

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 41 (1950)
Heft: 9

Artikel: Alimentation des centrales téléphoniques automatiques
Autor: Jalla, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058909>

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: 09.02.2026

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

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

Alimentation des centrales téléphoniques automatiques

Par F. Jalla, Zurich *)

621.395.868

Le système actuellement le plus répandu pour l'alimentation des centrales téléphoniques automatiques est celui de la «marche en tampon» de génératrices à courant continu et de batteries d'accumulateurs au plomb.

Se basant sur de nombreuses expériences, l'auteur étudie cette source complexe d'énergie, en fonctionnement statique et dynamique. Après un rappel des caractéristiques principales des accumulateurs et des génératrices (génératrices à shunt magnétique, à excitation shunt, à excitation composée) il traite de la marche en tampon en soulignant les conditions nécessaires à un fonctionnement correct. Quelques indications sont aussi données sur la marche en direct et sur les perturbations téléphoniques causées par les génératrices.

Das gegenwärtig am meisten verbreitete System für die Speisung von automatischen Telephonzentralen ist der Pufferbetrieb von Gleichstromgeneratoren mit Bleiakкумуляtoren-Batterien.

Gestützt auf zahlreiche Versuche untersucht der Verfasser diese komplexe Energiequelle im statistischen und dynamischen Betrieb. Nach einem Hinweis auf die wichtigsten Eigenschaften der Akkumulatoren und Generatoren (Brückenpol-, Nebenschluss-, Compoundgeneratoren) behandelt er den Pufferbetrieb unter Hervorhebung der zu einem befriedigenden Arbeiten notwendigen Bedingungen. Es werden auch einige Angaben über den Netzanschlussbetrieb und die von den Generatoren erzeugten Telefonstörungen gemacht.

Une grande partie des circuits des centrales téléphoniques automatiques est alimentée par des sources d'énergie à courant continu, soit des génératrices ou des redresseurs, soit des batteries d'accumulateurs.

Ces deux catégories de sources d'énergie sont utilisées, avec des dispositions très variées, tantôt seules (méthode des deux batteries, marche en direct de la génératrice), tantôt, et le plus souvent, groupées en parallèle (marche en tampon), formant ainsi une source complexe d'énergie, répondant le mieux aux différentes exigences imposées actuellement par une transmission téléphonique de qualité. Cette disposition procure une très grande sécurité d'exploitation, des conditions économiques favorables et possède de bonnes qualités techniques.

1. Accumulateurs au plomb

11. Généralités

Les batteries en service dans les centrales téléphoniques sont composées d'accumulateurs au plomb, du type stationnaire avec plaques positives à grande surface (type Planté) et plaques négatives à caissons. Elles ont une grande capacité, des dimensions importantes, un poids élevé, une faible résistance intérieure et une longue durée de service si elles sont entretenues convenablement.

L'accumulateur peut être considéré sous différents points de vue, selon les fonctions qu'il doit remplir dans une centrale téléphonique, à savoir:

a) comme transformateur d'énergie électrique en énergie chimique et vice versa; et comme accumulateur d'énergie,

b) comme source d'énergie complémentaire de la génératrice, capable de fournir du courant pendant les périodes de

surcharge et pendant les premiers instants succédant à une variation brusque de la charge,

c) comme impédance, c'est-à-dire comme filtre pour les harmoniques de la génératrice.

L'accumulateur assure ainsi une grande sécurité d'exploitation (a), de bonnes caractéristiques techniques (b) et la réduction des tensions perturbatrices à un niveau admissible (c).

12. Accumulateur comme transformateur et accumulateur d'énergie

Selon les anciennes méthodes d'exploitation (système à deux batteries), l'accumulateur directement couplé au réseau téléphonique, fournissait seul de l'énergie. Par contre, dans les centrales modernes la batterie, à un état de charge élevé, a comme rôle essentiel d'entrer promptement en action, quand il le faut (décrochage du réseau primaire, dégât ou révision du groupe convertisseur, etc.). En effet, une des exigences fondamentales des transmissions téléphoniques est la continuité et la sécurité d'exploitation, une interruption de service étant inadmissible.

Pour se prémunir contre des fonctionnements défectueux, il faut avoir des idées claires sur les méthodes de charge et sur les moyens de maintenir les batteries à un état de charge élevé.

121. La charge d'un accumulateur est une opération par laquelle on fait passer dans celui-ci une certaine quantité d'électricité (Ampèreheures); l'énergie électrique se transforme en énergie chimique. Cette opération ne doit toutefois pas diminuer sensiblement la durée de vie de l'accumulateur.

Ainsi, du point de vue de la batterie, n'importe quelle méthode de charge convient, pourvu qu'elle ne produise ni échauffement excessif, ni bouillonnement trop violent.

*) Le travail fut suggéré par M. Krondl.

On a déterminé empiriquement (Woodbridge [1], [2], [3] ¹⁾), quelles intensités de courant sont le mieux adaptées et l'on est arrivé à la formule suivante:

$$I_{max} = \frac{\Delta Q}{1} \text{ (Loi des Ampèreheures)}$$

c'est-à-dire pendant la charge, la valeur numérique du courant maximum admissible à chaque instant, en Ampères (I_{max}), est égale à la valeur numérique de la quantité d'électricité (ΔQ) en Ampèreheures que l'on doit fournir à l'accumulateur pour le ramener à l'état de charge 100% (rendement en quantité = 1). Tout courant d'intensité inférieure convient pour la charge. En pratique, on se sert d'intensités plus faibles, soit par prudence, soit pour éviter de devoir régler continuellement ou d'avoir à installer des génératrices de charge trop fortes. Pour les accumulateurs à grande surface, les constructeurs conseillent comme courant maximum I_3 , c'est-à-dire un courant égal au courant de décharge qui réaliserait une décharge complète en trois heures (AFO ²⁾ [4].

En tout cas, quand l'accumulateur commence à bouillonner (tension aux bornes d'un élément égale à env. 2,4 V), il convient de réduire le courant. Lorsque l'accumulateur est chargé, il faut continuer la charge pendant quelques heures avec un courant encore plus réduit, pour compléter et égaliser l'état de charge des différents éléments.

La charge à faible tension ($\leq 2,4$ V) donne de très bons résultats. Grâce à l'absence de bouillonnement on a moins de déchets (boue) au fond du bac et moins d'évaporation de l'électrolyte, c'est-à-dire que la durée de vie de la batterie est sensiblement plus longue et l'entretien réduit. Toutefois le temps de charge est très long et il n'est pas facile de déterminer, par des mesures de tension et de densité de l'électrolyte, si la batterie est complètement chargée ou non ³⁾. Enfin, à cause du phénomène de la stratification, la densité de l'électrolyte actif est diminuée: ce facteur, quoique d'importance limitée, est défavorable à la durée des plaques [1] ⁴⁾.

122. Tout accumulateur, au repos, en charge, en décharge, perd lentement une partie de sa charge. Cette autodécharge, appelée aussi perte par actions

locales, est proportionnelle à la surface des électrodes, donc relativement grande pour le type d'éléments en usage dans les installations téléphoniques. Elle a lieu spécialement à l'électrode négative, augmente rapidement avec la température (env. 8 fois pour une augmentation de 30° [7]), avec la densité de l'électrolyte, avec l'âge et surtout du fait de la présence de certaines impuretés dans l'électrolyte (fer, cuivre, chlore; cf. [1], [2], [3], [6], [8]).

Il est évident que ce courant de perte est variable d'un accumulateur à l'autre et pour un même accumulateur, selon les différentes conditions dans lesquelles il se trouve. Les données sur ce point diffèrent beaucoup selon les auteurs: pour le type d'accumulateur en question, le courant d'autodécharge peut être de 0,1...1% de I_{10} ⁵⁾, c'est-à-dire la batterie perd env. de 0,3...3% de sa charge par jour.

Après avoir chargé une batterie, il faut donc, pour la maintenir à un état de charge élevé lui permettant de faire face à un moment quelconque à une décharge, compenser les pertes dues aux actions locales.

Les méthodes actuellement en usage sont les suivantes:

a) *Compensation de l'autodécharge à courant constant (Trickle charging)*

On compense les pertes par actions locales en envoyant dans la batterie un très petit courant de charge permanente. Cette désignation est également utilisée par analogie quand le courant doit aussi compenser de petites décharges.

b) *Compensation de l'autodécharge à tension constante (Floating)*

On compense les pertes par actions locales en appliquant aux bornes de l'accumulateur une tension constante; la batterie ne subit aucune autre charge ou décharge.

Une tension constante de 2,15 V par élément, pour les batteries ayant une densité d'électrolyte d'environ 1,21, est acceptée par plusieurs auteurs (cf. [1], [7], [9], [13], [14], [15], [16]) et en particulier aux Etats-Unis, où plusieurs techniciens bien connus (cf. [1], [14]) affirment avoir ainsi obtenu de très bons résultats.

A cette tension, pour un état de charge 100%, le courant de charge est d'environ 0,5% de I_{10} (fig. 2) qui correspond, comme on a vu plus haut, à une valeur moyenne de courant d'autodécharge. Si les pertes sont supérieures, le courant de charge augmente automatiquement et maintient ainsi la batterie toujours chargée. L'augmentation des pertes causée par une surélévation limitée de température

¹⁾ Voir bibliographie à la fin du texte.

²⁾ Accumulatorenfabrik Oerlikon, Zurich-Oerlikon.

³⁾ Le meilleur indicateur de l'état de charge est la variation de tension et de densité en fonction du temps; la variation, d'abord forte, diminue de plus en plus à mesure que l'état de charge augmente, pour être pratiquement nulle lorsque l'accumulateur est chargé à fond. Une donnée très pratique, et donc très en usage, est la valeur absolue de la densité, mais elle est moins précise. On obtient, toutefois, [6] de meilleurs résultats si on reporte les valeurs de la densité à une température déterminée (normalement $\vartheta = 15^\circ\text{C}$) selon la formule suivante:

$$\varrho_{15^\circ} = \varrho_{\vartheta} + (\vartheta - 15) 6,7 \cdot 10^{-4} \text{ (cf. aussi [5])}$$

(p. ex. avec $\varrho_{\vartheta} = 1,215$ pour $\vartheta = 25^\circ$, $\varrho_{15^\circ} = 1,221$).

Par contre, à cause de l'influence du courant et de la température, la valeur absolue de la tension ne donne pas une indication précise de l'état de charge (cf. 131).

⁴⁾ Dans le fonctionnement en tampon dans une centrale téléphonique, ce phénomène n'a pas grande importance, à cause des variations brusques et continues du débit.

⁵⁾ Woodbridge [2]: 0,12% de I_{10} , pour 25 °C et densité d'électrolyte égale à 1,21; Mc Kinnon [7]: 1% de I_{10} pour des batteries de capacité égale ou inférieure à 100 Ah et de 1...0,37% de I_{10} pour des batteries de 100 à 1000 Ah; AFA (Akkumulatorenfabrik A.-G., Berlin-Hagen i. W. [9]): 1% de I_{10} ; AFO [10]: 0,85% de I_{10} ; Grau [11]: 0,6% de I_{10} ; Stange [12]: 0,5...1% de I_{10} .

est aussi compensée: la température plus élevée cause une diminution de la f.é.m. de la batterie et, par suite, une augmentation du courant de charge.

D'autres auteurs conseillent, par contre, des tensions de compensation plus élevées, par exemple 2,25...2,4 V [10]; 2,3 V [17].

c) Marche en tampon (Balancing)

La marche en tampon diffère de la compensation à tension constante par le fait que la batterie peut subir des décharges et que la tension aux bornes n'est pas parfaitement constante, bien que variant entre des limites restreintes. La tension moyenne (dans le temps) doit engendrer à travers les accumulateurs, un courant qui compense non seulement les pertes par actions locales, mais aussi les décharges. On se servira, ainsi, de 2,15 V pour des décharges très limitées, et de tensions plus élevées dans le cas où la batterie doit entrer souvent en action. On ne peut pas fixer à priori une valeur qui soit d'application générale, car la tension nécessaire est fonction du débit de la batterie; il faut la déterminer par tentatives, tout en la faisant varier entre 2,05 et 2,3 V, avec une valeur moyenne, dans le temps, supérieure à 2,15 V.

Dans une centrale téléphonique automatique bien dimensionnée et dans un pays doté de grands réseaux de distribution d'énergie électrique, la batterie d'accumulateurs subit des décharges minimales (cf. aussi [18]; dans ce cas la tension moyenne de marche en tampon s'écarte peu de 2,15 V⁶⁾).

La marche en tampon est le système le plus répandu dans les centrales téléphoniques car la

la durée de vie de la batterie est augmentée, la sécurité d'exploitation meilleure. L'expérience acquise aux Etats-Unis (Woodbridge [3], Freed [14]), en Grande-Bretagne (Mc Kinnon [7], Dye [13]), en Allemagne (Grau [11], Stange [12]), en Suisse (Anderföhren [20], Oberholzer [18]), etc. confirme ce qui a été dit, car après de longues années de marche, les batteries sont restées en parfait état de conservation.

En pratique, il n'est pas facile de régler parfaitement la marche en tampon; il faut surveiller les accumulateurs, et si l'état de charge diminue, augmenter un peu la valeur de la tension moyenne de la génératrice. Après quelques tentatives, on arrive à régler la marche en tampon de manière satisfaisante. D'autre part, faire de temps en temps une décharge complète suivie d'une charge à fond, semble non seulement n'apporter aucun avantage, mais plutôt [11], [20] diminuer la durée de la batterie. Par contre d'excellents résultats ont été obtenus par des charges d'égalisation faites à intervalles réguliers.

13. Caractéristiques statiques et dynamiques

Pour pouvoir comprendre, et ainsi prévoir, le comportement d'une machine électrique en service, on dispose de familles de courbes, déduites de mesures ou calculées, qui relient entre elles les différentes grandeurs, et définissent le comportement de la machine. Ces familles de courbes sont les caractéristiques statiques et dynamiques, les unes pour des variations lentes, les autres pour des variations rapides des constantes du circuit. Pour les accumu-

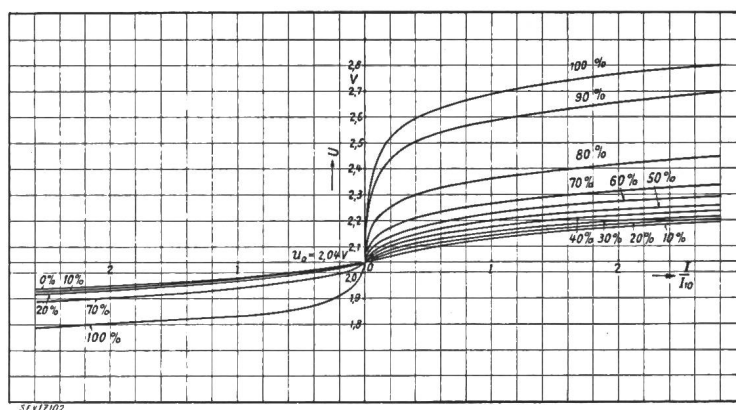


Fig. 1
Caractéristiques statiques moyennes de
l'accumulateur au plomb
Les états de charge et de décharge
sont indiqués en % sur chaque courbe

batterie, en parallèle avec la génératrice, est directement connectée au réseau. Plus rares, au contraire, sont la compensation à courant ou à tension constante; ces méthodes sont utilisées pour des batteries séparées du réseau, qui doivent rester à un état de charge élevé.

Avec une marche en tampon bien réglée, la batterie est toujours à un état de charge élevé, on n'a ni durcissement des plaques, ni bouillonnement:

⁶⁾ Parmi les valeurs conseillées citons: 2,15...2,2 V (Lippe [9]); une tension supérieure à 2,25...2,3 V (AFO [10]); 2,15...2,25 V (Grau [11]); 2,15...2,2 V (Stange [12]); 2,2...2,3 V (Zinggeler [15]); 2,15...2,18 V (Oberholzer [18]); 2,17 V (Westinghouse [19]).

lateurs, on peut appliquer le même procédé, sans oublier que les accumulateurs, par suite de leurs phénomènes chimiques complexes, ne sont pas des appareils de précision.

13.1. *Caractéristiques statiques.* Les caractéristiques reportées à la fig. 1 (AFA [21]) sont des courbes moyennes, qui valent en particulier pour les accumulateurs stationnaires au plomb et pour une température d'env. 15 °C. Elles ont été obtenues en chargeant et déchargeant des accumulateurs avec un courant constant et en mesurant la capacité, le courant, la tension. Elles représentent des valeurs moyennes car elles proviennent de nombreuses mesures sur différents accumulateurs.

Ces caractéristiques relient entre elles les trois grandeurs tension, courant, capacité (à température constante) qui définissent pratiquement le comportement d'une batterie. A l'aide de ces caractéristiques, les problèmes de la marche en tampon qui nous intéressent peuvent être étudiés, en tenant compte toutefois qu'une batterie déterminée s'écartera quelque peu de ces valeurs.

La fig. 1 est divisée en deux zones: la zone supérieure (tension par élément supérieure à 2,04 V) est celle de la charge, la zone inférieure (tension par élément inférieure à 2,04 V) est celle de la décharge. La ligne de séparation est donnée par la tension à vide, c'est-à-dire par la f.e.m. d'un élément au repos. Cette f.e.m. est presque uniquement fonction de la densité de l'électrolyte selon la formule approchée suivante (AFO [23]):

$$U_0 = \varrho + 0,85$$

où U_0 est la f.e.m. à vide (V) par élément et ϱ la densité de l'électrolyte en g/cm³. Elle varie très peu d'un accumulateur à l'autre, dépend peu de la température (diminution d'env. 0,004 V par élément pour une augmentation de 10 °C [22]), et varie d'une manière complexe avec l'âge de la batterie; elle est indépendante de l'état de charge, à égalité de densité d'électrolyte. La tension à vide d'un accumulateur dans une centrale téléphonique est donc pratiquement constante, car la température y varie très peu et la densité de l'électrolyte oscille environ entre 1,18 et 1,22 ($U_0 \approx 2,03...2,07$ V).

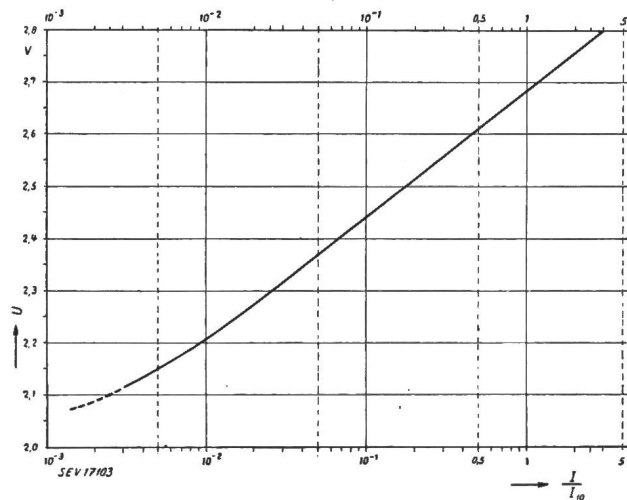


Fig. 2

Tension aux bornes d'un accumulateur au plomb
en fonction du courant de charge
Etat de charge 100 %

La fig. 1 et la fig. 2, déduite de la fig. 1, montrent aussi qu'à égalité de température, la tension finale d'un accumulateur est fonction du courant de charge: à un courant de charge plus grand correspond une tension finale plus élevée. Si le courant de charge est constant, la tension dépend de l'état de charge: dans la zone de charge, la tension augmente avec l'état de charge; dans la zone de décharge, elle diminue à mesure que la décharge se poursuit.

L'influence de la température est sensible sur la capacité et sur la tension finale de charge. La capacité augmente, en effet, d'environ 1% pour une élévation de température d'un degré centigrade [22]; la tension finale de charge diminue d'environ 0,07 V par élément pour une élévation de température de 10 °C [1]. Ces données doivent être considérées à titre indicatif car leurs valeurs peuvent être sensiblement différentes d'un accumulateur à l'autre; elles sont utiles pour donner une idée de l'ordre de grandeur des différentes influences qui s'exercent sur les batteries.

132. *Caractéristiques dynamiques.* La f.e.m. d'un accumulateur au plomb présente une très grande inertie à l'établissement de toute nouvelle condition électrochimique, non seulement pour de grands changements de sa constitution chimique (passage de la charge à la décharge), mais aussi pour des changements minimes (p. ex. variation du courant de charge d'un accumulateur chargé à fond).

Ainsi, dans le cas de brusques changements des constantes du circuit, l'accumulateur ne suit plus les caractéristiques statiques (fig. 1) mais d'autres courbes appelées «caractéristiques dynamiques».

Lorsque le courant I d'un accumulateur passe d'une valeur déterminée à une autre, la tension aux bornes subit des variations (ΔU), très différentes entre elles, selon l'état de charge initial, l'importance de la variation du courant (ΔI), selon la tension initiale, la durée de vie précédente de la batterie, etc.

Quelles que soient les variations de ces divers éléments, on peut cependant dégager une courbe caractéristique de la tension en fonction du temps ⁷⁾. Cette courbe comprend les trois parties suivantes (fig. 3 et fig. 4):

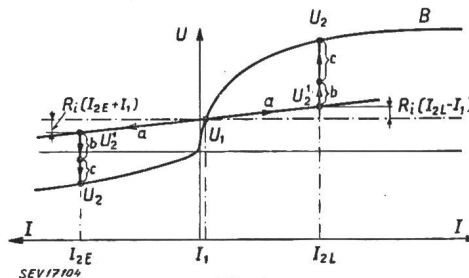


Fig. 3

Caractéristique dynamique de l'accumulateur au plomb
(Courbe de principe)

a variation de tension instantanée
b variation rapide de tension
c variation lente de tension

Partie a, la tension subit une variation instantanée:

$$\Delta U = U_2' - U_1 = R_i (I_2 - I_1) = R_i \Delta I$$

où U_1 tension initiale
 I_1 courant initial

⁷⁾ Les considérations suivantes sont basées sur des recherches expérimentales sur le comportement dynamique de l'accumulateur, en charge et en décharge, dans un circuit pratiquement ohmique. C'est dans ce cas, en effet, que l'on a la plus grande variation de tension pendant les tout premiers instants après le changement des constantes du circuit (le courant atteint dans un temps très court ($t < 0,01$ ms) une intensité très proche de l'intensité finale).

- U_2 tension après la variation des constantes du circuit
 I_2 courant après la variation des constantes du circuit (I_{2L} ou I_{2E})
 R_i résistance intérieure de l'accumulateur (voir 14).

l'infini et pour un état initial de charge 100%. La famille de courbe à droite de l'axe des coordonnées représente, en partant de la tension de compensation de 2,15 V, le passage à la charge, celle de gauche, le passage à la décharge. Pour $t = 0$, la caractéristique est une droite de pente égale à la

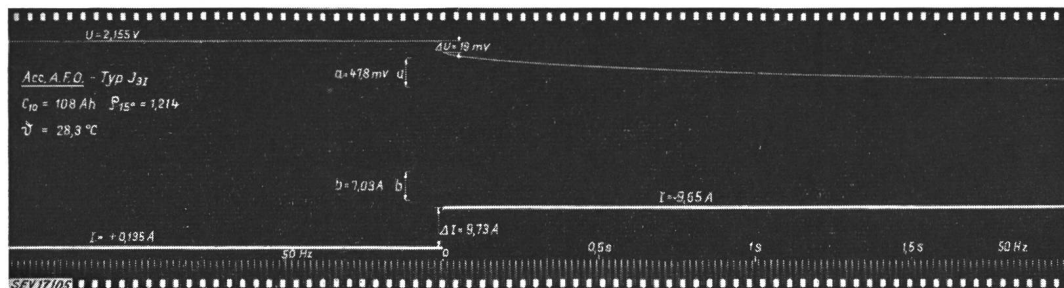


Fig. 4

Passage de la compensation à tension constante à la décharge (circuit ohmique)
 Etat initial 2,155 V; 0,135 A; état de charge 100 %; courant de décharge 9,65 A
 Accumulateur stationnaire à grande surface AFO, Type J₃₁; $C_{10} = 108$ Ah

Partie b, variation rapide: une courbe du type exponentiel, dont la constante de temps est approximativement inversement proportionnelle au courant.

Partie c, variation lente: une autre courbe exponentielle, à constante de temps beaucoup plus grande.

On peut expliquer l'allure de cette courbe de la manière suivante:

Pendant la variation initiale de courant ($\Delta t \approx 0$) les réactions chimiques restent à l'état primitif, donc aussi la f.é.m. de l'accumulateur; l'unique variation de tension est due au changement de la chute de tension intérieure ($R_i \Delta I$). Ensuite, les nouvelles réactions chimiques se développent en intéressant, pendant un premier temps (partie b) les alentours immédiats des plaques (pores) et ensuite (partie c) tout l'accumulateur.

résistance intérieure; pour $t = \infty$, on a la caractéristique statique. On passe de l'une à l'autre en se déplaçant sur une infinité de courbes intermédiaires. Pour un courant constant, la variation de tension en fonction du temps est quasi exponentielle (partie b + partie c).

Les caractéristiques qui présentent le plus grand intérêt sont celles des tout premiers instants. A cet égard, sont reportés à la fig. 6 (passage de la compensation à tension constante de 2,15 V à la charge) et à la fig. 7 (passage de la compensation à tension constante de 2,15 V à la décharge) les résultats de mesures faites sur un accumulateur stationnaire AFO à grande surface, du type I_{31} ($C_{10} = 108$ Ah) pour un état de charge 100%. Pour $t = 0$, comme nous avons vu plus haut, on a une droite; pour $t > 0$ les caractéristiques deviennent de plus en plus

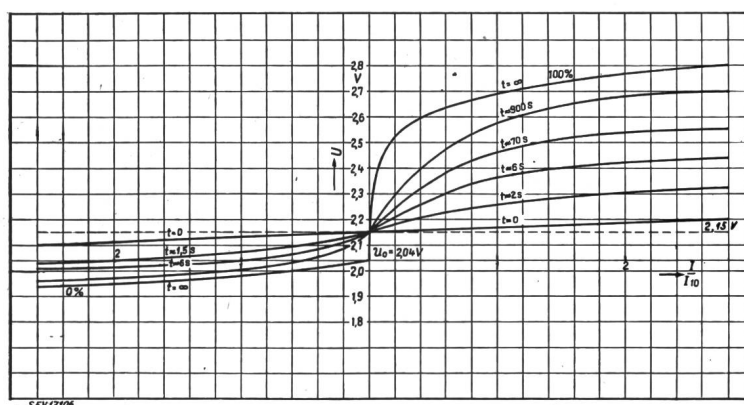


Fig. 5

Caractéristiques dynamiques
 de l'accumulateur au plomb
 (Courbes de principe)

Passage de la compensation à tension constante
 (2,15 V) à la charge et à la décharge; état initial
 de charge: 100 %

L'étude dynamique d'un accumulateur en charge sous la tension constante de 2,15 V, passant brusquement à la charge ou à la décharge, est très intéressante pour le fonctionnement en tampon avec une génératrice (cf. 33).

Les courbes de principe (fig. 5) représentent ces caractéristiques pour un temps variant de zéro à

courbes avec l'augmentation du courant et du temps (ceci spécialement pour le cas de la décharge).

Pour les temps inférieurs à 100 ms, on peut admettre que les caractéristiques de charge et de décharge sont identiques et rectilignes; et, avec une approximation plus grossière, mais suffisante pour la pratique, on peut supposer que de $t = 0$ à $t =$

100 ms, la variation ΔU de tension reste constante et égale à $1,3 R_i \Delta I$.

Servons-nous de cette approximation pour quelques considérations quantitatives: une batterie d'accumulateurs, formée de 24 éléments stationnaires en série, chargée à fond, est en marche de compensation à une tension constante de $24 \cdot 2,15 \text{ V} = 51,6 \text{ V}$, avec un courant de charge $I_L = 0,5\%$ de I_{10} .

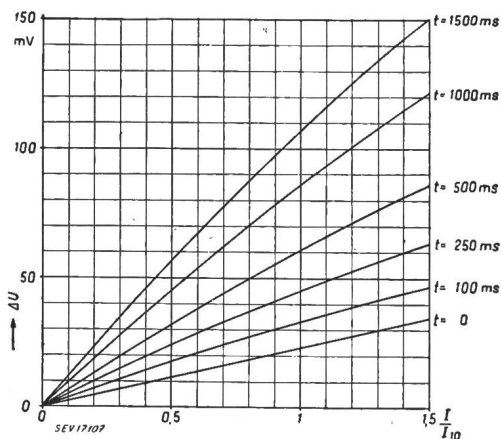


Fig. 6

Caractéristiques dynamiques d'un accumulateur au plomb ($t = 0 \dots 1,5 \text{ s}$)

Passage de la compensation à tension constante (2,15 V) à la charge (Essais sur un accumulateur stationnaire à grande surface AFO, Type J₃₁; $C_{10} = 108 \text{ Ah}$; état de charge 100 %)

Brusquement la batterie est déchargée par un courant $I_E \gg I_L$.

La variation de tension aux bornes de la batterie, de $t = 0$ à $t = 100 \text{ ms}$ est:

$$\Delta U \approx 1,3 \cdot 24 \cdot R_i \cdot \Delta I$$

En nous servant de la formule approchée citée plus loin (cf. 14) pour R_i , en négligeant la résistance des connexions entre les éléments et en observant que $\Delta I \approx I_E$ on a:

$$\Delta U \approx 1,3 \cdot 24 \cdot \frac{17}{I_{10}} \cdot I_E = 530 \frac{I_E}{I_{10}} \text{ en mV}$$

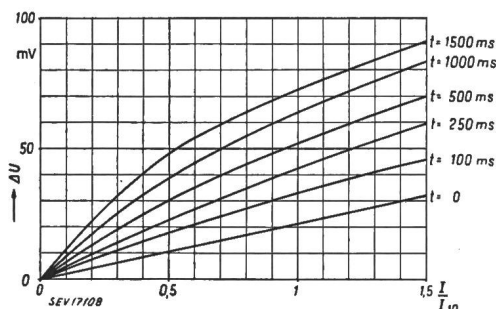


Fig. 7

Caractéristiques dynamiques de l'accumulateur au plomb ($t = 0 \dots 1,5 \text{ s}$)

Passage de la compensation à tension constante (2,15 V) à la décharge (Essais sur un accumulateur stationnaire à grande surface AFO, Type J₃₁; $C_{10} = 108 \text{ Ah}$; état de charge 100 %)

c'est-à-dire pour

$$\begin{aligned} I_E &= 0,2 \cdot I_{10} & \Delta U &\approx 106 \text{ mV} \approx 0,1 \text{ V} \\ I_E &= 1 \cdot I_{10} & \Delta U &\approx 530 \text{ mV} \approx 0,5 \text{ V} \\ I_E &= 2 \cdot I_{10} & \Delta U &\approx 1060 \text{ mV} \approx 1 \text{ V} \end{aligned}$$

La tension de la batterie reste donc pratiquement constante pendant les tout premiers moments et pour de petites variations de courant.

Jusqu'à présent on a traité le cas d'accumulateurs à un état de charge élevé (env. 100%); pour un état de charge moins élevé, le phénomène reste semblable, tout en accusant une chute de tension supérieure.

Examinons maintenant le cas de batteries fortement déchargées. Une batterie étant déchargée de 80...90% et mise en charge sous une tension de 2,15 V, si on la décharge brusquement, on aura une forte variation de tension pendant les premiers instants car la résistance intérieure est environ deux fois plus grande à ces états de décharge et le courant de charge est très élevé ($I > I_{10}$). Une batterie très déchargée, marchant en tampon, ne peut donc pas maintenir la tension à une valeur constante dans le cas de brusques variations du débit.

En conclusion, pour des variations de courant relativement petites par rapport à I_{10} , la caractéristique dynamique d'un accumulateur au plomb à un état de charge élevé, marchant en tampon ou en compensation à tension constante, est une droite à très faible pente pendant les tout premiers instants suivant la variation des constantes du circuit.

14. Accumulateur comme impédance

Par rapport aux courants alternatifs, l'accumulateur est un élément passif qu'on peut, pour l'étude des perturbations dues aux harmoniques de la génératrice, assimiler à une résistance et une réactance, en série.

Résistance: L'accumulateur a une résistance intérieure très faible, à peu près inversement proportionnelle à la surface des électrodes, donc particulièrement petite pour les accumulateurs stationnaires.

On peut calculer la résistance d'un accumulateur au plomb, chargé, à 15 °C environ, ayant une densité d'électrolyte moyenne, au moyen de la formule approchée suivante: ⁸⁾

$$R_i = \frac{1,8 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{I_{10}}{10}\right)^{1,5}} \Omega$$

La résistance est pratiquement indépendante de la fréquence [24]; elle dépend sensiblement de la température (pour une augmentation d'environ 33 °C, elle est réduite de moitié [3]), de l'état de charge (elle est double à accumulateur complètement déchargé [3]) et de la concentration de l'élec-

⁸⁾ On ne peut pas attendre de cette formule une grande approximation car il est impossible de tenir compte, au moyen d'une relation si simple, de variations de résistance causées par des détails constructifs (p. ex. épaisseur différente des plaques et des séparateurs, conductibilité et dimensions différentes des barres réunissant les plaques, etc.). Toutefois elle exprime d'une manière remarquable les résultats des mesures faites par les ACO et les données de l'AFO. En pratique on peut se servir aussi d'une autre formule, moins précise mais plus commode: $R_i = \frac{17 \cdot 10^{-3}}{I_{10}} \Omega$

trolyte (elle atteint un minimum pour une densité d'électrolyte de 1,224 à 1,240 [2]).

Réactance; La réactance est inductive car la réactance de capacité (supposée en série) est beaucoup plus petite, surtout pour les hautes fréquences [25] (capacité totale inversement proportionnelle à la fréquence et au nombre d'éléments de la batterie). L'inductance est formée en partie par l'inductance intérieure des accumulateurs mêmes, en partie par les connexions entre les éléments, entre les batteries, depuis les batteries jusqu'aux barres omnibus. L'inductance totale varie d'une installation à l'autre; d'après les mesures faites par les ACO⁹⁾ et en se basant sur la littérature [26], [27] on peut admettre qu'elle varie de 3 à 25 μH .

Impédance; Pour l'étude des harmoniques de la génératrice à courant continu, c'est-à-dire pour des tensions perturbatrices de fréquence égale ou supérieure à env. 400 Hz, la batterie peut être considérée comme une impédance formée d'une inductance concentrée de résistance négligeable.

2. Génératrices à courant continu

2.1. Généralités

Dans les centrales téléphoniques, la génératrice à courant continu doit fournir l'énergie requise par le réseau téléphonique et par les batteries, dans des conditions techniques déterminées, et, tout en garantissant une grande sécurité d'exploitation, contribuer à la rentabilité de l'installation.

Les qualités techniques exigées d'une génératrice de centrale téléphonique, particulièrement du point de vue de la marche en tampon, sont les suivantes:

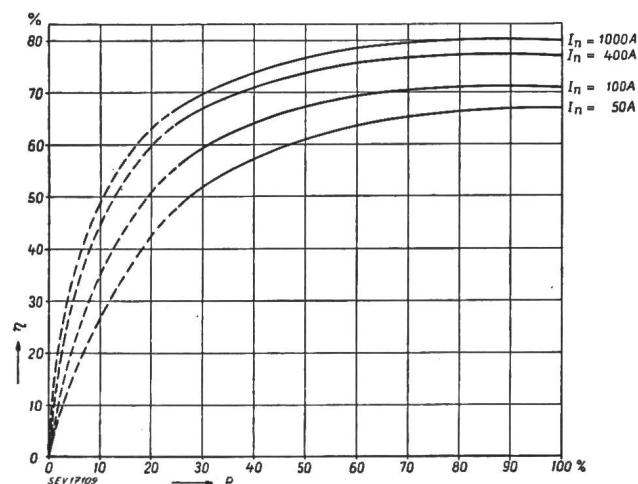


Fig. 8
Rendement des groupes convertisseurs téléphoniques ACO
en fonction de leur charge (50 V)
Mesure directe, machines à température de régime

a) Développer une puissance appropriée à l'installation pour pouvoir fournir le courant normal du réseau téléphonique et le courant de compensation des batteries; éventuellement être capable de recharger à fond les accumulateurs dans un délai de temps déterminé. Une machine dont la puissance n'est pas

⁹⁾ Ateliers de Construction Oerlikon, Zurich-Oerlikon.

appropriée travaille d'une manière anormale et peut présenter les défauts suivants: avec une puissance trop faible elle peut être surchargée (pas celles à shunt magnétique), avoir une mauvaise commutation, une tension psophométrique élevée (cf. 4); avec une puissance trop grande, elle travaille une grande partie du temps à charge réduite, c'est-à-dire à mauvais rendement (fig. 8), avec probabilité de formation d'une glaçure sur le collecteur accompagnée d'une chute de tension plus élevée et de vibrations aux balais.

Ainsi un choix judicieux de la puissance de la machine entraîne non seulement des avantages économiques, mais élimine aussi les défauts techniques.

Souvent, pour de grandes centrales téléphoniques, on subdivise la puissance totale entre plusieurs unités qui sont automatiquement enclenchées en parallèle au fur et à mesure que la demande d'énergie augmente; on évite ainsi la marche à faible rendement et on dispose de machines de réserve. Enfin, dans d'autres installations, on déclenche la machine pendant la nuit: la batterie, soit seule, soit en tampon avec un redresseur de petite puissance, fournit l'énergie pendant les heures de faible débit.

b) Maintenir la tension entre des limites adaptées à l'appareillage téléphonique (relais, microphones, etc.) afin d'avoir toujours un fonctionnement correct. Pour toute installation il y a une tension nominale, fixée avec une certaine tolérance, une tension maximum, déterminée par l'échauffement et la bonne conservation des contacts, et une tension minimum, en dessous de laquelle certains appareils ne peuvent plus fonctionner.

Ainsi, la génératrice doit normalement fournir le courant à la tension nominale, avec une tolérance déterminée; exceptionnellement et brièvement, elle doit le livrer à une tension proche du maximum ou du minimum.

c) Maintenir, dans le cas de marche en tampon, la tension dans des limites convenables pour obtenir la compensation des pertes des accumulateurs: c'est-à-dire, comme nous avons vu plus haut, de $z \cdot 2,05 \text{ V}$ à environ $z \cdot 2,3 \text{ V}$, où z est le nombre d'éléments en série.

d) Si la génératrice doit charger les batteries à fond, elle doit avoir une tension adaptée à la charge, c'est-à-dire $z \cdot 2,33 \text{ V}$ pour la charge d'égalisation et jusqu'à $z \cdot 2,6$ ou $z \cdot 2,7 \text{ V}$ si l'on désire charger les batteries avec une tension élevée par élément¹⁰⁾.

e) Être prompte et avoir une caractéristique dynamique appropriée.

f) Être construite de manière que les dérangements éventuels d'origine mécanique soient très improbables et que les perturbations acoustiques (vibrations, etc.) et électriques (ondulation de la tension, etc.) soient réduites au minimum.

¹⁰⁾ Avec 2,7 V on a pendant la dernière partie de la charge un bouillonnement très violent et une température élevée. Cette méthode de charge ne peut pas être conseillée si l'on désire une longue durée des accumulateurs (cf. aussi [18]). En suivant la loi des Ampèreheures (121) on a une tension maximum pendant la charge d'env. 2,45 V et la batterie est chargée à 90% en 2 h 20 min. (Woodbridge [1]).

g) Etre protégée contre des conditions anormales: surcharge, panne du secteur (dans cette éventualité on peut parfois avoir une inversion du sens de rotation de la génératrice — à excitation shunt ou composée, pas à shunt magnétique — fonctionnant en moteur alimenté par les batteries), etc.

22. Types de machines en service dans les centrales téléphoniques

Autrefois on se servait surtout de génératrices hypercompound qui donnaient une compensation de la chute de tension, au fur et à mesure que le courant du réseau augmentait. Actuellement on pré-

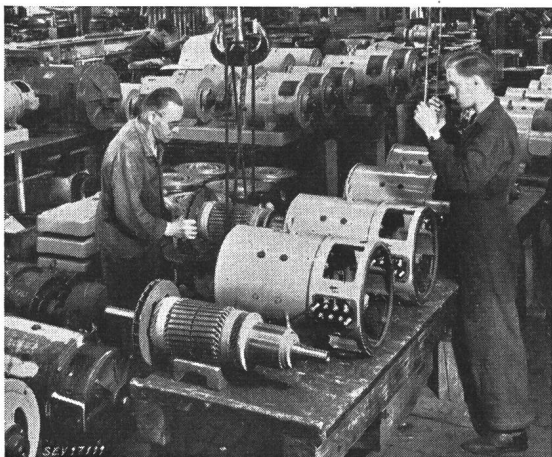


Fig. 9
Groupes convertisseurs téléphoniques ACO
Montage

fère des machines à excitation shunt (ou avec léger compoundage) avec régulateur, ou des machines spéciales sans régulateur.

Les Ateliers de Construction Oerlikon construisent ces machines depuis de longues années; ils possèdent une grande expérience dans la fourniture de maté-

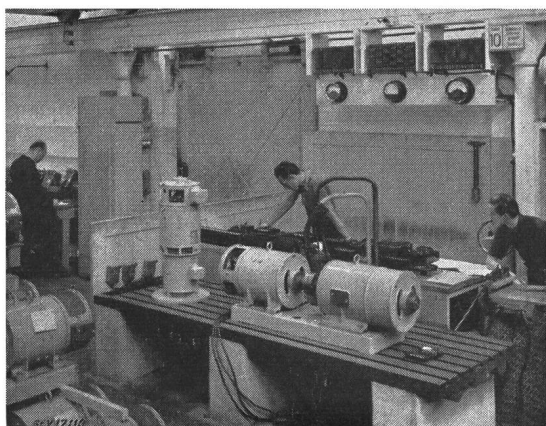


Fig. 10
Groupes convertisseurs téléphoniques ACO
Salle d'essais

riel pour les bureaux de téléphonie. Les fig. 9 et 10 représentent des génératrices ACO.

221. Machine à excitation shunt. A part quelques détails de construction (cf. 21f), c'est une généra-

trice normale à excitation en dérivation. Elle présente, en général, une chute de tension, de la marche à vide à la pleine charge, de 10...20%, avec parfois un léger compoundage dû au décalage des balais. Pour maintenir la tension dans les limites voulues, il faut donc recourir à un régulateur automatique.

Si la demande de courant est supérieure au courant nominal, et bien que la machine soit en parallèle avec une batterie, la génératrice est surchargée (pratiquement on a le déclenchement de l'interrupteur) à moins que l'on ait prévu un appareillage spécial.

Pour diminuer la chute de tension sous charge et diminuer ainsi la puissance requise du régulateur, on se sert aussi de machines à excitation composée. Le compoundage doit être très léger pour éviter l'instabilité dans la marche en tampon, inconvénient des machines à caractéristique statique avec pente $\left(\frac{\Delta U}{\Delta I}\right)$ positive (voir 33). Les machines à excitation composée présentent aussi le danger d'inversion du sens de rotation en cas de fonctionnement en moteur (cf. 21g).

222. Machines spéciales. Les machines dites «spéciales» ont ceci de particulier qu'elles ont été conçues en vue du service spécial qu'elles doivent remplir; elles ont ainsi des propriétés mieux adaptées aux exigences des installations téléphoniques. Leur premier avantage est celui d'une caractéristique en charge permettant un fonctionnement de qualité, sans régulateur.

La plus connue et la plus répandue de ces machines est la génératrice à shunt magnétique. C'est une machine à courant continu à excitation shunt pourvue d'un shunt ou pont magnétique, reliant le pôle principal (excité en dérivation) au pôle de commutation homonyme (excité en série) (fig. 11).

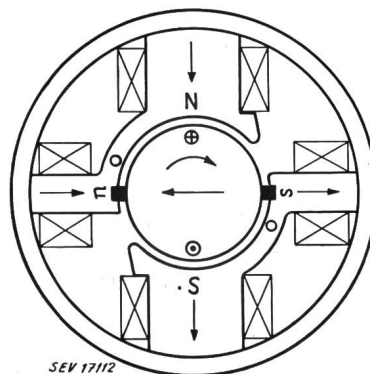


Fig. 11
Génératrice
à shunt
magnétique
Coupe
schématique

Ce pont donne à la génératrice un fonctionnement particulier. Le flux principal se divise en flux utile qui passe dans l'induit, et en flux de dispersion qui passe à travers le pont et le pôle de commutation. En charge, au fur et à mesure que le courant augmente, le flux de dispersion diminue jusqu'à devenir nul pour le courant I_1 , pour lequel les ampèretours en dérivation compensent les ampèretours en série; enfin, pour un courant supérieur, le flux de dispersion devient négatif. Ainsi, de la marche à vide jusqu'à I_1 , le flux utile augmente, créant une f.e.m. qui compense la réaction d'induit et la chute

de tension (on a une caractéristique en charge à faible pente); pour des courants supérieurs à I_1 , l'effet du pont est négatif et s'ajoute aux autres causes qui tendent à abaisser la tension (la caractéristique en charge descend rapidement).

A la fig. 12, la courbe a, a' est la caractéristique statique d'une génératrice ACO à shunt magnétique. La pente moyenne, de la marche à vide à la pleine charge, est de 4...8%, et toujours négative (cf. 33) (on varie la pente en décalant plus ou moins les balais de la zone neutre).

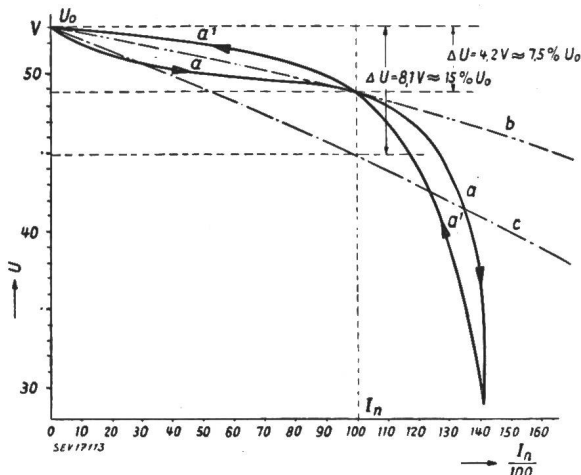


Fig. 12

Caractéristiques statiques de génératrices à courant continu

- a, a' génératrice à shunt magnétique
- b génératrice à excitation shunt et faible compoundage
- c génératrice à excitation shunt

Cette machine a des caractéristiques très bien adaptées à la marche en tampon avec batterie. En effet:

a) Elle a une chute de tension faible et réglable (à la plateforme d'essais et éventuellement en service), de vide à pleine charge et elle maintient ainsi la tension dans les limites voulues, sans régulateur.

b) Elle ne peut pas être surchargée car la tension descend brusquement pour $I \geq 1,2...1,3 I_n$. Ceci est un avantage pour la génératrice et aussi pour le moteur d'entraînement (surtout pour le cas du moteur Diesel).

c) Avec une mise au point soignée, la caractéristique ne présente aucune partie à pente positive (selles); elle a donc un comportement stable, en parallèle avec une batterie (cf. 33).

d) L'allure de la caractéristique en charge est adaptée à la charge des accumulateurs car le courant diminue automatiquement au fur et à mesure que la f.e.m. de la batterie augmente. (En agissant sur l'excitation, on peut obtenir la tension de charge que l'on désire.) Elle est spécialement adaptée à la charge à faible tension (cf. les résultats obtenus avec des génératrices ACO par la maison Hasler A.-G. de Berne [18]).

e) Elle a une grande rapidité de réponse.

f) A la différence des machines à excitation shunt, la caractéristique «de vide à pleine charge» est en dessous de celle «de pleine charge à vide»; ainsi, après une décharge, la tension atteint une valeur

supérieure, ce qui permet de compenser la perte de charge des accumulateurs.

g) Lorsqu'elle marche en moteur, la génératrice a le même sens de rotation car, à cause de la saturation élevée dans le pont, un renversement de polarité est impossible. Ainsi, en cas de panne du secteur, la machine continue à fonctionner sans inconvénient pendant les brefs instants entre l'interruption du réseau et le déclenchement de la machine.

L'unique inconvénient, commun d'ailleurs à toutes les machines dépendant d'un réseau alternatif, c'est que son fonctionnement est influencé par les variations de tension et de fréquence du réseau alimentant le moteur d'entraînement. Pour les grands réseaux, ces variations sont normalement maintenues entre des limites assez étroites et ne peuvent pratiquement pas influencer la tension continue. Par contre, comme il s'est vérifié dans certains pays, immédiatement après la guerre, si ces variations sont relativement grandes, il est nécessaire d'avoir une régulation continue et très soignée de la tension de la génératrice.

223. *Caractéristiques statiques et dynamiques.* Les caractéristiques statiques des machines à excitation shunt ou composée, sont bien connues; nous nous contenterons de reporter à la fig. 12 leurs caractéristiques en charge à côté de celle de la machine à shunt magnétique, pour permettre de comparer l'allure des courbes de ces différentes machines.

Les caractéristiques dynamiques bien que moins connues, présentent aussi un grand intérêt. Nous en dirons quelques mots en nous référant de manière particulière à la génératrice à pont magnétique.

Le passage de la machine, d'un état de régime à un autre, est un phénomène transitoire que l'on peut diviser en deux parties: pendant la première, de courte durée, la tension suit une courbe exponentielle, à constante de temps très petite (p. ex. de l'ordre de grandeur des ms); la machine passe de la condition initiale à une condition momentanée, assez voisine mais distincte de la condition finale. Pendant la seconde partie, de durée relativement plus longue, la tension suit aussi une courbe exponentielle mais à constante de temps plus longue (p. ex. de l'ordre de grandeur de la seconde); la machine atteint la condition finale. Nous appelons caractéristique dynamique la droite qui unit le point qui définit les conditions initiales au point qui définit la condition momentanée. Par exemple (fig. 13), la génératrice est dans la condition de service définie par le point A; brusquement, la résistance extérieure est portée à une valeur telle qu'en régime permanent la machine serait dans les conditions définies par le point B. On passe, en un temps très court, de A à B₁, pour aller ensuite très lentement (relativement à la première période) de B₁ à B. La droite A B₁ est la caractéristique dynamique.

Si une machine à courant continu a une caractéristique statique à pente $\left(\frac{\Delta U}{\Delta I}\right)$ négative, la caractéristique dynamique a aussi une pente négative en passant d'une charge inférieure à une charge supérieure ou vice versa (dans ce second cas la pente

peut être nulle). Par contre, si la caractéristique statique a une pente positive, dans tout son parcours ou dans quelqu'une de ses parties (selle), la caractéristique dynamique aura aussi une pente positive.

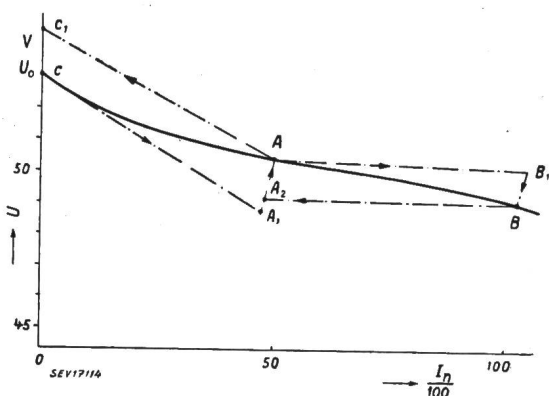


Fig. 13
Caractéristique dynamique d'une génératrice à shunt magnétique (courbe de principe)

3. Marche en tampon

31. Généralités

Comme on l'a vu dans ce qui précède, les fonctions que la source d'énergie, quelle qu'elle soit, doit remplir dans un bureau de téléphonie sont:

- assurer la continuité de service et la sécurité d'exploitation en toute circonstance;
- réduire à un minimum les perturbations éventuelles;
- livrer l'énergie avec promptitude et élasticité sous une tension variable entre des limites fixées;
- contribuer à réduire au minimum les dépenses d'installation et d'entretien, tout en respectant avant tout les exigences a), b), c).

La solution normale est la marche en tampon; exceptionnellement, on se sert du système des deux batteries ou de la marche en direct.

32. Fonctionnement statique

La marche en tampon est une marche en parallèle d'une machine à courant continu et d'une batterie d'accumulateurs avec des conditions de service bien déterminées, dont la plus importante est que la batterie doit être normalement inactive, sauf à recevoir une charge de compensation; elle ne doit être qu'exceptionnellement en décharge.

On en verra le fonctionnement dans ce qui suit, en se basant sur les éléments rappelés aux pages précédentes; on supposera, comme machine, une génératrice à shunt magnétique, en se servant de quelques données quantitatives qui font mieux ressortir les phénomènes.

Le schéma de principe d'une installation avec marche en tampon est donné à la fig. 14: la génératrice à shunt magnétique G , fournit le courant I_G ; en parallèle, la batterie d'accumulateurs B , parcourue par le courant I_B , et le réseau téléphonique N , dans lequel passe le courant I_N . La génératrice a une caractéristique en charge à faible pente qui descend, par exemple, de 2,2 V par élé-

ment à vide jusqu'à 2,04 V pour le courant nominal I_n ; pour un courant supérieur, la tension tombe brusquement. Supposons que la batterie ait une capacité de $10 \cdot I_n$ Ah, c'est-à-dire $I_{10} = I_n$ (si I_{10} est différent de I_n , le fonctionnement de la marche en tampon reste identique en principe, pourvu que la batterie n'ait pas une capacité trop petite).

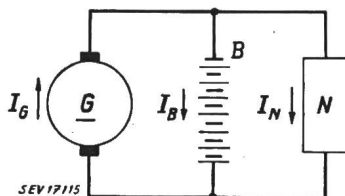


Fig. 14
Installation téléphonique avec marche en tampon (schéma de principe)

Superposons la caractéristique de la génératrice à celle de l'accumulateur (fig. 15, où on a pris comme ordonnée, la tension par élément et comme abscisse, le courant par rapport à $I_n = I_{10}$; comme caractéristiques, des courbes idéales). Etudions le fonctionnement statique.

Tant que la tension par élément est plus grande que U_{0B} (tension à vide d'un élément), la génératrice fournit le courant $I_G = I_N + I_B$, qui sert à donner le courant utile du réseau téléphonique (I_N) plus celui de compensation pour la batterie (I_B). Ainsi, la génératrice donne l'énergie demandée par le réseau, tandis que la batterie reste à un état de

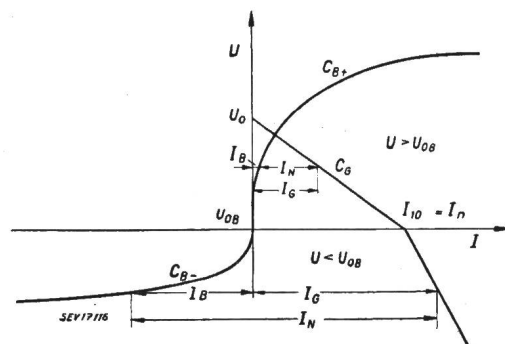


Fig. 15
Caractéristique statique d'une génératrice à shunt magnétique marchant en tampon avec une batterie d'accumulateurs (courbe de principe)
 C_G — caractéristique de la génératrice
 $C_B +$, $C_B -$ — caractéristique de la batterie

charge élevé. Par contre, quand la tension par élément est inférieure à U_{0B} , la génératrice donne un courant (I_G) peu supérieur à son courant nominal, lequel s'ajoute au courant de la batterie (I_B) pour donner le courant du réseau (I_N) suivant la relation $I_N = I_G + I_B$. La batterie est maintenant en décharge.

La sécurité et la continuité d'exploitation sont assurées. Dans le cas exceptionnel de défaillance de la génératrice, la batterie entre en action; la machine reste quelques instants encore enclenchée comme moteur, avec le même sens de rotation que précédemment, sans inconvénient. La tension diminue, mais sans rejoindre immédiatement la tension minimum prescrite qui est en général $z \cdot 1,85$ V. Dans d'autres installations, on ajoute en série un élément ou deux et on ramène ainsi la tension à un niveau plus élevé.

Dans la zone de service normal, la tension a une faible pente, p. ex., dans notre cas, 7% de vide à pleine charge. Elle convient donc à l'appareillage et peut, en même temps, envoyer un courant de compensation dans la batterie qui reste à un état de charge élevé.

Le courant est fourni avec une grande souplesse; tout en maintenant la tension dans les limites fixées, la machine fournit le courant qui est très variable.

Si le réseau demande un débit supérieur au courant nominal de la génératrice, l'ensemble machine-batterie peut le fournir aisément. C'est là un avantage très important de la génératrice à shunt magnétique marchant en tampon: automatiquement, sans appareillage spécial, lorsque le courant du réseau téléphonique augmente et dépasse le courant nominal, la tension s'abaisse et la batterie entre ainsi en action; elle donne une partie du courant nécessaire tandis que la machine garde un fonctionnement normal, le courant qu'elle fournit dépassant seulement un peu le courant nominal.

Lorsque la charge diminue, la tension revient à une valeur plus élevée que celle qu'elle avait auparavant, permettant ainsi de charger plus fortement la batterie lorsque la charge diminue.

En pratique, comme déjà dit plus haut, il ne suffit pas de régler la tension une fois pour toutes. Il faut adapter la machine au débit de manière à avoir comme tension moyenne dans le temps, une tension qui permette la compensation des pertes. Le débit, dans une centrale téléphonique varie d'heure en heure, de jour en jour, de mois en mois. Par des essais successifs moyennant de petits changements de tension, on peut trouver la tension moyenne de compensation [14].

De plus, si par mégarde ou par suite d'un débit exceptionnel, la batterie est partiellement déchargée, on peut la recharger pendant les heures de faible débit (p. ex. pendant la nuit) en augmentant la tension jusqu'à une valeur maximum admissible (cf. 21b). Ainsi, sans interrompre le service, sans entretien spécial, sans détacher les batteries du réseau et sans inconvénient pour l'appareillage qui ne fonctionne que rarement pendant ces heures-là et seulement à intervalles, on peut ramener rapidement la batterie à un état de charge élevé.

Il est bon de contrôler aussi de temps en temps, la pente de la caractéristique en charge de la machine, en mesurant la tension à vide, la tension et le courant pour une ou deux charges. En effet, à cause de la formation d'une patine sur le collecteur ou par suite d'un changement éventuel du décalage réel des balais, phénomène dû à un meilleur rodage des balais¹¹⁾, la pente de la caractéristique peut augmenter ou diminuer. Dans le cas d'une variation sensible, on décale légèrement et délicatement les balais et on ramène la caractéristique à la pente désirée. Il est, en général, nécessaire d'effectuer

¹¹⁾ Le rodage parfait des balais est une opération très longue qui peut nécessiter des semaines et des mois. Un rodage, même exceptionnellement soigné, à la plateforme d'essais, est insuffisant pour adapter parfaitement la surface du balais à celle du collecteur.

cette opération une fois pendant les premiers mois de fonctionnement; la machine peut ensuite marcher des années sans retouche.

33. Fonctionnement dynamique

Les variations brusques de l'intensité absorbée par le réseau téléphonique ne dépassent pas pour la plupart $0,1...0,2 I_n$, dans une centrale bien proportionnée (cf. 34).

Supposons une batterie d'une capacité d'au moins $10 \cdot I_n \text{ Ah}$, les variations de courant du réseau sont petites, même par rapport au courant I_{10} . Sur cette base et à l'aide des caractéristiques dynamiques, celle de l'accumulateur qui est une droite peu inclinée (cf. 132) et celle de la machine à shunt magnétique, une droite aussi, mais plus inclinée, on peut étudier le fonctionnement de l'installation pour de brusques variations de charge. Nous référant à la fig. 16 où sont reportées les deux caractéristiques à une échelle très agrandie, supposons

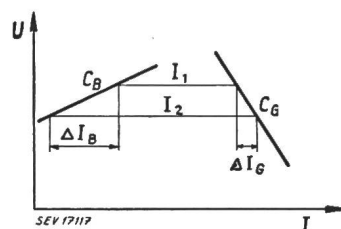


Fig. 16
Caractéristique dynamique d'une génératrice à shunt magnétique marchant en tampon avec une batterie d'accumulateurs
(courbe de principe; échelle de la tension agrandie)
 C_B caractéristique de la génératrice
 C_G caractéristique de la batterie

que le courant du réseau passe de I_1 à $I_2 > I_1$. Le courant se divise selon les courbes dynamiques des deux générateurs; ainsi la batterie, à caractéristique moins inclinée, livre plus de courant que la génératrice pendant les premiers instants, en maintenant la tension pratiquement constante. Le phénomène transitoire continue de telle manière que par degrés, on retourne au fonctionnement statique: la batterie livre toujours moins de courant, la génératrice en livre de plus en plus jusqu'à ce que, en régime, la batterie soit de nouveau en charge de compensation et la machine donne le courant I_2 du réseau plus celui de compensation de la batterie. La tension est passée sans brusques variations, de la tension initiale à la tension finale.

En passant d'un courant supérieur à un courant inférieur, le phénomène est analogue: la batterie maintient la tension constante et fournit du courant pendant les premiers instants. La raison pour laquelle on évite absolument d'avoir une caractéristique statique à pente positive, même dans une partie seulement de son parcours (selles) apparaît maintenant clairement. Comme on l'a rappelé en 223, une caractéristique statique à pente positive entraîne aussi une pente positive de la caractéristique dynamique et un fonctionnement instable dans la marche en parallèle avec une batterie. En effet, si par hasard les deux caractéristiques étaient parallèles, le courant (fig. 16) pourrait devenir théoriquement infini et pratiquement très grand, jusqu'à faire déclencher l'interrupteur.

Pour éviter ce fonctionnement, on donne à la caractéristique statique de la machine, au plancher d'essais, une pente moyenne négative, de $6...8\%$.

De cette manière, même si la pente venait à diminuer (cf. 32), il est très improbable qu'elle ne devienne jamais positive.

34. Mesures — Centrale téléphonique de Zurich-Oerlikon

En conclusion, rapportons, à titre d'exemple du fonctionnement de la marche en tampon, un extrait des mesures faites dans une centrale téléphonique. Le bureau de téléphonie de Zurich-Oerlikon possède une génératrice à shunt magnétique, de fabrication ACO donnant 65 A sous 50 V et une batterie d'accumulateurs à grande surface, de fabrication AFO, de 2×24 éléments ($I_{10} = 144$ A).

Les essais ont été faits lors d'une marche en tampon avec 23 éléments en série. On a relevé la tension aux barres omnibus, le courant de la génératrice et celui du réseau à l'aide d'un instrument enregistreur Siemens-Halske, qui enregistrerait les valeurs toutes les deux minutes.

Une partie du diagramme se rapportant à une journée entière est reportée à la fig. 17. On peut suivre et comprendre aisément le fonctionnement: en haut la tension aux barres omnibus, variant de 47 V à 51 V, c'est-à-dire de 2,04 à 2,22 V par élément, soit d'environ 8% (en tenant compte de la tension à vide de 2,26 V on aurait une variation de

peu de débit, elle absorbait un courant de charge qui compensait les pertes, comme les mesures de densité de l'électrolyte l'ont aussi démontré.

35. Marche en tampon avec génératrice à excitation shunt et régulateur de tension — Marche en direct

La marche en tampon d'une génératrice à excitation shunt munie d'un régulateur de tension diffère très peu du cas traité dans le paragraphe précédent. La possibilité d'une surcharge, la pente plus forte de la caractéristique dynamique (et ainsi l'oscillation plus grande de tension en cas de variation brusque de la charge), la constante de temps plus longue de l'ensemble machine-régulateur, en sont les désavantages. L'indépendance de la tension continue par rapport au réseau alternatif est l'avantage essentiel de la génératrice à excitation shunt sur la génératrice à pont magnétique. Si la machine a un léger compoundage (pente toujours négative, c'est-à-dire marche stable) la puissance exigée du régulateur et son prix diminuent; la pente de la caractéristique dynamique est moins prononcée et la constante de temps est plus grande.

Si d'autre part, on renonce aux avantages de la batterie, à cause de son prix d'achat, de son encombrement, de son entretien, etc. on arrive à la marche en direct¹²⁾. A cause de la diminution sen-

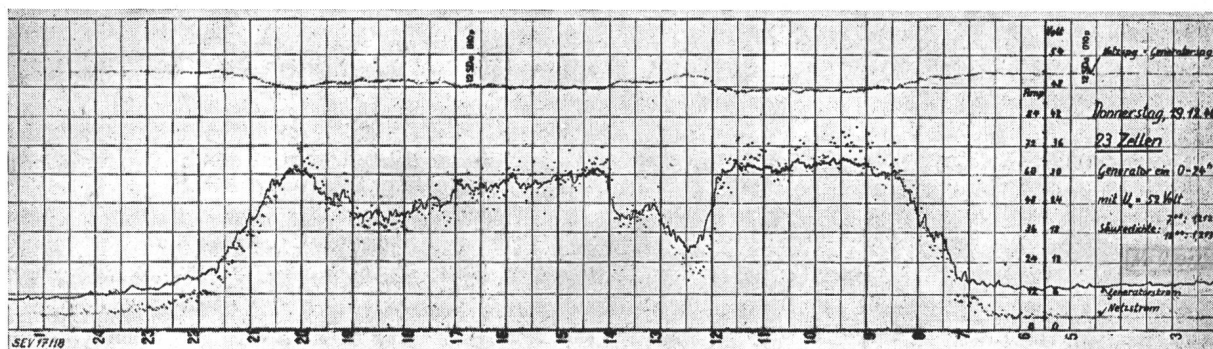


Fig. 17
Marche en tampon
Centrale téléphonique de Zurich-Oerlikon

10% de vide à pleine charge); plus bas, sous forme de points, le courant du réseau qui subit des variations brusques et relativement grandes, restant toutefois dans les limites d'environ $0,2 \cdot I_{10}$ sans donner de brusques variations de tension. Le courant de la génératrice (ligne continue dans le bas du diagramme) varie moins brusquement; il est tantôt plus grand, tantôt plus petit que le courant du réseau. Le courant de la batterie est la différence des deux courants mesurés:

si $I_N - I_G > 0$ la batterie est en décharge, par contre

si $I_G - I_N > 0$ la batterie est en charge.

Le fonctionnement a été parfait et sans défaut: la tension est restée dans des limites admissibles, la batterie, dans l'ensemble, ne s'est pas déchargée sensiblement car pendant la nuit et les heures de

sible de la sécurité et de la continuité d'exploitation et en raison de ses qualités techniques inférieures (mauvais fonctionnement dynamique et variations plus fortes de tension, tension psophométrique¹³⁾ plus élevée), ce système n'est utilisé que pour des centrales téléphoniques moins importantes [12].

¹²⁾ Dans la marche en direct, le régulateur de tension doit être très rapide à cause de l'absence de batterie. Par contre, dans la marche en tampon, on peut se servir de régulateurs lents, c'est-à-dire moins chers.

¹³⁾ La tension psophométrique correspond à la tension de fréquence 800 Hz qui, substituée aux tensions parasites (dans notre cas: harmoniques de tension de la machine), apporterait le même trouble à la conversation téléphonique.

Le facteur de forme téléphonique est le rapport des valeurs de la tension psophométrique et de la tension continue.

Le facteur de forme téléphonique-CCIF 1946, est un facteur de forme téléphonique basé sur le tableau des poids attribués aux différentes fréquences, tableau établi lors de la session de Montreux (1946) du Comité Consultatif International pour la Téléphonie.

4. Ondulation de la tension des génératrices à courant continu

Aux perturbations du réseau téléphonique s'ajoutent encore les harmoniques de la génératrice à courant continu.

Ces harmoniques ont diverses causes: nombre fini de conducteurs de l'induit, d'encoches et de lames du collecteur, asymétries magnétiques et mécaniques, vibrations des balais, etc. . .

Les ACO ont voué depuis longtemps leurs efforts à la construction de machines téléphoniques à facteur de forme téléphonique réduit¹³⁾: études, calculs, mesures et construction soignée ont eu comme résultat que les machines actuelles possèdent, à vide et à pleine charge, pour 50 V, un facteur de forme téléphonique-CCIF 1946 inférieur à 1% (machines sans filtres).

Facteur de forme téléphonique-CCIF 1946 de machines téléphoniques (tension de service 50 V)

Tableau I

Type de génératrice	Courant nominal A	Nombre de tours à vide t/min	Facteur de forme téléphonique (%)	
			à vide	à pleine charge
Gén. à shunt magnétique	100	1500	0,42	0,40
Gén. à shunt magnétique	180	1500	0,33	0,28
Gén. à excitation shunt	200	1500	0,06	0,20
Gén. à shunt magnétique	400	1500	0,32	0,33
Gén. à excitation shunt	1000	1500	0,05	0,15

Ce n'est pas tout d'avoir des machines à faible ondulation de tension; la valeur de la tension perturbatrice aux bornes d'entrée du réseau téléphonique dépend aussi des constantes des circuits de la centrale téléphonique. En effet, la tension d'une harmonique de fréquence f , à l'entrée du réseau téléphonique, est donnée en première et grossière approximation, pour des machines ayant 1500 t/min à vide, et marchant en tampon avec une batterie à 50 V par:

$$U_{Nf} \approx U_{0f} \cdot (KPL_B)$$

où U_{Nf} est la tension (valeur efficace) de l'harmonique de fréquence f , mesurée aux bornes du réseau téléphonique

U_{0f} est la tension à vide (valeur efficace) de l'harmonique de fréquence f , mesurée aux bornes de la machine

P puissance nominale de la génératrice en kW
 L_B inductance de la batterie en mH (pratiquement indépendante de la fréquence)

K constante valant approximativement 0,4 en $\frac{1}{\text{kW}} \frac{1}{\text{mH}}$

Le constructeur doit donc réduire l'amplitude des harmoniques de la machine, c'est-à-dire U_0 ; le constructeur des batteries et celui de l'installation téléphonique le rapport $\frac{U_N}{U_0}$, c'est-à-dire L_B (batterie à faible inductance, batteries en parallèle, connexions courtes entre batteries et bornes du réseau, etc.).

Toutefois la tension psophométrique aux bornes d'entrée du réseau téléphonique peut atteindre une valeur supérieure à celle fixée par les administrations téléphoniques. Il est alors nécessaire de réduire les ondulations de la tension au moyen de filtres: inductances en série avec la machine, condensateurs électrolytiques en parallèle avec la batterie, filtres passe-bas dans les circuits des abonnés.

Dans les installations avec marche en tampon à 50 V, les machines téléphoniques ACO de puissance jusqu'à environ 20 kW ne donnent normalement pas de perturbations supérieures à celles fixées par la CCIF et par les PTT suisses. Pour des machines de puissance supérieure, il devient nécessaire de se servir de filtres (condensateurs électrolytiques de 5000...20 000 μF) ramenant la tension perturbatrice au niveau désiré.

Bibliographie

- [1] Woodbridge, J. L.: Storage Battery Charging. Electr. Engr. t. 54(1935), p. 516.
- [2] Woodbridge, J. L.: Lead-acid Storage Batteries. Dans: Pender-Del Mar: Electrical Engineers' Handbook. New York, Wiley, 1935.
- [3] Woodbridge, J. L.: Lead Storage Batteries. Dans: A. E. Knowlton: Standard Handbook for Electrical Engineers. New York, McGraw-Hill, 1949.
- [4] Accumulatorenfabrik Oerlikon: Liste über die stationären Bleiaccumulatoren. Zürich-Oerlikon.
- [5] Landolt-Börnstein-Roth: Physikalisch-Chemische Tabellen. Berlin, Springer, 1912.
- [6] Elliot, T. C.: Electric Accumulator Manual. London, Newness, 1948.
- [7] McKinnon, E. C.: Storage Batteries: A Review of their Application. J. Instn. Electr. Engr. t. 87(1940), n° 25, p. 225...242.
- [8] Tottoli, G. B.: Elektrobatterien. Schweiz. Brauerei Rdsch. (1942), n° 9.
- [9] Lippe, W.: Selbsttätige Stark- und Dauerladung von Betätigungs- oder Nachtlichtbatterien. AEG Mitt. (1944), n° 1/6, p. 13...16.
- [10] Accumulatorenfabrik Oerlikon: Ergänzungen zu den Bedienungs-Vorschriften für unsere Accumulatoren-Batterien. Zürich-Oerlikon.
- [11] Grau, H.: Die Stromversorgung von Fernsprech-Wählanlagen. München, Oldenbourg, 1940.
- [12] Stange, B.: Puffer- oder Netzanschlussbetrieb in Fernmeldeanlagen? Elektrotechn. Z. t. 64(1943), n° 25/26, p. 341...344; n° 27/28, p. 372...377.
- [13] Dye, F. W. G.: Recent Developments in Telephone Repeater Station Power Plant. P. O. Electr. Engr. J. t. 23 (1935), p. 125.
- [14] Freed, I. F.: Storage Battery Charging and Full-Floating Operation. Electr. Wld. t. 125(1946), n° 7, p. 92; n° 9, p. 70.
- [15] Zinngele, E.: Le contrôle des batteries du téléphone au moyen de relais de tension à bascule Type I Beu. Techn. Mitt. PTT t. 25(1947), n° 4, p. 149...154.
- [16] Holland, W. A.: Adequate Control Voltage from Storage Batteries. Electr. Wld. t. 127(1947), n° 13, p. 48...50.
- [17] Engel, H.: Zur Frage der Schwebeladung. Techn. Mitt. PTT t. 25(1947), n° 2, p. 60...63.
- [18] Oberholzer, M.: Stromlieferungsanlagen für automatische Telephonzentralen. Hasler Mitt. t. 8(1949), n° 1, p. 1.
- [19] Westinghouse: Le redresseur Westat à tension constante. Notice No. 221-Sect. F. Paris, Compagnie des Freins et Signaux Westinghouse.
- [20] Anderführen, A.: Betriebserfahrungen mit Blei-Batterien bei Schwebeladung. Techn. Mitt. PTT t. 19(1941), n° 4, p. 146.

- [21] Loog, C.: Vom Puffern mit einer Batterie. *Telegr. & Fernspr. Techn.* (1934), p. 122.
- [22] Genin, G.: Influence des basses températures sur le fonctionnement des accumulateurs électriques. *Rev. gén. Electr.* t. 37 (1935), n° 23, p. 728...737.
- [23] *Accumulatorenfabrik Oerlikon*: Die Wirkungsweise der elektrischen Bleiaccumulatoren. Zürich-Oerlikon.
- [24] Genin, G.: La résistance intérieure des accumulateurs et sa mesure. *Rev. gén. Electr.* t. 56 (1947), n° 4, p. 159...167.
- [25] Müller, W.: Die Kondensatorwirkung des Bleiaccumulators bei Wechselstrom. Diss. Hannover 1933.
- [26] Harbottle, H. R.: The Circuit Noise-Meter (Psophometer) and its application. *J. Instn. Electr. Engr.* t. 83 (1938), n° 500, p. 261...274.
- [27] Davey, F. R.: Current power Plant Practice in Autom. *Teleph. Exchanges. P. O. Electr. Engr.* J. t. 33 (1940), p. 12.

Adresse de l'auteur:

Dr.-Ing. F. Jalla, Bahnhaldenstrasse 4, Zürich 52.

Ölstrahlschalter zur Verminderung der Kurzschluss-Schäden und der Betriebsstörungen bei elektrischen Wechselstrom-Bahnen

Von H. Ehrensperger, Aarau

621.316.57.064.25

Die Konstruktion der Löscheinrichtung und die Wirkungsweise des ölarmen Schalters für das Fahrleitungsnetz der Schweizerischen Bundesbahnen (1 ~, 16 % Hz, 16 kV) werden beschrieben. Die Versuchsergebnisse im Kurzschlusshaus und im Netz (Eitzelwerk Altendorf und Unterwerk Seebach) und die Betriebserfahrungen ergaben volle Bewährung dieser Schalter.

L'auteur décrit la construction du dispositif de soufflage et le fonctionnement des disjoncteurs à faible volume d'huile des lignes de contact des Chemins de Fer Fédéraux suisses (monophasé 16 % Hz, 16 kV). Les résultats des essais en laboratoire et dans le réseau (usine de l'Eitzel à Altendorf et sous-station de Seebach), ainsi que les expériences pratiques, ont prouvé l'excellent fonctionnement de ces disjoncteurs.

Das Fahrleitungsnetz elektrischer Bahnen wird erfahrungsgemäss recht häufig von Störungen betroffen, welche von Kurzschlüssen begleitet sind. Urheber solcher Störungen sind Vögel, auch Ratten oder Mäuse, welche Überschläge einleiten können, wenn sie zwischen spannungsführende und an Erde liegende Teile der Fahrleitungsanlagen geraten oder auf Isolatoren herumklettern. Störungen, durch Blitzschläge in das Fahrleitungsnetz, mechanische Beschädigungen der Fahrleitungsanlagen, das Einfahren von Lokomotiven in geerdete Netzteile, Schaltfehler, Durchschlagen der Isolation verstaubter oder verrusster Isolatoren usw. rufen unter Umständen ebenfalls Kurzschlüsse hervor.

Gelingt es nicht, diese Kurzschlußströme rechtzeitig abzuschalten, so entstehen meistens bedeutende Schäden infolge der Auswirkungen von Lichtbögen und der durch Kurzschlußströme hervorgerufenen Erwärmungen und Kraftwirkungen: Isolatoren schmelzen, Fahrdrähte werden ausgeglüht, Beschädigungen von Lokomotiven treten auf, Stromabnehmerschleifstücke verbrennen und reißen oft ganze Fahrleitungsteile nieder. In der Folge kann der Bahnbetrieb schwerwiegende Unterbrechungen erleiden.

Zur Verminderung solcher unliebsamer Situationen können die Ursachen der Störungen, welche zu Kurzschlüssen führen, bekämpft, oder die Auswirkungen der Kurzschlußströme durch deren schnelle Abschaltung herabgesetzt werden.

Diese Tatsachen, sowie das stete Anwachsen der Kurzschlussleistungen veranlassten die Schweizerischen Bundesbahnen, ihre bisherigen Fahrleitungs-speisepunktschalter des klassischen Typs durch neue, diesen Gesichtspunkten entsprechende Schalter zu ersetzen.

Es soll ein solcher Schalter kurz beschrieben und auf Abschaltversuche im Netz und auf Betriebserfahrungen hingewiesen werden.

1. Die Wahl des Schalters

Da sich der Ölstrahlschalter in den bei 50 Hz betriebenen Netzen unserer Elektrizitätswerke allgemein eingeführt und gut bewährt hatte, war es naheliegend, auch die neuen, für das 16²/₃-Hz-Netz der Schweizerischen Bundesbahnen bestimmten Schalter als Ölstrahlschalter üblicher Konstruktion auszuführen. Die Anforderungen jedoch, welche an die sog. Speisepunktschalter des 16-kV-Fahrleitungsnetzes hinsichtlich Ausschaltzeit und Ausschaltleistung gestellt wurden, gaben Anlass, die normalerweise angewendete Löscheinrichtung in diesem Falle durch eine besondere Ausführung zu ersetzen. Der Bedingung, dass der Schalter mit Federkraftspeicher- oder Druckluftantrieb ausgerüstet, für Innenraum- und Freiluftaufstellung verwendbar sein müsse, war ebenfalls Rechnung zu tragen.

2. Prinzipielles über die Löscheinrichtung

Grösse und Aufbau eines Schalters hängen im wesentlichen von der gegebenen Nennisolationsspannung und von der die verlangte Nennabschaltleistung beherrschenden Lichtbogenlöscheinrichtung ab. In der Löscheinrichtung, besonders in ihrem Zentrum, der Löschkammer, werden während des Abschaltvorganges jene Bedingungen geschaffen, welche es dem Schalter ermöglichen, die grossen Kurzschlussströme im Moment einer ihrer natürlichen Nulldurchgänge, nach Erreichen einer minimalen Öffnungsdistanz, zu unterbrechen. Diese minimale Öffnungsdistanz hängt von der Spannung und von der erzielbaren Löschwirkung der Löscheinrichtung ab. Geht der Strom gerade durch Null, wenn das Kontaktrohr diese für das Zustandekommen einer Unterbrechung unbedingt erforderliche Öffnungsdistanz erreicht, dann ergeben sich die kürzeste Lichtbogendauer und die in jeder Beziehung günstigsten Abschaltbedingungen. Im schlimmsten oder ungünstigsten Fall ist es dagegen möglich, dass nach dem Passieren des Bereiches der minimalen Öff-