ÉLECTRICITÉ

Comment choisir un régulateur automatique

Par E. JUILLARD, Ingénieur E. P. Z.

Nombreux sont les ouvrages et les études qui traitent du réglage automatique. Les moyens d'opérer le réglage de groupes électromécaniques de toute nature, les schémas les plus favorables, les résultats obtenus dans l'approximation du réglage, ont été traités par bien des auteurs fort compétents. Il nous semble cependant qu'un côté de la question reste encore dans l'ombre : c'est la façon dont opère le régulateur automatique ; en d'autres termes, c'est ce qui se passe entre l'instant où la perturbation du régime stationnaire a commencé, et le moment où le régulateur automatique, après avoir opéré, a retrouvé son immobilité.

On conçoit aisément que les régulateurs automatiques se différencient les uns des autres, précisément par leur façon d'opérer la correction, comme aussi il est évident qu'un même régulateur se comportera tout différemment suivant la nature et les caractéristiques spéciales des machines qu'il est appelé à contrôler. C'est précisément ce côté de la question, primordial à notre avis, lorsqu'il s'agit d'apprécier ou de choisir un système de régulateur automatique, que nous essayerons de mettre en lumière au cours de notre étude. Nous limiterons notre cadre au réglage des machines utilisées en électrotechnique, quoique les principes auxquels nous ferons allusion, aient un champ d'applications beaucoup plus étendu.

Il ne sera pas inutile de rappeler quelques notions générales qui nous serviront de jalons.

Et tout d'abord :

QU'EST-CE QUE RÉGLER ?

Lorsqu'une machine est en régime stationnaire, toutes les grandeurs qui en caractérisent le régime (tension aux bornes, intensité, vitesse, etc.) sont invariables dans le temps, mais dépendent toutes les unes des autres. Ainsi la tension aux bornes d'un groupe électrogène en régime stationnaire dépend du courant débité ; sa vitesse également. Une modification du courant débité entraîne un changement de vitesse et un changement de tension aux bornes. Bref, toutes ces grandeurs sont liées les unes aux autres et peuvent être considérées comme dépendant toutes d'une seule et même grandeur, appelée généralement la *charge de la machine*.

Régler, c'est modifier la relation qui existe entre ces différentes grandeurs, et plus spécialement, c'est modifier la relation entre la charge et une autre de ces grandeurs, considérée plus spécialement comme caractérisant le régime, grandeur que nous appellerons *fonction de régime*.

Considérons par exemple, pour fixer les idées, une génératrice à courant continu. La charge sera donc l'intensité débitée au réseau ; la *fonction de régime*, la tension aux bornes. Régler cette génératrice, ce sera donc modifier la relation qui existait entre la charge et la tension aux bornes. Et pour opérer ce réglage,

il faut intervenir par un moyen étranger au fonctionnement de la machine, et agir sur une nouvelle grandeur que nous pouvons appeler le *paramètre de réglage*.

Le but de ce réglage est de donner à la fonction de régime des valeurs prescrites d'avance, néanmoins compatibles avec le fonctionnement du système. Dans notre exemple ci-dessus, on se pose généralement comme condition de maintenir la tension aux bornes à une valeur fixe, quelle que soit la charge, c'est-à-dire le courant débité.

Si nous étendons nos considérations à l'ensemble d'un groupe électrogène, par exemple, nous pourrions évidemment considérer plusieurs fonctions de régime. La tension aux bornes en est une, la vitesse en est une autre et nous pouvons, par un autre réglage, différent du premier, donner à la vitesse des valeurs prescrites d'avance, quelle que soit la charge. Ainsi, lorsqu'il s'agit d'un groupe hydroélectrique à courant alternatif, on maintiendra constante aussi bien la tension aux bornes, que la vitesse, en opérant sur deux paramètres différents, l'excitation d'une part, l'admission d'eau d'autre part.

RÉGLER, c'est donc modifier la relation entre la charge et la fonction de régime, suivant une loi choisie d'avance, en agissant pour cela sur le paramètre de réglage.

Le choix d'une grandeur comme variable indépendante, comme charge et d'une autre grandeur comme fonction de régime, est généralement dicté par les circonstances particulières de chaque système. Le plus souvent, cette distinction se présente d'elle-même à l'esprit.

Ce qui importe en effet dans une distribution électrique ordinaire, c'est la tension, qu'on cherche à conserver invariable, quel que soit le débit.

S'agit-il d'une machine à vapeur travaillant sur une transmission, on s'occupera de maintenir la vitesse constante quel que soit le couple résistant.

Dans le système de transport de force à courant continu constant, dit système « série », c'est l'intensité, considérée comme fonction de régime, qu'il s'agit de maintenir constante, et c'est la tension aux balais qui constitue la variable indépendante, la charge. La charge est en général la grandeur qui varie dans les limites les plus étendues, suivant les besoins du réseau desservi ; sa définition s'inspire un peu de l'idée de quantité de fluide distribué, variable de zéro à un maximum.

La fonction de régime, au contraire, ne varie que dans d'étroites limites, ou pas du tout. Elle rappelle un peu la notion de « présence disponible » de l'énergie ; au reste, la plupart du temps, elle est définie précisément par l'obligation de lui donner certaines valeurs d'élection.

Quant au paramètre de réglage, s'il se présente le plus souvent sans ambiguïté à l'esprit, son choix peut cependant aussi nécessiter un examen plus approfondi.

Prenons en effet le cas d'une roue à eau ou à vent, actionnant une petite dynamo pour l'éclairage.

Variable indépendante ou charge : le courant débité.

Fonction de régime : la tension aux bornes.

Paramètre de réglage : 1° *L'excitation*. — Solution possible, mais présentant l'inconvénient de laisser le groupe emballer, en cas de faible charge, d'où réduction considérable de l'excitation et mauvaise commutation.

2° *L'admission de fluide moteur, eau ou vent*. — Solution présentant l'inconvénient d'un réglage lent, car les corrections s'obtiendront par modification de la vitesse du groupe, d'où effets d'inertie à vaincre.

3° *L'absorption de l'énergie inutilisée*. — Solution la plus rapide comme effet, et souvent la plus simple, le fluide inutilisé étant perdu de toute façon.

Trois solutions possibles en tous cas et entre lesquelles l'étude plus approfondie de l'installation permettra de choisir.

La charge, considérée comme variable indépendante, varie évidemment le plus souvent d'une façon capricieuse et continue avec le temps. Il en résulte que le réglage doit s'opérer aussi de façon continue, pour donner à chaque instant à la fonction, la valeur nécessaire. Le réglage constitue donc une obligation de tous les instants, l'opération elle-même pouvant être faite à intervalles plus ou moins rapprochés. De là est née l'idée de faire faire par une machine ce travail fastidieux au premier chef.

On nous pardonnera de nous être étendus sur cette définition du réglage. Il importait de la bien poser parce qu'elle contient tout le problème de réglage, en général, et spécialement du réglage automatique.

LE RÉGLAGE A MAIN. — LA CONSIGNE

Régler, c'est donc modifier, suivant une loi choisie d'avance, la relation naturelle existant dans la machine entre la charge et la fonction de régime, et en agissant pour cela sur le paramètre de réglage.

Pour régler il faut donc évidemment connaître à chaque instant la valeur de cette fonction et celle de la charge, ce qu'on obtient par les indications d'instruments de mesure convenablement disposés. Dans un cas pratiquement très fréquent, la connaissance de la seule fonction de régime est suffisante : c'est le cas du réglage à fonction constante, c'est-à-dire ramené à une même valeur invariable quelle que soit la charge (Exemple : tension = constante, vitesse = constante, etc.).

D'autre part, pour régler, il faut avoir à disposition le paramètre de réglage, c'est-à-dire l'organe à manœuvrer par la position ou la valeur duquel la relation entre la fonction et la charge est modifiée.

Reste enfin la liaison entre l'indication de l'instrument et le paramètre de réglage, liaison que nous réalisons par un homme dans le réglage à main, et par un servo-moteur dans le cas du réglage automatique.

Pour opérer ce réglage, nous consulterons donc nos instruments de mesure et nous déplacerons l'organe de réglage jusqu'à ce que la fonction réglée ait la valeur qu'il faut. Nous donnerons donc à l'homme chargé de ce travail une véritable consigne, au sens militaire du mot, en lui intimant l'ordre de manœuvrer

l'organe de réglage de façon à ramener dans le plus court délai possible la fonction de régime à la valeur que nous lui prescrivons.

La consigne du réglage peut donc être définie par le ou les valeurs de la fonction de régime, que notre homme doit s'efforcer de réaliser, ou vers lesquelles il doit constamment tendre. Cette définition s'applique aussi bien à l'appareil automatique ; la consigne du régulateur automatique sera la valeur à laquelle l'appareil s'efforcera en quelque sorte de ramener la fonction de régime, ou si l'on veut, c'est la valeur asymptotique à laquelle le régulateur retrouvera son immobilité.

Et pour qu'un ordre soit exécutable, il faut que les moyens de l'exécuter existent. Il faut donc, dans le cas particulier, que le champ d'action du paramètre de réglage soit suffisamment étendu pour qu'il soit possible de réaliser la consigne, quelle que soit la valeur de la charge et l'étendue de ses variations.

Cette obligation relative au paramètre de réglage peut se traduire par la formule suivante :

Le paramètre de réglage doit présenter des limites de variations au moins assez étendues pour qu'il soit possible de réaliser la consigne pour la plus petite et la plus grande valeur de la charge, en tenant compte de toutes les circonstances qui accompagnent le fonctionnement du système réglé.

Qu'il nous soit permis de nous arrêter un peu sur quelques exemples pratiques.

1° Supposons qu'il s'agisse d'un alternateur entraîné à vitesse constante et dont il faille régler la tension à une valeur constante. La consigne sera donc : tension = constante, quelle que soit la charge. Le paramètre de réglage sera la résistance d'excitation, qui doit être assez étendue pour réaliser, d'une part, la tension à vide avec les inducteurs froids, d'autre part la tension en pleine charge, au plus petit facteur de puissance qui puisse se produire dans l'installation et avec les inducteurs chauds. S'il y a lieu on tiendra compte encore d'une variation dans la tension d'excitation.

2° Supposons qu'il s'agisse d'un groupe convertisseur moteur asynchrone-génératrice courant continu, dont il s'agisse de maintenir la tension constante au centre de distribution. La consigne sera : tension = tension à vide + élévation proportionnelle à la charge (compoundage). Le paramètre de réglage sera de nouveau la résistance d'excitation assez étendue cette fois-ci pour assurer la tension à vide avec les inducteurs froids et le moteur au synchronisme et, d'autre part, la tension plus élevée, de pleine charge, avec les inducteurs chauds et la perte de vitesse due au glissement du moteur chaud.

3° Enfin, supposons un réglage de feeder pour transformateur sectionné ou régulateur d'induction.

Fig. 1.

Consigne : tension constante côté réglé, quelle que soit la tension du côté arrivée. Paramètre de réglage : le nombre de spires ou de sections du transformateur sectionné ; étendue de réglage : assez grande pour réaliser d'une part la tension réglée avec la tension brute la plus élevée et un courant nul, d'autre part avec la tension brute la plus basse et le courant maximum.

Ces conditions ne sont pas toujours réalisées sans autre et il importe, avant de songer à un réglage automatique quelconque,

de s'assurer qu'elles sont remplies. En d'autres termes, il faut s'assurer que le réglage est possible à la main. *Si cela est le cas, le même réglage sera toujours réalisable automatiquement.* Si le réglage à main n'est pas possible, aucun régulateur automatique ne résoudra la difficulté.

L'examen du réglage tel qu'il se fait, ou pourrait se faire à la main, est la meilleure source de renseignements pour le constructeurs de régulateurs automatiques. Cette règle si simple est excessivement précieuse lorsqu'il s'agit de mettre en service par exemple, un régulateur automatique. Il suffit d'éliminer l'automatisme et de s'assurer si la consigne est réalisable en agissant soi-même à la main sur l'organe de réglage. Si le résultat est obtenu, une bonne partie de la difficulté peut être considérée comme résolue.

LE RÉGULATEUR AUTOMATIQUE

Le régulateur automatique est donc l'appareil qui, remplaçant l'homme précédent, réalise les variations de paramètre de réglage, pour obéir à la consigne. En d'autres termes, c'est un appareil qui est influencé par les écarts de la fonction réglée d'avec la consigne, et qui provoque le déplacement du paramètre de réglage dans le sens voulu. Par définition, le régulateur automatique devient donc immobile, dès que la fonction réglée a pris la valeur imposée par la consigne. Et nous pouvons, en renversant en quelque sorte la définition, dire : La consigne réalisée par un régulateur automatique est la valeur que doit prendre la fonction de régime, pour assurer l'immobilité de l'appareil, à toute valeur de la charge.

Fig. 2. — Réglage de la tension d'une génératrice à courant continu.

Fig. 3. — Schéma de principe d'un réglage de tension par survolteur dévolteur d'un feeder triphasé.

Tous les régulateurs automatiques comportent donc un organe d'information, c'est-à-dire un appareil de mesure soumis à la fonction et en principe à la charge. Cet appareil de mesure provoque, par mécanisme particulier à chaque système, le mouvement des organes de réglage. L'immobilité de ces organes de réglage (ou leur situation stationnaire plus généralement) est assurée par une valeur spéciale de la fonction de régime, la valeur de la consigne.

L'information du régulateur automatique par la fonction à régler n'est autre chose qu'un problème de mesure d'une grandeur électrique ou mécanique. Sa solution se trouve donc dans la technique des mesures et des appareils nécessaires. Les schémas de branchement des régulateurs automatiques ne sont autre chose que les schémas suivant lesquels on mesure la quantité à régler ; ils n'ont rien de particulier à tel ou tel système de régulateur, mais sont parfaitement valables, d'une façon tout à fait générale, pour tous les systèmes d'appareils.

Fig. 4. — Réglage de l'intensité absorbée par un moteur de défibreur.

Il en est exactement de même pour le paramètre de réglage. Les dispositions à prendre en ce qui concerne les organes sur lesquels il faut agir et leurs connexions avec les machines à régler, font partie de l'art de la construction des machines et ne dépendent en rien des régulateurs automatiques. Il appartient au constructeur, qui connaît mieux que personne les caractéristiques des machines qu'il établit, de préciser sur quels organes et de quelle façon le régulateur automatique aura à agir.

Voici, à titre d'exemple, quelques schémas de réglage, indépendants de tous systèmes de régulateur :

Réglage de tension d'une génératrice (Fig. 2).

Réglage de tension d'un feeder (Fig. 3).

Réglage de défibreur (Fig. 4).

Et nous en arrivons enfin au mécanisme même du régulateur automatique, le servo-moteur.

LE MÉCANISME DU RÉGULATEUR AUTOMATIQUE

Le régulateur automatique peut donc être considéré comme un ensemble de 3 organes :

1° Un organe de mesure, influencé par la fonction à régler ou fonction de régime ;

2° Un organe, faisant office de paramètre de réglage : résistance, réducteur, contacteur, vibreur, etc.

3° Entre-deux, un mécanisme spécial à chaque construction dont les mouvements sont commandés par le premier organe et sont communiqués au deuxième.

On fait souvent une distinction entre les mécanismes à action dite « directe » et les mécanismes à action indirecte. Dans les premiers l'énergie nécessaire au déplacement des organes de réglage est fournie par l'appareil de mesure lui-même. Schématiquement, le régulateur à action directe est représenté par une bobine B attirant par exemple un noyau de fer F. Sous l'influence

Fig. 5.

d'un courant trop élevé dans la bobine, dû à un excès de tension par exemple, le noyau est attiré et le curseur du rhéostat déplacé. La bobine B et le ressort R font donc office d'appareil de mesure et, en même temps, fournissent l'énergie nécessaire au déplacement de l'organe de réglage C.

Fig. 6. — Mécanisme du régulateur Thury.

Le régulateur B. B. C. de Baden rentre dans cette catégorie d'appareils.

Les mécanismes à action indirecte empruntent l'énergie nécessaire au déplacement des organes de réglage à une source extérieure. L'appareil de mesure ne fait que libérer ou déclencher l'apport de cette énergie. C'est le cas par exemple du régulateur Thury à dé clic, dans lequel l'appareil de mesure, fixé à un fléau de balance, libère un cliquet qui fait avancer une roue à crans dans un sens ou dans l'autre. La bascule « D », étant animée d'un mouvement continu de va et vient, entraîne donc la roue « H » dans le sens correspondant au cliquet libéré par l'instrument de mesure (Fig 6).

Fig. 7.

Dans un autre modèle de régulateur construit par les Ateliers Cuénod, à Genève, l'énergie est empruntée à de l'huile sous pression et l'instrument de mesure déplaçant un petit tiroir, fait agir le fluide moteur sur un côté ou sur l'autre d'un piston rotatif.

Quoi qu'il en soit, le principe d'un mécanisme de liaison entre l'instrument de mesure et l'organe de réglage subsiste toujours.

L'EQUATION DE LA CORRECTION

L'existence d'un régulateur automatique (ou à main) sur un groupe en fonction, revient donc à la création d'une nouvelle relation entre la fonction du régime et le paramètre de réglage. Nous pouvons en effet représenter par p la fonction de régime, qui est liée à la charge et au paramètre de réglage par une équation caractéristique de la machine.

$$(1) \quad p = M(i, z, t) \quad \begin{array}{l} i = \text{charge} \\ z = \text{paramètre de réglage} \\ t = \text{temps} \end{array}$$

Le temps t intervient aussi comme variable, car on sait que les changements de régime n'obéissent en général pas instantanément aux variations de charge ou de paramètre de réglage, mais d'une manière en quelque sorte différée.

Le régulateur introduisant une nouvelle équation se traduira par la relation :

$$(2) \quad p = R(i, z, t)$$

et le fonctionnement du système réglé est donc représenté par ces deux équations existant simultanément.

L'élimination du paramètre z entre ces 2 équations nous amène à une équation résultante :

$$(3) \quad p = F(i, t)$$

qui indique comment la fonction réglée (tension aux bornes par exemple) dépend de la charge et du temps. On voit en particulier qu'à partir du moment où la charge demeure invariable, ($i = \text{constante}$) ce qui pratiquement se produit fréquemment pendant des intervalles plus ou moins longs, la fonction réglée ne varie plus qu'avec le temps.

$$p = F_i(t)$$

Et ce que l'exploitant demande au régulateur, c'est que cette fonction du temps tende le plus rapidement possible vers la valeur limite que nous avons appelée la consigne.

$$p = F_i(t) \rightarrow p_c$$

Ces équations nous amènent à quelques considérations intéressantes :

Remarquons tout d'abord, qu'aussi bien à la main qu'automatiquement, nous n'opérons le déplacement du paramètre de réglage, que sur le vu de l'indication de l'appareil de mesure. L'homme chargé du réglage ne réagira qu'après avoir constaté à l'appareil de mesure une différence d'avec sa consigne. Le régulateur automatique n'entre en action qu'après que l'appareil de mesure a enregistré une différence. De toute façon la correction ne se fait qu'après l'apparition de la perturbation. Il n'existe aucun régulateur automatique ou humain, qui corrige avant l'apparition de la perturbation, ce qui reviendrait à supposer qu'il devine d'avance ce qui va se passer.

Tout ce qu'on peut demander à un régulateur automatique c'est donc qu'il opère la correction aussi rapidement que possible. La perturbation subsiste toujours et ne peut être que limitée dans sa durée.

Il y a là, par exemple, une différence essentielle entre une génératrice munie d'un réglage automatique et une machine dont la construction rend ce réglage inutile. Supposons d'une part un alternateur à forte chute de tension muni d'un régulateur auto-

matique d'action extrêmement rapide et, d'autre part, un alternateur construit plus largement et présentant une chute de tension négligeable ou nulle. Il est indiscutable que le régime à tension constante fourni par le premier alternateur sera de moindre qualité que le régime fourni par le second. Toutes les variations de charge, provoquées sur le premier, seront suivies d'une correction, immédiate sans doute, mais toujours perceptible ; tandis que la tension fournie par le second sera beaucoup plus tranquille.

Une deuxième observation qui résulte des équations précédentes est que le résultat obtenu par le réglage automatique (c'est-à-dire l'équation 3) dépend non seulement du régulateur proprement dit, mais aussi, pour une part au moins égale, des propriétés, on pourrait dire de l'équation personnelle de la machine réglée. En effet, mathématiquement, le résultat du réglage est obtenu par l'élimination du paramètre entre l'équation de la machine et l'équation du régulateur. L'équation résultante contient donc les coefficients de l'équation de la machine. Pratiquement, si nous nous limitons par exemple au réglage de la tension par l'excitation, personne n'ignore la lenteur avec laquelle la tension aux bornes obéit aux mouvements du volant d'excitation. Or un régulateur automatique qui actionnerait ce volant avec une rapidité infinie, ne réussirait pas, malgré cela, à supprimer la fluctuation due à une variation de charge, parce que le volant, arrivé à fin de course, devrait y stationner un temps plus ou moins long, jusqu'à ce que le courant d'excitation se soit suffisamment développé, quitte après à revenir en arrière sur le plot correspondant au nouveau régime.

FORME CONVENTIONNELLE DE L'EQUATION DE CORRECTION

La façon dont opère le régulateur automatique combiné avec la machine qu'il règle, c'est-à-dire l'opération de réglage elle-même est donc définie par l'équation de réglage.

$$p = F(i, t)$$

Cette équation contient donc la charge i , fonction elle-même du temps. Pour résoudre cette équation d'une façon générale, il nous faudrait savoir comment la charge varie avec le temps.

Fig. 8.

On se rend aisément compte, en égard aux propriétés générales des machines utilisées en électrotechnique, que la correction sera d'autant plus pénible, c'est-à-dire que l'écart de la fonction de régime entre la valeur momentanée et la valeur de régime stationnaire sera d'autant plus accentuée que la variation de charge s'étendra sur un temps plus court. Si nous supposons en effet

que la charge i partant de la valeur i_1 se modifie jusqu'à i_2 (fig. 8), cette modification s'étendant sur un temps Δt , il est certain que l'écart de la fonction de régime sera d'autant plus marqué que le temps Δt sera plus court. On en arrive donc à ne considérer que le cas spécial et exagéré d'une « concentration » de la variation sur un temps infiniment court et à ne parler que de variation subite ou instantanée. Ce cas n'en est pas moins fréquent en électrotechnique et se produit chaque fois qu'on clanche ou déclanche un interrupteur. On n'envisage donc *conventionnellement* que les cas de variation de charge brusque de 0 à 1/2, 1/2 à 1 charge, etc. L'équation de réglage est alors *résoluble* : elle ne contient plus que le temps, (i étant une constante) et donne l'allure de la fonction dans le temps qui suit immédiatement la perturbation et les valeurs de p par lesquelles passe la fonction avant d'avoir retrouvé sa valeur stationnaire.

Fig. 9.

Les considérations qui précèdent nous permettent donc d'établir l'équation de réglage et de répondre à la question : « Comment opère le régulateur sur la machine considérée, ou « Comment s'effectue la correction » ? La réponse est donnée évidemment différemment par chaque système de régulateur.

Fig. 10.

Nous pouvons cependant encore tirer quelques conclusions générales.

A l'instant qui suit immédiatement la variation de charge, la fonction de régime prend une valeur différente de sa valeur de consigne. Un certain temps plus tard, 1 — 5 — 20 secondes, selon les cas, elle doit avoir retrouvé sa valeur de consigne. Le passage de la valeur initiale à la valeur finale se fait suivant une loi généralement oscillatoire, en tout cas *amortie* (Fig 9). Tous les régulateurs doivent présenter ce caractère d'amortissement, qu'on désigne sous le nom de *stabilité du réglage*.

Le réglage peut évidemment s'effectuer par oscillations amorties

ou suivant une courbe variant toujours dans le même sens, tel que l'exponentielle par exemple (Fig. 10). Il est en général plus avantageux de rechercher une oscillation fortement amortie, plutôt qu'une courbe de l'allure de fig. 10, car, comme on le voit, en traçant deux parallèles à la fonction réglée à intervalle $\pm \varepsilon$, la fonction est plus rapidement limitée à cet intervalle dans le deuxième cas (Fig. 11).

Fig. 11.

INSENSIBILITÉ. — Tout régulateur doit donc ramener la fonction réglée à la valeur imposée par la consigne. L'observation de cette consigne se fait cependant en général avec plus ou moins de fidélité. Lorsque la fonction réglée en régime stationnaire a la valeur imposée par la consigne, le régulateur est immobile, par définition, mais il existe toujours un petit intervalle $\pm \varepsilon$ en plus et en moins de cette valeur de consigne, à l'intérieur duquel le régulateur ne réagit pas. Cet intervalle dû soit aux frottements, soit à une course « morte » de l'appareil de mesure, constitue la région d'*insensibilité* du régulateur et l'on peut dire que le régulateur tend à ramener la fonction réglée à sa consigne avec une approximation égale à l'*insensibilité*.

On exige en général au moins $\pm 1 \%$ pour les réglages de tension et de vitesse et $\pm 5 \%$ pour les réglages de puissance et d'intensité.

L'insensibilité n'est pas toujours un défaut. Elle est imposée, quelquefois par la nature de l'organe de réglage. Si le paramètre ne peut varier que d'une façon discontinue, par sauts brusques, comme c'est le cas de tous les appareils à plots, contacteurs, collecteurs, par exemple, il est indispensable que l'insensibilité de l'appareil soit supérieure à la variation produite par un déplacement élémentaire de l'organe de réglage. Sinon cet organe n'arriverait pas à se fixer sur une des deux positions en jeu et oscillerait continuellement. Cette question nécessite donc le sectionnement judicieux des rhéostats, eu égard aux particularités du régulateur.

LA VITESSE DE RÉGLAGE

Reste encore un point et non le moins important : la vitesse de réglage ou vitesse de manœuvre. L'homme chargé du réglage doit effectuer la correction dans le temps le plus court possible. Cette possibilité est limitée, d'une part, par l'effort demandé à l'homme, par la rapidité avec laquelle il perçoit la perturbation et commande à ses mains la manœuvre à faire et, d'autre part, par la rapidité avec laquelle la machine elle-même obéit aux mouvements du paramètre de réglage.

Lorsque la chose est possible, on surrégule, c'est-à-dire on dépasse la position qui correspond au nouveau régime station-

naire pour forcer en quelque sorte la fonction réglée à obéir plus rapidement, pour revenir en arrière ensuite. En réglage automatique ce procédé est couramment usité. Malheureusement bon nombre de machines ne permettent pas ce surrégule, n'étant pas établies en conséquence. Ce procédé est plus particulièrement utilisé dans le réglage de tension. La marge de surrégule dans les deux sens est souvent insuffisante.

Fig. 12.

Soit :

OAB une caractéristique à vide de la génératrice considérée ;

A le point de marche à vide ;

B le point de marche en pleine charge.

Il faudrait, en tout cas, que la marge de résistance d'excitation permît de faire varier le courant d'excitation d'une quantité égale à $(i_2 - i_1)$ en dessous de la marche à vide et au-dessus de la pleine charge. Donc

$$(i_1 - i_0) = (i_2 - i_1) = (i_3 - i_2)$$

Lorsque la marge de surrégule est insuffisante, le régulateur automatique, lorsqu'il est d'action rapide, stationne aux extrémités de sa course et le temps nécessaire à la correction en est augmenté,

Cette condition de surrégule est souvent négligée et les installations de réglage sont loin de donner les résultats qu'on serait en droit d'en attendre.

On objectera peut-être que cette disposition entraîne une dépense plus grande de matériaux dans l'établissement de la machine. Il n'en est rien, car les valeurs du courant d'excitation qui correspondent au surrégule sont momentanées et n'entraînent nullement un échauffement supplémentaire.

Une grande vitesse de réglage n'est cependant pas toujours compatible avec le fonctionnement général de l'installation. Si elle peut, sans inconvénient, être aussi grande que possible, lorsqu'il s'agit d'un réglage de tension par l'excitation, elle peut présenter de sérieux inconvénients dans d'autres cas. Soit, par exemple, le cas du réglage de vitesse d'un moteur continu par le champ inducteur. La manœuvre trop rapide du rhéostat d'excitation peut provoquer des appels de courant très élevés dans l'induit d'où coups de feu au collecteur ou fonctionnement intempestif des disjoncteurs. Il en est de même dans le cas du réglage de la vitesse d'un moteur asynchrone par rhéostat de glissement, où la manœuvre trop rapide des contacteurs, par exemple, peut amener des accidents.

Il importe donc de choisir la vitesse de réglage selon le but poursuivi et, ici également, l'essai de réglage à la main fournit les

renseignements les plus utiles. Il suffira d'opérer le réglage à la main, on d'étudier ce qu'il serait à la main, pour établir la vitesse de manœuvre maximale qu'on puisse tolérer.

DURÉE SPÉCIFIQUE DE PARCOURS

Au point de vue du régulateur automatique, cette vitesse de réglage peut s'exprimer de la façon suivante :

La vitesse de manœuvre du régulateur est évidemment nulle lorsque la fonction réglée a la valeur de consigne. Elle change de sens avec l'écart entre la valeur momentanée de la fonction réglée et la valeur de consigne.

D'autre part, généralement, cette vitesse de manœuvre croît avec l'écart : Plus l'écart à corriger est grand, plus grande est la vitesse de manœuvre (jusqu'à certaines limites). On peut donc poser :

$$v = C \frac{\Delta p}{p_0} \quad \text{ou} \quad \Delta p = \text{écart de la fonction}$$
$$p_0 = \text{valeur de consigne}$$

$$C \text{ un facteur, fonction ou pas, de } \frac{\Delta p}{p_0}$$

En supposant le régulateur placé dans des conditions telles que cette vitesse reste constante pendant tout le parcours du régulateur d'une extrémité de sa course à l'autre, le temps nécessaire pour effectuer le parcours complet S sera :

$$t = \frac{S}{v}$$

d'où résulte :

$$t \frac{\Delta p}{p_0} = T_s = \left(\frac{S}{C} \right)$$

Le parcours S est évidemment une valeur indépendante de la valeur $\frac{\Delta p}{p_0}$; C en général également, du moins dans les appareils à action rapide et jusqu'à des écarts assez grands. De sorte que T_s , que nous pouvons appeler « la durée spécifique de parcours » est une grandeur caractéristique du régulateur.

La durée spécifique de parcours est de 2 à 5 secondes dans les appareils lents et peut descendre à 1/50^e de seconde dans les appareils rapides. Des appareils du premier type sont les régulateurs Thury, bien connus, construits par les Ateliers Cuénod ;

les appareils du deuxième type sont les appareils à pression d'huile, construits par les mêmes Ateliers.

Pour avoir une idée de la vitesse de réglage d'un régulateur, connaissant T_s , il suffit donc de diviser T_s par l'écart relatif de la fonction réglée. Ainsi avec $T_s = 1/50''$, on aurait :

Pour un écart de :

1 %	un temps pour le parcours total de	$\frac{0,02''}{0,01} = 2''$
5 %	— — —	$\frac{0,02''}{0,05} = 0,4''$
10 %	— — —	$\frac{0,02''}{0,1} = 0,1''$
etc...

CONCLUSIONS

Le choix d'un régulateur automatique doit donc s'inspirer du réglage à main, qui fournit tous les éléments du problème. Le régulateur automatique remplira les conditions suivantes :

- 1° Au point de vue de la consigne, une approximation suffisante, c'est-à-dire un degré d'insensibilité assez petit.
- 2° Au point de vue de la rapidité de la correction, une durée spécifique de parcours suffisamment courte, compatible avec les machines à régler.
- 3° Au point de vue de la stabilité du réglage, un amortissement suffisant, c'est-à-dire un nombre maximum de périodes jusqu'au moment où la fonction réglée ne diffère plus que de x % de la valeur de la consigne.
- 4° Au point de vue de la sécurité de l'exploitation, les conditions usuelles de robustesse et de protection contre les avaries.

D'autre part, le constructeur de machines réglées tiendra compte des exigences du réglage automatique en dimensionnant d'une façon suffisamment étendue la marge de variation de l'organe de réglage.

(A suivre).