les besoins du bassin industriel delphino-savoisien, mais encore pour le bassin agricole correspondant.

✱

En résumé, nous pensons que les programmes qui suivent seraient de nature à favoriser la production agricole, abaisser son prix de revient actuellement très handicapé par la rareté de la main-d'œuvre, à rendre plus faciles et plus agréables les travaux de la ferme, par là fixer davantage à la campagne les individus qui, aujourd'hui encore, émigrent vers les villes.

1° Aménagement de nombreuses stations productrices

d'énergie sur les cours d'eau secondaires pour les besoins agricoles, sans gêner la circulation de l'énergie dans les grandes lignes des réseaux ;

2° Propagande auprès des agriculteurs et enseignement capable de favoriser la dissémination des moteurs et du chauffage électrique dans les fermes ;

3° Créer et combiner des appareils de culture et de travaux agricoles divers mus par l'électricité ;

4° Création de voies navigables et examen des possibilités d'irrigation.

Laurent RIGOTARD,
ingénieur agronome.

ÉTUDE

SUR LES

DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE RÉGLAGE

DE LA

Tension des Réseaux à Courants alternatifs

(SUITE)

Commande automatique des régulateurs dans l'huile à axe vertical.

La mise au point du régulateur d'induction a lieu pour les régulateurs à axe vertical à l'aide d'un servo-moteur. Ce dernier est commandé par de l'huile sous pression provenant d'une pompe à huile adossée au servo-moteur. Le mécanisme de commande du servo-moteur est, en principe, exactement le même que celui employé dans les turbines hydrauliques avec cette différence, toutefois, qu'à la place du régulateur centrifuge on a un électro-aimant *Mg* (fig. 30).

Cet électro-aimant est, de son côté, influencé par le régulateur à action rapide *R*. Ce dernier étant dépendant de la tension variable du réseau.

La soupape du servo-moteur occupe une position d'équilibre déterminée (fig. 31). Au moment de tourner, même faiblement, l'électro-aimant du levier de commande tourne autour de son point de rotation, manœuvre qui provoque en même temps le déplacement de la susdite soupape. Du fait de ce déplacement, l'huile sous pression fournie par la pompe à huile est de suite

comprimée contre le côté correspondant du piston du servo-moteur, ce qui provoque la rotation du régulateur d'induction.

Afin que l'effet du régulateur ne dépasse pas l'étendue voulue, on a arrangé un dispositif mécanique de retour ou correctif de réglage (voir fig. 31), dispositif qui permet, par l'intermédiaire du servo-moteur, de mettre de force dans une autre position l'extrémité restée libre du levier. Par l'action de ce dispositif, la soupape reprend de nouveau sa position primitive. Lors de la manœuvre qui vient d'être exposée, le levier de commande arrive dans une nouvelle position d'équilibre, position qui répond alors aux conditions de tension modifiées dans le réseau.

En outre, le régulateur à action rapide est lui-même muni d'un dispositif de retour séparé, lequel se compose essentiellement d'un ressort en forme de spirale et d'un appareil d'amortissements à courants de Foucault.

Ce dispositif travaille indépendamment de celui du servo-moteur. Par l'emploi de ce dispositif mécanique de retour, comme aussi par le fait que les résistances du secteur du

régulateur à action rapide sont connectées en série avec l'électro-aimant à une source auxiliaire de courant, on obtient que tous les organes de commande travaillent absolument en cadence, c'est-à-dire, réagissent simultanément.

Pour chaque tension survenant dans le réseau variable,

Fig. 30. — Schéma d'un régulateur d'induction à commande automatique par huile sous pression.

LÉGENDE

- J* = Régulateur d'induction.
- R* = Régulateur à action rapide.
- M* = Moteur actionnant la pompe à huile.
- Mg* = Relais servant à la commande de la soupape de réglage.
- K* = Mécanisme à manivelle servant à actionner le rotor du régulateur d'induction.

il existe une position nettement définie tant du régulateur à action rapide que du servo-moteur et par conséquent aussi du régulateur d'induction. La pompe à huile utilisée pour le servo-moteur est du système à roue dentée et travaille à une pression allant jusqu'à 16 atmosphères ; elle se compose

sous pression, on peut passer de la commande automatique à la commande à main ; ce changement est réalisé par simple blocage, ce qui permet d'accoupler le volant de manœuvre à main sur l'axe de commande (voir fig. 32).

Ce dispositif automatique de réglage par huile sous pres-

sion est extrêmement rapide ; il règle en une seconde seulement des variations de tension de 10 % de la tension du réseau. Cet appareil régulateur peut être utilisé comme nous l'avons vu non seulement pour maintenir constante la tension d'un réseau à une valeur déterminée, mais aussi pour compenser en même temps une chute de tension dans les lignes secondaires. La compensation s'effectue automatiquement par élévation de la tension proportionnellement à la charge en intercalant, en série, dans la ligne un transformateur d'intensité agissant sur le réglage.

A l'aide d'un dispositif spécial on peut faire varier arbitrairement le taux de l'accroissement

de tension entre 0 et 15 % de la tension normale du réseau.

Le caractère particulier de cet appareil est sa rapidité de réglage qui n'est atteinte par aucun autre système. Le temps nécessaire pour amener le régulateur d'induction d'une position extrême à l'autre n'est que de 1,5 seconde, si bien qu'il est possible de compenser entièrement en une seconde des variations de tension de l'ordre de 10 % de la tension du réseau.

La sensibilité du réglage est telle que l'appareil commence à fonctionner lorsque se produisent des variations de tension inférieures à 1/2 %.

Le diagramme de la figure 33 montre l'allure régulière de la courbe de tension dans le cas de réglage automatique de la sous-station de Boniswil à l'aide d'un régulateur d'induction commandé par servo-moteur. Ce régulateur a une puissance propre de 150 KVA 50 périodes et le réseau principal une puissance apparente de 2.000 KVA, à la tension de 8.300 volts $\pm 7,5$ %. Toutes les variations de tension sont compensées.

Aux deux charges maxima, on remarque un fléchissement de la courbe correspondant à l'élévation de tension qui s'est produite automatiquement pour compenser la chute dans la ligne secondaire. Le diagramme de la figure 34 montre les oscillations de la tension se produisant dans le cas du réglage à main. Celles-ci sont les plus nombreuses le matin et le soir au moment des pointes de lumière.

Grâce à l'emploi combiné du relais et de la commande à huile sous pression, on peut actionner dans le temps le plus court, par l'intermédiaire du régulateur à action rapide type Brown-Boveri, un régulateur d'induction de n'importe quelle puissance. Bien que le réglage soit remarquablement rapide il n'absorbe qu'une puissance tout à fait minime.

Enfin les figures 35 et 36 donnent des applications de commandes de régulateurs d'induction à axes horizontaux du type ventilé, à l'aide de servo-moteur à huile sous pression.

Fig 31. — Schéma de la commande par huile sous pression système Brown-Boveri.

essentiellement de deux pompes, à savoir : d'une petite qui engendre continuellement la pression d'huile nécessaire tant que des écarts considérables ne sont pas à régler, et d'une plus grande, qui n'est mise sous pression que quand

Fig. 32. — Réglage par huile sous pression et tableau de distribution avec régulateur à action rapide.

Pression de l'huile de réglage 0,8 atm.
Moteur pour la pompe 1 — 2,5 Ch.

des écarts considérables sont à régler. La mise en marche et l'arrêt de cette seconde pompe se font automatiquement.

De cette façon, la dépense d'énergie, pour l'équilibrage des petits écarts de tension dans le réseau, est très faible.

A n'importe quelle position de la commande par l'huile

Exemples d'installations de régulateurs d'induction.

La figure 37 représente le schéma général de montage d'un régulateur d'induction à commande par servo-moteur.

seulement, une bobine de self de protection est insérée ;

3° L'enroulement série du régulateur est relié des deux côtés à la ligne, mais reste cependant court-circuité par l'intermédiaire d'une connexion formant pont ;

Fig. 33. — Courbe de volt-mètre, prise dans la sous-station de Boniswil de l'Usine Beznau-Lontsch.

Réglage automatique avec régulateur d'induction 150 KVA, 50 périodes.

Puissance apparente 2 000 KVA, 8.300 volts $\pm 7,5$ %.

Fig. 34. — Courbe de volt-mètre, prise dans la sous-station de Boniswil de l'usine de Beznau Lontsch.

Ce schéma a ceci de particulier, c'est qu'il permet, à l'aide du contrôleur spécial figuré au milieu, de passer du service réglé au service non réglé sans interrompre le courant sur le réseau.

Pour comprendre le fonctionnement de ce contrôleur spécial, il suffit de suivre les connexions qui s'en détachent pour chacune de ses positions, en s'imaginant que les lames verticales indiquées sur le schéma (fig. 37) passent successivement dans le sens indiqué par la flèche en glissant sur les différents contacts fixes.

Afin de bien comprendre cette manœuvre, nous indiquons (fig. 38) pour les cinq positions du contrôleur le schéma monophasé, simplifié le plus possible.

1° Le schéma N° 1 correspond à la position du contrôleur telle qu'elle est fixée sur le schéma (fig. 37) et démontre la situation des con-

nexions en service non réglé. Le régulateur d'induction est tout à fait hors circuit, la ligne d'arrivée est directement reliée, avec la ligne de départ ;

2° Le régulateur d'induction est mis sous tension d'un côté

4° La connexion formant pont est ouverte ;

5° La bobine de self mentionnée précédemment est court-circuitée, le régulateur est alors en service.

Inversement, pour passer du service réglé au service non

Fig. 35. — Régulateur d'induction ventilé avec dispositif de commande par servo-moteur à huile sous pression placé près du régulateur (170 KVA, 5000 volts).

réglé, il suffit de tourner le contrôleur en sens inverse. Il se produit les mêmes situations que celles décrites ci-dessus ; ces situations étant, bien entendu, renversées dans leur ordre,

RÉGULATEUR D'INDUCTION SURVOLTEUR-DÉVOLTEUR DE LA CIE GÉNÉRALE D'ÉCLAIRAGE DE BORDEAUX.

La Cie Générale d'Éclairage de Bordeaux a, en fonctionnement, sur son réseau depuis près de 10 ans, un régulateur d'induction « Alioth » qui réalise le problème suivant :

La tension du réseau de la Cie Générale étant de 5.200 volts en courant triphasé, 50 périodes, il s'agit de régler cette tension :

- a). — de 5.000 à 5.400 volts pour une intensité maxima de 400 ampères ;
- b). — de 4.800 à 5.600 volts pour une intensité maxima de 200 ampères.

Le problème a été réalisé à l'aide d'un régulateur d'induction de 140 kilovolts-ampères à commande à distance par moteur, schéma fig. 39. Les enroulements du stator de ce régulateur sont

en série avec la ligne et un transformateur statique en alimente le rotor.

Enfin un appareillage un peu spécial permet la manœuvre de ces divers appareils.

Fig. 36. — Régulateur d'induction ventilé avec dispositif de commande par huile sous pression adossé au régulateur.

Fig. 37. — Schéma d'un régulateur d'induction à commande automatique par servo-moteur, avec controller permettant de passer du service réglé au service non réglé sans interrompre la marche.

Régulateur d'induction A (fig. 39).

Le régulateur d'induction est du type ouvert à axe horizontal et à refroidissement par ventilation forcée. Chaque phase du moteur du stator comporte deux enroulements qui peuvent être montés en série ou en parallèle entre eux et suivant la connexion effectuée, produire :

1° Soit une tension simple de 230 volts (400 volts composés) sous une intensité de 200 ampères pour montage en série ;

Fig. 38. — Différentes positions du controller du schéma n° 37.

2° Soit une tension simple de 115 volts (200 volts composés) sous une intensité de 400 ampères pour montage en parallèle. A cet effet, les enroulements du stator aboutissent à 12 bornes qui, réunies entre elles par des conducteurs appropriés, permettent de brancher rapidement l'appareil pour l'un ou l'autre des deux services prévus. Le rotor faisant fonction d'inducteur est alimenté à la tension de 430 volts ; il est ainsi que le stator, bobiné à 4 pôles et un déplacement de 90° permet de passer de la position de survoltage maximum à la position dévoltage maximum. Le rotor est porté par deux flasques porte-paliers centrées sur la carcasse du stator. Une de ces flasques porte un dispositif de commande par vis sans fin qui, par double démultiplication, entraîne un pignon fixé sur le rotor. La vis sans fin reçoit son mouvement soit d'un volant pour commande à main, soit d'un moteur asynchrone triphasé (L fig 39) à 200 volts, 950 tours, accouplé directement et mis en marche par un interrupteur inverseur O placé sur le tableau de distribution.

Des interrupteurs de fin de course (NN) actionnés par des butées placées sur le rotor empêchent de dépasser les positions limites de réglage de l'appareil. Ces interrupteurs de fin de course coupent le circuit du moteur quand on manœuvre l'appareil à la main, un index fixé sur l'arbre indique sur un cadran fixe la position de réglage.

L'autre flasque du régulateur porte un ventilateur actionné par un petit moteur asynchrone triphasé (M) à induit en court-circuit de 200 volts, 1.400 tours assurant le refroidissement du régulateur d'induction.

Transformateur d'excitation B (fig. 39)

Ce transformateur est du type dans l'huile à refroidissement naturel ; il est prévu pour la puissance de 205 KVA et

est directement branché sur la tension non réglée de 5.200 volts. Son rapport de transformation est de $\frac{5.200}{430}$ volts, les bobinages primaires et secondaires étant en triangle.

De plus, la bobine (H) de déclenchement de l'interrupteur automatique D, le moteur de commande L du régulateur, le moteur M de commande du ventilateur, sont alimentés par un transformateur (non représenté sur le schéma fig. 28) triphasé du type à noyaux dans l'air à refroidissement naturel prévu de 3,6 KVA et pour le rapport de transformation de 430/200 volts. Ce transformateur est alimenté par le secondaire du transformateur B.

Appareillage

L'appareillage de service comprend, outre quelques appareils de mesure et des couteaux séparateurs, un interrupteur commutateur combiné automatique permettant la mise en marche ou l'arrêt du survolteur-dévolteur sans causer de perturbation sur le réseau.

L'interrupteur commutateur se compose de 3 interrupteurs dont l'un : C a pour but de mettre en court-circuit les bornes du stator du régulateur d'induction A ; le second D est placé sur le circuit primaire (5.200 volts) du transformateur statique d'excitation B, et le troisième E est un interrupteur commutateur placé sur les connexions reliant le secondaire du transformateur statique au rotor du régulateur d'induction.

Ce dernier appareil permet soit de mettre en court-circuit trois résistances fixes, chacune de 0,9 ohms environ, montées en série sur les connexions du transformateur statique au rotor du régulateur d'induction, soit de mettre en court-circuit les 3 bornes du rotor du régulateur d'induction.

Ces appareils sont commandés par un seul levier ; ils sont réunis entre eux par un système de leviers et encliquetage assurant leur fonctionnement dans l'ordre désiré. Le déclenchement automatique est assuré à l'aide d'une bobine de déclenchement H montée sur l'interrupteur D.

A l'arrêt, C est fermé, D est ouvert, E court-circuite le rotor du régulateur d'induction, tandis que les résistances ne sont pas court-circuitées.

Les couteaux séparateurs de l'interrupteur C sont fermés, ceux du régulateur sont ouverts.

Pour mettre en marche : on ferme les couteaux du régulateur d'induction, on s'assure que ce régulateur est à la position de survoltage nul, ce qu'un index monté sur l'appareil et se déplaçant devant un cadran, permet de contrôler. Puis l'on manœuvre l'interrupteur spécial ECD dont les différents éléments fonctionnent dans l'ordre suivant : l'interrupteur E s'ouvre tandis que D se ferme ; l'interrupteur C étant ouvert, le courant total de ligne passe dans les enroulements du stator du régulateur d'induction. Le rotor étant en court-circuit, il n'y a pas de chute de tension appréciable sur le réseau car, en effet, si on laissait le circuit du rotor ouvert, l'appareil fonctionnerait comme une bobine de self et provoquerait sur le réseau une chute de tension d'autant plus grande que l'intensité débitée serait plus élevée. Par la fermeture de l'interrupteur D, le transformateur statique B va débiter sa puissance totale sur la résistance de E.

L'interrupteur C étant ouvert, l'interrupteur D fermé, le levier de manœuvre commun aux 3 appareils actionne ensuite l'interrupteur E qui supprime d'abord le court-circuitage du rotor ; à ce moment le transformateur statique B débite à la fois sur les résistances et sur le rotor du régulateur d'induction. La tension aux bornes du rotor va varier à ce moment de 0 à 430 volts, suivant la charge du

régulateur. L'interrupteur E achevant sa course court-circuite la résistance, à partir de ce moment, le transformateur statique débite directement sur le rotor du régulateur d'induction et le groupe est en ordre de marche. Les différentes manœuvres décrites ci-dessus s'effectuent très rapidement de façon à rendre imperceptible le léger à-coup que peut provoquer la manœuvre, et de façon également que la résistance de E ne soit qu'un instant en circuit.

On manœuvre, s'il y a lieu, l'interrupteur P assurant la mise en marche du moteur du ventilateur et l'on règle la tension de survoltage après lecture comparative de deux voltmètres placés l'un avant l'autre après le régulateur.

Le réglage se fait soit à main par la manœuvre du volant placé sur l'arbre de la vis sans fin, soit en manœuvrant l'in-

différée dont l'intensité et le temps de déclenchement sont réglables.

Ce relai est alimenté par deux transformateurs d'intensité (II) placés sur le circuit primaire du transformateur statique B ; la bobine de déclenchement H montée directement sur l'interrupteur D est alimentée par du courant alternatif à 200 volts. Le déclenchement à main peut être effectué à l'aide d'un bouton presseur K fermant le circuit 200 volts sur la bobine de déclenchement.

La charge du groupe est indiquée par un ampèremètre monté sur le circuit secondaire du transformateur B. Enfin, deux voltmètres, à lecture directe, alimentés par deux transformateurs de tension 6.000/110 volts permettent de vérifier les tensions avant et après le régulateur d'induction.

Fig. 39 — Schéma du survolteur-dévolteur d'induction de la Compagnie Générale d'éclairage de Bordeaux.

verseur O qui met en marche, dans un sens ou dans l'autre, le moteur accouplé directement à l'arbre de la vis sans fin assurant le déplacement du rotor.

Pour l'arrêt et la mise hors service du régulateur d'induction, le déplacement des différents interrupteurs se fait dans l'ordre inverse de celui indiqué pour la mise en marche : l'interrupteur E met d'abord les résistances en circuit pour éviter de couper le circuit du régulateur d'induction puis il met le rotor du régulateur d'induction en court-circuit, ensuite simultanément l'interrupteur D s'ouvre, l'interrupteur C se ferme. On peut alors ouvrir les coupe-circuits du régulateur d'induction afin de permettre de manipuler sans danger le régulateur d'induction et le transformateur statique.

Le déclenchement automatique des interrupteurs DEC se fait par l'intermédiaire d'un relai bipolaire (JJ) à action

Les résultats excellents que ce régulateur a donnés depuis sa mise en marche confirment pleinement le choix judicieux qui a été fait par les constructeurs tant dans le type de régulateur adopté que dans son appareillage.

RÉGULATEUR D'INDUCTION POUR UN DÉPART TRIPHASÉ DE 4.000 KVA. — 60.000 VOLTS, 50 PÉRIODES

Le schéma de la figure N° 40, qui pour plus de simplicité est représenté à un fil donne la solution intéressante du montage d'un régulateur d'induction devant régler à 60.000 volts la tension d'un départ triphasé d'une puissance de 4.000 KVA, la variation de tension étant de $\pm 5\%$.

Le régulateur d'induction R est du type dans l'huile à commande par servo-moteur à huile sous pression placé

sous la dépendance d'un régulateur de tension à action rapide R_e .

Les enroulements fixes du régulateur de tension à action rapide sont branchés d'une part aux bornes secondaires d'un transformateur de tension (tt) monté sur les barres 15.000 volts de la centrale et, d'autre part, aux bornes secondaires d'un transformateur d'intensité (T_i) (compoundage) dont le primaire est monté directement sur la ligne à 60.000 volts à régler.

Fig. 40. — Schéma général à un fil de l'installation d'un régulateur d'induction automatique « Brown Boveri » sur un départ triphasé 60.000 volts. 4.000 KVA. 50 périodes.

LÉGENDE

- T_s = Transformateur série de ligne.
- S = Sectionneur.
- D = Disjoncteurs tripolaires.
- I = Interrupteur.
- R = Régulateur d'induction dans l'huile.
- C = Commande automatique
- R_e = Régulateur de tension à action rapide.
- T_e = Transformateur d'excitation du régulateur.
- T_m = Transformateur du moteur de commande du servo-moteur à huile sous pression.
- tt = Transformateur de tension du régulateur à action rapide.
- T_i = Transformateur de compoundage.
- T = Transformateur principal de 4.000 KVA 15.000/60.000 volts.

Un petit moteur triphasé M actionne le servo-moteur à huile (c) du régulateur d'induction R . Ce servo-moteur est muni d'un dispositif de correction de réglage faisant réagir sur le déplacement du mécanisme distributeur le mouvement

du piston du servo-moteur. On obtient ainsi comme nous l'avons vu un réglage extrêmement prompt, parfaitement amorti et sans oscillations pendulaires.

L'emploi pour le régulateur de tension à action rapide R_e d'un dispositif de compoundage (T) permet de faire dépendre de la charge de la ligne à 60.000 volts le réglage de la tension.

L'appareil fonctionne ainsi sans aucune intervention de la part du personnel de la station et sans aucune surveillance assurant le réglage, quelque soit la soudaineté des variations de débit et de déphasage.

La manœuvre de ce régulateur d'induction peut également être faite à la main si on le désire. Il est à remarquer, dans ce cas particulier, qu'étant donné la tension élevée du départ à régler et celle de la centrale, le stator du régulateur d'induction R est alimenté par un transformateur d'excitation T_e dont le primaire est branché sur les barres 15.000 volts de la centrale et que le rotor de ce régulateur d'induction alimente le primaire d'un transformateur T_i (transformateur série de ligne) dont le secondaire est monté en série sur le départ à 60.000 volts.

Nous avons vu que si l'on désigne par :

P = la puissance du réseau à régler ;

E_r = la tension réglée ;

E_1 = la tension non réglée ;

$e_2 = E_r - E_1$ le survoltage ou dévoltage à réaliser.

La puissance propre du régulateur d'induction est donnée en courant triphasé par $P_r = \sqrt{3} e_2 I$.

I = courant de ligne.

or, comme $P = \sqrt{3} E_r I$ ou $I = \frac{P}{\sqrt{3} E_r}$

$$P_r = \sqrt{3} e_2 \frac{P}{\sqrt{3} E_r} = \frac{e_2 P}{E_r}$$

Dans le cas actuel cette puissance P_r est celle du transformateur T_s de ligne.

Le départ doit être maintenu à la tension constante de 60.000 volts avec variations possibles de $\pm 3,33\%$ la tension à régler variant de 57.000 à 63.000 volts.

donc : $e_2 = 3.000$ volts.

Comme $P = 4.000$ et $E_r = 60.000$ volts,

On a :

Puissance propre du transformateur (T_s) de ligne =

$$P_r = \frac{e_2 P}{E_r} = \frac{3.000 \times 4.000}{60.000} = \frac{12.000}{60} = 200 \text{ KVA.}$$

Le rendement de ce transformateur étant d'environ 95 %.

La puissance propre du régulateur d'induction sera de $\frac{200}{0,95} = 210 \text{ KVA.}$

Le transformateur d'excitation T_e du régulateur d'induction sera d'une puissance de $\frac{210}{0,85} = 250 \text{ KVA}$ environ et son

rapport de transformation de $\frac{15.000}{1.000}$ volts.

Enfin le transformateur T_s de ligne doit être isolé pour 60.000 volts dans l'huile avec 3 bornes primaires, et 6 bornes secondaires 60.000 volts, son rapport de transformation sera de $\frac{1.000}{\pm 3.000}$ volts.

V. SYLVESTRE,

Ingénieur A. M. et I. E. G.,

Ingénieur à la Cie Electro-Mécanique.