

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 35 (1944)
Heft: 7

Artikel: Un nouveau dispositif de mise en parallèle automatique : le synchronisateur ultrarapide
Autor: Gantenbein, A. / Jäckle, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056950>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

und feuchtigkeitsdicht sind, und einer Gleichstrom-Prüfspannung von 7 kV während 1 min genügen³⁾. Andererseits ist anzunehmen, dass das Filter die Fahrzeuginstallation gegenüber Wanderwellen schützen kann.

Die mit dem beschriebenen Filter erzielten Ergebnisse sind aus Fig. 14 und 15 ersichtlich; sein Gesamtgewicht beträgt ca. 20 kg. Würde unter ungünstigen Umständen, z. B. in den eigentlichen Gebirgszonen, ein noch weitergehender Schutz er-

³⁾ Vgl. auch: British Standard Specification for radio-interference suppression for trolley-buses and tramways. Nr. 827, 1939.

wünscht, so ist es dann zweckmässig, die Schutzwirkung auf einen bestimmten Sender zu konzentrieren. Hierzu wird die Doppeldrosselspule durch zwei einzelne Luftdrosselspulen ersetzt, die mitsamt dem Stromabnehmerpaar längs und quer auf den bevorzugten Sender abgestimmt werden. Zudem bestehen nach wie vor und ganz allgemein die bekannten empfangsseitigen Schutzmöglichkeiten.

Zum Schluss möchten die Verfasser noch besonders der *Trolleybusbetriebe in Bern, Winterthur und Zürich* gedenken, deren zuvorkommende Mitarbeit an den vorliegenden Ergebnissen wesentlich beteiligt ist.

Un nouveau dispositif de mise en parallèle automatique: Le synchronisateur ultrarapide

Par A. Gantenbein et J. Jäckle, Zurich-Oerlikon

621.316.729

Les auteurs étudient d'abord les conditions qu'impliquent la synchronisation et la mise en parallèle rapides de deux réseaux, et concluent qu'il est possible d'effectuer le couplage avec une différence de fréquence relativement grande, à condition que l'ordre d'enclenchement soit donné avec une avance et une précision telles, que la fermeture du disjoncteur s'effectue exactement dans le très court instant de la concordance des phases. Les auteurs décrivent ensuite le nouvel appareil automatique qu'ils ont créé, et dont la simplicité et les possibilités d'adaptation aux exigences de l'exploitation sont remarquables. Les oscillogrammes relevés dans des conditions les plus variables témoignent de l'extrême précision de ce dispositif.

Die Autoren untersuchen, welchen Bedingungen ein rasches Parallelschalten von zwei Netzen unterworfen ist, und zeigen, dass es gelingt, mit einer relativ grossen Frequenzdifferenz zu schalten. Dies ist nur möglich, wenn der Einschaltbefehl früh genug und mit einer solchen Präzision gegeben wird, dass die Schaltung innert der sehr kurzen Zeit der Phasenübereinstimmung erfolgt. Es wird dann die von den Autoren neu entwickelte automatische Parallelschalteneinrichtung beschrieben, die durch Einfachheit und weitgehende Anpassung an die Forderungen des Betriebes gekennzeichnet ist. Oszillogramme, die bei verschiedenen Betriebsbedingungen aufgenommen wurden, zeugen von der ausserordentlichen Genauigkeit dieser Apparatur.

I. Généralités

Le souci primordial de chaque chef d'exploitation est d'éviter autant que possible les perturbations et fausses manœuvres dans les réseaux et les installations. De ce fait, il est conduit à verrouiller, à surveiller ou à rendre automatiques les opérations de couplage présentant un danger particulier en cas de fausse manœuvre, de façon à supprimer la possibilité de telles fautes. La mise en parallèle est justement une opération qui, si elle est mal exécutée, peut avoir les plus graves conséquences, en soumettant les installations, disjoncteurs, génératrices, à des sollicitations encore beaucoup plus grandes que lors d'un court-circuit direct.

Si l'on fait un tour d'horizon dans les usines et centrales électriques, on constate que la plupart des mises en parallèle sont exécutées à la main par le personnel de service. En général prévaut l'avis que le surveillant exercé exécute la mise en parallèle mieux et plus vite qu'un dispositif automatique, ce dernier en cas d'urgence ne parvenant pas à exécuter le couplage dans le temps nécessaire. On doit donc en déduire que les anciens dispositifs de mise en parallèle comportent une faute de principe, faute que l'homme de service parvient à éviter lorsqu'il effectue le couplage à la main. Il est bien connu que pour obtenir la fermeture des contacts du disjoncteur à l'instant précis de la concordance des phases, l'ordre d'enclenchement doit être donné avec un temps d'avance égal au temps nécessaire à la fermeture du disjoncteur. A ce temps d'avance

correspond, suivant la différence de fréquence, un angle de déphasage plus ou moins grand entre les tensions des deux réseaux. Or l'homme préposé aux couplages sait, de par sa pratique, adapter l'angle d'avance suivant la vitesse de rotation du synchronoscope, et parvient ainsi à effectuer avec succès des mises en parallèle surpassant souvent en rapidité les dispositifs automatiques utilisés jusqu'à ce jour. Or le nouvel appareil que nous avons créé est justement caractérisé en ce qu'il ajuste automatiquement et avec une précision absolue, cet angle en fonction de la différence de fréquence et du temps propre du disjoncteur, au moyen d'un dispositif simple et robuste, de façon que l'ordre d'enclenchement soit donné à un instant tel que la fermeture des contacts du disjoncteur ait lieu à l'instant précis de la concordance des phases. Il devient ainsi possible d'effectuer des mises en parallèle avec des différences de fréquence telles, que même le chef de service le plus expérimenté les considère comme impossibles. Pour la mise en parallèle de machines, le couplage devient encore admissible avec une différence de fréquence pouvant atteindre 2 %, ce qui correspond à une durée de battement de 1 seconde. On peut le mieux se faire une idée de la grandeur d'une différence de fréquence de 2 % quand on pense que l'aiguille du synchronoscope effectue alors un tour par seconde. C'est surtout dans des cas de perturbation, lorsqu'une perte de temps doit être à tout prix évitée, que le nouveau dispositif automatique atteint sa pleine valeur.

Son emploi est tout particulièrement important dans les *sous-stations* où il n'est pas possible d'agir sur les machines des réseaux à coupler.

Pour que la mise en parallèle de deux réseaux, ou d'un alternateur et d'un réseau soit possible, les trois conditions suivantes doivent être satisfaites:

1° Concordance des phases

A l'instant de la fermeture des contacts du disjoncteur, les vecteurs de tension des réseaux à coupler doivent coïncider.

2° Egalité de fréquence

La différence de fréquence des deux réseaux à coupler ne doit pas dépasser une certaine valeur, de façon que l'ap-coup de puissance nécessaire à l'accélération des parties tournantes des machines ne dépasse pas la limite admissible.

3° Egalité de tensions

Les tensions des réseaux à coupler doivent être sensiblement égales, sinon il s'ensuivrait des courants déwattés exagérés.

Examinons maintenant de plus près et à tour de rôle ces trois conditions. Pour simplifier l'étude de chacune d'elles, nous admettrons que les deux autres sont idéalement remplies, et qu'il s'agit de la mise en parallèle d'un alternateur avec un réseau relativement très fort.

1° Concordance des phases

Si la fréquence et la tension sont respectivement égales de chaque côté du disjoncteur, $U_1 = U_2$, mais

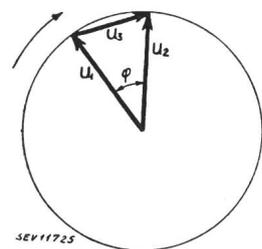


Fig. 1. Vecteurs de tension des deux réseaux à connecter et angle de déphasage φ

que les phases ne concordent pas exactement, c'est-à-dire qu'elles sont décalées d'un angle φ , il se produit entre les phases correspondantes des deux réseaux une différence de potentiel U_3 , ou tension de battement (fig.1) dont la valeur est $U_3 = 2 \cdot U_1 \sin \frac{\varphi}{2}$.

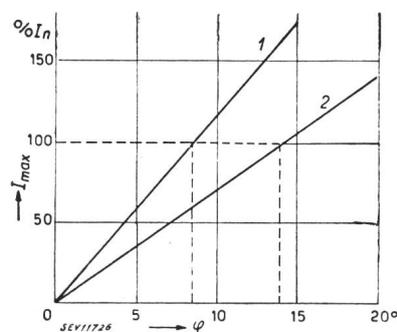


Fig. 2. Courant d'échange maximum I_{max} en % de I_n en fonction de l'angle de déphasage φ
1 Turbogénérateurs
2 Alternateurs normaux

Lors de la fermeture du disjoncteur, cette tension produit un courant d'échange dont la valeur est pratiquement directement proportionnelle à l'angle φ . Ce courant atteint sa valeur maximum à l'instant du couplage et décroît ensuite très ra-

pidement en même temps que l'angle φ , la machine corrigeant rapidement sa position. La fig. 2 donne les valeurs maximum de ce courant exprimées en % du courant nominal, pour les turbogénérateurs ainsi que pour les alternateurs normaux. On voit, pour que ce courant ne dépasse pas la valeur du courant nominal, que l'angle de déphasage φ ose au maximum atteindre 7 à 14° suivant le genre de machine. On doit donc exiger d'un bon dispositif de mise en parallèle que l'erreur de phase ne dépasse pas ces valeurs.

2° Egalité de fréquence

Si à l'instant de la fermeture du disjoncteur les tensions et les phases sont respectivement égales et concordantes, mais que les fréquences sont différentes, il s'établit un courant d'échange provoqué

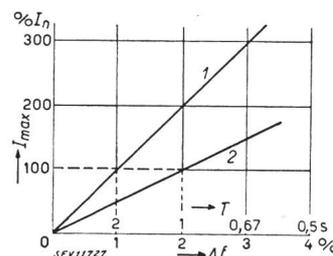


Fig. 3. Courant d'échange maximum I_{max} en % de I_n en fonction de la durée de battement T ou de la différence des fréquences Δf
1 Petits turbogénérateurs
2 Alternateurs normaux

par l'accélération ou le freinage des masses en mouvement. Au premier instant de la mise en parallèle, ce courant est d'abord nul, puis croît proportionnellement à l'angle de déphasage entre génératrice et réseau jusqu'à une valeur maximum qui est atteinte lorsque les masses en mouvement ont pris la vitesse synchrone du réseau. La durée de ce processus est d'environ 0,15 à 0,3 s. La fig. 3 donne, calculées pour différents genres de génératrices, les valeurs maximum de ce courant, exprimées en % du courant nominal.

En plus du courant cité plus haut, apparaît encore un courant magnétisant; il est relativement très petit et par conséquent pratiquement négligeable.

Les différences de fréquence maximum, avec lesquelles une mise en parallèle peut encore être exécutée avec succès, atteignent environ 1 à 2 %, et sont par conséquent bien plus élevées que celles admises jusqu'à ce jour. La possibilité d'effectuer des mises en parallèle avec des différences de fréquence relativement grandes est particulièrement importante lorsqu'il s'agit de coupler deux réseaux dans une sous-station, où ne se trouve aucune machine, et où par conséquent n'existe pas la possibilité d'agir sur les fréquences. Lorsque par exemple un réseau fonctionne à 50 périodes/s et l'autre à 49,5 ou 50,5, la mise en parallèle peut être entreprise. Lors de perturbations, quand des machines doivent être très rapidement mises en parallèle sur le réseau, ou lorsqu'il s'agit de machines qui à cause de leur instabilité de vitesse à vide (groupes entraînés par moteur à combustion) étaient difficiles à synchroniser, la tolérance de grandes différences de fréquence lors du couplage est particulièrement avantageuse.

3° Egalité de tension

Si les fréquences et les phases sont respectivement égales et concordantes, mais que les tensions sont inégales, il s'établit, lors de la mise en parallèle, un échange de courants exclusivement déwattés. La fig. 4 donne, pour différents genres de machines, les valeurs maxima de ce courant exprimées en

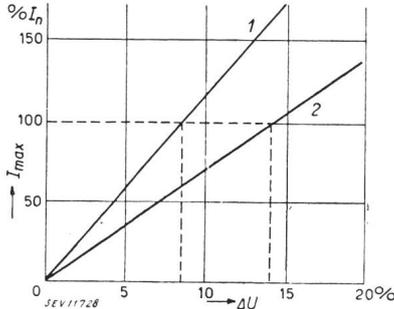


Fig. 4
Courant d'échange maximum I_{max} en % de I_n en fonction de la différence de tension ΔU
1 Turbogénérateurs
2 Alternateurs normaux

% du courant nominal. On voit que pour un courant de l'ordre de grandeur du courant nominal de la génératrice, une différence de tension de 10 % est encore admissible.

Si la mise en parallèle est effectuée avec simultanément un écart dans la concordance des phases, une différence de fréquence et une différence de tension, il s'ensuit que les courants d'échange, causés par chacune de ces trois fautes, s'additionnent géométriquement. Le courant d'échange résultant est donc toujours plus petit que la somme arithmétique de ces trois courants. On constate aussi que des trois conditions précitées, la concordance des phases joue le rôle capital, tandis que l'égalité de tension n'est que d'importance secondaire.

Lors de la mise en parallèle de deux forts réseaux, les conditions sont moins avantageuses. Des essais dans ce sens seront effectués prochainement.

Afin que la fermeture du disjoncteur s'effectue exactement à l'instant de la concordance des phases, l'ordre d'enclenchement doit être donné au disjoncteur à un angle φ_0 avant la concordance des phases. Calculons la valeur nécessaire de cet angle pour différents temps propres de disjoncteurs et pour différentes valeurs de la différence de fréquence (fig. 1).

Si l'on désigne par

t_0 = temps propre du disjoncteur en secondes,

$\Delta f = f_1 - f_2$ = différence de fréquence en Hz,

φ_0 = l'angle d'avance en degrés,

$$T = \frac{1}{\Delta f} = \text{période de battement en s,}$$

on obtient:

$$\varphi_0 = 360 \cdot \Delta f \cdot t_0 = 360 \cdot \frac{t_0}{T}$$

Donc pour que la mise en parallèle s'effectue exactement lors de la concordance des phases, l'angle d'avance φ_0 doit varier en fonction directement proportionnelle de la différence de fréquence et du temps propre du disjoncteur.

Le tableau I donne pour une fréquence nominale de 50 périodes une vue d'ensemble de ces valeurs. La différence de fréquence Δf est exprimée en Hz, ainsi qu'en % de la valeur nominale, soit

$$\frac{\Delta f}{f}, \text{ comme aussi en durée de battement } T = \frac{1}{\Delta f}.$$

La durée, ou période de battement T , est le temps que met l'aiguillage du synchronoscope pour faire un tour complet, ou bien avec les lampes de phase beaucoup employées autrefois, T est le temps qui s'écoule entre l'extinction, l'allumage et une nouvelle extinction des lampes.

Angle φ_0 pour différentes valeurs du temps propre du disjoncteur t_0 en fonction de la différence de fréquence

Tableau I

Temps propre du disjoncteur t_0 s	$\Delta f = 1,0$ Hz $\frac{\Delta f}{f} = 2\%$ $T = 1$ s	$\Delta f = 0,5$ Hz $\frac{\Delta f}{f} = 1\%$ $T = 2$ s	$\Delta f = 0,25$ Hz $\frac{\Delta f}{f} = 0,5\%$ $T = 4$ s	$\Delta f = 0,125$ Hz $\frac{\Delta f}{f} = 0,25\%$ $T = 8$ s	$\Delta f = 0,0625$ Hz $\frac{\Delta f}{f} = 0,1\%$ $T = 20$ s	$\Delta f = 0,03125$ Hz $\frac{\Delta f}{f} = 0,0625\%$ $T = 40$ s
0,10	36°	18°	9,0°	4,5°	1,8°	0,9°
0,15	54°	27°	13,5°	6,7°	2,7°	1,3°
0,20	72°	36°	18,0°	9,0°	3,6°	1,8°
0,30	108°	54°	27,0°	13,5°	5,4°	2,7°
0,40	144°	72°	36,0°	18,0°	7,2°	3,6°
0,50	180°	90°	45,0°	22,5°	9,0°	4,5°
0,60	216°	108°	54,0°	27,0°	10,8°	5,4°

En examinant le tableau I, on comprend immédiatement qu'avec les dispositifs usuels, qui ne tiennent pas compte de la valeur exacte du temps propre du disjoncteur, ni de la différence de fréquence régnante, seules de très petites différences de fréquence sont admissibles pour obtenir une mise en parallèle relativement bonne avec une faute ne dépassant pas 10° de déphasage. C'est de là que provient la juste critique du personnel d'exploitation, contre le temps exagéré employé par ces appareils pour réaliser la mise en parallèle. Si malgré tout, on voulait admettre des mises en parallèle avec de plus grandes différences de fréquence, il fallait se résoudre à accepter éventuellement, suivant la différence de fréquence régnante, de mauvaises mises en parallèle. Même en admettant que l'appareil de mise en parallèle ait pu tenir compte du temps propre du disjoncteur, surtout lorsque ce temps était grand, seules de très petites différences de fréquence étaient admissibles, si l'on ne voulait pas dépasser une erreur de 10°. Un dispositif de mise en parallèle satisfaisant aux conditions d'exploitation doit donc tenir compte de la différence de fréquence régnante, ainsi que du temps propre du disjoncteur, et adapter automatiquement l'angle d'avance φ_0 à ces valeurs.

On connaît déjà des solutions qui, au moyen de redresseurs, de condensateurs, de relais sensibles, de groupes comparateurs de fréquences, etc., parviennent à contrôler la différence de fréquence régnante et la position des phases. L'agencement de ces appareils est tellement compliqué et enchevêtré, que même pour l'homme du métier il est très difficile, voir même impossible de suivre le processus de synchronisation pendant le fonctionnement d'un tel dispositif.

II. Le synchronisateur ultrarapide

Notre nouvelle solution est très claire et facilement compréhensible. Elle permet de suivre facile-

ment et à chaque instant le processus de synchronisation, car par son mode de fonctionnement elle effectue en principe la même succession d'opérations que le surveillant de service lors d'une mise en parallèle à la main. Le fonctionnement de chaque organe est basé sur un principe théorique très simple, et toutes les conditions théoriques imposées sont rigoureusement satisfaites sans qu'aucune approximation n'ait dû être introduite. Il s'ensuit qu'il est par exemple possible avec ce dispositif d'effectuer une mise en parallèle exacte avec une différence de fréquence pouvant atteindre 2 %, autrement dit avec un temps de battement de 1 s, et un disjoncteur ayant un temps propre de 0,5 s. On comprendra ce que cela représente, si l'on pense que l'angle d'avance est alors de 180°, c'est-à-dire que l'ordre d'enclenchement doit déjà être donné, alors que les phases se trouvent en opposition.

Le synchronisateur ultrarapide se compose de trois organes essentiels:

- la *synchronoscope*, qui sert à indiquer la position relative des phases;
- le *dispositif de mesure de la différence de fréquence*, servant à évaluer la valeur instantanée de cette différence;
- le *dispositif d'égalisation des fréquences*, au moyen duquel l'alternateur est amené au synchronisme.

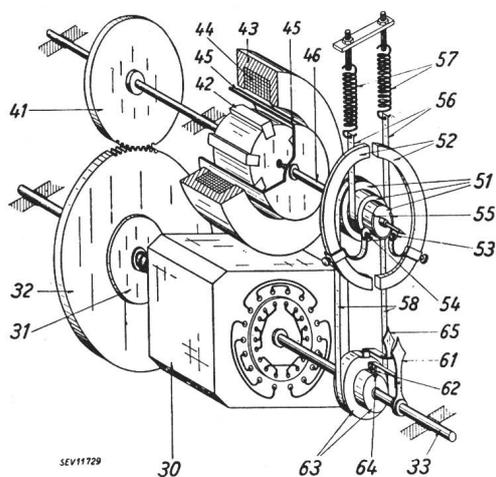


Fig. 5.

Principe de fonctionnement du synchronisateur ultrarapide

- | | |
|--|--|
| 30 Synchronoscope | 52 Supports des contacts de verrouillage |
| 31 Accouplement mécanique à glissement | 53, 54 Contacts à galets |
| 32, 41 Roues dentées | 55 Segment de contact |
| 33 Axe du synchronoscope | 56, 58 Rubans d'acier |
| 40 Accouplement électromagnétique à glissement | 57 Ressorts |
| 42 Roue polaire | 61 Aiguille indiquant la position des phases |
| 43 Stator annulaire en forme de U, en fer | 62 Galet de contact |
| 44 Bobine excitatrice | 63 Poulie |
| 45 Tambour en aluminium | 64 Contact |
| 46 Axe du tambour | 65 Aiguille indiquant la différence de fréquence |
| 51 Poulie | |

La fig. 5 permet de se rendre facilement compte de la construction et du principe de fonctionnement.

L'organe de mesure de la position relative des phases des deux réseaux est un *synchronoscope* 30, de construction analogue à celle d'un moteur bipolaire triphasé à bagues. Le stator de ce moteur

est alimenté par l'un et le rotor par l'autre des deux réseaux à coupler en parallèle. Les deux champs magnétiques cherchent à se superposer et font prendre au rotor une position bien déterminée. Lorsque les phases concordent, l'aiguille 61, fixée sur l'axe 33, est dirigée exactement vers le haut (comme pour un synchronoscope ordinaire), et lorsque les phases sont en opposition, l'aiguille est dirigée vers le bas. Le sens de rotation indique laquelle des deux fréquences est la plus grande, c'est-à-dire si la génératrice tourne trop lentement ou trop vite. La vitesse de rotation de l'axe 33 est la mesure directe de la différence de fréquence; lorsque les fréquences sont égales, l'axe du synchronoscope reste immobile.

L'organe de mesure de la différence de fréquence est un accouplement électromagnétique à glissement 40, qui a déjà fait ses preuves durant plusieurs années en qualité d'amortisseur pour régulateurs. Cet accouplement est basé sur le principe du frein à courants de Foucault. Il est composé d'un stator annulaire 43 en forme de U, en fer, qui contient une bobine excitatrice 44. Dans l'entrefer, entre le stator 43 et le rotor 42, se trouve un tambour en aluminium 45. Le rotor 42 ou roue polaire, dont le corps est en matériau non magnétique, est garni de six pôles saillants. Il est solidaire du pignon 41 qui engrenne avec la roue dentée 32 fixée sur l'axe 33 du synchronoscope. Entre l'axe 33 du synchronoscope et la roue dentée 32, se trouve un accouplement mécanique à glissement 31, pour protéger le dispositif lors de survitesse du synchronoscope. Sur l'axe 46 du tambour 45 est fixée une poulie 51, qui sert de point d'attaque, par l'intermédiaire de deux rubans d'acier très minces 56, à deux ressorts 57. Le fonctionnement est le suivant:

Lorsqu'on alimente la bobine excitatrice 44 avec du courant continu, l'anneau statorique en U se comporte comme un aimant dont le flux se ferme à travers chacun des épanouissements polaires du rotor, après avoir traversé le tambour 45. Si maintenant le synchronoscope, par l'intermédiaire des engrenages 32 et 41, fait tourner le rotor 42, le champ magnétique de chacun des épanouissements polaires tournera également. Ce champ magnétique tournant produit, par courants de Foucault dans le tambour en aluminium, un couple qui cherche à entraîner ce tambour dans le même sens de rotation que la roue polaire. Ce couple est contrebalancé par le couple antagoniste produit par les ressorts 57 et les rubans d'acier 56. La variation de ce couple antagoniste en fonction de l'angle de rotation de la poulie 51, donne une droite dont l'inclinaison dépend de la caractéristique des ressorts 57. Le couple transmis par la roue polaire au tambour d'aluminium est, pour un courant d'excitation de valeur constante donnée, également directement proportionnel à la vitesse de rotation de l'axe 33 du synchronoscope. Après que le tambour a tourné d'un angle déterminé, les deux couples, celui provoqué électriquement et celui provoqué mécaniquement, s'équilibrent. Cet angle de rotation est donc la mesure directe de la vitesse de rotation de l'axe

33, et par conséquent de la différence de fréquence. Une poulie 63, montée libre sur l'axe 33 du synchronoscope, est reliée à la poulie 51 par deux rubans d'acier 58. Sur la poulie 63 est fixée une aiguille 65 qui indique par sa position la valeur instantanée de la différence de fréquence. Lorsque celle-ci est nulle, l'aiguille 65 est dirigée exactement vers le haut; elle se déplacera vers la gauche ou vers la droite suivant que la vitesse de l'alternateur sera inférieure ou supérieure à la vitesse synchrone du réseau. Sur la poulie 63 est encore fixé un contact 64 qui, lors de la coïncidence des deux aiguilles 61 et 65, entre en contact avec le galet 62 et ferme le circuit de commande du disjoncteur. Si par exemple l'aiguille du synchronoscope tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, l'aiguille 65, qui indique la différence de fréquence, se déplacera dans le sens contraire. La coïncidence des deux aiguilles, c'est-à-dire la fermeture du contact 64, a donc lieu avec un angle d'avance proportionnel à la différence de fréquence régnante à cet instant. On reconnaîtra le grand avantage que présente le fait que l'angle d'avance est directement lisible de l'extérieur de l'appareil.

La mise en parallèle ne doit pas pouvoir s'effectuer tant que la différence de fréquence dépasse une valeur maximum admissible. A cet effet, la

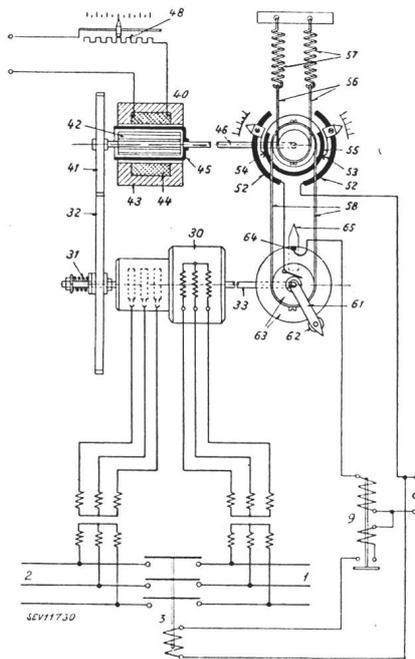


Fig. 6.

Schéma de principe du synchronisateur ultrarapide

Légende: voir Fig. 5.

poulie 51 est munie d'un segment de contact 55 qui, avec les galets 53 et 54, constitue un dispositif de verrouillage branché en série avec les contacts 62 et 64. Le schéma de principe est représenté par la fig. 6. L'ordre de fermeture du disjoncteur est donné à l'instant où tous les contacts 53/55, 55/54, 62/64 sont fermés. La disposition des contacts 53/55 et 54/55, qui sont facilement ajustables au

moyen de deux index déplaçables sur des échelles graduées, permet de régler la différence de fréquence admissible lors de la mise en parallèle à des valeurs différentes et indépendantes l'une de l'autre, pour le cas où la vitesse de rotation de l'alternateur est respectivement plus grande ou plus petite que la vitesse de synchronisme. Il est ainsi

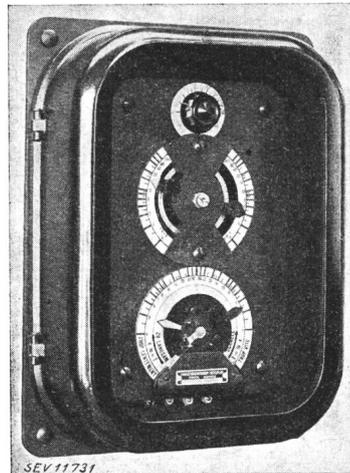


Fig. 7.

Aspect extérieur
du synchronisateur
ultrarapide

possible par exemple d'obtenir que la mise en parallèle ne s'effectue que lorsque la vitesse de l'alternateur à coupler dépasse quelque peu la vitesse de synchronisme, afin que dès l'instant de la mise en parallèle l'alternateur livre de la puissance au réseau. Malgré ces grandes possibilités d'adaptation aux nombreuses conditions d'exploitation, le schéma de principe est remarquablement simple et clair.

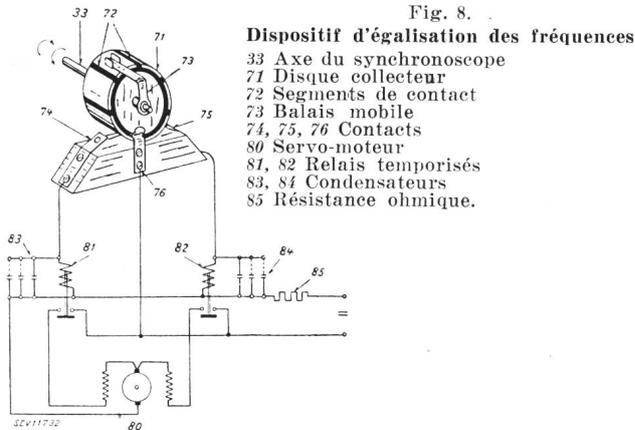
L'accouplement électromagnétique doit être alimenté par une source de courant continu de tension constante. Si une telle source n'est pas disponible, il sera fait usage d'un petit redresseur sec branché sur la tension constante de la génératrice. Le synchronisateur ultrarapide peut être très avantageusement utilisé pour le couplage de réseaux dont la tension varie dans de grandes limites; en effet, le synchronoscope est pratiquement insensible aux variations de tension, de sorte qu'il reproduit toujours fidèlement l'angle de déphasage. La tension continue, maintenue constante indépendamment des variations de tension des réseaux, sera obtenue dans ce cas par un dispositif spécial.

La puissance absorbée par le synchronoscope est d'environ 180 VA pour chacun des deux transformateurs triphasés; celle absorbée par l'accouplement électromagnétique est d'environ 40 VA. L'appareil est prévu pour être branché sur 110 V.

La fig. 7 montre l'aspect extérieur du synchronisateur ultrarapide. Sur le grand cadran supérieur, il est possible d'ajuster, au moyen de deux index, les différences de fréquence maximum avec lesquelles la mise en parallèle ose s'effectuer. Sur le cadran inférieur, deux aiguilles indiquent, l'une la position respective des vecteurs de tension, l'autre la valeur instantanée de la différence de fréquence. Tout en haut se trouve le bouton d'ajustage de l'appareil au temps propre du disjoncteur.

Dispositif d'égalisation des fréquences

Un dispositif automatique de mise en parallèle doit aussi comporter un dispositif automatique d'égalisation des fréquences, dont la tâche consiste à amener rapidement la fréquence de la machine à coupler en concordance avec celle du réseau. En



outre, ce dispositif permet de faire démarrer la machine à coupler avec le couple d'accélération le plus favorable. La construction et le branchement sont visibles sur la fig. 8.

Sur l'axe 33 du synchronoscope est fixé un disque 71 semblable à un collecteur, muni de 6 segments de contacts 72, tous reliés à un même pôle 76 de la source de courant continu. Un balais mobile 73, qui frotte sur la périphérie du disque 71, est entraîné par la rotation de celui-ci jusqu'à ce que ce balais butte sur un des deux contacts 74 ou 75, suivant le sens de rotation. Cet accessoire complet est fixé sur la partie antérieure de l'appareil de mise en parallèle, comme on le voit sur la fig. 7.

Le fonctionnement est le suivant: Si l'axe 33 du synchronoscope tourne par exemple en sens contraire de celui des aiguilles d'une montre, le balais 73 buttera sur le contact 74 et, à chaque passage d'un segment de contact 72 sous le balais 73, une impulsion de courant sera donnée au relais 81. Le relais 81, de même que le relais 82, est un relais à ouverture temporisée réglable au moyen des condensateurs 83. Lorsque les impulsions qu'il reçoit se suivent rapidement, il reste attiré en permanence, tant que l'intervalle de temps entre deux impulsions successives est plus court que la valeur de la temporisation, et le servo-moteur 80 tourne à pleine vitesse dans le sens de fermeture de la turbine. A mesure que la fréquence de la machine se rapproche de celle du réseau, le rythme des impulsions se ralentit: le relais temporisé s'ouvre entre

les impulsions et interrompt le courant du moteur pendant de très courts instants qui vont croissant, et la vitesse moyenne du moteur diminue ainsi progressivement, ce qui provoque un réglage apériodique de la machine. Si l'axe 33 du synchronoscope tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, ce

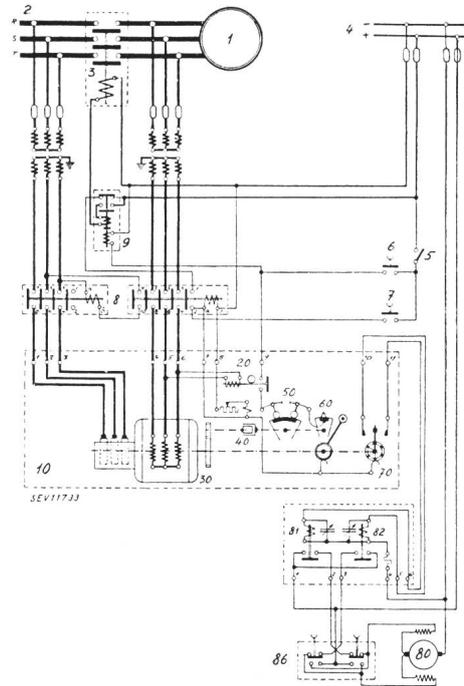


Fig. 9.

Schéma complet de l'installation de synchronisation

- 1 alternateur
- 2 réseau
- 3 disjoncteur
- 4 source auxiliaire
- 5 commutateur de synchronisation
- 6 bouton poussoir pour mise en parallèle à la main
- 7 bouton poussoir pour mise en parallèle automatique
- 8 relais d'enclenchement du synchronisateur ultrarapide
- 9 relais d'enclenchement du disjoncteur
- 10 synchronisateur ultrarapide
- 20 relais temporisé
- 30 moteur-synchronoscope
- 40 accouplement électromagnétique
- 50 ajustage de la différence de fréquence
- 60 dispositif d'envoi de l'ordre d'enclenchement
- 70 dispositif d'égalisation des fréquences
- 80 servo-moteur de la turbine
- 81, 82 relais temporisés de commande du servo-moteur
- 86 boutons poussoirs pour commande à la main du servo-moteur.

sera le relais 82 qui recevra les impulsions de courant et le servo-moteur tournera dans le sens d'ouverture de la turbine. En variant les capacités 83 et 84, il est possible d'ajuster dans une large mesure la temporisation des relais 81 et 82 pour l'adapter aux différentes machines. Il s'agit là d'une mise au point à faire une fois pour toutes, lors de la première mise en service.

Valeurs des oscillogrammes (Fig. 10...12)

Tableau II

No.	Désignation	Osc. a	Osc. b	Osc. c	Osc. d	Osc. e	Osc. f
1	Tension de battement U_3	—	—	—	—	—	—
2	Ordre d'enclenchement	—	—	—	—	—	—
3	Temps propre du disjoncteur t_0	0,5 s	0,5 s	0,1 s	0,1 s	0,1 s	0,8 s
4	Fermeture du disjoncteur	—	—	—	—	—	—
5	Courant d'échange I	$0,1 \cdot I_n$	$0,5 \cdot I_n$	$0,1 \cdot I_n$	$1,4 \cdot I_n$	$2 \cdot I_n$	$0,25 \cdot I_n$
6	Durée de battement T	13 s	2 s	20 s	0,75 s	0,48 s	3,3 s
	Différence de fréquence $\Delta f/f$	0,15 %	1,0 %	0,1 %	2,7 %	4,2 %	0,6 %

Le dispositif d'égalisation des fréquences n'est pas absolument indispensable; il est cependant très utile lorsqu'on désire une synchronisation rapide de la génératrice.

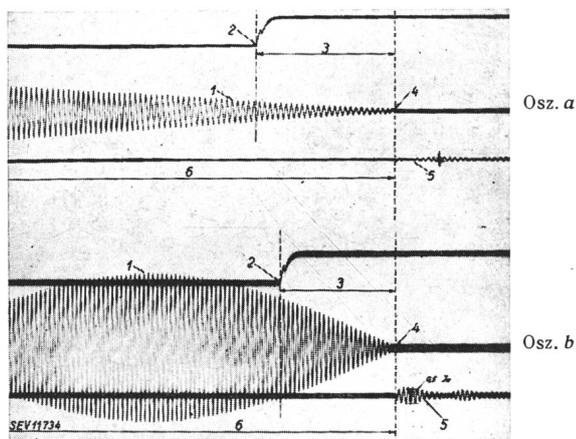


Fig. 10.
Oscillogrammes de deux couplages avec disjoncteur de 0,5 s de temps propre (Voir tableau II)

Le schéma complet de l'installation de synchronisation est donné par la fig. 9. On y voit les accessoires normaux, tels que le commutateur de synchronisation 5, la commande du servo-moteur par boutons-poussoirs 86, le relais 9 d'enclenchement du disjoncteur. En plus, on remarque le relais temporisé 20, qui a pour fonction d'empêcher l'envoi de

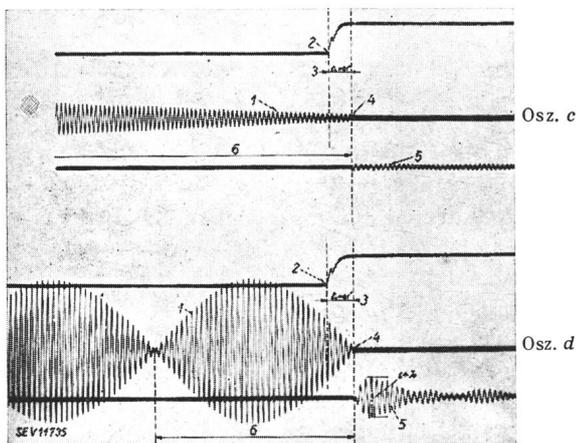


Fig. 11.
Oscillogrammes de deux couplages avec disjoncteur de 0,1 s de temps propre (Voir tableau II)

l'ordre de couplage jusqu'à ce que les organes mobiles du synchronisateur ultrarapide aient pris leur juste position. Sans cela, il pourrait arriver que par hasard, à l'instant de la mise en action du dispositif, les contacts pour l'envoi de l'ordre d'enclenchement se touchent, ce qui provoquerait un enclenchement faux. Le temps de verrouillage est d'environ 3 s.

L'exactitude avec laquelle fonctionne le synchronisateur ultrarapide est démontrée par les oscillogrammes fig. 10, 11 et 12. La fig. 10 est l'enregistre-

ment de deux couplages exécutés avec un disjoncteur de 0,5 s de temps propre, et une durée de battement de 13 s, respectivement de 2 s. Sur l'oscillogramme se trouvent enregistrés: la tension de battement, l'ordre d'enclenchement et le courant d'échange entre la génératrice et le réseau. La fig. 11 représente deux enregistrements semblables exécutés avec un disjoncteur de 0,1 s de temps propre, et une durée de battement de 20 s, respectivement 0,75 s. Les deux mises en parallèle enregistrées sur la fig. 12, avec les valeurs extrêmes, d'une part dans la différence de fréquence de 4,2 % (durée de battement de 0,48 s), d'autre part dans le temps propre du disjoncteur de 0,8 s, montrent d'une façon particulièrement frappante l'extrême précision de fonctionnement de l'appareil. Tous ces enregistrements furent exécutés sans que l'on ait apporté une correction quelconque à la mise au point du dispositif, et les oscillogrammes reproduits ci-dessus n'ont pas été spécialement choisis. On remarquera que, mal-

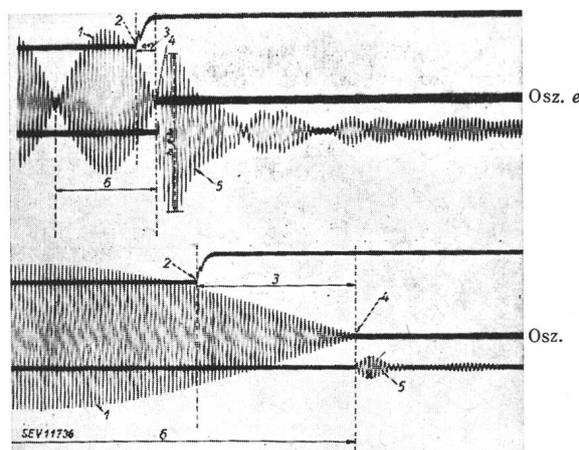


Fig. 12.
Oscillogrammes de deux couplages avec une grande différence de fréquence 4,2 % (osc. e) et un disjoncteur très lent de 0,8 s de temps propre (osc. f) (Voir tableau II)

gré la variation de la différence de fréquence dans le rapport de 1 : 40 et la variation du temps propre du disjoncteur de 1 : 8, la mise en parallèle s'effectue toujours avec la même précision.

La possibilité d'effectuer des couplages avec des différences de fréquence très élevées est particulièrement intéressante pour la mise en marche de moteurs synchrones.

Ce dispositif de mise en parallèle, nouvellement créé et mis au point par les Ateliers de Construction Oerlikon, pour lequel les demandes de brevets ont été déposées, a été soumis à des essais approfondis. Le synchronoscope fournit un couple moteur très grand, et sa rotation régulière et libre d'oscillations a confirmé les prévisions théoriques. Vu que le dispositif est constitué exclusivement d'éléments simples et robustes, dont aucune partie n'est susceptible d'usure ou de dérèglement, et que tous les contacts sont parfaitement protégés contre la poussière, la sécurité de fonctionnement est très grande. Le synchronisateur ultrarapide satisfait aux exigences d'exploitation les plus étendues.