

EX : No1

Soit un alternateur comportant un nombre d'encoches (N) et un nombre de paires de pôles (P).

A- Pour $P=1$ et $N=6$

a-1 dessinez le schéma de principe de l'alternateur.

a-2 écrire les équations des f.é.m. temporelles de chaque brin électrique de chaque encoche et tracer l'étoile correspondante (diagramme de Fresnel).

a-3 faites les raccordements nécessaires pour avoir le courant triphasé.

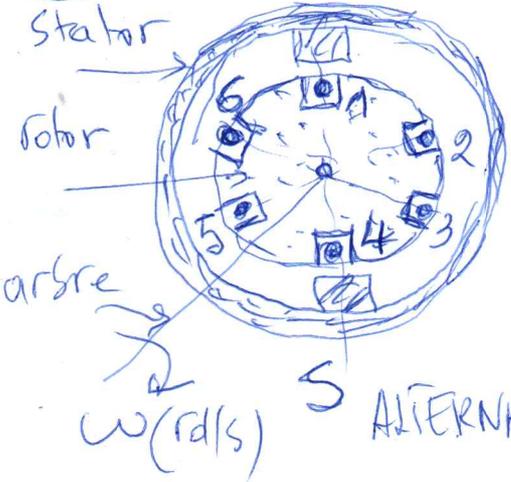
B- Pour $P=2$ et $N=6$

Reprendre la question A

Solving Ex 11^o = 1.

$P=1, N=6$

(A.1)

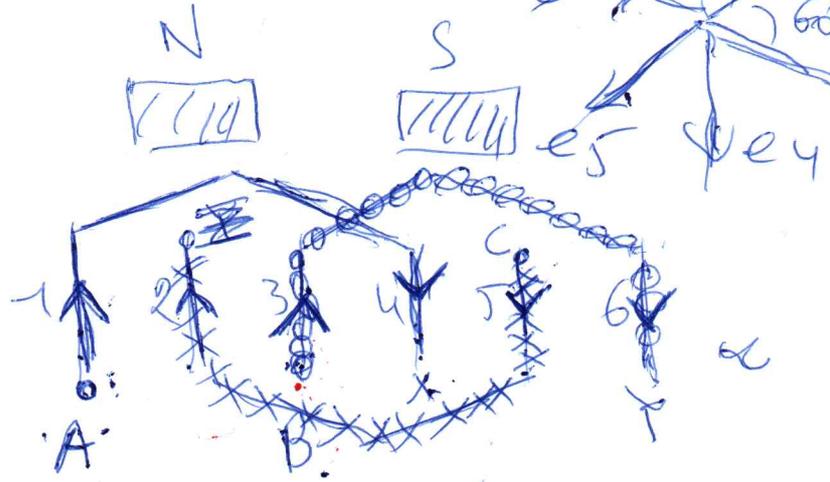


(a.2)

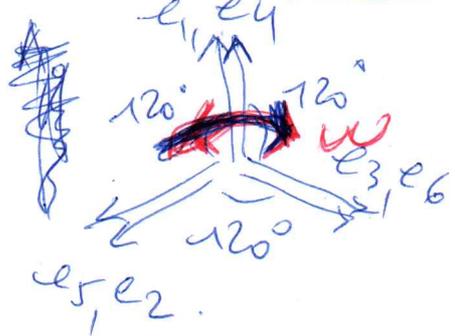
$$\begin{aligned}
 e_1 &= Blv \sin(\omega t + 0) \\
 e_2 &= Blv \sin(\omega t + \frac{360 \cdot 1}{6}) \\
 e_3 &= Blv \sin(\omega t + \frac{360 \cdot 2}{6}) \\
 e_4 &= Blv \sin(\omega t + \frac{360 \cdot 3}{6}) \\
 e_5 &= Blv \sin(\omega t + \frac{360 \cdot 4}{6}) \\
 e_6 &= Blv \sin(\omega t + \frac{360 \cdot 5}{6})
 \end{aligned}$$

Stator

Rotor

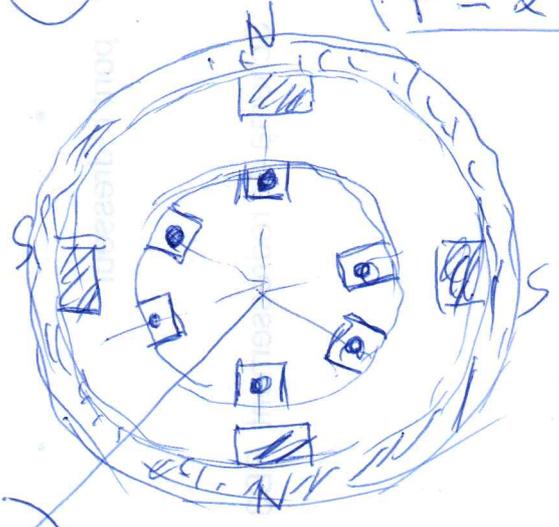


$$\alpha = \frac{360 \cdot 1}{N} = \frac{360}{6} = 60^\circ \rightarrow \alpha = 60^\circ$$



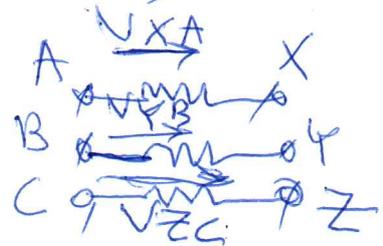
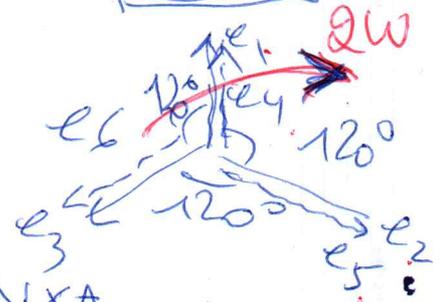
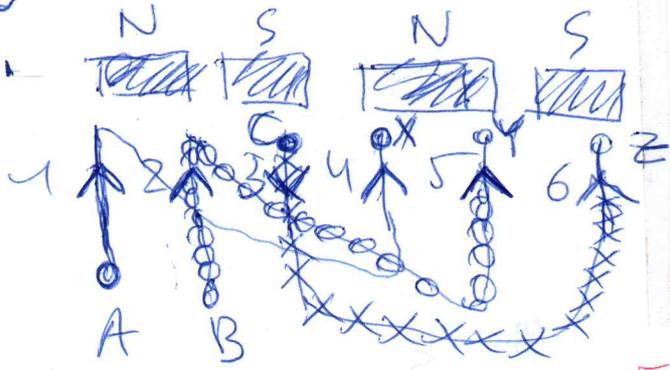
(B)

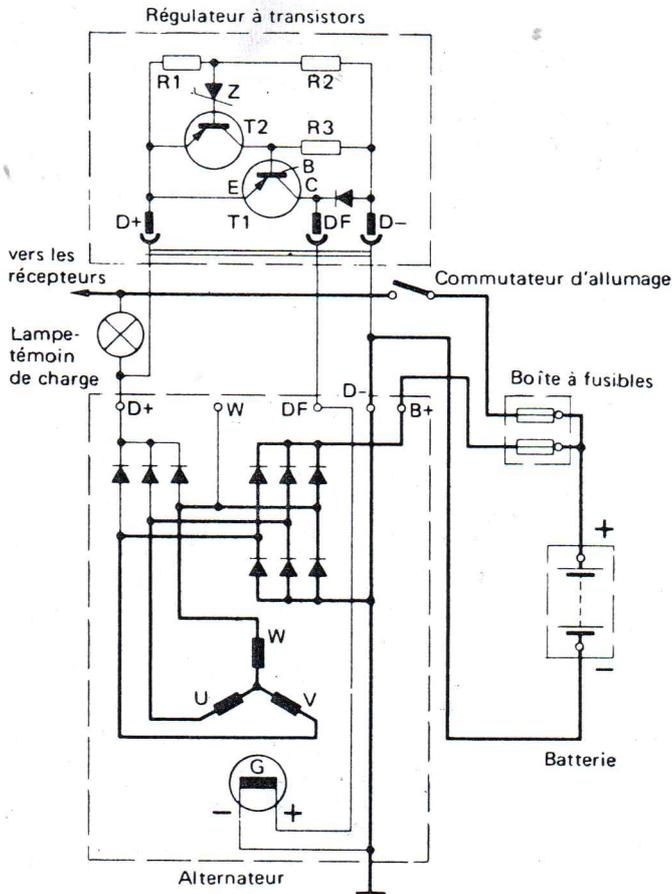
$P=2, N=6$



$$\begin{aligned}
 e_1 &= Blv \sin(2\omega t + 0) \\
 e_2 &= Blv \sin(2(\omega t + \frac{360}{6})) \\
 e_3 &= Blv \sin(2(\omega t + \frac{360 \cdot 2}{6})) \\
 e_4 &= Blv \sin(2(\omega t + \frac{360 \cdot 3}{6})) \\
 e_5 &= Blv \sin(2(\omega t + \frac{360 \cdot 4}{6})) \\
 e_6 &= Blv \sin(2(\omega t + \frac{360 \cdot 5}{6}))
 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{360 \cdot P}{N} = \frac{360 \cdot 2}{6} = 120^\circ \rightarrow \alpha = 120^\circ$$





Installation comportant un alternateur à rotor à griffes .
T 1 et un régulateur à transistors ED.

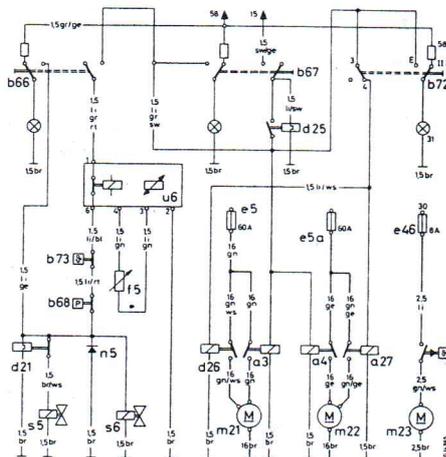
- K 1 = Transistor principal
- T 2 = Transistor de commande
- Z = Diode de Zener
- R 1 / R 2 = Diviseurs de tension
- R 3 = Résistance

Climatiseur

Marque BEHR d'une puissance frigorifique de 23.000 k.cal.

Légende du schéma électrique du climatiseur à entraînement hydraulique

- a 3 Relais
- a 4 Relais
- a 27 Relais
- b 66 Interrupteur climatiseur
- b 67 Interrupteur ventilateur
- b 68 Pressostat
- b 72 Interrupteur ventilateur
- b 73 Thermostat antigivrage
- d 21 Relais temporisé - démarrage compresseur
- d 25 Relais temporisé - démarrage climatiseur
- d 26 Relais
- e 5 Fusible ventilateur
- e 5a Fusible ventilateur
- e 46 Fusible ventilateur
- f 5 Transmetteur de température
- m 21 Ventilateur
- m 22 Ventilateur
- m 23 Ventilateur avec thermocontact
- n 5 Diode de marche à vide
- s 5 Electrovanne compresseur
- s 6 Electrovanne entraînement
- u 6 Thermostat



Tension nominale : 24 V.
Puissance : 5 kW.
Couple bloqué sous 8,4 V, 75 mN pour une consommation de 960 A.
Puissance utile maximale : 4,5 kW, 6 ch, pour une consommation de 450 A et un couple de 30 mkg.
Vitesse à vide supérieure à 4.000 tr/mn sous 24 V pour une consommation de 210 A.
Sens de rotation : horloge.

Fusibles

Tableau électrique principal

N° d'ordre (figure)	N° (Schéma électr.)	Ampère (A)	Utilisateur
1	e 6	8	Signal de détresse, commande ext. de porte, témoin vitesse maxi., tachygraphe, montre
2	e 7	8	Eclairage compartiment moteur, prises de courant (panneau principal et compartiment moteur)
3	e 8	16	Lampes liseuses, montre sur auvent
4	e 9	16	Ventilateur chauffage AV
5	e 10	16	Ventilateur chauffage AV
6	e 11	8	Phares antibrouillard
7	e 12	8	Ventilateur AV gauche sous sièges
8	e 13	8	Ventilateur AR droit sous sièges
9	e 14	8	Ventilateur AR gauche sous sièges
10	e 15	8	Ventilateur chauffage toit gauche
11	e 16	8	Ventilateur chauffage toit droit
12	e 17	8	Disponible pour options
13	e 18	8	Essuie-glace, lave-glace, ventilateur de climatiseur, témoin de charge
14	e 19	8	Phares de recul, relais frein de parage à ressort
15	e 20	8	Avertisseur, avertisseur pneumatique, fanfare ralentisseur sur échappement
16	e 21	8	Feux stop, clignotants, répétiteur de clignotants, témoin liquide de frein
17	e 22	8	Vibreux d'eau de refroidissement, niveau d'eau de refroidissement, signal de départ, «Start-Pilote»
18	e 23	8	Commande intérieure des portes AV et AR, contrôle portes, dispositif d'inversion
19	e 24	8	Témoin pression mini de freinage, témoin pression d'huile, jauge de combustible, compte-tours, témoin de frein de parage (desserrage), transmetteur température d'eau, témoin graissage central, témoin niveau liquide de commande d'embrayage, témoin du contrôle de course
20	e 25	8	Radio et sonorisation
21	e 26	8	Commande chauffage additionnel, commande appareils de chauffage AV
22	e 27	8	Commande ventilateurs sous sièges, commande ventilateurs chauffage de toit
23	e 28	8	Ventilateur de toit AV
24	e 29	8	Ventilateur de toit AR
25	e 30	8	Eclairage route gauche, témoin d'éclairage route
26	e 31	8	Eclairage croisement gauche
27	e 32	8	Eclairage route droit
28	e 33	8	Eclairage croisement droit
29	e 34	8	Phares antibrouillard, feu AR de brouillard
30	e 35	8	Feu de position et feu AR gauche, éclairage plaque d'immatriculation
31	e 36	8	Feu de position et feu AR droit
32	e 37	8	Eclairage instruments, éclairage interrupteurs, feux de gabarit
33	e 38	8	Eclairage poste de conduite, éclairage d'accès, éclairage soutes à bagages, essuie-glace (projecteurs)
34	e 39	8	Plafonniers gauche
35	e 40	8	Plafonniers droit
36	e 41	8	Caissons à panneau, éclairage couloir
37	e 47	8	Ventilateur poste de conduite, allume-cigare
38	e 48	8	Rétroviseur extérieur chauffé, cabinet de toilette

Tableau électrique auxiliaire (dans la soute à bagages devant l'essieu AR)

1	e 5	50	Installation de climatisation (sur option)
2	e 5a	50	Installation de climatisation (sur option)
3	e 2	80	Ralentisseur à courants Foucault (sur option)
4	e 1	50	Fusible principal
5	e 42	16	Batteries (-)
6	e 44	8	Chauffage additionnel
7	e 45	8	Chauffage additionnel
8	-	-	Disponible pour options
9	-	-	Disponible pour options

Démarrreur

Marque BOSCH -Type 24 -001-151-9701.

Chapitre

III

ENROULEMENTS DES MACHINES ÉLECTRIQUES À COURANT ALTERNATIF

3-1. Enroulements imbriqués triphasés à deux couches où q est un nombre entier

A la fin du premier chapitre nous avons examiné les moyens d'obtenir des enroulements triphasés à deux couches en divisant en parties les enroulements fermés à deux couches utilisés dans les machines à courant continu.

Dans ce chapitre les questions concernant les enroulements triphasés seront examinées de façon plus détaillée.

Commençons l'examen des enroulements imbriqués à deux couches par un enroulement à pas total $y = \tau$ avec les données suivantes (fig. 3-1, *a*) : nombre de phases $m = 3$, nombre de pôles $2p = 4$, nombre d'encoches $Z = 36$, nombre d'encoches par pôle et par phase

$$q = \frac{Z}{2pm} = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3.$$

L'étoile de F.É.M. d'encoche de cet enroulement est montrée sur la fig. 3-1, *b* où sont représentés 36 vecteurs des F.É.M. d'encoche, désignés par des chiffres sans « ' ». Lorsqu'on parcourt une phase d'enroulement suivant son schéma (fig. 3-1, *a*) une partie de conducteurs est parcourue de bas en haut et l'autre partie de haut en bas. Par exemple, les conducteurs de la première bobine de la phase *A* qui se trouvent dans l'encoche n°1 sont parcourus de bas en haut, tandis que les conducteurs de l'encoche n°10 sont parcourus de haut en bas. Pour obtenir la F.É.M. d'une spire de cette bobine il faut retrancher du vecteur *I* le vecteur *IO* (fig. 3-1, *b*). On peut cependant composer le vecteur *I* avec le vecteur *IO'* obtenu en faisant tourner le vecteur *IO* de 180°. Conformément à cela sur la fig. 3-1, *b* sont représentés 36 vecteurs des F.É.M. d'encoche désignés par des chiffres ordinaires et les vecteurs désignés par des chiffres primés et tournés de 180° par rapport aux vecteurs précédents. Pour obtenir la F.É.M. d'une phase de l'enroulement il faut composer les vecteurs ordinaires des encoches qui sont parcourues de bas en haut avec les vecteurs primés des encoches qui sont parcourues de haut en bas.

Si on désigne de la même façon les côtés des bobines en fonction du sens de parcours, l'ordre de connexion des bobines de l'enroulement (fig. 3-1, *a*) est déterminé par le tableau suivant :

A	1—10'	2—11'	3—12'	—			
	—21	—12'	—20	—11'	—19	—10'	—
	—19	—28'	—20	—29'	—21	—30'	—
	—3	—30'	—2	—29'	—1	—28'	—X
B	7—16'	8—17'	9—18'	—			
	—27	—18'	—26	—17'	—25	—16'	—
	—25	—34'	—26	—35'	—27	—36'	—
	—9	—36'	—8	—35'	—7	—34'	—Y
C	13—22'	14—23'	15—24'	—			
	—33	—24'	—32	—23'	—31	—22'	—
	—31	—4'	—32	—5'	—33	—6'	—
	—15	—6'	—14	—5'	—13	—4'	—Z.

Si l'on tient compte de l'ordre de connexion des bobines de l'enroulement indiqué dans ce tableau, l'étoile des F.É.M. d'encoche aura la forme des trois groupes concentriques dont les sommes géométriques résultantes des vecteurs ont des axes décalés l'un par rapport à l'autre de 120° (fig. 3-1, *c*). Cela prouve que par suite de la connexion des bobines de l'enroulement un système triphasé régulier est formé.

Sur le schéma de l'enroulement de la fig. 3-1, *a* on voit bien les zones de phases qui forment les demi-phases de l'enroulement. Tous les six groupes des bobines connectées inscrites dans la même ligne et formant la demi-phase de l'enroulement ont des F.É.M. résultantes égales en valeur et qui sont en phase ; pour cette raison l'enroulement donné permet de connecter les demi-phases non seulement en série, comme indiqué sur la fig. 3-1, mais aussi en deux et en quatre groupes parallèles.

La fig. 3-2, *a* représente le schéma d'un enroulement imbriqué à deux couches comme sur la fig. 3-1, *a* mais à pas raccourci :

$$2p = 4, \quad Z = 36, \quad q = 3, \quad y = \frac{7}{9} \tau,$$

c'est-à-dire à pas relatif

$$\beta = \frac{y}{\tau} = \frac{7}{9} = 0,778.$$

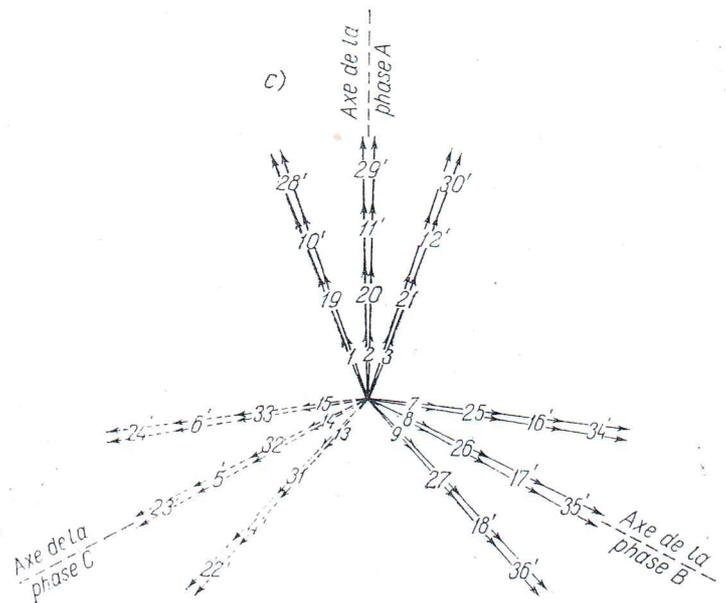
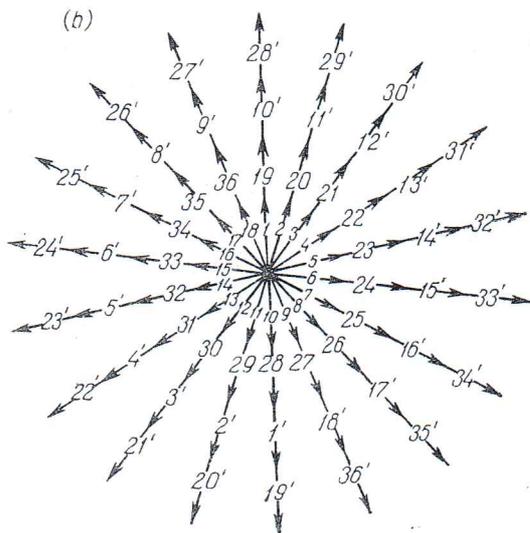
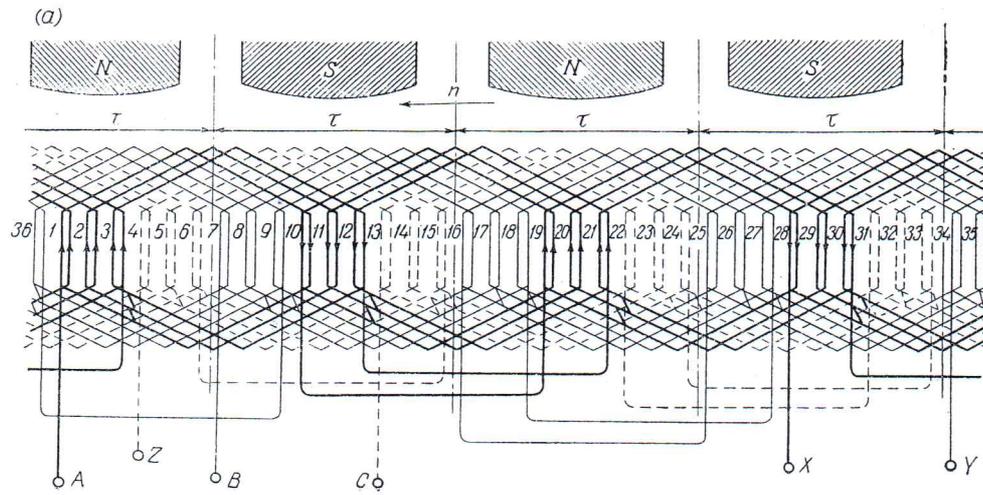


Fig. 3-1. Enroulement triphasé imbriqué à deux couches à pas total pour $Z = 36$, $2p = 4$ et $q = 3$:
 a — schéma de l'enroulement; b — étoile des F.E.M. des encoches; c — étoile des F.E.M. de l'enroulement.

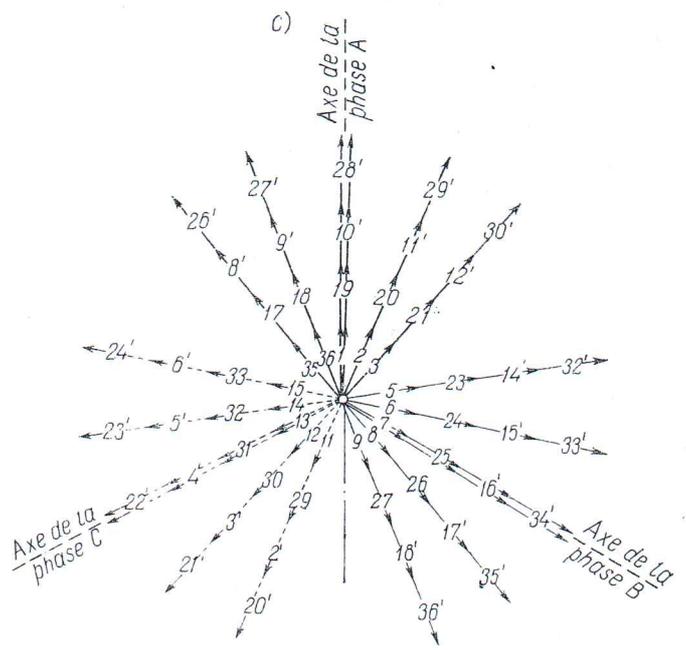
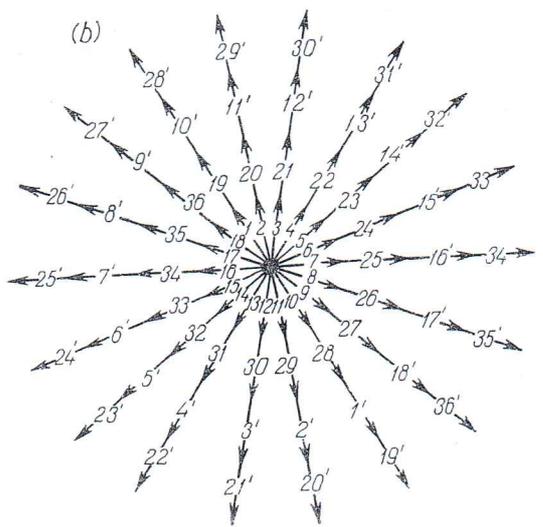
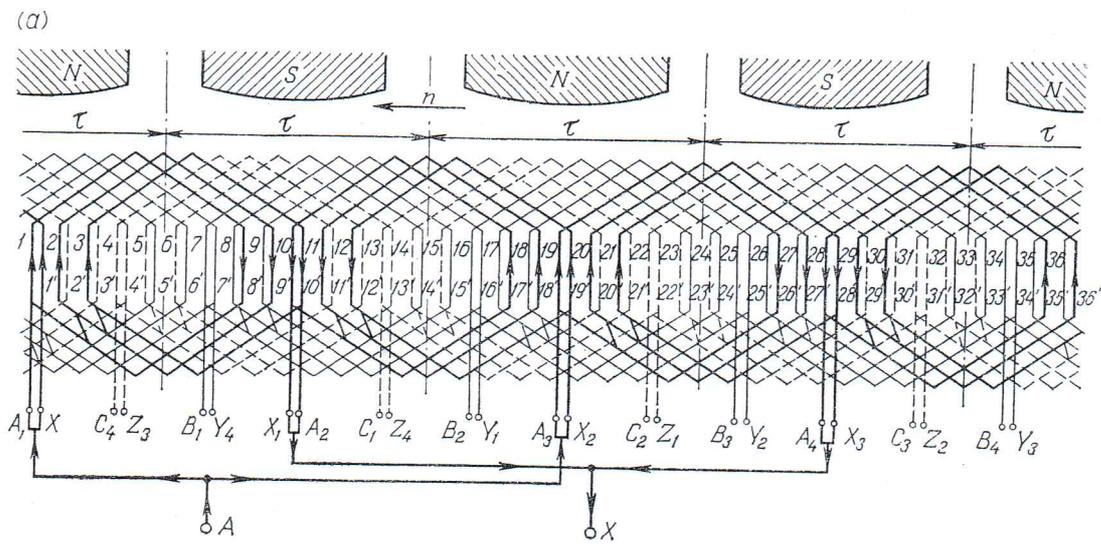


Fig. 3-2. Enroulement triphasé imbriqué à deux couches, à pas raccourci pour $Z = 36$, $2p = 4$, $q = 3$, $y = 7$, $\beta = 7/9$:
 a — schéma de l'enroulement; b — étoile des F.F.M. des encoches; c — étoile des F.F.M. de l'enroulement.

L'ordre de connexion des bobines de cet enroulement peut être exprimé par le tableau suivant :

<p>A—1—8'—2—9'—3—10'— —19—12'—18—11'—17—10'— —19—26'—20—27'—21—28'— —1—30'—36—29'—35—28'—X</p> <p>B—7—14'—8—15'—9—16'— —25—18'—24—17'—28—16'— —25—32'—26—33'—27—34'— —7—36'—6—35'—5—34'—Y</p> <p>C—13—20'—14—21'—15—22'— —31—24'—30—23'—29—22'— —31—2'—32—3'—33—4'— —13—6'—12—5'—11—4'—Z.</p>	
---	--

Sur le schéma de la fig. 3-2, *a* la phase de l'enroulement A—X est connectée en quatre groupes parallèles, mais de la même façon qu'un enroulement à pas total elle peut être connectée en série ou en deux groupes parallèles si dans le dernier cas, dans chaque phase on réunit en parallèle deux groupes connectés en série.

En général un enroulement à deux couches avec *q* nombre entier et ayant dans chaque phase *2p* groupes de bobines équivalents permet de former un tel nombre de branches parallèles pour lequel *2p* : *a* est un nombre entier. L'exécution des enroulements avec *a* = 2 et *a* = 2*p* est toujours possible dans ce cas. Toutes les branches ont des F.É.M. égales, les résistances ohmiques et les réactances inductives étant aussi égales, ce qui est important.

Une étoile des F.É.M. d'encoche d'un enroulement à pas raccourci a aussi 36 rayons ou 18 rayons par chaque pas polaire double comme l'enroulement à pas total que nous avons examiné précédemment (fig. 3-1, *d*). Il résulte de la comparaison des étoiles des F.É.M. d'encoche des enroulements à pas total et à pas raccourci (fig. 3-1, *b*) et (3-2, *b*) que dans le premier cas les zones des rayons de chaque phase sont nettement délimitées des zones des phases voisines et dans le second cas a lieu l'entrelacement des rayons des phases voisines qui augmente avec le raccourcissement du pas.

Sur la fig. 3-2, *c* est donnée l'étoile résultante de F.É.M. d'encoche correspondant à l'ordre de connexions des bobines selon le tableau indiqué plus haut. Dans ce cas les sommes géométriques des F.É.M. des bobines de chaque phase sont également décalées de 120° l'une par rapport à l'autre ; on obtient donc dans ce cas aussi un enroulement triphasé régulier.

Les parties frontales des enroulements imbriqués statoriques à deux couches comme celles des enroulements ondulés (voir § 3-2) sont disposées sur la surface d'un cône et en cas de nécessité sont protégées contre les efforts radiaux par des bagues de freinage en matériaux non magnétiques.

Les enroulements à deux couches du type considéré sont actuellement les plus employés vu leurs avantages :

1. Possibilité de raccourcir le pas d'un nombre quelconque d'intervalles dentaires, ce qui permet d'obtenir pour la F.É.M. et le champ magnétique engendré par l'enroulement une bonne forme de la courbe (voir le chapitre suivant).

2. Raccourcissement des connexions frontales grâce au raccourcissement du pas et économie de cuivre ainsi obtenue.

3. Possibilité de former un grand nombre de branches parallèles équivalentes.

4. Fabrication simplifiée des enroulements puisque toutes les bobines ont la même forme et peuvent être réalisées suivant gabarit.

Les défauts de l'enroulement imbriqué à deux couches sont : 1) certaines difficultés lors de la mise en place des dernières bobines de l'enroulement le long du pas de l'enroulement par suite de la nécessité de tenir en porte-à-faux les côtés supérieurs du premier pas placé ; 2) la nécessité de soulever un pas entier de l'enroulement lorsque le côté inférieur de la bobine est endommagé ; 3) impossibilité d'exécuter un stator démontable sans soulever les bobines de leurs encoches. Tout ce que nous venons de dire est valable aussi pour les inducts des machines à courant continu mais est compensé par les grands avantages de cet enroulement par rapport aux autres types d'enroulements.

Dans les moteurs asynchrones de faible puissance on placera les premières bobines pour faciliter le travail seulement dans la partie inférieure des encoches et les dernières bobines, seulement dans la partie supérieure des encoches. Une certaine asymétrie apparaît mais ainsi pendant la pose des bobines on n'est plus obligé de tenir leurs côtés supérieurs en porte-à-faux le long du premier pas.

3-2. Enroulements ondulés triphasés à deux couches où *q* est un nombre entier

Dans les enroulements imbriqués que nous avons examinés plus haut, la connexion en série de toutes les parties de l'enroulement ne peut être exécutée que par des connexions spéciales entre les bobines. Vu qu'à chaque intervalle polaire double on obtient dans chaque phase deux éléments connectés en série, dans les machines multipolaires on a un très grand nombre de connexions entre les bobines ; dans les enroulements à barres (avec bobines à une seule spire) à spire de grande section transversale, cela entraîne une dépense supplémentaire de cuivre. L'utilisation du principe de l'enroulement