

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 32 (1941)
Heft: 26

Artikel: Les télémesures appliquées au télé réglage des réseaux interconnectés
Autor: Pelpel, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060067>

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: 16.01.2026

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

Mit den Fernsteuerungseinrichtungen ist man heute viel weiter als in grossen Fachkreisen angenommen wird. Die Sicherheit der Anlagen ist sehr gross. Falschschaltungen sind uns bis anhin trotz

der vielen tausend Schaltungen, die durch unser Fernsteuerungssystem verarbeitet wurden, keine vorgekommen.

Les télémesures appliquées au télé réglage des réseaux interconnectés.

Communication faite le 14 décembre 1940, à Zurich, en séance de l'ASE,
par J. Pelpel, Paris.

621.317.083.7 : 621.398.2

Le réglage Fréquence-Puissance de grands réseaux interconnectés a été exposé à l'Assemblée de Discussion de l'ASE en 1937¹⁾. Ce réglage ne peut être réalisé qu'à l'aide de la Télémessure et du Télé réglage. Les systèmes et appareils étudiés et construits par la Cie des Compteurs, S. A., sont décrits et leur application et fonctionnement sont exposés selon les différentes conditions d'exploitation susceptibles de se présenter.

Das Problem der komplexen Frequenz- und Leistungsregulierung grosser Kraftwerksverbände, das Gegenstand einer Diskussionsversammlung des SEV im Jahre 1937 war¹⁾, wird erläutert. Es kann nur durch Fernmessung und Fernregulierung gelöst werden. Die von der Compagnie des Compteurs hierfür entwickelten Systeme und Apparate werden beschrieben und deren Anwendung und Funktionieren bei verschiedenen Betriebszuständen wird erklärt.

Nous nous proposons de décrire les appareils de télémessure et les régulateurs secondaires qui permettent d'assurer le réglage d'un réseau interconnecté. Les conditions du problème ont déjà fait l'objet de nombreuses discussions; rappelons les cependant brièvement:

Soit un complexe A comportant des générateurs et des consommateurs, lié par une artère ab à un deuxième complexe B qui comporte, également, des générateurs et des consommateurs (fig. 1). Une première solution au réglage de ces deux complexes consiste à ne faire régler la fréquence que par un seul générateur ou groupe de générateurs situés dans l'un des complexes, tous les autres générateurs fonctionnant alors à ouverture maximum et à puissance fixe. Ce mode de réglage est appelé: réglage par machine pilote; il a souvent été adopté.



Fig. 1.

Cependant, le défaut de cette solution réside dans le fait que toutes les variations de charge doivent être absorbées par une même machine ou une même centrale. Lorsque l'interconnexion s'étend, les amplitudes de variations de charge sont telles que, d'une part, les machines réglantes fatiguent énormément et travaillent à mauvais rendement, d'autre part, que les échanges sur les lignes d'interconnexion subissent de grosses variations qui peuvent dépasser la capacité de transport de ces lignes de liaison. Dans ces conditions, on a cherché un système de réglage permettant à chaque complexe de régler les variations de charge de ses propres consommateurs à l'exclusion de toute autre.

Mais l'expérience prouve qu'il n'est pas possible de conduire un tel réglage en se basant uniquement sur l'indication de fréquence. En effet, les régulateurs primaires et secondaires n'ont pas exactement la même rapidité de réponse et, de ce fait, on risque d'amorcer des glissements de charge entre les deux réseaux. Pour limiter l'amplitude de

ces glissements, on est amené à tenir compte de la puissance échangée sur l'artère de liaison ab .

La première idée qui apparaît est alors de régler d'une façon telle que la puissance d'interconnexion reste fixe et égale à une valeur définie par programme; mais cette solution est encore imparfaite. Supposons en effet, que le complexe A soit exportateur d'énergie vers le complexe B . Si, à un instant donné, un appel de charge apparaît dans le complexe A , la puissance exportée tendra à diminuer. Le complexe B , dont le réglage était supposé correct, tendra à diminuer sa production, de façon à ramener la puissance d'interconnexion conforme au programme. Cette action est contraire à l'intérêt général, la charge totale des deux réseaux ayant au contraire augmenté.

On remédie à cet inconvénient en tenant compte à la fois de l'écart de puissance sur l'interconnexion et de l'écart de fréquence. On règle alors en fonction de

$$\Delta P + K \Delta f$$

ΔP étant l'écart de puissance, Δf l'écart de fréquence et K un coefficient réglable dépendant du statisme de chacun des complexes.

Si nous reprenons l'exemple précédent pour un appel de charge du complexe A , la puissance livrée au complexe B tend à diminuer et la fréquence tend également à baisser, l'écart à compenser par le complexe A est alors:

$$\Delta P + K_1 \Delta f$$

dans lequel ΔP et Δf sont de même signe et s'ajoutent arithmétiquement, ce qui tend à produire une compensation d'autant plus rapide.

Au contraire, dans le complexe B consommateur, ΔP et Δf sont de signes opposés et, si le coefficient K_2 est judicieusement choisi, la fonction du réglage $\Delta P + K_2 \Delta f$ s'annule pour ce deuxième réseau. Ce dernier ne modifiera pas la position d'ouverture des vannes de ses machines et, ainsi, laissera le temps au réseau A d'assurer son réglage et d'absorber l'écart qu'il a à compenser.

Dans le cas où l'interconnexion s'étend et où le complexe A n'est plus relié à un seul réseau B ,

¹⁾ Bulletin ASE 1937, No. 22, p. 525.

mais à plusieurs: C , D , etc., on effectue le réglage en fonction de la somme des écarts de puissance sur les artères d'interconnexions et la fonction du réglage devient:

$$\Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 \text{ etc. } \dots + K_1 \Delta f = 0$$

dans laquelle ΔP_1 , ΔP_2 , ΔP_3 sont les écarts de puissance par rapport aux programmes prédéterminés sur chacune des artères de liaison ab , ac , ad , etc... (fig. 2).

Pour effectuer un tel réglage on doit donc sommer les puissances échangées aux frontières du complexe considéré et les comparer à la somme des programmes prédéterminés. Ces opérations doivent être faites dans un poste de répartition situé, autant que possible, au centre géographique du complexe considéré. Cet emplacement est celui qui généralement conduit aux frais d'équipement les plus réduits. Le poste de répartition doit connaître, à chaque instant, d'une façon permanente et instantanée les puissances livrées aux frontières du réseau qu'il commande, d'où la nécessité de télémesures.

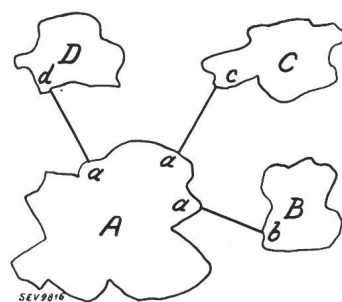


Fig. 2.

Examinons succinctement les différents systèmes de télémesures que nous vous proposons:

I. Télémessure à courant proportionnel par fils pilotes.

Dans le cas où l'on dispose de fils pilotes spécialisés entre le point de mesure et le centre de répartition, nous proposons un système dit à courant proportionnel dans lequel on engendre un courant continu dont l'intensité est proportionnelle à la puissance mesurée. Ce courant est mesuré à distance au moyen d'un ampèremètre à cadre mobile et à aimant du type courant, gradué en MW. La fig. 3 représente le schéma général de l'appareil; sa description de principe est la suivante:

1° La mesure est faite à l'aide d'un élément wattmétrique du type à induction qui engendre un couple proportionnel à la puissance mesurée.

2° On oppose à ce couple celui développé par un cadre mobile de milliampèremètre se déplaçant dans le champ d'un aimant permanent et parcouru par le courant de la télémesure.

3° L'ensemble mobile de ces deux éléments est solidaire d'un cadre qui forme induit et se déplace dans le champ magnétique créé par un inducteur alimenté en courant alternatif.

4° Cet induit est relié aux grilles de contrôle d'un système amplificateur détecteur à lampes qui engendre le courant de télémesure.

Le fonctionnement de l'ensemble est le suivant:

L'équipage mobile est soumis, d'une part, au couple développé sur le disque de l'élément actif wattmétrique, proportionnel à la puissance mesurée, et, d'autre part, au couple antagoniste propor-

tionnel au courant continu traversant le cadre de l'élément ampèremétrique. Ce dernier courant est engendré par la lampe triode qui amplifie et détecte le courant induit dans le cadre de l'élément de réglage par le flux alternatif qui le traverse.

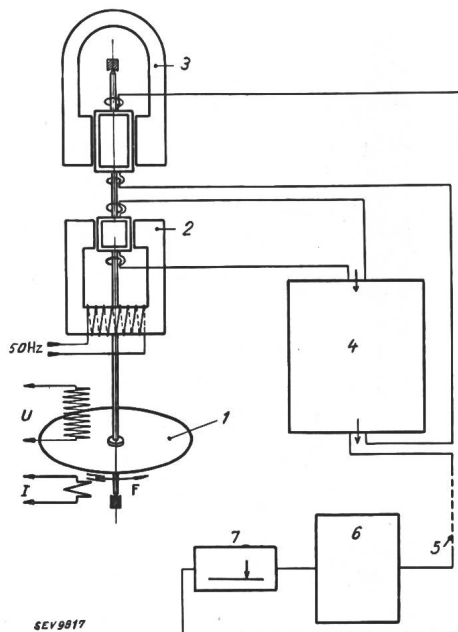


Fig. 3.

Appareil du système de télémesure à courant proportionnel. 1 Élément actif wattmétrique. 2 Élément de réglage. 3 Élément antagoniste galvanométrique. 4 Amplificateur détecteur. 5 Fils pilotes. 6 Récepteur téléwattmétrique enregistreur. 7 Récepteur téléwattmétrique indicateur.

Ce flux étant variable avec la position de l'équipage mobile, il en est de même du courant qui traverse le cadre antagoniste.

Le couple de réaction de l'élément à inductance variable peut être considéré comme négligeable, du fait que le circuit de l'induit se ferme sur l'impédance cathode grille des lampes de l'amplificateur, qui est très élevée.

L'équipage atteint sa position d'équilibre, lorsque les couples des éléments moteur et antagoniste sont égaux. Supposons, en effet, qu'à un moment donné le couple de l'élément wattmétrique soit, par exemple, prépondérant: l'équipage mobile pivote dans le sens de la flèche. La tension induite sur le cadre de l'élément à inductance variable, ainsi que le courant continu engendré, croissent jusqu'au moment où il y a égalité entre le couple de l'élément actif wattmétrique et celui de l'élément antagoniste ampèremétrique; à cet instant, le système a atteint une position d'équilibre.

Si, au contraire, le couple de l'élément antagoniste est prépondérant, l'équipage mobile pivote en sens inverse et vient chercher une autre position d'équilibre.

Lorsque l'équilibre est atteint, il est stable et le courant continu qui traverse l'élément antagoniste et l'appareil de réception branché en série avec lui, est proportionnel à la puissance mesurée.

Si la tension de la source auxiliaire, le pouvoir amplificateur des lampes ou la résistance de la ligne de liaison avec l'appareil récepteur varient, la posi-

tion d'équilibre de l'appareil transmetteur peut changer pour une même valeur de la puissance; mais lorsque l'équilibre est atteint, la condition de proportionnalité, entre le courant continu engendré et la puissance, est toujours réalisée, de sorte que les

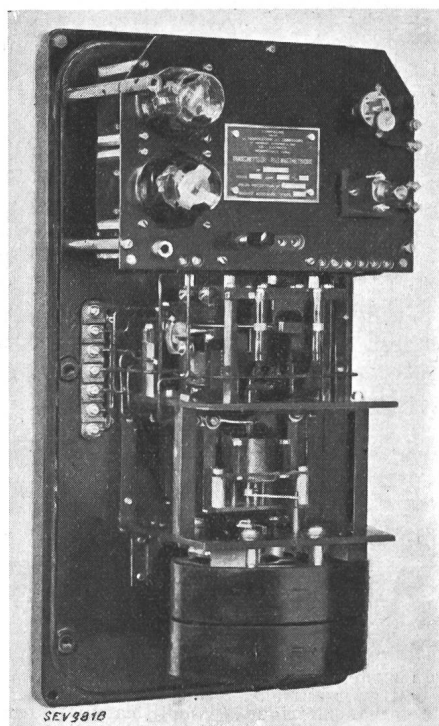


Fig. 4.
Transmetteur type EWG 22.

indications fournies sont indépendantes de ces variations.

La fig. 4 représente un transmetteur type EWG 22 destiné à la télémesure d'une puissance d'interconnexion. Il comprend:

1° L'amplificateur à lampes alimenté par la source auxiliaire à 50 Hz.

2° A la partie supérieure de l'ensemble de mesure, l'élément actif wattmétrique qui comporte deux électro-moteurs et permet la mesure en triphasé non équilibré.

3° A la partie médiane l'élément de réglage à inductance variable dont les inducteurs sont alimentés par la source auxiliaire à 50 Hz.

4° A la partie inférieure l'élément antagoniste du type Meylan, parcouru par le courant continu engendré.

Dispositif amplificateur.

Lorsque la puissance à mesurer ne change pas de sens, le dispositif amplificateur ne comporte qu'une seule lampe; il en comporte au contraire deux lorsque la puissance à mesurer peut s'écouler dans un sens ou dans un autre. Dans ce dernier cas, le schéma de l'amplificateur est tel que la polarité du courant continu engendré dépend du sens de la puissance mesurée; le fonctionnement en est le suivant:

Les deux lampes sont montées en opposition, c'est-à-dire que la cathode de l'une est reliée à l'anode de l'autre et inversement. Les alimentations anodiques sont fournies par la source auxiliaire à 50 Hz. Soit sur la fig. 5, u_a la sinusoïde figurant la

tension d'alimentation. Pour l'une des lampes, la tension anodique est représentée par cette courbe u_a alors que le potentiel cathodique est figuré par l'axe des x . Au contraire pour l'autre lampe, le potentiel anodique est figuré par l'axe des x et le potentiel cathodique par la courbe u_a . Les deux lampes entrent en fonctionnement alternatif-ment chacune pendant l'alternance, où leur anode est positive par rapport à leur cathode.

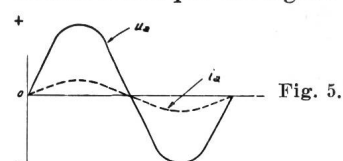


Fig. 5.

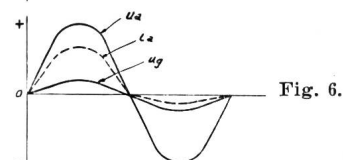


Fig. 6.

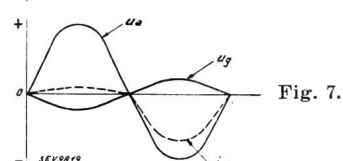


Fig. 7.

Si aucune tension n'est appliquée à leur grille et si ces dernières sont au potentiel de la cathode, le courant total engendré est suivant i_a : c'est un courant alternatif sans composante continue. Supposons maintenant qu'une certaine tension alternative soit appliquée aux grilles de ces lampes; soit par exemple u_g (fig. 6), la tension appliquée entre cathode et grille de chacune des lampes. Si cette tension est en phase avec la tension u_a , le potentiel grille de la première lampe est positif pendant l'alternance où son anode est positive; au contraire le potentiel grille de la deuxième lampe est négatif pendant l'alternance où son anode est positive. De sorte que le courant plaque de la première lampe croît alors que celui de la deuxième diminue et le courant total engendré est suivant i_a . Ce courant peut se décomposer en une composante alternative et une composante continue positive.

Inversement, si la tension appliquée aux grilles des lampes est suivant u_g (fig. 7), la deuxième lampe a un effet prépondérant et le courant engendré est suivant i_a ; il peut se décomposer en une composante alternative et une composante continue négative.

L'appareil comporte un filtre, qui élimine la composante alternative, de sorte que le courant engendré a une polarité qui dépend de la phase de la tension appliquée aux grilles des lampes par rapport à la tension anodique.

Le schéma est tel que le flux produit par les inducteurs de l'élément à inductance variable est en phase avec la tension d'alimentation du dispositif amplificateur. Or, la tension induite qui apparaît aux bornes de l'équipage mobile de cet élément à inductance variable s'inverse au voisinage de la position à flux nul. De sorte que, en calant convenablement cet inducteur par rapport aux autres éléments, on arrive à engendrer un courant continu dont la polarité dépend du sens d'écoulement de l'énergie.

Caractéristiques générales.

L'appareil transmetteur ne nécessite aucun entretien autre que le remplacement des lampes, lesquelles travaillent bien en dessous de leurs capacités

maxima et ont une durée de l'ordre d'une année en fonctionnement continu. Les organes de l'appareil transmetteur sont dimensionnés de façon telle que la position d'équilibre de l'équipage mobile est toujours assurée, quelles que soient les variations pratiquement admises:

- a) de la tension et de la fréquence de la source auxiliaire;
- b) du pouvoir amplificateur de la ou des lampes amplificatrices qui, de ce fait, peuvent être remplacées par d'autres du même type sans nécessiter aucun étalonnage ou vérification;
- c) de la variation de la résistance de la ligne alimentant l'appareil récepteur.

L'appareil transmetteur est dimensionné pour permettre à la résistance du circuit d'utilisation d'atteindre 6000 ohms au maximum. Or, les milliampèremètres récepteurs enregistreurs ont une résistance interne d'environ 600 ohms par appareil et les indicateurs de 30 ohms.

On voit que si la résistance des fils de liaison est de 20 ohms/km, ce qui correspond à une ligne téléphonique normale, un même transmetteur peut alimenter à une grande distance un grand nombre d'appareils récepteurs indicateurs ou enregistreurs. La seule limite pratiquement rencontrée est celle fixée par la résistance d'isolement des conducteurs qui doit rester grande devant la résistance d'utilisation.

Totalisation.

Lorsque plusieurs valeurs de puissances mesurées à l'aide de transmetteurs à courant proportionnel doivent être totalisées, deux solutions peuvent être utilisées:

a) Les constantes milliampères/MW des transmetteurs sont les mêmes. Dans ce cas, les transmetteurs, après avoir alimenté les appareils récepteurs propres à chacune de ces mesures, sont branchés en parallèle et sur le retour commun on branche un milliampèremètre qui mesure le courant total engendré. Ce courant total est proportionnel à la somme algébrique des puissances mesurées.

b) Les constantes milliampères/MW des termes à ajouter sont différentes. On utilise, dans ce cas, un totalisateur potentiométrique. Chacun des courants

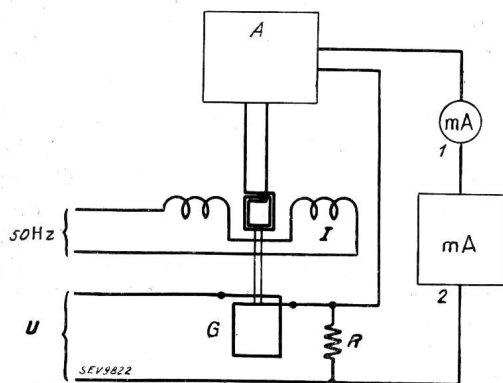


Fig. 8.

Montage d'un totalisateur potentiométrique.

U Tension à mesurer. R Résistance fixe insérée dans le circuit de la télémesure. G Élément galvanométrique sans couple antagoniste mécanique. I Élément à inductance variable dont les inducteurs sont alimentés par la source auxiliaire à 50 Hz. A Amplificateur-détecteur à lampe. 1 Milliampèremètre indicateur. 2 Milliampèremètre enregistreur.

continus traduisant les télémesures traverse une résistance de valeur appropriée, telle que la somme des chutes de tension dans les diverses résistances donne une différence de potentiel proportionnelle à la somme des puissances. On prévoit un amplificateur spécial qui permet d'engendrer un courant continu proportionnel à la tension totale qui apparaît aux bornes du système potentiométrique. Cet amplificateur est analogue au transmetteur wattmétrique à courant proportionnel, mais l'élément de mesure et l'élément antagoniste sont supprimés et remplacés par un seul élément galvanométrique avec des amenées de courant sans couple. Cet élément galvanométrique dévie sous l'action des écarts entre la tension à mesurer et la différence de potentiel qui apparaît aux bornes d'une résistance fixe R parcourue par le courant de la télémesure. Ce montage particulier est représenté sur la fig. 8.

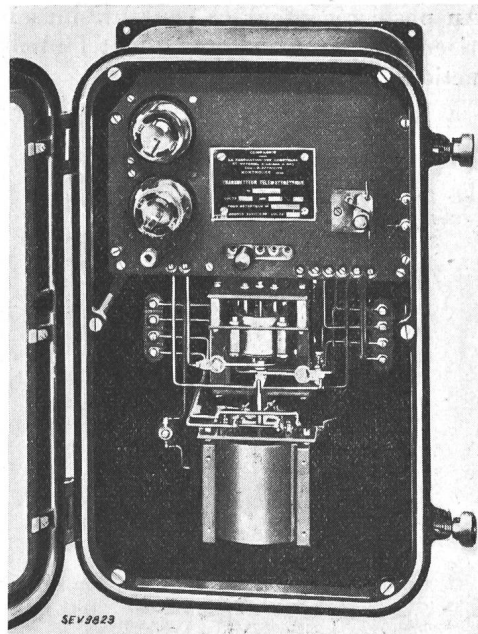


Fig. 9.

Vue de l'appareil de la fig. 8.

L'appareil est représenté sur la fig. 9.

Le fonctionnement est le suivant: Supposons qu'à un moment donné le courant de la télémesure soit nul. La tension à mesurer U apparaît alors aux bornes du galvanomètre G , lequel dévie et entraîne l'élément à inductance variable. Une tension alternative est appliquée à la grille de la lampe amplificatrice et un courant continu I apparaît dans le circuit de la télémesure. Ce courant crée une différence de potentiel aux bornes de la résistance R et le galvanomètre dévie sous l'action d'un courant proportionnel à la différence $U - RI$. Ce courant diminue jusqu'au moment où il devient nul et où le galvanomètre reste en équilibre. Lorsque cette condition est réalisée le courant I engendré par l'amplificateur détecteur est proportionnel à la tension mesurée indépendamment de la résistance d'utilisation.

Cette tension totale étant elle-même proportionnelle à la somme des puissances mesurées, la mesure du courant engendré fournit l'indication désirée.

II. Télémessure à fréquence variable par courant porteur.

Lorsqu'on ne dispose pas de fils pilotes spécialisés entre le point de mesure et le centre de répartition, on assure la télémessure par courants porteurs, soit sur des lignes téléphoniques servant à d'autres usages, soit plus généralement sur les lignes de transport de force. Dans ce cas, le système de télémessure employé dit à «fréquence variable» est basé sur le principe suivant:

Pour chacune des grandeurs à transmettre on engendre au poste émetteur un courant de forme sensiblement sinusoïdale dont la fréquence variable est une fonction linéaire de la mesure de cette grandeur. Au poste récepteur ce courant sinusoïdal est converti en un courant continu dont l'intensité est une fonction linéaire de la fréquence.

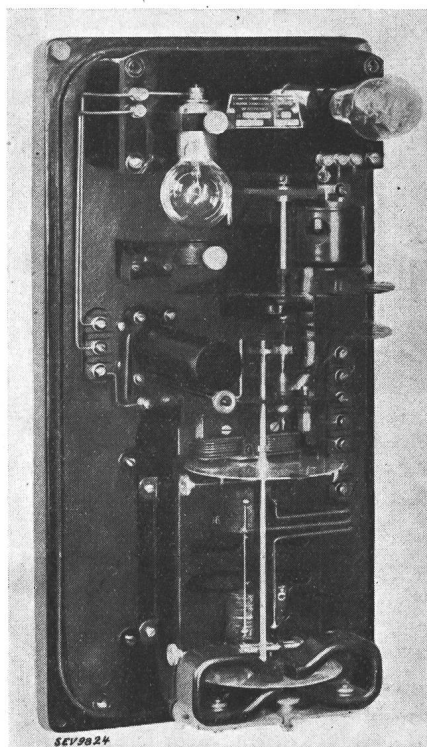


Fig. 10.
Appareil émetteur de la fréquence variable.

Lorsque la liaison entre le poste émetteur et le poste récepteur est assurée par une seule paire de fils sur laquelle plusieurs grandeurs doivent être transmises, on affecte à chacune d'elles un courant porteur à une fréquence audible particulière f_{a1} , f_{a2} , f_{a3} . Au poste émetteur, on module chacune de ces fréquences par les courants à fréquence variables correspondants. Au poste récepteur, les courants à fréquences audibles sont sélectionnés, et, après démodulation reproduisent les courants à fréquences variables f_v émis à l'origine.

Lorsque la liaison est assurée sur une ligne de transport de force, on superpose sur cette ligne un courant porteur à fréquence radio modulé simultanément par le ou les divers courants à fréquences audibles f_{a1} , f_{a2} , f_{a3} , eux-mêmes respectivement modulés par les fréquences variables à transmettre.

L'appareil émetteur de la fréquence variable est représenté sur la fig. 10: il comprend un watt-heuremètre dont l'arbre entraîne un disque percé de trous. Un deuxième disque coaxial au premier et portant des fentes radiales est entraîné à vitesse constante par un moteur synchrone. Une lampe à incandescence engendre un faisceau lumineux qui, passant par les trous et les fentes des deux disques, vient impressionner une cellule photo-électrique. L'éclairement de la cellule varie suivant les positions relatives des trous et des fentes. Le dispositif optique est combiné de telle façon que le flux lumineux varie d'une façon sensiblement sinusoïdale à une fréquence fonction de la somme algébrique des vitesses des deux disques.

La cellule photo-électrique a une émission électronique qui est fonction de son éclairement et de sa tension anodique. Or, le schéma est tel que la tension anodique varie à la fréquence audible émise par l'émetteur qui fonctionne en liaison avec le transmetteur considéré. De telle sorte que le courant engendré par la cellule photo-électrique est un courant à fréquence musicale modulé à la fréquence de son éclairement. Ce courant est ensuite amplifié et transmis jusqu'au poste-récepteur, soit en modulant à son tour un courant porteur superposé sur une ligne à haute tension, soit en étant directement superposé sur deux fils de liaison.

Au poste récepteur, après sélection et démodulation du courant à fréquence audible, le courant à fréquence variable est reproduit.

A l'origine de ce système de télémessure, cette fréquence variable était mesurée à l'aide d'un fréquencesmètre qui, gradué en unités de la grandeur transmise, reproduisait les indications désirées. Cette solution se prêtait mal aux opérations de totalisation: nous présentons maintenant un dispositif permettant d'engendrer un courant continu dont l'intensité est fonction de la fréquence variable transmise, c'est-à-dire de la grandeur mesurée. Ce dispositif est représenté sur la fig. 11. Deux moteurs synchrones, l'un alimenté par le courant à fréquence variable f_v , l'autre alimenté à la fréquence de la source auxiliaire à 50 Hz. Chacun de ces moteurs entraîne une petite magnéto du type OK, dont on somme les forces électromotrices. Cette disposition permet de retrancher à la réception le terme constant qui avait été ajouté à l'émission par le moteur synchrone, entraînant le disque supérieur du transmetteur, et ceci sans erreurs supplémentaires puisque généralement les sources auxiliaires à l'émission et à la réception sont interconnectées.

Ainsi, la différence des forces électromotrices des deux magnétos est proportionnelle à la vitesse de rotation du watt-heuremètre transmetteur, c'est-à-

dire à la puissance mesurée et sa polarité dépend du sens d'écoulement de cette puissance.

L'installation est complétée par un amplificateur à courant continu identique à celui qui a été décrit ci-dessus au paragraphe totalisation des télémesures.

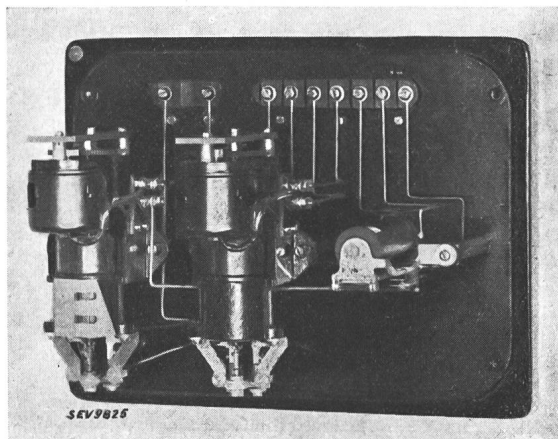


Fig. 11.

Dispositif permettant d'engendrer un courant continu en fonction de la fréquence.

On engendre ainsi un courant proportionnel à la somme algébrique des tensions fournies par les deux magnétos, c'est-à-dire proportionnel à la puissance mesurée et de signe dépendant du sens d'écoulement de l'énergie.

Les indications transmises par ce système de télémesure offrent l'avantage de pouvoir facilement être totalisées avec celles fournies par le système à courant continu proportionnel sur fils pilotes spécialisés.

Caractéristiques communes aux deux systèmes de télémesure.

Les qualités générales des deux systèmes décrits sont les suivants:

1° L'instantanéité.

Les puissances d'interconnexion sont souvent sujettes à des variations très brusques. Elles doivent être indiquées dans le minimum de temps. S'il se produisait un retard important dans la transmission de ces indications, le réglage risquerait d'agir à contre temps et des pompages pourraient ainsi prendre naissance. Pour des variations de charge correspondant à l'étendue de l'échelle des appareils récepteurs, le temps de réponse est de l'ordre de la seconde.

2° Précision.

Les appareils de télémesure concourent directement au réglage, il importe que leur précision soit la plus grande possible. Les systèmes proposés permettent de donner des indications ne présentant pas d'erreurs supérieures à $\pm 1\%$ de l'étendue de l'échelle.

3° Robustesse et stabilité.

Les appareils utilisés sont robustes et stables et les indications fournies ne sont faussées par aucune

cause extérieure. En particulier, dans le cas des transmissions par courants porteurs, les parasites dus aux charges atmosphériques ou aux étincelles d'ouverture des sectionneurs ou disjoncteurs sont sans effet sur les indications transmises.

Les deux systèmes proposés donnent des indications homogènes et ainsi se complètent; ils permettent de résoudre les différents problèmes de télémesures qui peuvent être posés.

Matériel de Transmission par courant porteur.

Examinons succinctement le matériel de transmission par courant porteur des télémesures à fréquence variable.

A. Matériel d'émission et de réception des fréquences audibles — caractéristiques de chacune des télémesures à transmettre.

1° Emetteur à fréquence audible.

L'émetteur à fréquence variable fonctionne en liaison avec un émetteur à une fréquence audible f_a . Cet appareil est représenté sur la fig. 12; son schéma comprend:

Une lampe à trois électrodes montée en hétérodyne qui permet de superposer à la tension continue d'alimentation de la cellule photo-électrique du transmetteur à fréquence variable, une tension à la fréquence audible f_a , caractéristique de la télémesure considérée. Le courant engendré par la cellule du transmetteur à fréquence variable est amplifié par une première lampe à trois électrodes située à l'intérieur de cet appareil. Cette disposition permet de diminuer au minimum la longueur des connexions de cellule et d'éliminer pratiquement les tensions induites dont ce circuit pourrait être le siège.

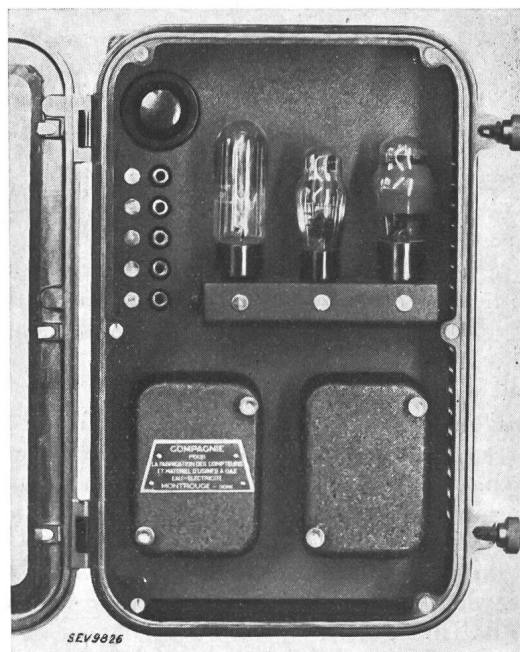


Fig. 12.

Emetteur à une fréquence audible.

Une deuxième lampe amplificatrice à cinq électrodes est montée à l'intérieur de l'émetteur à fréquence audible; elle fonctionne en amplificatrice finale.

Cet émetteur comprend également une lampe régulatrice fer hydrogène qui est montée dans le circuit de la lampe d'éclairage de la cellule du transmetteur à fréquence variable.

Cinq jacks situés sur la face avant de l'émetteur permettent de brancher des milliampèremètres de contrôle pour la mesure des courants anodiques des lampes et du courant à fréquence audible émis.

2° Récepteur démodulateur à fréquence audible.

La réception est assurée à l'aide d'un récepteur démodulateur à fréquence audible représenté sur la fig. 13. Le schéma de cet appareil comprend:

Une lampe amplificatrice à grille écran à pente variable avec circuit accordé d'entrée, réglé pour la fréquence audible f_a à sélectionner.

Une lampe triode qui fonctionne en détectrice et est couplée à la précédente par un deuxième circuit accordé.

Deux amplificatrices montées en push-pull qui amplifient le courant à fréquence variable traduisant la télémesure.

Cinq jacks situés sur la face avant permettent de mesurer les courants anodiques des lampes et de contrôler le niveau de réception.

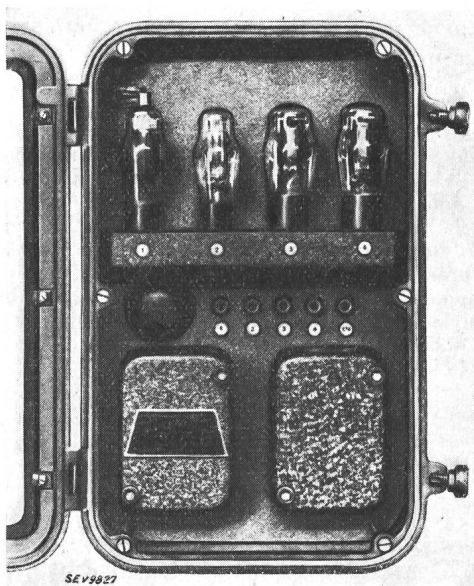


Fig. 13.

Récepteur démodulateur à fréquence audible.

L'émetteur et le récepteur qui viennent d'être décrits permettent d'assurer les télémesures en empruntant comme voie de liaison une paire de fils servant à d'autres usages.

Soit une paire de fils réservée à plusieurs télémesures simultanément et dans ce cas on affecte des fréquences audibles différentes pour chacune de ces télémesures. La réalisation la plus importante que nous ayons faite dans ce sens est celle des télémesures du poste de la Boisse du réseau STEDA en France où 10 termes sont transmis sur une même paire de fils jusqu'à Lyon.

Soit une paire de fils servant déjà à la téléphonie et dans ce cas la fréquence audible choisie est dans la gamme immédiatement supérieure aux fréquences téléphoniques, des filtres passe bas évitent que ce courant porteur ne trouble les conversations. Une application de ce genre a été faite sur un câble de

110 km pupinisé entre Liège et La Louvière en Belgique (réseau UGBE).

Les appareils sont prévus pour permettre un affaiblissement théorique de 60 décibels entre émetteur et récepteur. Cependant, il est bon de garder une certaine sécurité et de ne les utiliser que pour des affaiblissements inférieurs à 40 décibels.

Ces mêmes appareils peuvent être utilisés pour moduler à leur tour un émetteur à fréquence radio qui permet d'assurer la liaison par courant porteur sur ligne haute tension.

B. Matériel d'émission et de réception à fréquence radio superposé sur les lignes de transport de force.

1° Emission.

L'émission du courant porteur à fréquence radio f_r se fait à l'aide d'un émetteur représenté sur la fig. 14 et dont le schéma comprend:

Une lampe double grille fonctionnant en maître oscillateur à haute fréquence f_h réglable de 30 à 120 kHz.

Deux lampes à double grille montées en push-pull qui fonctionnent en amplificateurs du courant à haute fréquence.

Deux lampes à double grille montées en push-pull qui amplifient les courants à fréquences audibles et modulent le courant à haute fréquence par l'intermédiaire d'un transformateur inséré dans le courant anodique des amplificatrices précédentes.

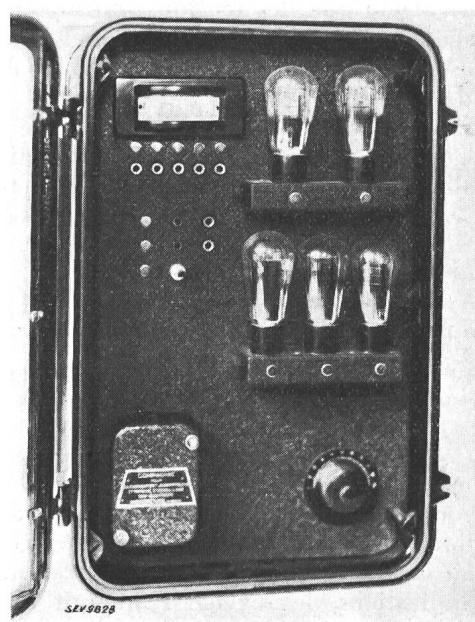


Fig. 14.

Emetteur du courant porteur à fréquence radio.

L'émetteur comprend en outre un galvanomètre de contrôle qui permet à l'aide d'une fiche et de jacks de mesurer le courant haute fréquence émis et de vérifier les courants anodiques.

L'émetteur est couplé à la ligne de transport de force par un condensateur d'isolement (généralement 0,001 μF), et une boîte de couplage extérieure laquelle comporte les circuits d'adaptation d'impédance de ligne. L'émission est assurée entre une phase et la terre. La propagation des courants haute fréquence est limitée au tronçon considéré, en plaçant en série avec chacune de ses extrémités

ou dérivations, des circuits bouchons accordés à la fréquence de l'onde porteuse choisie.

Chacun de ces circuits-bouchons, représenté sur la fig. 15, se compose d'une réactance sans fer d'en-

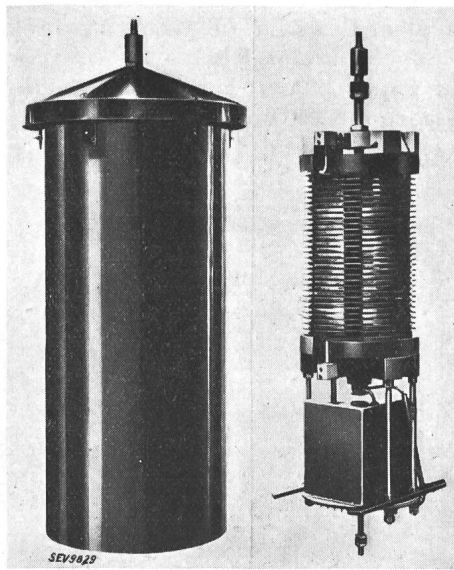


Fig. 15.

Condensateur d'accord et réactance sans fer.

viron 1×10^{-4} Henry traversée par le courant de la ligne, et d'un condensateur d'accord connecté à ses bornes.

2° Réception du courant porteur à fréquence radio.

La réception du courant porteur à fréquence radio est assurée à l'aide d'un récepteur représenté

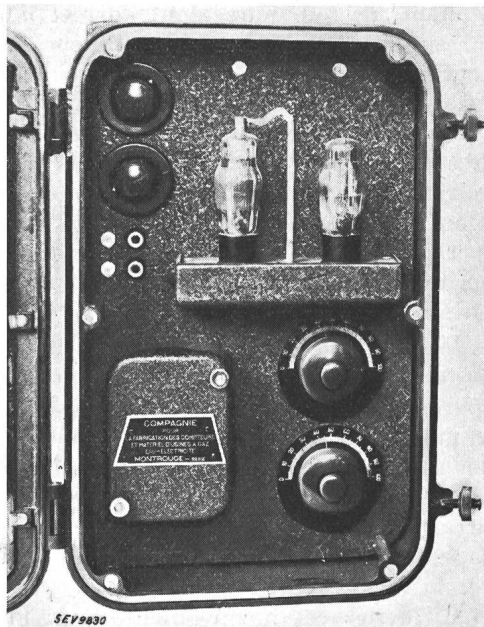


Fig. 16.

Récepteur du courant porteur à fréquence radio.

sur la fig. 16. Cet appareil est couplé à la ligne haute tension de la même façon que l'émetteur par un condensateur d'isolement et une boîte de couplage. Le schéma du récepteur comprend:

Une lampe amplificatrice à grille écran à pente variable.

Une lampe triode qui fonctionne en détectrice des circuits d'accords lesquels permettent de couvrir la gamme 30 à 120 kHz.

La détectrice restitue les courants à fréquence audible ayant modulé le courant porteur à haute fréquence.

Des jacks branchés dans les circuits des plaques permettent le contrôle des courants anodiques.

Les appareils émetteurs et récepteurs à fréquence radio permettent théoriquement des liaisons ayant jusqu'à 60 décibels d'affaiblissement. Pratiquement étant donné les affaiblissements supplémentaires qui peuvent apparaître du fait du givre, il est bon de limiter leur portée à des liaisons dont l'affaiblissement reste inférieur à 30 décibels, ce qui correspond normalement à des portées d'environ 300 km.

La plus grande liaison que nous ayons réalisée, avec des relais en cours de route, est celle actuellement en service entre Chantenay, près de Nantes et Lannemezan, près de Tarbes dans les Pyrénées occidentales.

Ce système de télémesure vient également d'être appliqué sur le réseau de L'Energie de l'Ouest Suisse, où des liaisons entre Chèvres, St-Triphon et Romanel d'une part, et Galmiz, St-Triphon et Romanel d'autre part, ont été mises en service il y a quelques semaines.

Constitution de l'écart de réglage.

Les puissances échangées aux frontières du complexe considéré sont donc mesurées et leurs valeurs transmises au poste de répartition par l'un des systèmes qui viennent d'être décrits. Dans ce poste on totalise algébriquement ces valeurs et on les compare au programme. Ce programme est traduit en une tension proportionnelle à l'aide d'un potentiomètre. La tension qui apparaît entre le curseur de ce potentiomètre et l'une de ses extrémités est réglée à une valeur voulue, proportionnelle au programme. Elle est ensuite sommée avec la tension prise aux bornes du système potentiométrique de totalisation parcouru par les courants proportionnels des télémesures; on a ainsi la valeur de l'écart ΔP .

Signalons que nous avons réalisé un programme automatique qui permet de fixer à l'avance la courbe programme pour une durée de 4 heures.

Les écarts de fréquence sont traduits en tensions proportionnelles à l'aide d'un téléfréquencemètre. Cet appareil comprend des circuits résonnants et des redresseurs secs. Son fonctionnement est statique, il permet d'engendrer une tension continue proportionnelle à l'écart de fréquence et de signe fonction de cet écart.

L'écart de puissance ΔP et l'écart de fréquence Δf sont sommés ainsi qu'il a été exposé pour la totalisation des télémesures à courant proportionnel. Un rhéostat permet de régler le coefficient K , de façon à avoir la fonction du réglage $\Delta P + K \Delta f$. Cette valeur est ensuite transmise à la centrale réglante par l'un des systèmes de télémesure proposés.

Dans la plupart des applications qui ont été faites jusqu'à ce jour, plusieurs centrales du même complexe participent simultanément au réglage. Dans

ce cas, au poste de répartition, à l'aide d'un système potentiométrique extrêmement simple, on fractionne l'écart de réglage $\Delta P + K \Delta f$ en écarts élémentaires qui sont transmis à chacune des usines.

Notons que dans ce dernier cas, il est nécessaire de transmettre en sens inverse au poste de répartition la puissance réellement fournie par les usines réglantes, ceci afin que l'écart transmis à chaque usine tienne compte à la fois de l'écart total fractionné, et d'autre part, de l'écart entre la puissance réelle fournie et la quote part que chaque usine a à produire.

Conversion des écarts de réglage en impulsions.

L'écart à compenser par chaque Usine étant transmis par l'un des systèmes de télémesures proposés, on peut assurer le réglage, soit manuellement en agissant sur les tirettes de commande habituelles, soit automatiquement en prévoyant un régulateur qui émet des impulsions dont la durée est proportionnelle à l'écart. Ces impulsions commandent les servo-moteurs des régulateurs primaires dont on déplace ainsi le point de réglage.

Le régulateur émetteur d'impulsions que nous avons réalisé fonctionne de la façon suivante:

Il comprend un galvanomètre sensible au courant proportionnel à l'écart. Ce galvanomètre possède un miroir qui déplace un spot lumineux sur une échelle. Devant cette échelle tourne un cache, avec des fentes appropriées qui obture à une cadence réglable à volonté le faisceau lumineux. La forme des fentes est telle que, lorsque le galvanomètre est en position de repos, le spot est obturé en permanence; s'il s'écarte de sa position de repos dans un sens ou dans un autre, le faisceau lumineux est obturé pendant un temps d'autant plus court que l'écart est grand.

Dans le plan de l'échelle lumineuse sont situées deux cellules photo-électriques: une première correspond aux écarts négatifs et l'autre aux écarts positifs.

Des amplificateurs fonctionnent en liaison avec les cellules et permettent de commander des relais auxiliaires, lorsque les cellules sont éclairées. On engendre ainsi des tops dont la durée est proportionnelle à l'écart et d'une polarité ou d'une autre suivant le sens de cet écart.

Répartition des charges entre machines.

Lorsqu'on se propose de faire participer plusieurs machines d'une même centrale au réglage, afin de réduire les amplitudes des variations de charge de chacune d'elles, les impulsions (+) ou (—) émises par le régulateur ne parviennent pas directement aux machines réglantes; elles traversent des relais d'aiguillage, lesquels ont pour but de diriger les impulsions (+) et (—) vers les machines qui fournissent leur quote-part normale; les impulsions (+) seules, vers les machines qui fournissent moins que leur quote-part normale, les impulsions (—) vers les machines qui fournissent plus que leur quote-part normale.

Ces relais d'aiguillage représentés sur la fig. 17 sont des relais différentiels, qui comparent la puissance fournie par la machine considérée, à la puissance «programme» de cette machine, exprimée en centièmes de la puissance totale débitée par les machines «réglantes» de l'usine. Grâce à ces relais d'aiguillage appelés «relais-filtres» un équilibre s'établit, pour lequel chaque machine réglante fournit une puissance qui est une fraction définie et réglable de la charge totale des machines réglantes.

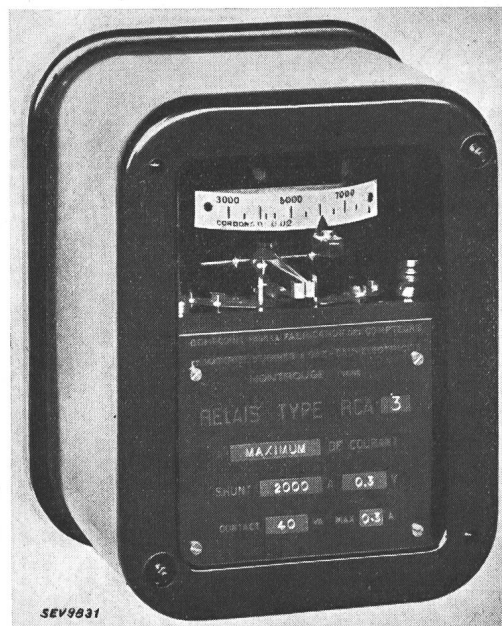


Fig. 17.
Relais d'aiguillage.

Cependant, le fonctionnement correct d'un tel système, suppose que la somme algébrique des écarts entre la puissance débitée par chaque machine et sa quote-part exprimée en centièmes de la charge totale débitée est nulle. Ceci est évident sur les barres de l'usine. Ce serait vrai dans l'installation de réglage si tous les appareils étaient parfaits. Etant donné que les appareils ne le sont pas, il faut craindre que les petites erreurs des divers éléments ne s'ajoutent, ce qui pourrait conduire à la situation suivante:

Tous les relais différentiels des machines réglantes sont orientés du même côté, ce qui signifie qu'apparemment toutes les machines débitent, ou plus, ou moins que leur quote-part de charge. Alors, l'une des catégories d'impulsions est verrouillée sur toutes les machines et si, pour une raison ou pour une autre, le régulateur envoie les impulsions de cette catégorie, aucune machine ne pourra les recevoir et la fréquence restera dérégulée.

On peut éviter cet inconvénient de la manière suivante: toutes les machines «réglantes» *sauf une*, sont en réglage normal, ou «réglage principal»; leur quote-part de charge est donc fixée par le point de réglage des relais filtres. *Le relais différentiel de la dernière machine n'est pas mis en service* et cette machine reçoit les impulsions (+) et (—) émises par le régulateur, à travers tous les contacts auxi-

liaires des autres relais de verrouillage. Les connexions sont ainsi faites, que le circuit des impulsions (+) passe par tous les contacts de verrouillage des impulsions (—) et réciproquement; c'est ce que nous appellerons le «réglage auxiliaire».

Si les relais différentiels, en service, sont dans leur position d'équilibre, tous les contacts de verrouillage sont fermés et toutes les machines reçoivent les impulsions du régulateur.

Si les relais différentiels sont dirigés du même côté, l'une des catégories d'impulsions, par exem-

Quel que soit le cas envisagé, une machine au moins sera donc prête à recevoir les impulsions du régulateur.

Fonctionnement

du système de répartition de charge.

Le schéma de principe de l'installation est représenté sur la fig. 18. On a représenté quatre machines: 1, 2, 3 et 4; les machines 1 et 2 en réglage principal; la machine 3 hors réglage et la machine 4 en réglage auxiliaire.

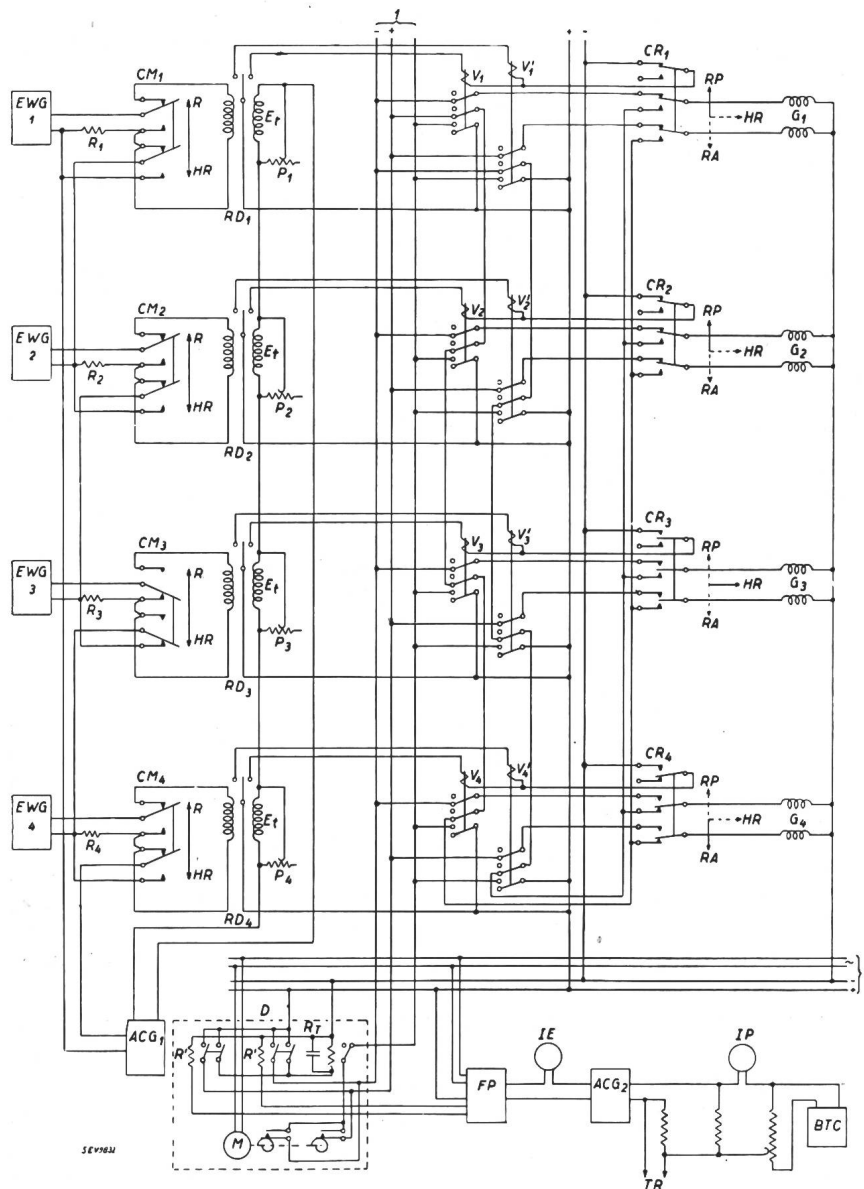


Fig. 18.

Schéma du réglage fréquence-puissance.

- EWG Transmetteurs à courant proportionnel
- R_1, R_2, R_3, R_4 Résistances de totalisation
- ACG₁ Amplificateur engendrant un courant proportionnel à la puissance totale des machines réglantes
- RD Relais différentiels
- V et V' Relais de verrouillage
- CM Clefs de mesure
- CR Clefs de mise en réglage «principal», «auxiliaire» et «hors réglage»
- P Potentiomètres de réglage du point d'équilibre des relais différentiels
- D Distributeur d'impulsion de maintien
- FP Régulateur
- BTC Boîte de tension constante
- RP Réglage principal
- RA Réglage auxiliaire
- HR Hors réglage
- R Réglage
- E₁ Enroulement total
- IE Indicateur écart
- IP Indicateur programme
- TR Total à régler
- 1 Impulsions de maintien
- 2 Sources auxiliaires

ple (+), est verrouillée vers les machines correspondantes et les impulsions (—) sont ainsi verrouillées vers la machine en «réglage auxiliaire»; elle restera verrouillée tant que l'un des relais différentiels restera écarté de sa position d'équilibre.

S'il y a simultanément des relais différentiels dirigés d'un côté et de l'autre, les impulsions (+) et (—) sont simultanément verrouillées vers la machine en réglage auxiliaire et les impulsions du régulateur atteindront d'abord les machines dérèglées.

Le régulateur en émettant des impulsions (+) ou (—) tendant à compenser l'écart à corriger, commande le relais R' du distributeur d'impulsion D. Les relais R', d'une part, retransmettent les impulsions de réglage sur les barres «impulsions» communes à toutes les machines; d'autre part, commandent le relais RT (qui demeure enclenché pendant la période de temps qui sépare deux impulsions successives du régulateur) lequel coupe le circuit des impulsions de maintien dont l'intérêt est exposé ci-après.

La machine 3 est hors réglage; de ce fait, les clefs CM_3 et CR_3 ont été placées dans les positions «hors réglage». Dans ces positions, le courant proportionnel engendré «côté machine» du relais RD_3 et la résistance R_3 sont en court-circuit. La puissance que peut éventuellement débiter cette machine No. 3 n'apparaît plus dans la totalisation des machines réglantes.

Dans la position «hors réglage» la clef CR_3 , d'une part, coupe le circuit du pôle commun d'alimentation des relais de verrouillage V_3 et V'_3 et, d'autre part, coupe le circuit de commande des impulsions de réglage vers la machine No. 3.

Les machines 1, 2 et 4 sont en réglage; les deux premières en «réglage principal», la dernière en «réglage auxiliaire». Les clefs CM_1 , CM_2 , CM_4 sont dans les positions «en réglage»; de ce fait, les courants proportionnels issus des transmetteurs EWG_1 , EWG_2 et EWG_4 parcourent les enroulements «côté machine» des relais RD_1 , RD_2 et RD_4 . Les résistances R_1 , R_2 et R_4 sont en circuit et les différences de potentiel qui apparaissent à leurs bornes sont totalisées. L'amplificateur ACG_1 de totalisation, engendre un courant proportionnel à la puissance totale des machines en réglage, lequel parcourt les enroulements «Total» des relais RD_1 , RD_2 et RD_4 . Les clefs CR_1 et CR_2 sont dans la position «réglage principal»; de ce fait les relais de verrouillage V_1 , V'_1 , V_2 et V'_2 peuvent être alimentés et les impulsions de réglage sont transmises aux deux machines correspondant à ces relais. La clef CR_4 est dans la position «réglage auxiliaire»; de ce fait les relais V_4 et V'_4 ne peuvent être alimentés et les impulsions de réglage sont transmises à la machine 4 sous la dépendance des relais V_1 , V'_1 , V_2 et V'_2 .

Le filtrage des impulsions s'opère de la manière suivante: Supposons que la machine 1 doive fournir une fraction K_1P de la puissance totale P et que la machine 2 doive fournir une fraction K_2P de cette même puissance totale; soit P_1 la puissance réellement fournie par la machine 1 et P_2 la puissance réellement fournie par la machine 2.

a) *Hypothèse 1:* $P_1 = K_1P$ et $P_2 = K_2P$ (équilibre des charges atteint).

Dans ce cas, les relais différentiels RD_1 et RD_2 laissent leurs contacts ouverts et les relais de verrouillage ne sont pas excités. Les impulsions (+) du régulateur peuvent atteindre simultanément les trois machines: les machines 1 et 2 par les contacts de repos des relais V'_1 et V'_2 et la machine 4 par les contacts de repos des relais V_1 et V_2 .

De même les impulsions (—) du régulateur peuvent atteindre les machines 1 et 2 par les contacts de repos des relais V_1 et V_2 et la machine 4 par les contacts de repos des relais V'_1 et V'_2 .

b) *Hypothèse 2:* $P_1 > K_1P$ et $P_2 < K_2P$.

Dans ce cas, par le jeu des relais différentiels, les relais de verrouillage V'_1 et V_2 sont excités. La machine 4 ne peut plus recevoir d'impulsions par suite de l'ouverture des contacts de repos des relais V'_1 et V_2 . La machine 1 ne peut plus recevoir d'impulsions (+) par suite de l'ouverture des contacts de repos du relais V'_1 ; la machine 2 ne peut plus recevoir d'impulsions (—) par suite de l'ouverture des contacts de repos du relais V_2 . Par contre, la machine 1 peut recevoir toutes les impulsions (—) qui tendront à diminuer sa charge et la machine 2 peut recevoir toutes les impulsions (+) qui tendront à augmenter la sienne.

Le processus est identique si l'on a $P_1 < K_1P$ et $P_2 > K_2P$.

c) *Hypothèse 3:* $P_1 > K_1P$ et $P_2 > K_2P$.

Les relais de verrouillage V'_1 et V'_2 sont alors excités. Les impulsions (+) ne peuvent plus atteindre ni la machine 1, ni la machine 2, mais ces machines peuvent recevoir les impulsions (—) tendant à rééquilibrer leurs charges. Toutefois, les impulsions (+) pourront être reçues par la machine 3, cette machine ne pouvant par contre, recevoir les impulsions (—) bloquées par les relais V'_1 et V'_2 .

d) *Hypothèse 4:* $P_1 < K_1P$ et $P_2 < K_2P$.

Suivant un processus inverse du précédent, les machines 2 et 3 reçoivent uniquement les impulsions (+) et la machine 4 reçoit les impulsions (—).

Si à un moment donné, le régulateur cesse d'émettre des impulsions de réglage, la puissance totale de l'usine correspondant à la valeur programme, le relais RT du distributeur D revient en position de repos après une temporisation définie par le condensateur branché à ses bornes.

En fermant ce contact de repos, le relais RT permet aux impulsions de maintien de parvenir jusqu'aux machines de manière à maintenir l'équilibre des charges des machines. Ces impulsions très brèves, alternativement positives et négatives, évitent tout glissement des charges des machines les unes par rapport aux autres lorsque le régulateur ne transmet pas d'impulsions de réglage.

Terminons cet exposé en rappelant que ce mode de réglage a déjà été appliqué avec succès à des centrales dont les caractéristiques de réglage sont très divers. A Kembs sur le Rhin — au Lac Noir dans les Vosges et enfin aux centrales Parisiennes. Enfin il tend actuellement à se généraliser en France et fait l'objet d'un vaste programme en cours de réalisation.