

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 41 (1950)
Heft: 5

Artikel: Etudes et nouvelles réalisations de la compagnie des compteurs
Autor: Pelpel, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058898>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.12.2024

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

Etudes et nouvelles réalisations de la Compagnie des Compteurs

Par J. Pelpel, Paris

621.398.2

L'auteur rappelle brièvement l'intérêt des commandes centralisées par courants porteurs sur les réseaux de distribution d'énergie, décrit les différents relais récepteurs réalisés par la Compagnie des Compteurs, Paris, pour pouvoir analyser les causes des perturbations auxquelles ces relais peuvent être sensibles, et dégage les règles générales communes à toutes les installations de commandes centralisées par courants porteurs sur les réseaux de distribution d'énergie.

Le Système de la Compagnie des Compteurs est basé sur des fréquences variables de 290 à 1200 Hz environ.

Nach einer kurzen Darstellung der Möglichkeiten, welche die Zentralsteuerung durch Überlagerung über Verteilnetze bietet, beschreibt der Verfasser die verschiedenen von der Compagnie des Compteurs, Paris, ausgeführten Empfangsrelais. Er untersucht die Ursachen der Störungen, auf welche diese Relais ansprechen können, und entwickelt jene allgemein gültigen Gesetzmässigkeiten, welche allen mit Überlagerung über Verteilnetze arbeitenden Zentralsteuerungen gemeinsam sind.

Das System der Cie des Compteurs arbeitet mit Frequenzen zwischen rund 290 und 1200 Hz.

Intérêt des commandes centralisées

Les commandes centralisées permettent de résoudre avec souplesse certains problèmes municipaux et locaux tels que la commande de l'éclairage des voies publiques, les commandes d'éclairage des vitrines et enseignes lumineuses, l'appel des pompiers, la diffusion des signaux d'alerte, etc. Mais leur intérêt essentiel réside dans le fait qu'elles permettent d'améliorer le coefficient d'utilisation des réseaux; c'est en cela qu'elles apparaîtront de plus en plus comme un complément indispensable de l'équipement des réseaux de distribution.

La loi générale qui énonce que la consommation d'électricité double en dix ans, ne s'est pas encore trouvée infirmée d'une façon durable, même dans les pays les plus évolués comme les Etats-Unis; on peut donc supposer qu'en Europe elle restera applicable pendant un certain nombre de décades.

Pour faire face à cette nouvelle demande, de nouvelles centrales doivent être construites, le réseau d'interconnexion doit être développé de façon à mieux utiliser les centrales existantes, et les réseaux de distribution doivent être renforcés. Il en résulte des investissements considérables dont le caractère exponentiel pose des problèmes.

Dans ces conditions, tous les moyens permettant de freiner ces dépenses semblent devoir être conjugués. On augmente les basses tensions de distribution de façon à mieux utiliser le cuivre existant. On préconise l'utilisation des condensateurs d'amélioration du $\cos \varphi$, de façon à diminuer les chutes en ligne, mais malgré tout, on arrive à un coefficient d'utilisation qui reste généralement au voisinage de 30 %.

Pour dépasser cette proportion, on a déjà proposé des tarifications horaires et le blocage à certaines heures de certaines utilisations, mais les horloges qui permettent d'assurer cette sélection ne résolvent qu'imparfaitement le problème. Des critiques peuvent leur être opposées. Elles restent souvent assez coûteuses. De plus, fonctionnant en permanence, elles s'usent. Elles impliquent donc un service d'entretien et de remise à l'heure qui peut atteindre des proportions très importantes lorsque leur nombre est élevé, et pour ces seules raisons, les commandes centralisées leur sont souvent préférées.

Mais il semble que les systèmes de tarification et de blocage actuellement en vigueur devraient être

reconsidérés en fonction des possibilités des commandes centralisées. En effet, actuellement les dispositions prises sont rigides; elles impliquent de connaître plusieurs mois et même plusieurs années à l'avance, l'allure des courbes de charge et le développement de telle ou telle catégorie d'utilisateurs. Ces prévisions sont délicates et l'expérience montre qu'elles sont souvent bouleversées. Les phénomènes météorologiques influent sur les disponibilités hydrauliques. Par ailleurs, ils ont des répercussions sur les courbes de charge résultant de l'éclairage et du chauffage. Les faits politiques et économiques tels que les grèves ou l'activité de certaines industries, ont aussi de profondes répercussions absolument imprévisibles.

Dans ces conditions, il semblerait logique que les contrats passés avec les utilisateurs qui transforment l'énergie électrique en énergie accumulable (pompes, chauffe-eau, etc.) soient sous une forme telle qu'un certain nombre d'heures d'utilisation puisse être garanti par jour, mais l'horaire même de cette utilisation devrait rester indéfini. Il n'en résulterait aucun inconvénient pour l'utilisateur et la tâche des distributeurs se trouverait considérablement allégée. Ils pourraient plus facilement régulariser leurs courbes de charge; ils auraient même la possibilité, en groupant les utilisateurs d'un même immeuble en plusieurs catégories, de mieux utiliser leurs canalisations basse tension.

Pour certaines utilisations comme le chauffage direct ou la petite force motrice, ne serait-il pas possible de prévoir un tarif préférentiel, à condition que l'utilisateur consente à être coupé à la volonté du distributeur, au maximum une demi-heure par jour et au maximum 40 ou 50 heures par an?

Dans certains pays, pour parer aux pannes d'électricité résultant des faits de guerre, les industriels ont été amenés à prévoir des groupes électrogènes de secours. Ces groupes n'ont pas en général un très bon rendement et ne peuvent servir que d'appoint. Mais ils existent et ne serait-il pas opportun de les utiliser? Ne peut-on prévoir vis-à-vis de ces industriels, des tarifs avantageux, à condition qu'au moment où un signal leur est transmis, la puissance qu'ils absorbent soit limitée pendant une durée définie? Ils seraient alors conduits à utiliser pendant ces périodes leur groupe de secours qui allégerait d'autant la charge des secteurs de distribution.

On pourrait multiplier les exemples, mais il semble que les commandes centralisées peuvent assurer une fonction qui apparaisse prochainement indispensable.

Ces commandes centralisées impliquent elles-mêmes des équipements dont les frais semblent souvent trop importants. Mais pour pouvoir en juger, il faut évaluer tout le parti qu'il est possible d'en tirer. Si, grâce aux commandes centralisées, le coefficient d'utilisation des réseaux peut être amélioré, il faut comparer le prix d'équipement au prix que coûterait le renforcement de ces réseaux. Si le calcul est ainsi fait, on s'aperçoit que les commandes centralisées sont toujours payantes.

Différents types de relais récepteurs

La Cie des Compteurs étudie les commandes centralisées depuis près de trente ans, et notre première installation importante date de 1927. Nous avons depuis étudié diverses formes de relais récepteurs. Nous pensons qu'il est intéressant de les passer en revue, car les divers constructeurs suisses, anglais ou français qui se sont depuis intéressés à cette question, ont abouti à des formes qui s'apparentent plus ou moins à ce que nous avons étudié. En analysant objectivement les causes de perturbation de ces relais, nous espérons tirer des règles générales applicables aux divers systèmes.

Relais Actadis

Le plus ancien de ces relais est celui utilisé dans le système Actadis qui a été décrit par D. Burger dans le Bulletin ASE 1945, n° 25, p. 820...839. Rappelons que ce système est caractérisé par le fait qu'à chaque manœuvre à commander correspond une fréquence musicale déterminée. Les relais récepteurs se composent de trois organes distincts: le circuit électrique, les lames vibrantes sélectives et le

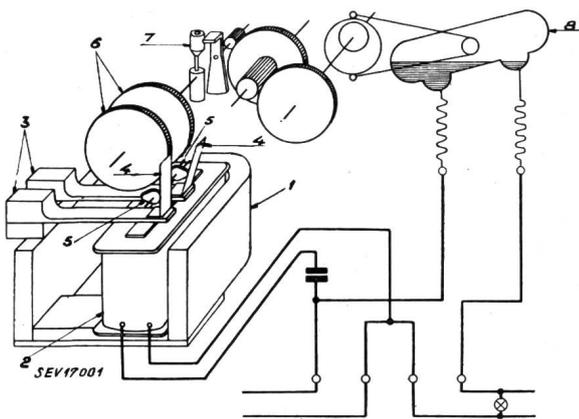


Fig. 1
Organes essentiels du télérelais

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| 1 aimant permanent | 5 cames de débrayage |
| 2 bobine d'excitation | 6 rochets |
| 3 lames vibrantes | 7 embrayage |
| 4 cliquets | 8 interrupteur à mercure |

mécanisme démultiplicateur aboutissant au contact principal (fig. 1).

Le circuit électrique comprend un condensateur de l'ordre de 0,5 à 2 μ F, monté en série avec une

bobine sur circuit magnétique en tôles feuilletées, le tout branché aux bornes du réseau de distribution à 50 Hz.

Les lames vibrantes, dont le nombre est fonction du nombre de manœuvres demandées à un même relais, sont constituées par des lames d'acier spécial, de longueur et de section déterminées. Ces lames ont une fréquence propre de vibration correspondant à l'une des fréquences émises. Elles sont polarisées magnétiquement par le champ d'un aimant permanent. Elles sont également soumises au champ créé par la bobine d'excitation. Lorsque la fréquence du courant qui parcourt cette bobine correspond à la fréquence propre de l'une des lames vibrantes, cette dernière entre en résonance et vibre avec une certaine amplitude.

A l'extrémité des lames est fixée une lame d'acier qui joue le rôle de cliquet. Cette lame repose par une légère pression sur une roue à denture fine en profil de rochet. Ce mécanisme a pour objet de transformer le mouvement alternatif de la lame vibrante en un mouvement circulaire. La rotation est alors transmise par l'intermédiaire d'un dispositif centrifuge à des rouages démultiplicateurs dont le dernier axe entraîne l'organe à manœuvrer. Ce dernier axe porte, en outre, des cames qui ont pour objet d'écarter les cliquets des roues à rochet. Ces cames sont calées à 180° l'une de l'autre dans le cas d'un relais à deux lames vibrantes et à 120° dans le cas d'un relais à trois lames.

Le fonctionnement est alors le suivant:

Lorsqu'une lame entre en résonance, en agissant par percussions successives, elle fait tourner les roues à rochets. Si l'amplitude de vibration est suffisante, la vitesse de rotation des roues à rochets est telle que le dispositif centrifuge embraye le mécanisme réducteur. Ce dernier entraîne l'arbre terminal d'exécution de l'ordre, lequel, en faisant tourner les cames qui agissent sur les cliquets des lames vibrantes, arrive à écarter le cliquet de la lame qui est entrée en résonance. Le relais s'immobilise alors dans une position caractéristique de chacune des lames vibrantes. Il peut, dans cette position, soit fermer un contact sec, soit basculer une ampoule à

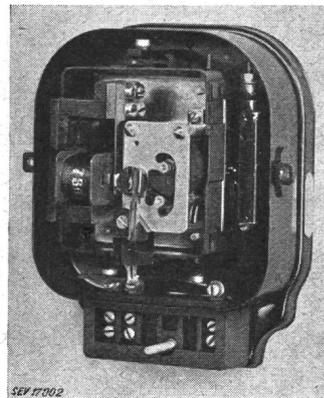


Fig. 2
Ancien télérelais

mercure, soit commander mécaniquement le changement de tarif d'un compteur.

Pour changer à nouveau de position, le relais doit être excité par une fréquence qui permette à

une autre lame vibrante d'entrer en résonance. Ainsi, chaque position d'arrêt des relais est caractéristique d'une fréquence et si l'on reproduit une émission déjà faite, les relais qui étaient déjà dans

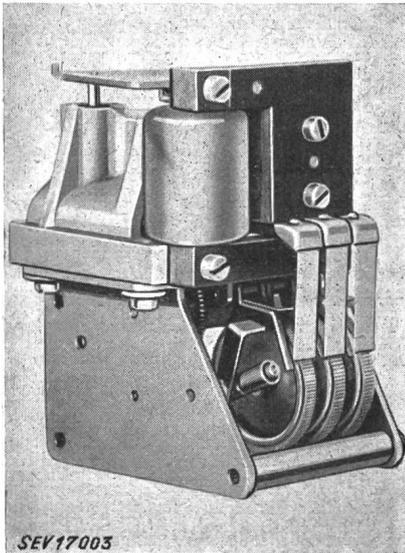


Fig. 3
Nouveau télérelais

la bonne position y demeurent, alors que ceux qui, pour une raison ou une autre, n'avaient pas été touchés par la première émission, exécutent leur manœuvre.

La réalisation représentée sur la figure 2 correspond à un relais dont plus de 300 000 exemplaires sont actuellement en service. La réalisation de la

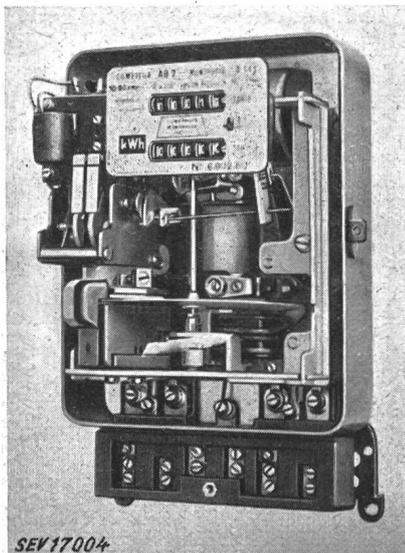


Fig. 4
Compteur monophasé
double tarif avec
relais de commande
incorporé

figure 3 entre maintenant en fabrication, elle a été conçue pour une fabrication en grande série. La figure 4 représente un compteur monophasé double tarif avec relais de commande incorporé.

Relais récepteur de commande centralisée pour fréquences musicales modulées

Dans ces systèmes, les émissions sont faites à une même fréquence porteuse; les commandes sont sélectionnées par un rythme de modulation propre à

chacune d'elles. Les relais récepteurs comprennent des organes qui permettent d'effectuer la double sélection de la fréquence porteuse et du rythme de modulation. Diverses réalisations de ces relais ont été faites; on peut les classer en deux catégories qui diffèrent par le mode d'alimentation des éléments sélecteurs du rythme de modulation.

Première variante de relais récepteurs des émissions modulées

Dans cette première variante, l'énergie nécessaire au fonctionnement des éléments sélecteurs du rythme de modulation est fournie par le signal modulé lui-même. Ces relais répondent au schéma général de la fig. 5. Ils comprennent un condensateur 1 et en série une réactance 2 accordée à la fréquence porteuse d'émission.

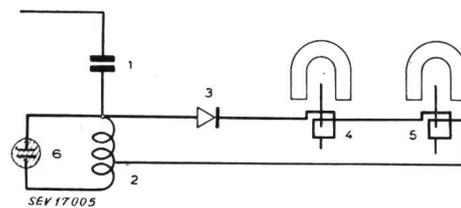


Fig. 5
Principe de relais récepteur des émissions modulées

- | | |
|------|------------------------|
| 1 | condensateur |
| 2 | réactance |
| 3 | redresseur sec |
| 4, 5 | balanciers électriques |
| 6 | limiteur de tension |

Ce circuit est relié aux bornes du réseau basse tension sur lequel les émissions sont transmises. Il assure la sélection de la fréquence porteuse et alimente, par l'intermédiaire d'un redresseur sec 3, plusieurs balanciers galvanométriques 4 et 5. Ces balanciers à cadre mobile ou à aimant mobile sont accordés mécaniquement chacun à un rythme déterminé. Lorsqu'une émission modulée est reçue, l'un des balanciers dont la période propre correspond au rythme de modulation entre en résonance et vient fermer un contact lorsque son amplitude d'oscillation est suffisante. Ce contact commande un servo-moteur ou un relais auxiliaire à maintien (non représenté sur la figure) qui provoque l'exécution de la commande.

On voit que, dans ces relais, l'énergie qui permet aux balanciers sélecteurs des rythmes de modulation d'entrer en résonance est fournie par le signal modulé lui-même. L'amplitude du signal est affectée par les conditions générales de propagation. Si ce signal se propage en surtension, certains balanciers risquent d'entrer en oscillations forcées sur un rythme de modulation qui ne correspond pas à leur période propre. Pour y parer, on doit espacer les rythmes de modulation et limiter les variations d'amplitude des signaux reçus en prévoyant, aux bornes de la bobine d'accord, un limiteur de tension 6. Ce limiteur peut être une lampe au néon ou, d'une façon générale, une résistance non linéaire.

Deuxième variante de relais récepteurs des émissions modulées

Nous avons réalisé un relais récepteur d'émissions modulées dans lequel l'énergie d'alimentation des balanciers sélecteurs est fournie par la source à 50 Hz locale. Cette dernière étant sensiblement à tension constante, la sélection des rythmes se trouve indépendante des conditions de propagation des signaux de commande. Il comprend :

- 1 élément sélecteur de la fréquence de télécommande,
- 1 élément sélecteur des rythmes de modulation,
- 1 servo-moteur d'exécution des ordres.

L'élément sélecteur de la fréquence musicale de commande est constitué par un relais à lames vibrantes analogues à ceux utilisés dans le système Actadis. La figure 6 représente l'un de ces éléments sélecteurs. Il comporte une contre-lame qui établit un contact électrique avec la lame vibrante. La fréquence propre de la contre-lame est faible par rapport à celle de la lame vibrante. En l'absence de toute oscillation, les contacts portés respectivement par la lame vibrante et par la contre-lame sont jointifs. Lorsque la lame entre en résonance avec la fréquence musicale d'émission, la période de la contre-lame étant grande vis-à-vis de la période de la lame,

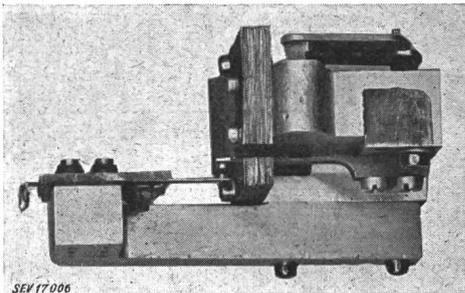


Fig. 6
Élément sélecteur

les contacts ne sont plus établis que pendant la période de temps qui correspond au maximum d'amplitude de la lame vibrante. La fermeture du contact à chaque élongation, ne durant qu'un temps très court, sa résistance apparente moyenne atteint plusieurs milliers d'ohms. Ce contact court-circuite normalement un électro-aimant branché en série avec une résistance aux bornes du secteur de distribution. Cet électro-aimant est au repos lorsque la lame vibrante n'est pas en résonance, il est excité lorsque la lame vibre.

L'ensemble jouit des qualités de sélectivité des relais à lames vibrantes et permet d'assurer la sélection de la fréquence de télécommande, tout en restant insensible aux autres fréquences parasites telles que les fréquences harmoniques du courant fort.

Élément sélecteur des rythmes de modulation

Cet élément (fig. 7) comporte des balanciers accordés. Ces balanciers sont constitués par des disques ayant une inertie déterminée qui sont fixés (d'une façon amovible) sur un axe vertical pivoté entre deux crapaudines à pierre et sollicité par un ressort

spiral. Ils sont visibles sur la figure 7 représentant une vue latérale d'un relais récepteur.

Chaque balancier comporte une palette magnétique et un doigt de contact. Ils ont chacun une période d'oscillation propre et peuvent, lorsque l'amplitude est suffisante, établir un contact qui excite un électro-aimant, lequel en attirant la palette ma-

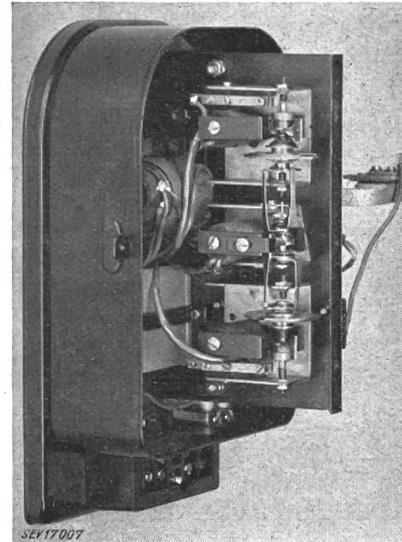


Fig. 7
Élément sélecteur de
rythmes de
modulation

gnétique, bloque le balancier sur sa fin de course. Ces balanciers sont mis en oscillation par l'intermédiaire d'un électro-aimant fixe, dont la course est définie et qui, lorsqu'il est excité, déplace le point d'attache des balanciers sélecteurs. Cet électro-aimant fixe est branché en série avec une résistance aux bornes du secteur d'alimentation. Il est normalement court-circuité par le contact en bout de l'élément sélecteur de la fréquence de commande.

Lorsque des impulsions à fréquence musicale sont reçues par l'élément sélecteur de cette fréquence, l'électro-aimant de commande des balanciers se trouve décourt-circuité. En se fermant il déplace le point d'attache des spiraux des balanciers et leur communique une énergie déterminée indépendante du niveau de réception des signaux de commande et, dans une large limite, de la tension de la source auxiliaire. Lorsque ces impulsions sont répétées à un rythme déterminé correspondant à la période propre de l'un des balanciers, ce dernier entre en résonance. Son amplitude d'oscillation atteint rapidement une valeur telle que son électro-aimant de maintien se trouve excité par son contact de fin de course. Le balancier ainsi sélectionné se bloque et commande le servo-moteur ainsi que décrit ci-après.

Servo-moteur d'exécution des ordres

Le servo-moteur d'exécution des ordres utilise le même circuit magnétique que l'élément sélecteur de la fréquence musicale; il est visible sur la fig. 8 représentant une deuxième vue latérale du relais récepteur.

Il comporte une lame vibrante, accordée à 50 Hz, qui, par l'intermédiaire d'un cliquet et d'une roue à rochet peut faire tourner un mécanisme. Ce mé-

canisme commande, d'une part, un contact principal constitué par une ampoule à mercure, d'autre part un contact auxiliaire inverseur.

Le circuit d'excitation des lames vibrantes comporte un condensateur en série avec la bobine, l'ensemble accordé à la fréquence musicale de com-

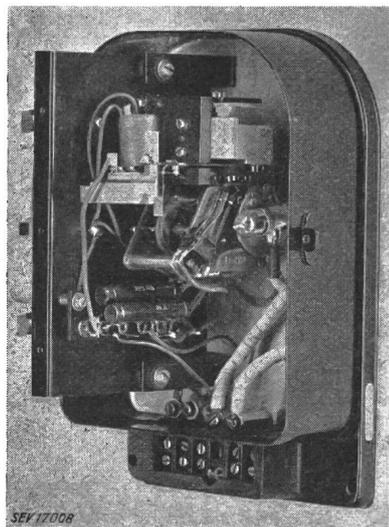


Fig. 8
Servo-moteur
d'exécution des
ordres

mande. Une réactance formant bouchon à 50 Hz est branché aux bornes des condensateurs et la bobine d'excitation n'est parcourue par aucun courant à 50 Hz.

Lorsque l'un des balanciers sélecteurs a fermé son contact, il excite à 50 Hz la bobine du servo-moteur en série avec son électro-aimant de maintien et le contact inverseur entraîné par le mécanisme. La lame à 50 Hz est alors excitée et entraîne le mécanisme qui manœuvre l'ampoule à mercure ainsi que le contact auxiliaire inverseur. Lorsque ce dernier a fonctionné, le circuit de maintien du balancier et d'excitation du servo-moteur est coupé et la manœuvre sélectionnée est réalisée. Si une émission à la même cadence de modulation est refaite, elle reste sans effet. Si, au contraire, la cadence de modulation correspond à la période propre d'un deuxième balancier, la manœuvre inverse est exécutée.

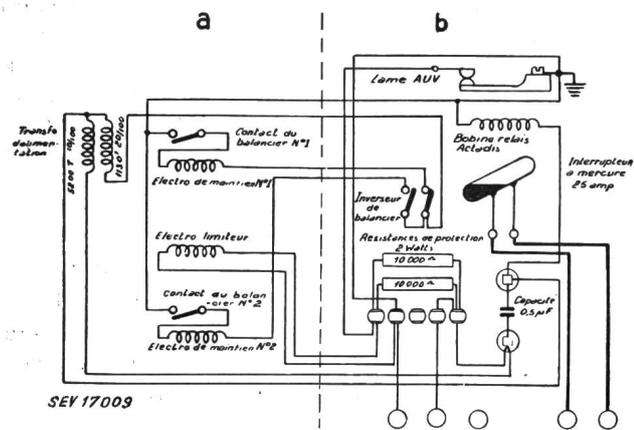


Fig. 9
Schéma du relais fig. 8
a côté gauche
b côté droit

Il y a lieu de noter que la lame vibrante accordée à 50 Hz fonctionne en oscillations forcées et assure un fonctionnement correct de 47 à 51 Hz. Si accidentellement, la fréquence du réseau s'écarte de ces limites, la manœuvre commandée est enregistrée par le blocage du balancier sélecteur et est exécutée dès que la fréquence revient dans les limites normales.

Le schéma de ce relais récepteur est représenté sur la fig. 9.

Relais récepteur du système Pulsadis

Dans ce système, les ordres sont caractérisés par l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux émissions successives à une même fréquence porteuse. Ces relais comportent: un élément sélecteur de la fréquence porteuse et un élément sélecteur des temps qui s'écoulent entre les impulsions succes-

sives. *L'élément sélecteur de la fréquence porteuse* est constitué d'un relais à lame vibrante fig. 6 identique à celui décrit pour les relais récepteurs des émissions modulées deuxième variante.

L'élément sélecteur des intervalles de temps qui s'écoulent entre les impulsions successives est essentiellement constitué d'un «manège» sur lequel des cavaliers sollicités par des ressorts sont dans une position haute. Ce manège peut être entraîné par un moteur synchrone et au repos occupe une position de démarrage bien définie.

Lorsqu'une première impulsion à fréquence musicale est transmise, elle provoque la vibration de la lame vibrante de l'élément sélecteur de cette fréquence, décrit au paragraphe ci-dessus, et l'électro-aimant est excité. Cet électro-aimant provoque le démarrage du moteur synchrone. Ce dernier entraîne le manège ainsi qu'une came qui ferme un contact. Il assure la réalimentation du moteur synchrone qui fait faire au manège un nombre de tours déterminé.

Les cavaliers supportés par le manège passent successivement au-dessus d'un doigt commandé par l'électro-aimant. Si une deuxième impulsion est transmise au bout d'un temps déterminé après l'impulsion de démarrage, elle provoque le déplacement du doigt, lequel bascule le cavalier qui est situé à cet instant au-dessus de lui et l'amène dans une position basse. L'intervalle de temps qui s'est écoulé entre la première impulsion de démarrage et la deuxième impulsion de commande sélectionne un cavalier déterminé. Les cavaliers entraînés par le manège portent des ergots qui défilent devant des cames. Lorsque ces cavaliers sont dans leur position haute, ils ne peuvent entraîner ces cames. Si au contraire, l'un d'eux est basculé, il fait tourner une came déterminée qu'il amène dans une position donnée. Cette came commande un contact principal qui produit l'exécution de la manœuvre commandée à distance.

En résumé, pour provoquer «la fermeture» d'un circuit à commander, on bascule un cavalier déterminé qui, en passant devant la came de manœuvre du contact correspondant provoque l'exécution de

l'ordre. Si cet ordre a déjà été exécuté, le passage du cavalier restera sans effet.

Pour provoquer «l'ouverture» de ce même circuit, on bascule un autre cavalier (différent du précédent) qui agit sur la même came et amène le contact dans la position «ouverte» à moins que l'ordre n'ait été exécuté antérieurement.

On a la possibilité de grouper 10 manœuvres simples «ouverture» et «fermeture» (soit la commande double de 5 circuits différents) dans un même relais récepteur. Ces manœuvres correspondent à 10 cavaliers qui peuvent être basculés au cours d'une première révolution de sélection du support des cavaliers. Elles sont exécutées au cours d'une deuxième révolution de ce manège. Les cavaliers qui ont été basculés, sont ramenés par un galet dans leur position de repos (position haute) en fin de rotation.

Pratiquement, les manèges exécutent après leur démarrage 5 tours de révolution et 4 groupes de relais récepteurs sont prévus:

un premier groupe pour lequel 10 manœuvres sont sélectionnées au cours du premier tour de révolution et exécutées au cours du deuxième. Durant les quatre derniers tours de révolution, la réception des impulsions de commande est condamnée;

un deuxième groupe qui condamne la réception des impulsions de commande au cours des 1^{er}, 3^e, 4^e, 5^e révolutions et pour lequel les manœuvres sont sélectionnées au cours du deuxième tour et exécutées au cours du troisième;

un troisième groupe avec condamnation au cours des 1^{er}, 2^e, 4^e, 5^e tours, sélection au cours du 3^e, exécution au cours du 4^e;

un quatrième groupe avec condamnation au cours des 1^{er}, 2^e, 3^e et 5^e tours, sélection au cours du 4^e, exécution au cours du 5^e.

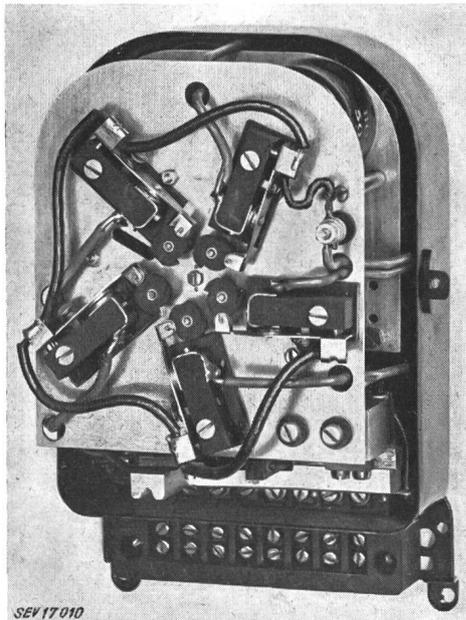


Fig. 10
Relais récepteur du système «Pulsadis»

Ainsi 40 manœuvres simples peuvent être sélectionnées, les impulsions ont une durée de $\frac{5}{10}$ s et la durée totale de 5 révolutions est de 100 s.

Au cours d'une même émission, on a la possibilité de commander plusieurs manœuvres successivement ou de confirmer toutes les manœuvres préalablement commandées.

La fig. 10 représente la réalisation d'un relais récepteur avec les cinq contacts permettant la commande de cinq manœuvres doubles.

Les contacts principaux ont une capacité de coupure de 20 A.

Conditions générales d'application des systèmes de commande centralisée

Tous les systèmes de télécommande centralisée nécessitent la superposition de courants à fréquence musicale sur les réseaux de distribution à moyenne tension. Nous passons, dans ce qui suit, en revue les conditions d'émission communes à ces divers systèmes.

Dispositif de couplage avec le réseau du générateur des signaux de commande

1. Emission en parallèle

Pour superposer une tension à fréquence musicale sur un réseau de distribution à moyenne tension, le montage qui vient tout d'abord à l'esprit consiste en un couplage en parallèle. Dans ce montage, le générateur des signaux de commande est couplé au jeu de barres du réseau, sur lequel les émissions doivent être faites, par l'intermédiaire d'un filtre passe-bande ou passe-haut. Ce filtre comprend généralement trois ensembles monophasés montés en étoile; chacun est constitué par un condensateur isolé pour la tension du secteur et branché en série avec une réactance d'accord à la fréquence d'émission. La fig. 11 représente le schéma d'un réseau type, comprenant un jeu de barres alimenté par un alternateur et auquel sont reliés des départs 1, 2, 3, 4.

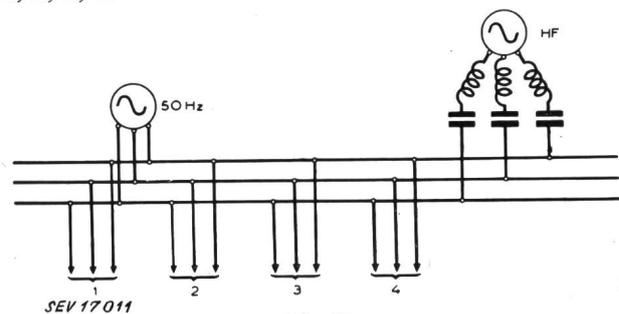


Fig. 11
Schéma du couplage en parallèle
Réseau alimenté par un alternateur

Le dispositif d'émission comprend: un générateur de courant à haute fréquence, relié au réseau par trois condensateurs isolés pour la tension à 50 Hz et branchés en série avec trois bobines de réactance formant accord à la fréquence d'émission.

Une tension à la fréquence de commande peut ainsi être superposée à la tension à 50 Hz. La puissance demandée au générateur des signaux de commande dépend du courant débité dans toutes les

impédances branchées aux bornes du jeu de barres et sur les départs. Ces impédances de charge sont constituées par tous les appareils alimentés par la source à 50 Hz (transformateurs, lampes, moteurs, relais de réception, etc.), de sorte que la puissance du générateur est une fonction de la charge totale du réseau et du niveau d'émission.

Cette charge à fréquence musicale se trouve très fortement augmentée si le réseau considéré reçoit son énergie d'un réseau d'interconnexion, car, en plus de la puissance absorbée par le réseau de distribution, il faut débiter un courant relativement important vers ce réseau d'alimentation. Ce dernier ayant généralement une charge importante vis-à-vis de celle du réseau de distribution, le courant à fréquence musicale ne se trouve limité que par la réactance de fuite du transformateur d'interconnexion.

La fig. 12 représente, en schéma bifilaire, un réseau de distribution type, alimenté par un transformateur d'interconnexion. Les charges des feeders sont représentées par les impédances Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 . La charge du réseau d'interconnexion est représentée par l'impédance Z_5 qui, dans la plupart des cas, peut être considérée comme voisine de zéro.

Le débit à fréquence musicale vers cette partie du réseau ne se trouve limité que par la réactance L_2 du transformateur de liaison. On est amené pour limiter le débit vers les réseaux d'alimentation, à prévoir, en série sur les liaisons correspondantes, des circuits-

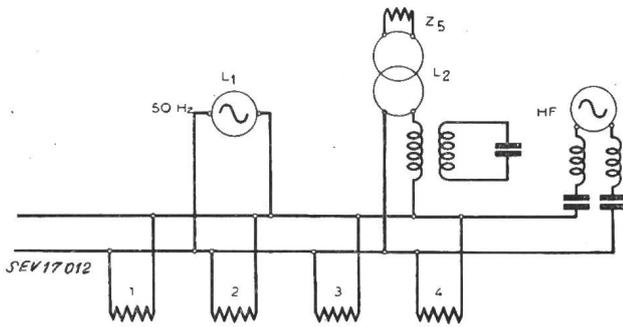


Fig. 12
Schéma bifilaire du couplage en parallèle
Réseau alimenté par un transformateur d'interconnexion

bouchons tels que celui représenté sur la figure. Ces circuits-bouchons sont généralement constitués de transformateurs à entrefer et de capacités branchées aux bornes de leur enroulement à basse tension. Ces capacités sont accordées à la fréquence d'émission avec la réactance apparente du transformateur à entrefer.

2. Emission en série. Emission globale

Les émissions peuvent être faites en superposant les courants de commande au courant fort. Cette superposition est faite à l'aide de transformateurs branchés en série analogues à des transformateurs d'intensité.

Reprenons sur la fig. 13 le schéma du réseau type de la fig. 12. Le générateur des signaux de commande est couplé au réseau par l'intermédiaire du transformateur qui servait de circuit-bouchon dans

le cas des émissions en parallèle. Ce générateur permet de superposer au réseau à courant fort un courant de commande I qui passe, en amont, dans l'impédance Z_5 et la réactance L_2 et, en aval, se partage en des courants I_1, I_2, \dots, I_4 qui passent dans les impédances de charge Z_1, Z_2, \dots, Z_4 des feeders 1, 2, 3, 4, ainsi que dans la réactance asynchrone L_1 du générateur de courant fort.

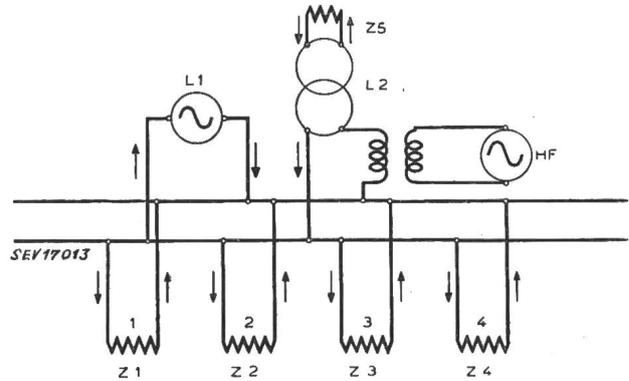


Fig. 13
Schéma du couplage en série réseau fig. 12

Si les impédances situées en amont sont petites vis-à-vis des impédances situées en aval, le courant de commande engendré par le générateur fait apparaître en aval une tension superposée grande vis-à-vis de la tension qui apparaît en amont. Cette tension aval est réglée de façon à avoir une valeur qui dépasse largement le seuil de fonctionnement des relais récepteurs. Dans ces conditions, la faible impédance du réseau d'interconnexion constitue un élément qui favorise les émissions en série, alors qu'elle est une gêne pour les émissions en parallèle.

Ce schéma de couplage, sans nécessiter aucun élément supplémentaire par rapport aux émissions en parallèle, permet, toutes choses égales par ailleurs, d'économiser le filtre de couplage de la fig. 12 et de diminuer la puissance demandée au générateur des signaux de commande.

Le choix entre les émissions globales en série et les émissions en parallèle dépend finalement de la valeur de la réactance de fuite L_2 du transformateur d'alimentation. Dans le cas où cette réactance est élevée, le circuit-bouchon des émissions en parallèle peut être économisé et ces dernières peuvent alors être plus avantageuses.

3. Emission en série sur les départs

Un perfectionnement des émissions globales en série a consisté à faire les émissions en série sur les départs. Dans ce cas, les transformateurs d'injection sont branchés en série sur les départs et les émissions sont faites successivement sur chacun d'eux, de sorte qu'à chaque instant la puissance demandée au générateur des signaux de commande ne correspond qu'à la charge d'un seul départ. Au même moment, la charge des autres départs concourt à diminuer l'impédance des circuits situés en amont et favorise les conditions d'émission. La fig. 14 représente le schéma bifilaire du réseau type, supposé alimenté par un transformateur d'intercon-

nexion et un alternateur et comprenant les quatre départs: 1, 2, 3, 4 des fig. 13 et 14.

L'émission est supposée faite à un moment donné sur le premier départ. Le courant de commande traverse l'impédance Z_1 de ce départ. Le circuit se ferme en empruntant en parallèle les impédances Z_2, Z_3, Z_4 des autres départs, sur lesquels l'émission n'est pas faite à l'instant considéré. Il utilise également comme voie de retour la réactance de fuite de

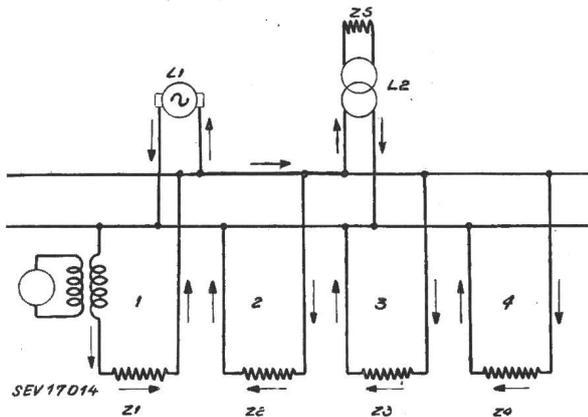


Fig. 14

Emission en série sur les départs

l'alternateur L_1 et l'impédance du réseau d'interconnexion Z_5 vue en série avec la réactance de fuite du transformateur de liaison L_2 . L'impédance Z_1 constitue l'impédance aval, les autres impédances $Z_2, Z_3, Z_4, L_1 (L_2 + Z_5)$, branchées en parallèle, constituent l'impédance amont. Cette dernière est faible devant l'impédance aval. La tension à fréquence musicale se reporte en grande partie aux bornes du départ sur lequel les émissions sont faites à un instant donné. Elle est réglée de façon à avoir une valeur qui assure le bon fonctionnement des relais récepteurs alimentés par ce départ.

Les émissions sont faites successivement sur les départs, dont les impédances de charge passent ainsi successivement d'amont en aval. La puissance demandée au générateur des signaux de commande est, dans ce cas, réduite au minimum. Ce mode d'émission offre, en outre, l'avantage de permettre aux réseaux de se développer sans nécessiter de modifications du poste d'émission. Il suffit, en effet, d'adjoindre l'équipement des nouveaux départs pour faire face aux extensions qui peuvent apparaître.

En multipliant le nombre des départs, on diminue l'impédance amont et l'on crée ainsi des conditions d'émission de plus en plus favorables.

Signalons cependant les objections qui peuvent être faites aux émissions départ par départ:

a) Il faut tout d'abord remarquer que, lorsque plusieurs départs sont bouclés, il faut nécessairement faire les émissions simultanément sur tous ces départs. Les réseaux de distribution entièrement maillés se prêtent donc mal aux émissions départ par départ; les émissions globales sont, dans ce cas, préférables.

Dans beaucoup de réseaux, les départs sont bouclés par deux ou trois au plus, mais ces bouclages peuvent varier suivant les conditions d'exploitation. Pour pouvoir émettre simultanément sur les départs bouclés et successivement sur tous les départs ainsi groupés, il est nécessaire de modifier

le groupement des émissions en fonction du changement de bouclages. Ce changement est matériellement réalisé à l'aide d'une grille de couplage montée dans le poste d'émission, mais sa mise à jour nécessite une intervention manuelle qui, dans certains cas, peut présenter une sujétion pour l'exploitation.

b) Dans certains cas particuliers, la capacité des câbles sur lesquels l'émission n'est pas faite à un instant donné risque de former un circuit-bouchon aux fréquences d'émission avec la réactance de fuite du transformateur d'interconnexion. Cette éventualité est particulièrement gênante lorsque les réseaux sont à faible charge.

Pour y parer, on prévoit, soit des émissions globales, soit un circuit accordé série aux bornes du jeu de barres, qui crée artificiellement une faible impédance en amont des transformateurs d'émission.

En conclusion, trois schémas d'émission sont possibles:

1. émission en parallèle par circuit de couplage accordé en série, avec ou sans circuit-bouchon sur les liaisons avec l'interconnexion;
2. émission globale en série sur les liaisons avec l'interconnexion;
3. émission en série sur les départs (avec, dans certains cas exceptionnels, un circuit accordé d'amont).

Le choix entre ces divers schémas dépend des caractéristiques des réseaux et des conditions de leur développement. A noter que le niveau d'émission influe également sur le choix entre ces solutions; en effet, le niveau conditionne la puissance du groupe et l'économie qui peut être réalisée sur ce dernier peut ne pas compenser les complications entraînées par la solution qui conduit théoriquement à la puissance la plus faible.

Choix des fréquences d'émission

Nous allons passer en revue les conditions qui influent sur le choix des fréquences d'émission.

1. Propagation sur les réseaux à moyenne tension

Les signaux de commande superposés sur les réseaux à moyenne tension sont soumis aux phénomènes généraux de propagation des courants alternatifs sur les lignes. Lorsque les fréquences de commande sont suffisamment élevées, les tensions de réception varient dans de larges limites d'un point à un autre. Des nœuds et des ventres sont observés, en particulier lorsque les réseaux sont à vide ou à faible charge.

On a proposé, pour régulariser les tensions de réception, de brancher, en dérivation aux extrémités des lignes, des circuits accordés série. Ces circuits devraient permettre d'amener la charge à fréquence musicale à une valeur voisine de celle correspondant à l'impédance caractéristique de la ligne. Mais, du fait des variations de la charge à fréquence 50 Hz et des modifications des couplages qui changent les longueurs des lignes, ces compensations jusqu'à ce jour ne se sont pas montrées efficaces. De plus, elles entraînent des dépenses relativement importantes dues aux condensateurs de ces circuits de charge, qui doivent être isolés pour la tension du réseau. Dans ces conditions, il faut limiter les fréquences de commande à celles pour lesquelles les lignes risquent de résonner en quart d'onde. A défaut de l'observation de cette règle, on risque, lors-

que les réseaux sont à faible charge, d'avoir en certains points des tensions de réception voisines de zéro.

Pour fixer les idées, nous avons représenté, sur la fig. 15, les courbes des fréquences de résonance en quart d'onde des lignes et câbles en fonction de leurs longueurs. Le calcul a été fait en partant des caractéristiques des lignes et câbles 15 kV.

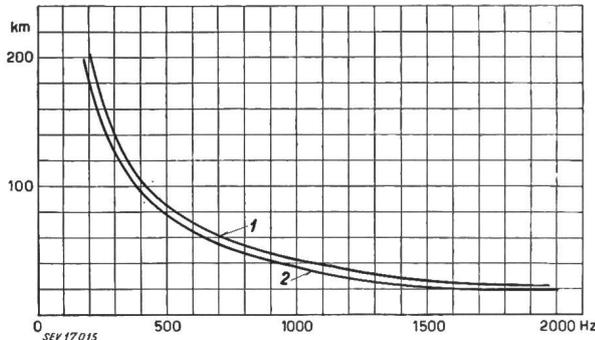


Fig. 15

Fréquence de résonance en 1/4 d'onde des lignes et câbles
1 lignes
2 câbles

Ces limites de résonance se trouvent fortement abaissées s'il existe, en bout de ligne aérienne, des transformateurs intermédiaires ou un réseau de câble; c'est ainsi qu'une ligne aérienne de 14 km résonne en quart d'onde à 500 Hz lorsqu'elle alimente en bout un réseau de câble dont la longueur totale est de 10 km.

En conclusion, les caractéristiques du réseau sur lequel les courants de commande doivent être superposés fixent une limite au-dessous de laquelle les fréquences de ces courants doivent être choisies. Cette limite dépasse rarement 1000 Hz pour les réseaux urbains et 500 Hz pour les réseaux ruraux. Il y a lieu de remarquer que ces limites seraient encore abaissées si l'on désirait faire les émissions sur les réseaux d'interconnexion 30 ou 60 kV, de sorte que pratiquement les systèmes de télécommande par courants superposés ne peuvent être appliqués qu'aux réseaux de distribution à moyenne tension.

2. Propagation sur les réseaux à basse tension

Les courants émis sur les réseaux à moyenne tension sont triphasés. Ils parcourent les transformateurs intermédiaires et les transformateurs basse tension dans les mêmes conditions que les courants forts. Ils subissent les transformations dans le même rapport que les courants à fréquence 50 Hz. Cependant la réactance de fuite de ces transformateurs peut, en fonction des conditions de charge et des capacités réparties des réseaux alimentés, faire apparaître des surtensions ou des chutes de tension pour les courants superposés. Les chutes de tension apparaissent lorsque le réseau basse tension est à pleine charge.

Lorsque le réseau de distribution basse tension est en câbles, la capacité de ces derniers permet de compenser, dans une certaine mesure, la chute de

tension due à la réactance de fuite du transformateur. Par contre, lorsque le réseau de distribution est aérien, la réactance de ces lignes contribue à diminuer le niveau des tensions de réception des courants superposés.

L'abaque représenté sur la fig. 16 permet de déterminer les niveaux de réception des fréquences musicales en fonction des chutes de tension à fré-

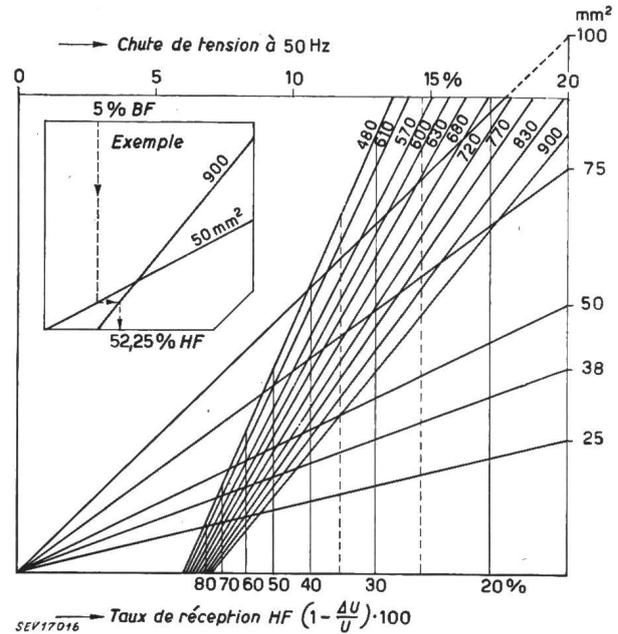


Fig. 16

Abaque-C

$$\frac{\Delta U}{U} (50 \text{ Hz}) = F \left(1 - \frac{\Delta U}{U} + HF \right)$$

Pour des lignes de 25, 38, 50, 75, 100 mm² cuivre
Pour toutes les fréquences
Pour une distribution diphasée 2 · 230

quence 50 Hz. Il a été établi, en faisant les hypothèses suivantes:

- transformateurs d'alimentation présentant une réactance de fuite de 4,5 %;
- réactance de la ligne basse tension 0,35 Ω km à 50 Hz;
- résistivité du cuivre 1,85 · 10⁻⁶ Ω cm;
- charge concentrée à l'extrémité de la ligne (pour se placer dans les conditions limites).

Pour déterminer les niveaux de réception, cet abaque comprend deux réseaux d'obliques:

- un premier réseau qui caractérise la section de la ligne basse tension,
- un deuxième réseau qui indique les chutes de tension à fréquence musicale.

Pour une ligne de section donnée, on détermine, sur l'oblique correspondante, l'abscisse dont l'ordonnée correspond à la chute de tension à 50 Hz. On considère, sur l'oblique correspondant à la fréquence de commande, le point ayant même abscisse. L'ordonnée de ce dernier point indique le niveau de réception. Il est exprimé en % de la tension à fréquence musicale mesurée en amont du transformateur basse tension et réduite dans le rapport de ce transformateur.

On vérifie ainsi que, pour des chutes de tension de 10 % à 50 Hz, admises par les cahiers des charges des distributeurs, la chute de tension à fré-

quence 900 atteint 61 % environ pour une ligne de 50 mm².

Ces considérations tendent encore à abaisser la limite des fréquences qui peuvent être superposées sur les réseaux de distribution.

3. Influence du choix des fréquences d'émission sur le dimensionnement des appareils d'injection des courants de commande

De ce point de vue, il est avantageux de choisir les fréquences de commande dans une gamme la plus élevée possible, que l'injection soit faite en parallèle ou en série.

Dans le cas des émissions en parallèle à pertes égales, les condensateurs de couplage et la réactance d'accord sont de valeurs et de dimensions d'autant plus réduites que la fréquence émise est élevée.

Dans le cas des émissions en série, l'induction et les pertes dans les transformateurs d'injection diminuent également avec la fréquence, de sorte qu'à pertes égales les transformateurs peuvent être d'encombrement plus réduit lorsque les fréquences émises sont dans une gamme haute.

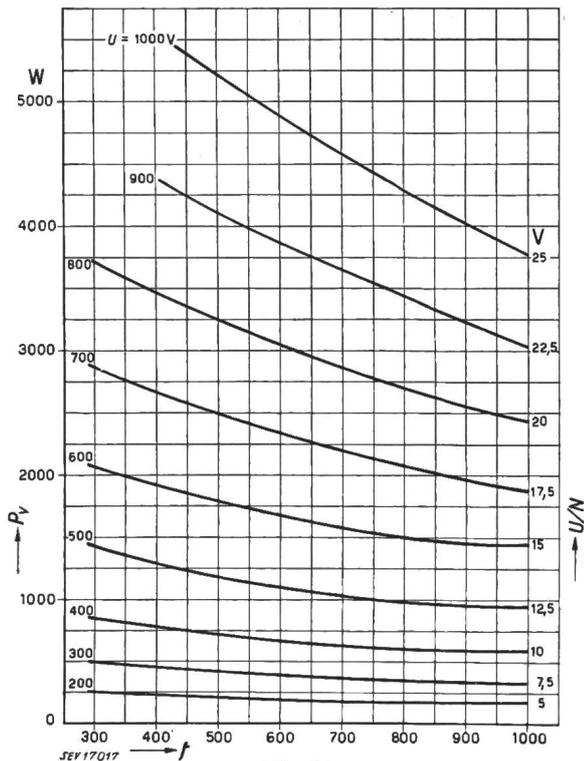


Fig. 17
 Action à distance
 Transformateur TAD 12e = 16 mm
 $HT = 24$ tours 51.7 brins de $\frac{9}{10} = 228$ mm²
 $BT = 40$ tours 60.7 brins de $\frac{65}{100} = 140$ mm²
 Chiffres de gauche: volts aux bornes BT
 Chiffres de droite: volts par tour

Les courbes de la fig. 17 représentent les courbes expérimentales des pertes d'un transformateur d'injection en fonction de la fréquence. On peut constater la diminution de ces pertes lorsque la fréquence augmente.

Il y a lieu de remarquer que le dimensionnement optimum des postes d'émission conduit à admettre des pertes dans les circuits de couplage sensiblement égales à la charge du réseau à fréquence musicale. Dans ces conditions, la diminution des pertes avec la fréquence, tout en étant relativement faible, reste un des éléments qui influence le choix de la gamme des fréquences d'émission.

4. Influence des condensateurs d'amélioration du facteur de puissance sur les systèmes de commande par courants superposés. Répercussion éventuelle sur le choix des fréquences d'émission

Les condensateurs d'amélioration du facteur de puissance qui existent sur les réseaux perturbent les systèmes de commande par courants superposés. Leur présence se fait à la fois sentir sur les conditions d'émission sur les réseaux à moyenne tension et sur les conditions de réception sur les réseaux à basse tension aux bornes desquels ils sont branchés.

Il faut distinguer trois catégories de condensateurs d'amélioration du $\cos \varphi$:

- a) les condensateurs haute tension,
- b) les condensateurs basse tension placés chez des abonnés à haute tension,
- c) les condensateurs basse tension placés chez des abonnés à basse tension.

a) *Les condensateurs haute tension.* S'ils sont situés aux bornes du jeu de barre de la sous-station et si les émissions sont faites en série sur les départs, ils améliorent généralement les conditions d'émission en diminuant la valeur de l'impédance amont. Cependant, leur présence doit faire l'objet d'un examen, car ils risquent de former un circuit-bouchon à la fréquence d'émission avec la réactance de fuite du transformateur d'interconnexion et dans cette éventualité défavorable, ils augmentent la valeur de l'impédance amont.

Si les émissions sont faites en parallèle ou s'ils sont situés en aval des transformateurs d'injection des émissions en série, ils risquent d'absorber un courant important à la fréquence de télécommande et de surcharger le poste d'émission. Pour parer à cette éventualité, on prévoit en série avec ces condensateurs, des réactances telles que l'accord série ainsi réalisé soit à une fréquence sensiblement inférieure à la fréquence des signaux de commande. Ces réactances peuvent être d'autant plus réduites que la fréquence de commande est élevée.

Dans le cas d'émissions à fréquence unique, on peut prévoir un circuit-bouchon accordé à cette fréquence de commande et la réactance peut ainsi être réduite à une très faible valeur.

b) *Les condensateurs basse tension* situés chez des abonnés haute tension. Chez ces abonnés, les relais récepteurs des télécommandes, n'ont pas à fonctionner; on doit donc chercher simplement à limiter le courant de télécommande absorbé par ces condensateurs, de façon à ne pas surcharger le poste d'émission. Ce courant risque d'atteindre des valeurs très importantes, en particulier, lorsque la charge de l'abonné est nulle ou faible, car les con-

densateurs d'amélioration du $\cos \varphi$ forment une résonance série avec la réactance de fuite du transformateur qui les alimente. Cette fréquence de résonance risque de coïncider avec une fréquence de télécommande.

Pour limiter cette consommation, il suffirait de prévoir des réactances en série avec les condensateurs qui abaissent la résonance à une valeur inférieure aux signaux de télécommande. Mais si l'on remarque que le nombre de condensateurs raccordés à un même transformateur peut être variable, que la puissance du transformateur peut elle-même être changée et augmentée, il est prudent de choisir des réactances qui abaissent toujours la résonance à une valeur inférieure aux signaux de télécommande quelle que soit la valeur de la réactance de fuite du transformateur d'alimentation.

Si l'on adopte cette règle sans préjuger de la valeur des fréquences de commande, on risque d'avoir une résonance de l'ensemble transformateur, réactances de compensation, condensateurs, qui corresponde à une fréquence harmonique de 50, ce qui se traduirait par une surintensité permanente du courant traversant les condensateurs, laquelle pourrait à la longue entraîner leur détérioration.

Sans réactances de compensation, un ensemble transformateur (réactance de fuite 5 %) condensateurs d'amélioration du $\cos \varphi$ risque d'entrer en résonance pour l'harmonique 5 lorsque la puissance des condensateurs exprimée en kVar atteint environ 80 % de la puissance du transformateur. La probabilité pour que cette proportion apparaisse est en général assez faible, mais dès que l'on place des réactances en série avec les condensateurs, ce rapport diminue et l'on risque de trouver la résonance à 250 Hz beaucoup plus fréquemment.

En se basant sur ces considérations et sans préjuger des fréquences des systèmes de télécommande, l'Union technique de l'Electricité vient de prescrire, dans les nouvelles normes françaises sur les condensateurs, de prévoir en série avec ces derniers, des bobines de réactance de valeurs telles que l'ensemble condensateur-réactance de compensation résonne à une valeur inférieure à l'harmonique 5, soit 215 Hz.

Toutefois, cette décision n'est applicable qu'aux condensateurs destinés à être alimentés par des réseaux déjà équipés de télécommandes ou pouvant éventuellement l'être ultérieurement.

Il y a de souligner que :

cette décision a été prise sans préjuger du choix des fréquences de télécommande,

cette décision étant prise, elle laisse le champ libre à tous les systèmes de télécommande actuellement existants.

c) *Condensateurs basse tension chez des abonnés à basse tension.* Dans ce cas, des relais situés chez d'autres abonnés alimentés par la même ligne basse tension, doivent recevoir une tension à fréquence musicale suffisante pour assurer leur fonctionnement. Les condensateurs situés chez ces abonnés risquent donc, comme dans le cas précédent, de surcharger le poste d'émission, mais de plus, de faire apparaître une chute de tension exagérée des si-

gnaux de commande. Cette chute de tension est particulièrement sensible lorsque les lignes de distribution basse tension sont aériennes. *Masson et Eluard* de l'Electricité de France ont présenté dans la Revue Générale de l'Electricité de février 1947, pages 90...95, une étude détaillée à ce sujet.

Pour ces abonnés, l'Union technique de l'Electricité a prévu deux dispositions au choix.

1. La première de ces dispositions consiste à prévoir en série avec ces condensateurs des réactances telles que l'ensemble condensateur-réactance de compensation, résonne à 135 Hz. Cette disposition est simple, mais elle est coûteuse, car la surtension qui apparaît aux bornes du condensateur, conduit à le surdimensionner par rapport à un condensateur non compensé. De plus, la réactance à prévoir est elle-même importante et onéreuse.

2. La deuxième disposition conduit à prévoir, comme dans le cas des abonnés haute tension, une réactance amenant une résonance à 215 Hz, mais avec un petit condensateur à ses bornes formant un accord bouchon en principe à 700 Hz.

En pratique, dans le cas d'un système de télécommande à fréquence unique, l'accord de ce circuit-bouchon doit être fait à la fréquence des signaux de commande.

Dans le cas d'un système de télécommande à fréquence multiple dans une gamme allant de 480 Hz à 900 Hz, cette règle permet de satisfaire aux conditions de propagation et de limiter les chutes de tension des signaux de commande.

Cette dernière règle aurait-elle pu être simplifiée si les fréquences de télécommande avaient été choisies dans une gamme plus élevée? Le petit condensateur additionnel aurait vraisemblablement pu être économisé, mais par contre, l'application de la règle aurait été rendu plus difficile pour la raison suivante:

Si les signaux de télécommande sont à des fréquences inférieures à 1000 Hz, tous les condensateurs dont la valeur globale n'excède pas 5 % de la puissance du transformateur qui les alimente, peuvent être négligés et leur présence ne nuit pas au fonctionnement des relais récepteurs. Au contraire, si les fréquences de commande sont au voisinage de 2000 Hz, la puissance totale des condensateurs non compensés, ne devrait pas excéder 1,25 % de la puissance du transformateur. Or, les usagers ayant des petits condensateurs sont nombreux et plus difficiles à dépister.

De sorte qu'en conclusion, la présence de condensateurs d'amélioration du $\cos \varphi$ devrait plutôt nous inciter à ne pas choisir une fréquence trop élevée.

5. Influence des fréquences harmoniques de 50 Hz sur le choix des fréquences d'émission

Il existe sur les réseaux des tensions à des fréquences harmoniques. Ces fréquences varient dans la mesure où la fréquence 50 Hz est elle-même instable. Elles risquent de perturber le fonctionnement des installations de télécommande par courants superposés, lorsque leurs fréquences sont trop rapprochées des fréquences de commande.

Le processus de ces perturbations est évident pour les relais récepteurs des systèmes I (à fré-

quences musicales multiples) et III (à intervalle de temps) décrits ci-dessus. Pour ces systèmes, si la fréquence d'une tension harmonique vient à coïncider avec la fréquence d'accord d'un de ces relais et si cette tension est suffisante, ce relais peut fonctionner intempestivement.

Pour les relais sensibles aux émissions modulées, la perturbation est moins évidente, mais elle existe néanmoins et mérite d'être analysée.

Considérons un relais répondant au schéma de la fig. 5 sensible à une tension à fréquence musicale $\hat{u}_1 \sin \omega_1 t$ hachée à basse fréquence. Supposons ce relais excité au moment des émissions par une tension parasite $\hat{u}_2 \sin \omega_2 t$ provenant d'un générateur d'harmonique.

Si les pulsations ω_1 et ω_2 sont suffisamment rapprochées pour que le circuit accordé série ne puisse en assurer la sélection, la sensibilité du relais diminue avec la valeur de l'amplitude \hat{u}_2 du signal parasite.

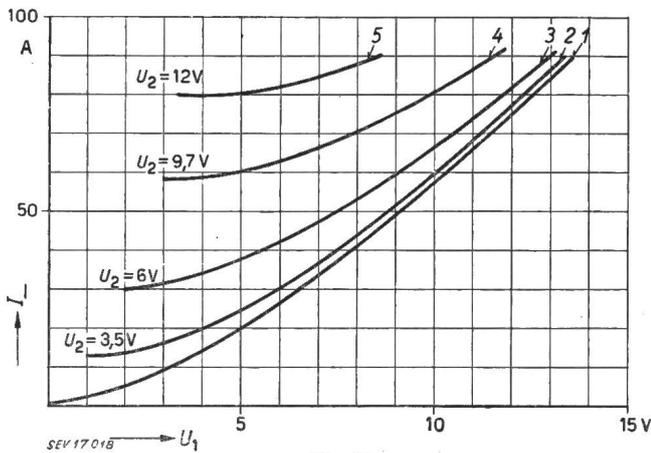


Fig. 18 Redresseur de mesure

Courbe du courant continu redressé en fonction de la tension alternative pour diverses valeurs d'une tension superposée à fréquence légèrement différente

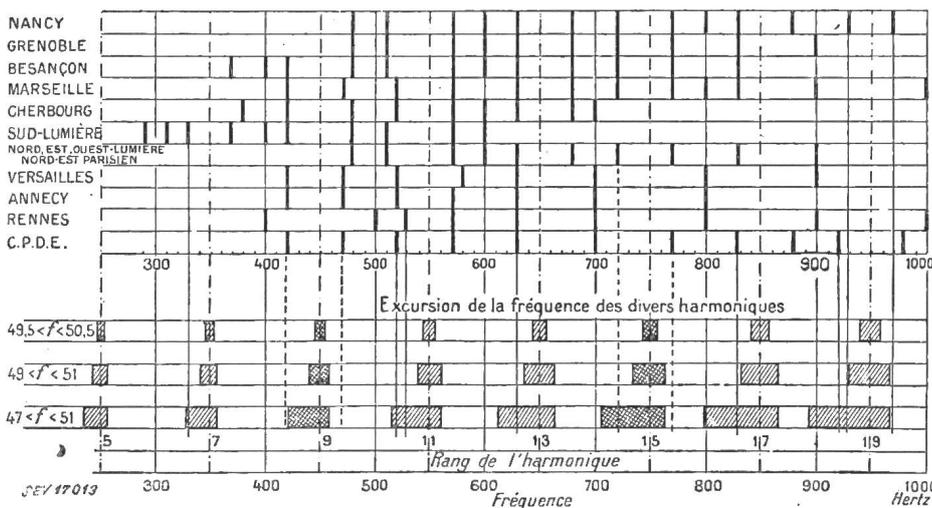


Fig. 19 Interférences possibles harmoniques et des signaux «Actadis»

La courbe I de la fig. 18 représente le courant continu I fourni par un redresseur en fonction de la tension alternative appliquée à ses bornes. Cette courbe est sensiblement une parabole. Les courbes 2, 3, 4, 5, de cette même figure indiquent la valeur

du courant continu redressé lorsqu'à la tension $\hat{u}_1 \sin \omega_1 t$ on superpose une tension à fréquence différente $\hat{u}_2 \sin \omega_2 t$ de valeur efficace 3,5 — 6 — 9,7 — 12 V.

On remarque que la pente de ces courbes diminue considérablement lorsque \hat{u}_2 augmente et les variations de ce courant sous l'action de la modulation diminuent également avec l'amplitude de \hat{u}_2 .

Il en résulte que la sensibilité des relais à balanciers diminue avec le niveau des tensions harmoniques. Il existe donc un niveau parasite pour lequel ces relais ne fonctionnent plus correctement pour un signal de commande d'amplitude donnée.

Au point de vue exploitation, cette perturbation présente les mêmes inconvénients que les défauts présentés par les relais des autres systèmes. Si nous considérons en effet un compteur change-tarif, le préjudice causé à l'usager sera le même si son compteur passe inopinément sur le tarif pointe ou s'il y reste pendant le temps où il devrait être sur le tarif nuit.

De sorte, qu'en conclusion, on peut dire que le fonctionnement de tous les systèmes de télécommande par courants superposés risque d'être perturbé par les fréquences parasites résultant des harmoniques du réseau.

Les niveaux des harmoniques du courant fort et leurs répercussions sur le fonctionnement des télécommandes centralisées ont été examinés dans une intéressante étude de Demont-Vignier (Revue Générale de l'Electricité Juin 1948, p. 241...245). Elle montre comment les écarts de réglage de la fréquence 50 Hz, qui entraînent des variations proportionnelles des fréquences harmoniques, risquent de perturber le fonctionnement des relais de télécommande. Nous nous permettons d'extraire de cette étude le tableau représenté sur la fig. 19 qui montre les diverses fréquences actuellement émises sur les

réseaux français, ainsi que les plages balayées par les variations des fréquences harmoniques.

Certaines fréquences d'émission, choisies à une époque où la fréquence 50 Hz était bien réglée, coïncident actuellement avec les plages balayées par les fréquences harmoniques. Le bon fonctionne-

ment de ces relais ne peut plus être assuré que si les niveaux de réception restent sensiblement supérieurs aux niveaux des courants perturbateurs.

Il importe, pour choisir les fréquences d'émission, de connaître exactement la précision avec la-

quelle la fréquence 50 Hz peut être réglée et les niveaux des diverses fréquences harmoniques.

Niveau d'émission

La détermination du niveau d'émission revêt une importance particulière, car la puissance d'émission varie comme le carré de ce niveau et le coût d'un poste d'émission suit sensiblement la même loi. Ce niveau d'émission dépend à la fois des caractéristiques du réseau et des caractéristiques des relais. Il faut tout d'abord définir quels sont les niveaux des courants perturbateurs dus aux harmoniques dans les conditions les plus défavorables, c'est-à-dire en général lorsque les réseaux sont à faible charge.

On définit ainsi des tensions H_1, H_2 correspondant aux diverses fréquences harmoniques.

Il faut ensuite connaître les limites des excursions de ces fréquences et la précision avec laquelle le réglage de la fréquence 50 Hz peut être garanti.

En tenant compte de la sélectivité des relais récepteurs et des fréquences d'émission, on définit les tensions de seuil S_1, S_2, \dots, S_n pour lesquelles, aux diverses fréquences de commande, les relais récepteurs ne fonctionnent pas (ou, pour les relais de réception des émissions modulées, les tensions pour lesquelles le fonctionnement des relais récepteurs n'est pas perturbé).

Le rapport entre les tensions $H_1 \dots H_n$ des harmoniques et les tensions $S_1 \dots S_n$ de seuil est d'autant plus grand que les relais sont plus sélectifs. La qualité première des relais récepteurs est donc la sélectivité. C'est la raison pour laquelle cette sélection a souvent été assurée à l'aide de lames vibrantes qui présentent un grand coefficient de surtension aux fréquences de commande.

La courbe 1 de la fig. 20 représente le seuil de non-fonctionnement d'un relais à lame vibrante; la tension perturbatrice est figurée en H_1 et H_2 , le seuil à la fréquence d'accord en S_1 .

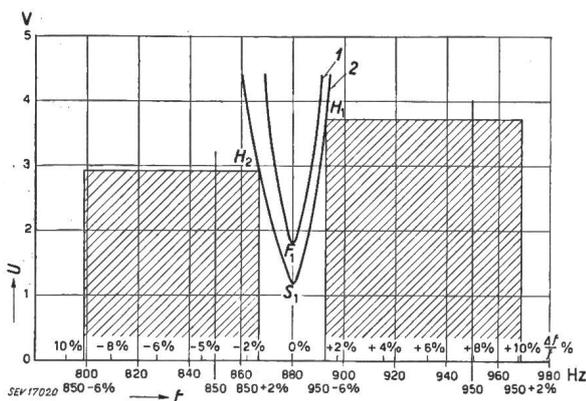


Fig. 20

Courbe de sélectivité d'un relais à lame vibrante

- 1 Fonctionnement correct
2 Seuil de fonctionnement

Connaissant la tension S_1 de non-fonctionnement, il existe une tension F_1 pour laquelle le relais fonctionne avec sécurité dans le temps voulu; le rapport entre F_1 et S_1 est une deuxième caractéristique essentielle des relais récepteurs.

Il y a lieu de remarquer que les constructeurs ne sont en général pas gênés pour réaliser des relais très sensibles. Nous avons, pour notre part, fabriqué des balanciers à résonance sensibles à 10^{-9} W. La difficulté consiste à réaliser des relais insensibles à une tension S_1 et fonctionnant bien pour une tension F_1 et à avoir $\frac{F_1}{S_1}$ le plus voisin possible de l'unité.

Pour connaître les tensions d'émissions, il faut, connaissant $F_1 \dots F_n$, considérer les conditions de propagation les plus défavorables, en général, lorsque les réseaux sont à pleine charge. On affecte ces tensions $F_1 \dots F_n$ d'un coefficient, variable avec les fréquences, qui tient compte des chutes en ligne. On détermine ainsi les tensions d'émission.

Si le poste d'émission est à fréquences multiples, le niveau d'émission n'a, dans ces conditions, aucune raison d'être le même pour toutes les fréquences. Pratiquement, des niveaux uniformes compris entre 3 et 3,5 % ont, jusqu'à ce jour, été adoptés.

Cependant, dans le cas de poste d'émission à fréquence unique utilisant le système à intervalle de temps ou à fréquence modulée, on peut éloigner la fréquence de commande des fréquences harmoniques dont les niveaux sont les plus importants. Les harmoniques 9 et 15 n'apparaissent que dans des conditions exceptionnelles et à des niveaux relativement faibles. Il apparaît que les fréquences de commande voisines de 480 ou 780 Hz peuvent donner satisfaction avec un niveau limité à environ 1 %, si toutefois les relais récepteurs sont suffisamment sélectifs.

Conclusions

1. Les télécommandes centralisées par courant porteur devraient être appelées à se développer dans la mesure où elles permettent d'instituer des tarifications et des règles d'exploitation qui permettent d'améliorer le coefficient d'utilisation des réseaux.

2. Différents modes d'émission sont proposés: émission en parallèle, émission globale en série, émission en série départ par départ. Le choix entre ces différents modes d'émission dépend des caractéristiques du réseau, des fréquences d'émission et même, dans certaines mesures, du niveau d'émission.

3. Les fréquences d'émission doivent être choisies en fonction de diverses considérations dont certaines sont impératives comme:

- être inférieure à la fréquence de résonance en quart d'onde des lignes à vide,
- ne pas coïncider avec les plages de fréquences balayées par les fréquences harmoniques.

D'autres considérations sont moins décisives. Pour notre part, nous avons généralement utilisé une gamme allant de 400 à 1000 Hz. Nous avons réalisé des installations descendant jusqu'à 290 Hz, et d'autres montant jusqu'à 1200 Hz; nous considérons qu'elles doivent constituer des exceptions.

Ce point de vue est, je crois, contesté en Suisse, il est par contre, partagé par Ross et Smith de Metropolitan Vickers Electrical Co Ltd ainsi qu'exposé

dans un article paru dans «The Institution of Electrical Engineers» du 2 décembre 1947.

4. Le niveau d'émission qui influe sur le prix du poste d'émission doit être déterminé en fonction:

a) du seuil de non-fonctionnement imposé au relais récepteur (lui-même défini en fonction de sa sélectivité vis-à-vis des harmoniques),

b) du rapport entre le seuil de non-fonctionnement et de la tension de bon fonctionnement des relais récepteurs,

c) des chutes de tension admises en ligne, en particulier le long des lignes aériennes basse tension chargées.

Dans ces conditions, plusieurs systèmes de commande centralisée par courants porteurs existent actuellement. Ces systèmes, loin de s'opposer, semblent se compléter.

Les systèmes à fréquences musicales multiples impliquent un niveau d'émission relativement élevé, car certaines fréquences de commande étant voisines des fréquences harmoniques, il faut pour éviter tout fonctionnement intempestif, assurer un niveau de réception supérieur au niveau des harmoniques.

Ces systèmes conduisent donc à des postes d'émission relativement coûteux; par contre, les relais

récepteurs sont les plus simples. Ils se prêtent bien aux applications à grande diffusion dans les grands centres.

Les systèmes à fréquence musicale modulée servent heureusement de complément aux systèmes à fréquences musicales multiples; ils permettent, en limitant le nombre de fréquences d'émission, de multiplier les applications à faible diffusion, pour lesquelles le prix du relais récepteur ne constitue pas une objection essentielle.

Enfin, les systèmes à intervalles de temps semblent permettre de réduire sensiblement le niveau d'émission en ne nécessitant qu'une seule fréquence, qui peut être choisie éloignée des harmoniques dont les tensions sont les plus importantes.

Il en résulte une économie sensible sur le poste d'émission.

Les relais récepteurs assez complexes le sont moins que les relais à balanciers. Ce système semble particulièrement indiqué pour les réseaux ruraux et pour les villes dans lesquelles le nombre de relais récepteurs reste limité.

Adresse de l'auteur:

J. Pelpel, ingénieur en chef à la Compagnie des Compteurs, Montrouge (Seine) (France).

Die Grundzüge des Zentralsteuersystems von Landis & Gyr

Von W. Koenig, Luzern

621.398.2

Es werden die Umstände erörtert, denen bei der Wahl der Steuerfrequenz von Netzkommandoanlagen Rechnung zu tragen ist; tiefe Steuerfrequenzen sind technisch vorteilhaft, hohe ergeben billige Sendeanlagen. Das L & G-System arbeitet nach dem Impuls-Intervallverfahren und benützt eine Frequenz von etwa 500...1000 Hz. Dann werden die Fragen, die mit den Störspannungsverhältnissen und der Sendeleistung zusammenhängen, diskutiert, und es wird kurz auf die Merkmale der Landis & Gyr-Apparaturen eingetreten.

L'auteur examine les conditions qui motivent le choix de la fréquence d'asservissement des installations de commande centrale des réseaux. Les basses fréquences sont préférables du point de vue technique, tandis que les hautes fréquences permettent des installations émettrices moins coûteuses. Le système Landis & Gyr fonctionne selon le procédé des intervalles d'impulsions, à une fréquence de 500...1000 Hz. L'auteur discute ensuite de questions qui concernent les tensions perturbatrices et la puissance d'émission, puis il expose brièvement les caractéristiques des appareillages Landis & Gyr.

Nach vielen Studien auf der Basis des Mehrfrequenzprinzips, des Impulszahlprinzips und anderer Lösungen gelangte Landis & Gyr als erste europäische Firma zum Impulsintervallprinzip in Kombination mit Netzüberlagerung. Wie aus den einleitenden Referaten hervorgeht, besteht über die besondere Eignung dieser Kombination so gut wie allgemeine Einigkeit. Über die vorteilhafteste Höhe der Steuerfrequenz und Steuerspannung dagegen herrscht in den Kreisen der Elektrizitätswerke noch eine gewisse Unsicherheit. Als Beitrag zur Klärung wird im folgenden zunächst versucht, die wichtigsten Gesichtspunkte darzulegen, die der relativ niedrigen Steuerfrequenz und verhältnismässig hohen Steuerspannung des Landis & Gyr-Systemes zugrundeliegen. Anschliessend werden die Konstruktionen noch kurz behandelt, soweit diese sich aus den allgemeinen Grundsätzen ergeben.

I. Steuerfrequenz

Von allergrösster Tragweite ist eine zweckmässige Wahl der Steuerfrequenz. Dabei sind als Hauptfaktoren zu berücksichtigen: die Übertragungseigenschaften, die Oberwellenfrage, Geräusche,

Einflüsse von Kapazitäten und der Aufwand für die Sendemittel.

a) Übertragungseigenschaften

In Bezug auf die Übertragungseigenschaften gilt ganz allgemein die Regel: ein Verteilnetz überträgt einen Wechselstrom um so besser, je näher dessen Frequenz bei der Betriebsfrequenz liegt. Denn nach dieser richtet sich die Netzanlage bei ihrer Erstellung und bei allen späteren Umbauten und Erweiterungen. Leitungen und Transformatoren weisen ausser den ohmschen Widerständen auch beträchtliche Längsreaktanzen auf. Schon bei der Betriebsfrequenz von 50 Hz sind diese oft nicht zu vernachlässigen. Bei 500 Hz sind die Leitungsreaktanzen und die Streureaktanzen der Transformatoren 10mal so gross als bei 50 Hz. Bei 1000 Hz sind sie 20mal, bei 1500 Hz 30mal so gross usw. Im gleichen Verhältnis wachsen die prozentualen induktiven Spannungsabfälle, während die ohmschen Abfälle prozentual ungefähr gleich sind wie bei 50 Hz. Um die gewünschte Empfangsspannung zu erhalten, muss die Sendespannung somit im Vergleich mit der Empfangsspannung um so höher sein, je höher die