

BIBLIOTHEQUE DE L'INSTITUT  
AERONAUTIQUE DE BLIDA  
N° 230000000

INSTITUT DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR DE BLIDA

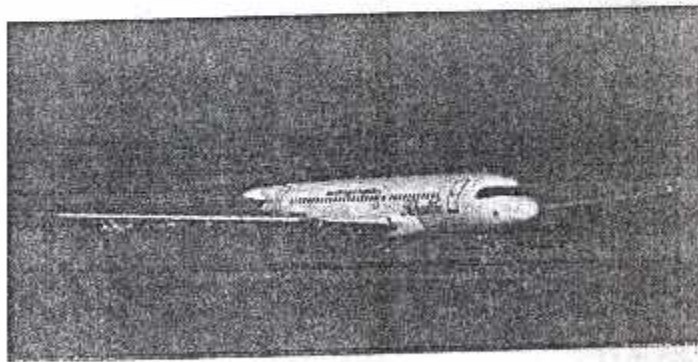
49/02 (1EX)  
043/2002  
EXA

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

UNIVERSITE DE BLIDA  
INSTITUT D'AERONAUTIQUE  
Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de  
diplôme <<D.E.U.A>> En aéronautique  
Option: AVIONIQUE

## COUPLAGE DES ALTERNATEURS

## ABORD DES AVIONS



Proposé par : Mr. Abdallah

Réalisé par :  
Mr. Merouane rafik  
Mr. Taghirint mohamed

Promotion Juin 2002

## DEDICACES

JE dédie mon travail à :

- mes chères parents qui m'ont aidé beaucoup et que le dieu les protégés pour moi.
- mes chères frères et Sœurs et je les souhaite une bonne carrière
- mes cousins et cousines.
- mon binôme taghirint mohamed.
- mes amis intime : M. madjid, A. ridah, elarbaoui ali, Z. mohamed, Ouyouni B. Abdelaziz, A. ridah, y. karim, A. rahmani.
- mes collègues : rachid, M. rabeih, N. issam, B. Abdellatif, El. Essha h. Merabet, h. Hkadi.

PAGE 1

## DEDICACES

JE dédie mon travail à :

- mes chères parents qui m'ont aidé beaucoup et que le dieu les protégés pour moi.
- mes chères Sœurs et je les souhaite une bonne carrière.
- mes cousins et cousines.
- mon binôme marouane rafik .
- mes amis intime : ch.Mohamed ,elarbaoui ali, Z. m'hamed , Syreine ,  
B. Abdelaziz, H. Khaled .
- mes collègues : hicham , Ghanou , mohamed , kamel , Farid ,Pawel , Mourad  
,rachid

Mohamed

**\*\*\* remerciement \*\*\***

- Tous d'abord nous remercions le bon dieu pour nous avoir guidé vers le bon chemin de la lumière et du savoir.
- Nous exprimons nos sincères remerciements à nos parents qui nous ont beaucoup aidés durant nos études.
- à tous les enseignants de l'institut d'Aéronautique de Elida et surtout nos enseignants d'option Avionique.
- A tous ceux là, qu'ils éveillent bien trouver ici l'expression de profond respect.
- on présente nos chaleureux remerciements en guise de connaissance pour le bien fait afin d'élaborer ce petit ouvrage à :  
notre promoteur : Mr Abdallah
- Je tiens à remercier aussi les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont accordé , en acceptant de juger notre travail .
- et enfin, je remercie tous ceux qui nous ont aidé de loin ou de près.

Rafik et mohamed



## INTRODUCTION

Actuellement sur les moyens et longs courriers, l'électricité prend une importance particulière car on constate que le nombre de watts disponibles par passager croît progressivement. Ceci est dû principalement à l'augmentation de la sécurité des vols, à l'amélioration du confort de l'équipage et des passagers, et enfin à l'automatisation croissante assurée par de nombreux dispositifs électroniques.

Sur les avions modernes, le courant alternatif tend à remplacer le courant continu, parce que les fortes puissances mises en jeu peuvent être transmises plus facilement et plus économiquement, lorsque les tensions développées par les générateurs sont plus élevées (115 V / 200 V).

De plus, les tensions alternatives sont plus facilement transformables donc adaptables à des besoins précis, grâce à l'emploi de transformateurs, appareils statiques à rendement élevé.

Une autre contribution très importante à la généralisation du courant alternatif est la remarquable simplicité et la robustesse du moteur polyphasé à cage d'écurie, qui ne comporte ni balais, ni contact frottant excluant tout parasite susceptible de perturber les récepteurs radio de bord.

Toutefois, la génération de courant alternatif pose un certain nombre de problèmes par rapport à la génération de courant continu.

En effet, si la distribution se fait à tension constante, donc nécessairement régulée, il faut également une fréquence développée constante, ce qui implique un entraînement à vitesse constante, placé entre le réacteur et l'alternateur, option pénalisante au niveau du rendement et des contrôles supplémentaires nécessaires.

Le couplage en parallèle des alternateurs est une opération délicate, quoique maîtrisée, qui requiert des conditions de tensions, de fréquences et de phases.

L'équirépartition des charges est d'autant plus complexe qu'il existe deux types de clapets, qui exigent des réglages différents (mécanique et électrique), selon leur nature et qui nécessitent la présence de boucles d'équilibrage, et leur contrôle permanent à l'aide d'appareils de mesures adéquats.

En définitive, la génération de courant alternatif, plus souple dans l'emploi, est plus complexe dans sa réalisation.

# **CHAPITRE I**

## **Etude générale de la machine synchrone**

HISTORIQUE :

Le fonctionnement des générateurs et des moteurs découle de deux principes physiques réciproques. Le premier, découvert par le physicien français André-Marie Ampère en 1820, est l'un des fondements de l'électromagnétisme. Ampère constata que lorsqu'un courant traversait un conducteur placé dans un champ magnétique, ce conducteur était soumis à une force mécanique due au champ. L'autre principe est celui de l'induction, découverte en 1831 par le scientifique britannique Faraday : lorsque l'on fait passer un aimant à travers un conducteur, un courant est induit dans le conducteur. Léon Foucault en 1850 montra également l'existence des courants induits dans une masse métallique en mouvement située dans un champ magnétique. Ces courants induits furent ensuite appelés *courants de Foucault*.

1 INTRODUCTION :

Les machines synchrones sont des machines à courant alternatif dans laquelle la fréquence de la tension induit et la vitesse de rotation sont dans un rapport constant, il existe donc une relation entre la vitesse de rotation du rotor, et la fréquence des courants statoriques.

Les machines synchrones sont caractérisées par un rotor excité par un courant continu, qui le polarise comme un électroaimant, elle sont réversibles reliées au réseau elles peuvent fonctionner, soit en moteur (transformer l'énergie électrique en énergie mécanique), soit en générateur (transformer l'énergie mécanique en énergie électrique). Pour les deux cas ; le rotor tourne à une vitesse constante liée à la fréquence du réseau, c'est pour cette raison ces machines sont dites machines synchrones.

L'alternateur est une machine tournante de type synchrone à pôles ou saillants, il est réalisé de différentes pièces qui sont assemblées d'une façon bien déterminée. Il transforme l'énergie mécanique transmise par un moteur ou une turbine en une énergie électrique d'une puissance assez importante. Cette énergie électrique est distribuée dans le réseau correspondant sous forme d'un courant et tension alternative triphasé. Pour notre cas l'alternateur étudié, est du type machine synchrone à rotor à pôles lisses son rôle est de fournir de l'énergie électrique.

**I-2 DESCRIPTION DE LA MACHINE SYNCHRONE :**

La machine synchrone comporte un rotor et un stator. Généralement la configuration de la machine synchrone est à induit fixe et à inducteur tournant. L'induit représente le stator de la machine, tandis que l'inducteur représente le rotor de la machine.

**a) LE STATOR :**

a une périphérie lisse, les conducteurs de l'induit isolés sont fixés dans des encoches régulièrement réparties à la périphérie interne de la couronne. il est soumis à un flux tournant ; donc il est le siège de courants de Foucault et de phénomène d'hystérésis, ce qui engendre des pertes d'où la nécessité de la feuilleté.

**b) LE ROTOR :**

il est formé d'un ensemble d'électroaimants *n.s* dont les bobines magnétisantes sont parcourues par un courant continu appelé d'excitation. Généralement ce courant est produit par une génératrice extérieure à la Machine, appelée excitatrice. L'ensemble des bobines magnétisantes est réuni sur le rotor à l'aide de deux bagues isolées sur lesquelles frottent deux contacts glissants, appelés balais, connectés à l'excitatrices.

Le rotor excité en courant continu, se présente sous deux formes différentes Définissant ainsi deux grandes familles de machines synchrones à savoir :

- Les machines à rotor à Pôles Lisses.
- Les machines à rotor Pôles saillants.

**I-2-1 Les machines à rotor à Pôles Lisses ( Turboalternateur ) :**

Ce sont des alternateurs de grandes puissances conçus pour une grande vitesse de rotation. Le rotor est un cylindre d'acier massif dans lequel sont creusées des encoches pour loger l'enroulement inducteur, dans ce cas sa périphérie est lisse. Ces rotors présentent généralement une forme très allongée, ils sont à 2 ou à 4 pôles.



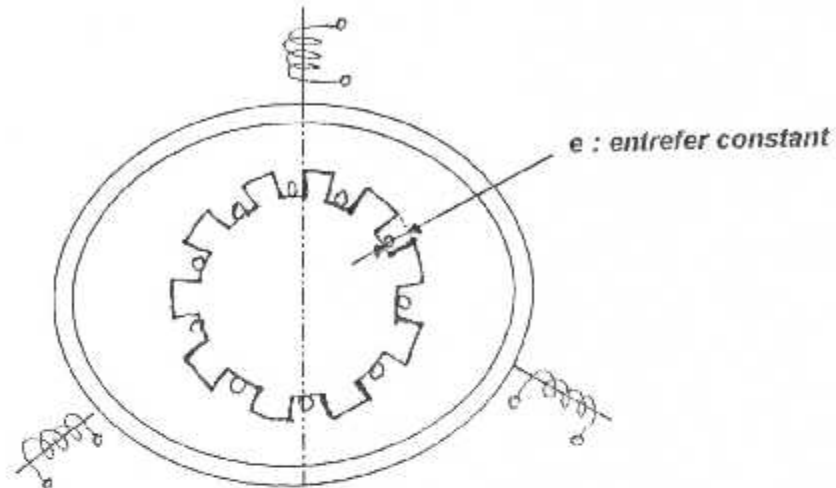


Fig I-1.

### I-2-2 MACHINES à PÔLES SAILLANTS :

Le rotor est formé de noyaux polarisés fixés sur la jante d'un volant en acier coulé. Ces noyaux sont terminés par des pièces polaires. Ils sont entourés de bobines connectées en série recevant du courant continu amené par 2 frotteurs fixes et 2 bagues isolées tournant avec le rotor. Le nombre de pôles minimal est de 4 pôles ( certains ont 60 pôles ).

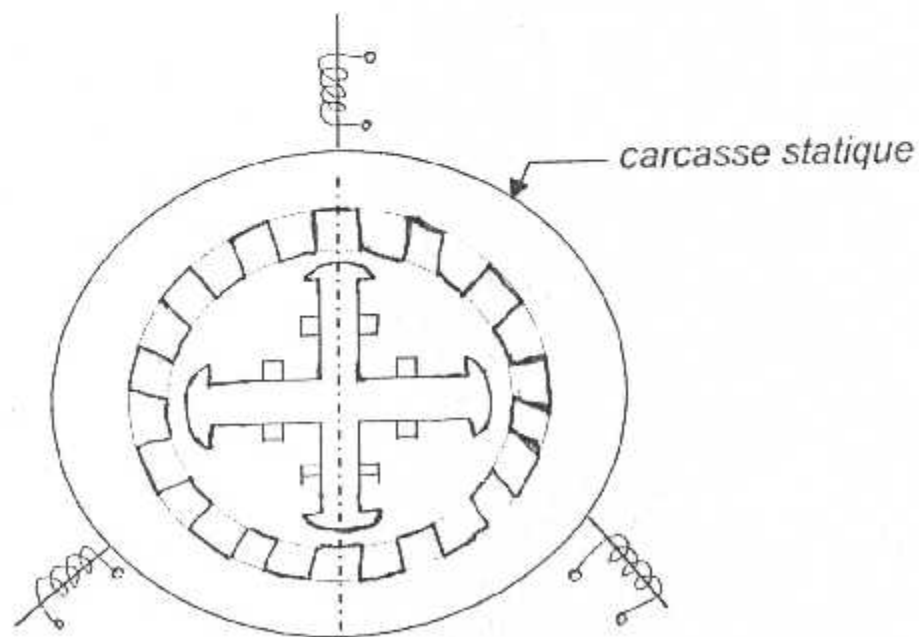


Fig I-2

### I-3 VITESSE DE SYNCHRONISME DE LA MACHINE SYNCHRONE :

La machine synchrone est caractérisée par le fait qu'elle tourne à une vitesse constante appelée vitesse de synchronisme.

Si le rotor est bipolaire (N.S),  $2p=2$ ,  $p=1$ ), il induit dans le rotor une f.e.m dont la période est égale au temps mis par le rotor pour faire un tour on a :

$$N(\text{t/mn}) = 60 f (\text{Hz})$$

$N$  : vitesse de rotation synchrone.

$f$  : fréquence des courant induit dans stator.

Si le rotor à paires de pôles on a :  $N = \frac{60 f}{p}$  (t/min)

### I-4 PRINCIPE DE L'ALTERNATEUR, (f.e.m) THEORIQUE :

Un courant continu passe dans les bobines du rotor (inducteur) et attire les pôles. Ce rotor est entraîné par une machine auxiliaire. Quand le rotor tourne, il entraîne avec lui son champ magnétique, l'entrefer est alors le siège d'un champ magnétique tournant, ou glissant à la vitesse du rotor. Ce champ magnétique tournant, en coupant les conducteurs du stator (induit) : engendre une f.e.m induit dans chaque conducteur. La fréquence de cette f.e.m dépend de la vitesse d'entraînement et du nombre de paires de pôles.

Le flux envoyé par le rotor travers les bobines du stator est, en supposant une variation sinusoïdale :

$$\phi(t) = \phi_0 \sin \omega t$$

ou :

$\phi_0$  : représente le flux par pôles.

$\omega$  : pulsation électrique (reliée à la vitesse de rotation).

D'après la loi de Faraday, la (f.e.m) induit a pour expression :

$$e(t) = \frac{n \cdot d\phi}{dt} \quad \text{ou } n \text{ est le nombre de spires d'un enroulement du stator.}$$

$$e(t) = \frac{n \cdot d\phi}{dt} = n \omega \phi_0 \cos \omega t$$

Sachant que  $N = \frac{60 f}{p} \Rightarrow f = \frac{NP}{60}$  et  $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi NP}{60}$

On obtient :  $e(t) = \frac{2\pi NP}{60} n \cdot \phi_0 \cos \omega t = E_m \cos \omega t$  (volts)

Avec  $E_m = \frac{2\pi NP}{60} n \phi_0$  (avec  $n$  : nombres totale de spires)

Remarque : Si on désigne par :

$Z$  : le nombre de conducteur actifs.  
 $q$  : le nombre de spires par bobines.  
 $P$  : le nombre de bobines. (avec  $n = Z / 2 = P \cdot q$ ).

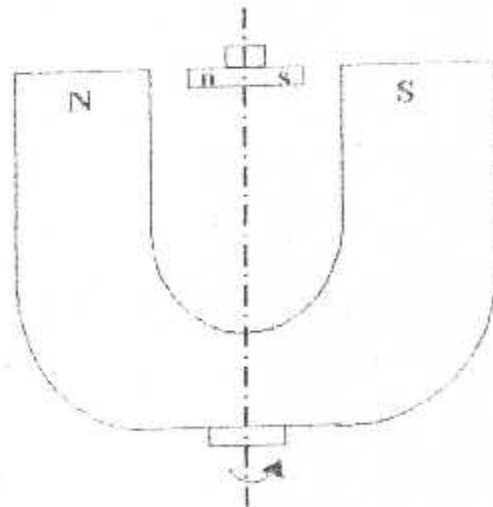
On obtient :

$$E_{\text{eff}} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} p \cdot q \cdot \frac{NP}{60} \cdot \varphi_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{Z}{2} \cdot \frac{NP}{60} \cdot \varphi_0 = 4,44 n f \varphi_0$$

### I-5 Principe Du Moteur Synchrone, Création Du Champ Tournant :

Considérons un petit aimant ( $n, s$ ) situé dans le champ d'un grand aimant (ou fait tourner ( $N, S$ )) d'où création d'un champ tournant. Le petit aimant ( $n, s$ ) sera soumis à un couple électromagnétique, il tournera à la même vitesse que ( $N, S$ ) c'est-à-dire à la vitesse de synchronisme.

Dans du moteur synchrone réel, le rôle joué par ( $n, s$ ) est celui du rotor et le champ tournant créé par ( $N, S$ ) est obtenu non pas en faisant tourner le stator, mais en envoyant des courant polyphasés dans les enroulements fixes du stator, c'est-à-dire que les enroulements statoriques triphasés sont reliés au réseau. Ils produisent un champ tournant. Le rotor toujours alimenté en courant continu se trouve entraîné par ce champ tournant d'où sa rotation.

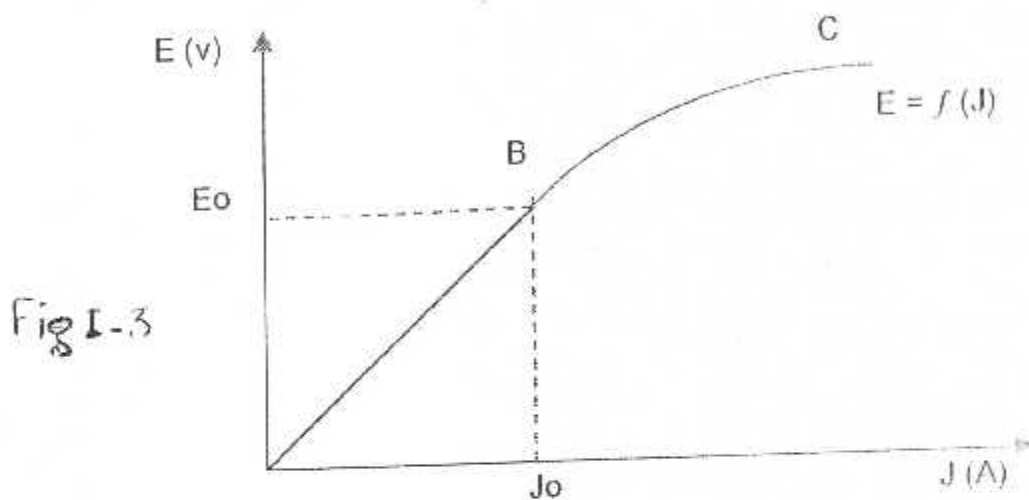


**I-6 CARACTERISTIQUE D'UN ALTERNATEUR :**

**I-6-1 CARACTERISTIQUE A VIDE :**

C'est la relation  $E_o = f(J)$  avec  $f = \text{cste}$  et  $I = 0$

Schéma d'essai : circuit ouvert

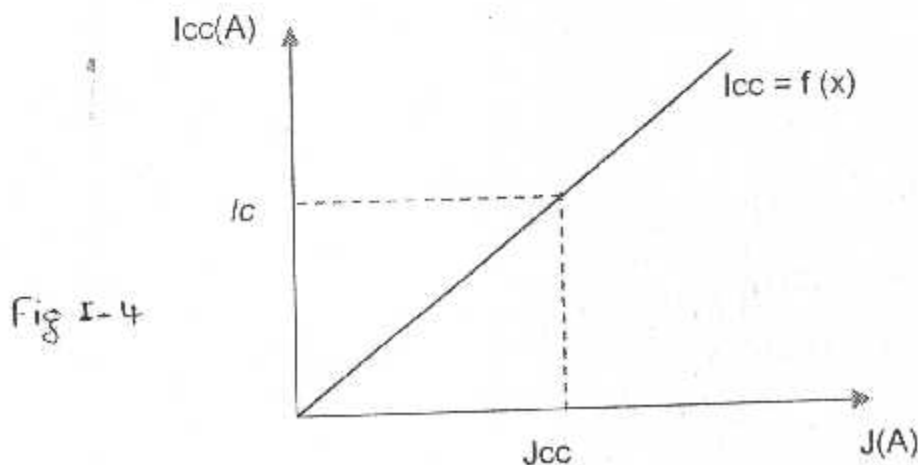


Le courant d'excitation  $J_o$  produit un champ magnétique tournant qui induit une fem égale à  $E_o$  aux bornes du stator pour une vitesse nominale (3000 tr/mn). Lorsque l'induction dans le fer dépasse une valeur déterminée, le flux magnétique n'est plus proportionnel au courant d'excitation, donc on a une saturation du fer (partie BC de la courbe).

**I-6-2 CARACTERISTIQUE EN COURT-CIRCUIT (TRIPHASE) :**

C'est la relation  $I_{cc} = f(J)$  à  $f = \text{cste}$  avec  $U = 0$

Schéma d'essai :





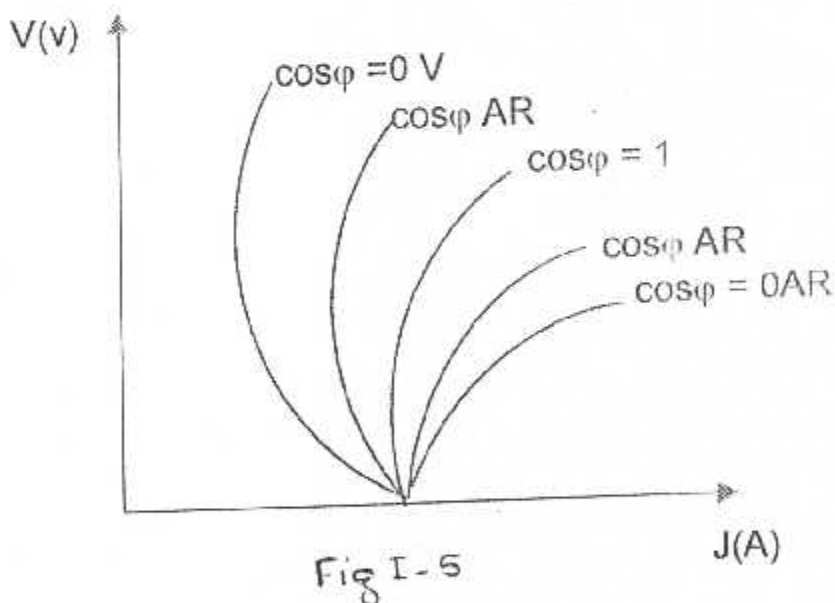
On réalise un court-circuit triphasé aux bornes de l'induit, puis on relève la caractéristique  $I_{cc3} = f(J)$  sous puissance réduite ( $I_{cc} = I_n$ ), la courbe  $I_{cc} = f(J)$  est linéaire avec des valeurs nominales.

**I-6-3 CARACTERISTIQUE EN CHARGE :**

C'est la relation  $u = f(J)$  pour  $I = I_n = cste$ ,  $f = cste$ ,  $\cos\phi = cste$

On remarque l'effet **démagnétisant** qui contraint à augmenter le **J** d'une charge inductive et l'effet **magnétisant** (cas contraire) d'une charge capacitive. Il existe une courbe pour chaque valeur de déphasage donc pour chaque charge.

Schéma d'essai : couplé avec la charge



Pour :

- $\cos\phi = 0 \text{ AV}$  ..... charge capacitive.
- $\cos\phi = 1$  ..... Charge résistive.
- $\cos\phi = 0 \text{ AR}$  ..... Charge inductive.

La courbe  $\cos\phi \text{ AR}$  dite courbe de potier joue un rôle particulier puisqu'elle permet de déterminer éléments du modèle de POTIER (l'essai en déwatté).

**I-6-4 CARACTERISTIQUE DE REGLAGE :**

C'est la relation  $I = f(J)$  à  $f = f_n$ ,  $V = V_n$ ,  $\cos\phi = \text{cste}$ .

Les générateurs travaillent généralement à tension constante, ces courbes sont importantes, elles permettent de calculer les dispositifs d'excitation et de régulation.

Pour maintenir la tension  $U$  constants lors de l'accroissement de la charge inductive il faudra augmenter le courant d'excitation  $J$  et dans le cas d'une charge capacitive il faudra diminuer le courant d'excitation.

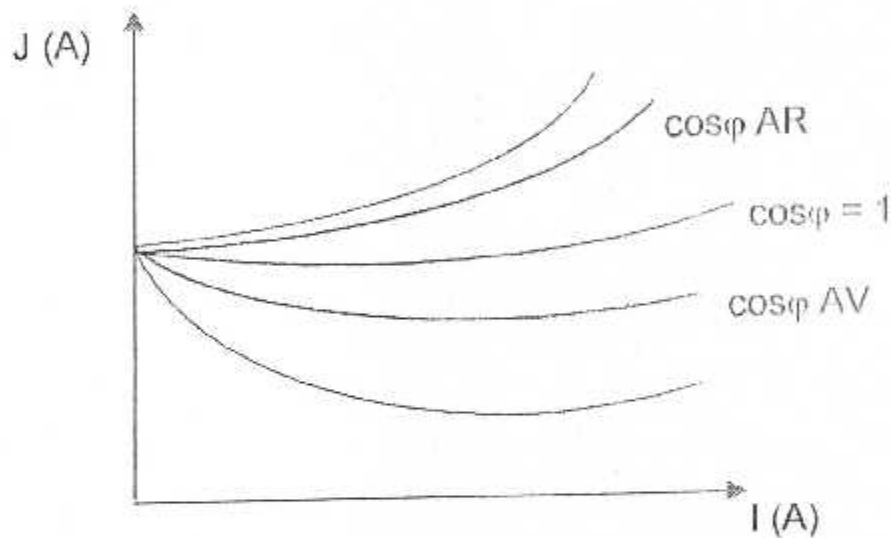


Fig I. 6

**I-6-5 DETERMINATION DE Xs (LW) :**

On obtient la réactance synchrone  $X_s$  à partir de deux essais pratique.

\*la caractéristique à vide :  $E_0 = f(J)$  ou  $I = 0$  et  $f = \text{cste}$ .

\*la caractéristique à court-circuit :  $I_{cc} = f(J)$  ou  $V = 0$  et  $f = \text{cste}$ .

Lors d'un fonctionnement en court-circuit l'équation devienne

$$E_0 = R I_{cc} - j X_s I_{cc} \quad \text{ou} \quad E_0 / I_{cc} = R - j X_s$$

Donc :

$$X_s = \sqrt{\left(\frac{E_0}{I_{cc}}\right)^2 - R^2} \quad R \ll X_s$$

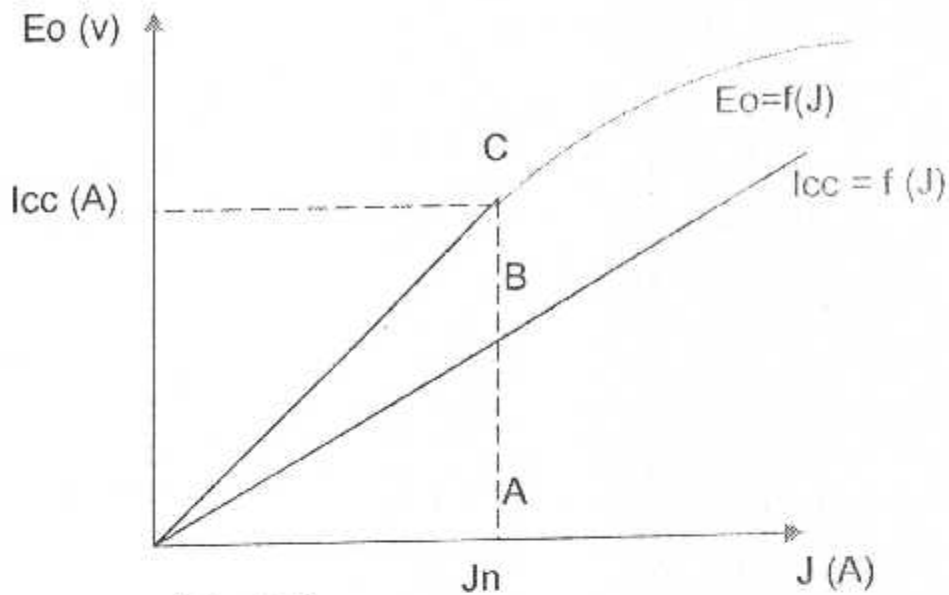


Fig I-7

**Remarque :**

Il faut prendre le point C et B sur les parties linéaire des caractéristiques puisque  $X_s$  est la réactance définie en l'absence de la saturation.

$$X_s = \sqrt{\frac{AC^2}{AB^2}} \cdot R$$

**1-6-6 LA METHODE DE POTIER :**

La méthode POTIER s'applique aux alternateurs dont l'entrefer est constant [pôles lisse], elle est utilisée même pour un régime saturé.

La méthode de POTIER permet de déterminer le courant d'excitation J de l'alternateur, sous un régime  $U \cos \varphi$  connu.

Dans cette méthode on choisit pour flux  $\Phi_r$  ( le flux commun résultant de l'induit  $\Phi_i$  et de l'inducteur  $\Phi_o$  ) qui d'après la caractéristique à vide sous  $J_o$  résulte une force électromotrice résultante  $E_r$ .

$$E_r = E_i + E_o = E_o - jL\omega I$$

D'où la nécessité de ramener le courant de ligne I au circuit d'inducteur.

**Equation:**  $V = E_t - RI = [ E_r - j\lambda\omega I ] - RI$

**Donc :**  $V = E_r - RI - j\lambda\omega I$

$\lambda\omega$  : réactance de fuites.

$E_r$  : f.e.m résultant créée par le champ tournant résultant.

La valeur du courant ramené de l'induit au circuit inducteur est de  $I' = \alpha I$  donc la valeur de l'excitatrice charge.

$$J = J_0 + \alpha I$$

$\alpha$  : coeff d'équivalence entre  $J$  et  $I$ .  
 $J_0$  : courant d'excitation qui permet d'avoir à vide une fem de valeur  $E_0$ .

Véctoriellement le courant  $J_0$  est la résultante d'excitation réelle  $J$  et  $\alpha I$  ( $\alpha I$  décalé de  $\pi/2 + \Psi$  par rapport à  $J$ ).  
 $\alpha$  permet de ramener le courant de l'induit à celui de l'inducteur.

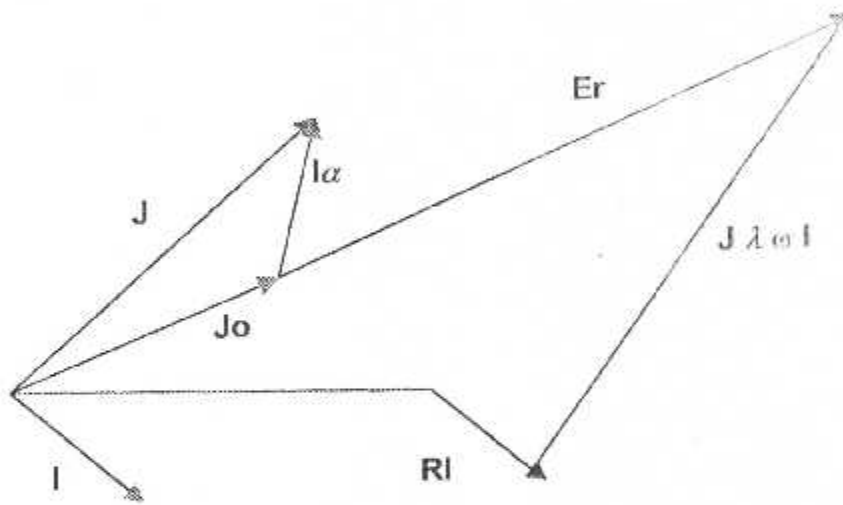


Fig E - 8

DETERMINATION DE  $\alpha$  et  $\lambda$ :

Pour déterminer  $\alpha$  et  $\lambda$  on relève la caractéristique :

- \* à vide :  $E_0 = f(J)$  à  $f = \text{cst.}$
- \* en court-circuit :  $I_{cc} = f(J)$  à  $f = \text{cst.}$
- \* un point en déwatte ( $V_1, I_1, J_1$ ) à  $f = \text{cst.}$  (( charge purement inductive )).

En court-circuit  $E = V_1 + \omega \lambda j I$   $J = J_0 + \alpha I$



Après qu'on a tracé la caractéristique  $E_o = f(J)$  à la vitesse de rotation nominale, on porte dans le même plan le point  $p(V, J)$  qui correspond au fonctionnement sur charge purement inductive (essai déwatté). La caractéristique à vide en court-circuit étant une droite, on aura  $I_{cc} = I_n$  pour un courant d'excitation  $J_{cc}$  d'ou le point  $P_o(J_{cc}, 0)$ .

**I-6-7 METHODE DE BEHN-ESCHENBURG :**

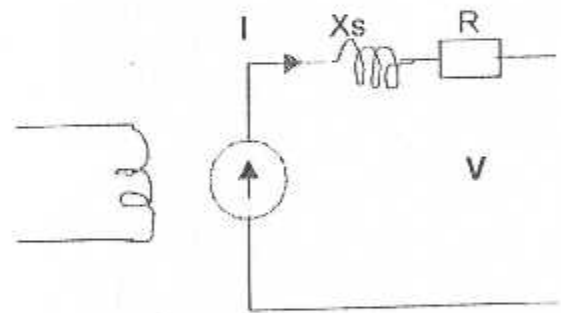
Cette méthode est théoriquement réservée aux alternateur non saturés à pôles lisses. Lorsque le circuit magnétique d'un alternateur n'est pas saturé, le système d'équation se simplifié. Le diagramme de la réactance synchrone assimile la machine à un récepteur de fem  $E_o$  proportionnelle à  $J$  avec une impédance interne  $Z = R + j X_s$  constante. Le flux résultant  $\Phi_r$  se compose d'un flux  $\Phi_o$  envoyé à vide par l'inducteur (excitation  $J_o$ ) et un flux crée en propre par l'induit  $\Phi_i$  (flux d'auto-induction).

-Equation :

$$V = E_o - RI + (E_r - j \lambda \omega I) - RI$$

$$V = E_o - j L \omega I - j \lambda \omega I - RI$$

$$V = E_o - RI - j X_s I$$



- $E_o$  : fem à vide .
- $X_s = L \omega + \lambda \omega$  : réactance de fuite .
- $\lambda \omega$  : réactance de fuite.
- $L \omega$  : réactance de l' enroulement.

Diagramme :

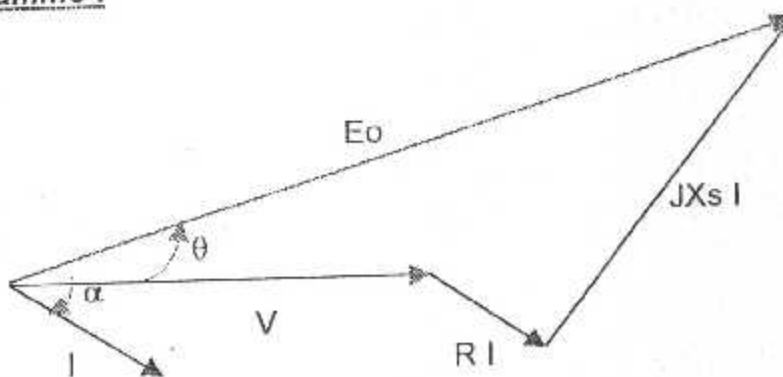


Fig-1-9

**I-7 MISE EN CHARGE D'UN ALTERNATEUR :**

L'alternateur synchrone triphasé fournit au réseau électrique après couplage une puissance active  $P$  et une puissance réactive  $Q$ .

**I-7-1 LA PUISSANCE ACTIVE P :**

Si on agit sur l'admission du gaz au niveau des chambre de combustion ( cas d'un groupe turbine à gaz ), la puissance mécanique de la turbine change, donc on a une variation de la puissance active  $P$  tout on gardons la même fréquence au réseau (  $f = 50\text{Hz}$  ) avec une vitesse de rotation de 3000 tr/mn pour les machines bipolaire.

Expression :

$$P = 3 U I \cos \varphi \quad [w]$$

**I-7-2 LA PUISSANCE REACTIVE Q :**

On règle la puissance réactive d'un alternateur par le régulateur de tension qui agit sur le courant d'excitation.

La puissance réactive dépend de l'intensité du courant magnétique rotation  $J$ .

Expression :

$$Q = 3 U I \sin \varphi \quad [VAR]$$

**I-7-3 L'EXPRESSION DE LA PUISSANCE APPARENTE S :**

$$P = 3 U I \cos \varphi \quad (\text{proportionnelle à } I \cos \varphi)$$

$$Q = 3 U I \sin \varphi \quad (\text{proportionnelle à } I \sin \varphi)$$

$$S = P^2 + Q^2$$

$$S = (3 U I \cos \varphi)^2 + (3 U I \sin \varphi)^2$$

$$S = 3 U I$$

**I-7-4 BILAN DE PUISSANCE :**

La puissance électromagnétique a une machine synchrone représente la puissance transformable de la forme mécanique vers la forme électrique ( ou inversement ).

$$P_e = \Gamma e \cdot \omega n$$

$\Gamma e$  : couple électromagnétique.

$\omega n$  : vitesse de rotation (reliée à la pulsation des courants du stator).

$$P_e = \Gamma e \cdot \omega n = \Gamma e \cdot \omega / P.$$

Avec :

$$T_e = m P / \omega \quad E I \cos \Psi \quad \text{d'ou} \quad P_e = m E I \cos \Psi$$

- $m$  : nombre de phase du stator.
- $\omega$  : pulsation électrique des courant du stator.
- $E$  : valeur efficace de la f.e.m / phase.
- $I$  : valeur efficace du courant / phase.
- $\Psi$  : déphasage entre  $E$  et  $I$ .

Tenir compte des pertes :

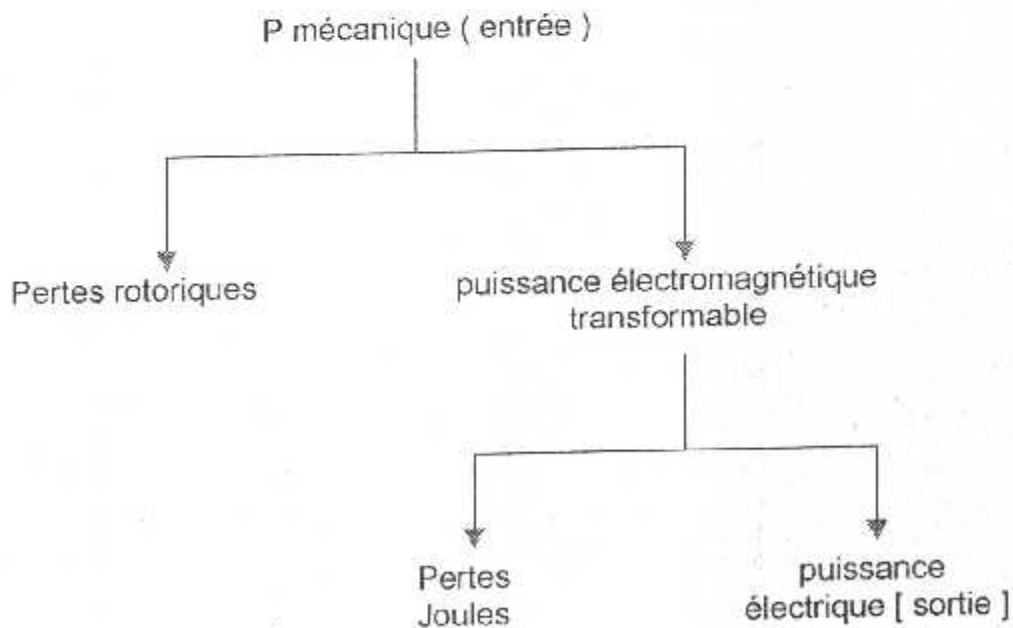
- pertes joules dans le rotor.
- pertes joules dans le stator ( $R_s I^2$ ).
- Pertes rotoriques (représentent l'inertie de l'arbre et les frottements aérodynamique).

Pour une machine fonctionnant en alternateur, le bilan de puissance est suivant :

$$P_{meca} = P_{rot} + m E I \cos \Psi \quad (\text{puissance électromagnétique transformable})$$

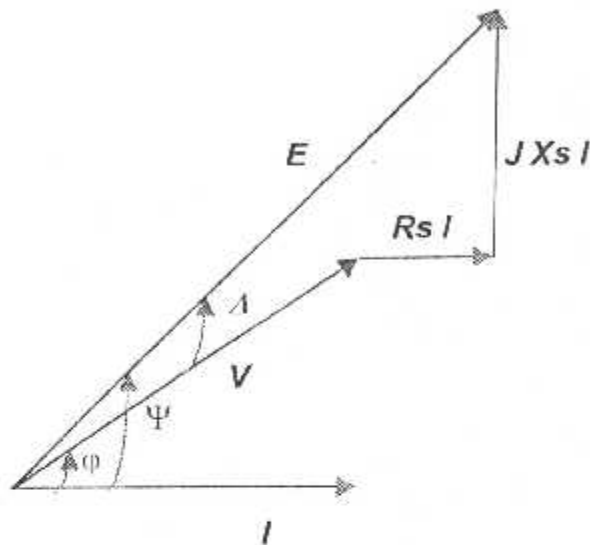
$$m E I \cos \Psi = \text{Pertes} + p_{elec \text{ fournit}} = m R_s I^2 + m V I \cos \phi.$$

$\phi$  : déphasage entre  $V$  et  $I$ .



**I-7-5 DIAGRAMME DES PUISSANCES :**

On représente le diagramme des puissance d'un alternateur à pôles lisses par phase :

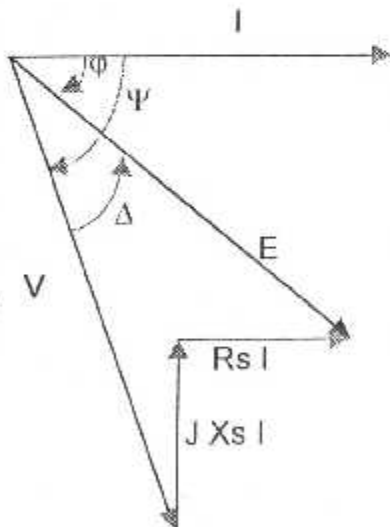


*I en retard sur V alternateur 'sous-excité' :*

$$P > 0 \text{ et } Q > 0$$

$$0^\circ < \varphi < 90^\circ$$

$$0^\circ < \Psi < 90^\circ$$



*I en avance sur V alternateur 'sur excité' :*

$$P > 0 \text{ et } Q > 0$$

$$90^\circ < \varphi < 0^\circ$$

$$0^\circ < \Psi < 90^\circ$$



I-8 REACTION D'INDUIT EN CHARGE :

Quand l'alternateur débite. Les courant induit qui circulent dans les enroulements du stator produisent un flux ( $\Phi_s$ ), qui superpose au flux produit les courants induits est aussi un champ tournant (a la même vitesse que le champ inducteur du rotor, et c'est la résultant de ce deux champs qui produisent la f.e.m en charge  $E'$ .  $E' \neq E$  (f.e.m à vide). Ce phénomène constitue la réaction d'induit, on peut écrire :  $\Phi = \Phi_r + \Phi_s$ .

Dans la pratique, le flux crée par l'induit (stator), ne traverse pas entièrement l'inducteur (rotor), d'où l'existence d'un flux de fuite noté  $\Phi_l = L.l$ , tandis que le flux qui traversera l'inducteur sera  $\Phi_t = T.l$  (plus faible).

$$\Phi_t = \Phi_s - \Phi_l$$

la chute inductive est constituée de 2 parties :

- \*  $\omega L l$  correspond à l'inductance de fuite L ( Longitudinale ).
- \*  $\omega T l$  correspond à l'inductance de réaction d'induit T ( Transversale ).

La quantité  $l_s = l + i$ , exprime l'inductance synchronne.

Les est utilisé dans l'équation de fonctionnement de l'alternateur à savoir :

$$V = E - ( R_s + j \omega l_s ) I$$

Cette équation peut être écrite au moyen de la f.e.m  $E'$  en charge et la l'inductance de fuite L.

$$\begin{aligned} V &= E - [ R_s + j \omega ( l + i ) ] I \\ V &= E - ( R_s + j l \omega ) I - j \omega T I \\ V &= E - ( R_s + j l \omega ) I = V \text{ ( en charge )}. \end{aligned}$$

I-9 principe de fonctionnement d'une machine synchronne triphase :

Le principe de fonctionnement d'une machine synchronne, est même que celui d'une machine a courant continu, sauf que dans machine synchronne on n'a pas besoin de redresser la Fem, variable dans le temps, qui est induite dans l'enroulement de l'induit pour la transformer en fem continu.

Pour cette raison une machine synchronne n'a pas besoin de collecteur.

La fig(a), représente le schéma d'1 génératrice bipolaire a induit en anneau. Pour le transformer en schéma d'une génératrice triphasée synchronne, sous sa forme la plus simple on choisira sur la circonférence de l'induit trois point a-b-c, décalés l'un par l'autre d'un angle ( $\alpha = 2\pi/3$ ), et après les avoir réunis aux trois bagues calées sur l'arbre, on les branchera au réseau a courant alternatifs par le système de balais A1-B1-C1, glissant sur ces bagues et les bornes A-B-C, dans ce cas nous avons sur l'induit trois enroulements de phase a-x, b-y, c-z, connectés en  $\Delta$ .

Lorsque l'induit tourne dans un champ magnétique, les enroulements a-x, b-y, c-z, sont le siège de fem EA, EB, CE de fréquence  $f = p.n$  et déphasées l'une par l'autre d'un angle  $\alpha = 2\pi/3$  ( fig 1(b) ) si la charge

repartie uniformément dans le réseau, la machine produit un système symétrique de courant triphasés  $IA, IB, IC$ .

Dans le cas générale le courant dans l'enroulement de phase est déphasés par rapport à la fem de cet enroulement d'un certain angle  $\varphi$ .

Déterminer par le genre de la charge.

On peut montrer que ce système de courants gendre, un champ magnétique dont l'onde fondamentale tourne par rapport à l'induit à la vitesse  $n = f/p$  dans le sens opposé au sens de rotation de l'induit.

Il en résulte que ce champ est immobile par rapport a celui des pôles et est en interaction constante avec ce dernier, ce qui est à la base du fonctionnement d'une machine synchrone.

Dans le cas de considéré, l'énergie mécanique fournie a la machine est transformée en énergie électrique ce-à-dire, que la machine fonctionne comme génératrice synchrone mais elle peut aussi fonctionne comme un moteur synchrone, si on lui fournit du réseau par les balais  $A1, B1, C1$ , de l'énergie sous forme de courant triphasé. Dans cas générale, on peut réalise un points, répartie de façon uniforme sur la circonférence de l'induit ( $\alpha=2\pi/3$ ), et on les connecte à un réseau a courant alternatif par l'intermédiaire du même bagues calées sur l'arbre, et même balais glissant sur ces bagues.

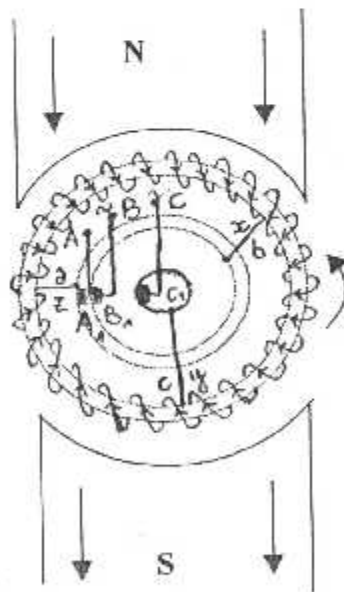


fig (a)

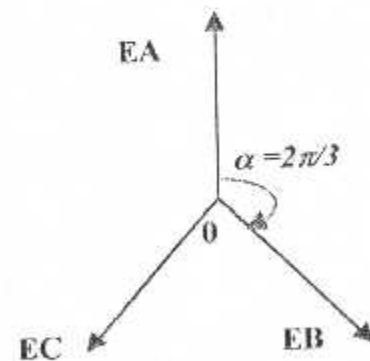


fig (b)

**I-10 LE FONCTIONNEMENT D'UN ALTERNATEUR :**

Lorsque l'alternateur est excité, le rotor entraîné à la vitesse de synchronisme un champ magnétique d'induction, apparaît dans l'entrefer ce champ crée des forces électromotrices induites ( **fem** ) aux bornes de enroulement statorique.

En branchant un récepteur aux bornes du stator, l'alternateur débite un système de courant triphasé même pulsation  $\omega$  que les **fem** induites.

Par ailleurs, la circulation de ces courant dans l'enroulement d'induit donne à son tour un champ magnétique, ce champ se compose avec le champ principal rotorique pour donner un champ magnétique résultant de la machine.

Le champ magnétique glissant crée par l'induit après le passage des courant statorique constitue la **réaction magnétique d'induit**, cette réaction dépend de la charge.

**I-11 L'EXCITATION :**

Dès que la turbine se met en service, l'excitatrice **pilote** reçoit un mouvement rotatif \*(énergie mécanique), les aimants permanents du rotor de cette excitatrice crée un champ magnétique qui induit une tension alternative monophasée, la tension de sortie est envoyée vers un régulateur ou elle sera redressé et réglée par un pont redresseur monophasé ( Cas ou le bobinage statorique est monophasé ).

Le courant continu résultant est envoyé vers le stator de l'excitatrice principale ainsi il crée dans les enroulements d'induit une force électromotrice ( **fem** ), triphasée qui sera redressée par un système de diodes tournantes placées dans son rotor.

A la sortie de cette excitatrice, on aura une tension continu qui sera transmis à l'enroulement rotorique de l'alternateur d'ou la création d'un champ magnétique nécessaire pour la production de électrique.

**I-12 CHUTE DE TENSION :****I-12-1 DEFINITION :**

A vitesse normale maintenue constante, un alternateur a entre ses bornes, avec une même excitation  $J$  , a vide la D.D.P.  $E_v$  .charge la D.D.P.  $U$  par diminution en écrit :

$$\epsilon \% = \frac{E_v - U}{E_v} \cdot 100 \%$$

$\epsilon \% =$  chute relative de tension pour le régime considéré .

**I-12-2 MESURE DIRECTE DE LA CHUTE DE TENSION :**

en vertu de la définition même de la chute de tension correspondant a un régime, sa mesure consiste :

- 1- A donner a l'alternateur, a vide et a vitesse normale une excitation telle qu'il ait entre ses bornes la tension normale ( $E_v = U$ ) :
- 2- A le mettre en charge a la même vitesse et avec la même excitation noter la tension «  $U$  » entre bornes pour régime de charge ( $I, \varphi$ ) donne a ce la régime la chute de tension est ,

$$\Delta U = E_v - u$$

Mais la mesure de la chute de tension directe et rarement possible sur plate forme d'essais, en effet l'alternateur est généralement une grosse machine non seulement il faudrait disposer d'un moteur ayant une puissance correspondant a celle de l'alternateur , mais encore d'un récepteur capable d'absorber la pleine charge de l'alternateur, ce la crée une grande difficulté.

**I-12-3 MESURE INDIRECTE DE LA CHUTE DE TENSION – DIAGRAMME :**

toute méthode indirecte est basée sur l'analyse des causes de la chute de tension , ce sont les suivantes :

- 1- la résistance de l'induit qui produit une chute de tension  $R I$ .
  - 2- La réaction magnétique de l'induit qui modifie le flux utile et par conséquent la force électromotrice elle dépend du courant débité  $I$  et de son déphase  $\varphi$ .
  - 3- Les fuites magnétique qui engendrent une chute de tension inductive supplémentaire proportionnelle a  $I$ .
- Par ailleurs une méthode indirecte doit permettre de résoudre le problème de la chute de tension sous l'une des deux formes que voici :

- a- première forme, données  $U, I, \varphi$  trouver  $J$ .
- b- deuxième forme, données  $J, I, \varphi$  trouver  $U$ .

et on a la solution du problème sous l'autre forme.

Les mesures indirectes a partir d'essais a faible puissance sont toutes basées sur un graphe communément appelé diagramme elles diffèrent les unes des autres par la façon dont elles tiennent compte de la réaction d'induit et des fuites magnétique nous décrirons les trois principe les méthodes, celle de **Behn-Eschenburg**, de **POTIER** et de **Blondel**.



**I- 13 RENDEMENT :****I-13-1 Définition :**

Le rendement est le rapport de la puissance utile  $P_u$  fournie au circuit d'utilisation à la puissance absorbée  $P_a$ .

$$\eta = P_u / P_a$$

On distingue deux types de méthodes :

**a) les méthodes directes :**

Ces méthodes, qui ont l'avantage de donner le **rendement vari**, ont en revanche comme inconvénients d'une part de nécessiter des essais en charge, d'autre part d'avoir à mesurer une puissance mécanique.

**B) méthode indirectes :**

Ces méthodes, basées sur le calcul des pertes de la machine sont beaucoup plus utilisées que les précédentes car elles permettent d'obtenir le rendement à pleine charge avec des essais peu compliqués nécessitant seulement un moteur de faible puissance.

Par ailleurs, bien que ces méthodes conduisent à un **rendement approché**, certaines pertes n'étant pas prises en compte, le rendement obtenu est plus précis que par une méthode directe car les erreurs de mesures ne concernent que 5% de la puissance globale, alors que, avec une méthode directe, elles concernent la totalité de cette puissance. Si  $P$  représente les pertes totales de l'alternateur, on a ;

$$P_a = P_u + P \quad \text{soit ; } \eta = P_u / (P_u + P)$$

**I-13-2 Enumération Et Détermination Des Pertes :****a) les pertes constantes.**

Elles comprennent les pertes suivantes;

**-les pertes mécaniques;**

Ces pertes dues au frottement de l'arbre sur les paliers et à la résistance de l'air au mouvement du rotor, ne dépendent que de la vitesse. Elles sont donc constantes puisque la vitesse d'une machine synchrone est invariable .

**-les pertes fer;**

Ces pertes, dues à l'hystérésis et aux courants de Foucault, ne dépendent que de la fréquence et de l'induction maximale dans l'entrefer. Elles sont également constantes puisque, pour un alternateur fonctionnant sur un réseau à tension constante, ces deux grandeurs ne varient pas avec la charge.

**-les pertes par excitation ;**

comme le courant continu, qui alimente le circuit d'excitation est sensiblement constant et comme il est indépendant de la charge, la puissance correspondante appartient aux pertes constantes.

si on désigne par  $\alpha$  l'ensemble de ces pertes par constantes, on a :

$$\alpha = P_m + P_h + p_f + (U J)$$

**b) les pertes variables;**

Les seules pertes, variables avec la charge sont les *pertes joule dans l'induit*. Si  $R$  désigne la résistance d'une phase. On a ;

$$P_j = 3 R I^2$$

il est important de noter que cette résistance doit être mesurée à chaud c'est à dire à la température normale de fonctionnement de la machine.

Le plus souvent, cette mesure, réalisée en courant continu avec un voltmètre et un ampèremètre, a lieu à la température ambiante. Il est alors nécessaire de calculer la résistance à chaud par la relation ;

$$R_t = R_0 (1 + a t) \quad \text{pour le cuivre ; } a = 0,004.$$

Enfin, plus souvent, on mesure la résistance  $R_1$  entre deux bornes de l'induit. dans ce cas,  $P_j = 1,5 R_1 I^2$  que le montage interne soit en étoile ou en triangle.

**I-13-3 Expression Du Rendement ;**

Si  $\alpha$  et  $\beta I^2$  désignent respectivement les pertes constantes et les pertes variables avec la charge, on a ;

$$\eta = \frac{3 V I \cos \varphi}{3 V I \cos \varphi + \alpha + \beta I^2}$$

**Le rendement d'un alternateur est maximal quand les pertes constantes sont égales aux pertes qui varient avec la charge.**

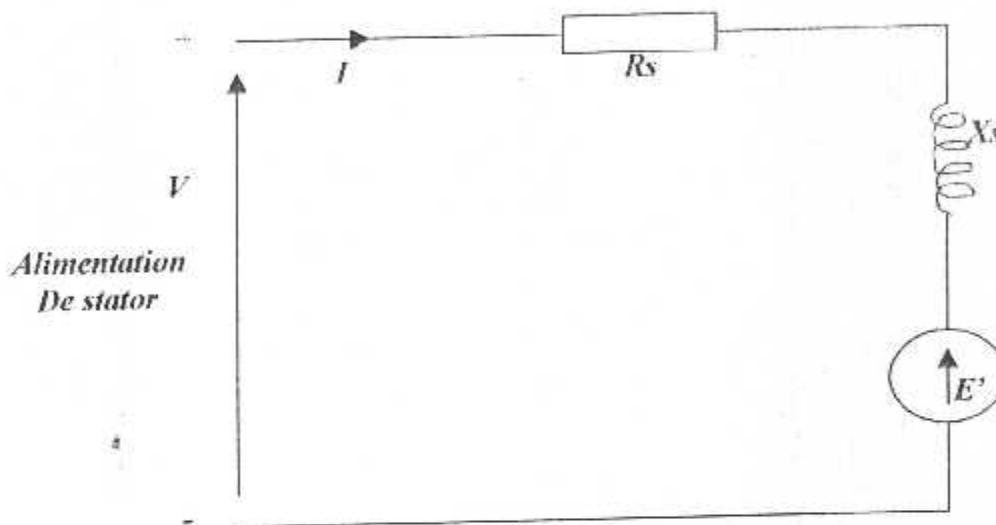
I-14 SCHEMA EQUIVALENT DE LA MACHINE SYNCHRONE:I-14-1 FONCTIONNEMENT EN MOTEUR:

Fig-I-10

L'équation de tension du moteur est donné par :

$$V = R_s I + X_s I + E'$$

$$V = (R_s + j L_s \omega) I + E'$$

Remarque :

**1er cas :**  $I$  est en retard sur la tension  $V$ . le moteur est dit '**sous excité**' : Il consomme une puissance active  $P$  et une puissance réactive  $Q$  sur le réseau.

**2eme cas :** le courant  $I$  consommé par le moteur est en avance sur la tension. Le moteur est dit '**sur excité**' : Il consomme une puissance active  $P$  et il fournit une puissance réactive  $Q$ .

I-14-2 FONCTIONNEMENT EN ALTERNATEUR :

Le schéma par phase est donné par la figure suivante :

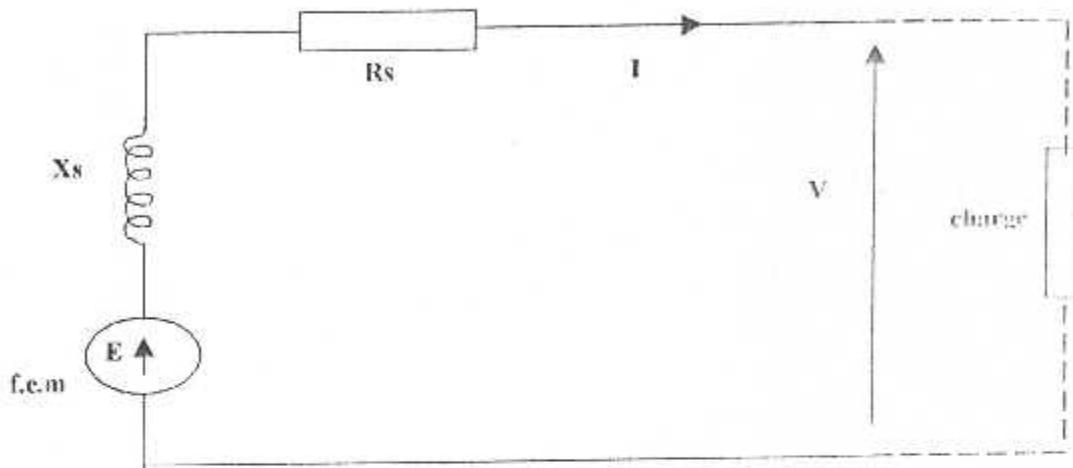


Fig-I-41

$$E = R_s I + j X_s I + V$$

$$E = (R_s + j L_s \omega) I + V$$

$$V = E - (R_s + j L_s \omega) I$$

Remarque :

1er cas :  $I$  est en avance sur  $V$ , l'alternateur est dit '**sur excité**' ; Il fournit à la fois **P** et **Q**.

2eme cas :  $I$  est en retard  $V$ , l'alternateur est dit '**sous-excité**'; il fournit **P** et consomme **Q**.

# CHAPITRE II

Machine et appareillage électrique à bord de avions

## II -1 Entraînement A Vitesse Constante : COSTANT SPEED DRIVE (CSD)

### II-1-1 GENERALITES :

La fréquence normalisée à bord des avions est de 400Hz.  
La fonction de la tension fournie par un alternateur, est une fonction directe de la vitesse d'entraînement .

$$F(\text{ Hz }) = P.N / 60 \quad (\text{tr/mn})$$

**P** : nombre de paires de Pôles.  
**N** : la vitesse de rotation du rotor.  
**F** : la fréquence de réseau .

La vitesse de la rotation de l'alternateur sera maintenue à une valeur constant de 6000 tr/mn, pour des vitesses réacteurs comprises entre 4300 et 8600 tr/mn grâce à un ensemble de transmission hydraulique à vitesse constante et couple variable .

#### Exemple :

L'alternateur équipant Boeing 737-200 possède huit pôles donc  $P = 04$  . Il s'en suit que si ( f ) doit être maintenue à 400 Hz, la vitesse d'entraînement de l'alternateur devra être :

$$N = F / P = 400 / 4 = 100 \text{ tr / s .}$$

$$N = 100 \text{ tr / s . } 60 = 6000 \text{ tr / mn.}$$

Cette vitesse de rotation de 6000 tr/mn de l'alternateur est maintenue constant par un mécanisme hydraulique contrôlé par un système hydromécanique .



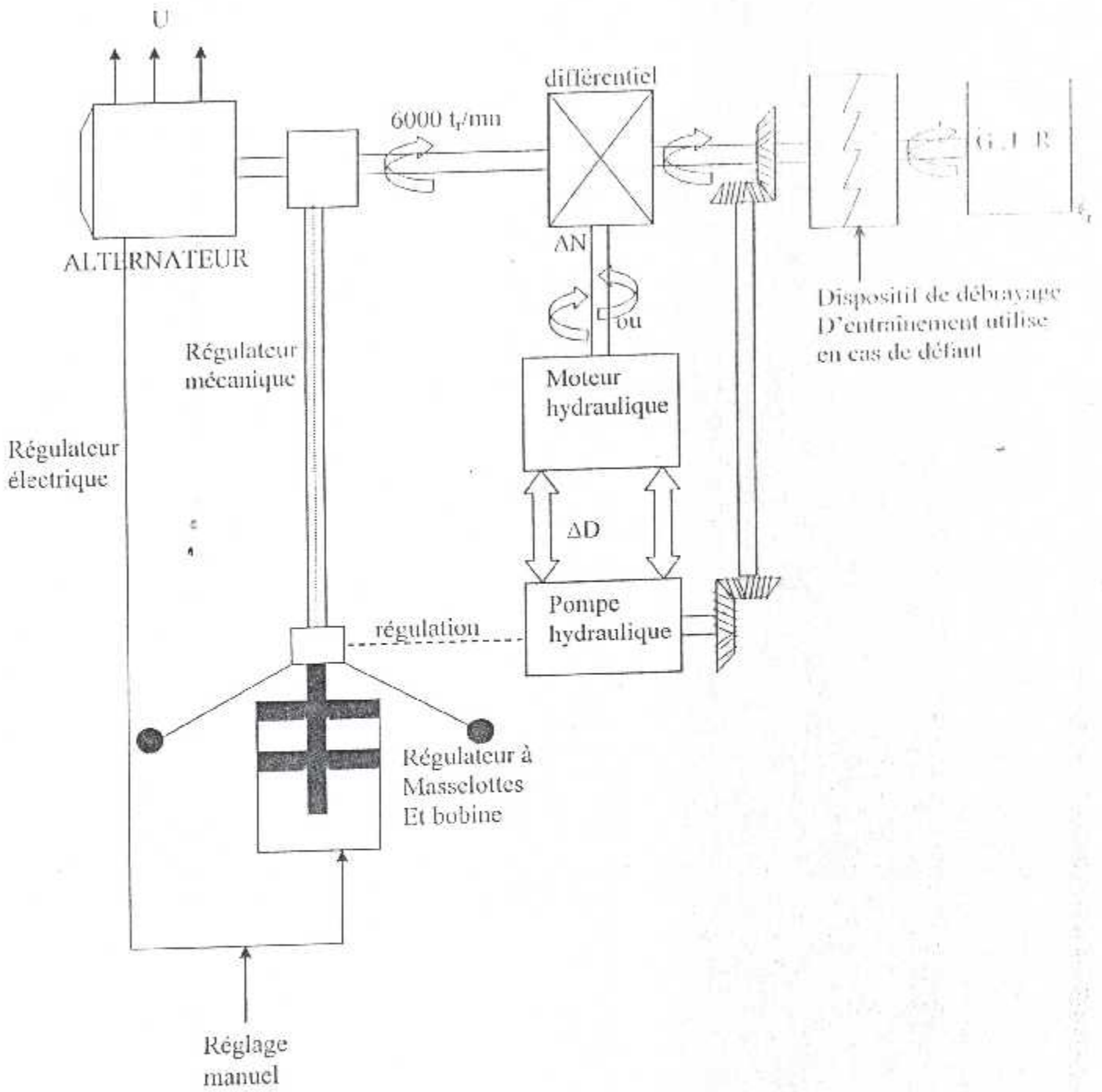


Fig II - 1



### II-1-2 DÉFINITIONS :

**a- survitesse ( OVER DRIVE ) :**  
 lorsque la vitesse d'entrée est inférieure à la vitesse nécessaire à l'alternateur, dans ce cas, il est demandé à la transmission d'augmenter la vitesse d'entraînement de l'alternateur.

**b- entraînement direct :**  
 lorsque la vitesse d'entrée est exactement égale à celle nécessaire à l'alternateur, dans ce cas, la transmission agit comme un couplement mécanique.

**c- sous vitesse ( UNDER DRIVE ) :**  
 lorsque la vitesse d'entrée est supérieure à la vitesse nécessaire à l'alternateur, dans ce cas, il est demandé à la transmission de diminuer la vitesse d'entraînement de l'alternateur.

### Principe fonctionnement :

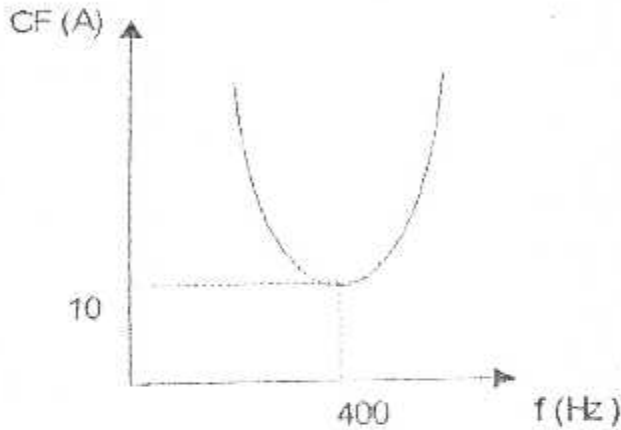
La transmission entre l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie se fait par l'intermédiaire d'un différentiel mécanique.

Un détecteur de vitesse ( régulateur à masselottes) placé sur l'arbre de sortie commande un système de régulateur constitué par un ensemble moteur/pompe hydraulique. Ce moteur associé au différentiel, ajoute ou retranche une vitesse telle que la vitesse de sortie soit maintenue constant.

En fait, l'arbre d'entrée est relié au différentiel mécanique par un système à entde loup. Il sera possible de (( décraboter )) le CSD du boîtier accessoires N<sub>2</sub> par un interrupteur situé sur le panneau mécanicien. Au sol, réacteur arrêté, une poignée permet de ((regraboter )) manuellement. L'huile, utilisée pour le système de régulateur et pour la lubrification du CSD est refroidie par un échangeur thermique situé dans le FAN réacteur.

**II-2 LE CHOIX DE LA FREQUENCE :**

La relation entre pertes et fréquence :  
 Les pertes par le courant de FOUCAULT augmentent avec la fréquence .



*Courbe de courant de foucault en fonction de la fréquence .*

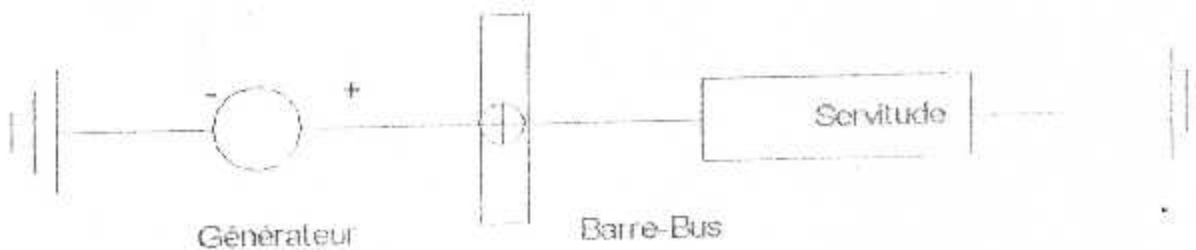
D'après la courbe, on constate que la fréquence 400 Hz est la valeur où le courant de FOUCAULT atteint sa valeur minimal.

Conclusion :  
 De ce qu'on vient d'expliquer on conclut que la fréquence 400Hz a été choisie pour la diminution des pertes causés par le courant de FOUCAULT.

**Remarque :**

La fréquence 400Hz permet un gain de poids 80% environ par rapport à la fréquence 50 Hz.

**II-2-1 Retour du négatif par la masse :**



- le retour du courant utilisant la structure de l'avion est réglementaire et présente les avantages suivants :
  - gain de poids sur les câblages lesquels se trouvent réduits de moitié .
  - en cas de défauts dus à des isolements défectueux ,il n'y a pas de risque de bouclage entre circuit différents, donc pas de possibilité de court-circuit .
  - les défauts sont plus faciles à détecter et à localiser puisque seuls les conducteurs positifs sont à incriminer .

**II-3 bilan électrique :**

c'est l'addition des diverses consommations électriques absorbées lors des différentes phases de vol ( roulage, décollage, atterrissage, croisière ) il est nécessaire de dresser le bilan électrique d'un avion pour déterminer la puissance des générateurs devant l'équiper .

- ces dernières années, la solution électrique à bord était de disposer d'un réseau principal à courant continu 28V et d'un sous-réseau alternatif alimenté à partir des groupes convertisseurs. ( de nombreux avions en exploitation sont encore équipés selon ce principe ).

**II-4 réseaux normalises :**

**II-4-1courant continu :**

**A) utilisation :**

tout le courant sur l'avion est généré sous forme alternative. Une partie de celui-ci est converti en courant continu au moyen de transformateurs-redresseurs au silicium ( TR ) ils convertissent le courant alternatif en courant continu 28V . Ce 28 V CC

utilisé dans tout l'avion pour alimenté les circuits de contrôle est des divers accessoires fonctionnant sous 28V continu.

**B) Description :**

Les bus 28V = sont au nombre de 8. Elles sont alimentées par 4 transformateurs-redresseurs : TR1 ( bus 1 alternatif ), TR2 ( bus 2 alternatif ) TR ess (bus ess alternatif ), TR parc ( bus parc alternatif ) et la batterie de bord .

- bus permanente batterie : batterie de bord.
- bus permanente auxiliaire batterie : batterie de bord ou TR parc.
- Bus batterie : batterie de bord ou bus ess .
- Bus auxiliaire batterie : batterie de bord ou TR parc.
- Bus TR1 : TR1 ou TR2.
- Bus TR2 : TR1 ou TR2.
- Bus essentielle : TR ess ou TR1-TR2.
- Bus parc : TR parc .

**II-4-2 Courant alternatif :**

**A) Introduction :**

Elle consiste à fournir aux différentes servitudes et équipements de bord l'énergie alternative indispensable à leur fonctionnement à partir des trois alternateurs couplés en parallèle en associant à chaque alternateur. Un contrôleur de charge, un régulateur de tension, et de contrôle.

**B) Principe :**

En alternatif la distribution s'effectue. Suivant les priorités. En 2 réseau bien distincts :

- réseau normal.
- réseau essentiel.

Il est important que chacun de ces réseaux ne soit pas tributaire de l'autre. Mais qu'ils puissent suivant la circonstance être utilisé séparément :

Chaque réseau comporte :

- une distribution 200/115v 400 Hz.
- Une distribution 28v 400 Hz alternative .
- Une distribution 28v continue .

TENSION FREQUENCES TENSIONS	GENERATEURS	
	Réseau normal	Réseau essentiel
200/115V400 Hz	3 alternateurs de bord ou groupe de parc	L'un qlq des alternateurs ou groupe de parc
28 v 400 Hz	3 transformateurs principaux 3 Transformateurs ECL service	1 transformateur essentiel
28 CC	2 Transformateurs TR <sub>1</sub> et TR <sub>2</sub>	Tr essentiel TR <sub>1</sub> et TR <sub>2</sub>

**II-5 ENERGIES UTILISEES A BORD DES AVIONS :**

**II-5-1 GENERALITES :**

L'énergie utilisée à bord des avions est essentiellement une énergie de servitudes, l'énergie dit de servitude ne sert pas directement à la propulsion de l'avion mais elle est indispensable car elle permet d'améliorer :

**a) les performances du vol :**

**exemples :**

- train d'atterrissage.
- Commande des volets hypersustentateurs.
- Hélices à pas variable.
- Volets de capots ( pour assurer le refroidissement des G M P ).

**b) la sécurité du vol :**

**exemples :**

- les instruments de contrôle vol et moteur .
- les équipements radio électriques ( émetteurs – récepteur – radar ).
- Les dispositifs de dégivrage .
- La détection incendie, la percussion incendie .

**c) le confort de l'équipage et des passagers :**

**exemple :**

- le conditionnement d'air .
- le pilote automatique .
- les éclairages divers .
- les cuisines .

**II-5-2 DEFFERENTES FORMES D'ENERGIE UTILISIE :**

Il existe trois types d'énergie utilisée sur l'avion :

- 1- énergie hydraulique.
- 2- Energie pneumatique .
- 3- énergie électrique .

**II-5-3 Avantages Et Inconvénients De Courant Continu-Alternatif :**

**A) COURANT CONTINU :**

**-AVANTAGES :**

- la présence d'une batterie d'accumulateur à bord qui permet de disposer d'une réserve d'énergie permanente .
- le couplage en parallèle des génératrices facile à réaliser .
- l'appareillage électromagnétique ( relais- contacteurs ) est simple robuste .
- L'utilisation de moteurs à service intermittent du type série, le quels sont caractérisés par un couple énergétique ( vérins ) .
- La basse tension ( 24 volts ), ne présente pas de danger d'électrocution pour les personnels en cas de contact accidentel .

**-INCONVENIENT :**

Les moteurs, les génératrices, sont des sources de parasites susceptibles d'affecter le fonctionnement des récepteurs de trafic à bord, une commutation parfaite est pratiquement irréalisable, ce qui implique de prévoir des dispositifs de filtrage, lourds, volumineux et encombrants.

L'entretien des machine nécessite une surveillance permanente ainsi que des révisions périodiques ( a caux de l'ensemble collecteur – ballais ).

**A) COURANT ALTERNATIF :**

**-AVANTAGE :**

- le courant alternatif est plus souple d'emploi, plus facilement transformable.
- de nombreuses utilisations. ( radio, télécommandes, éclairages par tubes s'accocomdent mieux de l'alternatif que du continu ).



- Les moteurs asynchrone pour entraînement des équipements sont d'un entretien nul. ( pas de balais, pas de collecteurs ). Et ne sont donc pas générateur de parasites .
- réalisation de gain de poids des équipements du à l'augmentation de la fréquence d'utilisation à bord ( 400 Hz ).
- Vitesse de rotation des moteurs asynchrones utilisées pour les instruments gyroscopiques élevés .

Rappelons que  $\omega_n = f / p$  ( tr/mn )

### - INCONVENIENTS :

- pas de réserve d'énergie à bord .
- La mise en parallèle des alternateurs est une opération délicate et requiert certaines conditions de couplage telle que :
  - égalité de FEM.
  - Egalité de fréquence .
  - Concordance de phase des tensions .
- si les alternateurs sont entraînés par les GTR dont la vitesse est variable, il faut prévoir un accouplement à vitesse constante pour disposer d'une fréquence constante .
- les moteurs asynchrones ont un faible couple de démarrage et sont moins souples que les moteurs à courant continu .

## II-6 LES APPAREILLAGES :

### II-6-1 appareillage de connexion :

#### A- terminologie :

- connexion électrique :  
toutes les façons de réaliser la continuité de deux conducteurs distincts .
- branchement :  
canalisation reliant une installation à une réseau.
- jonction : connexion électrique de 2 extrémités de câbles .
- boite de jonction : boite fermée abritant une jonction .
- serre-fils : pièces conductrices servant à relier deux au plusieurs conducteurs par serrage .
- cosse : pièces conductrice fixée à l'extrémité d'un conducteur et servant à sa connexion .
- fichier : pièce destinée à être engagée dans une alvéole dans le but d'établir un ou plusieurs contacts .
- prise de courant : ensemble d'organes destiné à relier une installation mobile à une installation fixe .

#### A) différent type de connexion :

Il existe trois types de connexion .

- connexion permanente : elle ne sont pas prévues pour être démontées, elles peuvent être réaliser par :
  - soudure ( étain , plomb ).
  - Brasure ( argent ) .
  - Sertissage .

- **connexion semé-permanentes :** elle sont prévues pour être démontées en quelques minutes, ce sont les bornes et les serre-file.
- Connexion à démontage rapide : elles sont les prises de courant et les fiches.

**C) câbles :**

On utilise presque exclusivement sur l'avion des câbles du type mono conducteurs, multibrins, isolés.

- les conducteurs sont presque toujours constitués de cuivre électrolytique, parfois d'aluminium ce qui permet de réaliser un gain de poids de l'ordre de 30% mais les inconvénients en ont restreints l'emploi.
- résistance mécanique faible.
- création de couple électrolytique du au raccordement **CU - AL**.

**II-6-2 APPAREILLAGE DE COMMANDE :**

**A- Généralités :**

L'appareillage de commande peut-être divisé en deux familles :

- 1- Les dispositifs à commande manuelle d'ouverture et de fermeture de circuits.
- 2- les dispositifs à commande automatique d'ouverture et de fermeture de circuits.

**B- les dispositifs de commande manuelle :**

- interrupteur.
- Inverseur.
- Commutateur.
- Conjoncteur.
- Distributeur.
- Rupteur.
- Contacteur.

**C- les dispositifs de commande automatique :**

- disjoncteur.
- relais : Il ya plusieurs types tels que :
  - relais électromagnétique.
  - relais polarisés.
  - relais économiseur.
  - relais différentiel polarisé.

**II-7 APPAREILLAGE DE PROTECTION :**

**II-7-1 GENERALITE :**

L'accroissement de la puissance électrique mise en jeu et la mise à la masse du négatif à bord nécessitent de nos jours la protection de l'ensemble des servitudes de l'avion contre notamment les défauts de court-circuit les quels se traduiraient par une libération d'énergie considérable pouvant provoquer la

mise hors service de toute une partie d'éléments vitaux de l'avion avec risque d'incendie .

Les défauts se manifestent en général sous 2 formes dans un circuit électrique :

- a- coupure d'un conducteur .
- b- contact accidentel de deux conducteur à des potentiels différents (court-circuit) .

**II-7-2 CAUSES DES DEFFAUTS :**

- Matériel mal entretenu .
- échauffement anormal des câbles .
- Isolant décomposée par des liquides corrosifs .
- Frottements anormaux de conducteurs .
- Connexions mal soudées, mal serties .

**A-coupure d'un conducteur :**

ce défaut se traduit en général par :

- la perte de contrôle de la servitude .
- éventuellement par une diminution de la puissance disponible .

**B- court-circuit :**

Il peut entraîner une perte totale de l'ensemble des servitudes électriques de l'avion avec risques d'incendie .

Il peut se terminer de deux façons .

**1- par autoélimination .**

L'arc amorce entraîne une fusion des conducteur, après un temps plus ou moins long et s'éteint par écartement de ceux-ci .

**Ce qui se traduit par .**

- la perte contrôle de servitude .
- le risque d'incendie a proximité du aux projection de métal en fusion .

**2- par soudure [ court-circuit permanent ] .**

L'arc amorce peut souder les conducteurs .

Ce qui se traduit par .

- une circulation intense de courant .
- Un échauffement excessif des conducteurs .
- Le risque d'incendie s'il y a des matières combustibles a proximité .
- la chute de tension du réseau .
- la perte de contrôle de la totalité des servitudes électrique .

**II-7-3 PROTECTION :**

Les considérations ci-dessus font apparaitre la nécessité d'une protection ayant pour rôle .

- de provoquer l'isolement du circuit en défaut .
- de limiter les perturbations .
- de réduire les risques d'incendie .

### A) DISJONCTEUR MAGNETO THERMIQUE (B).

Schéma de principe

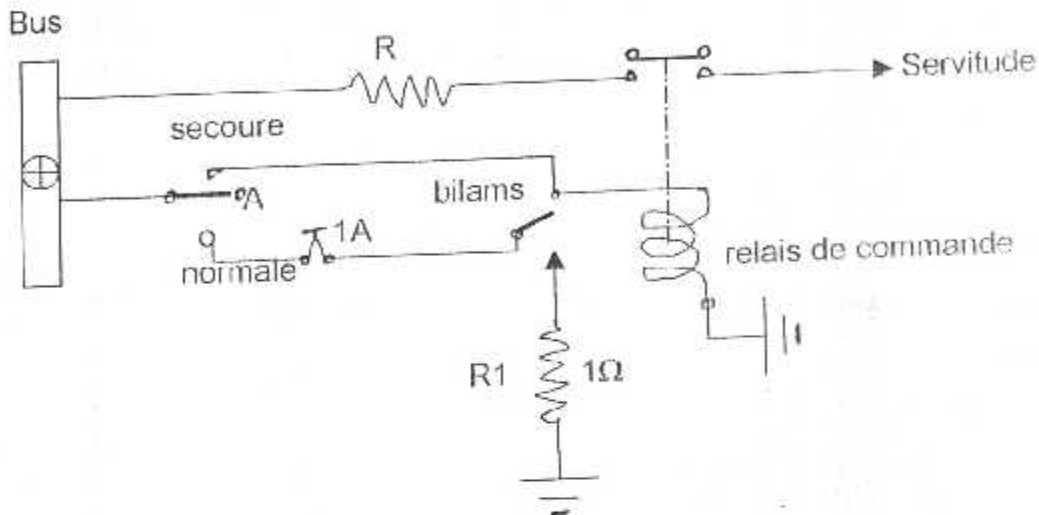


Fig II - 2.

Plaçons l'inverseur de commande sur position ( **normal** ). Le relais de commande s'excite, son contact se ferme, la servitude est alimentée la résistance R traversée par l'intensité alimentant la servitude dégage, une énergie calorifique insuffisante pour provoquer la déformation du bilame soumis à cet échauffement.

#### b) En cas de court-circuit :

dans la servitude, l'intensité traversant la résistance R augmente l'échauffement qui en résulte croît, ce qui détermine la déformation du bilame. L'alimentation du relais de commande est interrompue, son contact s'ouvre la servitude est isolée.

Par ailleurs, la résistance R1 est alimentée [ action du bilame ] la surintensité qui traverse le circuit provoque le déclenchement du disjoncteur de 1A, évitant ainsi lorsque le bilame reprendra sa position initiale une nouvelle alimentation du relais de commande alors que le défaut persiste.

#### c) Inverseur de commande sur secours :

Cette position momentanée de l'organe de commande permet d'outre passer la protection en assurant une alimentation directe du relais de commande en cas de nécessité absolue.

**II-7- 4 CHOIX DES SYSTEMES DE PROTECTIONS LA NATURE DES CIRCUITS :****Lignes d'alimentation :**

L'intensité circulant dans les conducteurs est généralement de valeur élevée la protection doit agir instantanément pour être efficace d'ou l'emploi de fusibles ou de disjoncteur magnéto-thermique a temps de réponse rapide .

**Lignes de contrôle ou de commande de circuits :**

utilisation de disjoncteurs thermiques calibres ou de fusibles lents .

**Circuit de sécurité :**

utilisation de relais magnéto-thermiques qui offrent la possibilité d'outré passer la protection en cas de nécessité .

**Circuit à fort appel de courant :**

la protection doit pouvoir supporter une surintensité normale on utilise en général des fusibles lents ou des disjoncteurs thermiques .

**Circuits a consommation variable :**

utilisation de bilames de détection de température qui places sur la servitude contrôle l'échauffement de cette-ci et provoque en cas de sur chauffage l'allumage d'un voyant de signalisation alertant l'équipage .

**II-7- 5 DISPOSITIFS DE PROTECTION UTILISES :****7- 5 -1 Protection thermiques :****A) fusibles :****Principe :**

L'élévation de température résultant d'un accroissement engendre la fusion d'un fil d'alliage donne. ( argent – aluminium – étain ). Cette fusion est limitée dans une enceinte réduite ( tube de verre ou de Bakélite ) de façon a éviter la protection de métal en fusion .

- Le temps de réponse est d'autant plus rapide que l'intensité est plus forte .
- les fusibles rapides sont enfermés dans un isolant thermique (sable – céramique ) .

**Intensité normale :**

C'est l'intensité que supporte le fusible en régime permanent .  
Cette valeur est généralement indiquée sur le fusible .



**CARACTERISTIQUE DE FUSION :**

Fusion rapide à + 20°		Fusion temporisée à + 20°	
I/In	Temps (second)	Temps (seconde)	
1,15	$\infty$	$\infty$	
1,6	< 120	< 14	
2	< 3	6 < t < 80	
3	< 0,7	2 < t < 20	
5	< 0,3	0,6 < t < 6	
10	< 0,1	0,1 < t < 1	

**B) BILAME :**

Cet organe de protection thermique est constitué de 2 lames étroites et minces de métaux différents soudés à plat.

Les métaux utilisés sont inégalement dilatables.

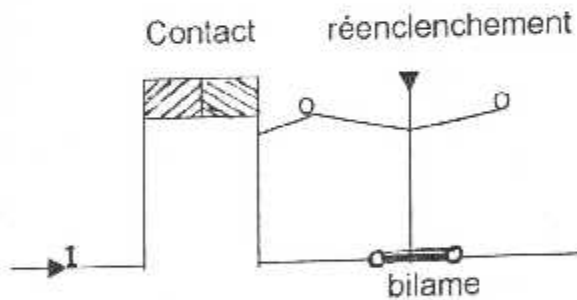
Sous l'influence de la température le bilame s'incurve, il peut être à chauffage direct ou indirect.

Eléments constitutifs :

- métal très dilatable.
- Métal peu dilatable.

**C) DISJONCTEUR THERMIQUE :**

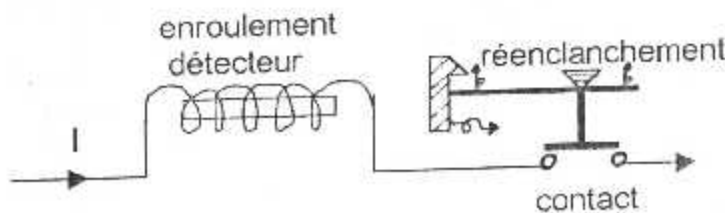
Schéma de principe :



Des que l'intensité croît, l'échauffement croît, le bilame se déformant agit sur un dispositif mécanique de coupure. Il est possible de tenter manuellement un réenclenchement du disjoncteur.

**7- 5 -2 DISJONCTEUR MAGNETIQUE :**

Schéma de principe :

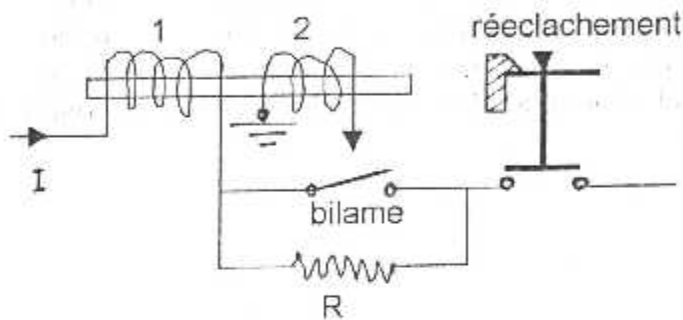




L'ouverture du disjoncteur a lieu dès que l'intensité traversant l'enroulement atteint la valeur pour laquelle il a été calibré.

Dès le déclenchement le dispositif reste verrouillé, mécaniquement, le temps de réponse est de l'ordre de  $1/100^{\circ}$  de seconde, un poussoir de déclenchement permet de ramener le disjoncteur on position initiale .

### 7- 5 - 3 DISJONCTEUR MAGNETO-THERMIQUE (A) :



Lorsque la surintensité est importante la force électromagnétique développée par la bobine 1 est suffisante pour déclencher le disjoncteur. Si la surintensité est insuffisante pour exciter la bobine 1 le bilame en se déformant provoquera l'excitation de la bobine 2 les 2 flux s'ajouteront du système de protection .

## II-8 SOURCES D'ENERGIE AUXILIAIRES [ APU ] :

### II-8-1 BATTERIES D'ACCUMULATEURS DE BORD :

#### A) généralités :

ce sont des sources d'énergie auxiliaires à bord de l'avion destinées à assurer l'alimentation de servitudes de secours en cas de panne des organes de génération ( dynamos – alternateurs ) .

#### branchement :

elles sont branchées en parallèle sur les génératrices et fonctionnent en tampon de façon à suppléer les génératrices lors des pointes de courant demandées par le réseau de bord .

#### b) CHARGEUR DE BATTERIE :

Le chargeur de batterie a pour fonction la charge d'une batterie en un temps de 1 heure. L'alimentation de ce chargeur fait à partir d'une source de **200V/400Hz**. 3 phases en **Y 115 V AC** entre phase et neutre.

Le chargeur maintient un niveau de tension constant dans les trois modes de fonctionnement, selon la température de la batterie. Le chargeur possède une fonction de contrôle automatique qui permet le changement d'un mode à autre cette option réduit l'échauffement de la batterie et la consommation d'eau.

**OPERATIONS;****- mode normal;**

Température batterie  $20^{\circ} \text{C} \leq T^{\circ} \leq 115^{\circ} \text{C}$  ; ce mode correspond à la charge rapide ( courbe n° 01). Ce mode de charge continu jusqu'au moment d'un changement automatique au mode haute ou basses températures.

**- mode basse température ;**

$T < 20^{\circ} \text{C}$ , Courbe n° 02.

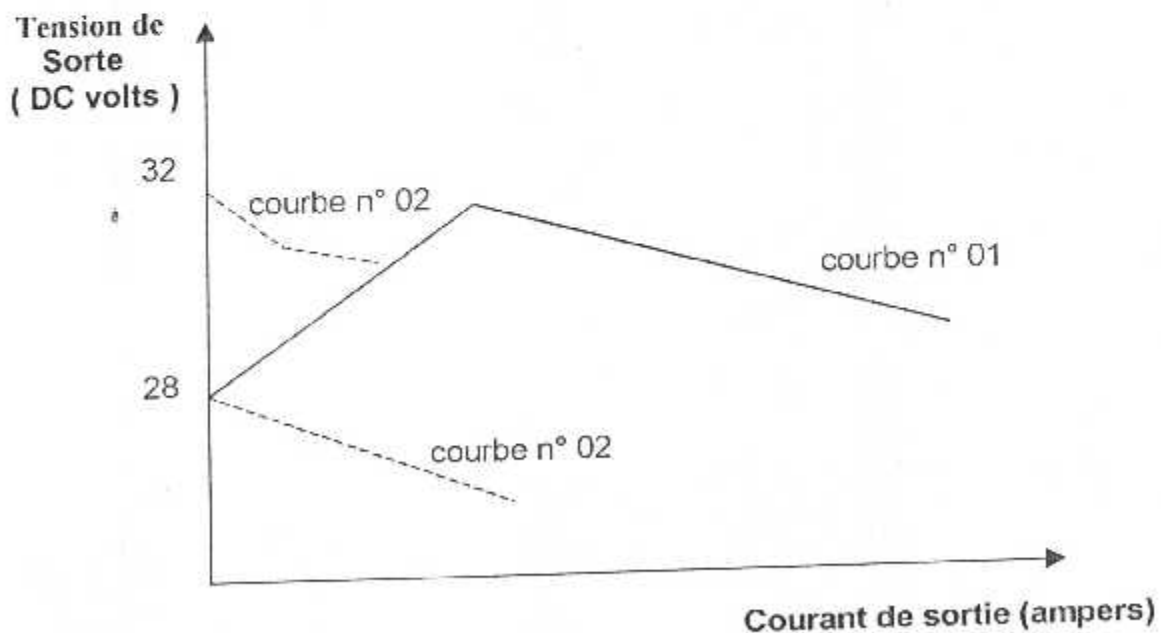
Si la température de la batterie est inférieure a  $20^{\circ} \text{C}$  la charge se fera en mode basse température, la résistance de la batterie est grande à ces moment la batterie accepte moins de charge ( $< 16 \text{ A}$ ), le chargeur continu de fonctionner comme un transfo-redresseur, jusqu' à la marge entière, cependant la batterie s'échauffera rapidement et on passera au mode normal.

**- mode haute température;**

$T > 115^{\circ} \text{C}$  ; courbe n° 03.

Si la température de la batterie est supérieure à  $115^{\circ} \text{C}$  il est préférable de faire une charge à faible tension et courant, afin d'éviter un échauffement.

La courbe en triangle eliminee et on aura une intensité constante entre 0 et 25A.



**II-8-2 BATTERIES ALCALINES :****1-Généralité :**

elles sont actuellement de plus en plus utilisées en aviation, les plus couramment employées sont les batteries Fer-Nickel et cadmium nickel ( caravelle – Mystère 20 – B 707 – 727 – 747 ).

**Description :****-les plaques positives :**

sont constituées de tubes, finement perforés contenant de l'hydrate de nickel, ou des oxydes de nickel et assemblés dans un cadre en acier nickelé.

**-les plaque négatives :**

sont constituées par des boites plates en acier nickelé également mais contenant soit des hydrates de fer soit des oxydes de cadmium.

**-l'électrolyte :** est une solution de potasse à 20%.

**AVANTAGES :**

- vie plus longue .
- entretien réduit .
- peuvent supporter des charges et décharges à régime élevé.
- Bon fonctionnement à température élevé, et à basse température .
- Pas de vapeurs d'acide, pas de risque de corrosion .
- Bacs en acier nickelé – robustes.

**INCONVENIENTS :**

- FEM plus variable et plus faible par élément ( 0,9 à 1,5 volts ).
- Valeur moyenne 1,2 volts en utilisation .
- Résistance interne plus élevée ( limite les pointes de courant ).
- Volume et poids un peu plus élevés pour une même énergie (10% en plus).
- Impossibilité de contrôler la charge par mesure de la densité, celle-ci restant à peu près constante .
- Coût plus élevé ( environ le double ).

**II-8-3 batteries de parc :**

elles sont actuellement peu utilisées, toutefois certaines escales en sont pourvues elles ont pour rôle, d'assurer le démarrage des moteurs ou de procéder à des essais de servitudes lorsque l'avion est au sol réacteurs à l'arrêt.

généralement caractérisées par de fortes capacités 200 à 300 Ah, elles sont montrées sur chariot, ce qui facilite leur déplacement .

**avantage :**

une utilisation silencieuse .

**inconvénients :**

une surveillance et un entretien périodique .

### **II-8-4 GROUPE AUXILIARES :**

#### **Groupe de parc :**

source d'énergie utilisée au sol assurant l'alimentation du réseau de bord [ alternateur ] par le fermeteur de relais prise de **PARC**

L'ensemble comprend :

Un moteur à explosion entraînant une dynamo pourvue d'un régulateur de tension et d'un conjoncteur-disjoncteur (organe de liaison chargé de connecter la génératrice sur le réseau de bord ).

#### **Utilisation :**

Ils sont utilisés comme sources d'énergie permettant d'assurer le démarrage des réacteurs, ainsi que l'alimentation du réseau pour procéder aux essais de servitudes lorsque l'avion est au sol ; les puissances des groupes varient de 2 kw à 10 kw .

#### **Avantages :**

Autonomie, pas d'entretien .

#### **Inconvénient :**

Le bruit.

### **II-8-5 REDRESSEURS :**

L'énergie électrique peut être également fournie à partir d'un réseau alternatif 220 volts pourvus de dispositifs redresseurs permettant d'obtenir du 28 volts continu nécessaire à l'alimentation du réseau de bord .

#### **Avantages :**

Pas d'entretien – pas de bruit .

#### **Inconvénients :**

Puissance-massique faible isolement.

II-8-6 CIRCUIT BATTERIES DE BORD ET GROUPE DE PARC :

Schéma de principe :

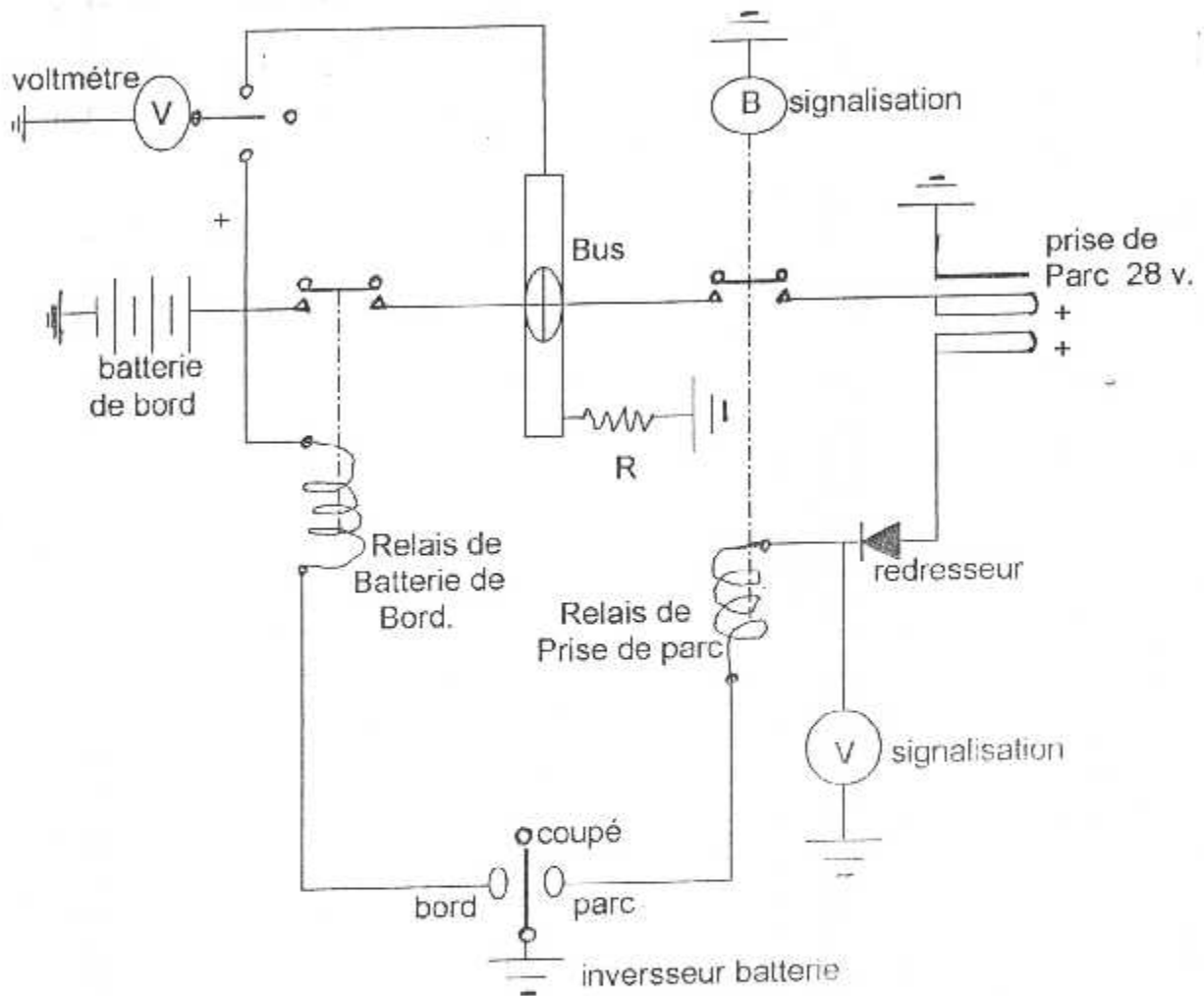


Fig II - 3

1- ELEMENTS CONSTITUTIFS DU CIRCUIT :

Batterie de bord :

source d'énergie destinée à alimenter la barre bus .

Relais de batterie de bord :

organe de liaison. Batterie de bord barre bus.

Prise de parc 28v : organe de liaison du groupe extérieur sur l'avion comportant 3 broches 2 positives 1 négative ( masse ).

**Relais de prise de parc :**

organe de liaison chargé de connecter le groupe extérieur sur la barre-bus .

**Inverseur batteries :**

organe de commande à 3 positions. Bord coupé. Parc son rôle est de communiquer la masse soit au relais de batterie de bord, soit au relais de prise de parc selon la sélection effectuée.

**3- Fonctionnement :**

**Inverseur-batterie sur position bord :**

le relais de batterie de bord se ferme la liaison batterie barre-Bus est assurée Tension-BUS 24 volts.

**Inverseur-batterie sur position coupée :**

le relais de batterie de bord s'ouvre la batterie est déconnectée de la barre-bus.

**Groupe de parc branché sur la prise de parc inverseur batterie surcoupé :**

Le voyant de signalisation s'illumine, indiquant que la prise de parc est branchée avec groupe de parc sous tension .

**Inverseur batterie sur position parc :**

le relais de prise de parc se ferme la liaison groupe de parc Barre-Bus est réalisée. Le voyant de signalisation blanc s'allume.

**Nota :**

la recharge de la batterie de bord ne peut s'effectuer à partir du groupe de parc.

**Rôle de la diode :**

interdire l'excitation du relais de prise de parc dans le cas d'inversion des câbles d'alimentation du groupe extérieur .

**Rôle de la petite broche positive du circuit prise de parc :**

Désexciter en priorité le relais de prise de parc afin d'éviter un extra-courant de rupture dangereux au moment de la déconnexion de la grosse broche positive qui intéresse le circuit de puissance .

**4 - Contrôle des tensions :**

Assuré par un voltmètre disposant d'un sélecteur permettant de contrôler :

- la tension de la batterie.
- La tension sur la barre-bus .



II-8-7 Circuit De Batterie De Bord Et Groupe De Parc Avec Dispositif De Protection :

Schéma de principe :

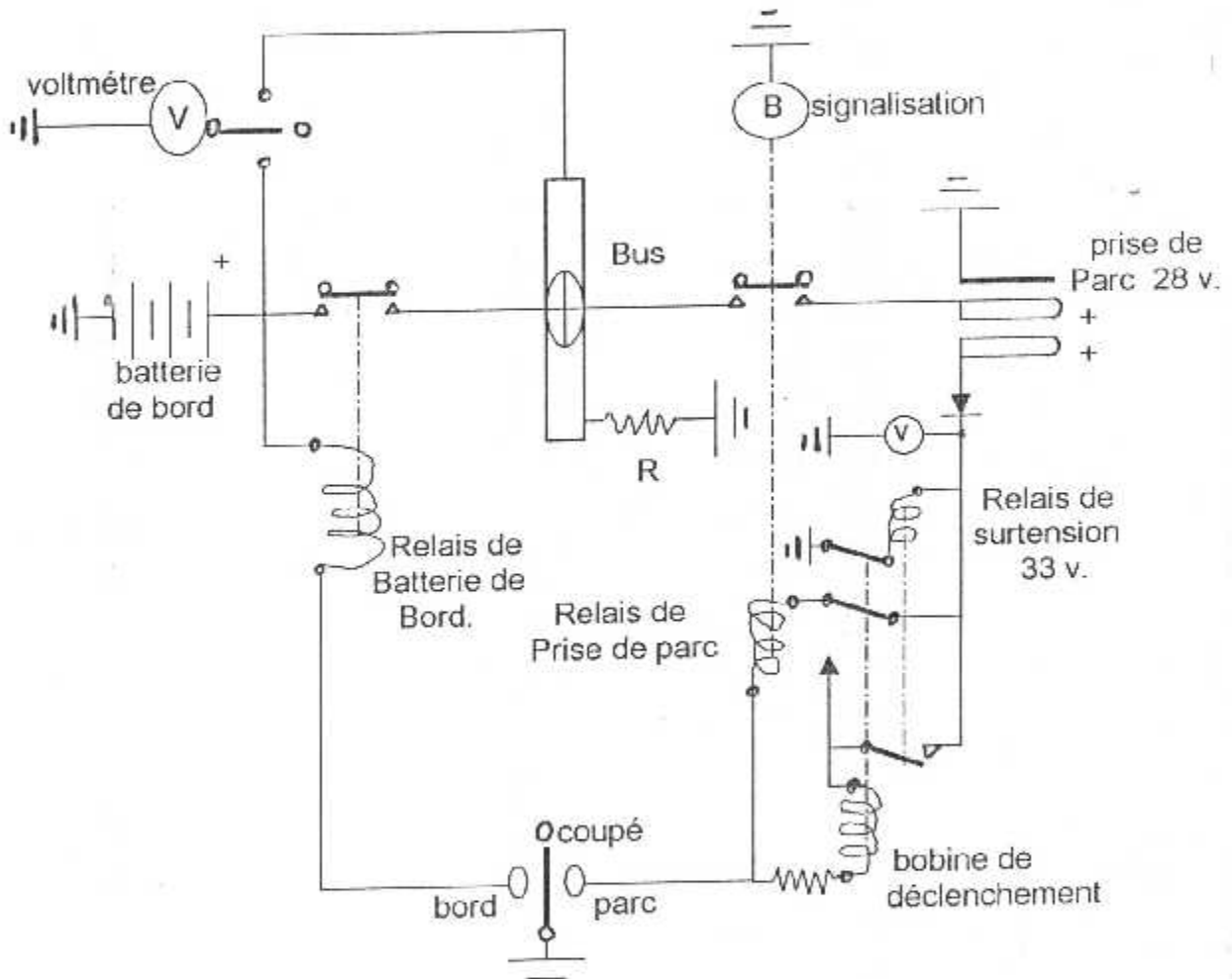


Fig-II-4

Sensiblement identique au précédent ce circuit comporte une protection permettant de se prémunir contre les défauts de surtension développée par le Groupe de parc .

**5- ELEMENT DE PROTECTION :**

- 1] une relais de surtension ( sensibilité 33 volts ) branché en parallèle sur la prise de parc .
- 2] une bobine de déclenchement charge d'assurer la déconnexion du Groupe de parc de réseau .

**6- Fonctionnement en détection de surtension :**

Considérons le Groupe de parc connecté sur la Barre -Bus. (inverseur batterie sur parc – relais de prise de parc fermé – voyant Blanc allumé ) .

**Cas d'une surtension résultant d'une régulation défectueuse du Groupe de parc :**

le relais de surtension ( élément détecteur se ferme ) dès que la tension atteint 33 volts .

**Ce qui provoque :**

L'alimentation de la bobine de déclenchement qui s'excite et s'auto-excite d'ou coupure de l'alimentation du relais de prise de parc qui s'ouvre.

**Conséquences :**

- le Groupe est automatiquement déconnecté du réseau.
- Le voyant blanc s'éteint .
- Le réseau est isolé.

**Opération de réarmement :**

Pour rendre le circuit disponible, il faut :

- 1/ ramener la tension du Groupe à sa valeur primitive soit 28 v.
- 2/ désexciter la bobine de déclenchement en plaçant l'inverseur de commande batterie sur coupé.

## II -9 GENERATION DE COURANT ALTERNATIF

### II- 9-1 GENERALITES

L'équipement et l'instrumentation d'un avion necessitant non seulement des alimentations en courant continu, mais également en courant alternatif à tensions et fréquence regulées :

Citons quelques servitudes indispensables dont les alimentation sont assurees a partir du reseau alternatif de bord :

- Les instruments de navigation
- Les équipement radio
- Le pilote automatique
- Les jaugeurs
- La détection incendie
- Le radar

La génération de courant alternatif peut être obtenue ;

Soit a partir de groupes convertisseurs, encore appeles invertir.

Soit a partir d'alternateurs directement entraînés par les reacteurs .

### II -9-2 GROUPES COUVERTISSEURS

Le convertisseur se presente sous la forme d'un ensemble monobloc, comprenant l'association d'un moteur à courant continu entrainant directement un alternateur

Il existe en general, deux convertisseurs de puissance identique a bord, repartis comme suit :

- a) Un convertisseur normal
- b) Un convertisseur de secours .

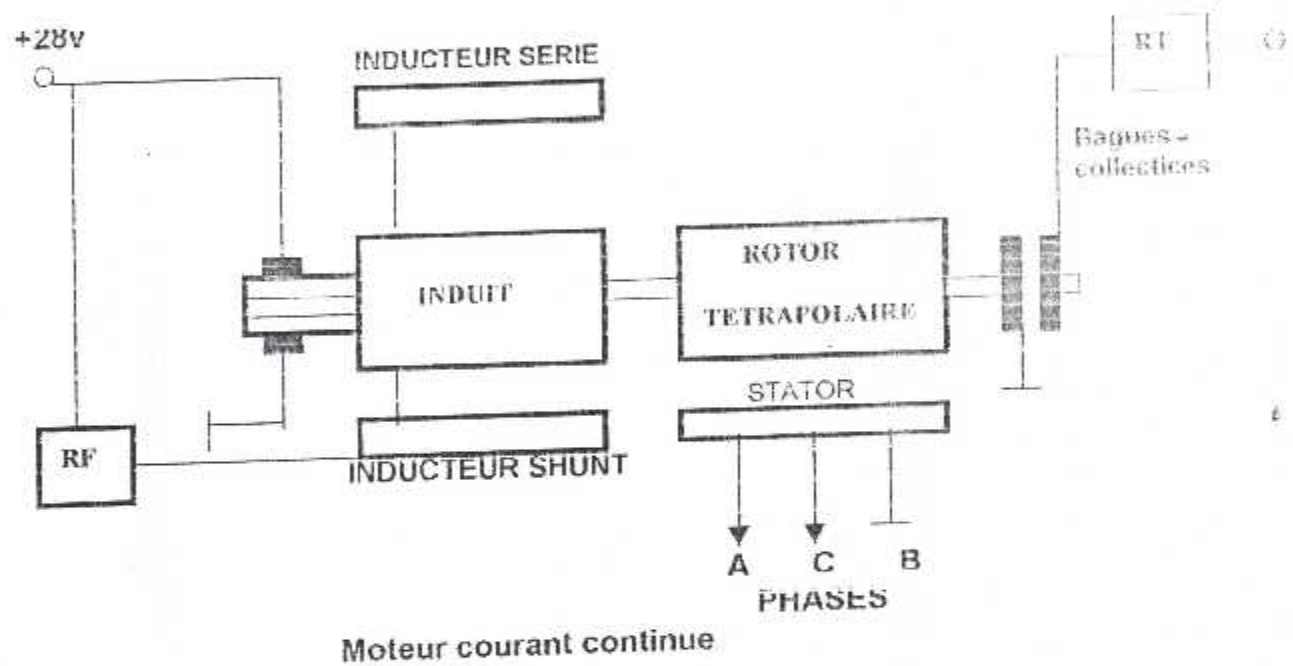
La puissance développée par le convertisseur normal est suffisante pour assurer l'alimentation de l'ensemble des servitudes de bord mais en cas de detaiillance de ce convertisseur, il est prévu une mise en route du convertisseur de secours .

Celle-ci peut s'effectuer :

- Soit manuellement .
- Soit automatiquement, grace a un dispositif de transtert dont nous donnerons par la suite un principe de fonctionnement .

## II -9-3 CONVERTISSEUR DE COURANT ALTERNATIF TYPE 1518

### 9- 3-1 Bloc Diagramme



### 9- 3-2 Eléments constitutifs

#### 1) Partie courant continu

Elle comprend un moteur à courant continu tétrapolaire du type compound alimenté à partir du réseau de bord (bus 28 v) .

Son rôle est d'entraîner le rotor de l'alternateur .

#### 2) Partie courant alternatif .

Elle comprend :

- a) Un inducteur tournant (rotor) tétrapolaire alimenté en 28 v .continu par l'intermédiaire de deux bagues collectives isolées de l'arbre .

Son rôle est de développer le flux d'induction .

- b) Un induit fixe (stator) constitué par trois enroulements déphasés angulairement de  $\frac{2\pi}{3}$  ; le montage réalisé est du type étoile, point neutre non accessible :

3

Son rôle est de développer les F.E.M induites triphasées

### 3) Dispositif de régulation

#### a) Régulation de tension

L'élément agissant est une résistance variable (pile de carbone) qui insérée dans le circuit rotorique modifie la valeur du courant d'excitation, donc du flux en fonction de la tension développée, de façon à maintenir celle-ci constante .

Rappelons que la tension alternative mesurée au bord du stator est proportionnelle au flux rotorique, sa valeur est donnée par la relation :

$$E = K P n N \Phi$$

K : coefficient de KAPP

N : nombre de conducteurs de l'induit

P : nombre de paires de pôles

n : la vitesse de rotation du rotor

$\Phi$  : le flux croissant d'un pôle

#### b) Régulation de fréquence

C'est également une résistance variable (pile de carbone) qui insérée dans le circuit d'excitation shunt du moteur d'entraînement . son action sur le flux shunt permettra de faire varier la vitesse de ce moteur donc la fréquence développée par l'alternateur .

Rappelons que la vitesse de rotation d'un moteur à courant continu est donnée par la relation :

$$N = \frac{U - rI}{n \Phi}$$

Et que la fréquence développée est liée à la vitesse de rotation du rotor donc du moteur d'entraînement .

Relation de fréquence  $F = PN$

### 9-3-3 Caractéristiques électriques

- Tension d'alimentation : 28 volts c / continu
- Intensité absorbée à Vide : 35 ampères
- Puissance alternative développée :
- En triphasé : 2 K volts ampères (UI V3)
- En monophasé ( P active = P apparente ) : 1,5 K volts ampères (UI)
- Intensité absorbée en charge : 130 ampères
- Tension alternative triphasé : 115 volts entre phases réglées à  $\pm 5 \%$   
Celles- ci sont repérées A – B – C, la phase B est à la masse .
- Fréquence développée : 400 Hz réglées à  $\pm 5 \%$
- Vitesse de rotation du moteur : 12. 000 t /m
- Rendement du convertisseur : 60 % environ



### 9-3-5 Fonctionnement

Le réseau de bord est sous tension ( + 28 v ) .

Plaçons l'interrupteur de commande sur position « marche » :

#### 1<sup>er</sup> temps :

Les relais de démarrage et de couplage sont excités ( contacts fermés ) .

La fermeture du relais de démarrage assure l'alimentation du moteur d'entraînement à partir de la bus 28 v . L'intensité absorbée par celui-ci est élevée ( 400 ampères environ ) à l'instant du démarrage ; cette intensité traverse une seule diode de filtrage donc le flux produit provoque la fermeture d'un contact , ce qui a pour effet de connecter directement l'enroulement shunt du moteur à la masse, la pile de carbone du régulateur de fréquence se trouve de ce fait court-circuitée, le flux shunt est de valeur maximum .

#### Avantages :

- Le couple moteur proportionnel au flux inducteur est élevé, ce qui favorise le démarrage .
- La pile de carbone du régulateur de fréquence est éliminée au cours de cette phase évitant ainsi une détérioration prématurée .

Le rotor de l'alternateur est également alimenté en courant continu, il développe un flux proportionnel à l'intensité le traversant .

#### 2<sup>ème</sup> temps :

Le moteur tourne, l'intensité absorbée décroît, le contact de la self de contact s'ouvre, la pile de carbone du régulateur de fréquence se trouve insérée dans le circuit d'excitation « shunt » du moteur .

Le moteur de l'alternateur développe un flux tournant coupant les enroulements du stator . Les bobinages statoriques soumis à cette variation de flux sont le siège de F.E.M. induites alternatives triphasées .

La fermeture du relais de couplage connecte les phases du stator sur les bus alternatives à partir desquelles sont alimentées les servitudes .

**La tension recueillie sur les bus est de 115 volts sous la fréquence de 400 Hz .**

**9-3-6 Régulateur de tension**

Il comprend :

- 1 pile de carbone en série avec le rotor de l'alternateur .
- 1 pont redresseur alimente a partir de la phase de référence A . B (115 volts) .
- 1 bobine branchées aux bornes du pont redresseur parcourue par le courant redressé .

**Exemples de fonctionnement****a) Cas d'une augmentation de la tension alternative développée .**

Si les charges imposees aux bornes du stator diminue ; la tension a alternatives developpee augmente aux bornes du pont redresseur :

$$U = ( E - ZI )$$

Le courant redressé parcourant la bobine croit, ainsi que le flux developpe, la pile de carbone du regulateur de tension se décomprime, sa résistance augmente, ce qui se traduit par une reduction du courant d'excitation, donc du flux rotorique et finalement de la tension developpee .

**b) Cas d'une diminution de la tension alternative développée .**

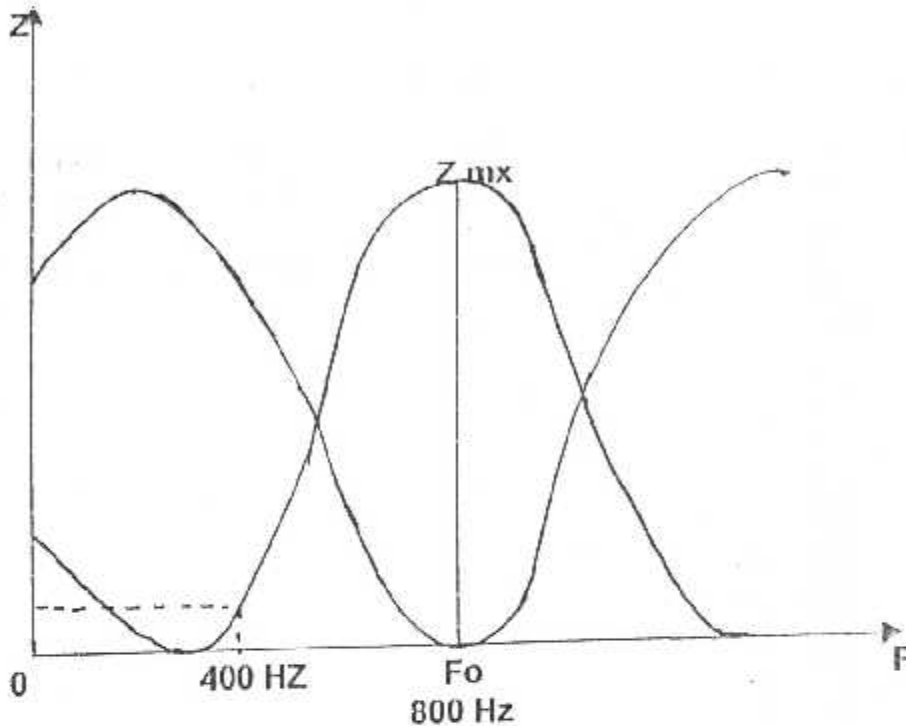
Si les charges imposees aux bornes du stator augmentent, la tension alternative developpee decroit aux bornes du pont redresseur, le courant redresse parcourant la bobine diminue ainsi que son flux, la pile de carbone du regulateur de tension se comprime sa resistance diminue, le courant d'excitation parcourant le rotor augmente, la tension developpee augmente également .

**TENSION DEVELOPPEE 115 V . TOLERANCE DE REGULATION  $\pm 5 \%$**

**9-3-7 Régulateur de fréquence**

Il comprend :

- 1 pile de carbone en série avec l'enroulement shunt du moteur d'entraînement .
- 1 pont redresseur alimente en 115 volts a partir de la phase de référence A B . Ce pont redresseur est pourvu dans une de ses branches d'un circuit parallele self et capacite accorde sur la fréquence de 800 Hz . Rappelons que pour cette valeur particulière de fréquence (résonance) l'impédance du circuit parallele est maximum et l'intensité en ligne nulle .

Courbe de résonance

- 1 bobine branchée aux bornes du pont redresseur parcourue par le courant redressé.

Exemples de fonctionnement :a) Cas d'un accroissement de la fréquence développée

Dans le cas d'une réduction des charges aux bornes du stator de l'alternateur ( le couple résistant diminue ) la vitesse de rotation du moteur d'entraînement croît, la fréquence développée augmente :

$$F = PN$$

L'impédance du circuit parallèle augmente, ce qui se traduit par une diminution du courant redressé traversant la bobine, le flux diminue, la pile de carbone du régulateur se comprime, la résistance du circuit d'excitation shunt diminue, le courant d'excitation augmente, le flux shunt augmente, la vitesse du moteur d'entraînement diminue ainsi que la fréquence développée.

b) Cas d'une diminution de la fréquence développée

Lors d'un accroissement des charges aux bornes du stator, le couple résistant imposé augmente, la vitesse de rotation du moteur décroît entraînant une diminution de la fréquence développée par l'alternateur, l'impédance du circuit parallèle décroît, ce qui se traduit par une augmentation du courant redressé traversant



La bobine, le flux augmente, la pile de carbone du régulateur de fréquence se décomprime, la résistance du circuit d'excitation s'agit augment. le courant d'excitation du moteur diminue ainsi que son flux, la vitesse de rotation du moteur augmente, ainsi que la fréquence développée.

Tolérance de régulation 400 Hz 5%.

**Remarque :**

Le circuit parallèle (L : C) est accordé sur la fréquence de 800 Hz alors que la fréquence développée par le convertisseur est de 400 Hz ; la raison en est que l'on travaille dans une région linéaire de la caractéristique  $Z f(F)$  ou les variations sont directement proportionnelles.

**Refroidissement du convertisseur :**

Il est assuré par un ventilateur incorporé dans la machine.

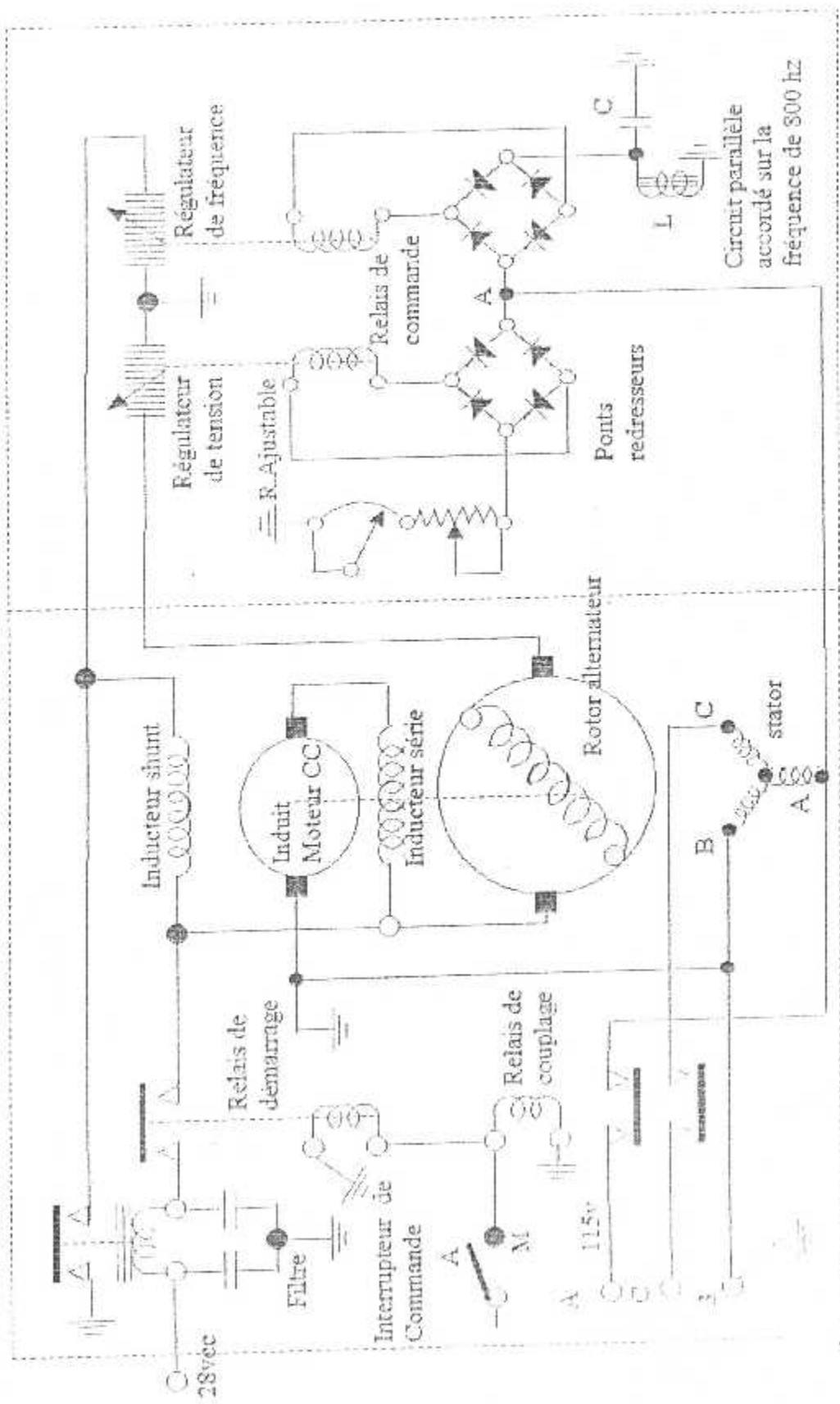


Fig. 5 CONVERTISSEUR 1518 (SCHEMA DE PRINCIPE)

Pont de GRATEZ monophasé (pont à diode) :

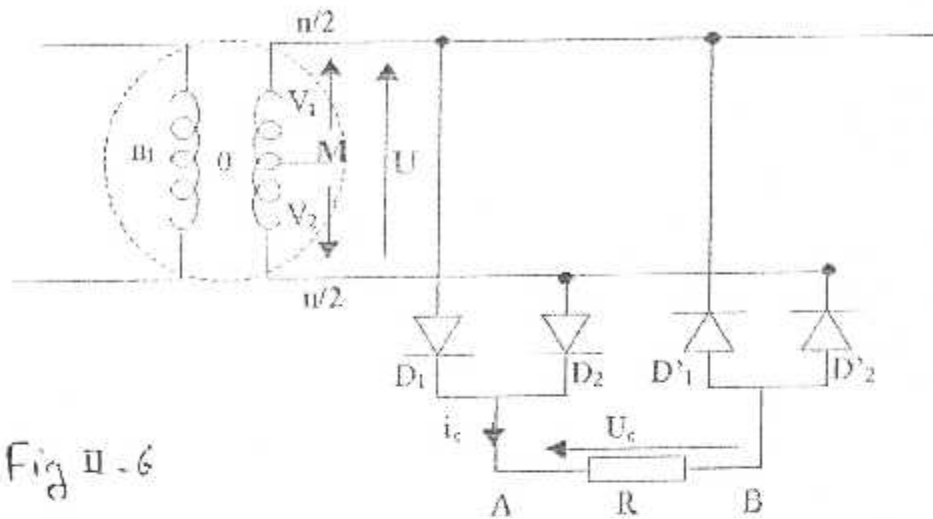


Fig II - 6

$$\begin{aligned}
 V_1 &= V_{max} \sin \omega t & V_1 &= U/2 \\
 V_2 &= - V_{max} \sin \omega t & V_2 &= - U/2 \\
 U &= U_{max} \sin \omega t
 \end{aligned}$$

$V_1$  et  $V_2$  égaux mais en opposition de phase

Le transformateur au point milieu est coûteux et encombrant.

Un montage en pont de gratz comporte 4 diodes dont 2 passantes par alternance, est un transformateur parfait.

C'est ainsi que, lorsque la tension alternative  $U$  entre les deux fils de lignes est positive ce sont les diode  $D1, D'2$  qui conduisent tandis que pour une tension négative, c'est les diode  $D2$  et  $D'1$  qui conduisent.

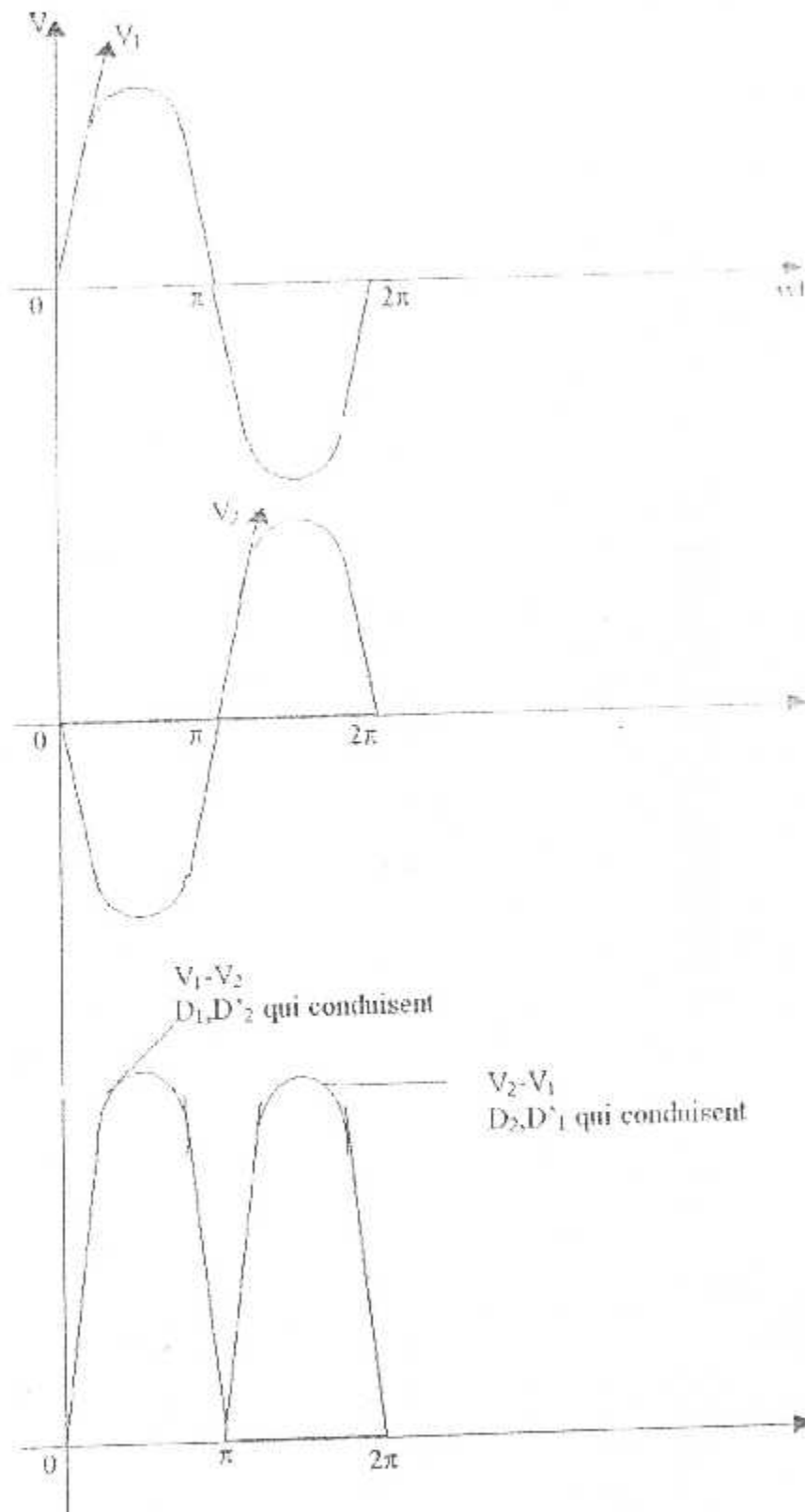
Pour la représentation des graphes, imaginons l'existence d'un transformateur à point milieu ce qui permet de désigner deux tensions  $V1$  et  $V2$  qui sont en opposition des phases et ce. Lorsque le récepteur (la charge) est traversée par un courant  $I_c$ , le potentiel en  $A$  est le même que la phase qui débite, il est donc égale à la tension la plus élevée (positive) à l'instant  $t$  considéré.

De même le potentiel en  $B$  est le même que celui de la phase qui assure le retour de courant il est donc égale à la tension la plus négative à l'instant considéré.

En conséquence que, la tension  $U_c$ , redressé aux borne de la charge, et à tout instant la différence entre l'enveloppe supérieur et l'enveloppe inférieur des deux tension  $V1$  et  $V2$ .

$$\text{Ou : } U_c = U_{moy} = \frac{2U_{max}}{\pi}$$





## Chapitre II

$$\begin{cases} V_1 = V_{\max} \sin \omega t & V_1 = U/2 \\ V_1 = V_{\max} \sin \omega t & V_2 = -U/2 \\ U = U_{\max} \sin \omega t \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0 < \omega t < \pi \\ 0 < t < T/2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_1 > V_2 \quad \longrightarrow \quad D_1 \text{ conduit} \\ V_1 = V_a - V_0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_2 < V_1 \quad \longleftarrow \quad D'_2 \text{ conduit} \\ V_2 = V_b - V_0 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} U_c &= V_1 - V_2 = (V_a - V_0) - (V_b - V_0) \\ U_c &= V_1 - V_2 = V_a - V_b \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \pi < \omega t < 2\pi \\ T/2 < t < T \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_2 > V_1 \quad D_2 \text{ conduit} \\ V_2 = V_a - V_0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_1 < V_2 \quad D'_1 \text{ conduit} \\ V_1 = V_b - V_0 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} U_c &= V_2 - V_1 = (V_a - V_0) - (V_b - V_0) \\ U_c &= V_2 - V_1 = V_a - V_b \end{aligned}$$

**II -10 Génération de courant continu sources d'énergie principales****II -10-1 Machines génératrices – Dynamos****A ) Généralités :**

La génératrice de bord est l'organe chargé de fournir la puissance électrique sur le réseau à partir duquel sont connectés les divers servitudes . Les dynamos utilisées en aviation sont du type shunt parfois compound, tétrapolaires ( 4 pôles inducteurs ), identiques dans le principe aux génératrices industrielles .

**B) Propriétés de génératrice shunt :**

- S'amorce parfaitement à circuit ouvert .
- Caractéristique de tension  $U_f$  (  $I$  débitée ) plate, l'allure de cette courbe permet de faciliter la régulation de tension de la génératrice .
- Un court – circuit aux bornes se traduit par son désamorçage sans risque d'incendie .
- Bien adaptée à la charge d'une batterie d'accus .

**C) Amorçage d'une génératrice Shunt :**

Conditions à respecter :

- Présence de champ rémanent ( circuit inducteur ) .
- Respect du sens de rotation de l'organe induit .
- Vitesse de rotation minimale ( définit par le fabricant ) .
- Connexions inducteur induit correctes .

**II -10-2 Particularités des génératrices d'aviation :**

Tension développées .

Vitesse de rotation de l'induit .

Enroulements supplémentaires .

Enroulements de compensation .

Pôles de commutation .

Entraînement .

Influence de l'altitude – Rendement électrique – Rendement massique – Ventilation .

### II -10-3 Exemple de génératrice de bord avion se 210 ( caravelle )

- **Vitesse de rotation** : comprises entre 3000 et 8000 t/m .
- **Puissance nominale** : 13,5 Kw .
- **Tension développée** : 28 V  $\pm$  0,5 volt .
- **Intensité débitée** : 450 A en Régime permanent .
- 550 A en surcharge limitée .
- **Entraînement** : par arbre de tension .
- **Refroidissement** : par air sous pression .

### II -11 Générateur assuré à partir d'alternateurs :

#### II -11-1 Généralités :

L'électricité prend une grande importance particulièrement sur les gros porteurs commerciaux actuels, où les puissances mises en jeu sont considérables . On peut dire que le nombre de watts disponible par passage croît progressivement au fur et à mesure de l'évolution, ceci est dû principalement à l'augmentation de la sécurité des vols, à l'amélioration du confort de l'équipage et des passagers, et enfin à l'automatisation croissante assurée par de nombreux dispositifs électroniques . Rappelons aussi que les fortes puissances sont au niveau du générateur est plus élevée, ce qui est le cas dans ce type de génération .

#### II -11-2 Etude comparative - courant continu – courant alternatif :

On distingue deux aspects principaux de l'énergie électrique sur avion

##### A) Génération :

C'est la machine électrique transformant l'énergie mécanique en énergie électrique ( alternateur ) . Le but est d'assurer sa connexion sur le réseau de bord, c'est à partir de celui - ci que l'on distribue l'énergie électrique .

##### B) Distribution :

C'est le réseau électrique constituant l'alimentation de l'ensemble des servitudes . C'est en quelque sorte l'utilisation de l'énergie produite par les sources de génération

### II -11-3 Distribution :

Il s'agit de dégager les divers avantages et inconvénients spécifiques à chaque mode de distribution ( alternatif et continu ) : L'importance du besoin en énergie électrique alternative ou continu peut également nous orienter dans le choix du type de génération les servitudes absorbant beaucoup de puissance sont d'une manière générale : \* officines \* Dégivrage électrique du parca – brise \* les chauffe- eau \* certains éclairage cabines \* les moteur électrique ces appareils et circuits absorbent environ 80 % de l'énergie développée sur avion ; ils peuvent être alimentés en continu ou en alternatif .

#### \* Paramètres utilisés :

**Fréquence :** 400 Hz , elle est déterminée par la vitesse de rotation de l'alternateur, c'est- a- dire par l'entraînement a vitesse constante .

#### Tension alternative :

##### Basse tension :

Elle est obtenue à l'aide de transformateurs ( ou d'auto – transformateurs ) abaisseurs de tension . Généralement 26 v et 28 v suivant les types d'avions .

#### Tension continue :

**28 V de bord :** obtenue par des transformateurs – redresseurs ( T . R ) . Il transforment le 115/200 V – 400 Hz du réseau de bord en 28 V continu .  
**28 V batterie :** en cas de perte totale d'alternatif , une batterie de bord ( ou de sécurité ) permet l'alimentation d'un nombre restreint de servitudes nécessaires à la continuité de vol .

**Haute tension :** elle est obtenue directement à la sortie de l'alternateurs c'est généralement une tension triphasée .

- 115 V entre l'une des phases et la masse .
- 200 V entre deux quelconques des phases .

#### exemple :

115/200 V . Boeing 707 – 727 – 737 – 747 – DC 8 .

#### II -11-4 Principe d'une distribution alternative :

La distribution doit s'effectuer sous une tension constante, d'où l'emploi d'un régulateur de tension ( un par alternateur ) permettant de limiter les écarts de tension en fonction des charges :

$$\vec{U} = \vec{E} - \vec{ZI}$$

La fréquence développée doit être constante, quel que soit le régime reacteur, d'où la nécessité d'un régulateur de vitesse ( C S D ) puisque :  $F = Pn$   
L'équipartition des charges doit être assurée lors du couplage en parallèle des alternateurs .

#### II -11-5 Nature des charges :

Deux types de charges sont à considérer en courant alternatif :

a) Les charges résistives ou actives : ( éclairages, chauffages ) .

Elles se traduisent par des effets calorifiques  $R I^2$  ( loi de Joule ) .

Cette puissance dissipée dans ce charge est appelée puissance active ou réelle, elle s'exprime en watts ou kilowatts, sa mesure s'effectue au wattmètre .

b) Les charge réactives du type inductives et capacitives ( transformateurs, Gyros, moteurs )  $L W I^2$ ,  $\frac{I^2}{C W}$  la puissance mise en jeu se nome .

Puissance réactive, ou magnétisante, ou encore électrostatique, elle s'exprime en VAR ou KVAR ; C'est le complément de la puissance active .

#### Exemple :

Un moteur sous tension absorbe des puissances actives et réactives ( effet calorifique et flux - magnétisant ) .

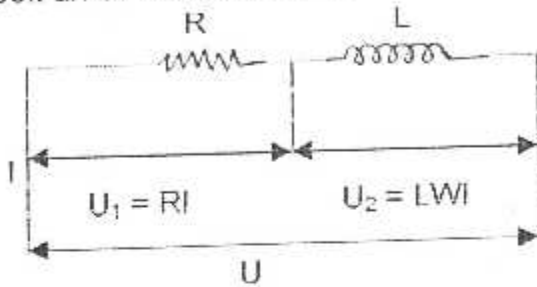
#### II -11-6 équilibre des charges :

L'équilibrage des charges actives est obtenu lors du couplage en parallèle par action d'une boucle d'équilibrage agissant sur le C S D de chaque alternateur dans le but le fournir un couple identique à chaque alternateur ( contrôle aux wattmètres ) .  
L'équilibrage des charge réactives est obtenu par action d'une boucle d'équilibrage agissant sur les alternateurs de tensions de chaque alternateur de façon a faire varier la F E M de chacun d'eux et ainsi de répartir équitablement charges réactives ( contrôle aux varmetres ) .



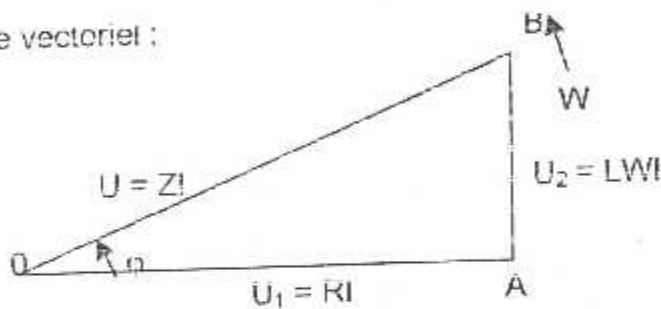
II -11-7 Rappels sur les puissances en courant alternatif :

Soit un circuit série R + L



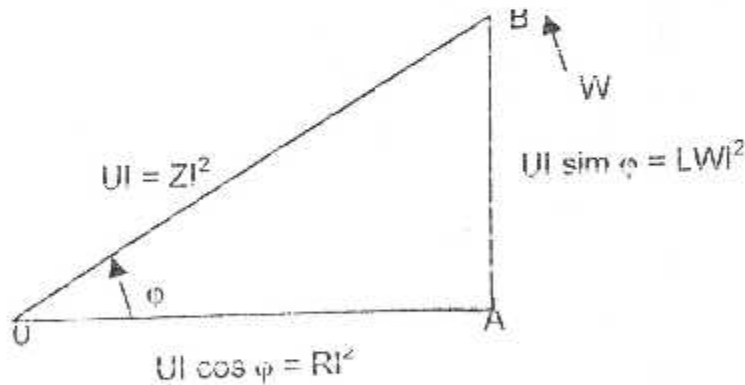
I est l'élément commun du circuit  
 $U_1 = RI$  est phase avec I  
 $U_2 = L\omega I$  est déphasée de  $\frac{\pi}{2}$  en avant sur I.

Diagramme vectoriel :



$U_1 = U \cos \phi$   
 $U_2 = U \sin \phi$   
 $G = U_1 + U_2$

Si dans l'examen du diagramme des tension ou multiplie chaque vecteur par I, cela revient a conserver le meme diagramme mais a en modifier l'échelle, ce qui nous donne :



OA :  $U I \cos \phi$  se nomme puissance active ou réelle exprimée en watts.

AB :  $U I \sin \phi$  se nomme puissance réactive. C'est la puissance magnétisante exprimée en VAR.

OB :  $U I$  se nomme puissance apparente. C'est la somme géométrique des puissances actives et réactives, elle s'exprime en VA.

**Relation de puissances :**

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S}$$

S : puissance apparente

P : Puissance active

Q : puissance réactive

La puissance apparente peut encore se définir comme étant la puissance maximum fournie par l'alternateur lorsque le cas  $\varphi$  de l'installation égale 1 .

**NOTA :** un réseau à courant alternatif peut être considéré comme la superposition d'un réseau à puissance active et un réseau à puissance réactive alimenté par un alternateur développant puissance apparente .

**II -11-8 Tensions utilisées à bord :**

200 V triphasés 400 Hz  
115 V monophasés

} Obtenues par :  
Alternateur de bord, APU, groupe de parc

28 V monophasés  
28 V continus  
28 V continus

} Obtenus par transformateurs  
Obtenus par TR  
Obtenus par batterie de bord

**Utilisations de ces tensions :**

- 200 V  $\sim$  pour les servitudes à forte consommation ( ex pompes carburant ) .
- 115 V  $\sim$  la presque totalité des servitudes
- 28 V  $\sim$  une partie de l'éclairage .
- 28 V C/ C circuits de commande des servitudes à courant alternatif et servitudes essentielles de bord .
- 24 V C/ C servitudes de secours .

# **CAPITRE III**

## **Couplage des alternateurs à bord des avions**

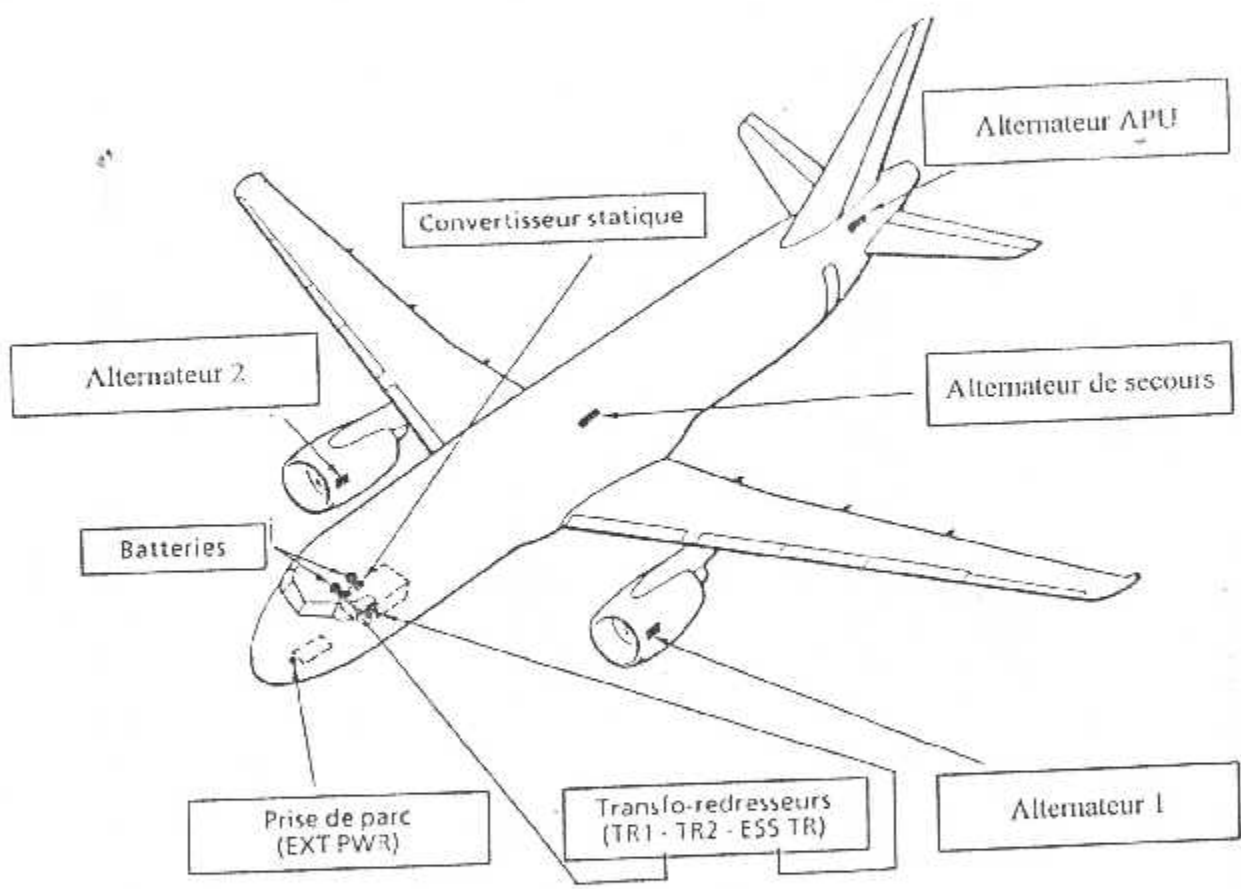
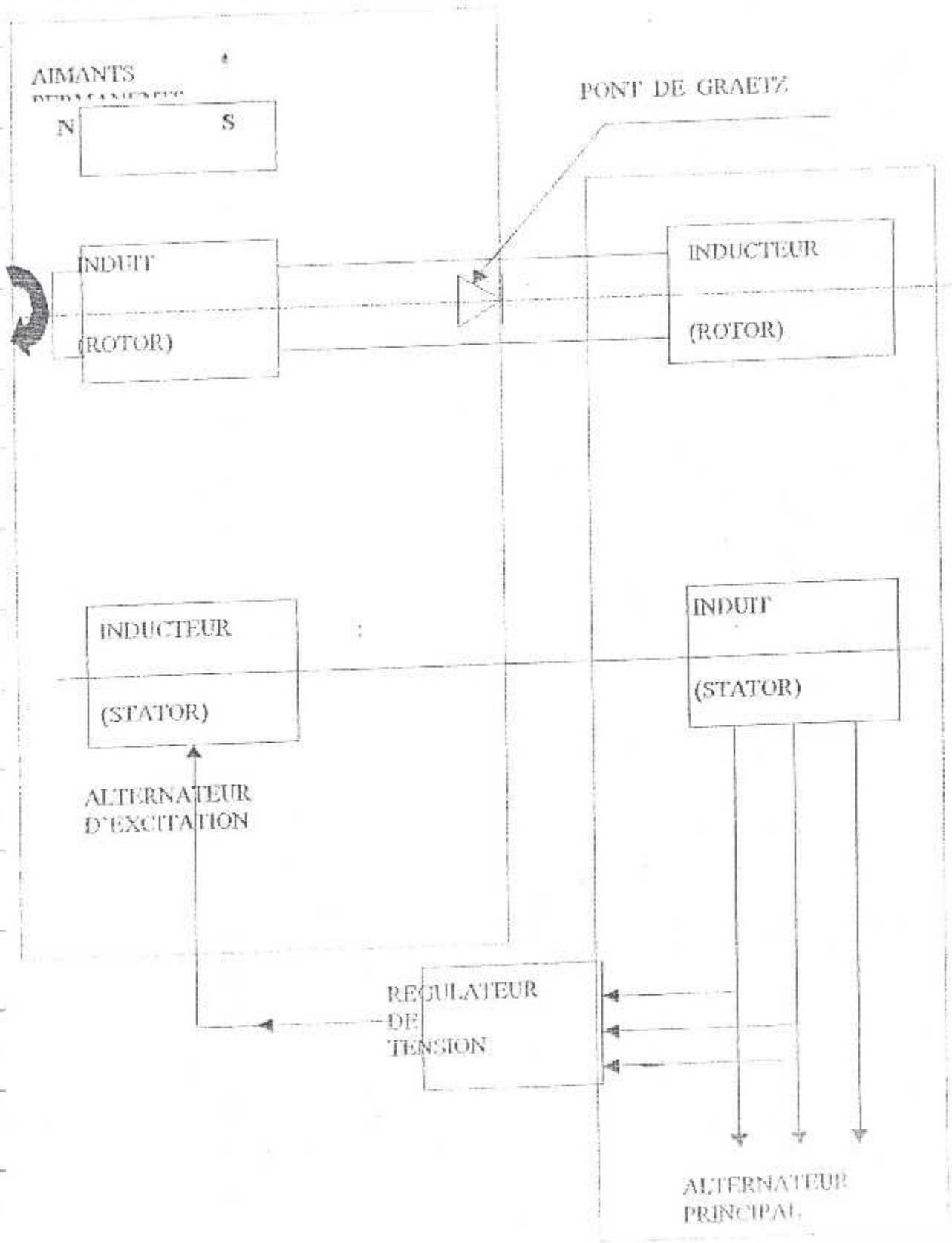


Fig III.

L'emplacement des sources d'énergies  
 A Bord des Avions



SCHEMA SYNOPTIQUE DE L'ALTERNATEUR DE BORD

### III-8 DESCRIPTION DE L'ALTERNATEUR :

L'alternateur est composé d'une excitatrice ( alternateur d'excitation ) à 6 pôles et d'un alternateur principal à 8 pôles .

#### a) EXCITATRICE :

Le stator de l'excitatrice est constitué par ;

- Un enroulement d'excitation comporte une thermistance connectés en série.
- Trois aimants permanents sont montés dans les interpoles du stator de l'excitatrice .

Le rotor de l'excitatrice est constitué par ;

- Trois enroulement montés en étoiles à 120°.
- Un pont de six diodes au silicium placées dans l'arbre et solidaire de celui-ci.
- Un condensateur de filtrage.

#### b) ALTERNATEUR PRINCIPAL :

-Le stator de l'alternateur principal comporte trois enroulements qui sont montés en étoiles.

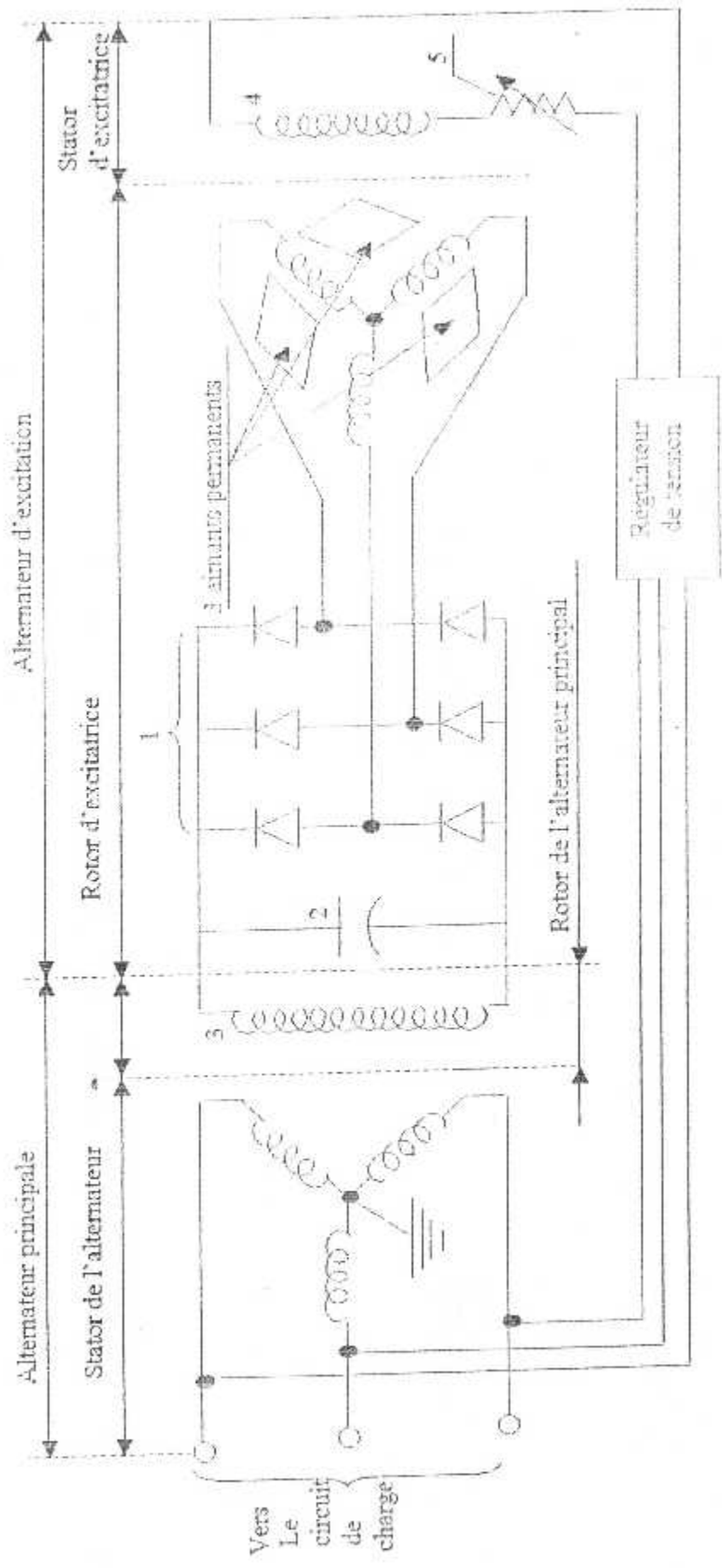
-Le rotor de l'alternateur principal comprend un enroulement d'excitation alimenté en courant continu par le rotor de l'excitatrice.

### III-9 SCHEMA ELECTRIQUE DE L'ALTERNATEUR :

Dans un alternateur conventionnel le courant d'excitation est fourni par une génératrice montée en bout d'arbre et transmis à l'enroulement d'excitation par des balais et des bagues . Pour une utilisation sur les avions modernes , il était nécessaire supprimer l'ensemble collecteur, bagues et balais surtout en raison de la mauvaise commutation à haute altitude, le système adopté est alors le suivant :

*La génératrice est remplacée par*  
un alternateur qui alimente l'excitation de l'alternateur principal à travers un pont de six diodes redresseurs au silicium ( pont de graëtz ), placé dans l'arbre de l'alternateur et tournant avec lui .





- 1- Pont de six diodes redresseurs.
- 2- Condensateur de filtrage.
- 3- Enroulement d'excitation.
- 4- Enroulement d'excitation (excitatrice).
- 5- Thermistance.

Schéma électrique de l'alternateur de bord

Un condensateur de filtrage est connecté à la sortie du bloc redresseur, il permet d'atténuer les ondulations du courant d'excitation, il absorbe les parasites et supporte le choc dans le cas ou une diode claque .

Dans le système du constructeur « Westinghouse » le courant continu d'excitation de l'excitatrice est fourni et contrôlé par un régulateur de tension qui se trouve dans l'unité de contrôle de l'alternateur il est alimenté en courant alternatif prélevé à la sortie de l'alternateur le système fonctionne donc en boucle fermé . Les trois aimants permanents disposés dans les interpoles de l'excitatrice, fournissent un flux suffisant au démarrage ( f.e.m d'amorçage ) du cycle en fonctionnement normal . Le champ magnétique des aimants permanents est annulé par la réaction de l'induit de l'excitatrice (en charge) .

La thermistance disposée en série sur le bobinage d'excitation, maintient constante la valeur de la résistance aux bornes d'enroulements, ainsi que la valeur de la tension en cas de variation de la température .

### **III-10 Schéma Synoptique de fonctionnement électrique De L'alternateur :**

L'alternateur étant en fonctionnement normal, l'enroulement induit [rotor] de l'excitatrice tourne dans le champ crée par les aimants permanents, la f.e.m alternative induite dans cet enroulement est redressée à travers 6 diodes montées en un pont de graetz est appliquée aux bornes de l'enroulement inducteur [rotor] de l'alternateur principal. le champ magnétique qui en résulte induit dans les bobinages statorique (rotor de l'alternateur principal) une f.e.m alternative. par l'intermédiaire du régulateur de tension la f.e.m induite dans les enroulements statorique va permettre de fournir à l'enroulement inducteur (stator) de l'excitatrice un courant redressé de plus en plus important. Ce courant va croître jusqu'à obtenir une tension de sortie triphasée alternative De 115/200v-400Hz.

En fonctionnement normal, le champ magnétique fourni par les aimants permanents devient négligeable par rapport au champ magnétique fourni par l'enroulement inducteur (stator de l'excitatrice). Le sens de rotation de l'alternateur est anti-horaire vue du côté entrée d'air. Le refroidissement de l'alternateur est assuré par le ventilateur de l'A.P.U.

**III-1 INTRODUCTION :**

Quand, disposant d'une certaine énergie mécanique, on se propose de la transformer en énergie électrique à courants alternatifs, on a généralement le choix entre l'emploi d'un seul alternateur puissant ou la répartition de la puissance électrique entre plusieurs unités.

C'est, le plus souvent, la deuxième solution qui est préférable ; non seulement par ce qu'en prévision d'un accident à l'unique alternateur ; mais encore par ce que la puissance demandée par un réseau est très variable ; un seul générateur prévu pour la charge maximale fonctionnerait souvent à fraction de charge et son rendement moyen ou pratique serait médiocre .

**III-2 BUT :**

- a) accroître la puissance disponible sans modifier la tension développée ni la fréquence .
- b) diviser les charges du réseau ( *actives et réactives* ) .
- c) maintenir l'alimentation du réseau de bord en cas de panne d'un, voir, de deux alternateurs de bord ( *raison de sécurité* ) .

**conditions de couplage d'alternateurs monophasés :**

- 1) égalité de tension .
- 2) égalité de fréquence .
- 3) concordance de phase des tensions ( *identité des polarités du réseau et de l'alternateur* ) .

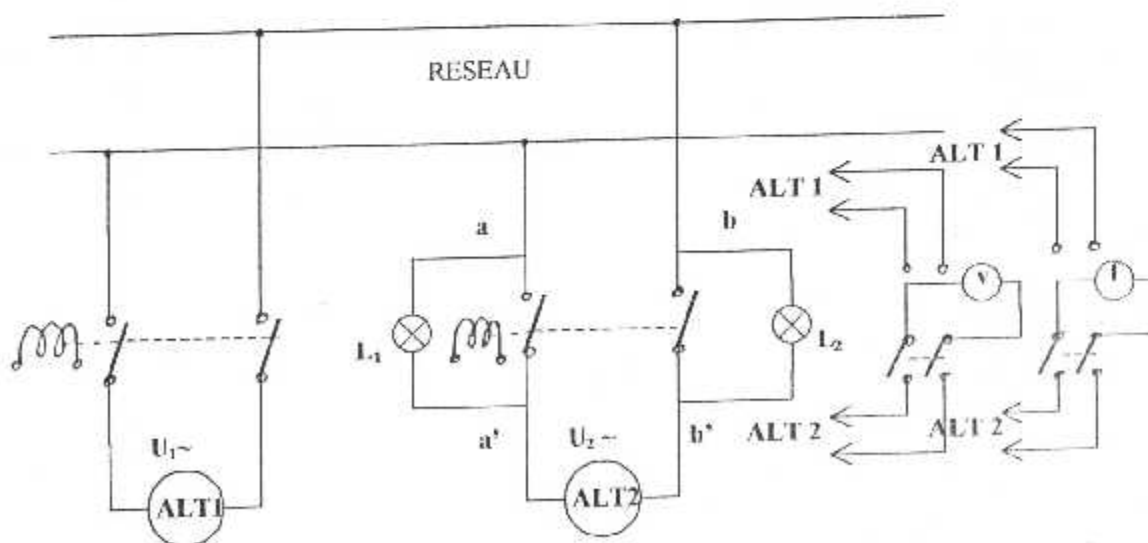
**SCHEMA DE PRINCIPE :**

Fig III - 1

**III-3 FONCTIONNEMENT :****L'alternateur 1 est connecté sur le réseau :**

Il développe une tension  $\sim U_1$  sous une fréquence  $f_1$ .  
 $U_1$  et  $f_1$  ont été vérifiés (voltmètre, fréquencemètre)  
 L'alternateur 1 constitue la référence .

**Couplage de l'alternateur 2 :**

1) On règle sa tension à vide  $U_2$  à une valeur voisine de  $U_1$  par réglage de (i) excitation, d'où action sur le flux rotorique donc sur sa FEM, On sait que :

$$E = k p n N \Phi$$

K : coefficient de KAPP.

N : nombre de conducteur de l'induit.

P : nombre de paires de Pôles.

n : la vitesse de rotation du rotor.

$\phi$  : le flux sortant d'un Pôle.

D'où

$$U_2 = U_1 \text{ (contrôle au voltmètre) .}$$

2) On règle sa vitesse par action sur son CSD de façon que  $f_2$  soit sensiblement égale à  $f_1$ , d'où :

$$f_2 \# f_1 \text{ (contrôle au fréquencemètre) }$$

**3) concordance de phases des tensions :**

2 lampes de synchronisation  $L_1$ ,  $L_2$  sont branchées aux bornes correspondantes du réseau et de l'alternateur 2 a à  $bb'$ .  
 les lampes doivent être soumises à des tensions égales et opposées dans le circuit commun afin que le courant de circulation soit nul .  
 la lampe branchée entre a et à est soumise à tout instant à une tension résultante

$$u = U_2 - U_1 \text{ (raisonnement sur une seule lampe) .}$$

Si par le réglage du courant d'excitation ces 2 tensions  $U_2$  et  $U_1$  sont égales, (u) n'est pas nulle si les vitesses donc les fréquences, ou si les phase ne sont pas conformes.

La lampe est soumise à une différence de tension variable dans le temps, qui provoque des périodes d'allumage et d'extinction ; en effet, l'amplitude de (u) est tour à tour croissante et décroissante .

La fréquence de (**u**) est égale à la différence des fréquences de  $U_1$  et de  $U_2$ .  
 On a éclaircissement aux ventres (*maximum*), extinction aux nœuds, d'où battements d'autant plus rapides que les fréquences sont différentes.

**REMARQUE :**

Les lampes de synchronisation doivent pouvoir supporter une tension **maximum = 2U** (*U tension développée par chaque alternateur*).

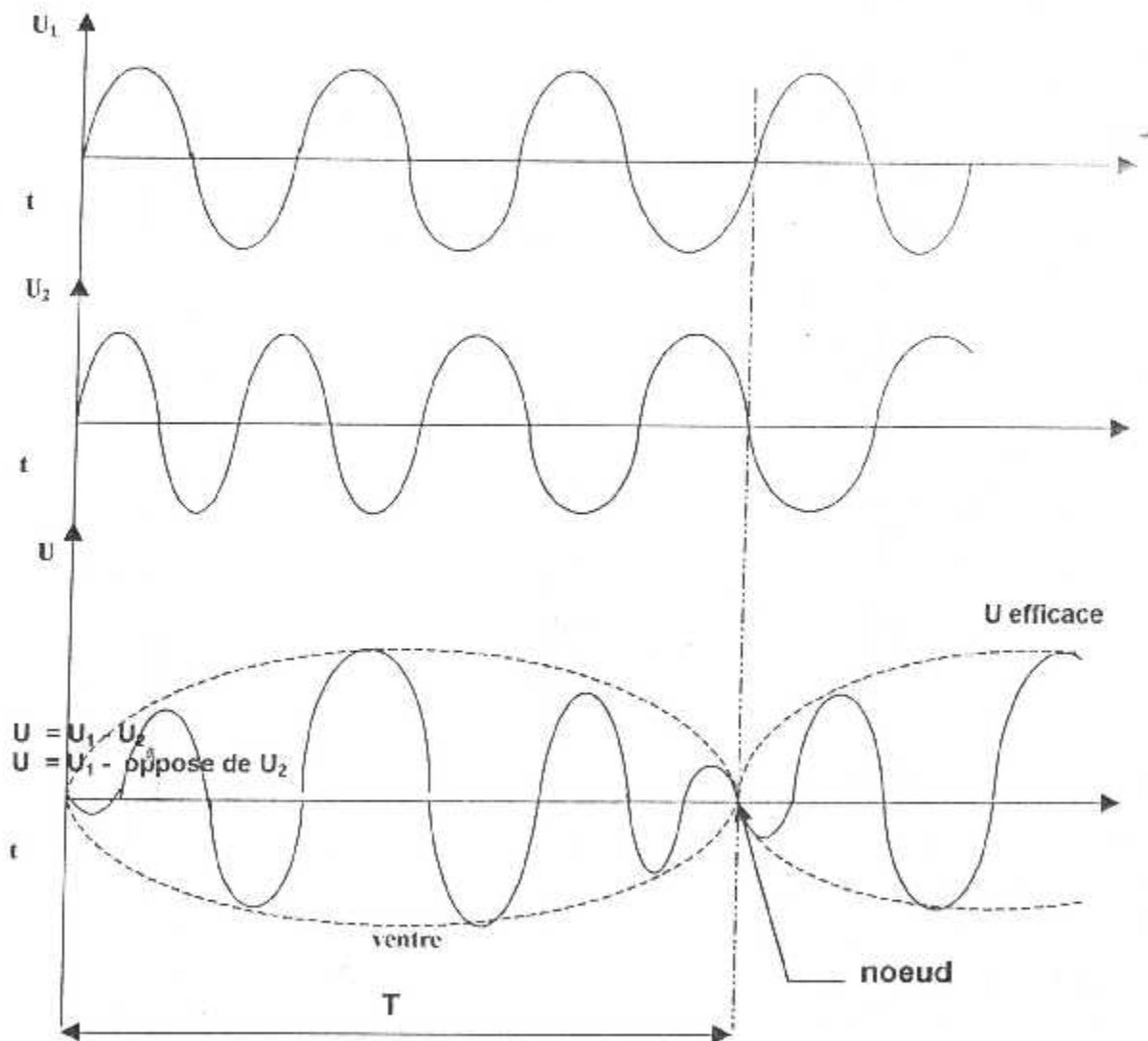
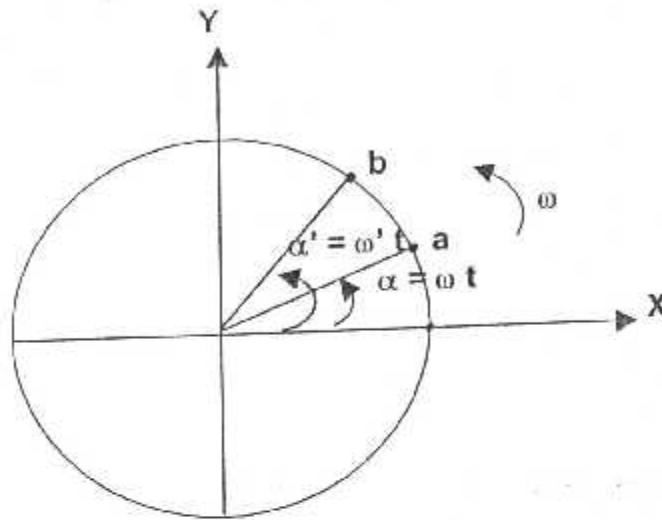


Fig III-2

Demonstration que  $U$  resultant se caractérise par une fréquence  $f = f_2 - f_1$



2 mobiles **a** et **b** partent au même instant du même point **0** et sont animés de vitesses différentes.  
 soit  $\omega$  la vitesse angulaire de (**a**).  
 et  $\omega'$  la vitesse angulaire de (**b**).

$$\omega' > \omega$$

(**a**) décrit au bout d'un certain temps  $\omega$  angle  $\alpha = \omega t$ .  
 (**b**) ———  $\alpha' = \omega' t$

lors du rattrapage on peut écrire  $\omega' t - \omega t = 2\pi$

$$\text{d'où } 2\pi f'_b t - 2\pi f_a t = 2\pi$$

$$f' t - f t = 1$$

$$t (f'_b - f_a) = 1$$

$$t = 1 / (f'_b - f_a) \quad \text{avec } t = 1/f \Rightarrow f = 1/t.$$

donc  $f = f'_b - f_a$  c'est la fréquence de la résultante.

EX: Si  $f' = 5 \text{ Hz}$ ,  $f = 3 \text{ Hz}$ .  
 $f'' = 5 - 3 = 2$  période par seconde.



**III-4 OPERATION :**

On règle la vitesse de l'alternateur 2 soit  $f_2$  (fréquence) Pour allonger ou réduire la période de ses oscillations jusqu'au moment où la tension  $U$  aux bornes homologues est nulle ( lampes éteintes ).

On couple a ce moment l'alternateur 2 sur le réseau .

Il y a ensuite stabilité de fonctionnement par échange de courants synchronisants, en effet :

Si l'un des alternateurs se caractérise par un vitesse plus faible due à son dispositif d'entraînement, sa tension alternative décroît, le second alternateur débite sur lui ; l'alternateur récepteur devient moteur synchrone, le dispositif d'entraînement de cet alternateur voit sa charge décroître et peut reprendre sa vitesse normale .

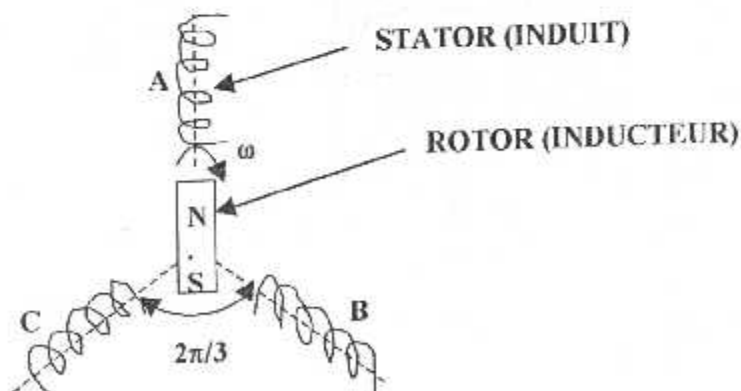
Ce type de couplage est dit a l'extinction .

**Nota :**

Rappelons que les lampes doivent pouvoir supporter une tension =  $2U$  ; en effet, lorsque la concordance de phase n'est pas réalisée au niveau du circuit extérieur ou que l'opposition de phase n'est pas obtenue au niveau du circuit commun ( lampes ) la tension entre phases et réseau peut atteindre la valeur de  $2U$  maximum .

**II-5 COUPLAGE EN PARALLELE D'ALTERNATEURS TRIPHASES :****III-5-1 DEFINITION :**

On appelle réseau triphasé, un ensemble de trois circuits, siège de FEM de même période, de même amplitude, mais déphasés angulairement de  $2\pi/3$  ( $120^\circ$ ) l'un par rapport à l'autre .

**III-5-2 PRINCIPE DE PRODUCTION DE FEM TRIPHASES :**

Soit trois bobines **A,B,C** disposées symétriquement de façon que leurs axes fassent entre eux un angle égale à  $2\pi/3$ , plaçons au centre un aimant ou un électro-aimant entraîné mécaniquement à le vitesse angulaire  $\omega$ .

La rotation de l'aimant (*inducteur*) engendre des variations périodiques de flux à travers les bobines **A,B,C** une fem induite apparaît dans chacune d'elles à des instants différents, la période du flux et de la fem est égale à la période de rotation de l'inducteur.

Chaque bobine développe une fem de phase distincte, le système triphasé comporte donc trois phases.

**III-5-3 DIFFERENTES REPRESENTATION DE GRANDEURS TRIPHASEES :**

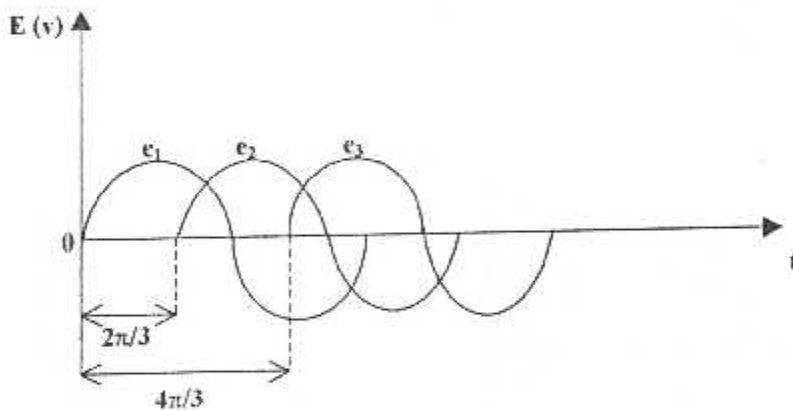
**1) Représentation mathématiques :**

$$e_1 = E_1 m \times \sin \omega t .$$

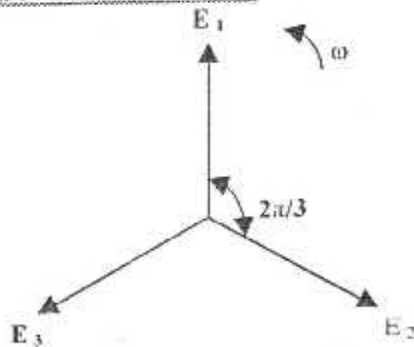
$$e_2 = E_2 m \times \sin (\omega t - 2\pi/3) .$$

$$e_3 = E_3 m \times \sin (\omega t - 4\pi/3) .$$

**2) Représentation graphiques :**



**3) Représentation vectorielles :**



On peut assimiler les grandeurs périodique sinusoidales à 3 vecteurs d'amplitudes égales, mais déphasées angulairement de  $2\pi/3$ .

Ces représentation sont valables pour :

E : fem .

U : tention .

I : courant .

III-5-4 Coplage en parallèle d'alternateur triphasés :

Schéma de principe :

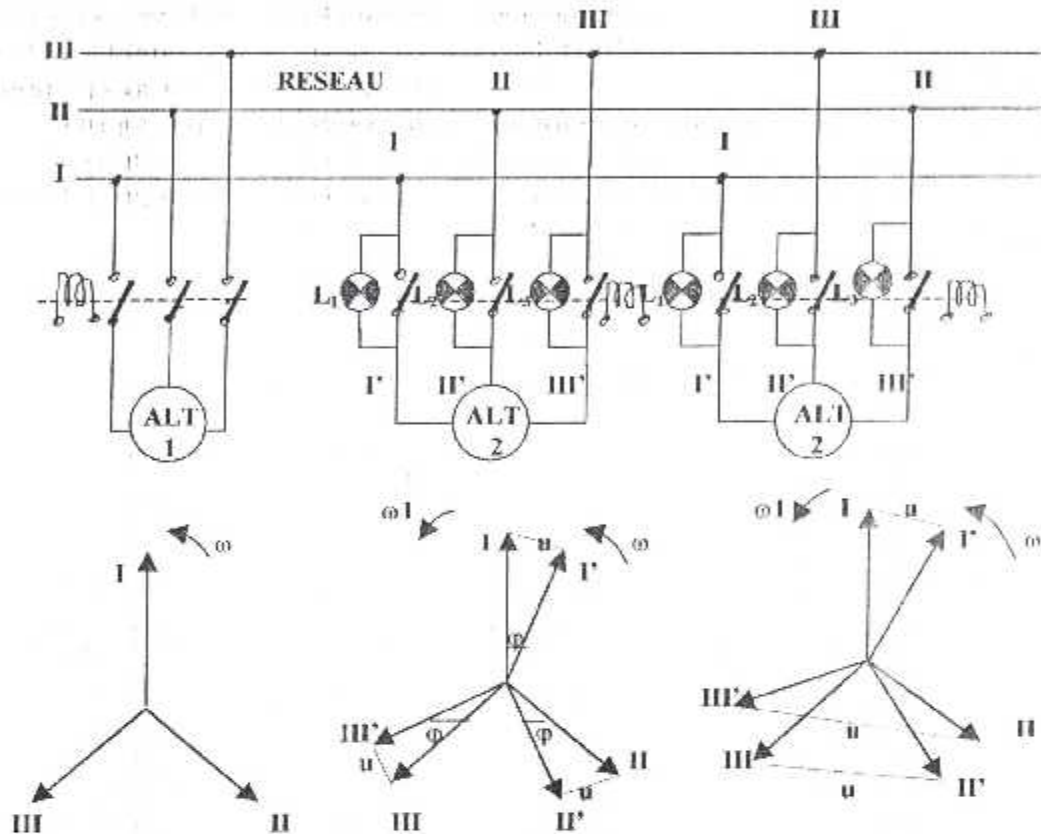


Fig. III - 3

Condition de couplage :

1. égalité de tension  $U_2 = U_1$  ( lecture au voltmètre ) .
2. égalité de fréquence  $f_2 \# f_1$  ( lecture au fréquencemètre ) .
3. ordre des phases entre l'alternateur de référence et celui à coupler et concordance de celles-ci .

dans le cas où le repérage des bornes correspondantes a été effectué, les 3 lampes de synchronisation sont branchées ;

- entre I du réseau et I' de l'alternateur 2 .
- entre II du réseau et II' de l'alternateur 2 .
- entre III du réseau et III' de l'alternateur 2 .

1er cas : les battements lampes sont simultanés .

le branchement des phases est correct, l'ordre de succession des phases est le même pour les deux alternateurs .

Quant aux battements ils résultent de la différence de fréquence entre les 2 alternateur ( rappelons que celle-ci ne sont pas rigoureusement identiques ) ; en effet, on entraîne l'alternateur 2 à une vitesse voisine du

synchronisme, mais de fait de ces écarts de vitesse, les tensions ne sont pas rigoureusement en opposition dans le circuit intérieur.  
 Il apparaît donc une DDP ( $u$ ) aux bornes des lampes, variable dans le temps, ce qui se traduit par une variation de luminosité des lampes, mais simultanée.  
 Les tensions du réseau et de alternateur à coupler seront :  
 tantôt en phases .  
 tantôt déphasées .  
 tantôt en opposition .

**Opération :**

On agit sur la vitesse, soit sur la fréquence de alternateur 2 de manière à obtenir une cadence d'allumage et d'extinction des lampes la plus faible possible à l'extinction. On enclenche l'alternateur 2 sur le réseau .

**Remarque :**

Les lampes de synchronisation sont doublées par une système de protection automatique, on en peut enclencher le relais de ligne ( connexion de l'alternateur sur le réseau que si les paramètres fréquence, tension, phase sont compris dans une certaine fourchette de tolérance .

**Sur certaine avions :**

DC 8 – B747, il n'existe pas de lampes de synchronisation car le couplage est automatique

**III-5-5 LAMPES DE SYNCHRONISATION – SYNTHÈSE DU 1er CAS :**

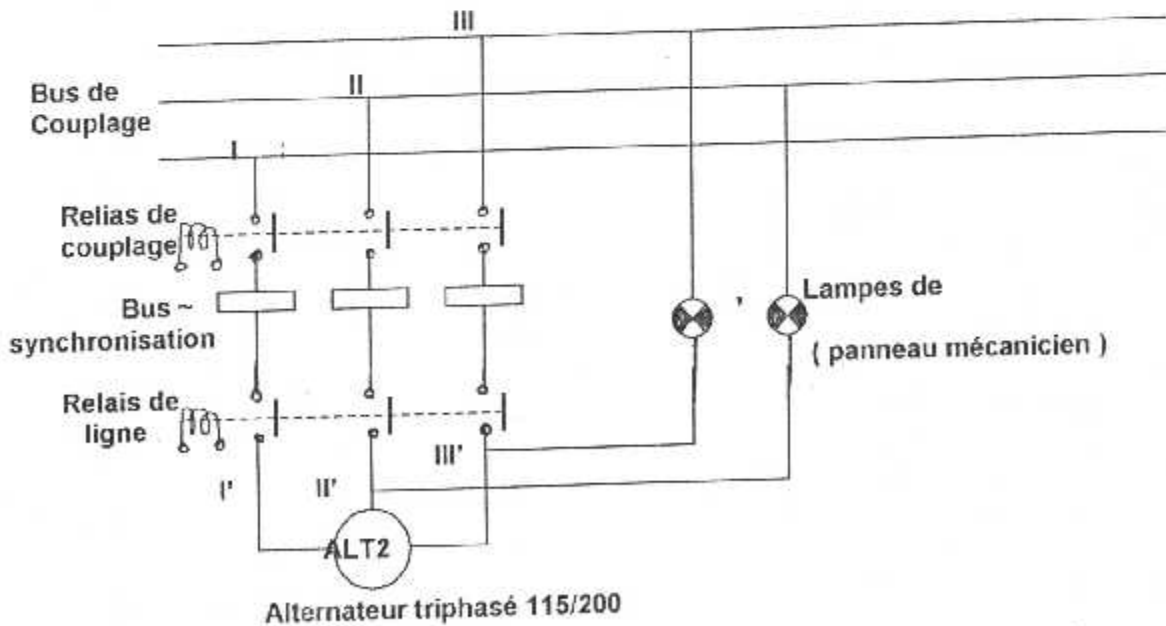
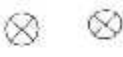
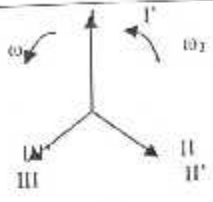
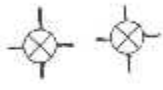
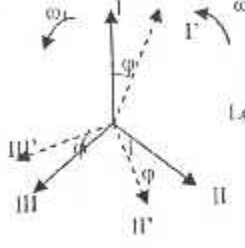
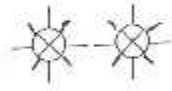
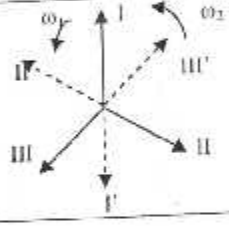


Fig. III - 4

Fonctionnement	NB: $\omega_1$ et $\omega_2$ sont peu différent
Etat des lampes	Diagrammes vectoriels
 Lampes éteintes	 <p>au temps <math>t</math> <math>\omega_2 = \omega_1</math></p> <p>Les vecteur sont superposés. la tension aux bornes des lampes est <math>U = 0</math>.</p>
 Faible Brillance	 <p>au temps <math>t_1</math> <math>\omega_2 &gt; \omega_1</math></p> <p>Les vecteur sont déphasés de <math>\phi</math> La tension aux bornes des lampes <math>U</math>.</p>
 Brillance maximum	 <p>au temps <math>t_2</math> <math>\omega_2 &gt; \omega_1</math></p> <p>Les vecteur sont en opposition. <math>\phi = 180^\circ</math>. La tension aux bornes des <math>U_m = 2U</math>.</p>

2ème cas :

les battements des lampes ne sont pas simultanés mais se présentent sous la forme de feux tournants (*feux successifs*) .

Ce phénomène indique une mauvaise connexion des fils de phase comme l'indique le schéma se traduisant pas des tensions ( $u$ ) de valeurs différentes aux bornes des lampes de synchronisation .

III-5-6 OPÉRATIONS :

Il suffit d'invertir deux fils de connexion entre le réseau et l'alternateur 2, quelconque. On rétablit ainsi l'ordre des phases. l'on cherche ensuite la concordance de phase comme dans le cas précédent.



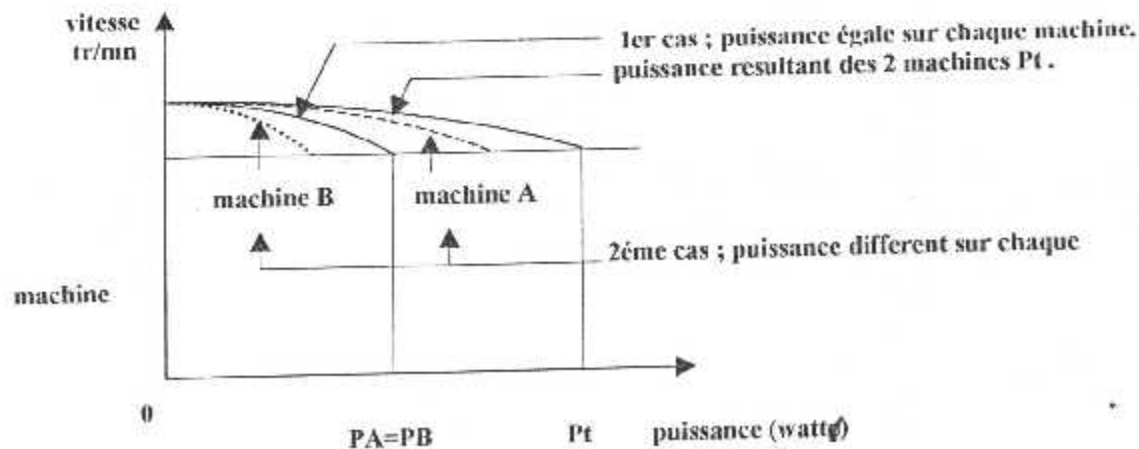
COMMANDES ET CONTROLES ALTERNATEUR.

FONCTION	ELEMENT
<u>Régulation :</u> - puissance active ... - puissance réactive ...	Contrôleur de charge Régulateur de tension
<u>Commande .....</u>	Relais d'excitation ← Relais de ligne ← Relais de couplage ←
<u>Protection .....</u> - des alternateurs ...  -de la bus de couplage... et de l'alimentation à partir du groupe de parc  <u>signalisation ....</u>	<div style="text-align: right;">                         Déclenche                     </div> Panneau de contrôle Permet l'enclenchement des relais assure la surveillance en cas de défaut →
	Panneau de protection bus →
	Tableau d'affichage des défauts
	<div style="text-align: right;">                         Affiche le défaut ou élément en panne                     </div>

III-5-7 DIAGRAMME DE FONCTIONNEMENT EN PARALLELE :

Dans ce qui suit, on considère que la puissance du réseau est constante.

CARACTERISTIQUE DE REGLAGE :





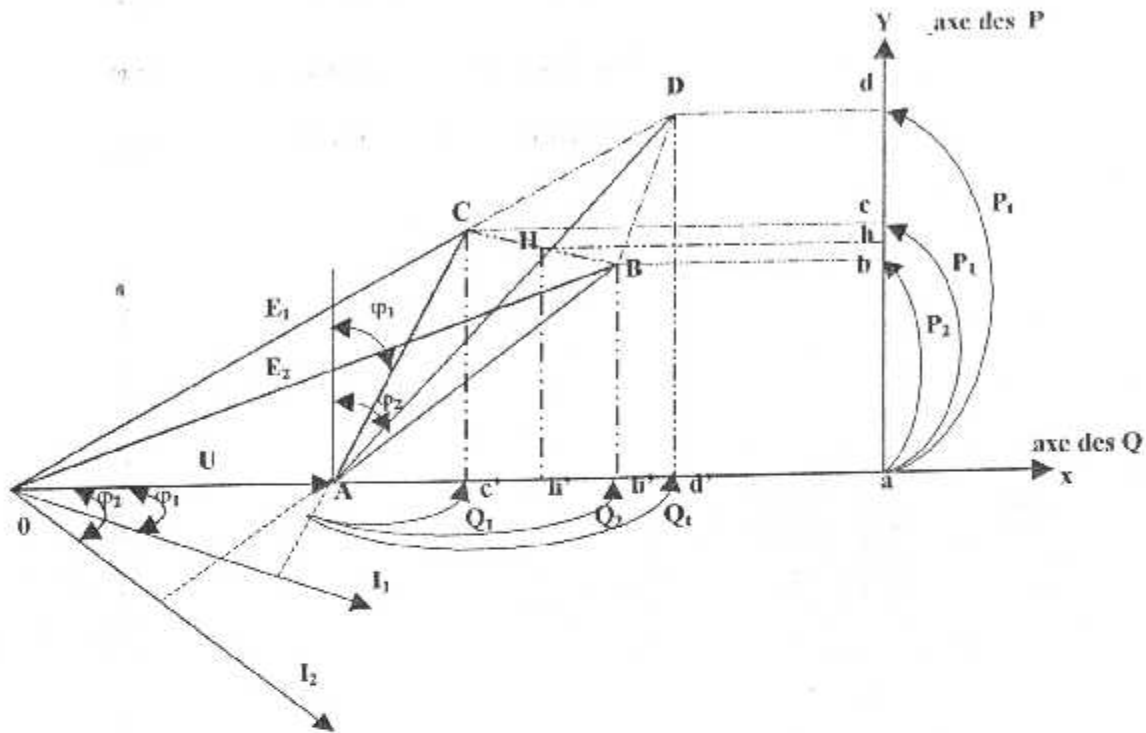


Fig III - 5

Alternateur 1 :  $\vec{E}_1 = \vec{U} + L\omega \vec{I}_1$ .

Alternateur 1 :  $\vec{E}_2 = \vec{U} + L\omega \vec{I}_2$ .

$L\omega$  : réactance induit .

$ab = P_2$  puissance fournie par alternateur 2 .

$ac = P_1$  puissance fournie par alternateur 1 .

$ad = P_1$  puissance fournie par les alternateur 1 et 2 .

$Ac' = Q_1$  puissance fournie par alternateur 1 .

$Ab' = Q_2$  puissance fournie par alternateur 2 .

$Ad' = Q_1$  puissance fournie par les alternateur 1 et 2 .

Le couplage étant réalisé, il faut considérer non plus les alternateurs pris séparément, mais les **CSD**, et savoir qu'au rendement près un alternateur fournit électriquement la puissance mécanique qui lui vient du **CSD**.

Les vitesses de rotation des alternateurs sont toujours égales comme s'ils étaient accouplés arbre à arbre. ainsi, un observateur placé sur le rotor d'un alternateur (**A**) verrait le rotor de l'alternateur (**B**) immobile. On trace ainsi la caractéristique de réglage vitesse =  $f$  (puissance). Cette figure montre que la loi de répartition d'une puissance  $P_1$  est parfaitement définie par la condition d'égalité de vitesses.

On peut cependant modifier cette répartition, il suffit de déplacer l'une des caractéristiques par rapport à l'autre. Tel sera le mode de répartition des charges entre le **CSD** (voir 2ème cas de la caractéristique de réglage).

### III-5-7 DIAGRAMME :

Considérons le diagramme de fonctionnement en charge des deux alternateurs.

#### Représentation des puissance actives :

Sur un axe  $Y'Y$  perpendiculaire à  $OA$ , projetons les points **A.B.C.D.** nous avons pour alternateur A :

$$ac = AC \cos \varphi_1 = L\omega I_1 \cos \varphi_1 = \frac{L\omega U I_1 \cos \varphi_1}{U}$$

pour alternateur B :

$$ab = AB \cos \varphi_2 = L\omega I_2 \cos \varphi_2 = \frac{L\omega U I_2 \cos \varphi_2}{U}$$

ainsi :

$$ad = ac + ab = \frac{L\omega}{U} ( U I_1 \cos \varphi_1 + U I_2 \cos \varphi_2 )$$

$P_1 \qquad P_2$

Donc, à tension constante  $U$  les vecteurs **ac, ab, ad** Représentent les puissance actives  $Q_1, Q_2, Q$  de chacun des alternateurs et de leur ensemble.

representation des puissance reactives :

On démontre de la même façon :

$$ac' = AC \sin \varphi_1 = L\omega I_1 \sin \varphi_1 = \frac{L\omega}{U} U I_1 \sin \varphi_1$$

$$ab' = AB \sin \varphi_2 = L\omega I_2 \sin \varphi_2 = \frac{L\omega}{U} U I_2 \sin \varphi_2$$

donc, à tension constante, les vecteurs  $Ac'$ .  $Ab'$ .  $Ad'$  représentent à la même échelle que celle des puissance actives, les puissances réactives  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q$  de chacun des alternateurs et ensemble .

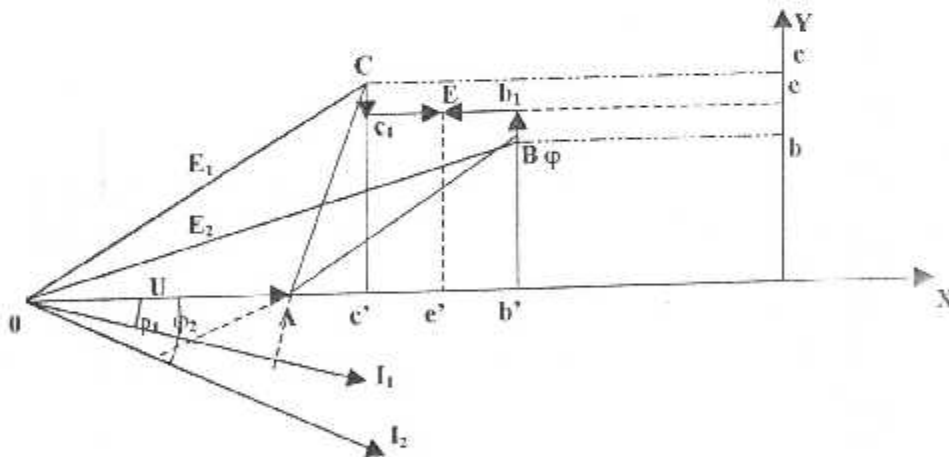


Fig III - 6

**III-6 STABILITE DE LA MACHINE EN PARALLELE :**

Soient deux alternateur **A** et **B** d'un même nombre de pôles tournant côte à côte en parallèle. Imaginons un observateur lié au rotor de **A**. le rotor de **B** lui parait immobile. Supposons à ce moment une perturbations dans la machine de **B**. l'observateur voit alors le rotor de **B** se déplaces par rapport à lui ; après quoi :

A°) ou bien l'observateur voit le rotor de **B** reprendre, après quelques oscillation, sa position initiale :

B°) ou bien il voit le rotor de **B** poursuivre son déplacement relatif .  
Il y a alors décrochage de **B**.

De petites perturbation dans la machine d'un groupe électrogène étant inévitables, la marche en parallèle des alternateurs ne peut se concevoir que s'il existe un couple qui tend à ramener ou synchronisme tout alternateur qui s'en écarte. Sous cette condition la marches en parallèle sur stable.

**III-7 COUPLAGE DES ALTERNATEURS AVEC LE RESEAU :**

L'énergie électrique produite par l'alternateur triphasé est transportée et distribuée par le réseau électrique .  
Le couplage est une action qui permet de rassembler l'alternateur avec le réseau parallèlement .

On effectue le couplage lorsque les bobines de l'alternateur et le réseau sont aux même potentiels, pour cela il faut s'assurer que les deux systèmes de tensions étoilées triphasées  $V_1, V_2, V_3$  ( aux bornes du réseau ) et  $E_1, E_2, E_3$  ( aux bornes de la machine ) satisfont aux conditions suivantes :

- **Egalité des tensions** ( même valeur efficace ) .
- **Egalité des fréquences** ( fréquence  $f = 50\text{Hz}$  ) .
- **Concordance des phases** ( décalage entre **E** et **V** nul ) .

## Conclusion générale

Le présent travail nous a permis de compléter notre formation et approfondir nos connaissances théorique acquise durant notre formation. Ce travail nous a permis de détailler le principe de fonctionnement des machines et appareillages électriques a bord des avions, et connaître leurs éléments constitutants.

Vu l'importance de l'électricité à bord des avions, nous avons crû utile de basé notre travail sur le couplage des alternateurs pour la simple raison qui est de maintenir l'alimentation du réseau si une panne d'un alternateur de bord arrive d'où raison de sécurité.

## INDEX DES FIGURES

- Fig-I-1 : Machine à pôle lisse (Vue de face)
- Fig-I-2 : Machine à pôle saillant (Vue de face)
- Fig-I-3 : La caractéristique à vide
- Fig-I-4 : La caractéristique à court circuit
- Fig-I-5 : La caractéristique en charge
- Fig-I-6 : Caractéristique de réglage
- Fig-I-7 : Diagramme de détermination de réactance synchrone
- Fig-I-8: Diagramme de potier
- Fig-I-9: Diagramme de Behn-Echenburg
- Fig-I-10: Schéma équivalent de la machine synchrone - fonctionnement en moteur
- Fig-I-11: Schéma équivalent de la machine synchrone - Fonctionnement en alternateur
- 
- Fig-II-1: Schéma synoptique de CDS
- FigII-2 : Disjoncteur Magnétothermique (Schéma de principe)
- Fig-II-3 : Circuit de batteries de bord et groupe de parc
- Fig-II-4 : Circuit de batteries de bord et groupe de parc avec dispositif de protection
- Fig-II-5 : Convertisseur 1518 (Schéma de principe)
- Fig-II-6 : Pont de graetz monophasée
- 
- Fig-III-1 : Couplage des alternateurs monophasés (Schéma de principe)
- Fig-III-2 : Diagramme des tension de couplage
- Fig-III-3 : Couplage des alternateurs triphasés (Schéma de principe)
- Fig-III-4 : Couplage de l'alternateur avec lampes de synchronisation
- Fig-III-5 : Diagramme de fonctionnement en parallèle
- Fig-III-6 : Diagramme de puissances réactives



# Sommaire

## CHAPITRE I : ETUDE GENERALE DE LA MACHINE SYNCHRONE.

	Historique.....	1
I-1	Introduction.....	1
I-2	Description De La Machine Synchrone.....	2
I-3	Vitesse De Synchronisme De La Machine Synchrone .....	4
I-4	principe de l'alternateur ( f.e.m ) théorique .....	4
I-5	Principe du moteur synchrone, création du champ tournant .....	5
I-6	Caractéristique d'un alternateur.....	6
I-7	Mise en charge d'un alternateur .....	12
I-7-4	Bilan de puissance.....	12
I-7-5	Diagramme des puissance.....	14
I-8	Réaction d'induit en charge.....	15
I-9	Principe de fonctionnement d'une machine synchrone triphasé.....	15
I-10	Le fonctionnement d'un alternateur.....	17
I-11	L'excitation.....	17
I-12	Chute de tension .....	17
I-13	Rendement.....	19
I-14	Schéma équivalent de la machine synchrone.....	21

## CHAPITRE II : Machine et appareillage électrique à bord des avions

	Entraînement a vitesse constante .....	13
II-1	Généralités.....	23
II-1-1	Définitions.....	24
II-1-2	Fonctionnement .....	24
II-2	Le choix de la fréquence.....	25
II-3	Bilan électrique .....	26
II-4	Réseaux normalisés.....	26
II-4-1	Courant continu.....	27
II-4-2	Courant alternatif.....	27
II-5	Energies utilisées a bord des avions.....	27
II-5-1	Généralités.....	28
II-5-2	Différentes formes d'énergie utilisées.....	28
II-5-3	avantages et inconvénients du courant continu-alternatif.....	28
II-6	Les appareillages.....	29
II-6-1	Appareillage de connexion.....	29
II-6-2	Appareillage de commande.....	30
II-7	Appareillage de protection.....	30
II-7-1	Généralités.....	31
II-7-2	Causes des défauts.....	31
II-7-3	Protection.....	35
II-8	Sources d'énergie auxiliaires(APU).....	35
II-8-1	Batteries d'accumulateurs de bord.....	38
II-8-4	Groupes auxiliaires.....	38
II-8-5	Redresseurs.....	38

II-8-6	Circuits Batteries de bord et groupe de parc.....	49
II-8-7	Circuits Batteries de bord et groupe de parc avec dispositif de protection.....	41
II-9	Généralités de courant alternatif.....	43
II-9-1	Généralités.....	43
II-9-2	Groupe convertisseurs.....	43
II-9-3	Convertisseur de courant alternatif type 1518.....	41
II-10	Génération de courant continu et sources d'énergie principales.....	51
II-10-1	Machines génératrices- Dynamos.....	51
II-10-2	Particularités des génératrices d'avions.....	51
II-10-3	Exemple de génératrice de bord d'avion Se 210 (caravelle).....	54
II-11	Génératrice assurée a partir d'un alternateur.....	55
II-11-1	Généralités.....	55
II-11-2	Etude comparative-courant alternatif-continu.....	55
II-11-3	Distribution.....	56
II-11-4	Principe d'une distribution alternative.....	57
II-11-5	Nature des charges.....	57
II-11-6	Equilibre des charges.....	57
II-11-7	Rappel sur les puissances en courant alternatif.....	58
II-11-8	Tensions utilisées a bord.....	59

### CHAPITRE III : COUPLAGE DES ALTERNATEURS A BORD D'AVIONS

III-1	Introduction.....	60
III-2	But.....	60
III-3	Fonctionnement.....	61
III-4	Opération.....	64
III-5	Couplage en parallèle d'alternateurs triphasés.....	64
III-5-1	Définition.....	64
III-5-2	Principe de production de f.e.m triphasés.....	64
III-5-3	Différentes représentation de grandeurs triphasées.....	65
III-5-4	Couplage en parallèle d'alternateurs triphasés.....	66
III-5-5	Lampes de synchronisation - Synthèse du 1 <sup>er</sup> cas.....	67
III-5-6	Opérations.....	68
III-5-7	Diagramme de fonctionnement en parallèle.....	69
III-5-8	Diagramme.....	71
III-6	Stabilité de la machine en parallèle.....	73
III-7	Couplage des alternateurs avec le réseau.....	73

Conclusion.