

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 36 (1945)
Heft: 25

Artikel: L'action à distance
Autor: Burger, D.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056527>

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>

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:

Secrétariat de l'Association Suisse des Electriciens
Zurich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 23 77 44
Chèques postaux VIII 8481

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

XXXVI^e Année

N^o 25

Mercredi, 12 Décembre 1945

L'action à distance¹⁾

Par D. Burger, Genève

621.398.2

Il y a plus de 40 ans que le problème de la commande à distance s'est posé aux entreprises d'électricité. Toutefois, il n'est résolu de façon satisfaisante que depuis une quinzaine d'années. Après avoir exposé les manœuvres qu'une entreprise de distribution doit effectuer, l'auteur récapitule brièvement les différents systèmes de commande à distance existant à ce jour. Celui de la Compagnie des compteurs à Montrouge (France), exploité sous le nom d'«Actadis» ou Action à distance, est traité d'une manière détaillée, tout en décrivant l'installation des Services industriels de Genève, installation mise en service en avril 1944. Le 95 % du matériel a été fourni par les constructeurs suisses. Outre Genève, Thoune possède également une installation «Actadis»²⁾.

Schon vor mehr als 40 Jahren begannen sich die Elektrizitätswerke mit dem Problem der Fernsteuerung zu beschäftigen; eine befriedigende Lösung wurde indessen erst vor etwa 15 Jahren verwirklicht. Nach der Aufzählung der Aufgaben, welche die Fernsteueranlage eines Energie verteilenden Werkes bewältigen muss, erläutert der Verfasser kurz die bis zur Gegenwart entwickelten Fernsteuersysteme. Das von der Compagnie des Compteurs in Montrouge (Frankreich) gebaute, «Actadis» (Action à distance) genannte, wird eingehend behandelt, und die danach ausgeführte, seit April 1944 im Betrieb stehende Anlage des Elektrizitätswerkes Genf beschrieben. Ausser Genf besitzt noch Thun eine solche Anlage²⁾. Die Bauteile des Systems «Actadis» werden zu 95% in der Schweiz hergestellt.

Généralités

Nécessité d'une commande à distance

Il y a plus de quarante ans que le problème de la commande à distance s'est posé aux entreprises d'électricité, mais il n'a été résolu de façon satisfaisante que depuis une quinzaine d'années. Dès l'origine de l'exploitation des réseaux de distribution d'énergie électrique, les pionniers de l'électrotechnique avaient eu l'intuition qu'il serait désirable de pouvoir agir, à partir d'un point central imposé, sur l'ensemble des appareils installés. On peut dès lors se demander quel est donc au juste ce besoin d'action à distance, quels genres de fonctions les entreprises de distribution sont-elles contraintes d'opérer et comment s'en sont-elles tirées jusqu'ici.

Au fur et à mesure de leur développement, développement consécutif à la demande sans cesse croissante d'énergie électrique, les dites entreprises durent continuellement perfectionner leurs tarifs de vente. Il faudrait une étude spéciale pour en faire l'histoire, en souligner l'évolution, les tendances diverses, les principes que l'on croyait immuables et qui s'usèrent en vingt ans, quand ce n'est pas plus rapidement. Bornons-nous à retenir que suivant les heures de la journée, les jours de la semaine et suivant les saisons, l'énergie change de valeur pour une même application. Il faut donc assurer quotidiennement des commutations de tarifs et, périodiquement, des changements d'horaires: premier groupe de fonctions.

Par ailleurs, les mêmes entreprises se sont engagées contractuellement à assurer l'éclairage nocturne des rues et places publiques, des escaliers d'immeubles, etc. Ici également, il s'agit chaque jour d'exécuter les manœuvres d'allumage et d'extinction des foyers lumineux, manœuvres variant dans le temps en fonction des courbes astronomiques annuelles du lever et du coucher du soleil: deuxième groupe d'opérations.

Enfin, des questions d'ordre économique et de saine gestion interviennent. La courbe de charge journalière d'un réseau, et par conséquent d'une usine, est déterminée par la demande des abonnés; cette courbe est très variable suivant les heures et les saisons et ne ressemble en rien à celle du débit hydraulique d'un fleuve. Pour une usine au fil de l'eau, le fleuve qui l'alimente ne s'arrête pas de couler pendant le sommeil des abonnés, autrement dit pendant l'arrêt des activités diurnes. Si la capacité de production est suffisante pour couvrir la demande maximum — la pointe, en jargon du métier —, il y aura de nombreuses heures, dans le cycle d'une journée, pendant lesquelles des quantités appréciables d'énergie hydraulique resteront inutilisées. Ne pourrait-on pas accumuler ces énergies sous forme de chaleur par exemple? C'est précisément ce que l'on fait avec les chauffe-eau et appareils similaires fonctionnant pendant la nuit et pendant les heures de faible consommation ou heures creuses. Les chauffe-eau absorbent ainsi aux heures fixées par la courbe de charge l'énergie électrique disponible pour la restituer ultérieurement sous forme d'eau chaude. Il est dès lors nécessaire d'enclencher et de déclencher systématiquement les corps

¹⁾ Voir aussi: «Télémesure, télécommande et téléréglage. Rapport sur la journée de discussion de l'ASE du 14 décembre 1940» (Bull. ASE 1941, No. 26, p. 741...808).

²⁾ Cf. Bull. ASE 1941, No. 26, p. 802...804.

de chauffe de ces appareils et de décaler les heures de fourniture au cours des saisons: troisième groupe d'opérations.

En résumé, les manœuvres que les entreprises de distribution doivent opérer peuvent se répartir en trois groupes principaux:

1. Commutation quotidienne et périodique des tarifs.
2. Commande de l'éclairage public et privé.
3. Commande des chauffe-eau et appareils analogues à accumulation.

Toutes ces opérations ayant lieu en fonction du temps, c'est-à-dire des heures de la journée, il était tout naturel de les confier à des horloges. Pour être impartial, il faut reconnaître que les horloges, les interrupteurs-horaires et autres appareils automatiques s'acquittèrent de leur tâche à satisfaction mais dans les limites de leurs possibilités. Il faut reconnaître également que les constructeurs, toujours consciencieux et à la recherche du progrès, perfectionnèrent sans relâche leurs produits et créèrent de vraies merveilles de petite mécanique. Néanmoins, l'horloge présente deux défauts au point de vue de l'exploitation. Tout d'abord un défaut intrinsèque: nul mouvement d'horlogerie n'échappe à ses ennemis de toujours, les variations de température et de pression, la poussière, l'humidité. A plus forte raison ces facteurs sont-ils nocifs pour des appareils placés dans des conditions locales le plus souvent mauvaises. Ensuite, un défaut de système: l'horloge est individualiste à outrance par définition. Deux appareils de même série n'auront jamais en pratique la même marche. Les manœuvres que les horloges seront chargées d'accomplir à une heure déterminée, se produiront avec des écarts relatifs augmentant progressivement avec le temps. Cet inconvénient est peu important pour l'application des tarifs, quoique un abonné averti ne se fasse pas faute de réclamer. Il peut même être utilisé avec avantage pour étaler la manœuvre d'enclenchement et de déclenchement des chauffe-eau. En revanche, il est inadmissible pour les opérations d'éclairage public et privé; en effet, l'allumage et l'extinction provoqués selon la fantaisie des avances ou des retards d'horloges donnent non seulement une impression de désordre, voire de gaspillage, mais suscitent de nombreuses réclamations de la part du public. Ajoutons à cet état de chose les ordres d'obscurcissement et de réallumage à des heures fréquemment modifiées et l'on comprendra sans peine que ce facteur de non-simultanéité est un inconvénient notoire. En plus, les conditions de fourniture d'énergie aux chauffe-eau et appareils similaires impliquent qu'elles se fassent en fonction des disponibilités. Or, celles-ci se déplacent dans le temps au cours des saisons. Il est dès lors nécessaire de procéder à de nombreux décalages d'horaires de fourniture au long de l'année, pour tirer le meilleur parti possible de l'énergie hydraulique disponible.

Il résulte de cette brève analyse que le système de commande par horloges requiert une surveillance constante, des mises à l'heure continuelles, des changements et des décalages d'horaires saisonniers. Tous ces travaux doivent se faire sur place, c'est-à-dire

sur tout le réseau de distribution. Pour peu que celui-ci soit étendu, l'entretien du parc des horloges représente annuellement une grosse somme de travail sans obtenir en contre-partie un résultat pleinement satisfaisant, d'autant plus que le chef d'exploitation n'est pas maître d'apporter en pratique à la courbe de charge les corrections qui devraient être en son pouvoir.

Les différents systèmes en présence

Cet état de chose défavorable devait forcément conduire à la recherche de solutions plus satisfaisantes. A ce sujet, il est intéressant de constater qu'en 1897 déjà on se préoccupait de la question. Messieurs Brown et Routin³⁾ avaient préconisé l'exécution de manœuvres à distance par le moyen suivant: Sur un réseau de distribution à courant continu, des courants monophasés à la fréquence de 25 ou 50 Hz étaient émis entre un pôle du réseau et la terre; ces courants étaient recueillis par un relais récepteur comprenant essentiellement un électro-aimant en série avec un condensateur branché entre le réseau et la terre; inversement, si la distribution était à courant alternatif, le courant de commande devenait continu et le condensateur du récepteur était remplacé par une bobine de self.

A la même époque, M. Turpain³⁾ suggéra l'idée d'employer les ondes hertziennes à fréquences élevées et de les propager par les canalisations existantes du réseau. Quoique ces idées n'aient pas eu de suite, il est intéressant de relever que les principes étaient posés. Pendant 20 ans différentes tentatives virent le jour, mais c'est après la première guerre mondiale seulement qu'on s'attaqua à l'application pratique. Depuis une quinzaine d'années différentes solutions existent et nous les résumons comme suit:

1. **Commande par plusieurs fils-pilotes**, chaque fil étant chargé d'accomplir une manœuvre déterminée.

2. **Commande par un seul fil-pilote**, à cycle d'opérations invariable ou variable à volonté. Ces deux systèmes consistent à relier à un fil réservé à cet usage des interrupteurs à distance plus ou moins compliqués. L'application en est facile sur un réseau en construction, mais elle est financièrement impossible à réaliser sur un réseau existant, surtout si celui-ci est urbain et composé en majeure partie de canalisations souterraines; la pose de fils-pilotes aboutissant à chaque immeuble, à chaque villa conduirait en effet à des dépenses qui peuvent se chiffrer par millions de francs.

3. **Commande à distance par impulsions de courant continu rythmées à basse fréquence, de l'ordre de 1 Hz**, et transmises entre le point commun ou la terre du réseau et une terre séparée. Le récepteur se compose d'un oscillateur à balancier dont le moment d'inertie correspond au rythme des impulsions. Ce système nécessite une résistance de terre d'une certaine valeur sous peine de non fonctionnement. Les terres accidentelles lui sont funestes et son champ d'action est limité par l'absorption qui se produit au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre d'émission. Pratiquement, il n'est guère applicable en Suisse où les prescriptions concernant les mises à terre requièrent précisément des résistances ohmiques très faibles.

4. **Commande par émission de courants alternatifs à fréquences musicales (de l'ordre de 1000 Hz), rythmées à basse fréquence (environ 1 Hz) entre le neutre et la terre.**

³⁾ Cf. Compte rendu des journées d'études organisées à la foire de Lyon en mars 1938. Par M. Oury, ing. principal de la Ville de Lyon.

Le récepteur recueille le courant d'émission par un circuit oscillant — selfinduction et capacité — accordé à la dite fréquence. Le courant est ensuite redressé par un redresseur oxy-métal puis dirigé sur un oscillateur à balancier qui réagit suivant le rythme à basse fréquence. Ce système marque un progrès sur le précédent. Sa double sélectivité permet d'exécuter plusieurs dizaines de commandes distinctes. Mais il porte en lui les mêmes défauts relatifs à l'emploi des terres: variations des résistances de terre et chute de tension croissant avec la distance au poste d'émission.

5. **Commande par interruptions rythmées du courant principal.** La commande consiste à couper complètement et selon certains rythmes le courant principal du réseau. Les interruptions sont naturellement très courtes, de fractions de seconde, si bien que les appareils en service n'en sont pas affectés. Cette méthode paraît bien brutale mais elle est cependant appliquée en Allemagne.

6. **Commande par émission d'un courant à fréquence musicale unique actionnant des sélecteurs synchronisés à la fréquence du réseau.** Côté émission et côté réception, des sélecteurs synchronisés par moteur synchrone sont mis en marche par l'envoi d'un courant à fréquence musicale à partir de la haute tension. L'injection se fait en parallèle sur le réseau d'un point déterminé qui se trouve être le centre de distribution. Elle nécessite des circuits selfinduction et capacité accordés et des circuits-bouchons. La chute de la tension de réception croissant avec la distance limite le rayon d'action. Le développement du réseau peut rendre nécessaire un déplacement du centre de distribution et par conséquent du point d'injection. Ce système, qui représente une solution à tendance mécanique, vient de sortir du laboratoire.

7. **Commande par émissions de courants à fréquences musicales superposées au courant industriel.** Ce système créé et mis au point par la Compagnie des compteurs à Montrouge près Paris est exploité depuis une quinzaine d'années sous le nom d'Action à distance, en abrégé Actadis. Il recèle en lui quatre avantages primordiaux: Il utilise pour véhiculer ses émissions les phases mêmes du réseau, il est donc libéré de la contrainte des prises de terre et de l'affaiblissement dans l'espace; l'émission traverse les transformateurs répartis sur tout le réseau, elle peut donc avoir lieu d'un point central sur les lignes à haute tension; l'injection du courant de commande se fait en série sur les lignes haute-tension ce qui supprime tout appareillage de blocage; enfin, étant en service dans plus de 42 villes d'Europe — dont 2 de Suisse — et ayant derrière lui une carrière de plus de 12 ans, il est sorti des maladies d'enfance.

Le système Actadis adopté par le Service de l'électricité de Genève

Dès 1933, le Service de l'électricité de Genève (SE) suivit l'évolution de ces divers systèmes et en étudia les modalités d'application. A cette époque, la structure du réseau primaire et la présence de l'usine de Chèvres ne permirent pas d'envisager les solutions connues alors. La construction de l'usine de Verbois, la création d'un centre de répartition et la normalisation systématique du schéma haute tension changèrent suffisamment les données du problème pour qu'en 1940 le SE puisse reprendre les études et adopter définitivement le système Actadis, pour les raisons invoquées plus haut. En 1942 le SE passait commande à la Compagnie des Compteurs d'un poste d'émission et d'une première série de relais récepteurs. Les circonstances difficiles imposées par la guerre entraînent beaucoup de retard dans les délais de livraison. Néanmoins, l'appareillage complètement installé pouvait être mis en marche le 30 décembre 1943 et une première émission, chargée d'allumer et d'éteindre l'éclairage public du Pont de l'Île et la guirlande de la rade, fut effectuée en présence du Conseil d'Administration des Services In-

dustriels. Le premier trimestre de 1944 fut consacré à la mise au point définitive du poste d'émission et à la formation du personnel chargé d'exécuter les manœuvres, si bien que le 3 avril 1944, la télécommande pouvait entrer en exploitation définitive.

Nous allons examiner maintenant plus en détail la réalisation de ce système, dont le principe consiste à injecter dans les canalisations existantes des courants à fréquences musicales. Ces courants se superposent au courant industriel à 50 Hz et sont recueillis

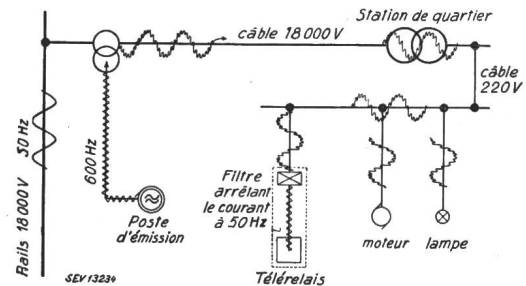


Fig. 1.

Principe du système de télécommande «Actadis»

par des récepteurs adéquats. L'installation comporte en substance, une source de courant à fréquences musicales, un ou plusieurs organes de liaison entre cette source et le réseau principal, un certain nombre de relais récepteurs dont la particularité est d'être insensibles à la fréquence 50 Hz et sensibles à l'une des fréquences musicales émises. Le schéma du système est donné par la fig. 1, sur laquelle on a représenté les barres 18 kV du centre de répartition, un départ sur câble aboutissant à un transformateur de quartier qui abaisse la tension à 220 V, le réseau basse-tension qui alimente lampes, moteurs, etc. Le poste d'émission également représenté fournit, dans l'exemple choisi, un courant à 600 Hz

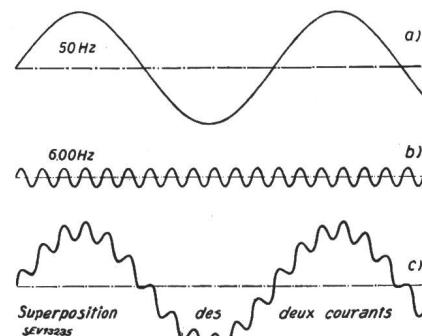


Fig. 2.

Superposition du courant principal à 50 Hz et du courant de télécommande, relevée à l'oscillographe

- a) Courant à 50 Hz
- b) Courant à 600 Hz
- c) Superposition des deux courants

pénètre dans un transformateur d'injection dont le primaire est monté en série sur le câble 18 kV. Ce câble est ainsi le siège de 2 courants superposés qui, circulant à travers le transformateur, pénètrent dans le réseau BT et rencontrent un relais-récepteur. La fig. 2 montre plus en détail cette superposition relevée à l'oscillographe. En haut le courant à 50 Hz

seul, au milieu le courant à 600 Hz seul, en bas la superposition des 2 fréquences.

Emission

Le poste d'émission comprend deux jeux de quatre machines accouplées 2 à 2 (fig. 3), l'un des jeux servant de réserve. Le premier groupe est constitué par un moteur triphasé 380 V 75 kW à démarrage centrifuge et à vitesse constante de 1450 t./min. Il entraîne une dynamo shunt à pôles de commutation, 66 kW sous 220 V; la tension est maintenue constante, quelle que soit la charge de cette machine, par une batterie de lampes fer-hydrogène montée dans l'excitation. La dynamo alimente à son tour le mo-

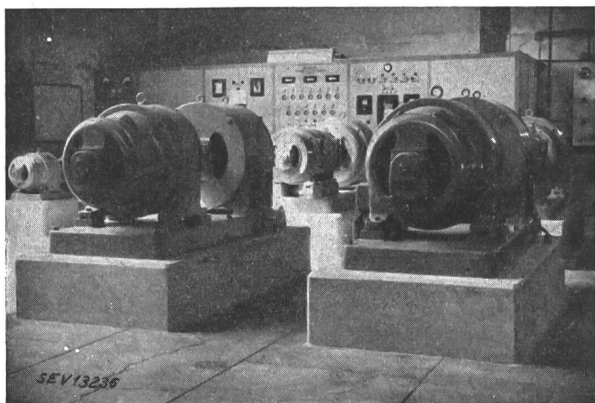


Fig. 3.

Poste d'émission. Groupes convertisseurs et, à l'arrière-plan, le tableau de commande

teur continu du deuxième groupe, moteur shunt de 59 kW sous 220 V, dont la caractéristique essentielle est de fournir la puissance nécessaire quelle que soit la vitesse imposée, comprise entre 1200 et 2730 t./min. Celui-ci entraîne l'alternateur triphasé multipolaire 50 kW, 1000 V, 40 pôles, qui engendre, en fin de compte, l'énergie à fréquences musicales nécessaire. Les fréquences musicales, en rapport avec les diffé-

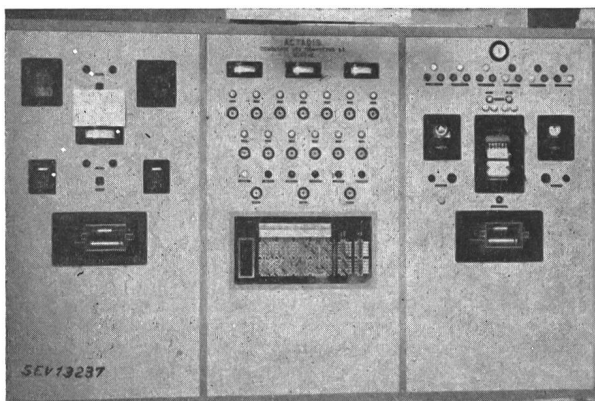


Fig. 4.

Les trois panneaux principaux du tableau de commande

rents régimes de vitesse indiqués ci-dessus, s'échelonnent entre 400 et 910 Hz. Pour situer dans l'esprit cette plage de fréquences, remarquons en passant que le «la» naturel du diapason vibre à 435 Hz, que la

fréquence inférieure de 400 Hz est très approximativement un sol «demi-dièze» tandis que la fréquence supérieure de 910 Hz un la «demi-dièze» supérieur. L'alternateur porte encore sur son arbre une petite machine-pilote: l'alternateur tachymétrique 5 A 70 V qui sert uniquement au réglage des vitesses ou, ce qui revient au même, des fréquences.

Le poste d'émission est complété par un tableau de commande, visible à l'arrière-plan de la fig. 3, et composé de 3 panneaux principaux (fig. 4). Au milieu (fig. 5) se trouve la mise en marche sous forme de 13 boutons-poussoirs correspondant aux 13 fréquences qu'il est possible d'émettre. 3 ampèremètres permettent de contrôler la charge de l'alternateur,

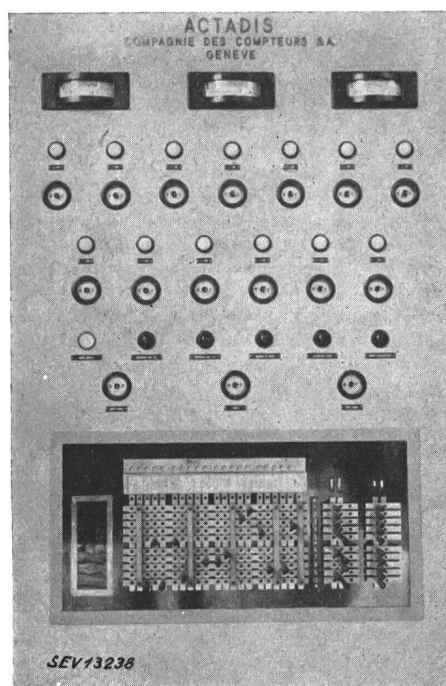


Fig. 5.

Panneau de mise en marche

tandis que des lampes-témoins et des boutons supplémentaires signalent les opérations successives et offrent la possibilité d'arrêter une manœuvre en cours. En bas, se trouve la grille de distribution qui permet de fractionner l'émission et de l'exécuter câble par câble. Les barres horizontales de la grille sont reliées à un distributeur à 10 positions tandis que les barres verticales sont en connexion avec les transformateurs d'injection. Un jeu de fiches, permutable à volonté, permet de choisir un ordre quelconque du cycle de 10 émissions successives. Cette particularité offre plusieurs avantages: celui de diminuer la puissance des machines nécessaires, d'opérer l'injection dans les différents départs dans un ordre quelconque, d'adapter cet ordre à l'état de couplage des canalisations à haute tension, de répéter l'émission sur tel ou tel départ.

Le panneau de gauche (fig. 6) contient les appareils d'asservissement du système. De haut en bas, le relais de fréquence, en 2 exemplaires commutables, chargé de maintenir la vitesse dans d'étroites limites

pendant l'émission. En effet, l'émission n'a pas lieu à une fréquence constante, mais avec un balayage de $\pm 0,5\%$ autour de la fréquence nominale. Cela a pour but d'assurer un fonctionnement certain des

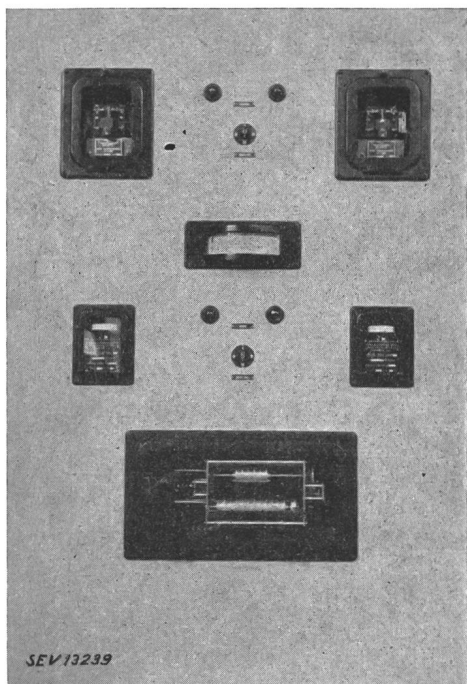


Fig. 6.
Panneau contenant les appareils d'asservissement

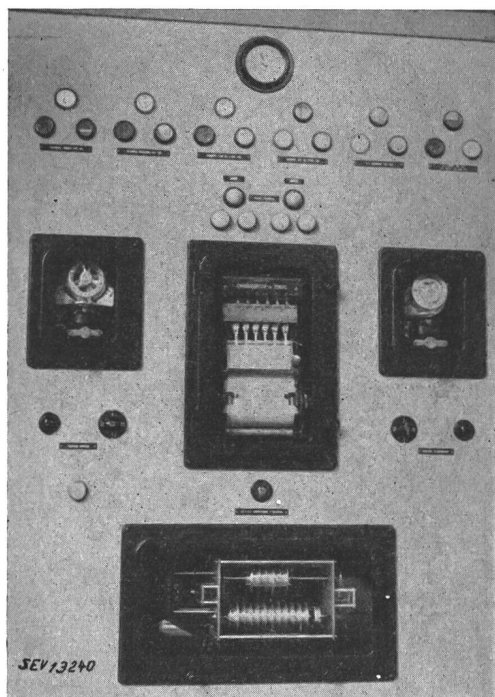


Fig. 7.
Panneau contenant les appareils de contrôle

relais récepteurs et de tenir compte des petits écarts de fabrication et de vieillissement. Le relais de fréquence commande le pupitre de vitesse, c'est-à-dire un rhéostat à touches motorisé contenu à l'intérieur

du tableau et agissant sur le champ du moteur à courant continu. Au-dessous, le voltmètre indique la tension d'émission. Cette dernière est déterminée par un relais voltmétrique en double exemplaire, dont le rôle est d'adapter automatiquement la tension d'émission à l'impédance momentanée d'une canalisation donnée. Ce relais de tension commande le pupitre de tension, également sous forme de rhéostat à touches motorisé agissant sur l'excitation de l'alternateur. Enfin, un distributeur motorisé à cames assure l'injection successive en 10 temps à travers la grille.

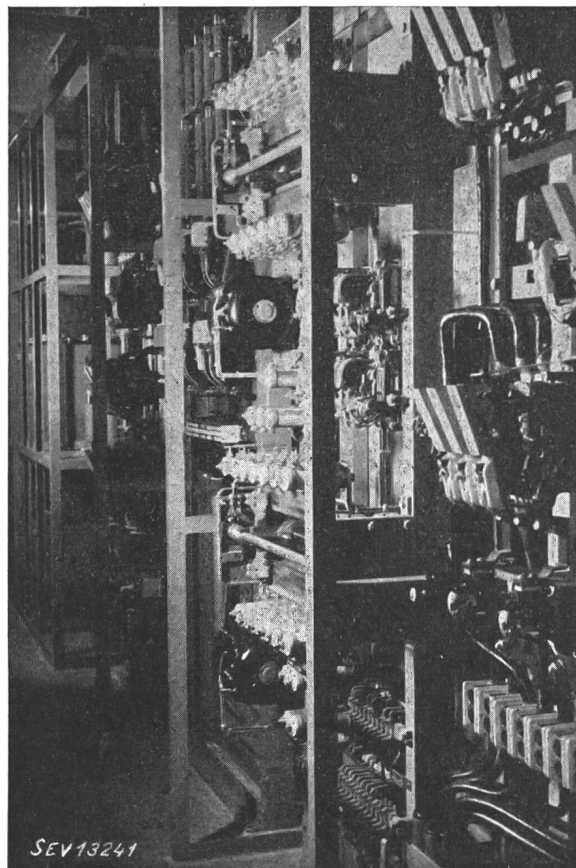


Fig. 8.
Vue intérieure du tableau de commande

Le panneau de droite (fig. 7) contient les appareils de contrôle, à savoir: des lampes-témoins indiquant à chaque instant la position des récepteurs installés sur le réseau, c'est-à-dire le point d'acheminement du programme journalier; un enregistreur à 6 plumes précisant à quel moment, heure et minute, les émissions ont été exécutées; 2 horloges chargées d'avertir à temps le personnel qu'une manœuvre doit être opérée; un distributeur à cames, réplique et réserve de celui du panneau de gauche.

Les fig. 8 et 9 montrent l'intérieur du tableau. Elles donnent une idée de l'appareillage nécessaire: contacteurs de démarrage et de vitesse, pupitres de vitesse et de tension, contacteurs d'émission et de compensation, batteries de condensateurs pour fil-

trage et compensation, appareillage des circuits accordés, des circuits de mesure, dispositifs de protection.

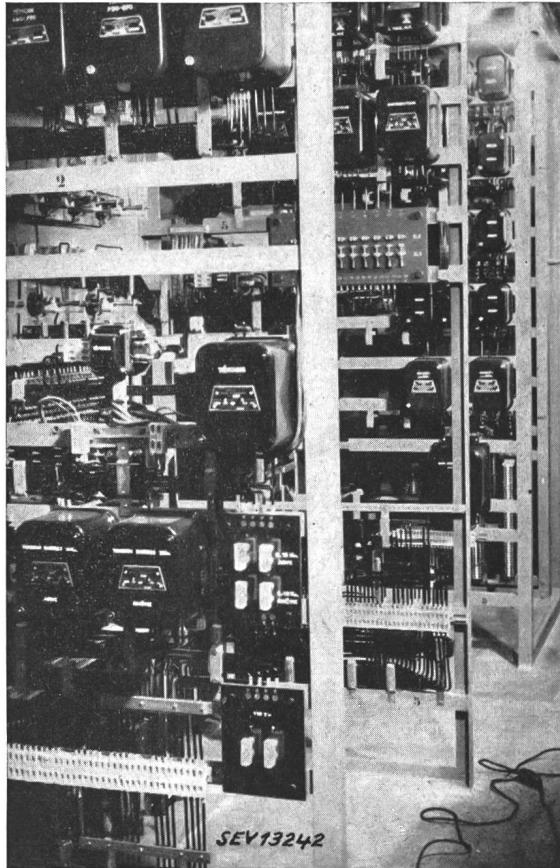


Fig. 9.
Autre vue intérieure du tableau de commande

Injection

La superposition du courant musical au courant industriel à 50 Hz s'accomplit dans un transformateur d'injection dont le primaire est monté en série sur la ligne haute tension et le secondaire raccordé à l'alternateur. Il n'y a donc pas de liaison électrique entre les 2 éléments, mais une liaison magnétique.

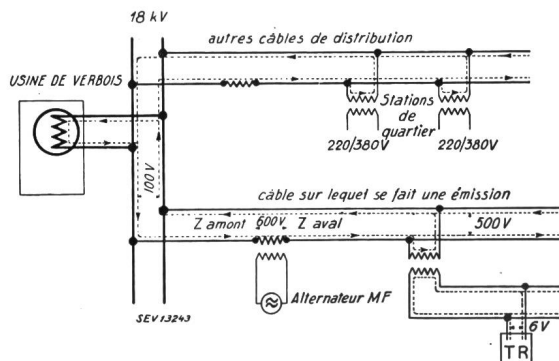


Fig. 10.
Schéma de principe de l'installation complète

La fig. 10 donne le schéma de principe de l'installation complète, schéma que nous avons établi en monophasé pour en faciliter la compréhension. De

gauche à droite et en traits pleins, nous voyons les générateurs de l'usine de Verbois envoyant l'énergie industrielle à 50 Hz dans le centre de répartition à 18 kV. De ce centre partent des câbles de distribution aboutissant aux stations transformatrices de quartiers abaissant la tension de 18 kV à la tension normalisée 220/380 V. En série sur les départs se trouvent les primaires des transformateurs d'injection dont les secondaires sont, tour à tour, raccordés à l'alternateur musical. Le courant d'émission est représenté en pointillé.

Pour comprendre le processus de l'émission, il faut maintenant, contrairement à l'habitude, raisonner «en série» puisque tel est le mode d'injection et faire abstraction de la présence du courant à 50 Hz. Pour un câble donné et par rapport au point d'injection, la partie aval de ce câble, située du côté des consommateurs, représente le circuit aval d'émission. En revanche, le centre de répartition, les autres départs en parallèles à 18 kV, l'usine génératrice de Verbois, les interconnexions éventuelles avec d'autres réseaux représentent le circuit amont. Si nous appelons Z l'impédance totale du circuit d'injection, Z_{am} l'impédance amont et Z_{av} l'impédance aval, nous avons la relation simple:

$$Z = Z_{am} + Z_{av} \quad (1)$$

La répartition des tensions d'émission va se faire proportionnellement aux impédances:

$$U = U_{am} + U_{av} \quad (2)$$

et

$$\frac{U}{Z} = \frac{U_{am}}{Z_{am}} = \frac{U_{av}}{Z_{av}} \quad (3)$$

Or, c'est à l'aval, côté des consommateurs, que nous nous proposons d'utiliser la télécommande et qu'il nous faut obtenir une tension d'émission suffisante pour actionner les relais récepteurs. C'est ici qu'apparaît l'énorme avantage de l'injection en série. Pour que ce système soit opérant il faut que Z_{am} soit toujours plus petit que Z_{av} . Or, c'est automatiquement le cas puisque l'amont du circuit est toujours formé de plusieurs artères en parallèles tandis que l'aval est constitué par un seul départ. Plus l'impédance amont sera faible, meilleure sera la tension aval. L'interconnexion d'une usine avec un réseau voisin n'aura donc aucune suite fâcheuse, ne nécessitera aucun dispositif de blocage — ce qui dans d'autres systèmes est indispensable — mais au contraire améliorera encore la réception, puisque le circuit amont diminuera d'impédance.

Pour fixer les idées, nous avons représenté sur la fig. 10 une répartition des tensions en fonction d'impédances momentanées:

$$Z_{am} = 10 \Omega; \quad Z_{av} = 50 \Omega; \quad Z = 60 \Omega$$

Si l'alternateur donne 600 V la répartition des tensions amont et aval sera donc $U_{am} = 100$ V et $U_{av} = 500$ V. Cette tension atteint un transformateur de quartier et engendre par induction une tension secondaire qui parcourt les canalisations à basse tension. Aux bornes du réseau 220 V nous recueillons

ainsi une tension musicale de l'ordre de 5 V. Le système de réglage de la tension, auquel nous avons fait allusion plus haut, tient précisément compte des valeurs respectives des impédances au moment de l'émission. Le relais voltométrique agit sur l'excitation de l'alternateur en soustrayant vectoriellement la tension amont de celle de l'alternateur. Il en résulte que, quelle que soit la charge momentanée du câble considéré, la tension aval est pratiquement constante et de l'ordre de 6,7 V sur le réseau à basse tension à 220 V.

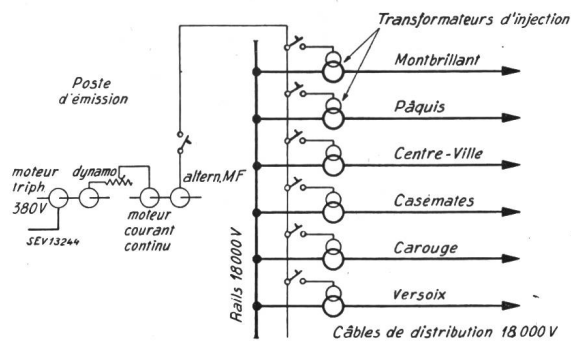


Fig. 11.

Schéma du poste d'émission. Injection du courant de commande dans les différents départs à haute tension

La fig. 11 montre l'injection dans les différents départs à haute tension par le distributeur motorisé du tableau fermant successivement les contacteurs de chaque transformateur d'émission. La fig. 12 est une photographie d'un de ces transformateurs dont la fig. 13 montre le détail des connexions. On distingue les 6 barres haute tension, entrée et sortie de chaque phase, aboutissant aux isolateurs, et l'arrivée du circuit secondaire à gauche. Le primaire est parcouru continuellement par le courant à 50 Hz et son enroulement est dimensionné pour l'intensité maximum traversant la ligne auquel il est affecté. Le secondaire est normalement fermé en court-circuit par le contacteur supérieur de la fig. 14. Au moment d'une émission, ce contacteur s'ouvre et décourt-circuite l'enroulement tandis que le contacteur inférieur, celui de l'injection, se ferme et relie le transformateur à l'alternateur. Dès lors, le secondaire est parcouru par le courant musical qui engendre, par les lois de l'induction, un courant du côté primaire. Le réseau haute et basse tension dans toutes ses ramifications est alors le siège des 2 courants, industriel et musical, superposés.

Les transformateurs d'injection représentés aux fig. 12 et 13 sont constitués par 3 transformateurs monophasés placés dans une cuve commune pour en réduire l'encombrement. Comme construction, ils rappellent les transformateurs d'intensité, avec cette différence que le circuit magnétique est ouvert par un entrefer pour diminuer leur réactance. Le primaire est dimensionné pour 250 A (l'intensité de transport d'un câble) tandis que le secondaire, lorsqu'il est en court-circuit, est parcouru par un courant de 125 A.

Afin de limiter la pénétration du courant à 50 Hz dans l'alternateur musical au moment d'une injection, des condensateurs de blocage sont connectés

en série sur la ligne de raccordement alternateur-transformateur.

D'autre part, une batterie de condensateurs de compensation est montée en parallèle sur la même

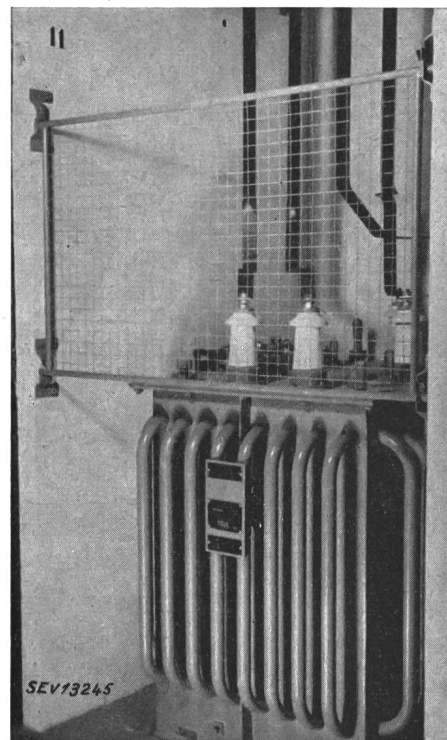


Fig. 12.

Transformateur d'injection

ligne. Insérée automatiquement et successivement sur les différents transformateurs d'injection, cette deuxième batterie compense, en fonction des fréquences musicales émises, l'importante composante réactive des transformateurs. Ainsi, la puissance fournie par l'alternateur se réduit au minimum né-

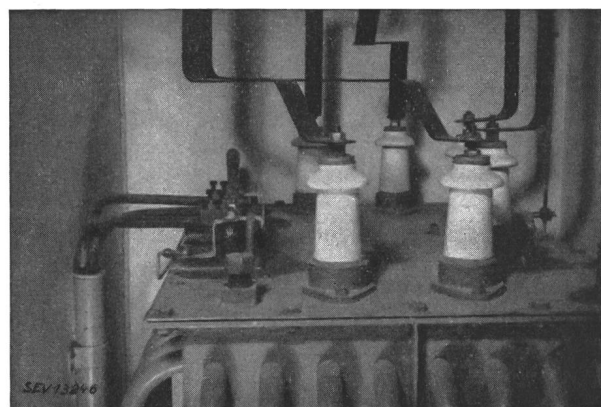


Fig. 13.

Transformateur d'injection; détails des connexions

cessaire, avec un facteur de puissance moyen d'environ 1, légèrement inductif ou légèrement capacitif.

Nous n'entrerons pas dans de plus grands détails techniques et ferons grâce des calculs. Disons

simplement que pour agir avec sécurité sur l'ensemble du réseau, la puissance d'émission doit être de l'ordre de 3 ‰ de la puissance à 50 Hz. Ainsi, pour un réseau dont la charge atteint 60 000 kW une machine de 180 kW suffirait. Mais comme nous avons admis, tant pour la sécurité et la souplesse de l'exploitation que pour éviter des charges et des dé-

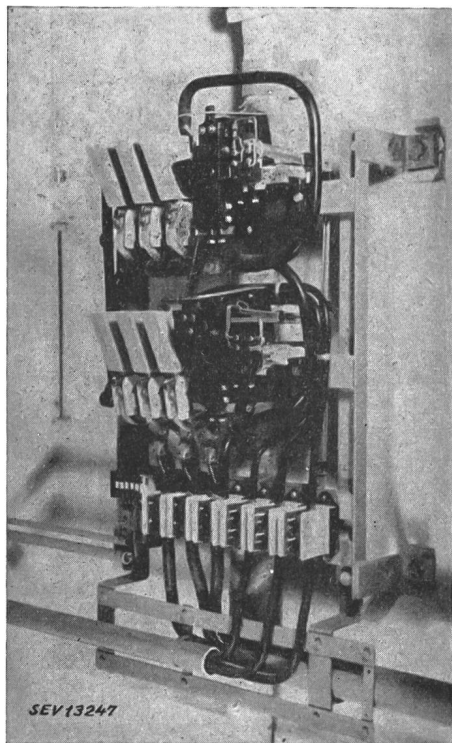


Fig. 14.
Contacteur double d'injection et de court-circuit
de l'enroulement secondaire du transformateur

charges massives de notre centrale lors de manœuvres des chauffe-eau par exemple, de procéder à l'injection successive câble par câble, la puissance nécessaire se ramène proportionnellement à la puissance de transport d'un câble. Pratiquement les machines ont été dimensionnées pour permettre d'exécuter une émission sur 2 câbles à la fois et comme la puissance de transport de 2 unités est de l'ordre de 15 000 kW, la puissance de l'alternateur a été fixée à 50 kW. Ainsi, la puissance de notre installation suffira jusqu'au moment où le réseau absorbera 150 000 kW. Nous n'en sommes pas encore là. Quant à la tension musicale recueillie sur le réseau, elle est de l'ordre de 3 ‰ de la tension nominale. Ainsi, sur un secteur à 220 V la tension musicale est de 6,5 à 7 V.

Réception

Si nous considérons un point quelconque du réseau — une prise de courant par exemple — nous constatons qu'en temps normal elle est alimentée à 220 V 50 Hz. En revanche, au moment d'une émission, cette prise est à la fois le siège de la dite tension et d'une tension musicale déterminée; la sinusoïde de base à la fréquence 50 Hz se trouve soudainement modulée à une fréquence supérieure

(fig. 2). Pour que l'émission soit opérante, il faut donc installer aux endroits où une manœuvre doit être accomplie un appareil dont la caractéristique essentielle soit d'être indifférent au courant industriel et sensible à l'une ou l'autre des fréquences musicales.

Cet appareil se nomme télérelais, et son rôle est de transformer l'énergie du courant à fréquence musicale qu'il reçoit en énergie mécanique capable d'actionner un contact. Il se compose de trois organes distincts: le circuit électrique, les lames vibrantes sélectives et le mécanisme démultiplicateur aboutissant au contact principal (fig. 15).

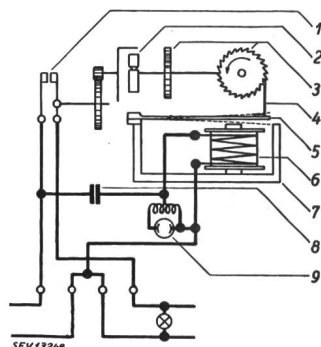


Fig. 15.
Schéma de principe
du télérelais récepteur

- 1 interrupteur.
- 2 dispositif centrifuge.
- 3 roue dentée.
- 4 cliquet.
- 5 lame vibrante accordée.
- 6 bobine d'excitation.
- 7 aimant permanent.
- 8 condensateur d'arrêt.
- 9 lampe à néon (limiteur de tension).

Le circuit électrique comprend un condensateur de l'ordre de 0,5 à 1 μF monté en série avec un électro-aimant à fer lamellé, le tout branché aux bornes du réseau 220 V 50 Hz. En parallèle sur l'électro-aimant se trouve un auto-transformateur alimentant une lampe à néon.

Les lames vibrantes, au nombre de deux par appareil, 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, exactement comme le diapason donnant le «la» naturel a une fréquence propre de 435 Hz. Ces lames sont polarisées magnétiquement par le champ d'un aimant permanent. A l'intérieur de celui-ci se trouve précisément l'électro-aimant qui soumettra à son tour les lames vibrantes au champ alternatif à fréquence musicale qu'il crée.

A l'extrémité des lames est fixée une lamelle d'acier à ressort jouant le rôle de cliquet. Cette lamelle repose par légère pression sur une roue à denture fine au profil de rochet. Ce mécanisme a pour but de transformer le mouvement alternatif de la lame vibrante en mouvement circulaire. La rotation est alors transmise à travers un dispositif centrifuge à des rouages démultiplicateurs habituels. Le dernier axe actionne l'ouverture ou la fermeture du circuit principal au moyen d'un tube à mercure. Le dispositif centrifuge joue le rôle d'accouplement ou, plus exactement, d'embrayage entre les roues à rochet et le train d'engrenages. Il est constitué par une masselote solidaire de l'axe des rochets, masselote qui se déplace radialement sous l'action de la force centrifuge. Quand elle atteint son rayon de giration maximum, elle entraîne par contact un levier à contre-poids solidaire des engrenages démultiplicateurs. Le rôle de ce dispositif est de limiter la plage de

sélectivité. La fig. 16, en perspective, donne un aperçu de l'ensemble.

Chaque télérelais porte 2 lames et deux roues, l'une étant destinée à accomplir une opération, l'autre à la défaire. Ces deux actions agissent à travers le même mécanisme qui doit être capable de les délimiter. La chose est réalisée par un axe sup-

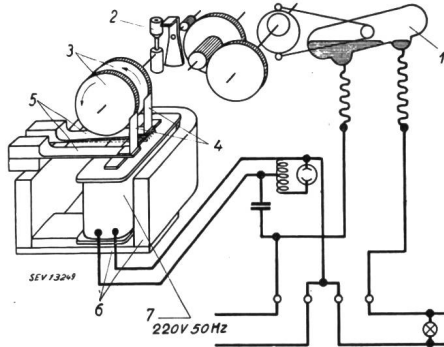


Fig. 16.

Organes essentiels du télérelais

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| 1 interrupteur à mercure. | 5 lames vibrantes. |
| 2 dispositif centrifuge. | 6 aimant permanent. |
| 3 roues dentées. | 7 bobine d'excitation. |
| 4 cliquets. | |

plémentaire — non représenté sur le dessin — portant deux cames calées à 180° et fixées en face des cliquets. Ces cames ont pour but de permettre ou de supprimer alternativement l'encliquetage de chacune des deux lames vibrantes.

Le processus de fonctionnement est le suivant: En temps normal, c'est-à-dire en l'absence d'émission, le télérelais branché aux bornes du réseau absorbe un courant capacitif de l'ordre de 35 à 70 mA, déterminé par la capacité du condensateur. Ce courant traverse évidemment l'électro-aimant, mais la pulsation du champ magnétique qu'il crée est trop lente pour agir sur la résonance propre des lames vibrantes. Cependant, les harmoniques supérieures de la fréquence 50 Hz pourraient, cas échéant, intervenir. Le constructeur élimine leur influence par un choix judicieux des fréquences de résonance. Ainsi, un télérelais donné sera construit pour fonctionner avec 420 et 480 Hz, fréquences qui se trouvent à distance suffisante de l'harmonique 9 du courant 50 Hz.

Au moment d'une émission un courant supplémentaire à fréquence musicale sous une tension de 6,5 V apparaît aux bornes du télérelais. Pour une fréquence de 500 Hz l'inductance du circuit intérieur du relais devient 10 fois plus forte alors que sa capacité devient 10 fois plus faible qu'à 50 Hz. Sans atteindre la résonance, l'impédance résultante devient très faible à l'égard des courants musicaux. Il en résulte qu'avec une tension musicale 33 fois plus faible que la tension d'exploitation, le circuit de l'électro-aimant est néanmoins parcouru par un courant musical de l'ordre de 30 mA.

L'ensemble électro-aimant, auto-transformateur et condensateur constitue ainsi un circuit accordé flou dans une bande laissant passer les deux fréquences affectées à l'appareil. C'est le premier filtre, assez grossier, favorisant le passage des courants musicaux.

Le deuxième filtre est constitué par les lames vibrantes qui fonctionnent exactement comme un diapason ou un fréquencesmètre à lamelles. Soumise maintenant à un champ magnétique de fréquence musicale, dès que la modulation correspondra à sa fréquence propre, une des lames entrera en résonance. Elle se mettra à vibrer tandis que sa voisine

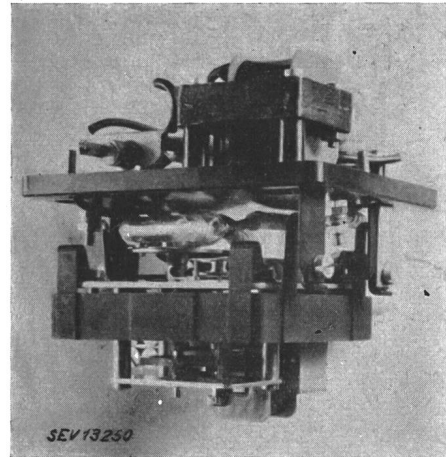


Fig. 17.

Bloc récepteur d'un télérelais

restera indifférente. Un deuxième accord plus aigu, plus fin, est ainsi réalisé: les lames vibrantes sélectionnant les diverses fréquences émises.

Cependant, si la syntonie d'une lame est quelque chose de très pointu, il n'est pas moins vrai que cette lame est sollicitée déjà par des fréquences voisines. L'amplitude de la vibration sera naturellement plus faible mais elle peut être suffisante pour actionner la roue à rochet. C'est ici qu'intervient l'ingénieux dispositif centrifuge. Pour qu'il joue son rôle d'embrayage, il faut que la roue à rochet

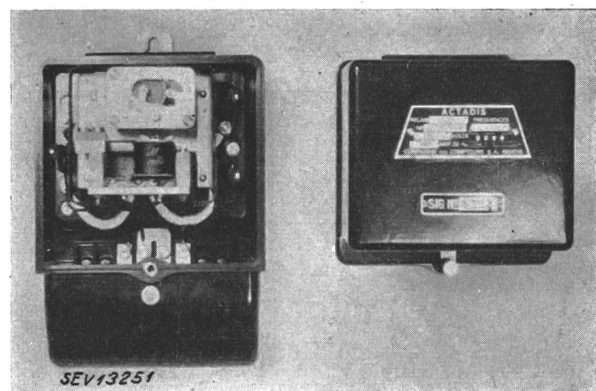


Fig. 18.

Télérelais monté dans son boîtier en matière moulée

tourne à une vitesse suffisante. Cela implique une amplitude suffisante de la lame, c'est-à-dire une vibration sinon syntonisée, du moins très proche de la résonance exacte. Ce troisième filtre fixe ainsi les limites de sélectivité ou, en définitive, d'action de chaque lame. Pour être complet, mentionnons encore la lampe à néon dont le rôle est de s'amor-

cer à une certaine tension, faisant ainsi fonction de soupape ou de régulateur. Elle absorbe les excédents d'énergie lorsque la tension musicale est trop élevée et limite le courant interne en cas de résonance exacte du circuit accordé.

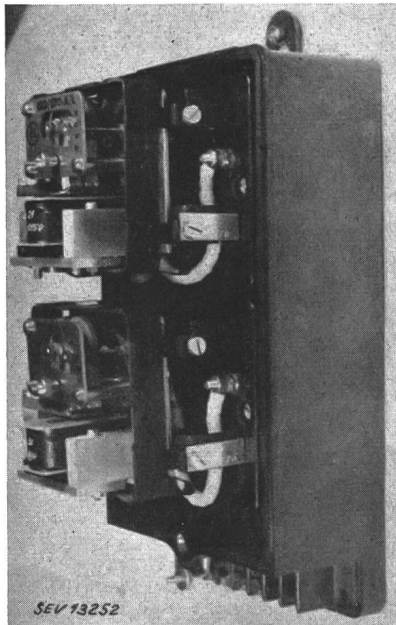


Fig. 19.
Appareil «bi-bloc»
(2 télérelais montés dans un boîtier commun)

Le télérelais ainsi constitué forme un tout, un bloc monté sur un socle en matière moulée (fig. 17). Ce bloc se place dans un boîtier de même matière pour former un appareil complet (fig. 18). Cependant, pour les besoins de l'exploitation, plusieurs blocs peuvent être disposés dans un boîtier commun. Les fig. 19 et 20 montrent respectivement un appareil «bi-bloc» et un «tri-bloc»; ce dernier est, par exemple, chargé de commander l'éclairage d'escalier d'un immeuble, l'enclenchement et le déclenchement des chauffe-eau et la commutation journalière des tarifs des compteurs installés dans l'immeuble en question.

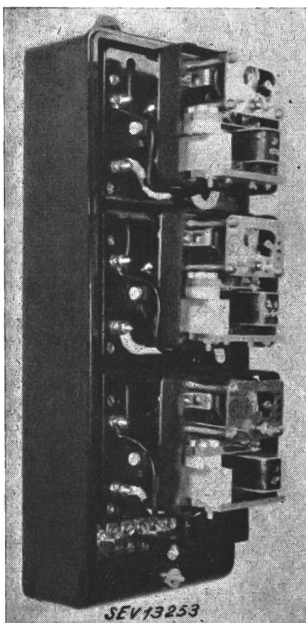


Fig. 20.
Appareil «tri-bloc»
(3 télérelais montés dans un boîtier commun)

Nous avons vu que les fréquences musicales émises s'échelonnent pratiquement entre 400 et 1000 Hz. Tenant compte des intervalles de sélectivité et de sécurité nécessaires, on peut répartir entre ces

deux limites 13 fréquences. Chaque récepteur en utilisant deux pour fonctionner, il est donc possible d'exécuter en premier lieu 6 manœuvres absolument indépendantes l'une de l'autre, puis un certain nombre de manœuvres empruntant la fréquence d'enclenchement à un groupe et la fréquence de déclenchement à un autre groupe. Enfin, si le besoin s'en fait sentir, on peut moduler à basse fréquence — dans l'ordre de 1 Hz — une des fréquences musicales réservées à cet effet. On obtient ainsi une nouvelle gamme de 10 à 20 rythmes différents et autant de nouvelles possibilités de manœuvres. Le récepteur est alors plus compliqué; il comporte deux filtres, l'un à fréquence musicale comme nous l'avons vu, l'autre sous forme d'oscillateur lent pour différencier les divers battements émis.

Le processus d'une émission

Tout l'appareillage étant automatique, il suffit pour faire une émission, d'appuyer sur le bouton correspondant à la fréquence chargée d'exécuter l'opération désirée. Le moteur triphasé se met en marche. Dès que la dynamo qui lui est accouplée fournit la tension de 220 V, un relais de tension se ferme. Celui-ci provoque le démarrage du deuxième groupe, en trois temps, puis l'ouverture successive d'une série de contacteurs afin d'insérer les résistances convenables dans le champ du moteur à courant continu. La vitesse de ce dernier augmente à chaque étage et atteint bientôt un régime voisin de la marche exacte. A ce moment le relais de fréquence entre en jeu et impose la vitesse exacte correspondant à la fréquence choisie à l'aide du pupitre de vitesse. Ce dernier prend une position déterminée puis oscille lentement autour de ce point, il «balaye» la fréquence d'émission à 0,5 % environ de part et d'autre de la fréquence nominale.

Nous voici en possession d'une source d'énergie à fréquence musicale déterminée. Le distributeur se met alors en marche et prépare en quelques secondes l'émission sur le premier départ. Le contacteur double d'injection décourt-circuite le transformateur d'injection et le raccorde à l'alternateur. Le courant musical est injecté sur le réseau haute tension. Le relais de tension réagit et excite l'alternateur jusqu'à obtention de la tension musicale nécessaire, déterminée par l'impédance momentanée du câble en considération. Le courant injecté traverse les transformateurs de quartier, se répand sur les canalisations à basse tension, rencontre les télérelais installés dans le secteur et fait fonctionner ceux qui sont accordés sur la fréquence émise. Au bout de 25 secondes l'émission est interrompue sur ce premier câble; le distributeur prépare en 5 s l'injection sur le câble suivant, et le processus se répète. Une fois les 10 émissions successives accomplies et réparées sur l'ensemble du réseau, le pupitre des vitesses redescend à sa position initiale et provoque l'arrêt total de l'appareillage et des groupes.

Une émission complète dure ainsi 10×30 s, soit 5 min en tout. Avec les temps de démarrage nécessaires, la manœuvre entière dure 7 à 8 min. Il est donc possible dans ce court laps de temps d'al-

lumer ou d'éteindre tout l'éclairage public, d'éclairer ou d'éteindre les escaliers de tous les immeubles, de commuter les tarifs sur l'ensemble du réseau, d'enclencher ou de couper les chauffe-eau et autres appareils à accumulation. De plus, la souplesse du système est très grande; il n'est plus lié à des horaires rigides d'horloges éparpillées sur tout le réseau. L'heure d'obscurcissement peut changer à volonté, l'opération est immédiatement exécutable; les changements d'horaire saisonniers se résument à un ordre à donner au personnel d'exploitation. Enfin, si en été on possède des excédents d'énergie en fin de semaine, rien n'est plus simple que d'augmenter la durée de chauffe des chauffe-eau le samedi et le dimanche. Les abonnés en bénéficieront par une fourniture d'eau chaude plus abondante au moment précis où ils en ont davantage besoin, et l'entreprise

réalisera une vente supplémentaire. En temps de restriction hivernale, il sera très facile d'exécuter le coup de frein indispensable pendant la période critique tout en mettant les abonnés sur un pied d'égalité.

Constatons pour conclure que l'action à distance est une belle réalisation de l'esprit français et constitue un instrument de première valeur pour l'exploitation rationnelle d'un réseau de distribution. Ajoutons enfin qu'elle présente aussi un intérêt tout particulier pour les constructeurs suisses puisque le 95 % de l'appareillage d'émission a été fourni par nos industriels tandis que les télérelais sont entièrement fabriqués dans notre pays.

Adresse de l'auteur:

D. Burger, chef de section des compteurs et horloges du Service de l'électricité de Genève, Genève.

Betrachtungen zur Frage der Netzgestaltung für einen zukünftigen drahtlosen Mehrkanal-Telephonverkehr in der Schweiz

Von *E. Huber*, Zürich

621.396.41

Durch verschiedene neue Publikationen wurde das Interesse der an der Entwicklung der Nachrichtentechnik interessierten Kreise für die kombinierte Richtstrahl- und Trägerfrequenztechnik geweckt. Da sich auch die Schweizer Industrie seit geraumer Zeit mit diesen Problemen beschäftigt, erscheint es als angezeigt, vor den Publikationen der rein technischen Probleme einige Betrachtungen über Zweck, Ziel und die Anwendungsmöglichkeiten zu veröffentlichen.

Als Uebertragungsmittel sind Richtstrahlverbindungen auf Meter-, Dezimeter- oder Zentimeterwellen besonders gut geeignet. Die erforderliche optische Sicht zwischen den Endpunkten einer Verbindung bedingt die Schaffung eines Hochwachtennetzes. Die durch mehrere Nachrichtenkanäle ausgenutzten derartigen Verbindungen erscheinen als «drahtlose Vielfachkabel».

Unter der Annahme, dass der gesamte schweizerische Telephon-Fernverkehr mit Hilfe eines Richtstrahlnetzes bewältigt werden soll, werden drei Varianten eines derartigen Netzes besprochen und an Hand von Karten gezeigt. Natürlich bestehen für schweizerische Verhältnisse weder der Wunsch noch das Bedürfnis, das bestehende Kabelnetz durch ein Richtstrahlnetz vollständig zu ersetzen. Diese Annahme dient lediglich zur Veranschaulichung der bestehenden Möglichkeiten und die Musterbeispiele zeigen die Art und Weise des Aufbaues von Richtstrahlnetzen.

Der vorliegende Aufsatz wurde in grossen Zügen bereits anfangs 1940 bearbeitet und geschrieben und diente damals als erste Vorstudie für den Beginn neuer Entwicklungsarbeiten im Hochfrequenzinstitut der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich. Den Anstoss für dessen heutige Veröffentlichung gaben die neuesten Forschungs- und Entwicklungsergebnisse auf den Gebieten der Hochfrequenz- und Nachrichtentechnik, insbesondere die erzielten Fortschritte in der Technik der drahtlosen Mehrkanal-Telephonie¹⁾.

Die hier folgenden Ausführungen stützen sich zwar auf bestimmte neue Entwicklungsarbeiten und -ergebnisse, sollen aber — es sei dies ausdrücklich hervorgehoben — kein reifes Zukunftsprojekt dar-

L'intérêt que portent les techniciens au développement des communications par ondes dirigées combinées avec des fréquences porteuses a été éveillé par différentes publications parues récemment. Etant donné que l'industrie suisse s'occupe depuis un certain temps de ces problèmes, il paraît indiqué de publier quelques études sur le but et les possibilités d'application de ce domaine des communications, ceci avant la publication de la partie purement technique.

Les liaisons à ondes dirigées dans le domaine métrique, décimétrique ou centimétrique, sont particulièrement désignées comme moyen de transmission sans fil. La nécessité d'une vision directe entre les points terminaux d'une simple liaison exige l'établissement d'un réseau de relais sur les hauteurs. Une liaison de ce genre où plusieurs canaux de transmission sont utilisés simultanément peut être qualifiée de «câble multiple sans fil».

En supposant que tout le trafic interurbain de la Suisse doive être assuré à l'aide d'un réseau à ondes dirigées, l'auteur a décrit et dessiné trois variantes d'un tel réseau. Naturellement vu les conditions qui se présentent en Suisse il n'est ni désirable ni nécessaire de remplacer le réseau de câbles existant par un réseau à ondes dirigées. La supposition faite plus haut sert uniquement à la démonstration des possibilités d'application; les exemples-types montrent la façon dont serait établi un réseau de communications multiples à ondes dirigées.

stellen, sondern lediglich Richtungen zukünftiger Möglichkeiten andeuten.

In der Entwicklung des Nachrichtenwesens während der letzten Jahrzehnte erkennt man in grossen Zügen die verfolgte Richtung auf Erreichung immer grösserer Uebertragungsdistanzen, kleinerer Wartezeiten, erhöhter Betriebssicherheit und vor allem auf Erreichung einer grösstmöglichen ökonomischen Ausnutzung der vorhandenen Einrichtungen. Der rasch anwachsende Fernspreverkehr lenkte die Entwicklung gewaltsam auf Wege zur bestmöglichen Ausnutzung der Leitungen. Durch die Verwendung der Zweidrahtsprechkreise und den Ausbau der Phantom- und Superphantomkreise wurden die ersten Ziele in dieser Richtung erreicht. Durch die Automatisierung, die besonders in der Schweiz einen hohen Stand erreicht hat, konnte der Fernspre-

¹⁾ *F. Tank*: Probleme der drahtlosen Vielfach-Telephonie. Bull. SEV 1943, Nr. 4, S. 87...93.