

- coefficient d'émission dans l'air.
- arc polaire.
- » idéal.
- angle de raccourcissement.
- glissement.
- rapport $\frac{\text{partie concentrique}}{\text{arc polaire}}$
- densité en a/mm^2 .
- entrefer simple.
- » corrigé.
- coefficient pour pertes supplémentaires.
- co-stante diélectrique.
- flux de fuites.
- angle de déphasage.
- flux.
- perméance par cm.
- conductance thermique.
- rapport des tensions à l'arrêt.
- résistivité à 0° .
- coefficient d'aplatissement.
- pas polaire.
- réactance d'une barre.
- réactance d'un segment.
- pulsation.
- vitesse en rad/sec.
- température.

CHAPITRE PREMIER

ENROULEMENTS D'INDUIT DES ALTERNATEURS

§ 1. — NOTATIONS

- $2p$ nombre de pôles.
- q » de phases.
- g » d'encoches par pôle et par phase.
- Z » total d'encoches.
- K_d coefficient de distribution.
- K_r » de raccourcissement.
- K_b » total de bobinage.

§ 2. — PRINCIPES DE BOBINAGE

- 1°) En général, il y a autant de bobinages identiques qu'il y a de phases.
- 2°) Le décalage entre les entrées des différentes phases est égal à $\frac{2\pi}{q}$ radians électriques.
- 3°) En triphasé il est égal à $\frac{2\pi}{3} = 120^\circ$ électriques (fig. I.1).
- 4°) En diphasé il est égal à $\frac{2\pi}{4} = 90^\circ$ électriques (fig. I.2).

(Chaque phase d'un système diphasé est constituée par deux phases mises en série d'un système-tétraphasé).

3°) Les conducteurs se trouvant sous des pôles de signes contraires (tels que les conducteurs *a, b, c*, et *a', b', c'*) doivent être réunis convenablement de façon que leurs forces électromotrices s'ajoutent. Cette réunion des conducteurs peut se faire des deux manières suivantes:

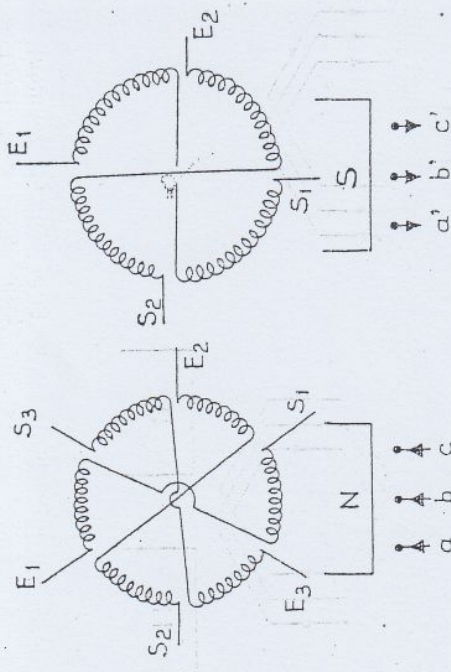


FIG. 1.1

a) Par un enroulement «en manteau» imbriqué ou ondulé qui est formé par des spires ayant toutes le même pas (généralement $\frac{180^\circ}{p}$ électrique ou $\frac{180^\circ}{p}$ mécanique) (fig. 1.3 et 1.4). Dans ce cas, les f.e.m. maxima induites sont les mêmes dans toutes les spires, mais sont décalées dans le temps et leur sommation doit se faire géométriquement.

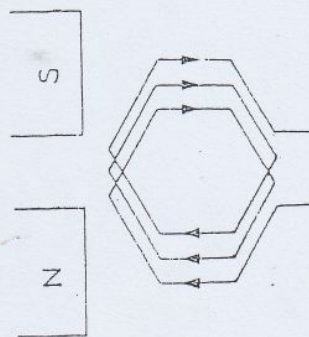


FIG. 1.3

b) Par un enroulement «par bobines» formées par des spires concentriques ayant des pas inégaux (fig. 1.5). Dans ce cas,

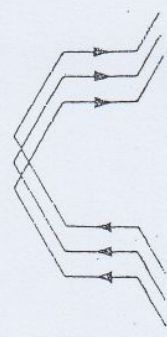


FIG. 1.4

les f.e.m. maxima induites sont différentes d'une spire à l'autre, mais elles ne sont pas décalées dans le temps et leur sommation doit se faire arithmétique-ment.

Les deux manières de bobiner conduisent au même résultat.

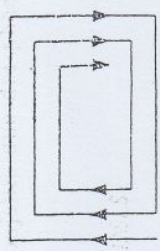


FIG. 1.5

§ 3. — RÈGLES PRATIQUES POUR FAIRE UN SCHEMA DE BOBINAGE

- 1°) Le nombre total d'encoches étant $Z = 2 p q$ on trace: pour un bobinage «par bobines»: Z barres pour un bobinage «en manteau» à une couche: Z barres pour un bobinage «en manteau» à deux couches: $2 Z$ barres (les barres supérieures en trait plein, les inférieures en trait interrompu et à droite des barres supérieures de la même encoche).
- 2°) On marque les barres par des flèches suivant la polarité.
- 3°) On définit les entrées des phases différentes en observant le décalage de 120° électriques en triphasé et de 90° électriques en diphasé.

(REMARQUE: Pour le bobinage triphasé, lorsque l'on parcourt les enroulements à partir des entrées, on a toujours une des phases en «contre-flèche».)

§ 4. — ENROULEMENTS TRIPHASÉS

A) Enroulements «en manteau»

1°) Imbriqué à une couche

Les figures 1.6 et 1.7 représentent les schémas pour $2 p = 4$ et $q = 2$, c'est-à-dire pour $Z = 24$. Le décalage entre les entrées des phases doit être égal à $\frac{360}{q}$ degrés électriques, c'est-à-dire à $\frac{360}{2} = 180^\circ$

dégradés mécaniques, soit en intervalles d'encoches à $\frac{2 p q q}{p q} = 2 q$, c'est-à-dire à 4 encoches. Si l'entrée de la phase I est dans l'encoche I, l'entrée de la phase III sera dans l'encoche $1 + 4 = 5$ et celle de la phase II dans l'encoche $5 + 4 = 9$. On peut d'ailleurs décaler les entrées des phases II et III d'un double pas polaire, c'est-à-dire de 12 encoches, en faisant E_{II} dans l'encoche $5 + 12 = 17$ et E_{III}

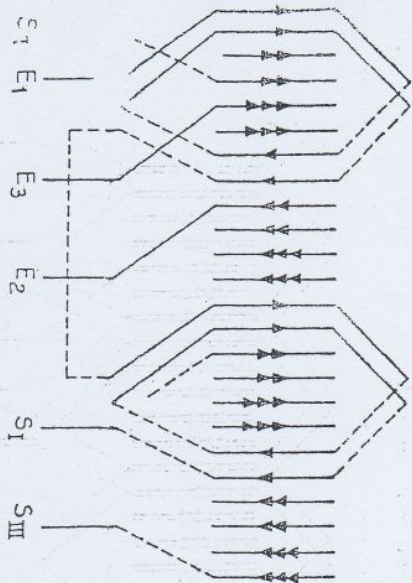


Fig. 1.6

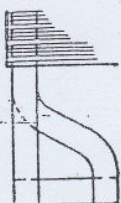


Fig. 1.7

Dans l'enceinte 9 + 12 = 21. Ce bobinage s'apparente au système par pôles consécutifs.

29) *Imbriqué à deux couches*

Les figures 1.8 et 1.9 représentent les schémas pour $2/p = 4$ et $q = 2$. Les entrées des phases se font comme dans le cas précédent. Ce bobinage s'apparente au système «par pôles».

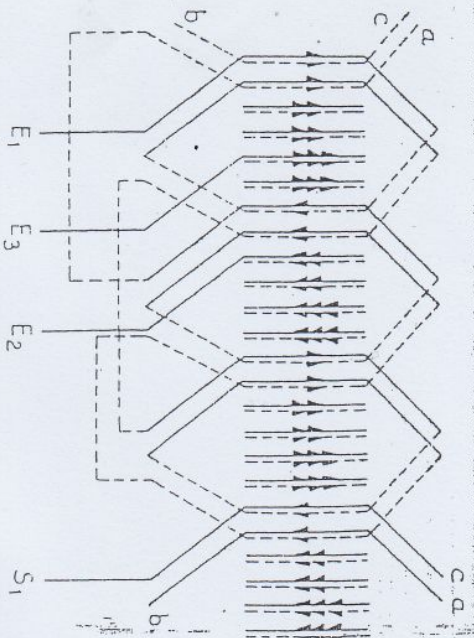


Fig. 1.8

30) *Ondulé à une couche (fig. 1.10)*

40) *Ondulé à deux couches (fig. 1.11)*

(REMARQUE: Pour la simplicité des schémas, nous nous sommes limités au cas de $2p = 4$ et $q = 2$, mais il est évident que le même procédé de bobinage est applicable à d'autres valeurs de p et de q .)

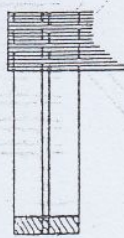


Fig. 1.9

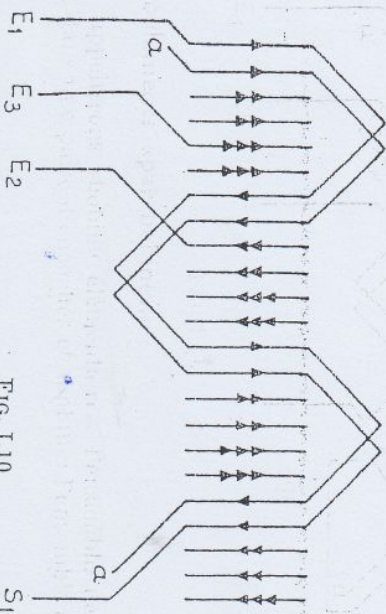


Fig. 1.10

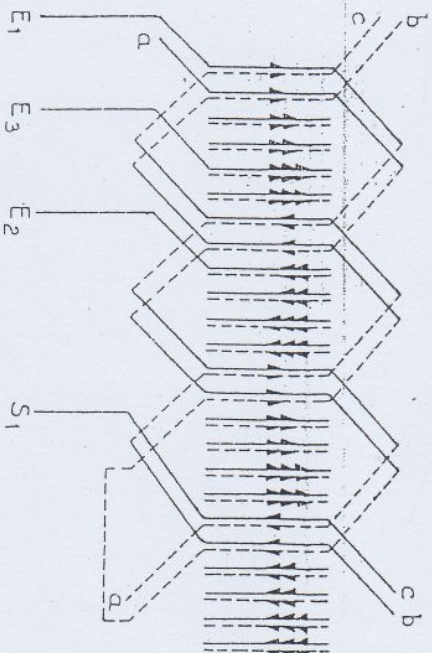


Fig. 1.11

B) *Enroulements «par bobines»*

Nous appellerons «bobine élémentaire» l'ensemble de spires se trouvant dans une paire d'encoches et «bobine» l'ensemble de bobines

élémentaires qui sont concentriques. Ce genre d'enroulement peut se faire de deux manières:

- a) Le nombre de bobines par phase est égal à p . C'est l'enroulement «par pôles consécutifs».
- b) Le nombre de bobines par phase est égal à $2p$. C'est l'enroulement «par pôles».

1°) Enroulement par «pôles consécutifs»

Avec $2p = 4$ et $g = 2$, on obtient les schémas des figures 1.12 et 1.13. On voit qu'une phase comporte une bobine droite et une

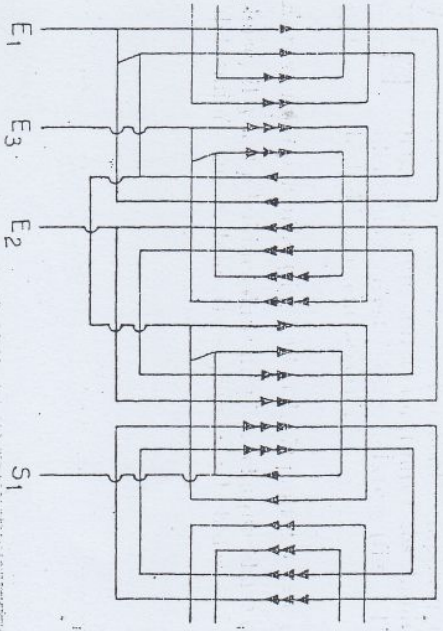
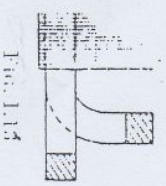


Fig. 1.12

bobine convoie, soit d'une façon générale pour $2p$ pôles $\frac{2p}{2}$ bobines droites et $\frac{2p}{2}$ bobines convoies.



Lorsque p est un nombre impair, on est obligé d'avoir une bobine «mixte» passant d'un plan à un autre (fig. 1.14). On peut remplacer ce bobinage par un autre où toutes les bobines sont identiques, c'est-à-dire «mixtes» (fig. 1.15). C'est le bobinage enchevêtré.

Fig. 1.14

2°) Enroulement par pôles (fig. 1.16 et 1.17) pour $2p = 6$ et $g = 2$.

Par phase, il y a $2p$ bobines dans un plan, chaque phase occupant un plan déterminé. On a donc trois plans de bobines.

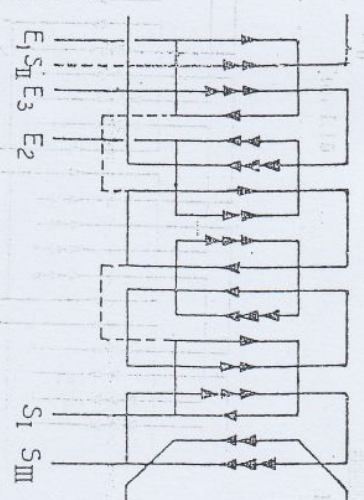


Fig. 1.14

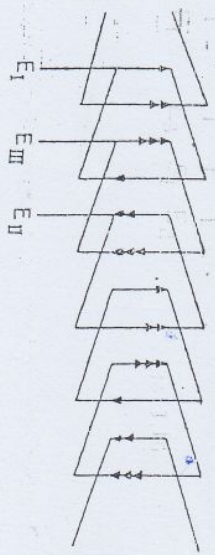


Fig. 1.15

Fig. 1.15 bis

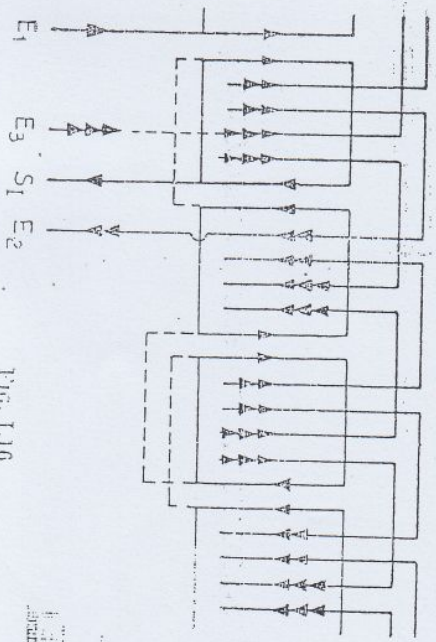


Fig. 1.16



Fig. 1.17

§ 5. — ENROULEMENTS DIPHASÉS

Les entrées sont décalées de 90 degrés électriques, soit $\frac{90}{p}$ degrés mécaniques.

A) Enroulements « en manteau »

- 1°) *Imbriqué à une couche* (fig. I.18) $2p = 4$ $g = 2$
 Il s'apparente à un bobinage « par pôles consécutifs ».

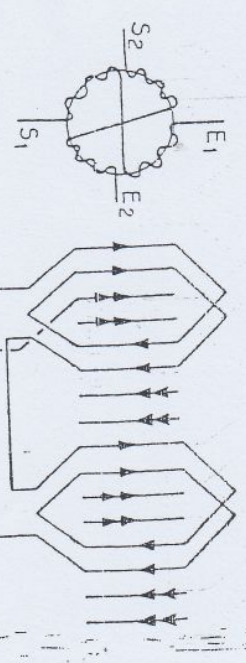


Fig. I.18

- 2°) *Imbriqué à deux couches* (fig. I.19) $2p = 4$ $g = 2$

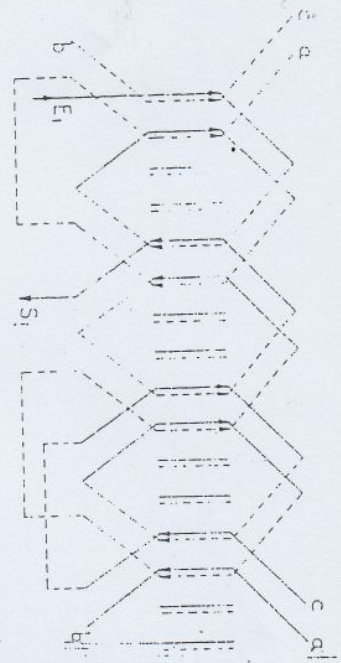


Fig. I.19

ENROULEMENTS D'INDUIT DES ALTERNATEURS

- 3°) *Ondulé à une couche* (fig. I.20) $2p = 4$ $g = 2$

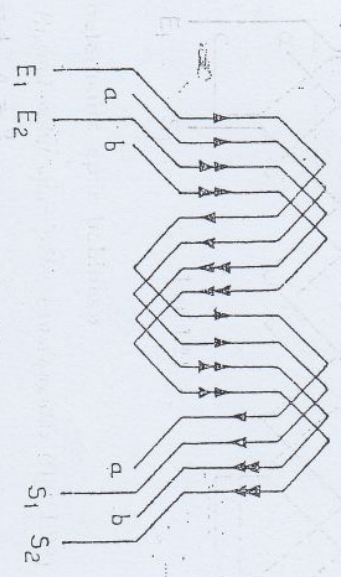


Fig. I.20

- 4°) *Ondulé à deux couches* (fig. I.21) $2p = 4$ $g = 2$
 (Une phase représentée).

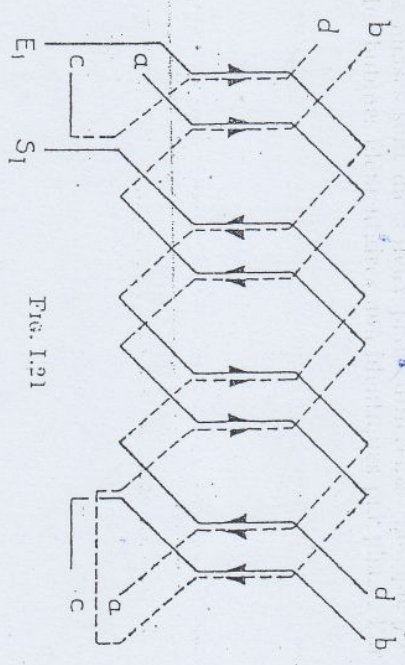


Fig. I.21

B) Enroulements « par bobines »

- 1°) *Enroulement « par pôles consécutifs »* (fig. I.22)
 $2p = 4$ $g = 2$
 Une phase est constituée par des bobines droites, l'autre par des bobines courbes. (Le bobinage n'est pas à employer pour $2p = 2$.)
- 2°) *Enroulement « par pôles »* (fig. I.23) $2p = 4$ $g = 2$

Les phases sont dans deux plans différents. Lorsque g est impair ou a des bobines élémentaires non identiques par phase. Par exemple

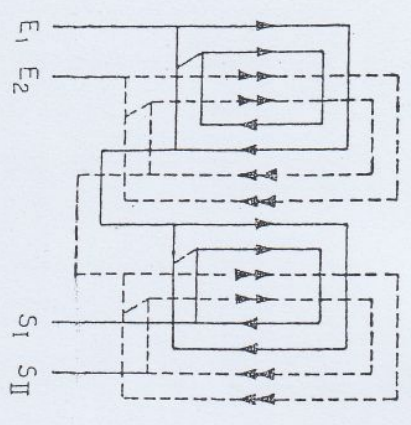


Fig. 1.22

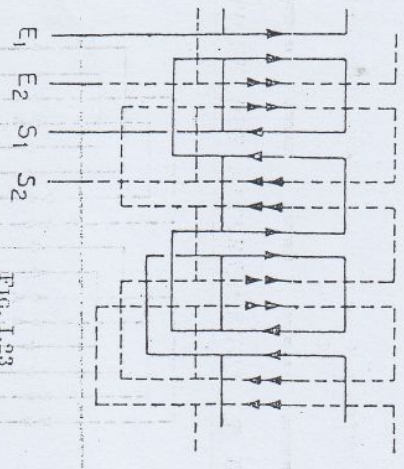


Fig. 1.23

pour $q = 3$ on aura des bobines composées de deux bobines élémentaires et des bobines simples à une bobine élémentaire.

§ 6. — ENROULEMENTS MONOPHASÉS

On réalise cet enroulement en supprimant une phase du bobinage triphasé (en laissant vides 1/3 d'entretoches) et en réunissant les sorties des deux autres phases. On obtient ainsi $E_{mono} = E_{tri} \sqrt{3}$ et $k'_{A_{mono}} = \frac{k'_{A_{tri}}}{\sqrt{3}}$ avec un nombre de conducteurs égal à 2/3 de celui des trois phases en triphasé.

ENROULEMENTS D'INDUIT DES ALTERNATEURS

On verra plus loin pourquoi l'on préfère ne pas bobiner toutes les encoches. Considérons à titre d'exemple un bobinage triphasé ondulé « en manteau » à 1 conche avec $2p = 4$ et $q = 1$ (fig. 1.24). Supprimons la phase III et réunissons les sorties S_1 et S_{III} . On obtient ainsi la figure 1.25. On réalisera de la même façon un bobinage im-

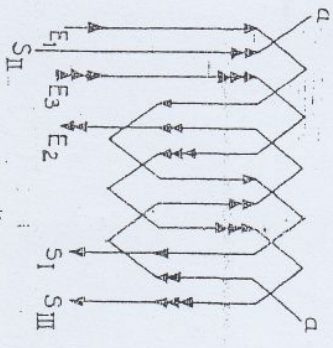


Fig. 1.24

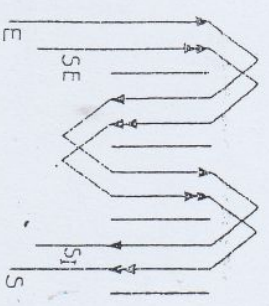


Fig. 1.25

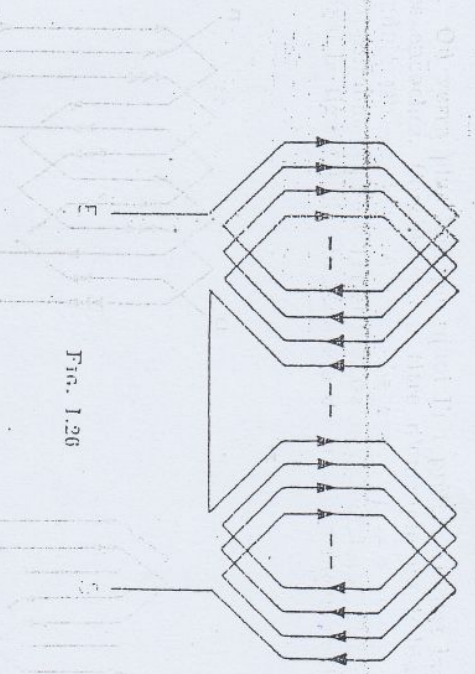


Fig. 1.26

briqué à 1 conche (fig. 1.26 avec $q = 2$). On pourra encore disposer pour réaliser ce bobinage en imbriqué on en ondule à deux encoches. Aucune difficulté non plus pour réaliser un bobinage « par bobines » par pôle ou « par pôle conséquent » (fig. 1.27 et 1.28).

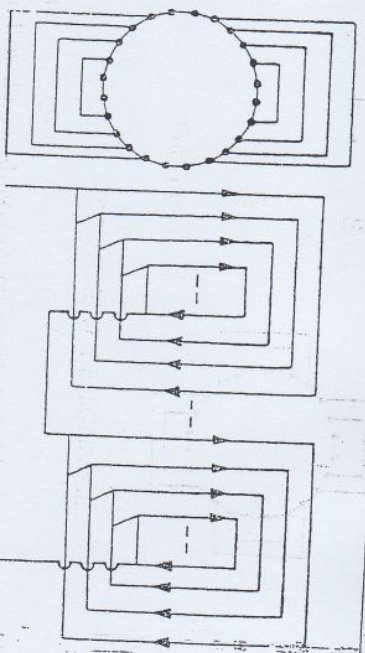


Fig. 1.27

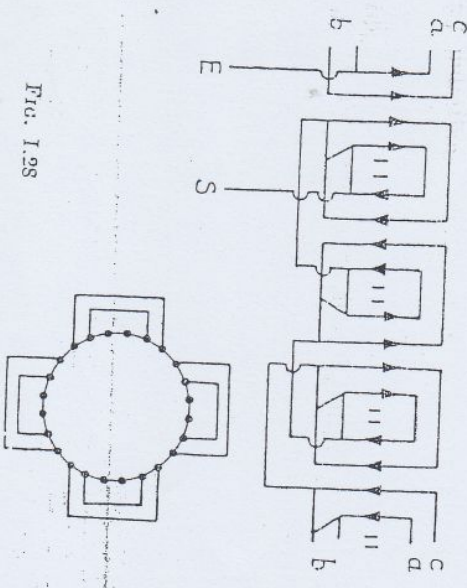


Fig. 1.28

§ 7. — COEFFICIENT DE BOBINAGE

Soient:

- n nombre de conducteurs en série par phase
- Φ_0 flux maximum d'un pôle en webers
- f fréquence en Hz
- $\omega = 2\pi f$ pulsation.

On a:

$$E = \frac{n}{2} \frac{d\Phi_0}{dt} \text{ ce qui donne avec } \Phi = \Phi_0 \sin \omega t;$$

ENROULEMENTS D'INDUIT DES ALTERNATEURS

$$E = \frac{n}{2} \omega \Phi_0 \cos \omega t, \text{ c'est-à-dire } E_{\max} = \frac{n}{2} \omega \Phi_0 \text{ et} \tag{1}$$

$$E_{\text{eff}} = \frac{n}{2} \frac{\Phi_0 \omega}{\sqrt{2}} = \frac{n}{2} \frac{\Phi_0 2\pi f}{\sqrt{2}} = 2,22 \, n f \Phi_0 \text{ volts.}$$

Cette formule est exacte dans le cas de $g = 1$, c'est-à-dire lorsque toutes les spires d'une phase sont logées dans une seule paire d'encoches par champ bipolaire. En réalité, g est généralement > 1 , de sorte que les f.e.m. induites dans différentes paires d'encoches n'ont pas la même phase dans le temps.

Il y a donc un certain décalage entre elles, et leur sommation doit être effectuée géométriquement. Cela revient à introduire dans la formule de la f.e.m. E un coefficient de distribution K_d inférieur à 1. On aura donc:

$$E_{\text{eff}} = 2,22 \, n f K_d \Phi_0 \text{ volts.} \tag{2}$$

Ce coefficient peut être déterminé de la façon suivante:

Un alternateur à $2p$ pôles, q phases et g encoches par pôle et par phase a au total $2p g q$ encoches, c'est-à-dire $2g$ encoches par phase pour un champ bipolaire. Une phase occupe $\frac{360}{g}$ degrés électriques ($\frac{180}{g}$ sous un pôle sud et autant sous un pôle nord). Le décalage entre les encoches voisines d'une phase est par conséquent égal à:

$$\alpha = \frac{180}{g} \text{ degrés électriques et ceci quel que soit le genre de bobinage. La f.e.m. maximum des conducteurs d'une paire d'encoches étant } e_0 \text{ la f.e.m. totale } E \text{ d'une phase sera donnée par}$$

$$E = e_0 [\cos \omega t + \cos (\omega t - \alpha) + \cos (\omega t - 2\alpha) + \dots]$$

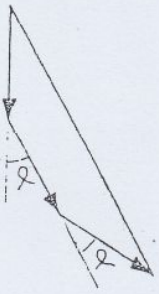


Fig. 1.29

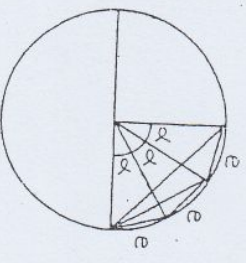


Fig. 1.30