Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 55 (1929)

Heft: 6

Artikel: Le régulateur automatique pour machines électriques pendant l'opération de réglage

Autor: Juillard, Ernest

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-42640

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 14.07.2025

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

ainsi qu'il ressort de la fig. 1. Le rattachement au cas normal nécessite le calcul du triangle MA_1B_1 ou de son symétrique (par voie nomographique).

La nouvelle base b' se mesure au coulisseau b_x et l'obliquité « auxiliaire » β s'obtient par une vis tangente (non indiquée au schéma). Dans l'espace, ces éléments ne sont connus que très approximativement et on les restitue à l'aide des points de contrôle et par l'observation binoculaire des clichés. Il en est de même des autres éléments d'orientation. La correction β ou plutôt $T = K \,.\, \mathrm{tg}\,\beta$ ($K = 200$ mm à l'autographe) comporte du reste deux étapes : celle se rapportant à l'orientation du stéréogramme et la rotation nécessitée par le rattachement aux points de contrôle (pour les levers aériens verticaux).

Les organes réglant la convergence, le déversement et l'inclinaison des chambres n'appellent pas des observations spéciales. Il convient par contre de souligner encore l'importance des dispositifs KO_1 et KO_2 ; ils comportent un levier coudé qui imprime à la chambre un mouvement destiné à éliminer les déformations. Les angles engendrés par le pivotement et le basculement des chambres seraient α', β' (au lieu de α, β, fig. 2). Les déformations dans le plan du cliché sont mesurées par l'angle ρ :

$$\mathrm{tg}\,\rho = \frac{\sin\alpha \,\sin\beta}{\cos\alpha + \cos\beta} \quad \text{(formule de M. le prof. Bæschlin).}$$

Les chambres étant mobiles et les périscopes fixes pendant la restitution, il en résulte un grand avantage au point de vue mécanique. C'est là une des caractéristiques de l'autographe. Le mouvement du levier coudé est commandé par une surface de contact et une rainure calculées empiriquement pour éliminer ρ. Les autres organes de mesure et de couplage à la table à dessin sont également très bien compris. La légende qui accompagne le schéma mentionne les principaux organes de l'autographe, une étude détaillée dépassant de beaucoup le cadre d'un tel article.

Equation de condition de l'orientation réciproque.

Soient b_z la composante verticale de la base, O_1, O_2 les points de vue, A un point quelconque des clichés supposé restitué dans l'espace. Pour l'orientation réciproque on ne s'occupe en général pas des points de contrôle. Il suffit de projeter le contour O_1AO_2 sur l'axe des z par exemple :

$$\text{proj. } O_1O_2 + \text{proj. } O_2A + \text{proj. } AO_1 = O$$

équation qui peut être rendue homogène par rapport à b ; en cas d'orientation imparfaite il apparaîtra une « parallaxe de hauteur » qu'il faut éliminer. Chaque point A fournira une équation de condition ; en introduisant dans celle-ci les variables mesurées à l'autographe et en différentiant on obtient les équations aux erreurs de la forme :

$$\rho = l + \underbrace{c_1 d\varphi + c_2 dK + c_3 d\gamma + \ldots}_{\text{5 variables au minimum}}$$

le terme absolu l est précisement la parallaxe.

Le restituteur disposera de 3 méthodes :

1° compensation rationnelle (résolution de 5 équations normales)

2° procédé empirique par tâtonnements (usuel)

3° procédé mixte (Prof. v. Gruber) soit l'élimination successive des variables par un choix approprié des points du stéréogramme et de l'ordre d'élimination.

A l'autographe les restituteurs préconisent l'ordre suivant : 1° déversement réciproque ; 2° convergence ; 3° obliquité; 4° et 5° composante verticale b_z et différence d'inclinaison.

Les éléments auxiliaires b', β, b_x, b_y se lisent très rapidement à un nonogramme.

Les résultats obtenus jusqu'ici sont :

altitudes : $M_h = \pm\,(0{,}4 - 0{,}5)$ mètre
situation : $M_z = \pm\,(0{,}2 - 0{,}3)$ mm (restitution 1 : 10000).

Cette précision correspond à peu près à celle obtenue à l'étranger avec cette réserve, en faveur du matériel *Wild*, que la base aérienne utilisée est en général plus courte (1 : 5 au lieu de 1 : 3).

Nous nous réservons de revenir ultérieurement sur ce problème de l'orientation du stéréogramme et sur certaines particularités de l'autographe et de la chambre aérienne *Wild*.

Le régulateur automatique pour machines électriques pendant l'opération de réglage,[1]

par M. ERNEST JUILLARD, ingénieur, professeur à l'Université de Lausanne.

Exposé et délimitation du sujet.

Charge, fonction de régime et paramètre de réglage. — Lorsqu'une machine électrique fonctionne en régime stationnaire, toutes les grandeurs caractéristiques de ce régime (tension aux bornes, intensité, facteur de puissance, vitesse, etc.) sont fonctions les unes des autres, tout en étant invariables ou régulièrement périodiques dans le temps. Une modification de l'une d'elles entraîne un changement correspondant de toutes les autres. On peut donc considérer toutes ces variables comme fonctions de l'une d'entre elles, qu'on désignera plus spécialement par la *charge de la machine*.

Les relations qui lient les variables caractéristiques du régime entre elles contiennent en outre un certain nombre de paramètres qui dépendent soit de certains éléments constructifs de la machine, soit de propriétés physiques des sources d'énergie ou des utilisateurs auxquels elle est reliée. Une variation quelconque d'un ou de

[1] Extrait d'un ouvrage qui vient de paraître, sous le titre « Le régulateur automatique pour machines électriques » (Librairie *Payot & Cie*, à Lausanne), et dont on trouvera un compte rendu dans le présent numéro, sous la rubrique « Bibliographie ».

quelques-uns de ces paramètres entraîne donc une modification des rapports entre les différentes fonctions.

Supposons, pour fixer les idées, une génératrice à courant continu, entraînée par un moteur quelconque, et fournissant l'énergie électrique à un réseau d'éclairage. En régime stationnaire, la tension aux bornes, la vitesse de rotation, la puissance utile, par exemple sont fonctions de l'intensité du courant absorbé par le réseau. Ces variables dépendent cependant aussi de paramètres, soit de la résistance du circuit d'excitation, du degré d'admission de l'énergie motrice, de la résistance de l'ensemble du réseau.

Lorsque la charge se modifie, d'autres grandeurs changent également de valeur, et un nouveau régime stationnaire s'instaure. Or, il peut arriver que la répercussion qu'entraîne une variation de la charge sur telle ou telle autre grandeur caractéristique du régime soit incompatible avec l'exploitation qu'on désire réaliser. Il devient alors nécessaire de corriger cette altération en quelque sorte « naturelle », en agissant dans ce but sur un des paramètres. Cette opération de correction constitue le *réglage*.

Ainsi, dans l'exemple précédent, si l'intensité du courant diminue, la tension aux bornes et la vitesse de rotation augmenteront. L'élévation de tension aux bornes étant incompatible avec l'obligation de fournir l'énergie à tension constante, il devient nécessaire de corriger cette élévation en agissant par exemple sur la résistance du circuit d'excitation.

Dans une machine réglée, certaines grandeurs caractéristiques du régime peuvent donc varier d'une manière quelconque, « librement » ; d'autres sont astreintes à ne prendre que certaines valeurs déterminées. Nous appellerons « *charge* » l'une des variables de la 1re catégorie, et nous désignerons par *fonctions de régime* celles des grandeurs auxquelles nous imposerons des conditions de variation particulières.

Parmi les variables que nous pouvons considérer comme « *charge* » le choix plus particulier de l'une d'entre elles est en principe arbitraire ; dans la pratique courante, il se présente souvent de lui-même à l'esprit. La *charge* est en général la grandeur qui varie dans les limites les plus étendues, rappelant un peu la notion de fluide distribué selon les besoins.

La *fonction de régime* par contre ne varie en général que dans des limites assez étroites, ou même pas du tout. Elle rappelle plus ou moins la notion de « présence disponible d'énergie » ou de « relation de cause à effet ». Au reste, elle est souvent précisée par l'obligation qu'il y a de lui donner certaines valeurs d'élection.

Ainsi, dans l'exemple très simple d'une génératrice d'éclairage, cité plus haut, la *charge* en langage courant, désigne l'intensité du courant fourni au réseau. Mais on pourrait tout aussi bien désigner par charge la puissance, ou même la résistance de l'ensemble du réseau d'utilisation.

Si la distribution doit être réalisée à différence de potentiel constante, nous désignerons cette dernière grandeur par « fonction de régime. »

S'il s'agit d'un alternateur, auquel nous imposons l'obligation non seulement de fonctionner à tension aux bornes constante (en valeur efficace) mais aussi à fréquence constante, nous aurons affaire à deux fonctions de régime : la tension et la vitesse de rotation.

Dans le cas d'un transport de force à intensité constante (système série) c'est l'intensité, considérée comme fonction de régime, qu'il s'agit de maintenir constante, et c'est la tension aux bornes, variable avec les besoins du réseau d'utilisation, qui constitue la charge.

Enfin, dans le cas d'un moteur alimenté à tension constante, on considère en général comme charge le couple résistant, souvent aussi la puissance motrice développée, ou même l'intensité du courant absorbé. Si d'autre part on astreint la vitesse de rotation à conserver la même valeur, quelle que soit la charge, la fonction de régime sera la vitesse angulaire exprimée par exemple par le nombre de tours par minute.

Le paramètre sur lequel on agit pour régler, paramètre que nous appellerons plus spécialement le *paramètre de réglage*, s'impose souvent sans ambiguïté. Il arrive cependant que plusieurs facteurs peuvent indifféremment être choisis comme paramètres de réglage. L'étude approfondie du cas particulier déterminera le paramètre le plus indiqué.

Ainsi, dans le cas d'une génératrice à courant continu, on peut agir, pour le maintien de la tension aux bornes à une valeur constante, soit sur la résistance du circuit d'excitation, soit sur la vitesse de rotation, soit sur l'intensité du courant produit, en absorbant par ailleurs l'énergie non utilisée par le réseau.

Régler, c'est donc faire prendre à la fonction de régime quelle que soit la valeur de la charge, des valeurs prescrites d'avance, en agissant pour cela sur un paramètre de réglage.

Stabilité. — Un régime stationnaire est *stable*, lorsqu'une variation infiniment petite d'une des variables entraîne une variation également infiniment petite des autres variables. Les machines électriques étant pratiquement toujours établies de façon à fonctionner en régimes stables, on voit que toutes les variables jouissent de la propriété de continuité.

Une seule des variables est indépendante : c'est celle que nous avons désignée par l'expression de *charge*. Lorsque cette variable possède une valeur déterminée, toutes les autres ont une valeur unique, ceci en raison des propriétés de stabilité réalisées dans toutes les machines industrielles. Mathématiquement, cela revient à dire que les grandeurs caractéristiques d'un régime sont liées par autant d'équations qu'il y a de variables moins une.

Si maintenant nous imposons à l'une de ces grandeurs une nouvelle condition, nous ajoutons au système précédent une équation de plus. Et pour que ce nouveau système d'équations puisse être vérifié par un nombre

quelconque de systèmes de racines, chacun correspondant à une valeur différente de la charge, il est indispensable de faire varier un des paramètres : *le paramètre de réglage.*

Ces considérations montrent que le problème de réglage est toujours bien déterminé, et elles nous font entrevoir la marche à suivre pour le traiter analytiquement.

On peut concevoir un système ne possédant pas seulement *une* seule variable indépendante, mais *deux:* deux « charges ». Dans ce cas le nombre d'équations serait égal à celui des variables moins deux. Et pour pouvoir réaliser une condition supplémentaire, à laquelle nous astreindrions une des variables, quelles que soient les valeurs des charges, il nous faudrait de nouveau faire varier un paramètre convenablement choisi.

Enfin, il pourrait être nécessaire d'astreindre deux variables à de nouvelles conditions : de là apparition de deux nouvelles équations, et nécessité de faire varier deux paramètres : il s'agirait dans ce cas d'un double réglage.

De la consigne. — La nouvelle condition à laquelle nous astreignons une des grandeurs, celle que nous avons désignée plus spécialement sous le nom de *fonction de régime*, entraîne donc pour nous l'obligation de faire varier de façon correspondante le *paramètre de réglage.* Cette modification en quelque sorte « intelligente » du paramètre de réglage nécessite une intervention étrangère : dans le cas du réglage « à main », elle est confiée à un homme, et le rôle de ce dernier est de donner au paramètre, en agissant sur un organe ad hoc, « l'organe de réglage », une valeur telle que la condition imposée soit réalisée.

Il est assez naturel de rapprocher l'idée d'observance stricte d'une valeur prescrite d'avance de celle d'une *consigne* au sens « militaire » du mot. L'homme qui manœuvre l'organe de réglage dans le but de maintenir la fonction de régime à une valeur déterminée observe une *consigne.* L'appareil automatique qui ne tarda pas à être créé dans le but de remplacer l'intervention humaine, en un mot, le régulateur automatique, observe la même consigne. *Nous appellerons donc « consigne » la loi suivant laquelle nous voulons que la fonction de régime en l'état stationnaire varie, lorsque la charge change de valeur.*

Un régulateur automatique comporte ainsi nécessairement un organe informateur qui le renseigne sur la valeur de la fonction de régime, et qui commande les modifications appropriées du paramètre de réglage ; de plus, un mécanisme opérateur, qui exécute ces ordres, en manœuvrant l'organe de réglage. Lorsque l'appareil de contrôle exécute lui-même sans emprunt d'énergie étrangère, la modification du paramètre, c'est-à-dire le déplacement de l'organe de réglage, le régulateur est dit à « *action directe* ». Lorsqu'au contraire, il y a emprunt d'énergie étrangère, le régulateur est dit à action *indirecte*, et le mécanisme qui opère le lien entre l'appareil de contrôle et l'organe de réglage est appelé *servomoteur.*

Régime perturbé. — Nous n'avons envisagé jusqu'ici qu'une suite de régimes stationnaires, c'est-à-dire de régimes dans lesquels toutes les variables ont des valeurs fixes, ou simplement périodiques, les différents régimes étant déterminés par des valeurs différentes de la charge. On pourrait concevoir un régime dans lequel la charge varie continuellement avec le temps, et prenne des valeurs différentes suivant une loi quelconque, capricieuse ; on ne pourrait dans ce cas parler de *régime stationnaire.* Cet état ne se présente du reste pour ainsi dire jamais dans la pratique industrielle. Au contraire, un régime stationnaire subsiste toujours pendant un temps plus ou moins long ; puis la charge change brusquement ou lentement de valeur, pour rester ensuite de nouveau stationnaire pendant quelque temps, constituant ainsi un nouveau régime stationnaire.

Le régime général d'une machine électrique est en quelque sorte formé d'une suite de régimes stationnaires différents, se succédant les uns aux autres à intervalles de temps variables.

Il reste à examiner ce qui se passe pendant le passage d'un régime stationnaire au suivant, en d'autres termes à étudier le *régime perturbé.*

Le passage d'un régime stationnaire à l'autre n'est en général pas instantané. Ce changement nécessitant des modifications de vitesse ou d'états magnétiques, certaines « accélérations » doivent être mises en jeu. Et comme ces accélérations ne peuvent être infinies, parce qu'elles entraîneraient des efforts ou des puissances infinies, il en résulte nécessairement un ralentissement dans les changements d'états.

Pendant la durée de la perturbation, le temps apparaît comme nouvelle variable, et les variables de régime deviennent elles-mêmes fonctions du temps. Cette apparition du temps a cependant un caractère particulier, celui de disparaître après un délai plus ou moins long, pour ne laisser subsister que la dépendance plus simple des valeurs stationnaires.

D'autre part, en régime stationnaire, toutes les variables ont une valeur fixe : la fonction de régime possède *sa valeur de consigne*, et le paramètre de réglage n'a pas à être modifié : le régulateur automatique est donc *immobile.*

En régime perturbé, c'est-à-dire pendant tout le temps que dure le passage d'un régime stationnaire au suivant, les variables sont fonctions du temps : la fonction de régime ne possède en général pas sa valeur de consigne, et le régulateur automatique est en action. Il ne retrouve son immobilité qu'une fois le nouveau régime stationnaire établi.

L'étude du fonctionnement du régulateur automatique *pendant l'opération de réglage* revient donc à celle du régime perturbé. Cette étude renseignera sur les valeurs momentanées que prend la fonction de régime, sous l'influence combinée des phénomènes transitoires qui ont leur siège dans la machine, et le jeu du mécanisme du régulateur automatique. Elle renseignera aussi,

et c'est là son intérêt, sur la qualité du réglage automatique, sa rapidité d'action, l'amortissement plus ou moins efficace des oscillations, la stabilité du réglage. Enfin, elle pourra fournir des indications précieuses dans l'appréciation de dispositifs de protection destinés à assurer ou à augmenter la sécurité d'une exploitation.

Problème général du réglage automatique. — D'une façon générale, le réglage automatique pose les problèmes suivants :

1° L'établissement de la consigne, c'est-à-dire de la loi suivant laquelle la fonction de régime en l'état stationnaire doit varier avec la charge. Cette détermination exige la connaissance des particularités de l'exploitation et des caractères des machines à régler. C'est ainsi, à titre d'exemple que la consigne d'une distribution à tension aux bornes constante sera : *tension = constante indépendante de la charge.* Si la tension doit être constante en bout de ligne, la consigne sera : *tension croissant linéairement avec la charge.* Si enfin, il s'agit de plusieurs génératrices fonctionnant en parallèle, la consigne sera par exemple : *tension = constante, avec obligation de répartition convenable des charges sur les différentes unités.* L'étude des consignes rentre dans celle des moyens de réglage des machines électriques.

Au point de vue du régulateur automatique, la détermination de la consigne conduit à l'établissement d'un appareil de mesure, qui réalise l'immobilité de l'organe de réglage dès que la valeur mesurée, en l'espèce la fonction de régime, atteint sa valeur de consigne. Ce problème est connexe de ceux que pose la construction des appareils de mesure.

2° La recherche du paramètre de réglage approprié, soit en d'autres termes, l'établissement du mode de réglage.

La détermination du paramètre de réglage nécessite la connaissance des propriétés de la machine à régler, au point de vue des grandeurs sur lesquelles il est possible d'agir pour réaliser la consigne. Cette action se réduira, en dernier ressort, au déplacement d'un organe convenable. Quel que soit l'appareil régulateur utilisé, ce déplacement doit posséder l'ampleur nécessaire pour dominer toute l'étendue des variations possibles de régime, condition qu'on exprime en disant que le réglage doit être *réalisable « à la main »*. L'étude du fonctionnement du régulateur automatique pendant l'opération de la correction renseignera en outre sur la rapidité d'action du paramètre de réglage, c'est-à-dire sur son efficacité pendant la perturbation.

3° L'établissement ou le choix du mécanisme opérateur, du régulateur proprement dit, c'est-à-dire de l'appareil mécanique dont les mouvements, déclenchés ou provoqués par l'organe de mesure, assurent les déplacements nécessaires de l'organe de réglage, et son immobilité dès que la fonction de régime a retrouvé sa valeur de consigne.

4° L'examen de l'opération de la correction elle-même, c'est-à-dire, du régime perturbé qui relie un état stationnaire au suivant, examen portant sur la rapidité de la correction, la stabilité de l'opération de réglage, l'absence de phénomènes de caractère pendulaire incompatibles avec les exigences d'une exploitation rationnelle.

Mise en équations du phénomène. — Marche à suivre.

Equation de la machine. — Nous avons vu qu'en régime stationnaire, toutes les grandeurs caractérisant le régime sont liées par autant d'équations qu'il y a de variables, moins une. En régime perturbé, ces variables deviennent, tout ou partie, fonctions du temps, qui apparaît encore en général comme variable indépendante.

Si, comme nous l'admettrons dès maintenant implicitement, nous n'envisageons qu'une seule fonction de régime, à laquelle nous imposerons une consigne, il sera toujours possible d'éliminer entre ces équations toutes les grandeurs caractérisant le régime sauf deux, que nous choisirons, comme nous intéressant particulièrement : *la fonction de régime*, c'est-à-dire la grandeur à régler, et *la charge*. L'équation qui subsistera contiendra encore, en particulier, le temps et le paramètre de réglage. Nous désignerons cette relation fondamentale par

$$1) \quad M(v, i, \alpha, t) = 0$$

v étant la fonction de régime (la tension aux bornes par exemple) ;
i la charge (l'intensité du courant, par exemple) ;
α le paramètre de réglage (la résistance du circuit d'excitation par exemple) ;
t le temps.

Et nous appellerons cette relation *l'équation de la machine en régime perturbé.*

Le paramètre de réglage figure dans cette équation au même titre que les autres paramètres qui y sont contenus implicitement. Nous l'avons simplement mis en évidence.

Si la machine n'est pas réglée, ce paramètre de réglage conserve une valeur fixe. Mais du fait du réglage, ce paramètre devient fonction du temps : il varie par la volonté de l'homme préposé au réglage, ou par le fonctionnement de l'appareil automatique.

L'équation de la machine en régime perturbé exprime donc la dépendance de la fonction de régime d'avec le temps, la charge et le paramètre de réglage, lorsque ces deux dernières grandeurs varient elles aussi avec le temps, toutes les autres grandeurs contenues dans l'équation étant constantes ou pouvant être considérées comme telles pendant toute la durée de la perturbation.

L'établissement de cette équation nécessite évidemment la connaissance exacte de la machine, de ses propriétés physiques et du genre de service qu'on lui demande. Il ne présente pas de difficulté de principe ; la mise en équation est dans certains cas même assez simple. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce point dans les applications.

Equation du régulateur. — Nous disons donc que par le fait du réglage, le paramètre α devient fonction du temps. En effet l'homme préposé au réglage « manœuvre » selon les indications de l'instrument qui le renseigne sur la valeur actuelle de la fonction de régime. Cette manœuvre se fera plus ou moins rapidement, suivant l'intelligence de l'homme, qui perçoit plus ou moins vite ce qu'il doit faire, selon son tempérament, qui lui fera effectuer plus ou moins activement, c'est-à-dire vite, la manœuvre à faire. Le régulateur automatique agit de même : selon son degré de sensibilité, il réagira plus ou moins énergiquement aux variations de la fonction de régime et de la charge, son mécanisme plus ou moins perfectionné produira plus ou moins vite les déplacements nécessaires pour amener le paramètre α à la valeur qu'il faut. Il existe donc entre la fonction de régime, la charge, le paramètre de réglage et le temps une relation dépendant exclusivement du mécanisme du régulateur.

Nous désignerons cette relation par

$$2)\quad R(\varphi, i, \alpha, t) = 0$$

et l'appellerons *l'équation du régulateur.*

L'équation du régulateur traduit donc la relation existant entre le paramètre de réglage, le temps, la charge et la fonction de régime, due uniquement au mécanisme de l'appareil.

Chaque régulateur automatique possède donc son équation ; ces équations diffèrent par le genre de mécanisme. L'équation nécessite, pour être posée, la connaissance exacte du principe de construction de l'appareil.

Equations du régime perturbé. — Puisque la machine est « réglée », les deux équations, celle de la machine et celle du régulateur, existent simultanément :

$$M(\varphi, i, \alpha, t) = 0$$
$$R(\varphi, i, \alpha, t) = 0$$

En régime stationnaire, le régulateur automatique est immobile. α est invariable, ainsi que φ. Les équations se simplifient et traduisent alors l'indépendance de φ et de α d'avec le temps, ainsi que la dépendance des valeurs stationnaires.

En régime perturbé, ces grandeurs φ et α sont fonctions du temps, et varient suivant la loi découlant de l'existence simultanée des deux équations.

L'élimination de α entre ces deux équations conduit à une nouvelle relation :

$$3)\quad C(\varphi, i, t) = 0$$

qui est *l'équation de la correction.* Cette équation donne l'allure de la fonction de régime pendant la perturbation, c'est-à-dire précisément pendant l'opération de réglage. Elle renseigne donc sur les valeurs momentanées que prend la fonction réglée, entre deux régimes stationnaires consécutifs.

En éliminant φ entre les équations de la machine et du régulateur, nous obtenons une relation :

$$4)\quad P(\alpha, i, t) = 0$$

entre le paramètre de réglage, la charge et le temps. Cette équation dite *équation du paramètre* donne les valeurs momentanées du paramètre de réglage, et renseigne en particulier sur l'intervalle des variations extrêmes du paramètre de réglage, balayé par le réglage automatique. Les valeurs extrêmes de α ne sont en général pas celles qui découlent des régimes stationnaires extrêmes ; l'intervalle entre la valeur minimale et la valeur maximale de α est souvent beaucoup plus grand.

Paramètre de réglage. — Nous avons appelé *paramètre de réglage* la grandeur modifiée par les déplacements de l'organe de réglage. Sous cette forme, cette définition laisse subsister une certaine ambiguïté, car il existe plusieurs grandeurs qui peuvent être considérées comme modifiées de cette façon. C'est ainsi, par exemple, que dans le cas d'un réglage de la tension aux bornes d'une génératrice, par modification de la résistance du circuit d'excitation, on peut considérer comme paramètre de réglage la résistance du circuit d'excitation elle-même, ou bien l'intensité du courant d'excitation, ou même le flux d'induction magnétique. Si ce même réglage est réalisé par modification de la vitesse de rotation de la machine, on pourra considérer comme paramètre de réglage la vitesse elle-même, ou bien encore la section d'ouverture de la tuyère, ou la position du pointeau de la turbine qui fournit la puissance motrice.

Ces paramètres présentent cependant des différences essentielles : les uns (la résistance du circuit d'excitation, ou la section d'ouverture de la tuyère d'une turbine) varient d'une façon immédiate avec la position de l'organe de réglage, lorsque celui-ci déplace par exemple un frotteur sur un rhéostat, ou commande par leviers le mouvement du pointeau ; elles ne sont fonctions que de la position de l'organe de réglage. Les autres (l'intensité du courant d'excitation, ou la vitesse angulaire du groupe) n'atteignent leur valeur définitive qu'un certain temps après le déplacement de l'organe de réglage. Elles sont fonctions de ce déplacement, *et du temps.*

Nous conviendrons de choisir comme grandeur définissant le paramètre de réglage, une des grandeurs de la première catégorie, c'est-à-dire une grandeur qui varie *immédiatement et uniquement* avec la position de l'organe de réglage. Mathématiquement cela revient à dire qu'il doit exister entre la grandeur α que nous appelons paramètre de réglage, et la position x de l'organe de réglage une relation qui ne contient pas le temps explicitement, et que nous appellerons l'équation de *liaison* entre l'organe de réglage et la machine ;

$$5)\quad L(\alpha, x) = 0$$

Inversement, cette équation de liaison précise quelles sont les grandeurs qui peuvent être considérées comme paramètre de réglage. Ne peut être considérée comme tel, qu'une grandeur dont chaque valeur correspond *en tout temps* (du moins pendant la durée d'une perturbation) à une position unique et bien déterminée de l'organe de réglage.

Cette définition peut-être un peu limitative du paramètre de réglage, a l'avantage de la simplicité, puisqu'elle établit une correspondance directe entre les valeurs du paramètre et les positions de l'organe de réglage. En outre, elle permet d'exprimer les mouvements du régulateur automatique par les variations correspondantes du paramètre de réglage, ce qui rend plus « tangible » le jeu du réglage automatique.

En exprimant α par sa valeur tirée de l'équation de liaison et en l'introduisant dans l'équation du paramètre 4), on obtient l'équation du *mouvement de l'organe de réglage :*

$$6) \quad P_1 (x, i, t) = 0$$

qui traduit les déplacements de l'organe de réglage pendant l'opération de la correction.

Forme conventionnelle de l'équation de la correction. — L'équation de la correction : C $(v, i, t) = 0$ ainsi que celles du déplacement et du paramètre, P $(\alpha, i, t) = 0$ et $P_1 (x, i, t) = 0$, contiennent la charge i comme variable. Comme la perturbation est causée précisément par une variation de charge, et que cette variation s'étend en général sur une partie du temps que dure la perturbation, i est fonction du temps. Pour pouvoir résoudre l'équation de la correction, il faut encore connaître la relation qui existe entre la charge i et le temps t, c'est-à-dire la loi selon laquelle la charge varie avec le temps.

Cette loi se détermine par les conditions d'exploitation de la machine. Or, dans une machine électrique, les variations de charge sont en général dues à la manœuvre d'interrupteurs qui insèrent ou coupent des circuits dérivés. Dans ce cas les variations de charge sont en grande partie instantanées, ou du moins peuvent être considérées comme telles à côté de la durée de la perturbation. Dans d'autres cas (démarrage de moteurs par exemple) la variation s'étend sur un certain temps, et se produit suivant une loi qui dépend de la façon dont les appareils de démarrage sont manœuvrés.

L'examen même superficiel de tous les genres possibles de variations de charge montre rapidement que la variation instantanée constitue le cas le plus « pénible ». — En effet, supposons que la charge passe d'une valeur I_1, à une valeur I_2 plus grande. Si le passage de I_1 à I_2 se répartit sur un certain temps (variation linéaire par exemple) on sait, par expérience, et par l'examen des propriétés des machines, qu'en chaque instant de la variation, la fonction de régime ne différera que *peu* de sa valeur stationnaire. On exprime ce fait en disant qu'une variation lente est « facile à corriger ». Mais si on condense en quelque sorte l'intervalle de temps de variation de i jusqu'à le rendre nul, en d'autres termes, si la variation $I_2 - I_1$ est *instantanée*, la fonction de régime présentera momentanément de plus grands écarts d'avec les valeurs stationnaires.

Nous conviendrons donc, pour apprécier un réglage automatique, de n'envisager que les *variations instantanées de la charge*, d'abord parce que ce genre de variation est plus fréquent, et ensuite, parce qu'il pose les exigences de correction les plus dures à un régulateur.

L'équation de la correction devient de ce fait résoluble. Avant que commence la perturbation la charge a la valeur I_1. A un moment déterminé cette charge est portée instantanément à la valeur extrême I_2, *qui reste ensuite constante.* Cette variation de la charge marque le début de la perturbation.

Dans l'équation de la correction, la charge conservera donc une valeur constante, invariable, égale à sa valeur finale après variation, c'est-à-dire correspondant au *régime stationnaire final.* La valeur initiale de la fonction de régime est celle qui correspond au régime stationnaire initial, c'est-à-dire à la valeur initiale de la charge, *avant* la variation.

En résumé, l'équation de la correction est le résultat de l'élimination du paramètre de réglage entre l'équation de la machine en régime perturbé et l'équation du régulateur. Sa résolution s'effectue dans l'hypothèse d'une variation instantanée de la charge, dont la valeur finale constitue le début de la perturbation, et reste constante pendant le temps qui suit.

Concours en vue de l'élaboration des plans de deux stations-abris projetées à la place de la Navigation et au Rond-Point de Plainpalais, à Genève.

(Suite et fin [1].)

Place de la Navigation :

N° 4. « Métro » : Mauvaise visibilité de la salle d'attente ouverte sur une seule face. Bonne forme générale du plan.

N° 5. « Double croche » : Les cabines téléphoniques sont mal placées. L'étalage pour les journaux est insuffisant. Marquise hors d'échelle. Bonne visibilité de la salle d'attente.

N° 8. « Simplicité » : Bon parti du plan mais les façades seront à modifier. L'aspect de la partie supérieure est trop lourd et l'ensemble trop haut. Fâcheux décrochements de la marquise.

Le jury constate que le concours n'a pas donné un résultat net et définitif, et si quelques projets marquent certaines qualités, elle sont malheureusement accompagnées de défauts graves qui empêchent de désigner un lauréat pour l'exécution.

Partant de quelques-uns de ces projets l'étude définitive pourra se faire en connaissance de cause et le concours n'aura pas été inutile.

Le jury procède au classement des projets retenus dans l'ordre suivant :

Rond-Point de Plainpalais :

1er rang : N° 3 « Oasis ».
2e rang : ex-æquo N° 1 « Lignes 1-12 ».
N° 11 « Candide ».
Proposé pour l'achat : N° 14 « Double voie ».

Place de la Navigation :

1er rang : N° 8 « Simplicité ».
2e rang : ex-æquo N° 4 « Métro ».
N° 5 « Double croche ».

[1] Voir *Bulletin technique* du 9 mars 1929, page 52.