

roulement sont bien haubanées pour les protéger contre les fatigues mécaniques qui accompagnent les courts-circuits. Il est très important d'éviter qu'avec les machines à haute tension, des bulles d'air restent dans l'isolement, qui, dans un fort champ magnétique, causent l'apparition de l'ozone ; il faut prendre soin que, entre des bobines de phases différentes aucune « corona » soit engendrée.

Toute la turbo-unité reste, conformément à la disposition adoptée, sur deux, trois ou quatre paliers. Ceux-ci possèdent des coussinets à rotule, qui sont garnis de métal blanc et munis de graissage à bagues. Avec des machines très grandes, l'huile de graissage des coussinets est refroidie par des serpents d'eau situés dans le réservoir d'huile.

Les génératrices verticales comportent un ou deux paliers de guidage, en outre, une crapaudine annulaire au-dessus de la génératrice ou une crapaudine à la turbine. La plupart du temps, seulement une crapaudine entre dans la construction, car il est difficile de distribuer la pression sur deux ou plusieurs paliers. Les génératrices verticales exigent, en général, des frais de construction plus considérables que les unités horizontales, cependant, cet excédent de frais peut être compensé par différents avantages, tels que la suppression de la transmission entre la génératrice et la turbine, les frais amoindris de la partie hydraulique, de la station, du bâtiment, etc...

S'il n'y a pas de circonstances particulières à considérer, les machines sont construites en vue d'un service de courant triphasé. Pour protéger les génératrices contre l'effet nuisible de forts courants de court-circuit elles doivent avoir une réactance assez haute qui peut être élevée encore par des bobines de réactance intarcalées. Ceci offre de plus l'avantage de diminuer les pertes dans le fer, ainsi des rendements plus hauts peuvent être atteints, spécialement dans le cas de charge réduite, et les dimensions de la génératrice deviennent plus petites.

Dans les conditions régulières de service la température du bobinage de la génératrice ne doit pas atteindre un degré tel que l'isolement soit détruit. Ordinairement, la garantie est faite que l'élévation de la température des génératrices, au cas de charge normale et d'un $\cos \varphi = 0,8$, n'atteint dans aucune partie plus de 40°C , tandis que dans le cas de surcharge de 25 % pendant deux heures l'élévation de température ne doit pas dépasser 55°C .

Actuellement, on garantit avec des grandes unités pour un maximum de rendement continu, une élévation de température n'excédant pas 50°C . Il est préférable, comme cela est pour les génératrices de turbine à vapeur, de rapporter la garantie de température au maximum d'effort.

Avec les grandes génératrices la question de la ventilation devient importante ; en conséquence, des machines sont construites de telle sorte que l'air refroidissant passe par des voies déterminées et que son effet frigérant est complètement utilisé. Avec des machines plus petites l'action ventilatrice des bobines tournantes de l'inducteur est suffisant, pour des rendements plus considérables on arrange des ailettes de ventilateur sur l'arbre du rotor, ou on dispose le rotor comme ventilateur. Dans la construction demi-fermée la génératrice aspire l'air refroidissant de la salle des machines et y renvoie l'air chauffé ; si cela n'est pas possible, on construit une machine totalement close et on fait sortir les conduites d'arrivée et d'emmenée en plein air. Si la cage est pourvue d'ouvertures de ventilation, celles-ci ne se trouvent qu'au dessus de l'axe horizontal. Les boucliers latéraux sont construits de telle manière qu'ils enferment les têtes d'enroulement du stator. Par exemple, l'air est aspiré par les ventilateurs et arrive d'abord aux boucliers latéraux le noyau et le bobinage au-dessus de l'axe horizontal est renvoyé par des ouvertures assez grandes à la base du stator, l'accumulation d'air chaud dans le creux de la machine est ainsi évitée de telle manière.

Les excitatrices doivent avoir des dimensions suffisantes pour que les génératrices puissent être excitées en cas de débit maximum. En général les excitatrices peuvent être surchargées de 25 % pendant deux heures, de manière qu'une petite réserve pour

commander des interrupteurs et des moteurs auxiliaires, etc. soit disponible. Pour des stations petites ou moyennes l'excitation choisie est d'environ 110 à 125 volts, pour les grandes stations la tension va jusqu'à 250 volts. Actuellement, toute génératrice principale est munie d'une petite excitatrice, qui est directement liée avec elle et forme volant hors d'un des paliers principaux. Avec les unités verticales les excitatrices sont ordinairement arrangées au-dessus de la génératrice sur un prolongement de l'arbre principal, son rotor étant porté par une crapaudine. Les bagues collectrices de la génératrice principale se trouvent dans ce cas, au-dessus de l'excitatrice. Il faudrait encore mentionner quelques autres manières d'arranger les excitatrices. Dans l'une de celles-ci quelques groupes plus grands d'excitatrices sont montés, fournissant à toutes les génératrices le courant d'excitation, un d'eux servant de groupe de réserve. Les moteurs de toutes les excitatrices sont alimentés par une ou deux machines à basse tension mues par des turbines hydrauliques. Ces moteurs peuvent être reliés aux barres collectrices principales de la centrale et même, si cela est nécessaire, de manière que deux sources de courant soient établies. Dans beaucoup de stations plus grandes il est désirable que la pièce tournante soit munie de freins pour pouvoir arrêter la machine sans retard. A cause de substances obstruantes qui y ont pénétré il est souvent impossible d'arrêter complètement l'amenée d'eau à la turbine sans fermer les valves d'arrêt principales. Pour cela, on adapte des mécanismes de freinage, dont le fonctionnement est assuré électriquement ou de manière mécanique ou hydraulique. Il est d'usage de faire fonctionner le mécanisme de freinage directement sur la circonférence de la roue magnétique. Comme moyen d'action on peut, par exemple, utiliser la pression d'huile, qui est employée dans la salle des turbines pour la régulation. Dans ce cas, la surface en bois des freins-sabots agit ordinairement sur la circonférence même du rotor parce que l'élévation de température due au frottement des freins-sabots est peu importante. Dans un autre mécanisme de frein hydraulique une petite turbine fonctionnant en sens inverse et agissant comme volant est employée. En cas de freinage électrique une poulie de freinage entre dans la construction ; elle est clavetée sur l'arbre principal et sur elle agissent les électros de freinage. Ces électros sont alimentés par l'excitatrice.

B. SCHAPIRA.

Ingenieur

LES CHAUDIÈRES A VAPEUR CHAUFFÉES ÉLECTRIQUEMENT

Depuis quelque temps, on commence à parler, dans les revues techniques, du chauffage des chaudières par l'électricité, et l'on vante beaucoup les nombreux avantages de cette nouvelle application du courant. Bien entendu, il ne viendrait à l'esprit d'aucun technicien sérieux l'idée d'employer, pour cet usage, le courant produit par le charbon. Il est évident que, seule, l'énergie obtenue à bon compte par la houille blanche est à envisager. Tous ceux qui sont au courant du fonctionnement des usines hydroélectriques savent que, chaque année, il se perd une énergie importante, sans utilisation possible autrement que par le chauffage des chaudières, car ces appareils sont les mieux adaptés pour subir, rapidement, une grande variation de puissance.

Les chaudières chauffées électriquement présentent un très grand intérêt. Elles sont, d'abord, très économiques comme prix d'achat et d'installation. On peut en effet compter que, lorsqu'on utilise des courants qui seraient perdus autrement, étant donné le prix élevé du charbon actuellement, l'installation d'une chaudière électrique est payée dans un délai très court. La suppression

des chauffeurs, la très grande sécurité de marche, l'entretien presque nul, l'absence de fumée, constituent également des avantages très importants. Enfin, on peut réaliser ainsi une économie sensible de charbon, dont l'achat est si onéreux pour nous, Français.

De nombreux essais montrent que, suivant la qualité du charbon et la nature des chaudières que le chauffage électrique est appelé à remplacer, on peut compter qu'il faut de 2 à 5 kwh pour obtenir le même effet que 1 kg de charbon. En pratique, on peut admettre que 3,5 kwh correspondent ordinairement à 1 kg de charbon. Il est facile alors, connaissant le prix du charbon, de calculer le prix du kwh, en-dessous duquel il est avantageux d'employer le chauffage électrique. Il faut tenir compte, en outre, des nombreux avantages difficiles à chiffrer qui s'attachent aux chaudières électriques, et qui font que celles-ci, par rapport aux chaudières à charbon, jouent le même rôle que les moteurs électriques devant les machines à vapeur.

C'est l'ingénieur italien Revel qui a mis au point les premières chaudières électriques industrielles. Il a réalisé, au début de la guerre, aux usines de Bussi, de la *Società Italiana di Elettro Chimica*, une installation très importante qui comprend actuellement 7 chaudières de 800 chevaux chacune, absorbant du courant triphasé directement à la tension de 6.000 volts. Cette installation, qui fonctionne normalement depuis plusieurs années, utilise surtout les chevaux de nuit de la grande centrale hydro-électrique de Pescara, qui alimente Naples.

L'emploi des chaudières électriques s'est développé rapidement en Italie, où l'on peut en compter actuellement plusieurs centaines en fonctionnement. En Suisse, les chaudières électriques sont étudiées très sérieusement par un grand nombre de maisons de constructions, dont quelques-unes sont de premier ordre, comme par exemple la Société de Brown Boveri, en collaboration avec les usines Sulzer, et les ateliers d'Oerlikon avec la maison Escher Wyss. De nombreuses chaudières sont également en service, et très appréciées des industriels qui les emploient.

En France, on ne paraît pas avoir attaché jusqu'à maintenant suffisamment d'importance à cette question. Pendant que les étrangers réalisaient des applications très intéressantes et se rendaient compte par expérience des avantages que pouvaient présenter, dans bien des cas, les chaudières électriques, surtout pour les chauffages électriques, on s'est trop souvent contenté de faire des calculs un peu trop simples, pour démontrer que ces appareils étaient, en général, dépourvus d'intérêt. Cependant, c'est en France, dans le Dauphiné, que fonctionnent les chaudières, les plus puissantes croyons-nous, qui existent actuellement. Les usines Fredet, à Brignoud, se sont en effet préoccupées depuis longtemps de cette question. Elles ont réalisé, en septembre 1919, une chaudière d'essai qui fut mise au point assez rapidement et put absorber une puissance de 2.500 chevaux sous forme de courant triphasé, à la tension de 6.500 volts, au moyen de 3 électrodes plongeant dans un grand volume d'eau.

En présence du fonctionnement parfait de cette chaudière, qui a pu leur faire apprécier les avantages très importants des chaudières électriques, les usines Fredet ont commandé, en janvier dernier, aux Etablissements Joya, de Grenoble, deux chaudières capables d'absorber chacune 5.000 chevaux en courant triphasé à 6.500 volts, pour produire de la vapeur à 6 kg de pression.

La première de ces chaudières a été mise en marche au début de mai, et la seconde peu de temps après. Elles servent à produire la vapeur nécessaire aux sècheurs des quatre machines à papier que possède cette usine.

En mai et au début de juin, les chaudières de Brignoud ont fonctionné en parallèle avec les chaudières ordinaires de l'usine chauffées au charbon. Pendant la deuxième quinzaine de juin et pendant tout le mois de juillet elles ont alimenté, seules, les machines à papier absorbant, suivant la production du papier, de 5.000 à 6.000 chevaux.

Au mois d'août, la puissance disponible allant en diminuant, par suite de la baisse des eaux dans les rivières, il a fallu rallumer les chaudières au charbon et réduire peu à peu la puissance électrique absorbée.

A la fin août, et pendant la presque totalité du mois de septembre, par suite de la sécheresse, les chaudières sont restées complètement arrêtées et ont été remises en marche à la fin de septembre, dès les premières pluies. Elles absorbent actuellement, suivant la puissance disponible, de 500 à 1.500 chevaux pendant la journée et parfois plus de 5.000 chevaux pendant la nuit.

La mise en pression de ces chaudières pourrait se faire en moins d'une demi-heure, comme les essais l'ont montré ; mais, étant données leurs très grandes dimensions, il est préférable de les mettre en pression en trois heures. Une fois en pression, on peut faire varier la puissance absorbée entre de très grandes limites presque instantanément. Elles s'adaptent donc merveilleusement au régime inconstant d'un réseau alimenté par des centrales hydro-électriques.

Chacune de ces chaudières est constituée par un grand cylindre en tôle de 10 mètres de longueur sur 1 m 50 de diamètre, formant un important volant de vapeur indispensable pour assurer la bonne marche d'une usine. On peut, à Brignoud, mettre en service ou arrêter rapidement une machine à papier ou un lessiveur sans modifier d'une façon anormale la pression ; d'autre part, les perturbations du réseau, les arrêts accidentels du courant y sont moins à redouter. A Brignoud, on peut suspendre le courant pendant plus d'une demi-heure, sans gêner le fonctionnement des machines à papier, même lorsque les chaudières électriques sont seules en fonctionnement.

Les constructeurs italiens et suisses préfèrent, en général, employer de très petites chaudières et disposer à côté un accumulateur de vapeur. Ils cherchent à éviter ainsi deux inconvénients : les effets de dilatation inégale et le dégagement considérable de vapeur en cas de rupture d'un isolateur. On sait, en effet, que dans une chaudière électrique à haute tension, c'est-à-dire fonctionnant au moyen d'électrodes plongeant dans l'eau, la partie inférieure de la chaudière reste à peu près froide, tandis que la partie supérieure est à la température de la vapeur. Il en résulte des dilatations inégales qui, dans le cas d'une longue chaudière cylindrique, tendent à faire travailler les rivets d'une façon exagérée et déterminent des fuites, comme cela a été constaté à Brignoud sur la première chaudière d'essai qui avait 6 mètres de long. Il est facile de remédier à cet inconvénient en chauffant convenablement le fond de la chaudière par un dispositif automatique, ou en alimentant celle-ci avec de l'eau chaude.

Quant au dégagement considérable de vapeur, c'est un inconvénient qui peut être grave dans le cas d'une chaudière formant accumulateur, placée sans précaution dans une maison pour le chauffage domestique, mais qui n'est pas sérieux si l'installation est prévue en conséquence.

On peut d'ailleurs facilement placer une tuyauterie spéciale, si on le juge utile, pour évacuer la vapeur à l'extérieur, comme on le fait souvent pour les soupapes de sûreté.

La première chaudière d'essai des usines Fredet possédait au début, comme isolateurs, de simples porcelaines pour entrées de disjoncteurs à 15.000 volts. Ces isolateurs de fortune ont claqué quelquefois, mais sans causer une gêne bien sérieuse.

Les grandes chaudières actuelles sont munies d'isolateurs de quartz fondu étudiés spécialement et possédant un très grand coefficient de sécurité. Un seul claquage à la mise en marche d'un isolateur déjà fendu et non essayé a été constaté jusqu'à maintenant. Comme le prix des isolateurs est minime devant celui de la chaudière, en établissant ceux-ci très largement on peut être certain de n'avoir pratiquement jamais de claquage d'isolateur à redouter.

La réunion, dans un seul appareil, de la chaudière et de l'accumulateur de vapeur permet de réaliser un ensemble extrêmement simple, moins encombrant et plus économique. Dans le cas de la haute tension surtout le fonctionnement est beaucoup plus sûr et plus régulier, parce que les électrodes sont suffisamment écartées les unes des autres et de la masse, et parce qu'elles plongent dans un grand volume d'eau.

Avec de petites chaudières on ne peut marcher à une tension de 6.000 volts au maximum qu'à la condition d'employer de l'eau très pure et d'apporter beaucoup de soins au fonctionnement des

appareils. Pratiquement, les constructeurs de ces chaudières ne garantissent un bon fonctionnement que pour des tensions inférieures à 3.000 volts environ. Pour des tensions supérieures, ils sont obligés d'employer des dispositifs spéciaux plus ou moins compliqués.

Les grandes chaudières de Brignoud ont toujours fonctionné avec une régularité remarquable à une tension qui, souvent, s'est maintenue à plus de 7.000 volts pendant les heures de faible charge du réseau dont la tension normale est de 6.500 volts.

Avec les petites chaudières, on ne peut guère dépasser 300 chevaux par électrode. Si la chaudière est de grandes dimensions, on peut au contraire facilement absorber jusqu'à 800 chevaux par électrode. A la tension de 6.500 volts, les chaudières de 5.000 chevaux des usines Fredet n'ont que 6 électrodes disposées en ligne et écartées les unes des autres de 1 m. 20. On réalise ainsi, lorsqu'il faut absorber de très grandes puissances, une installation très simple et très économique et, chose intéressante, des charges parfaitement équilibrées.

Le générateur de vapeur "Bergeon-Frédet" à chauffage électrique.

Nous pouvons donner quelques précisions complémentaires au sujet des chaudières électriques type « Bergeon-Fredet », en service depuis quelques mois aux papeteries Fredet, à Brignoud (Isère), dont il est question dans l'article précédent.

Ces chaudières, au nombre de trois, sont à grande réserve d'eau et de vapeur, elles sont alimentées en courant triphasé, à 50 périodes, sous une tension aux bornes de 6.500 volts.

La photographie ci-contre représente l'installation réalisée à Brignoud avec les deux derniers générateurs; chacun d'eux peut absorber 3.500 kwh en assurant une production horaire de vapeur de 4.500 kg, à la pression de timbre de 6 kg.

Le dessin ci-après donne, en coupe longitudinale et en plan, la



La chaudière électrique « Bergeon-Frédet » de 4.500 kgs de vapeur à l'heure

En présence des résultats obtenus à Brignoud, les usines Fredet et les ateliers de construction R. Joya ont pris l'initiative de la création prochaine d'une Société ayant pour but de développer le plus possible ce genre d'application.

Il est certain que le prix très élevé de la vie, que nous subissons actuellement, est dû en grande partie au prix exagéré du charbon. Nous avons donc intérêt à l'économiser le plus possible et, par suite, à ne laisser perdre aucune énergie.

Les chaudières électriques, en nous fournissant le moyen d'exploiter dans de très bonnes conditions des filons de houille blanche restés jusqu'ici sans valeur, doivent donc nous intéresser. Nous sommes d'ailleurs persuadés que leurs applications seront certainement favorisées par les administrations chargées de tirer le meilleur parti de nos ressources nationales.

G.-A. MAILLET,
Ingénieur E.C.L.,
Directeur aux Etablissements Régis Joya.

disposition schématique du générateur « Bergeon-Fredet », tel qu'il est actuellement construit par les établissements R. Joya, à Grenoble.

DESCRIPTION

Il comporte :

— Un corps de chaudière cylindrique horizontal, à fond embouti, en tôle d'acier, de capacité proportionnée à la puissance horaire de vaporisation et aux variations instantanées de l'appel de vapeur des appareils d'utilisation.

— Trois chambres de vaporisation en tôle A, B, C, cylindriques, à axe vertical, pénétrant à l'intérieur du corps de chaudière et assemblées sur celui-ci par des tubulures de grand diamètre T_1, T_2, T_3 , en acier coulé ou en tôle emboutie. Ces tubulures sont fermées à la partie supérieure par des couvercles démontables t_1, t_2, t_3 , en tôle emboutie, boulonnés sur les collectes correspondantes. Chacun de ces couvercles porte une tubulure centrale de petit diamètre j_1, j_2, j_3 , pour la pénétration des