Ainsi, dans bien des cas, les petites chaudières électriques peuvent-elles être employées avantageusement même lorsque le courant est produit à la vapeur. Ces chaudières sont surtout intéressantes lorsque, grâce à une accumulation facile à obtenir, il est possible de ne les faire fonctionner que pendant les heures de faible charge, la nuit surtout. C'est actuellement le seul moyen vraiment pratique de combler les heures creuses des usines génératrices d'électricité.

CONCLUSIONS

Les chaudières électriques, dont l'emploi dans l'industrie date surtout de la fin de la guerre, sont appelées à se répandre de

plus en plus, car ce sont actuellement les appareils les mieux adaptés pour utiliser les importants résidus d'énergie des chutes d'eau. Elles sont doublement intéressantes en permettant de réaliser une économie de combustible très appréciable et en procurant aux Sociétés Hydro-électriques un supplément de recette intéressant.

Pour les petites puissances elles ont un très grand avenir. Les qualités de commodité et de propreté, qui les font tant apprécier par ceux qui les emploient, rendent en effet leur usage possible même avec du courant à un prix assez élevé comme celui des centrales à vapeur. Les Sociétés de Distribution d'énergie commencent d'ailleurs à comprendre que, pour augmenter leur coefficient d'utilisation, elles ont un grand intérêt à développer le plus possible l'emploi des chaudières à accumulation.

Application du Régulateur à action rapide aux Machines à Papier.

Par V. SYLVESTRE, Ingénieur A. M. et I. E. G.

Les machines à papier modernes avec leur énorme production demandent non seulement un réglage de la vitesse très étendu, mais il est de plus nécessaire que celle-ci ne soit pas influencée par des causes extérieures et cela pour tous les régimes.

Les variations de vitesse se traduisent, en effet, par des inégalités dans l'épaisseur du papier qui en nécessitent la mise au rebut, ou bien par des déchirures ce qui donne lieu en fin de compte à des pertes sensibles, surtout aux grandes vitesses.

En outre, par suite de la hausse des matières premières, on a été amené à travailler, ces dernières années, des matières de qualité inférieure et ce fait augmente encore l'importance des avantages de la commande électrique. Seule celle-ci est en état de répondre à toutes les exigences. D'où la tendance générale, bien justifiée du reste, d'adopter la commande électrique dans toutes les fabriques de papier, non seulement lorsqu'il s'agit de nouvelles installations mais encore pour les fabriques existantes.

Etant donné l'importance de ce sujet, avant de décrire les applications du régulateur à action rapide, nous allons rappeler les différents systèmes de commande électrique employés aujourd'hui à la commande des machines à papier.

CHOIX DU GENRE DE COURANT

La plupart des machines dans les fabriques de papier travaillent à vitesse constante. D'après les expériences faites jusqu'ici, le courant triphasé s'est montré le mieux approprié à ces installations. En tout premier lieu, ce sont les propriétés remarquables du moteur asynchrone triphasé qui, dans le choix du système, ont fait pencher la balance en faveur du courant triphasé. Il faut, il est vrai, transformer ce courant pour l'alimentation du moteur de la machine à papier, mais il convient de remarquer qu'il en est de même dans les installations à courant continu, étant donné la nécessité de réaliser de grandes variations de vitesse, ainsi qu'une grande précision de réglage.

Etant donné que les machines fonctionnant à vitesse constante sont celles qui, dans les fabriques de papier, consomment la plus grande quantité d'énergie, il semble opportun de profiter des avantages des moteurs asynchrones et d'adopter le courant triphasé pour l'ensemble de l'installation.

Comme l'emploi du courant triphasé dans les fabriques de papier semble devenir d'un usage courant, on a essayé d'utiliser également ces moteurs triphasés pour la commande de machines nécessitant un réglage de vitesse étendu.

Le moteur asynchrone, dont la vitesse se règle par insertion de résistances dans le circuit du rotor, ne peut convenir, étant donné, d'une part, les pertes élevées auxquelles donne lieu le mode de réglage et, d'autre part, la relation à observer entre le couple et la vitesse. L'emploi d'un moteur triphasé à collecteurs permettrait, il est vrai, d'obtenir dans de larges limites un réglage exempt

de pertes, mais l'inconvénient résultant de l'instabilité de la vitesse n'en subsisterait pas moins, car le moteur triphasé à collecteur ayant une caractéristique série, les variations de charge ont pour effet de provoquer des variations de vitesse sensibles. En employant un moteur triphasé à collecteur ayant une caractéristique shunt, on arriverait, il est vrai, à diminuer l'influence des variations de charge sur la vitesse, mais les limites entre lesquelles cet effet se fait sentir étant assez restreintes, il en résulte que ces moteurs ne permettraient pas non plus de réaliser un réglage de la vitesse dans de larges limites. Il ne reste donc qu'une solution, c'est de produire du courant triphasé et de le convertir en courant continu pour l'alimentation des moteurs actionnant les machines à vitesse variable.

COMMANDE ÉLECTRIQUE DES MACHINES A PAPIER

Pour la commande de la partie à vitesse variable de la machine à papier, on emploie presque dans tous les cas, un moteur à courant continu excité en dérivation, dont on peut faire varier la vitesse dans de larges limites en agissant sur le champ et en faisant varier la tension du courant fourni par la génératrice alimentant le moteur.

Si l'installation comporte plusieurs machines à papier dont la vitesse doit pouvoir varier dans le rapport de 1 à 3 ; par exemple si les sortes de papier diffèrent peu entre elles, comme c'est le cas pour les papiers courants destinés à l'imprimerie, on peut se dispenser d'installer une génératrice par moteur. On prévoit, dans ce cas, l'alimentation de tous les moteurs par une commuta-

Fig. 55. — Commande de la partie à vitesse variable d'une machine à papier par un moteur à courant continu de 180 HP à vitesse réglable entre 150 et 980 tours par minute au moyen du système Léonard et par variation du champ.

A l'arrière-plan un groupe moteur-générateur servant à alimenter les moteurs d'une rouleuse-bobineuse et d'une rouleuse-découpeuse, avec tableau de distribution.

trice ou un groupe moteur-générateur unique si, bien entendu, l'installation ne comporte pas déjà un réseau à courant continu. Il est toutefois recommandable de maintenir la tension constante en installant un régulateur à action rapide (1) qui permet de brancher sans précaution spéciale sur le même réseau d'autres moteurs à vitesse variable ; par exemple, les moteurs de commande des enrouleuses et éventuellement ceux des calandres, sans qu'il y ait lieu de redouter que les à-coups provoqués par les arrêts et les démarrages fréquents de ces moteurs aient une influence sur la vitesse de la machine à papier. Grâce à ce régulateur, les moteurs des machines à papier sont alimentés sous une tension rigoureusement constante. Ainsi qu'il en a été dit plus haut, le réglage de la vitesse dans le rapport de 1 à 3 s'obtient par variation du champ. Pour laver la toile métallique, tendre le feutre, etc., la vitesse peut encore être réduite par l'insertion du rhéostat de démarrage dans le circuit principal.

Cependant, dans la plupart des cas, on désire réaliser le réglage de vitesse dans des limites plus étendues et il est alors nécessaire d'alimenter chaque moteur par une génératrice spéciale.

Là, on utilise alors pour l'obtention du réglage de la vitesse dans le rapport de 1 à 10, les propriétés du système Léonard.

SYSTEME LÉONARD

Partie électrique. — Le courant continu est produit par un groupe moteur-générateur, schéma figure N° 56, dont le moteur D est branché sur le réseau triphasé, tandis que l'induit de la génératrice G est relié directement au moteur M de la machine à papier. L'excitation de ce dernier est constante, tandis que l'excitation de la génératrice et, par suite, la tension du courant qu'elle produit, peuvent varier entre zéro et une valeur maxima. Il est ainsi possible de réaliser un démarrage très doux, puis d'obtenir toute la gamme des vitesses presque sans aucune perte d'énergie.

Fig. 56. — Schéma des connexions du système Léonard.

volant dans un sens ou dans un autre. Cette disposition convient surtout pour les installations où on ne dispose pas d'un personnel expérimenté, car elle rend impossible toute fausse manœuvre, tant au démarrage qu'à l'arrêt. Si cette disposition paraît superflue, il suffit alors de prévoir un coffret de manœuvre ordinaire et un rhéostat de démarrage séparé. Pour la génératrice et son exci-

(1) Voir *Houille Blanche* : Les Applications du Régulateur à action rapide (Janvier à Septembre 1922).

tratrice, on prévoit un tableau avec interrupteur, coupe-circuits, instruments de mesure, ainsi qu'une résistance additionnelle pour l'excitatrice. Dans le couloir de service de la machine à papier sont disposés le rhéostat de réglage R, ainsi qu'un ampèremètre et un voltmètre. Ce rhéostat R, figure N° 56, sert au réglage des champs magnétiques de la génératrice et du moteur ; il est manœuvré à la main par un volant muni d'une aiguille indiquant la vitesse correspondante de la machine à papier. Le démarrage et le réglage de la vitesse du moteur principal M se font uniquement par variation de la tension pour les faibles et moyennes vitesses. La rotation du volant a pour effet, lorsque la pleine tension est atteinte, d'augmenter la vitesse du moteur par l'affaiblissement de son champ magnétique. Comme la tension d'alimentation reste constante, l'intensité du courant augmente par suite de l'accroissement de la puissance. A cet effet, le moteur doit être construit pour l'intensité maximum du courant correspondant à la puissance la plus élevée et, pour cette raison, il peut déjà développer la puissance maximum à la vitesse qui correspond à la pleine tension et à la pleine excitation.

Si, par exemple, la puissance maximum prescrite est de 100 HP et que la vitesse doit pouvoir être réglée entre 100 et 1000 tours par minute, savoir : entre 100 et 500 tours par variation de la tension d'alimentation, et entre 500 et 1000 tours par variation du champ, le moteur peut déjà développer 100 HP en tournant à 500 tours. Pour une tension de $\frac{1}{5}$ de la tension normale correspondant à une vitesse de 100 tours, le moteur développe encore 20 HP. Donc, lorsque la vitesse est réduite au $\frac{1}{10}$ de la vitesse maximum la puissance développée par le moteur est encore de $\frac{1}{5}$ de la puissance exigée à la vitesse maximum. Il s'ensuit que le

couple que le moteur est en mesure de fournir aux faibles vitesses est deux fois plus grand que celui qu'il développe aux vitesses supérieures. Cette considération constitue un grand avantage lorsqu'il s'agit de la commande de machines à papier de construction ancienne, car l'expérience a montré que le couple résistant de ces machines augmente quand la vitesse décroît. Toutefois, elle rend nécessaire l'emploi d'un moteur de type supérieur à celui qu'exigerait une machine travaillant sous couple constant.

Appareils de sécurité. — Les dispositifs de sécurité du moteur triphasé sont ceux dont il a été déjà question plus haut, à savoir le verrouillage entre le démarreur et l'interrupteur, ainsi que le relais pour le déclenchement à maximum et à tension nulle. Le relais à maximum déclenche automatiquement l'interrupteur du moteur en cas de surcharge ; au contraire, en cas de manque de tension, c'est la bobine à tension nulle qui coupe le moteur du réseau. Cette disposition a pour but d'éviter que l'interrupteur du moteur reste enclenché, alors que les bagues du rotor sont en court-circuit et que, par suite, le moteur soit en cet état pris sous courant au moment où celui-ci sera rétabli par la station centrale.

Des dispositions analogues peuvent être prévues pour les machines à courant continu. C'est ainsi que l'arrêt du moteur en cas d'excès de courant peut être obtenu par le déclenchement automatique d'un interrupteur inséré dans le circuit principal

ou bien par la chute de la tension de l'excitatrice provoquée par l'action d'un relais à maximum alimenté par le courant principal et insérant dans le circuit inducteur de l'excitatrice une résistance appropriée.

Ces dispositions permettent d'obtenir facilement l'arrêt à distance de la machine à papier au moyen de boutons-poussoirs.

Si l'installation comporte un interrupteur automatique à commande à distance, on peut prévoir un verrouillage électrique empêchant d'enclencher l'interrupteur lorsque le rhéostat de réglage ne se trouve pas dans la position de démarrage.

Partie mécanique. — Le moteur principal actionne générale-

Fig. 57. — Moteurs à courant continu commandant deux machines à papier, produisant chacune par jour 15.000 kg de papier de 2.300 mm. de largeur, à une vitesse de 120 mètres par minute.

ment la partie à vitesse variable de la machine à papier au moyen d'une courroie (voir figure N° 55). On le fixe sur des rails tendeurs permettant de régler facilement la tension de la courroie. Lorsque le rapport de transmission des poulies est plus grand que 1 à 5, ou même que 1 à 4 et si la distance d'axe en axe des poulies est très faible, l'emploi d'un enrouleur Lenix est à recommander.

La partie à vitesse constante de la machine à papier est actionnée par un moteur spécial ne comportant pas de réglage de vitesse et qui est la plupart du temps un moteur asynchrone triphasé.

Mise en marche. — Le groupe moteur-générateur est tout d'abord mis en marche à vide, puis on excite l'excitatrice jusqu'à ce qu'elle donne sa tension normale et enfin, on enclenche l'interrupteur. En agissant sur le rhéostat de réglage, on provoque le démarrage du moteur dont on règle la vitesse à la valeur voulue. Pour l'arrêt, on procède aux mêmes manœuvres, mais en sens inverse.

SURVOLTAGE — DEVOLTAGE

Si le réglage de la vitesse doit se faire dans un rapport supérieur de 1 à 10 ou bien s'il existe déjà un réseau à courant continu prévu pour alimenter plusieurs machines à papier, le système de

Fig. 58. — Schéma de connexions : Réglage par groupe survolteur-dévolteur branché sur un réseau à courant continu.

réglage par survoltage-dévoltage pourra être avantageusement employé.

Le principe de ce système consiste à faire varier la tension au moyen d'un survolteur-dévolteur dont la tension se retranche (dévolte) ou bien s'ajoute (survolte) à celle du réseau. Comme la tension produite par le survolteur-dévolteur peut être égale à celle du réseau, il est possible de réaliser facilement le réglage de la tension entre une valeur nulle et une valeur double de la tension du réseau. D'autre part, comme le survolteur-dévolteur n'a à fournir qu'une tension égale à la moitié de la tension maximum du moteur principal, cette machine n'est à prévoir que pour la demi-puissance de ce moteur.

Le survoltage-dévoltage peut s'effectuer de différentes manières :

A) L'installation comporte déjà une distribution à courant continu.

1. — La commande du survolteur-dévolteur, figure N° 58, se fait au moyen d'un moteur à courant continu. Le survolteur-dévolteur et son moteur sont accouplés directement et montés sur une plaque de base commune. Le réglage du moteur principal se fait au moyen d'un rhéostat-inverseur. Lorsque la manette du rhéostat se trouve sur les premières touches, l'induit du survolteur-dévolteur qui est connecté en série avec l'induit du moteur principal

travaille en opposition avec le réseau, sa tension équilibre à peu près celle du réseau et le moteur ne reçoit pas de courant. Le déplacement de la manette du rhéostat sur les touches suivantes a pour effet d'insérer des résistances dans le circuit inducteur du survolteur-dévolteur dont la tension aux bornes baisse, de sorte que le moteur principal est soumis à une tension égale à la différence entre la tension du réseau et celle du survolteur-dévolteur. En continuant à manœuvrer le rhéostat de réglage, la tension du survolteur-dévolteur diminue progressivement jusqu'à devenir nulle et le moteur est soumis à la pleine tension du réseau. A ce moment, les inducteurs du survolteur ne sont plus excités. Si on continue à manœuvrer dans le même sens la manette du rhéostat, le survolteur se trouve de nouveau excité, mais la tension qu'il produit s'ajoute à celle du réseau et, à fin de course, la tension résultante atteint le double de la tension du réseau.

Il résulte de ce qui précède qu'aux faibles tensions d'alimentation, le survolteur-dévolteur travaille presque à pleine excitation, c'est-à-dire dans des conditions électriques relativement favorables, si l'on considère l'étendue de la variation de tension.

Pendant la période de dévoltage, le survolteur-dévolteur fonctionne en réalité en moteur et son moteur de commande travaille au contraire en génératrice, débitant du courant sur le réseau. En conséquence, il n'est demandé au réseau que la quantité d'énergie correspondant à la charge du moteur principal, augmentée des pertes dans le survolteur-dévolteur.

2. — Le survolteur-dévolteur est actionné par une transmission.

Fig. 59. — Schéma des connexions d'un groupe survolteur-dévolteur. Le circuit à courant continu à tension constante est alimenté par la génératrice G.

Ainsi que nous venons de le voir, pendant la période de dévoltage, le survolteur-dévolteur travaille en moteur ; dans le cas envisagé, il restituera donc de l'énergie mécanique à la transmission. Celle-ci doit, bien entendu, tourner à vitesse constante et, par suite, cette dernière ne doit pas s'élever lorsqu'il y a récupération d'énergie. La puissance absorbée par la transmission doit donc

toujours être supérieure à la puissance maxima fournie par le survolteur et le moteur actionnant la transmission devra être muni d'un bon régulateur de vitesse. Telles sont les conditions nécessaires au bon fonctionnement de l'ensemble.

B) L'installation ne comporte pas encore de distribution à courant continu.

Si, seul, le moteur principal doit être alimenté par le réseau à courant continu, la génératrice et le survolteur-dévolteur peuvent être approximativement de même grandeur, et en travaillant ensemble, ils doivent pouvoir fournir l'énergie nécessaire au moteur principal. La génératrice doit, en outre, pouvoir fournir le courant d'excitation du survolteur-dévolteur et du moteur principal. Mais, si le réseau à courant continu est destiné en outre à alimenter d'autres moteurs ou bien encore un circuit

de commande et que les fusibles de celui-ci sautent, le survolteur-dévolteur fonctionnant alors en moteur non chargé, s'emballerait immédiatement du fait de la faible valeur de l'intensité de son champ magnétique. Le même fait se produirait si le survolteur-dévolteur étant commandé par la courroie, celle-ci venait à se rompre ou même simplement à tomber. L'interrupteur centrifuge a pour rôle de mettre hors circuit automatiquement le survolteur-dévolteur, dès que sa vitesse dépasse la valeur maximum admissible.

Les dispositifs que nous venons d'examiner suffisent dans la plupart des cas, grâce à un choix judicieux des machines et appareils, à maintenir au papier une vitesse de régime constante.

Cependant, si de fortes variations de charge peuvent se produire à la station centrale électrique, résultant par exemple de l'inertie du régulateur d'une machine à vapeur, ou bien si la demande de vapeur aux chaudières se fait par à-coups, ou encore s'il se produit des variations de tension ou de fréquence des génératrices, ces divers changements de régime ont une répercussion inévitable sur le fonctionnement de la génératrice et du moteur de commande de la machine à papier et ont pour effet de provoquer des variations de vitesse du papier. On est alors obligé d'employer un dispositif maintenant rigoureusement constante la vitesse de régime du papier, et ceci indépendamment du fonctionnement de la machine à papier et des perturbations se produisant à la station centrale. Un réglage aussi précis ne peut être obtenu qu'avec un régulateur non seulement doué d'une grande sensibilité, mais possédant de plus une rapidité d'action lui permettant de parer instantanément aux variations venant à se produire.

Le régulateur de tension à action rapide satisfait entièrement à ces exigences.

Fig. 60. — Survolteur-dévolteur pour le service d'un moteur de 120 HP actionnant une machine à papier.

d'éclairage, on doit prévoir une génératrice plus puissante, capable de fournir le complément d'énergie.

Par contre, la puissance du survolteur-dévolteur doit toujours être égale à la moitié de celle du moteur principal. La génératrice et le survolteur-dévolteur peuvent être actionnés, soit par un moteur unique, s'ils sont accouplés directement, soit au moyen de moteurs séparés ou bien encore par une transmission. La figure N° 59 représente le schéma des connexions dans le cas de commande par un moteur électrique unique, et la figure N° 60 représente le groupe des trois machines.

Appareils de sécurité. — Outre les appareils de sécurité nécessaires par le système Léonard, l'emploi du survolteur-dévolteur exige un dispositif spécial. Si le groupe n'est pas accouplé directement avec la génératrice produisant le courant à tension constante, il doit être muni d'un interrupteur à force centrifuge.

Comme on l'a déjà vu, il fonctionne comme moteur pendant la période de dévoltage. S'il est accouplé directement avec le moteur

REGULATEUR AUTOMATIQUE DE TENSION APPLIQUÉ A UN GROUPE LÉONARD SERVANT A LA COMMANDE D'UNE MACHINE A CARTON.

Le réglage automatique de la vitesse d'une machine à carton a été réalisé sur un groupe Léonard commandant un moteur à courant continu actionnant une machine à carton aux Papeteries Navarre.

L'ensemble du groupe Léonard est constitué par (voir schéma simplifié fig. 61):

- 1° Un moteur asynchrone triphasé M_1 accouplé par manchon élastique à
- 2° Une génératrice G à courant continu de 138 A à tension variable de 20 à 260 volts, par variation de son excitation.
- 3° Une excitatrice E fournissant le courant d'excitation nécessaire à la génératrice G et au moteur à courant continu M_2 .

4° Un moteur à courant continu M_2 de 60 HP à vitesse variable de 55 à 880 tours par variation de la tension d'alimentation de 20 à 260 volts, la tension d'excitation fournie par l'excitatrice E restant constante et égale à 200 volts.

Fig. 61. — Schéma d'un groupe Léonard servant à la commande d'un moteur à courant continu (M_2) à vitesse variable actionnant une machine à carton aux Papeteries Navarre (usine de Champ-sur-le-Drac, Isère).

À la plus faible vitesse la tension d'excitation de la génératrice G est de 20 volts, à la plus grande vitesse cette tension est de 132 volts. La vitesse de la toile de la machine à carton peut varier entre 2 m. 50 et 25 mètres.

Le but du réglage est le suivant :

« Etant donnée une fabrication de carton pour laquelle on doit marcher à une vitesse déterminée, le conducteur de la machine agissant sur le rhéostat R_1 de champ de la génératrice G , amènera la machine à la vitesse convenable. Cette manœuvre étant effectuée, le régulateur automatique doit maintenir la vitesse constante à $\pm 1\%$ près, quelle que soit la cause de la variation de régime. »

Ce problème a été résolu à l'aide d'un régulateur automatique et une dynamo tachymètre de la façon suivante (voir schéma figure N° 62) :

Une petite dynamo, dénommée dynamo-tachymètre (6), est actionnée par le moteur principal M_2 de la machine à carton. La tension de cette dynamo influence le régulateur à action rapide (7), qui fonctionne comme un régulateur de tension. Si la vitesse du moteur principal varie, la tension de la dynamo-tachymètre varie également. Le régulateur à action rapide entre en action instantanément et ramène la vitesse à sa valeur initiale. A cet effet, le régulateur à action rapide influence le champ de la génératrice Léonard. Le régulateur fait varier le champ d'une excitatrice auxiliaire (4) qui fonctionne comme survolteur-dévolteur par rapport à la tension d'excitation des bobines de la dynamo Léonard. Si, par exemple, la vitesse du moteur principal diminue, la tension de la dynamo 6 diminue aussi. Le régulateur à action rapide entre en action et augmente la tension d'excitation de la génératrice (6) et, par conséquent, la tension d'induit du moteur (M_2) et en même temps sa vitesse.

Pour pouvoir alimenter les bobines du régulateur à action rapide sous tension constante, quelle que soit la vitesse de la dynamo-tachymètre, on insère dans le circuit commun à la bobine du régulateur et à la dynamo-tachymètre une résistance R_2 dont le but est d'absorber l'excès de tension produit par la dynamo-tachymètre marchant à une vitesse plus élevée.

Le régulateur principal existant R_1 et le régulateur R_2 sont actionnés en même temps. La commande nécessaire pour ce dernier s'effectue soit par chaîne de galle, soit par roue dentée, choix dépendant de la situation locale. Le régulateur R_1 a pour but d'éliminer les différences inévitables dans la graduation des rhéostats R_1 et R_2 . Le rhéostat R_3 sert à l'ajustage fin des vitesses.

Il faut remarquer que pour le réglage automatique, ce sont les régulateurs R_2 et R_1 qui déterminent la vitesse et non le régulateur R_1 .

Ce dispositif permet de passer du réglage à main au réglage

Fig. 62.

automatique sans que la vitesse varie. Ceci s'effectue de la position moyenne du régulateur à action rapide dans laquelle l'excitation auxiliaire est sans tension. On peut toujours ramener le régulateur à action rapide à sa position moyenne en actionnant le rhéostat R_4 .

Il est à remarquer que cette disposition est utilisable aussi bien dans le cas où le moteur est réglable seulement par le couplage Léonard que dans celui où il est réglable par le couplage Léonard et par le shunt.