

---

# REVUE BROWN BOVERI

---



**La soudure électrique par résistance est le procédé le plus efficace et le plus économique pour la fabrication d'outils en acier.**

Malgré la faible consommation de courant, l'échauffement énorme du point de soudure se caractérise au moment de la soudure par un jaillissement d'étincelles inoffensives.

# BROWN BOVERI

## Technique haute fréquence



Nous construisons:

des émetteurs de radiodiffusion

des émetteurs à ondes courtes pour le service intercontinental

des postes de TSF pour l'armée, l'aviation, la marine, la police et le service du feu

des générateurs à haute fréquence pour buts industriels

des installations de télécommunication pour téléphonie, télémessure, télécommande par courants porteurs sur lignes à haute tension

des tubes d'émission de toutes puissances pour ondes moyennes et ondes courtes ainsi que des tubes spéciaux pour ondes ultra-courtes

Triode d'émission scellée à chauffage mono-, tri- ou hexaphasé, type ATW 50-2 avec dissipation anodique de 50 kW, pour émetteur à ondes courtes et moyennes, avec chemise de refroidissement à eau.

Tout émetteur dont l'étage final est équipé de deux de ces tubes atteint une puissance de 100 kW.

# REVUE BROWN BOVERI

PUBLIÉE PAR LA SOCIÉTÉ ANONYME BROWN, BOVERI & C<sup>IE</sup> A BADEN (SUISSE)

XXXII<sup>me</sup> ANNÉE

AVRIL 1945

N<sup>o</sup> 4

La Revue Brown Boveri paraît mensuellement. La reproduction d'articles ou d'illustrations est permise, à condition de citer leur provenance.  
Prix de l'abonnement annuel pour la Suisse Fr. 10.—, prix du fascicule pour la Suisse Fr. 1.—, port et emballage non compris.

## SOMMAIRE:

	Pages		Pages
Dispositifs modernes de protection pour réseaux à tension moyenne . . . . .	123	Procédés modernes de commande automatique du processus de soudure, pour machines à souder par points et à la molette	142
Progrès réalisés dans la protection des transformateurs par l'emploi de relais différentiels insensibles au courant d'enclenchement . . . . .	129	Installation de télémesure pour la télétransmission de valeurs de mesure quelconques sur de grandes distances . . . . .	147
« L'arbre électrique » . . . . .	133	Bref mais intéressant :	
Le frein hydraulique exempt de cavitation Brown Boveri . . . . .	136	Deux nouvelles turbines à gaz pour usines électriques sont commandées à Brown Boveri . . . . .	149
La sécurité de service des chaudières électriques Brown Boveri	139	Les avantages économiques obtenus en utilisant les installations de chauffage pour produire aussi du courant électrique . . . . .	150
De nouvelles installations de pompes thermiques Brown Boveri contribuent à économiser le charbon . . . . .	141	Est-ce un hasard? . . . . .	151

## DISPOSITIFS MODERNES DE PROTECTION POUR RÉSEAUX A TENSION MOYENNE.

Indice décimal: 621.316.91

*La façon la plus rationnelle de protéger les réseaux à tension moyenne contre les surtensions, les mises à la terre et les courts-circuits permanents ou passagers consiste à donner à chaque dispositif de protection sa tâche particulière, et à les coordonner les uns par rapport aux autres. Parafoudres à résorbite, bobines d'extinction, relais de distance et disjoncteurs pneumatiques avec dispositif de réenclenchement rapide forment ainsi un système de protection permettant d'éliminer rapidement toutes les perturbations, évitant ainsi les interruptions de service intempestives et les dommages plus graves.*

La protection moderne des réseaux a fait naître des problèmes souvent fort complexes en raison de l'évolution extraordinairement rapide de l'électricité au cours de ces vingt dernières années. Si tous ces problèmes sont aujourd'hui complètement résolus, ce n'est certes pas sans une somme de travail considérable que seul le spécialiste, habitué à ce domaine particulier, est à même de juger à sa juste valeur. Ceci n'a rien d'étonnant si l'on songe que les questions de protection ne se limitent pas aux éléments individuels du système d'alimentation — machines, transformateurs, lignes, appareils — mais s'étendent au fonctionnement collectif harmonieux de ces organes en service normal et en cas de perturbations.

Les systèmes modernes de protection jouissent déjà d'une grande extension, surtout dans les centrales et sous-stations de construction récente. Citons parmi leurs avantages les plus appréciés: fonctionnement rapide, sélection des cas individuels de perturbation, délimitation précise des tâches de protection et de surveillance; enfin, fonctionnement ordonné de tous les organes. Un système moderne de protection de réseau ne saurait être considéré comme un luxe; bien au contraire, il est absolument nécessaire au double point de vue technique et économique. En

effet, une protection incomplète peut mettre en danger d'une part la vie des hommes et des animaux, et d'autre part les installations dans lesquelles des capitaux importants ont été investis. Enfin, les interruptions de service fréquentes et de longue durée abaissent le rendement économique par suite de la diminution correspondante de la production et de la vente de l'énergie.

Nous nous proposons de montrer, dans ce qui suit, comment les systèmes modernes de protection peuvent être adaptés à leurs fonctions en subdivisant les perturbations d'après leurs causes, leur nature et les effets qu'elles produisent et en spécialisant les divers organes de façon correspondante. On a pu réaliser ainsi une sélection beaucoup plus complète des perturbations et les éliminer beaucoup plus rapidement que cela n'aurait été possible il y a quelques années seulement. Le présent article ne traite que les systèmes de protection contre les surtensions et les courts-circuits dans les réseaux à tension moyenne, c'est-à-dire jusqu'à environ 40 kV. Les mêmes procédés, éventuellement complétés, peuvent cependant être appliqués de façon analogue aux réseaux et aux installations de tensions plus élevées.

### LA PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS.

Dans tout système de distribution ou de génération, les surtensions sont parmi les sources de perturbation les plus importantes. Selon la cause qui les a fait naître, elles se divisent en deux catégories:

- a) Surtensions d'origine atmosphérique,  
b) Surtensions dues aux phénomènes de couplage.

Pour lutter contre les premières, on exige des réseaux à tension moyenne une rigidité diélectrique suffisamment élevée. On veille en outre, par la coordination de l'isolement, c'est-à-dire par l'introduction de niveaux d'isolement, à ce que les surtensions dangereuses soient mises à la terre à des points déterminés du réseau. Dans une installation dite « coordonnée » le niveau de protection constitue le point le plus faible. Le niveau immédiatement supérieur est déterminé par l'isolation extérieure et le niveau le plus élevé, enfin, par l'isolement intérieur de l'installation. Afin de tenir compte de la dispersion inévitable des tensions de contournement et de claquage — dispersion due au caractère des surtensions, à la polarité des ondes à front raide, à la forme des isolateurs et des électrodes et aux influences locales — les distances entre les divers niveaux doivent être choisies suffisamment grandes.

### Les parafoudres.

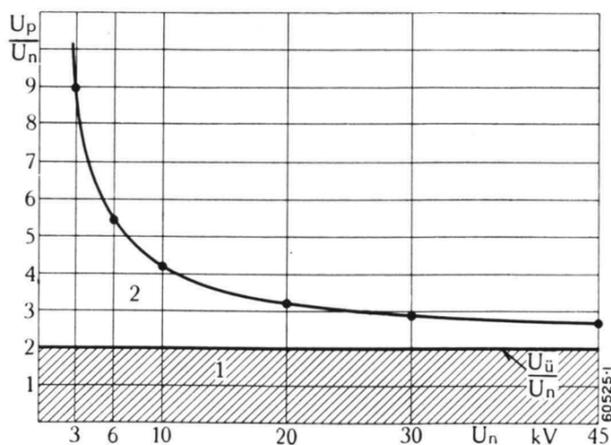
Le niveau de protection d'une installation est déterminé par la tension d'amorçage des parafoudres. Ces appareils ont pour but de mettre à la terre les surtensions d'origine atmosphérique, par l'intermédiaire des résistances de décharge, avant qu'un claquage ait pu se produire en un point quelconque de l'installation. Si la capacité thermique des résistances de



Fig. 1. — Centrale protégée contre les surtensions d'origine atmosphérique par des parafoudres à résorbite. Remarquer le choix judicieux de l'emplacement de ces appareils.

Des milliers de parafoudres à résorbite, pour des tensions nominales entre 0,2 et 220 kV ont fait leurs preuves pendant de longues années et constituent la base de la coordination.

Tension nominale $U_n$ kV	Tension d'essai $U_p$ kV	Rapport $U_p/U_n$	Surtension due aux phénomènes de couplage $U_{ii}/U_n$
3	27	9	environ 2
6	33	5,5	
10	42	4,2	
20	64	3,2	
30	86	2,87	
45	119	2,67	



- 1 = Domaine des surtensions dues aux phénomènes de couplage.  
2 = Sécurité contre les surtensions de couplage.

décharge suffit amplement pour mettre à la terre les surtensions élevées de durée très courte (mesurée en millièmes de seconde dans le cas des décharges atmosphériques), cette capacité thermique ne permettrait cependant pas d'éliminer les surtensions dues aux phénomènes de couplage, dont la durée est de l'ordre d'une seconde. C'est pourquoi la tension d'amorçage des parafoudres est choisie suffisamment élevée pour qu'ils ne s'amorcent pas dans ce dernier cas. L'isolation du réseau doit donc résister à toutes les surtensions dues aux phénomènes de couplage. Les tensions d'essai stipulées dans les prescriptions officielles tiennent compte de cette exigence (voir tableau).

Le domaine spatial de protection des parafoudres est limité, c'est pourquoi il est indiqué de les placer dans le voisinage immédiat de l'installation, de préférence sur les entrées de lignes (fig. 1). Les parafoudres ne peuvent donc pas empêcher que, lors d'une décharge sur la ligne protégée, des claquages se produisent sur certains isolateurs situés dans le voisinage de la station. Si le point neutre du réseau est mis directement à la terre, chacun de ces arcs à la terre, même s'il est unipolaire, représente un court-circuit,

qui doit normalement être éliminé par le système de protection du réseau, par déclenchement du tronçon avarié. La plupart des réseaux à tension moyenne ont leur point neutre isolé. Dans ce cas, le courant de terre du réseau s'établit par le canal constitué par un claquage unipolaire. Le danger existe alors que l'arc à la terre s'amorce et s'éteigne plusieurs fois de suite et que, par leur grandeur et leur durée, les surtensions produites par ces mises à la terre provoquent non seulement l'amorçage des parafoudres, mais encore leur destruction. Bien qu'un réglage de la tension d'amorçage des parafoudres à une valeur plus élevée suffise bien à remédier à ce défaut, cette solution n'en a pas moins l'inconvénient de provoquer une élévation correspondante du niveau de protection intérieur et extérieur et d'être ainsi tout-à-fait irrationnelle. La mise à la terre du point neutre du réseau par l'intermédiaire d'une bobine d'extinction est une méthode beaucoup plus simple et moins coûteuse (fig. 2).

*La bobine d'extinction.*

Les avantages de la bobine d'extinction ne se limitent pas à ceux que procure la protection contre les surtensions dues aux mises à la terre. En cas de mise à la terre dans un réseau sans bobine d'extinction, la charge augmente brusquement d'une valeur  $U \times J_e$ , sous  $\cos\varphi = 0$  capacitif,  $U$  étant la tension de phase et  $J_e$  le courant de terre du réseau. Ce phénomène se fait particulièrement sentir dans les réseaux mixtes, où le nombre des mises à la terre est

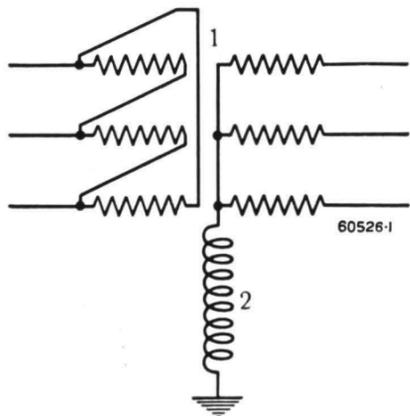


Fig. 2. — Schéma pour la connexion d'une bobine d'extinction au point neutre d'un transformateur de puissance.

La bobine d'extinction protège l'installation contre les effets néfastes des mises à la terre.

- 1 = Transformateur de puissance.
- 2 = Bobine d'extinction.

relativement élevé à cause des lignes aériennes et où le courant de terre est important par suite de la présence des câbles. Dans un réseau à 20 kV, avec un courant de terre de 200 A, chaque mise à la terre provoque le brusque enclenchement d'une charge capacitive de quelque 2300 kVA. Si dans un tel réseau le point neutre est mis à la terre par l'intermédiaire d'une bobine d'extinction, cette charge ca-

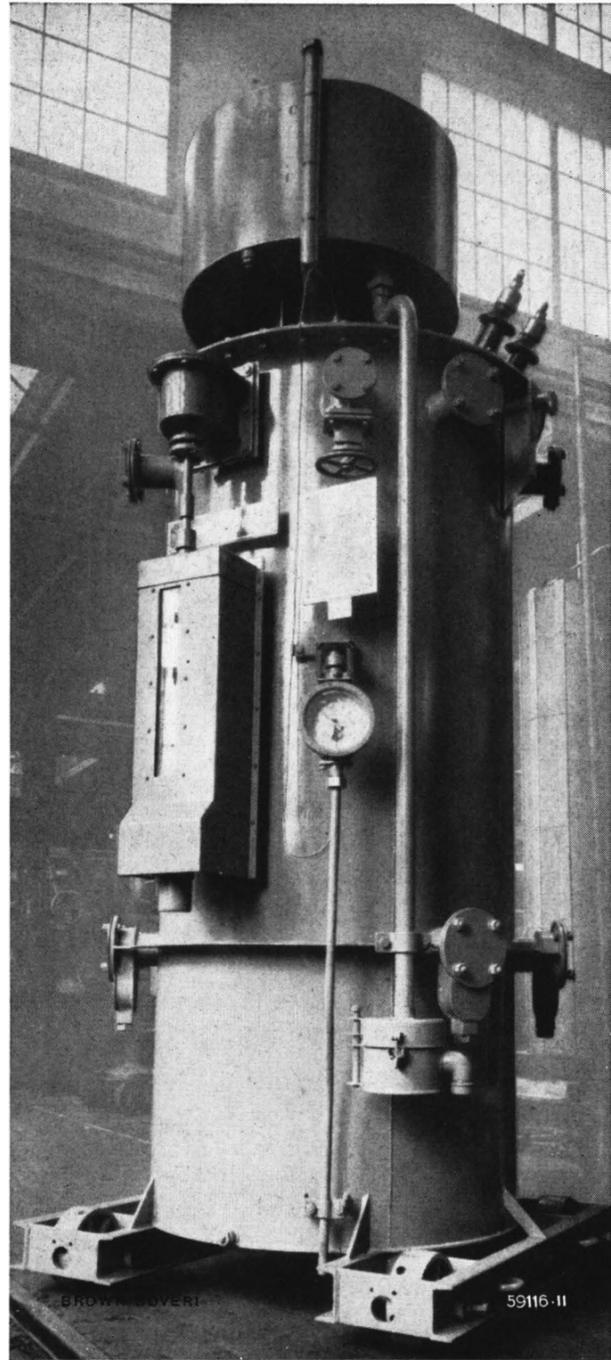


Fig. 3. — Bobine d'extinction à réglage progressif du courant.

Ce système permet un contrôle permanent, par le personnel de service, du réglage du courant de la bobine, ce qui augmente l'efficacité de la protection contre les mises à la terre.

pacitive supplémentaire se trouve compensée par la puissance inductive de la bobine; toute fluctuation de charge provenant d'une mise à la terre se trouve alors éliminée.

La mise à la terre du point neutre par l'intermédiaire de bobines d'extinction est une des méthodes les plus efficaces de lutte contre les perturbations, car tous les arcs à la terre sont supprimés. L'installation d'une bobine d'extinction permet de choisir pour les parafoudres une tension d'amorçage plus basse et de ce fait d'établir la coordination de l'isolement de la station de façon rationnelle. C'est là un exemple intéressant de la façon dont les deux méthodes de protection, parafoudre et bobine d'extinction se complètent.

La résultante des tensions du réseau par rapport à la terre en cas de disymétrie est éliminée aujourd'hui par des moyens nouveaux eux aussi, notamment en

augmentant l'amortissement du réseau à l'aide d'une résistance insérée dans le circuit secondaire de la bobine d'extinction. La bobine est dès lors accordée en résonance. Relevons ici que dans les réseaux à tension moyenne la résultante des tensions en cas de dissymétrie est en général relativement faible, ce qui rend superflue la permutation cyclique des conducteurs. Ceci est loin d'être le cas pour les réseaux à tension élevée où, dans certaines conditions (lignes sur poteaux sans conducteur de terre) la dissymétrie de tension par rapport à la terre ne peut être maintenue dans des limites acceptables que par la permutation cyclique des conducteurs.

Depuis qu'il est possible, d'une part de construire la bobine d'extinction avec réglage étendu du courant pendant le service et d'autre part de faire contrôler ce réglage en tout temps par le personnel, cette bobine ne devrait manquer dans aucun réseau à tension moyenne de quelque importance.

#### LA PROTECTION CONTRE LES COURTS-CIRCUITS.

La catégorie de perturbations la plus connue dans les installations électriques est sans contredit celle des courts-circuits. Le court-circuit a pour effet d'interrompre partiellement ou totalement la fourniture d'énergie tant que dure la perturbation, souvent même plus longtemps par suite du dommage produit. Ce sont précisément ces redoutables interruptions de service qui obligent à prévoir une réserve suffisante non seulement en machines et en transformateurs mais encore en lignes. C'est pourquoi on prévoit ces dernières doubles ou multiples, reliées à leurs extrémités. Les réseaux prennent ainsi la forme d'anneaux et de mailles; la tâche de la protection contre les courts-circuits est de déclencher le tronçon avarié. Plus le réseau est compliqué, plus cette tâche devient difficile. La protection contre les courts-circuits a beaucoup évolué; elle a passé de la simple protection par relais temporisés à maximum d'intensité au système compliqué de

#### *protection de distance rapide avec relais à champ tournant comme organe directionnel*

avec blocage anti-pendulations prévenant les déclenchements intempestifs provoqués par des oscillations pendulaires en cas de conditions très difficiles, avec échelonnement permettant le sectionnement sélectif des tronçons avariés.

Les résultats obtenus par ce perfectionnement laissent apparaître clairement les efforts faits pour diminuer la durée du court-circuit, efforts qui se traduisent par une réduction du temps de fonctionnement des relais et des disjoncteurs. L'importance évidente de la ré-

duction du temps de fonctionnement des disjoncteurs a déjà été relevée dans ces colonnes. <sup>1)</sup> Vouloir pousser cette réduction jusqu'à atteindre quelques centièmes de seconde n'a cependant pas beaucoup de sens, si le temps de réglage des relais reste de l'ordre de quelques secondes.

Les problèmes très compliqués qu'a posé la réduction de ce temps de réglage, surtout en ce qui concerne l'extension de la protection aux réseaux maillés et à points d'alimentation multiples, sont aujourd'hui complètement résolus. Deux méthodes différentes ont été appliquées. La première consiste à attribuer à l'organe de protection un objet strictement délimité.

#### *La protection différentielle*

est un représentant typique de cette catégorie. Elle s'applique uniquement aux organes compris entre les transformateurs d'intensité alimentant les relais. Comme la protection ne s'étend pas aux domaines avoisinants, les relais peuvent être réglés pour le temps de déclenchement minimum. La protection différentielle des transformateurs nécessitait encore dernièrement un blocage momentané (ne dépassant pas deux secondes) pour tenir compte de la surintensité à l'enclenchement, ce qui empêchait ces relais de fonctionner

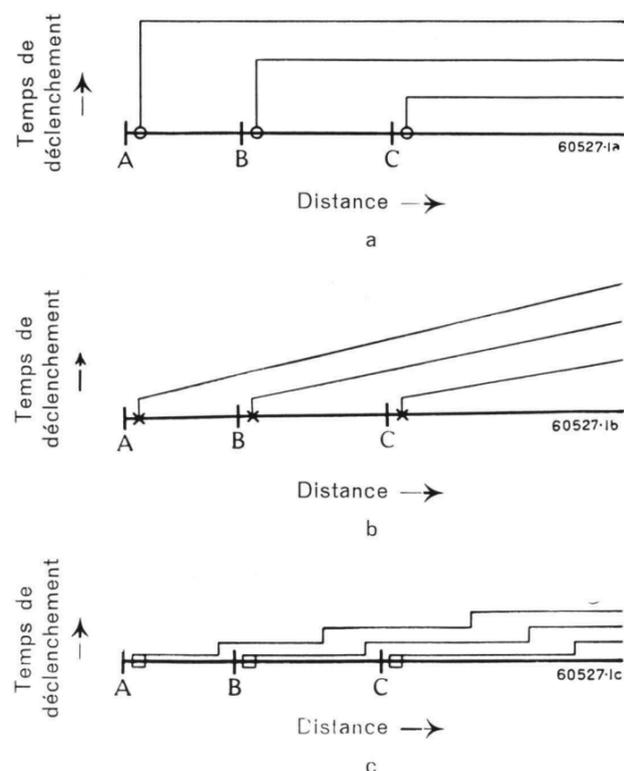


Fig. 4. — Caractéristiques temps-distance des relais.

- a = Protection par relais à maximum d'intensité.  
b = Protection par relais de distance à caractéristique linéaire.  
c = Protection de distance rapide avec disjoncteurs pneumatiques ultra-rapides.

La protection moderne contre les courts-circuits se distingue par des temps de déclenchement particulièrement courts, tels que les permet la protection de distance rapide. A, B et C représentent les stations dans lesquelles la protection contre les courts-circuits est installée.

<sup>1)</sup> F. Grieb: «L'importance de la rapidité de coupure dans les installations électriques». Revue Brown Boveri Nov. 1944, p. 359 à 361.

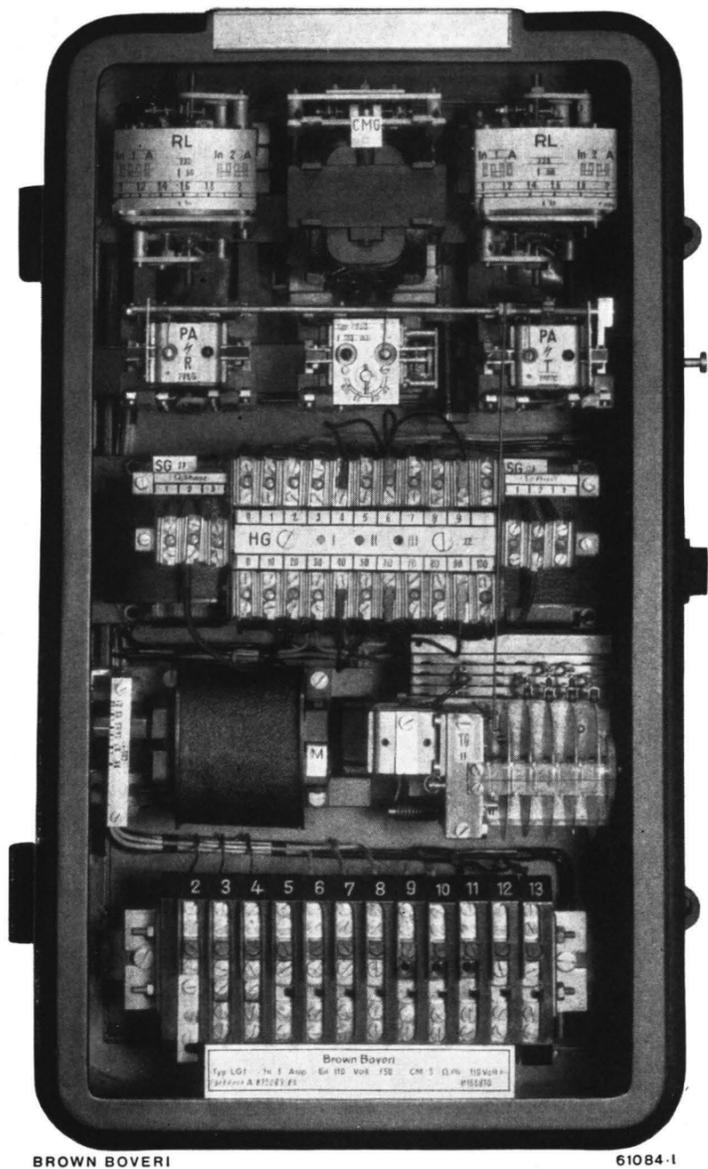


Fig. 5. — Protection de distance rapide, type LG 1, conçue spécialement pour les réseaux à tension moyenne.

L'application de cette protection et de disjoncteurs pneumatiques ultra-rapides permet de réduire le temps de déclenchement, compté du début à la fin d'une perturbation, à moins de 0,2 s et de limiter ainsi au minimum les dommages causés par les courts-circuits passagers.

instantanément lors d'un enclenchement sur court-circuit. La solution adoptée aujourd'hui permet de réduire à environ 0,1 s la temporisation des relais consécutive à l'enclenchement du transformateur.<sup>1)</sup>

C'est précisément à cause de son fonctionnement rapide que la protection différentielle connaît un si grand essor dans le domaine des alternateurs, des transformateurs, des moteurs synchrones et asynchrones de grande puissance, des barres collectrices et des câbles.

La stricte délimitation du domaine de protection comporte cependant un inconvénient: le manque de réserve de protection. Lorsqu'en cas de perturbations le disjoncteur d'une section déterminée n'ouvre pas pour une raison quelconque, c'est le disjoncteur du tronçon adjacent qui devrait le faire. Les relais de protection de ce dernier ne constituent cependant une réserve que si leur rayon d'action s'étend en dehors de leur propre zone.

<sup>1)</sup> Voir « Progrès réalisés dans la protection des transformateurs par l'emploi de relais différentiels insensibles au courant d'enclenchement », p. 129 de ce numéro.

Les relais à maximum d'intensité et les relais de distance sont des représentants de cette dernière catégorie. S'il doivent servir de réserve, leur temps de déclenchement doit être échelonné avec celui des relais du tronçon avarié. Comme dans les relais à maximum d'intensité la temporisation, une fois réglée à une certaine valeur, ne varie plus, les temps de déclenchement, dans le cas de tronçons en série, atteignent rapidement des valeurs élevées (fig. 4 a). La protection à distance, dont le temps de réglage augmente avec la distance du court-circuit, élimine complètement cet inconvénient. C'est pourquoi le temps de déclenchement peut être maintenu à une très faible valeur pour le tronçon même à protéger. (fig. 4 b et 4 c).

*La protection par relais de distance rapides.*

La protection de distance rapide enfin (fig. 5) a permis de réduire à moins de 0,1 s le temps de base des relais. La combinaison de ces relais avec des disjoncteurs pneumatiques ultra-rapides procure un temps total de moins de 0,2 s compté du début à la fin de la perturbation.

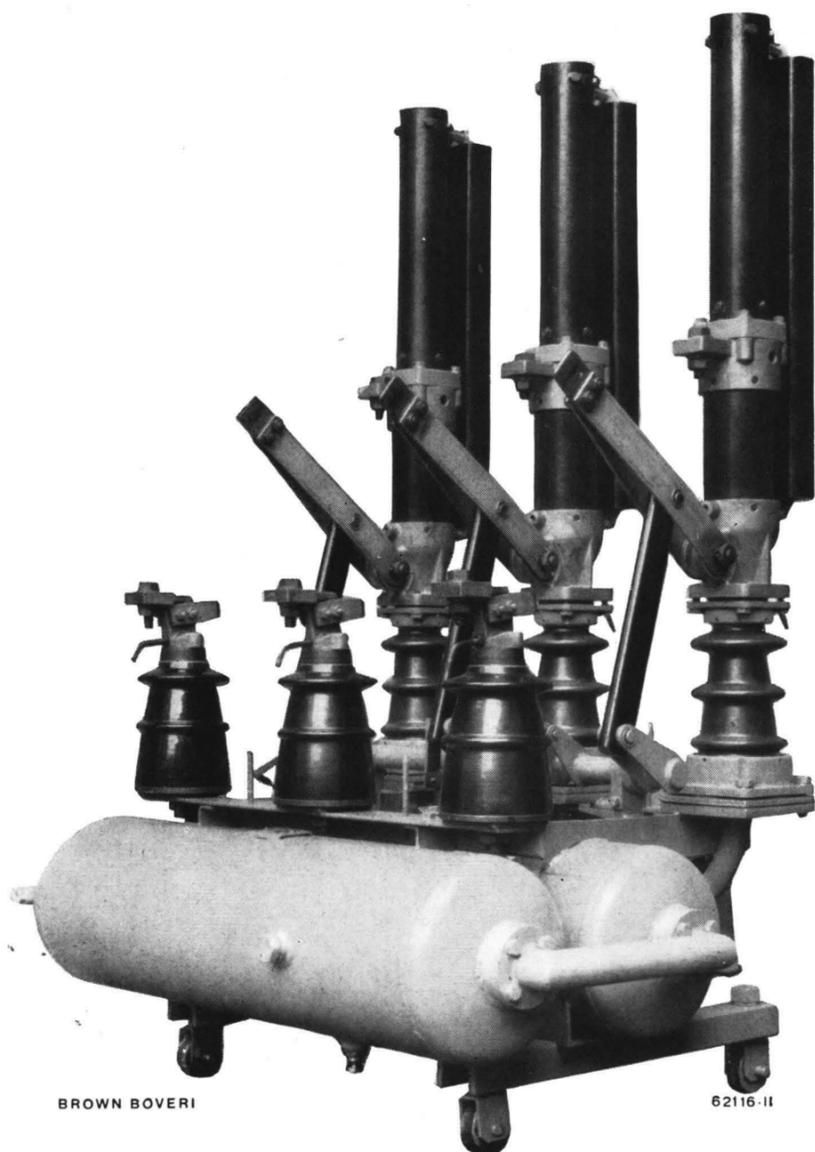


Fig. 6. — Disjoncteur pneumatique ultra-rapide type DBG, avec dispositif de réenclenchement rapide.

Ce disjoncteur, produit raffiné d'une fabrication en série, de construction très simple, répond à toutes les exigences de la sécurité de service. Il permet de couper les courts-circuits passagers en une fraction de seconde si minime que la grande majorité des consommateurs ne remarquent rien de l'interruption momentanée du courant.

### *Le réenclenchement rapide.*

Lors d'un court-circuit avec arc, les temps de fonctionnement très courts des disjoncteurs et des relais empêchent une trop forte ionisation de l'air. Pendant le court laps de temps d'environ 0,2 s, le métal n'a en effet pratiquement pas le temps de se vaporiser aux points de contact de l'arc. La rigidité diélectrique de l'air exempt de vapeurs métalliques peut ainsi se rétablir si rapidement qu'une fraction de seconde suffit pour qu'il résiste de nouveau à la pleine tension. Les disjoncteurs pneumatiques ultra-rapides modernes (fig. 6) permettent de remettre en service un tronçon défectueux presque immédiatement après son déclenchement. Ces disjoncteurs conviennent tout spécialement au réenclenchement rapide.<sup>1)</sup>

Leur fonctionnement est en effet très rapide et ils sont capables de couper sans difficulté plusieurs courts-circuits successifs, à condition que la réserve d'air soit suffisante. Si la perturbation persiste après le réenclenchement, soit qu'il y ait un court-circuit franc soit que l'arc de court-circuit se réamorçe, il est clair que le tronçon doit être définitivement déclenché. Les courts-circuits avec arc forment un pourcentage relativement grand de l'ensemble des courts-circuits. Ils peuvent être éliminés par le réenclenchement rapide sans même que le service s'en ressente. L'appareillage complémentaire se limite à un deuxième réservoir à air comprimé pour le disjoncteur et à une combinaison de trois contacteurs pour sa commande (fig. 7). Le dispositif de déclenchement à tension nulle des coffrets de protection des moteurs doit être muni d'une faible temporisation, afin qu'il ne déclenche pas lorsque la tension ne disparaît que momentanément.

Dans les réseaux à tension moyenne avec mise à la terre par bobines d'extinction, seuls les courts-circuits bi- et tripolaires avec arc peuvent être déclenchés. Leur nombre est cependant très faible par rapport à celui des mises à la terre. Il n'en reste pas moins que la protection contre les mises à la terre se trouve

<sup>1)</sup> H. Thommen: «Le perfectionnement des disjoncteurs pneumatiques ultrarapides d'intérieur». Revue Brown Boveri, avril 1944, p. 141.

Fig. 7. — Trois contacteurs de commande montés dans un boîtier constituant tout l'appareillage auxiliaire du dispositif de réenclenchement rapide du disjoncteur pneumatique ultra-rapide type DBG (Fig. 6).

La place minime requise par cet appareillage se trouvera aisément dans chaque installation.



BROWN BOVERI 59994 I

complétée de façon excellente par le réenclenchement rapide. La combinaison de ces deux méthodes de protection permettent d'éliminer rapidement tout arc, sans qu'il en résulte une perturbation de service.

En résumé :

*La combinaison de la protection contre les mises à la terre par bobine d'extinction, de la protection contre les surtensions par parafoudres à résorbite, de la protection contre les courts-circuits par relais de distance et du réenclenchement rapide par disjoncteurs pneumatiques ainsi que la coordination judicieuse du domaine de fonctionnement de ces appareils, permettent de réaliser une protection des réseaux à tension moyenne contre n'importe quelle perturbation électrique. Cette protection répond à toutes les exigences pratiques.*

(MS 612)

A. van Gastel. (H. D.)

## PROGRÈS RÉALISÉS DANS LA PROTECTION DES TRANSFORMATEURS PAR L'EMPLOI DE RELAIS DIFFÉRENTIELS INSENSIBLES AU COURANT D'ENCLENCHEMENT.

Indice décimal 621.316.925.2

*Après quelques considérations générales sur la protection différentielle des transformateurs adoptée jusqu'à présent, l'auteur étudie l'influence des phénomènes résultants de l'enclenchement du transformateur sur les protections basées sur le principe différentiel et montre comment on en a évité les inconvénients jusqu'alors. Il décrit ensuite un nouveau relais différentiel compensé, insensible au courant d'enclenchement, dont le rôle protecteur s'étend conséquemment aussi à la période d'enclenchement et énumère les avantages résultant de son application.*

### TÂCHES ET LIMITES DE LA PROTECTION DIFFÉRENTIELLE COMPENSÉE.

Les méthodes de comparaison sont depuis longtemps connues dans la technique de la protection et elles ont été appliquées avec succès spécialement sous la forme de protection différentielle longitudinale des machines. Ces méthodes de protection sont caractérisées par le fait que l'appareillage de protection ne surveille qu'une partie bien déterminée de l'installation et reste insensible aux phénomènes survenant à l'extérieur de la zone protégée. Les avantages résultant, sélectivité absolue, sensibilité, rapidité et indépendance des conditions de fonctionnement et de charge sont connus.

L'application de la protection différentielle aux transformateurs n'a pu être réalisée qu'après l'introduction, datant de quelques années déjà, du relais différentiel compensé. Ce relais permet de compenser dans une large mesure les courants différentiels circulant même dans un transformateur intact, sans que la protection perde de sa sensibilité. Ces courants peuvent résulter des caractéristiques différentes des transformateurs d'intensité haute et basse tension (spécialement lors du passage de courants de courts-circuits traversants très élevés), du courant magnétisant du transformateur ou encore, lorsqu'il s'agit de transformateurs à prises multiples, de la modification du rapport de transformation.

En tant que moyen de protection contre les défauts internes du transformateur, on a souvent opposé la protection différentielle à la protection Buchholz, bien connue par ailleurs. Le fonctionnement et le domaine de protection de ces deux systèmes sont tellement différents, qu'ils ne s'excluent en réalité pas, mais se complètent, au contraire, l'un l'autre, fort bien. Tandis que la protection Buchholz ne réagit que pour des défauts se produisant sous l'huile du transformateur, la protection différentielle s'étend à tous les courts-circuits survenant dans le domaine compris entre les transformateurs d'intensité des côtés haute et basse tension. Les courts-circuits à la terre dans les réseaux à neutre isolé et les court-circuits entre spires peuvent bien d'une part engendrer un dégagement gazeux, mais,

d'autre part, seulement un faible courant de défaut, de telle sorte que souvent la protection Buchholz débloque avant que la limite d'insensibilité de la protection différentielle soit atteinte. La protection Buchholz peut donc, au contraire de la protection différentielle, déceler des défauts dès leur apparition. Par contre, pour tous les défauts qui ne présentent pas seulement un danger pour le transformateur, mais constituent une perturbation de tout le service du réseau, seule la protection différentielle garantit, dans tous les cas, les temps de déclenchement extrêmement courts exigés par la protection sélective. Il faut aussi remarquer que la protection Buchholz ne peut pratiquement être montée que sur les transformateurs équipés d'un vase d'expansion et que le contrôle, pendant le service, du fonctionnement de la protection différentielle est beaucoup plus simple que ce n'est le cas pour la protection Buchholz.

Le fait que la protection différentielle exigeait jusqu'à présent des dispositifs compliqués pour éviter des déclenchements intempestifs, provoqués par les phénomènes d'enclenchement, était indirectement un argument à l'avantage de la protection Buchholz. En effet, si le courant magnétisant permanent est négligeable ou peut être facilement compensé, sans réduire notablement la sensibilité du relais, l'à-coup du courant magnétisant provoqué par les phénomènes résultant de la mise sous tension du transformateur est beaucoup plus difficile à maîtriser. La durée et l'amplitude de ces à-coups du courant d'enclenchement dépendent des caractéristiques du transformateur et du réseau d'alimentation; pour un transformateur donné, ces valeurs dépendent de l'amplitude de la tension au moment où le disjoncteur est enclenché comme aussi de la magnétisation résiduelle du fer du transformateur. L'à-coup du courant d'enclenchement peut atteindre des valeurs maximum allant jusqu'à des multiples du courant nominal du transformateur à pleine charge et s'amortit relativement lentement, de telle sorte que deux à trois secondes peuvent s'écouler jusqu'à ce que son effet ne soit plus à craindre pour un relais différentiel compensé réglé normalement.

L'à-coup du courant magnétisant apparaît dans le circuit de protection différentielle comme un courant différentiel et provoquerait des déclenchements intempestifs, si l'on ne prenait pas des mesures appropriées. En d'autres termes, l'à-coup du courant d'enclenchement correspond pour le relais différentiel à un défaut dans le domaine de sa protection.

### MESURES PRISES JUSQU'À PRÉSENT POUR ÉVITER DES DÉCLENCHEMENTS INTEMPESTIFS.

Les techniciens de la protection ont recherché, depuis des années déjà, les moyens d'éviter l'apparition de ces phénomènes indésirables et de nombreuses solutions ont été proposées dans ce but, ainsi que le prouve le nombre très élevé de brevets présentés à cet effet.

Une première solution consiste à bloquer le relais différentiel ou à le rendre suffisamment insensible pendant un certain temps, lors de l'enclenchement du transformateur. Les inconvénients de cette mesure de nécessité sont évidents : premièrement, le relais ne peut pas fonctionner ou seulement avec une sensibilité réduite lors de l'enclenchement et il n'est pas exclu que précisément un défaut se présente dans le transformateur lors de sa mise sous tension. En outre le blocage du relais lors de l'enclenchement exige des contacts auxiliaires intermédiaires montés sur le disjoncteur et de plus des relais supplémentaires (fig. 1).

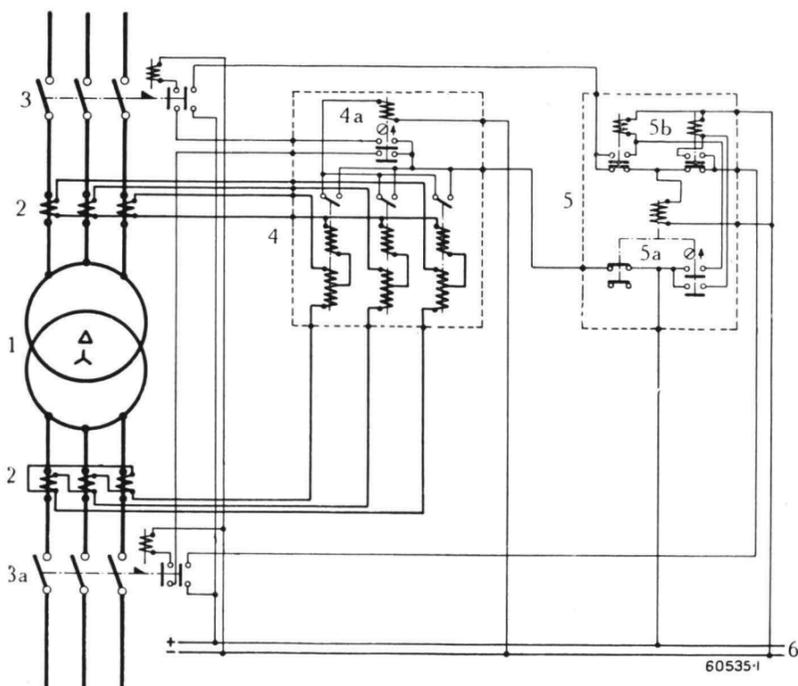


Fig. 1. — Protection différentielle d'un transformateur avec des relais différentiels compensés de construction normale avec blocage à l'enclenchement.

Pendant la période de blocage d'une durée de deux à trois secondes le transformateur n'est pas protégé.

- |   |  |
|---|--|
| 1 = Transformateur.                       | 5 = Dispositif de blocage du déclenchement des disjoncteurs. |
| 2 = Transformateurs d'intensité.          |  |
| 3 = Disjoncteurs.                         |  |
| 4 = Relais différentiel compensé T.       | 5a = Relais temporisé.                                       |
| 4a = Contacteur auxiliaire retardé PTa 8. | 5b = Contacteurs auxiliaires.                                |
|   | 6 = Source auxiliaire de courant.                            |

Enfin, ce dispositif ne peut éviter un déclenchement intempestif lors de l'à-coup de courant magnétisant résultant de la réapparition de la tension, par exemple, après l'élimination sélective d'une perturbation. Les à-coups de courant de ce genre sont très semblables, quoique généralement moins accentués, à ceux résultant de l'enclenchement. Pour tenir compte de ce cas, le relais de protection devrait être commandé par un relais de tension, si l'on ne veut pas adopter une

temporisation ou une insensibilité trop considérable. Ici aussi, le transformateur se trouve pendant quelques instants sans protection, ce qui réduit sensiblement la valeur de la protection différentielle ainsi réalisée.

Pour trouver d'autres solutions, on a analysé l'allure des courbes de l'à-coup de courant magnétisant et recherché les caractéristiques qui distinguent l'à-coup du courant d'enclenchement d'un court-circuit. Sur la base de ces recherches, on a proposé d'utiliser le fait que le courant d'enclenchement présente une composante continue beaucoup plus marquée et s'amortissant beaucoup plus lentement que le courant résultant d'un défaut et des relais ont été construits qui bloquent le déclenchement lorsque le courant différentiel présente cette composante continue. Contre cette solution, on peut objecter que la composante continue est fortement déformée par les transformateurs d'intensité principaux et auxiliaires.

Un autre critère utilisé est le fait que l'à-coup du courant d'enclenchement présente comparativement au courant de défaut une plus forte teneur en harmoniques. Dans les relais travaillant selon ce principe, l'onde fondamentale du courant différentiel est séparée des harmoniques supérieures par des filtres appropriés et tend à faire débloquent le relais, tandis que les harmoniques le retiennent. La question de savoir, si ce critère est déterminant dans tous les cas, n'est pas facile à résoudre, les avis sont en tout cas très partagés. Ce que l'on peut dire avec sûreté, de cette solution comme de la précédente, c'est qu'elles dépouillent le relais différentiel compensé de son principal avantage : la simplicité de sa construction.

### LE RELAIS DIFFÉRENTIEL COMPENSÉ INSENSIBLE AU COURANT D'ENCLICHEMENT.

Une solution nouvelle et complète de ce difficile problème est donnée par le relais différentiel compensé type TG (fig. 2). Ce nouveau relais est insensible aux courants différentiels résultant des phénomènes d'enclenchement tout en conservant sa pleine sensibilité aux courants de défaut. Il présente les mêmes caractéristiques avantageuses que le relais différentiel compensé normal, en particulier, sa faible consommation, mais évite, par contre, l'emploi de relais supplémentaires auxiliaires, de contacts sur les disjoncteurs ainsi que les connexions en résultant.

a) *Mode de fonctionnement.* Le fonctionnement du relais différentiel compensé insensible aux courants d'enclenchement type TG est déterminé par un phénomène résultant de la saturation du circuit magnétique du transformateur. Les à-coups du courant d'enclenchement ont toujours des formes très complexes et fort différentes présentant toutefois une caractéristique commune, à savoir : les ampli-

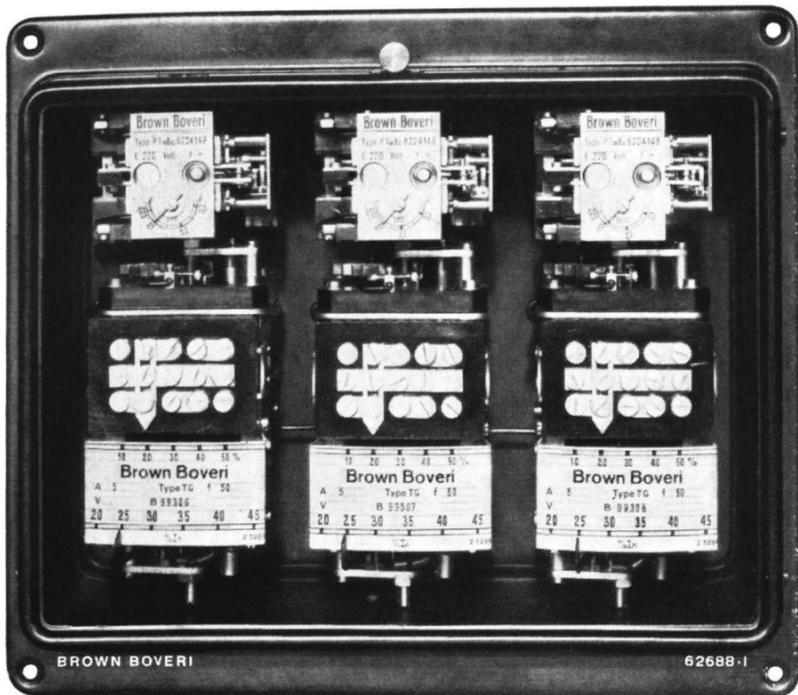


Fig. 2. — Relais différentiel compensé tripolaire insensible au courant d'enclenchement type TG, pour la protection différentielle des transformateurs.

Ce relais protège pleinement le transformateur même pendant l'enclenchement de celui-ci. Aucun relais auxiliaire supplémentaire et aucun contact auxiliaire ne sont nécessaires. La consommation de ce nouveau relais est tout aussi faible que celle du relais différentiel compensé de construction normale.

tudes des demi-ondes du courant d'enclenchement sont constamment plus grandes d'un côté de la ligne zéro que de l'autre côté. Le diagramme représenté sur la figure 3 illustre clairement ce phénomène. On peut admettre qu'un tel courant est identique, spécialement quant à son action sur le couple d'un relais qu'il parcourerait, à un courant de fréquence égale à la moitié de la fréquence fondamentale de service.

De très nombreux essais et des considérations théoriques confirment que ce rapport des fréquences reste valable pour toutes les formes possibles des à-coups de courant d'enclenchement.

Le relais différentiel compensé normal a été complété sur la base des observations mentionnées plus haut, de telle sorte que son équipement mobile vibre en résonance sous des impulsions du couple

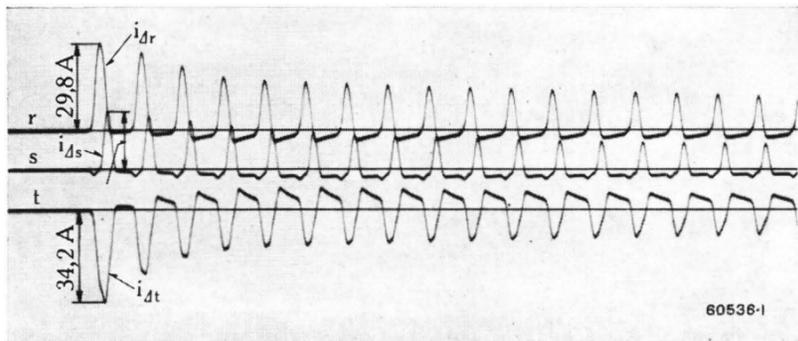


Fig. 3. — Diagramme des courants différentiels dans les 3 phases engendrés par l'à-coup du courant d'enclenchement d'un transformateur 5 MVA.

La caractéristique commune à ces courbes d'allure générale complexe et fort différente, dues aux courants d'enclenchement est que les amplitudes des courants d'enclenchement sont constamment plus grandes d'un côté de la ligne zéro que de l'autre.

ayant une fréquence égale à la demi-fréquence fondamentale.

Pour les phénomènes d'enclenchement normaux ces vibrations durent aussi longtemps que les à-coups du courant d'enclenchement et empêchent les contacts de déclenchement du relais de se fermer assez longtemps pour provoquer un déclenchement. Si, au contraire, un court-circuit se produit en service ou pendant l'enclenchement, les contacts du relais se ferment sous l'influence prépondérante de la fréquence fondamentale de service et déclenchent les disjoncteurs avec un léger retard de 0,1 à 0,15 s déterminé par le contacteur temporisé incorporé au relais (fig. 1, n° 4a). Ces contacteurs temporisés sont équipés de voyants permettant de connaître la phase ayant provoqué le déclenchement.

Le phénomène sur lequel est basé le fonctionnement de ce relais n'est pas déformé ou influencé par les transformateurs d'intensité. Dans certaines conditions, il peut aussi se présenter lors de courts-circuits asymétriques mais s'amortit, dans ce cas,

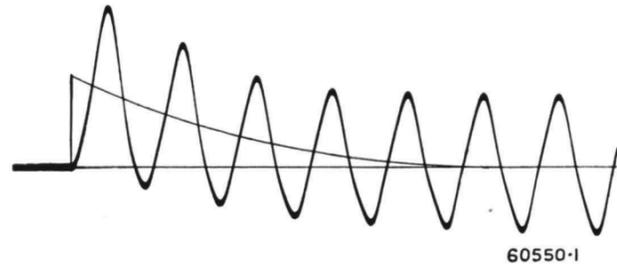


Fig. 4. — Allure du courant différentiel engendré lors d'un court-circuit aux bornes d'un transformateur 5 MVA.

Ce courant de défaut fait débloquent le relais insensible au courant d'enclenchement.

au bout de quelques périodes déjà (fig. 4) provoquant de la sorte un retard minime seulement dans le déclenchement. La bande des fréquences engendrant des vibrations pour laquelle le relais est réglé n'est pas si étroite qu'il faille craindre que le relais ne fonctionne pas en cas de variations anormales de la fréquence du réseau. Le relais travaille encore avec toute sécurité pour des fréquences différant de plus de  $\pm 15\%$  de la fréquence nominale.

b) *Application.* Les figures 5 et 6 représentent les schémas de principe du relais TG pour la protection des transformateurs à 2 et 3 enroulements. On peut constater que les connexions extérieures sont exactement les mêmes que celles que l'on connaît du relais différentiel compensé d'exécution normale. Une comparaison entre les schémas représentés sur les figures 1 et 5 montre à quel point le dispositif du nouveau relais est simplifié tout en offrant une protection sensiblement améliorée.

Pour plus de clarté, on a représenté la protection différentielle du transformateur à 3 enroulements

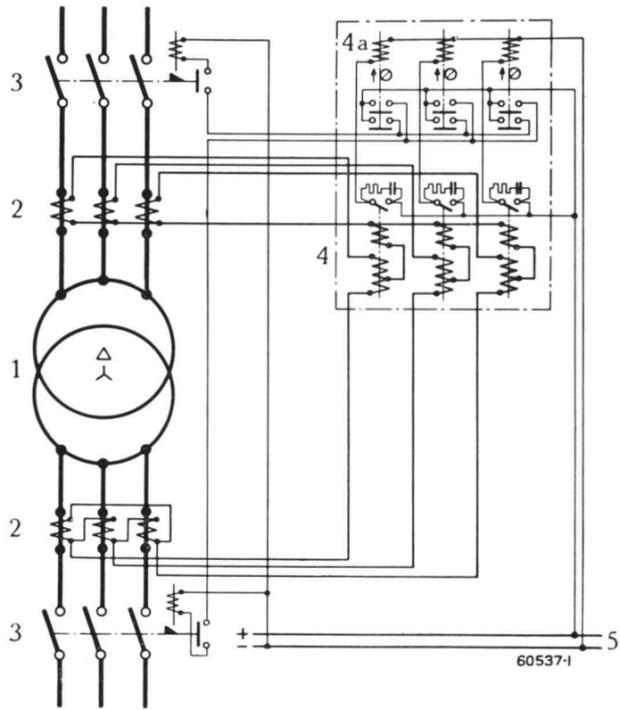


Fig. 5. — Protection différentielle d'un transformateur à deux enroulements avec un relais différentiel compensé tripolaire insensible au courant d'enclenchement.

Le dispositif est notablement simplifié par rapport à la figure 1, quoique d'autre part la protection soit plus efficace.

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 1 = Transformateur.              | 4 = Relais différentiel compensé insensible au courant d'enclenchement type TG |
| 2 = Transformateurs d'intensité. | 4a = Contacteurs auxiliaires.  |
| 3 = Disjoncteurs.                | 5 = Source auxiliaire de courant.  |

(fig. 6) que pour l'une des phases seulement, les deux autres phases sont protégées exactement de la même manière. On remarquera que les transformateurs d'intensité sont couplés selon les règles connues d'après lesquelles les transformateurs d'intensité correspondant à un enroulement en étoile doivent être couplés en triangle et inversement. Comme c'était le cas jusqu'à présent, des transformateurs auxiliaires appropriés permettront d'ajuster le rapport de transformation ou de réaliser le couplage nécessaire.

Le relais TG, rappelons-le encore une fois, est alimenté par des transformateurs d'intensité principaux et auxiliaires identiques à ceux nécessaires au relais différentiel compensé d'exécution normale et a donc les mêmes exigences tant au point de vue puissance que précision.

La caractéristique du relais TG de déclencher avec un très léger retard seulement se répercute très favorablement sur la protection sélective de l'ensemble du réseau, ainsi que nous voudrions le montrer par un exemple très simple (fig. 7), souvent rencontré en pratique. Cet exemple montre aussi les avantages que l'on retire de l'application de la protection différentielle aux transformateurs. Soit un transformateur alimenté par une ligne à haute tension, travaillant sur un réseau de distribution à moyenne tension. La ligne à haute tension est

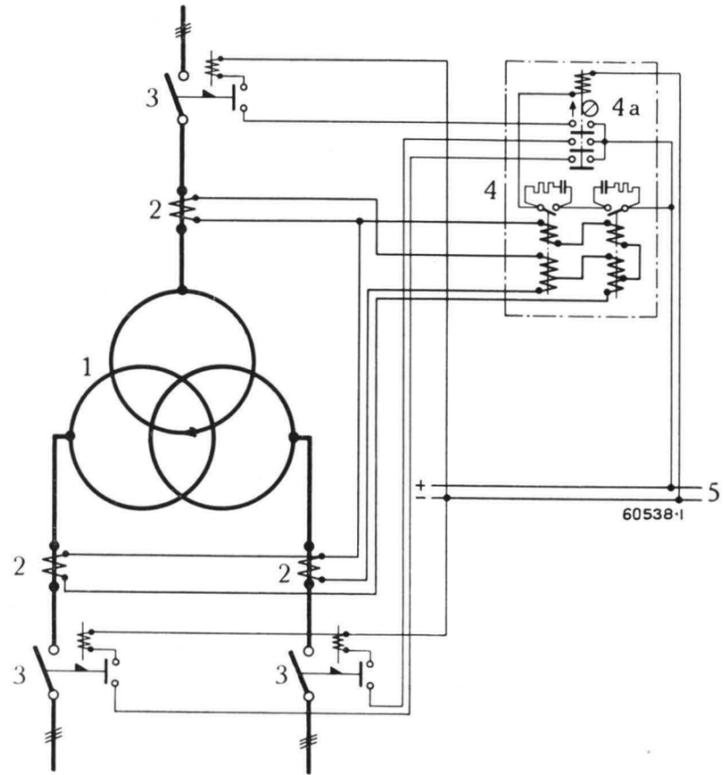


Fig. 6. — Protection différentielle d'un transformateur à trois enroulements avec trois relais différentiels compensés bipolaires insensibles au courant d'enclenchement.

Afin de ne pas charger inutilement le schéma, on n'a représenté le dispositif de protection que pour l'une des 3 phases. Ce dispositif est exactement le même pour les deux autres phases.

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| 1 = Transformateur.              | 4 = Relais différentiel compensé insensible au courant d'enclenchement type TG. |
| 2 = Transformateurs d'intensité. | 4a = Contacteur auxiliaire.   |
| 3 = Disjoncteurs.                | 5 = Source auxiliaire de courant.   |

équipée de relais de distance rapides permettant de protéger avec le temps de base de 0,1 s jusqu'à 85 % de la longueur de la ligne. Les 15 % restant ainsi que les barres collectrices de la sous-station sont protégés par le relais de distance avec le temps correspondant au deuxième gradin. Les temps de déblocage de ce deuxième gradin ainsi que des suivants dépendent de l'échelonnement des relais qui protègent les tronçons suivants. Comme les relais à maximum d'intensité des départs doivent, dans la plupart des cas, échelonner avec d'autres relais à maximum d'intensité, ils doivent être réglés avec des temps de déblocage relativement longs. Si le transformateur est protégé au primaire par des relais à maximum d'intensité, il ne pourra, en cas de défaut être déclenché qu'après un temps encore plus long (fig. 7, cas a). La protection réalisée avec des relais différentiels (fig. 7, cas b) permet, par contre, de déclencher le transformateur après un temps extrêmement court, indépendant du réglage des autres relais. Ainsi qu'on le voit sur ce plan d'échelonnement, cet avantage n'améliore pas seulement la protection du transformateur, mais aussi celle des lignes et des barres.

Le relais différentiel compensé insensible au courant d'enclenchement, décrit dans ces lignes, a été soumis à des essais systématiques et rigoureux en service avec des transformateurs de diverses puissances et

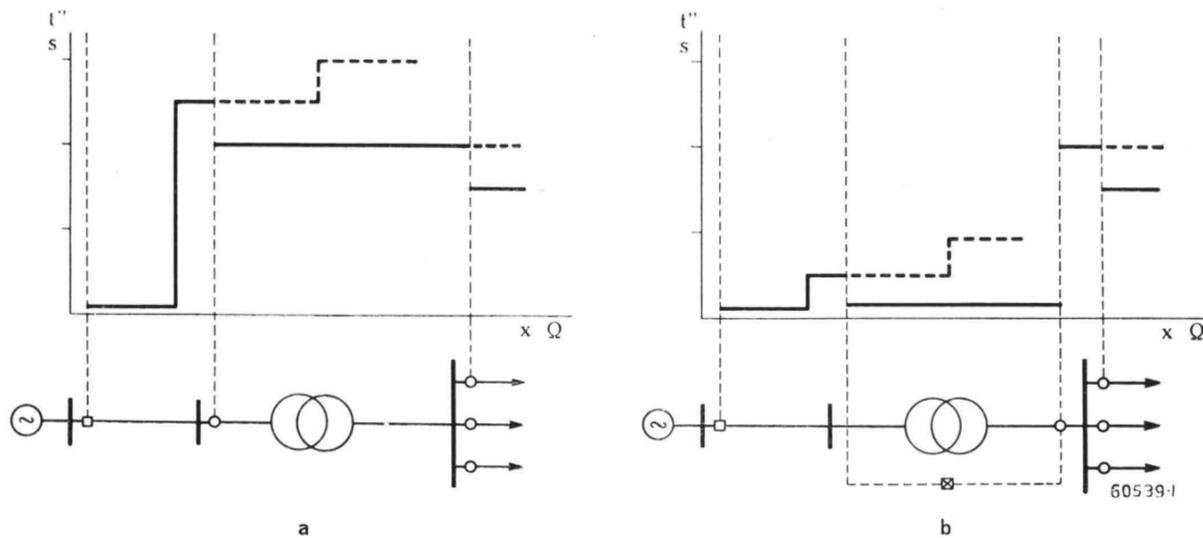


Fig. 7. — Amélioration de la protection sélective d'un réseau par l'emploi du relais différentiel compensé insensible au courant d'enclenchement pour la protection des transformateurs au lieu d'une protection avec relais à maximum d'intensité.

Au dessus du schéma du réseau protégé, on a représenté le diagramme d'échelonnement des temps de déclenchement. En cas de défaut, le temps de fonctionnement minime de la protection différentielle insensible au courant d'enclenchement des transformateurs se répercute de façon très favorable sur la protection générale du réseau.

a = Protection de transformateur avec relais à maximum d'intensité. En cas de défaut et à cause de l'échelonnement des temps de déclenchement par rapport au réseau de distribution des lignes à moyenne tension, le transformateur ne sera déclenché qu'avec un fort retard.

b = Protection de transformateur avec le relais différentiel TG. Le temps de déclenchement très court de ce nouveau relais permet en outre de réduire encore les temps de déclenchement de la protection de distance.

- = Relais de distance.
- = Relais à maximum de courant.
- ⊗ = Relais différentiel.

dans différents réseaux et a prouvé qu'il répondait à toutes les exigences posées. Ces résultats garantissent que le nouveau relais représente une contribution importante à la sécurité de service des réseaux à

haute tension et qu'il accroîtra encore la confiance des exploitants dans le fonctionnement impeccable de la protection différentielle des transformateurs.

(MS 613)

G. Bertola. (dZ)

## « L'ARBRE ÉLECTRIQUE ».

### UNE SOLUTION PRATIQUE POUR UNE LIAISON PUREMENT ÉLECTRIQUE ENTRE LES DIFFÉRENTES PARTIES DES MACHINES.

Indice décimal 621.316.718.5

« L'arbre électrique » permet l'application de la commande individuelle même dans les cas où deux parties de la même machine ou de la même installation doivent, sans aucune liaison mécanique entre elles, tourner à des vitesses identiques ou devant rester dans un rapport donné. L'article ci-dessous décrit ce dispositif qui, à l'encontre des entraînements par moteurs synchrones, permet de maintenir exactement le rapport des vitesses pendant le démarrage et le freinage jusqu'à l'arrêt complet. Diverses applications intéressantes sont décrites.

Avant l'électrification de l'industrie, toutes les machines d'une même usine étaient entraînées par courroies depuis un arbre de transmission commandé par une roue hydraulique ou par une machine à vapeur. L'emploi des moteurs électriques a permis l'entraînement individuel, non seulement des machines de la même installation, mais souvent encore des différentes parties de la même machine. On a pu ainsi diminuer les dangers d'accidents, améliorer les conditions de travail, augmenter le rendement et permettre une meilleure disposition des machines. Cette commande

individuelle ou même multiple des machines a cependant soulevé différents problèmes qu'il a fallu résoudre avant de pouvoir tirer tout le parti possible de cette nouvelle technique. C'est ainsi que bien souvent, des machines différentes, ou des parties différentes de la même machine, doivent tourner en synchronisme parfait, même après la suppression de l'arbre mécanique utilisé jusqu'ici. C'est alors que l'on a recours à « l'arbre électrique ».

#### APPLICATIONS PRATIQUES DE « L'ARBRE ÉLECTRIQUE ».

Avant de décrire cet intéressant dispositif, nous voulons tout d'abord mentionner quelques unes de ses applications. Dans bien des installations de transport ou de manutention, plusieurs moteurs ser-

vent au déplacement du même objet ou de la même machine. C'est ainsi que les pieds des grues à portique doivent toujours être déplacés de manière identique afin d'éviter des coincements. A cet effet on peut relier les commandes de ces pieds à l'aide d'un arbre mécanique, ce qui cependant pour de grands écartements des pieds conduit à une installation compliquée et coûteuse. Grâce à « l'arbre électrique », il est possible d'éviter ces inconvénients en entraînant chaque pied de la grue par un moteur indépendant. A l'aide de « l'arbre électrique », les deux moteurs sont alors accouplés entre eux comme s'ils étaient reliés mécaniquement (fig. 1). Le même problème se pose pour des installations destinées au levage ou à la manutention de pièces très lourdes et de grandes dimensions, telles que pont-levis, vannes de barrage, portes d'écluse, etc. (fig. 2).

Nombreuses sont aussi les applications de « l'arbre électrique » dans l'industrie. Nous mentionnerons tout d'abord dans l'industrie textile la commande des cardes dans lesquelles la matière en travail passe directement d'une machine à l'autre, ce qui exige une marche synchrone de celles-ci, afin d'éviter une

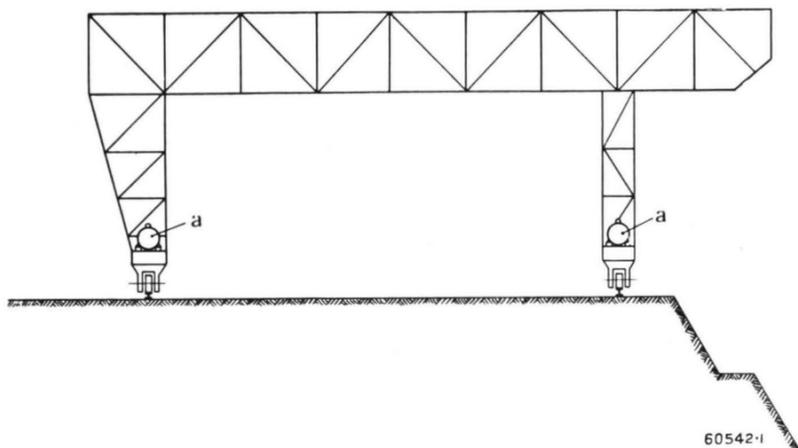


Fig. 1. — Grue à portique avec « arbre électrique ».

« L'arbre électrique » contraint les 2 pieds de la grue à une marche synchrone, sans aucune liaison mécanique encombrante et coûteuse, entre les commandes de ces pieds.

a = Moteur d'entraînement.

rupture ou un embouteillage de la matière. Il est souvent nécessaire que les arbres de certaines machines-outils tournent d'une manière identique, et souvent même en maintenant exactement leur position angulaire. L'utilisation de liaisons mécaniques entre ces arbres est dans bien des cas rendue impossible par le manque de place ou par la disposition des machines en question. C'est alors que « l'arbre électrique » peut rendre de grands services. Dans les fours à recuire ou de boulangerie avec tapis roulant entraîné aux deux extrémités, « l'arbre électrique » peut être utilisé avanta-

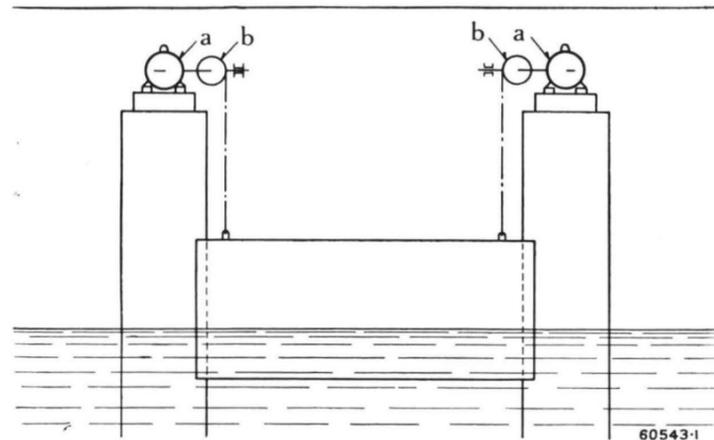


Fig. 2. — Barrage avec « arbre électrique ».

Grâce à « l'arbre électrique », les deux extrémités des vannes sont toujours manœuvrées à la même vitesse, sans qu'aucune liaison mécanique soit nécessaire. « L'arbre électrique » permet une construction simple de toute l'installation.

a = Moteur d'entraînement  
b = Treuil.

geusement, car il permet la suppression de toute transmission mécanique à l'intérieur du four. Un cas intéressant est celui de la commande des hélices de bateaux, qui doivent elles aussi tourner en synchronisme dans une position donnée, afin d'éviter des phénomènes d'interférence et de désagréables vibrations à l'intérieur du navire.

Il est évident qu'une marche synchrone peut aussi être obtenue à l'aide de moteurs synchrones. Cette solution est même utilisée assez fréquemment. Elle a cependant divers inconvénients, par exemple l'impossibilité d'un réglage de vitesse et d'une marche synchrone pendant les périodes de démarrage et de freinage.

#### DESCRIPTION DE « L'ARBRE ÉLECTRIQUE ».

L'arbre électrique le plus simple comporte 2 moteurs asynchrones dont les rotors sont reliés électriquement entre eux (fig. 3). Aussitôt que la position d'un rotor

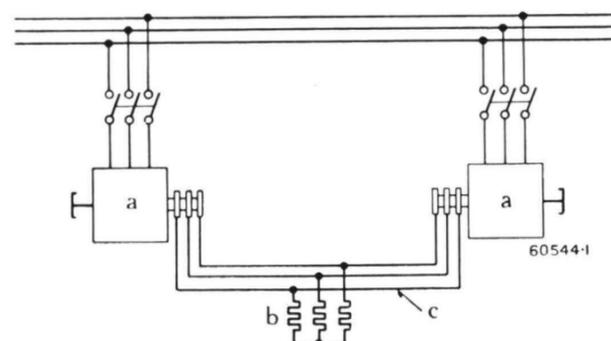


Fig. 3. — Schéma de « l'arbre électrique » le plus simple.

Ce couplage simple sans machines ou appareils auxiliaires s'adapte aux services les plus divers.

a = Moteur à bagues.  
b = Résistance.  
c = « Arbre électrique » (barre de synchronisation).

par rapport à l'autre rotor a la tendance d'être légèrement décalée, un courant d'égalisation s'établit qui contrecarre tout changement et maintient les rotors dans leur position respective. Ce dispositif ne peut cependant fonctionner d'une manière satisfaisante que lorsqu'une résistance b est branchée en parallèle sur le circuit reliant les rotors. Cette résistance provoque un certain glissement des rotors par rapport aux champs tournants statoriques, maintenant ainsi une certaine tension entre les bagues, ce qui permet l'obtention d'un fort courant d'égalisation, même pour de très faibles déviations de la position synchrone des rotors. On assure de la sorte un fort couple synchronisant nécessaire au maintien du synchronisme.

Si l'on veut éviter des pertes dans cette résistance tout en augmentant la valeur du couple synchronisant, il faut avoir recours à l'emploi de machines asynchrones servant *uniquement* à la réalisation de «l'arbre électrique» (fig. 4). A chaque moteur d'entraînement 3 est accouplé un moteur à bagues 4 dont le stator est branché sur le réseau d'alimentation, de telle façon que son rotor tourne en sens contraire du champ tournant engendré. En marche on obtient ainsi

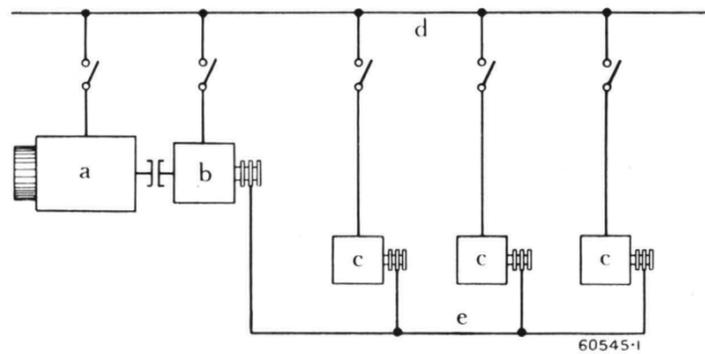


Fig. 5. — « Arbre électrique » pour l'accordage des vitesses de plusieurs moteurs, sur celle d'un moteur principal à vitesse réglable.

- a = Moteur principal.
- b = Machine de synchronisation.
- c = Moteurs auxiliaires.
- d = Réseau.
- e = « Arbre électrique » (barre de synchronisation.)

Un cas intéressant est celui dans lequel un certain nombre de moteurs auxiliaires à bagues doivent tourner en synchronisme avec un moteur principal avec réglage de vitesse. Là aussi une machine de synchronisation accouplée au moteur principal permet de réaliser très simplement l'arbre électrique (fig. 5). Il faut cependant choisir le nombre de pôles des machines, de façon que la fréquence de glissement imposée à l'arbre électrique ne tombe pas au-dessous d'un certain minimum.

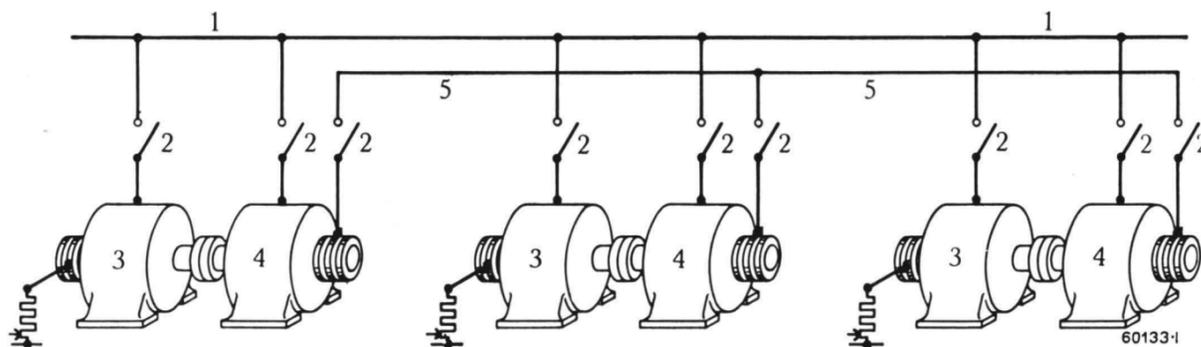


Fig. 4. — « Arbre électrique » avec machine de synchronisation.

Pour des installations importantes avec variations étendues de la vitesse, «l'arbre électrique» comprend des machines spéciales de synchronisation.

- 1 = Réseau triphasé.
- 2 = Interrupteur des moteurs.
- 3 = Moteur d'entraînement.
- 4 = Machine de synchronisation.
- 5 = « Arbre électrique » (barre de synchronisation).

sur les bagues une tension rotorique presque double de la normale. Au synchronisme aucun courant rotorique ne circule puisque les tensions rotoriques des deux machines s'équilibrent. Aussitôt cependant qu'un léger décalage dans la position respective des machines se produira, un fort couple synchronisant ramènera celles-ci dans leur position synchrone. Cet effet s'exercera dans tout le domaine de réglage et même pendant le démarrage et le freinage, jusqu'à l'arrêt complet des machines. Remarquons que le même couplage peut être utilisé lorsque les machines de synchronisation 4 sont entraînées par des moteurs à courant continu ou par tout autre genre de moteur.

Le couplage de «l'arbre électrique» est si simple qu'on l'applique même lorsqu'on ne désire pas une marche absolument synchrone, mais simplement une certaine égalisation des vitesses. C'est le cas, par exemple, pour les machines à rectifier dans lesquelles le nombre de tours de la meule doit rester proportionnel à la vitesse de la pièce à usiner. Un grand nombre de problèmes relatifs à l'entraînement des machines peuvent ainsi être résolus d'une manière simple, à l'aide de «l'arbre électrique». Il faut s'attendre à ce que ce couplage intéressant trouve un champ d'application toujours plus vaste.

## LE FREIN HYDRAULIQUE EXEMPT DE CAVITATION BROWN BOVERI

Indice décimal 531.785

*Il est question ci-dessous d'un nouveau frein hydraulique présentant plusieurs améliorations techniques par rapport au frein hydraulique à tourbillons bien connu. Ses particularités les plus intéressantes sont son domaine d'emploi très étendu, sa marche stable jusqu'aux plus faibles charges partielles et l'absence totale de cavitation.*

Poussée par l'impossibilité d'obtenir des freins hydrauliques d'origine étrangère, notre Société a décidé sans hésiter, en 1943, de construire son propre frein hydraulique. Afin d'éviter dès le début les désavantages des freins hydrauliques connus, on s'engagea

dans une voie tout à fait nouvelle. Les freins hydrauliques connus jusqu'à ce jour sont en général réglés par variation du remplissage. Lorsque le frein est rempli partiellement, l'eau est fortement fouettée entre le rotor et le bâti. Il se produit des coups de bélier qui, accentués par les effets de la cavitation, augmentent rapidement lorsque la charge, respectivement le remplissage, diminuent; la marche du frein devient alors si irrégulière que toute lecture satisfaisante est impossible. Le domaine utile d'emploi d'un tel frein est, par suite, très restreint et sa durée limitée, étant donné que les parties atteintes par les coups de bélier sont soumises à une forte usure.

Comme le montrent des essais en fabrique très poussés et les expériences faites en service avec le premier frein construit, nous avons réussi à éviter totalement, dans cette nouvelle construction, les désavantages mentionnés ci-dessus. En raison de ces bons résultats, nous avons décidé d'inclure cette nouvelle invention dans notre programme normal de fabrication. Pour le moment, nous construisons ce frein en trois grandeurs différentes, permettant d'atteindre au maximum une puissance d'environ 16 000 CV et un nombre de tours d'environ 6000 par minute.

*Le remplissage complet du frein élimine la cavitation.*

Comme avantage particulier du nouveau frein, on peut mentionner avant tout qu'il reste complètement rempli pour toutes les charges. On évite ainsi à l'intérieur la formation de poches de vapeur. Comme la cavitation se manifeste lorsque la pression de l'eau est inférieure à la pression d'évaporation à la température correspondante, la formation de poches de vapeur et, par suite, la charge maximum du frein, dépend de la pression et de la température de l'eau de refroidissement. Grâce à la forme particulièrement bien étudiée de la partie active de notre frein au point de vue technique de l'écoulement des fluides, le décolage de l'eau qui circule est rendu considérablement plus difficile. De plus, comme ce frein est toujours complètement rempli, on peut facilement le charger en lui amenant sous pression la quantité nécessaire d'eau de refroidissement. Ces deux particularités empêchent avec sûreté que la tension de vapeur d'eau à l'intérieur du frein ne dépasse la pression de l'eau de refroidissement lors des variations inévitables de la pression et de la température de cette dernière. La

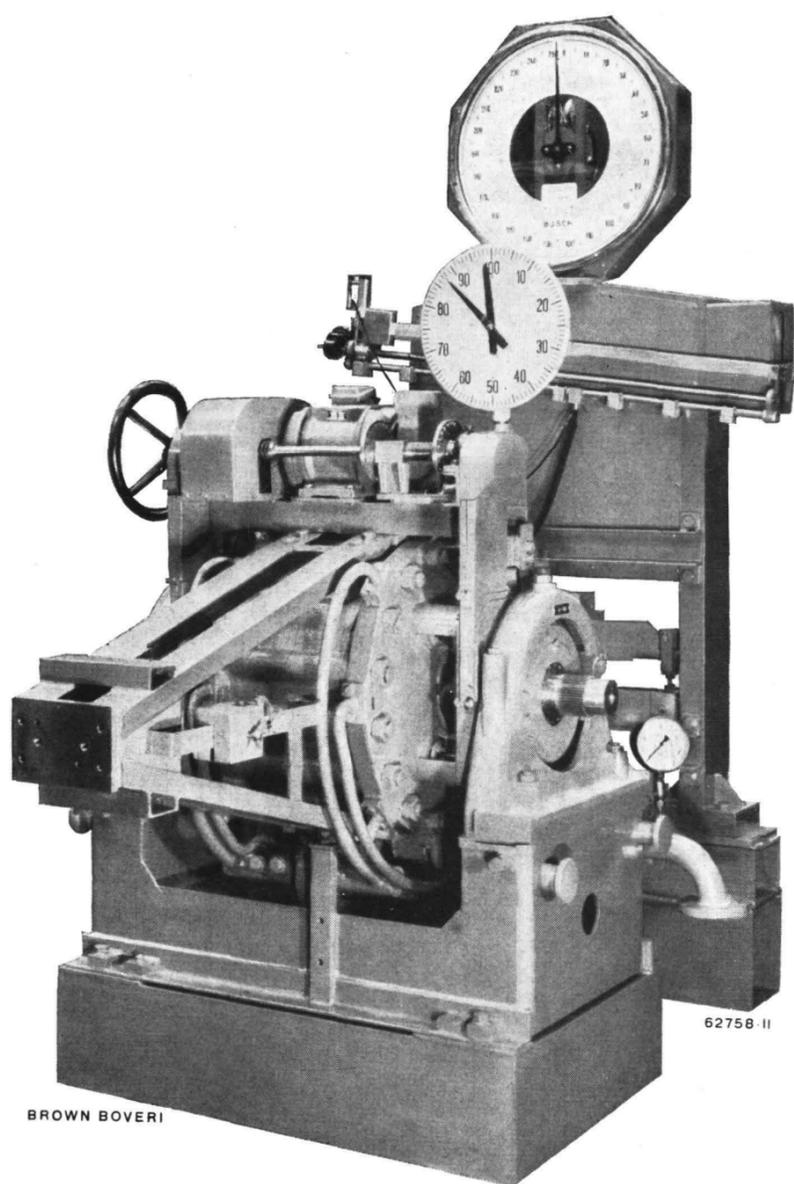


Fig. 1. — Frein hydraulique Brown Boveri de grandeur moyenne.

La série des types de ces freins couvre des puissances jusqu'à 16 000 CV et des vitesses jusqu'à 6000 t/min. Pas de cavitation (formation de poches de vapeur dans l'eau), d'où couple régulier et absence d'usure. Champ de réglage particulièrement étendu (de 25 à 4600 CV à 1300 t/min pour le modèle ci-dessus). Grande exactitude de lecture dans tout le domaine d'emploi étant donné que la balance de précision assemblée au frein comporte plusieurs domaines de mesure. Le dispositif pour déplacer le domaine de mesure et la position du tiroir de réglage du frein peuvent être commandés à distance. Position du tiroir de réglage sur le premier cadran. Indication du domaine de mesure fixé par des lampes de signalisation. Le frein peut être tourné de 180°, il peut donc être employé dans les deux sens de rotation, sans changer la place de la machine motrice.

cavitation et toutes ses conséquences désagréables sont donc éliminées dans le frein Brown Boveri. En cas de besoin, on peut charger le frein avec une pompe ordinaire; cependant la pression normale de la plupart des réseaux d'eau suffit dans bien des cas.

*La construction du nouveau frein hydraulique.*

Le frein (brevet déposé) se compose principalement du rotor, du bâti et, sur désir, de la balance pour la mesure du couple. Le bâti repose dans deux paliers. Le rotor, en forme de roue de pompe à double aspiration, est fixé sur l'arbre et tourne dans le bâti. Grâce à cette construction du rotor, toute poussée axiale est complètement compensée à toutes les charges. L'eau parcourt la roue de la pompe, elle est déviée dans le bâti et revient ensuite à la roue de la pompe. La puissance absorbée par l'arbre sert à accélérer tangentiellement l'eau dans la roue de la pompe. Dans le bâti lui-même, la composante tangentielle de l'eau est de nouveau freinée, de sorte qu'elle transmet sa force d'inertie aux parties fixes. Plus le débit d'eau passant par la roue est élevé, plus la puissance de freinage est forte, à nombre de tours constant, et vice versa. Il suffit de réduire un peu la quantité d'eau effectuant ce parcours pour diminuer en même temps la puissance de freinage. Grâce à la disposition du tiroir de réglage sur le pourtour de la roue mobile et à la construction spéciale de celle-ci, il est possible de faire varier, dans des limites exceptionnellement vastes, la quantité d'eau accélérée dans le rotor, tout en obtenant une admission tout à fait symétrique aux charges partielles. Ce fait est particulièrement intéressant, car il permet de réaliser une marche stable jusqu'aux charges les plus faibles.

*Quelques-uns des avantages techniques du nouveau frein.*

Les dimensions du rotor sont petites et, par suite, les moments d'inertie des parties mobiles sont faibles. Pour certaines mesures, ce fait présente de sérieux avantages. Si, par exemple, on a à mesurer un moteur d'avion, il est important en ce qui concerne les oscillations de torsion que le frein ait le même moment d'inertie que l'hélice qui sera entraînée plus tard par le moteur. Afin que le moment d'inertie du frein soit égal à celui de l'hélice, il est toujours possible de l'augmenter au moyen de masses additionnelles. Mais, si le moment d'inertie du frein lui-même était déjà plus élevé que celui de l'hélice, une adaptation ne serait plus possible et l'essai serait imparfait. Comme notre frein travaille toujours complètement rempli, son moment d'inertie ne varie pratiquement pas avec la charge.

La puissance absorbée par le frein à nombre de tours constant ne dépend que de la position du tiroir de réglage, comme on l'a déjà dit ci-dessus; elle peut être relevée facilement sur une échelle. Dans la plupart des cas, cette lecture suffit amplement, de sorte qu'aucune balance n'est pas nécessaire. Si cependant une balance est exigée, la lecture mentionnée pourra servir de contrôle. De plus, elle permet de fixer rapidement et sûrement n'importe quelle charge désirée.

La position du tiroir étant fixée, la puissance absorbée par le frein varie approximativement avec la troisième puissance du nombre de tours et ceci sans aucune discontinuité, comme cela se produit fréquemment pour les freins à remplissage partiel. Par exemple, la puissance absorbée par l'hélice d'un avion

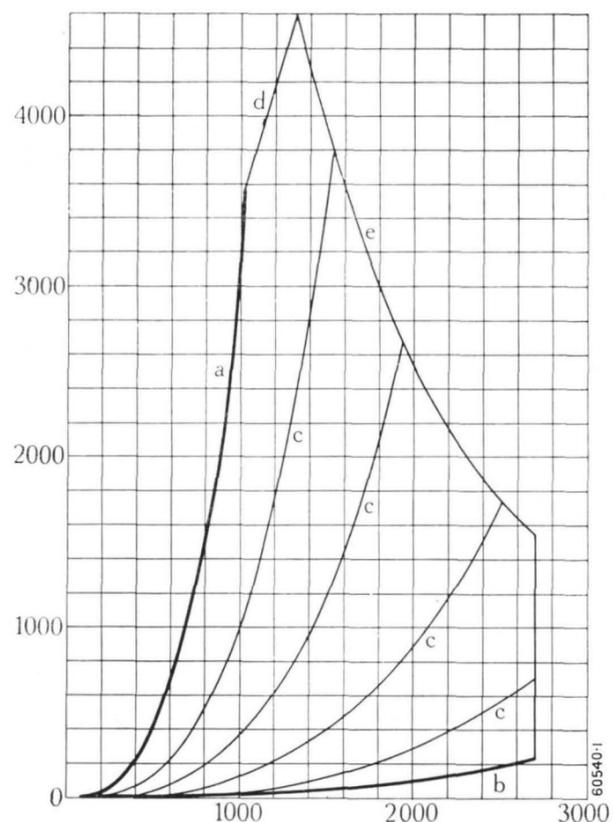


Fig. 2. — Domaine d'emploi du frein hydraulique de la figure 1.

- a = Ligne correspondant à l'ouverture totale du tiroir de réglage.
- b = Ligne correspondant à la fermeture totale du tiroir de réglage.
- c = Lignes correspondant à quelques positions intermédiaires du tiroir de réglage.

A côté du domaine de charge étendu pouvant être fixé simplement par déplacement du tiroir de réglage, l'allure continue de la charge à position constante du tiroir de réglage et à nombre de tours variable saute aux yeux. Les limites indiquées en d et e sont déterminées par la résistance de l'appareil.

Ordonnées: Puissance absorbée en CV.  
Abscisses: Nombre de tours en t/min.

suit approximativement la même loi. Lors de la variation du nombre de tours, la charge varie automatiquement de la même manière dans les deux cas.

Le frein est normalement prévu pour un seul sens de rotation et la machine à essayer est accouplée à l'un des deux bouts d'arbre, suivant son sens de rotation. Dans le cas de conditions spéciales, il est

toutefois possible de prévoir le frein de telle manière qu'il puisse être employé dans les deux sens de rotation. Cependant, la charge maximum du même type de frein est supérieure s'il n'est prévu que pour un seul sens de rotation.

Dans le cas où le couple transmis hydrauliquement au bâti oscillant est transmis à une *balance rapide de précision*, cette dernière, fixée normalement sur une plaque de base commune au frein, permet de lire directement la valeur du couple. Bien que l'échelle de la balance s'étende sur presque tout le pourtour du cadran, l'exactitude de la lecture laisserait à désirer lors de faibles charges partielles car, comme nous l'avons déjà dit, le domaine du frein est particulièrement étendu. Pour cette raison, *l'exactitude de la lecture a été augmentée grâce à des mesures spéciales*. On peut par exemple prévoir diverses zones de mesure à l'aide d'un poids mobile; il s'ensuit que presque tout le cadran est alors à disposition pour chacune de ces zones. Un autre moyen d'augmenter l'exactitude de lecture consiste à munir la balance d'un système décimal d'articulation. Le cadran entier est alors disponible pour la lecture des grandes charges et, en enclenchant le système décimal, également pour les faibles charges jusqu'à un dixième du couple maximum. On choisira la première possibilité, c'est-à-dire la solution avec le poids mobile, lorsqu'il s'agit de mesures sous charge invariable à nombres de tours divers, et la commutation décimale plutôt pour des mesures à couples très faibles ou variables.

Le frein est généralement commandé directement à la main, mais si la machine à essayer doit être montée dans un local spécial, il peut aussi être prévu pour *commande et transmission à distance des mesures*. Dans ce cas, le tiroir de réglage du frein est actionné par un petit moteur électrique. Un moteur asynchrone à induit en court-circuit, à pôles commutables, se prête particulièrement bien à cet effet, car il peut être couplé très simplement de manière à tourner dans un sens ou dans l'autre, rapidement ou lentement; on peut ainsi faire varier rapidement ou lentement la charge à laquelle l'engin à essayer est soumis.

Ou bien la balance adossée au frein peut être munie d'un cadran mobile tournant autour d'un axe vertical, permettant la lecture horizontale de n'importe quelle direction, ou bien la balance peut être montée à quelque distance du frein, cas dans lequel les forces sont transmises par des articulations et des leviers. Le poids mobile de la balance peut aussi être déplacé par un petit moteur.

Pour la transmission des valeurs de la vitesse, on dispose de tachymètres à distance qui permettent de lire commodément la valeur momentanée du nombre de tours. Lors d'essais à vitesse constante, on peut obtenir des mesures plus exactes au moyen d'un impulseur permettant de compter le nombre de tours de l'arbre du frein pendant un laps de temps déterminé.

### *Les particularités essentielles du nouveau frein Brown Boveri*

peuvent être résumées comme suit:

*Domaine de charge particulièrement étendu, permettant de mesurer avec le même frein aussi bien des machines à grandes qu'à faibles puissances. En d'autres termes, le nombre de types de freins nécessaires pour un programme donné est réduit.*

*Marche absolument stable même lors de charges partielles très faibles.*

*Ajustage simple, rapide et précis du couple désiré. Variation régulière de la charge à nombre de tours variable.*

*Couple constant même si la température de l'eau de refroidissement et la pression de l'eau de charge varient modérément.*

*Faible moment d'inertie du rotor.*

*Construction robuste.*

*Lecture exacte et aisée du couple.*

*Possibilité de commande et de transmission des mesures à distance.*

Pour être complets, rappelons que, pour la mesure exacte de la puissance débitée par une machine motrice, on peut également utiliser, à part le frein hydraulique décrit ci-dessus, nos dynamomètres électriques.<sup>1)</sup> Ceux-ci ont l'avantage de pouvoir non seulement freiner l'appareil à essayer, mais encore de l'entraîner. De plus, il est possible de récupérer la puissance de freinage en prévoyant certains dispositifs supplémentaires. Cependant l'avantage du nouveau frein hydraulique<sup>2)</sup> réside dans son prix passablement moins élevé, sauf pour de très faibles puissances, et sa simplicité de fonctionnement. En outre, son champ d'applications est considérablement plus étendu; pour les grandes et moyennes puissances, il n'y a que le frein hydraulique qui entre en considération.

(MS 616)

M. Haller. (Sd.)

<sup>1)</sup> Voir Revue Brown Boveri 1943, pp. 119—123.

<sup>2)</sup> L'imprimé n° 1874 est à disposition des intéressés.

## LA SÉCURITÉ DE SERVICE DES CHAUDIÈRES ÉLECTRIQUES BROWN BOVERI.

Indice décimal 621.181.646

Une des plus grandes chaudières électriques de Suisse a été mise en service, en automne 1944, dans une fabrique de cellulose. Il s'agit d'une chaudière de notre construction à haute tension, du type à jets

produire une quantité horaire de vapeur de 17 000 kg, à 14—16 kg/cm<sup>2</sup> eff. Les conditions de service spéciales de cette fabrique ne permettent pas de récupérer le condensé; la chaudière est alimentée unique-

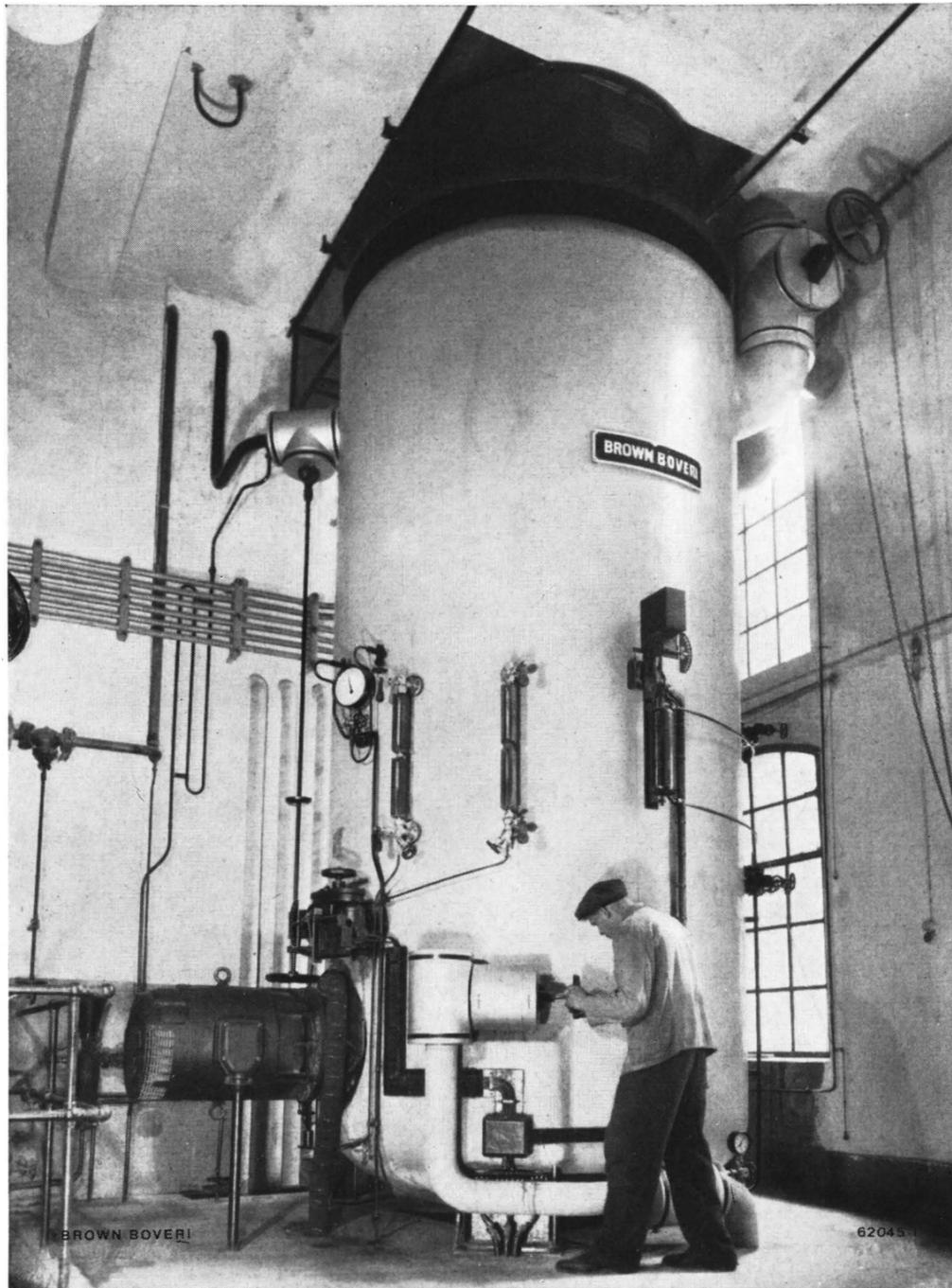


Fig. 1. — Une des plus grandes chaudières électriques à jets d'eau en Suisse.

Puissance 12 000 kW, 10 000 V triphasé, production de vapeur 17 000 kg à l'heure à 14—16 kg par cm<sup>2</sup> eff. La chaudière, alimentée uniquement avec de l'eau épurée, possède un réglage automatique. Elle est caractérisée par une grande sécurité de service, malgré les conditions difficiles provenant de l'eau d'alimentation.

d'eau<sup>1)</sup>, pour une puissance maximum de 12 000 kW, branchée directement au réseau 10 000 V, capable de

<sup>1)</sup> E. Soldati: «Chaudière électrique à haute tension à jets d'eau système Brown Boveri», Revue Brown Boveri 1935, p. 71—76. A. Strub: «Résultats des essais d'une chaudière électrique installée dans la Fabrique de sucre d'Aarberg», Revue Brown Boveri 1937, p. 167 et 168.

ment avec de l'eau épurée. Cette dernière est fournie par l'installation d'épuration servant simultanément les chaudières à charbon.

L'installation d'épuration est alimentée par l'eau de l'Aar filtrée et d'une dureté de 12—18° français. L'eau brute est adoucie préliminairement par l'adjonction de chaux et de soude, l'élimination de

la dureté résiduelle se fait par du phosphate trisodique.

Le traitement précité ramène la résistance spécifique de l'eau brute qui était de l'ordre de grandeur de 4000—3200 ohms cm, rapportés à 20 ° C, à des valeurs de 1600—1400 ohms cm. La résistance peut même descendre à 1000 ohms cm par l'adjonction d'un fort excédent de réactifs. Il est dès lors évident qu'une telle eau d'alimentation ne peut être utilisée que dans une chaudière permettant l'emploi d'une eau à faible résistance. Si ce n'était le cas, les pertes par purge seraient trop élevées ou il se produirait des claquages. La chaudière en question travaille avec une résistance spécifique de l'eau de 300—350 ohms cm, rapportés à 20 ° C; ce qui ne représente qu'une résistance de 75—85 ohms cm à la température de service d'environ 200 ° C. <sup>1)</sup>

Une telle eau étant fortement alcaline, seule une chaudière dont la construction est entièrement métallique peut donner un service satisfaisant; des pièces en porcelaine seraient rapidement détériorées dans l'eau de la chaudière.

Afin d'éviter une conductibilité trop élevée, l'eau de purge est continuellement soutirée de la chaudière; elle est ramenée dans l'installation d'épuration, sa chaleur sert au réchauffage de l'eau brute, et les réactifs qu'elle contient sont en grande partie réutilisés dans le processus d'épuration. Une fraction seulement de l'eau est évacuée et représente la purge proprement dite. De cette façon, il est possible de réduire à un minimum les pertes de chaleur et de réactifs.

*Ces conditions difficiles provenant de l'eau d'alimentation ont joué un rôle prépondérant dans le choix du système de la chaudière. La chaudière du type à jets d'eau, telle que nous la construisons depuis des années, offrait les meilleures garanties d'un service sans accroc.*

La figure 1 représente la chaudière, les dimensions sont modestes comparativement à la puissance. Des régulateurs de construction éprouvée règlent le niveau d'eau, la pression, la puissance et la conductibilité de l'eau. Le service est réduit à l'enclenchement et au déclenchement de la chaudière, ainsi qu'à quelques contrôles périodiques. De plus, la chaudière est équipée d'un dispositif de protection contre les mises-à-la-terre. Celui-ci se compose d'un transformateur d'intensité du type à câble, et des relais correspondants qui agissent sur le disjoncteur de la chaudière. On sait que lors d'un court-circuit monophasé dans le réseau, le courant de terre qui va du point neutre de la

<sup>1)</sup> A. Strub: «Du rapport entre la teneur en sels et la conductibilité de l'eau des chaudières électriques», Revue Brown Boveri 1942, p. 347—352.

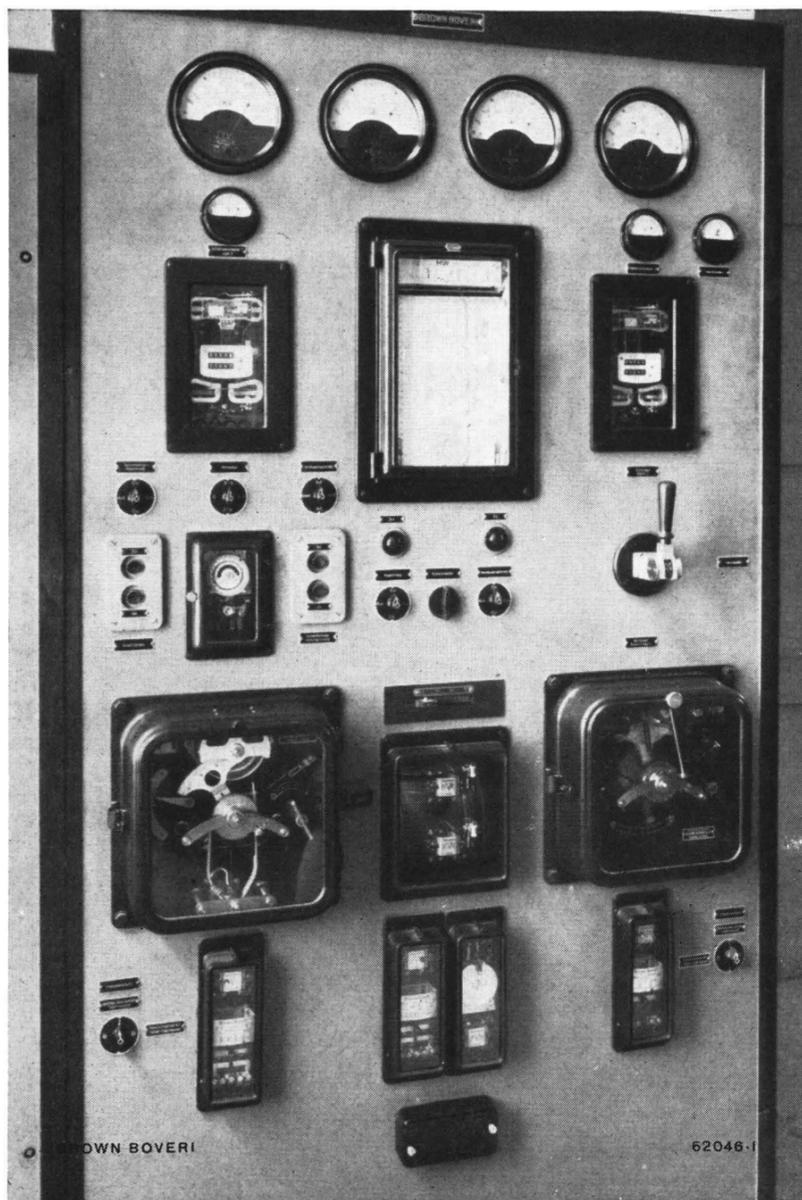


Fig. 2. — Tableau de commande de la chaudière électrique à haute tension 12 000 kW, à réglage automatique.

Tous les instruments de commande et de mesure, ainsi que les régulateurs, sont réunis sur ce tableau, ce qui facilite le contrôle et la surveillance de la chaudière.

chaudière à l'endroit du défaut, peut prendre des intensités élevées. Tant qu'il n'existe aucun court-circuit, la somme des courants dans les trois conducteurs du câble allant à la chaudière est nulle, de même le courant secondaire dans le transformateur. Dès qu'un défaut de terre apparaît, l'équilibre est rompu, et le courant différentiel circulant dans le transformateur fait agir le relais qui, à son tour, déclenche le disjoncteur principal.

Tous les appareils et instruments nécessaires à la commande et à la surveillance de la chaudière, ainsi que les régulateurs, sont réunis sur un tableau placé à proximité (fig. 2). Le disjoncteur principal qui se trouve avec l'appareillage haute tension, où sont également placés les transformateurs de mesure, est aussi commandé à partir du tableau.

Malgré les conditions de service difficiles déjà mentionnées, la chaudière a donné de bons résultats et fonctionne à l'entière satisfaction du client.

## DE NOUVELLES INSTALLATIONS DE POMPES THERMIQUES BROWN BOVERI CONTRIBUENT A ÉCONOMISER LE CHARBON.

Indice décimal 621.577

### *Nouvelles installations de thermo-compression pour l'industrie alimentaire.*

Grâce aux bons résultats obtenus jusqu'ici par la thermo-compression, ce système est de plus en plus employé pour la concentration des produits laitiers, des cidres doux de fruits et de raisins, pour la fabrication des comprimés de soupes, etc. Ses divers avantages tels que propreté de l'exploitation, possibilité de travailler sous vide à basse température d'évaporation, d'où conservation du goût, de l'odeur et des vitamines, lui assurent un développement croissant, même une fois que la pénurie de combustible aura pris fin. Ceci d'autant plus que les installations de thermo-compression surpassent, en économie d'exploitation, les installations d'évaporation chauffées au charbon d'avant-guerre. L'installation à thermo-compression est d'autant plus favorable à l'heure actuelle si l'on considère les différences de prix entre les combustibles solides et la houille blanche indigène, et si l'on tient compte, en outre, que le charbon deviendra encore plus rare et plus cher (ce n'est que deux ans après la fin

de la dernière guerre que le prix atteignit son point maximum), l'intérêt croissant soulevé par toutes les réalisations de pompes thermiques est bien compréhensible.

De telles installations pour fabriques de produits alimentaires et autres ont déjà été traitées à diffé-

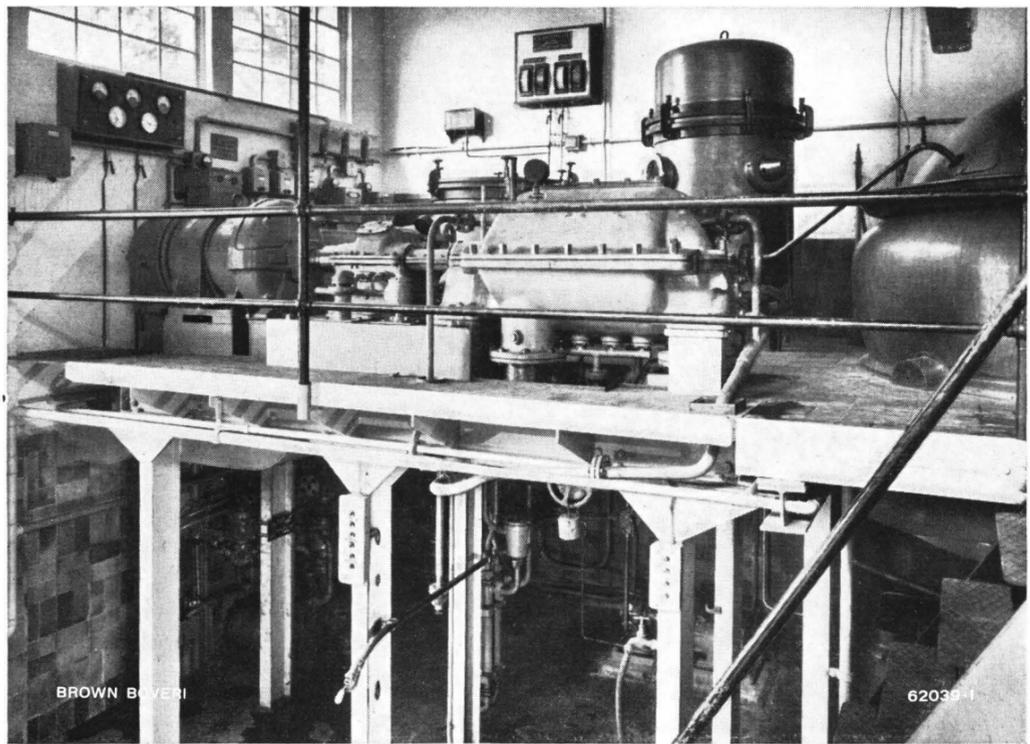


Fig. 2. — Groupe turbo-compresseur thermique Brown Boveri pour la concentration d'extraits de levure et de jus de fruits.

Cette installation est conçue pour un service avec charges successives. Des extraits de levure récupérés ont fait un produit vitaminé. Quantité d'eau évaporée: 420 kg/h.

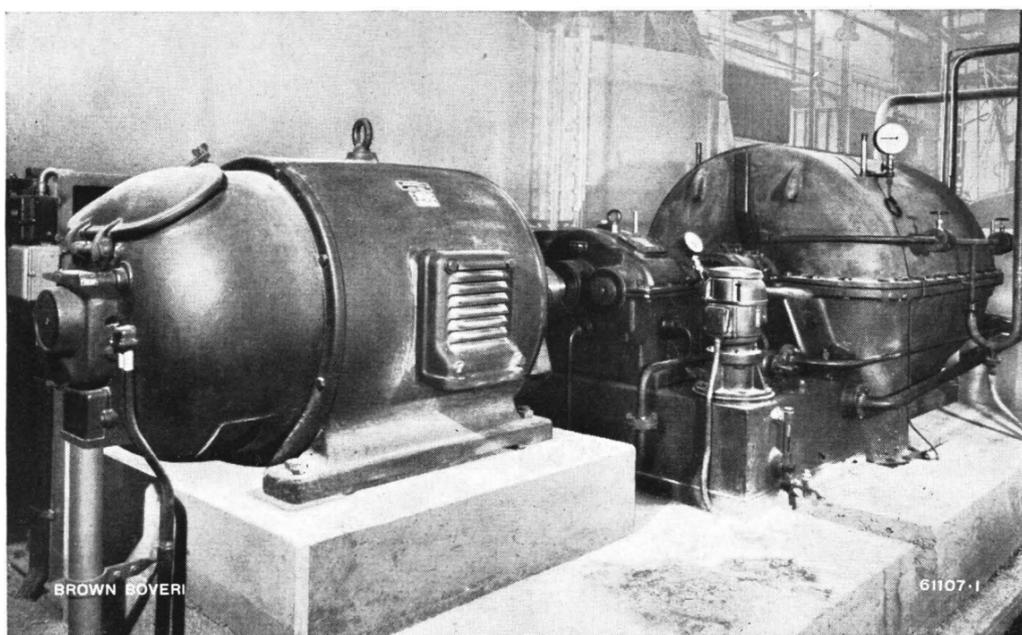


Fig. 1. — Groupe turbo-compresseur thermique d'une nouvelle installation de concentration de lait et de jus de fruits.

Le groupe est composé d'un turbo-compresseur, d'un train d'engrenage multiplicateur et d'un moteur d'entraînement. Suivant la saison, on emploie cette installation pour la concentration de lait ou de jus de fruits, sans qu'il y ait quoi que ce soit à changer au groupe. La concentration au moyen du turbo-compresseur est aussi d'un bon rendement en temps ordinaire et assure un service propre et simple. A l'heure actuelle, l'économie de charbon réalisée est particulièrement intéressante.

rentes reprises dans cette Revue<sup>1)</sup>. A titre de nouveaux exemples, voici encore une brève description de deux installations récentes intéressantes de thermo-compression pour l'industrie alimentaire.

La figure 1 représente un thermo-compresseur que nous avons livré et qui sert à traiter soit du lait, soit du jus de fruits, suivant la saison. La quantité d'eau évaporée ici s'élève à 1750 kg/h pour le lait et à 1600 kg/h pour le jus de fruits.

<sup>1)</sup> « Installation avec turbo-compresseur pour concentrer le lait à Lucens », Revue Brown Boveri 1943, p. 85.

« Quelques applications de la pompe thermique comme machine calorifique », Revue Brown Boveri 1943, p. 146.

« Ménageons nos ressources à l'aide de thermo-compresseurs ! » Revue Brown Boveri 1944, p. 127.

« Un tour de force », Revue Brown Boveri 1945, p. 118.

Afin d'obtenir la commande de cette machine, il a fallu nous astreindre à un délai de livraison très court pour que l'installation complète puisse fonctionner déjà pour la récolte des fruits. La fabrication du groupe a été achevée dans le délai très restreint de 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> mois. L'installation se trouve en service pratiquement ininterrompu et sans aucune défaillance depuis fin septembre 1943.

La thermo-compression est utilisée également aujourd'hui avec succès pour l'évaporation d'extrait de levure, par exemple de la levure de la bière et d'autres levures alimentaires. La figure 2 montre une telle installation mise en service en été 1944. L'intérêt tout spécial de cette installation réside dans son système à charges successives. L'extrait brut est conduit à la station d'évaporation avec 5—9 % de sec, où il est soumis à une température de 70 °C; à la sortie des diverses charges, la concentration finale est d'environ 65 % après l'évaporation. A part de tels produits de levure il est possible de concentrer, dans l'installation en question, également des jus de fruits sans qu'il soit nécessaire d'apporter la moindre modification au thermo-compresseur. Les bonnes expériences faites avec cette ins-

tallation prouvent qu'il est possible de recourir à la thermo-compression aussi pour la marche à charges successives.

L'économie réalisée sur les frais d'exploitation par rapport à des installations d'évaporation à charbon permet l'amortissement des installations à thermo-compression en un nombre d'années relativement petit. Il n'est donc pas étonnant que la demande en thermo-compresseurs pour l'industrie alimentaire, placée devant des tâches particulièrement urgentes, et pour d'autres industries, croisse maintenant rapidement. C'est ainsi que nous avons actuellement en construction encore cinq groupes thermo-compresseurs pour la concentration de lait et de jus de fruits, totalisant une quantité d'eau évaporée de 12000 kg/h, qui seront mis en service pour la prochaine saison des fruits. La possibilité d'accorder des délais de livraison favorables ainsi que la pénurie de charbon mentionnée et qui durera encore longtemps, devraient assurer au thermo-compresseur et à la pompe à chaleur en général un emploi de plus en plus étendu.

(MS 619)

B. Krapf. (Sd.)

## PROCÉDÉS MODERNES DE COMMANDE AUTOMATIQUE DU PROCESSUS DE SOUDURE, POUR MACHINES A SOUDER PAR POINTS ET A LA MOLETTE.

Indice décimal 621.791.736.3

*L'interrupteur mécanique, organe le plus simple et le meilleur marche pour la rupture et l'établissement du courant de soudure, est encore utilisé aujourd'hui dans la plupart des machines à souder par résistance. S'il s'agit par contre de puissances élevées, telles qu'elles se présentent dans les machines à souder pour travaux spéciaux, à des fréquences dépassant 50 p/s, ou s'il s'agit de nouvelles machines, impliquant la création d'une technique spéciale, on a de plus en plus recours à des dispositifs statiques de couplage susceptibles de rendre de précieux services. Le présent article passe en revue un dispositif de ce genre, qui se distingue par sa grande souplesse.*

Le procédé le plus économique de soudure est sans contredit la soudure par résistance. Sous ses trois formes — soudure par points, à la molette et en bout, elle a pris ces derniers temps une importance sans cesse accrue. Ce procédé repose sur la propriété que présentent deux pièces de métal pressées l'une contre l'autre, de s'échauffer rapidement à la température de soudure sous l'effet d'un courant élevé, la fusion des deux pièces formant une soudure indéfectible. Si l'on veut obtenir dans tous les cas des soudures régulières et irréprochables, il est essentiel de remplacer autant que possible le réglage manuel de la pression des électrodes, du courant et du temps de soudure par un réglage automatique de précision. C'est la raison pour laquelle les machines à souder par résistance, système Brown Boveri, sont toutes équipées du réglage automatique, qu'il suffit au soudeur de mettre en action pour que la machine effectue le travail dans les meilleures conditions de soudure possible. Nous nous proposons de décrire brièvement les couplages utilisés aujourd'hui dans ce but dans les machines modernes à souder par points et à la molette.

*L'interrupteur synchrone prévient les à-coups de courant et l'usure des contacts.*

La façon la plus rationnelle de régler le courant de soudure consiste à choisir pour son établissement l'instant correspondant au maximum de l'onde de tension, ou précédant quelque peu ce maximum, et pour sa coupure l'instant où l'onde de courant passe par zéro.

Ce procédé permet d'éliminer de façon pratiquement complète les à-coups de courant sur le réseau et la formation d'étincelles aux contacts de l'interrupteur, avec usure de ces derniers. Cet inconvénient est particulièrement sensible dans la soudure à la molette à cause du grand nombre d'enclenchements et de déclenchements qu'elle comporte. Dans les machines à souder à la molette Brown Boveri, ces deux avantages décisifs sont réalisés par l'interrupteur synchrone, actionné par un moteur synchrone exactement au rythme de la fréquence du réseau.

La figure 1 représente deux oscillogrammes: le premier relevé sur une machine à souder à la molette avec interrupteur asynchrone, le second dans les mêmes conditions avec interrupteur synchrone. Il ressort de cette comparaison que l'interrupteur asynchrone, qui enclenche et coupe le courant à des points tout-à-fait arbitraires de la courbe du courant alternatif, provoque de très forts à-coups de courant, pouvant atteindre vingt fois le courant normal. L'interrupteur synchrone, par contre, les évite complètement.

Le système de réglage créé et breveté par Brown Boveri pour les machines à souder par points permet

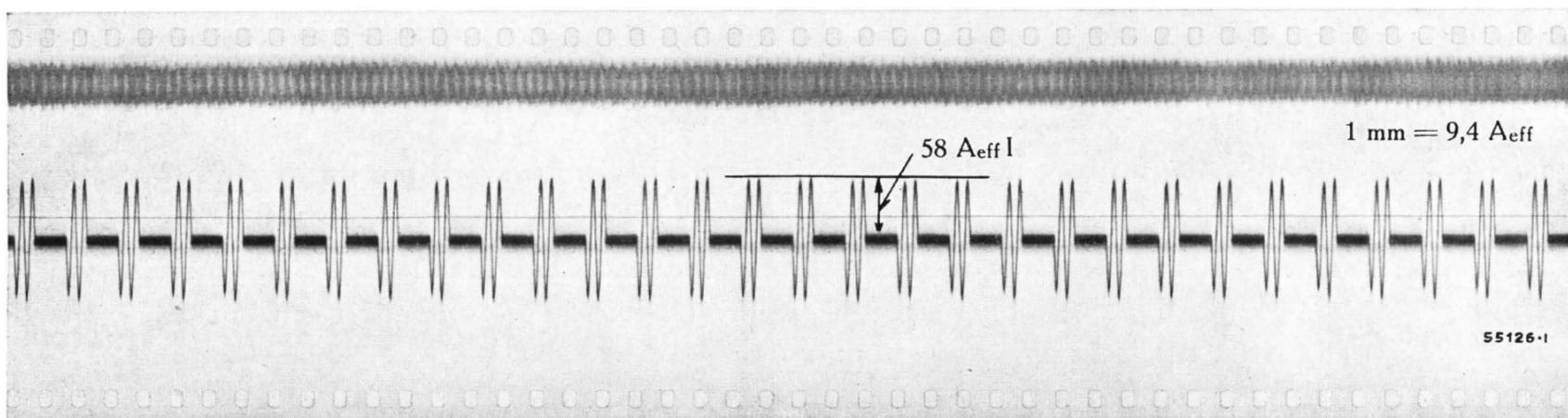
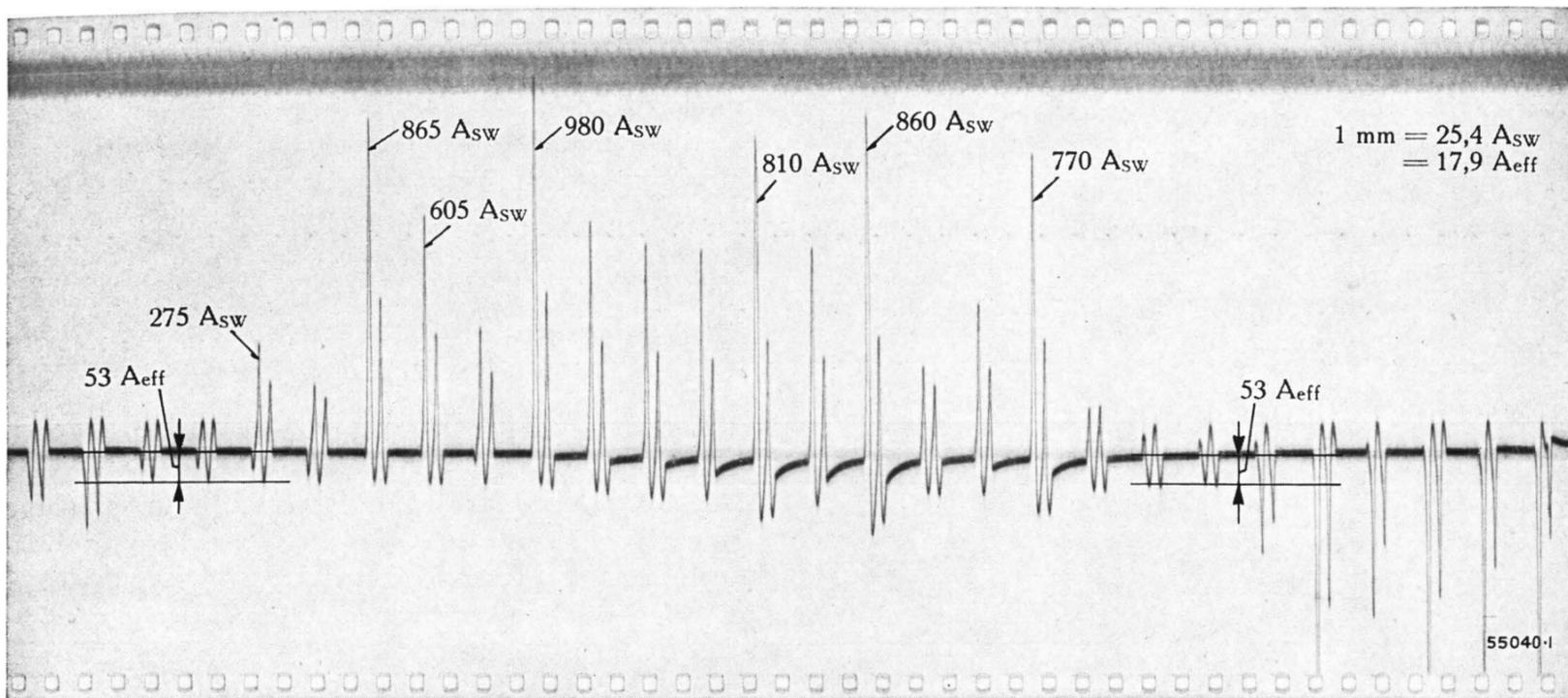


Fig. 1. — Oscillogrammes du courant de soudure relevés sur des machines à souder à la molette. Remarquer l'amélioration apportée par l'interrupteur synchrone.

Absence de toutes pointes de courant et de leurs répercussions défavorables sur le réseau, aucune formation d'étincelles provoquant une usure des contacts.

En haut : Courant primaire d'une machine à souder commandée par un interrupteur asynchrone ordinaire ; pointes de courant très élevées atteignant jusqu'à vingt fois le courant normal. Ces conditions sont inacceptables pour la soudure et nuisibles pour le réseau.

En bas : Courant primaire d'une machine à souder Brown Boveri commandée par un interrupteur synchrone. Absence de toute pointe de courant, pas de répercussion sur le réseau, pas de formation d'étincelles et par conséquent pas d'usure des contacts.

de réduire fortement les pointes de courant à l'enclenchement. Ces pointes ne peuvent en aucun cas dépasser le double du courant normal. Il en résulte des avantages du même ordre que dans le cas des machines à souder à la molette.

Ainsi que nous l'avons déjà mentionné, le réglage de la pression des électrodes des machines à souder par points et à la molette système Brown Boveri est, lui aussi, entièrement automatique.

#### Réglage selon programme pour travaux spéciaux de soudure.

Pour certains travaux spéciaux, tels que la soudure par points de tôles épaisses, d'aciers spéciaux ou de nombreux alliages légers, cette simple méthode de réglage du courant et de la pression des électrodes ne suffit cependant pas encore pour réaliser des soudures sûres et de bonne qualité. En effet les courants élevés nécessaires, ou les temps de soudure considérables et les fortes pressions d'électrodes, ne peu-

vent plus être maintenus constants sur toute la durée du processus de soudure, sans que l'aspect ou la qualité de la soudure par points en soient influencés défavorablement. Il en est de même lorsque l'une ou l'autre de ces grandeurs est réduite au minimum admissible pour le métal à souder.

Pour des travaux de ce genre il est essentiel, pour obtenir des points de soudure irréprochables, de coordonner les diverses grandeurs entre elles pendant le processus de soudure, dans des limites déterminées et selon certaines lois, c'est-à-dire d'après un programme de pression ou de courant-pression.<sup>1)</sup> Une nouvelle méthode de mesure permet de relever oscillographiquement la courbe de la pression et de l'intensité de soudure. La figure 2 en donne un exemple et représente un programme courant-pression pendant la soudure d'un point exécuté sur deux épaisses plaques d'acier. Ces données, jointes au résultat de l'examen métallographique, permettent de juger de l'influence des diverses phases du programme sur la qualité de la soudure.

<sup>1)</sup> Revue Brown Boveri Janvier/Février 1945, page 47.

Dans le cas particulier, ce programme de soudure comprend trois phases principales :

1. *Soudure préalable.* Les tôles sont pressées l'une contre l'autre sous forte pression des électrodes, afin d'éliminer les tensions internes et d'assurer un bon contact. Un courant de soudure préalable relativement minime provoquant une fusion locale suffit à préparer les surfaces en contact pour la soudure proprement dite.

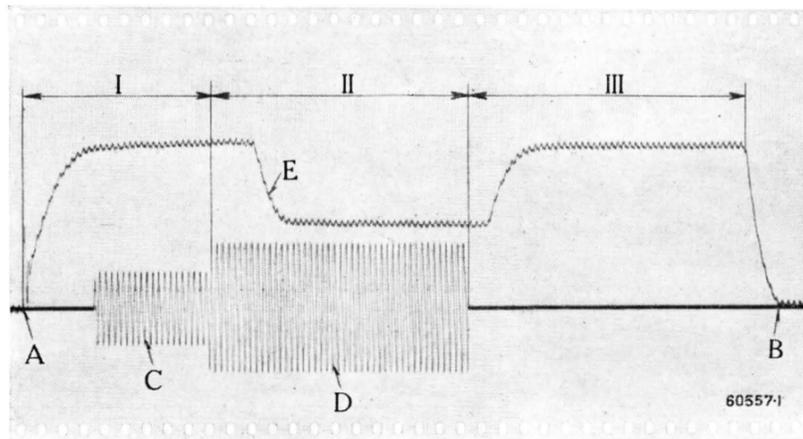


Fig. 2. — Oscillogramme du courant et de la pression entre les électrodes d'une machine Brown Boveri à souder par points à commande selon programme, pendant la soudure d'épaisseurs plaques d'acier.

La commande selon un programme de soudure permet d'obtenir des points de soudure irréprochables dans tous les cas, même lorsqu'il s'agit de tôles épaisses, d'aciers spéciaux et d'alliages de métaux légers difficilement soudables.

- A = Début du processus de soudure.
- B = Fin du processus de soudure.
- C = Courant de soudure préalable.
- D = Courant de soudure.
- E = Pression des électrodes.
- I = Avant-soudure à pression élevée.
- II = Soudure.
- III = Recompression.

2. *Soudure.* Le courant de soudure proprement dit est établi peu avant l'instant où la pression des électrodes tombe de la valeur maximum à la valeur qu'elle assume pendant la soudure, afin d'éviter toute déformation des tôles sous l'effet de tensions internes éventuelles. La plus grande partie du processus de soudure s'effectue cependant à pression d'électrodes réduite. On évite ainsi des empreintes par trop prononcées.
3. *Recompression.* Nouvelle surélévation de la pression des électrodes, pour obtenir un effet comparable à un forgeage ou à un traitement thermique du point de soudure.

#### Les temps de soudure.

Dans les machines normales à souder à la molette système Brown Boveri, les temps de soudure peuvent être réglés à l'aide de l'interrupteur synchrone entre 2/100 et 8/100 s. Le temps le plus court correspond donc à une période du courant alternatif de fréquence industrielle. Par conséquent, pour que l'interrupteur synchrone remplisse son but, sa précision doit être de l'ordre du millième de seconde.

Dans certains cas spéciaux cependant, ces temps de soudure, bien que déjà très courts, sont encore trop longs, soit à cause de la surchauffe du métal

qui en résulte, soit en raison des exigences d'une production particulièrement élevée, qui nécessite un très grand nombre de soudures encore plus courtes sous une intensité particulièrement élevée. Afin de pouvoir interrompre le courant de soudure à son passage par zéro, il faut alors opérer avec des fréquences dépassant sensiblement 50 pér/s.

#### Interrupteur-mutateur pour temps de soudure normaux et ultra-courts.

On dispose aujourd'hui, pour ce cas également, d'un système approprié de commande pouvant être utilisé avantageusement et de façon tout-à-fait générale pour l'alimentation de machines à souder par résistance. Comme il ressort de la figure 3a, cette méthode fait usage d'un interrupteur-mutateur, inséré dans le circuit du transformateur de soudure comme un simple contacteur. Deux mutateurs mono-anodiques à grilles polarisées, jouant simplement le rôle d'interrupteurs, sont insérés dans le circuit de façon à laisser passer les deux ondes du courant alternatif aussi longtemps que les grilles des mutateurs sont positives par rapport à la cathode. Il suffit que ces grilles soient polarisées négativement pour que le courant soit coupé. Le dispositif de commande des grilles est conçu de façon que les grilles passent alternativement du potentiel positif au potentiel négatif selon un rythme approprié, provoquant l'établissement du courant exactement au maximum de la tension alternative et sa coupure au passage par zéro du courant. Les temps

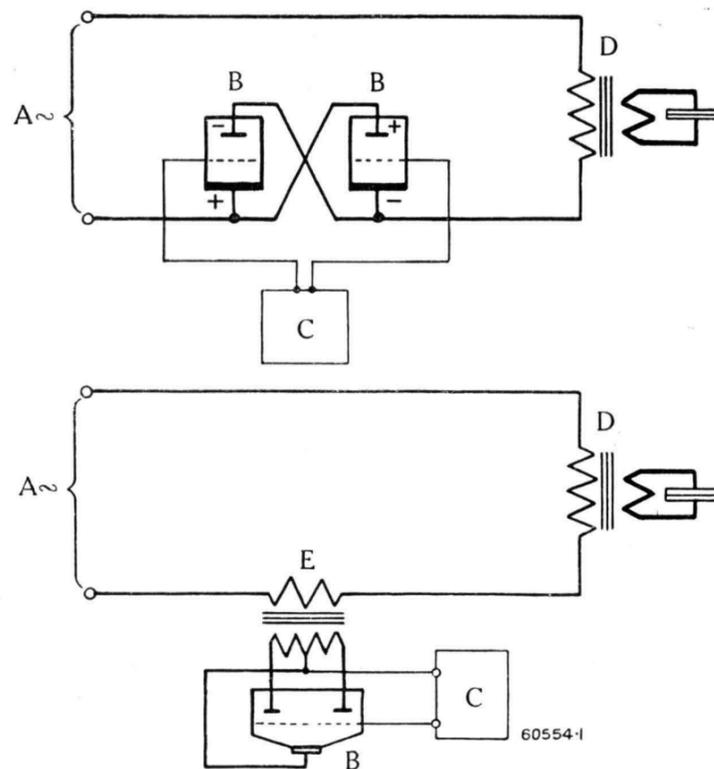


Fig. 3a et 3b. — Schémas de couplage d'interrupteurs-mutateurs pour temps de soudure ultra-courts.

En haut : Commande de précision par deux mutateurs mono-anodiques à grilles polarisées.

Ce couplage est utilisé avantageusement pour des puissances jusqu'à 100 kVA. Il permet de réduire le temps de soudure à moins de 1/100 s.

En bas : Commande de précision par mutateur à deux anodes, à grilles polarisées.

A  $\sim$  = Réseau à courant alternatif. D = Transformateur de soudure.  
C = Commande par grilles polarisées. E = Transformateur auxiliaire.  
B = Mutateur à deux anodes.

de soudure et de pause sont facilement réglables sur l'appareil. La figure 4 montre l'allure de la tension de grille et du courant lors de la soudure par points et à la molette avec un interrupteur statique du genre décrit.

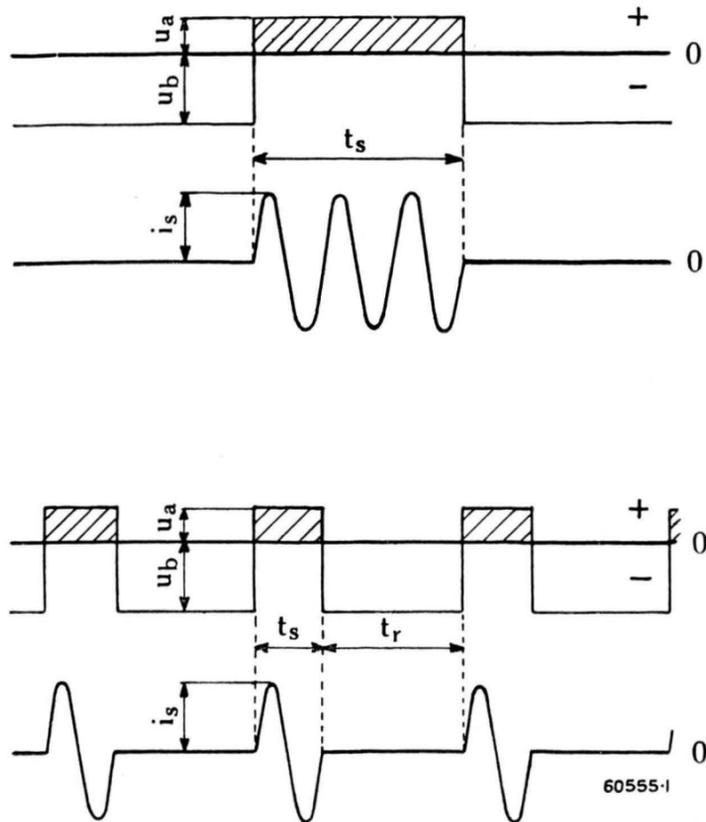


Fig. 4. — Représentation schématique du potentiel de grille du mutateur et de la tension aux bornes primaires du transformateur d'une machine à souder par points, en haut, et à la molette, en bas.

Temps de soudure réglé à six demi-ondes pour la soudure par points et à deux demi-ondes pour la soudure à la molette. Temps de pause : quatre demi-ondes.

- $i_s$  = Courant de soudure primaire.
- $t_r$  = Temps de pause.
- $t_s$  = Temps de soudure.
- $u_a$  = Potentiel positif : allumage du mutateur.
- $u_b$  = Potentiel négatif : blocage du mutateur.

Tandis que le couplage de la figure 3a s'applique aux machines de faible puissance, celui de la figure 3b convient plus particulièrement aux puissances élevées. Au lieu des deux mutateurs mono-anodiques, on a recours dans ce cas à un mutateur normal à deux anodes, à grilles polarisées, ayant pour but de provoquer alternativement la mise en court-circuit et la marche à vide de l'enroulement secondaire d'un deuxième transformateur E inséré dans le circuit. Lorsque le transformateur E est court-circuité, le transformateur de soudure D est alimenté sous pleine tension. En marche à vide de E, cette tension tombe pratiquement à zéro. Le courant de soudure est donc réglé de façon semblable à ce qui est le cas dans le premier système.

Pour le contrôle du fonctionnement de ces interrupteurs statiques on recourt en général à un petit oscillographe cathodique, qui reproduit sur son écran la courbe du courant pulsatoire parcourant le transformateur de soudure. La figure 5 donne une idée des résultats obtenus avec un interrupteur statique à la fréquence de 300 pér/s. La courbe supérieure de l'oscillogramme de gauche correspond à un temps

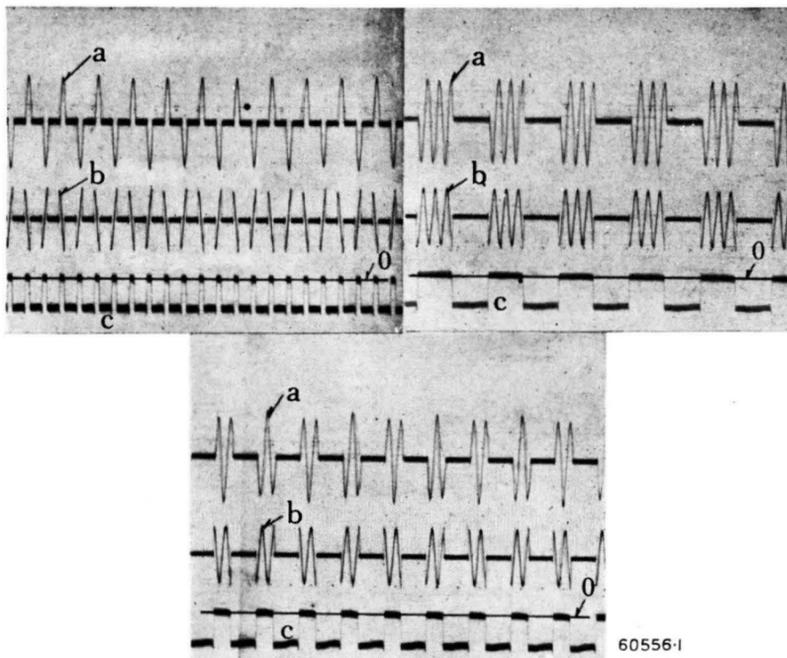


Fig. 5. — Relevés oscillographiques des résultats obtenus avec un interrupteur statique, à la fréquence de 300 pér/s.

L'extrême précision de réglage du courant de soudure réalisée par les mutateurs à grilles polarisées permet, même à cette fréquence, d'obtenir des temps de soudure d'une demi-onde.

- A gauche en haut: Temps de soudure : une demi-onde =  $1/600$  s.  
Temps de pause : deux demi-ondes.  
200 points de soudure par seconde.
- A droite en haut: Temps de soudure : six demi-ondes.  
Temps de pause : six demi-ondes.
- En bas : Temps de soudure : trois demi-ondes.  
Temps de pause : quatre demi-ondes.

- a = Courant primaire du transformateur de soudure.
- b = Tension primaire.
- c = Potentiel de grille des mutateurs.
- o = Potentiel zéro des grilles.

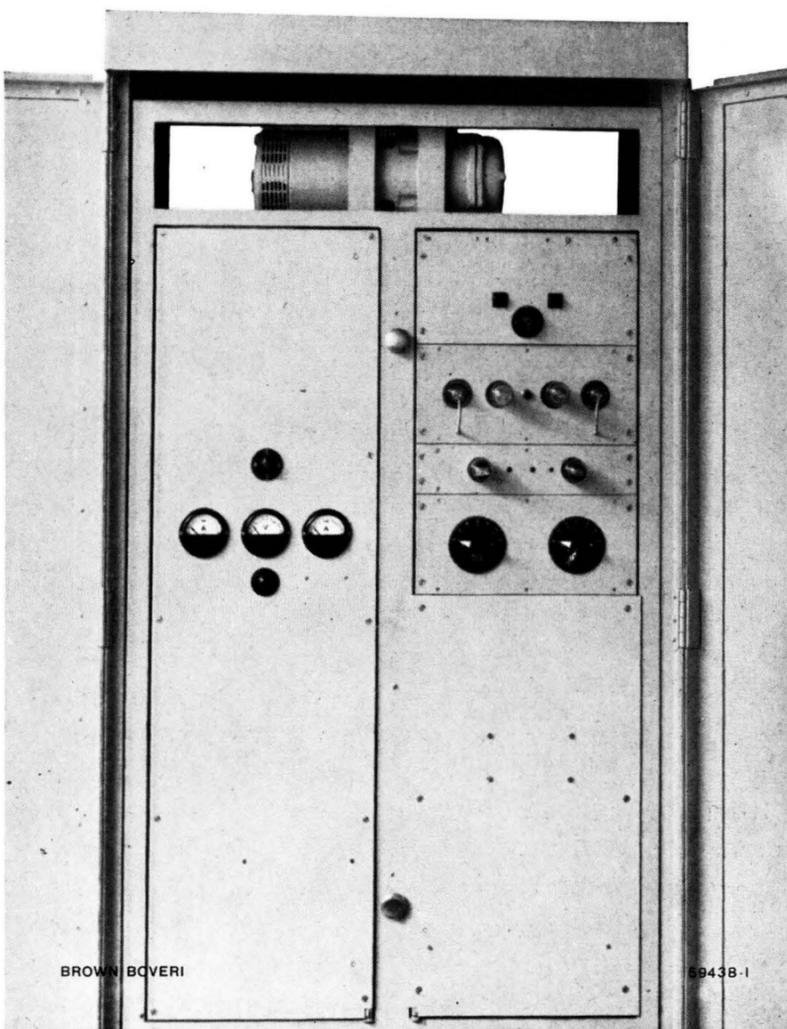


Fig. 6. — Armoire de commande pour machines à souder par points et à la molette, avec interrupteur statique, selon schéma de principe de la figure 3.

A gauche le panneau d'excitation des mutateurs, à droite les lampes électroniques et les deux commutateurs à gradins pour le réglage des temps de soudure et de pause.

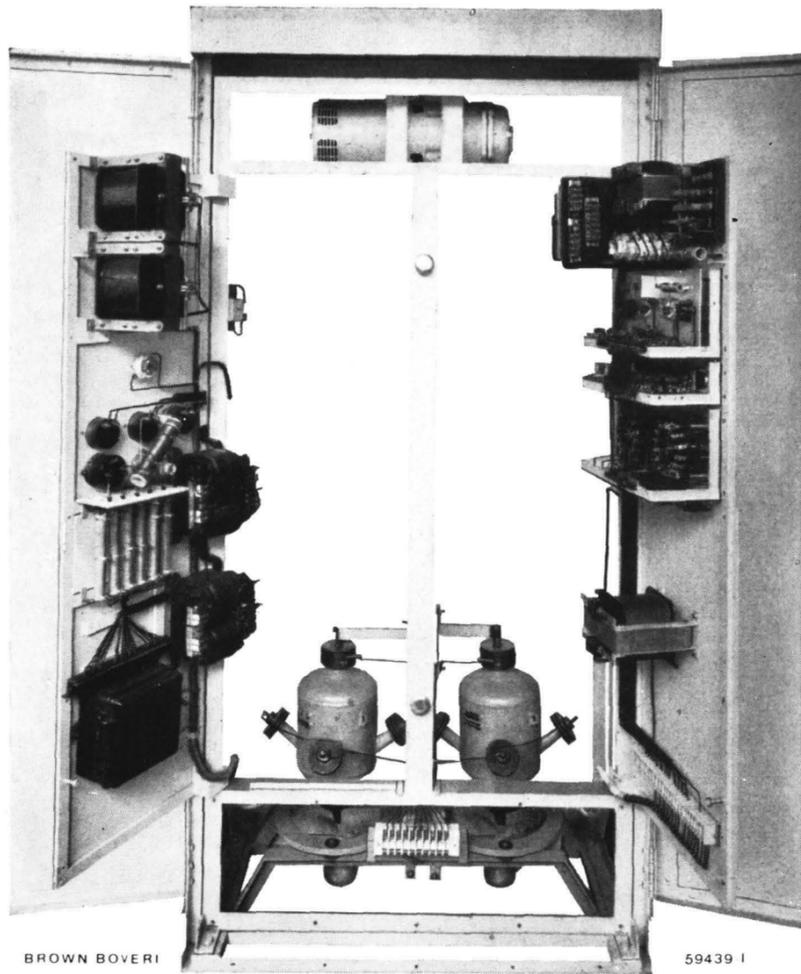


Fig. 7. — Intérieur de l'armoire de commande de la figure 6.

A gauche les appareils auxiliaires des mutateurs, à droite l'oscillateur de commande des grilles polarisées. Au milieu en bas les mutateurs, en haut le groupe convertisseur fournissant la tension anodique des lampes oscillatrices.

de soudure d'une demi-onde, soit  $\frac{1}{600}$  s et à un temps de pause de deux demi-ondes, ce qui donne une vitesse de soudure de 200 points à la seconde. L'oscillogramme du milieu correspond à un temps de soudure de trois et à des pauses de quatre demi-ondes, tandis que celui de droite enfin correspond à la plus petite vitesse de l'appareil, avec six demi-ondes de temps de soudure et six demi-ondes de pause. Dans le cas particulier, la fréquence de 300 pér/s se justifiait par la capacité de production très élevée demandée, exigeant une avance rapide des pièces à souder. Il est clair que les interrupteurs purement mécaniques ne conviennent pas à des fréquences aussi élevées.

Les figures 6 et 7 représentent le nouvel appareillage électrique de commande. La figure 6 est une vue du tableau. On distingue à gauche le panneau d'excitation des mutateurs (entretien de la tache cathodique par un arc auxiliaire) et à droite les lampes et les deux commutateurs à gradins pour le réglage du temps de soudure et de pause. La figure 7 montre l'intérieur de l'installation: les deux mutateurs mono-anodiques sont visibles à la partie inférieure, tandis que les appareils auxiliaires des mutateurs sont montés sur le panneau mobile de gauche. Sur celui de droite enfin, se trouve un des organes du réglage par grilles polarisées.

C'est avec ce réglage par grilles polarisées qu'ont, par exemple, été soudés les tubes d'acier inoxydable

reproduits à la figure 8, à une fréquence de 300 pér/s. Une soudure irréprochable de tubes de ce genre n'est possible qu'en ayant recours à des impulsions de courant très courtes de  $\frac{1}{600}$  s, à défaut de quoi le métal serait brûlé. La figure 8 permet de s'en rendre compte. Les deux tubes, de droite et du milieu, ont été soudés de façon correcte, l'un avec deux, l'autre avec quatre demi-ondes de temps de pause et une demi-onde de temps de soudure.

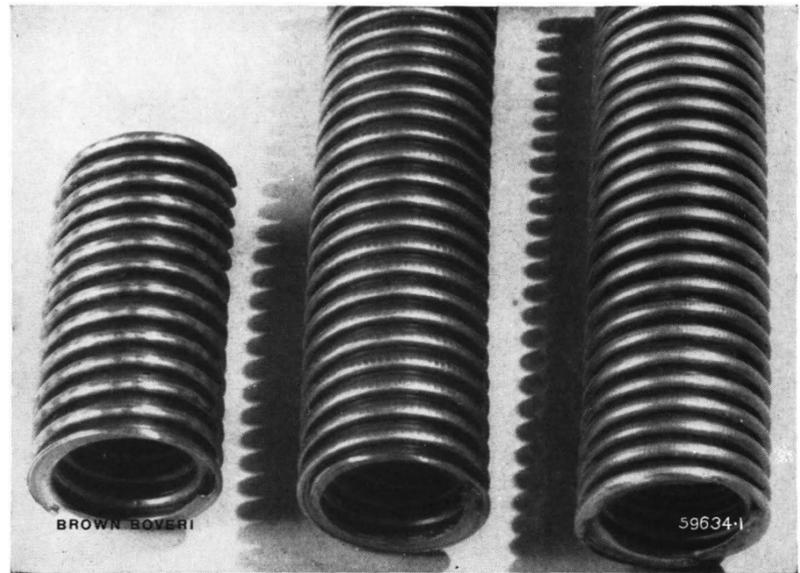


Fig. 8. — Tubes, d'acier inoxydable, soudés à l'aide d'une machine à souder à la molette munie de l'interrupteur statique représenté à la figure 3. Fréquence 300 pér/s.

Remarquer l'exécution irréprochable de la soudure des tubes du milieu et de droite, avec un temps de soudure d'une demi-onde et un temps de pause de deux demi-ondes pour le tube du milieu et de quatre demi-ondes pour celui de droite. Le temps de soudure plus long, de six demi-ondes ( $\frac{1}{100}$  s) appliqué à titre d'essai au tube de gauche, a déjà suffi à brûler le métal. (Taches visibles à la périphérie.)

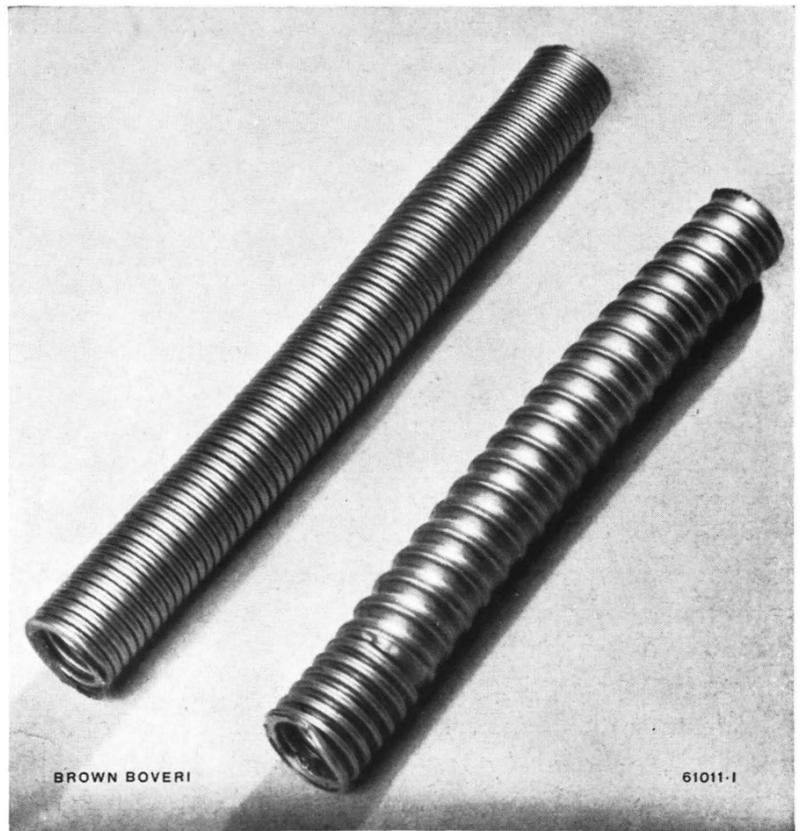


Fig. 9. — Essai, sous pression interne de 200 kg/cm<sup>2</sup>, d'un tube flexible soudé comme le tube de droite de la figure 8.

Malgré la très forte déformation permanente causée par la contrainte interne, la soudure hélicoïdale est restée étanche (tube de droite). A gauche, même tube avant l'essai.

A gauche, un essai à six demi-ondes, soit  $\frac{1}{100}$  s de temps de soudure. Cette durée a suffi pour brûler le métal, ce que l'on distingue aux taches noires visibles sur le pourtour du tube. Cet exemple illustre clairement le rôle capital que joue le temps de soudure pour certains métaux. Des résultats satisfaisants ne sont possibles qu'avec des couplages appropriés. Dans les conditions indiquées, la soudure est parfaitement étanche même sous un vide élevé. La figure 9 montre le résultat d'un essai, sous pression interne de  $200 \text{ kg/cm}^2$ , exécuté sur un tube soudé comme ceux de la figure 8. Malgré la très grande déformation subie, la soudure hélicoïdale est restée parfaitement étanche (figure 9, droite).

Le nouveau système de commande a fait ses preuves: il permet de réaliser un travail absolument irréprochable, même dans le cas où la précision des temps doit être absolue et où les temps de soudure doivent être réduits à une valeur telle qu'aucun inter-

rupteur mécanique, même des plus modernes, ne parviendrait à les réaliser. Il est encore impossible, aujourd'hui, de répondre à la question de savoir si, à l'avenir, l'interrupteur statique sera utilisé dans toutes les applications de la technique de la soudure par résistance ou si l'on continuera à réserver ses avantages pour des cas spéciaux, tels qu'alimentation de machines à souder à grande capacité de production fonctionnant à des fréquences supérieures à 50 pér/s, mise au point de méthodes de fabrication etc, qui exigent de l'interrupteur une souplesse exceptionnelle. En tout état de cause, Brown Boveri dispose aujourd'hui, même pour les travaux les plus difficiles de soudure par résistance, de couplages et d'interrupteurs de grande valeur, répondant aux exigences les plus rigoureuses et permettant d'effectuer dans toutes les conditions des travaux de soudure irréprochables.

(MS 602)

A. Dutoit et W. Heiz. (H. D.)

UN AUXILIAIRE PRATIQUE POUR LES CENTRALES MODERNES ET LES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION.

**INSTALLATION DE TÉLEMESURE POUR LA TÉLÉTRANSMISSION DE VALEURS DE MESURE QUELCONQUES SUR DE GRANDES DISTANCES.**

Indice décimal 621.317.083.7

La télétransmission des valeurs de mesure est de plus en plus utilisée comme moyen auxiliaire pour rassembler d'une manière uniforme et rigide tous les points importants d'une installation d'exploitation. Elle permet surtout une vue d'ensemble permanente, depuis un lieu de surveillance central, des valeurs importantes pour le service et qui proviennent des stations éloignées. De plus, à l'aide des instruments disposés judicieusement, toutes les irrégularités et perturbations du réseau entier sont immédiatement perceptibles en grandeur et en espèce ce qui, le

cas échéant, facilite énormément la suppression des dérangements.

Suivant la distance à franchir et suivant les caractéristiques de la ligne de transmission, les exigences imposées au système de télémesure sont petites ou bien élevées. Nous construisons depuis plusieurs années des installations de télémesure qui répondent aux exigences les plus élevées et qui permettent d'une manière simple la télé-indication et la télé-totalisation de toutes les valeurs de mesure courantes.

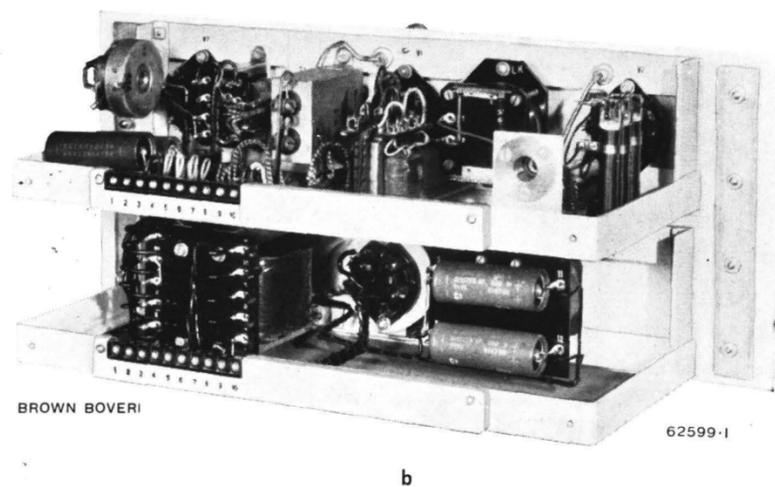
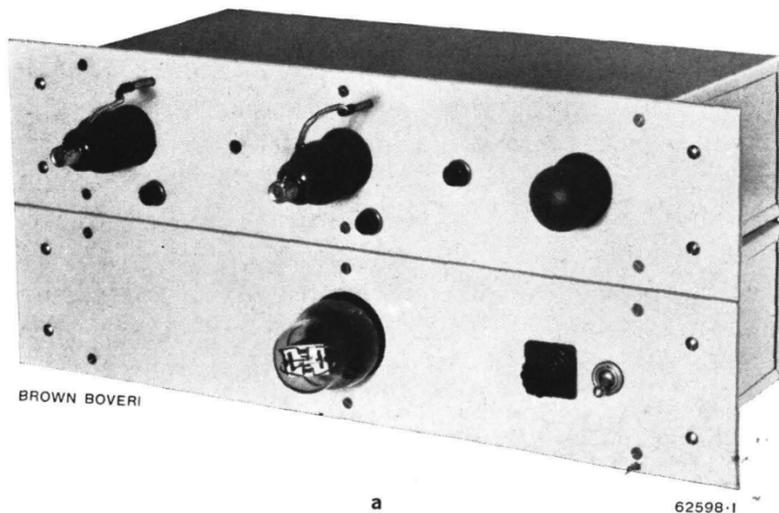


Fig. 1. — Emetteur de télémesure avec dispositif d'alimentation sur platines normalisées, assemblé pour le montage sur un bâti ou dans un cadre mural.

a = Vue de front.

b = Vue de dos avec couvercle de protection enlevé. A remarquer le montage clair des diverses parties et l'accessibilité des connexions.

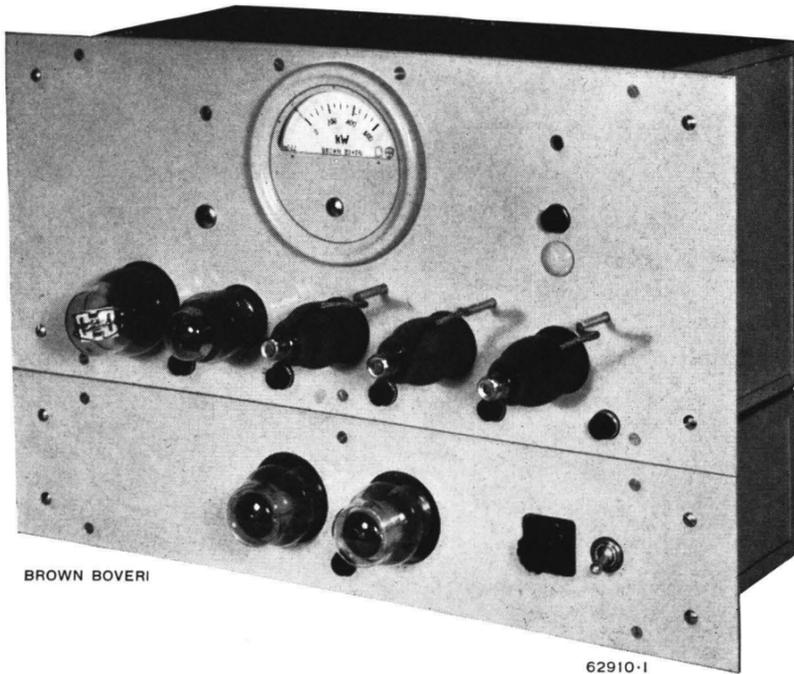


Fig. 2. — Récepteur de télémesure avec dispositif d'alimentation, assemblé sur des platines normalisées.

Vue de front montrant l'instrument primaire et les lampes avec leurs boutons de contrôle ainsi que le fusible et l'interrupteur du dispositif d'alimentation. Les instruments indicateurs et enregistreurs raccordés au récepteur peuvent être choisis de grandeur et forme quelconque et le cas échéant, installés à quelques centaines de mètres du récepteur.

Il est ainsi possible de transmettre non seulement les grandeurs nécessaires aux centrales électriques, telles que: puissance wattée ou déwattée, tension, courant,  $\cos\varphi$ , fréquence, etc., mais aussi des grandeurs importantes pour les usines à gaz et les centrales hydrauliques, telles que la position des vannes, des clapets ou des écluses, les niveaux ou températures des liquides, les pressions ou températures des gaz; bref, toutes les valeurs d'états qui, à l'endroit de la mesure, se laissent transformer en une déviation angulaire dans l'instrument émetteur.

Nos appareils de télémesure, travaillant d'après le système à variation de fréquence, engendrent du côté émetteur une fréquence audible qui varie avec la valeur de la mesure, de sorte qu'il existe une fréquence déterminée pour chaque valeur et une bande de fréquence pour chaque étendue de mesure. Du côté de la réception, le récepteur amplifie la fréquence audible recueillie et la transforme ensuite en un courant continu dont la grandeur est fonction de la fréquence. Les instruments indicateurs et enregistreurs raccordés au récepteur sont des milli-ampèremètres normaux, étalonnés d'après la grandeur mesurée par l'instrument émetteur.

La transmission des valeurs est tellement rapide et l'exactitude, ainsi que le moment de torsion disponible au récepteur sont tellement grands, que des installations de réglage peuvent sans autre être raccordées. Cela permet par exemple de régler automatiquement des turbines en fonction d'une mesure de puissance effectuée en un endroit de transmission éloigné.

La totalisation de plusieurs valeurs transmises à distance se réalise très simplement; dans ce cas, des appareils intermédiaires supplémentaires ne sont pas requis, ceci à l'encontre d'autres systèmes de télémesure. De plus, il est possible de raccorder simul-

tanément à chaque émetteur plusieurs instruments indicateurs ou enregistreurs.

Des lignes séparées ne sont en général pas nécessaires car des canaux de transmission superposés à des lignes téléphoniques existantes ou à des circuits de signalisation suffisent, sans qu'il se produise des influences réciproques défavorables.

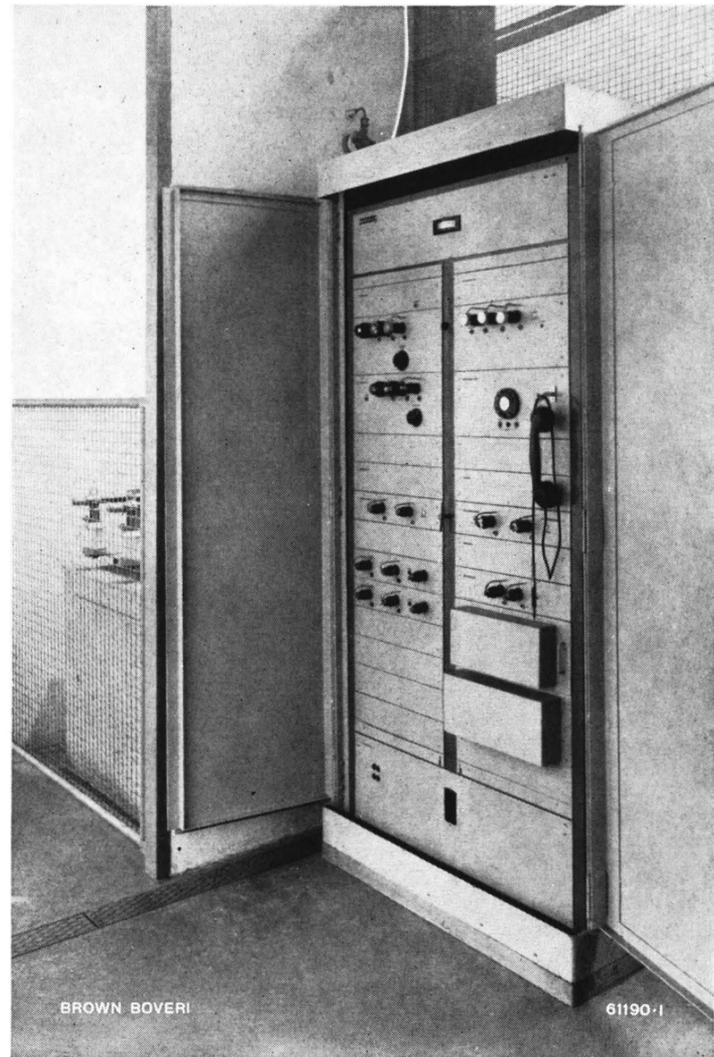


Fig. 3. — Equipement de téléphonie par courants porteurs sur lignes à haute tension, avec transmission simultanée de télémesures.

En dehors de l'appareillage pour l'émission et la réception de la téléphonie, l'armoire contient les émetteurs de télémesure pour la transmission permanente de deux mesures ainsi qu'un automat de téléphonie pour le raccordement de dix abonnés.

Les lignes aériennes à haute tension sont de plus en plus utilisées comme canaux pour la télémesure lorsqu'il s'agit de franchir de grandes distances. Dans ce cas l'installation d'appareils supplémentaires, comme ceux à haute fréquence, ainsi que l'accouplement à la ligne à haute tension, produisent des frais plus élevés, et il est opportun d'utiliser également cette liaison haute-fréquence pour la téléphonie.

Un avantage particulier de notre système consiste dans la possibilité de transmettre plusieurs valeurs de mesure parallèlement sur la même ligne, sans changer ni le principe ni le genre de la transmission. Six mesures simultanées sont ainsi transmissibles sur une ligne aérienne. Dans le cas où ces valeurs ne doivent pas être lues constamment il est possible, par l'emploi d'une installation de télécommande qui commute les canaux, d'élever à volonté le nombre des mesures à transmettre.

(MS 620)

F. Jaggi. (Klo.)

### Deux nouvelles turbines à gaz pour usines électriques sont commandées à Brown Boveri.

Indice décimal 621.438

Dans le numéro de janvier/février 1945 de la Revue Brown Boveri<sup>1)</sup>, (aperçu de l'année 1944), nous avons parlé d'une turbine à combustion de 10 000 kW qui nous a été commandée l'année dernière pour une usine électrique en Roumanie et qui est prévue pour marche au gaz naturel (fig. 1). Or, nous avons reçu tout récemment deux nouvelles commandes pour le Pérou. La première installation, de 4000 kW, sera montée dans une usine électrique où elle sera d'abord alimentée par de l'huile minérale, puis, plus tard, par du gaz de haut fourneau. Analogue et de même puissance que la turbine à gaz de Neuchâtel, elle est également prévue comme réserve; elle sera par conséquent conçue de la même manière.

La seconde commande a trait à une installation de 10 000 kW devant fonctionner en service continu avec une charge de base. La construction et la disposition de cette installation sont semblables à l'installation roumaine mentionnée ci-dessus et décrite succinctement dans la Revue Brown Boveri. Par contre, elle est munie d'un récupérateur (réchauffeur d'air) assez grand (fig. 2). Grâce à cela, les frais découlant de l'emploi d'huile de com-

burseur basse pression et que la température des gaz d'admission peut être maintenue élevée même pour les charges partielles.

Avec ces deux nouvelles machines, nous avons donc déjà obtenu la commande de quatre grandes turbines à combustion destinées à des usines électriques. En tenant compte des turbines à gaz entraînant des générateurs, que nous avons développées pour l'exécution de procédés chimiques sous pression, et dont nous et nos concessionnaires avons déjà construit ou en fabrication 39 unités, la puissance totale de telles machines s'élève aujourd'hui

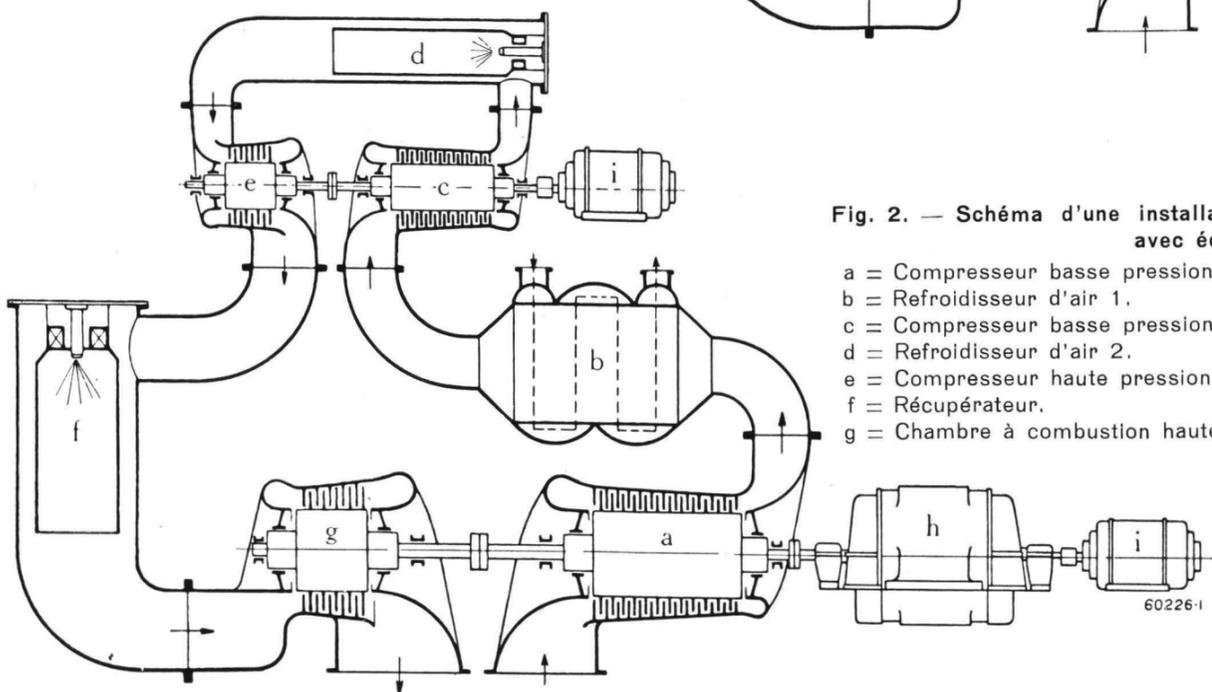


Fig. 1. — Schéma d'une installation de turbine à combustion à deux étages.

- |                                 |  |                                   |
|---------------------------------|--|-----------------------------------|
| a = Compresseur basse pression. | d = Chambre à combustion à haute pression. | g = Turbine à gaz basse pression. |
| b = Refroidisseur d'air.        | e = Turbine à gaz haute pression.          | h = Génératrice.                  |
| c = Compresseur haute pression. | f = Chambre à combustion basse pression.   | i = Moteur de lancement.          |

bustion indigène seront inférieurs à ceux nécessités pour une machine Diesel. Pour des températures des gaz de combustion de 600° C, 650° C et 700° C aussi bien avant le premier étage qu'avant le deuxième, on peut s'attendre à des rendements de 30%, 32,5% resp. 35%. Cependant, les rendements à charge partielle seront également élevés, étant donné que l'accouplement du générateur avec la turbine à haute pression permet un réglage de la quantité d'air par variation du nombre de tours du compres-

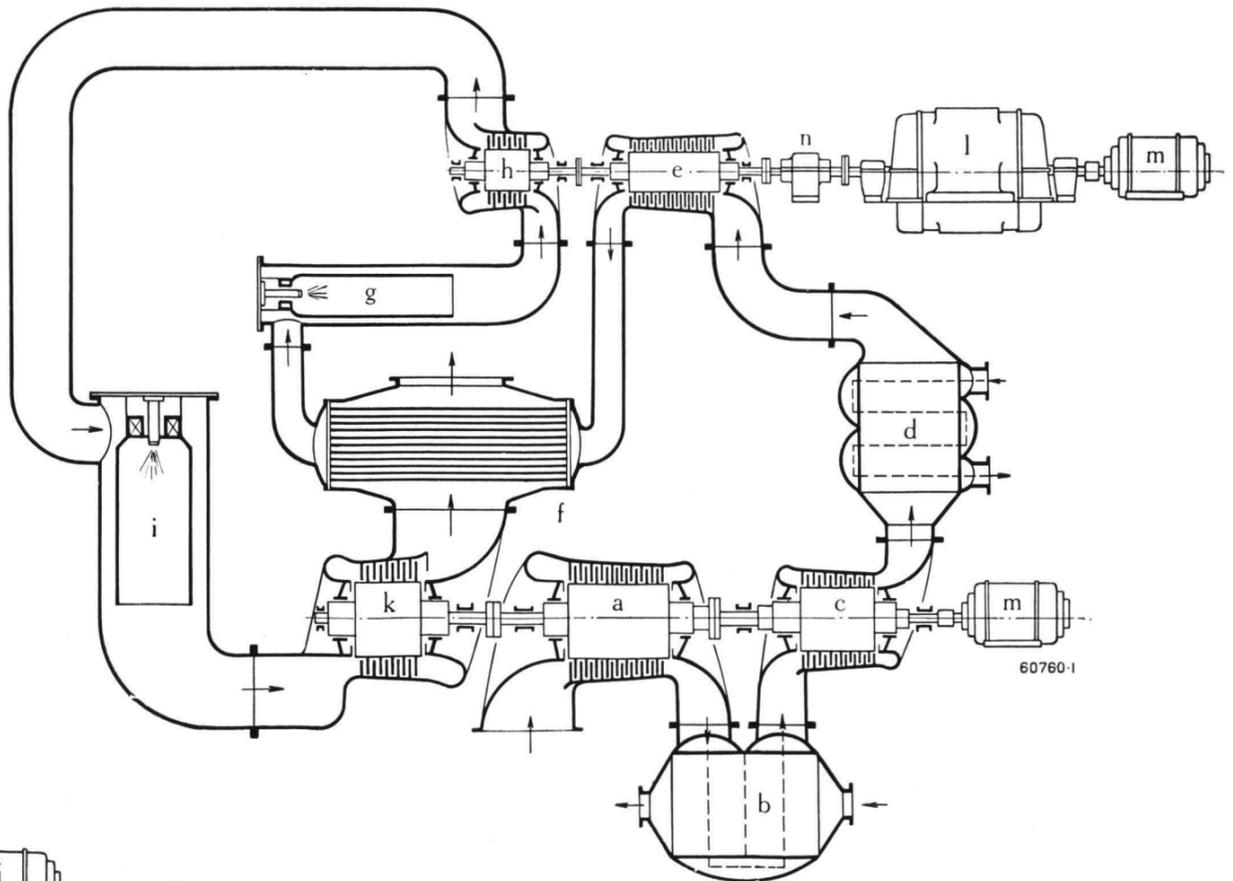


Fig. 2. — Schéma d'une installation de turbine à combustion à deux étages avec échangeur de chaleur.

- |  |  |
|--|--|
| a = Compresseur basse pression 1.        | h = Turbine à gaz haute pression.        |
| b = Refroidisseur d'air 1.               | i = Chambre à combustion basse pression. |
| c = Compresseur basse pression 2.        | k = Turbine à gaz basse pression.        |
| d = Refroidisseur d'air 2.               | l = Génératrice.                         |
| e = Compresseur haute pression.          | m = Moteur de lancement.                 |
| f = Récupérateur.                        | n = Train d'engrenages.                  |
| g = Chambre à combustion haute pression. |  |

à plus de 100 000 CV. En outre, diverses turbines à combustion (c'est-à-dire des turbines à gaz possédant leur propre chambre à combustion) ont été livrées soit par nous soit par nos concessionnaires pour d'autres usages: deux installations pour engendrer le vent de hauts fourneaux, une autre pour des buts expérimentaux et enfin, comme on le sait, une pour une locomotive des Chemins de fer Fédéraux suisses. Au point de vue construction et exploitation,

les groupes surpresseurs pour les chaudières Velox sont semblables à ces turbines à combustion. Quarante-vingts de ces groupes, avec puissances unitaires entre 150 et 8200 kW, sont en service.

Nombre de ces turbines à gaz ont déjà plus de 40 000 heures de service et se sont comportées de manière impeccable. La turbine à gaz est en route. La compétition qu'elle a engagée, aussi dans les usines électriques, contre les machines productrices d'énergie actuelles, est suivie partout avec le plus grand intérêt.

<sup>1)</sup> Revue Brown Boveri 1945, No 1/2, p. 8.

## Les avantages économiques obtenus en utilisant les installations de chauffage pour produire aussi du courant électrique.

Indice décimal 621.311.22

Les figures ci-dessous représentent les schémas de comparaison, exposés à la foire de Bâle de 1945, des trois types d'usines électriques qui entrent en ligne de compte pour alimenter en énergie les installations industrielles.

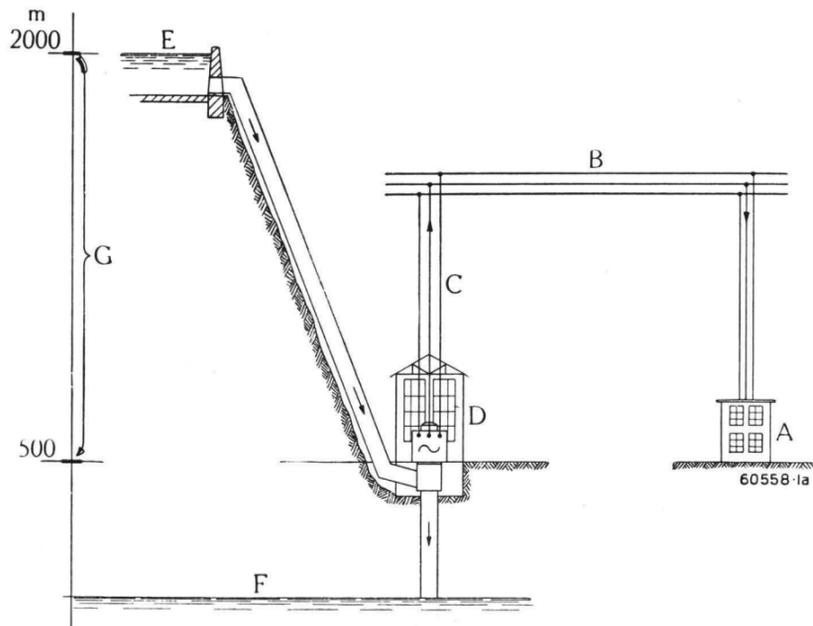


Fig. A. — Production de courant électrique dans une usine hydro-électrique.

La chute d'eau est par exemple de 2000 à 500 m, au-dessus du niveau de la mer, et produit du courant dans l'usine hydro-électrique D. L'installation industrielle A est alimentée par ce courant.

perte atteint environ 55% de la chaleur introduite dans le processus au moyen du charbon. Ce genre d'usine électrique est caractéristique pour les pays pauvres en énergie hydraulique.

La figure C représente une *usine électrique et de chauffage* qui ne produit pas seulement du *courant électrique* comme les deux installations susmentionnées, mais aussi de la *chaleur de chauffage*. La vapeur n'est pas uniquement utilisée pour transporter des calories de la chaudière dans les appareils de chauffage, mais premièrement pour produire du courant électrique en entraînant l'alternateur après ce travail que cette même vapeur sert pour le chauffage. Les dépenses en combustible pour la fourniture d'électricité dans une *usine électrique et de chauffage* ne représentent qu'un tiers de celles résultant d'une même fourniture faite par une usine purement électrique, sans production de vapeur destinée au chauffage. Les dépenses de premier établissement pour compléter une usine de chauffage par une installation productrice d'énergie électrique sont assez faibles et ce n'est que pour ces dépenses supplémentaires, qui sont nécessaires à compléter une usine de chauffage pour en faire une *usine électrique et de chauffage*, qu'il faut prévoir des intérêts et des amortissements.

Les usines hydro-électriques existant aujourd'hui en Suisse et les autres sources nationales d'énergie ne couvrent qu'environ 30% des besoins d'énergie calorifique du pays. Par suite il faut en importer 70% sous forme de charbon. Les *usines électriques et de chauffage* permettent d'utiliser ce charbon avec le meilleur rendement, en ayant un plan de coordination avec les usines hydro-électriques. Dans les installations où il est nécessaire d'avoir de grandes quantités de vapeur de chauffage on devrait absolument lui faire produire d'abord du courant électrique.

(MS 621)

G. Broggi. (C. C.)

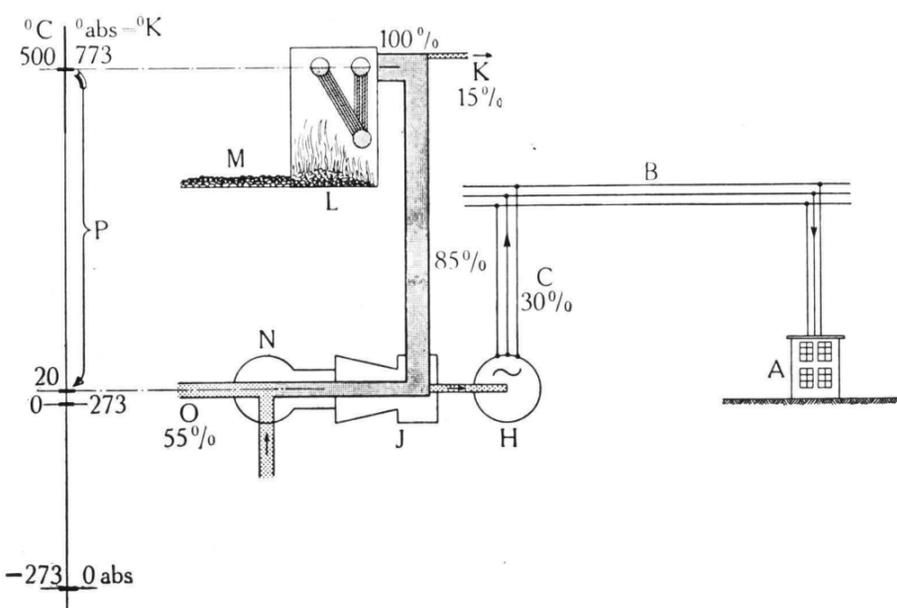


Fig. B. — Production de courant électrique dans une usine à vapeur avec condenseur.

La chaleur à 500°C est produite au moyen de la vapeur de la chaudière L. Pendant que cette chaleur baisse à la température de l'eau de refroidissement à 20°C (chute de température P), environ 30% de cette chaleur est transformée en courant électrique amené dans l'installation industrielle A.

55% de la chaleur sont perdus dans l'eau de refroidissement et le reste soit 15% principalement dans les gaz d'échappement.

La figure A montre une *usine hydro-électrique*, qui ne produit que du courant électrique. Elle est caractéristique pour les pays riches en énergie hydraulique.

La figure B indique une *usine électrique à vapeur* qui, elle aussi, ne produit que du courant électrique. Dans ce cas on emploie le plus souvent des turbines à vapeur dites à condensation, dans lesquelles la chute de chaleur est utilisée jusqu'à la pression du condenseur (vide). Ces installations ont le désavantage d'avoir une perte thermique importante et inévitable dans le condenseur; cette

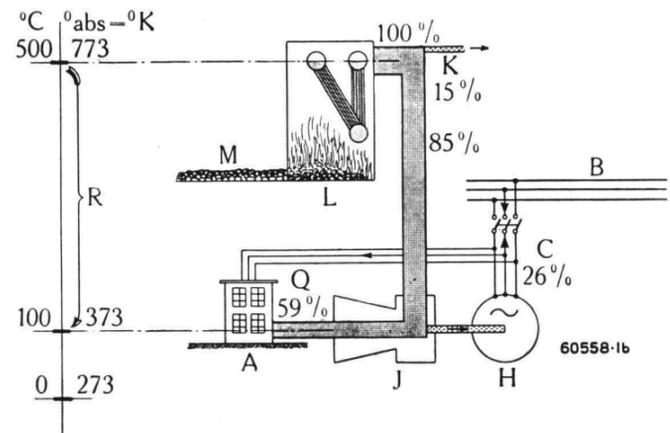


Fig. C. — Production de courant électrique dans une usine de chauffage en utilisant la perte de chaleur.

L'installation industrielle A a besoin de courant électrique et de chaleur, par exemple à 100°C. La chute de température diminue quelque peu par rapport à celle de la figure B. Dans l'installation industrielle on emploie utilement 59% (chauffage) et 26% (courant électrique) de la chaleur contenue dans le combustible. Il reste seulement 15% de perte dans les gaz d'échappement.

- A = Installation industrielle.
- B/C = Transport du courant électrique.
- D = Usine hydro-électrique.
- E = Niveau supérieur de l'eau.
- F = Niveau de la mer.
- G = Chute d'eau utile.
- H = Alternateur.
- J = Turbine à vapeur.
- K = Perte thermique dans les gaz d'échappement.
- L = Chaudière à vapeur.
- M = Alimentation en combustible.
- N = Condenseur.
- O = Perte thermique dans l'eau de refroidissement.
- P = Chute de température dans la turbine à condensation.
- Q = Flux de chaleur vers l'installation industrielle.
- R = Chute de température dans la turbine à contre-pression.



Montage d'un disjoncteur pneumatique ultra-rapide.

Le monteur prépare la phase médiane pour placer le relais de protection.

### EST-CE UN HASARD?

*La génératrice, déjà âgée, marchait à pleine charge. Ses 5000 kW sont amenés à la vallée par une ligne à haute tension courant le long du torrent; une deuxième ligne grimpe au hameau perché sur la montagne. Un violent orage éclate; la machine s'arrête subitement, déclenchée par le relais différentiel. On trouve à l'intérieur les traces d'un court-circuit entre un des trois conducteurs de phase et la connexion du neutre, toute proche. La protection différentielle a évité à la machine une grave avarie; après quelques heures d'interruption le service normal peut reprendre. Ce seul*

*fonctionnement paye entièrement les frais d'installation de la protection.*

*Il est manifestement survenu une surtension atmosphérique. Mais qu'ont donc fait les six parafoudres à résorbite installés à l'arrivée des deux lignes? On enquête; un des parafoudres manquait; il avait été enlevé pour remplacement d'un anneau de porcelaine brisé, et précisément dans la phase accidentée. Est-ce un hasard si seule cette phase a amorcé quoique les deux autres aient eu la même distance et la même isolation par rapport à la connexion du neutre?*

(MS 597)

J. Stöcklin. (MD.)

