

5^{me} PARTIE

RÉALISATION DES BOBINAGES

I. Exécution des Bobinages

1.1. — BOBINES POUR APPAREILLAGE ET PETITS TRANSFORMATEURS

Il est d'usage de classer dans cette catégorie les bobinages peu volumineux, fonctionnant sous des tensions modérées, tels que :

- bobines pour relais électromagnétiques ;
- bobines pour contacteurs ;
- inductances de filtrage ;
- bobines pour « ballasts » de tubes fluorescents ;
- transformateurs monophasés, d'une puissance au plus égale à quelques centaines de voltampères.

Qualités exigées de ces bobinages.

La solidité mécanique, l'économie et la meilleure présentation ne peuvent être acquises que si l'on respecte, pendant l'exécution, les conditions de travail suivantes :

- enroulement réparti en couches à spires jointives ;
- isolation entre les couches pour diminuer les contraintes diélectriques dans le guidage du fil et permettre un meilleur rangement des spires ;
- dimensions bien définies et rigoureusement identiques entre les différentes bobines, en cas de fabrication en série.

1.11. — UTILISATION DU TOUR A BOBINER

1.111. Constitution générale d'une machine à bobiner.

Celle-ci doit être équipée en vue d'obtenir rapidement des bobinages de qualité.

Sous sa forme la plus simple, un dispositif de bobinage peut se concevoir de la façon suivante :

- une bobine « magasin », ou débitrice, sur laquelle est enroulé le fil nécessaire ;
- une bobine réceptrice sur laquelle on va ranger le fil destiné à réaliser le bobinage désiré (fig. 1).

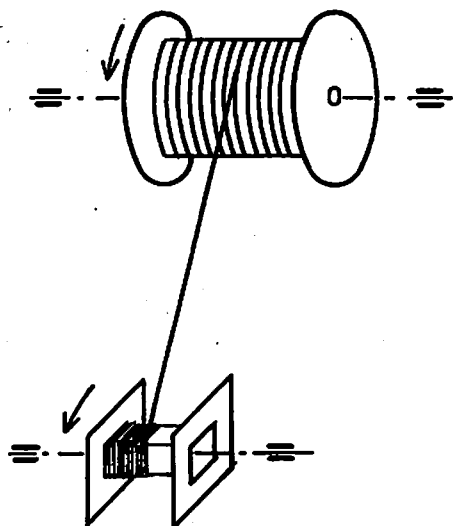


Fig. 1.

On se rend très rapidement compte que ce dispositif rudimentaire est très insuffisant.

En effet, on peut lui reprocher :

- le manque de guidage du fil entre les deux bobines ;
- l'absence de freinage entraînant la formation de « mou » ou des tractions sur le fil lors des variations de vitesse ;
- l'absence de dispositif de comptage des spires.

Toutes ces considérations nous mènent à la constitution générale d'un tour à bobiner analysée dans le tableau I, page suivante.

1.112. Exemple de tour à bobiner (fig. 2).

Un tour qui possède les dispositifs précédents comprend un bâti assez lourd assurant la stabilité de l'ensemble et sur lequel sont installés les mécanismes utiles. L'entraînement est assuré par un moteur fixé sur ce bâti ou indépendant ; il communique son énergie à une poulie.

Or, il est nécessaire que :

- les *bobinages* soient effectués à des vitesses différentes, suivant le diamètre du conducteur ;
- le *démarrage* soit progressif afin d'éviter une tension trop brusque du conducteur et de pouvoir parfaire le réglage ;
- l'*arrêt* de la bobine réceptrice soit instantané.

TABEAU I

Fonction	Conditions à remplir	Solutions techniques
Démarrage.	<i>Mise en vitesse très progressive.</i>	Embrayage : disques, cônes, plateau et galet, courants de Foucault. Moteur à vitesse réglable.
Rangement des spires.	<i>Tension du fil réglable. Guidage du fil par dispositif réglable suivant le diamètre des bobines. Obtention d'un pas réglable. Inversion du pas d'avance en fin de course. Obtention d'un « dégradé » des couches.</i>	Freinage de la bobine débitrice ou serre-fil. Galets réglables en position. Vis-mère commandée par la broche. Inverseur à galets de friction ou à engrenages. Réduction de la course à chaque couche par système à cames.
Comptage des spires. Isolation entre couches.	<i>Possibilité de remise à zéro. Introduction du papier isolant en marche. Coupe du papier à la longueur désirée.</i>	Compte-tours lié à la broche avec remise à zéro. Réalisé seulement sur machines automatiques très complexes.
Arrêt.	<i>Arrêt immédiat au nombre de spires désiré : — volontaire, — automatique.</i>	Freinage de la broche. Débrayage ou arrêt du moteur commandé par le compte-tours et freinage de la broche.

Il est donc nécessaire d'avoir une boîte de vitesses dont l'arbre mené se termine par la broche ou par le plateau support de bobine réceptrice ; à la mise en route du moteur, la poulie entraînée est désaccouplée et l'embrayage est rendu progressif par friction d'un galet sur deux plateaux.

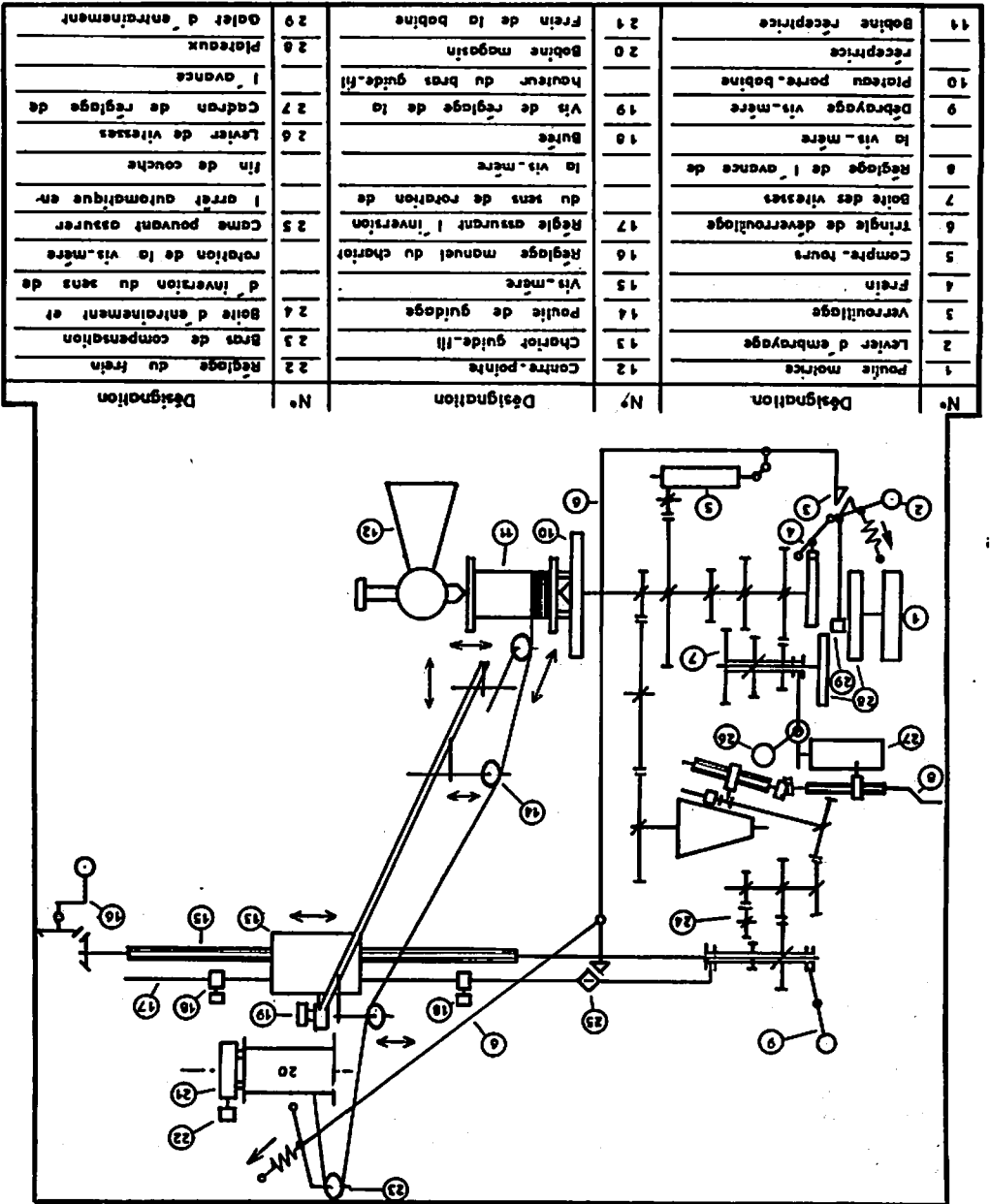
Le levier d'embrayage se verrouille en fin de démarrage, et, par simple pression sur un mécanisme, il doit revenir rapidement à sa position de repos et freiner l'arbre moteur de la boîte de vitesses.

La broche entraîne en fonctionnement :

- le compte-tours ;
- la vis mère qui déplace le chariot guide-fil.

Du déplacement de ce dernier dépend l'exécution du bobinage : il est donc indispensable de régler son avance, ainsi que la longueur de sa course, avec exactitude ; de plus, il est souhaitable que l'inversion du déplacement soit automatique.

Fig. 2.



L'avance est déterminée par la vitesse de rotation de la vis mère qui est également entraînée par friction d'un galet sur un disque ou sur un cône, ce qui permet un réglage parfait. Le réglage approximatif s'effectue avant la mise en route, en déplaçant un curseur sur une échelle graduée. Après avoir réalisé quelques spires à faible vitesse, on rectifie l'avance dans le sens désiré, sans arrêter la machine.

La course du chariot est limitée par deux butées coulissant sur une règle et pouvant être bloquées ; comme dans le cas précédent, un réglage approximatif est d'abord effectué, la précision étant obtenue par deux vis micrométriques fixées sur ces butées.

A la fin de la course, le chariot déplace légèrement cette règle et provoque l'inversion du sens de rotation de la vis mère.

Malgré ces réglages, on peut constater quelquefois, après quelques instants de fonctionnement, un décalage entre le guide-fil et la progression normale de l'enroulement du conducteur ; ceci se traduit par un chevauchement ou un espacement des spires. Pour remédier à ce défaut, il faut arrêter le tour, débrayer la vis mère de ses plateaux d'entraînement et la faire tourner à la main ; il est évident que cet alignement dérègle la machine et que la disposition de l'ensemble est à revoir.

Le guidage du conducteur est correct lorsque celui-ci est amené :

- *la plus près possible de la bobine réceptrice ;*
- *suivant un plan afin d'être plaqué dans le fond des gorges des poulies de guidage.*

Or les bobinages exécutés étant très divers, il est utile que la dernière poulie, tout en ayant l'axe de sa gorge dans le plan du conducteur, puisse être déplacée dans tous les sens et que les poulies intermédiaires puissent s'aligner sur la dernière, c'est-à-dire qu'elles soient déplaçables dans le sens longitudinal.

Le mou du conducteur est produit par l'inertie de la bobine magasin qui, pendant les ralentissements, continue à tourner sous l'effet de son énergie cinétique ; il faut donc la freiner. Les freins utilisés sont du type à bande. Ils sont réglables suivant le diamètre du conducteur, ce qui n'est qu'approximatif. Après avoir posé cette bobine sur son support et effectué le réglage, il faut vérifier la tension du conducteur en tirant sur celui-ci. Ce freinage a également l'avantage de plaquer le fil contre l'armature de la bobine réceptrice (1).

La tension du conducteur n'est pas constante pendant la durée d'un bobinage ; elle est modifiée par :

- *les ralentissements ;*
- *la forme rectangulaire de certains bobinages ;*
- *l'allègement de la bobine magasin ;*
- *la variation des diamètres des deux bobines.*

(1) Des constructeurs préfèrent utiliser un dévidoir dans lequel la bobine est fixe ; le fil est déroulé par une traction effectuée dans l'axe de la bobine. L'inconvénient résultant de la torsion imposée au fil est compensée très largement par la simplicité de construction (Dévidoir Micafil).

Il est nécessaire d'interposer entre ces dernières une poulie compensatrice qui est installée le plus près possible de la bobine magasin, sur un bras dont l'axe est monté sur un ressort.

Un tour à bobiner doit pouvoir s'arrêter automatiquement, soit à cause d'un incident, soit à la suite d'un réglage.

Les principaux incidents sont :

- *rupture du conducteur* ;
- *fin de la bobine magasin* ;
- *conducteur ayant quitté une poulie de guidage*.

Ces défauts provoquent tous la détente du bras compensateur qui, par un système de tringles, agit sur le levier d'embrayage.

L'arrêt automatique peut être rendu volontaire :

- *en fin de couches*, afin de pouvoir disposer un isolant ;
- *en fin de bobinage*.

Nous avons vu que le chariot guide-fil déplaçait en fin de course la règle porte-butées. On fixe sur cette dernière une came qui déverrouille le levier précité.

De même, en réglant le compte-tours au nombre de spires désiré, on provoque à l'expiration du bobinage l'arrêt de la machine.

1.12. — BOBINES SUR CARCASSES ISOLANTES A JOUES

Les carcasses en matière moulée (résines phénoliques, nylon, rilsan ou carton enroulé et collé) assurent à la fois l'isolation du bobinage par rapport aux circuits magnétiques et la solidité mécanique de la bobine.

1.121. Montage de la carcasse sur le tour à bobiner.

Cette opération est très importante puisque toutes les qualités du bobinage en dépendent.

Le montage doit assurer :

- le *centrage rigoureux* de la carcasse par rapport à la broche sur toute la longueur. L'excentrage ou le non-parallélisme de la carcasse par rapport à l'axe de rotation entraînent un mouvement irrégulier du fil ;
- la *perpendicularité rigoureuse* des joues de la carcasse par rapport à l'axe et le maintien de ces joues par des butées rigides portant sur toute la surface des joues, de façon à permettre le rangement régulier des spires sur toutes les faces et sur toute la hauteur des joues. Une carcasse, dont les joues ne seraient pas maintenues, se déformerait sous la poussée exercée par le bobinage au fur et à mesure de l'avancement du travail ;

— l'absence de glissement de la carcasse par rapport à la broche afin d'obtenir la précision du comptage.

L'ensemble de ces conditions est assuré par le montage indiqué sur la figure 3. Pour les carcasses importantes, il peut être nécessaire d'assurer un entraînement positif de la bobine par un « bonhomme » reliant le plateau du tour et le moule de la bobine. La flexion de la broche peut être combattue par le montage d'une contre-pointe.

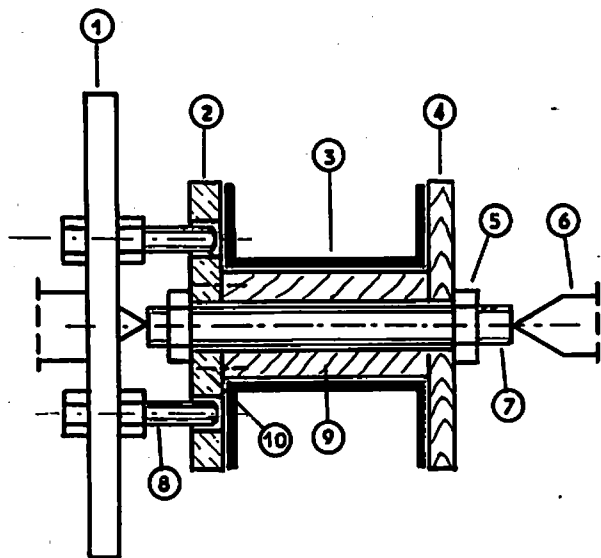


Fig. 3.

1. Plateau du tour.
2. Contre-plateau métallique ou en bois dur.
3. Carcasse isolante.
4. Flasque de serrage.
5. Écrou de blocage.
6. Contre-pointe.
7. Tige filetée servant d'axe.
8. Ergot d'entraînement.
9. Noyau de centrage en bois dur.
10. Liaison mécanique de 2 à 9 par vis à bois.

Le noyau doit être usiné avec soin ; il est réalisé en bois dur, ou, plus rarement, en aluminium. Pour faciliter son démontage, il peut être scié obliquement par rapport à l'axe, ce qui permet de faire glisser les deux parties l'une par rapport à l'autre (fig. 4).

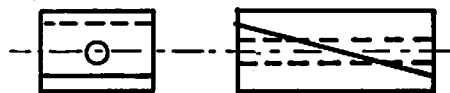


Fig. 4. — Noyau de centrage.

Les carcasses isolantes sont généralement percées de trous sur leurs faces latérales permettant la sortie des différentes prises du bobinage. Le dispositif de serrage doit prévoir un passage pour les fils. Suivant les cas, on emploie des

cales latérales avec des évidements ou des ajours au droit des passages de fils ou des flasques de serrage percés suivant le même gabarit que les carcasses. Cette dernière solution, de par la plus grande rigidité qu'elle apporte à la carcasse, est préférable.

1.122. Préparation des premières spires.

Pour éviter de casser le fil lors des manipulations postérieures au bobinage, il est indispensable d'apporter un soin tout particulier à la réalisation des premières spires. La rupture du fil est particulièrement à craindre lorsque les prises ou entrées du bobinage, au lieu d'être raccordées à des cosses, sont simplement constituées par une certaine longueur de fil qui dépasse de la carcasse (fig. 5). Ce risque est d'ailleurs d'autant plus grand que le fil est plus fin.

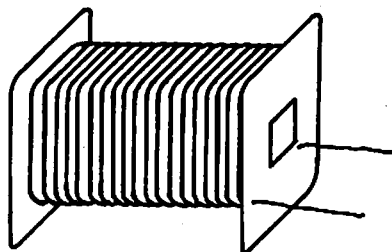


Fig. 5.

Aussi il est recommandé de bobiner la première spire avec un fil souple raccordé par soudure au fil normal de bobinage. Cette précaution devient absolument indispensable lorsque le diamètre du fil se situe en dessous de 0,6 à 0,8 mm. La soudure entre les deux fils est isolée soit par un papier adhésif simplement collé, soit par une gaine isolante en coton souple ou verni (soupliso) (1). La section du fil souple, au moins égale à celle du fil rigide, ne doit pas être inférieure à 0,4 mm² sous peine d'une insuffisance de solidité mécanique.

1.123. Bobinage.

Toutes les directives concernant le montage de la carcasse étant observées, la réussite du bobinage réside dans le bon réglage du tour et l'observation de quelques principes élémentaires de conduite de la machine.

◆ Bobinage en vrac.

Dans quelques rares cas, on procède au bobinage en vrac, c'est-à-dire sans le souci du rangement des spires et de l'isolement entre couches. Cette méthode très rapide ne convient que lorsque le gradient de potentiel entre spires est extrêmement faible et que la place disponible pour l'enroulement est surabondante.

(1) Ce terme provient de la contraction des mots SOUPLE et ISOLANT.

Elle ne nécessite aucun réglage du tour, le fil étant guidé grossièrement à la main de façon à égaliser à peu près l'épaisseur de l'enroulement sur toute sa longueur. La tension du fil est obtenue en serrant le fil à travers les doigts protégés éventuellement par un chiffon. On devra simplement veiller à travailler avec une vitesse à peu près constante et éviter les démarrages ou les arrêts trop brutaux.

◆ **Bobinages à spires rangées.**

C'est de loin le procédé le plus employé, à cause du gain de place qu'il procure, de l'esthétique obtenue et de la meilleure répartition des contraintes diélectriques.

Bien que le guidage du fil puisse encore s'effectuer à la main, comme dans le cas précédent, on préfère utiliser un guide-fil dont le déplacement est commandé par une vis mère. On devra veiller particulièrement aux points suivants :

- *réglage du pas du guide-fil* à une valeur rigoureusement égale au diamètre du fil isolé. Il est bon de vérifier le pas obtenu après réglage sans trop se fier aux indications inscrites sur le tour. Pour les petits pas, cette vérification porte sur un nombre de tours suffisant pour que le déplacement du guide soit appréciable, une centaine de millimètres par exemple ;
- *guidage du fil aussi près que possible* de la carcasse en amenant le dernier galet de guidage presque tangent aux flasques de serrage. On voit d'ailleurs l'intérêt qu'il y a de prendre des flasques dont le diamètre soit juste suffisant pour recouvrir les faces latérales de la carcasse ;
- *réglage du freinage* ou de la pression des serre-fils jusqu'à obtenir le placage du fil contre les faces de la carcasse. Une première couche de spires à faces curvilignes dénote une insuffisance de freinage de la bobine débitrice ou un serrage insuffisant des serre-fils ;
- *mise en vitesse* aussi progressive que possible pour éviter des efforts exagérés sur le fil dus à l'inertie de la bobine magasin ;
- *maintien d'une vitesse* de bobinage aussi constante que possible pour conserver une tension constante de fil.

1.124. Isolation entre couches.

Elle est assurée par du papier disposé entre les couches de spires. L'épaisseur du papier dépend du diamètre du fil et de la place disponible, beaucoup plus que des contraintes diélectriques qui restent très faibles. Pour combattre la tendance naturelle des spires à s'échapper de la couche vers les extrémités, on a intérêt à utiliser du papier cranté sur les bords ; sa largeur est supérieure de 3 mm environ à la largeur intérieure de la carcasse. On trouve dans le commerce des papiers de toutes les qualités, à toutes les largeurs, et dans des épaisseurs variant de quelques centièmes de millimètres à quelques dixièmes de millimètres, crantés ou non crantés.

Le papier est coupé à une longueur telle qu'il y ait recouvrement sur 1 cm environ.

Certaines machines à bobiner sont munies d'un dispositif assurant automatiquement l'isolation entre couches à partir d'un rouleau magasin de papier, sans qu'il y ait intervention de l'opérateur chargé de conduire la machine.

1.125. Exécution des prises intermédiaires.

Pour certains bobinages, on est obligé de prévoir des prises, à des nombres de spires déterminés, pour des adaptations à des circuits de tension ou d'impédance différentes.

Dans le cas de fils très fins (diamètres inférieurs à 0,5 ou 0,6 mm), on a intérêt à raccorder un fil souple sur le fil rigide et à effectuer la sortie en fil souple. Pour les fils plus gros, on peut se contenter d'effectuer une boucle avec le fil et de sortir cette boucle après l'avoir torsadée sur elle-même (fig. 6). Les sorties s'effectuent par les trous percés sur les joues latérales. Il faut éviter de faire remonter les fils à l'intérieur de la carcasse entre le bobinage et les joues puisque cette disposition amène des difficultés pour la suite du bobinage et nécessite une isolation renforcée du fil de sortie par rapport aux autres couches de spires contre lesquelles il doit passer. L'isolation se fait soit avec une gaine souple, soit avec une simple languette de papier repliée.

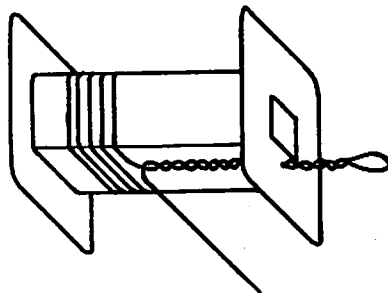


Fig. 6.

1.126. Arrêt des dernières spires.

Cette opération est très importante, puisque l'on risque de voir se dérouler les spires si elles ne sont pas arrêtées. Suivant le diamètre du fil on emploie :

- un *papier adhésif* posé simplement sur la dernière couche de spires ;
- *quelques gouttes de vernis* à séchage très rapide ou de cire fondue ;
- un *ruban sergé* ou un *ruban jaconas* replié sur lui-même et pris sous les dernières spires comme l'indique la figure 7.

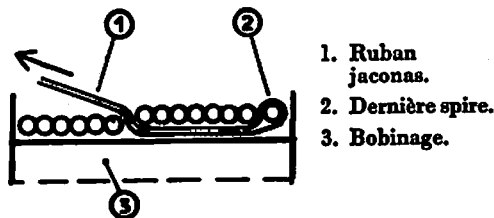


Fig. 7. — Fin du bobinage.

1.127. Liaison des sorties

Les différentes prises sur le bobinage peuvent être sorties sur des fils souples, munis en bout de cosSES ou d'œilleTS, ou ramenées sur des cosSES rivées à la carcasse (fig. 8).

Dans quelques rares cas, on peut remplacer les cosSES par des bornes ou un système quelconque de contacts.

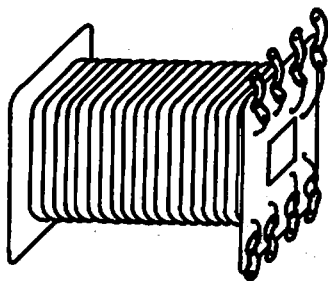


Fig. 8.

1.13. — BOBINES SANS CARCASSE

L'exécution des bobines inductrices qui ne possèdent pas d'armature et qui sont réalisées en fil fin, donc peu rigide (tel que les inducteurs des petits moteurs universels ou les inducteurs dérivations des machines de faible puissance), exige des précautions supplémentaires :

- *maintien des conducteurs pendant le bobinage*, en employant un gabarit ;
- *fixation temporaire des conducteurs pendant le démontage du gabarit et avant l'enrubannage* ;
- *fixation de l'ensemble par un enrubannage et une imprégnation*.

1.131. Gabarit.

C'est une armature démontable en bois dur comprenant :

- un noyau central en deux pièces de manière à faciliter le démontage ;
- deux jours présentant des saignées pour le passage des liens et des trous permettant le montage de l'ensemble sur le tour (fig. 9).

Pour adapter ces gabarits au tour, un dispositif de fixation et d'entraînement doit être aménagé. Pour des raisons précédemment évoquées, ce dispositif doit être monté avec soin.

1.132. Bobinage.

Le gabarit étant placé sur le tour :

- disposer les liens (chutes de fil ou de ficelle) dans les saignées et rabattre leurs extrémités contre les bords extérieurs des joues ;
- introduire l'extrémité du conducteur dans un trou pratiqué à cet effet et, toutes les opérations connexes étant réalisées, embrayer le tour ;
- plaquer le conducteur sur le noyau, la première spire contre une joue. Si le travail est satisfaisant, augmenter la vitesse et réaliser ainsi la première couche.

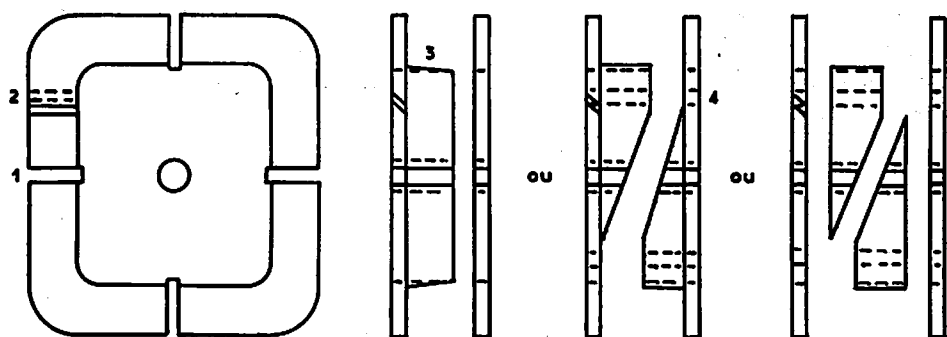


Fig. 9. — Gabarit pour bobinage d'un inducteur.

1. Saignée pour le passage des liens.
2. Saignée pour le passage du conducteur du début.
3. Légère conicité.
4. Trou d'assemblage.

1.133. Isolation entre couches.

Elle est facultative ; toutefois on peut la réaliser :

- au *papier kraft* ou *cristal* avec une bande à bords crantés et légèrement plus large que l'épaisseur du noyau ;
- au *papier japon* de même dimension que le noyau et à bords non crantés. Afin d'éviter le glissement des conducteurs sur le papier, on doit l'enduire de colle (gomme laque).

1.134. Fin de bobinage.

Toutes les couches étant exécutées, l'opérateur doit :

- assembler les différentes spires avec les liens passés au début du bobinage ;
- couper le conducteur ;
- démonter le gabarit.

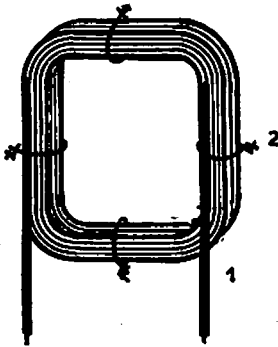


Fig. 10.

1. Fil souple ou gaine.
2. Lien provisoire.

Afin d'éviter toute perte de temps lors d'un prochain rebobinage, il est utile de remonter le gabarit sitôt après son démontage et de le ranger à sa place habituelle ;

- souder un fil souple d'un diamètre approprié à chaque extrémité.
- isoler l'épissure avec un soupliso (fig. 10).

1.135. Enrubannage.

La bobine ainsi exécutée présente des défauts :

- conducteurs ayant tendance à se dérouler ;
- mauvaise rigidité mécanique de l'ensemble due au foisonnement des conducteurs ;
- aucune protection mécanique ;
- pénétration des poussières et des agents chimiques.

Ces inconvénients sont supprimés en recouvrant la bobine par un ruban ; toutefois, celui-ci doit tenir le moins de place possible.

Sa mise en place, à la main ou à la machine, peut se concevoir :

- à recouvrement en recouvrant à chaque tour la moitié de la largeur du ruban précédemment enroulé ;
- sans recouvrement ; dans ce cas le jaco nas (1) ne chevauche pas la spire précédente et le pas de l'enrubannage est égal à la largeur du ruban.

◆ Enrubannage à la main (fig. 11).

L'ordre des opérations successives peut se résumer ci-dessous :

- Couper le ruban à la longueur désirée.

(1) Nom donné à un ruban de coton tissé en droit fil. On emploie également un ruban plus épais tissé en serge et appelé pour cette raison ruban sergé.

— Replier une extrémité sur un morceau de presspahn (1) servant d'aiguille et glisser l'ensemble entre les spires. Tirer le ruban passé, le défroisser et rouler la plus courte extrémité sur la bobine, puis faire trois ou quatre tours.

— Procéder ensuite à l'enrubannage en commençant à recouvrir le jaconas déjà enroulé. Tirer à chaque tour de façon à bien serrer les conducteurs et veiller à la régularité de l'enrubannage. Porter un soin particulier aux angles où le ruban doit bien plaquer.

— Emprisonner les épissures et les fils de sortie sur 3 ou 4 cm de façon à leur assurer une bonne résistance mécanique.

— Faire ainsi tout le tour de la bobine et recouvrir encore sur quelques centimètres. Effectuer une boucle, y passer l'extrémité du ruban, le tirer en évitant de le froisser, le coller et couper son excédent.

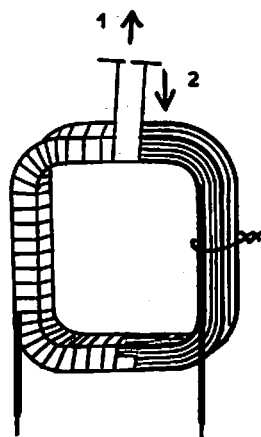


Fig. 11. — Enrubannage à la main.

1. Tirer sur le jaconas.
2. Presser sur la bobine.

◆ Enrubannage à la machine (fig. 12).

Lorsque les dimensions le permettent les bobines peuvent être enrubannées à la machine. Cette dernière comprend une couronne en fer plat sur laquelle un goujon supporte le rouleau de jaconas. Une ouverture dans la couronne permet le passage de la bobine. Par sa rotation, la couronne entraîne le ruban dont une extrémité s'enroule autour de la bobine. La vitesse est réglée par une pédale et l'opérateur doit veiller à la régularité de l'enroulement.

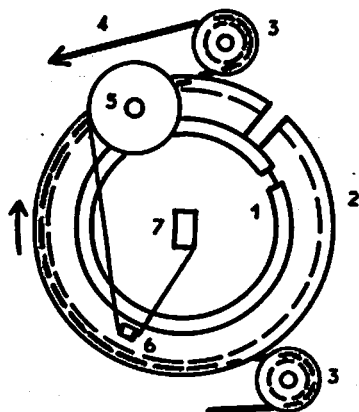


Fig. 12. — Enrubanneuse.

1. Couronne fixe.
2. Couronne mobile.
3. Poulie.
4. Courroie.
5. Jaconas.
6. Frein du ruban.
7. Section à enrubanner.

(1) Isolant à base de carton.

1.2. — ENROULEMENTS D'EXCITATION SUR POLES SAILLANTS

(Bobinages des inducteurs série et des pôles de commutation).

Ces enroulements exigent des conducteurs de section élevée ; ils peuvent être exécutés en fil rond ou en conducteur méplat.

1.21. — BOBINAGES FIL ROND

Deux cas peuvent se présenter :

- le nombre de bobines à exécuter étant assez élevé, l'emploi d'un gabarit est nécessaire ;
- ce nombre étant assez faible (cas d'un rebobinage), la bobine est formée sur un mandrin.

1.211. *Bobinage sur un gabarit.*

La méthode d'exécution se rapproche de la précédente. Elle diffère par :

- les dimensions importantes du gabarit ;
- la forme de la bobine déroulée qui peut être une couronne et exiger l'emploi d'un tourniquet.

Le conducteur est mis en forme au maillet, avec, au besoin, l'interposition d'une cale en bois ou en fibre pour éviter de détériorer l'isolant sous le choc. Le tour utilisé doit avoir une vitesse lente puisqu'il faut l'arrêter à chaque quart de tour.

Les bobines terminées, on exécute les sorties en soudant un fil souple (ou une cosse) et l'on procède à l'enrubannage.

1.212. *Bobinage sur mandrin (fig. 13).*

Ce bobinage est effectué sur un noyau en bois, démontable, sans joue ; il exige un tour à broche. Les conducteurs n'étant pas soutenus pendant l'exécution ont tendance à glisser ; ils sont maintenus par des rubans primitivement fixés sur le noyau par des punaises. Ces rubans sont ensuite rabattus, en alternant leur sens de pliage au fur et à mesure de l'avancement du bobinage (fig. 14).

Il est possible d'exécuter des inducteurs en gradins. Pour augmenter la rigidité de l'ensemble, les bobines enrubannées sont imprégnées d'un vernis à la gomme laque.

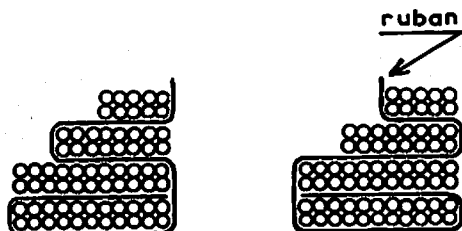
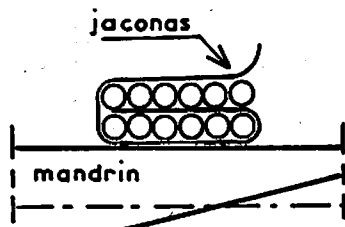


Fig. 14. — Inducteur en gradins.
Remarquer l'alternance des rubans.

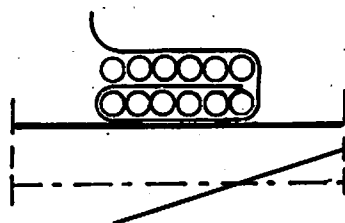


Fig. 13. — Bobinage sur mandrin.
Remarquer l'alternance du ruban.
Le mandrin est en 2 parties pour faciliter le démontage.

1-22. — BOBINAGES EXÉCUTÉS AVEC UN CONDUCTEUR MÉPLAT

Lorsque l'intensité de fonctionnement est assez élevée le conducteur employé est un méplat.

Les difficultés à résoudre proviennent de sa mise en forme, son isolation, l'exécution des sorties.

La façon de plier les barres dépend de la forme à donner aux enroulements.

◆ Pour exécuter une bobine plate (cas des inducteurs série des machines compound).

Le conducteur est plié à plat (fig. 15). Sa mise en forme offre peu de difficultés, seule la sortie du conducteur intérieur est à étudier et à préparer avant

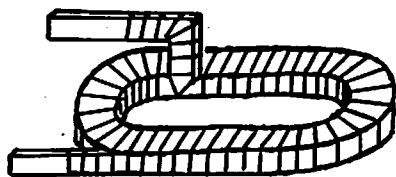


Fig. 15. — Inducteur méplat plié à plat.

le pliage si possible. Elle peut être réalisée avec un câble souple ou un méplat, brasé à l'étain, rivé ou brasé (fig. 16).

Dans le cas où le conducteur à souder générerait la mise en forme, il serait raccordé après le bobinage.

Le pliage s'effectue sur un gabarit, en bois pour une réparation, métallique pour une série ou un travail fréquent (fig. 17). L'isolation entre spires est réalisée, lorsque le métal est nu, par une feuille de papier de même largeur que le méplat et posée au fur et à mesure de l'avancement du bobinage. Celui-ci terminé, un enrubannage assure protection et solidité à la bobine.

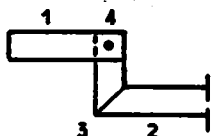


Fig. 16.

Exemple d'une sortie d'inducteur.

1. Sortie.
2. Méplat plié à plat.
3. Brasure.
4. Rivetage et soudure.

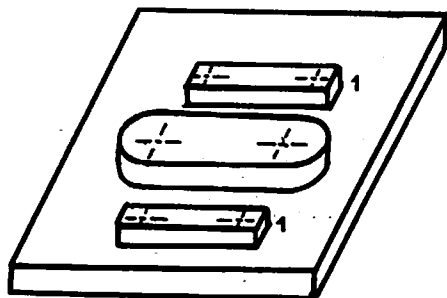


Fig. 17.

Gabarit — en bois ou métallique — employé pour l'exécution d'un inducteur plat.

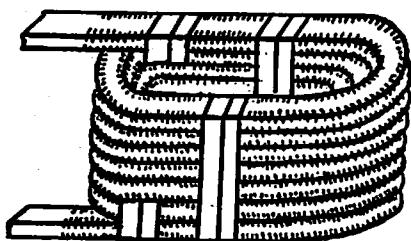


Fig. 18. — Inducteur méplat plié sur champ.

♦ Les bobines longues (fig. 18) se réalisent en coudant les barres sur champ, opération délicate demandant une certaine habileté et exigeant les précautions suivantes :

- éviter les déformations, en maintenant la barre pendant sa torsion ;
- éviter la formation de criques et l'amincissement du métal dus à un rayon de cintrage trop petit.

La mise en forme s'effectue sur un mandrin (en bois ou en métal) placé sur un tour horizontal. Deux couronnes — l'une fixe, l'autre mobile — coincent

la barre pendant son pliage et évitent une malformation (fig. 19). Le méplat est enrubanné pendant sa mise en forme ; le bobinage terminé, quelques tours de jaconas tassent les spires les unes contre les autres.

Des machines spéciales permettent de couder les méplats, soit à plat, soit sur chant, mais elles sont peu employées du fait de la rareté de ces travaux.

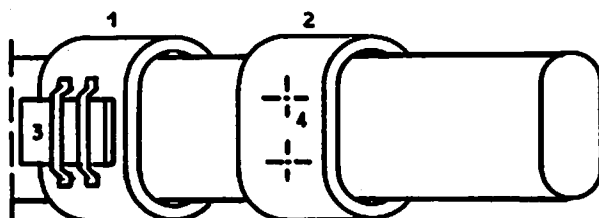


Fig. 19. — Montage réalisé pour bobiner l'inducteur.

1. Couronne fixe.
2. Couronne mobile.
3. Plaque coulissante servant à plaquer le conducteur.
4. Vis de blocage.

1.3. — ENROULEMENTS LOGÉS DANS DES ENCOCHES

1-31. — INFLUENCE DE LA FORME DES ENCOCHES SUR LES PROCÉDÉS DE BOBINAGE ET LA DISPOSITION DES BOBINES

La façon d'opérer varie :

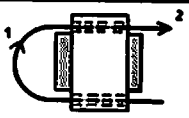
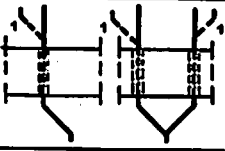
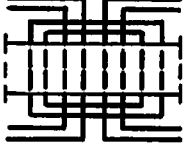
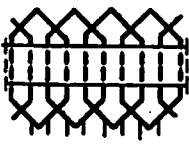
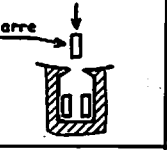
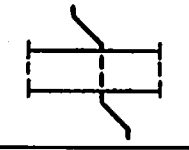
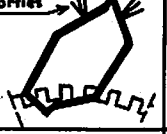
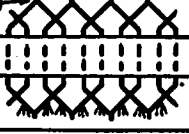
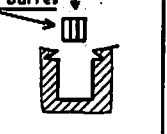
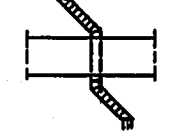
- ◆ Suivant la forme des encoches : fermées, à ouvertures réduites, ouvertes.
- ◆ Suivant la nature du conducteur : fil rond (assez souple), barre (rigide).

Mais, dans tous les cas, on doit respecter les conditions suivantes :

- avoir un *isolement aussi élevé que possible* entre les conducteurs et la masse, ainsi qu'entre les conducteurs de phases différentes ;
- *disposer convenablement les conducteurs* de façon à augmenter leur nombre et, par là, la puissance de la machine ;
- assurer aux conducteurs une rigidité mécanique satisfaisante et une sécurité pendant le fonctionnement de la machine ;
- assurer l'esthétique du travail.

Le tableau II indique les différents types d'enroulements logés dans les encoches, et le tableau III résume les cas d'emploi les plus fréquents.

TABLEAU II. — Enroulements logés dans des encoches.

Type de l'encoche	Type du conducteur	Type du bobinage	Schéma frontal	Plan ou panoramique	Observations
Fermée	Fil	A fil tiré ou par enfilade			1. Fil poussé par l'ouverture. 2. Fil tiré.
	Méplat barre	En manteau			1. Côté rabattu après la pose.
A ouverture réduite	Fil	A fil passé			1. Fil passé par la fente de l'encoche.
		A plans			Le fil est égrené par la fente de l'encoche. On voit les 2 plans distincts.
		A bobines enchevêtrées			A fil égrené.
	Méplat barre	En manteau			Les barres sont posées l'une après l'autre.
Ouverte	Fil	A bobines préfabriquées En manteau			La bobine est introduite en une seule opération.
	Méplat barre	En manteau			Les barres liées en faisceau sont introduites en une seule opération.

1.311. Machines à encoches fermées.

◆ Le conducteur est un fil.

Celui-ci ne peut pénétrer que par les extrémités des encoches ; il est donc introduit par enfilade. Les têtes de bobines sont formées sur des gabarits en bois disposés sur les faces latérales des tôleries.

◆ Le conducteur est une barre.

Les barres sont également introduites par les extrémités des encoches, leurs formes définitives ne pouvant être données qu'après leur mise en place. Pour faciliter le travail, la partie la plus difficile à exécuter est coudée avant leur pose. Parfois, deux barres sont couplées, l'ensemble ayant la forme d'un U.

1.312. Encoches à ouverture réduite.

Dans ce cas le bobinage est plus aisé ; les conducteurs peuvent être introduits par la fente des encoches.

◆ Le conducteur est un fil.

Plusieurs solutions peuvent être adoptées.

— *Bobinage à la main ou à fil passé.* Sur les machines de faible puissance, les sections sont directement formées sur le circuit magnétique et des gabarits donnent une forme convenable aux chignons.

— *Bobinage à bobines préfabriquées.* Les bobines ou les sections, faites sur un tour, sont introduites, fil à fil, par la fente des encoches ; la forme générale des sections leur avait été donnée lors de leur confection. Ces sections peuvent être de forme :

- rectangulaire : cas des bobinages à plans ;
- hexagonale ou trapézoïdale : bobinage enchevêtré.

◆ Le conducteur est une barre.

Si la largeur de la fente le permet, les barres, complètement mises en forme, sont introduites, une à une, par cette fente ; sinon on les introduit en bout.

1.313. Machines à encoches ouvertes.

Les conducteurs (fil rond ou barre) sont mis à leur forme définitive sur des gabarits. Ils sont enrubannés ensemble de manière à former un faisceau avant d'être introduits en bloc par l'ouverture des encoches.

TABLEAU III

Nature des conducteurs	Forme du bobinage	Type d'exécution	Applications
Fil rond ou méplat.	A plans.	A la main fils tirés.	<i>B.T., H.T., stator, rotor.</i>
		A la main, fils passés.	<i>B.T., H.T., stator, rotor.</i>
		Bobines préparées fermées. — entrées fil à fil; — entrées en bloc.	<i>B.T., H.T., stator, rotor.</i> <i>B.T., H.T., stator.</i>
		Bobines préparées ouvertes en U.	<i>B.T., H.T., stator.</i>
	Enchevêtrés.	A la main.	<i>Induit.</i>
		A bobines gabariées : concentriques. entières. demi-bobines. — enroulées directement à forme définitive. — navettes étirées. — à jeux d'éléments.	<i>B.T., stator.</i> <i>B.T., stator, rotor.</i> <i>B.T., stator, rotor, Induit.</i> <i>B.T., H.T., stator, rotor, induit.</i> <i>Rotor.</i>
Barres.	Barre simple.		<i>Stator B.T.H.</i> <i>Rotor Induit.</i>
	Sections en barre.		<i>Rotor. Induit.</i>

1.32. — ISOLATION DU FER

1.321. Généralités.

◆ **Qualités des isolants (Voir le tableau IV).**

Les isolants utilisés varient suivant la classe d'isolation et les traditions des constructeurs

◆ **Conditions à respecter dans l'isolation des machines.**

On doit veiller :

- à recouvrir toutes les masses magnétiques qui pourraient être en contact avec les conducteurs, et, ceci, sans fermer les canaux de ventilation ;
- à renforcer l'isolation aux points dangereux, c'est-à-dire aux angles saillants des circuits magnétiques ;
- à ne pas froisser ni déchirer les isolants.

TABLEAU IV

Conditions à réaliser	Qualités
Assurer un isolement aussi élevé que possible sous une très faible épaisseur.	<i>Grande rigidité diélectrique.</i>
Se former facilement de façon à épouser toutes les formes des encoches.	<i>Souplesse.</i>
Ne pas se déchirer. Être difficilement froissable.	<i>Grande solidité mécanique.</i>
Ne pas se déformer et perdre leurs qualités sous l'action de la chaleur. Être ininflammable.	<i>Résister à une température assez élevée.</i>
Ne pas garder l'humidité.	<i>Non hydrophile.</i>
Ne pas accrocher le conducteur. Faciliter sa pose.	<i>Lisse.</i>

1.322. Isolation des faces latérales.

Ces faces étant accessibles, l'isolation s'en trouve facilitée. On utilise des matériaux rigides et assez épais (presspahn, fibre ou matière moulée).

Pour une machine ne présentant pas d'épaulement à la base des encoches, les constructeurs emploient des rondelles en carton, ou en matière moulée ayant la forme exacte du circuit magnétique et servant de support aux extrémités des caniveaux d'encoche.

Dans la réparation on découpe des couronnes affleurant la base des encoches et recouvrant tout le circuit magnétique, sauf les dents des encoches. Ces couronnes peuvent être enrubannées ; elles sont maintenues par collage ou attachées par des ficelles passées dans les encoches et les canaux de ventilation.

Si la machine présente un épaulement à la base des encoches on y dispose une bande de presspahn enroulée à plat jusqu'à affleurer la base des encoches. (Tableaux VI, VII).

1.323. Isolation des encoches.

L'isolant doit protéger les conducteurs, non seulement dans l'encoche, mais à leurs sorties sur une longueur de :

- 2 à 3 mm pour un petit circuit ;
- 5 à 10 mm pour une machine plus puissante.

Les encoches peuvent avoir une forme complexe et leurs points dangereux se situer aux endroits suivants :

- à l'intérieur, où une tôle peut dépasser ;
- aux extrémités qui présentent un angle saillant ;
- aux bords de leurs fentes qui peuvent présenter des aspérités.

On doit veiller à respecter les conditions suivantes :

- employer des isolants très souples ;
- placer contre les tôles un matériau ayant une bonne résistance mécanique ;
- renforcer l'isolation aux extrémités des encoches en repliant un isolant ;
- dans le cas d'une machine à encoches non fermées, vérifier l'état des bords des fentes et passer, s'il y a lieu, une lime fendante sur ces bords. Laisser dépasser l'isolation de ces fentes afin de protéger les conducteurs pendant leur mise en place.

◆ Isolation des encoches d'un stator.

— *Machines à basse tension.*

Les tableaux V et VI précisent les principaux modes d'isolation.

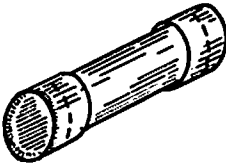
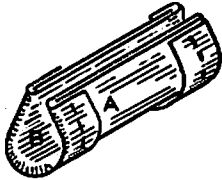
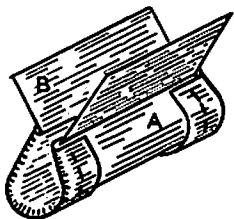
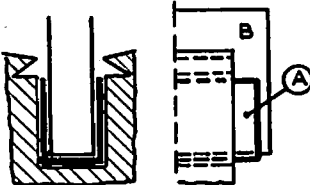
— *Machines haute tension.*

En raison des contraintes diélectriques élevées, l'isolation du fer doit être particulièrement soignée. Les isolants employés, de la classe B, sont à base de mica.

Les encoches fermées sont isolées par un tube de micafolium préparé de la façon suivante. Le micafolium est coupé à la largeur du fer augmentée d'une partie hors fer dont la longueur dépend de la tension. Il est ensuite enroulé à chaud, autour d'un moule, sur la machine à gainer jusqu'à un serrage convenable. La gaine est ensuite placée dans une presse chauffée, comprimée jusqu'à la cote définitive et refroidie à l'intérieur de la presse. Le tube doit entrer à frottement doux dans l'encoche. Les opérations doivent être conduites de telle sorte qu'aucune inclusion d'air ne soit possible, sinon il en résulterait une ionisation pouvant amener la destruction de l'isolant. Le nombre de couches de micafolium doit donc être déterminé très exactement d'après l'épaisseur finale à obtenir, elle-même fonction de la tension. Un nombre de couches insuffisant entraîne un serrage trop faible et des inclusions d'air ; au contraire, des couches en trop grand nombre provoquent au serrage le refoulement et la cassure des paillettes de mica et, par suite, une diminution des caractéristiques diélectriques.

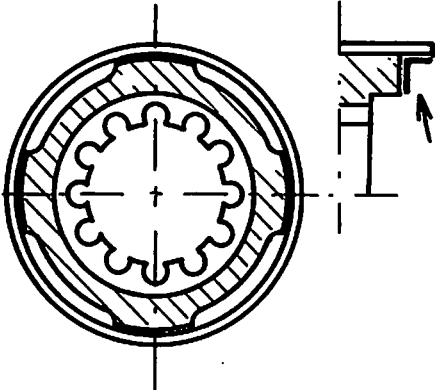
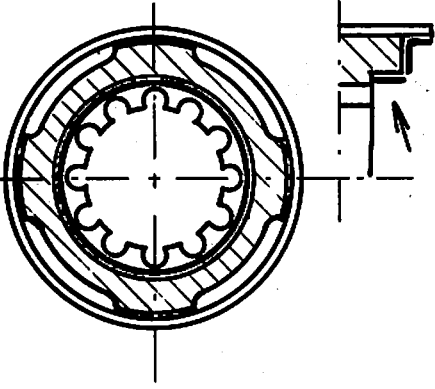
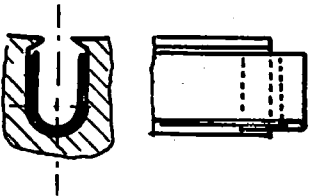
Pour les bobinages à plans, à bobines entrées fil à fil, les caniveaux sont réalisés en forme de U, en micatex avec une ou deux couches suivant la tension.

TABLEAU V

Encoches	Matériaux	Schémas
Fermées	Caniveaux aux dimensions de l'encoche, ou feuille faisant plusieurs tours.	
A ouverture réduite	Feuille A - contre les tôles : 4/10. Feuille B - contre la bobine : 2/10. Le pointillé indique les extrémités des encoches.	
	Identique au précédent. La feuille B sera coupée en fin de bobinage.	
Ouvertes		
Les matériaux sont donnés à titre indicatif. Les dimensions des différentes feuilles peuvent être déterminées facilement.		

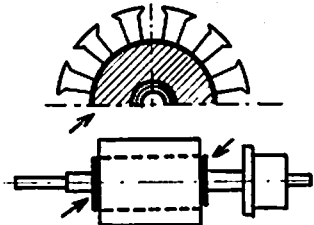
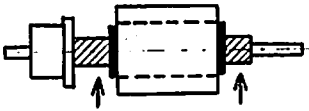
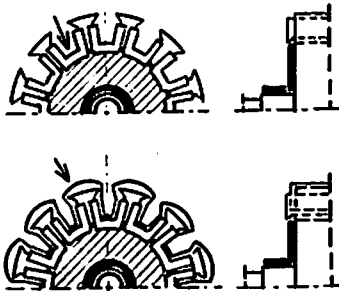
Les bobines fermées entrées en bloc et les bobines ouvertes en U sont gainées au micafolium sur leurs parties droites. La préparation et l'isolation de l'encoche deviennent inutiles ; tout au plus, peut-on prévoir une bande de presspahn évitant le frottement direct de la gaine sur le fer.

TABLEAU VI. — Isolation d'un stator.

Nos	Parties à isoler	Schémas	Observations
1	Face latérale des tôles		Rondelles en pressapahn recouvrant les tôles sans boucher les canaux de ventilation. Elles peuvent être enrubannées ou repliées sur la carcasse. En construction on emploie des supports découpés au même gabarit que les tôles. La forme des encoches a été volontairement simplifiée.
2	Epaule-ment à la base des encoches		Bande en pressapahn faisant plusieurs tours.
3	Encoches		Voir tableau V réservé à cet effet. L'isolation doit être renforcée à la sortie des encoches.

Un procédé mis au point ces dernières années consiste dans un enrubannage continu des bobines ou barres et un traitement thermique complet avant mise en place dans les encoches (procédés Thermalastic de Jeumont, Micadur de B.B.C.-C.E.M.). Les isolants utilisés sont à base de mica, verre textile, élastomères de silicone.

TABLEAU VII. — *Isolation des petits induits.*

Nos	Parties à isoler	Schémas	Observations
1	Face latérale des tôles.		Rondelles en presspahn ou fibre devant affleurer la base des encoches. Les constructeurs emploient des rondelles découpées au même profil que les tôles, et qui protègent parfaitement les caniveaux isolants d'encoches.
2	Arbre.		5 ou 6 tours de jaconas, toile huilée ou ruban adhésif.
3	Encoches.		Rectangle isolant souple devant dépasser de 2 à 3 mm des faces latérales. Evaser la partie hors de l'encoche sans la déchirer. Bande continue de toile huilée devant avoir pour longueur 9 fois le diamètre de l'induit et pour largeur la longueur de l'encoche + 4 mm.

◆ Isolation des encoches des petits induits (voir tableau VII).

Pour ces petites machines on peut procéder comme suit :

- isoler chaque encoche par un leathéroïd assez souple qui doit dépasser de 2 à 3 mm des faces latérales des tôles (évaser les extrémités sans les déchirer) ;

- *placer une bande continue* de toile huilée autour de l'induit et lui donner la forme des encoches. Cette bande doit avoir une longueur correspondant à 9 fois le diamètre de l'induit ; sa largeur doit être égale à la longueur de l'encoche augmentée de 4 mm environ.

On peut également utiliser des caniveaux en tisolite en veillant à disposer le carton contre le fer.

1.324. Isolation des arbres des induits et des rotors.

Les arbres de ces machines s'isolent en les recouvrant de plusieurs couches de toile collée à la gomme laque ; dans l'isolation des petits induits on utilise le ruban adhésif ou des tubes en matière plastique.

1-33. — PRÉPARATION DES ENROULEMENTS

Afin de réduire le prix de revient par une spécialisation de la main-d'œuvre et de raccourcir les délais de livraison en permettant un chevauchement des opérations, il est indispensable de préparer, chaque fois que c'est possible, les bobines avant leur mise en place dans les circuits magnétiques.

1.331. Bobines entrées fil à fil (tableau VIII page suivante).

S'il s'agit d'un rebobinage, les sections sont confectionnées sur des gabarits rapides à former :

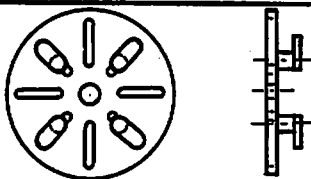
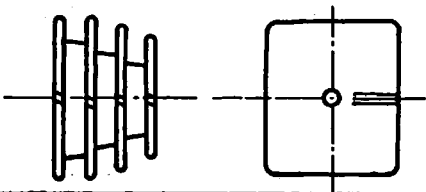
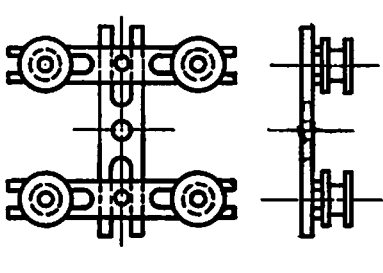
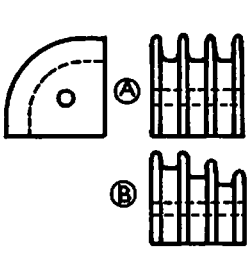
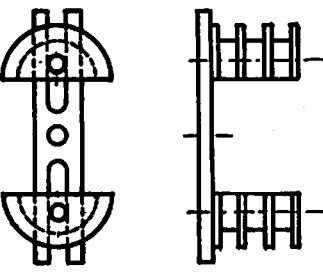
- soit sur le *plateau d'un tour* ;
- soit sur des *montages appropriés*.

Pour une longue série on les réalise soit au tour, soit sur des gabarits en bois analogues à ceux utilisés dans le bobinage des inducteurs, soit sur des gabarits métalliques réglables.

Afin de réduire les connexions à effectuer après la mise en place, toutes les bobines d'un même groupe sont réalisées en même temps. La mise en place est facilitée en cintrant les bobines pour approcher de la forme finale des développantes. Les gabarits réglables sont surtout utilisés pour les bobinages de stator et, plus rarement, pour les induits et rotor qui admettent ce genre de bobinage.

Lorsque le fil est assez souple, il n'est pas nécessaire de fabriquer des sections à leurs formes définitives ; on leur donne seulement un périmètre égal à celui des sections à exécuter. Ces dernières sont ensuite modelées sur le circuit magnétique. Si le conducteur est rigide et difficile à couder à la main, les sections sont confectionnées à leur forme définitive.

TABLEAU VIII. — Différents montages — fer plat et poulies — employés pour l'exécution des bobines.

Sur plateau de tour. Permet toutes les formes de bobines.	
Sur la broche d'un tour. Permet l'exécution en série des bobines de toutes les formes.	
Permet l'exécution des bobines rectangulaires — trapézoïdales ou hexagonales — avec 2 poulies supplémentaires. Les supports de poulies peuvent être liés par des systèmes à réglage rapide constitués par des vis à deux filets et des transmissions à chaîne.	
Sur le même montage en fer plat, on peut utiliser des moules pour obtenir simultanément, toutes les bobines d'un groupe A : bobinage enchevêtré; B : bobinage à plans.	
Permet l'exécution en série des bobines en fil fin — soit de mêmes dimensions, soit de bobines concentriques — avec poulies étagées.	

◆ Relevé des cotes pour l'exécution des gabarits (fig. 20).

On doit relever :

- la longueur de l'arc d'une section prise à mi-hauteur des encoches, en tenant compte des papiers isolants : soit « m » ;
- la longueur des encoches L ;
- leur largeur l ;
- leur hauteur h ;
- éventuellement, la longueur des têtes de bobines.

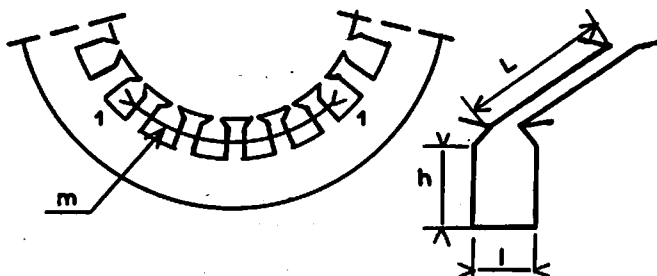


Fig. 20. — Dimensions à relever.
1. Encoches à bobiner.

Les cotes à donner aux différents gabarits sont indiquées sur la figure 21 et le tableau IX.

Une certaine expérience est nécessaire pour déterminer, sans retouches, les cotes des gabarits.

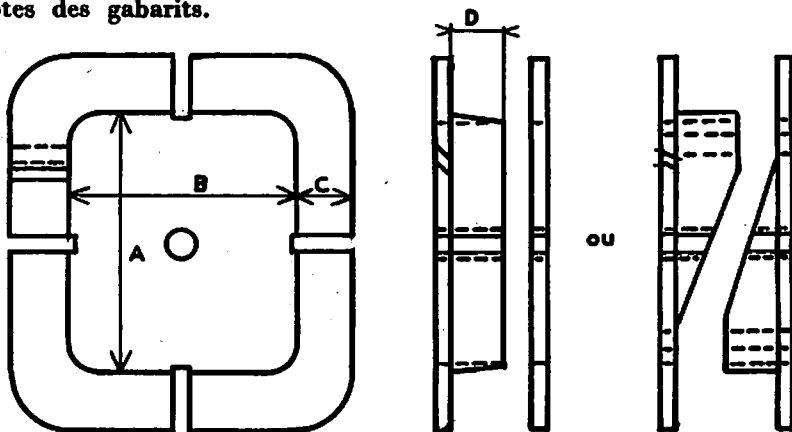


Fig. 21. — Gabarit pour bobinage à plans.

$A = L + 20$ à 30 , premier plan.

$A = L + 40$ à 60 , deuxième plan.

$B = m$.

$C = l + 2$.

$D = h - l$.

TABLEAU IX. — Gabarits pour bobinages enchevêtrés

Forme	Schémas	Cotes
Hexagonale.		$A = L + 20 \text{ à } 30$ $B = m$ $C = m/3$ $D = 2 m/3$ $E = h - 1$ $F = 1 + 2$
Trapézoïdale.		$A = L + 20 \text{ à } 30$ $B = m$ $X = 15 \text{ à } 20^\circ$ $E = h - 1$
Rectangulaire à têtes arrondies		$A = L + 10 \text{ à } 20$ $B = m$ $E = h - 1$

◆ **Exécution des bobines sur le tour.**

Les sections ou les bobines, quelles que soient leurs formes, doivent être exécutées avec le plus grand soin. Pendant leur réalisation on doit veiller :

- à tendre légèrement les conducteurs ;
- à assurer leur parallélisme ;
- à ne pas détériorer leur isolant ;
- à respecter le nombre de spires.
- à donner une certaine solidité aux sections afin d'éviter les chevauchements pendant les différentes manipulations.

Il est bon de les maintenir par des attaches provisoires qui seront enlevées au fur et à mesure de leur mise en encoches.

1.332. Bobines enroulées en navettes puis étirées (fig. 22).

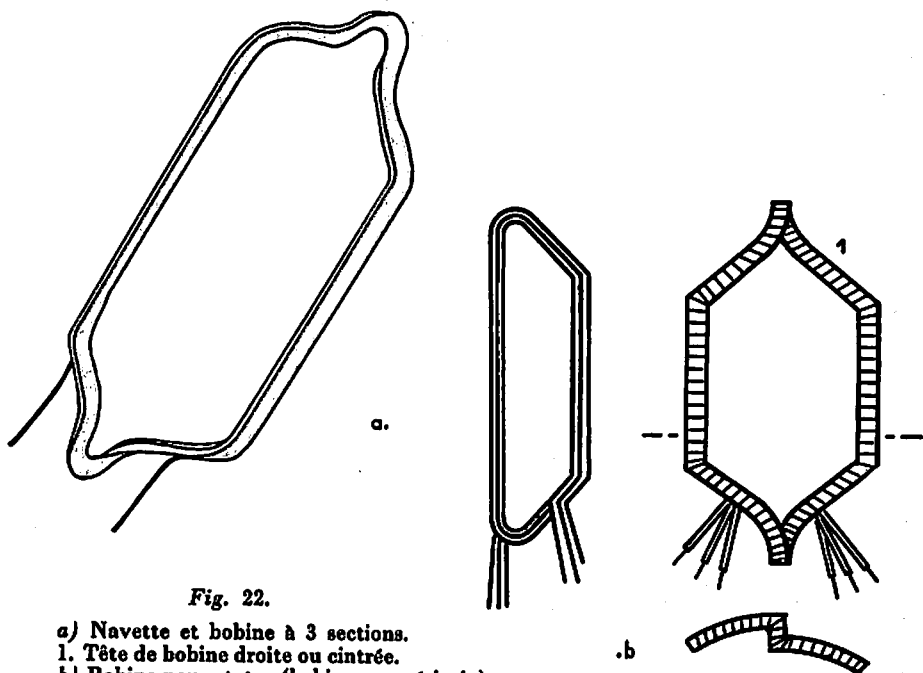


Fig. 22.

- a) Navette et bobine à 3 sections.
1. Tête de bobine droite ou cintrée.
b) Bobine pour stator (bobinage américain).

Ce mode de bobinage s'applique surtout aux induits de puissance moyenne lorsque le conducteur est assez rigide et ne peut être formé à la main. Il s'applique également à certains rotors dont le bobinage se présente sous forme de jeux d'éléments en fil méplat comprenant chacun toutes les spires nécessaires à la formation d'un pôle par phase. On peut également y rattacher les bobines pour stators destinées aux enroulements dits « américains » et dont la préparation est identique à celle des sections d'induits. Les bobines sont fabriquées en plusieurs opérations distinctes.

- *exécution d'une navette*, c'est-à-dire d'une bobine longue, sur un gabarit en bois ou en tôle (fig. 23) fixé sur un tour. Les tensions entre spires pouvant être importantes, on doit veiller au bon rangement du fil. Si on emploie du fil méplat, il faut encore veiller particulièrement au rangement et au serrage du fil afin d'éviter un chantournement qui provoquerait un frottement sur les angles avec détérioration rapide de l'isolant.
- *ouverture de cette navette*, généralement sur la machine à gabarier.
- *facultativement, cintrage des têtes de bobines.*
- *enrubannage.*

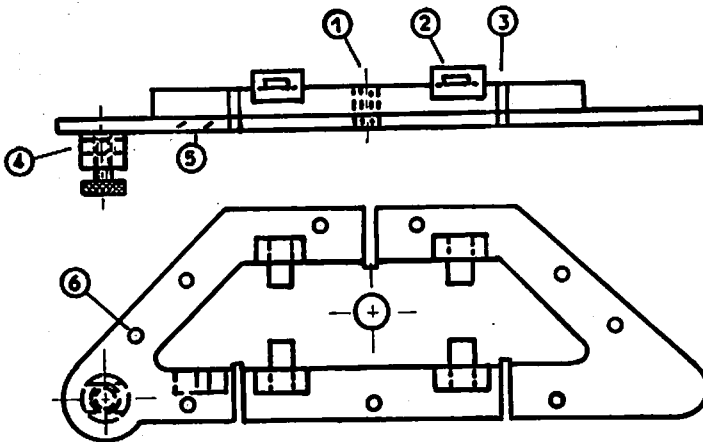
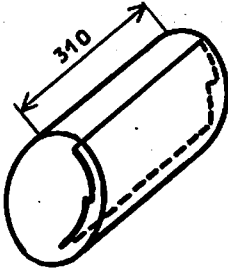
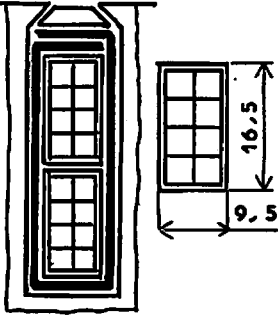
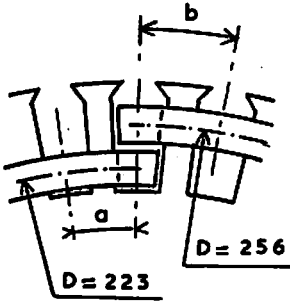


Fig. 23.

Dessin simplifié d'un gabarit métallique de navette pour fabrication en série.

1. Axe du gabarit.
2. Cales réversibles en laiton.
3. Fentes pour passage fil d'attache.
4. Borne serrage conducteurs.
5. Saignée pour passage conducteurs.
6. Trous pour logement cales latérales ou broches.

TABLEAU X. — Détermination des cotes de la spire moyenne.

N ^{os}	Opérations Désignations	Calcul - Remarques	Schémas
1	Description de l'induit. Pas des bobines.	Longueur tôles induit : 310. Diamètre à la base des encoches : 205. Nombre d'encoches : 35. Nombre de pôles : 2. Pas à l'encoche : de 1 à 18, soit 17 dentures.	
2	Description des bobines.	Nombre de conducteurs : 8. Conducteur : à section carrée. Dimension du conducteur nu : 3,5. Dimension avec isolation : 3,9. Isolation : fibre de verre imprégnée aux silicones. Largeur section : 9,5. Hauteur bobine : 16,5. Têtes des bobines : cintrées.	
3	Diamètre des têtes de bobines et pas des dentures.	Diamètre faisceau inférieur : $205 + 16,5 + 1,5 = 223$ (1) Diamètre faisceau supérieur : $223 + (16,5 \times 2) = 256$. Pas denture faisceau inférieur : $a = \frac{223 \pi}{35} = 20$. Pas denture faisceau supérieur : $b = \frac{256 \pi}{35} = 23$. (1) 1,5 pour isolation encoche.	

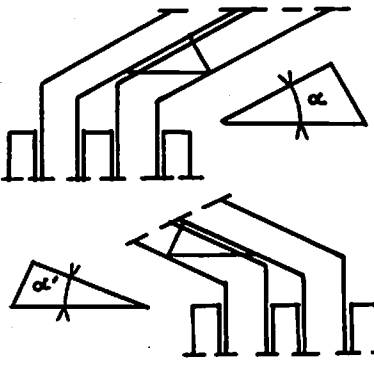
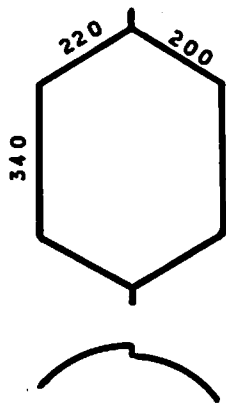
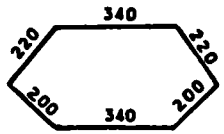
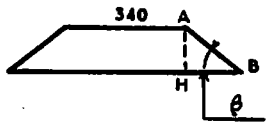
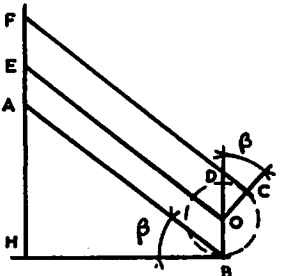
Nos	Opérations Désignations	Calcul - Remarques	Schémas
4	Calcul des angles de rabattement.	Faisceau inférieur : $\sin \alpha = \frac{9,5 + 1}{20} = 0,525 \quad (1)$ d'où $\alpha = 31^{\circ} 40'$. Faisceau supérieur : $\sin \alpha' = \frac{9,5 + 1}{23} = 0,457 \quad (1)$ d'où $\alpha' = 27^{\circ} 10'$. (1) 1 mm pour le jeu entre bobines.	
5	Longueur des têtes de bobines.	Faisceau inférieur : $\frac{20 \times 8,5}{\cos \alpha} = 200.$ Faisceau supérieur : $\frac{23 \times 8,5}{\cos \alpha'} = 220.$	Pour simplifier, supposons que les cocardes sont à mi-distance des encoches d'entrée et de sortie, soit : $\frac{17}{2} = 8,5 \text{ encoches.}$
6	Tracé de la spire moyenne.	Admettons : — que les faisceaux sortent de 15 mm de chaque côté des encoches, — que la longueur de chaque cocarde soit égale à 50 mm. On a : Longueur d'un faisceau logé dans une encoche : $310 + (15 \times 2) = 340.$ Soit longueur de la spire moyenne : $(340 + 200 + 220 + 50) \times 2 = 1620.$ ou 1,62 m.	

TABLEAU XI. — Détermination des cotes de la partie centrale du gabarit.

Nos	Opérations Désignations	Calcul - Remarques	Schémas
1	Tracé de la spire moyenne sans les cocardes.	Après le tracé du gabarit de la spire moyenne nous enlèverons 4 mm pour trouver celui de la spire minimale.	
2	Ebauche de la spire moyenne de la navette sans les cocardes.	$\cos \beta = \frac{200}{220} = 0,909$ d'où $\beta = 24^{\circ} 20'$ $AH = AB \sin \beta = 90,6.$	
3	Exécution des arrondis et allongement de la navette pour compenser la longueur de la cocarde, soit 50 mm.	Admettons un arrondi définitif de 8 mm puisque nous retrancherons 4. $OB = 8 + 4 = 12$ $\widehat{BC} = \frac{24 \pi (180 - \beta)}{360} = 32,6$ $\overline{CD} = OC \operatorname{tg} \beta = 5,4.$ L'extrémité est allongée de : $BC + CD = 32,6 + 5,4 = 38 \text{ mm.}$ Il nous manque donc : $50 - 38 = 12 \text{ mm.}$ AM est augmentée de : $OB + OD$ $OD = OC \times \frac{1}{\cos \beta} = 13,2.$ d'où $HF = 90,6 + 12 + 13,2 \approx 116.$	

Nos	Opérations Désignations	Calcul - Remarques	Schémas
4	Déplacement de O vers O' afin d'allonger le tracé de 12 mm.	Le tracé est allongé de : $BB' + FF'$ $BB' = OO' = CC'$ $FF' = GC = \frac{CC'}{\cos \beta} = \frac{BB'}{\cos \beta}$ d'où : $BB' + \frac{BB'}{\cos \beta} = 12.$ $BB' = 5,7 \text{ mm}$ $HB' = 200 + 5,7 = 205,7.$ $FF' = GC = CC' \operatorname{tg} \beta = 2,5$ $HF' = 115,8 + 2,5 \approx 118.$	$a = 205,7$
5	Tracé de la spire moyenne.	Hauteur : 118. Angles à la base : $24^{\circ} 20'$. Rayon à la base : 12.	
6	Tracé définitif de la partie centrale du gabarit.	Menons une parallèle à 4 mm, c'est-à-dire à une demi-largeur d'une bobine non enrubannée, à l'intérieur du précédent tracé. Les centres des arrondis de la grande base restent fixes. Considérons chaque angle de la petite base. Celle-ci est diminuée de AC. Nous avons : $\widehat{XAY} = B$ $AB = \text{bissectrice } \widehat{YAC}$ $\widehat{ACB} = \frac{B}{2}$ $AC = CB \operatorname{tg} \frac{B}{2} \approx 0,86.$ En définitive nous avons, en arrondissant au mm près : Hauteur : 110. Angles à la base : $24^{\circ} 20'$. Rayon à la base : 8. Epaisseur : 15,5.	$b = 206,5$

◆ Détermination des cotes du gabarit (fig. 23).

Dans les tableaux X et XI nous indiquons les cotes à donner aux gabarits des navettes ; toutefois, comme pour tout gabarit, ces cotes peuvent être sujettes à modifications suivant le type de la machine.

Ce calcul s'effectue en deux phases :

- *recherche des cotes* de la spire moyenne (tableau X) ;
- à partir de ces dernières, *détermination des cotes* à donner à la partie centrale du gabarit ; l'épaisseur de cette dernière est égale à la hauteur d'une bobine moins 1 mm (tableau XI).

Dans le cas d'un rebobinage il est possible de retirer une section ou une bobine et de s'en servir comme modèle pour la confection du gabarit.

◆ Confection et étirage de la navette.

Le tableau XII indique les différentes opérations ainsi que les précautions à prendre.

La machine à gabarier sert à ouvrir les sections à spires fermées ou non. Elle comprend deux fers plats parallèles, l'un fixe, l'autre mobile ; chacun d'eux porte deux profilés en U, en cuivre ou en laiton. Le bord de ces profilés est arrondi afin de ne pas abîmer les conducteurs ; en agissant sur un levier la partie mobile se déplace jusqu'à une butée et ouvre la navette.

En cas de travail en série, il est possible d'équiper un tour à bobiner sur un gabarit permettant à la fois le bobinage de la navette et son étirage sans démontage du tour.

1.333. Bobines ouvertes en U.

Les fils sont coupés à la longueur nécessaire correspondant aux différentes spires et ils sont formés à la main, un à un, sur un gabarit en bois dont la forme correspond exactement à celle que doit avoir la bobine. Chaque spire est maintenue près des angles par des taquets de forme appropriée

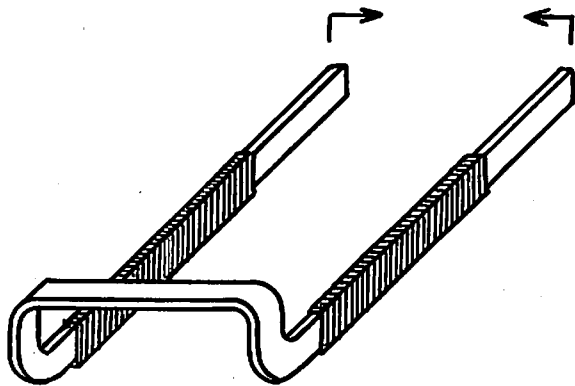


Fig. 24. — Bobine ouverte en U.

Les flèches indiquent les sens dans lesquels les conducteurs seront rabattus après enfilade de la bobine.

pour éviter toute déformation. Une seule des développantes est formée sur le gabarit, l'autre étant formée sur la machine elle-même après introduction de la bobine dans les encoches.

Après mise en forme, on procède à l'enrubannage au jaconas ou au gainage par un ruban de micafolium. La disposition est indiquée sur la *figure 24*.

1.334. Bobines en barres ou fil méplat.

Leur travail a été étudié dans la construction des inducteurs. Rappelons :

- que les *barres doivent être coupées à leur longueur et recuites avant leur mise en forme* ;
- qu'*afin d'éviter les déformations, elles doivent être solidement maintenues pendant leur torsion* ;
- qu'il faut éviter la *formation de criques* et l'*amincissement du métal* dus à un rayon de cintrage trop petit.

Les barres peuvent servir à obtenir différentes sections :

- faisceaux en une ou deux barres ;
- sections en deux barres à une seule spire ;
- sections à deux spires.

◆ Faisceaux en barre (*fig. 25*).

Les barres sont mises en forme sur des gabarits *en bois* pour les parties droites, et, le plus souvent, *en tôle* pour les parties cintrées. Elles sont fixées par des cales.

Les barres peuvent être coudées séparément mais lorsque plusieurs barres doivent être réunies par un enrubannage et former un faisceau — surtout dans le cas d'un enroulement imbriqué — il est plus rationnel de les mettre en forme pendant la même opération.

Le tableau XIII indique la façon d'obtenir un faisceau à deux barres.

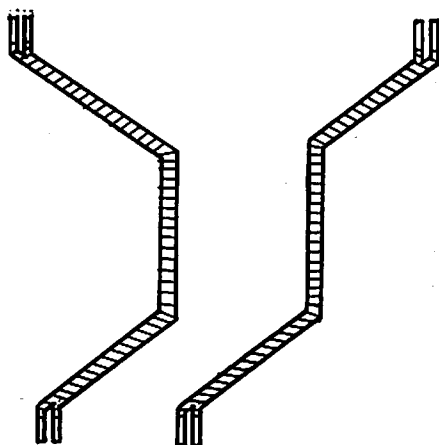


Fig. 25.

Faisceau de deux barres. Les têtes des barres peuvent être droites ou cintrées.

TABLEAU XII. — Confection et étirage de la navette.

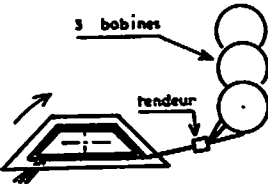
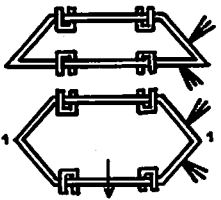
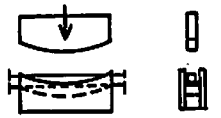
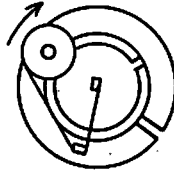
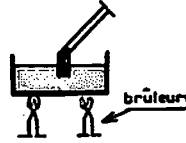
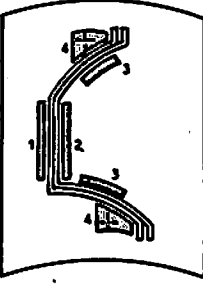
Nos	Opérations Désignations	Schémas	Règles à observer
1	Exécution de la navette. Sur un tour vertical ou horizontal.	 3 bobines tendeur	Plaquer les conducteurs contre le gabarit. Veiller à leur parallélisme. Prendre un soin particulier aux angles où les conducteurs doivent recevoir une isolation supplémentaire. Eviter les malformations.
2	Ouverture de la navette. Sur la machine à gabarier.		Régler correctement l'écartement des profilés et de la butée. Maintenir correctement les conducteurs dans les profilés. 1. Cocarde.
3	Cintrage des têtes de bobines. Facultatif.		Sur gabarit bois ou métallique. Ne pas abîmer les conducteurs.
4	Eurubannage.		Veiller à la régularité de l'enrubannage. Eviter les surépaisseurs.
5	Etamage des extrémités. Au bain.	 brûleurs	Dénuder et gratter les conducteurs. Déposer une fine pellicule de soudure.
Les opérations 3-4-5 peuvent être exécutées dans un ordre différent.			

TABLEAU XIII. — Exécution d'un faisceau à deux barres.

Nos	Opérations Désignations	Schémas	Règles à observer
1	Mise en forme sur gabarit en bois. ou Mise en forme sur gabarit métallique.		Disposer convenablement les cales-gabarits 1 et 2 sur le plateau. Serrer les barres entre 1 et 2. Rabattre les parties coudées du centre. Veiller au parallélisme. Placer les cales-gabarits 3. Former les extrémités. L'écartement entre les extrémités est obtenue en interposant une cale. Facultativement les têtes de bobines peuvent être arrondies sur des gabarits.
			Observer les règles précédentes. Les cales 1-2 et 3 sont soudées sur la tôle et les cales-gabarits 4 sont fixées par vissage.
2	Etamage.		Etamer les extrémités.
3	Enrubannage.		Si les barres sont nues, enrubanner chaque barre. Enrubanner les deux barres ensemble de façon à former un faisceau.

◆ Sections en barres à une seule spire.

Ces bobines sont constituées par un méplat qui effectue une spire non fermée.

Les barres sont d'abord coudées sur chant, en leur milieu, et les différentes formes successives peuvent être données :

- sur des *machines spéciales* ;
- sur des *gabarits* ;
- sur des *machines à gabarier*.

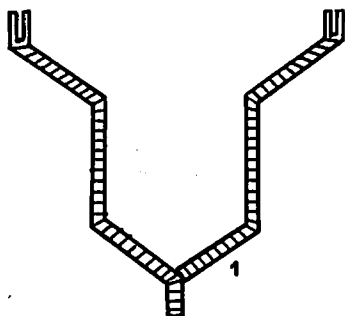


Fig. 26

1. Tête de bobine droite ou cintrée.

Le tableau XIV indique la formation d'une bobine à deux sections d'une spire chacune représentée par la figure 26.

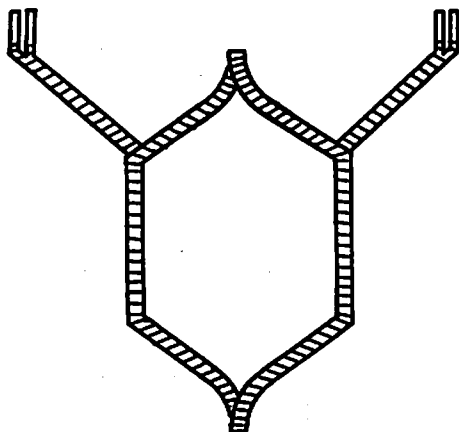


Fig. 27.

Deux sections de deux spires chacune. Les têtes de bobines et les sorties peuvent être droites ou cintrées.

◆ Sections à deux spires (fig. 27).

Elles conviennent au bobinage des induits et leur exécution comprend :

- *bobinage des navettes* sur un gabarit à 3 pivots ;
- *extension des navettes* sur la machine à gabarier ;
- *mise en forme des sorties* ;
- *facultativement, cintrage des têtes de bobines* ;
- *étalage des extrémités* ;
- *enrubannage de la bobine*.

Le tableau XV indique la suite des opérations conduisant à l'exécution d'une bobine à deux sections de deux spires chacune.

TABLEAU XIV. — Exécution d'une bobine à deux sections en une seule barre.

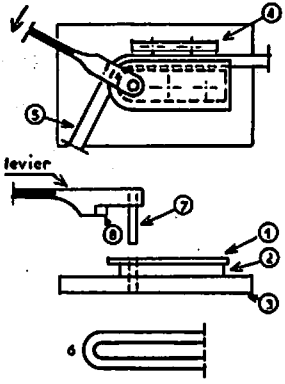
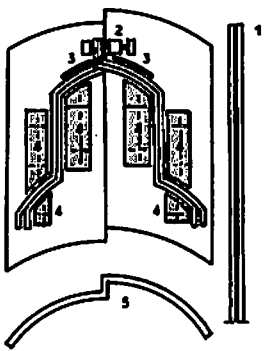
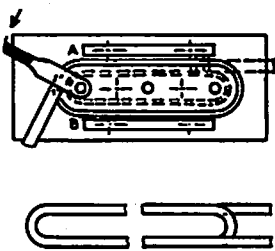
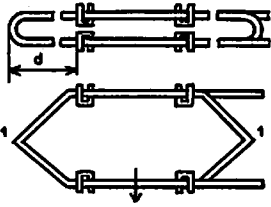
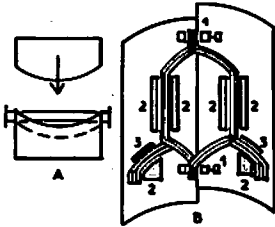
Nos	Opérations Désignations	Schémas	Règles à observer.
1	Cintrage de chaque méplat. <i>Nota. — Pour simplifier le dessin, le rayon de cintrage a été agrandi.</i>		Plaquer le méplat. Eviter son chantournement. Ne pas le marquer; tous les angles doivent être arrondis. Eviter l'amorçage de criques et l'aminçissement du métal. 1. Tôle plaquant le méplat. 2. Tôle gabarit. 3. Tôle support. 4. Cale. 5. Méplat. 6. Méplat courbé. 7. Partie filetée ou non. 8. Partie arrondie.
2	Mise en forme des deux méplats.		Disposer les 2 méplats, plat contre plat et les lier provisoirement. Placer l'ensemble sur le gabarit et le serrer par la partie cintrée. Effectuer la mise en forme en partant de la partie cintrée et en allant vers les extrémités. Les gabarits sont placés au fur et à mesure de leur utilité. 1. Les 2 méplats, côte à côte. 2. Dispositif de serrage. 3. Câle-gabarit soudée. 4. Câle-gabarit vissée. 5. Forme générale du gabarit.
3	Etamage.		Séparer les méplats et étamer les parties à souder.
4	Enrubannage.		S'ils sont en cuivre nu, les enrubanner séparément. Enrubanner les 2 méplats de façon à former un faisceau.

TABLEAU XV. — Exécution d'une bobine avec un méplat de deux sections de deux spires chacune.

Nos	Opérations Désignations	Schémas	Règles à observer.
1	Mise en forme de chaque section sur machine à 3 pivots.		Passer l'extrémité de la barre dans l'ouverture prévue à cet effet. Disposer la cale et la tôle destinées à maintenir le méplat. Effectuer le 1^{er} coude, la partie parallèle B et le 2^e coude. Pour la 2^e spire, placer une tôle de même épaisseur que le méplat entre la tôle support et la tôle supérieure. Effectuer le 3^e coude et la partie parallèle B.
2	Assemblage des différentes sections composant une bobine et ouverture de l'ensemble.		Assembler les différentes sections composant une bobine puis les enrubanner provisoirement. Disposer l'ensemble sur les profilés en réglant soigneusement la distance à préserver. Ouvrir l'ensemble. 1. Cocarde.
3	Cintrage des têtes de bobines et mise en forme des sorties. <i>Nota. — Ces deux opérations sont facultatives.</i>		Soit sur forme A. Soit sur forme B. Dans ce cas : — serrer la bobine par les parties coudées et cintrer les têtes de bobine en allant vers les extrémités ; — placer les gabarits au fur et à mesure de leur utilité. 1. Serrage. 2. Cale vissée. 3. Cale soudée.
4	Etamage.		Etamer au bain les parties à souder.
5	Enrubannage.		Séparer les différentes sections ; si le méplat est nu l'enrubanner. Assembler les différentes sections formant une bobine et les réunir par un enrubannage.

1.335. Cas des machines H.T.

En raison des tensions mises en jeu, la préparation des bobines doit être encore plus minutieuse qu'en B.T. Aux contraintes diélectriques déjà élevées, s'ajoutent les efforts provoqués par les forces électrodynamiques et les à-coups de fonctionnement. Afin d'éviter toute détérioration de l'isolant, les fils doivent être rangés rigoureusement et serrés le plus possible.

Les développantes réclament un soin tout particulier. Afin de réaliser les distances bien déterminées entre les bobines d'une même phase, de phases différentes et par rapport à la masse, le formage des têtes demande une grande précision.

Nous indiquons simplement, par rapport aux machines B.T., les précautions supplémentaires qui s'imposent pour les différents types de bobine.

◆ Bobines fermées entrées fil à fil.

La bobine peut être enroulée sur un gabarit plan et mise en forme après la sortie du tour. Après cintrage des têtes de bobine, les spires doivent se retrouver rigoureusement côte à côte. Il est donc nécessaire de prévoir des développements différents pour les spires des différentes couches. A cet effet, le gabarit comporte, du côté des têtes, des coins en tôle d'épaisseur égale à celle du fil isolé, et en retrait les uns par rapport aux autres. Pendant l'enroulement, les différentes couches sont maintenues par des entretoises. Après l'enroulement, un gabarit en bois est disposé sur les extrémités de la bobine ; après l'enlèvement des coins en tôle, les spires sont redressées contre le gabarit couche par couche (fig. 28, 29, 30).

◆ Bobines fermées entrées en bloc.

Pour les petites dimensions, on peut faire usage du gabarit précédent.

Si les bobines sont de dimensions plus importantes, les difficultés deviennent plus grandes et il est préférable de former les spires à la main, une à une, sur un gabarit en bois dont la forme correspond exactement à celle de la bobine à obtenir. Des taquets sont indispensables pour maintenir correctement les fils près des angles.

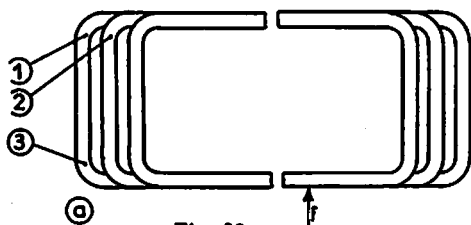


Fig. 28.

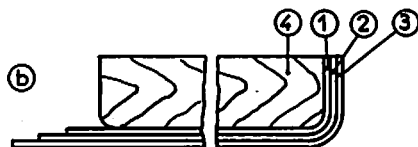


Fig. 29.



Fig. 30.

28 a. Vue de dessus avant formation des développantes.

29 b. Vue suivant la formation d'une développante.

1, 2, 3. Différentes couches de spire.

4. Gabarit en bois.

30 c. Développante terminée.

◆ Bobines ouvertes en U.

Une seule tête de bobine étant à former, le gabarit ne comprend que la partie droite et une extrémité dont la forme doit correspondre à celle de la bobine. Les fils sont coupés à longueur et disposés un par un à la main.

◆ Bobines obtenues par extension d'une navette.

Le travail est identique à celui nécessaire à la formation des bobines B.T., mais le rangement rigoureux des spires est indispensable.

◆ Isolation.

En B.T., les contraintes diélectriques entre spires sont très inférieures à celles que peuvent supporter les guipages du fil et il n'y a pas lieu de se préoccuper de l'isolation. En H.T., lorsque la puissance de la machine exige une section très importante, les pertes par courant de Foucault sont évitées en constituant chaque spire par des conducteurs élémentaires de faible section.

L'isolation d'une bobine destinée à une machine à H.T. devra donc comprendre :

- *l'isolation des fils élémentaires* : bandes de papier ou de micanite dans les parties droites, enrubannage dans les développantes ;
- *maintien des spires par enrubannage* sans recouvrement, en ruban jaconas ou tissu de verre ;
- *l'isolation de la bobine complète*, lorsqu'elle est entrée ou enfilée en bloc dans les encoches.

Deux méthodes sont couramment employées :

- *Isolation par enrubannage continu* sur les parties droites et les développantes, avec un ruban à base de tissu de verre, de mica et d'un liant, ou un élastomère de silicone. Le nombre de couches est déterminé d'après la tension et les différentes couches sont croisées afin d'éviter les points faibles.

- *Gainage à partir d'une bande rectangulaire* de micafolium découpée à la longueur des parties droites et enroulée autour de la bobine sur une machine spéciale.

Certains systèmes peuvent participer des deux méthodes et utiliser à la fois l'enrubannage et le gainage.

Dans tous les cas, la mise à la cote est assurée par des pressages à chaud ; des opérations d'étuvage et d'imprégnation parachèvent le traitement.

1.34. — MISE EN PLACE DES BOBINES

1.341. Bobines formées sur le circuit magnétique.

◆ Bobinage à fils tirés pour stators et rotors.

Nous avons vu que sur une machine possédant des encoches fermées la seule solution est de la bobiner par enfilade ou à fils tirés, le bobinage réalisé étant à plans.

Afin de disposer convenablement les sections, l'encoche doit être isolée et garnie d'aiguilles — c'est-à-dire de chutes rectilignes du conducteur à bobiner — disposées dans l'ordre convenable.

Pour la pose du premier plan, les gabarits doivent être placés de façon à assurer le raccourcissement des têtes de bobines sans gêner la sortie des autres conducteurs ; ils doivent donc affleurer la base des encoches vides et ils sont maintenus par des tiges filetées passées dans ces dernières (*fig. 31*).

Pour réaliser le deuxième plan, les mêmes gabarits sont maintenus par des cales en bois, ou fixés sur une planche, et attachés par des ficelles ou des chutes de conducteur au circuit magnétique des machines.

Le fil de bobinage est coupé à la longueur d'une section pour faciliter son glissement ; s'il est isolé au coton, celui-ci est paraffiné. Sa mise en place est réalisée par deux ouvriers disposés de part et d'autre de la machine, l'un tirant le fil, l'autre le poussant, chacun d'eux formant une tête de bobine ; à chaque passage le conducteur prend la place d'une aiguille. Les aiguilles peuvent être remplacées par deux cales en forme de triangle effilé et disposées de façon à tasser le fil au fond de l'encoche (*fig. 32*).

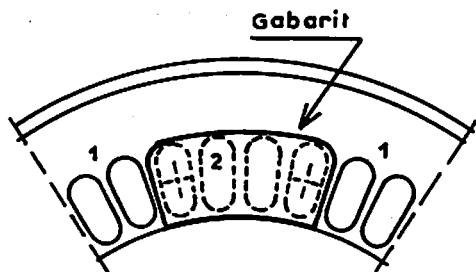


Fig. 31.

Le gabarit doit affleurer le bord supérieur des encoches.

- 1. Encoches à bobiner.
- 2. Encoches vides.

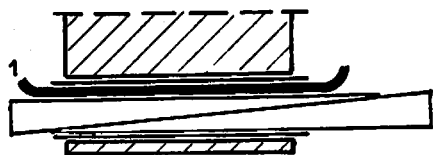


Fig. 32.

Cales permettant de tasser les conducteurs.

- 1. Conducteur.

◆ Bobinage à fils passés.

a) Stators et rotors.

Comme dans le cas précédent on réalise un bobinage à plans et, de même, les têtes de bobines sont formées sur des gabarits en bois dur.

Pendant l'exécution on doit veiller :

- à *tendre légèrement les conducteurs* ;
- à *assurer leur parallélisme* ;
- à *les disposer convenablement* ;
- à *les tasser régulièrement* au fond des encoches avec un outil non rugueux ;
- à *ne pas déchirer les isolants*.

Les règles à observer pour la pose des gabarits sont les mêmes que celles indiquées précédemment, c'est-à-dire qu'on doit veiller à raccourcir les têtes de bobines et à ne pas gêner la sortie des conducteurs du deuxième plan.

Il est utile, d'autre part, et afin d'éviter le glissement des fils, de clouer une plaque en fibre derrière le gabarit. Celle-ci doit être taillée de façon qu'on puisse la retirer facilement lorsque le bobinage est terminé (fig. 33).

On peut reprocher à ce procédé de nécessiter un temps assez long mais il a comme avantage sa simplicité. Il est parfois adopté dans la construction où le premier plan est bobiné de cette façon et le deuxième à bobines préfabriquées. Il doit être confié à un personnel soigneux et qualifié.

b) Petits induits.

Sur ces petites machines le conducteur est directement enroulé sur le circuit magnétique sans l'interposition des gabarits ; le bobinage n'est plus à plan, mais, chaque encoche recevant deux côtés de section, ces dernières sont successivement : de base à base ; de base à sommet et de sommet à sommet (fig. 34).

Fig. 33.

Gabarits fixés sur une planche pour l'exécution du deuxième plan. La plaque de fibre empêche le glissement des conducteurs.

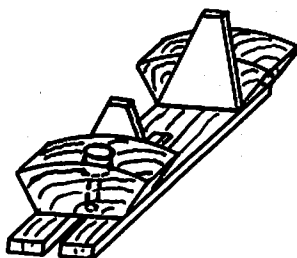


Fig. 34. — Disposition des sections d'un induit.

La mise en place des conducteurs exige des précautions supplémentaires : ménager le conducteur qui, de par sa faible section, est très fragile ; éviter les erreurs de connexions en dégagant les sorties afin de faciliter leur identification.

Plusieurs méthodes peuvent être adoptées pour la réalisation de ces bobinages.

1. - *Bobinage à boucles ou en suivant.*

Le tableau XVI indique la réalisation du bobinage d'un induit à 8 encoches et 2 pôles.

Différentes variantes existent dans l'exécution des bobinages à boucles ; elles portent :

— *Sur la façon de déployer les sections par rapport à leurs fil de début ou d'entrée, ce qui détermine un bobinage :*

- à droite, lorsque la section est déployée à droite de son entrée ;
- à gauche, dans ce cas la section est déployée à gauche de son fil d'entrée.

— *Sur la façon de réaliser les boucles qui assurent un bobinage :*

- *progressif*, lorsque le pas arrière est plus grand que le pas avant ou lorsque l'entrée et la sortie de chaque section ne sont pas croisées ;
- *rétrograde*. Dans cet enroulement le pas arrière est inférieur au pas avant où l'entrée et la sortie de chaque section sont croisées.

La figure 35 indique les quatre façons de bobiner un induit à boucles ; les flèches désignent le sens le plus rationnel pour effectuer le bobinage.

D'autres variantes peuvent être adoptées mais, ne modifiant pas les quatre plans théoriques précités, elles n'ont aucune influence sur le fonctionnement de la machine.

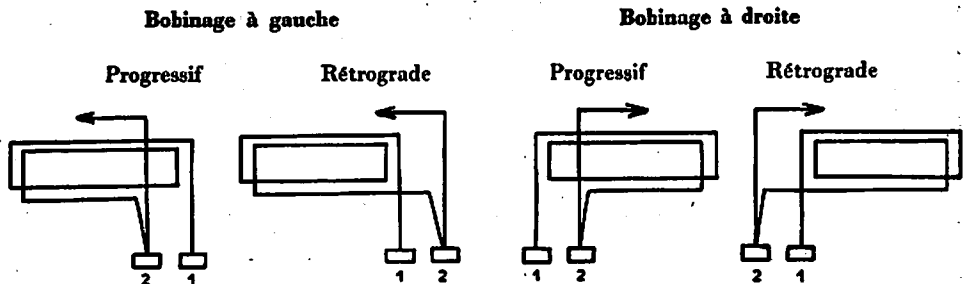


Fig. 35.

C'est ainsi que l'on peut distinguer :

— *La façon d'enrouler le conducteur autour des dents et des encoches :*
sens horaire, sens anti-horaire.

TABLEAU XVI. — Bobinage d'un induit à boucles :
8 encoches, 2 pôles, pas de 1 à 4.

Nos	Désignations Opérations	Schémas	Règles à observer.
1	Début du bobinage Exécution de la première section.		Passer le fil dans une gaine coupée à la dimension voulue. Elle doit rentrer de 1 cm dans l'encoche et venir au ras du collecteur. Rouler l'extrémité du fil autour de l'arbre puis exécuter la 1^{re} section dans les encoches 1 et 4. Ici le bobinage est à droite, donc le sens d'enroulement correspondra au sens horaire.
2	Exécution de la deuxième section.		Lorsque la 1^{re} section est terminée : passer le fil dans l'encoche 1, puis 2 (côté opposé au collecteur). Faire une boucle, y passer une gaine et la placer convenablement. Rouler la boucle autour de l'arbre et exécuter la 2^e section dans les encoches 2 et 5.
3	Suite du bobinage.		Réaliser la suite du bobinage. Attention, ne pas emprisonner les gaines sous le bobinage. Pour cela, avant l'exécution des 2 dernières sections, dérouler les conducteurs entourant l'arbre, puis les rabattre sur les tôles de façon à passer le fil de bobinage sous les gaines.
4	Disposition des gaines à la fin du bobinage.		Lorsque le bobinage est terminé les gaines doivent être bien dégagées afin d'éviter une erreur de branchement. Le fil fin se raccorde avec celui du début. La gaine du fil « fin » peut se trouver dans l'encoche 1.

La façon la plus simple et la moins sujette à erreur, est d'adopter le sens horaire pour un bobinage à droite, et le sens antihoraire pour un bobinage à gauche.

— *La façon de réaliser les sorties par rapport au collecteur :*

- sorties du côté du collecteur,
- sorties du côté opposé au collecteur.

Dans ce dernier cas, les sorties seront rabattues dans les encoches, d'où risque d'erreur et possibilité de les détériorer au passage des cales. C'est pour ces raisons que la première solution est généralement adoptée.

— *Autres façons de bobiner les induits à un élément.*

L'inconvénient du bobinage à boucles est de former une bosse sur chaque chignon, ce qui amène des vibrations. Pour les éviter, d'autres types d'enroulements peuvent être exécutés, mais, du fait des possibilités d'erreur lors de la mise au collecteur, certains sont peu employés. Néanmoins, on peut citer, comme bobinages les plus utilisés :

- *Bobinage en V par moitié* (fig. 36). Chaque section est divisée en deux parties égales et forme un V, la base étant dans l'encoche possédant l'entrée de la section et chaque branche passant de part et d'autre de l'arbre.

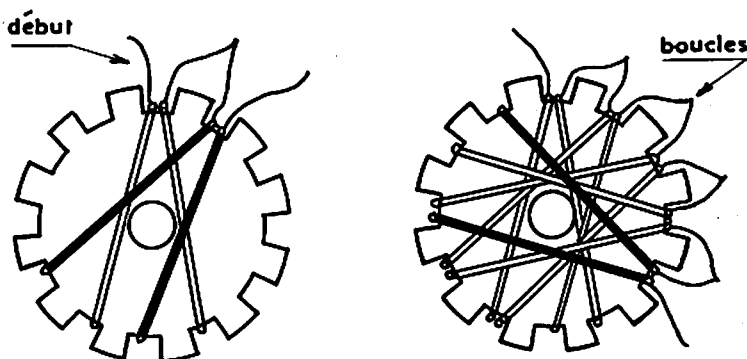


Fig. 36. — Bobinage en V par moitié.

Cette façon très employée, n'entraîne aucune difficulté lors de la mise en collecteur ; les chignons sont, en outre, très équilibrés.

Sur ces induits on peut distinguer (fig. 37) :

- les bobinages à droite, lorsque, tenant l'induit, le collecteur vers le bas, le déplacement du bobinage a lieu vers la droite, quelle que soit la demi-section effectuée la première ;
- les bobinages à gauche, quand le déplacement a lieu vers la gauche.

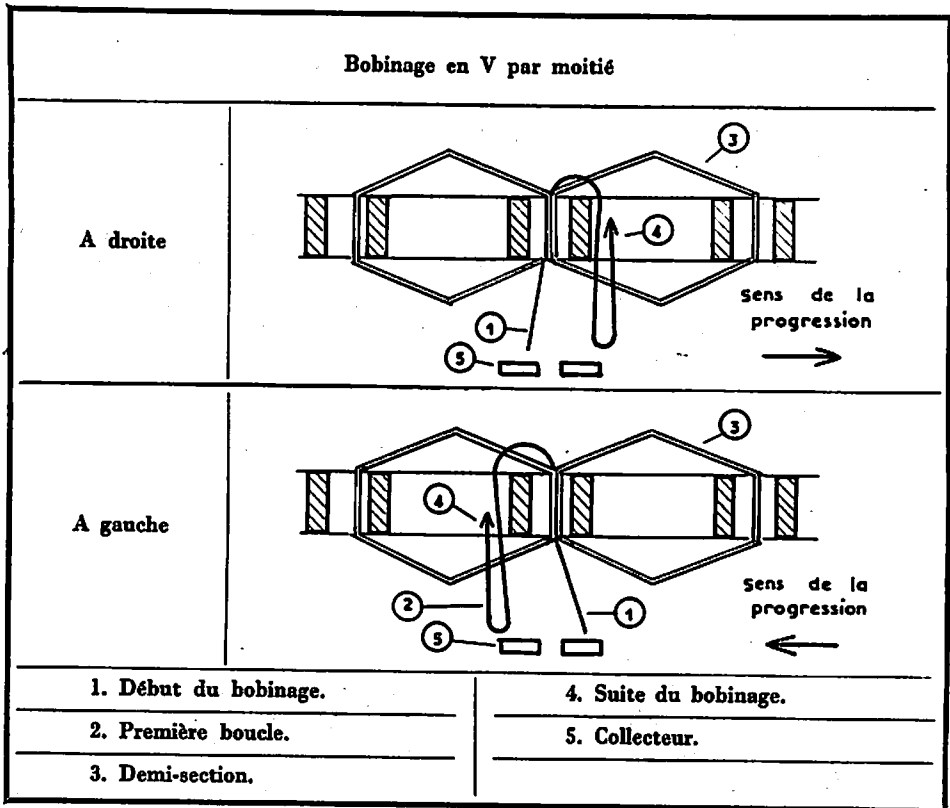


Fig. 37.

• *Bobinage en V à sections entières.*

Deux cas peuvent se présenter dans l'exécution de ces bobinages :

PREMIER CAS : le nombre d'encoches est divisible par 4 (fig. 38) ou est un nombre impair (fig. 39). Le bobinage est effectué d'une façon continue.

DEUXIÈME CAS : Le nombre d'encoches est pair mais pas divisible par 4. Le bobinage est effectué en deux moitiés (fig. 40).

Fig. 38. — Bobinage en V à sections entières sur un induit de 12 encoches.

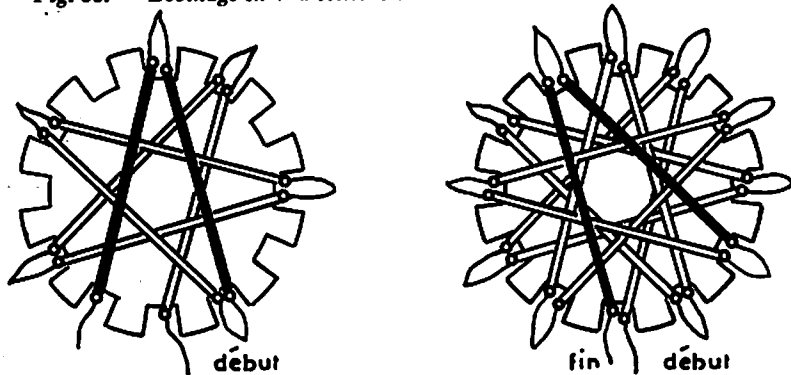


Fig. 39. — Bobinage en V à sections entières sur un induit de 9 encoches.

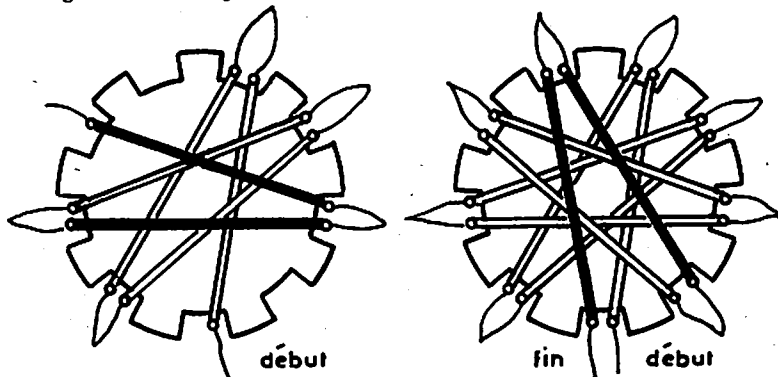
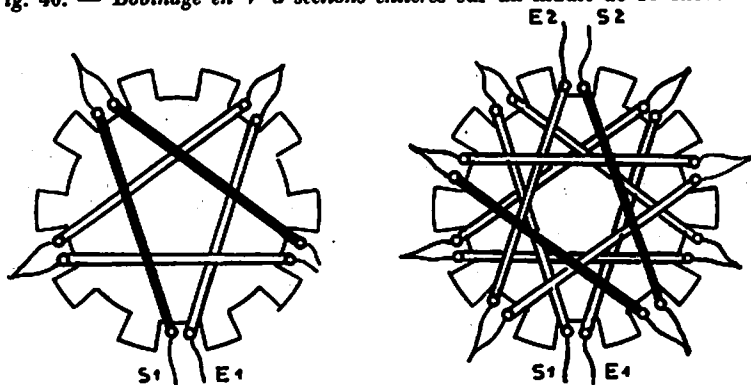


Fig. 40. — Bobinage en V à sections entières sur un induit de 10 encoches.



Sur la figure de gauche, seul le premier enroulement est posé.
Sur celle de droite le bobinage est terminé.

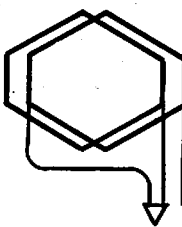
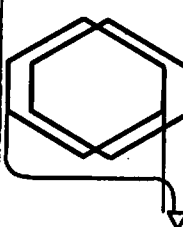
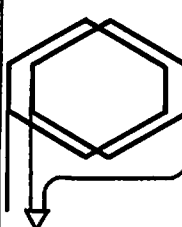
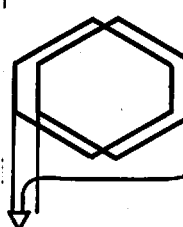
Disposition des sorties d'un induit bobiné en V à sections entières pour ramener cet enroulement aux quatre cas élémentaires.				
Bobinage désiré	A gauche		A droite	
	Considérer les sections se déployant vers la gauche		Considérer les sections se déployant vers la droite	
	Progressif	Rétrograde	Progressif	Rétrograde
Schémas				
Réunir les sorties suivant la formule	pas - 1	pas + 1	pas - 1	pas + 1
La flèche, réunissant 2 sorties, indique la connexion à réaliser à une lame.				

Fig. 41.

Mise au collecteur des induits bobinés en V à sections entières :

En coupant chaque boucle et en les connectant comme il est indiqué dans la figure 41 on ramène cet enroulement aux quatre cas déjà cités des bobinages à boucles.

1. - Bobinage à sections parallèles (fig. 42).

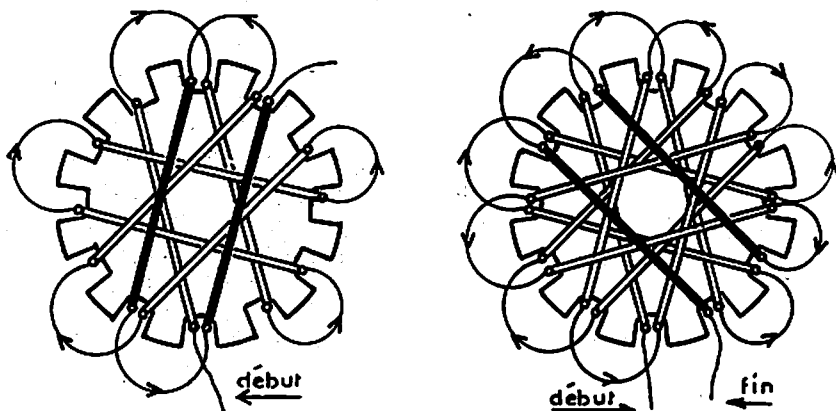


Fig. 42. — Bobinage à sections parallèles.

Le bobinage à sections parallèles deux à deux constitue une autre façon d'équilibrer les chignons. Plusieurs variantes sont possibles, mais, comme dans le cas précédent, la mise au collecteur est assez délicate, ce qui limite son emploi.

2. - Bobinage à pas entier ou diamétral des induits 2 pôles (fig. 43).

Tous les induits précédents ont été bobinés à corde. Certains peuvent l'être à pas entier, c'est-à-dire que celui-ci est égal à :

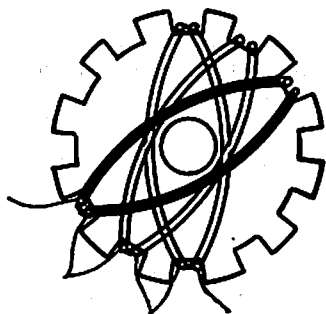


Fig. 43.

$$\text{Pas} = \frac{\text{Nombre d'encoches}}{\text{Nombre de pôles}}$$

Exemple : pour un induit 12 encoches à 2 pôles, le pas est égal à 6, c'est-à-dire de 1 à 7.

La méthode d'exécution de ces bobinages rappelle celle des induits en V par moitié ; chaque section est divisée en deux parties égales, chacune d'elles passant de part et d'autre de l'arbre et toutes les deux aboutissant dans la même encoche.

3. - Bobinage ondulé à couches (fig. 44).

Cet enroulement convient aux induits des dynamos multipolaires et de faible puissance, telles que celles qui équipent les voitures automobiles.

Pour être réalisable, l'égalité suivante doit être satisfaite :

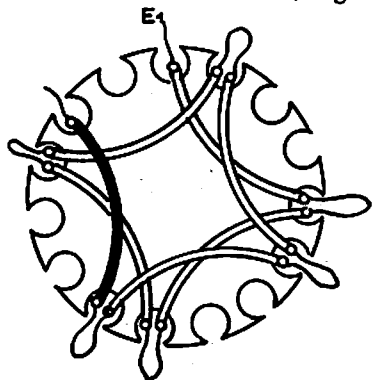


Fig. 44.

Bobinage ondulé à couches.
Seul le début est représenté.

$$\text{Nombre d'encoches} = (\text{Pas à l'encoche} \times \text{nombre de pôles}) \pm 1$$

La façon d'enrouler le conducteur est semblable à celle employée pour la réalisation d'un bobinage en V à sections entières ; on diminue les chignons en incurvant les conducteurs vers l'arbre et en les étalant sur les faces latérales des tôles.

Avant d'effectuer la mise au collecteur les boucles sont coupées et chaque conducteur doit être disposé convenablement.

4. - Bobinage des induits à plusieurs sections par encoche.

Les petits induits possédant plus de lames au collecteur que d'encoches se bobinent, en général, comme ceux à une section par encoche ; la nouvelle difficulté réside dans l'exécution de la mise au collecteur où le nombre de boucles est susceptible d'entraîner des erreurs. Afin d'éviter ces dernières on utilise des gaines de différentes couleurs que l'on place par ordre déterminé dans les encoches.

Différents types d'enroulements sont employés : les plus utilisés sur les induits à deux éléments sont les bobinages :

- en suivant ou à boucles ;
- en V ;
- à pas divisé ;
- avec deux fils en main.

— *Bobinage en suivant (fig. 45).*

Les deux premières sections sont réunies dans les mêmes encoches. Au début du bobinage le conducteur est passé dans une gaine blanche ; la première section réalisée, on exécute une boucle dans l'encoche de départ qu'on recouvre d'une gaine rouge (les couleurs étant données à titre indicatif). La deuxième section terminée, le conducteur est amené dans l'encoche suivante et la boucle ainsi formée logée dans une gaine blanche et ainsi de suite.

Le bobinage étant terminé, nous avons au fond de chaque encoche une gaine blanche qui marque le début d'une section impaire, tandis que la gaine rouge, au milieu de l'encoche, indique le début d'une section paire.

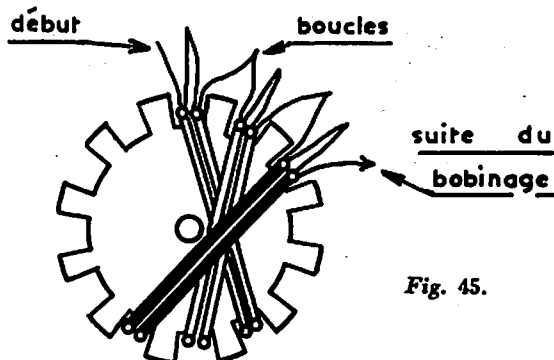


Fig. 45.

— *Bobinage en V (fig. 46).*

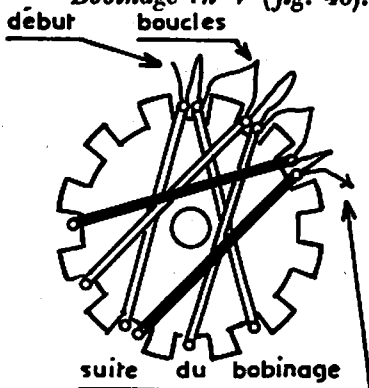


Fig. 46. — Induit à 2 éléments.
Bobinage en V.

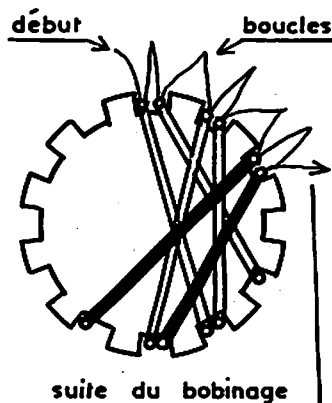


Fig. 47. — Induit à 2 éléments.
Bobinage à pas divisé.

Cet enroulement est le plus employé à cause de la régularité de ses chignons. Les deux premières sections forment un V ; chacune d'elles constitue une branche de cette lettre et passe d'un côté ou de l'autre de l'arbre. Les boucles de raccordement s'exécutent comme précédemment.

— *Bobinage à pas divisé (fig. 47).*

Pour diminuer les chignons des induits possédant un assez grand nombre d'encoches on peut adopter un enroulement à pas divisé ; comme précédemment les deux premières sections sont bobinées dans trois encoches, mais elles passent du même côté de l'arbre et n'ont pas le même pas.

— *Bobinage avec deux fils en main.*

Afin d'activer l'exécution d'un enroulement à boucles d'un induit à deux éléments on peut le réaliser avec deux fils en main et le bobiner de la même manière qu'un induit à un seul élément.

L'identification des conducteurs est facilitée par l'emploi de fils émaillés de différentes couleurs.

◆ *Bobinage à barres.*

Sur les machines à encoches non ouvertes et bobinées à barres, ces dernières, introduites par la fente des encoches, ne peuvent être posées avec leurs formes définitives. La tête de bobine la plus difficile à couder est travaillée à l'atelier ; l'autre partie reste droite. Les barres sont ensuite isolées et mises en place.

Deux solutions peuvent être adoptées pour compléter l'enroulement :

- les barres peuvent être facilement coudées après leur pose : on utilise à cet effet des gabarits ;
- leur mise en forme est difficile, et alors on utilise des barres de raccordement en forme de développante de cercle (fig. 48).

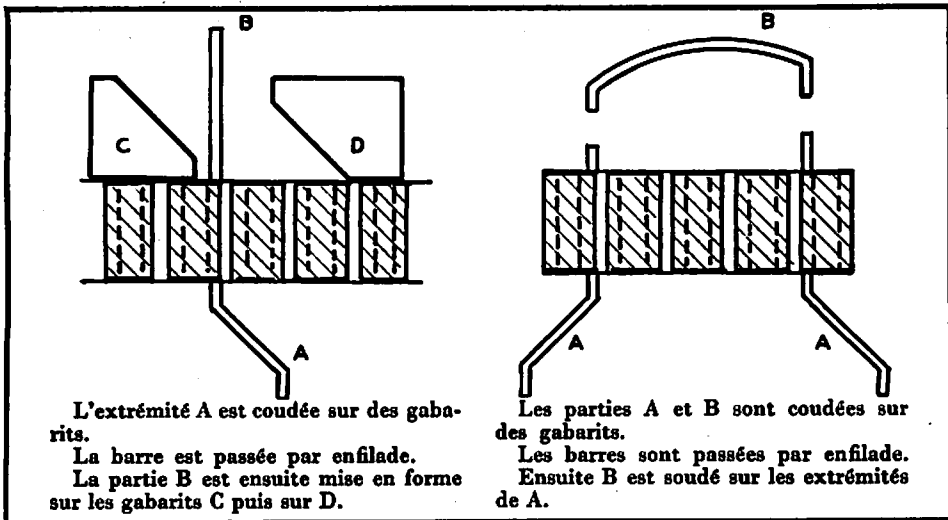


Fig. 48.

Dans le cas de barres de faible section, certains bobiniers préfèrent former les deux développantes sur la machine par coudage à la pince, même si la forme des encoches permet le passage des barres préformées.

Les deux plans sont isolés l'un de l'autre par une bande de presspahn ou de toile vernie, ou tout autre isolant souple approprié à la classe d'isolation. Dans les développantes, les barres voisines appartenant à des phases différentes sont surisolées par un enrubannage supplémentaire ou une languette d'isolant glissée entre elles.

1.342. Bobines préfabriquées.

◆ Bobines concentriques pour bobinages à plan (fig. 49).

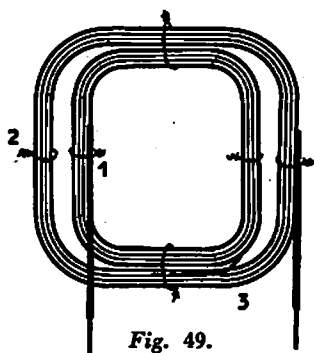


Fig. 49.

Bobines concentriques pour bobinage à plans.
1. Garni. — 2. Lien provisoire. — 3. Raccordement.

Des soins attentifs apportés à la manipulation des bobines, leur mise en place convenable, la conservation des isolants, doivent être les règles à observer.

L'ouvrier commence à placer les bobines du premier plan. Les liens provisoires maintenant les bobines ne sont enlevés que lorsqu'ils gênent le travail. Les conducteurs sont tassés régulièrement au fond des encoches afin d'éviter leur foisonnement.

Lorsque les bobines du premier plan sont mises en place, les têtes de bobines sont enrubannées s'il y a lieu et relevées afin de dégager les sorties des encoches non bobinées ; le deuxième plan est ensuite posé avec les mêmes précautions.

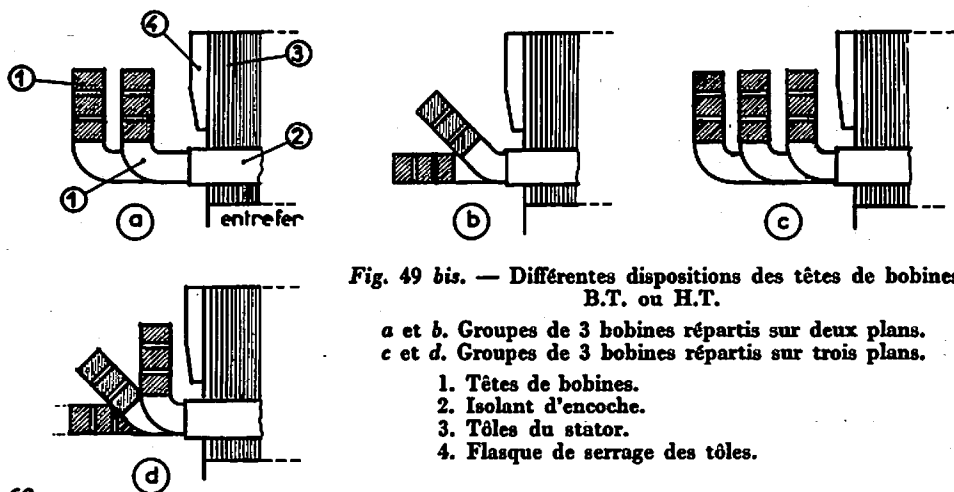


Fig. 49 bis. — Différentes dispositions des têtes de bobines B.T. ou H.T.

a et b. Groupes de 3 bobines répartis sur deux plans.
c et d. Groupes de 3 bobines répartis sur trois plans.

1. Têtes de bobines.
2. Isolant d'encoche.
3. Tôles du stator.
4. Flasque de serrage des tôles.

Après la mise en place des bobines, si le fil employé est de faible diamètre, la forme des chignons est parfaite en maillet en caoutchouc ou en peau de porc.

Si le fil utilisé est de forte section, une mise en forme préalable des têtes de bobines est nécessaire ; après la pose, les développantes se présentent sous l'une des formes indiquées par la *figure 49 bis*.

◆ Bobinages enchevêtrés à bobines non formées.

Les règles précédentes doivent être observées. D'autres difficultés s'ajoutent ; elles résident dans le fait que :

- un seul côté des premières bobines est mis en place (l'autre ne l'étant qu'en fin de bobinage) ; il en résulte une gêne dans le travail dû au grand nombre de conducteurs en attente à l'intérieur du stator ;
- la forme définitive des bobines doit être donnée en cours de bobinage ;
- les contraintes diélectriques qui apparaissent entre chignons de phases différentes, ou entre les faisceaux de phases différentes placés dans la même encoche, obligent à une isolation supplémentaire.

Plusieurs variantes existent :

- *A bobines concentriques* (*fig. 50*).

Sur un stator triphasé 24 encoches à 4 pôles, l'ordre de remplissage peut être le suivant :

5, 6, 4, 3, 9, 10, 8, 7, 13, 14, 12, 11, 17, 18, 16, 15, 21, 22, 20, 19, 1, 2, 24, 23.

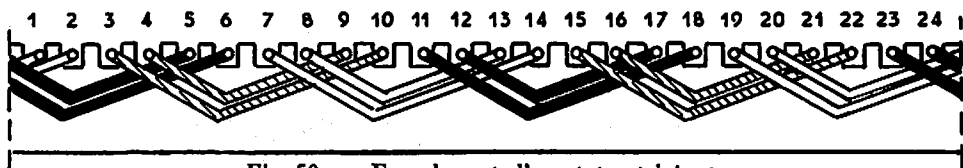


Fig. 50. — Enroulement d'un stator triphasé, 24 encoches, 4 pôles, bobinage enchevêtré, bobines concentriques.

Le déroulement du bobinage peut se pratiquer ainsi :

- placer le côté inférieur d'une bobine (celui de dessous, encoches 5 et 6) et dégager les encoches qui seront immédiatement bobinées ;
- disposer la bobine qui recouvre la précédente en commençant par le côté supérieur (encoches 4 et 3) ou inférieur (encoches 9 et 10). Enrubanner cette bobine s'il y a lieu et la mettre en forme, c'est-à-dire la plaquer contre la bobine déjà installée et contre les tôles, en dégagant les encoches non bobinées ;

— effectuer tout le bobinage en terminant par les sections placées au début.

Le travail est facilité lorsqu'on met d'abord en place la section intérieure, celle ayant le pas le plus faible.

— *A bobines simples (fig. 51).*

Ce procédé est plus simple que le précédent du fait qu'on ne place qu'une bobine à chaque opération.

Pour le même stator l'ordre de remplissage est le suivant :

2, 4, 1, 6, 3, 8, 5, 10, 7, 12, 9, 14, 11, 16, 13, 18, 15, 17, 22, 19, 24, 21, 23.

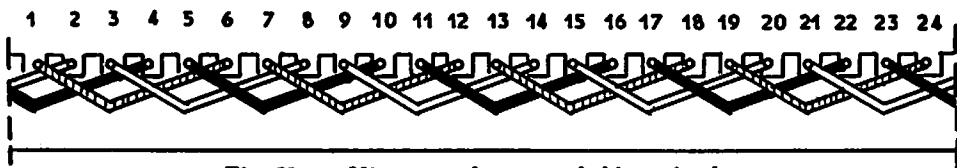


Fig. 51. — Même enroulement, à bobines simples.

— *A demi-bobines ou à deux faisceaux par encoche.*

La difficulté est accrue du fait :

- du plus grand nombre de sections ;
- du faible alésage de ces stators ;
- des contraintes diélectriques entre les conducteurs de phases différentes logés dans la même encoche.

Deux variantes existent :

- *Bobinage symétrique.*

Chaque section possède un côté dans le fond d'une encoche, l'autre côté étant dans le haut. L'ordre de remplissage est identique au précédent (fig. 52).

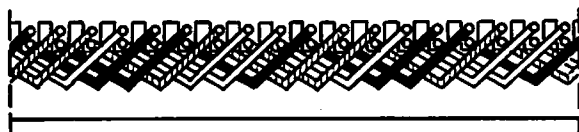


Fig. 52. — Bobinage « symétrique »
Stator triphasé, 18 encoches, 4 pôles.

- *Bobinage à bobines posées complètement en suivant (« en dessous »).*

Les sections, faites au tour, sont disposées de la même manière que celles des petits induits bobinés à la main, c'est-à-dire qu'elles sont successivement :

- de base à base ;
- de base à sommet ;
- de sommet à sommet.

Pour équilibrer les trois phases d'un stator à courant triphasé un ordre de remplissage doit être respecté (*fig. 53*).

Bobinage en dessous. Ordre de remplissage permettant d'équilibrer les 3 enroulements d'un stator triphasé, 18 encoches, 4 pôles.	
Sections	Schémas
De base à base	
De base à sommet (1)	
De sommet à sommet (1)	
1. Les sections pleines ont déjà été bobinées.	

Fig. 53.

◆ Bobinages enchevêtrés à bobines formées.

— Bobinages en manteaux pour induits.

Toutes les bobines étant de base à sommet, cet enroulement rappelle un bobinage en dessus ; sa régularité est assurée par l'uniformité des bobines. Les cotes de ces dernières étant calculées justes et les conducteurs étant rigides la principale difficulté réside dans la mise en place du faisceau supérieur.

Après avoir garni quelques encoches consécutives de leur faisceaux inférieurs, l'ouvrier doit forcer pour introduire les deuxièmes faisceaux. Deux leviers prenant appui sur le bord des dents facilitent l'extension de la navette ; une feuille de léathéroïd qui dépasse des encoches protège les isolants et augmente le glissement.

Le faisceau supérieur étant dans l'encoche, sa place définitive est obtenue par un coup de marteau ; une planche en fibre de toute la longueur du faisceau sert à répartir le choc et à l'amortir.

◆ Bobinages pour stators dits « américains ».

Ce type de bobinage est sensiblement identique, quant à sa forme, aux enroulements en manteau et il est utilisé pour les stators à grande polarité des alternateurs hydrauliques. Sa mise en place s'effectue en disposant d'abord les faisceaux en fond d'encoche sur une distance au moins égale au pas d'une bobine avant de commencer à rabattre les faisceaux en sommet d'encoche.

◆ Bobinages à jeux d'éléments.

Ce type de bobinage est généralement adopté pour les rotors de faible puissance. Toutes les demi-bobines sont entrées d'un côté, en fond d'encoche, puis leur deuxième côté est rabattu en dessus d'encoche. La mise en forme de la première bobine, qui va servir de guide aux autres, doit être particulièrement soignée.

◆ Bobines en U.

Les parties droites sont enfilées simultanément dans leurs encoches respectives jusqu'à ce que la tête de bobine déjà formée soit à sa place définitive. Le deuxième chignon est alors constitué spire par spire sur un gabarit de même forme que celui ayant servi à la préparation. Après mise en place, coupe à longueur et dénudage des extrémités, les liaisons sont établies par soudage électrique en bout, brasage électrique ou brasage à l'étain ; l'isolant est alors reconstitué. Le repérage des différentes spires doit être effectué avec soin afin d'éviter des bouclages de spires sur elles-mêmes.

◆ Bobinages à barres (fig. 54).

Les barres sont disposées sur deux plans ; l'ordre de mise en place de ces dernières dépend :

- de la forme des encoches ;
- de la largeur de leurs fentes ;
- du nombre de barres par encoche.

Si les encoches sont ouvertes, les barres ou sections en barre sont entièrement formées avant la mise en encoches et celle-ci s'effectue alors sans difficulté. Les sections en barre sont d'abord placées d'un seul côté, en fond d'encoche, comme pour les bobinages enchevêtrés par demi-bobines. Les mêmes précautions sont à prendre, en ce qui concerne l'isolation entre plans et entre phases, que pour les bobinages à barres formés sur la machine (page 59).

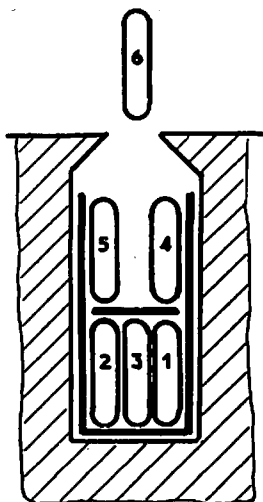


Fig. 54. — Ordre de mise en place des barres.

1.343. Bobines posées à la machine.

Cette façon de procéder convient au bobinage des petits induits bipolaires bobinés à boucles. La méthode de travail rappelle celle employée pour l'exécution des petites bobines ; l'induit est serré sur le plateau d'un tour et le conducteur s'enroule dans les encoches.

L'accrochage du conducteur est évité si l'on respecte les conditions suivantes :

- *isoler l'induit* par une bande continue qui laisse les fentes des encoches bien dégagées ;
- *disposer le conducteur* dans l'axe des encoches à bobiner.

Le début du bobinage et les boucles s'exécutent de la même façon que pour un bobinage à main, l'arrêt du tour pouvant être automatique ou manuel. A la fin de chaque section l'induit est décalé d'une encoche, dans un sens ou dans l'autre, pour permettre la suite du bobinage.

Certains constructeurs ont mis au point des machines pour le bobinage des stators de faible puissance. Le fil est déroulé et guidé dans les encoches par une navette dont on peut faire varier la course. Les difficultés de réglage sont réelles et l'utilisation de la machine ne semble pas être rentable, sauf peut-être pour de très grandes séries. Or la politique commerciale actuelle des constructeurs de moteurs tend vers la suppression des stocks et la mise rapide à la disposition de la clientèle de n'importe quelles caractéristiques de bobinages, ce qui exclut la possibilité de travail en grande série, même si la production journalière est très importante.

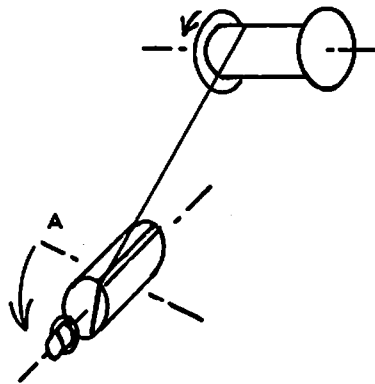


Fig. 55.
Principe du bobinage à la machine.
A. Axe du tour.

1.35. — FERMETURE DES ENCOCHES

Elle s'oppose :

- au *foisonnement normal* des conducteurs ;
- à la *pénétration des poussières* et de l'humidité ;
- aux *contraintes mécaniques* dues à la force centrifuge.

De ceci il résulte que :

- la nature et l'épaisseur des matériaux employés dans la construction des cales dépendent de la machine bobinée ;

- ces matériaux doivent également satisfaire aux conditions thermiques et magnétiques particulières aux machines ;
- les cales doivent rentrer un peu forcées afin d'assurer le maintien des conducteurs ;
- elles doivent former avec les isolants d'encoches des caniveaux fermés.

Les différentes cales employées sont indiquées dans le tableau XVII, page suivante.

1.36. — SOUDAGE ET BRASAGE DES CONNEXIONS

1.361. *Sur stators et rotors.*

La façon d'opérer varie :

— *Avec la taille du conducteur :*

- fils de faible section pouvant être torsadés ;
- fils de forte section ne pouvant pas être torsadés ;
- barres.

— *Avec la nature du conducteur :*

- cuivre : brasage à l'étain ou soudage autogène ;
- aluminium : soudage avec ou sans métal d'apport.

On doit prévoir :

- la *disposition du raccordement*, logé ultérieurement dans les têtes de bobines ;
- son *isolation*, en passant avant le raccordement un soupliso qui recouvrira l'épissure ;
- la *protection du bobinage* due à la proximité d'une source de chaleur élevée et aux chutes du métal d'apport en fusion. Cette protection est assurée par une feuille de léathéroïd formant écran.

Modes d'exécution.

◆ Au fer et à l'étain.

— *Chauffer le fer.*

— *Gratter les conducteurs* sur une longueur de :

- 60 fois le diamètre pour une épissure torsadée ;
- 30 fois le diamètre pour un raccordement droit.

TABLEAU XVII. — Cales de fermeture d'encoches.

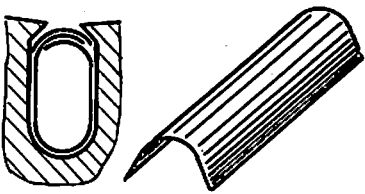
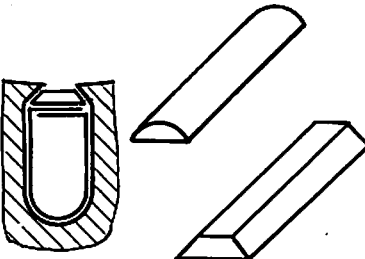
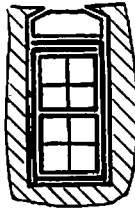
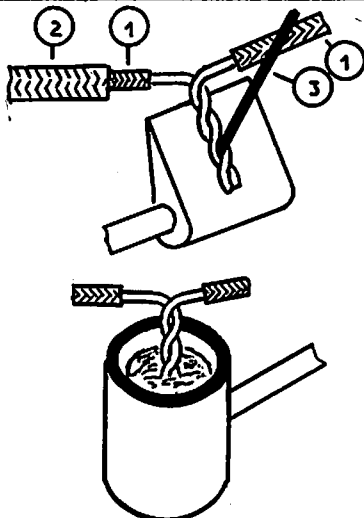
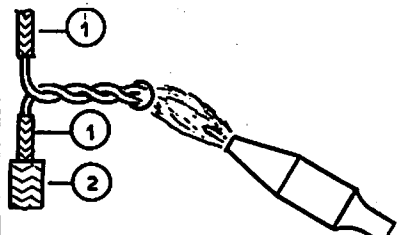
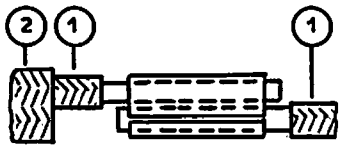
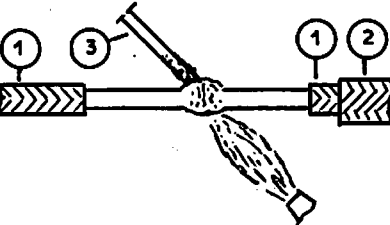
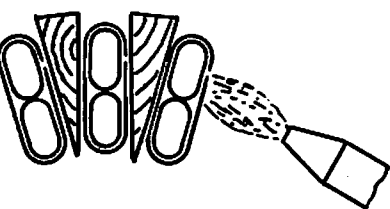
Types des machines	Matériaux	Schémas	Règles à observer
Stators	Leathéroïd rigide. Presspahn. Isolants combinés.		Feuille repliée pouvant être passée : — entre l'isolant et les tôles ; — entre l'isolant et les conducteurs. Peut être complété par une cale en bois (ci-dessous).
Stators. Petits induits.	Bois dur (hêtre). Fibre de verre. Fibre.		Baguette en bois profilé de 1 mètre de longueur coupée à la dimension des encoches, ou par ajustage. Paraffiner la baguette s'il y a lieu.
Stators, rotors, induits d'assez grande puissance.	— d° —		Par ajustage. Pour poser la cale : — replier convenablement les isolants ; — paraffiner la cale ; — passer un outil en forme (aiguille) dans l'encoche ; — retirer cet outil en poussant la cale.
Alternateurs, rotors de grande puissance.	Métal magnétique ou non.		Très grande résistance mécanique.
Stators de faible puissance.	Pas de cale.		La bobine est simplement tenue par le vernis.

TABLEAU XVIII. — Raccordements des connexions sur stators et rotors.

Taille des conducteurs	Nature des conducteurs	Schémas	Règles à observer
Fils de faible section.	Cuivre.	 3. Bâton de brasure avec résine incorporée. a) Brasage au fer. b) Brasage au bain.	Passer une gaine sur chaque conducteur (1) plus une gaine destinée à isoler l'épissure (2). Gratter les conducteurs, effectuer la torsade (6 à 8 spires), la braser au fer ou au bain ; replier l'épissure sur un conducteur et ramener les gaines.
	Cuivre Aluminium		Passer les gaines 1 et 2. Effectuer la torsade, chauffer son extrémité avec un chalumeau de façon à fondre les conducteurs et former une petite boule. Si les conducteurs sont en aluminium, employer un flux neutre. Replier la torsade et ramener les gaines.
Fils d'assez grande section.	Cuivre.		Utiliser une douille en tôle de cuivre ou en laiton étamé. Gratter les conducteurs, passer les gaines 1 et 2, placer les conducteurs bout à bout, replier la tôle, braser à l'étain avec un fer ou un chalumeau et ramener les gaines.

Taille des conducteurs	Nature des conducteurs	Schémas	Règles à observer
Fils d'assez grande section.	Cuivre.		Procédé identique au précédent mais placer les fils parallèlement. La douille peut être remplacée par un fil en cuivre de faible section, enroulé autour des conducteurs à raccorder.
	Aluminium.	 3. Métal d'apport recouvert de flux.	Passer les gaines 1 et 2. Placer les conducteurs bout à bout, chauffer de façon à provoquer la fusion des extrémités des conducteurs (petite boule). Employer un métal d'apport et un flux neutre.
Barres.	Cuivre.		Utiliser des douilles. Placer des coins destinés à régler l'écartement des barres. Chauffer avec un petit chalumeau. Employer la brasure à l'étain ou à l'argent. On peut également utiliser un fer à chauffage au gaz ou électrique.

Le décapage de l'émail peut être effectué par voie chimique (à base de chlorure de méthyle).

- Effectuer le raccordement le plus serré possible.
- Nettoyer le fer avec une vieille lime — l'étamer.
- Placer le fer sous les parties à souder. Ces dernières communiquent la chaleur au bâton de brasure en contact avec l'épissure. Utiliser la résine comme décapant ou un bâton de brasure avec résine incorporée.
- Assurer une fine pellicule d'étain sur l'épissure.

◆ Brasage au bain d'étain.

Le procédé consiste à faire tremper les épissures dans un bain d'étain fondu qui assure à la fois le chauffage et le brasage.

Les connexions des petits stators sont brasées à l'aide de petits récipients portatifs d'une contenance de 100 cm³ environ. La surface du bain est maintenue propre en ajoutant un peu de résine en poudre au moment de l'utilisation ; les épissures elles-mêmes sont enduites de résine en poudre ou en solution dans l'alcool.

Les rotors à barres sont traités dans des récipients de grande capacité en forme de couronne. Le rotor, suspendu à un pont ou à un palan, est trempé dans le bain et on lui imprime, à la main, quelques oscillations circulaires pour assurer la pénétration de l'étain à travers les douilles de jonction des barres.

Le brasage au bain, lorsqu'il est possible, est de loin préférable au brasage au fer.

◆ Au chalumeau.

- Prendre un bec à faible débit.
- Eloigner le plus possible le raccordement du bobinage.
- Chauffer les parties à souder en veillant à ne pas brûler les isolants.
- Effectuer une soudure autogène ou avec métal d'apport.

L'utilisation du chalumeau permet de ne pas décaper les fils émaillés.

Le tableau XVIII indique les principales soudures utilisées.

1.362. Mise au collecteur.

◆ Petits induits.

Les difficultés rencontrées dans la mise au collecteur sont les suivantes :

- montage exact du collecteur sur l'arbre ;
- raccordement convenable des sections aux lames du collecteur ;
- brasage correct des conducteurs aux différentes lames.

• — *Montage du collecteur sur l'arbre et raccordement des sections aux lames du collecteur.*

Ces deux opérations sont primordiales, surtout sur les petites machines ayant leurs balais fixes et où aucun réglage ne peut être effectué en cours de fonctionnement ; elles permettent, quel que soit le genre de bobinage effectué, d'amener la ligne neutre à sa position théorique, et assurent le couple maximal et une commutation satisfaisante.

— *Position du collecteur sur l'arbre.*

— *Raccordement des sections aux lames ou calage au collecteur.*

En plus des considérations précédentes le calage dépend :

• *De la façon dont est exécuté chaque type de bobinage :*

- à pas diamétral ou raccourci ;
- à droite ou à gauche ;
- progressif ou rétrograde.

• *De la position des balais sur la machine :*

- balais montés par construction sur la ligne neutre ;
- balais fixés sur la ligne des pôles.

• *Du fonctionnement de la machine.*

- réversible ;
- un seul sens de rotation.

Les figures 56 et 57 indiquent la position du collecteur sur l'arbre et le calage avec les bobinages les plus employés.

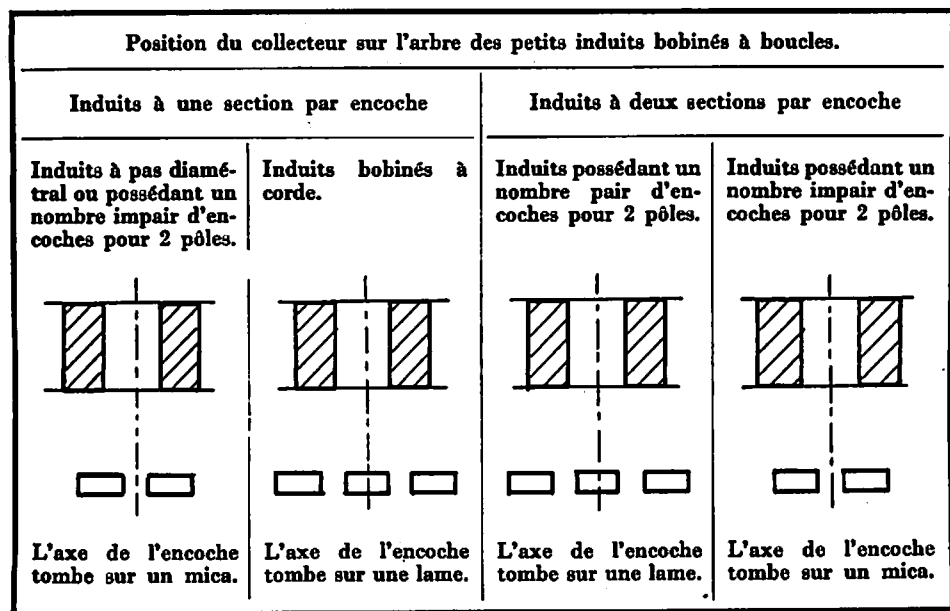


Fig. 56.

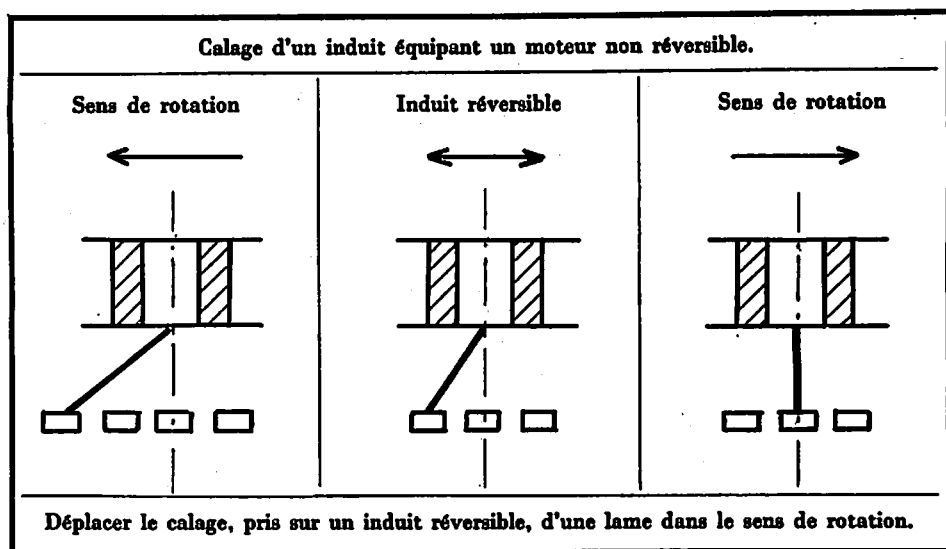


Fig. 57.

Si le moteur ne fonctionne que dans un seul sens de rotation on sait que, pour obtenir la meilleure commutation, les balais doivent être calés en arrière de la ligne neutre. On arrive au résultat en déplaçant les connexions dans le sens de rotation dans le cas où les balais sont fixes (*fig. 58*).

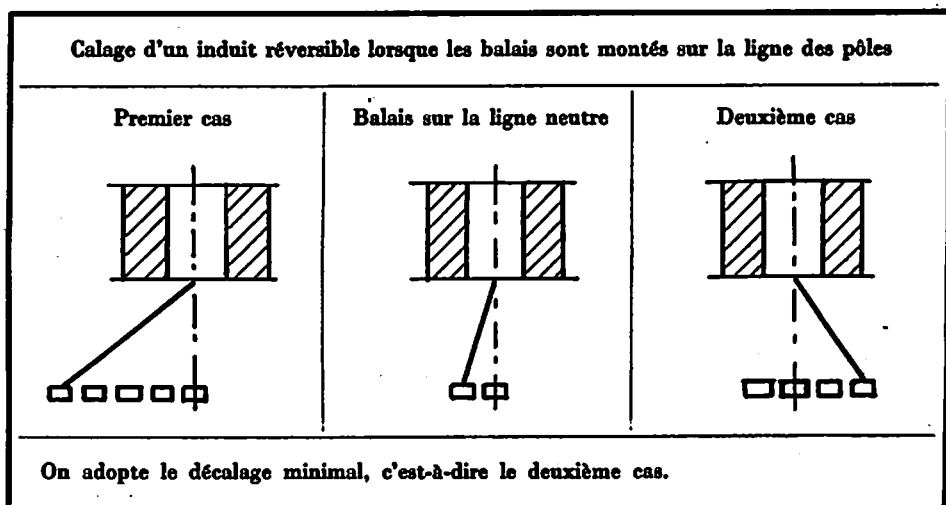


Fig. 59.

Pour les moteurs dont les balais sont montés sur l'axe des pôles inducteurs, on déplace les connexions d'un nombre de lames $k/4p$.

k = Nombre de lames au collecteur.

p = Nombre de paires de pôles.

Deux solutions sont possibles selon que l'on compte le déplacement à gauche ou à droite, ainsi que l'indique la *figure 59* relative à un induit bipolaire de 12 lames. Afin de ne pas allonger les connexions, il est préférable de choisir la solution conduisant au déplacement le plus court par rapport à la ligne neutre.

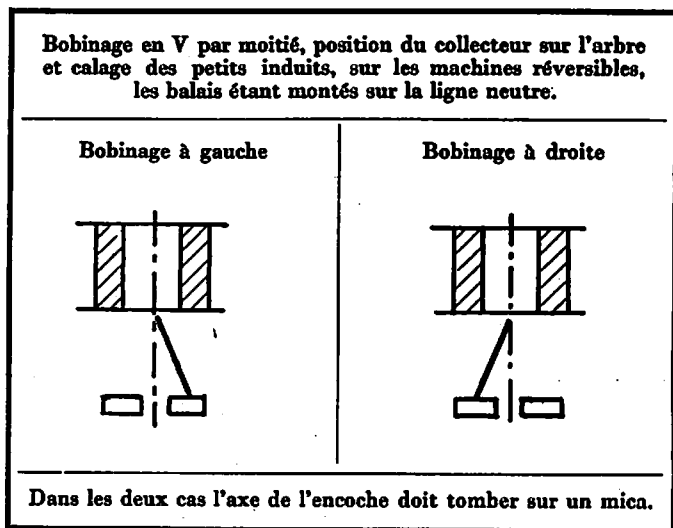
Calage au collecteur des induits à une section par encoche bobinés à boucles.				
	Bobinages à pas entier ainsi que les induits ayant un nombre impair d'encoches pour 2 pôles.		Bobinages à pas à corde	
	Bob. progressif	Bob. rétrograde	Bob. progressif	Bob. rétrograde
Bobinage à droite				
Bobinage à gauche				

Ces calages sont valables sur les induits réversibles lorsque les balais sont montés sur la ligne neutre.
Le trait fort indique la gaine contenant l'entrée placée dans l'encoche considérée.

Fig. 58.

Fig. 60.

Les figures 60 et 61 concernent respectivement les induits bobinés en V par moitié et les induits à deux sections par encoche, bobinés à boucles.



— Soudage des connexions au collecteur.

La difficulté provient surtout de la fragilité du conducteur.

Les sorties étant recouvertes par un frettage, on doit, pour éviter toute coupure, braser les conducteurs lorsqu'ils ne peuvent plus subir aucune contrainte mécanique.

Pour cela il est nécessaire :

- d'assurer une assise aux conducteurs en effectuant un bourrage entre le bobinage et le collecteur ;
- de procéder au calage ;
- de protéger les sorties par un isolant ;
- d'effectuer le frettage ;
- de terminer par le brasage.

Il est plus rationnel de fretter avant de braser, car, en effectuant les frettes, le bourrage peut légèrement céder en entraînant les conducteurs. Si ces derniers ne sont pas brasés, ils glissent dans les fentes de brasage et ne se coupent pas.

Le procédé de brasage est indiqué dans le tableau XIX.

◆ Induits à bobines préfabriquées.

Il est nécessaire d'assurer :

- le raccordement exact des sections au collecteur ;

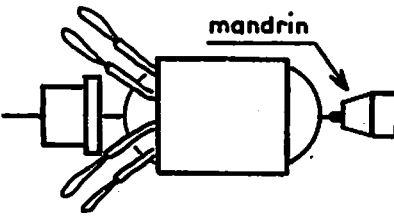
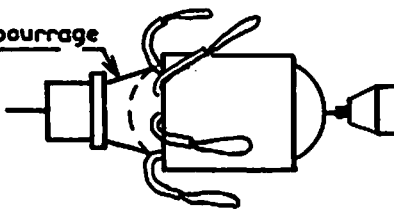
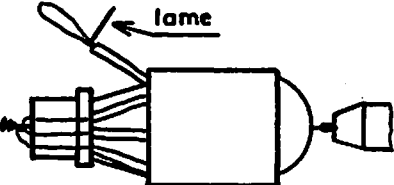
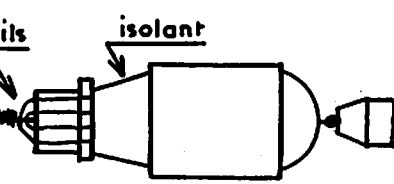
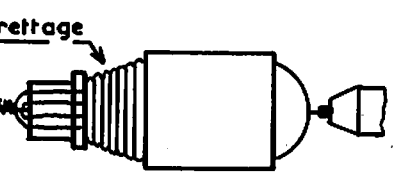
**Calage au collecteur des induits à deux sections par encoche, bobinés à boucles, machines réversibles,
les balais étant montés sur la ligne neutre.**

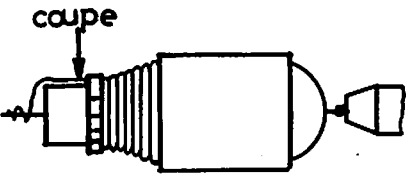
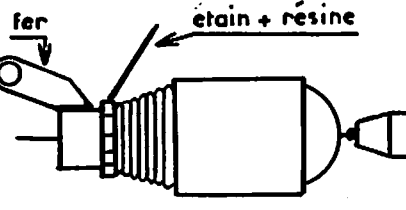
	Induits possédant un nombre pair d'encoches pour 2 pôles				Induits possédant un nombre impair d'encoches pour 2 pôles	
	Bobinages à pas entier		Bobinages à pas à corde		Progressif	Rétrograde
	Progressif	Rétrograde	Progressif	Rétrograde		
Bobinage à droite						
Bobinage à gauche						

1. Gaine placée au fond de l'encoche. — 2. Gaine placée au milieu de l'encoche. — 3. Suite du bobinage.

Fig. 61

TABLEAU XIX. — Mise au collecteur des petits induits.

Nos	Déroulement des opérations - Règles à observer	Schémas
1	Disposer l'induit horizontalement, soit sur le mandrin d'une perceuse, soit entre deux planches serrées à l'étau. Protéger l'arbre afin de ne pas le marquer. Dérouler les conducteurs de façon à dégager l'espace entre le collecteur et le bobinage.	
2	Effectuer au jaconas un bourrage régulier et consistant de la base des gaines aux fentes de brasage.	
3	Rabattre les gaines, gratter ou décaper chimiquement les conducteurs à l'endroit où ils seront soudés, sur 1 cm environ. Effectuer le calage et rouler l'extrémité des conducteurs autour de l'arbre.	
4	Protéger les gaines par un isolant (jaconas ou papier toilé) en section de couronne.	
5	Effectuer un frettage à spires jointives en partant du collecteur et en allant le plus près possible des tôles.	

Nos	Déroulement des opérations - Règles à observer	Schémas
6	Couper l'excès des conducteurs au ras du talon avec une pince coupante de côté.	
7	Braser. Chauffer les lames, placer le bâton de brasage sur une fente de brasage, faire fondre une goutte de brasure puis la laisser rouler au fond de la fente. Chasser l'excès avec un bout de pressapahn. Ne jamais limer.	

- l'isolation entre les conducteurs ;
- la protection des isolants.

— *Raccordement des sections au collecteur.*

Comme dans le cas précédent, il dépend du montage correct du collecteur sur l'arbre et des connexions à réaliser.

— *Montage correct du collecteur.*

Le démontage du collecteur peut s'avérer nécessaire pour la réfection du bobinage, ou pour son remplacement à la suite d'une avarie. Il est alors indispensable de repérer la position du collecteur par rapport aux encoches, sauf s'il est claveté sur l'arbre. On peut, par exemple, repérer la position d'une barre par rapport à l'axe d'une encoche donnée.

— *Disposition correcte des connexions.*

La figure 62 indique un exemple de repérage effectué par des coups de pointeau sur les dents et les barres recevant les sections. Il est également possible de se contenter d'un dessin faisant apparaître le pas sur le fer et la position des barres recevant les entrées et sorties par rapport à l'axe de l'encoche (fig. 62 bis).

— *Mise au collecteur.*

Les connexions forment deux plans et la méthode d'exécution est la suivante :

- placer l'entrée de la première section dans la fente de la lame convenable ;

- disposer toutes les autres entrées (prises dans les faisceaux inférieurs) parallèlement à la première et dans l'ordre du bobinage. On a ainsi le premier plan ;

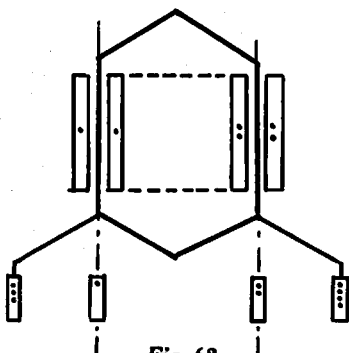


Fig. 62.

Exemple de repères effectués sur un induit.

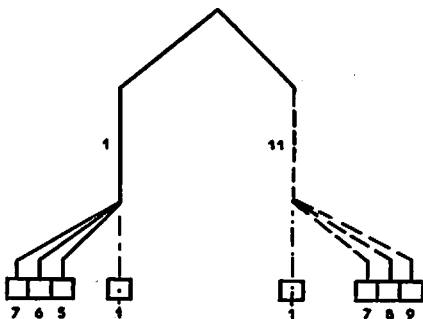


Fig. 62 bis.

- isoler ce plan par une bande isolante ;
- placer la sortie de la première section dans la fente de la lame convenable ;
- ranger parallèlement toutes les autres sorties en repérant à chaque fois avec une lampe témoin ;
- enfoncer les conducteurs dans les fentes et couper l'excédent ;
- protéger les isolants des conducteurs en les recouvrant par un ruban d'amiante ;
- braser les connexions à l'étain en employant exclusivement de la résine comme décapant ;
- chasser l'excès de brasure avec un isolant, la finition étant faite au tour.

Si le collecteur possède des ailettes, elles se terminent généralement par une douille étamée. Lorsque les conducteurs sont en place, l'écartement des douilles est réglé par des coins en bois dur et les soudures sont exécutées.

1.363. Raccordement entre les bobines et la plaque de bornes.

Les règles suivantes doivent être observées :

- *isolation des conducteurs* entre eux et par rapport à la masse ;
- *exactitude des connexions* ;
- *solidité des raccords*.

Sur la majorité des stators, les raccords s'effectuent de la manière suivante :

- passer un soupliso sur chaque conducteur ;

- réunir les entrées dans un soupliso et faire de même aux trois sorties ;
- consolider l'ensemble par de petits frettages ;
- effectuer les raccordements par boucles et vérifier l'exactitude avec une lampe témoin. Les boucles doivent être tournées dans le sens de vissage et plaquées entre deux rondelles (fig. 63).

On peut aussi préparer les connexions en partant de la plaque à bornes et venir effectuer les soudures ou les brasures à l'intérieur du moteur sur les têtes de bobines.

L'emploi de cosses ou œillets (sertis ou brasés) est fortement recommandé sur la plaque à bornes.

1.37. — FRETAGE

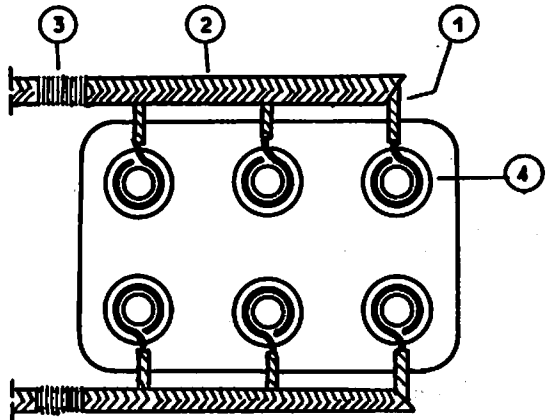
Les conducteurs sortant des encoches d'un stator doivent former un bloc compact et robuste, occupant le moins de place possible. Sur les machines de forte puissance, les effets électrodynamiques sont importants. En outre, sur les machines tournantes, les conducteurs sont soumis à la force centrifuge. Pour toutes ces raisons on consolide les têtes de bobines par des frettages appropriés à la nature de la machine.

Fig. 63.

Raccordement à la plaque de bornes.

1. Soupliso.
2. Soupliso fendu.
3. Frettage.
4. Rondelle.

On peut remplacer avantageusement la boucle par une cosse sertie ou soudée, ou un œillet sertie.



1.371. Frettage des conducteurs des stators bobinés à fils.

Les têtes de bobines des stators peuvent être enrubannées ou simplement frettées.

◆ Enrubannage.

En plus des qualités mécaniques que l'on désire augmenter, il est parfois utile d'améliorer :

- la *rigidité* entre les têtes de bobines ;
- la *protection contre les poussières* et les dégradations d'origine chimique ;

Dans ce cas, l'enrubannage des têtes de bobines se justifie. Il est surtout employé lorsque :

- le conducteur est isolé au coton ;
- la tension de fonctionnement est assez élevée ;
- les conditions d'ambiance sont mauvaises.

Il est préférable de l'effectuer après la pose de chaque bobine car le travail en est plus aisé et les bobines enrubannées sont ainsi protégées pendant le reste du bobinage. L'enrubannage est réalisé à recouvrement. Il est nécessaire de tirer sur le jaconas afin de diminuer les têtes de bobines et de les affermir ; les conducteurs doivent être recouverts sur leur plus grande longueur.

Lorsque cet enrubannage est terminé on consolide et on raccourcit les chignons en effectuant un frettage à spires espacées avec un lien non tranchant, tel que la gaine coton. Toutes les bobines sont serrées ensemble et les connexions sont emprisonnées sous ce frettage.

◆ Frettage au fil fouet.

L'enrubannage ne se justifie pas sur les enroulements devant fonctionner en basse tension, dans des conditions d'ambiance favorables et exécutés en fil émaillé, l'isolant de ce conducteur ayant une rigidité diélectrique élevée ; le temps d'exécution est assez long et le prix de revient s'en trouve augmenté.

Dans ce cas, et si le bobinage est à plans, les fils d'une bobine sont serrés par un enrubannage assez court ou par un frettage à la ficelle effectué sur de la toile huilée ; l'isolation entre bobines étant obtenue par un isolant souple et, comme précédemment, un frettage à spires espacées s'effectue sur l'ensemble des conducteurs.

Si l'enroulement est à bobines enchevêtrées, les sections des phases différentes sont simplement séparées par un isolant ; un frettage à la gaine coton ou au fil fouet consolide l'ensemble.

◆ Calage des têtes de bobines.

Pour les machines de forte puissance, les têtes de bobines possèdent une rigidité suffisante et elles sont écartées l'une de l'autre. On interpose entre elles des cales de forme appropriée en bois, fibre ou presspahn et l'ensemble est fretté au fil fouet.

Les hobinages enchevêtrés peuvent être ligaturés sur un cercle en acier rond isolé par un enrubannage.

Dans le cas des machines à haute tension, dont la puissance est toujours élevée, un calage énergétique est prévu pour résister aux contraintes électrodynamiques. A cet effet, les flasques de serrage des tôles portent, à intervalles réguliers, des bossages dans lesquels se vissent des tiges filetées. Ces tiges servent à maintenir des plaques en bois lamellé placées entre la masse et le premier plan, entre les différents plans et au-dessus du dernier plan (fig. 63 bis). Si le bobinage

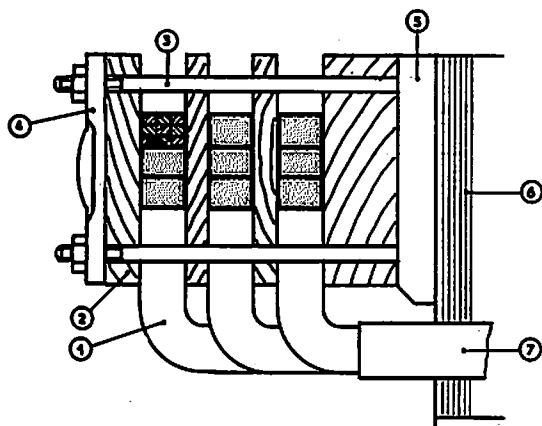


Fig. 63 bis.

est enchevêtré, les demi-bobines sont ligaturées sur un ou deux cercles isolés puis fixées sur les bossages.

Le calage des développantes sur les bobinages des rotors lisses de turbo-alternateurs est obtenu également par des cales en bois et des tiges vissées sur le bloc du rotor.

Le calage des inducteurs sur les rotors à pôles saillants est obtenu par des pièces en forme de coin (bois lamellé ou aluminium isolé) maintenues par des goujons.

1.372. Fretage des petits induits.

Il est nécessaire de consolider la partie comprise entre le collecteur et les tôles, de même que le chignon opposé au collecteur.

◆ Partie située entre le collecteur et les tôles.

Nous avons vu que les sorties étaient protégées par un frettage et qu'il était préférable de fretter avant de braser.

Les règles suivantes doivent être observées :

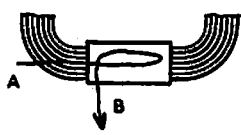
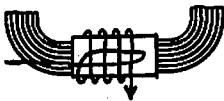
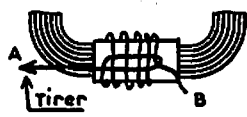
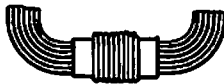
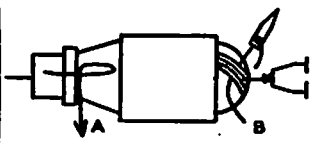
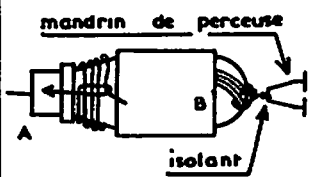
- éviter le cisaillement du fil de frettage sur les sorties en les protégeant par un isolant ;
- protéger au maximum le conducteur. En partant du collecteur remonter le plus près possible des tôles, ce qui est parfois difficile du fait de la conicité des parties à fretter.

Pour effectuer ce frettage, l'induit est monté sur un tour et les sorties sont recouvertes par un ruban ou un papier. Le frettage est exécuté à spires jointives rendues solidaires par imprégnation.

◆ Partie opposée au collecteur.

Le plus simple est de consolider la dernière section qui cale toutes les autres ; une ficelle non coupante est passée sous cette section, un bout de press-pahn ou un fil de bobinage torsadé faisant office d'aiguille. Après avoir effectué quelques tours autour de l'arbre les extrémités de la ficelle sont nouées (tableau XX, page 82).

TABLEAU XX. — Frettage au fil fouet.

Type de machines	Nos	Déroulement des opérations	Schémas
Têtes de bobines des stators bobinés à plan.	1	Effectuer deux tours de toile vernie sur la tête de bobine.	
	2	Couper la ficelle à la longueur voulue puis avec une chute de fil faire une aiguille. Effectuer une boucle comme il est indiqué. A est la partie la plus courte. B passe sur A.	
	3	Avec B, effectuer quelques spires jointives tirant légèrement sur le fil fouet.	
	4	Passer l'extrémité de B dans la boucle. Tenir la ficelle avec le pouce, sur la boucle, et tirer sur A. Lorsque la boucle pénètre sous les spires, couper l'excès de B. Tirer légèrement sur A et couper l'excès de ce dernier.	
	5	Les deux extrémités ne doivent pas être apparentes. Le frettage doit être bien centré sur la toile huilée.	
Petits induits.	1	A. Déroulement identique au précédent (voir tableau). Les fils de sorties ne sont pas représentés.	
	2	B. Passer une ficelle sous la dernière section, un bout de presspahn servant d'aiguille. Faire quelques spires autour de l'arbre et nouer les extrémités.	

1.373. Frettage des machines tournantes d'assez grande puissance.

Sur ces machines, le fretage doit opposer une résistance suffisante à la force centrifuge.

Celle-ci est fonction du diamètre de la machine, de la vitesse de rotation et de la masse des conducteurs.

Les efforts mécaniques s'exerçant sur la frette dépendent aussi de la forme des encoches et de l'emplacement de la frette.

Plusieurs types de fretage peuvent être envisagés :

- au fil fouet ;
- au fil métallique ;
- au ruban ;
- par un bandage.

◆ Frettage au fil fouet.

Ce fretage n'est utilisé que derrière un collecteur ou sur les têtes de bobines des induits et rotors de quelques kilowatts.

Les têtes des bobinages à fils passés ou à fils tirés sont ligaturées sur un cercle en acier isolé, disposé concentriquement à l'arbre, sous les têtes de bobines.

Les conducteurs sont protégés par un isolant, les frettes exécutées avec un fil fouet approprié et consolidées par le vernis d'imprégnation.

◆ Frettage au fil métallique.

Lorsque la force centrifuge exercée par les conducteurs augmente, le fil fouet ne possède plus la résistance mécanique souhaitable ; il est donc nécessaire d'entourer les conducteurs par des cerclages métalliques. La façon la plus simple

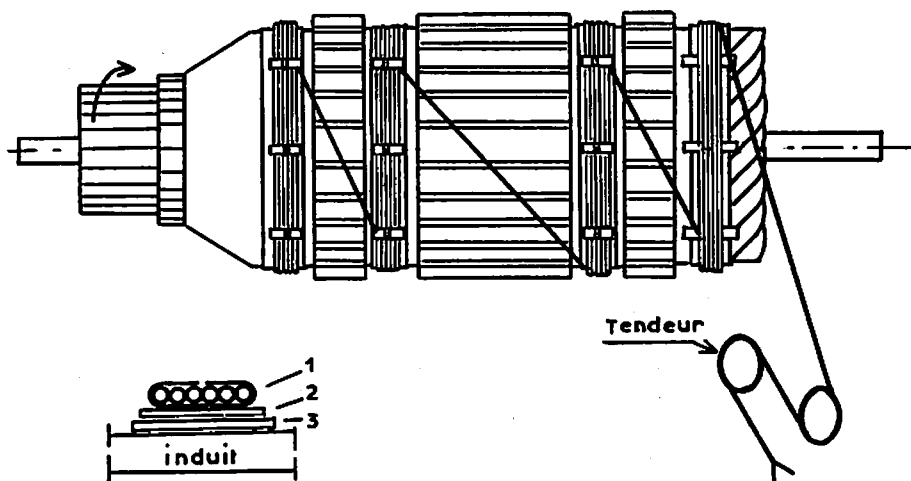


Fig. 64. — Frettage au fil métallique.
1. Fil et agrafe. 2. Micanite. 3. Presspahn.

est d'employer un fil à charge de rupture élevée et de lier les spires par un métal d'apport fondant à la plus basse température possible, tel que l'étain.

La pression exercée par chaque frette sur le bobinage doit être constante pendant le fonctionnement de la machine. Il est donc souhaitable que le fil utilisé ait un faible coefficient de dilatation.

Il est possible d'utiliser un fil en acier magnétique pour le frettage sur les tôles d'induit. Il en résulte toutefois une légère augmentation de l'inductance des sections logées en encoches ouvertes ; elle n'a, en général, pas de répercussion sur la commutation.

En dehors du fer, sur les têtes de bobines d'un induit, l'utilisation de fil d'acier magnétique provoque une augmentation de pertes par courant induit. Le flux de fuite des pôles et le flux produit par les têtes de bobine des enroulements de compensation se referment par les frettes magnétiques. On peut utiliser un acier amagnétique, mais ce métal se brase assez mal. On lui préfère le fil de bronze ou de laiton.

Ces frettes s'exécutent sur les induits et rotors de puissance moyenne lorsque le diamètre est peu important. Elles se réalisent sur les têtes de bobines et, si la machine possède des encoches ouvertes, sur les dégagements des tôles prévus à cet effet.

Dans le cas où plusieurs frettes sont exécutées sur une machine, leur action n'est efficace que si elles exercent la même pression sur le bobinage, d'où la nécessité d'utiliser un dynamomètre ou de réaliser les différentes frettes sans couper le fil.

Pour l'exécution de ces frettes, l'induit est installé sur un tour où un équipement spécial peut être employé.

La présence d'une source de chaleur assez élevée exige certaines précautions. Le déroulement des opérations peut se résumer ainsi :

- placer sur la partie à fretter un matériau à grande résistance mécanique (bande de presspahn ou verre tissé) qui doit dépasser de quelques millimètres le bord des frettes ;
- recouvrir cette bande par un matériau pouvant supporter la température de brasage (bande de micanite) ;
- accrocher le fil d'acier à l'induit, faire quelques tours d'amarrage et commencer la première frette ;
- en exécutant la première spire, disposer sous celle-ci une dizaine de bandes de laiton ou de cuivre étamé régulièrement espacées. Ces bandes, de quelques dixièmes de millimètre d'épaisseur et d'un centimètre de large environ, doivent avoir pour longueur le double de la largeur de la frette à exécuter ;
- réaliser ainsi la première frette. Lorsqu'elle est terminée, rabattre sur elle les extrémités des bandes à la façon d'une agrafe ;
- effectuer de même toutes les frettes sans couper le conducteur ;

- lorsque toutes les frettes sont terminées, et avant de couper le conducteur, exécuter quelques points de brasure sur les bandes ;
- couper le fil à 2 cm d'une bande et replier l'extrémité sur la machine, contre la bande ;
- braser les différents brins de manière à former un cerclage régulier.

◆ Frettage au ruban unidirectionnel.

Le fil métallique présente des inconvénients :

- difficulté et longueur de pose ;
- présence d'une source de chaleur assez élevée et chute possible de métal d'apport en fusion ;
- dilatation entraînant une variation des contraintes supportées ;
- en outre, la présence d'anneaux conducteurs de courant, au milieu d'un champ sujet à des variations, provoque des perturbations dans le fonctionnement.

Ces inconvénients sont supprimés avec le ruban unidirectionnel ; celui-ci possède une grande résistance à la rupture ; il est imprégné d'une résine qui se ramollit à la chaleur.

Sa pose est très simple. Après l'avoir enroulé sur les parties à fretter, directement sur la machine, il est légèrement chauffé avec un fer à repasser de façon à assurer sa prise provisoire. La finition s'effectue à l'étuve, à la température de 100 °C pendant une heure.

◆ Frettage par bandage.

Lorsque le diamètre de la machine est important, l'emploi des frettages précédents est peu souhaitable. D'une part, la force centrifuge est très élevée, ce qui oblige à effectuer des frettes très résistantes, et, d'autre part, en raison de leur longueur, elles seraient sujettes à se détendre et à être inefficaces.

Il en est de même sur les rotors des turbo-alternateurs, qui, tournant très vite, devraient avoir des frettes excessivement résistantes.

Dans ces cas les machines possèdent des encoches fermées, ou à ouvertures très réduites, avec des cales appropriées ; les frettes sont seulement exécutées sur les têtes de bobines.

A cet effet on emploie des bandes d'acier ou de nickel ayant leurs extrémités réunies par une agrafe à serrage réglable.

Les têtes de bobines des rotors de turbo-alternateurs sont maintenues par des calottes massives en acier spécial, posées à chaud et verrouillées par un système à balonnette.

1.4. — ENROULEMENTS DES TRANSFORMATEURS

1.41. — DISPOSITION DES ENROULEMENTS SUR UN TRANSFORMATEUR A COUCHES ALTERNÉES

Il s'agit de disposer sur le même noyau les enroulements basse tension et haute tension.

Ce dernier, toujours relié à une ligne extérieure de grande longueur, est le plus sujet aux perturbations :

- surtension d'origine atmosphérique ou due à la fermeture d'un interrupteur ;
- surintensité provoquée par la coupure d'un conducteur.

Les claquages y étant plus fréquents, il est donc plus judicieux de le placer à l'extérieur, la réparation étant plus rapide en cas d'avarie.

La basse tension ne comprend que peu de spires et elles sont généralement disposées en une seule bobine. Il ne serait pas rationnel qu'il en soit de même pour l'enroulement haute tension ; l'exécution en serait malaisée et, en cas de défaut, tout le bobinage devrait être remplacé. Il est plus logique de placer plusieurs bobines ou galettes en série ; en cas de claquage, seule la bobine défectueuse est à remplacer.

◆ Différentes galettes haute tension.

Il est utile de pouvoir régler la tension de sortie d'un transformateur. Ce réglage s'effectue en couplant plus ou moins de spires sur l'enroulement haute tension ; quelques galettes sont prévues à cet effet.

On distingue :

- les galettes ordinaires, dont le rôle est de produire le flux, ou dans lesquelles une f.é.m. induite prend naissance ;
- les galettes de réglage qui permettent de mettre en service plus ou moins de spires ; actuellement elles se placent au milieu de la colonne. Trois réglages sont possibles sur les transformateurs de distribution : normal, plus 5 %, moins 5 %.

◆ Disposition générale.

Un transformateur à couches alternées comprend, par colonne, en allant du centre vers la périphérie :

- le noyau magnétique ;
- l'enroulement basse tension (une seule bobine) ;
- l'enroulement haute tension (plusieurs bobines en série).

1.42. — PRÉPARATION DES ENROULEMENTS

En ce qui concerne les petits transformateurs, la méthode de bobinage a été exposée dans le paragraphe 1.1 de la présente partie. Nous examinerons donc seulement le bobinage des transformateurs de puissance.

1.421. Bobinage des galettes.

Cette opération ne présente aucune difficulté particulière. Les fils utilisés sont généralement de faible diamètre et on procède comme pour les bobines sur noyau, le plus souvent sur tours automatiques ou semi-automatiques. Les couches de spires sont isolées entre elles par une couche de papier kraft et l'ensemble est enrubanné à spires espacées.

1.422. Bobinages en couches.

Les difficultés sont beaucoup plus grandes que pour les enroulements à galette à cause des dimensions plus grandes de la bobine et de la section généralement plus importante du fil. Les machines utilisées sont généralement dépourvues de tout automatisme. Le guidage s'effectue à la main, les bobines magasin étant disposées derrière l'opérateur. En raison de la vitesse de bobinage peu élevée on peut se dispenser de tout système de freinage sur les bobines. La tension est obtenue par un serre-fil disposé le plus près possible de l'axe du tour. Il est simplement constitué par deux plaquettes en bois dur (hêtre, buis ou bois bakéliné) munies d'encoches à la dimension du fil et serrées l'une contre l'autre (fig. 65).

La mise en forme des entrées et sorties doit être effectuée avec le plus grand soin afin d'éviter les retouches ultérieures qui pourraient entraîner une destruction ou un affaiblissement de l'isolant. Il est quelquefois nécessaire de recourir au chalumeau pour les sections de fil importantes ; l'isolation est alors reconstituée par enrubannage.

Afin de réduire les opérations ultérieures de mise en place, on effectue fréquemment le bobinage sur le cylindre isolant lorsqu'il en est prévu un. Si un jeu est prévu entre le cylindre et l'enroulement, des cales en carton ou en bois sont disposées contre le cylindre, suivant des génératrices ; après bobinage, un certain nombre d'entre elles peuvent être retirées afin de ménager des canaux de circulation pour le liquide réfrigérant.

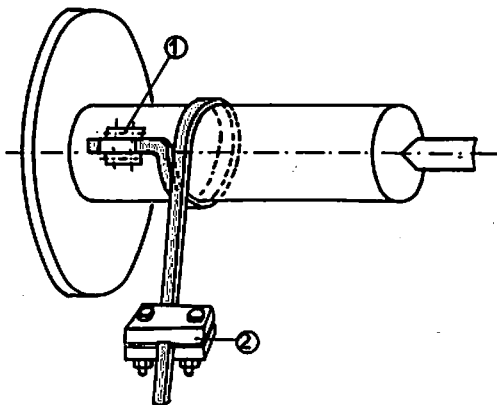


Fig. 65.

Principe du bobinage d'une colonne de transformateur.

1. Fixation de l'extrémité.
2. Serre-fil.

◆ **Bobines à spires jointives.**

Suivant l'intensité mise en jeu, le fil utilisé est de section circulaire ou méplate ; dans ce dernier cas, il peut être enroulé sur plat ou sur chant.

Pour maintenir les spires, des rubans de coton sont posés alternativement dessus et dessous les spires, suivant plusieurs génératrices (fig. 66).

◆ **Colonnes à enroulement continu à un seul fil en fausses galettes.**

La grande difficulté provient du passage d'une couche de spires à la couche voisine. Si la première couche est bobinée en passant d'une spire inférieure à une spire supérieure donc en augmentant de diamètre à chaque tour, sur la couche voisine ainsi que sur toutes les couches paires on suit l'enroulement en passant d'une spire supérieure à une spire inférieure, donc en diminuant de diamètre à chaque tour (fig. 66 bis).

Fig. 66.

Maintien des spires par des rubans.

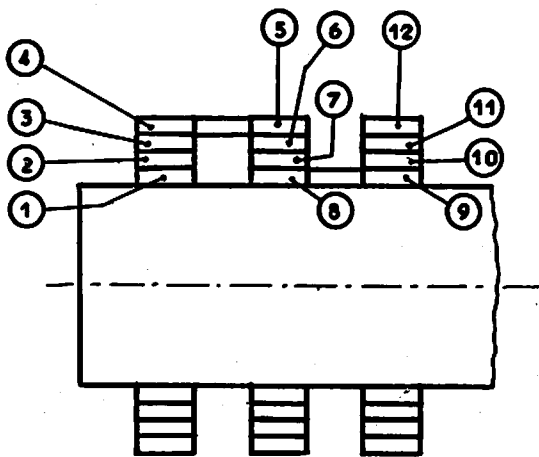
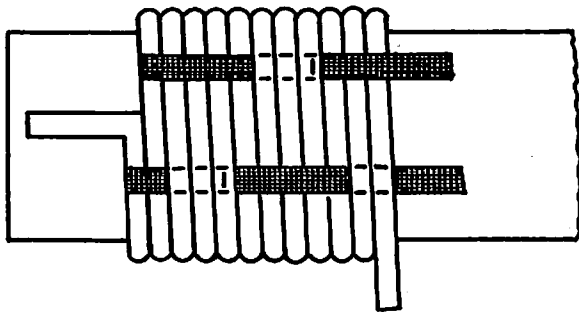


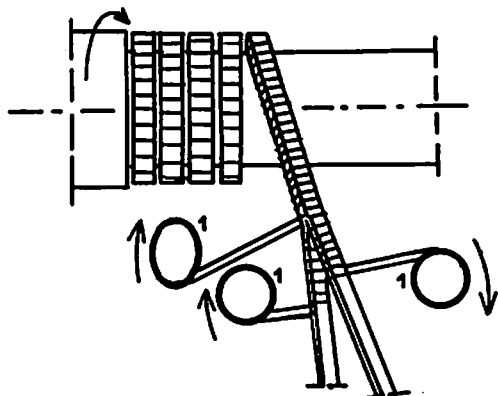
Fig. 66 bis

Principe de bobinage continu à fausses galettes.

(Les n^{os} indiquent l'ordre de bobinage des spires.)

◆ **Bobinage continu avec spires en parallèle.**

La transposition des conducteurs nécessaires pour éviter les pertes supplémentaires s'effectue au passage d'une couche de spires à la couche voisine. Le conducteur placé entre le noyau est remonté à la partie supérieure par des pliages successifs (fig. 67).



Les cales d'écartement entre couches de spires superposées peuvent être disposées au fur et à mesure de l'avancement du travail. La transposition n'est guère utilisée que pour des puissances supérieures à 30 MVA.

Fig. 67. — Mise en forme de la B.T.
l. Jaconas.

Ici : 2 méplats nus, pliés à plat sur un cylindre en bois.

◆ **Cas des rebobinages avec récupération de la barre.**

Il arrive, en réparation, que l'on soit amené à réutiliser un enroulement comportant peu de spires disposées sur une seule couche. On peut alors soit dérouler la colonne et recuire le fil puis procéder à un nouvel enroulement, soit recuire la colonne dans sa forme primitive. Dans les deux cas, la reconstitution de l'isolation s'effectue par enrubannage.

1.43. — MONTAGE DES ENROULEMENTS

Pour effectuer le montage des enroulements, la partie supérieure du circuit magnétique doit être enlevée. Les tôles des colonnes sont liées provisoirement par des rubans.

Le travail n'est satisfaisant que si l'on respecte les règles suivantes :

- assurer la solidité mécanique des enroulements afin de combattre les forces électrodynamiques en présence ;
- disposer les axes horizontaux des enroulements sur la même ligne pour réduire les pertes ;
- faciliter la circulation du fluide refroidisseur en ménageant des espaces entre les bobines ;
- isoler correctement les enroulements entre eux et par rapport à la masse.

1.431. Isolation du noyau magnétique.

La figure 68 indique les différentes façons d'isoler le noyau magnétique. On utilise suivant les cas : des feuilles de presspahn enroulées, des cylindres en papier bakéliné, des cornières en transformer-board.

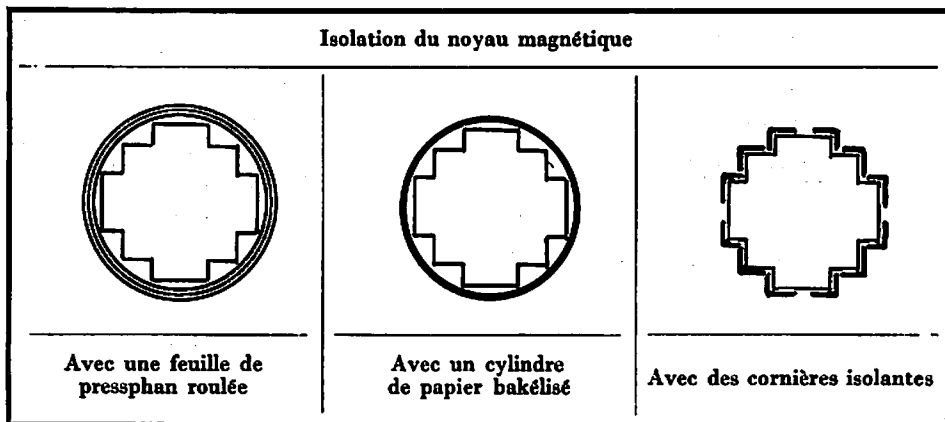


Fig. 68.

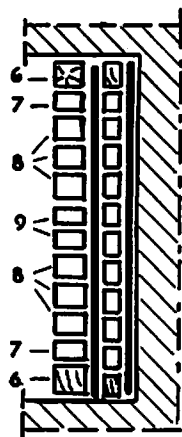
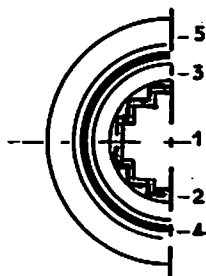


Fig. 69.

Disposition d'une colonne d'un transformateur à couches alternées.

1. Circuit magnétique.
2. Isolation.
3. Basse tension.
4. Isolation H.T.-B.T.
5. Haute tension.
6. Cales en bois.
7. Galette de choc.
8. Galettes ordinaires.
9. Galettes de réglage.



(1) Voir paragraphe 2.31, première partie.

1.432. Basse tension.

On procède ensuite au montage des enroulements sur le circuit magnétique. Ces enroulements sont solidement maintenus en place et écartés des parties horizontales du circuit magnétique par deux couronnes en bois dur.

1.433. Séparation des deux enroulements.

On utilise un cylindre de papier kraft imprégné à la bakélite, ou des feuilles de papier enroulé dont les extrémités sont rabattues sur le bobinage afin d'assurer l'isolation contre les culasses.

1.434. Haute tension.

Les galettes sont posées dans l'ordre indiqué par la *figure 69*. A chaque extrémité, une couronne sert de cale et d'isolant ; les différentes galettes sont écartées les unes des autres par des cales en bois ou en carton et disposées de façon à permettre le passage du liquide ou de l'air de refroidissement.

En très haute tension, l'isolation est graduée tout en long de l'enroulement de façon à améliorer la tenue aux surtensions à front raide (1). La disposition des bobinages et leur isolation font l'objet d'études très poussées.

1.44. — EXÉCUTION DES CONNEXIONS

1.441. Entre galettes haute tension.

On effectue une épissure torsadée, soudée ou brasée à l'étain et enrubannée ou glissée dans une gaine souple.

1.442. Entre colonnes.

— *Haute tension* : on utilise des conducteurs raccordés par une épissure soudée ou brasée et logés dans des tubes en papier bakélinisé.

— *Basse tension* : les sorties des colonnes sont raccordées entre elles suivant le schéma convenable. Généralement on prévoit, lors du bobinage, une longueur suffisante pour que les raccordements soient possibles sans nécessiter un conducteur supplémentaire de liaison.

1.443. Liaison aux traversées et au commutateur.

La liaison aux bornes B.T. s'effectue soit en utilisant les fils de sortie s'ils sont suffisamment longs, soit un conducteur méplat ou des bandes souples soudés ou rivés et soudés. Dans quelques cas, sur des transformateurs intérieurs, et pour des tensions peu élevées, les barres du secondaire traversent directement le couvercle en passant dans un passe-barre isolant.

La liaison aux bornes H.T. et au commutateur de réglage s'effectue par des conducteurs disposés à l'intérieur de tubes en papier bakélinisé.