

12/87

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : D'ELECTRONIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

POUR L'OBTENTION DU (DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT)

SUJET

**MODELISATION
DE MOTEUR**

Proposé par :

M. HADDADI

Etudié par :

S. KOULOGLI

A. BOUFERCHA

Dirigé par :

M. HADDADI

PROMOTION : Janvier 1987

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : D'ELECTRONIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

POUR L'OBTENTION DU (DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT)

SUJET

**MODELISATION
DE MOTEUR**

Proposé par :

M. HADDADI

Etudié par :

S. KOULOGLI

A. BOUFERCHA

Dirigé par :

M. HADDADI

PROMOTION : Janvier 1987

*
* REMERCIEMENTS
*

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Nos sincères remerciements vont en premier lieu à Monsieur Mourad HADDADI ,professeur à l'E.N.P.A (département d'électronique) pour le choix du sujet, l'intérêt et l'aide précieuse qu'il n'a pas hésité à nous donner tout au long de ce modeste travail.

Nous remercions également M° Omar TOUHAMI professeur à l'E.N.P.A (département d'électrotechnique); c'est avec un grand plaisir que nous lui exprimons notre gratitude pour son dévouement et la profonde amitié dont il nous a entouré .

Nos sincères remerciements vont aussi respectivement à Messieurs Mohamed el hadj ZAIM , R.IBTIOUEN et hamid MAAZI professeurs à l'E.N.P.A (département d'électrotechnique) pour nous avoir suivis et conseillés durant notre travail, et aussi à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué dans notre formation .

Toute notre sympathie pour hafida DOURA et farida ADROUCHE assistantes de recherche à la bibliothèque de l'E.N.P.A qui ont mis à notre disposition tous les ouvrages nécessaires .

 * SOMMAIRE *



INTRODUCTION.....	01
A - ETUDE DE L'ENERGIE SOLAIRE	
A.1 INTRODUCTION.....	01
A.2 CORPS NOIR.....	02
A.3 NOTION D'ASTRONOMIE.....	02
A.4 LES SEMI-CONDUCTEURS.....	06
A.5 EFFET PHOTOVOLTAIQUE.....	09
A.6 LES CELLULES SOLAIRES	10
B - STOCKAGE ET REGULATION	
B.1 STOCKAGE.....	14
B.2 REGULATION.....	14
C - ETUDE DU CONVERTISSEUR CC-AC	
C.1 GENERALITES SUR LES CONVERTISSEURS.....	15
C.2 ETUDE DE L'ONDULEUR A MODULATION DE LARGEUR D'IMPULSION.....	15
C.3 COMMANDE DE L'ONDULEUR (M.L.I.).....	19
D - ETUDE DU MOTEUR	
D.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE MACHINE ASYNCHRONE.....	21
D.2 ETUDE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE.....	22
D.3 CARACTERISTIQUE DU MOTEUR (voir annexe D).....	26
D.4 CONSTRUCTION DU MOTEUR (voir annexe D).....	29
D.5 CONCLUSION.....	30
E - ASSOCIATION ONDULEUR-MOTEUR ASYNCHRONE	
E.1 INTRODUCTION.....	31
E.2 ETUDE DE LA CHAINE.....	31
E.3 DESCRIPTION DE LA METHODE D'ANALYSE.....	31
E.4 ANALYSE DU SYSTEME.....	32
E.5 INTERPRETATION DE LA COURBE TRACEE.....	32
E.6 CALCUL DU RENDEMENT DU SYSTEME.....	33
SCHEMA SYNOPTIQUE.....	34
ORGANIGRAMME.....	35
CONCLUSION.....	36
ANNEXE.....	
BIBLIOGRAPHIE.....	

*
* I N T R O D U C T I O N *
*

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

La croissance de la demande énergétique dans le monde a largement stimulé la recherche de nouvelles sources d'énergie. L'énergie solaire est une des sources les plus prometteuses, elle offre la perspective d'un approvisionnement illimité en énergie non polluante .

La croissance photovoltaïque a suscité un vif intérêt par ses possibilités et plusieurs réalisations ont pu voir le jour : pompage de l'eau en zone désertique, alimentation des équipements de télécommunication , ect ...

Notre travail porte sur l'étude du couplage d'un générateur photovoltaïque à une machine asynchrone par l'intermédiaire d'un onduleur triphasé à modulation de largeur d'impulsions (M.L.I) dont on commande la fréquence et l'amplitude des courants . L'optimisation du fonctionnement du générateur photovoltaïque consiste à le faire fonctionner à son extremum de transmission de puissance, quelles que soient les fluctuations d'éclairement et indépendamment de la nature du récepteur .

A ETUDE DE L'ENERGIE SOLAIRE

A.1 INTRODUCTION

La crise pétrolière de 1973 et les problèmes rencontrés pour alimenter en électricité les zones isolées, a ouvert de nouvelles perspectives pour la prospection d'autre type d'énergie, parmi celle ci, nous pouvons citer: L'énergie solaire. Ce choix n'est pas aléatoire si nous savons que le soleil éclairera encore la terre pendant plus de 5 milliards d'années. Cette énergie provient de réaction thermonucléaire Hydrogène-Hélium dont le soleil est le siège, les couches internes atteignent environ 20 millions de degrés, les couches externes ont une température de 6000 °K. En tant que source énergétique, le soleil est assimilé à un corps noir de diamètre 1.39 million de Km. La puissance rayonnée est proportionnelle à la surface rayonnante elle est à peu près égale à $\pi \cdot D^2 \cdot T^4 \cdot \epsilon$, soit $3.79 \cdot 10^{26}$ Kwh rayonnée dans l'espace par an.

ou :

D : diamètre de la source émettrice .

ϵ : fraction d'insolation.

T : température en degré Kelvin .

Seule $4 \cdot 10^{17}$ Kwh par an est mise à notre disposition, cette énergie est 5 fois plus importante que celle qui a été emmagasinée pendant des milliards d'années sous forme de fossiles et fissiles. 30% de ce flux est réfléchi vers l'espace, 47% est absorbé et réémis vers l'espace sous forme infra-rouge, 23% sert de source d'énergie au cycle d'évaporation - précipitation sous forme éolienne ou végétale.

L'énergie solaire est une énergie dispersée dans le temps et l'espace ce qui pose des problèmes pour sa captation, sa conversion et son stockage.

Le flux solaire moyen traversant une unité de surface et en dehors de l'atmosphère est $I_0 = 1.353 \text{ Kw/m}^2$.

L'énergie reçue au niveau du sol est intermittante non seulement en raison du mouvement de rotation de la terre (jour et nuit), ou de l'éloignement terre-soleil (mouvement saisonnier), mais également à cause de la nébulosité de l'atmosphère terrestre (brouillard, nuage, ...), de sorte que la puissance reçue au niveau du sol est environ 1.1 Kw/m^2 pour des régions ensoleillées comme le sahara.

Les problèmes posés pour la collecte de l'énergie solaire sont :

- * Pour obtenir des puissances élevées, il faut prévoir des surfaces importantes pour le captage de l'énergie.
- * Nécessite de prévoir un système de stockage par l'énergie excédentaire pour une utilisation ultérieure.

La répartition spectrale du flux solaire est la suivante :

	% En.Solaire	% En.Corps noir
Ultra-violet .38 > lambda	7	9.9
Visible .78 > lambda > .38	47.3	46.4
Infra-rouge 15 > lambda > .78	45.1	43.6

A.2 CORPS NOIR

2-1°) Définition : C'est un corps ou une surface qui portée à une température donnée, émettrait le maximum de flux par rayonnement.

L'émission monochromatique d'un corps noir est donnée par la formule suivante :

$$M(\lambda, T) = \frac{C_1 \cdot (\lambda)^{-5}}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda \cdot T}\right) - 1} \quad (A.1)$$

ou : $C_1 = 3,74 \cdot 10^{08} \text{ (w.mu.m}^4\text{/m}^2\text{)}$

$C_2 = 1,44 \cdot 10^{04} \text{ (mu.m.k)}$

C_1 et C_2 étant des constantes.

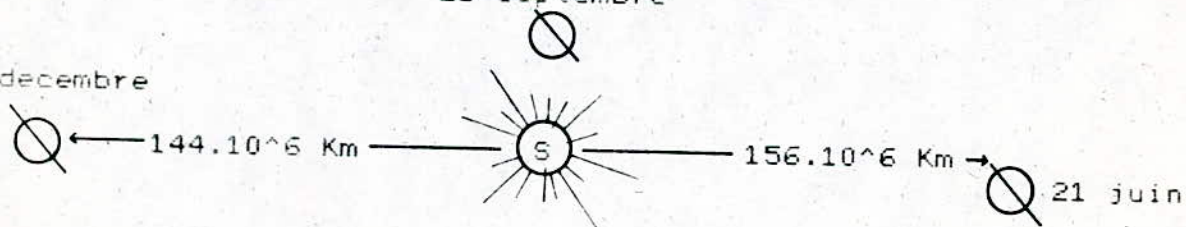
1-2°) Tracé de la courbe (Voir annexe A)

A.3 NOTION D'ASTRONOMIE

Au lieu d'étudier le mouvement par rapport au soleil, nous allons examiner le mouvement apparent du soleil dans la voûte céleste, ce qui nous permettra de calculer le flux sur n'importe quel plan d'orientation.

21 septembre

21 décembre



21 mars
Fig a.1

Les quatre positions de la terre correspondent aux solstices et équinoxes en premier lieu, nous pouvons remarquer que le flux reçu par la terre varie d'un jour à l'autre, ceci est du à la variation de la distance terre - soleil.

Quand un corps s'éloigne d'un point pris comme origine, la surface apparente de ce corps diminue, d'où diminution du flux total reçu, ou inversement. En supposant que le flux émis par le soleil est constant en s'éloignant, l'énergie fournie par unité de surface va en diminuant; le maximum de flux est obtenu au solstice d'été.

La terre est inclinée de $23^{\circ}27'$ par rapport à son axe de rotation.

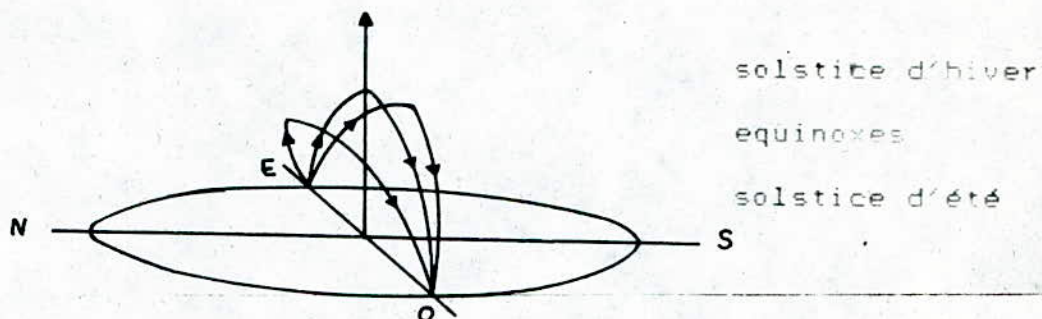


Fig a.2

Pour un observateur situé au nord de l'équateur, le mouvement apparent du soleil au solstice d'hiver est représenté par la figure suivante.

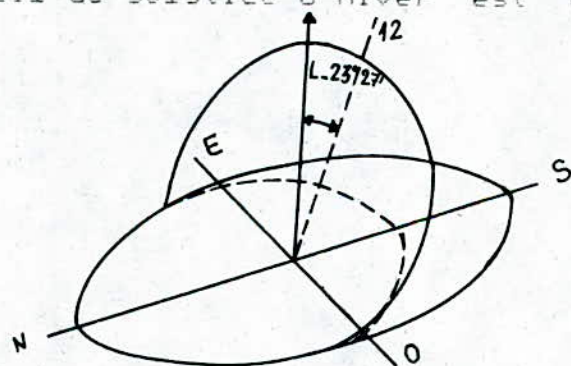


Fig a.3

Au solstice d'été, il est :

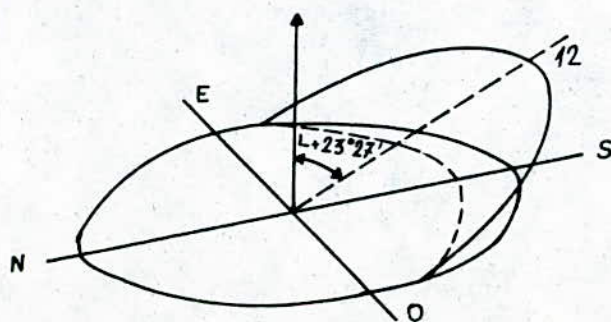


Fig a.4

3-1°) Repérage du soleil

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles :

- * Azimuth
- * Hauteur

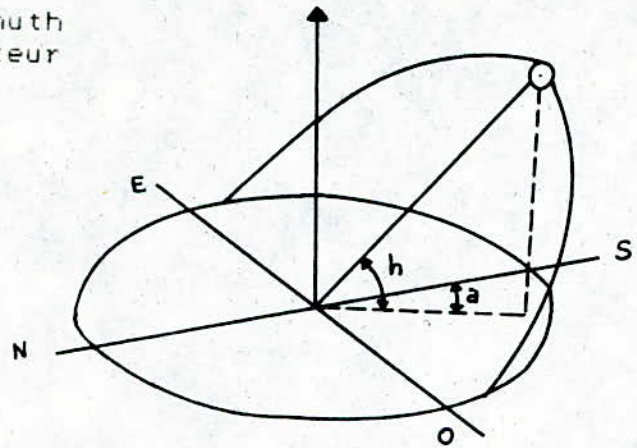


Fig a.5

Ces deux angles sont fonctions de :

- * La latitude du lieu
- * Du jour de l'année
- * L'heure dans la journée

La déclinaison δ est donnée par la relation :

$$\delta = 23,45 \cdot \sin(0,98(J + 284)) \quad (A.2)$$

En introduisant l'angle horaire w , nous pouvons exprimer la hauteur "h" et l'azimut "a" en fonction de "L", " δ ", " w ".

$$\sin(h) = \sin(L) \cdot \sin(\delta) + \cos(w) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(w) \quad (A.3)$$

$$\sin(a) = \cos(\delta) \cdot \frac{\sin(w)}{\cos(h)} \quad (A.4)$$

3-2°) Variation de la distance terre - soleil

La variation de la distance terre - soleil pendant l'année influence la valeur de la constante solaire.

On corrigé cette influence par la relation suivante :

$$I_0 = 1353 \cdot (1 + 0,033 \cdot \cos(J)) \quad (A.5)$$

3-3°) Flux et irradiation solaire en dehors de l'atmosphère

Le flux sur un plan horizontal I_{oh} est donné par la relation suivante :

$$I_{oh} = I_0 \cdot \sin(h) \quad (A.6)$$

L'irradiation journalière reçue par une surface horizontale est obtenue par la relation suivante :

$$H_0 = \int_{(T_s) \text{ lever du soleil}}^{(T_s) \text{ coucher du soleil}} I_0 \cdot \sin(h) \cdot d(T_s) \quad (A.7)$$

T_s étant l'heure solaire

3-4°) Atténuation du rayonnement solaire par l'atmosphère

Au niveau du sol, on ne reçoit qu'une faible proportion du flux émis par le soleil, cette atténuation atmosphérique dépend essentiellement de deux phénomènes distincts :

- * la diffusion du rayonnement par les différentes molécules gazeuses, vapeur d'eau.
- * et les particules en suspension.

La puissance interceptée au niveau du sol exprimée en fonction de la puissance interceptée dans l'espace, elle est donnée par :

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot e^{-m \cdot B(\lambda)} \quad (A.8)$$

$B(\lambda)$: coefficient d'extinction atmosphérique pour une longueur d'onde donnée.

m : paramètre désigné par masse d'air optique.

La masse d'air optique dépend de la hauteur h du soleil, de l'altitude ou de la pression du lieu.

Pour les faibles hauteurs, l'expression de m est donnée par la relation suivante:

$$m = \frac{P}{1000 \cdot (\sin(h) + 0,15 \cdot (h + 3,885)^{-1,253})} \quad (A.9)$$

P : Pression du lieu.

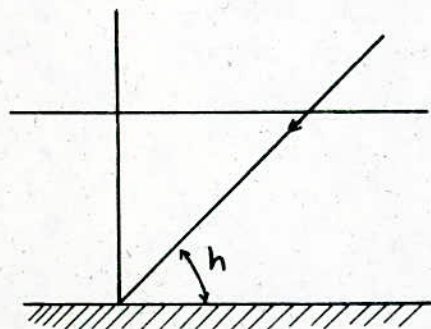


Fig a.6

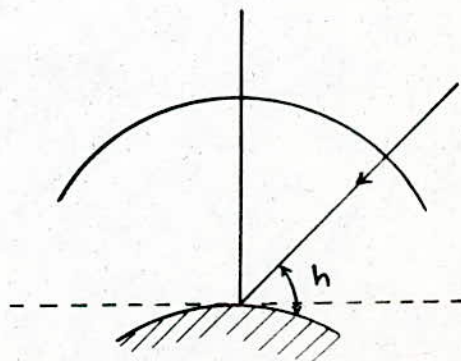


Fig a.7

$$n_i = A.T^{(3/2)}.exp(- \frac{W_a}{2.K.T}) \quad (A.12)$$

$$G_i = e.n_i.(M_n + M_p) \quad (A.13)$$

G étant la conductivité et M étant la mobilité.

Pour un milieu intrinsèque on a: $n_i = n = p$

Le départ des électrons de la bande de valence vers la bande de conduction va laisser des trous dans la bande de valence qui vont intervenir dans la conduction du semi-conducteur.

Le nombre d'électrons et de trous augmente quand la température augmente. Dans un semi-conducteur, le nombre de trous est égal au nombre d'électrons libres.

Pour augmenter la conductibilité du semi-conducteur, on peut introduire des impuretés dans le cristal, si le métal dopeur possède $5e^-$ périphériques, on aura un semi-conducteur de type N, si le métal dopeur possède $3e^-$ périphériques, alors on aura un semi-conducteur de type P.

type N

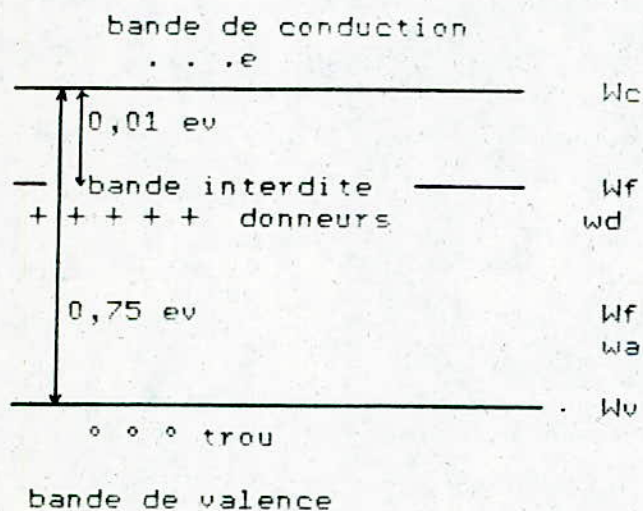


Fig a.9

type P

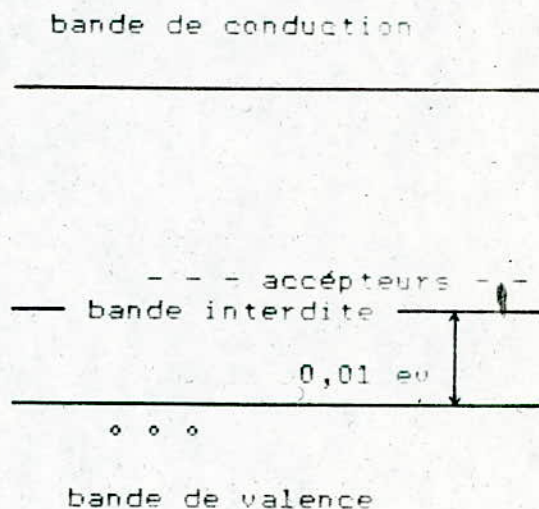


Fig a.10

La concentration en électron et trou satisfait à la relation suivante : $n.p = n_i^2$

concentration en trous

$$p = \frac{n_i^2}{N_d}$$

conductivité

$$G_d = e.(n.M_n + p.M_p) \approx e.N_d.M_n \quad (A.14)$$

concentration en électrons

$$n = \frac{n_i^2}{N_a}$$

conductivité $G_a = e \cdot (n \cdot M_n + p \cdot M_p) \# e \cdot N_a \cdot M_p$ (A.15)

G_d : conductivité pour les donneurs.

G_a : conductivité pour les accepteurs.

4-2°) Jonction P-N

On appelle jonction P-N, la mise en contact de deux semi-conducteur de types différents, l'un de type N, l'autre de type P. Sans polarisation, les électrons majoritaires du semi-conducteur de type N, vont diffuser vers les trous majoritaires du semi-conducteur de type P.

Cette diffusion va laisser des ions positifs dans le semi-conducteur de type N, les électrons qui ont diffusés vont se recombiner avec les trous du semi-conducteur de type P, créant ainsi des ions positifs.

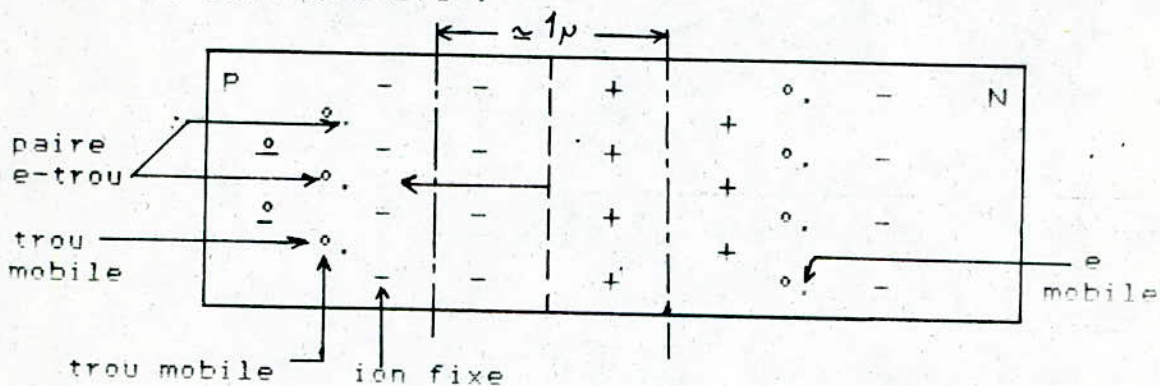


Fig a.11

Ce phénomène de diffusion va créer un champ électrique $E = -d\phi/dx$ qui va repousser les majoritaires, ce qui arrête le phénomène de diffusion et favoriser le passage des minoritaires.

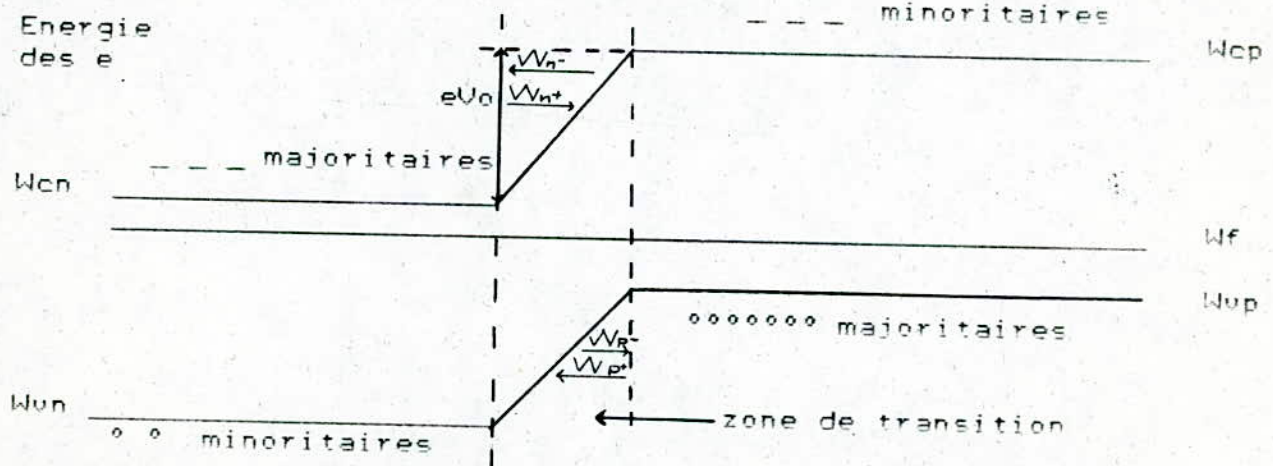


Fig a.12 niveau d'énergie d'une jonction à l'état d'équilibre.

A l'équilibre, on aura le courant i_1 des majoritaires qui diffusent est égal au courant i_2 des minoritaires .
 Pour qu'un porteur franchisse la barrière de potentiel, il faut que l'énergie de celui-ci soit $W > W_0$ (eV), le nombre est donné par la loi de MAXWELL :

$$n = n_0 \cdot \exp\left(-\frac{W_0}{K.T}\right) \quad (A.16)$$

ou :

- K : constante de BOLTZMAN .
- T : Température absolue .
- W_0 : Energie nécessaire à un électron pour franchir la barrière de potentiel .

Le courant de diffusion est donné par la relation suivante :

$$I_d = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{e.V_0}{K.T}\right) \quad (A.17)$$

ou V_0 est la barrière de potentiel qui est de l'ordre de 0,1V .
 Cette valeur dépend de la concentration d'impuretés dans le semi-conducteur .

A.5 EFFET PHOTOVOLTAIQUE

L'effet photovoltaïque utilise les propriétés quantiques de la lumière, et permet la conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Nous savons que le photon d'une radiation de fréquence f transporte une énergie : $W = h.f$ (ev).
 Si cette énergie est communiquée à un électron , celui-ci va voir son énergie cinétique augmenter . Si cette énergie est suffisante , elle va créer une paire électron-trou , l'électron va ainsi passer de la bande de valence à la bande de conduction , et comme la concentration en majoritaires dépasse dans des proportions considérables celles des minoritaires .

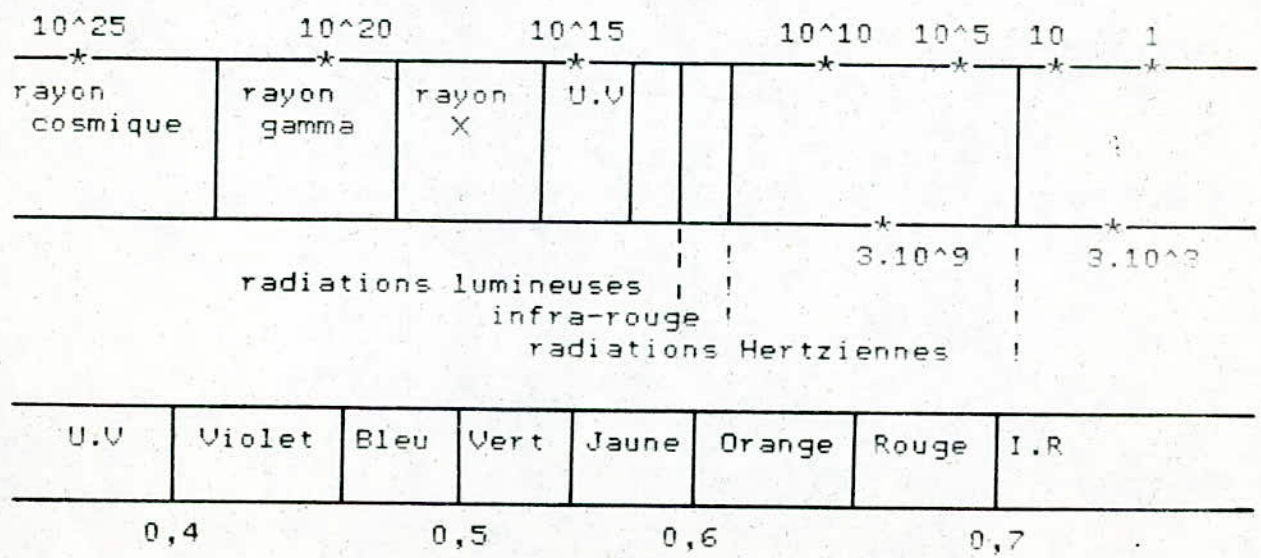


Fig a.13

L'augmentation relative provoqué par l'éclairement est infime pour les majoritaires ,alors qu'elles sont très importantes pour les minoritaires .

Cette augmentation de minoritaires va provoquer une augmentation très sensible de porteurs minoritaires qui peuvent franchir la barrière de potentiel, donc du courant de saturation; il en résulte une (f-e-m) force électro-motrice aux bornes de la cellule .

Le courant débité pour la cellule est proportionnelle aux flux lumineux, elles (cellules solaires) ont une sensibilité spectrale voisine de celle de l'oeil.

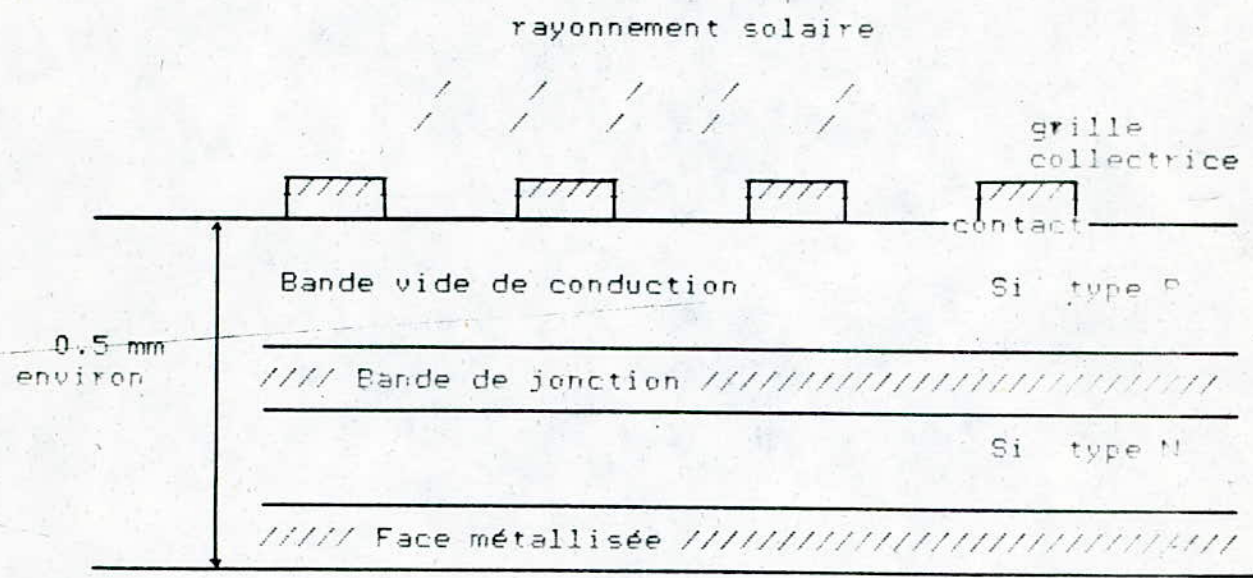


Fig a.14

A.6 LES CELLULES SOLAIRES

Les cellules solaires ou photopiles sont des diodes à jonction ayant une grande surface. Par effet photovoltaïque, elles convertissent directement l'énergie lumineuse en énergie électrique .

6-1°) Fabrication des cellules solaires au Silicium

Les cellules solaires les plus courantes sont à base de silicium, l'énergie nécessaire pour extraire un électron est de 1.2 eV . Cette énergie peut être fournie par un rayonnement de longueur d'onde $\lambda > 1.1 \mu m$.

La première opération consiste à prendre une barre cylindrique de silicium pur et de la couper en petites tranches fines d'épaisseur (0.1 à 0.2 mm). L'une des faces de ces disques de silicium sera mise en présence de vapeur d'un élément trivalent (BOHR), ceci va nous donner un semi-conducteur de type P, l'autre face sera mise en présence d'un élément pentavalent (PHOSPHORE) et ceci afin d'obtenir un semi-conducteur de type N .

Ces éléments dopeurs vont s'incruster dans la structure cristalline du silicium créant ainsi, soit des trous, soit des électrons .

Après avoir réalisée la cellule par photolithographie, on met sur

la face du semi-conducteur de type N une grille métallique couvrant 7 à 10% de la surface totale ; Pour améliorer le rendement de la cellule, on applique sur cette même face un strate d'un corps anti-réfléchissant (TiO_2) ; la seconde face est complètement métallisée de façon à ce qu'elle puisse réfléchir le maximum des rayons non absorbés .

6-2°) Schéma équivalent

Pour tirer un schéma équivalent à une cellule solaire, on doit considérer tous les phénomènes physiques qui contribuent à la transformation rayonnement-paires électrons-trous et ceux qui limitent les performances de la cellule .

* A l'obscurité : Le flux est nul, donc le photocourant est aussi nul, nous aurons alors l'expression suivante de courant :

$$I = I_0 \cdot (\exp(q \cdot (v - R_s) / (N \cdot K \cdot T)) - 1) + v / R_{sh} \quad (A.18)$$

- I_0 : courant de saturation .
- R_s : résistance série .
- R_{sh} : résistance shunt .
- T : température en degré Kelvin .
- N : coefficient d'idéalité .
- K : constante de BOLTZMAN ;
- q : charge de l'électron .

Pour une cellule idéale, on a $R_s = 0$ et $R_{sh} = (\infty)$.
On aura :

$$I = I_0 \cdot (\exp(q \cdot v / (K \cdot T)) - 1) \quad (A.19)$$

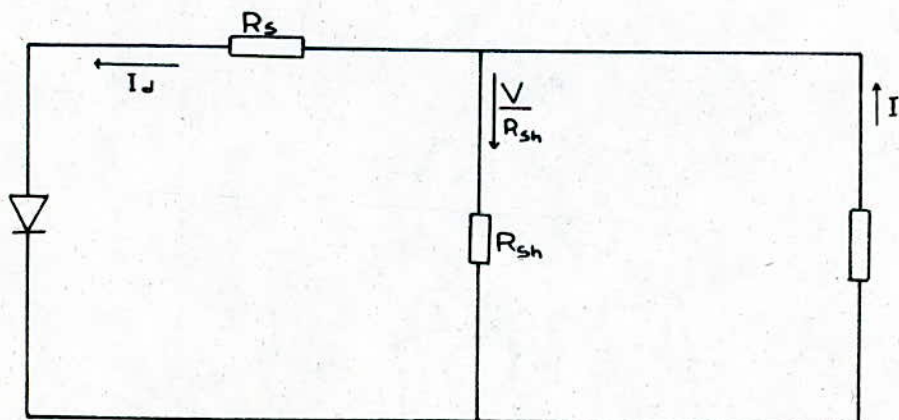


Fig a.15 Schéma équivalent d'une cellule solaire à l'obscurité

* Sous éclairement: On a le meme schéma, mais en introduisant un générateur de courant (photocourant), sous éclairement la relation devient:

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot (\exp(q \cdot (v + R_s \cdot i) / (N \cdot K \cdot T)) - 1) - v / R_{sh} \tag{A.20}$$

I_{ph} : étant le photocourant

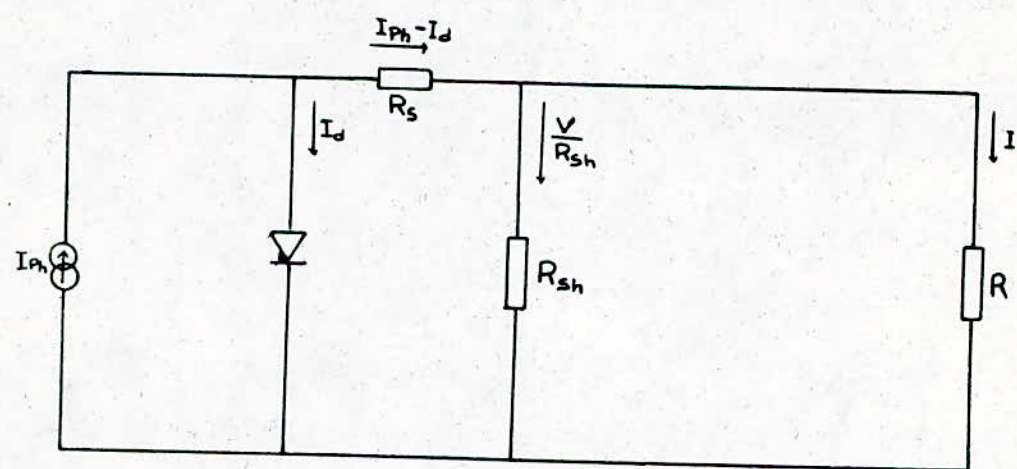


Fig a.16 Schéma équivalent d'une cellule solaire sous éclairement

6-3° Parametres caractéristiques

* Résistance série

Elle est due aux contacts des électrodes avec le semi-conducteur et la résistance interne de celui-ci. Pour diminuer la résistance interne, il est possible d'augmenter les proportions dopeur-dopé, ce qui diminuerait la sensibilité de la cellule, pour éviter cela on essaie toujours d'optimiser ces proportions.

La mise d'une grille par la connexion avec l'extérieur va augmenter la résistance série et diminue la surface capteuse.

* Résistance shunt et facteur d'idéalité

La résistance shunt est due aux fissions sur la surface de la cellule. Ces fissions sont le siège de phénomènes physiques assimilables à une résistance shunt, elle augmente lorsque la cellule est sous éclairement.

Cette résistance est très grande (quelques dizaines de Méga Ohm) pour de faible courant, le facteur d'idéalité est égal à 1 et 2

pour des débits importants. La résistance R_{sh} étant très grande, donc nous allons négliger la chute de tension à ses bornes et le facteur d'idéalité est pris égal à "1": débit de courant faible, d'où on tire le modèle adopté :

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \exp(q(v + R_s \cdot i) / K \cdot T - 1) \tag{A.21}$$

6-4° Association de cellules solaires

La puissance délivrée par une cellule solaire est de quelques centaines de milli-watt, pour avoir de fortes puissances, il est nécessaire d'associer un très grand nombre de cellules.

* Association série

La tension totale obtenue est la somme des tensions de chaque cellule, en supposant que les cellules sont identiques, le courant prend la valeur du courant débité par une cellule.

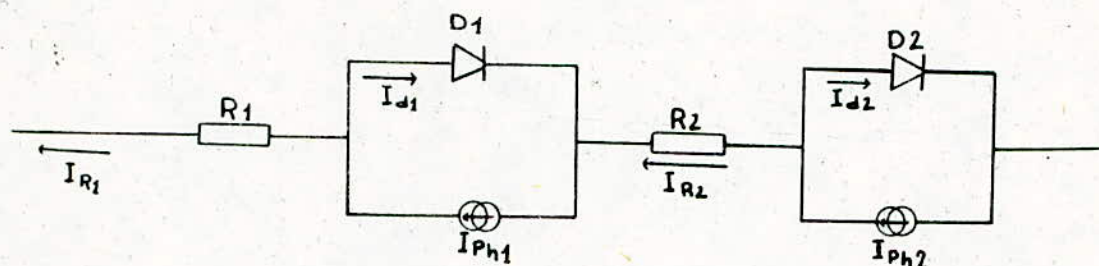


Fig a.17 schéma de l'association série

* Association parallèle

Elle est presque identique à l'association série, la tension est équivalente à celle délivrée par une cellule, tandis que le courant est égal à la somme des courants unitaires de chaque cellule.

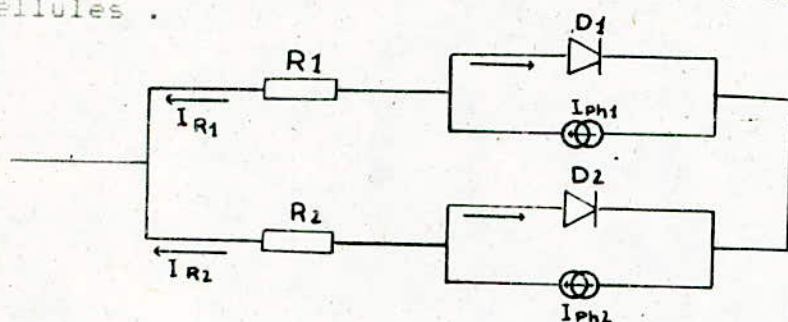


Fig a.18 schéma de l'association parallèle

* Association série-parallèle

Dans cette association, on a la tension qui est égal à la somme des tensions de chaque cellule solaire, et le courant est équivalent à la somme des courants des cellules mises en parallèles.

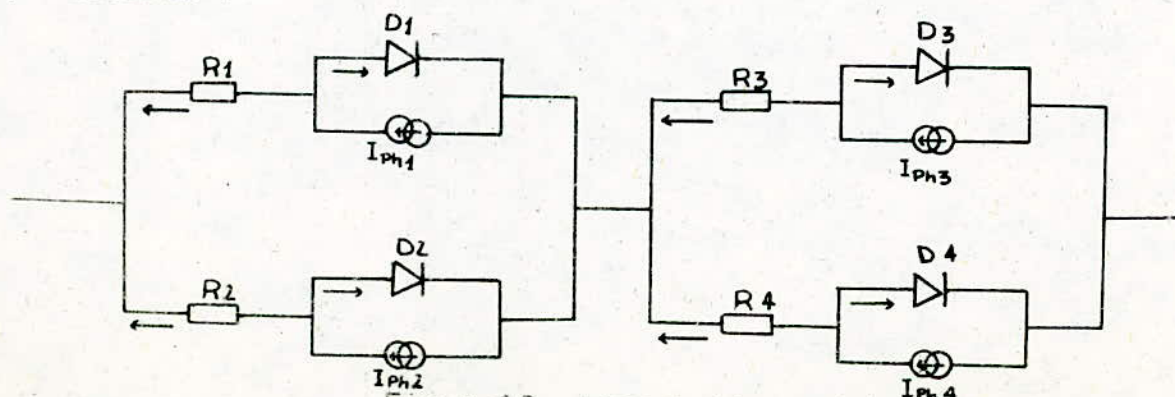


Fig a.19 association série parallèle

B STOCKAGE ET REGULATION

B.1 Stockage

Le domaine d'utilisation de l'énergie solaire dans notre pays, prend de l'ampleur jour après jour, dans beaucoup de domaines autres que le pompage d'eau, balisage, télévision solaire ...

On envisage l'utilisation domestique et quotidienne, de telles installations fonctionnent surtout la nuit, nécessite donc un stockage d'énergie, l'usage d'accumulateurs en tant qu'organe de stockage offre l'avantage de simplicité d'emploi et d'existence dans le commerce .

Une meilleure connaissance de batteries s'avère donc nécessaire pour une exploitation optimale .

B.2 Regulation

Les batteries d'accumulateur constituent le moyen de stockage de l'énergie le plus utilisé dans les centrales électro-solaires .

Leur bon fonctionnement, et la tenue de leurs performances dans le temps, pour en tirer le meilleur profit, dépendent directement des conditions d'utilisation .

Afin de contrôler au mieux les conditions de charge *et* de décharge , on intercale entre les panneaux solaires *et* les batteries un dispositif électronique de régulation , adapté aux besoins de l'installation .

Ce dispositif de régulation appelé : régulateur , constitue en réalité l'organe de gestion de la centrale, et c'est de lui que dépend le rendement et la fiabilité de l'installation photovoltaïque .

C ETUDE DU CONVERTISSEUR CC-AC

C.1 Généralités sur les convertisseurs

La tension continue délivrée par les panneaux solaires est transformée en une tension alternative par un onduleur à (M.L.I) modulation de largeur d'impulsions .

Le développement des semi-conducteurs de puissance a permis le remplacement progressif des convertisseurs dynamiques volumineux couteux et bruyants par des convertisseurs statiques sûrs et rapides assurant les memes fonctions dans de bonnes conditions .

C.2 Etude de l'onduleur à modulation de largeur d'impulsions

2-1°) Principe

Chaque phase de l'onduleur à modulation de largeur d'impulsions est constituée par deux hacheurs, un par polarité.

La tension de sortie est formée par des créneaux d'amplitude égale à la tension continue d'alimentation et de largeur variable suivant la loi de modulation. La charge d'un stator du moteur présente une constante de temps élevée, alors l'ondulation du courant de charge sera faible. Ce dernier change de polarité à chaque demi-période.

Si les deux hacheurs sont commandés suivant un modèle sinusoïdal, alors dans ces conditions, la tension fondamentale de sortie et le courant de charge deviennent proches d'une sinusoïde

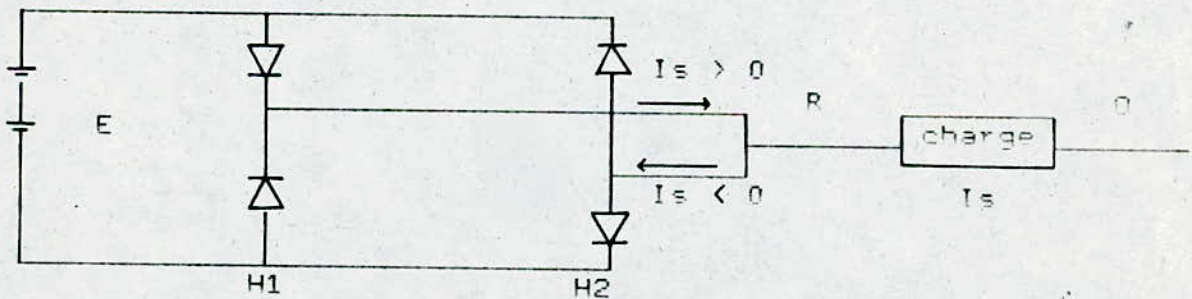


Fig c.1 Phase d'onduleur constituée par deux hacheurs

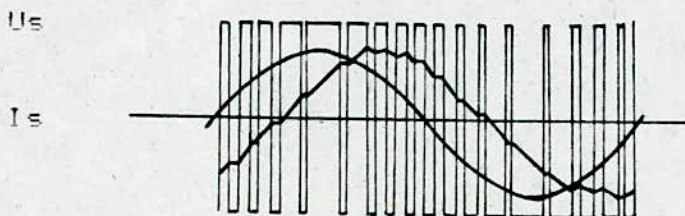


Fig c.2 formes d'ondes théoriques d'un modulateur M.L.I

La modulation choisie compare une tension de référence qui image la tension de sortie recherchée à un signal triangulaire symétrique dont la fréquence est multiple de celle de l'onde fondamentale. Ce signal triangulaire est appelé " porteuse " .

2-2°) Fonctionnement

Superposons une tension de référence U_0 au signal triangulaire U_p ils se coupent aux points d'abscissés α et $2\pi - \alpha$. L'intersection de ces deux signaux détermine la valeur moyenne de la tension découpée.

$$U_{moy} = \frac{E}{2} \left(\frac{2 \cdot \alpha}{\pi} - 1 \right)$$

E : tension continue d'alimentation de l'onduleur.

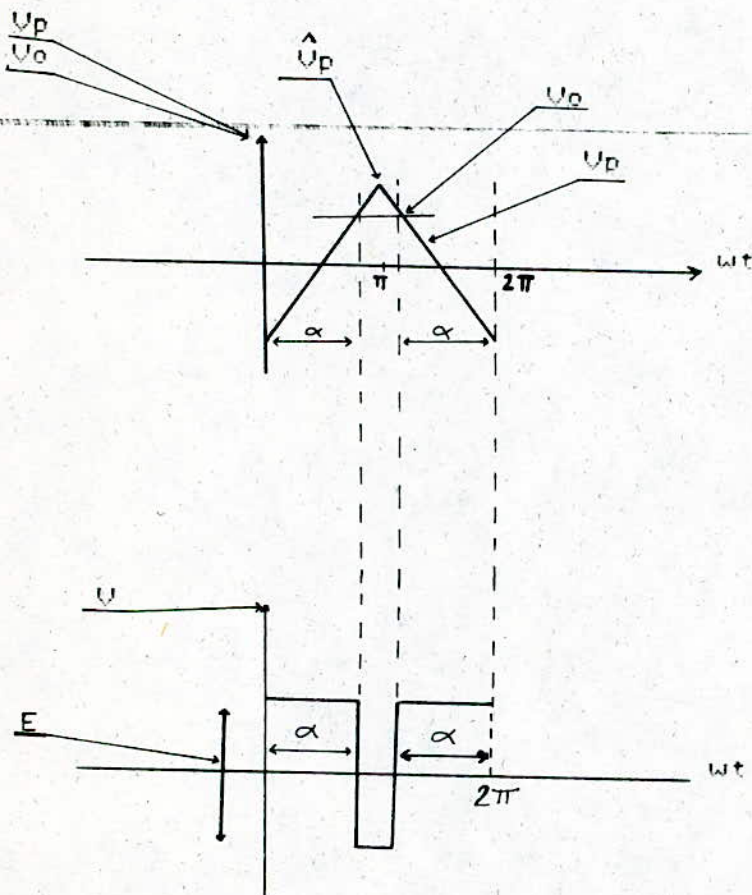


Fig c.3 définition de la commande par modulation.

D'autre par :

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \left(1 + \frac{U_0}{\hat{U}_p} \right)$$

D'où :
$$\frac{2 \cdot U_{moy}}{E} = \frac{U_0}{U_p}$$

U_p : valeur de crête de la porteuse .

Dans un hacheur, U_{moy} est proportionnel à U_0 , c'est à dire si U_0 est une tension sinusoïdale de fréquence ($F_{up} \gg F_{uo}$) alors U_{moy} serait également sinusoïdale et proportionnelle à (U_0 / U_p) .

On peut régler la tension de sortie de l'onduleur en agissant sur le rapport U_0/U_p pour une tension d'alimentation E constante . Le signal de référence doit être sinusoïdal pour l'obtention d'une meilleure neutralisation des harmoniques .

Examinons le découpage de la tension prise entre la sortie des deux hacheurs (point R) et un point milieu fictif (point O à la tension $E/2$) quand nous superposons la porteuse triangulaire au signal sinusoïdal pris comme référence.

L'intersection des deux signaux superposés commande le changement d'état du comparateur donnant ainsi les ordres de commutation aux hacheurs constituant une phase d'onduleur .

N.B La condition $U_p \gg U_0$ doit être vérifiée. La tension de sortie ne peut avoir que deux valeurs $+E/2$ et $-E/2$.

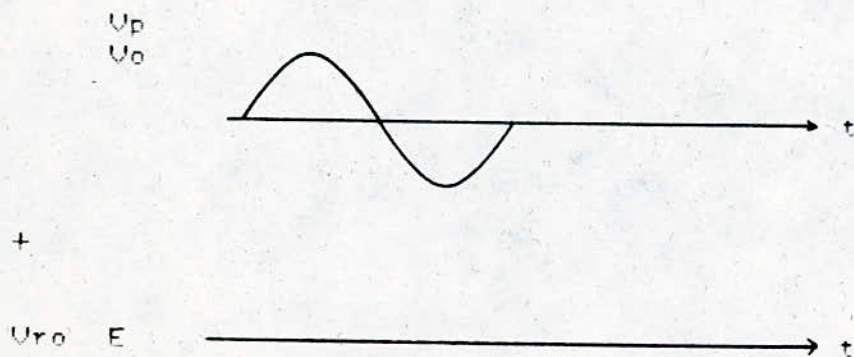
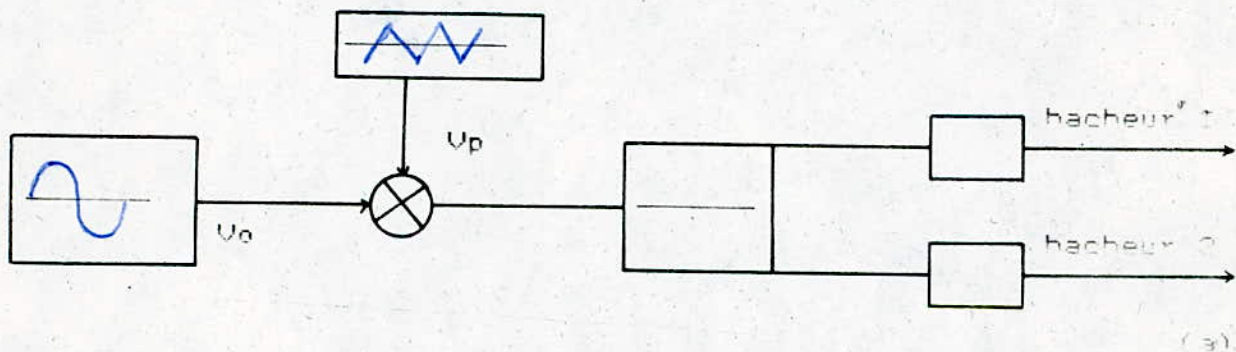


Fig c.4 Principe de modulation triangulo-sinusoïdale.
 (a) Schéma synoptique . (b) Diagramme des tensions .

Généralisons ceux-ci au montage triphasé représenté ci-dessous :

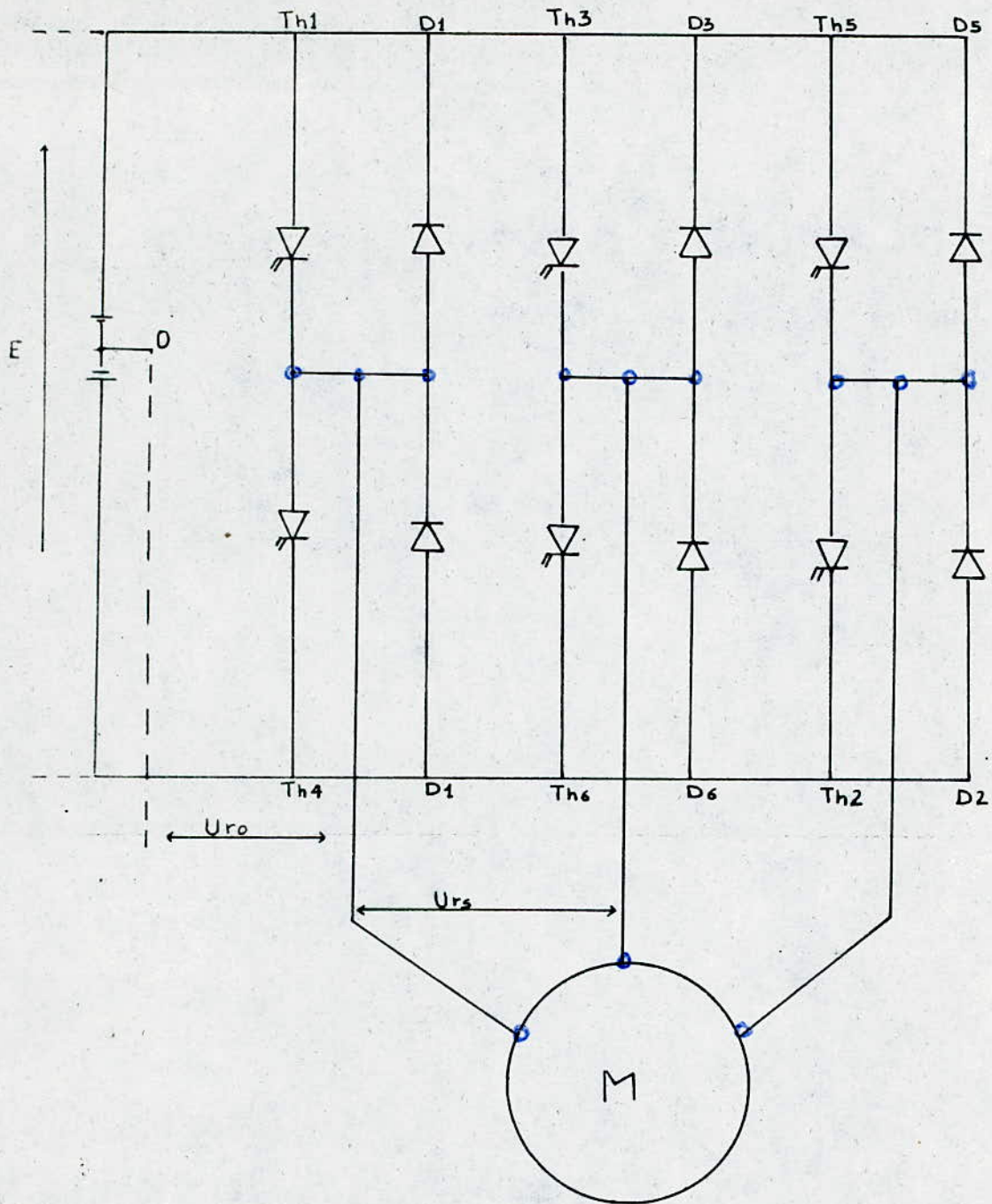


Fig c.5 Montage triphasé.

C.3 Commande de l'onduleur M.L.I

Un générateur d'onde triangulaire délivre aux trois phases " la porteuse " commune .
 La " référence " est propre à chaque phase . Les trois références sont déphasées de 120° .

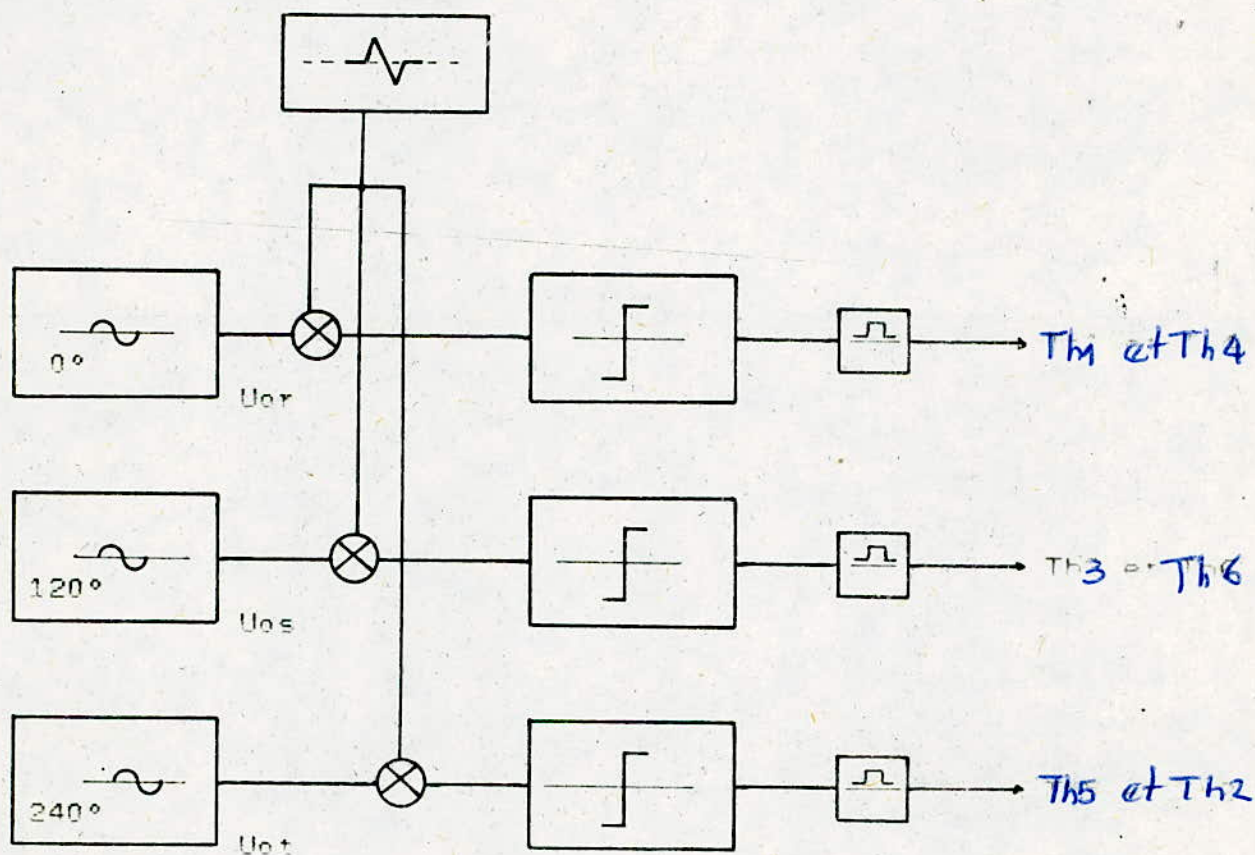


Fig c.6 Synoptique de la commande par modulation triangulo-sinusoidale triphasée

Les tensions prises entre chaque sortie (R.S.T) et le point milieu fictif (O) de la source sont bipolaires de valeur $+E/2$ et $-E/2$.

Les tensions entre phases ont trois états possibles $+E$, 0 et $-E$

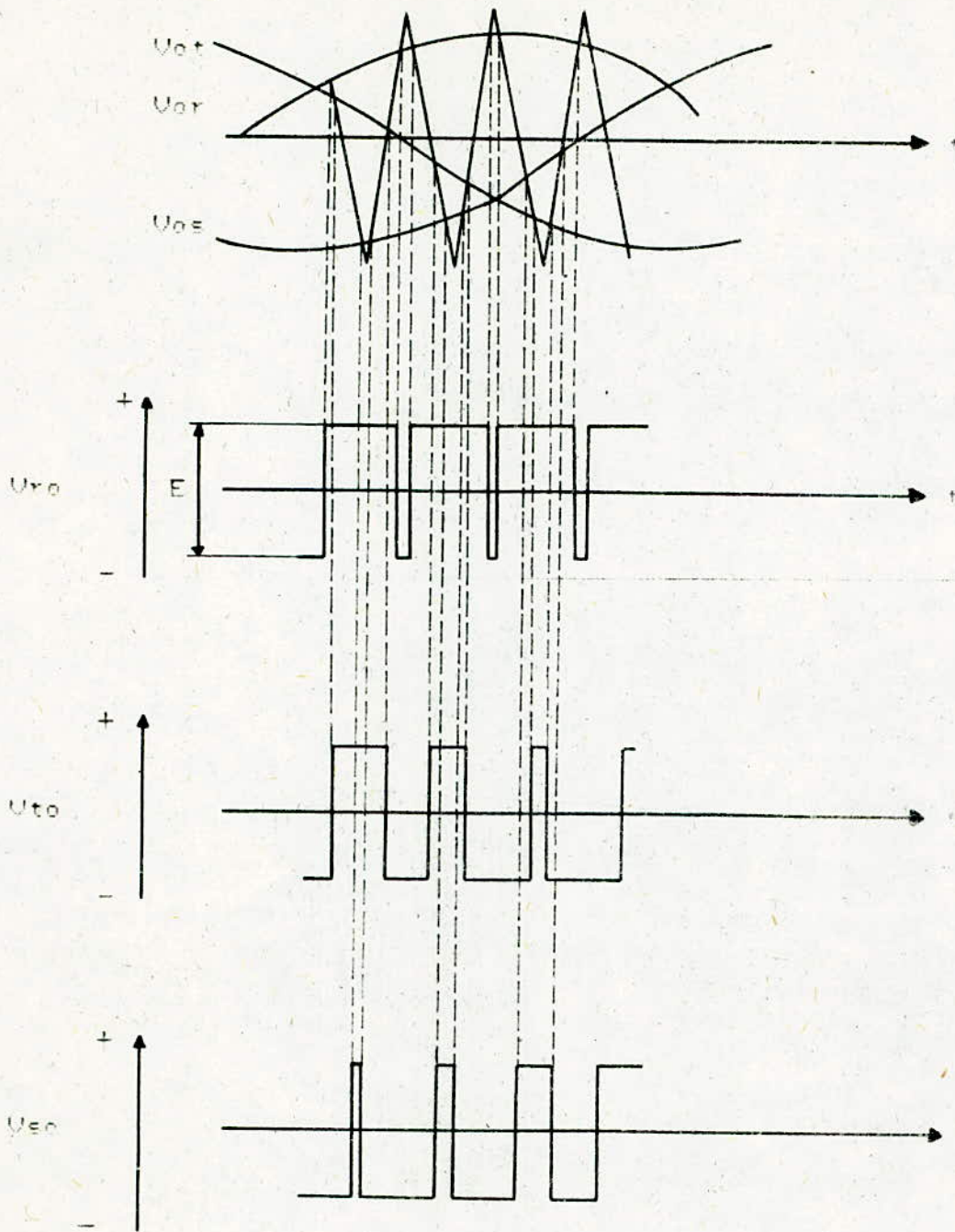


Fig c.7 Tracé des tensions de phases obtenues *par modulation* triangulo-sinusoidale .

D ETUDE DES MACHINES ELECTRIQUES

D.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE MACHINE ASYNCHRONE

1-1°) LOI DE LENTZ: Un champ tournant "aimant tournant" mis en présence d'une plaque métallique va créer un courant au niveau de cette plaque "courant induit". D'après la loi de LENTZ, le champ créé par le courant induit va s'opposer au champ qui lui a donné naissance, ce qui entrainera la plaque dans le mouvement de rotation du champ inducteur.

Le champ tournant est créé par la circulation d'un courant alternatif polyphasé dans les enroulements de l'inducteur; Ce champ étant variable, dans l'espace et dans le temps, ce qui nous donnera l'impression d'avoir un aimant mobile au stator. La vitesse angulaire de synchronisme d'une machine à 2P poles est donné par:

$$\Omega = \frac{\omega}{P} \quad (\text{rd/s}) \quad (\text{D.1})$$

L'effet du champ tournant dans le stator va induire un courant dans le rotor, d'après la loi de LENTZ, le champ créé par le courant induit va s'opposer au champ créé par le courant inducteur, donc une création d'un couple moteur qui entrainera le rotor.

Soit la vitesse angulaire du rotor avec $\Omega = \frac{\omega'}{P}$ (D.2)

On définit la vitesse angulaire relative: $\Omega'' = \Omega - \Omega'$ (D.3)

et le glissement par: $g = \frac{\Omega - \Omega'}{\Omega}$ (D.4)

1-2°) Constitution des machines

Dans les machines, on essaie d'avoir le couple électro-magnétique le plus grand possible, donc des courants induits très intenses, pour avoir de faibles pertes joules, il faut que les conducteurs de l'induit aient une très faible résistivité (Cu, Al).

1-3°) Types de rotors

Il existe deux types de rotors définissant deux grandes classes de machines asynchrones:

* Les moteurs à rotors massifs: le rotor est constitué d'un cylindre métallique.

* a) Les moteurs à cage: rotors à simple et double cage d'écuriel. Les conducteurs sont des barres longitudinales reliées à leurs extrémités par des disques du même métal, le tout logé dans la structure rotorique.

b) Les moteurs à rotors bobinés: Au lieu de mettre des "barres", on loge à leur place un bobinage. L'avantage des machines à rotors bobinés est que la résistance rotorique peut être reliée par des balais. Il est alors possible de faire varier la résistance rotorique pour augmenter le couple de démarrage lors de la mise sous tension de la machine, ce qui n'est pas faisable dans le cas des rotors massifs.

D.2 ETUDE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE

Les courants circulants dans les conducteurs rotoriques et statoriques (induit et inducteur) vont créer ainsi des champs tournants. Les enroulements sont traversés par des flux alternatifs proportionnels aux courants qui les engendrent. Pour faciliter les calculs, nous allons considérer **des moteurs** ayant le même nombre de pôles pour le rotor et le stator. Soit ϕ le déphasage entre la tension statorique U et le courant statorique I .

2-1°) Flux du au champ statorique

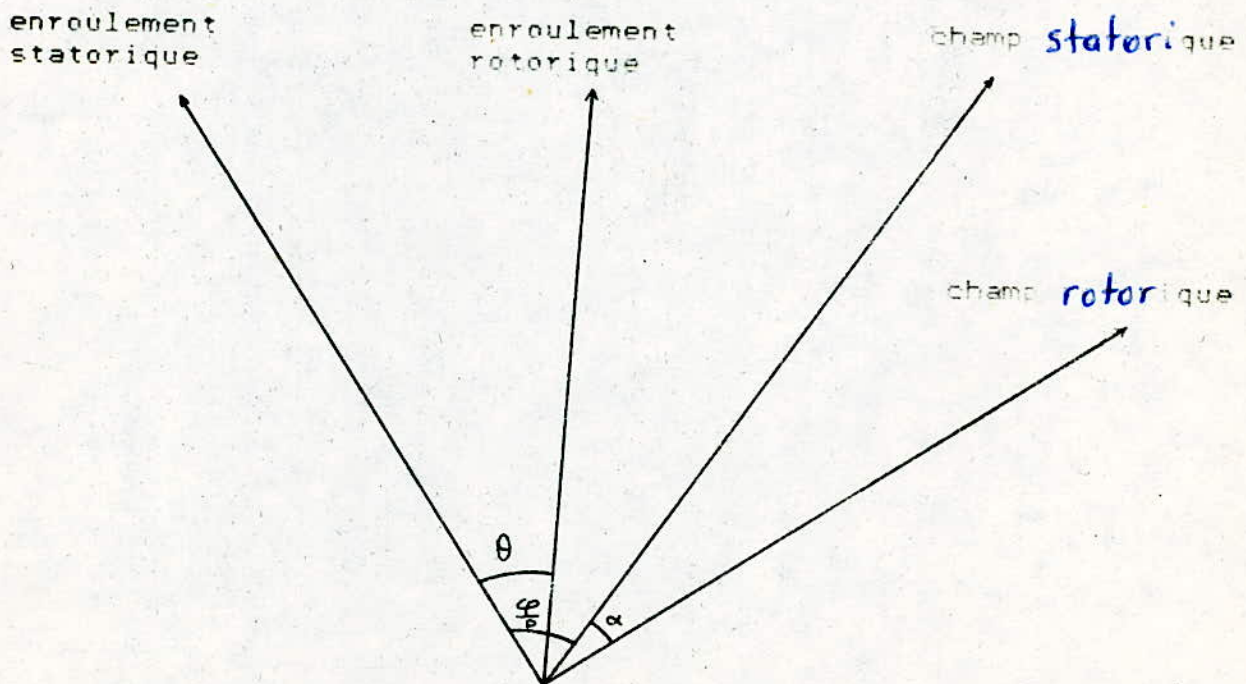


Fig d.1

Il est donné par:

$$\phi_{11} = L_1 I_1 \cos\left(P \left(\Omega \cdot t - \frac{\varphi}{P} \right)\right) = L_1 I_1 \cos(\omega \cdot t - \varphi) \quad (D-5)$$

2-2°) Flux statorique du au champ rotorique

$$\phi_{12} = M I_2 \cos\left(P \left(\Omega \cdot t - \frac{\varphi}{P} - \alpha \right)\right) = M I_2 \cos(\omega \cdot t - \varphi - P \cdot \alpha) \quad (D.6)$$

2-3°) Flux rotorique du au champ statorique

$$\phi_{21} = M I_1 \cos\left(P \left(g \cdot \Omega \cdot t - \frac{\varphi}{P} + \theta \right)\right)$$

$$\phi_{21} = M I_1 \cos(g \cdot \omega \cdot t - \varphi - P \cdot \theta) \quad (D.7)$$

2-4°) Flux rotorique du au champ rotorique

$$\phi_{22} = L_2 I_2 \cos\left(P \left(g \cdot \Omega \cdot t - \frac{\varphi}{P} - \alpha + \theta \right)\right)$$

$$\phi_{22} = L_2 I_2 \cos(g \cdot \omega \cdot t - \varphi - P \cdot \alpha - P \cdot \theta) \quad (D.8)$$

ϕ_{11} et ϕ_{22} sont en phases avec i_1 et i_2

2-5°) Courant statorique

$$i_1 = I_1 \cos(\omega \cdot t - \varphi) \quad (D.9)$$

$$J_1 = I_1 \exp(j(\omega \cdot t - \varphi)) \quad (D.10)$$

2-6°) Courant rotorique

$$i_2 = I_2 \cos(g \cdot \omega \cdot t - \varphi - P \cdot \alpha + P \cdot \theta) \quad (D.11)$$

$$J_2 = I_2 \exp(j(g \cdot \omega \cdot t - \varphi - P \cdot \alpha + P \cdot \theta)) \quad (D.12)$$

2-7°) Courants dus aux flux ϕ_{12} et ϕ_{21}

$$i_1' = I_1 \cos(g \cdot \omega \cdot t - \varphi + P \cdot \theta) \quad (D.13)$$

$$J_1' = I_1 \exp(j(g \cdot \omega \cdot t - \varphi + P \cdot \theta)) \quad (D.14)$$

$$i_2' = I_2 \cos(\omega \cdot t - \varphi - P \cdot \alpha) \quad (D.15)$$

$$J_2 = I_2 \exp(j(\omega \cdot t - \varphi - P \cdot \alpha)) \quad (D.16)$$

2-8°) Flux total statorique

$$\phi_1 = \phi_{11} + \phi_{12} = L_1 J_1 + M J_2 \quad (D.17)$$

2-9°) Flux total rotorique

$$\phi_2 = \phi_{21} + \phi_{22} = M J_1' + L_2 J_2 \quad (D.18)$$

D'après la loi de LENTZ $e = - d\phi / dt$ (notations complexes)
 et en appliquant la loi d'OHM, on aura:

$$U = \frac{d\phi 1}{dt} + R1.i1 \quad (D.19)$$

$$0 = R2.i2 + \frac{d\phi 2}{dt} \quad (D.20)$$

en passant aux notations complexes, et en remplaçant D.10, D.16 et D.17 dans l'expression D.19, nous trouvons:

$$U = R1.J1 + jL1.w.J1 + jM.w.J2 \quad (D.21)$$

et en remplaçant D.12, D.14 et D.18 dans l'expression D.20, nous trouvons:

$$0 = jg.M.w.J'1 + (jL2.w.g + R2).J'2 \quad (D.22)$$

en remplaçant D.10, D.12, D.14 et D.16 dans les expressions D.21 et D.22, nous trouvons:

$$U = (R1 + jL1.w).I1 + jM.w.I2 \quad (D.23)$$

$$0 = jM.g.w.I1 + (jL2.w.g + R2).I2 \quad (D.24)$$

Posons: $L1.w = X1$ $L2.w = X2$ $M.w = Xm$
 Nous aurons alors:

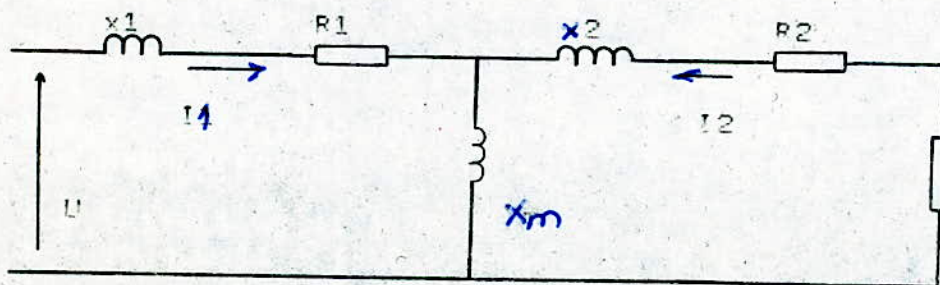
$$U = (R1 + jX1).I1 + jXm.I2 \quad (D.25)$$

$$0 = jXm.g.I1 + (jX2.g + R2).I2 \quad (D.26)$$

En éliminant $I2$ dans l'une des deux dernières expressions, on obtient:

$$U = (R1 + jX1 + \frac{g.Xm^2}{R2 + jX2.g}).I1 \quad (D.27)$$

Nous remarquons que pour un glissement constant, les courbes $U = f(I)$ sont des droites passant par l'origine.
 Des relations D.25 et D.26, nous tirons le schéma électrique équivalent de notre moteur.



$$R2(1-g/g)$$

- I2 : courant ramené du secondaire au primaire
- R2 : résistance rotorique ramené au stator
- X2 : réactance rotorique ramené au stator

Fig d.2

2-10°) Forces électromotrices

En faisant apparaître le flux commun et le flux de fuite, les expressions des inductances deviennent:

$$L1 = L'1 + l1 \quad (D.28)$$

$$L2 = L'2 + l2 \quad (D.29)$$

$$M^2 = L'1 \cdot L'2 \quad (D.30)$$

$l1$ et $l2$: inductances dus aux flux de fuites

$L'1$ et $L'2$: inductances dus aux flux commun

En remplaçant $L1, L2$ et M dans les expressions D.23 et D.24 on aura:

$$U = R1 \cdot J1 + j l1 \cdot \omega \cdot J1 + j(L'1 \cdot \omega \cdot J1 + M \cdot \omega \cdot J2) \quad (D.31)$$

$$0 = R2 \cdot J'2 + j g(l2 \cdot \omega \cdot J'2 + L'2 \cdot \omega \cdot J'2 + M \cdot \omega \cdot J'1) \quad (D.32)$$

Posons:

$$e1 = j(L'1 \cdot \omega \cdot J1 + M \cdot \omega \cdot J2) \quad (D.33)$$

$$e'2 = -j g(L'2 \cdot \omega \cdot J'2 + M \cdot \omega \cdot J'1) \quad (D.34)$$

$$e'2 = -g \frac{M}{L'1} e1 \cdot \exp(-j((1-g) \cdot \omega \cdot t - P \cdot \theta)) \quad (D.35)$$

$e1$: Force contre électro-motrice

$e'2$: Force électromotrice

Pour $g=0$ on aura $J2=0$, donc il n'y a pas de courant induit dans le rotor, dans ce cas: $J1=J0$ (D.36)

$$J1=J0 \text{ d'où } : e1 = j L'1 \cdot \omega \cdot J1 \quad (D.37)$$

En remplaçant D.36 et D.37 dans l'expression D.35 on trouve:

$$e'2 = -j X_m \cdot g \cdot J0 \cdot \exp(-j((1-g) \cdot \omega \cdot t - P \cdot \theta)) \quad (D.38)$$

$$U = R1 \cdot J0 + j l1 \cdot \omega \cdot J0 = R1 \cdot J0 + j l1 \cdot \omega \cdot J0 + j L'1 \cdot \omega \cdot J0 \quad (D.39)$$

$$0 = j X_m \cdot g \cdot J'1 \quad (D.40)$$

De l'expression D.39 nous tirons $J0$:

$$J0 = \frac{U}{R1 + j X1} \quad (D.41)$$

$$U = R1 \cdot J0 + j l1 \cdot \omega \cdot J0 + j L'1 \cdot \omega \cdot J0$$

$$U = R1 \cdot J1 + j l1 \cdot \omega \cdot J1 + J0 \cdot (R1 + j l1 \cdot \omega + j L'1 \cdot \omega) \quad (D.42)$$

$$U = (R1 + j l1 \cdot \omega) \cdot J1 + j X_m \cdot J2$$

$$J0 = J1 + \frac{j X_m}{R1 + j l1 \cdot \omega} \cdot J2 = J1 + \frac{1}{\frac{R1 + j l1 \cdot \omega}{j X_m} + \frac{L'1}{M}} \cdot J2 \quad (D.43)$$

En négligeant les chutes ohmiques et inductives pour le courant $J0$ et en posant:

$$\frac{n1}{n2} = \frac{L'1}{M} \quad \text{et} \quad \frac{n1}{n2} \gg \frac{R1+j11.w}{jXm}$$

L'expression de J_0 en fonction de J_2 devient:

$$J_0 = J_1 + \frac{n2}{n1} . J_2 \quad (D.44)$$

Les expressions D.31 et D.32 deviennent lorsque le glissement $g=1$:

$$U = R1.J1 + j11.w.J1 + e1 \quad (D.45)$$

$$0 = \frac{R2}{g} . J2 + j12.w.J2 + \frac{n2}{n1} . e1 \quad (D.46)$$

Lorsque le moteur tourne, il se comporte comme un transformateur dont la résistance du secondaire est $R2/g$, autrement dit comme un transformateur fermé sur une charge équivalente à:

$$\frac{R2}{g} - R2 = \frac{R2.(1-g)}{g}$$

Au synchronisme c'est à dire pour $g=0$, la résistance de charge est infinie.

Des relations D.45 et D.46 nous tirons la relation suivante:

$$J2 = \frac{n2}{n1} . \frac{(U-R1.J1-j11.w.J1)}{R2 + j12.w.g} : g \quad (D.47)$$

En négligeant les chutes ohmiques et inductives et en prenant le module de l'expression D.47, on obtient:

$$I2 = \frac{n2}{n1} . \frac{g.U}{(R2^2+(12.w.g)^2)^{0.5}} \quad (D.48)$$

D.3 CARACTERISTIQUE DU MOTEUR (voir annexe D)

3-1°) Calcul de la puissance pour une phase

En remplaçant D.14 et D.13 dans l'expression D.32 on obtient:

$$0 = (R2+jX2.g).J2 + jXm.J1 \quad (D.49)$$

$$U = (R2+jX1.g).J1 + jXm.J2 \quad (D.50)$$

La puissance absorbée par un moteur est donnée par la relation:

$$P = \frac{1}{2} U.I \quad (D.51)$$

D'où en remplaçant les expressions D.10 et D.16 dans les relations D.49 et D.50, nous trouvons:

$$P = (R_1 + \frac{g.R_2.X_m^2}{R_2^2 + (g.X_2)^2}) . I_1^2 + j(X_1 - \frac{X_2.(g.X_m)^2}{R_2^2 + (g.X_2)^2}) . I_1^2 \quad (D.52)$$

* Puissance active: Elle comprend la puissance mécanique fournie par le moteur, les puissances dissipées par effet joule dans le rotor et le stator, et les pertes mécaniques " frottements, vibrations ... "

$$P_a = (R_1 + \frac{g.R_2.X_m^2}{R_2^2 + (g.X_2)^2}) . I_1^2 \quad (D.53)$$

$R_1.I_1^2$: pertes joules dans le stator

$R_2.I_2^2$: pertes joules dans le rotor

En négligeant les pertes mécaniques, on trouve pour la puissance utile :

$$P_u = \frac{R_2.g.(1-g).U^2}{(R_1.g + R_2)^2 + ((x_1 + x_2).g)^2} \quad (D.54)$$

$$I_1^2 = I_2^2 . \frac{R_2^2 + (g.X_2)^2}{(g.X_m)^2}$$

* Puissance réactive

$$Q = (X_1 - \frac{X_2.(g.X_m)^2}{R_2^2 + (g.X_2)^2}) . I_1^2 \quad (D.55)$$

soient: $X_1 = x_1 + X'_1$ et $X_2 = x_2 + X'_2$

$x_1.I_1^2$: pertes fer dues à l'inductance statorique "pertes fer statorique"

$x_2.I_2^2$: pertes fer dues à l'inductance rotorique "pertes fer rotorique"

X'_1 et X'_2 : réactances dus aux flux commun

$$Q' = X'_1.I_1^2 + X'_2.I_2^2$$

Q' : puissance réactive nécessaire pour magnétiser le circuit.

3-2°) Calcul du couple

En supposant que le rotor tourne à la vitesse angulaire,

$$\Omega' = \frac{\omega}{p} . (1-g)$$

L'expression du couple est donnée par la relation suivante:

$$Pu = \frac{C.w}{P} \cdot (1-g) \quad (D.56)$$

P_u : puissance utile fournit par le moteur.
En remplaçant l'expression D.54 dans l'expression D.56 alors,

$$C = \frac{g.R2.P.U^2}{w((g.R1+R2)^2 + ((x1+x2).g)^2)} \quad (D.57)$$

3-3°) Calcul du rendement en ne gligeant les pertes mecaniques

Il est donné par :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = A.B \quad (D.58)$$

avec $A = \frac{R2.g.(1-g).U^2}{((R1.g+R2)^2 + ((x1+x2).g)^2)}$ et

$$B = \frac{\left(\left(R1 + \frac{g.R2.Xm^2}{R2^2 + (g.X2)^2} \right)^2 + \left(X1 - \frac{X2.(g.Xm)^2}{R2^2 + (g.X2)^2} \right)^2 \right)^{0.5}}{\left(R1 + \frac{g.R2.Xm^2}{R2^2 + (g.X2)^2} \right)}$$

3-4°) Calcul du facteur de puissance

L'expression du facteur de puissance est donnée par :

$$\cos(\phi) = \frac{P_a}{P_{tot}} = \frac{\text{Puissance apparente}}{\text{Puissance totale}}$$

$$\cos(\phi) = \frac{R1 + \frac{g.R2.Xm^2}{R2^2 + (g.X2)^2}}{\left(\left(R1 + \frac{g.R2.Xm^2}{R2^2 + (g.X2)^2} \right)^2 + \left(X1 - \frac{X2.(g.Xm)^2}{R2^2 + (g.X2)^2} \right)^2 \right)^{0.5}} \quad (D.59)$$

A cause des difficultés nous avons été contraint de traiter le problème par deux méthodes différentes ayant chacune ses avantages et ses inconvénients .

Première méthode : Nous disposons d'un certain nombre de moteurs déjà construits .

On fait des essais pour la détermination de R_1, R_2, X_1, X_2 et X_m et à partir des relations précédentes, on trace la courbe $U = f(I)$ pour les puissance maximale.

Deuxième méthode : Elle consiste à définir les caractéristiques auxquels doit être soumis notre moteur et à partir de cela on essaie de concevoir un moteur dont la courbe $U = f(I)$ soit la plus proche possible de celle des panneaux solaires .

3-5°) Commentaires ~~~~~

1° méthode: Les paramètres R_1, R_2, X_1, X_2 et X_m sont imposés et sont propres à chaque machine, donc le tracé $U = f(I)$ à puissance maximale est caractéristique pour chaque moteur, donc impossibilité de jouer sur ces paramètres pour se rapprocher de la courbe $U = f(I)$ pour P_{max} des panneaux solaires, ce qui représente un inconvénient.

Son avantage réside dans le fait qu'elle est facile à programmer et ceci en donnant les paramètres $R_1, R_2, X_1, X_2, X_m, g, U_n, I_n$ et néta.

2° méthode: Elle consiste à donner les caractéristiques auxquelles doit être soumise notre machine, et à l'aide des relations de constructions de machines, on essaie de concevoir ce moteur .

Son avantage, est qu'on peut jouer sur certains paramètres pour s'approcher le plus possible de la courbe des panneaux solaires. Son inconvénient est que le cout de la machine sera très élevé vu qu'elle sera fabriquée pièce par pièce, contrairement à ceux de la première méthode qui sont fabriquées à la chaîne, donc cout minimisé au maximum .

La réalisation de programme pour le traitement par ordinateur est très difficile vu qu'il y a des paramètres tirés à partir de courbes statiques faites sur plusieurs machines différentes, et existence de formules empiriques, ce qui nous conduit à vérifier chaque fois que les données du cahier de charge ont bien été respectées .

D.4 CONSTRUCTION DU MOTEUR (voir annexe D)

On se propose dans ce chapitre de calculer les résistances et réactances relatives aux bobinages statoriques et aux barres rotoriques. Les résistances et les réactances des machines électriques constituent les éléments essentiels qui permettent d'étudier les différents régimes de fonctionnement de la machine. Il est à signaler que lors de notre construction, on a adopté les conventions et tolérances Soviétiques.

Cahier de charge ~~~~~

Puissance nominale 25 Kw

Tension nominale 220 V

Facteur de puissance nominale 0,89

Vitesse de synchronisme 1500 tr/mn

Nombre de paire de poles $P=1$

Nombre de phase 3

Rendement nominal 0,89

D.5 CONCLUSION

Dans la construction du moteur, mis à part les propriétés de celui-ci, il est nécessaire de mettre l'action sur le côté économique lors de cette construction et sur le côté rentabilité lors de son exploitation (efficacité, robustesse, longévité, ect. Les facteurs dont il faut tenir compte en construisant une machine pour que celle-ci réponde au travail qui lui est demandé sont l'échauffement (résistance aux contraintes thermiques et diélectrique) et le rendement. Il faut aussi tenir compte de la capacité de surcharge, des conditions de démarrage et du facteur de puissance.

E ASSOCIATION ONDULEUR-MOTEUR ASYNCHRONE

E.1 Introduction

Après avoir passé en revue les différents groupe constituant ce système, nous allons étudier l'association panneaux-convertisseur-moteur en tant que système. La figure e.1 nous donne une des combinaisons possible pour réaliser ce système.

Le fonctionnement d'un moteur asynchrone en courant alternatif nous impose l'utilisation d'un convertisseur CC-AC du fait que les panneaux solaires délivrent une tension continue, il est aussi nécessaire d'insérer un système de stockage pour une éventuelle surdimension de la centrale solaire et contre toute influence du moteur sur les panneaux solaires en cas de surcharge de ce dernier.

E.2 Etude de la chaîne

Ou le coût élevé des panneaux solaires par rapport aux autres éléments, il est nécessaire d'optimiser le rendement de la chaîne. Pour réaliser cette étude, il existe plusieurs méthodes :

- * méthode mathématique .
- * méthode graphique .
- * méthode expérimentale .

a) méthode mathématique : Elle consiste à modéliser chaque élément et d'étudier mathématiquement le point de fonctionnement en optimisant le rendement.

b) méthode graphique : Elle consiste à étudier les abaques fournis avec les composants de la chaîne et essayer à partir de cela d'optimiser le rendement.

c) méthode expérimentale : Elle nécessite la réalisation de plusieurs systèmes et faire une comparaison de ses ensembles. C'est une méthode très coûteuse.

E.3 Description de la méthode d'analyse

Le but recherché est de trouver une relation liant directement la puissance fournie par les panneaux solaires à celle fournie par le moteur à l'aide des relations $I=f(V)$ des panneaux et $U=f(I)$ du moteur .

On trace simultanément les courbes $I=f(V)$ et $U=f(I)$ dans le plan courant-tension et déduire les courbes $I_p=f(V)$ à puissance maximale pour les panneaux solaires et $U_m=f(I)$ à puissance nominale pour le moteur .

L'optimisation est obtenue quand les deux courbes se superposent.

E.4 Analyse du système

* les accumulateurs : Nous avons évité les systèmes simples (sans accumulateurs) et ceci dans le but de ne pas court-circuiter les panneaux par le moteur en cas d'arrêt ou de surcharge, afin d'éviter aussi un fonctionnement dans la zone dangereuse pour les panneaux solaires.

Les inconvénients de ce système sont sa complexité, une faible diminution du rendement totale et la nécessité de protéger les accumulateurs contre une éventuelle surcharge.

* moteur : Les moteurs à cage sont très robustes et nécessitent peu d'entretien.

* convertisseur : Le choix du convertisseur (onduleur) est très important, il doit fournir la plus parfaite sinusoïde dans une meilleure neutralisation des harmoniques.

La présence des harmoniques fait augmenter les pertes et conduit à un échauffement excessif de la machine, ce qui influe énormément sur le rendement.

E.5 Interprétation de la courbe tracée (voir annexe E)

Soient les courbes :

- a : puissance maximale fournit par les panneaux solaires (moteur fonctionnant à glissement maximale)
- a' : puissance apparente maximale du moteur
- b : puissance active maximale du moteur
- c : puissance maximale fournit par les panneaux optimisées (moteur fonctionnant à glissement nominale)
- c' : puissance apparente nominale du moteur (moteur fonctionnant à glissement nominale)
- d : puissance active nominale
- e : puissance utile nominale

La puissance fournit par les panneaux est transmise sous forme de puissance active au système constitué par les batteries d'accumulateurs-convertisseur-moteur. Une partie de cette énergie est perdue dans les batteries, l'autre dans le convertisseur et les systèmes électroniques de protection, ce qui explique l'écart entre les courbes (a et a'), cet écart représente les pertes dans les accumulateurs et le convertisseur, il en est de même pour les courbes (c et c'). Sachant que le moteur fonctionne à glissement nominale, la puissance absorbée par celui-ci est plus faible que la puissance absorbée à glissement maximale, donc il est inutile de dimensionner la centrale pour qu'elle nous fournisse toute cette puissance.

Nous pouvons constater que la puissance maximale fournit par les panneaux solaires à glissement maximale (courbe a) est très grande par rapport à la puissance apparente absorbée par le moteur à glissement nominale (courbe c'). L'écart entre les courbes (a et c') est plus importante que l'écart (c et c') dû aux pertes dans les systèmes de transition (accumulateurs -

convertisseur). La différence entre ces deux écarts va être emmagasinée dans le système d'accumulateur, si elle est très importante, elle risque de détériorer les batteries qui vont jouer le rôle d'une seconde charge pour le système, ce qui diminuera considérablement le rendement du système (voir annexe E).

Pour optimiser le rendement il est nécessaire que la puissance fournie par les panneaux solaires soit totalement absorbée par le système sans qu'il y ait création de seconde charge, pour obtenir cela il faut trouver une disposition de panneaux qui peut nous fournir une puissance :

$$P = P_{ap} + P_{ertes} \text{ (système de transition)}$$

Nous pouvons voir que cette disposition est obtenue en disposant moins de modules en parallèle (courbe c).

Nous remarquons également pour un système optimisé, presque toute la puissance fournie par la centrale est absorbée par le moteur.

$P_{ap} = P$ (fournit par les panneaux) - Pertes (système de transition)
Ce qui explique l'augmentation du rendement (voir annexe E).

E.6 Calcul du rendement du système

Le rendement des panneaux solaires est donné par le constructeur il est de 14 %, celui de nos batteries est de 80 % (nous supposons qu'on a de bonnes batteries).

Le convertisseur utilise six transistors de puissance ayant chacun une chute de tension $\approx 1V$, le courant nominal par phase calculé par programme est de 50,9 A, d'où une perte de 50,9 W (1.50,9) par phase, donc 152,7 W (3.50,9) pour les trois phases. Son rendement est de :

$$\frac{25000 - 152,7}{25000} = 0,993892 \text{ , soit } 99 \%$$

Le rendement du moteur est de 97 % (calculé par programme).
Soit :

- nb : rendement des batteries .
- np : rendement des panneaux solaires .
- nc : rendement du convertisseur .
- nm : rendement du moteur .
- nt : rendement total du système .

$$nt = nb \cdot np \cdot nc \cdot nm$$

$$nt = 10,8 \%$$

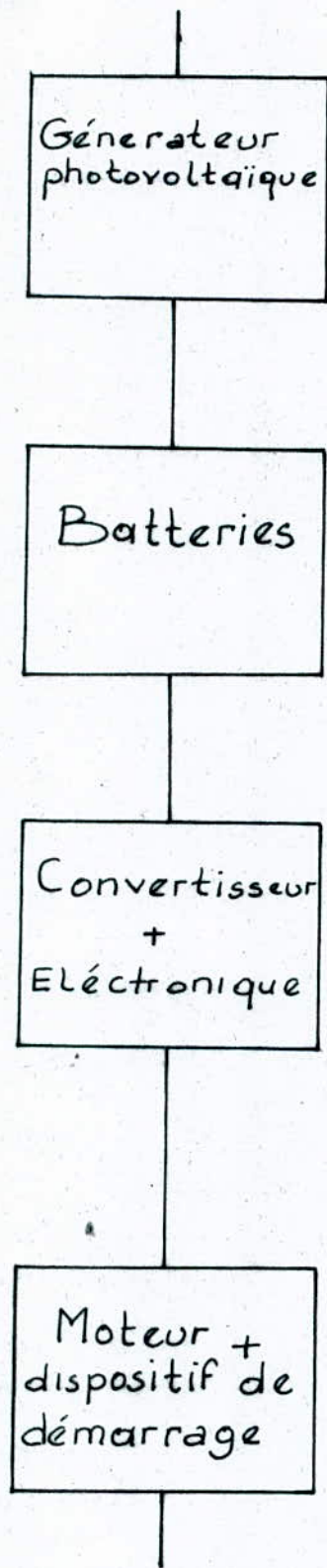
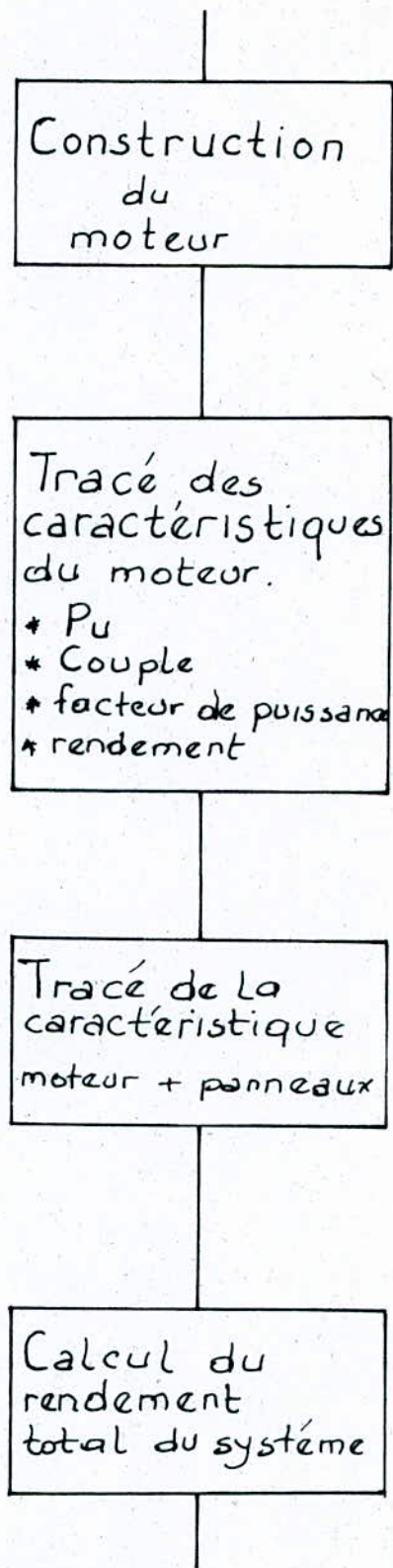
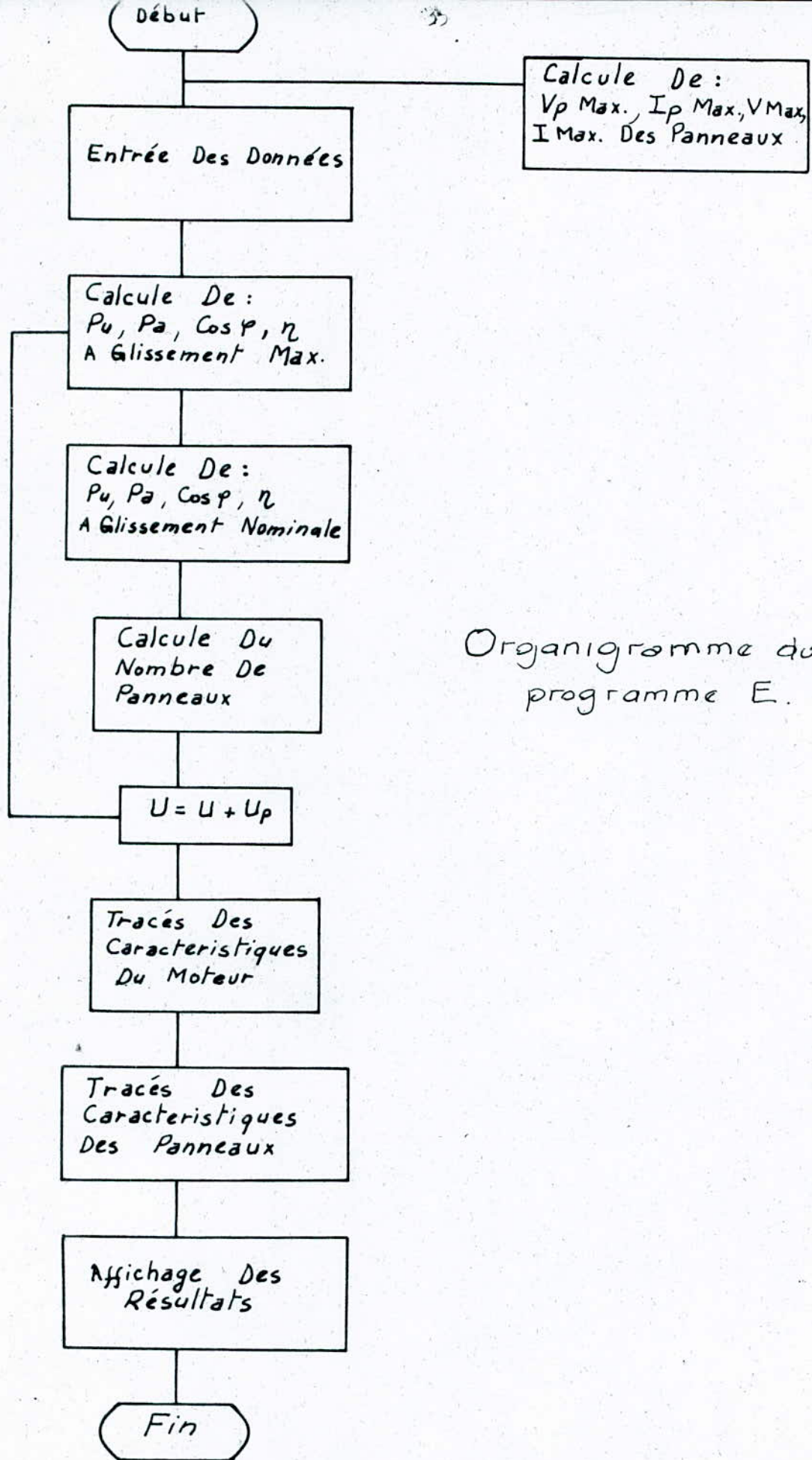


Schéma synoptique du système



Organigramme de travail



Organigramme du programme E.

C O N C L U S I O N

Dans cette étude, nous avons pris un cahier de charge pour la construction d'une machine asynchrone. Cette machine doit correspondre aux caractéristiques mécaniques et électriques qu'on désire avoir, à partir de cela, nous avons choisi un type de convertisseur continu-alternatif donnant le moins d'harmoniques et ceci afin de diminuer les pertes. Le système d'accumulateur est étudié de manière à pouvoir nous fournir un courant qui peut nous faire démarrer cette machine. La centrale est dimensionnée de sorte qu'elle puisse nous fournir toute la puissance demandée par le moteur. Comme nous avons pu voir précédemment, le rendement du système dépend du nombre et de la disposition des modules. Pour avoir une transmission de puissance maximale au système il est nécessaire de faire une modélisation de ce système avant sa réalisation et ceci afin de diminuer le coût de la réalisation du projet, et aussi afin d'optimiser le rendement de celui-ci.

ANNEXE

* *
* *
* ANNEXE *
* *
* A *
* *
* *

```

10 REM *****
20 REM ***** TRACE DE L'EMITTANCE MONOCHROMATIQUE D'UN CORPS NOIR *****
30 REM *****
40 CLS
50 C1 = 3.74E+08
60 C2 = 14400!
70 DEF FNM(LAMBDA,T) = C1*LAMBDA^-5/(EXP(C2/(LAMBDA*T))-1)
80 DIM C1(6),T(6),CA(6)
90 SCREEN 3
100 VIEW (1,1)-(379,379),,1
110 VIEW (5,5)-(375,375),,1
120 WINDOW (-3,-20)-(30,20)
130 FOR I=1 TO 6
140 READ T(I)
150 NEXT I
160 DATA 300,500,1000,2000,4000,6000
170 FOR J=1 TO 6
180 T=T(J)
190 LAMBDA=.1
200 Y=C2/(LAMBDA*T)
210 IF Y>87 THEN 340
220 X=LAMBDA+.01
230 A21=FNM(LAMBDA,T)
240 A1 =LOG(FNM(LAMBDA,T))
250 A2=LOG(FNM(X,T))
260 A22=FNM(X,T)
270 B1=LAMBDA
280 B2=X
290 LINE (B1,A1)-(B2,A2)
300 IF C1(J) > A1 THEN 340
310 C1(J)=A1
320 C3(J)=A21
330 C2(J)=LAMBDA
340 LAMBDA=LAMBDA+.01
350 IF LAMBDA < 25 THEN 200
360 NEXT J
370 LINE (-1,0)-(28,0):LINE (0,-18)-(0,18)
380 FOR I=-15 TO 15 STEP 5
390 LINE (-.2,I)-(.2,I)
400 NEXT I
410 FOR J =0 TO 25 STEP 5
420 LINE (J,-.2)-(J,.2)
430 NEXT J
440 LINE (0,18)-(-.5,17):LINE (0,18)-(.5,17)
450 LINE (27,.5)-(28,0):LINE (28,0)-(27,-.5)
460 LOCATE 19,51:PRINT "M(lambda,T)":LOCATE 19,66:PRINT"lambda"
470 LOCATE 4,2:PRINT*15":LOCATE 7,2:PRINT*10":LOCATE 10,3:PRINT*5":LOCATE 12,3:F
RINT*0":LOCATE 15,2:PRINT*-5" LOCATE 18,2:PRINT*-10":LOCATE 21,2:PRINT*-15"

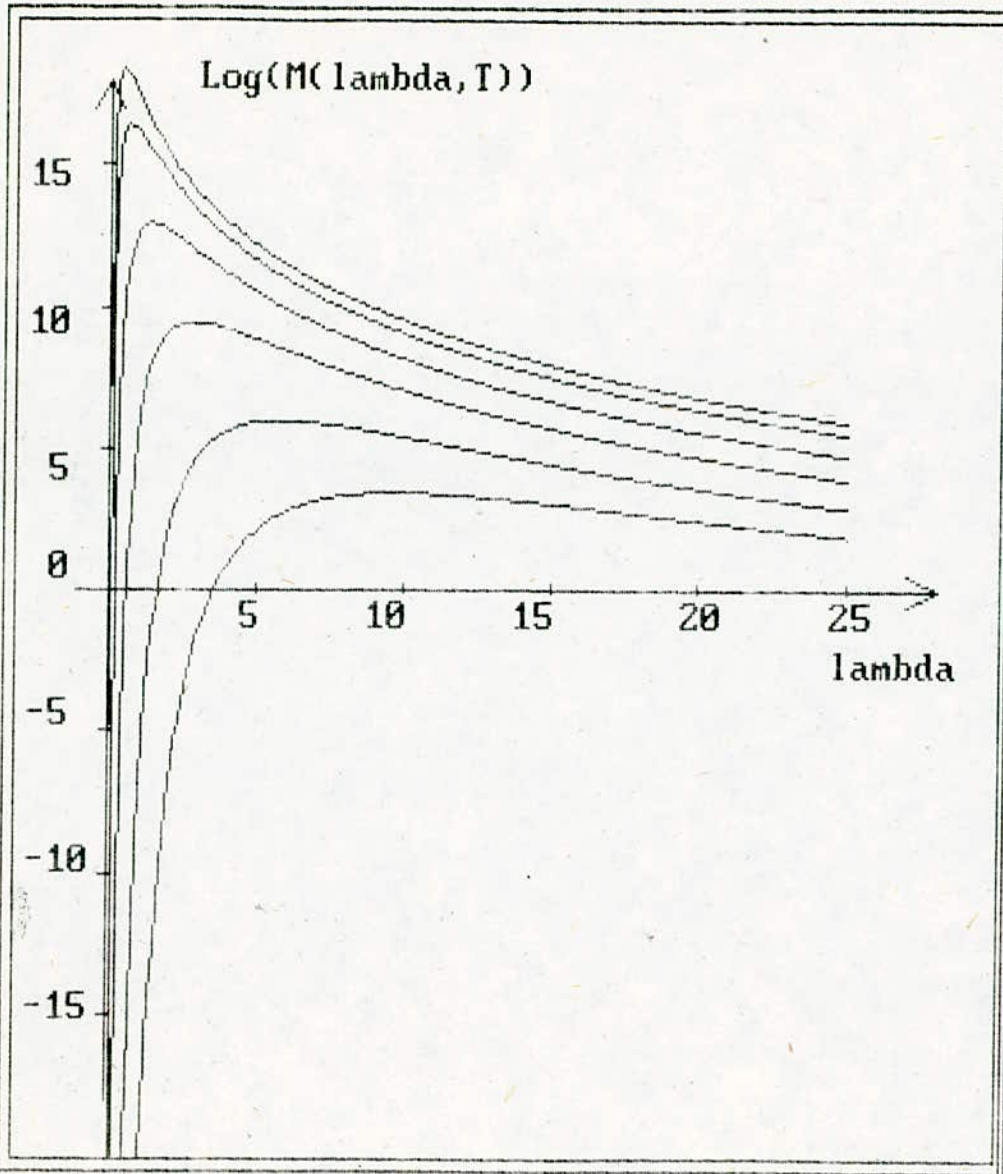
```



```

480 LOCATE 13,12:PRINT"5" LOCATE 13,18:PRINT"10" LOCATE 13,25:PRINT"15" LOCATE 1
3,33:PRINT"20" LOCATE 13,40:PRINT"25"
490 LOCATE 2,10:PRINT "Log(M(lambda,T))" LOCATE 14,40 PRINT "lambda"
500 VIEW (379,1)-(638,379),,1
510 VIEW (383,5)-(635,375),,1
520 LOCATE 2,49 PRINT "émittance maximale pour diffe-" LOCATE 3,49:PRINT"rente
valeur de la température"
530 FOR I =1 TO 6
540 LOCATE 6+I,50 PRINT "M(", (CINT(10*C2(I)))/10, ", "T(I)")="C3(I) LOCATE 12+I,5
0:PRINT"LogM(", (CINT(10*C3(I)))/10, ", "T(I)")="C1(I)
550 NEXT I
560 VIEW (385,315)-(633,368),,1
570 VIEW (390,298)-(628,313),,1
580 LOCATE 21,50 PRINT "émittance monochromatique d'un"
590 LOCATE 22,50 PRINT "corps en fonction de lambda et"
600 LOCATE 23,53:PRINT"de la température"
620 COPY
630 END

```



émittance maximale pour différente valeur de la température

- M(9.7 , 300)= 31.11852
- M(5.8 , 500)= 400.1977
- M(2.9 , 1000)= 12806.32
- M(1.5 , 2000)= 408687
- M(.7 , 4000)= 1.307408E+07
- M(.5 , 6000)= 9.931091E+07
- LogM(9.7 , 300)= 3.437803
- LogM(5.8 , 500)= 5.991959
- LogM(2.9 , 1000)= 9.457694
- LogM(1.5 , 2000)= 12.92071
- LogM(.7 , 4000)= 16.38614
- LogM(.5 , 6000)= 18.41377

M(lambda, T)	lambda
--------------	--------

émittance monochromatique d'un corps en fonction de lambda et de la température


```

1 REM ***** TRACE DE LA COURBE DES PANNEAUX *****
10 CLS
20 SCREEN 3
30 IPH = 200
40 Q = 1.6E-19
50 IO = .02
60 N = 1
70 K = 1.38E-23
80 T = 300
90 DEF FNI(V) = IPH - IO * (EXP(Q * V / (2 * K * T)) - 1)
100 X = 0
110 A = FNI(X)
120 IF A < AMAX THEN 140
130 AMAX = A
140 IF X < BMAX THEN 160
150 BMAX = X
160 X = X + .01
170 IF X < .48 THEN 110
180 VIEW (1,1)-(379,379),,1
190 VIEW (5,5)-(375,375),,1
200 WINDOW(-.1,-.1)-(1.2,1.2)
210 LINE(0,0)-(0,1.1):LINE(0,0)-(1,1,0)
220 REM ***** TRACE DE LA COURBE D'UNE CELLULES *****
230 V = 0
240 V1 = V + .0002
250 A1 = FNI(V)
260 IF A1 < 0 THEN 420
270 A2 = FNI(V1)
280 B = 2 * BMAX
290 C = 2 * AMAX
300 LINE(V/B, A1/C) - (V1/B, A2/C)
310 C1 = A1 * V
320 IF D1 > C1 THEN 360
330 D1 = C1
340 VMAX = V
350 IPMAX = A1
360 REM ***** TRACE DE LA COURBE DE DEUX CELLULES MISENT EN SERIES *****
370 LINE(V/BMAX, A1/(2 * AMAX)) - (V1/BMAX, A2/(2 * AMAX))
380 REM ***** TRACE DE LA COURBE DE DEUX CELLULES MISENT EN PARALLELES *****
390 LINE(V/(2 * BMAX), A1/AMAX) - (V1/(2 * BMAX), A2/AMAX)
400 V = V + .0002
410 IF V < .48 THEN 240
420 FOR J = 0 TO 1 STEP .1
430 LINE(J, .01) - (J, -.01)
440 NEXT J
450 FOR J = 0 TO 1 STEP .1
460 LINE (-.01, J) - (.01, J)

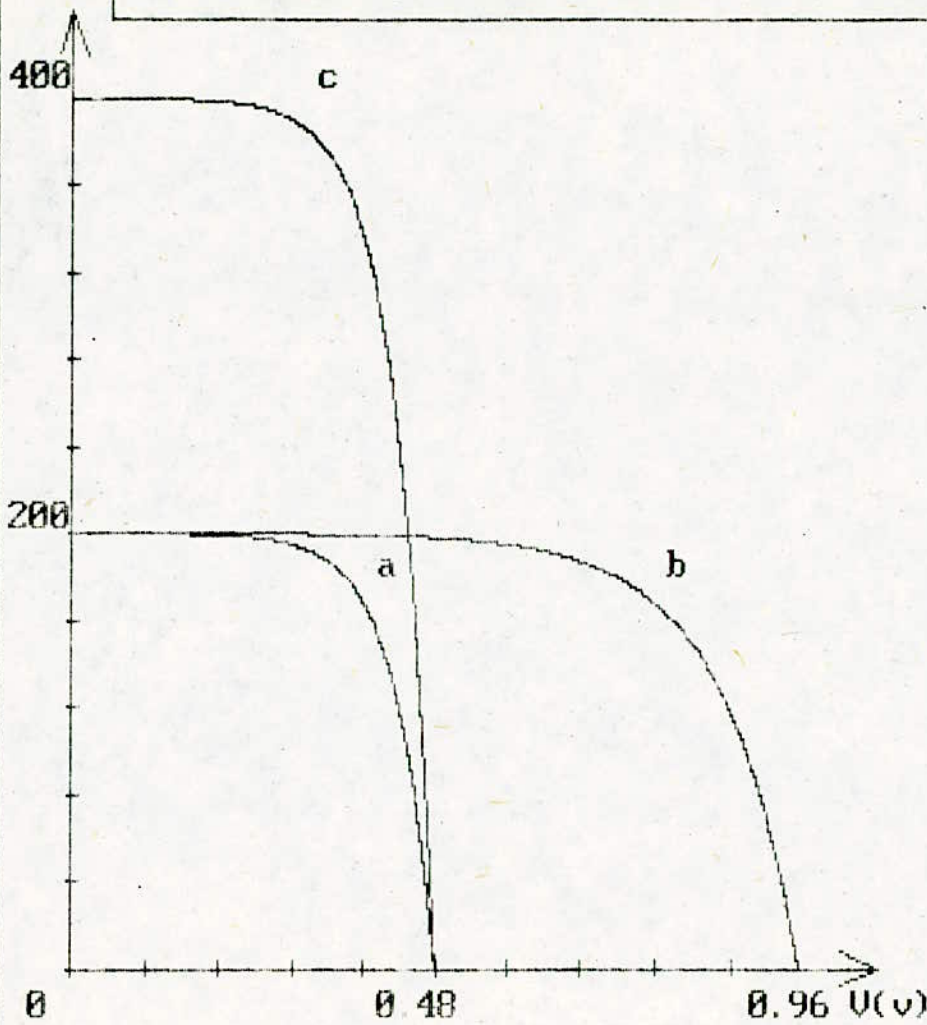
```

```

460 LINE (-.01,J)-(.01,J)
470 NEXT J
480 LINE (.02,1.05)-(0,1.1):LINE (-.02,1.05)-(0,1.1)
490 LINE (1.05,-.02)-(1.1,0):LINE (1.1,0)-(1.05,.02)
500 VIEW(379,1)-(638,379),,1
510 VIEW(383,5)-(635,375),,1
520 VIEW(50,10)-(370,35),,1
530 LOCATE 2,8:PRINT"CARACTERISTIQUES DES CELLULES SOLAIRES"
540 LOCATE 4,49:PRINT"b:Deux cellules misent en serie" LOCATE 5,49:PRINT"C:Deux
cellules misent" LOCATE 6,49:PRINT"en paralleles"
550 LOCATE 3,49:PRINT"a:Caracteristique d'une cellule"
560 LOCATE 11,49:PRINT"Valeur de la tension et du cour" LOCATE 12,49:PRINT"ant p
our une puissance maximale"
570 LOCATE 14,50:PRINT"a:"VMAX LOCATE 14,65:PRINT IPMAX
580 LOCATE 15,50:PRINT"b:"2*VMAX LOCATE 15,65:PRINT IPMAX
590 LOCATE 16,50:PRINT"c:"VMAX LOCATE 16,65:PRINT 2*IPMAX
600 LOCATE 2,2:PRINT "I(ma)" LOCATE 23,43:PRINT"V(v)"
610 VIEW(385,7)-(633,100),,1
620 VIEW (385,150)-(633,200),,1
630 VIEW (388,202)-(630,278),,1
640 VIEW (385,280)-(633,310),,1
650 LOCATE 4,17:PRINT"0" LOCATE 14,20:PRINT"a" LOCATE 14,34:PRINT"b" LOCATE 23,
0:PRINT"0.48" LOCATE 4,2:PRINT "400" LOCATE 13,2:PRINT "300" LOCATE 23,3:PRINT
0":LOCATE 23,38:PRINT "0.96"
660 LOCATE 19,55:PRINT"V(v)" LOCATE 19,70:PRINT"I(ma)"
670 COPY
680 END

```


I (ma) CARACTERISTIQUES DES CELLULES SOLAIRES



a: Caractéristique d'une cellule
 b: Deux cellules misent en serie
 c: Deux cellules misent en paralleles

Valeur de la tension et du courant pour une puissance maximale

a:	.3682051	175.4125
b:	.7364101	175.4125
c:	.3682051	350.825

U (v)	I (ma)
---------	----------

*
*
* ANNEXE *
*
* D *
*
*

LISTE DES SYMBOLES UTILISES DANS LE PROGRAMME
~~~~~

F1.....fréquence  
N1.....vitesse de rotation du champ magnétique tournant  
KE.....coefficient qui tient compte des chutes ohmiques dans  
l'enroulement du stator  
PAP.....puissance apparente  
D1.....diametre interne du stator  
DEXT1.....diametre externe du stator  
TAU.....pas polaire du stator  
BDELTA.....induction magnétique dans l'entrefer qui caractérise  
les sollicitations magnétiques  
A1.....charge lineaire qui caractérise les sollicitations  
électriques des matériaux actifs de la machine  
KZ.....facteur de saturation  
KBETA1.....facteur de forme du champ magnétique dans l'entrefer  
AB1.....nombre de branchements en parallèle  
KBETA = KABETA1  
BETA.....facteur d'enroulement du 5° et 7° harmoniques  
Q1.....entier permettant d'éliminer les irrégularités de la  
machine  
Z1.....nombre d'encoches du stator  
ADELTA.....facteur de couverture idéal des poles  
KD1.....coefficient de distribution  
KR1.....coefficient de raccourcissement  
KB1.....facteur de bobinage  
CA.....constante d'ARNOLD  
KA.....coefficient d'ESSON  
L1.....longueur de la machine  
LAMBDA.....facteur géométrique  
DELTA.....valeur de l'entrefer  
ALPHA1.....angle entre deux encoches successives  
Y1.....pas d'enroulement  
LAMBDA1.....déplacement en encoches entre deux debuts  
UE.....nombre de conducteurs effectifs  
UE = NE  
A21.....charge lineaire  
NE2.....nombre de spires par phase  
SPR1.....section d'un conducteur effectif  
DPR1.....diametre du conducteur  
DIS1.....diametre du conducteur avec isolant  
PHIDELTA.....flux magnétique dans l'entrefer  
BDELTA1.....induction maximale dans l'entrefer  
HZ1.....hauteur de l'encoche du stator  
HJ1.....hauteur du joug du stator  
KAC1.....facteur de remplissage d'acier  
BZMAX1.....induction dans les dents du stator  
Z2.....nombre d'encoches du rotor  
BBIAS.....biais d'encoches du rotor  
DEXT2.....diametre externe du rotor  
T2.....pas dentaire du rotor  
IPR2.....courant réduit du rotor  
A2.....charge lineaire du rotor  
IBAR.....courant de la barre du rotor



JPRBAR.....densite de courant dans la barre du rotor  
 QBAR.....section de la barre du rotor  
 IANN.....courant dans l'anneau de court-circuit  
 JANN.....densite de courant dans l'anneau de court-circuit  
 QANN.....section de l'anneau de court-circuit  
 QBAR1.....section de l'encoche du rotor  
 JBAR1.....densite de courant précisé dans la barre du rotor  
 MU0.....permeabilite magnétique du vide  
 HDELTA.....champ magnétique dans l'entrefer  
 KDELTA.....facteur de CARTER  
 FDELTA.....force magnéto-motrice dans l'entrefer  
 HCZ1.....champ magnétique tiré de BZ1, de la courbe de  
 magnétisation  
 HZ1.....profondeur de l'encoche du stator  
 FZ2.....force magnéto-motrice des dents du rotor  
 FZ1.....force magnéto-motrice des dents du stator  
 KZROTOR.....facteur de saturation de la zone des dents  
 FAC1.....force magnéto-motrice du joug du stator  
 LAC1.....longueur de l'acier du joug du stator  
 KPRAC.....facteur tenant compte de la non uniformite du champ  
 magnétique dans le joug du stator  
 FAC2.....force magnéto-motrice dans le joug du rotor  
 LAC2.....longueur de l'acier du joug du rotor  
 KPRAC2.....facteur tenant compte de la non uniformite du champ  
 magnétique dans le joug du rotor  
 KMU.....facteur de saturation totale de la machine  
 IMU.....courant magnétisant  
 CP.....constante de PETROV  
 KF.....facteur qui tient compte de l'augmentation de la  
 resistance due au fuite magnétique  
 R075.....resistivité à 75°  
 HANN.....hauteur de l'anneau en court-circuit  
 BANN.....largeur de l'anneau en court-circuit  
 QANN.....surface de l'anneau en court-circuit  
 DANN.....diametre de l'anneau en court-circuit  
 RES2.....resistance totale de l'enroulement rotorique  
 KRED.....facteur de reduction  
 E.....force électro-motrice de la machine  
 XRE12.....reactance d'induction mutuelle entre les enroulements  
 du stator et rotor due à l'harmonique fondamentale du  
 flux principal  
 LAMBDA0.....permeance (facteur sans dimension)  
 LAMBDAE1.....permeance d'encoche qui tient compte des dimensions  
 géométriques de l'encoche et du remplissage  
 LAMBDAPE1.....coefficient de dispersion de la partie frontale de  
 l'enroulement  
 LAMBDAPIE1.....coefficient de dispersion différentielle  
 XRE1.....reactance de fuite du stator  
 PE.....perimètre de l'anneau  
 DENC1.....largeur de la barre de court-circuit  
 DENC1=BR0T  
 FCIR.....f.m.m totale du circuit  
 BJ1.....induction dans le joug du stator  
 J1.....densite de courant réelle  
 JPR1.....densite de courant



LDELTA1=L1

IN1.....courant nominale par phase

```
1 REM *****POSEID03*****
10 CLEAR
20 CLS
30 PN=25000
40 UN=220
50 M1=3
60 CSPHIN=.89
70 NETAN=.89
80 P=1
90 PI=3.14
100 F1=50
110 REM *****
120 REM ***** ENTREE DES DONNEES POUR LE TRACE DES FONCTIONS *****
130 REM ***** STATISTIQUES DES MOTEURS ASYNCHRONES *****
140 REM *****
150 CLS
160 DIM D1(15),PC(15),BDELTA(15),TAU(15),A1(15),DELTA(15),DE1(15),KPRAC(15),BAC(
15),KBETA(15),BETA(15),H(30),BSAT(15),BO(15),KZ(15),KZ1(15),ADELTA(515),X(30),Y(
30),BDELTA1(15),B(30),H1(15),KBETA1(15),PHI1(15),HFDELTA(15),KI1(15),KI(15),KSI(
15)
170 FOR I=1 TO 12
180 READ D1(I)
190 NEXT I
200 DATA 7,8,8,10,11,12,14.5,16.5,21.1,23.3,27,32.5,40
210 FOR I=1 TO 12
220 READ PC(I)
230 NEXT I
240 DATA 1000,2000,3000,4000,6000,10000,20000,40000,60000,100000,200000,300000
250 FOR I=1 TO 5
260 READ BDELTA(I)
270 NEXT I
280 DATA 6750,7250,7500,7625,7687.5
290 FOR I=1 TO 5
300 READ TAU(I)
310 NEXT I
320 DATA 20,30,40,50,60
330 FOR I=1 TO 5
340 READ A1(I)
350 NEXT I
360 DATA 300,387.5,462.5,500,518.75
370 FOR I=1 TO 3
380 READ DELTA(I)
390 NEXT I
400 DATA 0,1.44,3.33
410 FOR I=1 TO 3
420 READ DE1(I)
430 NEXT I
```



440 DATA 0,30,75  
450 FOR I=1 TO 11  
460 READ KPRAC(I)  
470 NEXT I  
480 DATA 0.693,0.626,0.6,0.58,0.527,0.4667,0.3867,0.333,0.28667,0.2667,.183  
490 FOR I=1 TO 11  
500 READ BAC(I)  
510 NEXT I  
520 DATA 2333.3,6666.67,8666.67,10000,11666.7,13333.33,15000,16666.67,18333.33,2  
0000,27000  
530 FOR I=1 TO 11  
540 READ KI(I)  
550 NEXT I  
560 DATA 0.8,1.6,2,2.32,2.8,3.2,3.6,4,4.4,4.8,5.04  
570 FOR I=1 TO 11  
580 READ KSI(I)  
590 NEXT I  
600 DATA 1,0.9,0.8,0.68,0.66,0.48,0.44,0.38,0.369,0.32,0.3  
610 FOR I=1 TO 2  
620 READ KI1(I)  
630 NEXT I  
640 DATA 1.44,4.88  
650 FOR I=1 TO 2  
660 READ PHI1(I)  
670 NEXT I  
680 DATA 0.32,3.84  
690 FOR I=1 TO 9  
700 READ BETA(I)  
710 NEXT I  
720 DATA 0.4,0.476,0.569,0.6,0.669,0.73,0.8,0.938,1  
730 FOR I=1 TO 9  
740 READ KBETA(I)  
750 NEXT I  
760 DATA 0.4,0.5,0.6,0.646,0.746,0.8,0.854,0.939,1  
770 FOR I=1 TO 12  
780 READ BDELTA1(I)  
790 NEXT I  
800 DATA 0,9.23,13.85,21.54,24.62,30.77,40,46.15,61.54,69.23,80,96.9  
810 FOR I=1 TO 12  
820 READ HFDELTA(I)  
830 NEXT I  
840 DATA 1,0.985,.954,0.846,0.8,0.712,0.6,0.539,0.43,0.4,0.354,0.308  
850 FOR I=1 TO 13  
860 READ BSAT(I)  
870 NEXT I  
880 DATA 0,0.8,1.33,1.867,2.133,2.667,3.2,4,4.8,6.1,8,9.33,10.66  
890 FOR I=1 TO 13

```

900 READ B0(I)
910 NEXT I
920 DATA 0,0.0267,0.06,0.1,0.1467,0.2,0.2467,0.293,0.3267,0.353,0.38,0.39,0.4
930 FOR I=1 TO 9
940 READ KZ(I)
950 NEXT I
960 DATA 1,1.25,1.5,1.75,2,2.25,2.5,2.75,3
970 FOR I=1 TO 9
980 READ KBETA1(I)
990 NEXT I
1000 DATA 1.075,.95,.825,.69,.6,.51,.44,.375,.288
1010 FOR I=1 TO 10
1020 READ KZ1(I)
1030 NEXT I
1040 DATA 1,1.188,1.292,1.5,1.75,2,2.25,2.5,2.75,3
1050 FOR I=1 TO 10
1060 READ ADELTA(I)
1070 NEXT I
1080 DATA 0.64,0.68,0.70,0.735,0.76,0.778,0.8,0.818,0.82,0.84
1090 FOR I=1 TO 28
1100 READ B(I)
1110 NEXT I
1120 DATA 6,9,10,11,12,13,13.5,14,14.5,15,15.4,15.7,16,16.3,16.5,16.7,16.9,17.1,
17.2,17.3,17.5,17.6,17.8,18,18.2,18.5,18.9,27
1130 FOR K=1 TO 28
1140 READ H(K)
1150 NEXT K
1160 DATA 1,1.6,1.9,2.2,2.5,2.8,3,3.3,3.6,4,4.4,4.9,5.3,5.8,6.2,6.6,7.5,8.5,9.2,
10,11,11.8,13.2,15,18,23,30,212,25
1170 REM *****
1180 REM ***** DIMENSIONS PRINCIPALES DE LA MACHINE *****
1190 REM *****
1200 REM *****
1210 REM ***** NOMBRES DE PAIRES DE POLES *****
1220 REM *****
1230 W1=2*PI*F1
1240 N1=(60*F1)/P
1250 REM *****
1260 REM ***** COURANT NOMINAL *****
1270 REM *****
1280 IN1=(PN)/(M1*UN*NETAN*CSPHIN)
1290 REM *****
1300 REM ***** PUISSANCE APPARENTE *****
1310 REM *****
1320 KE=.985-.004*P
1330 PAP=(KE*PN)/(NETAN*CSPHIN)
1340 IF PAP<1000 THEN 7610:IF PAP>300000! THEN GOTO 7610

```



```

1350 S=12
1360 FOR I=1 TO 5
1370 X(I)=PQ(I)
1380 Y(I)=D1(I)
1390 NEXT I
1400 X=PAP
1410 GOSUB 7330
1420 REM *****
1430 REM ***** DIAMETRE INTERNE DU STATOR *****
1440 REM *****
1450 D1=LR
1460 REM *****
1470 REM ***** DIAMETRE EXTERIEUR DU STATOR *****
1480 REM *****
1490 DEXT1=1.9*D1
1500 REM *****
1510 REM ***** PAS POLAIRE DU STATOR *****
1520 REM *****
1530 TAU=(PI*D1)/(2*P)
1540 IF TAU<20 THEN 7630:IF TAU>60 THEN GOTO 7630
1550 REM *****
1560 REM ***** CHOIX DE L'INDUCTION D'ENTREFER ET DE LA CHARGE LINEAIRE *****
1570 REM *****
1580 S=5
1590 X=TAU
1600 FOR I=1 TO 5
1610 X(I)=TAU(I)
1620 Y(I)=BDELTA(I)
1630 NEXT I
1640 GOSUB 7330
1650 BDELTA=LR
1660 FOR I=1 TO 5
1670 Y(I)=A1(I)
1680 NEXT I
1690 GOSUB 7330
1700 A1=LR
1710 REM *****
1720 REM ***** LONGUEUR DE LA MACHINE *****
1730 REM *****
1740 REM ***** DETERMINATION DE LA CONSTANTE D'ARNOLD *****
1750 REM *****
1760 KZ=1.35
1770 X=KZ
1780 IF KZ<1 THEN 7650:IF KZ>3 THEN GOTO 7650
1790 S=9
1800 FOR I=1 TO 5
1810 X(I)=KZ(I)

```

```

1820 Y(I)=KBETA1(I)
1830 NEXT I
1840 GOSUB 7330
1850 KBETA1=LR
1860 S=9
1870 AB1=2*P
1880 X=KBETA1
1890 IF X<.4 THEN 7670:IF X>1 THEN 7670
1900 FOR I=1 TO 5
1910 X(I)=KBETA(I)
1920 Y(I)=BETA(I)
1930 NEXT I
1940 GOSUB 7330
1950 BETA=LR
1960 REM *****
1970 REM ***** LONGUEUR DE LA MACHINE *****
1980 REM *****
1990 Q2=TAU/5
2000 Q1=CINT(Q2)
2010 Z1=2*P*M1*Q1
2020 S=10
2030 X=KZ
2040 IF X<1 THEN 7650:IF X>3 THEN 7650
2050 FOR I=1 TO 5
2060 X(I)=KZ1(I)
2070 Y(I)=ADELTA(I)
2080 NEXT I
2090 GOSUB 7330
2100 Q=Z1/(2*M1*P)
2110 ADELTA=LR
2120 KD1=SIN(PI/(2*M1))/(Q*SIN(PI/(2*M1*Q)))
2130 KR1=SIN(BETA*PI/2)
2140 KB1=KD1*KR1
2150 CA=(6.1E+11)/(ADELTA*KB1*KBETA1*A1*BDELTA)
2160 REM *****
2170 REM ***** COEFFICIENT D'ESSON ET FACTEUR GEOMETRIQUE *****
2180 REM *****
2190 KA=1/CA
2200 REM *****
2210 REM ***** LONGUEUR REEL DU STATOR *****
2220 REM *****
2230 L1=(6.1E+08*PAF)/(ADELTA*KB1*KBETA1*A1*BDELTA*(D1^2)*N1)
2240 LDELTA=L1
2250 REM *****
2260 REM ***** FACTEUR GEOMETRIQUE *****
2270 REM *****
2280 LAMBDA=LDELTA/TAU

```



```

2290 IF LAMBDA>.5 THEN 2320:IF LAMBDA<1.667 THEN 2320
2300 KZ=KZ+.01:IF KZ<3 THEN 1770
2310 GOTO 7650
2320 REM *****
2330 REM ***** VALEUR DE L'ENTREFER *****
2340 REM *****
2350 X=D1
2360 IF D1<0 THEN 7690:IF D1>75 THEN GOTO 7690
2370 S=3
2380 FOR I=1 TO 5
2390 X(I)=DE1(I)
2400 Y(I)=DELTA(I)
2410 NEXT I
2420 GOSUB 7330
2430 DELTA=LR
2440 REM *****
2450 REM ***** CALCUL DES ENROULEMENTS *****
2460 REM *****
2470 REM ***** NOMBRE D'ENCOCHES Z1 *****
2480 REM *****
2490 Z1=2*P*M1*Q1
2500 REM *****
2510 REM ***** CARACTERISTIQUES DES ENROULEMENTS *****
2520 REM *****
2530 S=9
2540 AB1=2*P
2550 X=KBETA1
2560 IF X<.4 THEN 7710:IF X>1 THEN 7710
2570 FOR I=1 TO 5
2580 X(I)=KBETA(I)
2590 Y(I)=BETA(I)
2600 NEXT I
2610 GOSUB 7330
2620 BETA=LR
2630 REM *****
2640 REM ***** ENCOCHES SUCCESSIVES *****
2650 REM *****
2660 ALPHA1=(360*P)/Z1
2670 Y1=BETA*TAU
2680 YENCI=(Z1*BETA)/(2*P)
2690 REM *****
2700 REM ***** DEPLACEMENT D'ENCOCHES ENTRE DEUX DEBUT *****
2710 REM *****
2720 LAMBDA1=120/ALPHA1
2730 REM *****
2740 REM ***** NOMBRE DE CONDUCTEURS EFFECTIFS Ne *****
2750 REM *****

```



```

2760 T1=(PI*D1)/Z1
2770 UE=(T1*A1*AB1)/IN1
2780 NE=CINT(UE)
2790 REM *****
2800 REM ***** CALCUL DE LA CHARGE LINEAIRE *****
2810 REM *****
2820 A21=(IN1*NE)/(T1*AB1)
2830 IF ABS(A21-A1)/A1 < .1 THEN 2860
2840 KZ=KZ+.01
2850 GOTO 1770
2860 REM *****
2870 REM ***** NOMBRES DE SPIRES PAR PAR PHASE *****
2880 REM *****
2890 N2=(P*Q1*UE/AB1)
2900 NE2=CINT(N2)
2910 REM *****
2920 REM ***** SECTION D'UN CONDUCTEUR EFFECTIF *****
2930 REM *****
2940 JPR1=5.7
2950 SPR1=IN1/(AB1*JPR1)
2960 DPR1=SPR1
2970 REM *****
2980 REM ***** DIAMETRE DU FIL UTILISE *****
2990 REM *****
3000 DPR1=((4*SPR1)/PI)^(.5):GOSUB 7910
3010 REM *****
3020 REM ***** DIAMETRE AVEC ISOLANT *****
3030 REM *****
3040 DIS1=DPR1+.1
3050 REM *****
3060 REM ***** DIMENSIONNEMENT DE L'ENCOCHE DU STATOR *****
3070 REM *****
3080 REM ***** CALCUL DES INDUCTIONS *****
3090 REM *****
3100 REM ***** INDUCTION MAXIMALE DANS L'ENTREFER *****
3110 REM *****
3120 PHIDELTA=(KE*UN*IE+O8)/(4*KBETA1*KB1*NE2*F1)
3130 BDELTA1=(PHIDELTA)/(ADELTA*LDELTA*TAU)
3140 IF BDELTA1/1000<11 THEN 3170
3150 KZ=KZ+.01:IF KZ<3 THEN 1770
3160 GOTO 7650
3170 REM *****
3180 REM ***** INDUCTION DANS LE JOUG DU STATOR *****
3190 REM *****
3200 I=1
3210 NE1=NE2/I
3220 IF ABS(NE1-CINT(NE1))=0 THEN 3240

```



```

3230 NE1=NE1+1
3240 REM *****
3250 REM ***** CALCUL DE LA HAUTEUR DE L'ENCOCHE *****
3260 REM *****
3270 HA1=NE1*DIS1/10+.05
3280 HA2=.35
3290 HA3=.25
3300 HA4=.1
3310 BST=.185
3320 BPRENC=(I*DIS1)/10+.1
3330 BSENC=BPRENC
3340 HA5=.14
3350 HA6=.14
3360 HZ1=HA5+HA6+HA3+HA4+HA1
3370 REM *****
3380 REM ***** INDUCTION DANS LE JOUG DU STATOR SUITE *****
3390 REM *****
3400 HJ1=((DEXT1-D1)/2)-HZ1:IF HJ1<0 THEN 3480
3410 KAC1=.02
3420 BJ1=PHIDELTA/(2*HJ1*L1*KAC1)
3430 SS=BJ1/10000
3440 LOCATE 23,50:PRINT BJ1:LOCATE 23,65 :PRINT KAC1
3450 IF SS<1.5 THEN 3510
3460 KAC1=KAC1+.1
3470 IF KAC1<= 1 THEN 3420
3480 I=I+1:IF I<NE2 THEN 3210
3490 KZ=KZ+.01:IF KZ<3 THEN 1770
3500 GOTO 7320
3510 REM *****
3520 REM ***** INDUCTION DANS LES DENTS DU STATOR *****
3530 REM *****
3540 BZMAX1=2*BDELTA1/KAC1
3550 IF CINT(BZMAX1/1000)<17 THEN 3580
3560 KZ=KZ+.01:IF KZ<3 THEN 1770
3570 GOTO 7890
3580 REM *****
3590 REM ***** CALCUL DES PARAMETRES DU ROTOR *****
3600 REM *****
3610 REM ***** NOMBRE D'ENCOCHES DU ROTOR *****
3620 REM *****
3630 Z2=4*CINT(1.25*Z1/4)
3640 REM *****
3650 REM ***** BIAIS D'ENCOCHE DU ROTOR *****
3660 REM *****
3670 BBIAIS=(D1*PI)/(Z1+P)
3680 REM *****
3690 REM ***** CALCUL DU DIAMETRE EXTERNE DU ROTOR *****

```



3700 REM \*\*\*\*\*  
3710 DEXT2=D1-2\*DELTA/10  
3720 REM \*\*\*\*\*  
3730 REM \*\*\*\*\* PAS D'ENTRAIRE DU ROTOR \*\*\*\*\*  
3740 REM \*\*\*\*\*  
3750 T2=(PI\*DEXT2)/Z2  
3760 REM \*\*\*\*\*  
3770 REM \*\*\*\*\* COURANT REDUIT DU ROTOR \*\*\*\*\*  
3780 REM \*\*\*\*\*  
3790 IPR2=PN/(3\*UN\*NETAN)  
3800 REM \*\*\*\*\*  
3810 REM \*\*\*\*\* CHARGE LINEAIRE DU ROTOR \*\*\*\*\*  
3820 REM \*\*\*\*\*  
3830 A2=(IPR2\*A21)/IN1  
3840 REM \*\*\*\*\*  
3850 REM \*\*\*\*\* COURANT DE LA BARRE DU ROTOR \*\*\*\*\*  
3860 REM \*\*\*\*\*  
3870 IBAR=(PI\*DEXT2\*A2)/Z2  
3880 REM \*\*\*\*\*  
3890 REM \*\*\*\*\* DENSITE DE COURANT DANS LA BARRE DU ROTOR \*\*\*\*\*  
3900 REM \*\*\*\*\*  
3910 JPRBAR=3  
3920 REM \*\*\*\*\*  
3930 REM \*\*\*\*\* SECTION DE LA BARRE DU ROTOR \*\*\*\*\*  
3940 REM \*\*\*\*\*  
3950 QBAR=IBAR/JPRBAR  
3960 REM \*\*\*\*\*  
3970 REM \*\*\*\*\* COURANT DANS L'ANNEAU DE COURT-CIRCUIT \*\*\*\*\*  
3980 REM \*\*\*\*\*  
3990 IANN=IBAR/(2\*SIN(PI\*P/Z2))  
4000 REM \*\*\*\*\*  
4010 REM \*\*\*\*\* DENSITE DE COURANT DANS L'ANNEAU DE COURT-CIRCUIT \*\*\*\*\*  
4020 REM \*\*\*\*\*  
4030 JATOLE=.7  
4040 JANN=JATOLE\*JPRBAR  
4050 REM \*\*\*\*\*  
4060 REM \*\*\*\*\* SECTION DE L'ANNEAU DE COURT-CIRCUIT \*\*\*\*\*  
4070 REM \*\*\*\*\*  
4080 QANN=IANN/JANN  
4090 REM \*\*\*\*\*  
4100 REM \*\*\*\*\* ENCOCHE DU ROTOR \*\*\*\*\*  
4110 REM \*\*\*\*\*  
4120 REM \*\*\*\*\* SECTION DE L'ENCOCHE DU ROTOR \*\*\*\*\*  
4130 REM \*\*\*\*\*  
4140 H4=.07  
4150 DENC=(QBAR/10)^(.5)  
4160 DENC1=DENC/10



```

4170 QBAR1=(PI/4)*DENC^2+10*DENC^2
4180 HZ2=DENC+H4
4190 BROT=DENC
4200 REM *****
4210 REM ***** DENSITE DE COURANT REEL DANS LA BARRE DU ROTOR *****
4220 REM *****
4230 JBAR1=IBAR/QBAR1
4240 REM *****
4250 REM ***** FORCE MAGNETOMOTRICE DANS L'ENTRERFER *****
4260 REM *****
4270 MUO=4*PI*.0000001
4280 HDELTA=(BDELTA1*.000001)/MUO
4290 KDELTA=((10*T1+10*DELTA)/(10*T1-10*BST+10*DELTA))*((10*T2+10*DELTA)/(10*T2-
BROT+10*DELTA))
4300 FDELTA=2*DELTA*DELTA*KDELTA/10
4310 REM *****
4320 REM ***** FORCE MAGNETOMOTRICE DES DENTS DU STATOR *****
4330 REM *****
4340 S=28
4350 X=BZMAX1/1000
4360 IF X(6 THEN 7770:IF X)27 THEN 7770
4370 FOR I=1 TO 5
4380 X(I)=B(I)
4390 Y(I)=H(I)
4400 NEXT I
4410 GOSUB 7330
4420 HCZ1=LR
4430 FZ1=2*HCZ1*HZ1
4440 REM *****
4450 REM ***** PAS DENTAIRE DU ROTOR *****
4460 REM *****
4470 TH2=PI*(DEXT2-DENC1-2*H4)/Z2
4480 THOY2=PI*(DEXT2-HZ2)/Z2
4490 TBAS2=PI*(DEXT2-2*HZ2+DENC1)/Z2
4500 REM *****
4510 REM ***** LARGEUR DES DENTS *****
4520 REM *****
4530 BZMAX2=TH2-DENC1
4540 BZHOY2=THOY2-DENC1
4550 BZMIN2=TBAS2-DENC1
4560 REM *****
4570 REM ***** INDUCTION DANS LES DENTS DU ROTOR *****
4580 REM *****
4590 BINMIN2=(BDELTA1*T2)/(KAC1*BZMAX2)
4600 BINHOY2=(BDELTA1*T2)/(KAC1*BZHOY2)
4610 BINMAX2=(BDELTA1*T2)/(KAC1*BZMIN2)
4620 REM *****

```

```

4630 REM ***** CHAMPS MAGNETIQUE DANS LES DENTS DU ROTOR *****
4640 REM *****
4650 S=28
4660 X=BINMIN2/1000
4670 IF X<6 THEN 7790:IF X>27 THEN 7790
4680 FOR I=1 TO 5
4690 X(I)=B(I)
4700 Y(I)=H(I)
4710 NEXT I
4720 GOSUB 7330
4730 HINMIN2=LR
4740 S=28
4750 X=BINMOY2/1000
4760 IF X<6 THEN 7810:IF X>27 THEN 7810
4770 FOR I=1 TO 5
4780 X(I)=B(I)
4790 Y(I)=H(I)
4800 NEXT I
4810 GOSUB 7330
4820 HINMOY2=LR
4830 S=28
4840 X=BINMAX2/1000:IF X<6 THEN 7830:IF X>19.3 THEN 7830
4850 IF X<6 THEN 7830:IF X>27 THEN 7830
4860 FOR I=1 TO 5
4870 X(I)=B(I)
4880 Y(I)=H(I)
4890 NEXT I
4900 GOSUB 7330
4910 HINMAX2=LR
4920 REM *****
4930 REM ***** FORCE MAGNETOMOTRICE DANS LES DENTS DU ROTOR *****
4940 REM *****
4950 HINZ2=(HINMIN2+HINMAX2+4*HINMOY2)/6
4960 FZ2=2*HINZ2*HZ2
4970 REM *****
4980 REM ***** FACTEUR DE SATURATION DE LA ZONE DES DENTS *****
4990 REM *****
5000 KZROTOR=(FDELTA+FZ1+FZ2)/FDELTA
5010 REM *****
5020 REM ***** FORCE MAGNETOMOTRICE DU JOUG DU STATOR *****
5030 REM *****
5040 LAC1=PI*(DEXT1-HJ1)/(2*P)
5050 S=11
5060 X=BJ1
5070 IF X<2333.3 THEN 7850:IF X>27000 THEN 7850
5080 FOR I=1 TO 5

```



```

5090 X(I)=BAC(I)
5100 Y(I)=KPRAC(I)
5110 NEXT I
5120 GOSUB 7330
5130 KPRAC=LR
5140 S=28
5150 X=BJ1/1000
5160 IF X<6 THEN 7850:IF X>27 THEN 7850
5170 FOR I=1 TO 5
5180 X(I)=B(I)
5190 Y(I)=H(I)
5200 NEXT I
5210 GOSUB 7330
5220 HAC1=LR
5230 FAC1=KPRAC*HAC1*LAC1
5240 REM *****
5250 REM ***** FORCE MAGNETOMETRICE DANS LE JOUG DU ROTOR *****
5260 REM *****
5270 IF D1>20 THEN 5300
5280 K=35
5290 GOTO 5400
5300 IF D1>30 THEN 5330
5310 K=30
5320 GOTO 5400
5330 IF D1>40 THEN 5360
5340 K=27
5350 GOTO 5400
5360 IF D1>50 THEN 5390
5370 K=25
5380 GOTO 5400
5390 K=24
5400 DAXE=K*(PN/(1000*N1))^(1/3)
5410 HJ2=((DEXT2-DAXE+DAXE/6)/2)-HZ2 -.5
5420 LAC2=PI*(DEXT2-HJ2)/(2*P)
5430 L2=L1+.5
5440 BJ2=PHIDELTA/(2*HJ2*L2*KAC1*KZ)
5450 IF BJ2<20000 THEN 5480
5460 KZ=KZ+.01
5470 GOTO 1770
5480 S=28
5490 X=BJ2/1000
5500 IF X<6 THEN 7850:IF X>27 THEN 7850
5510 FOR I=1 TO 5
5520 X(I)=B(I)
5530 Y(I)=H(I)
5540 NEXT I
5550 GOSUB 7330
5560 HAC2=LR
5570 S=11

```

```

5580 X=BJ2
5590 IF X<2333.3 THEN 7870-IF X>27000 THEN 7870
5600 FOR I=1 TO 5
5610 X(I)=BAC(I)
5620 Y(I)=KPRAC(I)
5630 NEXT I
5640 GOSUB 7330
5650 KPRAC2=LR
5660 FAC2=KPRAC2*HAC2*LAC2
5670 REM *****
5680 REM ***** FORCE MAGNETOMETRICE TOTALE *****
5690 REM *****
5700 FCIR=FZ1+FZ2+FDELTA+FAC1+FAC2
5710 REM *****
5720 REM ***** FACTEUR DE SATURATION TOTALE DE LA MACHINE *****
5730 REM *****
5740 KHU=FCIR/FDELTA
5750 REM *****
5760 REM ***** COURANT MAGNETISANT *****
5770 REM *****
5780 IMU=P*FCIR/(.9*M1*NE2*KB1)
5790 REM *****
5800 REM ***** CONSTANTE DE PETROV *****
5810 REM *****
5820 CP=(D1^2.45*LDELTA*N1^1.2*1000)/PAP
5830 REM *****
5840 REM ***** CALCUL DES PARAMETRES DU MOTEUR *****
5850 REM *****
5860 ALPHA=.004
5870 DTETA=60
5880 R015 =.0175
5890 R075 =R015*(1+ALPHA*DTETA)
5900 KF=1
5910 BY=(PI*(D1+HZ1)*BETA)/(2*P)
5920 IF DEXT1 > 30.3 THEN 5960
5930 K=1.25
5940 L=2
5950 GOTO 5980
5960 K=1.3
5970 L=3
5980 LM0Y=L1+K*BY+L
5990 L21=2*LM0Y*NE2*.01
6000 NELE=1
6010 REM *****
6020 REM ***** CALCUL DE LA RESISTANCE DE L'ENROULEMENT STATORIQUE *****
6030 REM *****

```



```

6040 RES1=(KF*R075*L21)/(NELE*QPR1*AB1)
6050 REM *****
6060 REM *****  VALEUR RELATIVE DE LA RESISTANCE *****
6070 REM *****
6080 RESREL=(RES1*IN1)/UN
6090 REM *****
6100 REM *****  CALCUL DE LA RESISTANCE ROTORIQUE *****
6110 REM *****
6120 LBAR=L1+.02
6130 ROAL15=.0375
6140 ALPHA1=.0079
6150 ROAL75=ROAL15*(1+ALPHA1*DTETA)
6160 RBAR75=((ROAL75*LBAR)/QBAR)*.01
6170 REM *****
6180 REM *****  RESISTANCE DE L'ANNEAU DE COURT-CIRCUIT *****
6190 REM *****
6200 HANN=1.4*HZ2
6210 BANN=DANN/(10*HANN)
6220 DANN=DEXT2-HANN
6230 RANN=(ROAL75*PI*DANN*.01)/(Z2*BANN*HANN*10)
6240 REM *****
6250 REM *****  RESISTANCE TOTALE DE L'ENROULEMENT ROTORIQUE *****
6260 REM *****
6270 RES2=RBAR75+RANN/(2*(SIN(PI*P/Z2))^2)
6280 REM *****
6290 REM *****  RESISTANCE DU ROTOR RAMENE AU STATOR *****
6300 REM *****
6310 KRED=(4*M1*(NE2*KB1)^2)/Z2
6320 RESPR2=RES2*KRED
6330 RESSE2=(RESPR2*IN1)/UN
6340 REM *****
6350 REM *****  CALCUL DE LA REACTANCE *****
6360 REM *****
6370 REM *****  REACTANCE DE FUITE DU STATOR *****
6380 REM *****
6390 E=4*KBETA1*F1*KB1*NE2*PHIDELTA*1E-08
6400 XRE12=E/IMU
6410 REM *****
6420 REM *****  FACTEUR DE PERMEANCE *****
6430 REM *****
6440 LAMBDA0=.427*Q1*KBETA1*ADELTA*(KB1)^2*TAU*10/(DELTA*KMU*KDELTA)
6450 LAMBDAE1=(HA1*KBETA1)/(3*BPRENC)+(HA2/BPRENC+3*HA3/(BPRENC+2*BST)+HA4/BST)*
(1+3*BETA)/4
6460 LAMBDAFF1=(.34*Q1*((K*BY+L)-.64*TAU*BETA)*KAC1^2)/LDELTA
6470 LAMBDAIF1=(T1*KB1^2)/(11.9*DELTA*KDELTA/10)
6480 SLAMBDA=LAMBDAE1+LAMBDAFF1+LAMBDAIF1
6490 XRE1=(.158*F1/100)*((NE2/100)^2)*(LDELTA*SLAMBDA)/(P*Q1)

```



```

6500 REM *****
6510 REM ***** REACTANCE REDUITE *****
6520 REM *****
6530 XRERED1=(XRE1*IN1)/UN
6540 REM *****
6550 REM ***** REACTANCE DE FUITE DU ROTOR *****
6560 REM *****
6570 LAMBDAE2=(HZ2-H4)/(3*DENC1)+H4/DENC1
6580 REM *****
6590 REM ***** PERMEANCE DES PARTIES FRONTALES *****
6600 REM *****
6610 GDELTA=2*SIN(PI*P/Z2)
6620 PE=2*(HANN+BANN/10)
6630 LAMBDAFF2=2,3*DANN*LOG(4,7*DANN/PE)/(Z2*LDELTA*GDELTA^2)
6640 REM *****
6650 REM ***** PERMEANCE DIFFERENTIELLE *****
6660 REM *****
6670 LAMBDAIF2=T2*10/(11,9*DELTA*KDELTA)
6680 REM *****
6690 REM ***** PERMEANCE TOTALE DU ROTOR *****
6700 REM *****
6710 SLAMBDA2=LAMBDAIF2+LAMBDAE2+LAMBDAFF2
6720 REM *****
6730 REM ***** REACTANCE DE FUITE DU ROTOR *****
6740 REM *****
6750 XRE2=7,9*F1*LDELTA*SLAMBDA2*1E-08
6760 REM *****
6770 REM ***** REACTANCE DE FUITE DU ROTOR REDUITE *****
6780 REM *****
6790 XRERED2=(XRE2*4*M1*(NE2*KB1)^2)/Z2
6800 REM *****
6810 REM ***** VALEUR RELATIVE DE LA REACTANCE DE FUITE DU ROTOR *****
6820 REM *****
6830 XRESEC=XRERED2*IN1/UN
6980 REM *****
6990 REM ***** IMPRESSION DES RESULTATS *****
7000 REM *****
7010 CLS
7020 LOCATE 2,2:PRINT"VALEUR DE LA PULSATION":LOCATE 3,2:PRINT "W1="W1
7030 LOCATE 2,44:PRINT"VITESSE DE ROTATION DU CHAMP":LOCATE 3,44:PRINT "N1="N1
7040 LOCATE 5,2:PRINT"COURANT NOMINAL DE LA PHASE DU STATOR":LOCATE 6,2:PRINT"IN
1="IN1
7050 LOCATE 5,44:PRINT"PUISSANCE APPARENTE":LOCATE 6,44:PRINT"PAP="PAP
7060 LOCATE 8,2:PRINT"DIAMETRE INTERIEUR DU STATOR":LOCATE 9,2:PRINT"D1="D1
7070 LOCATE 8,44:PRINT"DIAMETRE EXTEIEUR DU STATOR":LOCATE 9,44:PRINT "DEXT1="D
EXT1
7080 LOCATE 11,2:PRINT"FACTEUR DE SATURATION":LOCATE 12,2:PRINT"KZ="KZ

```



```

7090 LOCATE 11,44:PRINT"FACTEUR DE FORME DU CHAMP":LOCATE 12,44:PRINT "KBETA1="K
BETA1
7100 LOCATE 14,2:PRINT"COEFFICIENT DE DISTRIBUTION":LOCATE 15,2:PRINT"DELTA="AD
ELTA
7110 LOCATE 14,44:PRINT"COEFFICIENT DE RACCOURCISSEMENT":LOCATE 15,44 :PRINT"KR1
="KR1
7120 LOCATE 17,2:PRINT"FACTEUR DE BOBINAGE":LOCATE 18,2:PRINT"KB1="KB1
7130 LOCATE 17,44:PRINT"LONGUEUR DE LA MACHINE":LOCATE 18,44:PRINT"L1="L1
7140 LOCATE 20,2:PRINT"VALEUR DE L'ENTREFER":LOCATE 21,2:PRINT"DELTA="DELTA
7150 LOCATE 20,44:PRINT"FACTEUR DE COUVERTURE DES POLES":LOCATE 21,44:PRINT"DEL
TA="DELTA
7160 GOSUB 7450
7170 LOCATE 2,2:PRINT"OMBRE DE SPIRES PAR PHASE":LOCATE 3,2:PRINT"NE2="NE2
7180 LOCATE 2,44:PRINT"FACTEUR DE REMPLISSAGE D'ACIER":LOCATE 3,44:PRINT"NE="NE
7190 LOCATE 5,2:PRINT"DIAMETRE DU FIL AVEC ISOLANT":LOCATE 6,2:PRINT"DIS1="DIS1
7200 LOCATE 5,44:PRINT"DIAMETRE EXTERIEUR DU ROTOR":LOCATE 6,44:PRINT"DEXT2="DEX
T2
7210 LOCATE 8,2 :PRINT"COURANT MAGNETISANT":LOCATE 9,2:PRINT"IMU="IMU
7220 LOCATE 8,44:PRINT"PUISSANCE UTILE":LOCATE 9,44:PRINT"PU="PN
7230 LOCATE 11,2:PRINT"TENSION NOMINALE":LOCATE 12,2:PRINT"UN="UN
7240 LOCATE 11,44:PRINT"RENDEMENT DU MOTEUR":LOCATE 12,44:PRINT"NETA="NETAN
7250 LOCATE 14,2:PRINT"FACTEUR DE PUISSANCE":LOCATE 15,2:PRINT"COS(PHI)="CSPHIN
7260 LOCATE 14,44:PRINT"RESISTANCE STATORIQUE":LOCATE 15,44:PRINT"R1="RES1
7270 LOCATE 17,2:PRINT"RESISTANCE ROTORIQUE":LOCATE 18,2:PRINT"R2="RESPR2
7280 LOCATE 17,44:PRINT"REACTANCE DE FUITE DU STATOR":LOCATE 18,44:PRINT"X1="XRE
1
7290 LOCATE 20,2:PRINT"REACTANCE DE FUITE DU ROTOR":LOCATE 21,2:PRINT"X2="XRE2
7300 LOCATE 20,44:PRINT "REACTANCE DUE A LA MUTUELLE INDUCTION":LOCATE 21,44:PRI
NT "XM="XRE12
7310 GOSUB 7450
7320 END
7330 REM *****
7340 REM ***** METHODE D'APPROXIMATION DE LA DIFFERENTIELLE '*****
7350 REM *****
7360 FOR I=1 TO 5
7370 IF X(I)=>X THEN 7420
7380 X1=X(I)
7390 X2=X(I+1)
7400 Y1=Y(I)
7410 Y2=Y(I+1)
7420 NEXT I
7430 LR=Y1+(X-X1)*(Y2-Y1)/(X2-X1)
7440 RETURN
7450 VIEW (1,1)-(339,48),,1
7460 VIEW (339,1)-(638,48),,1
7470 VIEW (1,48)-(339,96),,1
7480 VIEW (339,48)-(638,96),,1
7490 VIEW (1,96)-(339,144),,1
7500 VIEW (339,96)-(638,144),,1

```



```

7510 VIEW (1,144)-(339,192),,1
7520 VIEW (339,144)-(638,192),,1
7530 VIEW (1,192)-(339,240),,1
7540 VIEW (339,192)-(638,240),,1
7550 VIEW (1,240)-(339,288),,1
7560 VIEW (339,240)-(638,288),,1
7570 VIEW (1,288)-(339,336),,1
7580 VIEW (339,288)-(638,336),,1
7590 LOCATE 24,79:INPUT,L
7600 RETURN
7610 PRINT"PUISSANCE HORS DE L'ECHELLE"
7620 GOTO 7320
7630 PRINT"PAS POLAIRE DU STATOR HORS DE L'ECHELLE"
7640 GOTO 7320
7650 PRINT"FACTEUR DE SATURATION HORS DE L'ECHELLE"
7660 GOTO 7320
7670 PRINT"FACTEUR DE FORME DU CHAMP MAGNETIQUE HORS DE L'ECHELLE"
7680 GOTO 7320
7690 PRINT"DIAMETRE HORS DE L'ECHELLE"
7700 GOTO 7320
7710 PRINT"FACTEUR DE FORME DU CHAMP (KBETA) HORS DE L'ECHELLE"
7720 GOTO 7320
7730 PRINT"FACTEUR GEOMETRIQUE HORS DE L'ECHELLE"
7740 GOTO 7320
7750 PRINT"INDUCTION DANS LE JOUG DU STATOR INACCEPTABLE"
7760 GOTO 7320
7770 PRINT"VALEUR DE L'INDUCTION MAXIMALE HORS DE L'ECHELLE"
7780 GOTO 7320
7790 PRINT"VALEUR DE BINMIN22 HORS DE L'ECHELLE"
7800 GOTO 7320
7810 PRINT"VALEUR DE BINMOY2 HORS DE L'ECHELLE"
7820 GOTO 7320
7830 PRINT"VALEUR DE BINMAX2 HORS DE L'ECHELLE"
7840 GOTO 7320
7850 PRINT"VALEUR DE L'INDUCTION DU JOUG DU STATOR (BJ1) HORS DE L'ECHELLE"
7860 GOTO 7320
7870 PRINT"VALEUR DE L'INDUCTION DANS LE JOUG DU ROTOR (BJ2)HORS DE L'ECHELLE"
7880 GOTO 7320
7890 PRINT"MACHINE INCONCEVABLE"
7900 GOTO 7320
7910 REM ***** NORMALISATION DU DIAMETRE *****
7920 IF DPR1<2.5 THEN GOTO 7940
7930 DPR1=DPR1/2:NE2=2*NE2
7940 IF DPR1>1 THEN GOTO 7960
7950 DPR1=1:RETURN
7960 IF DPR1>1.2 THEN GOTO 7980

```



```
7970 DPR1=1.2:RETURN
7980 IF DPR1>1.3 THEN GOTO 8000
7990 DPR1=1.3:RETURN
8000 IF DPR1>1.4 THEN GOTO 8020
8010 DPR1=1.4:RETURN
8020 IF DPR1>1.5 THEN GOTO 8040
8030 DPR1=1.5:RETURN
8040 IF DPR1>1.62 THEN GOTO 8060
8050 DPR1=1.62:RETURN
8060 IF DPR1>1.74 THEN GOTO 8080
8070 DPR1=1.74:RETURN
8080 IF DPR1>1.81 THEN GOTO 8100
8090 DPR1=1.81:RETURN
8100 IF DPR1>2.44 THEN GOTO 7930
8110 DPR1=2.44:RETURN
```

Fig 1

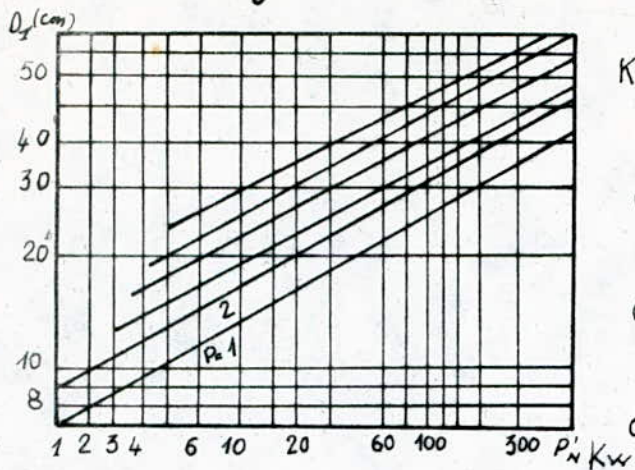


Fig 2

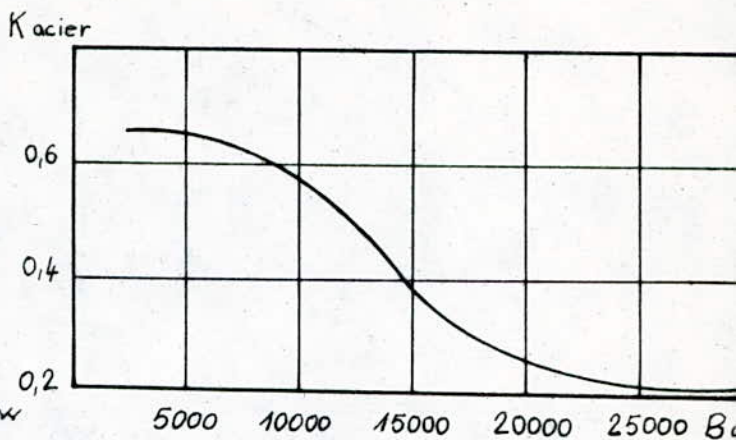


Fig 3

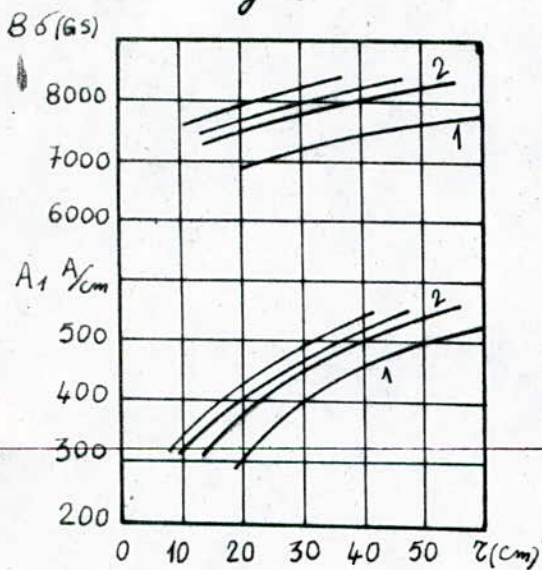


Fig 4

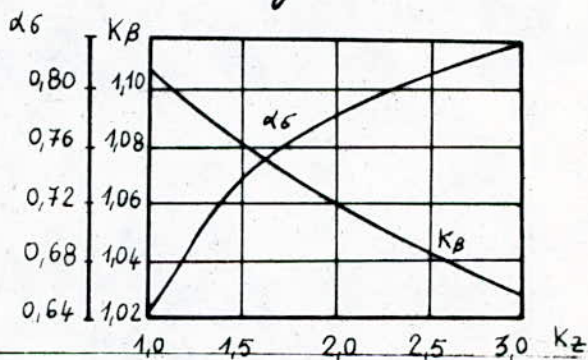


Fig 5

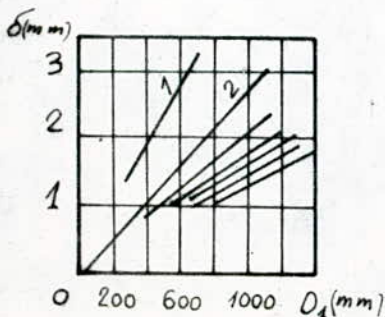


Fig 6

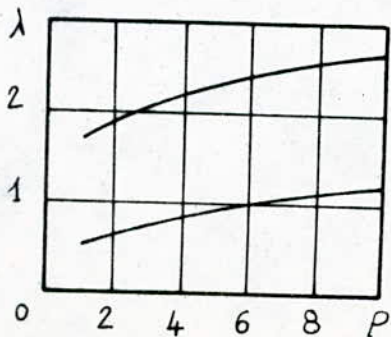


Fig 7

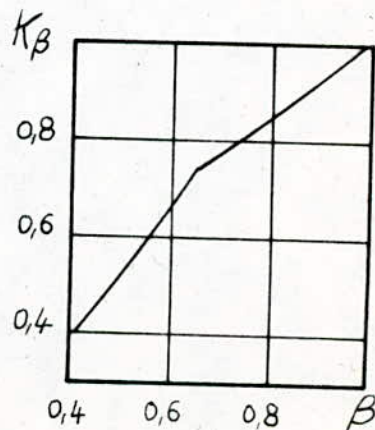




fig 8

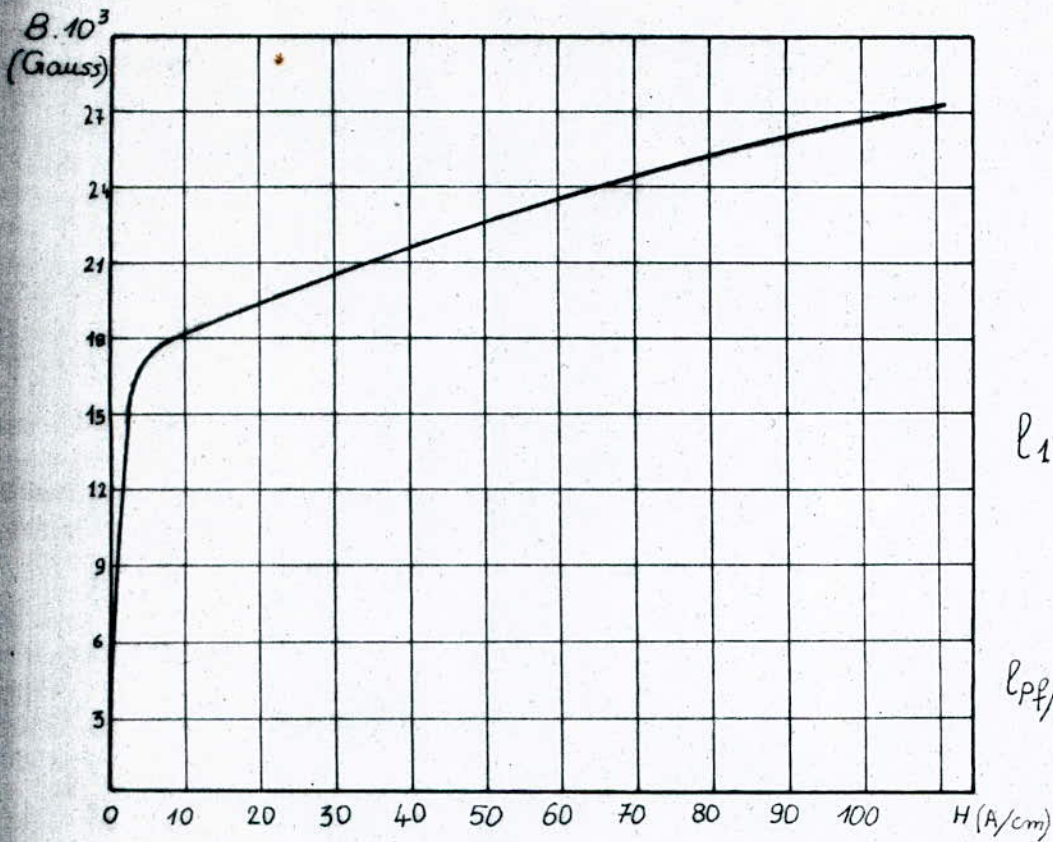


fig 9

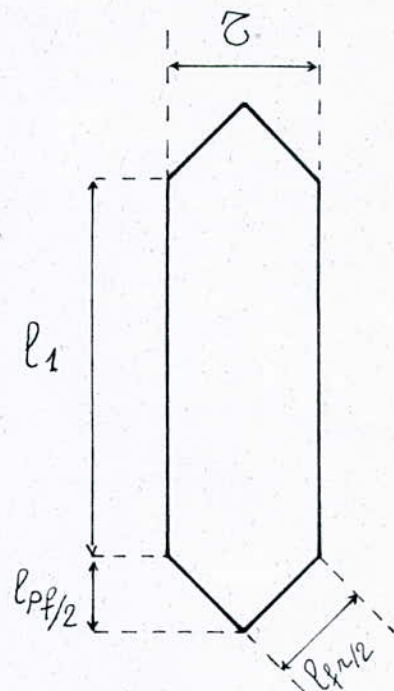


fig 10

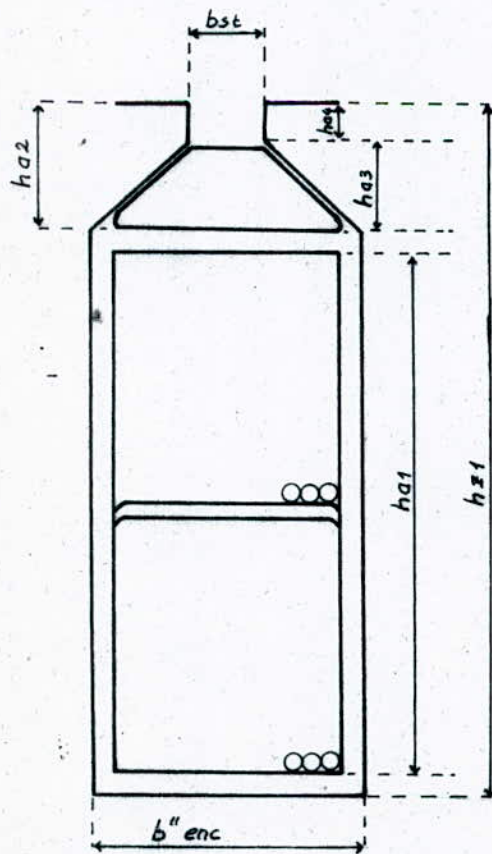
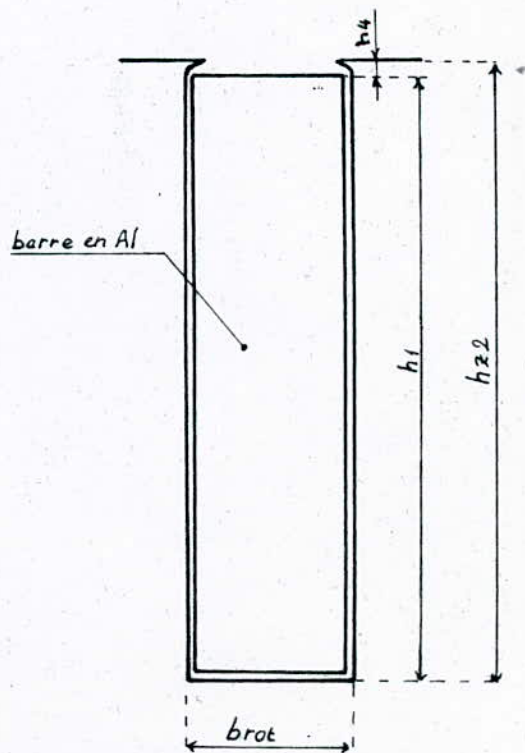


fig 11



|                                                              |                                                        |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| VALEUR DE LA PULSATION<br>$U_1 = 314$                        | VITESSE DE ROTATION DU CHAMP<br>$N_1 = 3000$           |
| COURANT NOMINAL DE LA PHASE DU STATOR<br>$I_{N1} = 47.82072$ | PUISSANCE APPARENTE<br>$PAP = 30962$                   |
| DIAMETRE INTERIEUR DU STATOR<br>$D_1 = 19.02126$             | DIAMETRE EXTERIEUR DU STATOR<br>$D_{EXT1} = 36.1404$   |
| FACTEUR DE SATURATION<br>$K_Z = 2.409999$                    | FACTEUR GEOMETRIQUE<br>$LAMBDA = .8893558$             |
| COEFFICIENT DE DISTRIBUTION<br>$K_{D1} = .9561867$           | COEFFICIENT DE RACCOURCISSEMENT<br>$K_{R1} = .6486407$ |
| FACTEUR DE BOBINAGE<br>$K_{B1} = .6202216$                   | LONGUEUR DE LA MACHINE<br>$L_1 = 26.55917$             |
| VALEUR DE L'ENTREFER<br>$DELTA = .9130206$                   | FACTEUR DE COUVERTURE DES POLES<br>$ADELTA = .81152$   |



|                                             |  |                                                  |
|---------------------------------------------|--|--------------------------------------------------|
| NOMBRE DE SPIRES PAR PHASE<br>NE2= 80       |  | FACTEUR DE REMPLISSAGE D'ACIER<br>KAC1= .9200001 |
| DIAMETRE DU FIL AVEC ISOLANT<br>DIS1= 2.54  |  | DIAMETRE EXTERIEUR DU ROTOR<br>DEXT2= 18.83866   |
| COURANT MAGNETISANT<br>IMU= 16.21829        |  | PUISSANCE UTILE<br>PU= 25000                     |
| TENSION NOMINALE<br>UN= 220                 |  | RENDEMENT DU MOTEUR<br>NETA= .89                 |
| FACTEUR DE PUISSANCE<br>COS(PHI)= .89       |  | RESISTANCE STATORIQUE<br>R1= .2019611            |
| RESISTANCE ROTORIQUE<br>R2= 8.537028E-02    |  | REACTANCE DE FUITE DU STATOR<br>X1= .3923197     |
| REACTANCE DE FUITE DU ROTOR<br>X2= .4304083 |  | REACTANCE DE MAGNETISATION<br>XM= 13.3072        |

```

1 REM ***** PUISSANCE *****
10 CLS
20 R1= 202
30 R2= 0854
40 W=50*3.14*2
50 X1= 3923
60 X2= 4304
70 XM=13.307
80 UN=220
90 P=1
100 M1=3
110 DEF FNPU(G)=3*(UN^2*R2*(1-G)/G)/((R2/G+R1)^2+(X2+X1)^2)
120 X=.001
130 A3=FNPU(X)
140 IF C3/A3 THEN 160
150 C3=A3
160 X=X+.01
170 IF X<1 THEN 130
180 G=.001
190 VIEW (1,1)-(379,379),,1
200 VIEW (5,5)-(375,375),,1
210 WINDOW (-.1,-.1)-(7,1.2)
220 LINE (0,1.1)-(0,0) : LINE (.6,0)-(0,0)
230 FOR I=0 TO .5 STEP .1
240 LINE (I,.01)-(I,-.01)
250 NEXT I
260 FOR I=0 TO 1.1 STEP .1
270 LINE (.01,I)-(-.01,I)
280 NEXT I
290 LOCATE 23,40:PRINT"G":LOCATE 2,2:PRINT"Pu(Kw)"
300 G1=G+.001
310 IF G=0 THEN 370
320 A1=FNPU(G)
330 A2=FNPU(G1)
340 B1=G
350 B2=G1
360 IF C3=0 THEN 380
370 LINE (B1,A1/C3)-(B2,A2/C3)
380 IF C1 > A1 THEN 410
390 C1=A1
400 C2=0
410 G=G+.001
420 IF G<.5 THEN 300
430 LINE (.57,-.01)-(.6,0) : LINE (.57,.01)-(.6,0)
440 LINE (-.01,1.07)-(0,1.1) : LINE (-.01,1.07)-(0,1.1)
450 VIEW (379,1)-(638,379),,1
460 VIEW (383,5)-(635,375),,1

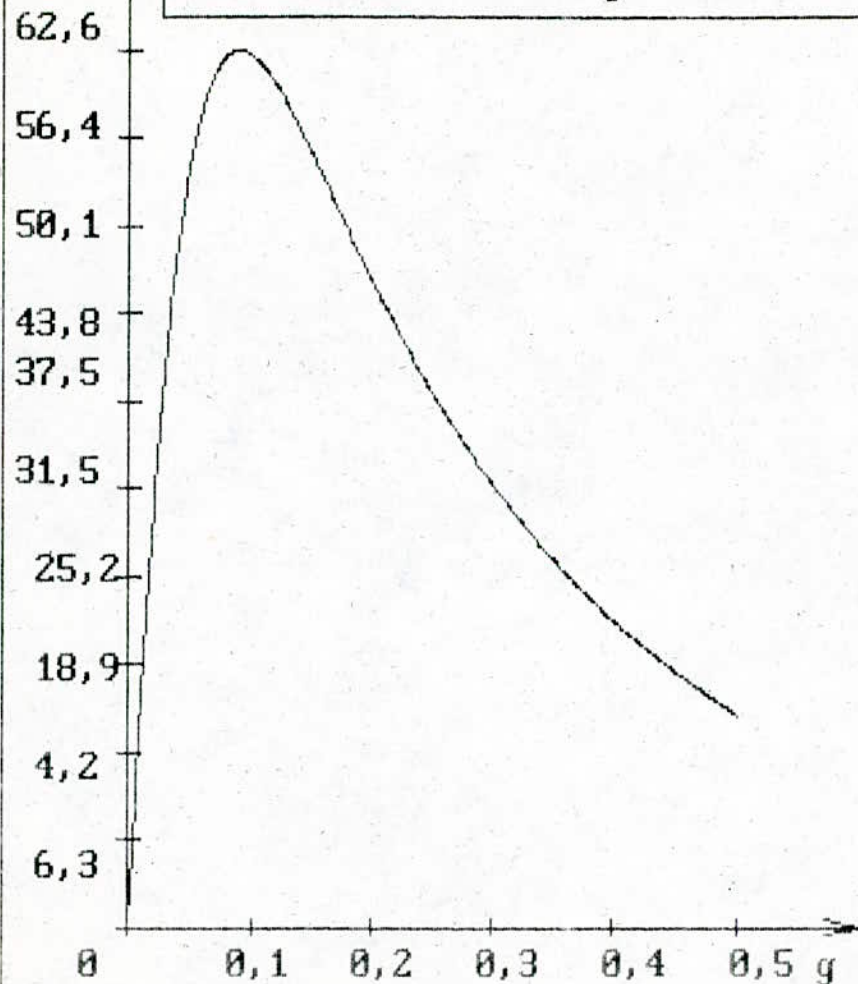
```



```
470 VIEW(65,10)-(370,50),,1
480 VIEW(385,7)-(633,80),,1
490 VIEW(385,150)-(633,200),,1
500 VIEW(388,202)-(630,260),,1
510 VIEW (385,262)-(633,310),,1
520 LOCATE 18,50:PRINT"b: Valeur du glissement pour":LOCATE 19,55:PRINT"une puis
sance nominale"
530 LOCATE 2,10 :PRINT "Tracé de la courbe de la puissance":LOCATE 3,15:PRINT"en
fonction du glissement"
540 LOCATE 2,52:PRINT"Parametres du moteur":LOCATE 3,50:PRINT"x1="X1:LOCATE 3,65
:PRINT"x2="X2:LOCATE 4,50:PRINT"XM="XM:LOCATE 4,65:PRINT"R1="R1:LOCATE 5,50:PRIN
T"R2="R2
550 LOCATE 15,50:PRINT"a: "Q1:LOCATE 15,65:PRINT Q2:LOCATE 16,50:PRINT"b: "FNP(U
,02):LOCATE 16,65:PRINT",021"
560 LOCATE 14,52 :PRINT "Pu(Kw)" :LOCATE 14,66 :PRINT "g"
570 LOCATE 11,50:PRINT"a: Valeur du glissement pour":LOCATE 12,55:PRINT"une puis
sance maximale"
580 LOCATE 4,2:PRINT"62,6":LOCATE 6,2:PRINT"56,4":LOCATE 8,2:PRINT"50,1":LOCATE
10,2:PRINT"43,8":LOCATE 11,2:PRINT"37,5":LOCATE 13,2:PRINT"31,5":LOCATE 15,3:PRI
NT"25,2":LOCATE 17,3:PRINT"18,9":LOCATE 19,3:PRINT"4,2":LOCATE 21,3:PRINT"6,3"
590 LOCATE 23,5:PRINT"0":LOCATE 23,12:PRINT"0,1":LOCATE 23,18:PRINT"0,2":LOCATE
23,24:PRINT"0,3":LOCATE 23,30:PRINT"0,4":LOCATE 23,36:PRINT"0,5"
600 COPY
610 END
```

Pu(Kw)

Tracé de la courbe de la puissance  
en fonction du glissement



Parametres du moteur

$x1 = .3923$

$x2 = .4304$

$XM = 13.307$

$R1 = .202$

$R2 = .0854$

a: Valeur du glissement pour  
une puissance maximale

| Pu(Kw)      | g    |
|-------------|------|
| a: 62.64782 | .089 |
| b: 29.38746 | .021 |

b: Valeur du glissement pour  
une puissance nominale



```

1 REM ***** COUPLE *****
10 CLS
20 R1=.202
30 R2=.0854
40 W=50*3.14*2
50 X1=.3823
60 X2=.4804
70 XM=13.31
80 UN=220
90 P=1
100 N1=3
110 N1=1500
120 LOCATE 23,42:PRINT"j":LOCATE 2,2:PRINT"C(N/m)"
130 DEF FNCOU(G)=3*(R2*P*UN^2/G)/(W*60*((R1+R2/G)^2+(X2+X1)^2))
140 X=.001
150 A3=FNCOU(X)
160 IF C3>A3 THEN 180
170 C3=A3
180 X=X+.01
190 IF X<.5 THEN 150
200 G=.001
210 VIEW (1,1)-(379,379),,1
220 VIEW (5,5)-(375,375),,1
230 WINDOW (-.1,-.1)-(7,1.2)
240 LINE (0,1,1)-(0,0):LINE (.6,0)-(0,0)
250 FOR I=0 TO .5 STEP .1
260 LINE (1,.01)-(1,-.01)
270 NEXT I
280 FOR I=0 TO 1.1 STEP .1
290 LINE (-.01,I)-(.01,I)
300 NEXT I
310 G1=G+.001
320 A1=FNCOU(G)
330 A2=FNCOU(G1)
340 B1=G
350 B2=G1
360 LINE (B1,A1/C3)-(B2,A2/C3)
370 IF C1 > A1 THEN 400
380 C1=A1
390 C2=G
400 G=G+.001
410 IF G < .5 THEN 310
420 LINE (.57,.01)-(1.6,0):LINE (.57,-.01)-(1.6,0)
430 LINE (.01,1.07)-(0,1.1):LINE (-.01,1.07)-(0,1.1)
440 VIEW (379,1)-(638,379),,1
450 VIEW (383,5)-(635,375),,1
460 VIEW(65,10)-(370,50),,1

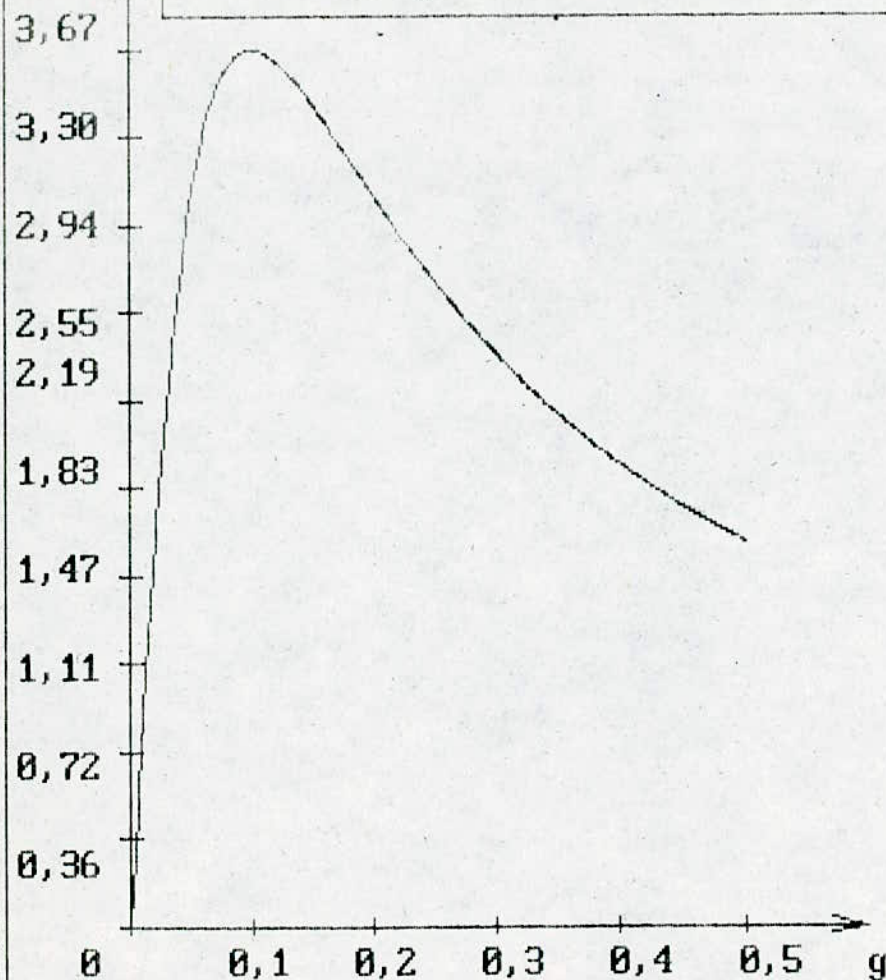
```

```
470 VIEW(385,7)-(633,80),,1
480 VIEW(385,150)-(633,200),,1
490 VIEW(388,202)-(630,260),,1
500 VIEW (385,262)-(633,310),,1
510 LOCATE 2,52:PRINT "Parametres du moteur":LOCATE 3,50:PRINT "X1="X1:LOCATE 3,65
:PRINT "X2="X2:LOCATE 4,50:PRINT "XM="XM:LOCATE 4,65:PRINT "R1="R1:LOCATE 5,50:PRIN
T "R2="R2
520 LOCATE 2,13:PRINT "Tracé du couple en fonction":LOCATE 3,18:PRINT "du glisseme
nt"
530 LOCATE 15,50:PRINT "a: "Q1:LOCATE 15,68:PRINT USING "N.###", Q2:LOCATE 16,
50:PRINT "b: "FNCOU(.021):LOCATE 16,68:PRINT ".021"
540 LOCATE 14,52:PRINT "C(N/m)":LOCATE 14,67:PRINT "g"
550 LOCATE 11,50:PRINT "a: Valeur du glissement":LOCATE 12,53:PRINT "pour un coupl
e maximum":LOCATE 18,50:PRINT "b: Valeur du couple pour":LOCATE 19,53:PRINT "une p
uissance nominale"
560 LOCATE 4,2:PRINT "3,66":LOCATE 6,2:PRINT "3,30":LOCATE 8,2:PRINT "2,94":LOCATE
10,2:PRINT "2,55":LOCATE 11,2:PRINT "2,19":LOCATE 13,2:PRINT "1,83":LOCATE 15,2:PRI
NT "1,47":LOCATE 17,2:PRINT "1,11":LOCATE 19,2:PRINT "0,72":LOCATE 21,2:PRINT "0,36"
570 LOCATE 23,5:PRINT "0":LOCATE 23,12:PRINT "0,1":LOCATE 23,18:PRINT "0,2":LOCATE
23,24:PRINT "0,3":LOCATE 23,30:PRINT "0,4":LOCATE 23,36:PRINT "0,5"
580 LCOPY
590 END
```



C(N/m)

Tracé du couple en fonction  
du glissement



Parametres du moteur

X1= .3923

X2= .4304

XM= 13.31

R1= .202

R2= .0854

a: Valeur du glissement  
pour un couple maximum

C(N/m)

g

a: 3.67302

0.101

b: 1.658442

.021

b: Valeur du couple pour  
une puissance nominale

```

1 REM ***** COS(PHI) *****
10 CLS
20 R1=.201
30 R2=.0854
40 W=3.14*50
50 X1=.3923
60 X2=.4304
70 XM=.1356
80 X1=X1+XM
90 X2=X2+XM
100 DEF FNCOSPHI(G)=(R1+G*XM^2*R2/(R2^2+(G*X2)^2))/(((R1+G*XM^2*R2/(R2^2+(G*X2)^2))^2+(X1-(G*XM)^2*X2/(R2^2+(G*X2)^2))^2)^(.5))
110 G=0
120 VIEW (1,1)-(379,379),,1
130 VIEW (5,5)-(375,375),,1
140 WINDOW (-.1,-.1)-(1.7,1.2)
150 LINE (0,1.1)-(0,0) : LINE (.6,0)-(0,0)
160 FOR I=0 TO .5 STEP .1
170 LINE (I, .01)-(I, -.01)
180 NEXT I
190 FOR I=0 TO 1.1 STEP .1
200 LINE (-.01,I)-(.01,I)
210 NEXT I
220 G:=G+.001
230 A1=FNCOSPHI(G)
240 A2=FNCOSPHI(G1)
250 B1=G
260 B2=G1
270 LINE (B1,A1)-(B2,A2)
280 IF C1 > A1 THEN 310
290 C1=A1
300 C2=G
310 G=G+.001
320 IF G < .5 THEN 220
330 LINE (.57, .01)-(0.6,0) : LINE (.57,-.01)-(0.6,0)
340 LINE (.01,1.07)-(0,1.1) : LINE (-.01,1.07)-(0,1.1)
350 LOCATE 23,40 :PRINT "g" : LOCATE 2,2:PRINT"Cos(phi)"
360 VIEW (379,1)-(638,379),,1
370 VIEW (383,5)-(635,375),,1
380 VIEW(385,7)-(633,80),,1
390 VIEW(385,150)-(633,200),,1
400 VIEW(388,202)-(630,250),,1
410 VIEW(73,10)-(370,50),,1
420 LOCATE 2,52:PRINT"Parametres du moteur":LOCATE 3,50:PRINT"X1="X1:LOCATE 3,65:PRINT"X2="X2 :LOCATE 4,50:PRINT"XM="XM:LOCATE 4,65:PRINT"R1="R1:LOCATE 5,50:PRINT"R2="R2
430 LOCATE 2,12 PRINT"Tracé de la courbe du facteur de puissance en fonction du glissement"
440 LOCATE 15,50 :PRINT C1 :LOCATE 15,65 :PRINT C2
450 LOCATE 14,52 :PRINT "Cos(phi)" :LOCATE 14,67 :PRINT "g"
460 LOCATE 11,50 :PRINT "Valeur du glissement pour un facteur de puissance maximum"

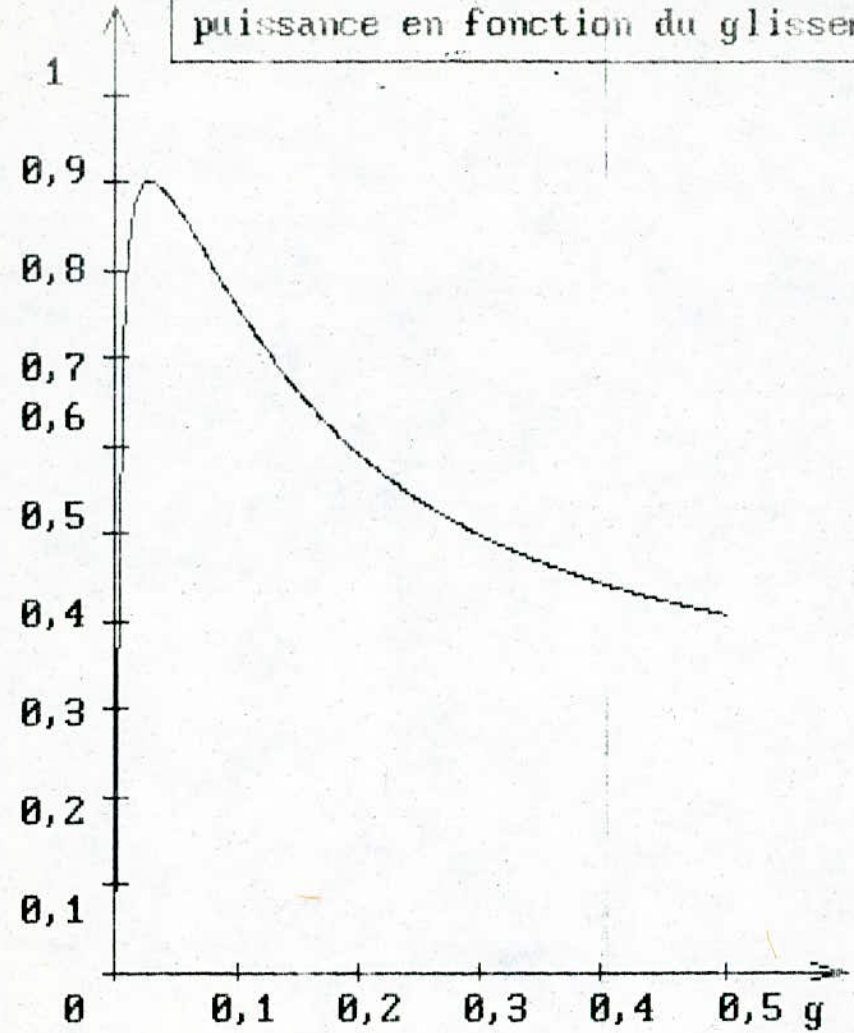
```



```
470 LOCATE 4,4:PRINT"1":LOCATE 6,3:PRINT"0,9":LOCATE 8,3:PRINT"0,8":LOCATE 10,3:  
PRINT"0,7":LOCATE 11,3:PRINT"0,6":LOCATE 13,3:PRINT"0,5":LOCATE 15,3:PRINT"0,4":  
LOCATE 17,3:PRINT"0,3":LOCATE 19,3:PRINT"0,2":LOCATE 21,3:PRINT"0,1":LOCATE 23,5  
PRINT"0"  
480 LOCATE 23,12:PRINT"0,1":LOCATE 23,18:PRINT"0,2":LOCATE 23,24:PRINT"0,3":LOCA  
TE 23,30:PRINT"0,4":LOCATE 23,36:PRINT"0,5"  
490 COPY  
500 END
```

Cos(phi)

Tracé de la courbe du facteur de puissance en fonction du glissement



Parametres du moteur

X1= .3923      X2= .4304  
XM= 13.56      R1= .201  
R2= .0854

Valeur du glissement pour un facteur de puissance maximum

| Cos(phi) | g    |
|----------|------|
| .9020819 | .027 |



```

1 REM *****RENDMENT *****
10 CLS
20 R1=.201
30 R2=.0854
40 W=50*3.14*2
50 X11=.3923
60 X22=.4322
70 XM=13.31
80 X1=X11+XM
90 X2=X2+XM
100 UN=220
110 P=1
120 M1=3
130 DEF FNNETA(G)=(G*XM^2*R2*(1-G))/(R1*(R2^2+(G*X2)^2)+R2*(G*XM^2))
140 X=0
150 A3=FNNETA(X)
160 IF C3>A3 THEN 180
170 C3=A3
180 X=X+.01
190 IF X<.5 THEN 150
200 G=0
210 VIEW (1,1)-(379,379),,1
220 VIEW (5,5)-(375,375),,1
230 WINDOW (-.1,-.1)-(.7,1.2)
240 LINE (0,1.1)-(0,0) : LINE (.6,0)-(0,0)
250 FOR I=0 TO 1.1 STEP .1
260 LINE (-.01,I)-(.01,I)
270 NEXT I
280 FOR I=0 TO .5 STEP .1
290 LINE (I,-.01)-(I,.01)
300 NEXT I
310 LOCATE 23,40:PRINT "g":LOCATE 2,2:PRINT "Neta"
320 G1=G+.001
330 A1=FNNETA(G)
340 A2=FNNETA(G1)
350 B1=G
360 B2=G1
370 IF C3=0 THEN 390
380 LINE (B1,A1/C3)-(B2,A2/C3)
390 IF C1 > A1 THEN 420
400 C1=A1
410 C2=G
420 G=G+.001
430 IF G<.5 THEN 320
440 LINE (.55,-.015)-(.6,0) : LINE (.55,.015)-(.6,0)
450 LINE (.01,1.05)-(0,1.1) : LINE (-.01,1.05)-(0,1.1)
460 VIEW (379,1)-(638,379),,1

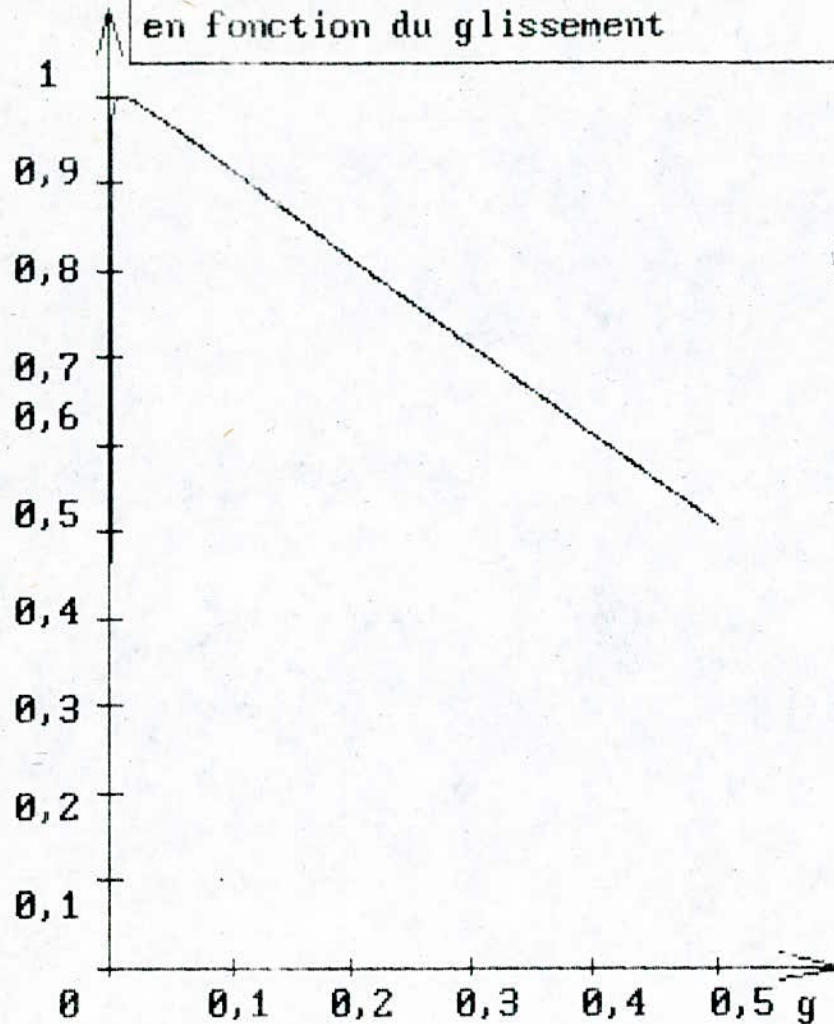
```

```
470 VIEW (383,5)-(635,375),,1
480 VIEW(385,7)-(633,80),,1
490 VIEW(385,150)-(633,200),,1
500 VIEW(388,202)-(630,250),,1
510 VIEW(60,10)-(370,50),,1
520 LOCATE 2,9 :PRINT "Trace de la courbe du rendement":LOCATE 3,9:PRINT"en fonc
tion du glissement "
530 LOCATE 2,52:PRINT"Parametres du moteur":LOCATE 3,50:PRINT"X1="X11:LOCATE 3,6
5:PRINT"X2="X22:LOCATE 4,50:PRINT"XM="XM:LOCATE 4,65:PRINT"R1="R1:LOCATE 5,50:PR
INT"R2="R2
540 LOCATE 15,50 :PRINT C1:LOCATE 15,65 :PRINT C2
550 LOCATE 14,52 :PRINT "Neta(g)" :LOCATE 14,67 :PRINT "g"
560 LOCATE 11,52 :PRINT "Valeur du glissement":LOCATE 12,50:PRINT"pour un rendem
ent maximum "
570 LOCATE 4,4 :PRINT"1":LOCATE 6,3:PRINT"0,9":LOCATE 8,3:PRINT"0,8":LOCATE 10,3:
PRINT"0,7":LOCATE 11,3:PRINT"0,6":LOCATE 13,3:PRINT"0,5":LOCATE 15,3:PRINT"0,4":
LOCATE 17,3:PRINT"0,3":LOCATE 19,3:PRINT"0,2":LOCATE 21,3:PRINT"0,1":LOCATE 23,5
:PRINT"0"
580 LOCATE 23,12:PRINT"0,1":LOCATE 23,18:PRINT"0,2":LOCATE 23,24:PRINT"0,3":LOCA
TE 23,30:PRINT"0,4":LOCATE 23,36:PRINT"0,5"
590 END
```



Néta

Tracé de la courbe du rendement  
en fonction du glissement



Parametres du moteur

X1= .3923

X2= 13.31

XM= 13.31

R1= .201

R2= .0854

Valeur du glissement  
pour un rendement maximum

Néta(g)

g

.9804995

.01

\*\*\*\*\*  
\* ANNEXE \*  
\* E \*  
\*\*\*\*\*



```

1 REM ***** COMOTEUR *****
10 CLEAR
20 CLS
30 DIM C1(100),C2(100),C3(100),C4(100),C5(100),C6(100),C7(100),C8(100),C9(100),C
10(100),NBPANSE(100),NBPANPA(100),NBPA(100),NBSE(100),NBPAPA(100),NBPASE(100),NBP
PAPAP(100),NBPASEAP(100),JA(100),C11(100),C12(100),C13(100),C14(100)
40 NETAB=.8
50 NETAQ=.98
60 NETAP=.14
70 I1=0
80 X11=.3923
90 X22=.4303
100 XM=13.31
110 X1=X11+XM
120 X2=X22+XM
130 R1=.202
140 R2=.0854
150 UNMAX=220
160 IPH=200
170 Q=1.6E-19
180 IO=.02
190 N=1
200 K=1.38E-23
210 T=300
220 DEF FNI(V)=IPH-IO*(EXP(Q*V/(2*K*T))-1)
230 DEF FNCSPHI(G)=(R1+G*XM^2*R2/(R2^2+(G*X2)^2))/((R1+G*XM^2*R2/(R2^2+(G*X2)^2
))^2+(X1-(G*XM)^2*X2/(R2^2+(G*X2)^2))^2)^(.5)
240 DEF FNNETA(G)=R2*(1-G)*G*XM^2/(R1*(R2^2+(G*X2)^2)+R2*G*XM^2)
250 DEF FNPA(U,G)=3*(R1+G*XM^2*R2/(R2^2+G^2*X2^2))*U^2/((R1+G*XM^2*R2/(R2^2+G^2*
X2^2))^2+(X1-G^2*XM^2*X2/(R2^2+G^2*X2^2))^2)
260 DEF FNPU(U,G)=3*(R2*G*(1-G)*XM^2*U^2)/((R2^2+(X2*G)^2)*((R1+G*XM^2*R2/(R2^2-
G^2*X2^2))^2+(X1-G^2*XM^2*X2/(R2^2+G^2*X2^2))^2)
270 DEF FWIN1(U,G)=3*U/(((R1+G*XM^2*R2/(R2^2+G^2*X2^2))^2+(X1-G^2*XM^2*X2/(R2^2+
G^2*X2^2))^2)^(.5))
280 VIEW (1,1)-(379,379),,1
290 VIEW (5,5)-(375,375),,1
300 WINDOW (-.1,-.1)-(1.2,1.2)
310 LINE (0,1,1)-(0,0):LINE (1,1,0)-(0,0)
320 FOR I=0 TO 1.1 STEP .1
330 LINE (I,.01)-(I,-.01)
340 NEXT I
350 FOR I=0 TO 1 STEP .1
360 LINE (-.01,I)-(.01,I)
370 NEXT I
380 LINE (.02,1.05)-(0,1,1):LINE (-.02,1.05)-(0,1,1)
390 LINE (1.05,-.02)-(1,1,0):LINE (1,1,0)-(1.05,.02)
400 GOSUB 1380
410 FOR I=1 TO 21

```

```
410 FOR I=1 TO 21
420 READ NBPASEAP(I)
430 NEXT I
440 DATA 576,576,576,576,612,612,612,612,612,612,648,648,648,648,648,648,684,68
4,684,684,684
450 FOR I=1 TO 21
460 READ NBPANSE(I)
470 NEXT I
480 DATA 576,576,576,576,612,612,612,612,612,612,648,648,648,648,648,648,684,68
4,684,684,684
490 FOR I=1 TO 21
500 READ NBPASE(I)
510 NEXT I
520 DATA 536,542,548,553,559,565,571,577,583,589,595,601,607,613,619,625,631,63
7,643,649,655
530 FOR I=1 TO 21
540 READ NBPAPAAP(I)
550 NEXT I
560 DATA 3810,3852,3894,3943,3985,4027,4069,4111,4153,4195,4237,4279,4321,4363,
4405,4447,4489,4531,4573,4615,4657
570 FOR I=1 TO 21
580 READ NBPANPA(I)
590 NEXT I
600 DATA 1004,1015,1026,1039,1050,1061,1072,1083,1094,1106,1117,1128,1139,1150,
1161,1172,1183,1194,1205,1216,1227
610 FOR I=1 TO 21
620 READ NBPAPA(I)
630 NEXT I
640 DATA 653,660,667,676,683,690,697,704,712,719,726,733,740,748,755,762,769,77
6,784,791,798
650 FOR I=1 TO 21
660 READ C12(I)
670 NEXT I
680 DATA .893,.893,.893,.893,.893,.893,.893,.893,.893,.893,.893,.893,.893,
.893,.893,.893,.893,.893,.893
690 FOR I=1 TO 21
700 READ C3(I)
710 NEXT I
720 DATA 137.5,139.1,140.6,142.1,143.7,145.2,146.7,148.2,149.8,151.3,152.8,154.
4,155.9,157.4,158.9,160.5,162.0,163.5,165.1,166.6,168.1
730 FOR I=1 TO 21
740 READ C5(I)
750 NEXT I
760 DATA 22582.33,23086.95,23597.14,24112.91,24634.25,25161.18,25693.67,26231.7
4,26775.39,27324.61,27879.42,28439.79,29005.74,29577.27,30154.37,30737,31325.31,
31919.14,32518.54,33123.52,33734.08
770 FOR I=1 TO 21
780 READ C2(I)
```



```

790 NEXT I.
800 DATA 198,200.2,202.4,204.6,206.8,209,211.2,213.4,215.6,217.8,220,222.2,224.
4,226.6,228.8,231,233.2,235.4,237.6,239.8,242
810 FOR I=1 TO 21
820 READ C7(I)
830 NEXT I
840 DATA 522.1,527.9,533.7,539.5,545.3,551.1,556.9,562.7,568.5,574.3,580.1,585.
9,591.7,597.5,603.3,609.1,614.9,620.7,626.5,632.3,638.1
850 FOR I=1 TO 21
860 READ C6(I)
870 NEXT I
880 DATA .68,.68,.68,.68,.68,.68,.68,.68,.68,.68,.68,.68,.68,.68,.68,.68,.68,.68,.68,.68,.68
8,.68,.68,.68
890 FOR I=1 TO 21
900 READ C11(I)
910 NEXT I
920 DATA .929,.929,.929,.929,.929,.929,.929,.929,.929,.929,.929,.929,.929,.929,.929,
929,.929,.929,.929,.929,.929,.929
930 FOR I=1 TO 21
940 READ C14(I)
950 NEXT I
960 DATA .635,.635,.635,.635,.635,.635,.635,.635,.635,.635,.635,.635,.635,.635,.635,
635,.635,.635,.635,.635,.635,.635
970 D1=NBPA5EAP(11)
980 D2=NBPAFAAP(11)
990 FOR J=0 TO 11
1000 IF D3>NBPANSE(J) THEN 1020
1010 D3=NBPANSE(J)
1020 IF D4>NBPANPA(J) THEN 1040
1030 D4=NBPANPA(J)
1040 NEXT J
1050 GOSUB 1140
1060 GOSUB 1560
1070 VIEW(379,1)-(638,379),,1
1080 VIEW(383,5)-(635,375),,1
1090 VIEW(50,10)-(370,35),,1
1100 VIEW(385,7)-(633,180),,1
1110 VIEW(388,207)-(630,360),,1
1120 GOSUB 1810
1125 LCOPY
1130 END
1140 REM *****
1150 REM ***** TRACE DE LA COURBE PANNEAU-MOTEUR *****
1160 REM *****
1170 REM ***** TRACE DE LA COURBE DES PUISSANCES *****
1180 REM *****
1190 FOR J=0 TO 20
1200 E1=D1*VPMAX
1210 E2=D2*IPMAX
1220 IF J>0 THEN 1270

```



```

1230 LINE(0,0)-(C2(1)/E1,1000*C12(1)*C3(1)/E2)
1240 LINE(0,0)-(C2(1)/E1,1000*C5(1)/(C2(1)*E2))
1250 LINE(0,0)-(C2(1)/E1,1000*C3(1)/E2)
1260 GOTO 1300
1270 LINE(C2(J)/E1,1000*C3(J)/E2)-(C2(J+1)/E1,1000*C3(J+1)/E2)
1280 LINE(C2(J)/E1,1000*C3(J)*(C12(J)/E2)-(C2(J+1)/E1,1000*C3(J+1)*(C12(J+1)/E2)
))
1290 LINE(C2(J)/E1,1000*C5(J)/(C2(J)*E2)-(C2(J+1)/E1,1000*C5(J+1)/(C2(J+1)*E2)
)
1300 IF J>0 THEN 1340
1310 LINE(0,0)-(C2(1)/E1,1000*C7(1)/E2)
1320 LINE(0,0)-(C2(1)/E1,1000*C7(1)*C6(1)/E2)
1330 GOTO 1360
1340 LINE(C2(J)/E1,1000*C7(J)/E2)-(C2(J+1)/E1,1000*C7(J+1)/E2)
1350 LINE(C2(J)/E1,1000*C7(J)*C6(J)/E2)-(C2(J+1)/E1,1000*C7(J+1)*C6(J+1)/E2)
1360 NEXT J
1370 RETURN
1380 REM *****
1390 REM ***** CALCUL DE LA VALEUR VMAX-IPMAX DES PANNEAUX SOLAIRES *****
1400 REM *****
1410 X=0
1420 A=FNI(X)
1430 IF A<0 THEN 1530
1440 IF A<IMAX THEN 1460
1450 IMAX=A
1460 IF X<VMAX THEN 1480
1470 VMAX=X
1480 C1=A*X
1490 IF PMAX<C1 THEN 1530
1500 PMAX=C1
1510 VPMAX=X
1520 IPMAX=A
1530 X=X+.01
1540 IF X<.48 THEN 1420
1550 RETURN
1560 REM *****
1570 REM ***** TRACE DE LA COURBE DES PANNEAUX SOLAIRES *****
1580 REM *****
1590 V=0
1600 V1=V+.001
1610 A1=FNI(V)
1620 IF A1<0 THEN 1660
1630 A2=FNI(V1)
1640 LINE(V/VMAX,A1/IMAX)-(V1/VMAX,A2/IMAX)
1650 LINE(D3*V/(NBPASEAP(11)*VMAX),D4*A1/(NBPAPAP(11)*IMAX))-(D3*V1/(NBPASEAP(
11)*VMAX),D4*A2/(NBPAPAP(11)*IMAX))
1660 V=V+.001
1670 IF V<.48 THEN 1600
1680 FOR J=0 TO 20

```



```

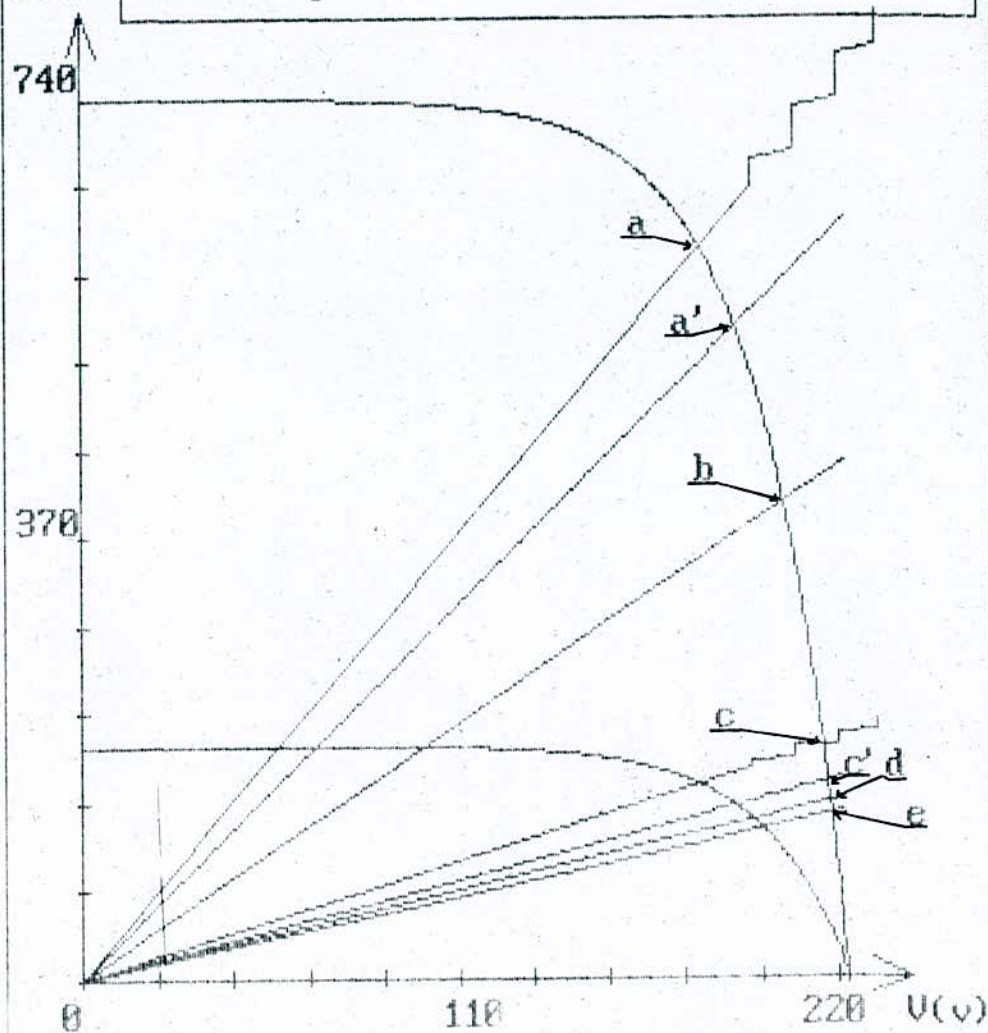
1690 F1=NBPANSE(J)*VPMAX
1700 F2=NBPANPA(J)*IPMAX
1710 F3=NBPANSE(J+1)*VPMAX
1720 F4=NBPANPA(J+1)*IPMAX
1730 F5=NBPASEAP(J)*VPMAX
1740 F6=NBPAPAAP(J)*IPMAX
1750 F7=NBPASEAP(J+1)*VPMAX
1760 F8=NBPAPAAP(J+1)*IPMAX
1770 LINE (F1/E1,F2/E2)-(F3/E1,F4/E2)
1780 LINE (F5/E1,F6/E2)-(F7/E1,F8/E2)
1790 NEXT J
1800 RETURN
1810 LOCATE 2,8:PRINT"Courbes panneaux-moteur":LOCATE 6,49:PRINT"e':puissance ap
parente nominale":LOCATE 7,49:PRINT"d:puissance active nominale":LOCATE 3,49:PRI
NT"a':puissance apparente maximale":LOCATE 2,49:PRINT"a:puissance max des pannea
ux"
1820 LOCATE 5,49:PRINT"e:puissance panneaux optimisée":LOCATE 11,49:PRINT"e:rend
ement du systeme optimisé":LOCATE 4,49:PRINT"b:puissance active maximale":LOCATE
8,49:PRINT"e:puissance utile nominale"
1830 LOCATE 9,49:PRINT"e:rendement du systeme non":LOCATE 10,51:PRINT"optimisé"
1840 LOCATE 14,50:PRINT"a":LOCATE 14,53:PRINT USING"###.#",NBPASEAP(11)*VPMAX:LO
CATE 14,62:PRINT USING"###.#",NBPASEAP(11)*VPMAX*NBPAPAAP(11)*IPMAX/10^6:LOCATE
14,71:PRINT USING"###.#",NBPAPAAP(11)*IPMAX/1000
1850 LOCATE 15,50:PRINT"a':":LOCATE 15,53:PRINT USING"###.#",C2(11):LOCATE 15,62
:PRINT USING"###.#",C7(11)*C2(11)/1000:LOCATE 15,71:PRINT USING"###.#",C7(11)
1860 LOCATE 16,50:PRINT"b':":LOCATE 16,53:PRINT USING"###.#",C2(11):LOCATE 16,62
:PRINT USING"###.#",C2(11)*C7(11)*C6(11)/1000:LOCATE 16,71:PRINT USING"###.#",C7(1
1)
1870 LOCATE 17,50:PRINT"e":LOCATE 17,53:PRINT USING"###.#",NBPANSE(11)*VPMAX:LO
CATE 17,62:PRINT USING"###.#",NBPANSE(11)*VPMAX*NBPANPA(11)*IPMAX/10^6:LOCATE 17,
71:PRINT USING"###.#",NBPANPA(11)*IPMAX/1000
1880 LOCATE 18,50:PRINT"e':":LOCATE 18,53:PRINT USING"###.#",C2(11):LOCATE 18,62
:PRINT USING"###.#",C3(11)*C2(11)/1000:LOCATE 18,71:PRINT USING"###.#",C3(11)
1890 LOCATE 19,50:PRINT"d':":LOCATE 19,53:PRINT USING"###.#",C2(11):LOCATE 19,62
:PRINT USING"###.#",C12(11)*C3(11)*C2(11)/1000:LOCATE 19,71:PRINT USING"###.#",C3(
11)
1900 LOCATE 20,50:PRINT"e":LOCATE 20,53:PRINT USING"###.#",C2(11):LOCATE 20,62:
PRINT USING"###.#",C5(11)/1000:LOCATE 20,71:PRINT USING"###.#",C3(11)
1910 LOCATE 21,50:PRINT"f':":LOCATE 21,62:PRINT USING"###.#",C5(11)/(NBPASEAP(11)
*VPMAX*NBPAPAAP(11)*IPMAX))*NETAP
1920 LOCATE 22,50:PRINT"e":LOCATE 22,62:PRINT USING"###.#",C5(11)/(NBPANSE(11)
*VPMAX*NBPANPA(11)*IPMAX/1000))*NETAP:LOCATE 21,50:PRINT"f':":LOCATE 21,62:PRINT
USING"###.#",C5(11)/(NBPAPAAP(11)*NBPASEAP(11)*VPMAX*IPMAX/1000))*NETAP
1930 LOCATE 7,31:PRINT"a":LOCATE 9,33:PRINT"a':":LOCATE 12,34:PRINT"b":LOCATE 17,
35:PRINT"e":LOCATE 18,41:PRINT"e':":LOCATE 18,43:PRINT"d":LOCATE 19,44:PRINT "e"
1940 LOCATE 23,4:PRINT"0":LOCATE 23,22:PRINT"110":LOCATE 23,39:PRINT"220":LOCATE
23,44:PRINT"V(v)":LOCATE 2,2:PRINT"I(A)":LOCATE 4,2:PRINT"740":LOCATE 13,2:PRIN
T"370":LOCATE 13,54:PRINT"V(v)":LOCATE 13,63:PRINT"P(kw)":LOCATE 13,72:PRINT"I(A
)"
1950 RETURN

```



I (A)

Courbes panneaux-moteur



a: puissance max des panneaux  
 a': puissance apparente maximale  
 b: puissance active maximale  
 c: puissance panneaux optimisée  
 c': puissance apparente nominale  
 d: puissance active nominale  
 e: puissance utile nominale  
 f: rendement du systeme non optimisé  
 g: rendement du systeme optimisé

|     | U (v) | P (kw) | I (A) |
|-----|-------|--------|-------|
| a:  | 239.8 | 177.3  | 739.5 |
| a': | 220.0 | 127.6  | 580.1 |
| b:  | 220.0 | 86.8   | 580.1 |
| c:  | 239.8 | 46.7   | 195.0 |
| c': | 220.0 | 33.6   | 152.8 |
| d:  | 220.0 | 30.0   | 152.8 |
| e:  | 220.0 | 27.9   | 152.8 |
| f:  |       | 0.022  |       |
| g:  |       | 0.083  |       |



```

1 REM ***** COMOTEUR *****
10 CLEAR
20 CLS
30 DIM C1(100),C2(100),C3(100),C4(100),C5(100),C6(100),C7(100),C8(100),C9(100),C
10(100),NBPANSE(100),NBPANPA(100),NBPA(100),NBSE(100),NBPAPA(100),NBPASE(100),NB
PAPAAP(100),NBPASEAP(100),JA(100),C11(100),C12(100),C13(100),C14(100)
40 METAB=.8
50 NETAC=.98
60 NETAP=.14
70 I1=0
80 X11=.3923
90 X22=.4303
100 XM=13.31
110 X1=X11+XM
120 X2=X22+XM
130 R1=.202
140 R2=.0854
150 UNMAX=220
160 IPH=200
170 Q=1.6E-19
180 IO=.02
190 N=1
200 K=1.38E-23
210 T=300
220 DEF FNI(U)=IPH-IO*(EXP(Q*U/(2*K*T)))-1)
230 DEF FNCSPHI(G)=(R1+G*XM^2*R2/(R2^2+(G*X2)^2))/(((R1+G*XM^2*R2/(R2^2+(G*X2)^2
))^2+(X1-(G*XM)^2*X2/(R2^2+(G*X2)^2))^2)^(.5))
240 DEF FNNETA(G)=R2*(1-G)*G*XM^2/(R1*(R2^2+(G*X2)^2)+R2*G*XM^2)
250 DEF FNPA(U,G)=3*(R1+G*XM^2*R2/(R2^2+G^2*X2^2))*U^2/((R1+G*XM^2*R2/(R2^2+G^2
*X2^2))^2+(X1-G^2*XM^2*X2/(R2^2+G^2*X2^2))^2)
260 DEF FNPU(U,G)=3*(R2*G*(1-G)*XM^2*U^2)/((R2^2+(X2*G)^2)*((R1+G*XM^2*R2/(R2^2+
G^2*X2^2))^2+(X1-G^2*XM^2*X2/(R2^2+G^2*X2^2))^2)
270 DEF FNI1(U,G)=3*U/(((R1+G*XM^2*R2/(R2^2+G^2*X2^2))^2+(X1-G^2*XM^2*X2/(R2^2+
G^2*X2^2))^2)^(.5))
280 VIEW (1,1)-(379,379),,1
290 VIEW (5,5)-(375,375),,1
300 WINDOW (-.1,-.1)-(1.2,1.2)
310 LINE (0,1,1)-(0,0):LINE (1,1,0)-(0,0)
320 FOR I=0 TO 1.1 STEP .1
330 LINE #I,.01)-(I,-.01)
340 NEXT I
350 FOR I=0 TO 1 STEP .1
360 LINE (-.01,I)-(.01,I)
370 NEXT I
380 LINE (.02,1.05)-(0,1.1):LINE (-.02,1.05)-(0,1.1)
390 LINE (1.05,-.02)-(1.1,0):LINE (1.1,0)-(1.05,.02)
400 GOSUB 1430
410 FOR U=198 TO 1.1*UNMAX STEP 2.2
420 I1=I1+1

```

```
430 G=0
440 A1=FNPA(U,G)
450 A5=FNPU(U,G)
460 A2=FNIN1(U,G)
470 A3=FNNETA(G)
480 A4=FNCSPhi(G)
490 IF A1<C8(I1) THEN 560
500 C6(I1)=A4
510 C7(I1)=A2
520 C8(I1)=A1
530 C9(I1)=A5
540 C13(I1)=G
550 C14(I1)=A3
560 IF C10(I1)>A3*A4 THEN 650
570 C1(I1)=G
580 C2(I1)=U
590 C3(I1)=A2
600 C4(I1)=A1
610 C5(I1)=A5
620 C10(I1)=A3*A4
630 C11(I1)=A3
640 C12(I1)=A4
650 G=G+.01
660 IF G<.5 THEN 440
670 IN1=C3(I1)
680 UN=C2(I1)
690 FAB=C4(I1)/(C12(I1)*NETAC*NETAB)
700 GOSUB 990
710 NBPANSE(I1)=JA(I1)
720 NBPANPA(I1)=NBPA(I1)
730 IF C2(I1)=0 THEN 780
740 IN1=C5(I1)/C2(I1)
750 UN=C2(I1)
760 FAB=C5(I1)
770 GOSUB 990
780 NBPASE(I1)=NBSE(I1)
790 NBPAPA(I1)=NBPA(I1)
800 IN1=C7(I1)
810 UN=C2(I1)
820 FAB=C8(I1)/(C6(I1)*NETAC*NETAB)
830 GOSUB 990
840 NBPASEAP(I1)=JA(I1)
850 NBPAPAAP(I1)=NBPA(I1)
860 NEXT U
870 FOR J=0 TO 11
880 IF D3>NBPANSE(J) THEN 900
890 D3=NBPANSE(J)
900 IF D4>NBPANPA(J) THEN 920
```



```

900 IF D4)NBPANPA(J) THEN 920
910 D4=NBPANPA(J)
920 NEXT J
930 GOSUB 1610
940 LOCATE 24,79:INPUT,L
950 INPUT"DESIREZ-VOUS AFFICHER LES RESULTATS      O/N".L$
960 IF L$="O" THEN GOSUB 2400
970 IF L$="N" THEN
980 END
990 REM *****
1000 REM *****  CALCUL DU NOMBRE DE CELLULES SOLAIRES *****
1010 REM *****
1020 IP=IPMAX/1000
1030 VP=VPMAX
1040 I=1
1050 J=1
1060 REM *****  NOMBRE DE CELLULES SERIES *****
1070 C=PAB/(I*IP*J*VP)
1080 IF C<1 THEN 1150
1090 IF UN(J*VP THEN 1130
1100 J=J+1
1110 GOTO 1070
1120 REM *****  NOMBRE DE CELLULES PARALLELES *****
1130 I=I+1
1140 GOTO 1070
1150 JA(I1)=CINT(J/36)
1160 IF ABS(JA(I1)-J/36)=0 THEN 1180
1170 JA(I1)=(JA(I1)+1)*36
1180 IF I1>11 THEN 1230
1190 IF D1)J THEN 1210
1200 D1=J
1210 IF D2)I THEN 1230
1220 D2=I
1230 NBSE(I1)=J
1240 NBPA(I1)=I
1250 REM *****
1260 REM *****  CALCUL DU NOMBRE DE BATTERIES MISEN EN SERIES /PARALLELES *****
1270 REM *****
1280 I2=1

```

```

1290 J2=1
1300 IBAT=30
1310 VBAT=I2
1320 C1=PAE/(I2*IBAT*J2*VBAT)
1330 IF C1<1 THEN 1400
1340 IF IN1<I2*IBAT THEN 1370
1350 I2=I2+1
1360 GOTO 1320
1370 IF UN<J2*VBAT THEN 1380
1380 J2=J2+1
1390 GOTO 1320
1400 NBBATSE=J2
1410 NBBATPA=I2
1420 RETURN
1430 REM *****
1440 REM ***** CALCUL DE LA VALEUR VMAX-IPMAX DES PANNEAUX SOLAIRES *****
1450 REM *****
1460 X=0
1470 A=FNI(X)
1480 IF A<0 THEN 1580
1490 IF A<IMAX THEN 1510
1500 IMAX=A
1510 IF X<VMAX THEN 1530
1520 VMAX=X
1530 C1=A*X
1540 IF PMAX>C1 THEN 1580
1550 PMAX=C1
1560 VPMAX=X
1570 IPMAX=A
1580 X=X+.01
1590 IF X<.48 THEN 1470
1600 RETURN
1610 REM *****
1620 REM ***** TRACE DE LA COURBE DES PANNEAUX SOLAIRES *****
1630 REM *****
1640 GOSUB 1730
1650 GOSUB 1970
1660 VIEW(379,1)-(638,379),,1
1670 VIEW(383,5)-(635,375),,1
1680 VIEW(50,10)-(370,35),,1
1690 VIEW(385,7)-(633,180),,1
1700 VIEW(388,207)-(630,360),,1
1710 GOSUB 2220
1720 RETURN
1730 REM *****
1740 REM ***** TRACE DE LA COURBE PANNEAU-MOTEUR *****
1750 REM *****
1760 REM ***** TRACE DE LA COURBE DES PUISSANCES *****

```



```

1770 REM *****
1780 FOR J=0 TO 20
1790 E1=D1*VPMAX
1800 E2=D2*IPMAX
1810 IF J)0 THEN 1860
1820 LINE (0,0)-(C2(1)/E1,1000*C12(1)*C3(1)/E2)
1830 LINE (0,0)-(C2(1)/E1,1000*C5(1)/(C2(1)*E2))
1840 LINE (0,0)-(C2(1)/E1,1000*C3(1)/E2)
1850 GOTO 1890
1860 LINE (C2(J)/E1,1000*C3(J)/E2)-(C2(J+1)/E1,1000*C3(J+1)/E2)
1870 LINE (C2(J)/E1,1000*C3(J)*(C12(J)/E2))-(C2(J+1)/E1,1000*C3(J+1)*(C12(J+1)/E2))
1880 LINE (C2(J)/E1,1000*C5(J)/(C2(J)*E2))-(C2(J+1)/E1,1000*C5(J+1)/(C2(J+1)*E2))
1890 IF J)0 THEN 1930
1900 LINE (0,0)-(C2(1)/E1,1000*C7(1)/E2)
1910 LINE (0,0)-(C2(1)/E1,1000*C7(1)*C6(1)/E2)
1920 GOTO 1950
1930 LINE (C2(J)/E1,1000*C7(J)/E2)-(C2(J+1)/E1,1000*C7(J+1)/E2)
1940 LINE (C2(J)/E1,1000*C7(J)*C6(J)/E2)-(C2(J+1)/E1,1000*C7(J+1)*C6(J+1)/E2)
1950 NEXT J
1960 RETURN
1970 REM *****
1980 REM ***** TRACE DE LA COURBE DES PANNEAUX SOLAIRES *****
1990 REM *****
2000 V=0
2010 V1=V+.001
2020 A1=FNI(V)
2030 IF A1(0 THEN 2070
2040 A2=FNI(V1)
2050 LINE (V/VMAX,A1/IMAX)-(V1/VMAX,A2/IMAX)
2060 LINE (D3*V/(NBPASEAP(11)*VMAX),D4*A1/(NBPAPAAP(11)*IMAX))-(D3*V1/(NBPASEAP(11)*VMAX),D4*A2/(NBPAPAAP(11)*IMAX))
2070 V =V+.001
2080 IF V(.48 THEN 2010
2090 FOR J=0 TO 20
2100 F1=NBPANSE(J)*VPMAX
2110 F2=NBPANPA(J)*IPMAX
2120 F3=NBPANSE(J+1)*VPMAX
2130 F4=NBPANPA(J+1)*IPMAX
2140 F5=NBPASEAP(J)*VPMAX
2150 F6=NBPAPAAP(J)*IPMAX
2160 F7=NBPASEAP(J+1)*VPMAX
2170 F8=NBPAPAAP(J+1)*IPMAX
2180 LINE (F1/E1,F2/E2)-(F3/E1,F4/E2)
2190 LINE (F5/E1,F6/E2)-(F7/E1,F8/E2)
2200 NEXT J
2210 RETURN

```



```

2220 REM *****
2230 REM ***** AFFICHAGE DES COMMENTAIRES DE L'ECRAN *****
2240 REM *****
2250 LOCATE 2,8:PRINT"Couřbes panneaux-moteur":LOCATE 6,49:PRINT"e':puissance ap
parente nominale":LOCATE 7,49:PRINT"d:puissance active nominale":LOCATE 3,49:PRI
NT"a':puissance apparente maximale":LOCATE 2,49:PRINT"a:puissance max des pannea
ux"
2260 LOCATE 5,49:PRINT"e:puissance panneaux optimisėe":LOCATE 11,49:PRINT"e:rend
ement du systeme optimisėe":LOCATE 4,49:PRINT"b:puissance active maximale":LOCATE
 8,49:PRINT"e:puissance utile nominale"
2270 LOCATE 9,49:PRINT"f:rendement du systeme non":LOCATE 10,51:PRINT"optimisėe"
2280 LOCATE 14,50:PRINT"a":LOCATE 14,53:PRINT USING"###.#":NBPASEAP(11)*VPMAX:L
OCATE 14,62:PRINT USING"###.#":NBPASEAP(11)*VPMAX*NBPAPAAP(11)*IPMAX/10^6:LOCATE
 14,71:PRINT USING"###.#":NBPAPAAP(11)*IPMAX/1000
2290 LOCATE 15,50:PRINT"a':":LOCATE 15,53:PRINT USING"###.#":C2(11):LOCATE 15,62
:PRINT USING"###.#":C7(11)*C2(11)/1000:LOCATE 15,71:PRINT USING"###.#":C7(11)
2300 LOCATE 16,50:PRINT"b':":LOCATE 16,53:PRINT USING"###.#":C2(11):LOCATE 16,62:
PRINT USING"###.#":C2(11)*C7(11)*C6(11)/1000:LOCATE 16,71:PRINT USING"###.#":C7(1
1)
2310 LOCATE 17,50:PRINT"e':":LOCATE 17,53:PRINT USING"###.#":NBPANSE(11)*VPMAX:LO
CATE 17,62:PRINT USING"###.#":NBPANSE(11)*VPMAX*NBPANPA(11)*IPMAX/10^6:LOCATE 17,
71:PRINT USING"###.#":NBPANPA(11)*IPMAX/1000
2320 LOCATE 18,50:PRINT"e':":LOCATE 18,53:PRINT USING"###.#":C2(11):LOCATE 18,62
:PRINT USING"###.#":C3(11)*C2(11)/1000:LOCATE 18,71:PRINT USING"###.#":C3(11)
2330 LOCATE 19,50:PRINT"d':":LOCATE 19,53:PRINT USING"###.#":C2(11):LOCATE 19,62:
PRINT USING"###.#":C12(11)*C3(11)*C2(11)/1000:LOCATE 19,71:PRINT USING"###.#":C3(
11)
2340 LOCATE 20,50:PRINT"e':":LOCATE 20,53:PRINT USING"###.#":C2(11):LOCATE 20,62:
PRINT USING"###.#":C5(11)/1000:LOCATE 20,71:PRINT USING"###.#":C3(11)
2350 LOCATE 21,50:PRINT"f':":LOCATE 21,62:PRINT USING"###.#":(C5(11)/(NBPASEAP(11)
*VPMAX*NBPAPAAP(11)*IPMAX))*NETAP
2360 LOCATE 22,50:PRINT"e':":LOCATE 22,62:PRINT USING"###.#":(C5(11)/(NBPANSE(11)
*VPMAX*NBPANPA(11)*IPMAX/1000))*NETAP:LOCATE 21,50:PRINT"f':":LOCATE 21,62:PRINT
USING"###.#":(C5(11)/(NBPAPAAP(11)*NBPASEAP(11)*VPMAX*IPMAX/1000))*NETAP
2370 LOCATE 7,31:PRINT"a":LOCATE 10,33:PRINT"a":LOCATE 12,34:PRINT"b":LOCATE 17
,35:PRINT"e":LOCATE 18,41:PRINT"e":LOCATE 18,43:PRINT"d":LOCATE 19,44:PRINT"e"
2380 LOCATE 23,4:PRINT"0":LOCATE 23,22:PRINT"110":LOCATE 23,39:PRINT"220":LOCATE
 23,44:PRINT"V(v)":LOCATE 2,2:PRINT"I(A)":LOCATE 4,2:PRINT"740":LOCATE 13,2:PRIN
T"370":LOCATE 13,54:PRINT"V(v)":LOCATE 13,63:PRINT"P(kw)":LOCATE 13,72:PRINT"I(A
)"
2390 RETURN
2400 REM *****
2410 REM ***** AFFICHAGE DES RESULTATS *****
2420 REM *****
2430 CLS
2440 FOR I=1 TO 21
2450 LOCATE I,1:PRINT"NBPASEAP("I")NBPASEAP(I):LOCATE I,25:PRINT"NBPANSE("I")N
BPANSE(I):LOCATE I,50:PRINT"NBPASE("I")NBPASE(I)

```



```
2460 NEXT I
2470 LOCATE 24,79:INPUT:L
2480 CLS
2490 FOR I=1 TO 21
2500 LOCATE I,1:PRINT"NBPAAP("I")"NBPAAP(I):LOCATE I,25:PRINT"NBANPA("I")"N
BANPA(I):LOCATE I,50:PRINT"NBAPA("I")"NBAPA(I)
2510 NEXT I
2520 LOCATE 24,79:INPUT:L
2530 CLS
2540 FOR I=1 TO 21
2550 LOCATE I,1:PRINT"C1("I")"C1(I):LOCATE I,25:PRINT"C2("I")"C2(I):LOCATE I,50:
PRINT"C3("I")"C3(I)
2560 NEXT I
2570 LOCATE 24,79:INPUT:L
2580 CLS
2590 FOR I=1 TO 21
2600 LOCATE I,1:PRINT"C4("I")"C4(I):LOCATE I,25:PRINT"C5("I")"C5(I):LOCATE I,50:
PRINT"C6("I")"C6(I)
2610 NEXT I
2620 LOCATE 24,79:INPUT:L
2630 CLS
2640 FOR I=1 TO 21
2650 LOCATE I,1:PRINT"C7("I")"C7(I):LOCATE I,25:PRINT"C8("I")"C8(I):LOCATE I,50:
PRINT"C9("I")"C9(I)
2660 NEXT I
2670 LOCATE 24,79:INPUT:L
2680 CLS
2690 FOR I=1 TO 21
2700 LOCATE I,1:PRINT"C10("I")"C10(I):LOCATE I,25:PRINT"C11("I")"C11(I):LOCATE I
50:PRINT"C12("I")"C12(I)
2710 NEXT I
2720 LOCATE 24,79:INPUT:L
2730 CLS
2740 FOR I=1 TO 21
2750 LOCATE I,1:PRINT"C13("I")"C13(I):LOCATE I,25:PRINT"C14("I")"C14(I)
2760 NEXT I
2770 LOCATE 24,79:INPUT:L
2780 RETURN
```

\*\*\*\*\*  
\*  
\* B I B L I O G R A P H I E \*  
\*  
\*\*\*\*\*

\* COMMANDE DES MOTEURS A COURANT ALTERNATIF  
par robert Chauprade et francis Milsant (électronique de puissance)

\* FONCTIONNEMENT ET EMPLOI DES MACHINES ELECTRIQUES  
par jacques Thurin

\* INGENIERIE DES SYSTEMES SOLAIRES  
par A.A.Sfeir et G.Guarracino

\* COMPOSANTS ELECTRONIQUES  
par francis Milsant (cours d'électronique)

\* CONSTRUCTION D'UN MOTEUR ASYNCHRONE A ROTOR EN COURT-CIRCUIT  
A ENCOCHES PROFONDES  
projet de fin d'étude 1980 (département d'électrotechnique)

\* MACHINES ELECTRIQUES  
par A.Ivanov-Smolenski

\* CALCUL DES MACHINES ELECTRIQUES (tome 2)  
par M.LIUSCHITZ et L.Maret

---