 \cdot 5,6 \left(\frac{42,65}{100}\right)^2 \right] (1,23)^2 \cdot 432,5$$

$$P_{fer,i} = 4 \text{ kW.}$$

2. pertes fer dans les dents d'induit :

$$P_{fer,d} = \left[K_1 \sigma_h \left(\frac{f}{100}\right) + K_2 \sigma_f \left(\frac{f}{100}\right)^2 \right] B_d^2 G_{ac,d}$$

$$K_1 = 1,2$$

$$K_2 = 3$$

Coefficients qui tiennent compte de l'accroissement des pertes par la suite de l'écrasement du matériau lors du découpage.

$B_d = 2,133$ Tesla. l'induction magnétique dans les dents.

$$P_{fer,d} = \left[1,2 \cdot 4,4 \left(\frac{42,65}{100}\right) + 3 \cdot 5,6 \left(\frac{42,65}{100}\right)^2 \right] (2,133)^2 \cdot 138,6 = 2,9 \text{ kW.}$$

3. pertes supplémentaires à plein rendement :

$$P'_3 = K_0 [P_{\text{fai}} + P_{\text{fus}}]$$

Le coefficient K_0 est donné en fonction $\left(\frac{I_c}{I_{c_{\text{nom}}}}\right)$

pour un courant nominal on trouve

$$K_0 = 0,3$$

$$P'_3 = 0,3 [4 + 2,9]$$

$$P'_3 = 2,07 \text{ Kw}$$

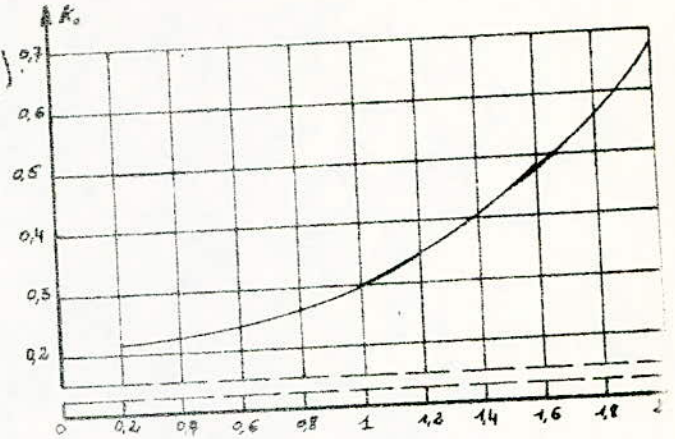


fig (1)

4. Pertes de surface de l'épanouissement polaire :

- pertes spécifique de surface :

$$P_{\text{surf}} = K_0 \left(\frac{\sum N_a}{10.000}\right)^{1,5} \left(\frac{B_0 \cdot t_1}{1000}\right)^2$$

- $K_0 = 1,5$ coefficient de correction

$$- B_0 = \beta_0 \cdot K_f \cdot B_f$$

β_0 : est donné en fonction $\left(\frac{b_2}{b}\right)$.

$$\frac{b_2}{b} = \frac{1}{0,82} = 1,22 \rightarrow \beta_0 = 0,07$$

donc

$$B_0 = 0,07 \cdot 11 \cdot 10000 = 770 \text{ Gs}$$

$$P_{\text{c surf}} = 1,5 \left(\frac{87.853}{10000}\right)^{1,5} \cdot \left(\frac{770 \cdot 23,8}{1000}\right)^2$$

$$= 102 \text{ W/m}^2$$

finalement on a les pertes surfaces.

$$P_{\text{surf}} = 3p \cdot (\alpha_f \cdot z \cdot l_a) \cdot P_{\text{c surf}} \cdot 10^{-4}$$

$$= 6 \cdot 0,67 \cdot 34,54 \cdot 41,6 \cdot 102 \cdot 10^{-4} = 59 \text{ W}$$

E: Pertes mécaniques :

1. pertes mécaniques de frottement balais-collecteur :

$$P_b = 9,81 \cdot P_b \cdot \eta_k \cdot K_f \cdot \sum S_b$$

$k_f = (0,35 \div 0,39)$ - coefficient de frottement

$P_b = [0,35 \div 0,5]$ kgf/cm².

$v_c = 24,11$ cm/s. vitesse du collecteur

$S_b = \text{ep. } N'_b \cdot b_b \cdot L_b = 6 \cdot 3 \cdot 2,5 \cdot 3,5 = 144$ cm².

$P_b = 9,81 \cdot 0,4 \cdot 24,11 \cdot 0,35 \cdot 144 \cdot 10^{-3} = 3,4$ Kw.

2 - pertes mécaniques supplémentaires :

- Ces pertes mécaniques sont dues aux pertes dans les paliers de glissement, pertes dans les paliers de roulement et pertes par ventilation. Ces pertes sont environ (0,2%) de la puissance absorbée.

$$P_{\text{mec sup}} = 0,2\% P_{\text{abs}} = 0,2\% \cdot 1000 \cdot 806,5$$

$$P_{\text{mec sup}} = 1,61 \text{ Kw.}$$

Calcul des pertes totales :

$$\begin{aligned} \Sigma P &= P_{\text{cu i}} + P_{\text{cu ex}} + P_{\text{cu p}} + P_{\text{bc}} + P_s + P_{\text{wi}} + P_{\text{rd}} + P'_s + P_{\text{surf}} + P_b + P_{\text{mec sup}} \\ &= 11,58 + 12,56 + 11,97 + 1,61 + 7,5 + 4 + 2,9 + 2,07 + 0,059 + 3,4 + 1,61 \end{aligned}$$

$$\Sigma P = 59,25 \text{ Kw.}$$

Calcul du rendement :

Le rendement pour un moteur est donné par :

$$\eta = \frac{P}{P_i} = \frac{P_{\text{abs}} - \Sigma P}{P_{\text{abs}}} \quad \text{avec } P_{\text{abs}} = U \cdot I_a = 1000 \cdot 806,5 = 806,5 \text{ Kw}$$

$$\eta = \frac{806,5 - 59,25}{806,5} = \frac{747,25}{806,5} = 0,9265$$

$$\eta = 92,6\%$$

IV : Moteur compensé :

A - Pertes Joule :

1. Pertes Joule dans l'enroulement d'induit :

$$P_{\text{cu i}} = P_{\text{cu i}} = 11,58 \text{ Kw.}$$

2. Pertes Joule dans l'enroulement d'excitation :

$$P_{cuca}^c = \kappa_{cuca}^c (110^\circ\text{C}) \cdot I_a^2 = 0,0118 \cdot (806,5)^2 = 7,67 \text{ Kw}$$

3. Pertes Joule dans l'enroulement de commutation :

$$P_{cupa}^c = \kappa_{cupa}^c (110^\circ\text{C}) \cdot I_a^2 = 0,007 \cdot (806,5)^2 = 4,55 \text{ Kw.}$$

4. Pertes de l'enroulement de compensation :

$$P_{cu.c.c}^c = \kappa_{cu.c.c}^c (110^\circ\text{C}) \cdot I_a^2 = 9,05 \cdot 10^{-3} \cdot (806,5)^2 = 5,9 \text{ Kw.}$$

B: perles dans le contact balai - collecteur :

Comme on a les mêmes balais, donc on a les mêmes pertes.

$$P_{bc}^c = P_{bc} = 1,61 \text{ Kw.}$$

C. Pertes supplémentaires :

- Les pertes supplémentaires dans les moteurs compensés sont de l'ordre de (0,5%) de la puissance utile.

$$P_s^c = 0,5\% \cdot P_u = \frac{0,5}{100} \cdot 750 = 3,75 \text{ Kw}$$

D: Pertes principales dans le fer :

1. perles fer dans le dos d'induit :

$$P_{fui}^c = \left[\kappa_1^c \sigma_h \left(\frac{f}{100}\right) + \kappa_2^c \sigma_f \left(\frac{f}{100}\right)^2 \right] [B_a^c]^2 G_{ac.i}$$

$$\kappa_1^c = 1.$$

$$\sigma_h = 4,4$$

$$B_a^c = 1,249 \text{ Tesla.}$$

$$\kappa_2^c = 2$$

$$\sigma_f = 5,6$$

$$P_{fui}^c = \left[1 \cdot 4,4 \left(\frac{42,65}{100}\right) + 2 \cdot 5,6 \left(\frac{42,65}{100}\right)^2 \right] (1,249)^2 \cdot 432,5.$$

$$P_{fui}^c = 2,6 \text{ Kw.}$$

2. perles fer dans les dents d'induit :

$$\kappa_1 = 1 \quad ; \quad \kappa_2 = 2,5. \quad B_d^c = 2,174 \text{ Tesla}$$

$$P_{fui.d}^c = \left[\kappa_1^c \sigma_h \left(\frac{f}{100}\right) + \kappa_2 \sigma_f \left(\frac{f}{100}\right)^2 \right] (B_d^c)^2 G_{ac.d}$$

$$P_{fa,d}^c = \left[1,44 \left(\frac{42,65}{100} \right) + 2,5 \cdot 5,6 \cdot \left(\frac{42,65}{100} \right)^2 \right] (2,174)^2 \cdot (138,6)$$

$$P_{fa,d}^c = 2,9 \text{ kW.}$$

3- perdes supplémentaires si plein rendement :

$$P_{fa,s}^c = K_a^c [P_{fa,i}^c + P_{fa,d}^c]$$

Le coefficient - K_a^c - est déterminé d'après la figure (1).

pour un courant nominal on trouve $K_a^c = 0,3$.

$$P_{fa,s}^c = 0,3 [2,6 + 2,9] = 1,65 \text{ kW.}$$

4- Perdes de surface de l'épanouissement polaire :

- pertes spécifiques de surface :

$$P_{surf}^c = K_0 \left(\frac{Z \cdot N_a^c}{10000} \right)^{1,5} \cdot \left(\frac{B_0^c \cdot t_c^c}{10000} \right)^2$$

avec $B_0^c = \beta_0^c \cdot K_5^c \cdot B_f^c$

$$K_5 = K_{5a} \cdot K_{5c} = 1386 \quad ; \quad K_0 = 2$$

$$B_f^c = 1 \text{ Tesla.}$$

β_0^c est donné en fonction $\left(\frac{b_2^c}{s_c^c} \right)$; $\frac{b_2^c}{s_c^c} = \frac{1}{0,47} = 2,13 \Rightarrow \beta_0^c = 0,14$ - fig (2)

$$B_0^c = 0,14 \cdot 1,386 \cdot 10000 = 1940,4 \text{ Gs.}$$

$$P_{surf}^c = 2 \cdot \left(\frac{87 \cdot 853}{10000} \right)^{1,5} \cdot \left(\frac{1940,4 \cdot 2,38}{10000} \right)^2$$

$$P_{surf}^c = 862 \text{ W/m}^2$$

et :

$$P_{surf}^c = 2p \cdot (\alpha_s \cdot C \cdot l_a) \cdot P_{surf}^c \cdot 10^{-4}$$

$$P_{surf}^c = 6 \cdot 0,67 \cdot 34,54 \cdot 41,6 \cdot 862 \cdot 10^{-4} = 498 \text{ W.}$$

E: Perdes mécaniques :

1- perdes mécaniques de frottement balais-collecteur :

$$P_0^c = 9,81 \cdot P_0 \cdot \eta \cdot k_f \cdot \Sigma S_b$$

On a $P_0^c = P_0 = 3,4 \text{ Kw}$; Car on a les mêmes balais -

2. pertes mécaniques supplémentaires : Qui sont dues aux frotts dans les paliers de glissement, frotts dans les paliers de roulement, et frotts par ventilation.

$$P_{\text{mech sup}}^c = (0,2\%) P_{\text{obs}} = 0,2\% \cdot U \cdot I_n = 0,2\% \cdot 1000 \cdot 806,5$$

$$P_{\text{mech sup}}^c = 1,61 \text{ Kw}$$

Calcul des pertes totales :

$$\begin{aligned} \Sigma P^c &= P_{\text{cu}}^c + P_{\text{cu,cc}}^c + P_{\text{cu,pe}}^c + P_{\text{cu,comp}}^c + P_{\text{bc}}^c + P_s^c + P_{\text{frot}}^c + P_{\text{frot}}^c + P_{\text{frot}}^c + P_{\text{vent}}^c + P_0^c + P_{\text{mech sup}}^c \\ &= 11,58 + 7,67 + 4,55 + 5,9 + 1,61 + 3,75 + 2,6 + 2,9 + 1,65 + 0,5 + 3,4 + 1,61 \end{aligned}$$

$$\Sigma P^c = 47,7 \text{ Kw}$$

Calcul du rendement :

$$\eta^c = \frac{P_u^c}{P_{\text{obs}}^c} = \frac{P_{\text{obs}}^c - \Sigma P^c}{P_{\text{obs}}^c} = 1 - \frac{\Sigma P^c}{P_{\text{obs}}^c}$$

$$\eta^c = 1 - \frac{47,7}{806,5} = 0,94$$

$\eta^c = 94\%$

VII = CARACTERISTIQUES DU MOTEUR

- Dans ce chapitre on se propose de calculer la chute de forces magnétiques dans les différents tronçons pour différentes valeurs du flux pour avoir quelques caractéristiques magnétiques; Ainsi le calcul de la vitesse, les différentes pertes, le rendement et la force sur chaque jante pour différentes valeurs de courant.

1: CARACTERISTIQUES MAGNETIQUES.

A: MOTEUR ORDINAIRE.

1: Induction magnétique dans l'entrefer.

$$B_r = \frac{\Phi_0 \cdot 10^4}{\alpha_s \cdot \tau \cdot l_r} = \frac{\Phi_0 \cdot 10^4}{0,67 \cdot 0,354 \cdot 0,41} = 1053 \cdot 10^2 \Phi_0 \text{ (Gs)}$$

2: f. m. m. dans l'entrefer.

$$F_r = \frac{1}{\mu_0} \cdot k_r \cdot \delta \cdot B_r = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}} \cdot 11 \cdot 8,2 \cdot 10^3 \cdot 1053 \cdot 10^2 \Phi_0 = 753,4 \cdot 10^3 \Phi_0 \text{ (A)}$$

3: Induction magnétique dans le dos d'induit:

$$B_a = \frac{10^4}{S_a} \cdot \frac{\Phi_0}{2} = \frac{10^4}{0,039} \cdot \frac{\Phi_0}{2} = 1282 \cdot 10^2 \Phi_0 \text{ (Gs)}$$

Remarque: Les intensités du champ magnétique, correspondant aux inductions magnétiques dans l'induit, les dents d'induit, les pôles principaux sont tirés du tableau (1), et celles correspondant aux inductions magnétiques dans la culasse sont tirés du tableau (2).

4: f. m. m. dans le dos d'induit.

$$F_a = l_a \cdot H_a = 14 \cdot H_a \text{ (A)}$$

5: Induction magnétique dans les dents d'induit.

$$B_d = \frac{\Phi_0}{S_d} = \frac{\Phi_0 \cdot 10^4}{0,045} = 2222,2 \cdot 10^2 \Phi_0 \text{ (Gs)}$$

6: f.m.m dans les dents d'induit.

$$F_d = l_d \cdot H_d = 4,22 \cdot H_d \text{ (A)}$$

7: Induction magnétique dans les pôles principaux:

- Calcul du flux dans le pôle principal

$$\Phi_p = \Phi_0 + \Phi_s = \left(\frac{\Phi_0 + \Phi_s}{\Phi_0} \right) \Phi_0 = \sigma \cdot \Phi_0$$

$$B_{pp} = \frac{4}{k_{rp}} \frac{\Phi_{pp}}{S_{pp}} = \frac{4}{k_{rp}} \frac{\sigma \cdot \Phi_0}{S_{pp}} = 155,76 \cdot 10^2 \Phi_0 \text{ (Gs) avec}$$

$$S_p = 0,2 \times 0,405 = 0,081$$

$$k_{rp} = 0,815 \text{ coefficient de remplissage}$$

$$\sigma = 1,15 \text{ coefficient de remplissage}$$

8: f.m.m dans les pôles principaux:

$$F_{pp} = l_p \cdot H_p = 16 \cdot H_p \text{ (A)}$$

9: Induction magnétique dans la culasse:

a) La première partie

$$B_{1c} = \frac{10^4 \sigma \cdot \Phi_0}{2 \cdot S_c} = \frac{125 \cdot 10^4}{2 \cdot 0,0424} \cdot \Phi_0 = 1475 \cdot 10^2 \Phi_0 \text{ (Gs)}$$

b) La deuxième partie:

$$B_{2c} = \frac{\sigma \cdot \Phi_0 \cdot 10^4}{2 \cdot S_c} = \frac{1,25 \cdot 10^4}{2 \cdot 0,042} \Phi_0 = 1488,1 \cdot 10^2 \Phi_0 \text{ (Gs)}$$

10: f.m.m dans la culasse.

$$F_{1c} = l_{1c} \cdot H_{1c} = 10 H_{1c} \text{ (A)}$$

$$F_{2c} = l_{2c} \cdot H_{2c} = 18,4 H_{2c} \text{ (A)}$$

11: Calcul de la f.m.m totale F_0

$$F_0 = \sum F_i = F_a + F_d + F_s + F_p + F_{1c} + F_{2c} \text{ [A.T]}$$

12: calcul du courant:

$$F_y = F_0 + F_{ai}$$

$$F_{ai} = \alpha_s \cdot \frac{\sigma}{2} \cdot A = \alpha_s \cdot \frac{\sigma}{2} \cdot \frac{N \cdot I_a}{\pi \cdot D_c \cdot 2a}$$

De plus on a $F_T = \omega_p \cdot I_a$.

$$\omega_p \cdot I_a = F_0 + \alpha_r \cdot \frac{\Sigma}{2} \cdot \frac{N}{\pi D_a \cdot 2a} \cdot I_a \Rightarrow I_a = 9074 \cdot F_0$$

avec $N = 696$

$$D_a = 0,66 \text{ m}$$

$$\tau = 0,345 \text{ cm}$$

$$\omega_p = 20 \text{ spires}$$

13. Calcul de la f.m.m. totale

$$F_T = \omega_p \cdot I_a = 20 \cdot I_a \quad (A)$$

14. Calcul de la réaction d'induit :

$$F_{ri} = \alpha_r \cdot \frac{\Sigma}{2} \cdot A = \alpha_r \cdot \frac{\Sigma}{2} \cdot \frac{N}{\pi D_a \cdot 2a} \cdot I_a = 5,477 \cdot I_a \quad (A)$$

B: MOTEUR COMPENSE.

1: Induction magnétique dans l'entrefer :

$$B_r^c = \frac{10^4 \cdot \Phi_0^c}{N_a \cdot \alpha_r \cdot \tau \cdot l_r^c} = \frac{10^4}{9,67 \cdot 0,345 \cdot 0,422} \cdot \Phi_0^c = 1026,4 \cdot 10^2 \Phi_0^c \quad (Gs)$$

2: F.M.M. dans l'entrefer :

$$F_r^c = \frac{1}{\mu_0} \cdot K_r^c \cdot \delta^c \cdot B_r^c = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}} \cdot 6,56 \cdot 10^3 \cdot 1026,4 \cdot 10^2 \Phi_0^c = 536,1 \cdot 10^2 \Phi_0^c$$

3: Induction magnétique dans le dos d'induit :

$$B_a^c = 1282,2 \cdot 10^2 \Phi_0^c \quad (Gs)$$

4: F.M.M. dans l'entrefer :

$$F_a^c = l_a \cdot H_a^c = 14 \cdot H_a \quad (A)$$

5: Induction magnétique dans les dents d'induit :

$$B_d^c = \frac{\Phi_0^c}{S_d} = \frac{10^4}{0,0448} \cdot \Phi_0^c = 2232 \cdot 10^2 \Phi_0^c \quad (Gs)$$

6: f.m.m. dans les dents d'induit :

$$F_d^c = l_d^c \cdot H_d^c = 4,22 \cdot H_d^c \quad (A)$$

7: Induction magnétique dans les dents des pôles :

$$B_c^c = \frac{\sigma^c \Phi_0^c \cdot 10^4}{l_p^c \cdot h_{3c}^c \cdot 0,94} = \frac{10^4 \cdot 1,05 \Phi_0^c}{0,426 \cdot 0,15 \cdot 0,94} = 1748,10 \Phi_0^c \text{ (Gs)}$$

8: f.m.m. dans les dents des pôles:

$$F_c^c = h_{3c}^c \cdot H_c^c = 4,45 \cdot H_c^c \text{ (A)}$$

9: Induction magnétique dans le pôle:

$$B_{np}^c = \frac{\sigma^c \Phi_0^c \cdot 10^4}{S_{np}^c} = \frac{1,35 \cdot 10^4 \cdot \Phi_0^c}{0,078} = 1602,6 \cdot 10^2 \Phi_0^c \text{ (Gs)}$$

10: f.m.m. dans le pôle:

$$F_{np}^c = h_{np}^c \cdot H_{np}^c = 8 \cdot H_{np}^c \text{ (A)}$$

11: Induction magnétique de la culasse:

a) La première partie:

$$B^c = \frac{\sigma^c \Phi_0^c \cdot 10^4}{2 \cdot S_c^c} = \frac{1,25 \Phi_0^c \cdot 10^4}{2 \cdot 0,07 \cdot 0,625} = 1426,3 \Phi_0^c \cdot 10^2 \text{ (Gs)}$$

b) La deuxième partie:

$$B_2^c = \frac{\sigma^c \Phi_0^c}{2 \cdot S_{2c}^c} = \frac{1,25}{2 \cdot 0,07 \cdot 0,6} \Phi_0^c = 1488 \Phi_0^c \cdot 10^2 \text{ (Gs)}$$

12: f.m.m. dans la culasse:

$$F_{1c}^c = l_{1c}^c \cdot H_{1c}^c = 10 \cdot H_{1c}^c \text{ (A)}$$

$$F_{2c}^c = l_{2c}^c \cdot H_{2c}^c = 15 \cdot H_{2c}^c \text{ (A)}$$

13: Calcul de la réaction induit.

$$\begin{aligned} F_{ai}^c &= F_{2i}^c - F_{1i}^c = \alpha_s \cdot \frac{Z}{2} A - \omega_c \cdot I_a \\ &= \alpha_s \cdot \frac{Z}{2} \cdot \frac{N}{\pi D_a \cdot 2a} I_a - \omega_c I_a = \left(0,67 \cdot \frac{34,54}{2} \cdot \frac{696}{314 \cdot 66 \cdot 6} - 6 \right) I_a \end{aligned}$$

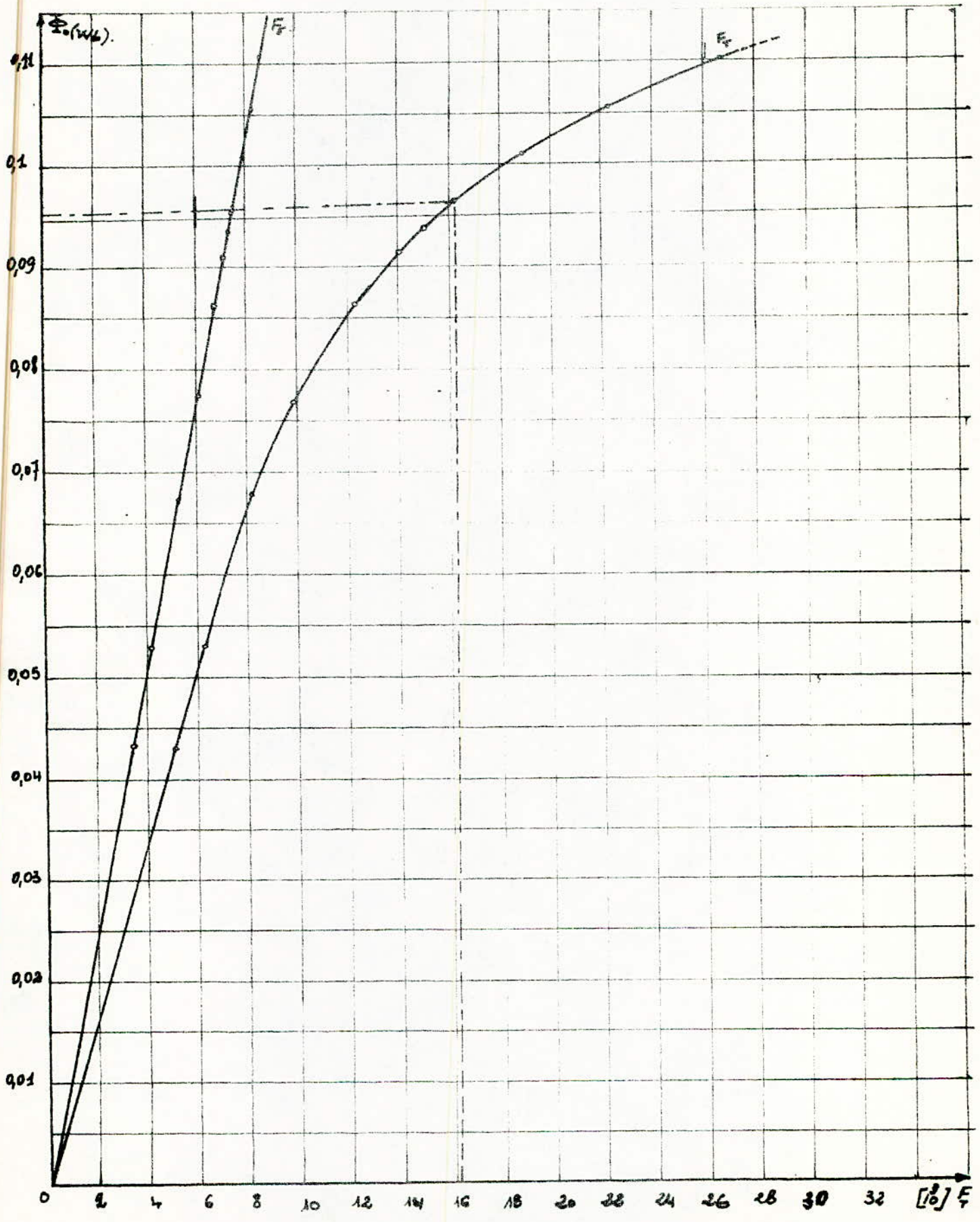
$$F_{ai}^c = 0,47 I_a \text{ (A)}$$

- Caractéristiques magnétiques pour un moteur ordinaire -

| Φ | 45% | 55% | 70% | 80% | 90% | 95% | 97,5% | 100% | 105% | 107,5% | 110% | 115% |
|-------------------------|------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 10^3 wb | 4,32 | 5,88 | 6,72 | 7,68 | 8,64 | 9,12 | 9,36 | 9,6 | 10,08 | 10,32 | 10,56 | 11,04 |
| $B_F \text{ (Gs)}$ | 4550 | 5562 | 7078 | 8085 | 9100 | 9606 | 9859 | 10112 | 10617 | 10870 | 11123 | 11628 |
| $F_F \text{ (A)}$ | 3255 | 3978 | 5063 | 5786 | 6509 | 6871 | 7052 | 7233 | 7594 | 7750 | 7956 | 8318 |
| $B_n \text{ (Gs)}$ | 5538 | 6769 | 8615 | 9846 | 11076 | 11692 | 12000 | 12307 | 12925 | 13230 | 13538 | 14153 |
| $H_n \text{ (A/cm)}$ | 3 | 3,27 | 4,32 | 5,55 | 7,35 | 8,48 | 9,3 | 10,1 | 12,42 | 13,9 | 15,27 | 19,4 |
| $F_n \text{ (A)}$ | 42 | 46 | 60 | 78 | 103 | 119 | 130 | 141 | 174 | 195 | 214 | 272 |
| $B_d \text{ (Gs)}$ | 9600 | 11733 | 14933 | 17067 | 19200 | 20266 | 20800 | 21333 | 22400 | 22933 | 23466 | 24533 |
| $H_d \text{ (A/cm)}$ | 5,3 | 8,57 | 28 | 85,35 | 246 | 381 | 476 | 584 | 831 | 983,3 | 1101,5 | 1463,2 |
| $F_d \text{ (A)}$ | 22 | 36 | 118 | 364 | 1038 | 1608 | 2009 | 2464 | 3507 | 4065 | 4648 | 6196 |
| $B_P \text{ (Gs)}$ | 6703 | 8192,5 | 10426 | 11916 | 13406 | 14151 | 14523 | 14895 | 15640 | 16012 | 16385 | 17130 |
| $H_P \text{ (A/cm)}$ | 3,2 | 4,1 | 6,23 | 9,1 | 14,6 | 19,4 | 23,38 | 28 | 38 | 47,36 | 59,4 | 89,5 |
| $F_P \text{ (A)}$ | 51 | 66 | 100 | 146 | 234 | 310 | 358 | 448 | 608 | 758 | 944 | 1432 |
| $B_{1c} \text{ (Gs)}$ | 6376 | 7792 | 9917 | 11334 | 12751 | 13459 | 13813 | 14160 | 14876 | 15230 | 15584 | 16293 |
| $H_{1c} \text{ (A/cm)}$ | 2,3 | 3 | 5,52 | 8,5 | 13,2 | 16,7 | 18,9 | 21,44 | 28,7 | 33,64 | 40,68 | 53,79 |
| $F_{1c} \text{ (A)}$ | 23 | 30 | 55 | 85 | 132 | 167 | 189 | 214 | 287 | 336 | 407 | 588 |
| $B_{2c} \text{ (Gs)}$ | 6429 | 7857 | 9000 | 11429 | 12858 | 13561 | 13928 | 14386 | 15000 | 15375 | 15714 | 16428 |
| $H_{2c} \text{ (A/cm)}$ | 2,33 | 3,1 | 5,6 | 8,8 | 13,6 | 17,43 | 19,6 | 22,4 | 30,5 | 36,62 | 43,85 | 63,58 |
| $F_{2c} \text{ (A)}$ | 43 | 57 | 103 | 162 | 250 | 321 | 361 | 412 | 561 | 674 | 807 | 1170 |
| $F_o \text{ (A)}$ | 3436 | 4213 | 5499 | 6621 | 8266 | 9396 | 10099 | 10912 | 12713 | 13778 | 14976 | 17976 |
| $I \text{ (A)}$ | 254 | 311,5 | 406,6 | 489,6 | 611,25 | 694,8 | 746,8 | 806,9 | 941,4 | 1018,9 | 1107,5 | 1319,3 |
| $F_T \text{ (A)}$ | 5080 | 6230 | 8130 | 9792 | 12225 | 13856 | 14936 | 16138 | 18825 | 20378 | 22149 | 26586 |
| $F_{2c} \text{ (A)}$ | 1644 | 2017 | 2633 | 3171 | 3959 | 4500 | 4837 | 5226 | 6096 | 6600 | 7171 | 8607 |
| $F_{2d} \text{ (A)}$ | 3277 | 4014 | 5181 | 6150 | 7547 | 8479 | 9061 | 9697 | 11101 | 11815 | 12604 | 14514 |

- - caractéristiques magnétiques pour un moteur, compensé -

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|
| I_e (A) | 250 | 300 | 400 | 500 | 600 | 750 | 750 | 806,5 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 |
| F_e (A) | 3000 | 3600 | 4800 | 6000 | 7200 | 8400 | 9000 | 9678 | 10800 | 12000 | 14400 | 16800 |
| F_{ec} (A) | 0,18 | 0,216 | 0,36 | 0,36 | 0,432 | 0,504 | 0,54 | 0,58 | 0,648 | 0,72 | 0,864 | 1 |
| Φ (10 ⁴ Wb) | 4,8 | 5,62 | 0,689 | 0,763 | 0,812 | 0,845 | 0,866 | 0,881 | 0,906 | 0,930 | 0,971 | 1 |
| Φ (10 ⁴ Wb) | 5,305 | 6,215 | 7,618 | 8,435 | 8,98 | 9,40 | 9,58 | 9,74 | 10,025 | 10,29 | 10,735 | 11,060 |
| B_r (Gs) | 5445 | 6379 | 7819 | 8658 | 9217 | 9649 | 9833 | 9997 | 10290 | 10562 | 11019 | 11352 |
| F_r (A) | 2844 | 3331 | 4083 | 4522 | 4814 | 4033 | 5135 | 5221 | 5374 | 5516 | 5758 | 5929 |
| B_o (Gs) | 6801 | 7968 | 9767 | 10814 | 11512 | 12051 | 12282 | 12487 | 12852 | 13192 | 13763 | 14179 |
| H_o (A/cm) | 3,3 | 3,79 | 5,47 | 6,93 | 8,02 | 9,45 | 10,06 | 10,89 | 12,108 | 13,76 | 16,741 | 19,632 |
| F_o (A) | 46 | 56 | 77 | 97 | 112 | 132 | 141 | 152 | 170 | 193 | 234 | 275 |
| B_u (Gs) | 11841 | 13773 | 17005 | 18828 | 20045 | 20982 | 21384 | 21741 | 22377 | 22969 | 23962 | 24687 |
| H_u (A/cm) | 8,87 | 17,44 | 8,29 | 20,75 | 35,63 | 51,14 | 59,5 | 67,5,4 | 82,5,5 | 97,2 | 125,4,8 | 152,8,8 |
| F_u (A) | 37 | 74 | 351 | 876 | 1504 | 2158 | 2511 | 2850 | 3484 | 4102 | 5295 | 6456 |
| B_{s0} (Gs) | 9273 | 10864 | 13317 | 14745 | 15698 | 16432 | 16746 | 17026 | 17524 | 17988 | 18766 | 19334 |
| H_{s0} (A/cm) | 4,9 | 7,03 | 14,27 | 25,68 | 38,96 | 60,96 | 72,84 | 84,3 | 111,44 | 141,16 | 201,94 | 261 |
| F_{s0} (A) | 22 | 31 | 63 | 114 | 173 | 217 | 324 | 375 | 496 | 628 | 899 | 1162 |
| B_{pp} (Gs) | 8502 | 9960 | 12208 | 13518 | 14391 | 15065 | 15353 | 15609 | 16066 | 16491 | 17204 | 17725 |
| H_{pp} (A/cm) | 4,2 | 5,66 | 9,92 | 15,13 | 21,15 | 29,65 | 33,03 | 37,18 | 48,98 | 62,73 | 93 | 123,5 |
| F_{pp} (A) | 34 | 45 | 72 | 121 | 174 | 237 | 264 | 297 | 392 | 502 | 744 | 981 |
| B_c (Gs) | 7566 | 8864 | 10866 | 12031 | 12808 | 13407 | 13664 | 13892 | 14299 | 14676 | 15311 | 15775 |
| H_c (A/cm) | 2,9 | 3,97 | 7,33 | 10,59 | 13,43 | 16,44 | 17,99 | 19,35 | 22,5 | 26,21 | 35,41 | 45,38 |
| F_c (A) | 29 | 40 | 73 | 106 | 134 | 164 | 180 | 194 | 235 | 262 | 354 | 454 |
| B_{oc} (Gs) | 7894 | 9249 | 11336 | 12552 | 13363 | 13988 | 14355 | 14494 | 14918 | 15312 | 15975 | 16468 |
| H_{oc} (A/cm) | 3,1 | 4,45 | 8,60 | 14,4 | 16,178 | 20,02 | 22,14 | 24,25 | 29,27 | 35,43 | 50,38 | 64,16 |
| F_{oc} (A) | 46 | 67 | 129 | 186 | 243 | 300 | 332 | 364 | 439 | 531 | 756 | 962 |
| F_{oi} (A) | 178 | 213 | 285 | 356 | 427 | 498 | 534 | 574 | 640 | 712 | 854 | 996 |
| F_{oi}^c (A) | 2882 | 3405 | 4434 | 5398 | 6308 | 7197 | 7646 | 8071 | 8858 | 9618 | 11053 | 12285 |



- courbes de: $\Phi_0 = f(F_7)$, $\Phi_0 = f(F_4)$ pour un moteur ordinaire

COURBE UNIVERSELLE : $\phi_c = f[\epsilon_c]$

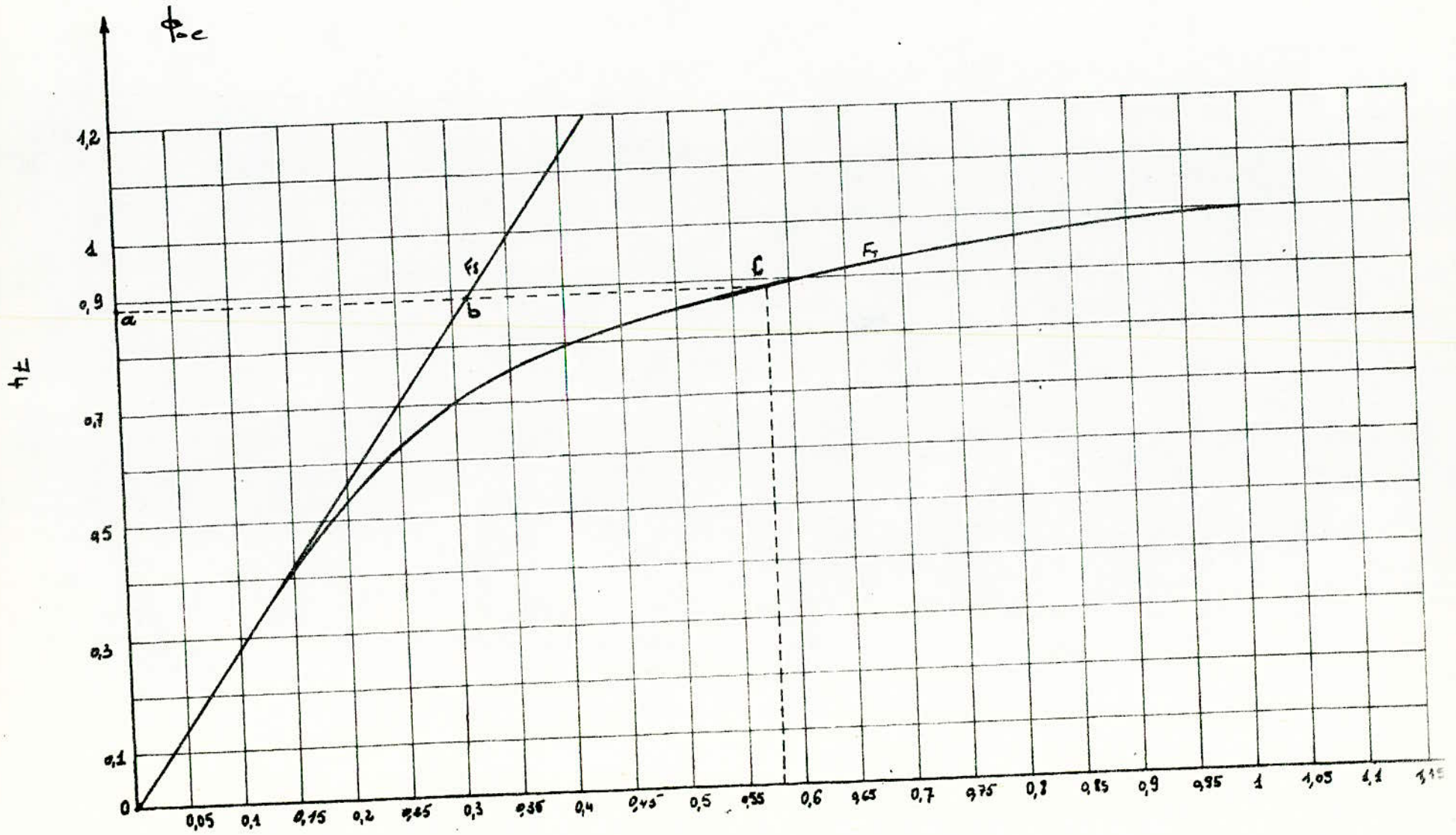
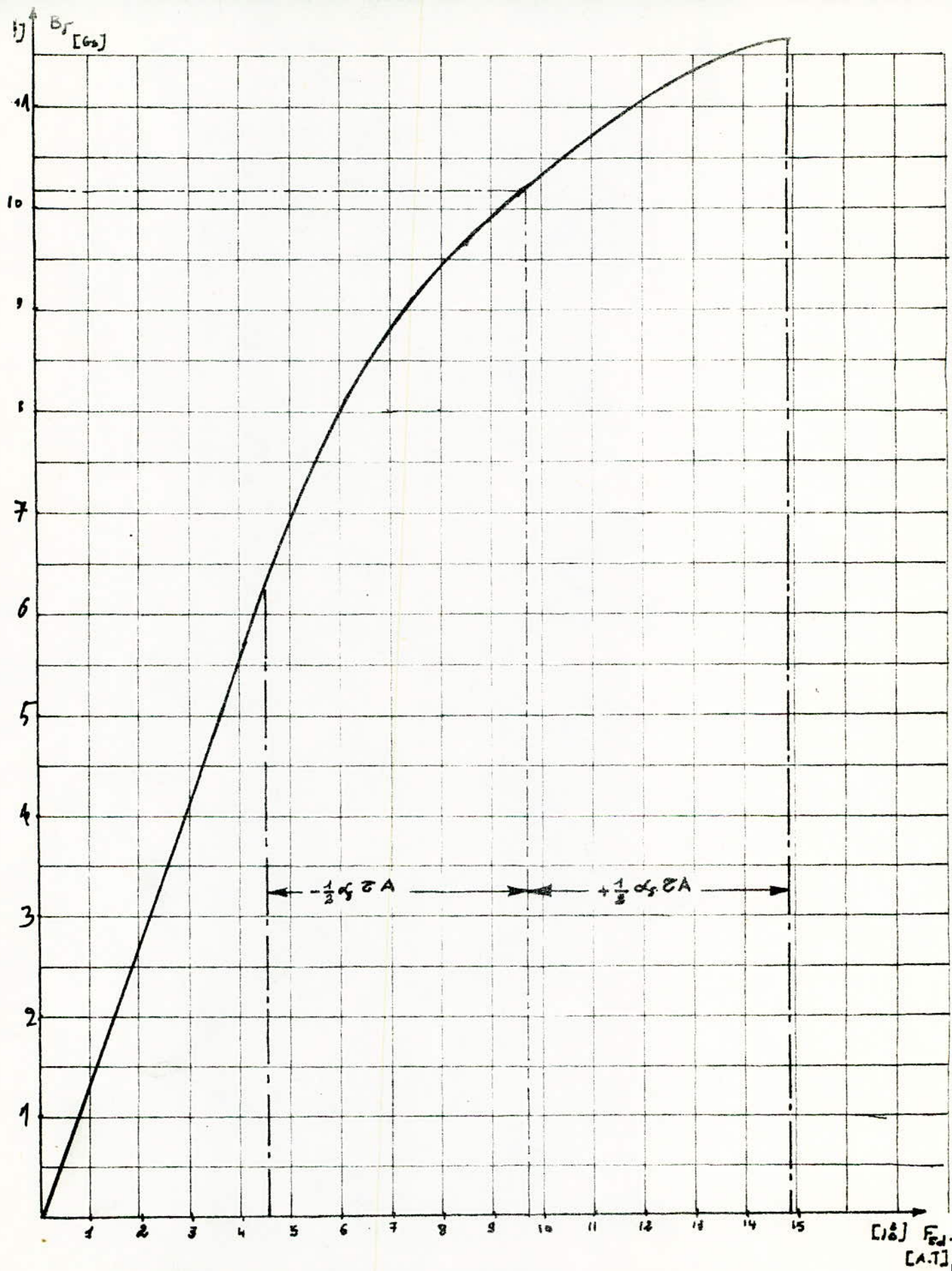
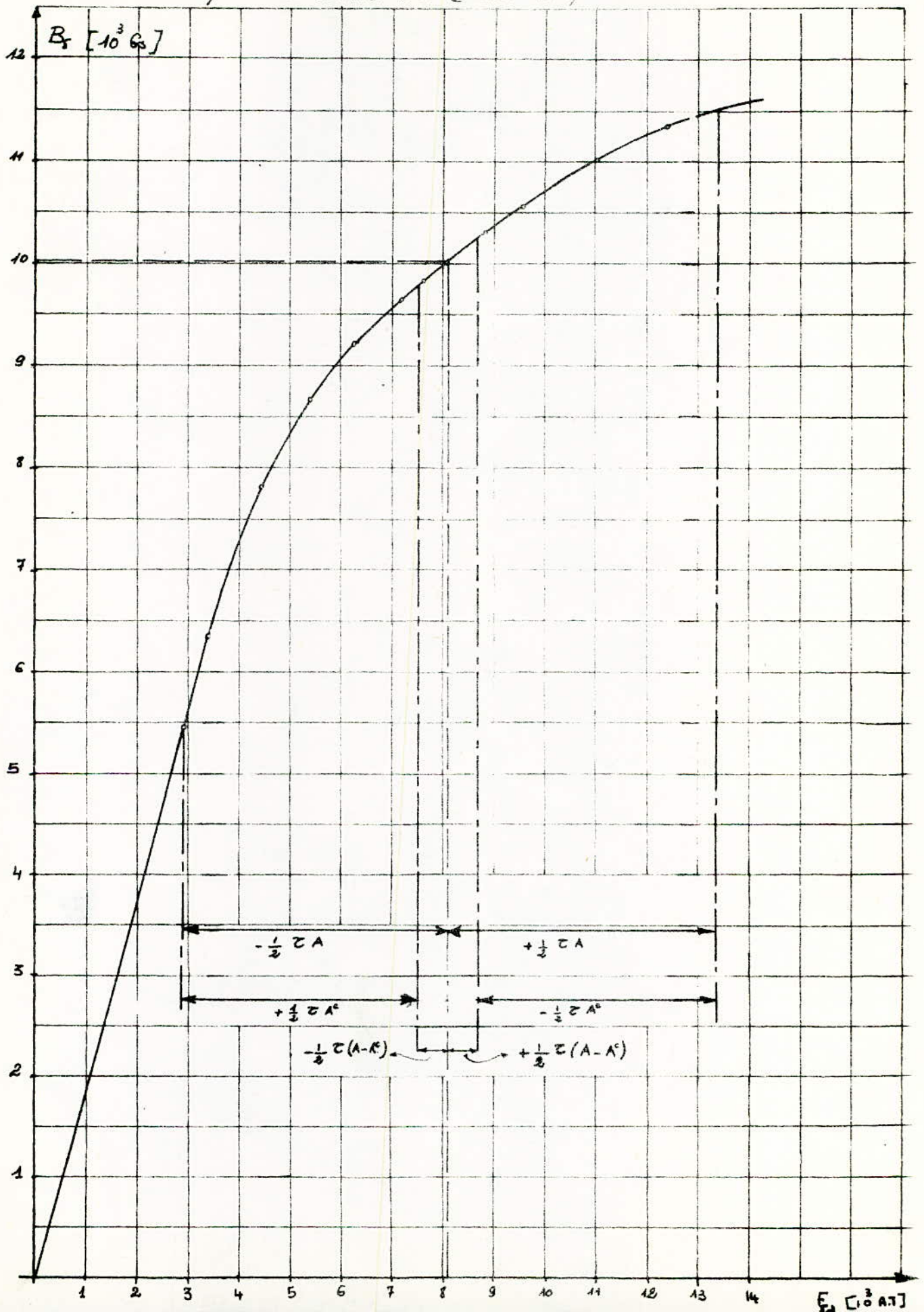


figure ()



-Caractéristique transitoire "MOTEUR ORDINAIRE"

- caractéristique transitoire du rotor compensé



II - CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES :

A: MOTEUR ORDINAIRE :

1: Calcul de la résistance totale du moteur .

$$R_T = R_{ei} + R_{ex} + R_{pa} = 0,0178 + 0,0193 + 0,0184 = 0,0555 \Omega.$$

2: calcul de la chute de tension

$$\Delta U = R_T \cdot I_a + \Delta U_b = 0,0555 I_a + 2 \quad (V)$$

3: calcul de la force contre électromotrice .

$$E = U - \Delta U = 1000 - (0,0555 I_a + 2) \quad (V).$$

4: calcul de la vitesse du moteur .

$$N_a = \frac{(U - \Delta U) 60 \cdot a}{P \cdot N \cdot \Phi_0} = \frac{E \cdot 60 \cdot a}{P \cdot N \cdot \Phi_0} = \frac{60}{696} \cdot \frac{E}{\Phi} \quad [120/\text{min}].$$

5: vitesse de la locomotive .

$$V_c = \frac{3,6}{60} \cdot \pi \cdot D_r \cdot \frac{N_a}{i} = \frac{1}{5,3} \cdot \frac{1}{4,1} \cdot 1,25 \cdot N_a = 0,0575 N_a \quad [km/h]$$

6: Pertes Joule .

$$P_{J_T} = R_T \cdot I_a^2 = 0,0555 \cdot I_a^2 \quad (W).$$

7: Pertes Joule supplémentaires :

$$P_{J_S} = 1\% P_u = 1\% \cdot P_{abs.} \cdot \eta_{mot} = 9,3 \cdot 10^{-3} \cdot U \cdot I_a = 9,3 \cdot 10^{-3} \cdot I_a \quad [W]$$

8: Pertes dans le contact balais - collecteurs .

$$P_{SC} = \Delta U_b \cdot I_a = 2 \cdot I_a \quad [W]$$

9: Pertes principales dans le fer :

a. Sa fréquence : $f = \frac{P \cdot N_a}{60} = \frac{1}{20} N_a$

6. Pertes fer dans le dos d'induit :

$$\begin{aligned}
 P_{f,i} &= [k_1 \sigma_h \left(\frac{f}{100}\right) + k_2 \sigma_j \left(\frac{f}{100}\right)^2] (B_d)^2 \cdot G_{ac,i} \\
 &= 432,5 [2,44 \left(\frac{f}{100}\right) + 2,3 (5,6 \left(\frac{f}{100}\right)^2)] B_d^2 \\
 &= 432,5 [8,8 \left(\frac{f}{100}\right) + 12,88 \left(\frac{f}{100}\right)^2] B_d^2.
 \end{aligned}$$

C. Pertes fer dans les dents d'induit .

$$\begin{aligned}
 P_{f,d} &= [1,2 \cdot 4,4 \left(\frac{f}{100}\right) + 2,3 \cdot 5,6 \left(\frac{f}{100}\right)^2] B_d^2 \cdot G_{ac,d} \\
 &= 138,6 [5,28 \left(\frac{f}{100}\right) + 12,88 \left(\frac{f}{100}\right)^2] B_d^2.
 \end{aligned}$$

10: Pertes si plein rendement :

$$P_s = k_a [P_{f,i} + P_{f,d}]. \quad \text{Les valeurs de } k_a \text{ sont tirées de la fig (2)} \\
 \text{Chapitre VI}$$

11: Pertes mécaniques de frottement balais - collecteurs :

$$\begin{aligned}
 P_b &= 9,81 \cdot \rho \cdot k_f \cdot \sum S_b \cdot v_k \cdot 10^3 = 9,81 \cdot 0,4 \cdot 0,25 \cdot 144 \cdot 10^3 v_k = 0,141 v_k^3 \\
 v_k &= \frac{\pi D_c}{60} \cdot N_a = 0,0282 \cdot N_a \quad (\text{m/s})
 \end{aligned}$$

$$P_b = 3,99 \cdot 10^{-4} \cdot N_a^3 \quad [\text{kW}].$$

12: Pertes mécaniques supplémentaires .

$$\begin{aligned}
 P_{mec, sup} &= \left(\frac{N_a}{N_{a, nom}}\right) P_{mec, sup, nom} \\
 &= \frac{1613}{855,8} \cdot N_a
 \end{aligned}$$

$$P_{mec, sup} = 1,885 \cdot N_a \quad [\text{W}]$$

13: Puissance absorbée .

$$P_{abs} = U \cdot I_a = I_a \quad [\text{kW}].$$

14: Rendement du moteur

$$\eta_{mot} = \frac{P_{abs} - \Delta P}{P_{abs}} = 1 - \frac{\Delta P}{I_a}.$$

15: rendement du système d'engrenages.

- Le rendement du système d'engrenages est donné d'après le tableau suivant en fonction du pourcentage de la puissance du moteur par rapport à la puissance nominale.

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\frac{P_a}{P_{a\text{nom}}}$ % | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 75 | 100 | 125 | 150 | 200 |
| η_{eng} | 0,915 | 0,933 | 0,956 | 0,968 | 0,973 | 0,975 | 0,975 | 0,973 | 0,970 | 0,965 |

16: Force de traction tableau (1).

$$F = 0,367 \frac{U I_a}{V_r} \cdot \eta_{\text{mot}} \cdot \eta_{\text{eng}}$$

17: calcul du degré d'excitation minimum

- Pour augmenter la zone d'exploitation, on réduit le champ d'excitation plus que possible mais cette réduction est limitée car on aura une distorsion du champ qu'on risque d'avoir un contournement sur le collecteur. Sa réduction du courant d'excitation se fait à l'aide d'un shunt inductif, ou de réduire le nombre de spires de l'enroulement d'excitation. Cela nous amène de diminuer l'effort de traction et d'augmenter la vitesse.

$$\beta_{\text{min}} = \frac{q_s \cdot F_{xi} \cdot K_f \cdot \beta_N}{F_T} = \frac{0,67 \cdot 7800 \cdot 0,9}{16130} \approx 0,30$$

Remarque: Sans notre calcul on a pris $\beta_N = 1$. ce qui donne

$$\beta_N = \frac{I_{ex}}{I_a} \Rightarrow I_{ex} = I_a \quad \text{« -champ total »}$$

- calcul de la vitesse de la locomotive et de la force de traction pour différentes valeurs de courant d'excitation.

$$N_{aI}' = N_{aI}(\beta) \quad \text{et} \quad v_{(2)}' = v_{(2)}(\beta) ; \quad F_{\beta} = \frac{F}{v_{\beta}} \cdot v_{\beta}'$$

B. MOTEUR COMPENSE .

1: Résistance totale .

$$R_T^c = R_{ei}^c + R_{ex}^c + R_{pa}^c + R_{ca} = 0,0178 + 0,0178 + 0,007 + 905 \cdot 10^{-3} = 0,0456 \Omega.$$

2: chute de tension

$$\Delta U^c = R_T^c \cdot I_a + \Delta U_b = 0,0456 I_a + 2 \quad (V).$$

3: force -contre électromotrice

$$E^c = U^c - \Delta U^c = 1000 - (0,0456 I_a + 2) \quad [V]$$

4: Critesse de rotation du moteur

$$N_a^c = \frac{E^c \cdot 60 \cdot a}{P \cdot N \cdot \Phi^c} = \frac{60}{696} \cdot \frac{E^c}{\Phi^c} \quad [tr/min].$$

5: critesse de la locomotive

$$V_m^c = \frac{3,6}{60} \pi D_r \cdot \frac{N_a^c}{i} = \frac{1}{5,3} \cdot \frac{1}{4,1} \cdot 125 \cdot N_a^c = 0,575 \cdot N_a^c \quad [km/h].$$

6: Pertes Joule

$$P_{JT}^c = R_T^c \cdot I_a^2 = 0,0456 I_a^2.$$

7: Pertes Joule supplémentaires

$$\dot{P}_{SJT}^c = 0,5\% P_a^c = 0,5\% P_{abs}^c \cdot \eta_{mot}^c = 0,5\% \cdot U \cdot I_a \cdot \eta_{mot} = 0,465 \cdot 10^{-3} I_a \quad (W)$$

8: Pertes dans le contact balais - collecteur

$$P_{bc}^c = \Delta U_b \cdot I_a = 2 \cdot I_a \quad [W]$$

9: Pertes Principales dans le fer

a. Sa fréquence: $f^c = \frac{P \cdot N_a^c}{60} = \frac{1}{20} \cdot N_a^c$

b. Pertes fer dans le dos d'induit

$$\begin{aligned} P_{fi}^c &= \left[K_1^c \sigma_h \left(\frac{f^c}{100} \right) + K_2^c \sigma_f \left(\frac{f^c}{100} \right)^2 \right] B_m^2 \cdot G_{oc} \cdot d \\ &= \left[1,4,4 \left(\frac{f^c}{100} \right) + 2,5,6 \left(\frac{f^c}{100} \right)^2 \right] B_m^2 \cdot 432,5 \\ &= 432,5 \left[4,4 \left(\frac{f^c}{100} \right) + 2,5,6 \left(\frac{f^c}{100} \right)^2 \right] B_m^2. \end{aligned}$$

9: Pertes fer dans les dents d'induit

$$P_{f,d}^c = [1,44 \left(\frac{f^c}{100}\right) + 2,5 \cdot 5,6 \cdot \left(\frac{f^c}{100}\right)^2] B_d^2 \cdot G_{ac,d}$$
$$= 138,6 [4,4 \left(\frac{f^c}{100}\right) + 14 \left(\frac{f^c}{100}\right)^2] B_d^2$$

10: Pertes à plein rendement.

$$P_s^c = K_a^c [P_{f,i}^c + P_{f,d}^c]$$

11: Pertes mécaniques de frottement balais-collecteur.

$$P_b^c = 981 \cdot \rho_b \cdot v_k^c \cdot K_f \cdot \sum S_b = 3,99 \cdot 10^4 N_a^c \text{ [kW]}$$

12: Pertes mécaniques supplémentaires

$$P_{mec, sup}^c = \frac{N_a^c}{N_{a, nom}^c} \cdot P_{mec, sup, nom}^c = \frac{1,613}{850,6} N_a^c = 1,896 \cdot 10^{-3} N_a^c \text{ [kW]}$$

13: Puissance absorbée

$$P_{abs}^c = U \cdot I_a = 1000 I_a = I_a \text{ [kW]}$$

14: Rendement du moteur.

$$\eta_{mot}^c = \frac{P_{abs}^c - \sum P^c}{P_{abs}^c} = 1 - \frac{\sum P^c}{P_{abs}^c}$$

15: rendement du système d'engrenages.

il est mentionné au tableau (1)

16: Force de traction

$$F^c = 0,367 \cdot \frac{U \cdot I}{v_r^c} \cdot \eta_{mot}^c \cdot \eta_{eng}^c = 367 \cdot \frac{I_a^c}{v_r^c} \cdot \eta_{mot}^c \cdot \eta_{eng}^c$$

17: Calcul du degré d'excitation minimal

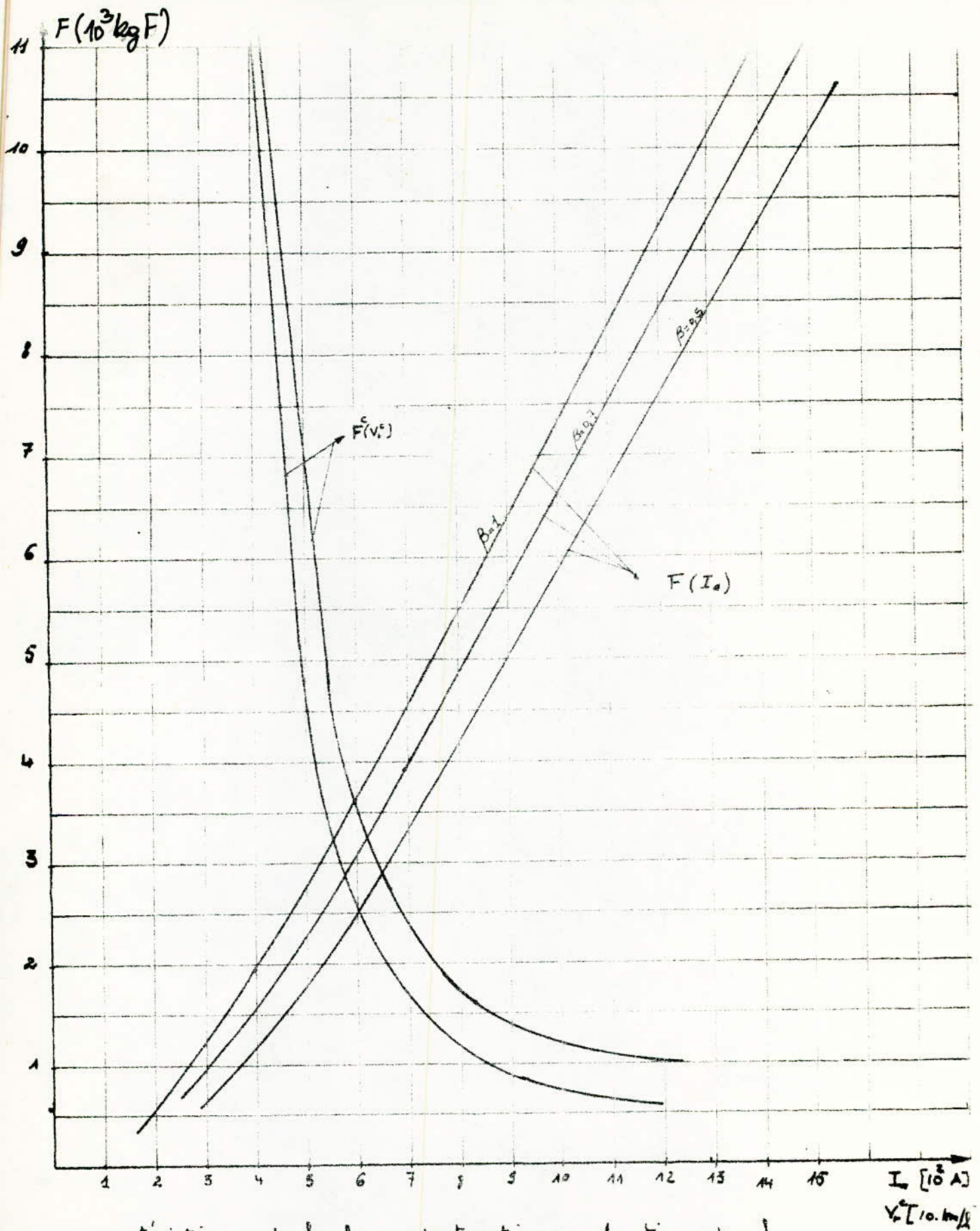
$$B_{min}^c = \frac{\alpha_f \cdot F_{ai} \cdot K_f^c \cdot B_N^c}{F_f^c} = \frac{0,67 \cdot 7800 \cdot 0,6}{9678} = 0,32$$

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| I_a (A) | 254 | 311,5 | 406,6 | 489,6 | 611,25 | 694,8 | 746,8 | 806,9 | 941,4 | 1018,9 | 1107,4 | 1329,3 |
| ΔU (V) | 16,1 | 193 | 24,6 | 29,2 | 35,9 | 40,6 | 43,4 | 46,8 | 54,2 | 58,5 | 63,5 | 75,8 |
| E (V) | 983,9 | 980,7 | 975,4 | 970,8 | 964,1 | 959,4 | 956,6 | 953,2 | 945,8 | 941,5 | 936,5 | 924,2 |
| Φ
(10^{-2} wb) | 4,32 | 5,28 | 6,72 | 7,68 | 8,64 | 9,12 | 9,36 | 9,6 | 10,08 | 10,32 | 10,56 | 11,04 |
| N_a (tr/min) | 1963 | 1601 | 1251 | 1090 | 962 | 907 | 881 | 856 | 809 | 786 | 765 | 722 |
| V_a (km/h) | 113 | 92 | 72 | 62,7 | 55,3 | 52,2 | 50,7 | 49,2 | 46,5 | 45,2 | 44 | 41,5 |
| P_{ST} (kw) | 3581 | 5381 | 9175 | 13,30 | 20,74 | 26,79 | 30,95 | 36,10 | 49,19 | 57,62 | 68,06 | 98,07 |
| P_{Js} (kw) | 2,36 | 2,90 | 3,78 | 4,55 | 5,69 | 6,46 | 6,95 | 7,50 | 8,75 | 9,48 | 10,30 | 12,36 |
| $P_{\Sigma c}$ (w) | 0,51 | 0,62 | 0,81 | 0,98 | 1,22 | 1,39 | 1,49 | 1,61 | 1,88 | 2,04 | 2,14 | 2,66 |
| f | 98,15 | 80,05 | 62,55 | 54,50 | 48,10 | 45,35 | 44,05 | 42,79 | 40,45 | 39,30 | 38,25 | 36,10 |
| P_{f_i} (kw) | 2,79 | 3,03 | 3,38 | 3,61 | 3,82 | 3,93 | 3,97 | 4,01 | 4,09 | 4,13 | 4,24 | 4,21 |
| P_{f_w} (kw) | 2,25 | 2,38 | 2,58 | 2,70 | 2,81 | 2,87 | 2,89 | 2,91 | 2,95 | 2,96 | 2,98 | 2,91 |
| K_a | 0,22 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,23 | 0,26 | 0,28 | 0,30 | 0,34 | 0,36 | 0,40 | 0,50 |
| P'_5 (kw) | 1,11 | 1,19 | 1,37 | 1,51 | 1,66 | 1,77 | 1,92 | 2,08 | 2,39 | 2,55 | 2,89 | 3,56 |
| P_6 (kw) | 7,84 | 6,39 | 4,99 | 4,35 | 3,84 | 3,62 | 3,52 | 3,42 | 3,23 | 3,13 | 3,05 | 2,88 |
| P_{mech} (kw) | 3,7 | 3,02 | 2,36 | 2,06 | 1,81 | 1,71 | 1,66 | 1,61 | 1,52 | 1,48 | 1,44 | 1,36 |
| P_{abs} (kw) | 254 | 311,5 | 406,6 | 489,6 | 611,25 | 694,8 | 746,8 | 806 | 941,4 | 1018,9 | 1107,4 | 1329,3 |
| ΣP (kw) | 84,14 | 24,91 | 28,46 | 33,06 | 41,59 | 48,54 | 53,35 | 59,24 | 74,00 | 83,39 | 95,10 | 128 |
| η_{mot} % | 90,5 | 91,7 | 93 | 93,25 | 93,2 | 93 | 92,86 | 92,65 | 92,14 | 91,8 | 91,4 | 90,4 |
| η_{eng} % | 95,53 | 95,28 | 96,82 | 97,31 | 97,5 | 97,5 | 97,5 | 97,5 | 97,37 | 97,28 | 97,03 | 96,85 |
| F (kg.F) | 686 | 1089 | 1866 | 2600 | 3689 | 4434 | 4900 | 5442 | 6676 | 7403 | 8209 | 10312 |

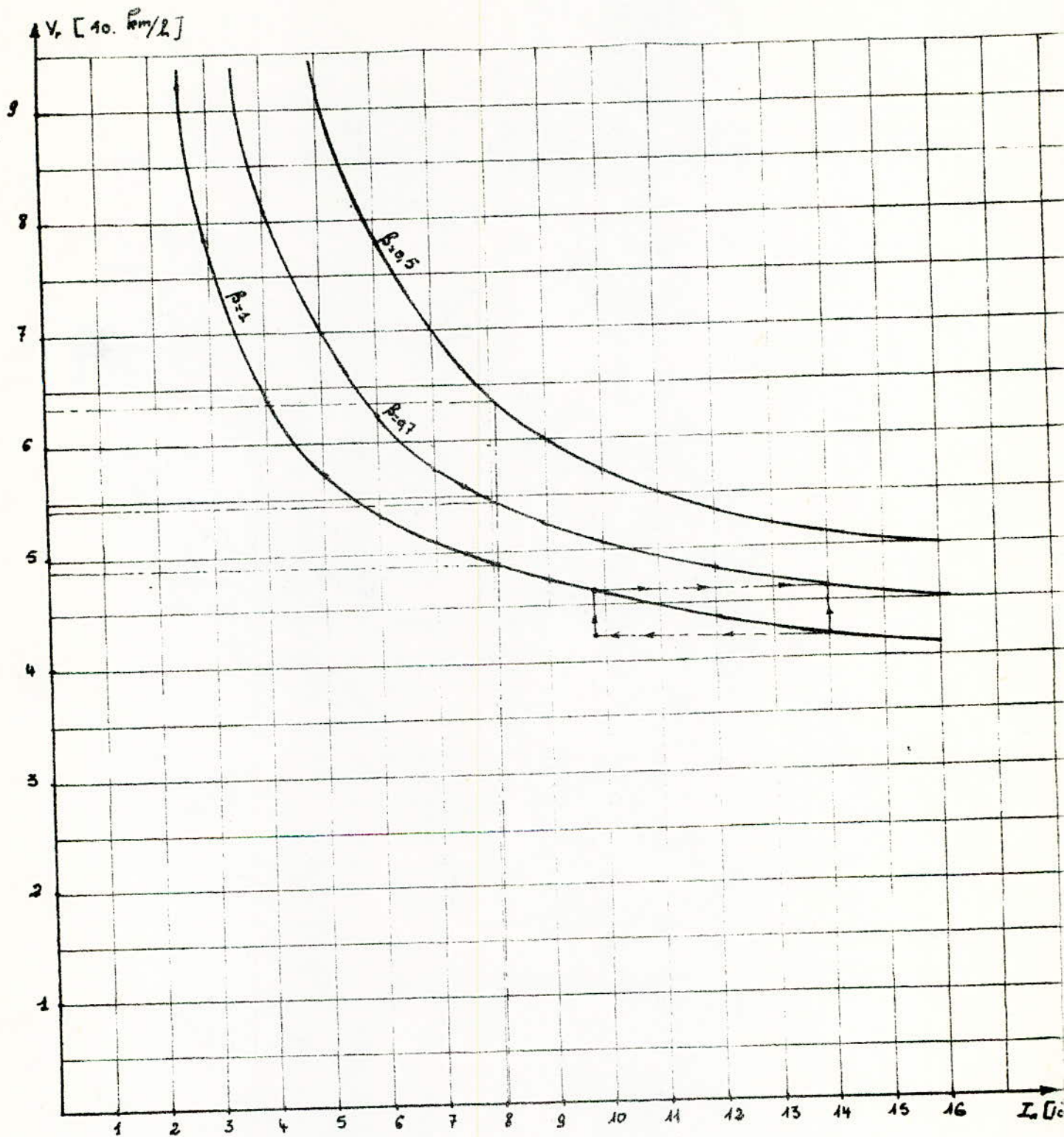
Tableau des caractéristiques électriques pour un moteur ordinaire

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|
| I_0 (A) | 250 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 750 | 8065 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 |
| ΔU^c (V) | 13,5 | 15,7 | 20,3 | 24,9 | 29,5 | 34 | 36,4 | 38,9 | 43,2 | 47,8 | 57 | 66,1 |
| E^c (V) | 986,5 | 984,3 | 979,7 | 975,1 | 970,5 | 966 | 963,6 | 961,1 | 956,8 | 952,2 | 943 | 933,9 |
| Φ_0^c (10 ⁶ Wb) | 5,305 | 6,215 | 7,618 | 8,435 | 8,98 | 9,40 | 9,58 | 9,74 | 10,025 | 10,28 | 10,735 | 11,060 |
| N_0^c (10 ⁶ Wb) | 1603 | 1365 | 1109 | 997 | 932 | 886 | 867 | 850 | 823 | 798 | 757 | 728 |
| i_k^c (kg) | 92,2 | 78,5 | 63,8 | 57,3 | 53,6 | 51 | 49,8 | 48,9 | 47,3 | 45,9 | 43,5 | 41,9 |
| P_{T1}^c (kw) | 2,85 | 4,11 | 7,30 | 11,41 | 16,43 | 22,37 | 25,68 | 29,69 | 36,98 | 45,65 | 65,74 | 89,47 |
| P_{T2}^c (kw) | 1,16 | 1,39 | 1,86 | 2,32 | 2,79 | 3,25 | 3,49 | 3,75 | 4,19 | 4,65 | 5,58 | 6,51 |
| P_{T3}^c (kw) | 0,50 | 0,60 | 0,80 | 1,0 | 1,20 | 1,40 | 1,50 | 1,61 | 1,80 | 2,0 | 2,40 | 2,80 |
| f^c | 80,15 | 68,25 | 55,45 | 49,85 | 46,60 | 44,30 | 43,35 | 42,50 | 41,15 | 39,90 | 37,85 | 36,40 |
| P_{T4}^c (kw) | 2,14 | 2,26 | 2,43 | 2,51 | 2,57 | 2,60 | 2,62 | 2,64 | 2,64 | 2,66 | 2,68 | 2,68 |
| P_{T5}^c (kw) | 2,43 | 2,54 | 2,70 | 2,79 | 2,84 | 2,87 | 2,86 | 2,90 | 2,89 | 2,90 | 2,90 | 2,90 |
| k_n^c | 0,32 | 0,32 | 0,33 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,28 | 0,3 | 0,34 | 0,36 | 0,45 | 0,54 |
| P_5^c (kw) | 1 | 1,06 | 1,18 | 1,27 | 1,35 | 1,42 | 1,53 | 1,66 | 1,88 | 1,96 | 2,51 | 3,01 |
| P_6^c (kw) | 6,40 | 5,45 | 4,43 | 3,98 | 3,72 | 3,54 | 3,46 | 3,39 | 3,29 | 3,18 | 3,02 | 2,91 |
| P_{mech}^c (kw) | 3,03 | 2,58 | 2,10 | 1,88 | 1,76 | 1,67 | 1,64 | 1,61 | 1,55 | 1,51 | 1,43 | 1,37 |
| ΣP^c (kw) | 19,51 | 20 | 22,80 | 27,16 | 32,66 | 39,12 | 42,78 | 47,25 | 55,22 | 64,5 | 86,26 | 111,65 |
| P_{abs}^c (kw) | 250 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 750 | 8065 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 |
| η_{mt}^c % | 92,2 | 93,3 | 94,3 | 94,6 | 94,55 | 94,4 | 94,3 | 94,1 | 93,9 | 93,55 | 92,8 | 92 |
| η_{ing}^c % | 93,5 | 95 | 96,8 | 97,3 | 97,5 | 97,5 | 97,5 | 97,5 | 97,4 | 97,3 | 97 | 96,8 |
| F_1 (kgF) | 858 | 1243 | 2100 | 2948 | 3787 | 4636 | 5082 | 5553 | 6386 | 7278 | 9113 | 10920 |

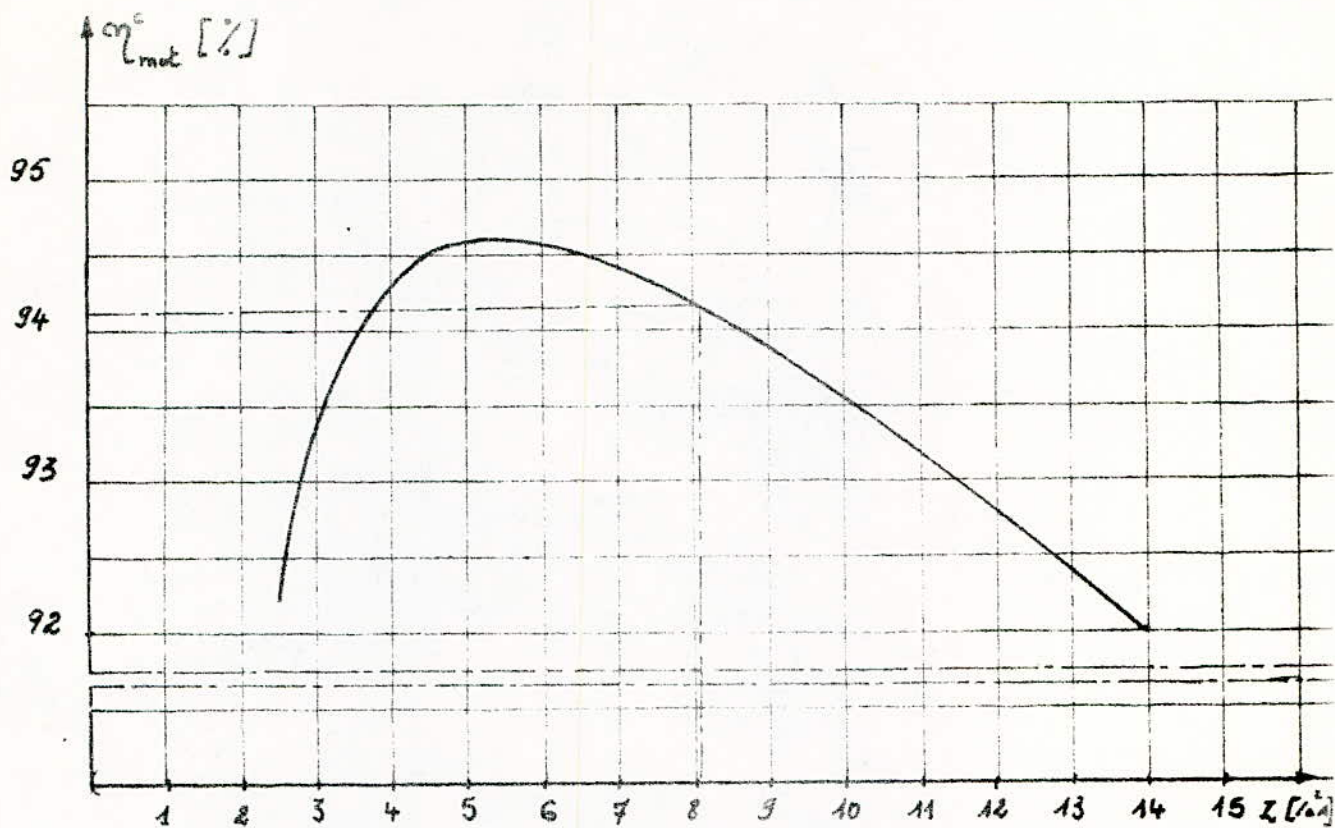
Tableau des caractéristiques électriques du moteur Compensé.



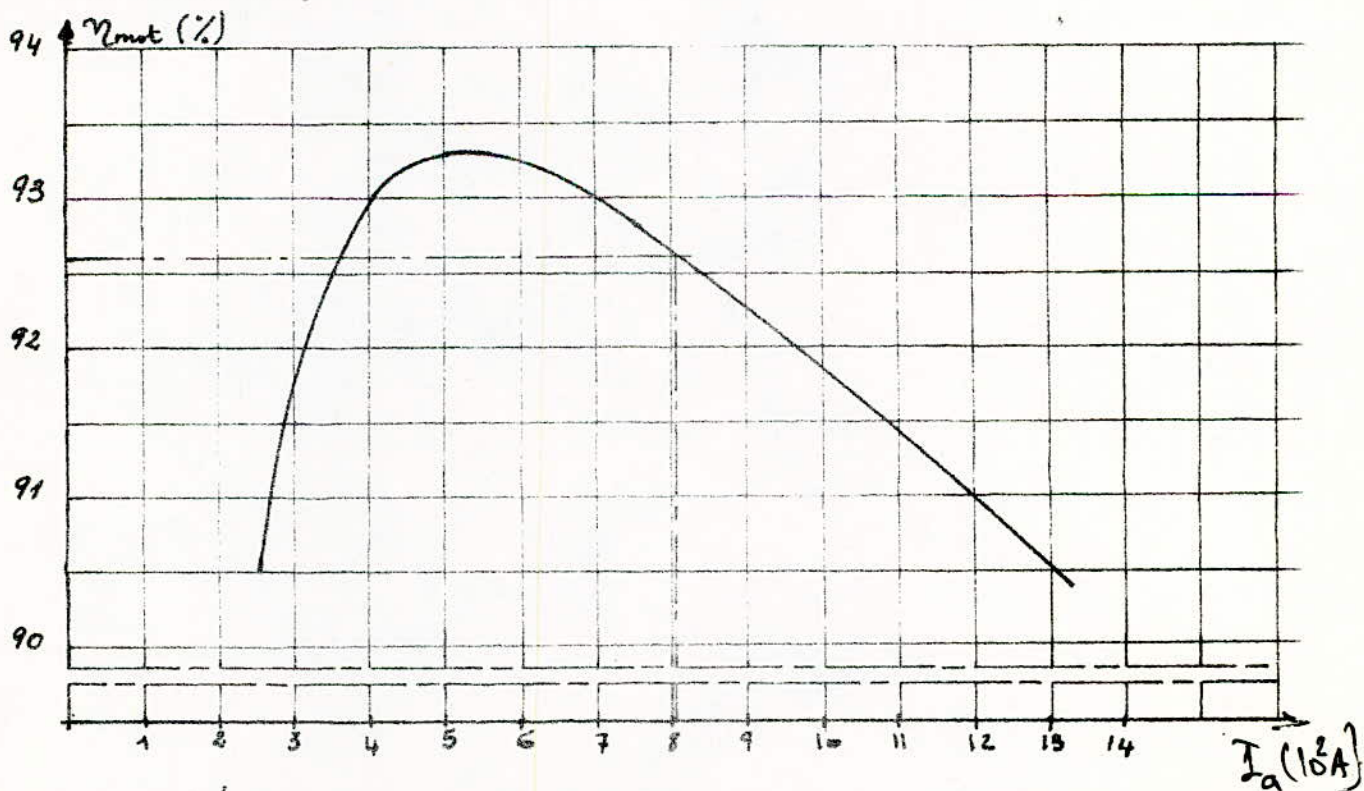
caractéristiques de la force de traction en fonction de la vitesse et des courants.



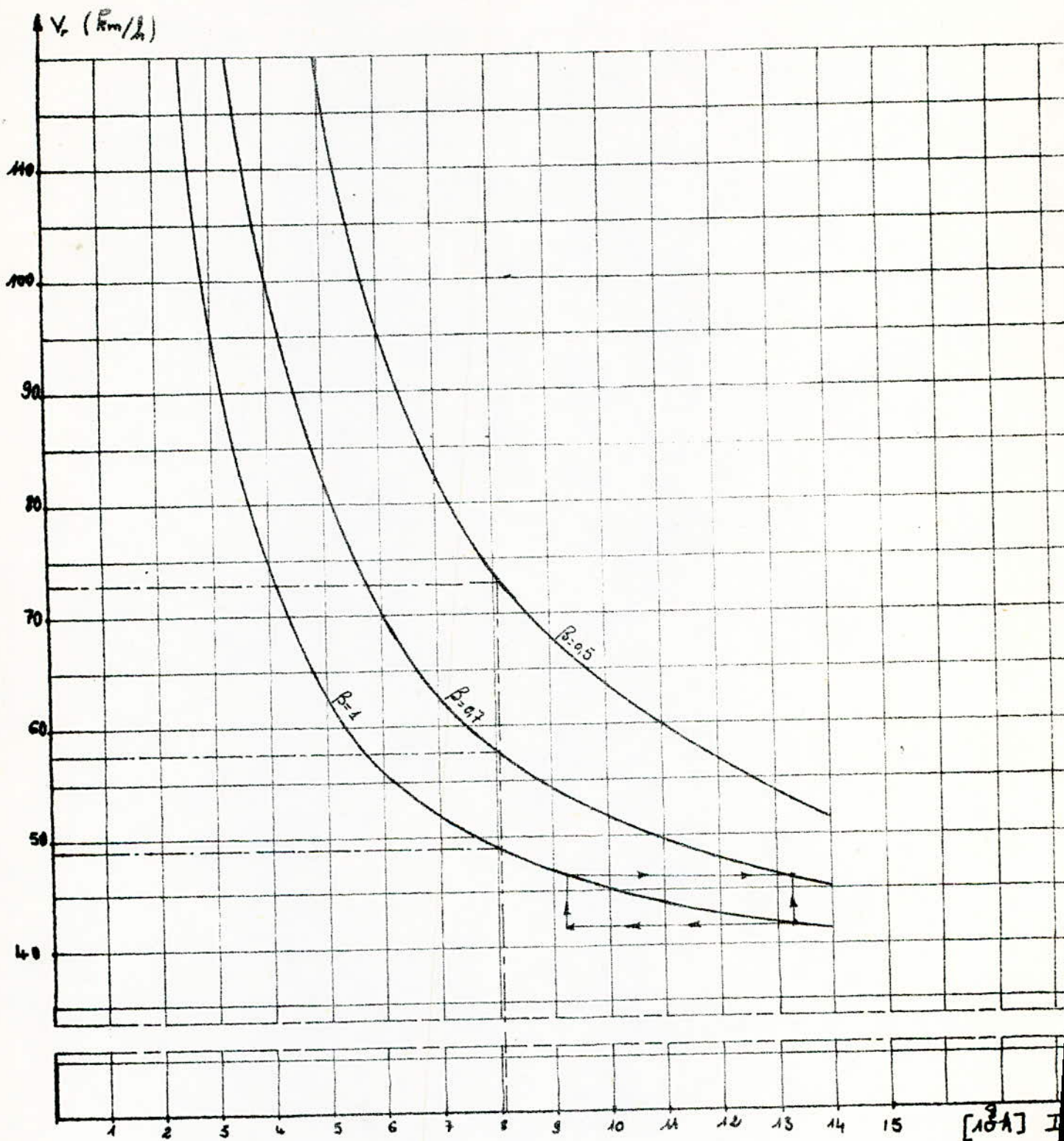
- caractéristique de la vitesse de la locomotive en fonction du courant.
 " pour un moteur compensé "



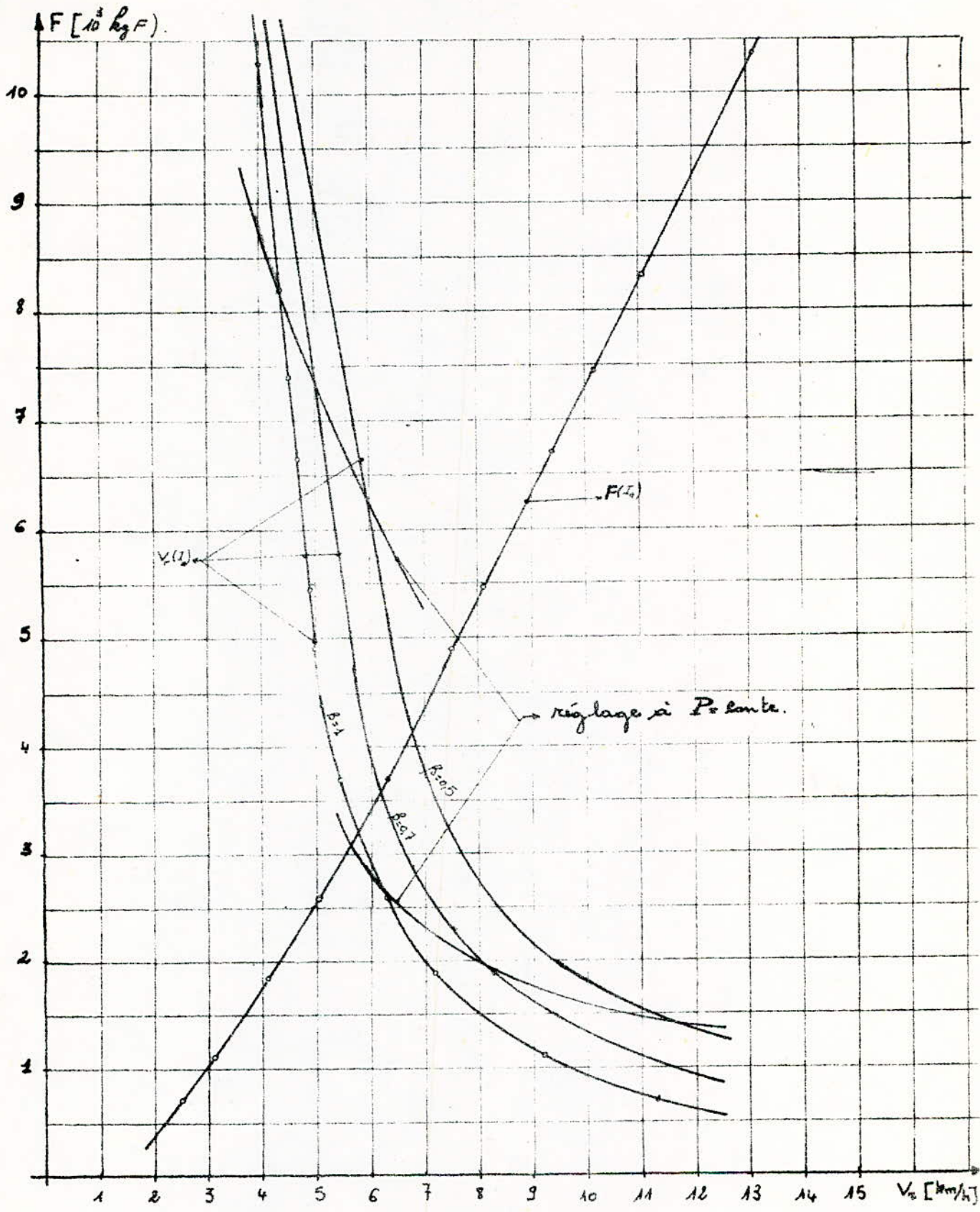
- Caractéristique des rendement du moteur Compensé en fonction du courant



- Caractéristiques des rendement du moteur ordinaire en fonction du courant



- Caractéristique de la vitesse de la locomotive (V_r) en fonction du courant
 " MOTEUR ORDINAIRE ".



- caractéristiques de la force de traction en fonction de la vitesse et du courant.

CONCLUSION

- Le domaine d'application des moteurs de traction est très étendu, plus particulièrement les moteurs à courant continu. La technologie de construction des moteurs se diffère d'un pays à l'autre, et dans notre étude on a suivi les normes russes.
- Après l'étude parallèle qui a été faite pour la construction d'un moteur non compensé "ordinaire" et un moteur compensé, on peut conclure que ce dernier n'a pas seulement l'avantage du gain de cuivre et d'acier mais d'autres arguments plus propices pour une exploitation souple et économique; uniformité du champ, un coefficient de saturation faible et un rendement élevé. Tandis que l'introduction de l'enroulement de compensation surmonte des difficultés technologiques que ce soit construction ou entretien, déjà on peut dire que la présence de l'enroulement de compensation est nécessaire lorsque la charge linéaire dépasse une certaine valeur.

BIBLIOGRAPHIE

- MOTEUR DE TRACTION ELECTRIQUE ((en russe) : NAKODKIN-
VASSELENKO - KOROREZOV
- LA TRACTION ELECTRIQUE - M. GARREAU.
- MACHINES ELECTRIQUES - KOSTENKO (tome 1).
- TECHNOLOGIE D'ELECTRICITE - R. MERLET (tome 3).
- REVUES BROWN BOVERI

SCHEMA D'ENROULEMENT D'INDUIT

ENROULEMENT IMBRIQUE SIMPLE A 2 COUCHES A PAS RACOURCI

$2p = 6$ $Z = 37$ $U = 4$ $K = 543$

SENS DE ROTATION DE L'INDUIT →

CONNEXIONS EQUIPOTENTIELLES

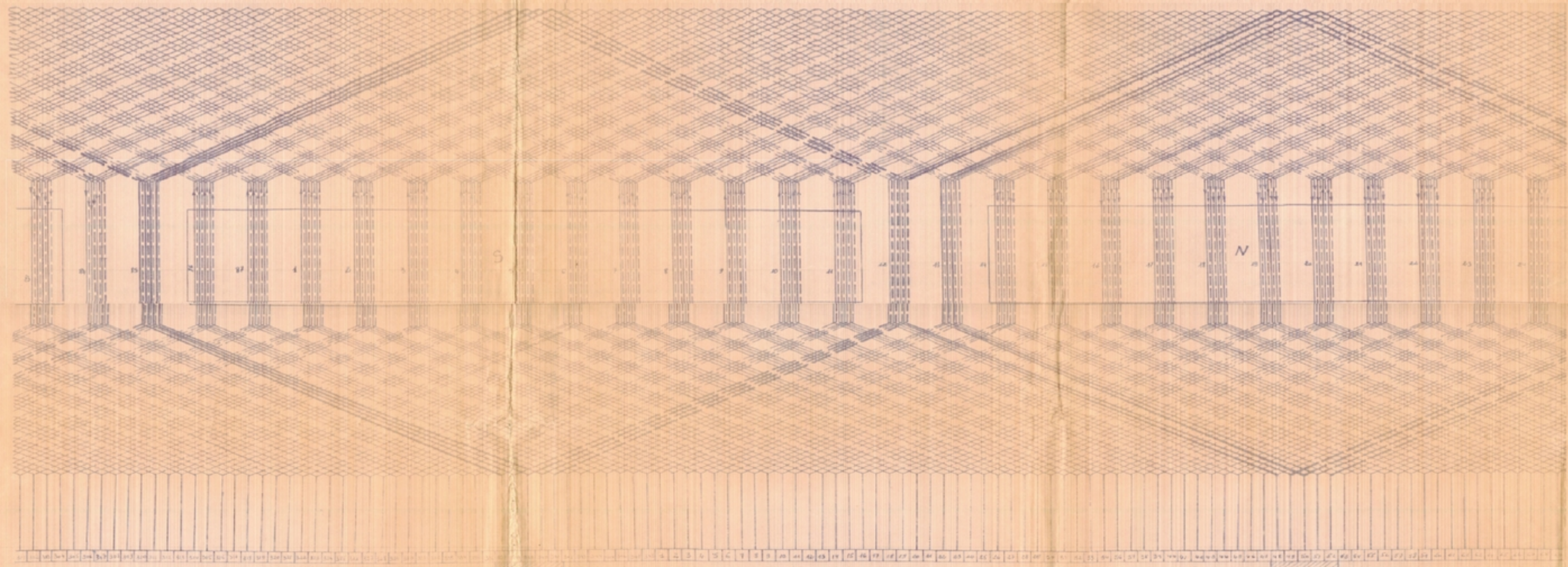




PLANCHE N: 4