

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 20 (1929)
Heft: 12

Artikel: La mise en marche et le couplage en parallèle des alternateurs dans les centrales automatiques
Autor: Puppikofer, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056819>

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: 18.04.2026

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Generalsekretariat des
Schweiz. Elektrotechnischen Vereins und des
Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke

REDAKTION
Zürich 8, Seefeldstr. 301

Secrétariat général de
l'Association Suisse des Electriciens et de
l'Union de Centrales Suisses d'électricité

Verlag und Administration

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.
Zürich 4, Stauffacherquai 36/38

Editeur et Administration

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der
Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et
sans indication des sources

XX. Jahrgang
XX^e Année

Bulletin No. 12

Juni II 1929
Juin II 1929

La mise en marche et le couplage en parallèle des alternateurs dans les centrales automatiques.

Par H. Puppikofer, ingénieur, Oerlikon.

621.317.1 : 621.312.134

Après avoir énuméré brièvement les différents types de centrales hydro-électriques automatiques, l'auteur aborde le problème de la mise en parallèle au synchronisme, qui représente la question centrale de l'automatisme. Il explique le fonctionnement d'un nouveau relais de mise en parallèle, qui tient compte au mieux des conditions lors du synchronisme, et décrit diverses possibilités d'exécution d'une méthode de démarrage, qui amènent sûrement et dans un minimum de temps la machine à enclencher au synchronisme. Pour finir l'auteur présente comme exemple le schéma et le mode de fonctionnement d'une centrale hydro-électrique à basse pression, actuellement en montage.

Der Verfasser geht nach kurzem Erwähnen der verschiedenen Arten von automatischen hydroelektrischen Kraftwerken auf das Problem des Parallelschaltens bei Synchronismus ein, welches die Kernfrage der Automatisierung darstellt. Er erläutert die Arbeitsweise eines neuen Parallelschaltrelais, das den Verhältnissen beim Synchronisieren in bester Weise Rechnung trägt, sowie verschiedene Ausführungsmöglichkeiten einer Anlaufmethode, welche die zuzuschaltende Maschine sicher und in kürzester Zeit dem Synchronismus zuführt. Zum Schlusse werden als Anwendungsbeispiel Schema und Betriebsweise eines in Montage begriffenen vollautomatischen hydroelektrischen Niederdruckwerkes erklärt.

Dans tous les pays on entend aujourd'hui parler de la rationalisation de l'industrie. On comprend par là la suppression de tout travail non productif et l'utilisation convenable de toutes les forces contribuant à la production proprement dite. Des succès remarquables ont déjà été obtenus dans un grand nombre d'industries. La rationalisation a aussi gagné les usines génératrices. Une grande partie du service de surveillance qui doit être considéré comme non productif peut être maintenant confiée à des machines et à des appareils, ce qui fait qu'on a été conduit à aménager ces usines de manière qu'elles marchent automatiquement. Ce sont naturellement d'abord les centrales secondaires, les sous-stations de transformation et de couplage, qu'on a cherché à rendre automatiques. L'impulsion dans cette voie a été donnée par l'Amérique où les salaires ont toujours été les plus élevés. La solution pratique d'un service automatique était relativement simple pour les stations secondaires. Dans les usines génératrices mêmes, les difficultés sont bien plus grandes, car il s'agit ici de la production de la force motrice pour l'entraînement des moteurs primaires qui, de leur côté, actionnent les générateurs de courant. Actuellement il n'est pas encore possible de penser au fonctionnement automatique des centrales thermiques. Par contre le problème peut être considéré comme résolu en ce qui concerne les centrales hydroélectriques.

Dans ce cas, l'automatisme prend, suivant les conditions locales, différentes formes qui, à vrai dire, ne sont pas toutes automatiques. Il s'agit parfois d'installations commandées à distance, où toutes les manoeuvres sont exécutées, comme par le passé, par un surveillant à l'aide de dispositifs spéciaux. Pour une centrale moderne cela ne représente qu'un déplacement du poste de commandement. Dans

d'autres cas, il s'agit de centrales qui ne sont pas soumises à une surveillance continue, mais seulement mises en marche et arrêtées par un surveillant qui, à cet effet, doit s'y rendre à des intervalles fixés par le plan d'exploitation. Il suffit alors de prévoir dans ces centrales quelques organes supplémentaires qui, en cas de perturbations entraînant la mise hors circuit de la partie électrique, assurent l'arrêt simultané de la partie hydraulique. Par contre, dans les centrales automatiques proprement dites, la mise en marche et l'arrêt des machines, de même que leur couplage en parallèle, ont lieu sans aucun concours étranger. C'est là précisément la partie la plus difficile du problème de l'automatisation des centrales électriques. On peut répartir les solutions employées en deux groupes principaux. Avec celles du premier groupe, on réalise exactement le même mode de démarrage que dans les installations surveillées. On ouvre la vanne, augmente lentement l'admission de la turbine jusqu'à ce que sa vitesse corresponde à la fréquence du réseau à la tension duquel on amène l'alternateur, on couple en parallèle et l'on charge. Les solutions du second groupe consistent à mettre l'alternateur en route avec la turbine fermée, comme un moteur électrique ordinaire; on l'amène à la vitesse synchrone, après quoi on ouvre la turbine. Ces solutions-ci conviennent très bien pour de petites unités, mais lorsqu'il s'agit de grandes machines, on doit toujours recourir à une solution du premier groupe en raison de l'à-coup de courant inévitable au démarrage.

Dans le premier groupe, caractérisé par le démarrage des machines depuis la turbine, se rangent les solutions suivantes qui se distinguent par le mode de couplage en parallèle:

- 1^o Le couplage en parallèle par l'intermédiaire de bobines de réactance.
- 2^o La méthode d'autosynchronisation (pull-in méthode).
- 3^o Le couplage en parallèle au synchronisme.

Si l'on couple l'alternateur à pleine excitation et à la vitesse correspondant à la fréquence du réseau sans tenir compte du synchronisme, il peut se faire que les vecteurs de tension accusent entre eux un angle de déphasage important, atteignant même jusqu'à 180° et l'on risque alors d'occasionner de graves dégâts par suite de court-circuit. Mais en le couplant tout d'abord indirectement par l'intermédiaire de bobines de réactance, on peut limiter le courant de court-circuit et laisser la machine passer au synchronisme. Lorsque celui-ci est atteint, ce que l'on constate à la chute du courant dans la roue polaire ou à la disparition de sa composante alternative, on shunte les bobines de réactance par un interrupteur à huile.

D'après la méthode „pull-in“, utilisée en Amérique pour des unités jusqu'à 10 000 kVA, l'alternateur muni d'un enroulement amortisseur est entraîné par la turbine à une vitesse voisine de celle correspondant à la fréquence du réseau; on le met alors en circuit sans excitation et on l'excite ensuite, soit brusquement en raccordant l'excitatrice à pleine tension, soit lentement en réglant graduellement sa tension.

M. E. Reagan donne dans le „Electric Journal“ d'avril 1926 des oscillogrammes de mise en parallèle d'une machine de 4200 kVA. Suivant la différence entre la fréquence du réseau et celle de la machine, l'à-coup de courant mesuré à la fermeture du circuit avec l'excitatrice à pleine tension atteignait 7 à 8 fois le courant normal. En augmentant graduellement la tension d'excitation, on pouvait réduire l'à-coup de courant à 5 fois le courant normal, mais il se maintenait quelques secondes presque au double de l'intensité nominale. Avec les deux modes de couplage, la tension du réseau tombait jusqu'à 73% de sa valeur normale.

Ces quelques chiffres montrent clairement que de telles méthodes ne peuvent être appliquées que sur de grands réseaux, avec de puissantes centrales et de très longues lignes de transmission qui empêchent les autres parties du réseau d'être affectées. En Europe, il n'y a guère que la seconde méthode de couplage en parallèle, la moins brutale, qui puisse entrer en ligne de compte. Nous allons donc l'examiner de plus près.

Le couplage en parallèle au synchronisme.

Ce mode de couplage en parallèle est le plus correct. Il permet de raccorder au réseau des machines de toute grandeur, sans aucun à-coup de courant. Les machines mêmes peuvent être du type normal sans enroulements amortisseurs ni autres dispositifs spéciaux. L'appareillage est aussi celui ordinairement employé dans les centrales modernes pour les machines synchrones. Il suffit d'y ajouter un relais qui accuse le synchronisme et ferme au même moment l'interrupteur de la machine. Chaque couplage de centrale automatique est basé sur le bon fonctionnement de ce relais. Il existe actuellement toute une série de constructions de relais analogues mais elles présentent toutes l'inconvénient de ne pas coupler au moment voulu, car il leur manque la réflexion du surveillant de service. En raison de l'importance du fonctionnement exact de cet appareil pour la marche automatique d'une centrale, nous allons examiner brièvement les phénomènes pulsatoires qui se produisent au voisinage du synchronisme. Le mieux, pour cela, est de recourir au diagramme fig. 1 des tensions en fonction du temps. Les courbes 1 et 2 représentent les tensions sinusoïdales du réseau et de la machine accouplée.

Les courbes en trait fort correspondent à la somme de ces deux tensions. Les deux modes de couplage de contrôle usuels pour la synchronisation, le couplage à l'extinction et le couplage à l'éclairement, doivent leur nom à l'utilisation de lampes-témoins qui, au moment du synchronisme, sont éteintes dans le premier mode de couplage et brûlent avec le maximum d'éclairement dans le second. Avec le couplage à l'extinction, la courbe 3 de

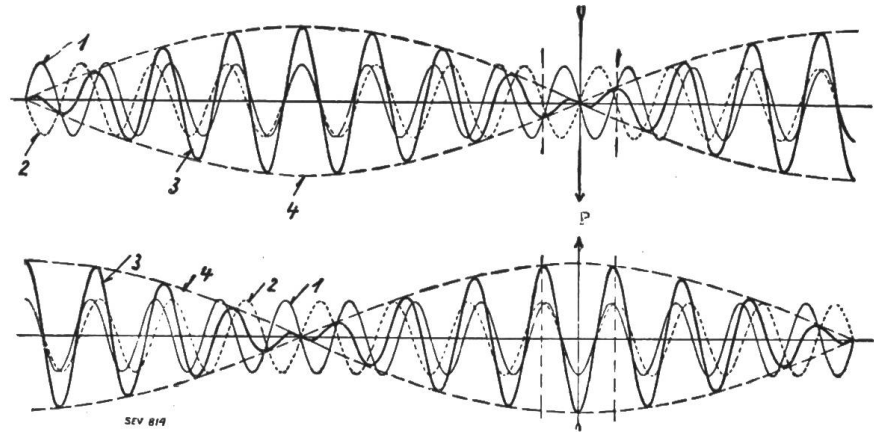


Fig. 1.

Représentation graphique des phénomènes lors du couplage en parallèle de machines à courant alternatif.

Diagramme supérieur: Couplage à l'extinction.

Diagramme inférieur: Couplage à l'éclairement.

P Moment du couplage en parallèle
 1 Tension du réseau
 2 Tension de la machine à coupler
 3 Somme des tensions du réseau et de la machine
 4 Courbe de battement

la somme des tensions au moment du synchronisme absolu passe par zéro; avec le couplage à l'éclairement, elle passe par son maximum. On obtient des battements très prononcés qu'il convient de représenter par la courbe enveloppant celle qui correspond à la somme des tensions. Ces courbes de battement (désignées par 4 sur la fig. 1) renseignent immédiatement sur la position relative des vecteurs des deux tensions à coupler. Tandis qu'avec le couplage à l'éclairement la mise en parallèle de la machine à coupler doit avoir lieu au maximum très aplati de la courbe, avec le couplage à l'extinction elle doit s'effectuer à l'intersection de la courbe de battement avec l'axe du temps, qui est nettement marquée. Un autre avantage de l'application du couplage à l'extinction au relais de couplage en parallèle, consiste en ce que l'appareil est complètement indépendant de la valeur absolue de la tension sous laquelle la machine doit être couplée en parallèle avec le réseau, de sorte qu'un réglage spécial de limite de tension n'est pas nécessaire.

Un relais utilisable pour le couplage en parallèle automatique de machines synchrones doit marquer le synchronisme exactement comme s'il s'agissait d'un couplage à la main, et si le synchronisme dure assez longtemps, c'est-à-dire si les battements de tension sont suffisamment lents, provoquer au moment propice la fermeture de l'interrupteur de la machine. A cet effet il doit comporter un organe

qui marque le synchronisme ou la concordance de phases et libère au moment exact un organe retardateur, lequel, arrivé au bout de sa course, provoque la fermeture de l'interrupteur de la machine, par l'intermédiaire d'un contacteur avec bobine de retenue, et d'une commande à distance ordinaire. Admettons que l'organe retardateur effectue sa course dans un temps t_1 et que la commande à distance ferme les contacts principaux de l'interrupteur de la machine dans un temps t_2 compté depuis l'établissement du contact par le relais à action différée. Si l'organe indicateur ne libère l'organe retardateur qu'au point correspondant au synchronisme S , le couplage en parallèle ne s'effectuera, d'après fig. 2, qu'au point B où les machines sont déjà sensiblement éloignées du synchronisme absolu. La première idée, pour supprimer cet inconvénient, consiste à rendre l'organe indicateur assez peu sensible pour qu'il libère déjà l'organe retardateur alors que la courbe de battement accuse encore une différence de tension E_x . Si l'angle d'interception de cette courbe et de l'axe du temps est ouvert, le couplage en parallèle s'opérera encore à un mauvais moment. Le relais doit donc être complété de manière qu'il puisse marquer cet angle.

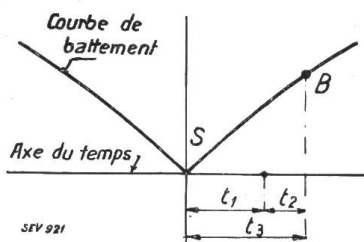


Fig. 2.

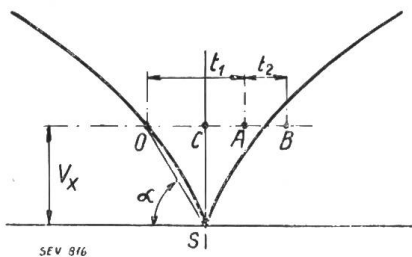


Fig. 3.

Il existe actuellement un relais de couplage en parallèle avec un dispositif qui permet à l'organe indicateur du synchronisme de mesurer l'angle d'intersection de la courbe de battement et de l'axe du temps, de sorte que le couplage ne peut avoir lieu que si cet angle est inférieur à une valeur donnée.

A cet effet, on ne laisse fonctionner l'organe retardateur qu'à partir du moment où la courbe de battement coupe la droite parallèle à l'axe du temps, à la distance V_x , jusqu'à celui où le synchronisme absolu est atteint (intersection avec l'axe du temps). Si les battements sont rapides, c'est-à-dire si l'angle α (fig. 3) dépasse une valeur donnée, le point A qui correspond au temps que met l'organe retardateur à effectuer sa course, vient après le point du synchronisme. Le relais s'arrête déjà en C et le contacteur de la commande à distance reste ouvert. Si l'angle de la courbe de battement est inférieur à $\alpha_x = \text{arc tg } \frac{V_x}{t_1}$

(comme sur la fig. 4) l'organe retardateur effectue entièrement sa course et ferme le circuit du contacteur. On a ainsi la garantie d'un couplage en parallèle aussi voisin que possible du synchronisme absolu. Le couplage le moins exact correspond à l'angle limite α_x et est obtenu sous une différence de tension $V = \frac{V_x}{t_1} \cdot t_2$ que l'on peut réduire à volonté par un choix approprié du temps t_1 et par un réglage à une plus faible valeur de V_x . Comme le couplage en parallèle n'est possible que si les battements de tension deviennent plus lents et par suite l'angle α plus petit, il s'opère donc toujours un peu au-dessous de la valeur limite α_x , c'est-à-dire dans les conditions les plus favorables:

L'appareil est exécuté de la façon suivante (fig. 5):

Les organes indicateur et retardateur sont construits tous les deux sur le principe de Ferraris. Le premier comporte 2 électro-aimants de commande qui, en vue du couplage à l'extinction, sont raccordés à 2 phases différentes. De cette façon, on évite tout faux couplage résultant d'une permutation de phases de l'un des systèmes triphasés au cours d'une réparation ou d'une révision. Ces électro-aimants agissent ensemble sur deux secteurs en aluminium ne formant qu'une seule pièce mobile autour de son axe 1. Au moment du synchronisme les secteurs tom-

bent dans la position neutre, en raison de leur poids, et ferment par les deux contacts K_1 et K_2 le circuit de l'organe retardateur. Les deux contacts K_1 et K_2 ne sont pas fixes mais disposés sur un levier 3 mobile avec un peu de

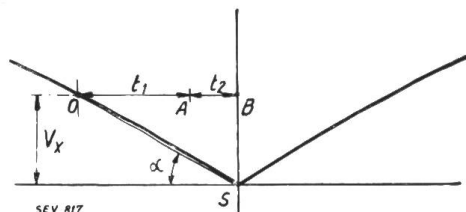


Fig. 4.

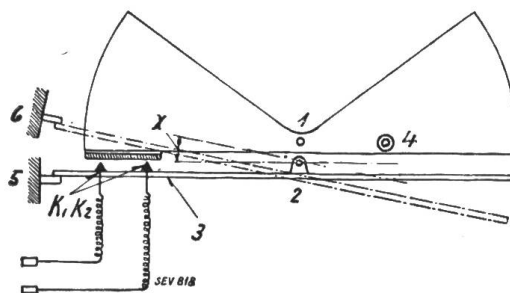


Fig. 5.

Représentation schématique de l'organe indicateur du relais de couplage en parallèle Oerlikon.

frottement autour d'un axe 2 voisin de l'axe 1. Si les deux tensions alternatives à raccorder sont en opposition, on obtient le couple maximum sur les 2 secteurs qui, dans la figure, tournent à droite. Dans cette rotation les contacts K_1 et K_2 s'ouvrent et, vers la fin de leur course, les secteurs entraînent, par le nez 4, le levier 3, de la position horizontale et l'amènent de la butée 5 à la butée réglable 6. De cette façon, les contacts K_1 et K_2 sont déplacés dans le sens des secteurs de l'angle correspondant à la différence de tension V_x dans la fig. 4. Lorsque le battement recommence à baisser, les secteurs retournent à gauche et ferment déjà à la tension V_x les contacts K_1 et K_2 qui restent fermés jusqu'au point du synchronisme S, car les secteurs entraînent le levier 3 jusqu'à la butée 5. Dès que le battement reprend de l'ampleur, les contacts K_1 et K_2 s'ouvrent de nouveau, car le levier 3 reste dans sa position finale par suite de son léger frottement et le jeu se répète jusqu'à ce que le temps qui s'écoule entre O et S dans le diagramme fig. 4 soit plus grand que t_1 .

Une autre condition à remplir pour éviter de faux couplages est que la pièce de couplage de l'organe retardateur retourne dans sa position neutre aussitôt que les contacts K_1 et K_2 sont ouverts, c. à. d. aussitôt que l'électro-aimant K dans le schéma 6 ne reçoit plus de courant. Mais il est à redouter qu'en raison de l'énergie cinétique du mécanisme de commande, cette pièce continue sa course malgré l'interruption du circuit.

On évite sûrement cet inconvénient en intercalant un accouplement électrique entre la roue motrice et le dispositif de contact en mouvement. Au moment

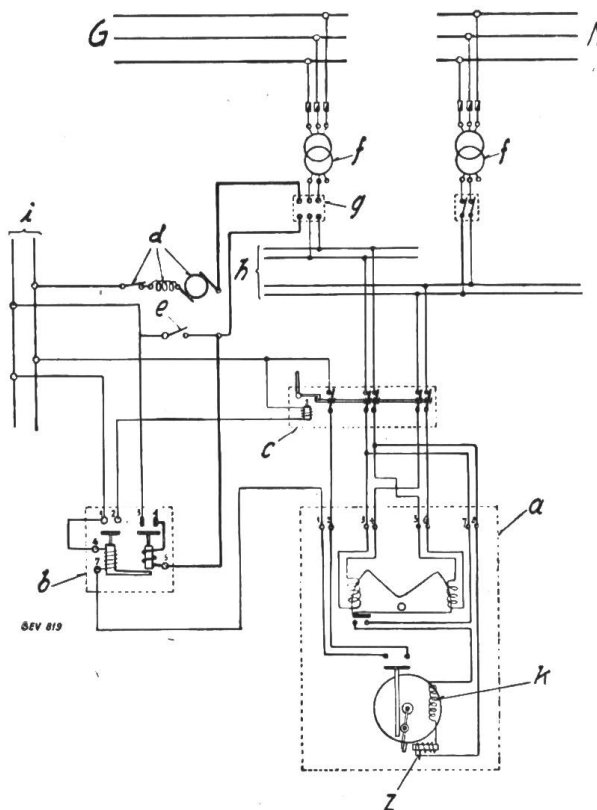


Fig. 6.

Schéma d'un dispositif de mise en parallèle.

- a Relais de couplage en parallèle
- b Contacteur
- c Interrupteur avec bobine de déclenchement
- d Commande à distance de l'interrupteur à huile
- e Contact d'enclenchement pour commande à main de l'interrupteur à huile
- f Transformateur de tension
- g Pêche de synchronisation
- h Barres omnibus de synchronisation
- i Source de courant auxiliaire
- k Bobine de commande
- l Bobine d'accouplement
- G Alternateur
- N Relais

entre la roue motrice et le dispositif de contact en mouvement. Au moment

où l'électro-aimant de l'organe retardateur est mis en circuit, l'électro-aimant d'accouplement avec lequel il est en série reçoit aussi du courant et embraye un accouplement à roue dentée entre la roue motrice et le contact. Si le circuit du relais à temps est coupé par les secteurs, l'électro-aimant d'accouplement l'est aussi et il débraye immédiatement l'accouplement, de sorte que le dispositif de contact retombe à son point de départ sous l'effet de la pesanteur. Quand les battements de tension se suivent rapidement, l'organe retardateur du relais reste donc aussi toujours intercalé dans le circuit. Pour éviter également un faux couplage du relais en cas de manque de tension, de fusion d'un coupe-circuit, etc. . . l'électro-aimant de commande de l'organe retardateur est raccordé à la tension de la génératrice à coupler. La fig. 7 montre l'exécution d'un relais de mise en parallèle décrit ci-dessus.

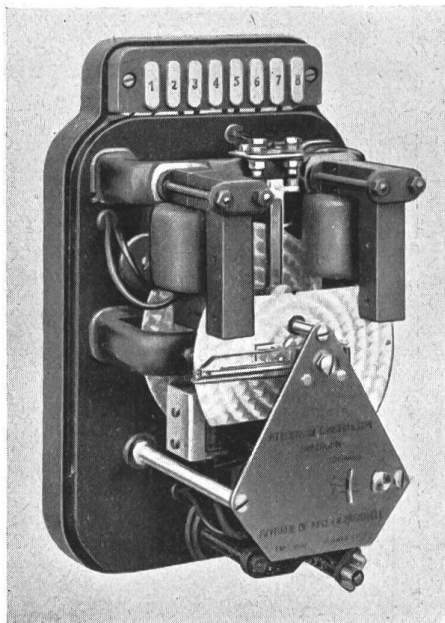


Fig. 7.
Relais de couplage en parallèle.

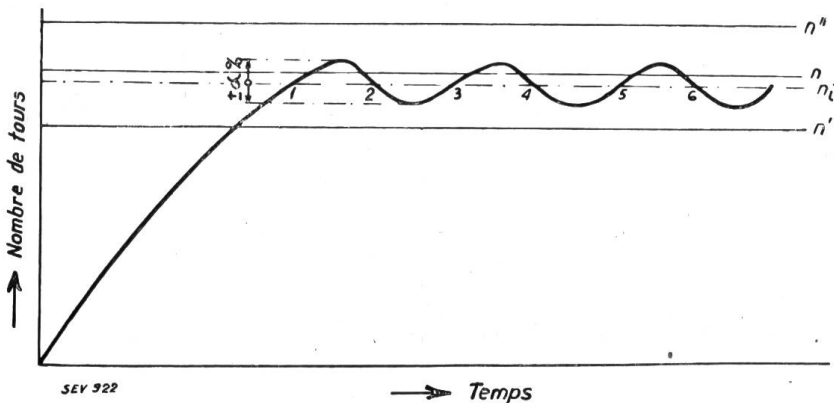


Fig. 8.
Courbe du nombre de tours du groupe à coupler, au démarrage et à la mise en parallèle.

Le démarrage.

Comme le relais de couplage en parallèle ne fait qu'indiquer le synchronisme sans pouvoir le réaliser, il est nécessaire de prévoir des dispositifs spéciaux pour le démarrage des groupes et le réglage au nombre de tours du réseau.

Le premier système connu en Europe partait de la supposition que le synchronisme ne peut être obtenu que si, les vitesses étant les mêmes, les tensions sont en phase, et que le mieux est donc de se placer dans les conditions nécessaires à sa réalisation en faisant passer plusieurs fois la machine par le nombre de tours du réseau.

Le démarrage des unités pour service automatique était donc commandé de telle sorte que le nombre de tours de la machine à coupler atteigne aussi rapidement que possible et dépasse un peu celui du réseau. Ensuite, au moyen d'un relais à pendule raccordé à une dynamo-tachymètre accouplée à la machine,

et plus tard par de simples contacts de commutation au pendule du régulateur de vitesse, on provoquait des variations régulières du nombre de tours de la machine à coupler égales à quelques pourcents du nombre de tours de réseau, de sorte qu'aux points désignés par 1, 2, 3, 4, etc. . . dans la figure 8, c. a. d. là où la courbe du nombre de tours de la machine coupe la droite qui correspond au nombre de tours du réseau, le relais de couplage en parallèle pouvait entrer en action. Cette solution qui en elle-même était très habile, présentait deux graves inconvénients: d'abord c'est précisément en ces points que le nombre de tours de la machine variait le plus rapidement, ce qui occasionnait des battements très courts à allure rapide.

Il fallait donc régler grossièrement le relais ou alors il s'écoulait un temps considérable avant que le couplage ait eu lieu. Ces variations pendulaires de plus ou moins $\alpha\%$ se produisaient en réalité non pas autour du véritable nombre de tours n du réseau, mais autour d'un nombre de tours idéal n_i réglé au régulateur de la turbine, qui correspondait peut être au nombre de tours moyen du réseau. Si le réseau accusait des variations de fréquence un peu trop accentuées, le couplage du groupe automatique devenait parfois impossible, car, comme le montrent par exemple sur la fig. 8 les droites n' et n'' , les variations pendulaires dans le diagramme de démarrage pouvaient ne plus couper la fréquence du réseau. Il n'est même plus possible d'éviter ce grave inconvénient en augmentant l'amplitude des oscillations de vitesse lorsque le nombre de tours du réseau accuse de fortes variations.

La solution technique exacte du problème du démarrage des groupes automatiques peut être obtenue très facilement dès qu'on règle le nombre de tours de la machine primaire, c.à.d. de la turbine hydraulique, d'après la différence qu'il présente par rapport à celui du réseau, c.à.d. dès qu'on donne à la turbine une vitesse d'ouverture proportionnelle à cette différence. Le démarrage a lieu alors suivant une courbe semblable à celle de la fig. 9.

Le nombre de tours croît d'abord très rapidement, puis toujours plus lentement, pour retomber au nombre de tours du réseau après l'avoir légèrement dépassé.

Le démarrage en fonction de la différence de vitesse peut être réalisé de plusieurs manières.

La solution la plus simple consiste à former cette différence de vitesse par un moyen mécanique. On utilise à cet effet un petit engrenage différentiel dont un arbre est entraîné directement ou indirectement par l'alternateur à coupler, l'autre par un moteur synchrone S (fig. 10) raccordé au réseau. La différence de vitesse

des 2 roues planétaires est transmise par l'engrenage à roues droites $S-S'$ à l'arbre 6 qui agit directement sur le régulateur de la turbine. Cette action s'exerce de préférence sur le guidage de rappel du régulateur, de manière à ne pas gêner son réglage. La fig. 11 donne le montage pratique et élégant de l'engrenage différentiel et des deux moteurs-tachymètres.

Pour obtenir la différence de vitesse par un moyen électrique (fig. 12) on a besoin de deux dynamos-tachymètres qui sont actionnées de la même manière que les deux arbres principaux de l'engrenage différentiel.

Les dynamos-tachymètres sont dimensionnées de telle façon que, dans les limites qui entrent en ligne de compte, non seulement leurs vitesses, mais aussi leurs tensions sont exactement proportionnelles d'un côté au nombre de tours du réseau et de l'autre à celui de la machine à coupler. Les induits des dynamos-tachymètres sont connectés entre eux en opposition et en série avec l'induit du moteur habituel de variation du nombre de tours. Les enroulements inducteurs sont tous raccordés à la dynamo-tachymètre T_n ou à une source de courant indépendante (batterie). Il est clair que le moteur de variation du nombre de tours se met à tourner dès que les deux dynamos-tachymètres accusent une différence

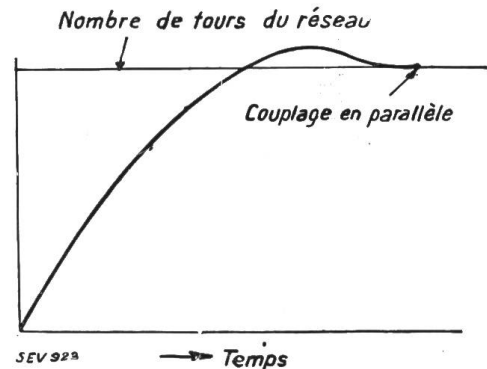


Fig. 9.
Courbe du nombre de tours du groupe à coupler.

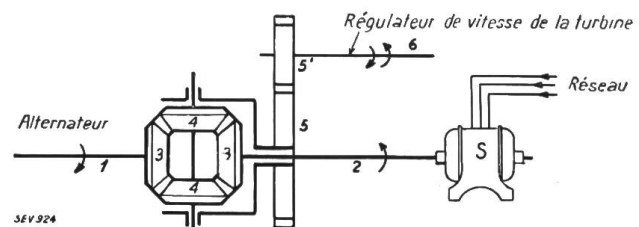


Fig. 10.
Formation de la différence de vitesse au moyen d'un engrenage différentiel.

de vitesse et il tourne d'autant plus vite que cette différence est plus grande. Si elle change de signe, le moteur de variation de vitesse change aussi de sens de rotation. Il agit de la même manière sur l'admission de la turbine par le guidage de rappel du régulateur. Dans ce cas comme dans celui de l'engrenage différentiel la vitesse de la machine à coupler suivra donc aussi la fréquence du réseau et sera ainsi amenée au synchronisme.

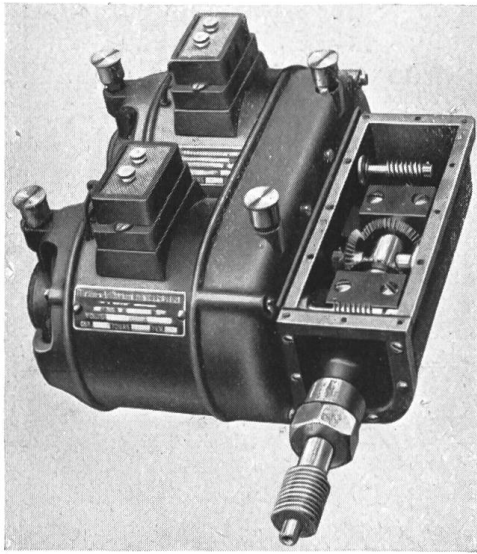


Fig. 11.
Dispositif de réglage de vitesse.

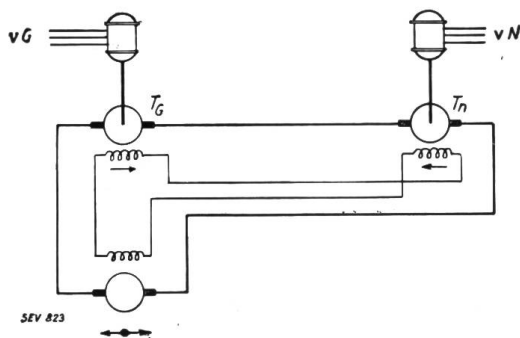


Fig. 12.
Formation de la différence de vitesse
au moyen de dynamos-tachymètres.

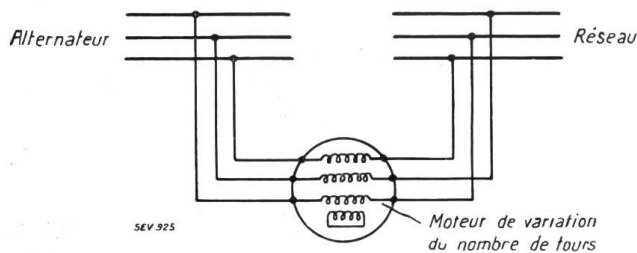


Fig. 13.
Formation de la différence de vitesse au moyen d'un
moteur triphasé.

La différence des nombres de tours peut encore être obtenue par un moyen électromagnétique dans les installations triphasées. Ce moyen consiste en un moteur triphasé, qui est raccordé comme un synchronoscope à aiguille tournante et sert de moteur de variation de vitesse (fig. 13).

Une phase de l'enroulement statorique ouvert est intercalée entre les mêmes pôles du générateur et du réseau et les deux autres sont croisées entre des pôles différents. L'induit du moteur est muni d'un enroulement monophasé court-circuité ou alimenté par du courant continu. Il se forme dans le moteur un champ alternatif pulsatoire qui tourne dans l'espace avec une vitesse correspondant à la demi différence des nombres de tours et entraîne le rotor avec lui.

Cette dernière méthode n'est applicable que dans les installations à courant triphasé, tandis que les deux premières présentent l'avantage d'être applicables dans tous les cas.

En Amérique comme en Europe, il s'est développé des systèmes de démarrage qui diffèrent des trois méthodes sus-mentionnées en ce sens qu'au lieu d'utiliser directement au réglage la différence des nombres de tours, elles font usage d'un appareil intermédiaire. Dans un système bien connu la différence des nombres de tours est également obtenue au moyen d'un engrenage différentiel; mais l'arbre différentiel agit sur un levier commutateur par un accouplement à glissement et commande de la sorte la turbine indirectement au moyen d'un dispositif électrique de variation de vitesse.

Dans un autre système (fig. 14) deux moteurs de même puissance, dont l'un est raccordé à la tension du réseau et l'autre à celle des barres omnibus, sont accouplés rigidement l'un à l'autre. Le moteur qui tourne le plus vite entraîne l'autre comme génératrice et fait passer de l'énergie électrique d'une source de courant à l'autre. Un wattmètre, qui joue le rôle de régulateur de puissance LR , indique le sens d'écoulement du flux d'énergie et règle en conséquence l'admission de la turbine par commutation du moteur de variation de vitesse. Sauf le réglage sans organe de rappel proprement dit, qui donne lieu à des mouvements pendu-

laïres, les méthodes de démarrage indirectes sont plus onéreuses et plus compliquées que les méthodes directes.

Les dispositifs nécessaires au démarrage réglé automatiquement et au couplage en parallèle, même des plus grands alternateurs, sont aujourd'hui si simples et d'un fonctionnement si sûr qu'on sera probablement bientôt amené à les employer aussi dans les installations non automatiques pour soulager le personnel de service et éviter de faux couplages. Du reste, la possibilité de construire des centrales complètement automatiques dépend essentiellement de la sûreté de fonctionnement du dispositif de démarrage et de couplage en parallèle.

Pour bien montrer combien tout l'équipement d'une installation automatique est simple, nous complétons cet exposé par la description d'une usine hydroélectrique à basse pression comprenant 2 alternateurs de 750 kVA, actuellement en montage.

Description du mode de fonctionnement d'une centrale automatique hydroélectrique.

Le mode de fonctionnement de cette centrale est déterminé par les conditions suivantes:

- 1^o Equipement avec des alternateurs synchrones.
- 2^o Mise en marche sans lignes pilotes, par simple mise sous tension de la ligne à haute tension qui relie la centrale automatique à la centrale principale surveillée.
- 3^o Démarrage depuis la turbine.
- 4^o Réglage de la puissance d'après le niveau de l'eau dans le bief amont.

La centrale automatique est prévue pour fonctionner sans aucune surveillance. La mise en route et l'arrêt peuvent avoir lieu automatiquement en fonction du temps et du niveau de l'eau dans le bief amont, ou encore par l'intervention de la direction du service sans aucune ligne pilote, par simple fermeture ou ouverture de la ligne à haute tension qui raccorde l'installation sans surveillance à la centrale principale.

En tous cas, toutes les manœuvres nécessaires s'effectuent exactement comme dans une centrale surveillée. Leur ordre de succession est assuré par le fait que chaque manœuvre déclenche celle qui la suit. Il résulte de là un verrouillage qui exclut les faux couplages encore mieux que dans une installation surveillée.

Pour faire marcher une centrale automatiquement, il suffit de quelques relais supplémentaires à l'équipement d'une installation moderne et de quelques organes qui complètent la partie hydraulique. Dans le cas présent, il s'agit d'une centrale à basse pression, au fil de l'eau, dont la puissance doit se régler sur le débit disponible. C'est pourquoi il a été admis un réglage de la puissance d'après le niveau de l'eau dans le bief amont. Mais si une centrale offre la possibilité d'accumuler de l'énergie et qu'on veuille en profiter, on l'exploite comme usine principale avec des turbines à admission constante, ou comme usine de pointes avec des turbines dont on règle uniquement la vitesse. Dans les deux cas, le réglage d'après le niveau de l'eau dans le bief amont est remplacé par la limitation de la puissance, respectivement par la mise en marche et l'arrêt en fonction du niveau de l'eau.

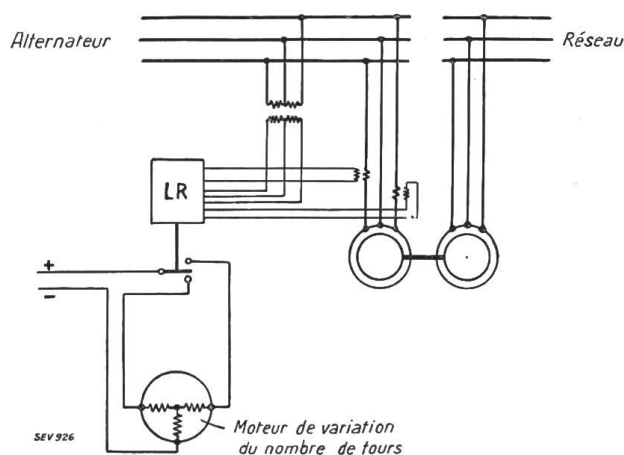


Fig. 14.

Formation de la différence de vitesse au moyen de moteurs accouplés et d'un régulateur de puissance LR.

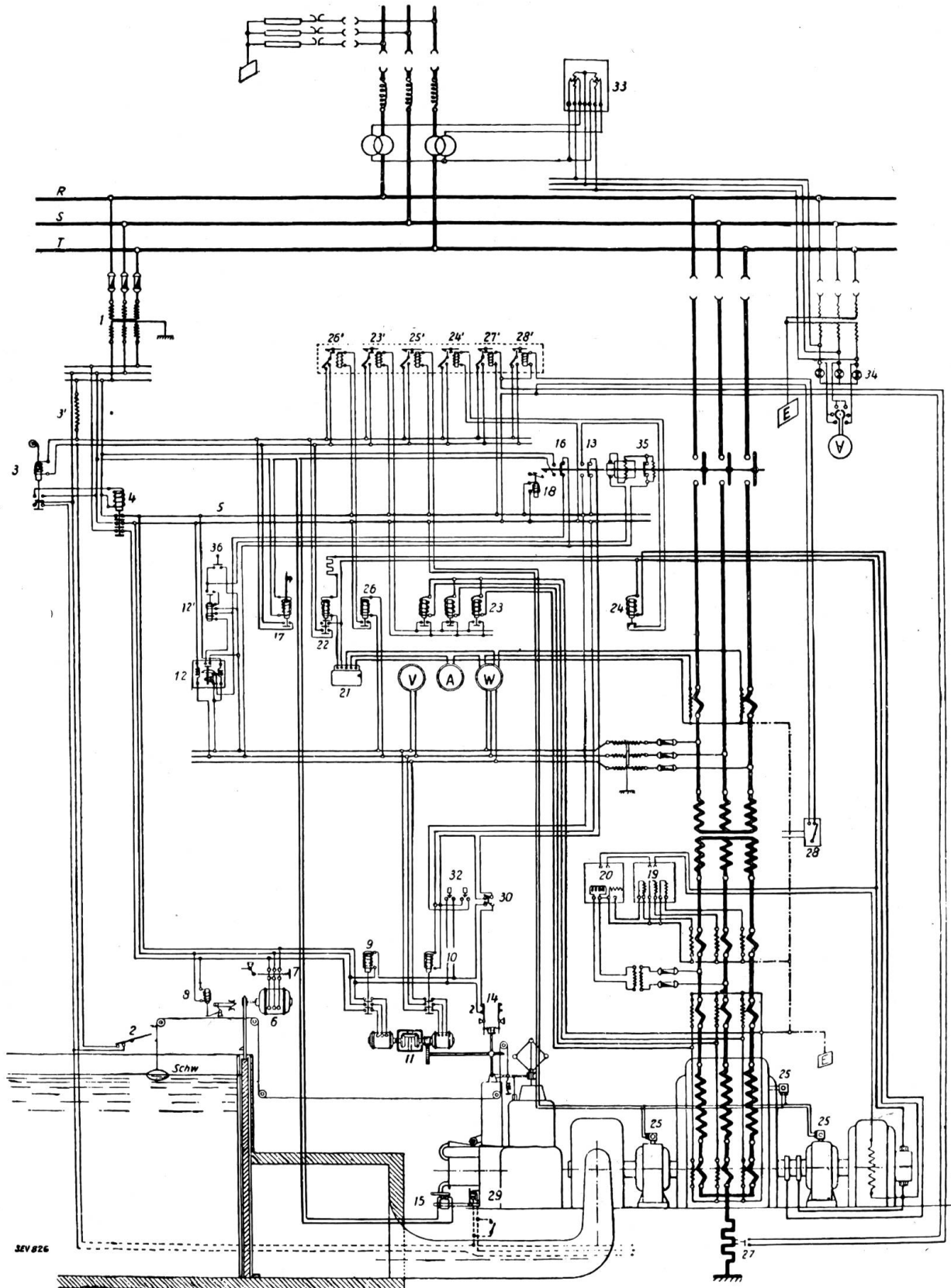


Fig. 15.

Centrale automatique hydro-électrique. Installation à basse pression.

Mode de fonctionnement:

- A. Mise en service par mise sous tension de la ligne à haute tension.
- B. Démarrage depuis la turbine.
- C. Réglage de la puissance en fonction du niveau de l'eau dans le bief amont (réglage par flotteur).

(Suite de la légende à la page 371.)

Pour le réglage des turbines d'après le niveau de l'eau on a choisi de simples flotteurs qui agissent sur le régulateur par une transmission mécanique. Le démarrage ou l'arrêt des différentes turbines dépend du degré de charge du groupe déjà en marche. Le régulateur de vitesse est muni d'une pompe à huile sous pression, commandée par courroie et du dispositif habituel de variation du nombre de tours, avec moteur électrique, par lequel l'appareil distributeur peut être complètement ouvert ou fermé.

Comme il s'agit d'une installation à basse pression, il faut utiliser pour la commande de l'organe de fermeture de la turbine un moteur électrique à la place du servo-moteur hydraulique ordinairement employé dans les installations à haute pression. La vanne se ferme par son propre poids, renforcé par une surcharge ou un ressort additionnel.

La partie électrique ne comporte que quelques relais supplémentaires. Comme toute installation moderne, la centrale automatique est munie d'un régulateur de tension et éventuellement d'un dispositif de protection contre les surintensités, d'une protection sélective pour l'alternateur et son transformateur (relais différentiel), d'une commande à distance pour l'interrupteur de l'alternateur et d'un dispositif de synchronisation.

Mise en marche.

Pour mettre en route la centrale automatique, on ferme dans la centrale principale l'interrupteur à huile de la ligne haute tension qui relie les deux usines. Les barres omnibus de la centrale automatique et le transformateur de station 1 sont alors sous tension (fig. 15).

Tant que la partie hydraulique de l'installation est en ordre, c. à d. tant que les vannes et en particulier celles de marche à vide sont étanches, l'eau atteint son niveau normal et le flotteur 2 ferme le circuit du relais d'enclenchement à action différée. Celui-ci attire son armature et, lorsque le temps pour lequel il est réglé est écoulé, il met sous tension, par le relais 4, les barres omnibus auxiliaires auxquelles sont raccordés tous les relais et toutes les bobines d'enclenchement et de déclenchement.

Le moteur de levage 6 de la vanne de la première turbine démarre immédiatement, car il est alimenté directement par les barres auxiliaires et son interrupteur de fin de course 7 est fermé. La vanne de la turbine est soulevée lentement jusqu'à sa position supérieure, où elle est retenue par un cran d'arrêt commandé par un électroaimant 8. Dès que cet électroaimant n'est plus sous tension, le cran d'arrêt s'efface et la vanne se ferme. Tandis qu'elle s'ouvre lentement, la turbine qui est encore ouverte depuis le dernier arrêt se met en marche. La pompe à huile sous pression du régulateur de vitesse, qui est entraînée par courroie, démarre avec elle

Suite de la légende de la fig. 15.

1 Transformateur de station	21 Relais à maximum de courant
2 Contact à débit d'eau minimum	22 Relais de tension d'excitation
3 Relais d'enclenchement à action différée	23 Relais différentiel
3' Résistance additionnelle	23' Relais à volet du relais différentiel
4 Contacteur d'enclenchement	24 Relais à maximum du courant d'excitation
5 Barres omnibus auxiliaires	24' Relais à volet du courant d'excitation
6 Moteur de levage	25 Contact thermique
7 Interrupteur de fin de course du moteur de levage	25' Relais de température à volet
8 Electroaimant de blocage	26 Relais à tension maximum
9 Relais de moteur de variation de vitesse	26' Relais à volet du relais à tension maximum
10 Relais de moteur de variation de vitesse	27 Contact thermique
11 Dispositif de variation de vitesse	27' Relais thermique à volet
12 Appareil de couplage en parallèle	28 Appareil de protection Buchholz
12' Contacteur de l'appareil de mise en parallèle	28' Relais à volet pour protection Buchholz
13 Contact de commutation sur l'interrupteur de l'alternateur	29 Interrupteur de charge maximum
14 Contact d'arrêt	30 Interrupteur pour commande à main
15 Interrupteur à charge minimum	32 Bouton-poussoir pour réglage de la vitesse à la main
16 Commutateur auxiliaire sur l'interrupteur à huile	33 Compteur
17 Relais de déclenchement à action différée	34 Dispositif de contrôle de l'isolement
18 Bobine à tension nulle sur l'interrupteur à huile	35 Commande à distance de l'interrupteur à huile
19 Régulateur de courant	36 Interrupteur à bouton-poussoir pour commande de l'interrupteur
20 Régulateur de tension	

et, avant d'atteindre la moitié de la vitesse normale, elle a déjà une pression suffisante pour permettre au régulateur de fonctionner. A la mise sous tension des barres omnibus auxiliaires 5, les relais 9 et 10 des moteurs du dispositif de variation de vitesse 11 attirent leur armature et mettent en circuit ce dispositif de telle sorte que sa vitesse est toujours proportionnelle à la différence entre la fréquence du réseau et celle du groupe qui démarre. Il commence donc par tourner très vite et ferme la turbine par le guidage de rappel du régulateur au moyen d'un servomoteur, dès que sa courbe de vitesse coupe la droite correspondant à la fréquence du réseau. Après un léger dépassement du nombre de tours définitif, réglable par la vitesse d'ouverture de la vanne, la turbine atteint asymptotiquement le nombre de tours du réseau. La vitesse du groupe à coupler suit alors constamment la fréquence du réseau et est ainsi amenée au synchronisme. La tension de l'alternateur est réglée automatiquement par un régulateur 20, de sorte qu'il n'y a plus qu'à attendre qu'il y ait concordance de phases.

L'appareil de couplage en parallèle 12 détermine le moment du synchronisme et dès que les battements sont assez lents, couple les machines en parallèle avec le réseau.

Avec ce couplage on obtient un démarrage sûr et une mise en parallèle facile sans à-coup, entièrement indépendante de la grandeur absolue de la fréquence du réseau.

Le groupe marche alors en parallèle avec le réseau et il ne reste plus qu'à le charger. A cet effet, le contact de commutation 13 sur l'arbre de l'interrupteur de l'alternateur met hors circuit le relais 10 du moteur de variation de vitesse. De ce fait, le dispositif de variation de vitesse ouvre alors la turbine, avec une vitesse constante, jusqu'à ce que, à l'admission totale, le contact de fin de course 14 mette également hors circuit le relais 9. A partir de ce moment, le réglage de la charge du groupe s'effectue par le flotteur, d'après le débit d'eau, c. à d. à niveau constant de l'eau dans le bief amont. Il suffit que le réglage par le flotteur maintienne le contact de fin de course 14, de sorte qu'il s'ouvre dès que l'admission de la turbine correspond au débit d'eau de la rivière.

Arrêt.

L'arrêt peut être obtenu :

- a) intentionnellement en service normal, et
- b) automatiquement en cas de perturbation.

a) *L'arrêt voulu en service normal*, s'obtient depuis la centrale principale en ouvrant l'interrupteur à huile de la ligne qui conduit à la centrale automatique. De cette façon la turbine est déchargée et le régulateur de vitesse la ferme jusqu'à l'admission nécessaire pour couvrir les pertes à vide du groupe. Dans cette position, l'interrupteur de charge minimum 15 est fermé et comme l'interrupteur auxiliaire 16 sur l'interrupteur à huile est également fermé, le relais de déclenchement à temps 17 entre en action. Ce relais empêche l'arrêt complet de la centrale automatique en cas de variation de charge et son retardement est réglé de telle sorte qu'à la mise en marche, il ne peut pas agir dans le laps de temps compris entre le couplage en parallèle et la mise en charge du groupe. A l'arrêt, en arrivant au bout de sa course, il shunte le relais d'enclenchement à temps 3 qui laisse tomber son armature et par là, coupe la tension des barres omnibus auxiliaires 5. L'électroaimant 8 dégage le cran d'arrêt de la vanne qui s'abaisse et ferme la turbine. Comme sa bobine à tension nulle 18 n'est plus sous tension, l'interrupteur à huile déclenche. L'interrupteur de fin de course 7 du moteur de levage de la vanne se ferme, mais le moteur même reste sans courant jusqu'à ce que le relais 3 ou 4 se referme. Le groupe est alors complètement arrêté, mais prêt à être remis en marche dès que la ligne qui le relie à la centrale principale se trouve de nouveau sous tension.

b) *L'arrêt automatique en cas de perturbation* a lieu exactement de la même façon, avec cette différence que le court-circuitage du relais à temps 3 ne s'effectue pas par l'interrupteur à minimum 15 ni par le relais à temps 17, mais par le relais de protection qui décèle la perturbation.

On peut distinguer deux sortes de perturbations à la suite desquelles la centrale automatique peut être arrêtée.

1^o *Perturbations extérieures.* Celles-ci sont de nature passagère et peuvent consister en manque d'eau, en courts-circuits et en fortes variations de tension sur le réseau.

Si le niveau de l'eau baisse d'une manière inadmissible par suite de manque d'étanchéité ou parce que la vanne de marche à vide est ouverte, etc. — le flotteur ouvre le contact 2 et interrompt le circuit du relais d'enclenchement 3 jusqu'à ce qu'il y ait de nouveau assez d'eau.

En cas de court-circuit sur le réseau, le dispositif de protection contre les surintensités 19 entre d'abord en fonction et réduit à une valeur déterminée, par exemple 1,5 fois le courant normal, le courant de court-circuit provenant de la centrale automatique. Si le court-circuit a une durée supérieure au temps pour lequel le relais à maximum 21 est réglé (par ex. 8 secondes), ce dernier réagit et shunte le relais d'enclenchement 3 au moyen d'un relais 22 raccordé à la tension de l'excitatrice. Ce relais accuse une tension de déclenchement très basse et lorsque le groupe mis hors-circuit va s'arrêter, il retient son armature pendant un temps relativement long. On obtient ainsi un certain intervalle entre la mise hors-circuit par le relais à maximum et la remise en marche éventuelle quand la tension réapparaît sur le réseau, de sorte que les courts-circuits intermittents n'occasionnent pas de phénomènes pulsatoires dans la centrale automatique. Bien que le relais 22 ne possède aucun organe de retardement, il fonctionne comme un relais à temps.

Les fortes chutes de tension sur le réseau ont les mêmes effets que les courts-circuits.

Si la centrale est arrêtée automatiquement par suite de perturbation extérieure, elle doit toujours l'être de manière qu'elle reprenne automatiquement sa marche dès que la perturbation a disparu.

2^o *Perturbations intérieures.* Elles peuvent être de nature électrique ou mécanique: courts-circuits, contacts entre spires ou à la masse, dans l'alternateur ou son transformateur, défauts dans l'excitatrice, dans les paliers de la turbine ou de l'alternateur, dans le régulateur de vitesse, etc. Toutes ces défauts présentent le même caractère de permanence, de sorte qu'il est nécessaire d'empêcher que la centrale reprenne automatiquement sa marche jusqu'à ce qu'on ait pu reviser l'installation et remédier au défaut.

La mise en court-circuit du relais d'enclenchement 3 ne s'effectue pas directement par le relais de protection correspondant, mais par des relais à volet qui, non seulement localisent le défaut, mais empêchent aussi le groupe de démarrer.

En cas de court-circuit dans l'alternateur ou dans son transformateur, c'est la protection sélective (protection différentielle 23) qui réagit. Si l'excitatrice accuse un défaut, le relais à minima du courant d'excitation 24 entre en action et entraîne l'arrêt de la centrale. En cas de perte à la terre de longue durée, le contact thermique 27 se ferme et occasionne l'arrêt par le relais 27'.

Les défauts de palier susceptibles d'entraîner une élévation de température font agir les contacts thermiques 25 qui commandent un relais à volet commun 25'. Le défaut est localisé par les contacts thermiques mêmes, qui sont tous munis d'un dispositif de verrouillage et d'un volet indicateur.

Des contacts thermiques peuvent aussi être prévus dans l'huile du transformateur, dans le fer ou dans les canaux de ventilation de l'alternateur. Lorsqu'on veut mesurer et surveiller directement la température des enroulements, il est nécessaire de recourir à un couplage en pont pour courant alternatif avec transformateurs isolants.

Le régulateur de vitesse est généralement construit de telle sorte qu'en devenant défectueux il ferme la turbine quand elle marche seule, c. a. d. au démarrage. Si tel n'est pas le cas ou que le dispositif de protection hydraulique ne fonctionne plus, le groupe peut s'emballer. Il en résulte une augmentation rapide et considérable de la tension, que le régulateur de tension ne peut plus maîtriser. C'est alors que réagit le relais de tension maximum 26 indépendant de la fréquence, qui arrête la centrale et la met hors-circuit.

Cette mise hors-circuit de la centrale automatique se constate aux wattmètres dans la centrale principale. Il convient alors de procéder à une revision. On reconnaît immédiatement, à la position des volets sur le tableau de dérangement, l'endroit où se trouve le défaut qui a causé l'arrêt et on épargne de la sorte un temps précieux. Après avoir éliminé le défaut et relevé les volets, on remet automatiquement la centrale en marche en fermant l'interrupteur de ligne dans la centrale principale.

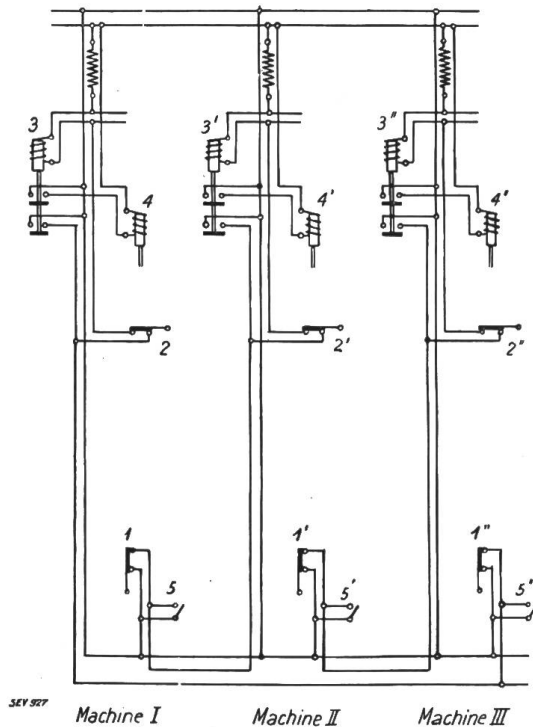


Fig. 16.

Centrale automatique hydro-électrique avec plusieurs alternateurs synchrones.

Schéma pour le couplage successif des différents groupes.

1. Interrupteur à charge maximum
2. Contact à débit d'eau maximum
3. Relais d'enclenchement à action différée

Centrale automatique équipée avec plusieurs alternateurs.

Lorsque la centrale est équipée avec plusieurs alternateurs, leur mise en route successive dépend de la quantité d'eau disponible, c'est-à-dire de la charge du ou des groupes déjà en marche. A l'appareil de réglage muni du contact de charge minimum 15, on ajoute alors un contact de charge maximum 29 qui, pour la turbine fonctionnant comme seconde, troisième ou $n^{\text{ème}}$ machine, joue le même rôle que le contact à flotteur pour la première turbine. La fermeture du circuit du relais d'enclenchement de la turbine suivante s'effectue indirectement par l'intermédiaire d'un relais d'enclenchement à temps 3, de sorte que les à-coups de charge de courte durée ne peuvent entraîner aucune modification de couplage. Lorsque son temps de retardement est écoulé, le relais 3 ferme non seulement le circuit du relais d'enclenchement 4, mais encore un circuit

par lequel il shunte le contact de charge maximum 29 de la turbine précédente, tant que la charge des groupes en marche est inférieure à $\frac{1}{n}$ fois leur pleine charge.

Le couplage de chaque groupe est identique à celui décrit précédemment, de sorte que la mise en marche et l'arrêt s'effectuent de la même manière.

Le contact de charge minimum de la première turbine doit être réglé pour la marche à vide; le contact de la seconde turbine pour la demi-charge; celui de la troisième turbine, pour le tiers; celui de la $n^{\text{ème}}$ turbine, pour le $n^{\text{ème}}$ de la pleine charge.

La fig. 16 donne un exemple du schéma de connexion pour la mise en route successive des différents groupes d'une centrale automatique. 1 est le contact de charge maximum; 2, le contact d'arrêt qui ne s'ouvre qu'en cas de perturbation dans l'installation génératrice de l'agent producteur de force motrice (par exemple chute de pression inadmissible, ici contrôle du niveau de l'eau par le flotteur), mais

qui autrement reste fermé; 3 est l'organe retardateur, 4 le relais d'enclenchement qui commande la mise en marche.

Si le groupe 1, par suite d'arrivée abondante de l'agent de force motrice, marche à pleine charge, le contact 1 se ferme. De ce fait le circuit de l'organe retardateur 3' est fermé par le contact 2'. Ce relais exerce une traction sur son armature et maintient son circuit fermé par le contact inférieur, tandis que par le contact supérieur il ferme le relais d'enclenchement 4'. Le groupe 2 se met alors automatiquement en marche et sa charge se règle sur l'arrivée de l'agent de force motrice.

Pour que le premier groupe puisse démarrer, il faut que le contact de charge maximum du dernier groupe soit toujours fermé, même si ce groupe n'est pas en marche. Cela s'obtient au moyen d'un interrupteur de shuntage 5 commandé à la main.

Afin de pouvoir choisir à volonté l'ordre dans lequel les différents groupes doivent être mis en marche, il convient de prévoir pour chacun d'eux un interrupteur 5.

L'ordre des démarrages et des arrêts est fixé pour une certaine période, mais on peut le modifier à tout moment d'une manière quelconque en réglant les contacts de charge minimum et en fermant l'interrupteur 5.

Sur le tachogramme de la fig. 17, pris dans une centrale automatique qui sera montrée à l'exposition internationale 1929 de Barcelone¹⁾, l'on voit très clairement comment fonctionne le dispositif de réglage de la vitesse et dans quel laps de temps très court a lieu la mise en parallèle automatique.

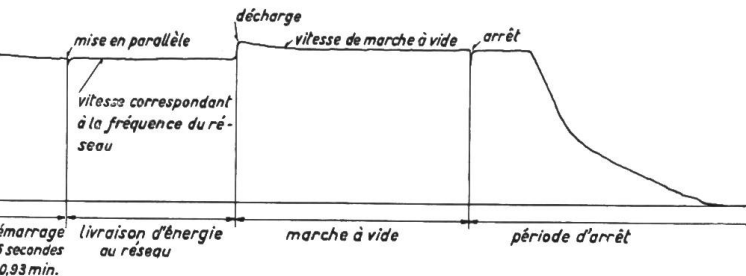


Fig. 17.

Tachogramme pris à une centrale automatique.

Service surveillé.

La centrale automatique peut, sans autres difficultés, être commandée à la main dans la mesure désirée. L'interrupteur 30 étant ouvert, on peut régler le nombre de tours à la main et procéder à la mise en parallèle au moyen du synchronoscope, l'interrupteur à huile pouvant aussi être fermé par le bouton poussoir 36 au moyen de sa commande à distance 35.

Die Elektrizitätsindustrie an der XIII. Schweizer Mustermesse in Basel.

Vom Generalsekretariat des S. E. V. und V. S. E.
(Ing. M. Baumann).

(09) 621.3

Die diesjährige dreizehnte Mustermesse, welche vom 13. bis 23. April in Basel stattfand, zeigte gegenüber dem Vorjahre eine kleine Abnahme der Ausstellerzahl (1083 : 1106). Von den unter der Gruppe „Elektrizitätsindustrie“ zusammengefassten Firmen waren dieses Jahr 23 nicht mehr vertreten, welche im Jahre 1928 ihre Produkte an der Messe ausstellten. An ihre Stelle sind 16 andere Firmen getreten, welche im Vorjahre nicht, wohl aber zum Teil schon in früheren Messen zu den Ausstellern zu rechnen waren. Bemerkenswert ist, dass zu diesen Firmen auch die der Grosselektromaschinenindustrie angehörende Firma Brown, Boveri & Cie. zu zählen war, womit diese Industrie mit der S. A. des Ateliers de Sécheron zusammen zwei Vertreter an der diesjährigen Mustermesse aufwies.

Im folgenden versuchen wir, einige Eindrücke wiederzugeben, die uns ein Besuch der Gruppe „Elektrizitätsindustrie“ an der diesjährigen Mustermesse hinterlassen

1) Voir Bulletin A. S. E. 1929, No. 12, page 401.