

ALTERNATEUR FRANÇAIS A HAUTE FRÉQUENCE DE 500 KILOWATTS, INSTALLÉ AU CENTRE D'ÉMISSION DE SAINTE-ASSISE (SEINE-ET-MARNE)

# LA SCIENCE ET LA VIE

MAGAZINE MENSUEL DES SCIENCES ET DE LEURS APPLICATIONS A LA VIE MODERNE

Rédigé et illustré pour être compris de tous

Abonnements : France, 25 francs ; Étranger, 40 francs. - Chèques postaux : N° 91-07 - Paris

RÉDACTION, ADMINISTRATION et PUBLICITÉ : 13, rue d'Enghien, PARIS-X<sup>e</sup> — Téléph. : Bergère 37-36

Tous droits de reproduction, de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays.  
Copyright by La Science et la Vie, Septembre 1923.

Tome XXIV

Septembre 1923

Numéro 75

## LES ALTERNATEURS A HAUTE FRÉQUENCE EMPLOYÉS EN T. S. F.

Par Guy MALGORN

ON sait que les phénomènes d'induction sont susceptibles de donner naissance, dans un circuit, à des forces électromotrices permanentes, pourvu que l'on produise des variations continues de flux à travers ce circuit.

Ceci est vrai, que ce soit le circuit ou que ce soit le champ magnétique qui se déplace effectivement ; la condition essentielle est qu'il y ait déplacement relatif de l'un par rapport à l'autre.

Dans les alternateurs industriels, l'organe mobile est, suivant les types, soit l'induit, soit l'inducteur. Les machines puissantes sont toujours à induit fixe ; le système inducteur forme comme un grand volant qui tourne à l'intérieur de l'induit. C'est d'ailleurs, le plus souvent, le volant même du moteur à vapeur destiné à actionner l'alternateur, et c'est sur la jante du volant que se trouvent fixés les noyaux des pôles inducteurs entourés de leurs bobines excitatrices. On sait que la partie fixe de l'alternateur s'appelle le *stator* et la partie mobile, le *rotor*.

En général, le courant continu qui alimente les électro-aimants inducteurs est fourni par une petite machine indépendante, c'est-à-dire par une « excitatrice » séparée.

Il existe, enfin, un troisième type d'alternateur, dit « à fer tournant ». Dans cet alternateur, très employé en télégraphie sans fil, l'induit et l'inducteur sont fixes, et les variations de flux sont obtenues en faisant tourner devant eux de simples masses de fer.

En radiotélégraphie, la difficulté de réalisation est accrue du fait qu'il s'agit d'obtenir une fréquence très élevée en même temps qu'une puissance suffisante. Or, on sait que la fréquence d'un alternateur est égale au produit du nombre de paires de pôles par le nombre de tours effectués par la machine en une

seconde. Pour augmenter la fréquence, il faut agir sur l'un ou l'autre de ces deux facteurs. Mais on est rapidement arrêté : 1° par la limite qui, pour des raisons de sécurité, est imposée à la vitesse périphérique des pièces animées d'un mouvement de

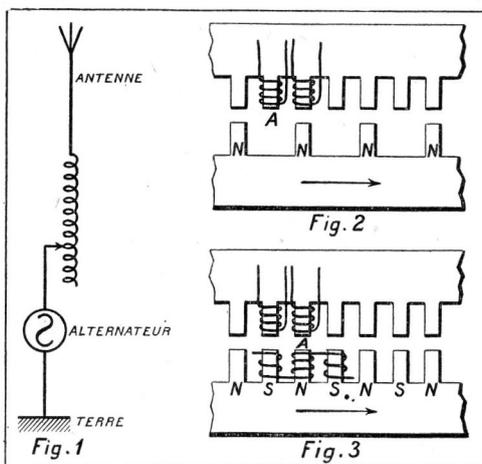


FIG. 1 : PRINCIPE DE MONTAGE D'UN ALTERNATEUR A HAUTE FRÉQUENCE. — FIG. 2 : SCHÉMA DE PRINCIPE DES MACHINES HOMOPOLAIRES OU A FLUX ONDULÉ. — FIG. 3 : SCHÉMA DE PRINCIPE DES MACHINES HÉTÉROPOLAIRES OU A FLUX ALTERNÉ

rotation ; l'effet de la force centrifuge croît, en effet, comme le carré de la vitesse, et l'on arrive, pour une vitesse de 150 mètres à la seconde, à faire travailler les tôles du rotor au taux de 3 kilogrammes par millimètre carré ; 2° par le manque d'espace disponible pour placer les pôles et les conducteurs ; dans le cas d'un alternateur à flux alterné, par exemple, le pas polaire comprend l'espace nécessaire à la largeur d'un pôle et d'une encoche et ne peut guère être réduit à moins de 2 mm. 5 ; dans un alternateur homopolaire ou à flux ondulé, cette largeur serait encore réduite de près de moitié.

Une vitesse excessive accroît considérablement les pertes par frottement et ventilation. Elle provoque des efforts considérables dans les parties tournantes, des déformations élastiques importantes, des trépidations dangereuses, et produit, à la longue, le décollement des enroulements et l'usure rapide des coussinets des paliers.

Si l'entrefer est trop petit, conséquence normale de la réduction du pas polaire, le rotor peut venir au contact du stator, et de graves accidents sont à redouter.

C'est ce qui explique pourquoi il a fallu si longtemps pour que l'alternateur industriel entre dans la pratique de la radiotélégraphie. En 1890, Tesla avait cependant construit un alternateur de 10.000 à 12.000 périodes par seconde et d'une puissance de 1 kilowatt environ. Il faut ensuite arriver à 1907 pour retrouver une autre tentative du même genre, tentative due à

Fessenden, qui construisit un alternateur de 60.000 périodes par seconde, mais de 250 watts seulement. Par la suite, Fessenden réussit à construire un alternateur plus puissant de 2,5 kilowatts et de 75.000 périodes par seconde.

Vers la même époque, l'ingénieur américain Alexanderson construisait un alternateur de 2 kilowatts et de 100.000 périodes par seconde. Plus récemment, il réalisait deux modèles de 50 et de 200 kilowatts, mais pour des fréquences respectives de 50.000 et de 25.000 périodes par seconde. Nous décrirons d'ailleurs en détail l'alternateur Alexanderson, qui fait partie d'un système de radiotélégraphie très employé dans les grandes stations américaines.

En Allemagne, Goldschmidt établissait, à la même époque, une machine de 100 kilowatts. De leur côté, en

France, MM. Marius Latour et Béthenod établissaient différents modèles d'alternateurs dont la puissance va jusqu'à 500 kilowatts et dont la fréquence varie entre 15.000 et 30.000 périodes par seconde.

L'alternateur n'a d'ailleurs présenté de l'intérêt, au point de vue de la radiotélégraphie, que le jour où l'on a commencé à employer les grandes longueurs d'onde pour les transmissions, c'est-à-dire des fréquences relativement basses. On sait, en effet, que la longueur d'onde varie en sens inverse de la fréquence ; lorsqu'on est arrivé aux longueurs d'onde de 5.000 mètres, les fréquences nécessaires sont devenues de 60.000 périodes par seconde ; pour 10.000 mé-

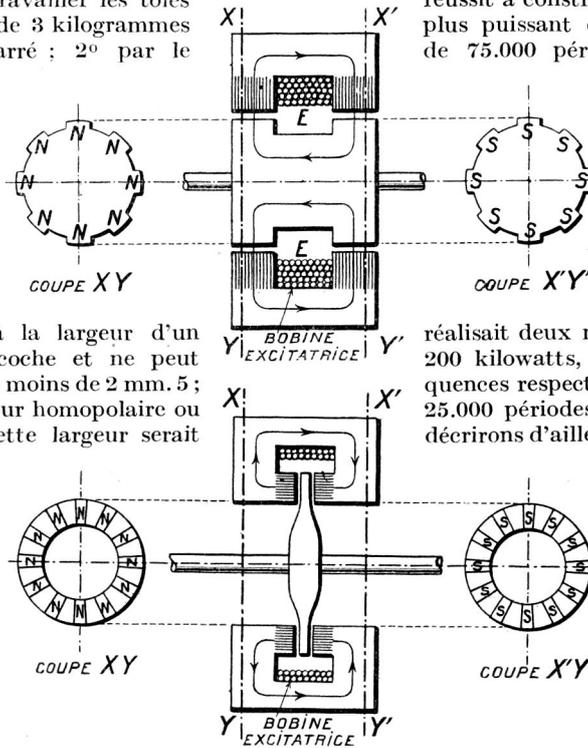


FIG. 4 ET 5. — DEUX DISPOSITIONS POSSIBLES DES MACHINES HOMOPOLAIRES

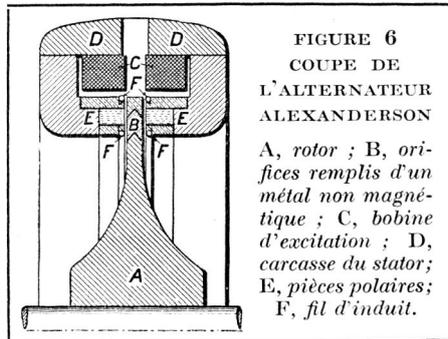


FIGURE 6  
COUPE DE  
L'ALTERNATEUR  
ALEXANDERSON  
A, rotor ; B, ori-  
fices remplis d'un  
métal non magné-  
tique ; C, bobine  
d'excitation ; D,  
carcasse du stator ;  
E, pièces polaires ;  
F, fil d'induit.

tres, elles ne sont que de 30.000 périodes par seconde, et pour 20.000 mètres, de 15.000 périodes par seconde. Aussi l'alternateur à haute fréquence est-il maintenant considéré comme la machine par excellence des stations puissantes et tend-il à supplanter complètement le convertisseur à arc.

**Principe de montage.** — L'alternateur à haute fréquence est intercalé dans le circuit antenne-terre (fig.1). Une self-inductance, que l'on peut faire varier, permet d'accorder la période de vibrations propre de l'antenne sur la fréquence fournie par l'alternateur.

**Les divers types d'alternateurs à haute fréquence**

Les diverses catégories d'alternateurs utilisés en télégraphie sans fil peuvent être ramenées toutes à trois classes principales :

1° Les alternateurs qui donnent directement la fréquence demandée. Leur principe ne diffère pas de celui des alternateurs ordinaires. Ils ont un grand nombre de pôles et une grande vitesse de rotation et sont entraînés par un moteur électrique. On peut citer parmi ces alternateurs le type Alexanderson et le type Latour-Béthenod ;

2° L'alternateur fonctionne à une fréquence inférieure à la fréquence demandée, et la fréquence est augmentée par des transformateurs statiques spéciaux, qui doublent ou triplent chacun la fréquence originelle ; l'alternateur Telefunken donne 7.500 périodes, par exemple. Les transformateurs doublent deux fois la fréquence, par exemple, et l'on obtient une fréquence quadruple de 30.000, soit l'onde de 10.000 mètres de longueur ;

3° On fait jouer le principal rôle à un harmonique de fréquence  $nf$ ,  $n$  étant un nombre entier toujours très simple.

C'est, par exemple, le cas de l'alternateur Goldschmidt, où l'on produit le courant à une fréquence inférieure à la fréquence demandée, et l'on développe les harmoniques au moyen de circuits en résonance. La

fréquence obtenue directement est de 7.500 et l'on fait résonner successivement les harmoniques de fréquence 15.000, 22.500 et 30.000.

Nous n'étudierons ici que la première classe d'alternateurs, ceux qui fournissent directement la fréquence demandée. Ce sont, d'ailleurs, les plus employés actuellement : l'alternateur américain et le français appartiennent à ce type de machines.

**Alternateurs fournissant directement à l'antenne la fréquence nécessaire**

Ce sont, en général, des alternateurs du type homopolaire à fer tournant.

Ce genre de machines est appelé « homopolaire » parce que les pièces polaires sont de même nom ; on les appelle aussi « à flux ondulé » parce que le flux qui traverse les spires de l'induit oscille entre un maximum  $\varphi$  et un minimum  $\varphi_1$  toujours supérieur à 0. Au contraire, les alternateurs ordinaires sont dits « hétéropolaires », car les pièces polaires sont alternativement de signe contraire ; on les appelle aussi alternateurs « à flux alterné », car le flux qui traverse les spires de l'induit oscille entre deux valeurs  $\varphi$  égales et de signe contraire ; dans ces derniers alternateurs, la variation de flux pour une même excitation est  $2\varphi$ , tandis que dans les premiers elle est très sensiblement inférieure à  $\varphi$ .

La figure 2 représente le schéma de principe d'un alternateur homopolaire ou à flux ondulé ; les pièces polaires ont toutes le même signe et ce sont les intervalles vides qui jouent le rôle de pôles de signe contraire ; en réalité, lorsqu'une bobine telle que  $A$  se trouve devant un creux, cette bobine n'est traversée que par un flux très faible  $\varphi_1$  (mais non négatif), tandis qu'elle est traversée par un flux maximum  $\varphi$  lorsqu'elle se trouve devant une des pièces polaires  $N$ .

La figure 3 représente le schéma de prin-

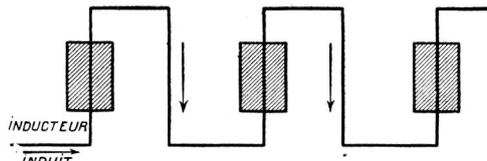


FIG. 7. — SCHÉMA DES ENROULEMENTS DE L'ALTERNATEUR ALEXANDERSON

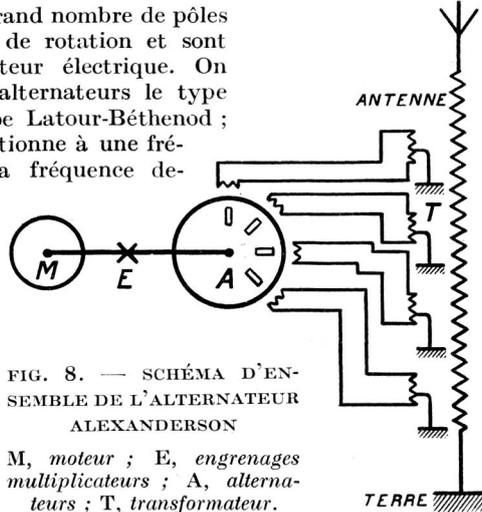


FIG. 8. — SCHÉMA D'ENSEMBLE DE L'ALTERNATEUR ALEXANDERSON  
M, moteur ; E, engrenages multiplicateurs ; A, alternateurs ; T, transformateur.

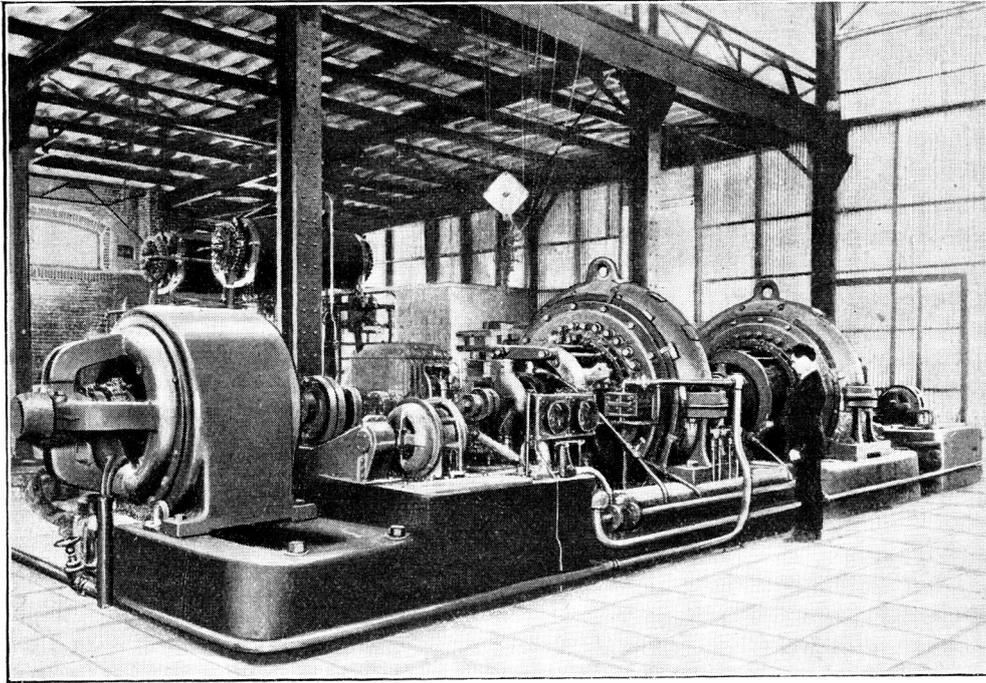


FIG. 9. — VUE DE L'ALTERNATEUR ALEXANDERSON EN FONCTIONNEMENT  
On peut remarquer dans le fond, en haut et vers la gauche, les deux transformateurs.

cipe d'un alternateur ordinaire à flux alterné ; on vérifie que chaque bobine  $A$  est parcourue par un flux  $\varphi$  quand un pôle  $N$  passe devant elle, et par un flux égal et de signe contraire quand c'est un pôle  $S$ .

Les alternateurs homopolaires à fer tournant comportent une partie fixe (le stator), où sont rassemblés l'induit et l'inducteur, et une partie mobile (le rotor), qui ne porte aucun enroulement. On comprend immédiatement l'avantage de ce genre de machines en télégraphie sans fil, car il permet de donner au rotor non bobiné des vitesses très grandes, sans crainte de compromettre l'enroulement.

L'inducteur est alimenté par une source de courant continu fourni par une excitatrice séparée.

La figure 4 représente le schéma de principe d'un tel alternateur. Le stator porte, outre l'enroulement induit (non représenté), l'enroulement inducteur  $E$  constitué par une bobine d'excitation entourant l'arbre.

Le rotor porte des dents (ou pièces polaires) dont la polarité est déterminée par l'enroulement inducteur  $E$ . On vérifie aisément que l'ensemble des dents de gauche (coupe  $X Y$ ) constitue des pôles  $N$ , tandis que l'ensemble des dents de droite (coupe  $X' Y'$ ) constitue des pôles  $S$ . On améliore beaucoup le rendement en feuilletant les parties représentées sur le stator.

On peut aussi constituer un alternateur homopolaire à fer tournant de la façon indiquée figure 5, où le rotor est formé par un disque dont la partie de gauche constitue l'ensemble des pôles  $N$  et la partie de droite l'ensemble des pôles  $S$ .

On peut aussi constituer un alternateur homopolaire à fer tournant de la façon indiquée figure 5, où le rotor est formé par un disque dont la partie de gauche constitue l'ensemble des pôles  $N$  et la partie de droite l'ensemble des pôles  $S$ .

### L'alternateur Alexanderson

L'alternateur Alexanderson est très employé en Amérique. Construit pour la première fois, en 1908, par M. Alexanderson, c'est un alternateur homopolaire à fer tournant où l'on utilise la fréquence fondamentale de la machine. Le rotor  $A$  (fig. 6)

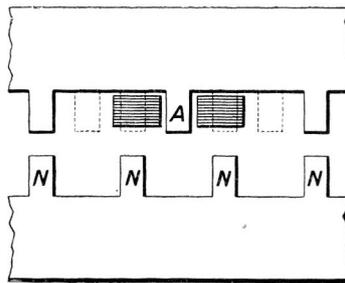


FIG. 10. — SCHÉMA DE PRINCIPE  
DES ALTERNATEURS FRANÇAIS A  
HAUTE FRÉQUENCE

est un disque d'acier d'épaisseur variable, dans lequel ont été percés un très grand nombre d'orifices remplis d'un métal non magnétique, du bronze phosphoreux, par exemple. Ce rotor est donc analogue à un disque denté ordinaire, mais les intervalles entre les dents ont été remplis par ce métal non magnétique, afin de réduire la résistance de l'air, qui serait très considérable à ces grandes vitesses de rotation. La carcasse *D* du stator porte la bobine d'excitation *C*. Le flux créé par cette bobine traverse la carcasse, passe par les pièces polaires *E* de l'induit qui sont feuilletées pour cette raison. L'induit est constitué par un simple fil *F* isolé à la soie et disposé en zigzag autour des pièces polaires (fig. 7). L'entrefer, qui est normalement de  $4/10^e$  de millimètre, est variable et peut être réduit jusqu'à  $1/10^e$  de millimètre.

Cet alternateur est construit suivant deux types : 50 et 200 kilowatts. Nous ne donnerons que les caractéristiques du second type, le plus puissant. La vitesse de rotation varie autour de

vitesse et repose sur quatre paliers, deux extrêmes et deux intermédiaires.

L'alternateur est un alternateur de 200 kilowatts 25.000 périodes par seconde) entraîné par un moteur à courant alternatif à vitesse réglable, quelle que soit la source (machine ou secteur) qui l'alimente. Le moteur est un moteur asynchrone triphasé à bagues de 600 chevaux. Entre le moteur et l'alternateur est interposé un système d'engrenages multiplicateurs de la vitesse, dont le rapport est de 2,97 à 1.

La fréquence est égale au produit du nombre de tours par seconde du disque par le nombre de paires d'encoches qui passent à chaque tour devant un pôle déterminé du système induit fixe. Dans le cas de l'alternateur Alexanderson, que nous décrivons, le nombre d'encoches du disque tournant est voisin de 1.300. Quant aux noyaux induits, le nombre

de leurs encoches est d'environ 64. L'alternateur forme un ensemble appelé alternateur-transformateur. On a, en effet, incorporé à l'alternateur un transformateur

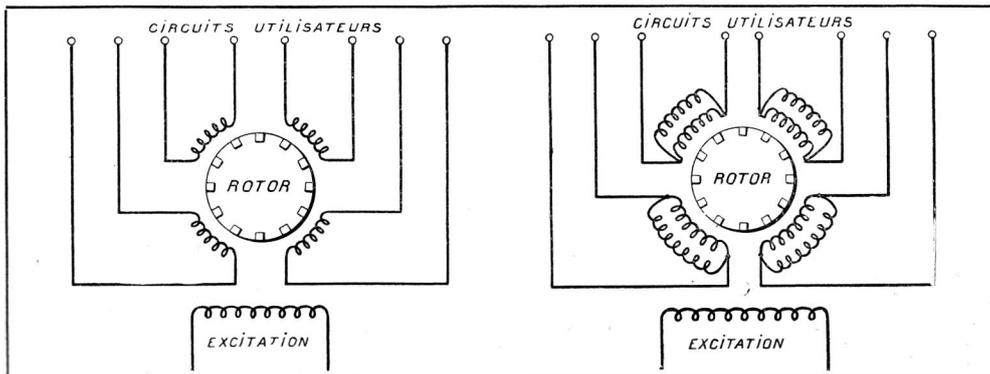
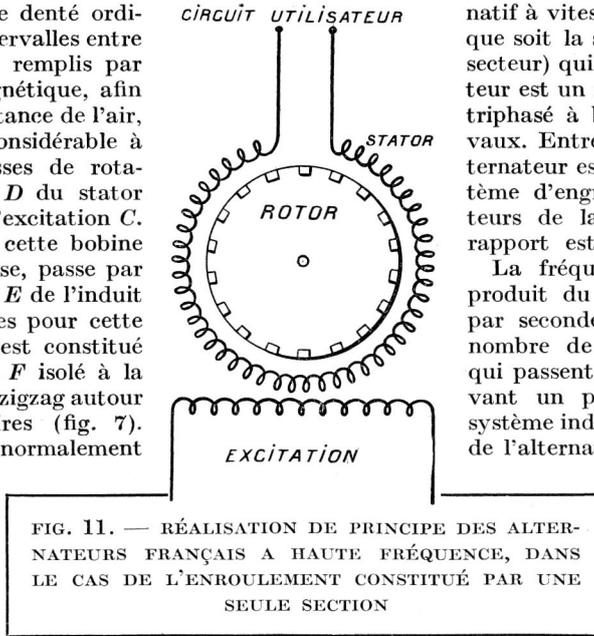
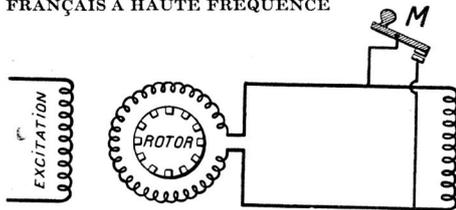


FIG. 12 ET 13. — DANS LES ALTERNATEURS PUISSANTS, L'ENROULEMENT EST DIVISÉ EN PLUSIEURS SECTIONS QUI PEUVENT ÊTRE CONNECTÉES DEUX A DEUX EN PARALLÈLE

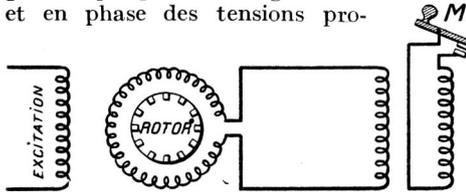
2.170 tours par minute, aussi a-t-on dû prendre certaines précautions, telles que de construire le rotor en un métal spécial (acier au nickel et au chrome) et d'employer un arbre flexible qui tourne à très grande

comportant lui aussi 64 sections primaires fermées individuellement sur celles de l'induit. Le but de cette disposition est d'éliminer les différences importantes de tension qui pourraient prendre naissance dans

FIG. 14 ET 15. — SCHÉMAS DE MANIPULATION DE L'ALTERNATEUR FRANÇAIS A HAUTE FRÉQUENCE



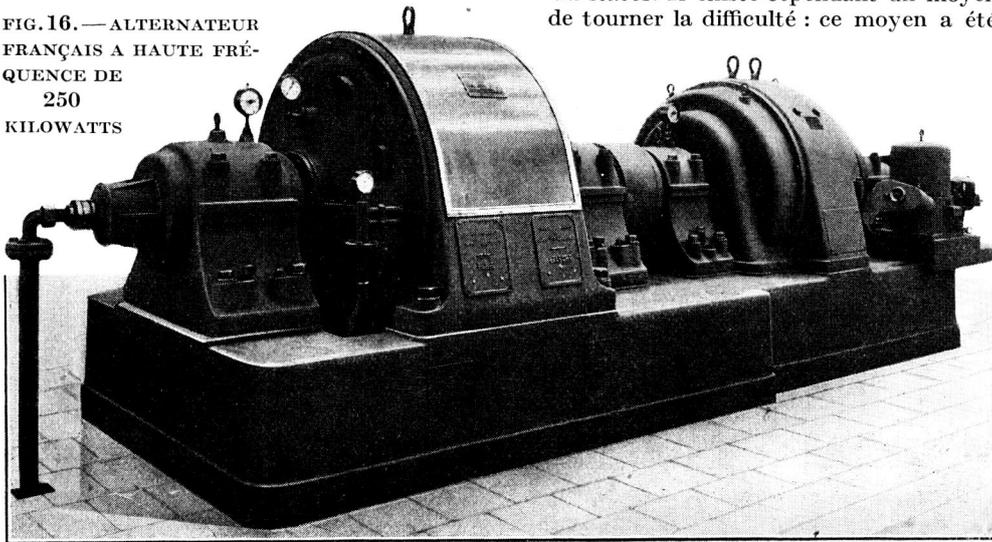
les différentes sections de l'induit. Au moyen du transformateur, on rend chaque section de l'induit électriquement indépendante des autres. Bien entendu, des précautions spéciales sont prises pour obtenir une égalité aussi grande que possible en grandeur et en phase des tensions pro-



duites dans les différents circuits de l'induit de cet alternateur.

La figure 8 donne un schéma de l'alternateur-transformateur. L'alternateur y est représenté sous forme d'un disque *A*, sur lequel nous avons représenté quatre trous au lieu des centaines de dents percées en réalité. Nous n'avons également représenté que quatre enroulements fixes, au lieu de

FIG. 16. — ALTERNATEUR FRANÇAIS A HAUTE FRÉQUENCE DE 250 KILOWATTS



soixante-quatre réels. De même, le transformateur *T* ne présente que quatre sections primaires (au lieu de soixante-quatre), formant avec les sections correspondantes de l'induit des circuits locaux séparés. Ces sections primaires du transformateur sont couplées inductivement avec l'antenne.

Pour rendre la vitesse de la machine rigoureusement constante, on utilise un régulateur de vitesse très ingénieux, mais que nous ne décrirons pas ici.

La figure 9 représente une vue d'ensemble de l'alternateur. Les deux cylindres supérieurs, à gauche et dans le fond, sont les éléments de transformateur. A gauche se trouve le moteur asynchrone triphasé à bagues.

Au moyen d'une échelle graduée, l'entrefer peut être réglé pour diverses longueurs. La plus petite valeur que l'on puisse obtenir est de 0 mm. 1, la tension engendrée étant de près de 300 volts. Mais l'entrefer usuel est de 0 mm. 38 et la tension est de 150 volts.

Ce type d'alternateurs est employé, en particulier, dans la grande station américaine de télégraphie sans fil de Rocky-Point (Long Island).

La vitesse périphérique de ces alternateurs est de 300 mètres par seconde ; cette vitesse peut paraître exagérée et il y aurait intérêt à la réduire de moitié, par exemple ; mais une nouvelle difficulté se présente alors, car il faut augmenter le nombre de dents et les encoches deviennent trop étroites pour loger les bobines induites du stator. Il existe cependant un moyen de tourner la difficulté : ce moyen a été

imaginé par des Français, MM. Béthenod et Latour, et les machines ont été réalisées par la Société Française Radioélectrique.

### Les alternateurs français

Reprenons la figure 2 qui représente le schéma de principe d'un alternateur homopolaire ordinaire. Nous venons de voir qu'il est impossible de réduire la vitesse de l'alternateur pour une fréquence donnée, sans être

Dans cet alternateur, le nombre de dents du rotor et le nombre d'encoches du stator sont entre eux comme les nombres 4 et 3. On conçoit aisément l'intérêt que présente ce procédé appliqué aux alternateurs à fer tournant, si l'on considère que la multiplication des pôles porte sur l'inducteur. Il est, en effet, relativement facile d'augmenter le nombre des pôles du rotor qui ne porte aucun bobinage, tout en réservant ceper dant sur



FIG. 17. — SALLE D'ÉMISSION DE LA STATION TRANSCONTINENTALE (CENTRE D'ÉMISSION DE SAINTE-ASSISE, PRÈS DE MELUN)

*Cette salle renferme deux alternateurs à haute fréquence de 500 kilowatts et deux alternateurs à haute fréquence de 250 kilowatts.*

conduit à des dimensions trop faibles pour les encoches destinées à loger les bobines induites  $A$  du stator. Mais supposons que l'on supprime sur le stator deux dents sur trois (fig. 10) ; il sera ainsi possible de loger une bobine induite plus large, et la fréquence ne sera pas modifiée, car elle est fonction du nombre de fois par seconde que des pôles nord du rotor défilent devant la bobine  $A$ .

L'alternateur français utilise cet artifice, qui permet de développer directement dans l'enroulement du stator un courant de fréquence assez élevée, sans être obligé de donner au rotor une vitesse tangentielle excessive.

le stator l'espace nécessaire au conducteur.

La figure 11 représente le schéma de principe d'un tel alternateur. Le stator porte à la fois l'induit et l'inducteur. L'induit est constitué simplement par un enroulement composé d'un fil par encoche et formant une seule section pour les alternateurs de moyenne et de faible puissance. La partie tournante est formée par un disque d'acier dont la périphérie est percée de dents ; elle ne comporte, avons-nous vu, aucun bobinage.

Dans le cas des alternateurs à grande puissance, l'enroulement est divisé en plusieurs sections que l'on peut à volonté réunir

deux à deux en parallèle (fig. 12 et 13).

Quant à la manipulation, elle se fait de la manière indiquée figure 14. Un transformateur sans fer à couplage variable a son primaire en série avec l'enroulement induit, et son secondaire en série avec l'antenne. Quand on ferme l'interrupteur *M*, il ne peut passer aucun courant dans l'antenne, car l'alternateur débite sur lui-même en court-circuit. L'émission des signaux se fait en supprimant ce court-circuit. Mais, avec ce dispositif, on manipule directement sur le circuit induit de l'alternateur, inconvénient

Suivant le service que les alternateurs à haute fréquence sont susceptibles d'assurer, le régulateur de vitesse est établi :

Soit pour permettre seulement un léger réglage autour d'une longueur d'onde déterminée fixée à l'avance ;

Soit pour permettre le même réglage autour d'un certain nombre de longueurs d'onde également fixées à l'avance, le passage de l'une à l'autre se faisant facilement et rapidement sur le groupe arrêté ;

Soit, enfin, pour permettre, en marche, une variation continue de la fréquence, entre des

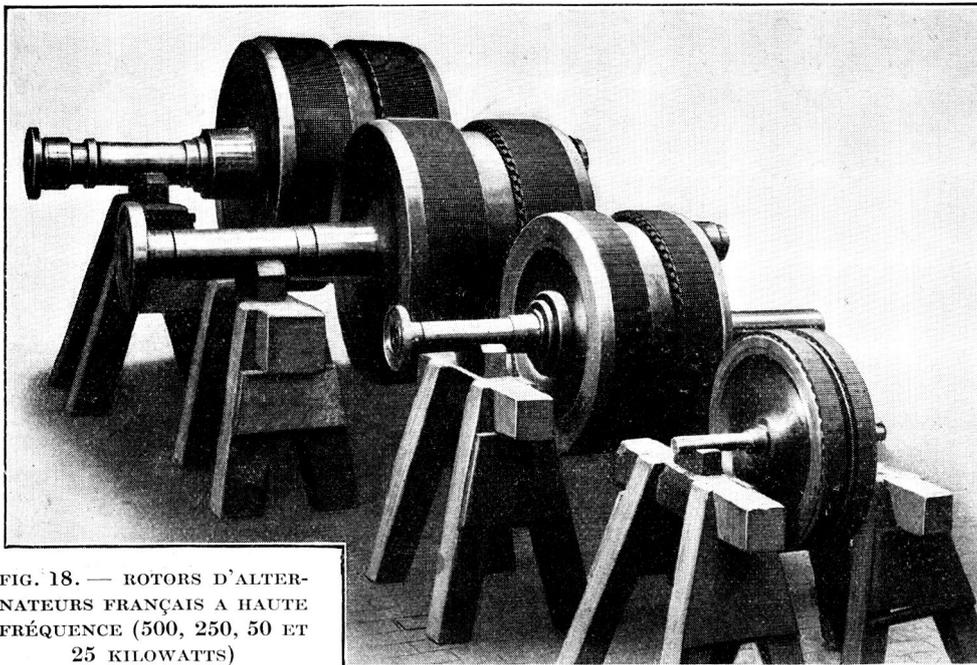


FIG. 18. — ROTORS D'ALTERNATEURS FRANÇAIS A HAUTE FRÉQUENCE (500, 250, 50 ET 25 KILOWATTS)

serieux dans le cas des alternateurs d'une certaine puissance. Aussi a-t-on modifié le système de manipulation, en y introduisant (fig. 15) un troisième enroulement ou transformateur. La manipulation s'effectue alors uniquement sur cet enroulement.

Les alternateurs sont entraînés par des moteurs à courant continu : les deux machines sont rigidement accouplées et portées par un socle commun. Un régulateur de vitesse maintient la vitesse du groupe rigoureusement constante. Le coefficient d'irrégularité n'atteint pas 1/1.000, ce qui correspond à une variation de 15 mètres pour 15.000 mètres de longueur d'onde.

Pour faire varier la longueur d'onde, il suffit de faire varier la vitesse de l'alternateur en agissant sur le régulateur de vitesse.

valeurs assez différentes, qui peuvent être entre elles dans le rapport de 2 à 3.

Ces alternateurs sont construits actuellement en quatre dimensions, correspondant à des puissances de 25, 50, 250 et 500 kilowatts. Voici, par exemple, quelques-unes des caractéristiques des alternateurs de 250 et 500 kilowatts installés à Sainte-Assise.

#### Caractéristiques des alternateurs de 250 et de 500 kilowatts

*Groupe à haute fréquence de 250 kilowatts (fig. 16).* — Fréquence normale de l'alternateur : 18.000 ou 20.000 périodes ; vitesse de rotation normale du groupe : 3.000 tours par minute ; tension d'alimentation du moteur : 500 volts ; tension continue d'excitation du moteur et de l'alternateur : 110 volts.

Le stator et le rotor de l'alternateur sont refroidis par une circulation d'huile.

Le rotor de l'alternateur tourne dans une atmosphère légèrement raréfiée.

L'enroulement du stator de l'alternateur est divisé en quatre sections distinctes.

*Groupe à haute fréquence de 500 kilowatts (fig. 17).* — Fréquence normale de l'alternateur : 14.000 ou 15.000 périodes ; vitesse de rotation normale du groupe : 2.330 tours par minute ; tension d'alimentation du moteur : 500 volts ; tension d'excitation du moteur et de l'alternateur, 110 volts.

Le stator et le rotor sont refroidis par une circulation d'huile, comme précédemment.

Le rotor tourne dans une atmosphère légèrement raréfiée.

L'enroulement du stator est divisé en huit sections.

### Quelques détails de construction

Le rotor de l'alternateur (fig. 18) est une pièce massive, de forme cylindrique, en acier forgé, portant à la périphérie des tôles fines en acier doux, soigneusement émaillées. Ces tôles ont 5, 7 ou 9 centièmes de millimètre d'épaisseur, suivant la fréquence de l'alternateur ; elles sont disposées en paquets et emboîtées dans des logements spéciaux en forme de queue d'aronde ménagés sur le pourtour du rotor.

La vitesse périphérique du rotor n'excède pas 150 mètres par seconde, vitesse couramment dépassée dans la construction des turbines et des turbo-alternateurs.

L'acier qui constitue le rotor est de l'acier résistant à une traction de 55 kilogrammes par millimètre carré. Les tôles fines résistent à 32 kilogrammes par millimètre carré ; or, ces tôles ne travaillent effectivement qu'à 3 kilogrammes par millimètre carré.

Le rotor, qui, avons-nous dit, ne porte aucun enroulement, tourne dans une atmosphère légèrement raréfiée dans le cas des alternateurs de 250 et de 500 kilowatts. La raréfaction est produite automatiquement par une petite pompe spéciale très robuste.

Une soupape dite « casseur de vide » limite cette raréfaction à sa valeur la plus favorable (environ 200 millimètres de mercure). La raréfaction de l'atmosphère dans laquelle tourne le rotor réduit très considérablement les pertes par ventilation et accroît d'autant plus le rendement de la machine. Elle n'est évidemment pas indispensable, mais elle améliore les conditions de fonctionnement d'une façon très simple et sans aucun risque.

Le stator de l'alternateur (fig. 19 et 20) porte deux enroulements : l'inducteur et l'induit. L'enroulement inducteur se compose d'une ou de deux bobines annulaires embrassant le rotor. Il est alimenté en courant continu à basse tension (110 ou 220 volts, suivant le type de la

machine) et consomme, au plus, deux ou trois ampères dans les machines les plus puissantes. Un rhéostat de champ permet de régler l'excitation.

L'enroulement induit est un simple enroulement ondulé, en zigzag, disposé dans les encoches du stator, à raison d'un seul conducteur par encoche. Les en-

coches étant ouvertes, l'enroulement est très facile à réaliser et à isoler fortement. Dans chaque encoche, le conducteur, composé d'un câble tressé à brins isolés, est entouré d'un tube isolant en mica et en bakélite. Ces tubes résistent à des tensions de plusieurs milliers de volts (20.000 volts environ dans le cas des alternateurs de 250 kilowatts).

Dans les alternateurs de grande puissance, l'enroulement induit est divisé en plusieurs sections indépendantes couplées par induction avec l'antenne. En cas d'avarie, l'une de ces sections peut être déconnectée.

Les tôles fines dans lesquelles sont ménagées les encoches du stator sont, comme celles du rotor, en acier doux au silicium, d'une épaisseur de 5 à 9 centièmes de millimètre suivant la fréquence de l'alternateur.

Ces tôles sont montées par paquets tout autour de la carcasse du stator qu'elles gar-

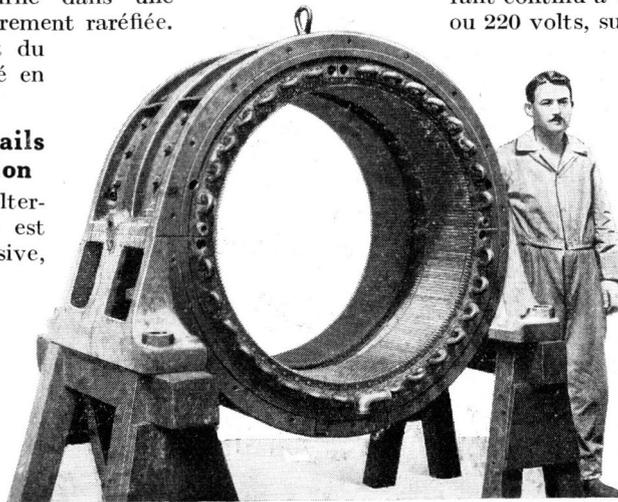


FIG. 19. — STATOR D'UN ALTERNATEUR FRANÇAIS A HAUTE FRÉQUENCE DE 250 KILOWATTS

nissent entièrement. Chacun de ces paquets est fixé solidement à la carcasse par des boulons ; dans ces conditions, en cas d'avarie, ils peuvent être facilement remplacés.

De minces cales amovibles, placées entre chacun de ces paquets et la carcasse, permettent, d'ailleurs, de régler facilement l'entrefer avec une grande précision.

Le bobinage du stator est maintenu en place par des tôles de laiton à cannelures circulaires semi-fermées, réparties également dans le fer actif parcouru par le flux.

Les enroulements sont protégés par des flasques. Pour les alternateurs de 250 et de 500 kilowatts, ces flasques sont pleins ; un presse-étoupe en charbon monté sur l'arbre et une rondelle de klingérite sur la carcasse assurent l'étanchéité de la machine, dont l'atmosphère, avons-nous dit, est raréfiée pour réduire les pertes par ventilation.

*Régulateur de vitesse.*

— La régulation de la vitesse est très importante dans les alternateurs à haute fréquence. La fréquence des oscillations varie, en effet, proportionnellement à la vitesse et tout désaccord accidentel avec la période de l'antenne se traduit à la fois par une variation du courant dans l'antenne et un changement de la hauteur de la note à la réception. Par exemple, une variation de 1/100 de la vitesse de l'alternateur entraîne, pour une fréquence de 20.000 par seconde, une différence de 200 oscillations par seconde. On est donc conduit à maintenir constante la vitesse de l'alternateur entre des limites très étroites, malgré les variations de charge dues à la manipulation.

La constance de la vitesse est obtenue d'une façon parfaite, malgré les variations de charge correspondantes, par un régulateur système Thury. Le principe de ce dispositif consiste à faire agir un régulateur centrifuge isochrone, commandé par l'arbre du moteur, sur un interrupteur placé aux bornes d'un rhéostat intercalé dans le circuit d'excitation du moteur. Dès que la vitesse

normale diminue, la résistance est mise en court-circuit et, dès qu'elle augmente, ce court-circuit est rompu. Le courant d'excitation exécute ainsi une série d'oscillations imperceptibles qui maintiennent la vitesse constante. On peut, par ce procédé, maintenir la vitesse de l'alternateur avec des variations relatives de moins de  $\frac{5}{10.000}$ .

*Circuit d'accouplement variable de l'alternateur avec l'antenne.* — Si l'on connaissait d'avance exactement les caractéristiques de l'antenne sur laquelle travaillera un alternateur, il serait possible de le calculer pour qu'il pût être branché directement entre l'antenne et la terre, en donnant toute sa puissance. Mais les caractéristiques des antennes (self-induction, résistance et capacité) sont extrêmement variables ; on est donc toujours conduit, en pratique, à intercaler un dispositif de couplage entre l'alternateur et l'antenne. Ce dispositif se compose de deux bobines plates de quelques spires, dont il est facile de faire varier la self et la mutuelle inductance pour faire donner à l'alternateur toute sa puissance, quelles que soient les caractéristiques de l'antenne sur laquelle il travaille.

Le dispositif de couplage possède autant de circuits primaires indépendants que l'alternateur possède de sections. Les secondaires peuvent être montés en série, en parallèle ou en série-parallèle suivant les caractéristiques de l'antenne du poste émetteur.

Les secondaires du dispositif de couplage constituent une partie de la self-inductance d'antenne. Pratiquement, il est commode de limiter leur valeur au tiers environ de la self-inductance d'antenne totale qui serait nécessaire, afin qu'ils n'aient à supporter qu'un tiers environ de la tension totale.

Une self-inductance d'antenne, égale seulement aux deux tiers de la self-inductance totale, est donc ajoutée en série avec les circuits d'accouplement.

G. MALGORN.

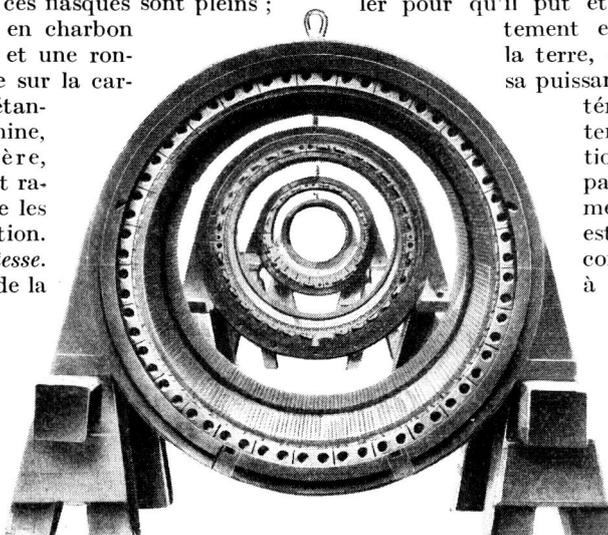


FIG. 20. — ENSEMBLE DE STATORS D'ALTERNATEURS FRANÇAIS HAUTE FRÉQUENCE (500, 250, 50 ET 25 KILOWATTS)