

dans les mines métallifères, notamment, l'on est parfois très gêné par l'encombrement des déblais, déchets, ou stériles ; les terrains sont très en pente aux abords des galeries : pour établir des plateformes suffisamment spacieuses, il faudrait bâtir des murs de soutènement d'un cubage énorme et cet obstacle conduit à rouler beaucoup plus loin les déblais sur des terrains plats qui ont plus de valeur ; or, à l'aide des déblais eux-mêmes on peut fabriquer sur place des gabions Palvis et construire sur le carreau de la mine des plateformes très grandes, soutenues par des murs économiquement édifiés d'après ce système.

Mais ne pouvant nous étendre davantage sur ce sujet, nous renvoyons les lecteurs qu'il intéresse à la « Société Franco-Italienne de Défenses Fluviales » qui s'est récemment constituée à Grenoble pour l'application en France du Système Palvis, couvert par des brevets.

E.-F. CÔTE.

NOTE SUR LA RÉGULATION AUTOMATIQUE DE LA VITESSE, DANS L'ACCOUPLLEMENT D'UN MOTEUR HYDRAULIQUE ET D'UN MOTEUR THERMIQUE.

Il nous paraît intéressant, dans certains cas, de régulariser automatiquement la vitesse d'un tel ensemble. Beaucoup de petites usines, qui utilisent une modeste « houille verte », réalisent cet accouplement et voient incessamment changer le mode de fonctionnement de leurs moteurs, soit par la variation du régime des eaux, soit par la variation du couple résistant de l'usine.

Dans une telle installation, deux éléments sont en présence, qu'il convient de maintenir aussi peu variables que possible :

- 1° La vitesse. — 2° Le niveau amont de la chute.

Le premier élément est celui qui donne lieu au problème proprement dit ; mais pour peu que l'on ait eu à surveiller une semblable installation, on sait que la régulation de la vitesse considérée seule entraîne une variation considérable du niveau amont et, par suite, une mauvaise utilisation de l'eau ou des plaintes de riverains. Nous estimons donc que la régulation complète du premier élément doit comporter en elle-même la régulation du second.

Les trois régimes de meilleur fonctionnement qui peuvent se trouver en un instant donné pour l'installation considérée sont les suivants :

- 1° Eaux insuffisantes par manque de débit (étiage) :

Vannes de décharges : *fermées*.

Moteur thermique : *ouvert suivant la vitesse*.

Turbine : *ouverte suivant le niveau d'amont*.

- 2° Eaux suffisantes :

Vannes de décharges : *ouvertes suivant niveau (ou fermées)*.

Moteur thermique : *fermé*.

Turbine : *ouverte suivant la vitesse*.

- 3° Eaux insuffisantes par manque de chute (crues) :

Vanne de décharge : *ouverte suivant niveau*.

Moteur thermique : *ouvert suivant vitesse*.

Turbine : *ouverte en grand*.

Parfois, en quelques heures, le régime de l'usine passe de l'une à l'autre de ces circonstances et, plus rarement, par les trois. Dans la presque totalité des installations actuelles,

l'ensemble n'est régularisé que par le régulateur de la machine thermique ; le soin d'ouvrir ou de fermer la vanne de garde suivant le niveau, est confié à un ouvrier déjà occupé à une autre besogne, et qui, toujours, accomplit mal cette tâche supplémentaire.

La présente note a pour objet de démontrer la possibilité d'une combinaison de régulateurs satisfaisant à toutes les exigences qui viennent d'être énoncées : les solutions qui sont indiquées sont purement théoriques et demanderaient, sans aucun doute, pour être réalisées dans de bonnes conditions pratiques, une étude et une mise au point sérieuse de la part des spécialistes : nous aurons atteint notre but si quelques-uns s'intéressent à cette question.

Si l'on se reporte au tableau précédent, on constate facilement

- 1° que l'ouverture du moteur thermique dépend de la vitesse seule (Régulateur N° 1).
- 2° que l'ouverture des vannes de garde dépend du *niveau amont* (Régulateur N° 2).
- 3° que la turbine est ouverte tantôt suivant le niveau amont (Régulateur N° 4), tantôt suivant la vitesse (Régul. N° 3).

Ces trois conditions, qui peuvent être appelées conditions de principe, comportent, en outre, pour le bon fonctionnement, un certain nombre d'autres conditions que l'on peut appeler conditions d'accouplement et qui sont les suivantes :

1° Le régulateur N° 3 ne doit pouvoir fermer la turbine que lorsque le régulateur N° 1 a complètement fermé la vanne du moteur thermique. Lorsque le régulateur N° 1 est en fonctionnement, la turbine doit être : ou bien régularisée suivant le niveau amont (Régul. N° 4), ou, dans le cas contraire (excès d'eau), ouverte en grand.

2° Le Régulateur N° 4 ne doit pouvoir fermer la turbine que lorsque le Régulateur N° 2 a complètement fermé la vanne de garde. Lorsque le régulateur N° 2 est en fonctionnement, la turbine ou bien doit être régularisée suivant la vitesse (Régul. N° 3), ou bien doit être ouverte en grand.

3° Les régulateurs 3 et 4 doivent, en outre, être enclenchés de telle sorte que le régulateur de vitesse (N° 3) cesse d'ouvrir la vanne lorsque cette ouverture atteint la valeur que détermine le régulateur N° 4, et que le régulateur de niveau (N° 2) cesse d'ouvrir la vanne lorsque cette ouverture atteint la valeur que détermine le régulateur N° 3, les deux régulateurs restant libres l'un ou l'autre de fermer la vanne.

4° Il faut enfin que la cessation du fonctionnement du régulateur N° 3 remette en action le régulateur N° 1 et que la cessation du fonctionnement du régulateur N° 4 mette en fonctionnement le régulateur N° 2.

Nous étudierons sommairement, avant d'exposer une solution de ce problème :

1° Le fonctionnement des régulateurs de vitesse (rappel de résultats connus) ;

2° Le fonctionnement des régulateurs de niveau.

RAPPEL DE QUELQUES PROPRIÉTÉS CONNUES DES RÉGULATEURS DE VITESSE

On sait qu'il existe deux sortes de régulateurs de vitesse (pour les moteurs thermiques, comme pour les moteurs hydrauliques), qui sont : les régulateurs à action directe, et les régulateurs à action indirecte.

Ces régulateurs comportent tous un tachymètre traduisant par un déplacement linéaire une variation de vitesse

angulaire. La stabilisation du régulateur exige que la position du manchon du tachymètre soit une fonction définie de la vitesse ; le plus souvent, le déplacement du manchon est proportionnel à la variation de la vitesse, tout au moins lorsqu'on considère un écart faible autour de la vitesse de régime.

Régulateurs à action directe. — La position de la vanne d'entrée du fluide moteur est fonction de la vitesse ; soit ω la vitesse au temps t , $\omega + d\omega$ la vitesse au temps $t + dt$, S l'ouverture maxima du vannage, $s = S - F(\omega)$ l'ouverture correspondante à la vitesse ω , ρ le couple résistant, μ le couple moteur, l'équation de d'Alembert s'écrit :

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\mu - \rho}{I} \quad (1)$$

ou, si l'on admet que μ soit sensiblement proportionnel à l'ouverture du vannage :

$$\mu = a [S - F(\omega)]$$

Par suite :

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{a}{I} \left[\left(S - \frac{\rho}{a} \right) - F(\omega) \right] \quad (2)$$

Examinons la fonction $F(\omega)$: elle est nécessairement finie, dans l'intervalle séparant les vitesses ω_m à pleine charge, et ω_M à vide ; de plus elle est constamment croissante dans cet intervalle avec ω , puisqu'elle doit exprimer que s décroît lorsque la vitesse passe de ω_m à ω_M .

De cette remarque on peut déduire la forme de la variation de ω avec t dans le cas du régime troublé.

Supposons en effet que le moteur travaille à pleine charge (couple résistant $= R$, vitesse $= \omega_m$) et qu'on lui enlève brusquement une partie de sa charge au temps $t=0$ (couple résistant $= \rho$) ; la vitesse du nouveau régime ω_ρ sera donnée par :

$$\mu - \rho = 0 \quad \text{ou :}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = 0 \quad \text{c'est-à-dire : } F(\omega_\rho) = S - \frac{\rho}{a}$$

L'équation (2) s'écrit :

$$\frac{dt}{d\omega} = \frac{I}{a \left[\left(S - \frac{\rho}{a} \right) - F(\omega) \right]} \quad (3)$$

Je dis que cette fonction reste constamment positive entre ω_m et ω_ρ . En effet, nous avons : $\omega_m < \omega_\rho$.

D'autre part, la fonction dénominateur de (3) n'a pas de racines entre ω_m et ω_ρ , car il faudrait alors prendre cette racine pour valeur de ω_ρ .

Effectuons la substitution de ω_m à ω dans l'équation :

$$\left(\frac{dt}{d\omega} \right)_{\omega = \omega_m}^{t=0} = \frac{I}{a \left[\left(S - \frac{\rho}{a} \right) - F(\omega_m) \right]}$$

Or,
$$F(\omega_m) = S - \frac{R}{a}$$

Donc,

$$\left(\frac{dt}{d\omega} \right)_{\omega = \omega_m}^{t=0} = \frac{I}{a \left[\frac{R - \rho}{a} \right]} = \frac{I}{R - \rho} > 0$$

La fonction $\frac{d\omega}{dt}$ sera donc constamment positive entre ω_m et ω_ρ par suite t croîtra constamment avec ω dans cet intervalle.

Pour $\omega > \omega_\rho$ la fonction $\frac{d\omega}{dt}$ change de signe et t décroît ; lorsque ω croît ω_ρ correspond donc à un maximum de t .

Je dis que ce maximum n'a pas de valeur finie. En effet, prenons la dérivée seconde :

$$\frac{d^2t}{d\omega^2} = \frac{F'(\omega)}{a \left[\left(S - \frac{\rho}{a} \right) - F(\omega) \right]^2}$$

Or $F(\omega)$ croît avec ω entre ω_m et ω_M . Donc $F'(\omega)$ est constamment positive entre ω_m et ω_M , par suite la courbe tourne constamment sa concavité vers l'axe des t positifs, ce qui ne pourrait se produire s'il y avait un maximum de t fini (sauf s'il y avait un point de rebroussement dont la tangente serait la droite $\omega = \omega_\rho$; mais pour que cela puisse se produire, il faudrait que la courbe ait 3 points à distance finie sur la droite $\omega = \omega_\rho$; or, si complexe que puisse être la fonction $F(\omega)$ et son intégration, le résultat sera toujours de la forme :

$$t = \Phi(\omega)$$

qui indique qu'à une valeur de ω ne correspond qu'une seule valeur de t réelle).

Quelle que soit la fonction $F(\omega)$, la courbe de la vitesse

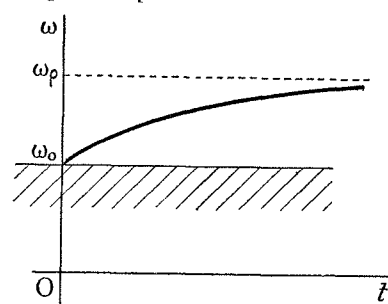


Fig. 1

dans les régulateurs directs a toujours la même forme, qui est représentée (fig. 1). Il serait facile de voir que cette forme subsiste encore, lorsque l'on abandonne l'hypothèse de la proportionnalité de l'ouverture du vannage et du couple moteur, pourvu que les variations de l'un et l'autre de ces éléments se

fassent dans un sens concordant et suivant une loi continue.

En résumé :

Dans les régulateurs à action directe (tels que la plupart des régulateurs freins), la vitesse passe insensiblement de la valeur demandée par le premier régime, à la valeur demandée par le second régime, sans ondulations ; pendant le temps du régime troublé, la vitesse reste constamment comprise entre les 2 valeurs extrêmes. On en déduit, en outre, évidemment, que la vitesse d'un moteur ainsi régularisée reste constamment comprise entre sa vitesse à vide et sa vitesse à pleine charge.

Régulateurs à action indirecte. — Dans le cas des régulateurs asservis à action indirecte, le second membre de l'équation de d'Alembert peut être, suivant le mode d'action du régulateur sur la vanne, fonction de t seulement ou bien de ω et de t : le mode de fonctionnement d'un tel régulateur dans le cas où le second membre de l'équation est fonction de t seulement a été étudié dans *La Houille Blanche* de février et d'août 1909, avec quelques hypothèses simplificatrices ; il conduit aux résultats suivants :

La variation de la vitesse entre deux régimes stables, et au cours d'un régime troublé, est une fonction de la variation de charge, de la rapidité d'action du régulateur, de l'inertie du système tournant, de la vitesse du régime, de la puissance de la turbine et du facteur de proportionnalité liant le déplacement linéaire du manchon du tachymètre à la vitesse angulaire. Suivant les valeurs de ces divers éléments, deux cas peuvent se présenter : ou bien la vitesse reste constamment comprise, au cours du régime troublé, entre les vitesses des deux régimes extrêmes (modération) ; ou bien la vitesse ondule en sortant de l'intervalle des vitesses extrêmes (ondulations).

Enfin, lorsque le second membre de l'équation de d'Alembert est fonction de ω et de t , les propriétés des régulateurs doivent être vraisemblablement intermédiaires entre les propriétés des deux cas précédents. Cette catégorie comprend les régulateurs dont l'action est d'autant plus prompte que la variation de vitesse a été plus grande : l'analyse de leur fonctionnement ne semble pas devoir conduire à des résultats simples, par suite des complications d'intégration que présente dans le cas général l'équation de d'Alembert.

RÉGULATEURS DU NIVEAU AMONT

Le régulateur le plus simple du niveau amont est évidemment le déversoir : malheureusement, pour satisfaire à certains règlements, le déversoir doit être considéré comme un appareil témoin et non comme un appareil régulateur, car le niveau amont ne doit dépasser sensiblement la crête du déversoir que lorsque les vannes de décharge sont complètement levées. Il convient donc de régler automatiquement la levée de cette vanne.

Considérons le barrage B_2 (fig. 2) situé à l'amont du barrage B_1 sur lequel est placée l'installation à régulariser. Soit Q le débit de la rivière au barrage B_2 : nous admettons que

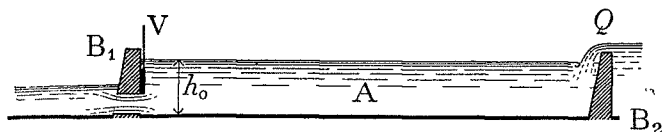


Fig. 2

ce débit Q est susceptible de varier dans le temps, mais qu'il ne dépend pas de la hauteur h_0 de l'eau à l'amont du barrage B_1 . Soit S la surface de l'eau de la rivière entre les deux barrages. Supposons la vanne ouverte et soit l la largeur de la vanne, 2λ la levée.

S'il y a équilibre de régime la quantité d'eau éliminée par la vanne V est équivalente à celle qui passe en B_2 (en faisant abstraction des infiltrations, des affluents, ou des canaux de dérivation). Par suite, en régime, nous aurons :

$$Q = 2m\lambda l \sqrt{2g(h_0 - \lambda)} = K\lambda \sqrt{h_0 - \lambda}$$

Supposons que Q vienne à augmenter, le niveau N s'accroît jusqu'à l'instant où :

$$Q' = 2m\lambda l \sqrt{2g(h - \lambda)} = K\lambda \sqrt{h - \lambda}$$

ce qui donne pour h :

$$h - \lambda = (h_0 - \lambda) \frac{Q'^2}{Q^2}$$

ou encore, en prenant pour origine des niveaux l'axe de l'orifice de la vanne :

$$\frac{H}{H_0} = \frac{Q'^2}{Q^2}$$

Il y a donc là un phénomène de régulation automatique, puisque le niveau h se limite de lui-même, mais cette régulation est absolument illusoire ; il suffit de remarquer en effet que, si le débit de l'eau double, la hauteur H se quadruple, pour comprendre l'insuffisance d'un tel procédé.

Supposons qu'au lieu d'être maintenue constante, l'ouverture de la vanne croisse proportionnellement au niveau,

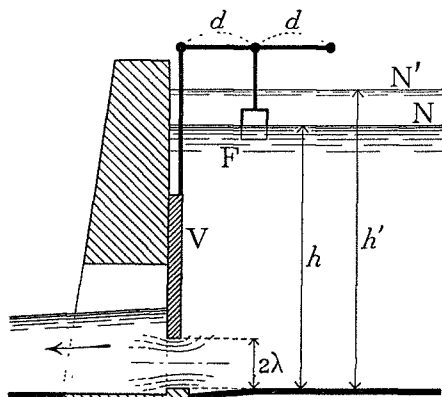


Fig. 3

ce qui peut être schématiquement représenté en supposant la vanne liée à un flotteur F (fig. 3).

Considérons un instant t , soit h le niveau amont, dh la variation de ce niveau pendant le temps dt , nous avons :

$$\lambda = a(h - h_0)$$

la vanne étant fermée lorsque le niveau prend la valeur h_0 . Le volume d'eau passant par l'orifice de la vanne dans l'instant dt sera :

$$qdt = 2mla (h - h_0) \sqrt{2g[h - a(h - h_0)]} dt$$

et si nous nous plaçons dans le cas particulier où la vanne serait liée au flotteur de telle sorte que $a = 1$ (cas de la fig. 3) :

$$qdt = 2mla (h - h_0) \sqrt{2gh_0} dt = K (h - h_0) dt$$

D'autre part, le volume d'eau passant au déversoir B_2 pendant le temps dt est :

$$Q dt$$

la différence représentera l'eau emmagasinée entre les deux barrages, différence qui aura également pour expression :

$$S dh$$

par suite : $Sdh = Qdt - qdt$ (ou : $\frac{dh}{dt} = \frac{Q - q}{S}$) (3 bis)

$$Sdh = Qdt - K (h - h_0) dt$$

ou encore

$$\frac{dh}{dt} = (Q + Kh_0) - Kh$$

ou encore

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q + Kh_0}{S} - \frac{K}{S} h. \quad (4)$$

équation qu'il suffit de rapprocher de l'équation (2) pour constater leur parfaite identité de forme. Toutes les propriétés connues concernant les régulateurs de vitesse à action directe pourront donc s'appliquer au régulateur de niveau ainsi établi.

Si de plus l'on rapproche l'équation (3 bis) de l'équation de d'Alembert :

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\mu - \rho}{I}$$

on constate que S joue sensiblement le même rôle que I et que par suite la régulation sera d'autant plus facile que la surface du lit de la rivière sera plus grande, ce qu'il était facile de prévoir a priori.

Dans un tel système, si Q est le débit minimum correspondant à une hauteur h et Q' le débit maximum correspondant à h' , nous aurons évidemment

$$\frac{h' - h_0}{h - h_0} = \frac{Q'}{Q}$$

ou, en prenant pour origine le niveau h_0 :

$$h' - h_0 = H'$$

$$h - h_0 = H$$

$$\frac{H'}{H} = \frac{Q'}{Q}$$

les hauteurs seront donc proportionnelles aux débits et non plus comme précédemment aux carrés des débits.

La régulation sera ainsi beaucoup plus efficace comme le démontre tout à fait l'exemple suivant :

Supposons une vanne ouverte de 0^m40 sur une largeur l , soit 1 m. la hauteur du niveau comptée à partir de l'axe de l'ouverture de la vanne, niveau correspondant au débit Q ; supposons que le débit devienne $2Q$; si H est la hauteur du niveau correspondant à ce débit

$$\frac{H}{1} = \frac{4Q^2}{Q^2} = 4$$

Par suite, si l'ouverture reste la même, le niveau sera de 4 m. au lieu de 1 mètre.

Supposons au contraire que la vanne suive le niveau de l'eau, nous aurons, en comptant les niveaux à partir du fond :

$$h_0 = 0^m80 \\ h - h_0 = 1,20 - 0,80 = 0^m40$$

le nouveau niveau h' donnera :

$$\frac{h' - h_0}{h - h_0} = \frac{2Q}{Q} = 2$$

ou :

$$h' - h_0 = 0,80 \\ h' = 1,60$$

La variation réelle du niveau aura donc été dans le premier cas de 3 m. et dans le second de 0^m40 seulement.

Dans les régulateurs de cette nature, la différence entre les niveaux correspondant au débit maximum et au débit minimum ne peut être supprimée, pour la même raison que dans les régulateurs de vitesse directs il n'est pas possible de supprimer la différence de vitesse à vide et à pleine charge. Dans ces régulateurs, en effet, l'ouverture de la vanne est une fonction de la vitesse : pour que cette ouverture prenne des valeurs diverses, il faut donc que la vitesse prenne des valeurs diverses suivant la charge.

Il ne paraît pas pratique de réaliser pour une vanne de décharge un régulateur de ce genre : ces vannes sont le plus souvent lourdes, encombrantes et difficiles à manier. Il est plus simple, croyons-nous, d'avoir recours aux régulateurs indirects.

Régulateur indirect du niveau amont. — Notons d'abord qu'un simple flotteur F (fig. 4) traduit immédiatement en déplacements linéaires le phénomène à régulariser ; il suffit donc d'assimiler ce flotteur au manchon d'un tachymètre et tous les organes d'asservissement, tous les perfectionnements apportés aux servo-moteurs, dans les régulateurs de vitesse, seront applicables à la régulation du niveau amont, la fermeture ou l'ouverture de la vanne étant produite par un levier L dont le point d'appui O sera asservi à la position de la vanne. (Pour simplifier la gravure, nous avons admis que le levier L actionnait la vanne par fermeture dans le sens convenable d'un circuit électrique). Un tel régulateur fonctionnera donc de la même façon qu'un régulateur de vitesse. En particulier, suivant le mode d'action du servomoteur commandant la vanne, deux cas pourront se présenter :

L'équation
$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q - q}{S}$$

analogue de l'équation de d'Alembert dans la régulation des

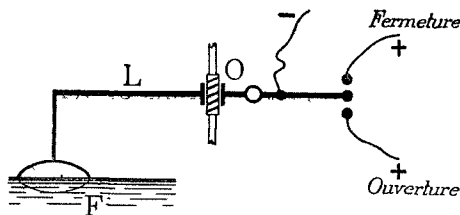


Fig. 4

vitesse, sera fonction ou bien de t seulement, ou bien à la fois de h et de t .

Dans le premier cas, la variation du niveau suivra une loi analogue à celle qui a été étudiée dans les mêmes circonstances pour la régulation de la vitesse ; si l'on a soin toutefois de réaliser pratiquement les hypothèses simplificatrices dont il a été parlé à propos de cette étude.

En outre, ce qui a été dit concernant les deux modes d'action possible de la correction de réglage, subsistera dans la régulation des niveaux amont : modération ou ondulation, avec cette différence toutefois que le débit Q variera toujours lentement, ce qui fait que, dans l'application pratique, on ne rencontrera vraisemblablement jamais d'ondulation dans la hauteur du niveau, le niveau passant purement et simplement de la valeur correspondante au débit Q à la valeur correspondante au débit Q' d'une façon progressive, la hauteur de ces deux niveaux pouvant d'ailleurs différer très peu.

De ce qui précède résulte surtout, par analogie avec la régulation de la vitesse, que si l'on veut une variation relativement faible du niveau amont entre les régimes de débit minimum et de débit maximum, il conviendra de choisir un régulateur à servo-moteur asservi, régulateur pour lequel cette variation peut être réduite pour ainsi dire autant qu'on le désire. Il n'y aura pas lieu de craindre une variation du niveau amont trop grande en régime troublé.

RÉGULATION DU SYSTÈME MOTEUR-THERMIQUE MOTEUR-HYDRAULIQUE

La figure (5) indique le schéma de la solution proposée. Le Régulateur N° 1 est le régulateur indirect de vitesse de la machine thermique, A_1 est le tachymètre du moteur thermique dont le réglage sera tel que le manchon sera à sa butée supérieure pour une vitesse ω_1 et à la butée inférieure pour la vitesse ω_m , la plus faible que l'on admette en régime.

O_1 sera le point d'appui asservi au déplacement de la vanne (ou détente) du moteur thermique. Un déplacement du manchon aura pour effet de fermer le courant de la source électrique D sur l'un des enroulements Ω_1 ou F_1 qui eux-mêmes actionneront mécaniquement la vanne dans le sens demandé par le tachymètre ; le déplacement du levier sera d'ailleurs aussitôt corrigé par le déplacement du point O_1 lié à la vanne. Lorsque la vanne sera complètement fermée, un contact s'établira entre a_1 et b_1 , et fermera la ligne $\beta_3 a_1$ sur $b_1 F_3$.

(3) est le régulateur de vitesse de la turbine. A_3 le tachymètre dont le manchon est à sa butée inférieure pour la vitesse ω_1 et à sa butée supérieure pour la vitesse ω_M la plus forte qui soit admise en régime ; O_3 est le point d'appui asservi, $\alpha_3 \beta_3$ les contacts déclenchant la fermeture ou l'ouverture de la turbine au moyen des enroulements F_3 et Ω_3 . En outre lorsque A_3 est à sa butée inférieure (vitesse ω_1), la ligne $\Omega_3 \gamma_3$ est fermée sur $\delta_3 \beta_4$.

(2) est le régulateur de niveau amont agissant sur la vanne B_2 le flotteur, O_2 le point d'appui asservi, $\alpha_2 \beta_2$ les contacts fermant ou ouvrant la vanne de décharge par les enroulements $F_2 \Omega_2$. Le flotteur B_2 est à sa butée supérieure pour la hauteur H_M , la plus grande admise pour le niveau amont en régime, et à sa butée inférieure pour une hauteur plus faible H_1 . Lorsque la vanne est fermée complètement, elle établit un contact électrique entre a_2 et b_2 .

(4) est le régulateur de la turbine, agissant suivant le niveau amont, O_4 le point fixe asservi, B_4 le flotteur qui est

à sa butée inférieure pour la hauteur H_m la plus faible admise en régime, et à sa butée supérieure pour la hauteur H_i . Lorsque le flotteur est à sa butée supérieure, il ferme la ligne $\alpha_3 \gamma_4$ sur $\delta_4 \Omega_3$, le levier régulateur ferme ou ouvre la vanne de la turbine dans le sens convenable au moyen des contacts α_4 et β_4 . Nous supposons en outre que les contacts $\alpha_1 \beta_1$, $\alpha_2 \beta_2$, $\alpha_3 \beta_3$, $\alpha_4 \beta_4$ sont établis avec le minimum de jeu possible (condition de sensibilité : voir *Houille Blanche* de février 1909) ; les deux points $\gamma_3 \delta_3$ seront considérés comme les butées extrêmes du manchon m_3 et $\gamma_4 \delta_4$ les butées extrêmes de B_4 . Par contre, les contacts en $\alpha_1 \beta_1$, $\alpha_2 \beta_2$, $\alpha_3 \beta_3$,

il y a d'arrangements de 3 lettres prises 2 à 2, soit 6. Nous étudierons le fonctionnement des régulateurs dans chacun de ces 6 cas et, si le fonctionnement en est satisfaisant, le problème sera résolu.

(I-II). — Dans le régime I (eau insuffisante par manque de débit), la vanne de garde est fermée, le niveau compris entre H_i et H_m , B_2 à sa butée inférieure, B_4 en action, le contact $a_2 b_2$ établi, les contacts $\alpha_2 \beta_2$ coupés automatiquement par l'asservissement de O_2 . Le régulateur (1) est en fonctionnement, le contact $a_1 b_1$ coupé, la vitesse comprise entre ω_i et ω_m , par suite le manchon de A_3 à sa butée inférieure fermant le contact $\delta_3 \gamma_3$.

Dans ces conditions, les circuits $D \alpha_4 a_2 b_2 F_3 D$ ou $D \beta_4 \delta_3 \gamma_3 \Omega_3 D$ sont ouverts ou fermés à la demande de B_4 , la turbine étant ouverte à la demande du niveau. Supposons que l'eau devienne suffisante par diminution du couple résistant, la vitesse s'accélère, A_1 ferme la vanne du moteur thermique, le contact $a_1 b_1$ s'établit à cet instant, la vitesse continuant à croître passe dans l'intervalle $\omega_i \omega_m$ et le manchon de A_3 se lève, coupant le contact $\delta_3 \gamma_3$, et établissant le circuit $D \beta_3 a_1 b_1 F_3 D$ qui ferme la vanne de la turbine. Dans ces conditions, le niveau compris entre H_i et H_m monte, mais B_4 demandant vainement l'ouverture (car le circuit est coupé en δ_3) finit par se fixer à sa butée supérieure et ferme le contact $\gamma_4 \delta_4$. Le niveau passe donc dans l'intervalle $H_i H_m$ mais alors B_2 entre en fonctionnement et ouvre la vanne de garde à la demande du niveau en coupant le contact $a_2 b_2$. En dernier lieu on voit que (1) et (4) n'agissent plus, (3) et (2) agissant seuls ; une série d'enclenchements inverses se produiraient dans le passage de II à I.

II-III. — Le régime étant établi comme il vient d'être dit, supposons qu'il advienne une crue subite qui nous amène

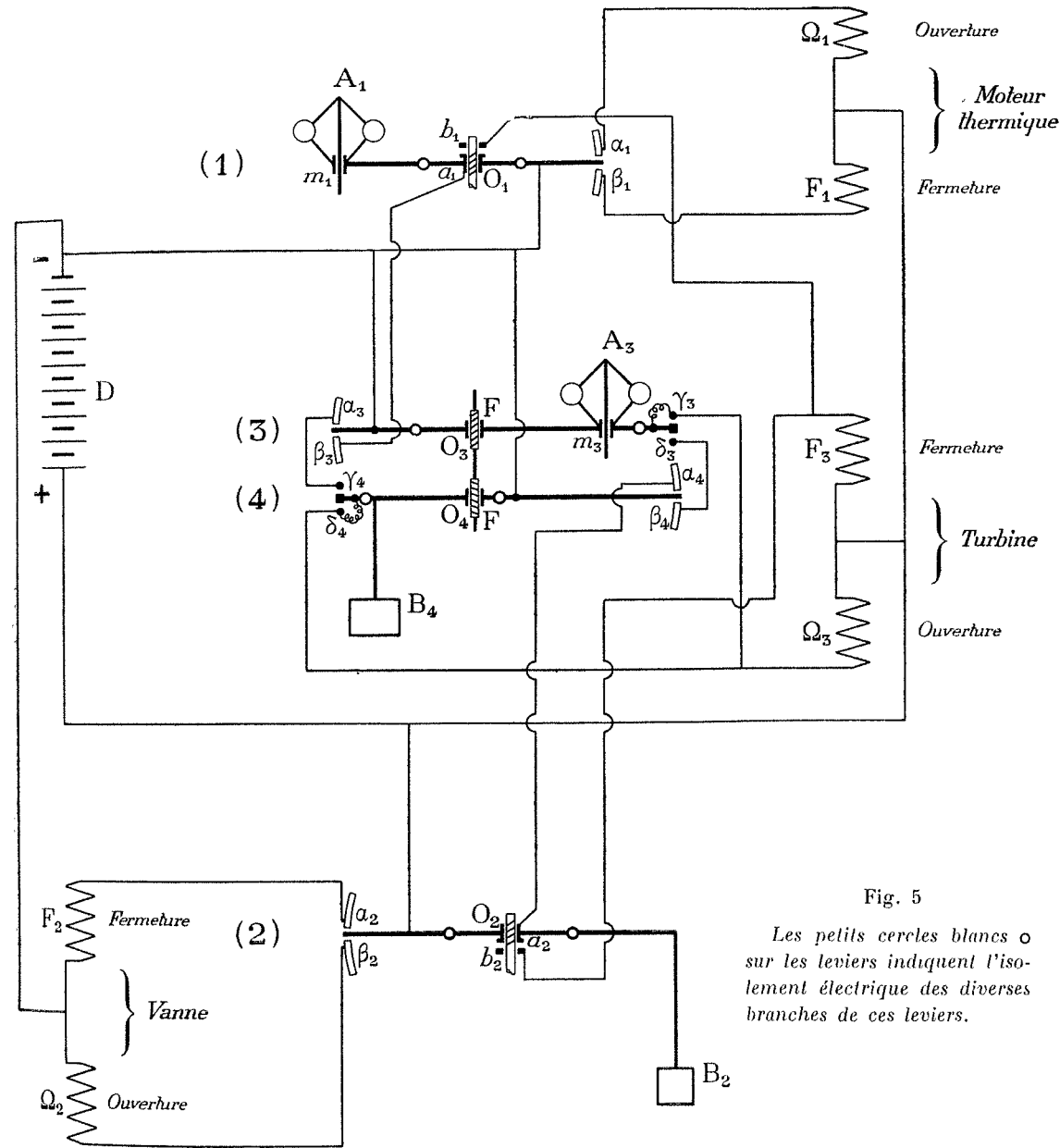


Fig. 5

Les petits cercles blancs \circ sur les leviers indiquent l'isolement électrique des diverses branches de ces leviers.

$\alpha_4 \beta_4$ seront supposés ne pas former butée et se faire sans frottement appréciable.

La figure montre enfin comment sont groupés et reliés électriquement les différents éléments énumérés ci-dessus.

Dans ces conditions, je dis :

1° que la vitesse de régime restera constamment comprise entre les deux valeurs ω_m et ω_M

2° que le niveau amont de régime restera constamment compris entre les deux hauteurs H_m et H_M (jusqu'à concurrence de la capacité d'écoulement de la vanne de garde).

Nous avons vu précédemment que 3 cas de groupement des appareils pouvaient normalement se présenter. Il y aura donc autant de passage d'un groupement à l'autre qu'il

au régime N° III. Le niveau de l'eau s'accroissant sollicite l'ouverture de la vanne de garde. Celle-ci s'ouvre en grand et débraie automatiquement son servo-moteur à fin de course par l'asservissement de O_2 . La chute diminuant, la vitesse diminue et A_3 ouvre la turbine jusqu'au moment où celle-ci étant ouverte en grand débraie automatiquement les deux régulateurs (3) et (4) ; lorsque la vitesse continue à décroître, elle tombe dans l'intervalle $\omega_i \omega_m$ et A_1 entre en fonctionnement. Une série d'enclenchements inverses se produit dans le passage de III à II.

III-I. — Ce cas ne se rencontrera probablement jamais sans que le cas N° II se place comme intermédiaire. Cependant il n'est pas impossible, et il convient évidemment que

le régulateur puisse satisfaire aux conditions de ce passage.

Prenons donc l'ensemble dans l'état où il vient d'être laissé et supposons une diminution subite de l'eau, nous ramenons au cas N° I. Le niveau baissant rapidement, B_2 ferme la vanne de garde, rétablit le contact a_2b_2 , et la vanne à fin de course débraille automatiquement son régulateur ; le niveau passe dans l'intervalle H_1 H_m ; B_4 devient actif et ferme la turbine ; la vitesse restant entre ω_1 et ω_m , aucun changement ne se produit dans le fonctionnement des régulateurs (1) et (3).

Une série d'enclenchements inverses se produit dans le passage de I à III.

CONCLUSION

L'exemple qui précède montre donc que le problème de la régulation automatique d'un système de transmission comportant l'accouplement d'un moteur thermique et d'un moteur hydraulique n'est pas inabordable. Le problème peut comporter d'autres solutions en combinant ensemble des régulateurs à action directe et des régulateurs à action indirecte.

A. RENARD,

Ingénieur des Arts et Manufactures,
Directeur de la Papeterie de Poncé.

ACADÉMIE DES SCIENCES

MÉCANIQUE ET ÉLECTRICITÉ

Nouveau procédé de désélectrisation des matières textiles au moyen des courants électriques de haute fréquence.
Note de MM. J. PAILLET, F. DUCRETET et E. ROGER, présentée par M. d'Arsonval, séance du 6 mars 1911.

On sait que dans les différentes phases de la manutention des matières textiles (laines, soies, cotons, papiers, films), il est nécessaire, pour obtenir des produits de bonne qualité et éviter les trop grands déchets de matière première, d'avoir recours à certains moyens qui présentent de graves inconvénients au point de vue de la salubrité ou de la sécurité des ouvriers.

Par suite de l'électrisation qui se produit pendant l'étirage de la laine, par exemple, les fibres divergent et une notable partie se détache de la mèche principale. Il en résulte un déchet très important, car la matière tombée est dépréciée.

En outre, le fil produit est de grosseur irrégulière et la casse devient fréquente ; la qualité du fil se trouve diminuée et le travail de l'ouvrier chargé de rattacher les fils devient excessif.

Le procédé d'humidification généralement employé aujourd'hui ne remédie à cet inconvénient qu'aux dépens de la salubrité des salles, car toute aération est interdite, les salles fortement surchauffées et les fenêtres fermées par doubles croisées.

En outre l'excès d'humidité sur les matières textiles augmente le collage des mèches sur les organes des métiers, ce qui est une nouvelle cause de déchets.

On a essayé dans le même but d'avoir recours à une charge électrique distribuée le long des métiers par des conducteurs isolés, cette charge étant produite par une bobine de Ruhmkorff ou une machine électrostatique, afin d'annuler l'électricité développée dans la matière textile ; mais les fortes commotions ressenties au contact des conducteurs dans le premier cas, pendant les différentes opérations de rattachage des fils et du nettoyage, sont dangereuses pour les ouvriers, si l'on veut employer une certaine énergie. Dans le second cas, la charge est très difficile à maintenir à une valeur rigoureuse pour assurer une neutralisation exacte sans produire une charge inverse.

Les courants de haute tension par une source de courant alternatif employés dans ce but seraient extrêmement dangereux et inapplicables dans une usine.

Après différents essais exécutés à Fourmies dans les usines de M. Paillet, nous avons obtenu le résultat cherché en utilisant les courants de grande fréquence à haute tension, tels qu'ils sont déjà appliqués en électrothérapie à la suite des travaux de M. le Professeur d'Arsonval et plus récemment en télégraphie sans fil.

L'emploi de ces courants étant inoffensif, il est possible de mettre en jeu une grande énergie, sans qu'il en résulte aucun danger pour les ouvriers. Le procédé que nous employons actuellement et qui fonctionne régulièrement depuis le mois de mai 1910, utilise la décharge oscillante de condensateurs alimentés par un courant alternatif survolté au moyen d'un transformateur. Le dispositif ayant donné le meilleur résultat est celui qui est connu sous le nom de « résonateur Oudin », tel qu'il est employé dans les stations de télégraphie sans fil. Les conducteurs aériens ou antennes sont ici distribués le long des métiers au voisinage des matières textiles à traiter et sont garnis de place en place de petits balais en fils métalliques très souples afin de ne pas blesser les mains des ouvriers, et destinés à répartir la charge aux points précis où elle doit être utilisée.

Le résonateur Oudin se compose d'un grand solénoïde à forte section ne comprenant qu'un petit nombre de spires composé de deux sections dont on peut faire varier les longueurs au moyen d'un curseur mobile.

La décharge s'effectue à travers une section du circuit qui réagit sur les autres spires et sur les conducteurs de distribution par phénomène de résonance. L'étincelle de décharge jaillit entre les électrodes d'un éclateur ; le circuit inférieur du résonateur est relié à la terre, et l'extrémité supérieure communique avec les fils aériens. Une bobine de self variable sert au réglage et à l'accord du circuit primaire afin d'obtenir dans ce circuit le phénomène de résonance. Les radiations électriques sont ainsi utilisées dans les meilleures conditions de rendement.

Les résultats obtenus ont été officiellement constatés par le Bureau de Conditionnement des soies et laines de Roubaix-Tourcoing, et ont montré que la solidité à la traction, mesure de la limite de l'effort nécessaire pour amener la casse, était augmentée de 7 à 15 pour 100 ; dans certains cas, le chiffre a atteint 22 p. 100.

Quelles que soient les conditions d'humidité et de température, les chiffres obtenus sont toujours en faveur de la méthode nouvelle. L'élasticité, qualité très importante en raison des opérations postérieures du tissage, s'est trouvée accrue dans la proportion de 19 pour 100, et sur les laines de basse qualité, où le déchet est généralement très important, ce chiffre a atteint dans certains cas 28 pour 100.

Il importe de considérer que ces résultats, qui procurent un bénéfice sensible au filateur, ne sont pas obtenus aux dépens du personnel ouvrier ; bien au contraire, le nouveau système permet de diminuer, dans une forte proportion, le degré d'humidité et la température des salles de travail ; ces conditions mauvaises étaient souvent des sources de conflits entre les industriels et les inspecteurs du travail.

De l'avis même des ouvriers consultés à ce sujet, le nouveau procédé n'entrave en rien leur travail et soulage même leur effort puisque les casses de fils deviennent moins fréquentes.

Il est aujourd'hui possible de voir dans l'usine de Fourmies les fenêtres ouvertes et les salles largement aérées, chose inconnue jusqu'ici de tous ceux qui connaissent les conditions ordinaires du travail dans cette industrie.

Recherches sur la constitution de l'étincelle électrique.
Note de M. E. CAUDRELIER, présentée par M. E. Bouly, séance du 20 mars 1911.

L'auteur a rendu compte précédemment (*) d'expériences destinées à étudier l'étincelle de décharge des transformateurs. Le but de ses nouvelles recherches a été de déterminer l'influence de l'ionisation initiale de l'air de la coupure.

La méthode employée était celle d'observation par soufflage :

(*) E. CAUDRELIER, *Comptes rendus*, t. 148, 1909, p. 1257 ; t. 149, 1910, p. 615.