

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 48 (1957)
Heft: 6

Rubrik: Production et distribution d'énergie : les pages de l'UCS

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

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

Production et distribution d'énergie

Les pages de l'UCS

Le monde de l'électricité est en deuil. A quelques heures d'écart, il a perdu deux de ses représentants les plus éminents, qui, l'un et l'autre, avaient consacré près de 40 ans à leur société respective et rendu d'inappreciables services à nos associations et nos institutions professionnelles, ainsi qu'aux organismes internationaux dont celles-ci font partie.



Robert-Albert SCHMIDT †

Dr ès sc. techn. h. c., ingénieur
7. 11. 1883 — 10. 2. 1957

Président de la S. A. l'Energie de
l'Ouest-Suisse (EOS)

Président de la Conférence Internationale
des Grands Réseaux Electriques (CIGRE)
Ancien président de l'Union des Centrales
Suisses d'électricité (UCS)



Henri NIESZ †

Dr ès sc. techn. h. c., ingénieur
30. 10. 1886 — 11. 2. 1957

Vice-président du Conseil d'administration
de la Motor-Columbus S. A.
d'entreprises électriques

Ancien président du comité national suisse
de la Conférence mondiale de l'énergie

ROBERT-ALBERT SCHMIDT †

Membre d'honneur de l'ASE

C'est avec une bien sincère émotion que le lecteur du Bulletin de l'ASE a appris la mort de M. Robert-Albert Schmidt, Dr h. c., ingénieur, président de la S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS), président de la Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), survenue à Lausanne le 10 février 1957.

Né à Lausanne le 7 novembre 1883, M. Schmidt y passa une heureuse jeunesse dans un foyer très accueillant, avec ses nombreux frères et sœur. Après avoir suivi les écoles de cette ville, il obtint le baccalauréat et fit ses études à l'Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne, où il reçut son diplôme d'ingénieur-électricien en 1905. Très sociable dès sa jeunesse, il fut membre assidu de la Société d'étudiants «Lémania», puis de la «Vieille Lémania», dont il fut un des présidents.

Sa carrière débute chez Brown, Boveri & Cie S. A., à Baden, où il passa 4 ans avant de s'expatrier aux Etats-Unis. En 1909, il entra au service de la Westinghouse Electric & Manufacturing Co., à Pittsburg, et eut ainsi l'occasion de se familiariser avec les méthodes de travail et la technique américaines. Sa grande facilité pour les langues et son caractère très affable lui valurent de nombreux amis aux Etats-Unis. En 1912 il rentra au pays et fut engagé par les Ateliers de Construction Oerlikon, à Zurich.

A la fondation, en 1919, de la S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse, M. Landry ne pouvait pas faire appel à une personnalité plus qualifiée que M. Schmidt pour lui confier tout d'abord le poste d'ingénieur en chef et, dès 1922, celui de directeur. C'est en cette qualité qu'il prit une large part au développement de l'EOS, dont il fut le secrétaire du conseil d'administration dès 1932, puis le président dès 1951. Il a exercé cette présidence jusqu'à sa mort.

Parmi ses nombreuses activités à l'EOS, bornons-nous à mentionner les études et la construction de l'usine de Chandoline-Dixence, travaillant, dès 1934, sous la plus haute chute du monde — réalisation remarquable par son audace et à l'avant-garde dans le domaine du réglage fréquence-puissance. Rappelons encore la création du réseau homogène à 130 kV de la Suisse occidentale, reliant les centres de production en Valais à ceux de consommation de Suisse romande, et les interconnexions avec les grands réseaux de Suisse alémanique, de France et d'Italie.

Conscient de la progression prodigieuse des consommations d'électricité et du rôle toujours plus important de l'énergie d'origine hydraulique dans notre économie nationale, M. Schmidt s'est très vivement intéressé à l'idée lancée par le Service fédéral des Eaux de créer la Grande Dixence. Il en activa les études avec son collègue de la direction M. Loréan; il prit une part très grande à la fondation de la Grande Dixence S. A. en 1950, et ses avis au comité de direction et conseil d'administration de cette société furent très écoutés. Il suivit également de très près les autres réalisations hydroélectriques auxquelles l'EOS s'est intéressée, et fit

partie des conseils d'administration de la Salanfe S. A., de l'Energie Electrique du Simplon S. A. et de l'Electricité de la Lienne S. A.

Dans le même esprit, il se préoccupa tout particulièrement des possibilités d'interconnexion sur le plan international, ainsi que du développement et du choix de la tension du super-réseau suisse à très haute tension. Réalisant que l'écart entre 150 kV et 220 kV était trop faible, il fit procéder à de nombreuses études démontrant que la tension la plus adéquate pour les conditions suisses est de 300 kV, tension adoptée il y a une vingtaine d'années déjà aux Etats-Unis.

Une telle activité et une telle compétence ne pouvaient manquer de faire souhaiter le concours de M. Schmidt aux travaux des commissions fédérales et des grandes associations professionnelles, tant nationales qu'internationales. C'est ainsi qu'il fut membre de la Commission fédérale des installations électriques, de la Commission fédérale pour l'exportation de l'énergie électrique et de la Délégation consultative de l'office fédéral de l'économie électrique.

En 1931, l'Union des Centrales Suisses d'Électricité (UCS) lui confia la présidence, puis le pria instamment de l'assumer encore durant toute la seconde guerre mondiale. Il se consacra à cette lourde tâche pendant 15 ans avec toute la distinction et la cordialité qui le caractérisaient. De 1932 à 1934, il fut président de l'Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Énergie électrique (UNIPEDE) et, en cette qualité, organisa et présida le Congrès de Suisse de 1934.

En 1945 il fut nommé membre d'honneur de l'Association Suisse des Électriciens, dans le cadre de laquelle il avait collaboré activement aux travaux des comités et commissions techniques, en particulier du Comité Electrotechnique Suisse. A l'occasion du cinquantenaire de l'Institut Polytechnique de Grenoble, en 1950, celui-ci lui conféra le titre de docteur honoris causa.

Il a été vice-président de l'Union des exportateurs d'énergie électrique, membre du comité de direction de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux, membre individuel du Comité national suisse de la Conférence mondiale de l'énergie; il collaborait étroitement avec l'Union suisse des consommateurs d'énergie. Il participa à la création de l'Office de l'électricité de la Suisse romande, dont il fut le président éminent pendant 10 ans. Il présida en outre la Caisse de compensation des centrales suisses d'électricité, et fut aussi président-fondateur de la Caisse d'allocations familiales de centrales suisses d'électricité. Il a été l'un des promoteurs de la Société pour le développement des recherches scientifiques de l'Ecole Polytechnique Fédérale, dont il a été membre du comité de direction; il fit partie du conseil de la Fondation nationale pour le développement de l'économie suisse.

Les nombreuses fonctions auxquelles il fut appelé, et qu'il n'est pas possible d'énumérer toutes, sont la preuve de l'estime dont il jouissait dans toute la Suisse.

Mais c'est à la Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE), créée en 1921 sous le patronage de la Commission électrotechnique internationale, que M. Schmidt joua un rôle prépondérant. En 1950, il fut élu à l'unanimité président de cet important organisme, qui est devenu l'organe de travail des électriciens du monde entier. Succédant à deux personnalités parmi les plus éminentes du monde français de l'électricité, MM. Ernest Mercier et Ulrich, et connaissant à fond les rouages et l'esprit de la CIGRE, M. Schmidt s'acquitta de cette tâche ardue avec beaucoup de

savoir-faire, d'élégance et d'efficacité. Son majestueux discours d'ouverture de la dernière session, en juin 1956 à Paris, fut aussi remarqué que ceux de ses prédécesseurs; il fut à la fois l'apogée de sa belle carrière et son chant du cygne. Le grand succès qu'il remporta fit honneur à notre pays.

Sa vive intelligence, sa haute compétence professionnelle, sa parfaite courtoisie et sa grande modestie ont fait de lui un ingénieur qui s'est acquis l'estime et la sympathie de toute la profession; il a rendu à notre pays d'inestimables services.

E. H. Etienne

HENRI NIESZ †

Membre d'honneur de l'ASE

Henri Niesz, Dr sc. techn. h. c., s'est éteint le 11 février dans sa demeure d'Ennetbaden après une longue maladie qu'il avait vaillamment supportée. Le défunt était né le 30 octobre 1886 à Genève, où il fréquenta l'école primaire et le collège secondaire. Il se décida pour la carrière d'ingénieur-électricien et obtint son diplôme en 1911, à Munich. Il s'occupa ensuite durant quelques années du calcul et de la construction de centrales hydrauliques et thermiques, ainsi que de lignes à haute et basse tension; ces travaux furent réalisés en Bavière, en Autriche et dans le territoire actuel de la Tchécoslovaquie. A l'âge de trente ans, le 15 mars 1916, Henri Niesz entra au service de la Motor-Columbus S. A., à Baden, pour s'occuper du domaine énergétique, alors en plein développement. Il fut nommé vice-directeur en 1927, directeur en 1930 et président de la direction en 1951. Lorsqu'il se retira en 1954, il fut élu membre et vice-président du conseil d'administration.

Henri Niesz s'est occupé surtout des problèmes de l'économie de l'énergie. Dans ce domaine, il avait, bien au-delà des frontières de notre pays, la réputation d'un expert de premier ordre; de nombreuses publications et conférences le firent connaître dans le monde entier. Il a eu une influence déterminante sur le développement de l'industrie de l'énergie, dont les progrès furent gigantesques durant le dernier demi-siècle; une évolution aussi rapide a exigé des chefs de cette industrie — dont le défunt était l'un des plus éminents — une richesse d'idées, une largeur de vues et un esprit de décision peu ordinaires.

Mais le défunt s'est employé également avec un zèle infatigable et une grande sûreté de jugement aux autres tâches et problèmes variés de la Motor-Columbus et des sociétés qu'elle a fondées. C'est ainsi qu'il fut appelé au cours des années à participer à de nombreux conseils d'administration, comités et commissions, où son travail fut toujours très apprécié. Son activité ne s'arrêtait pas là. Rapelons sa participation aux travaux d'organisations internationales, au sein desquelles il contribua grandement au bon renom de notre pays: l'Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie Electrique (UNIPEDE), le Comité national suisse de la Conférence mondiale de l'énergie — dont il était le président depuis 1952 —, le

Comité directeur de la Conférence mondiale de l'énergie, le Comité de l'énergie de l'OECE.

Durant la deuxième guerre mondiale, M. Niesz fut appelé par le Conseil fédéral au poste de Délégué spécial pour l'industrie de l'électricité de l'Office de Guerre pour l'Industrie et le Travail (OGIT). En cette qualité, il assura avec une grande compétence l'utilisation optimum de l'énergie disponible. En hommage aux services éminents qu'il a rendus à l'économie électrique suisse et en reconnaissance du succès de ses efforts pour assurer l'approvisionnement de la Suisse en énergie électrique durant la guerre et les années d'après-guerre, l'Ecole Polytechnique Fédérale lui a conféré en 1954 le titre de docteur ès sciences techniques honoris causa.

Le défunt avait été durant la première guerre mondiale officier des troupes de fortresse; durant le dernier service actif, il commanda un groupe de mines.

Malgré toutes ses charges et tous les honneurs dont il fut l'objet, Henri Niesz resta durant toute sa vie un homme modeste, noble et distingué. Il fut un collègue aimable et un chef apprécié, dont la simplicité contribuait à créer une atmosphère de travail agréable. Il s'est toujours beaucoup préoccupé du bien-être de ses employés, et fut pour beaucoup d'entre eux un véritable et paternel ami.

A côté d'une vie professionnelle bien remplie, le défunt se consacrait entièrement à sa famille; il était entouré d'une épouse fidèle et attentionnée, de deux filles et d'un fils. Il fut un grand ami des arts et allait très volontiers au théâtre et aux concerts. Peu de gens savent probablement qu'il aimait occuper ses rares heures de loisirs à peindre à l'aquarelle et à dessiner aux crayons de couleur; il essaya même le modelage. La noblesse de son caractère, l'incitait toujours à rendre service, et plus d'un enfant nécessiteux trouva chez lui le meilleur accueil. Bien que domicilié à Baden depuis 1916, il était resté un vrai genevois, et passait souvent ses vacances aux bords du Léman, dans sa chère ville natale.

Un mal sournois avait depuis quelques mois condamné Henri Niesz, lui qui était infatigable, à une inactivité forcée. Durant toute sa vie il n'avait connu que le devoir et le travail; on aurait souhaité qu'il lui soit donné de vivre encore de nombreuses années dans le repos et la tranquillité. P. U./Sa.

La compensation du courant réactif dans le réseau de l'Aar & Tessin

S. A. d'électricité (ATEL)

Par R. Leresche et F. Schär, Olten

621.316.727

A l'aide d'un diagramme, les auteurs attirent l'attention sur l'importance des pertes de puissance réactive et de tension dans les lignes; ils décrivent des essais exécutés sur un modèle de réseau, puis esquisSENT les avantages du compensateur synchrone et de la batterie de condensateurs. Ils expliquent la manœuvre de démarrage d'un compensateur synchrone et donnent finalement les expériences d'exploitation avec leurs aspects économiques.

In der vorliegenden Arbeit wird an Hand eines praktischen Diagramms auf die Bedeutung der Blindleistungs- und Spannungsverluste auf Leitungen hingewiesen. Es wird auf Messungen am Netzmodell eingegangen. Die Vorteile von Synchronkompensator und Kondensatorbatterie werden kurz gestreift.

Vom Synchronkompensator wird das Anlaufverfahren kurz beschrieben. Schliesslich werden Betriebserfahrungen mitgeteilt und wirtschaftliche Aspekte erwähnt.

Généralités

Les réseaux à moyenne et à haute tension doivent en général fournir l'énergie électrique sous un facteur de puissance de 0,8 environ, pour autant que les consommateurs ne prennent pas de mesures spéciales en vue de compenser le courant réactif. Aussi longtemps que l'énergie électrique put être produite en majeure partie dans le voisinage des centres de consommation, les génératrices furent construites pour un facteur de puissance d'environ 0,8, et la couverture des besoins de puissance réactive n'offrit pas de difficultés particulières.

Cependant, par suite de l'accroissement constant de la consommation, l'énergie doit être amenée de centrales toujours plus éloignées; c'est le cas notamment pour l'Aar & Tessin S. A. d'électricité (ATEL). La plupart de ses usines se trouvent au Tessin, tandis que ses débouchés principaux sont au Nord des Alpes. En outre, cette société transporte pour des tiers de l'énergie du Sud au Nord. Les considérations qui suivent montrent le rôle que joue le *transport de puissance réactive* dans cette exploitation.

Les besoins de puissance réactive des installations de transport et leur influence sur la tension

Il est facile de déterminer la puissance réactive nécessaire pour compenser un seul consommateur; les conditions sont un peu moins claires dans les réseaux étendus. On obtient un bon point de repère en établissant pour les artères de transport principales le *diagramme des puissances actives et réactives*¹⁾. Ces diagrammes sont couramment utilisés aux Etats-Unis. Nous donnons à la fig. 1 le diagramme pour la liaison à 220 kV de Mettlen à Lavorgo.

La puissance active est portée en abscisses et la puissance réactive en ordonnées. Les arcs de cercle concentriques tracés à partir du centre inférieur relient les points de tension constante à l'émission, pour une tension constante à la réception de 215 kV, par exemple. Les coordonnées d'un point quelconque de ces cercles découpent sur les axes la valeur des puissances correspondantes reçues à

Mettlen. C'est pourquoi l'on parle aussi des cercles des puissances reçues.

De même, les arcs de cercle tracés à partir du centre supérieur relient les points de tension constante à la réception, pour une tension à l'émission donnée de 246 kV, par exemple. Les coordonnées correspondantes découpent sur les axes les puissances actives et réactives émises. Les facteurs de puissance sont représentés simplement par une droite. Les puissances correspondantes au départ et à l'arrivée de la ligne sont données par les points d'intersection avec les cercles de tension correspondants de deux droites tracées sous le même angle vectoriel α .

Exemple:

Etant donnée à Mettlen une puissance reçue de 280 MW et 75 MVar sous une tension de 215 kV et un $\cos \varphi$ de 0,97, il s'agit de connaître les puissances et la tension au départ à Lavorgo.

Résultat

tension au départ (point A): 246 kV

puissances émises (point B): 290 MW, 165 MVar

$\cos \varphi = 0,86$

angle entre les vecteurs de tension à Lavorgo et à Mettlen: 14° environ.

Les pertes de puissance réactive d'une liaison à 220 kV

L'exemple de la fig. 1 montre que les pertes de puissance réactive sont considérables (90 MVar pour 100 km) sur une ligne à 220 kV exploitée sensiblement au-dessus de sa puissance naturelle.

Pour les transformateurs, les conditions sont analogues. Un autotransformateur de 125 MVA et 220/150 kV, tel qu'on l'utilise depuis quelque temps en divers points des réseaux suisses, a une tension de court-circuit de 7 % environ pour les prises médiennes. Sous l'intensité nominale et abstraction faite du courant de magnétisation, les pertes de puissance réactive sont égales à

$$Q_v = \frac{7}{100} \cdot S = \frac{7}{100} \cdot 125 = 8,75 \text{ MVar}$$

Pour des puissances transmises de l'ordre de 250 MVA, les pertes résultant de la seule transformation se trouvent déjà quadruplées, et s'élèvent donc à 35 MVar.

¹⁾ Voir par exemple: *Electrical Transmission and Distribution Reference Book*. Pittsburgh Pa.: Westinghouse 1950, 4^e éd., p. 324.

Or, étant donné qu'un super-réseau à 220 kV s'est développé le plus souvent en fonction de l'accroissement des besoins, il n'est pas partout alimenté directement par les usines génératrices, mais par un

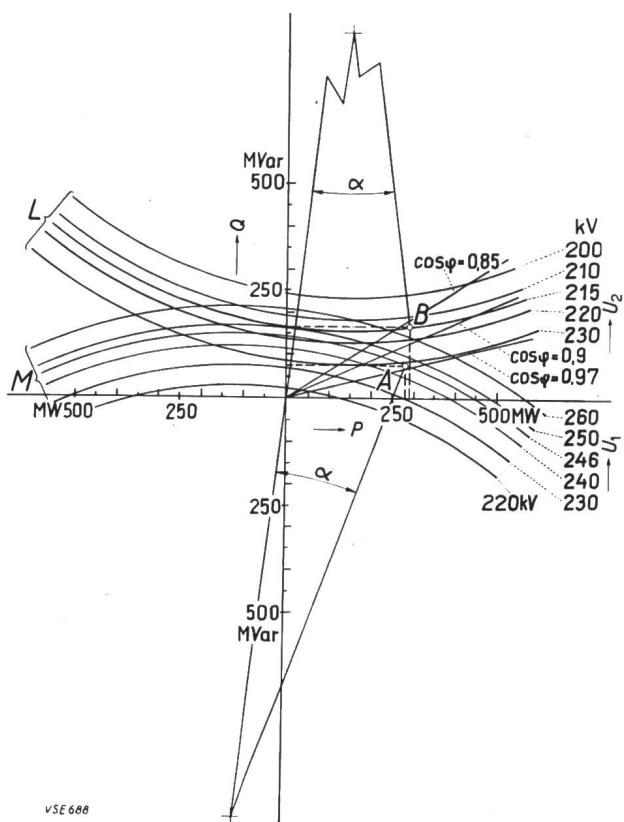


Fig. 1

Courbes des puissances actives et réactives pour la ligne à 220 kV de Lavorgo à Mettlen (ligne du Lukmanier)

- L cercles pour le point d'émission de Lavorgo
- M cercles pour le point de réception de Mettlen
- P puissance active
- Q puissance réactive
- U_1 tension d'émission à Lavorgo pour une tension constante de 215 kV à Mettlen
- U_2 tension de réception à Mettlen pour une tension constante de 246 kV à Lavorgo
- $\cos \varphi$ facteur de puissance

Exemple:

Charge à Mettlen (point A): 280 MW et 75 MVar sous une tension de 215 kV

Puissance nécessaire à l'émission à Lavorgo (point B): 290 MW et 165 MVar sous une tension de 246 kV

réseau à 150 kV, parfois même en partie seulement directement par celui-ci. Cela signifie que, plus la tension de transport s'élève, plus il y a de transformateurs intermédiaires, et par conséquent plus les pertes de puissance réactive s'accroissent en général. Il n'est donc pas économique de transporter la puissance réactive par les installations à haute et à très haute tension. Il faut compenser celle-ci autant que possible dans les centres de consommation, tout particulièrement si les réseaux à très haute tension sont très chargés. A ce point de vue, il n'y a plus de raison aujourd'hui de prévoir dans les usines éloignées des centres de consommation, donc sans charge locale notable, des génératrices calculées

pour un facteur de puissance inutilement bas. Par contre, il est très souhaitable d'avoir des transformateurs avec des tensions de court-circuit réduites (ce qui est facile dans le cas des autotransformateurs); on améliore en même temps par là la stabilité²⁾. Les disjoncteurs modernes supportent sans difficultés les puissances de court-circuit plus importantes qui en résultent.

Inversement, il est très avantageux de calculer pour le plus bas facteur de puissance possible les génératrices des centrales qui se trouvent dans le voisinage des centres de consommation. La plupart du temps, ces centrales ne couvrent qu'une faible part de la demande d'énergie totale; la plus grande part est amenée par de longues lignes et, bien que le transport lui-même ait lieu avec un $\cos \varphi$ peu différent de 1, la distribution doit se faire naturellement avec un facteur de puissance de 0,8 environ. *Bannwil, Birsfelden et Rheinau* sont quelques exemples de ce type de centrales; leurs génératrices sont calculées dans certains cas pour un $\cos \varphi$ de 0,45 seulement.

Les pertes de tension sur une liaison à 220 kV

Le diagramme de la fig. 1 montre que la charge réactive a aussi une grande influence sur la chute de tension longitudinale ou algébrique, c'est-à-dire sur la composante en phase avec le vecteur de la tension à l'arrivée.

Pour recevoir par exemple 280 MW et 0 MVar sous une tension de 215 kV à Mettlen, la tension au départ doit être de 230 kV seulement à Lavorgo. Le transport d'une puissance réactive de 75 MVar comme dans le premier exemple provoque pratiquement la même chute de tension qu'un transport de puissance active de 280 MW. L'énergie réactive transportée des centrales éloignées jusqu'aux centres de consommation provoque donc des pertes de tension relativement élevées. Il est vrai que l'on peut compenser celles-ci quelque peu grâce aux transformateurs à gradins, mais seulement pour les lignes de tension inférieure raccordées par des transformateurs. Pour la tension primaire, la grande chute de tension demeure; *W. Hauser*³⁾ a montré naguère les désavantages qui en résultent.

Si, par exemple, la tension primaire à l'arrivée tombe en dessous de la tension nominale des transformateurs, ceux-ci risquent d'être surchargés de courant, alors qu'ils sont mal utilisés en tension. Au départ, au contraire, la limite est dictée par la tension de service maximum admissible. Si elle est déjà atteinte, la chute de tension maximum admissible restreint la capacité de transport de la liaison considérée.

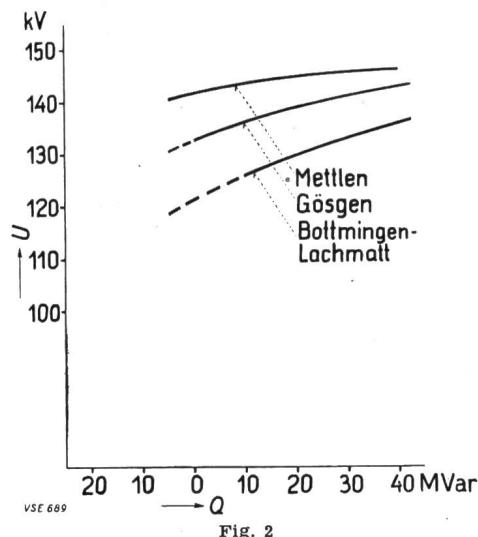
C'est la raison qui, très souvent, limite actuellement en Suisse les puissances transmissibles. Pour y remédier, il s'agit de compenser le courant réactif au lieu même de la consommation. Les nombreuses

²⁾ Voir p. ex.: *Hoard B. V., Lewis Weiner, Maching Mc Nary: Electrical Characteristics with Bonneville Transmission System. Electr. Engng. t. 68(1949), n° 9, p. 789...792.*

³⁾ Voir *W. Hauser: Spannungshaltung und Kurzschlußschutz im Betrieb mit 380-kV-Anlagen. Bull. ASE t. 44(1953), n° 4, p. 137...141.*

publications sur la compensation du courant réactif⁴⁾ prouvent bien que l'on a de tout temps accordé une grande attention à ce problème.

La question économique se pose naturellement aussi aux exploitants de réseaux à haute tension: ils se demanderont si l'amortissement des installations de compensation sera contrebalancé par la diminution des pertes. Mais très souvent le maintien de la tension a beaucoup plus d'importance⁵⁾. Pour les réseaux existants, il s'agit de savoir si une charge supplémentaire provoquée par une nouvelle exploitation industrielle importante ou par un accroissement général de la consommation est compatible avec le maintien de la tension à un niveau convenable. La fig. 2 donne, à titre d'exemple, les courbes de la tension du réseau à 150 kV de l'ATEL pour un état de charge donné.



Courbes de la tension du réseau à 150 kV de l'ATEL
(Exploitation Nord)

Q puissance réactive
U tension du réseau

Les courbes représentent la tension en divers points de la partie Nord du réseau de l'ATEL en fonction de la puissance réactive supplémentaire raccordée, pour un état donné du réseau

Essais sur un modèle de réseau

En première approximation, les courbes de la fig. 1, établies pour les liaisons les plus importantes, donnent une bonne indication de la puissance réactive à compenser. Par ce moyen, l'ATEL a pu prévoir depuis des années que ses besoins futurs atteindraient environ 70 MVar. Elle décida donc d'installer à Luterbach une batterie de condensateurs de 10 MVar (fig. 3), puis à l'usine de Goesgen un compensateur synchrone de 30 MVar.

Pour éviter toutefois de longs calculs et études, on a procédé, voici trois ans et demi, à des essais sur un modèle de réseau en collaboration avec le Comité Belge de la Table de Calcul électrique (Tablelec), à Bruxelles⁶⁾ (fig. 4). On a opéré avec

⁴⁾ Voir bibliographie à la fin de cet article.

⁵⁾ Voir aussi P. M. Minder: Batteries de condensateurs shunts dans des réseaux moyenne et haute tension. Bull. ASE t. 48 (1957), n° 2, p. 37...40.

⁶⁾ Entre temps on a installé également un modèle de réseau à courant alternatif à Baden (Argovie).

l'image de l'ensemble du réseau de l'ATEL avec ses charges prévisibles, en vue de savoir avant tout:

- quelles puissances réactives devaient encore être compensées pour atteindre les tensions désirées aux centres de consommation les plus importants
- quels étaient les emplacements les plus favorables pour les installations de compensation futures.



Fig. 3
La batterie de condensateurs de Luterbach

Cette batterie de condensateurs est installée sur un emplacement appartenant à l'AEC; elle est conçue pour être raccordée directement au réseau à 10 kV

Pour entreprendre sur un modèle à courant alternatif l'étude des conditions stationnaires de la tension et de la répartition des charges d'un réseau les données nécessaires ou désirables sont les suivantes:

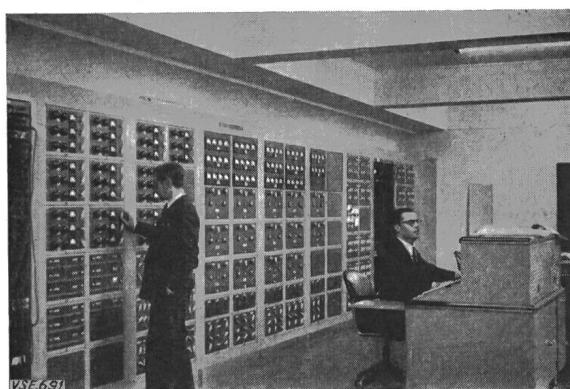


Fig. 4
Le modèle de réseau de la Tablelec de Bruxelles
Les personnes que l'on voit sur la photo sont en train de régler les charges du réseau

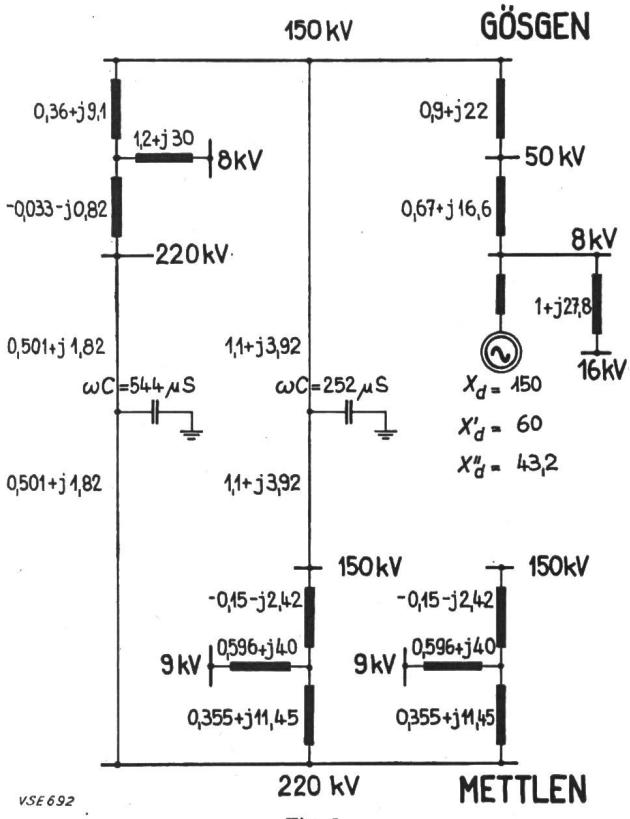
Pour les génératrices: puissance nominale, tension nominale, intensité nominale, réactances

Pour les transformateurs: puissance nominale, tension et intensité nominales, tensions aux diverses prises et tension de court-circuit

Pour les lignes: tension nominale, réactance, résistance ohmique et capacité, pour autant que celle-ci a une influence notable.

On dessine tout d'abord un schéma fortement simplifié du réseau à l'étude, en laissant suffisamment de place entre les différents symboles pour les chiffres correspondants (fig. 5 et 6).

Les chiffres indiqués dans le schéma de la fig. 5 représentent les impédances en pour-cent, par rapport à une puissance nominale de 100 MVA. Pour calculer ces valeurs, on utilise les formules ci-dessous, dans lesquelles les lettres signifient:



Les chiffres donnent les impédances en Ω rapportées à une puissance nominale de 100 MVA

X_d , X'_d , X''_d réactances caractéristiques de la machine synchrone, rapportées à 150 kV et à une puissance nominale de 100 MVA

ωC réactance capacitive des lignes en μS , rapportée à une puissance nominale de 100 MVA

(En ce qui concerne le calcul avec les composantes symétriques, voir par exemple [16]...[22], selon la bibliographie donnée à la fin de cet article)

S la puissance apparente en kVA

U la tension composée

U_n la tension de phase

I_n le courant nominal en A

Z l'impédance en Ω

ωC la conductance capacitive en μS

a la tension de court-circuit en pour-cent

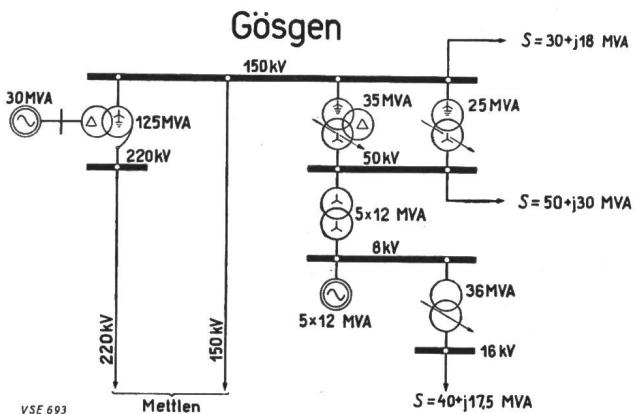


Fig. 6
Partie du plan de réseau

Les chiffres indiqués à côté des machines et des transformateurs donnent leur puissance nominale en MVA

S charge apparente en MVA

Caractéristiques des deux lignes de Gösgen à Mettlen:

longueur du tracé 41,59 km

distance entre les conducteurs 5,2 m

section des conducteurs (Cu) 150 mm²

On peut écrire:

$$Z = \frac{U_n}{I_n} \text{ ou } Z = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_n}$$

Si l'on introduit la tension en kV, on obtient

$$Z = \frac{1000 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_n} \quad I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

$$Z = \frac{1000 \cdot U^2}{S}$$

Si le transformateur ou la ligne a une tension de court-circuit de $a \%$, l'impédance s'écrit:

$$Z = \frac{10 \cdot a \cdot U^2}{S}$$

d'où

$$a = Z \cdot \frac{S}{10 U^2}$$

Il ressort de cette formule que la tension en court-circuit varie proportionnellement avec la puissance de référence S .

Exemple

Pour la ligne à 220 kV Gösgen-Mettlen sont donnés:

$$R = 4,95 \Omega \quad X = 17,65 \Omega \quad \omega C = 112,3 \mu S$$

$$Z = \frac{(4,95 + j 17,65) \cdot 100000}{10 \cdot 220^2} = 1,02 + j 3,64$$

$$\omega C = \frac{10 \cdot 112,3 \cdot 220^2}{100000} = 544 \mu S$$

Résultats des essais

Les essais effectués pour les charges d'hiver ont montré que les tensions nécessaires peuvent être facilement maintenues; ce résultat concorde avec les expériences antérieures de l'ATEL. Cette situation favorable est due principalement au fait qu'il est

facile de produire la puissance réactive requise en hiver dans les usines au fil de l'eau de *Goesgen*, *Ruppoldingen* et *Rybourg-Schwoerstadt*.

Les essais avec la charge d'été prévue ont montré en revanche que les tensions aux points de livraison de l'énergie ne sauraient être maintenues au niveau requis sans le secours de moyens auxiliaires, et ceci même lorsque les transformateurs de réglage travaillent à leur prise supérieure et que les tensions et les puissances réactives sont maximum dans toutes les usines raccordées, situation qui ne peut d'ailleurs guère être réalisée, eu égard aux exigences de l'exploitation.

En raccordant une batterie de condensateurs de 20 MVar aux barres à 50 kV de la sous-station de *Lachmatt*, on améliore quelque peu les tensions en ce point, et donne un peu plus de marge pour le réglage des transformateurs de Mettlen et de *Goesgen*. On constate en même temps que les pertes de puissance active diminuent d'environ 2,5 MW et les

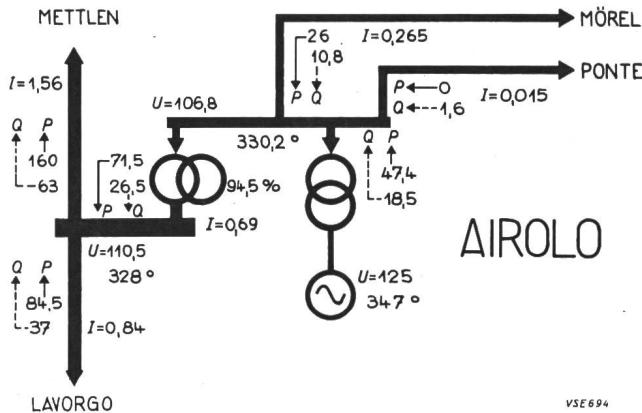


Fig. 7

Partie du plan de réseau contenant les valeurs mesurées au modèle de réseau dans un exemple déterminé

- P flux de puissance active en MW
- Q flux de puissance réactive en MVar
- U tension en pour-cent de la tension nominale
- I courant en A rapporté à une puissance nominale de 100 MVA
Les nombres en degrés donnent la mesure des angles des tensions
- Les nombres en pour-cent à côté des transformateurs de réglage indiquent la prise utilisée

pertes de puissance réactive de 19 MVar environ. En poussant davantage la compensation à *Lachmatt* on améliore encore ces résultats. On voit donc que la production de puissance réactive, qui est absolument indispensable au maintien de la tension, est économique aussi au point de vue de la réduction des pertes. La fig. 7 représente une partie du plan de réseau contenant les valeurs mesurées avec le modèle dans un cas donné.

Exemple d'une mesure effectuée sur un modèle de réseau

Dans cet exemple, l'image du réseau de l'ATEL est reproduite pour les conditions normales d'exploitation et notamment pour des charges normales. On a prévu un compensateur synchrone de 30 MVar à *Goesgen* et une batterie de condensateurs de 10,5

MVar à *Luterbach*. A titre de variantes, on supprime ou ajoute 20 MVar à la fois à *Bottmingen* et à *Lachmatt*.

Il ressort du tableau I qu'en branchant les batteries de condensateurs (40 MVar en tout), on peut économiser encore 33 MVar par réduction des pertes. Les résultats obtenus ont servi à construire les courbes de la fig. 8.

Tableau I

	Réseau sans batterie de condensateurs à Bottmingen et Lachmatt	Réseau avec batteries de condensateurs de 20 MVar à Bottmingen et de 20 MVar à Lachmatt
Pertes actives dans les lignes	19,6 MW	15,9 MW
Pertes de puissance réactive dans les lignes	91,2 MVar	72,6 MVar
Pertes de puissance réactive dans les transformateurs	54,5 MVar	41,7 MVar
Puissance réactive produite par les lignes	— 82,1 MVar	— 83,4 MVar
Puissance réactive produite par les batteries de condensateurs	0	— 40,0 MVar
Besoin total de puissance réactive	63,6 MVar	— 9,1 MVar

Avantages des essais sur un modèle de réseau

On peut résumer ces avantages comme suit:

- Plus un réseau est maillé, plus l'économie de temps est appréciable, surtout lorsqu'il s'agit de déterminer les puissances de court-circuit.
- A chaque mesure, le comportement de tout le réseau apparaît automatiquement. On s'aperçoit ainsi parfois d'influences ou de répercussions auxquelles on n'aurait peut-être pas songé sans cela⁷⁾.
- Sur un modèle de réseau, on peut enclencher ou déclencher à volonté lignes, génératrices, transformateurs ou compensateurs synchrones pour étudier l'effet de ces opérations, sans perturber l'exploitation.

Sur la base des calculs, l'ATEL avait constaté qu'il lui manquerait 70 MVar à l'avenir, sur quoi elle avait installé une batterie de condensateurs de 10 MVar à *Luterbach* et commandé un compensateur synchrone de 30 MVar pour l'usine de *Goesgen*. L'examen sur le modèle a confirmé la justesse des mesures prises. Il a démontré de façon évidente non seulement la diminution des pertes, mais aussi l'amélioration de la tension en chaque point du réseau. De plus, les heureuses répercussions d'une puissance supplémentaire de compensation de 40 MVar dans le secteur *Lachmatt-Bottmingen* ont été mises en évidence, ce qui a engagé l'ATEL à commander une batterie de condensateurs de 15 MVar pour chacune de ces deux sous-stations.

⁷⁾ Th. Boveri a attiré récemment l'attention sur la difficulté d'éviter pareilles lacunes en résolvant des problèmes complexes. Voir Bull. ASE t. 46(1955), n° 21, p. 982...986.

Comparaison entre le compensateur synchrone et la batterie de condensateurs

On peut se demander avec raison pourquoi l'ATEL n'a pas opté uniformément pour l'un ou pour l'autre type de générateurs de puissance réactive.

Le compensateur synchrone est plus avantageux pour un réglage continu; il permet d'obtenir soit automatiquement soit manuellement n'importe quelle valeur de la tension du réseau dans les limites de la compensation. Il peut être utilisé comme machine synchrone non seulement surexcitée, mais aussi

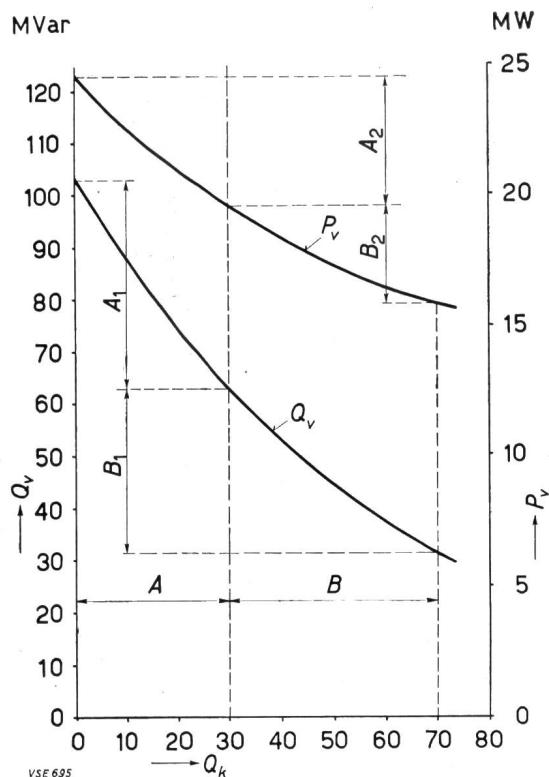


Fig. 8

Courbes des pertes dans le réseau de l'ATEL
Influence de la compensation

- Q_k puissance de compensation
- Q_v pertes de puissance réactive
- P_v pertes de puissance active
- A puissance réactive du compensateur synchrone
- A_1 diminution des pertes de puissance réactive grâce au compensateur synchrone
- A_2 diminution des pertes de puissance active grâce au compensateur synchrone
- B puissance réactive des batteries de condensateurs superposées dans la région Bottmingen-Lachmatt
- B_1 diminution des pertes de puissance active grâce aux batteries de condensateurs
- B_2 diminution des pertes de puissance réactive grâce aux batteries de condensateurs

sous-excitée, de sorte que l'on peut aussi bien relever une tension trop faible que réduire une tension trop élevée. Le compensateur synchrone exige, il est vrai, une surveillance plus étroite que la batterie de condensateurs, mais c'est sans importance dans une

centrale comme Gœsgen, qui comprend d'autres génératrices.

La batterie de condensateurs ne permet qu'un réglage grossier, demandant une manœuvre compliquée. Sa puissance varie avec le carré de la tension. En revanche, la batterie est facile à installer et se passe pratiquement d'entretien; il n'y a pas besoin de fondations spéciales comme pour les machines. C'est pourquoi la batterie de condensateurs convient particulièrement bien aux sous-stations sans personnel permanent.

En recourant à ces deux types de compensateurs, l'ATEL a combiné leurs avantages respectifs. Le compensateur synchrone permet de régler la tension de façon continue et de fournir une puissance réactive comprise entre les limites de -20 et +30 MVar. Quant aux batteries de condensateurs, installées en partie dans des sous-stations télécommandées, elles assument la couverture des besoins de puissance réactive à proximité immédiate des consommateurs.

Le compensateur synchrone

Le compensateur synchrone de Gœsgen (fig. 9) a les caractéristiques suivantes:

Puissance nominale:	réglage de façon continue de -20 à +30 MVar
Tension nominale:	8 kV
Nombre de pôles:	6
Nombre de tours:	1000
Pertes:	pour +30 MVar, 500 kW ou 1,67 % pour -20 MVar, 290 kW

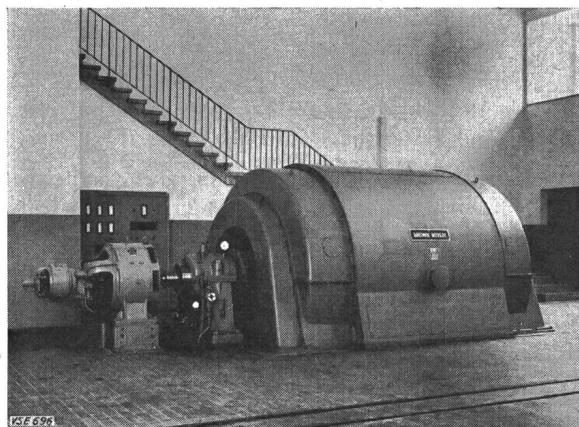


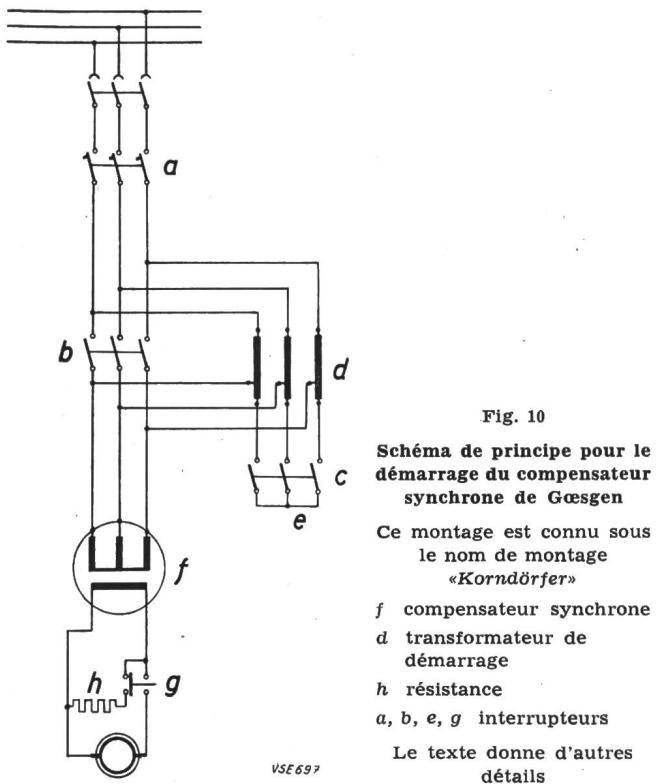
Fig. 9
Le compensateur synchrone de 30 MVar de la centrale de Gœsgen

Tension 8 kV, nombre de tours nominal 1000 t./m
A gauche l'excitatrice, couplée directement au compensateur synchrone; au second plan le tableau de commande

La machine peut être branchée sur les barres à 8 kV des génératrices ou sur l'enroulement tertiaire des transformateurs de 125 MVA à 220/150/8 kV.

Le démarrage a lieu en couplage *Korndörfer* légèrement amélioré; c'est à Gœsgen que ce montage a été appliqué pour la première fois, ce qui lui confère un intérêt particulier.

Le compensateur synchrone *f* (voir fig. 10) démarre comme un moteur asynchrone, mais sous tension réduite, fournie par un transformateur de démarrage *d*. Durant cette phase initiale, l'enroulement d'excitation est court-circuité sur une résistance ohmique *h*, ce qui améliore le facteur de puissance du courant du rotor et par conséquent le couple de démarrage.



La manœuvre de démarrage est illustrée par la fig. 10 et par l'oscillogramme de la fig. 11.

Au point 1 (fig. 11) le compensateur synchrone reçoit par l'intermédiaire de l'interrupteur *a* la tension du transformateur de démarrage *d*. Au point 2 la roue polaire atteint la moitié du nombre de tours nominal. Au point 3 le rotor est synchronisé. Au point 4 le champ magnétique est mis en circuit par l'interrupteur *g*. Au point 5 la machine est excitée, sur quoi l'interrupteur *e* s'ouvre (point 6) et le transformateur de démarrage n'agit plus que comme bobine de self. Ce transformateur possède un entrefer tel que la machine reçoit encore assez de tension, même après ouverture de l'interrupteur, pour demeurer en synchronisme stable, sans mouvements pendulaires et sans décalage nuisible entre la force électromotrice de la machine et la tension des barres collectrices.

Au bout de peu de temps, la tension aux bornes de la machine a atteint 8 kV (point 8 de l'oscillogramme). L'interrupteur de dérivation peut être fermé, et la machine mise en charge. La manœuvre entière dure à peine plus d'une minute.

Toutes les opérations sont réciproquement verrouillées, de sorte qu'elles ne peuvent avoir lieu que dans l'ordre prescrit. L'interrupteur principal *a* ne

peut être fermé que si les moteurs des pompes à huile pour la décharge des paliers au démarrage sont en fonction, que si l'écoulement de l'eau de réfrigération est attesté par l'indicateur d'écoulement et que si le régulateur magnétique assure automatiquement l'excitation correcte. Une lampe verte sur le pupitre de commande indique que tout est prêt pour le démarrage.

On peut commander la mise en marche soit à la main, soit de façon entièrement automatique par un interrupteur à programme. Cette dernière manière de faire a l'avantage de provoquer la succession des diverses manœuvres sans aucune perte de temps. Le surveillant n'a plus qu'à quittancer les opérations successives.

Pour arrêter la machine, il suffit d'ouvrir l'interrupteur *a*, sur quoi, grâce à l'interrupteur à programme, tous les autres interrupteurs sont ramenés automatiquement à leur position de départ. Ici également le surveillant n'a plus qu'à quittancer.

La batterie de condensateurs de Luterbach

La première étape dans la compensation du courant réactif fut marquée en 1953 par l'installation d'une batterie de condensateurs d'environ 10 MVar à Luterbach, sur le terrain de la sous-station de la Société du Canal de l'Aar et de l'Emme (fig. 3). Cette batterie comprend 420 condensateurs montés en étoile, et capables de fournir une puissance de 10,5 MVar.

Elle est subdivisée en trois blocs de 3, 3 et 4,5 MVar. On ne peut enclencher que toute la batterie à la fois ou une charge partielle, si aucune n'est déjà en service. L'addition d'une charge partielle à une charge partielle déjà en service provoquerait de trop grands à-coups de courant, car il s'écoulerait entre les deux batteries des courants d'équilibrage intenses de courte durée. La barre collectrice des condensateurs est enclenchée au moyen d'un disjoncteur à air comprimé sur la barre collectrice proprement dite à 10 kV, d'où partent de nombreuses lignes d'alimentation.

La protection est assurée uniquement par des relais de surintensité, qui donnent sans retard l'ordre de déclencher en cas de perturbations graves. Le transformateur de tension monté sur chaque phase sert aux mesures et aussi à décharger la batterie et à mettre à la terre après son déclenchement.

L'à-coup de courant à l'enclenchement atteint durant un très bref instant 3,5 fois la valeur nominale du courant. Il descend à une valeur insignifiante dans l'espace d'un quart de période environ. L'effet sur la tension est si minime qu'on ne saurait parler d'une surtension.

Résultats d'exploitation

1. Avec les batteries de condensateurs

Ces batteries ont répondu à l'attente de l'exploitant. L'énergie fournie ces dernières années par les lignes à 50 kV à Luterbach fut d'environ 180 GWh

par an ou 0,5 GWh par jour. Après la mise en service de la batterie de condensateurs, les pertes sur les lignes Gœsgen-Luterbach tombèrent de 5,6 à 3,8 %, c'est-à-dire de 1,8 %. Ces chiffres résultent des indications des compteurs, et correspondent assez exactement aux diminutions de pertes calculées. Grâce à la réduction des pertes, on a donc pu vendre 3 GWh de plus par année, ce qui représente une plus-value de fr. 80 000.— à fr. 100 000.—.

ne se manifeste pas seulement sur les lignes Gœsgen-Luterbach, mais aussi sur les installations de transport vers le Sud, étant donné que l'énergie réactive vient en partie des usines tessinoises. On a donc amélioré le rendement d'une grande fraction du réseau (voir la fig. 12).

On a également installé depuis dans chacune des sous-stations de Bottmingen et de Lachmatt une batterie de condensateurs de 15 MVar. Le tableau I

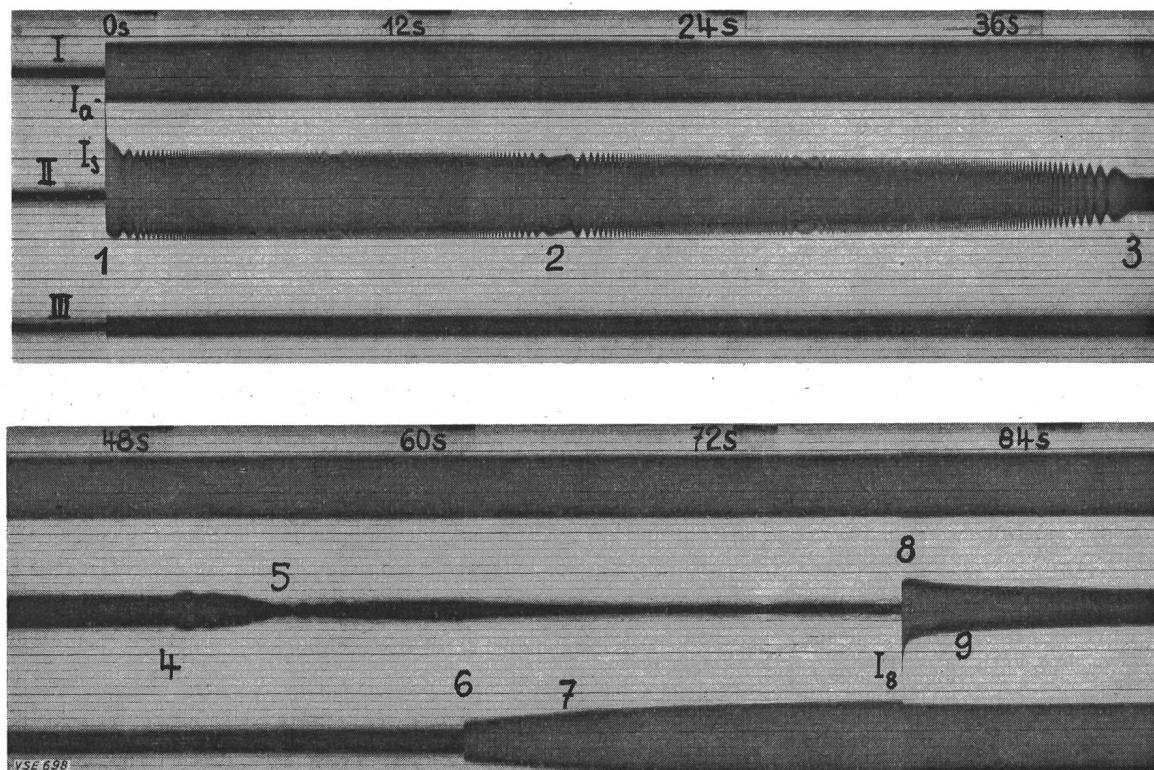


Fig. 11
Oscillogramme représentant le démarrage entièrement automatique du compensateur synchrone de Gœsgen
(document de l'ATEL)

Alimentation directe par les barres collectrices de 8 kV

- I tension au disjoncteur principal du côté du compensateur
- II courant du stator, mesuré du côté des barres du transformateur de démarrage
- III tension aux bornes du compensateur synchrone
- 1 le compensateur reçoit l'ordre de démarrer par fermeture du disjoncteur principal
- 2 le rotor atteint la moitié de la vitesse nominale
- 3 la roue polaire est «accrochée»
- 4 l'interrupteur magnétique g enclenche l'excitatrice, et le rotor est excité
- 5 le champ magnétique de la roue polaire a atteint sa valeur nominale

- 6 l'interrupteur e déclenche
- 7 la tension du stator augmente
- 8 l'interrupteur b court-circuite le transformateur de démarrage
- 9 l'à-coup de courant s'amortit
- I_a valeur de crête asymétrique la plus élevée: 3520 A durant 0,05 s environ
- I_s valeur efficace symétrique maximum: 1080 A, décroît lentement au bout d'environ 18 s
- I_8 valeur momentanée asymétrique maximum 2260 A
valeur efficace symétrique maximum 700 A

L'oscillogramme montre que les courants de démarrage n'ont aucune influence sur la tension des barres collectrices

Les frais annuels de l'installation peuvent être évalués à fr. 50 000.— ou fr. 60 000.—, si bien qu'on peut amortir un peu plus rapidement qu'auparavant les installations de transport. La diminution des pertes

montre leur efficacité, de même que les courbes des fig. 2 et 8, obtenues à l'aide du modèle de réseau et dont l'exactitude s'est trouvée confirmée depuis lors par les mesures en service.

2. Avec le compensateur synchrone

Cette installation a été mise en service au mois de juillet 1954, et a contribué sensiblement depuis lors à améliorer la tension et le réglage. L'amélioration de la tension, représentée par les courbes de la figure 2, a répondu à l'attente de l'exploitant. L'économie réalisée sur les pertes d'énergie active et réactive est au moins égale à celle qui résulte de la courbe de la figure 8. Grâce au bon refroidisse-

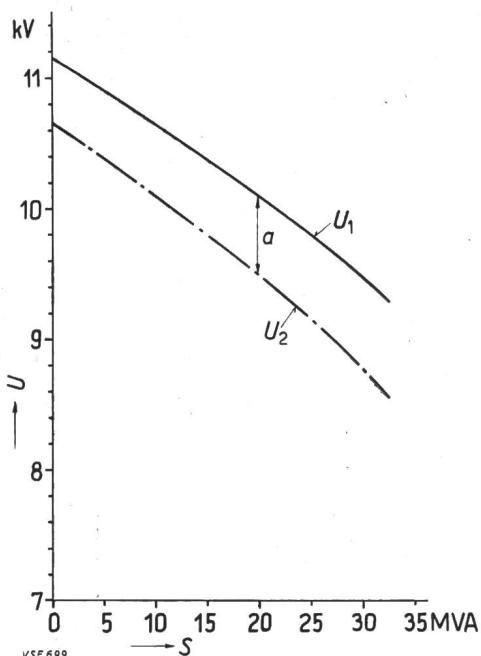


Fig. 12

Allure de la tension aux barres collectrices de 10 kV de la sous-station de Luterbach en fonction de la charge, sous un $\cos \varphi$ de 0,8

Les courbes ont été construites avec les résultats des mesures sur le modèle de réseau. Elles montrent l'influence de la batterie de condensateurs de 10 MVar installée à Luterbach.

La tension est maintenue constante à Gœsgen

S charge apparente pour un $\cos \varphi$ de 0,8

U tension des barres collectrices de 10 kV à Luterbach

U_1 tension avec la batterie de condensateurs

U_2 tension sans la batterie de condensateurs

ment de la machine, celle-ci peut, selon les besoins et notamment en été, fournir en permanence une puissance supplémentaire allant jusqu'à 16 %. Le démarrage entièrement automatique a toujours fonctionné sans accrocs.

Construction d'usines

Percement du puits blindé de l'usine de Castasegna des Forces Motrices du Bergell

Les travaux de percement du puits blindé de l'usine génératrice de Castasegna, qui appartient aux Forces Motrices du

Bibliographie

- [1] Minder, P. M.: Shunt-Kondensatorenbatterien in Mittel- und Hochspannungsnetzen. Bull. ASE t. 48(1957), n° 2, p. 37...40.
- [2] Schmidt, R. A.: D-C Circuit Gives Easy Method of Determining Value of Capacitors in Reducing I²R Losses. Trans. AIEE t. 75(1956), Part 3: Power App. & Syst., n° 26, p. 840...848.
- [3] Fehlmann, H.: 30-MVA-Synchronkompenator im Kraftwerk Gœsgen. Brown Boveri Mitt. t. 43(1956), n° 12, p. 542...549.
- [4] Cuttino, W. H. und Miles Maxwell: The Natural Frequency of Parallel Capacitors Banks. Trans. AIEE t. 75(1956), Part 3: Power App. & Syst., n° 25, p. 662...666.
- [5] Sheppard, N. R. und N. R. Schultz: Some Considerations in the Protection of High-Voltage Capacitor Banks. Trans. AIEE t. 75(1956), Part 3: Power App. & Syst., n° 25, p. 686...694.
- [6] AIEE Committee Report. Bibliography on Power Capacitors 1952...1954. Trans. AIEE t. 75(1956), Part 3: Power App. & Syst., n° 23, p. 26...28.
- [7] Brown, P. G., G. W. Otte, L. E. Saline und V. C. Talley: Economics of Switched Shunt Capacitors and Synchronous Condenser Kilovar Supply for Transmission Systems. Trans. AIEE t. 73(1954), Part 3: Power App. & Syst., n° 16, p. 1553...1563.
- [8] Rathsmann, B. G.: Stabilität und Blindleistung schwedischer Übertragungen. Bull. ASE t. 45(1954), n° 14, p. 570...578.
- [9] Anonym: Finanzierung der Anlagen zur Verbesserung des Leistungsfaktors in Frankreich. Bull. ASE t. 54(1954), n° 20, p. 855.
- [10] Moraw, K.: Aufstellung einer 110-kV-Kondensatorenbatterie im Umspannwerk Bisamberg. ÖZE t. 4(1951), n° 9, p. 323.
- [11] Hauser, W.: Spannungshaltung und Kurzschluss-Schutz im Betrieb mit 380-kV-Anlagen. Bull. ASE t. 44(1953), n° 4, p. 137...141.
- [12] Maret, A.: Réglage par compensateur synchrone d'une ligne de transport haute tension. Le nouveau compensateur 30 000 kVA du poste de Richmond Terminal de la State Electricity Commission of Victoria à Melbourne (Australie). Bull. ASE t. 33(1942), n° 12, p. 336...346.
- [13] Grieb, F.: Synchronkompensatoren als Spannungsregler. Brown Boveri Mitt. t. 12(1925), n° 1, p. 10...14.
- [14] Frey, Wolfgang: Die Stabilitätsprobleme des Parallelbetriebes. Diss. ETH. Zürich: Truninger 1956.
- [15] Nissel, Hans: Der Einfluss des $\cos \varphi$ auf die Tarifgestaltung der Elektrizitätswerke. Diss. TH Berlin. Berlin: Springer 1928.
- [16] Wagner, C. F. und R. D. Evans: Symmetrical Components. New York: 1933.
- [17] Illiovič, A.: Les coordonnées symétriques en électrotechnique. Paris: 1934.
- [18] Lyon, W. V.: Application of the Method of Symmetrical Components. New York; London: 1937.
- [19] Rothe, Frederick S.: An Introduction to Power System Analysis. New York: Wiley; London: Chapman & Hall 1953.
- [20] Laible, Th.: Die Theorie der Synchronmaschine im nicht-stationären Betrieb mit Anwendungsbeispielen und unter Berücksichtigung der modernen amerikanischen Literatur. Berlin: Springer 1952.
- [21] Laible, Th.: Die Reaktanzen und andere Konstanten der Synchronmaschine. Bull. Oerlikon t. —(1953), n° 300, p. 59...71.
- [22] Electrical Transmission and Distribution Reference Book. Pittsburgh Pa.: Westinghouse 1950, 4^e éd.

Adresse des auteurs:

R. Leresche, vice-directeur, Aar Tessin S. A. d'électricité, Olten; F. Schär, Aar Tessin S. A. d'électricité, Olten.

Bergell de la Ville de Zurich, se sont achevés à la fin de février. Ce puits blindé, qui fait un angle de 85 % avec l'horizontale, a une longueur de 950 mètres; c'est le plus long puits blindé qui ait été percé en Suisse sans fenêtre intermédiaire.

Rédaction des «Pages de l'UCS»: Secrétariat de l'Union des Centrales Suisses d'Électricité, Bahnhofplatz 3, Zurich 1; adresse postale: Case postale Zurich 23; téléphone (051) 27 51 91; compte de chèques postaux VIII 4355; adresse télégraphique: Electrunion Zurich. **Rédacteur:** Ch. Morel, ingénieur.

Des tirés à part de ces pages sont en vente au secrétariat de l'UCS, au numéro ou à l'abonnement.