Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 41 (1915)
Heft: 6

Artikel: Turbo-alternateurs
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-31599

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

41me Année. 25 Mars 1915. N° 6

Bulletin technique de la Suisse romande

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES — PARAISSANT DEUX FOIS PAR MOIS

RÉDACTION : Lausanne, 2, rue du Valentin : Dr H. DEMIERRE, ingénieur.

SOMMAIRE : *Turbo-alternateurs.* — Société vaudoise des ingénieurs et des architectes. — Concours d'idées du Pont « Butin », à Genève. *Bibliographie.*

Turbo-Alternateurs.

Le développement de la turbine à vapeur a rendu nécessaire la construction de génératrices à grande vitesse dites turbo-génératrices. En aucun autre domaine il n'a été possible de satisfaire aussi complètement aux exigences de puissance et de vitesse des turbines à vapeur que dans celui des génératrices à courant alternatif.

L'adoption de vitesses de rotation élevées a permis d'augmenter considérablement l'utilisation des matériaux, tant au point de vue électrique qu'au point de vue mécanique. L'exécution du rotor surtout, en raison de la force centrifuge considérable à laquelle il est soumis, mit le constructeur en présence d'un problème difficile et les essais d'abord effectués avec des pôles saillants, suivant la construction généralement usitée jusqu'alors, ne donnèrent pas de résultats satisfaisants. La plupart des maisons abandonnèrent donc cette construction après des expériences plus ou moins coûteuses et dirigèrent leurs recherches vers le rotor cylindrique s'engageant ainsi dans une nouvelle voie indiquée par la Société Brown Boveri, qui a été la première à introduire cette construction sur le marché. Particulièrement pour les machines bipolaires tournant à 3 000 tours par minute pour une fréquence de 50 périodes le rotor cylindrique est la seule solution répondant aux exigences actuelles.

Toutefois dans les machines multipolaires, les pôles saillants peuvent soutenir la concurrence et pour certaines applications la Société Brown, Boveri & Cie construit, à côté du rotor cylindrique, un rotor à pôles ronds. Nous nous proposons de décrire ci-dessous en détail les différentes constructions de turbo-alternateurs de la Société Brown, Boveri & Cie.

Turbo-Génératrices Type WT à rotor cylindrique.

Rotor.

Dans les génératrices bipolaires, le rotor est formé d'un cylindre en une pièce en acier comprimé Martin-Siemens. Le métal employé, de première qualité, est traité de façon à ce qu'il soit exempt de tensions intérieures et est soumis à plusieurs essais de résistance. Des rainures fraisées parallèlement à l'axe servent au logement de l'enroulement et au passage de l'air de ventilation. Des canaux circulaires rejettent radialement l'air admis dans le sens de l'axe. La rigidité du corps du rotor lui assure même avec de

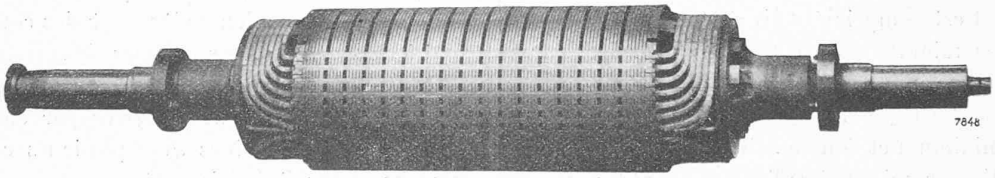

Fig. 1. — Rotor d'un turbo-alternateur, 3 000 t/m.

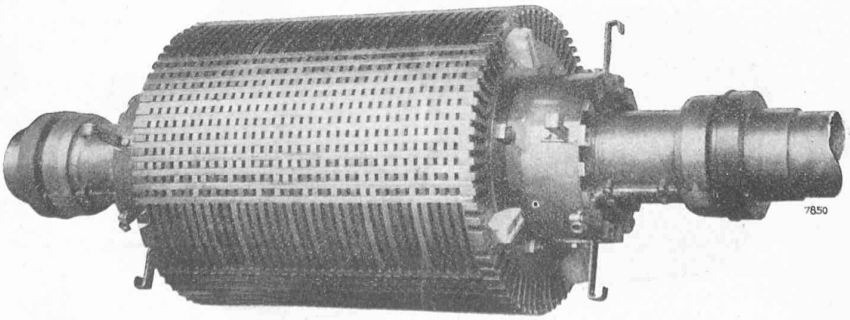

Fig. 2. — Rotor d'un turbo-alternateur, 1 500 t/m, sans enroulement.

grandes longueurs une marche sans vibrations.

Dans les génératrices tétra et multipolaires, c'est-à-dire tournant à 1 500 tours par minute et au-dessous, le rotor est composé de plaques emmanchées à chaud sur l'arbre. La plus grande valeur du diamètre permet alors l'emploi d'un arbre suffisamment fort et la division du corps du rotor en un grand nombre d'éléments facilite le contrôle des matériaux. Les rainures pour le bobinage sont disposées comme dans un rotor massif, mais l'air de ventilation circule dans d'autres rainures pratiquées sur l'arbre.

Pour tous les rotors l'enroulement est en cuivre plat isolé au mica entre les spires. L'isolation, par rapport au fer du rotor, est obtenue à l'aide de mica et de presspan. La mise en place du bobinage est très simple et peut éventuellement, en cas de réparation, être faite sur place, tandis que beaucoup d'autres systèmes, en cas d'avarie, nécessitent le renvoi à l'usine. Bien qu'il soit extrêmement rare que dans les turbo-alternateurs il survienne une avarie au rotor, on ne doit pas laisser de côté la possibilité d'une réparation.

L'enroulement est comprimé sous forte pression dans les rainures et les rainures elles-mêmes sont fermées par des cales métalliques composées par moitié d'acier et de laiton étiré. De cette façon les harmoniques de denture sont réduits au minimum et l'on constitue en même temps un circuit amortisseur qui protège l'enroulement du rotor contre les surtensions dangereuses pouvant résulter de courts-circuits brusques.

Les têtes de bobines sont recouvertes de capots forgés en acier au nickel de très grande résistance qui supportent avec une grande sécurité les efforts considérables dus à la force centrifuge. Des anneaux en acier emmanchés à chaud sur l'arbre avec intercalation de fortes épaisseurs de mica servent de support aux bagues collectrices qui sont suivant les cas en acier ou en cuivre dur.

Le courant d'excitation est amené aux bagues par des balais en charbon.

Stator.

Le fer actif du stator est constitué exclusivement par des tôles en alliage qui sous un faible poids ne donnent lieu qu'à des pertes minimes et à une élévation de température modérée. Les feuilles de tôles, isolées les unes des autres par du papier de soie, sont réunies en paquets étroits séparés par un grand nombre d'intervalles d'aération.

Toutes les fois que les conditions de transport et de montage le permettent, le stator est construit en une seule pièce : il n'est prévu de division que si les poids ou les dimensions sont excessifs.

L'enroulement du stator est toujours en deux couches, même pour les génératrices à courant triphasé. La symétrie parfaite ainsi réalisée est particulièrement précieuse pour les stators en deux pièces où des courants parasites sont à craindre dans les plaques de serrage et les paliers.

Suivant la puissance et l'intensité, l'enroulement est en barres, avec une ou deux barres par encoche, ou bien imbriqué ou en bobines avec plusieurs conducteurs par encoche. Dans l'enroulement en barres, les barres sont entourées de mica comprimé.

Les connexions hors du fer sont constituées par de solides barres de cuivre qui, séparées les unes des autres et de la carcasse par des pièces isolantes, présentent une grande surface de refroidissement. Les barres ou les sections peuvent être remplacées sans difficulté.

Dans l'enroulement en bobines, on emploie également

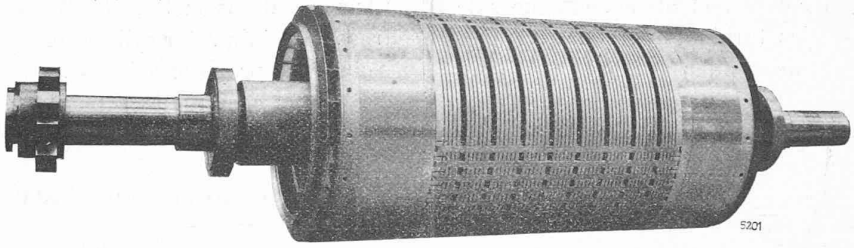

Fig. 3. — Rotor d'un turbo-alternateur type WT, 2 000 kW, 3 000 t/m.

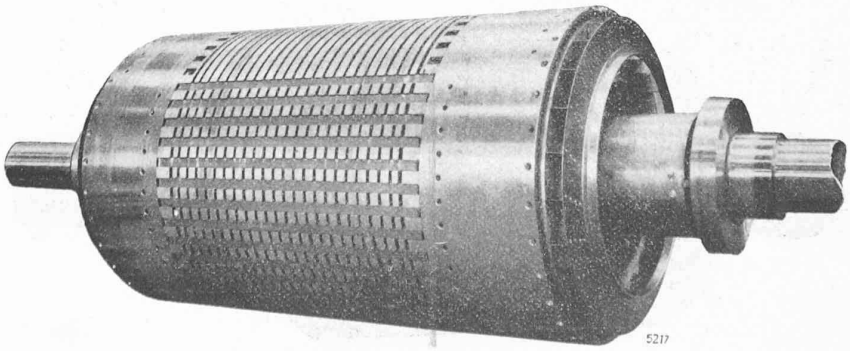

Fig. 4. — Rotor d'un turbo-alternateur triphasé type WT, 3 000 kW. 1 500 t/m.

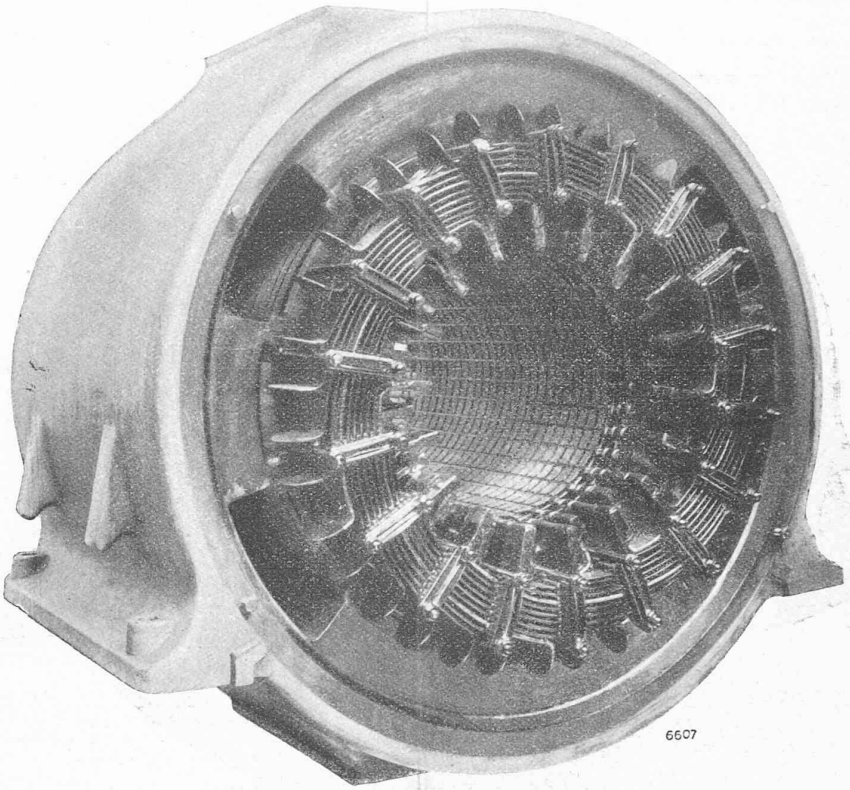

Fig. 5. — Stator d'un alternateur triphasé 3 000 kW, 3 000 t/m, 525 volts.

comme isolant le mica. L'emploi des bobines enroulées sur gabarits présente l'avantage de supprimer le bobinage du stator à la main, avec tous ses inconvénients. Les bobines sont, comme dans l'enroulement imbriqué, divisées extérieurement en 2 moitiés qui sont mises en place séparément et soudées aux points de jonction ; il est donc possible de changer rapidement les bobines et les demi-bobines. La possibilité de fabriquer les bobines hors de la

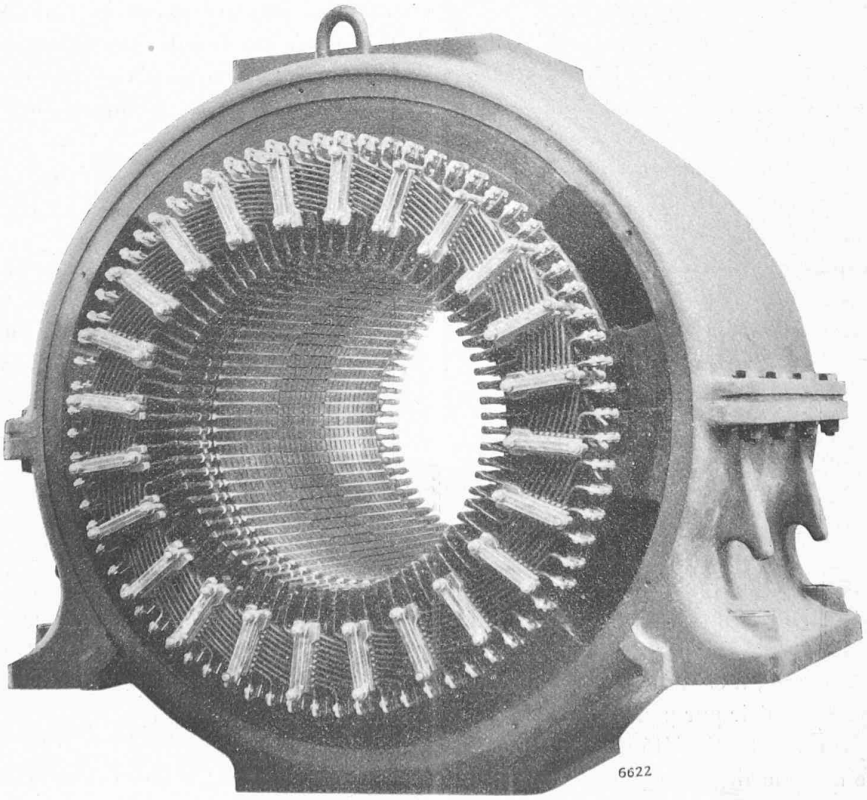

Fig. 6. — Stator d'un alternateur 5 000 kW, 1 500 t/m, 6 000 volts.

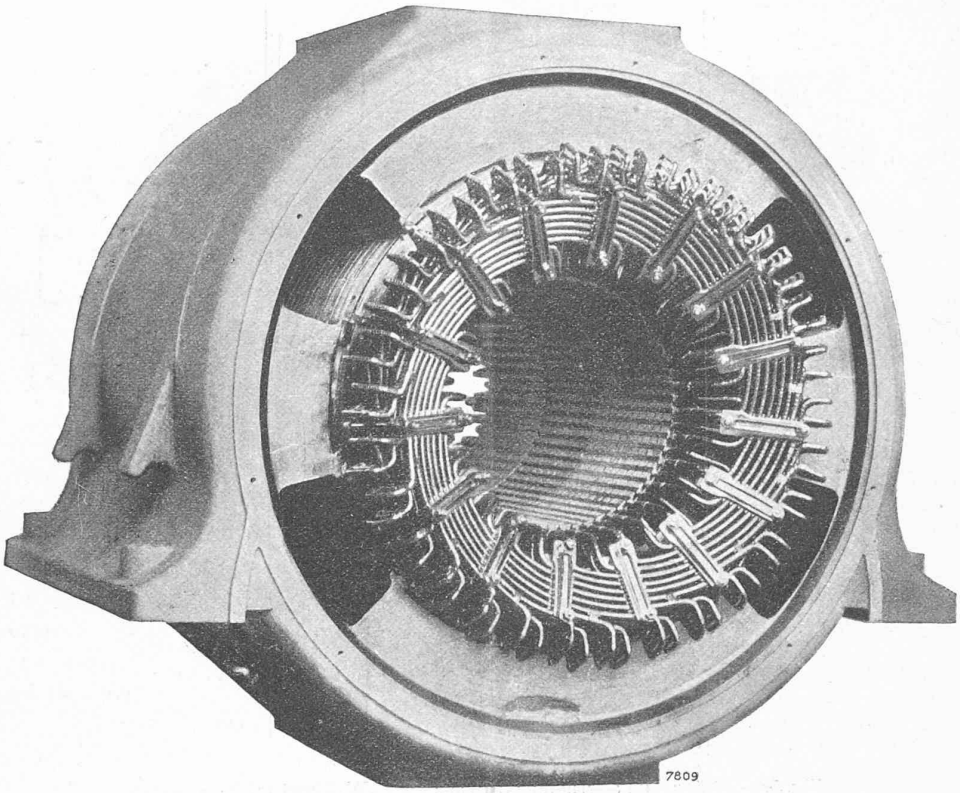

Fig. 7. — Stator d'un alternateur 5 000 kW, 3 000 t/m, 6 250 volts.

machine, de les isoler et de les sécher au four est d'une grande importance. Particulièrement pour les génératrices à haute tension, il est nécessaire de chasser complètement, par un traitement convenable, l'air interposé dans l'enroulement afin d'empêcher la formation nuisible d'ozone.

Les bobines doivent être particulièremeut bien maintenues dans les turbo-génératrices. Grâce à une construction rationnelle des pièces de fixation, l'enroulement entier est parfaitement assujetti sur la carcasse et se comporte absolument comme un ensemble rigide de sorte que les courts-circuits les plus violents ne produisent aucune déformation de l'enroulement. Les têtes de bobines sont protégées par des flasques qui peuvent être facilement démontés. En outre des regards avec volets réservés dans ces flasques permettent un contrôle facile de l'enroulement.

Ventilation.

Le problème de la ventilation, après celui de la construction du rotor, présente les plus grandes difficultés. La concentration en un espace réduit des matériaux actifs, par suite de la grande vitesse, restreint le volume disponible pour l'air froid ; on est ainsi conduit à faire circuler des masses d'air importantes à de grandes vitesses, ce qui nécessite des soins particuliers pour éviter que les pertes par ventilation soient excessives. En outre, en raison de la grande longueur de la machine, il est nécessaire d'établir une circulation convenable de l'air pur pour éviter les élévations locales de température. La Société Brown, Boveri & Cie, a réalisé dans ce but une disposition devenue classique qui répond à toutes les exigences. Une partie de l'air de refroidissement est fournie par la ventilation naturelle du rotor qui aspire l'air frais sous le cuivre inducteur et le distribue dans les canaux de ventilation du stator, d'où il passe dans un canal collecteur ménagé dans la carcasse. La majeure partie de l'air de refroidissement est fournie par des ventilateurs montés sur l'arbre du rotor. L'étude en a été faite en vue d'un rendement le plus élevé possible pour réduire au minimum les pertes de l'échauffement interne de l'air.

Du ventilateur, l'air est projeté directement sur les têtes d'enroulement du stator et parvient par des chambres disposées sur la circonférence du stator dans les canaux de ventilation ; de là des chicanes, après l'avoir dirigé radialement vers l'intérieur, lui font rejoindre l'air du rotor avec lequel il est ensuite refoulé vers l'extérieur.

Des ouvertures sont réservées à la partie supérieure et à la partie inférieure de la carcasse du stator pour l'évacuation de l'air chaud qui peut donc, suivant les circonstances, être rejeté, soit en haut dans la salle des machines, soit vers le bas, puis à l'extérieur, par un canal spécial. Cette dernière disposition est le plus souvent adoptée pour éviter le bruit et l'élévation de la température dans les salles de machines en été. Dans les centrales modernes, l'air frais est également aspiré par un canal spécial et purifié par passage à travers un filtre de sorte que la génératrice est efficacement protégée contre tout encrassement nuisible.

Courbe de tension.

Un gros avantage des rotors cylindriques est la forme sinusoïdale très pure de la courbe de tension. Par suite du

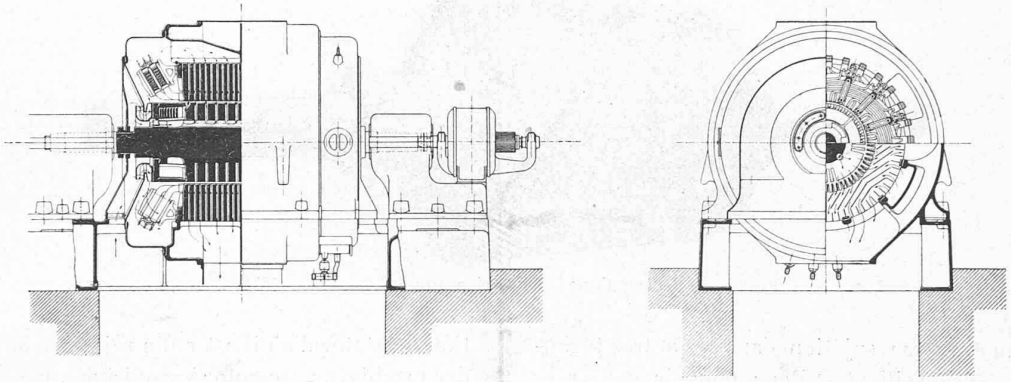

Fig. 8. — Turbo-alternateur à rotor cylindrique. Ventilation.

grand nombre de rainures par pôle et phase et de la forme sinusoïdale de la courbe de champ, les oscillogrammes de la tension ne manifestent aucun écart sensible par rapport à la sinusoïde. La Société Brown, Boveri & Cie est parvenue en donnant une forme convenable aux pièces polaires, à réaliser même avec les génératrices à pôles saillants des courbes de tension presque aussi satisfaisantes que celles des génératrices à rotor cylindrique.

polaires sont en acier Martin-Siemens de la meilleure qualité. La caractéristique de la construction Brown, Boveri & Cie est la forme ronde des noyaux polaires. La section circulaire permet une fabrication précise et simplifie surtout le bobinage. Celui-ci est en cuivre plat enroulé en hélice sur champ par des machines spéciales et isolé par du presspan.

Les bobines ainsi constituées sont comprimées à chaud

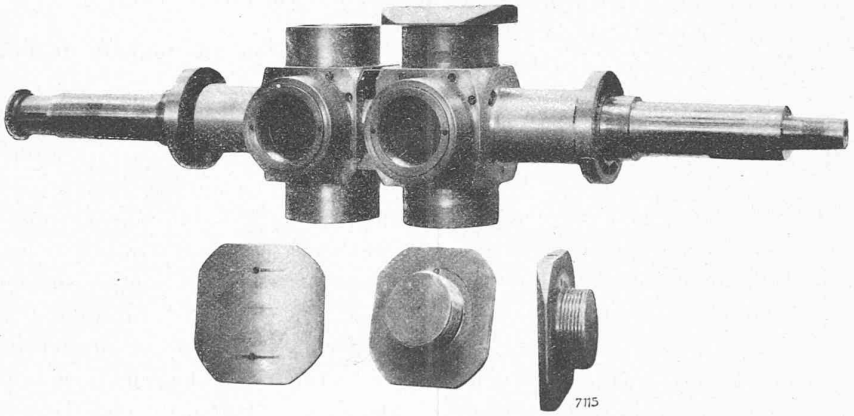

Fig. 9. — Rotor d'un alternateur type WTB.

Turbo-génératrices Type WTB à pôles saillants.

Rotor.

Les génératrices à pôles saillants se distinguent par leur faible longueur. Dans les petites machines, l'arbre et les pôles sont forgés d'une seule pièce tandis que dans les machines plus grosses, une ou plusieurs couronnes polaires sont emmanchées à chaud sur l'arbre. L'arbre et les pièces

sous forte pression en une masse compacte qui est ensuite placée sur les noyaux. Les noyaux polaires sont tournés et munis d'un filetage de haute précision pour la fixation de l'épanouissement polaire. Par suite du volume relativement faible de l'isolant, l'utilisation de l'espace réservé au bobinage est très complète et la surface nue du cuivre contribue largement au refroidissement. La forme circulaire des bobines du rotor rend inutile la fixation des enroulements

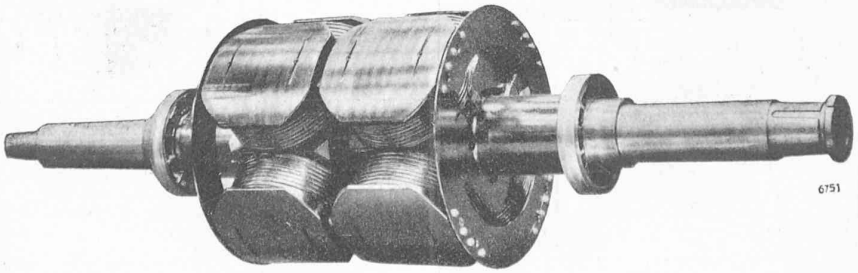

Fig. 10. — Rotor d'un alternateur type WTB.

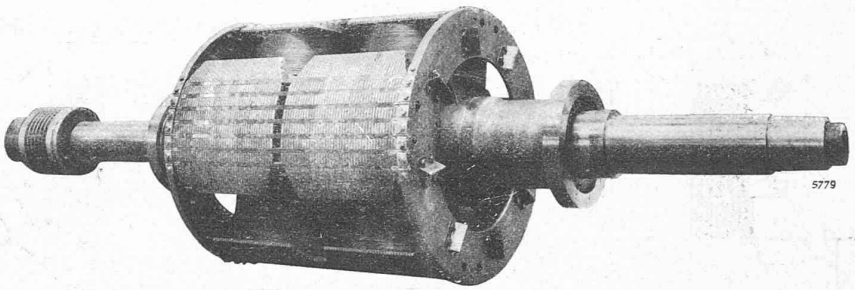

Fig. 11. — Rotor d'une génératrice monophasée type WTB.

qui constitue une grosse sujétion dans les autres turbo-génératrices à pôles saillants. Pour pouvoir conserver cette forme, même avec de plus grandes longueurs, on dispose côte à côte deux ou trois couronnes polaires. Dans les génératrices monophasées des barres servant d'amortisseurs sont disposées dans les épanouissements polaires (voir figure 11) et connectées entre elles à leurs extrémités par une plaque de bronze renforcée qui sert également au refroidissement.

Outre une faible longueur d'axe du rotor, une fabrication simple et une grande sécurité mécanique constituent de grands avantages des génératrices à pôles saillants. L'arbre est court et d'un diamètre suffisamment fort pour que la vitesse critique soit très au-dessus de la vitesse normale. La faible longueur d'axe assure une marche sans vibrations car les machines courtes peuvent être parfaitement équilibrées.

Stator.

La construction du stator ne diffère généralement pas de celle des machines avec rotor cylindrique, mais la ventilation se fait autrement car la totalité de l'air de refroidissement est fournie, sans ventilateur spécial, par la rotation du rotor.

L'air aspiré par des canaux disposés à la périphérie de la carcasse parvient à des orifices répartis régulièrement au-dessus de l'induit; de là il traverse radialement les têtes de bobines vers l'intérieur et par des ouvertures latérales ménagées sur l'arbre, pénètre dans le rotor. Celui-ci le chasse vers l'extérieur à travers les canaux de ventilation du stator d'où il est enfin rejeté, comme dans le cas des machines avec rotor cylindrique, par une ouverture à la partie supérieure ou à la partie inférieure de la carcasse.

Excitatrices.

Les excitatrices sont normalement montées en porte-à-faux sur les arbres prolongés des génératrices. Elles sont pourvues de pôles de construction spéciale (pôles de réglage) qui permettent de faire varier, dans de larges limites, la tension d'excitation

La prise de courant se fait par des balais de charbon dont le calage reste constant quelle que soit la charge. Des pôles auxiliaires assurent un bonne commutation.

Variations des tension de Turbo-Génératrices.

La variation de tension des turbo-génératrices peut être maintenue dans des limites arbitraires aussi aisément que celle des génératrices à faible vitesse. Actuellement on tend cependant à ne plus exiger une faible variation de tension. Les raisons principales pour lesquelles on renonce à cette prescription, conservée jusqu'à ce jour plutôt par tradition, sont les suivantes :

1° Plus est faible la variation de tension, plus est grande la valeur extrême de la surintensité en cas de court-circuit. Tandis que dans les génératrices à faible variation de tension, l'intensité du courant de court-circuit peut atteindre une valeur maximum de 20 à 30 fois la valeur du courant normal, elle n'est plus que de 8 à 15 fois cette valeur dans les génératrices à grande variation de tension.

Si l'on considère que les forces mécaniques dues aux

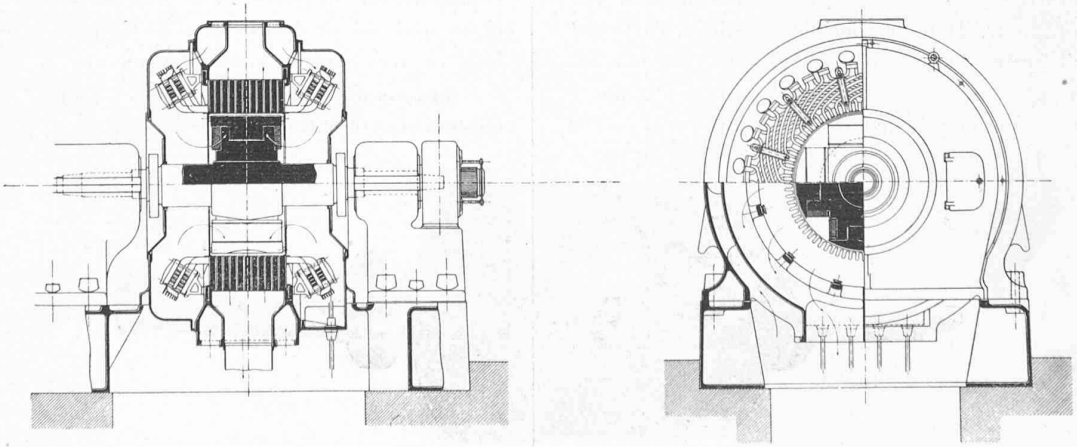

Fig. 12. — Turbo-alternateur à pôles saillants. Ventilation.

actions électro-dynamiques sont proportionnelles au carré de l'intensité du courant, on voit combien sont avantageuses les grandes variations de tension. Bien que l'on soit parvenu à construire les génératrices elles-mêmes de façon à ce qu'elles présentent une sécurité pratiquement complète, à l'égard des courts-circuits les plus violents, les actions nuisibles de ces courants intenses n'en subsistent pas moins sur le réseau.

2° La régularité que procure une faible variation de tension ne va pas sans donner lieu à des pertes : la réduction des variations de tension exige des génératrices très saturées présentant donc des pertes dans le fer plus élevées, ce qui nécessite des quantités d'air de refroidissement et entraîne des pertes par ventilation plus grandes.

3° Avec les unités toujours plus puissantes que l'on utilise aujourd'hui, les oscillations de charge sont relativement faibles, et n'influencent que très peu la tension aux bornes, même avec des alternateurs peu saturés.

4° Les régulateurs automatiques ont atteint un tel degré de perfection et une si grande sécurité de fonctionnement que les résultats obtenus avec ces appareils sont bien supérieurs à ceux procurés par la meilleure régulation à main même de génératrices à faible variation de tension. En outre la régulation par régulateur à action rapide, système Brown, Boveri & Cie se fait sans pertes. La génératrice peut être dimensionnée en vue du rendement maximum et non plus en considération d'un minimum de variation de tension.

Marche en parallèle.

La marche en parallèle est bien meilleure avec les turbo-groupes qu'avec les alternateurs commandés par machines à vapeur à pistons ou moteurs à gaz.

La turbine possède un couple moteur constant et ne transmet ainsi aucune impulsion périodique à la génératrice. D'ailleurs les turbo-alternateurs, surtout ceux à rotor cylindrique, sont susceptibles d'éprouver de grandes oscillations mécaniques sans que la puissance qu'ils fournissent varie sensiblement ; l'accroissement de ces oscillations est en tous cas limité par l'amortisseur que constituent les cales de fermeture des encoches du rotor. Dans la plupart des cas, un turbo-groupe fonctionne sans aucune difficulté en parallèle avec une machine quelconque d'une autre construction.

La Société Anonyme Brown, Boveri & Cie, a construit jusqu'à ce jour, d'après les principes ci-dessus indiqués, qui sont protégés par de nombreux brevets, environ 1 300 génératrices, dont la puissance totale dépasse 2 1/2 millions kVA. La plus forte unité est de 25 000 kVA., et la plus haute tension obtenue directement, de 16 500 volts. Ces génératrices ont été construites pour être commandées les unes par des turbines à vapeur Brown, Boveri & Cie, les autres par des turbines de différents autres systèmes.

Société vaudoise des ingénieurs et des architectes.

A la demande de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes, *nous publions, ci-dessous :*

1° La lettre circulaire qu'elle a adressée aux associations scientifiques et artistiques du pays et de l'étranger.

2° La protestation qui était annexée à cette lettre.

3° Les réponses à cette lettre.

Il y a d'utiles enseignements et des commentaires piquants à tirer de ces réponses ; il feront l'objet d'un avant-propos à une brochure que la Société vaudoise *se propose de publier prochainement.*

Nous espérons pouvoir illustrer la reproduction de ces documents de quelques vues des monuments dévastés, au cours de la guerre actuelle, en France, en Belgique et en Prusse orientale. Réd.

Lettre-Circulaire de la Société Vaudoise des Ingénieurs et des Architectes, aux Associations Scientifiques et Artistiques.

Lausanne, le 20 novembre 1914.

M ,

Les destructions sacrilèges récemment commises ont, comme vous le savez, déjà provoqué de nombreuses protestations.

A son tour, notre Société a considéré qu'elle avait le devoir de manifester publiquement sa réprobation et, dans sa séance du 14 novembre 1914, elle a adopté la déclaration dont vous trouverez le texte ci-inclus.

Elle a pensé, d'autre part, qu'une manifestation commune émanant d'associations qui, comme la vôtre et la nôtre, ont pour objet le culte de l'art et de la civilisation, aurait une portée bien plus grande et parviendrait peut-être à sauver les merveilles architecturales qui ornent encore les territoires menacés par les armées belligérantes. Elle a donc chargé son comité de vous pressentir sur la part que vous pourriez prendre à une pareille manifestation et, dans le cas où vous la jugeriez opportune, sur la forme qu'il conviendrait de lui donner pour lui permettre d'atteindre son but.

Il nous a paru, en particulier, qu'il y aurait avantage à grouper des adresses, des protestations et des documents dont la nature serait à préciser.

C'est avec la certitude que vous comprendrez les sentiments qui ont inspiré notre démarche que nous vous prions, M , d'agréer l'expression de nos sentiments les plus distingués.

Protestation.

Lausanne, le 20 novembre 1914.

La *Société Vaudoise des Ingénieurs et des Architectes*, dans sa séance du 14 novembre 1914, a décidé d'exprimer publiquement le sentiment d'indignation que lui a causé la destruction sacrilège, au cours de la guerre actuelle, de chefs-d'œuvre dont la perte est irréparable.