Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 40 (1949)

Heft: 16

Rubrik: Communications ASE

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: 23.08.2025

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

le groupe par l'ouverture en grand du distributeur de façon à éviter une désexcitation par l'application brusque de la charge.

On remarque, lors de la mise en route, que la tension à l'amorçage s'établit relativement lentement si, au dernier arrêt du groupe, la machine a été déconnectée de la charge à pleine tension. Elle s'établit par contre très rapidement si, au dernier arrêt, on a laissé la tension descendre lentement jusqu'à zéro. Il faut dans ce dernier cas, pousser parfois la vitesse du groupe au-dessus de la vitesse correspondant à 50 Hz, d'où danger d'atteindre des tensions d'amorçage très élevées (1000 V).

Pour de plus grosses puissances, la solution pour la mise en route doit être recherchée dans un fractionnement, aussi bien de la batterie que de la charge appliquée au moment de l'amorçage.

La constance de la tension et de la fréquence sont remarquables, même avec entraînement de la machine par une courroie sans fin. Il faut évidemment choisir une machine prévue thermiquement pour la somme des courants utile et capacitif. On aura avantage à choisir une machine comportant un entrefer plutôt important, ceci pour obtenir une souplesse électrique suffisante.

Il est également possible d'alimenter une charge inductive, pourvu que cette dernière soit constante. Autrement le réglage devient compliqué et surtout onéreux.

Adresse de l'auteur:
O. Bovet, Ing.-électr. dipl. EIL, Grandchamp-Areuse (NE).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Überschlagspannung von Isolatoren

621.315.62.015.52

[Nach *O. Gerber:* Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Überschlagspannung von Isolatoren. Brown Boveri Mitt". Bd. 35(1948), Nr. 11/12, S. 296...305.]

Einleitung

Der Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Überschlagspannung von Isolatoren ist längst bekannt und der Betriebsmann weiss über deren nachteilige Wirkung von den im Frühjahr oder Herbst hin und wieder auftretenden Überschlägen an Isolatoren her. Aus diesen unangenehmen Erfahrungen heraus hat sich die weitverbreitete Meinung gebildet, dass eine grosse Luftfeuchtigkeit auf jeden Fall nur einen negativen, d. h. herabsetzenden Einfluss auf die Überschlagspannung von Isolatoren ausüben könne. Die Resultate aller bis heute durchgeführten Untersuchungen zeigen jedoch übereinstimmend, dass die Überschlagspannung von Isolatoren mit wachsender *absoluter* Luftfeuchtigkeit zunimmt, solange die *relative* Luftfeuchtigkeit unterhalb eines bestimmten Wertes bleibt. Wird dieser jedoch überschritten, so wird die Überschlagfestigkeit unter Umständen durch die feuchte oder nasse Oberfläche des Isolators wesentlich abgesenkt. Bei gleichzeitig auftretenden Überspannungen können also Überschläge über den Isolator auftreten.

Die in solchen Betriebstörungen begründete gefühlsmässige Ansicht, bei sehr trockener Luft sei die Überschlagfestigkeit einer Luftstrecke grösser als bei feuchter Luft, widerspricht jedoch den Tatsachen, denn sie ist bei trockener Luft stets kleiner als bei normaler oder grosser Luftfeuchtigkeit. Da diese Fragen beim Vergleich von Überschlagspannungen, die bei stark abweichenden Luftverhältnissen gemessen worden sind, ins Gewicht fallen können, ist aus Fachkreisen schon vor langer Zeit der Vorschlag gemacht worden, für die Bestimmung der Überschlagspannung von Isolatoren eine Normalfeuchtigkeit von 11 g/m³ (entsprechend 63 % rel. Luftfeuchtigkeit bei 20 °C) festzulegen. Die Überschlagwerte wären danach auf diese Normalfeuchtigkeit umzurechnen, ähnlich wie dies mit der Normalluftdichte ($b = 760$ mm Hg; $t = 20$ °C) üblich ist.

Diese Normalfeuchtigkeit wird in verschiedenen Landesvorschriften erwähnt [1]), jedoch ohne Wegleitung, wie die Umrechnung vorgenommen werden soll. Dies wohl aus dem Empfinden heraus, dass die Materie noch nicht genügend geklärt ist, um in die Regeln aufgenommen zu werden. Die im folgenden beschriebenen Versuche an Isolatoren und Funkenstrecken sollen zur Abklärung der Frage beitragen, ob diese Umrechnung notwendig erscheint und wie sie praktisch durchgeführt werden kann.

[1]) Zum Beispiel VDE 0430 § 15, Abschnitt a, und Publikation 173 der SEV-Regeln für Spannungsprüfung.

Untersuchte Prüfobjekte

Der Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Überschlagspannung bei Industriefrequenz (50 Hz) und z. T. bei Stossbeanspruchung (1|50) wurde an folgenden Objekten bestimmt:

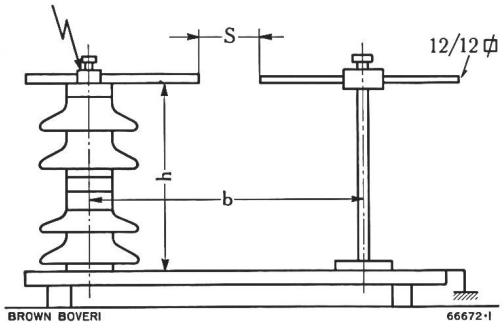


Fig. 1
Untersuchte Stabfunkenstrecken

S	b	h
145	300	380
300	750	700

1. an einer Stabfunkenstrecke von 145 bzw. 300 mm Schlagweite nach Fig. 1
2. an drei Stützisolatoren nach Fig. 2 a...c
3. an zwei Durchführungen nach Fig. 3 a und b
4. an einem Hängeisolator nach Fig. 4

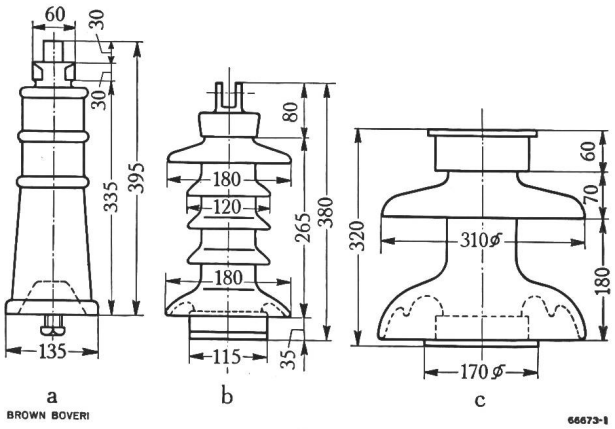


Fig. 2
Untersuchte Stützisolatoren
a Innenraumstützer, Schlagweite 340 mm
b Vollkernstützer für Freiluft, Schlagweite 355 mm
c Motorstützer mit weitem Schirm, Schlagweite 320 mm

Für die Untersuchungen mit hoher Stoßspannung wurde ein Trenner von 220 kV benützt.

Die Luftfeuchtigkeit war z. T. künstlich variiert worden, z. T. wurde ihre natürliche Verschiedenheit an verschiedenen Tagen benützt.

Versuchsergebnisse

Zur Messung der Überschlagspannungen wurde die Kugelfunkenstrecke benützt. Diese ist dem Einfluss der Luftfeuchtigkeit nicht unterworfen, da an ihr Büschelentladungen nicht auftreten.

Resultate bei Wechselspannung 50 Hz. Die gemessenen Überschlagspannungen sind in Abhängigkeit von der beim Versuch vorhandenen absoluten Luftfeuchtigkeit aufgetragen

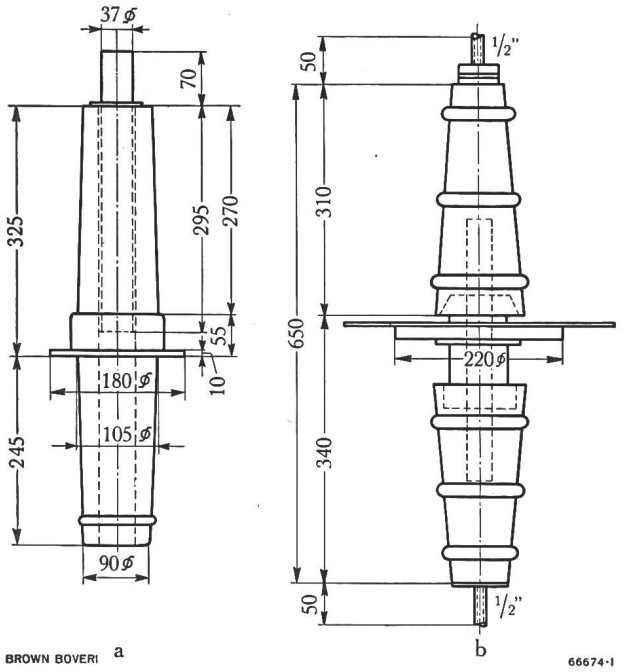


Fig. 3
Untersuchte Durchführungsisolatoren
a Glattwandige Innenraumdurchführung ohne Armaturen. (An Stelle eines Bolzens ist im obern Teil ein Stahlrohr eingesetzt. Schlagweite 295 mm)
b Wanddurchführung komplett für 37 kV Betriebsspannung.

worden, so z. B. in Fig. 5 für die Stabfunkenstrecken, in Fig. 6 und 7 für die Durchführung nach Fig. 3b bzw. den Hängeisolator nach Fig. 4. Die bei den einzelnen Messpunkten angegebenen Zahlen geben die Lufttemperatur während der Messung in 1 m Abstand vom Prüfobjekt. Für die untersuchten Stützisolatoren ergeben sich ähnliche Kurven.

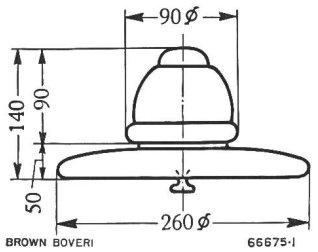


Fig. 4
Untersuchtes Glied einer Hängekette
(Ohio Brass)
Schlagweite 220 mm

Für die Stabfunkenstrecke (Fig. 5) liegen die Messpunkte unabhängig von der Temperatur auf einer Geraden, die je nach der Schlagweite eine mehr oder weniger starke Neigung aufweist. Es lässt sich daraus für die Schlagweite von 300 mm eine Zunahme der Überschlagspannuno pro 1 g/m³ Feuchtigkeitszunahme von 1,25 % ablesen. Bei der Schlagweite von 145 mm beträgt diese Beeinflussung nur noch 0,45 %.

Bei den Isolatoren ist die Streuung der Messpunkte viel grösser, und erst beim Verbinden der Messpunkte, die bei praktisch gleicher Temperatur aufgenommen worden sind, lassen sich gesetzmässig verlaufende Kurvenzüge erkennen (siehe Fig. 6 und 7). Ihre Interpretierung für eine in der Praxis verwendbare Umrechnung kommt aber kaum in Frage. Zieht man jedoch eine Linie durch die Scheitelpunkte der so erhaltenen Kurven, so ist der Einfluss der Luftfeuchtigkeit besser ersichtlich und der Anstieg der so erhaltenen Geraden ist ähnlich demjenigen der Geraden für die Stabfunkenstrecke von etwa gleich grosser Schlagweite. Die Schei-

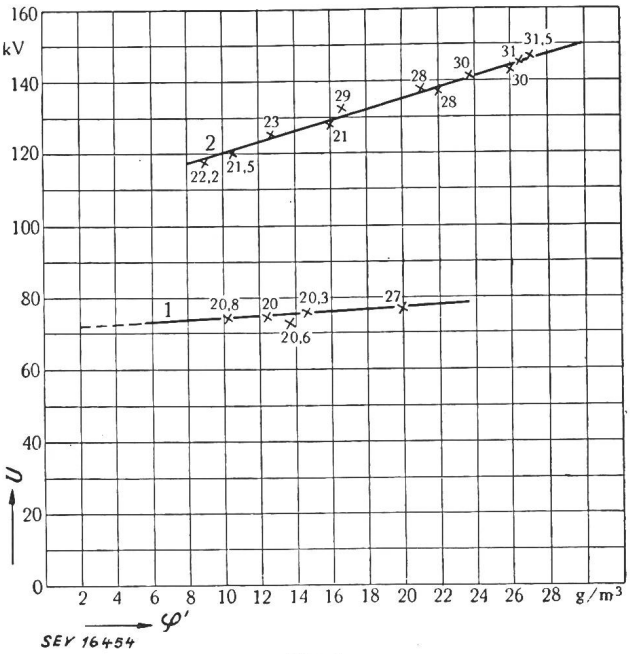


Fig. 5
Überschlagspannung *U* bei 50 Hz in Abhängigkeit von der absoluten Luftfeuchtigkeit *φ'* für die Stabfunkenstrecken nach Fig. 1
Kurve *1*: Schlagweite 300 mm
Kurve *2*: Schlagweite 145 mm

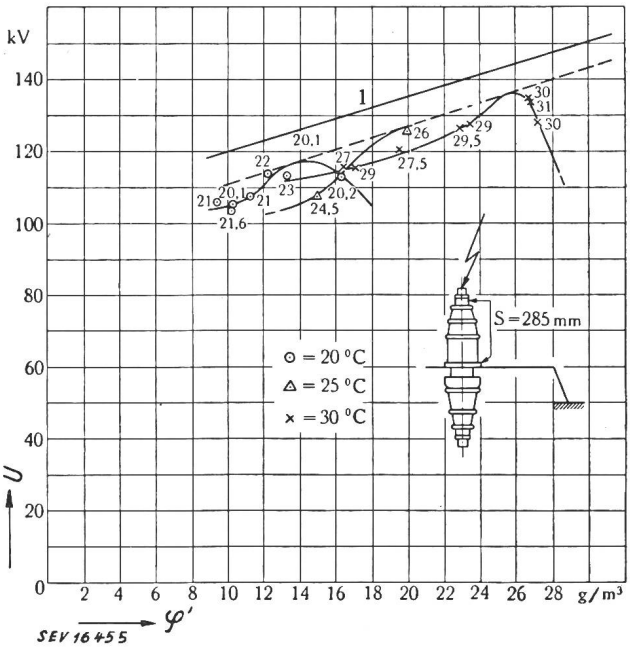


Fig. 6
Überschlagspannung *U* bei 50 Hz in Abhängigkeit von der absoluten Luftfeuchtigkeit *φ'* bei verschiedenen Temperaturen für Durchführung nach Fig. 3b
Die unterbrochen gezeichnete Hüllkurve verläuft parallel zur Kurve *1* für eine Stabfunkenstrecke ähnlicher Schlagweite (vgl. Fig. 5)

telgerade und die Linie für die Stabfunkenstrecke sind in Fig. 6 und 7 eingetragen.

Bei Stossüberschlägen wurde eine ähnliche, jedoch etwas langsamer mit der Schlagweite anwachsende Beeinflussung festgestellt, als bei Wechselspannung. Bei grossen Schlagweiten (2260 mm bzw. 2415 mm) wurden Werte von 1,22 bzw. 1,3 % pro 1 g Feuchtigkeitszunahme gemessen.

Diskussion der Versuchsresultate

Die bei den Versuchen mit Wechselspannung erhaltenen Kurven haben alle den gleichen, in Fig. 8 schematisch dargestellten Charakter. Es können drei verschiedene, mit *A*, *B* und *C* bezeichnete, Partien unterschieden werden.

Der gerade Teil *A* reicht bis zu einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 55 %. Seine Neigung ist etwa gleich gross wie diejenige einer Kurve für eine reine Luftstrecke. Der Isolator unterscheidet sich hier also nicht von einer Stabfunkenstrecke. Der Einfluss der Isolatoroberfläche zeigt sich jedoch bei steigender relativer Luftfeuchtigkeit. Der Anstieg im Teil *B* wird rasch grösser und nach einem Maximum bei ca. 80 % relativer Feuchtigkeit fällt die Kurve im Teil *C* wieder ab. In den Kurventeilen *B* und *C* spiegeln sich Vorgänge wieder, die auf der Isolatoroberfläche geschehen und für welche die Luftfeuchtigkeit nur indirekt verantwortlich ist. In Fig. 8 sind die verschiedenen Einflüsse durch die Anstiegwinkel α und β versinnbildlicht getrennt. Auf den von der Durchschlagfestigkeit der Luft herrührenden konstanten Anstiegwinkel α wird bei entsprechender relativer Luftfeuchtigkeit ein veränderlicher Winkel β_1, bzw. β_2, superponiert, welcher im Teil *B* die gleichgerichtete, im Teil *C* die entgegengerichtete Wirkung des Oberflächeneinflusses verkörpert.

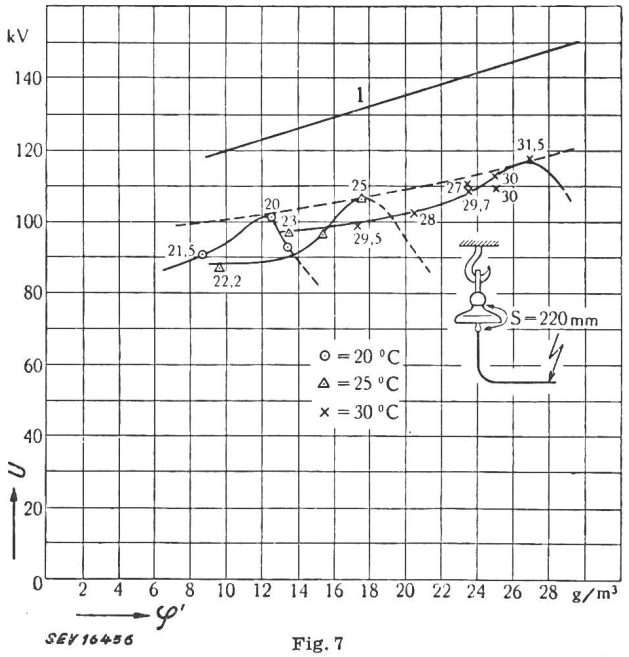


Fig. 7

Überschlagspannung U bei 50 Hz in Abhängigkeit von der absoluten Luftfeuchtigkeit φ' bei verschiedenen Temperaturen für Hängeisolator nach Fig. 4

Schlagweite 220 mm. Die Hüllkurve verläuft hier weniger steil als die Kurve *1* für die Stabfunkenstrecke bei 300 mm Schlagweite

Ein Isolator kann aufgefasst werden als eine Parallelschaltung von Luftstrecke, Isolationswiderstand, Kapazität und Oberflächenwiderstand. Von all diesen Elementen wird der Oberflächenwiderstand am meisten von der Luftfeuchtigkeit beeinflusst. Durch seine Steuerwirkung bedingt, wird mit seiner Änderung auch die Spannungsverteilung über die Länge des Isolators verändert. Durch versuchsweise Behandlung der Isolatoroberfläche mit einem wasserabstossenden Material, z. B. Paraffin, kann der Oberflächenwiderstand stabilisiert werden. Der Oberflächenwiderstand von Quarz oder glasiertem Porzellan ist viel stärker von der relativen Luftfeuchtigkeit abhängig als der von Stearin oder Paraffin.

Umrechnung der Überschlagspannung auf die Normalfeuchtigkeit von 11 g/m³.

Da eine Umrechnung in der Praxis nur Aussicht auf allgemeine Anwendung haben kann, wenn sie einfach durchzuführen ist, wird vorgeschlagen, eine lineare Abhängigkeit über den ganzen Feuchtigkeitsbereich, die sich für eine reine

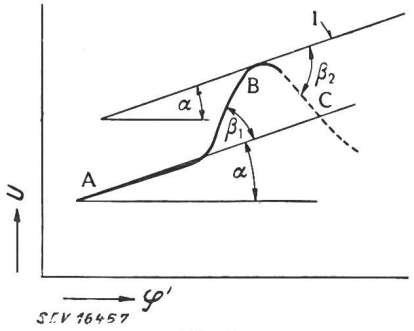


Fig. 8

Schematische Darstellung des Oberflächeneinflusses auf die Überschlagspannung U in Abhängigkeit von der absoluten Luftfeuchtigkeit φ' bei konstanter Temperatur

α Einfluss der Feuchtigkeit bei Stabfunkenstrecke oder bei Isolator bei relativer Luftfeuchtigkeit unter 55 %
β_1 Mass für Vergrösserung der Überschlagsfestigkeit durch Steuerwirkung der leicht feuchten Isolatoroberfläche
β_2 Mass für die Senkung der Überschlagfestigkeit durch beginnende Kondensation auf der Oberfläche
l Scheitellinie (in Fig. 6 und 7 gestrichelt eingetragen)

Luftstrecke physikalisch nachweisen lässt, auch für die Isolatoren anzunehmen. Die prozentuale Änderung der Überschlagspannung für 1 g/m³ Feuchtigkeitsunterschied (mit k_n bezeichnet) wird dadurch für den ganzen Feuchtigkeitsbereich konstant unter Berücksichtigung der ihr anhaftenden Streuung.

Mit dem für einen Isolatortyp bekannten Faktor k_n (für einen Stützisolator z. B. 1 % bei Wechselspannung) wird

$$U_{11\,g} = \frac{100\,U_x}{100 + k_n\,n}$$

wo $U_{11\,g}$ die auf 11 g umgerechnete Überschlagspannung,
U_x die bei der Luftfeuchtigkeit von x g/m³ gemessene Überschlagspannung,
n die Anzahl g/m³, um welche die Feuchtigkeit x von 11 g/m³ verschieden ist, bedeuten.

In einer zum Schluss an den vorliegenden Messresultaten durchgeführten Untersuchung wird gezeigt, dass diese Methode auch für Isolatoren ohne Parallelfunkenstrecken trotz der bewusst zugelassenen Streuung der gemachten Vereinfachung viel genauere Resultate gibt, als wenn nicht korrigiert würde. Die Umrechnung lohnt sich um so mehr, je mehr die Luftfeuchtigkeit bei der Messung von 11 g/m³ verschieden ist. Durch die vorgeschlagene Art der Korrektur wird der relative Fehler der Überschlagspannung (50 Hz) bezogen auf den Sollwert bei 11 g/m³ für die Gesamtheit der untersuchten Isolatoren von 28 % auf weniger als 8 % herabgesetzt, auf einen Steuerwert, mit dem auch bei konstanter Luftfeuchtigkeit noch gerechnet werden muss.

Die Umrechnung der Überschlagspannung von Isolatoren auf eine Normalluftfeuchtigkeit ist also nicht nur möglich, sondern sie hat auch einen praktischen Sinn. *Arf.*

Helikopter im Dienst der Fernleitungskontrolle

621.315.1.0045 : 629.135.4

[Nach *D. Z. Bigler:* Air Patrol of Transmission Lines. Electr. Wld. Bd. 131(1949), Nr. 26, S. 87...90.]

Dem Weltkrieg, der die Zerstörung so vieler, unersetzlicher Werte mit sich brachte, verdankt man auch manche technische Entwicklung oder Vereinfachung technischer Vorgänge, die auch zu Friedenszeiten benutzt werden können. Dies ist der Fall mit der Freileitungskontrolle, welche in Europa zur Zeit noch mit Hilfe von Motorwagen, zu Pferd oder zu Fuss, je nach Gelände, ausgeführt wird. In den USA

suchte man schon seit dem Jahr 1930 Mittel und Wege, die oft mühsamen Leitungskontrollen statt von der Erde, aus der Luft ausführen zu können. Aber erst am Ende des zweiten Weltkrieges wurden die ersten grossen Versuche unternommen, Fernleitungen mit Helikoptern oder anderen Flugzeugen zu überwachen.

Im Juni 1946 stellte die Central New York Power Corporation in Gemeinschaft mit der Bell Aircraft Corporation die ersten Helikopter in den Dienst der Freileitungskontrolle. Noch im selben Jahr verpflichtete die Bonneville Power Administration die Central Helicopters Incorporation in Seattle für die Überwachungsflüge ihrer Leitungspatrouillen. Damit wurde ein Leitungsnetz von total 4000 km aus der Luft überwacht. Seither hat der grösste Teil der Elektrizitätswerke aus den gewonnenen Erfahrungen Nutzen gezogen und ihre Freileitungspatrouillen zum Teil mit Helikoptern oder mit anderen Flugzeugen ausgerüstet.

Fig. 1
Helikopterluftpatrouille

Wenn man die Erfahrungen der diversen Unternehmungen, die ihre Leitungen zum Teil aus der Luft kontrollieren lassen, zusammenfassen will, muss zuerst die Frage: Helikopter oder anderes Flugzeug, untersucht werden. Dieses Problem, das in den USA zu regen Diskussionen Anlass gibt, ist zur Zeit noch nicht ganz entschieden und wird wahrscheinlich auch nie endgültig entschieden werden. Trotz den auseinandergehenden Anschauungen darf man feststellen, dass in weit ausgedehntem Flachland, wo die Freileitungen praktisch auch gleichmässig und ohne plötzliche Höhenunterschiede laufen, das schnellere, aber weniger wendige Flugzeug bevorzugt wird. In diesen Ländern sind die Anflugszeiten zu den zu kontrollierenden Leitungen wegen der grossen Ausbreitung des Landes meistens grösser und die Leitungskontrolle aus der Luft auch relativ leichter. Man könnte einwenden, dass die Kontrolle im Flachland mit Motorfahrzeugen auch leicht möglich und vielleicht billiger wäre, doch darf man nicht vergessen, dass das Flugzeug schneller ist als ein Motorfahrzeug und nicht durch Flüsse, Seen, Sümpfe usw., behindert, bzw. auf Umwege gezwungen wird. Die Rentabilität der Luftkontrolle ist nach Erfahrung auch bei Einsatz von gewöhnlichen Flugzeugen statt Helikoptern unbestreitbar.

In Berggegenden (in den USA z. B. in den Rocky Mountains), wo die Freileitungen über Berg und Tal ziehen, ist das Flugzeug nicht mehr am Platz; ihm ist der weniger schnelle Helikopter mit seiner Wendigkeit und Anpassungsfähigkeit weit überlegen. Man darf sagen, dass in den Berggebieten, wo die einzelnen Maste nicht mehr mit Motorfahrzeugen, sondern zu Pferd, meistens aber nur nach schweren und langwierigen Kletterpartien zu erreichen sind, der Helikopter zu Hause ist. Er kann seine Geschwindigkeit den Verhältnissen sehr gut anpassen, wo und wann immer landen, um z. B. Personal zwecks Reparaturen abzusetzen oder aufzunehmen.

Die Kontrollgeschwindigkeit ist verschieden und hängt in grossem Mass auch von der Konzentrationsfähigkeit und Übung des Kontrolleurs ab. Im allgemeinen ist die mögliche Kontrollgeschwindigkeit mit gewöhnlichen Flugzeugen (Flachland) grösser als mit Helikoptern. Laut Berichten von Helikopterkontrolleuren konnten Fernleitungen bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h beobachtet werden. Dabei waren die Beschädigungen der Querträger und der Leitung gut wahrnehmbar und es konnten auch noch die nötigen Notizen gemacht werden. Piloten und Helikopterkontrolleure berichten aber einstimmig, dass die Kontrolle aus der Luft grosse Konzentration erfordert und eine ermüdende Arbeit ist.

Die Berichte der Elektrizitätswerke betonen die Vorzüge der Luftkontrolle. Sie soll wirksamer sein als die Kontrolle vom Boden. Isolatoren, Mastspitzen, Querträger sollen aus der Luft besser zu beobachten sein. Trotzdem kann die Kontrolle von der Erde nicht ganz entbehrt werden, denn der Zustand der Mastfundamente, der Anker usw. ist aus der Luft nicht mehr einwandfrei feststellbar.

Die Kosten der Helikopterpatrouillen sollen um etwa 15 % billiger zu stehen kommen als die der Fusspatrouillen. Die Helikopter fliegen bei windstillem Wetter bei der Leitungskontrolle etwa 10...14 m neben, und etwa 8 m über den Mastspitzen. Weht Wind, so muss eine entsprechend grössere Distanz gehalten werden. Gewöhnliche Flugzeuge können bei Wind überhaupt keine Kontrollflüge machen, denn ein Wind von nur 25 km/h Geschwindigkeit lässt kein Fliegen in Bodennähe von 30...60 m zu.

Folgende Betriebsergebnisse werden gemeldet: Die Pennsylvania Electric Co., Johnstown, hat ein Helikoptersystem ausgebaut, das ihr Freileitungsnetz von total 1600 km (8746 Maste) kontrolliert. Die totale Flugzeit einer Kontrolle umfasst 45,7 h; davon fallen 34,9 h (76,5 %) auf die effektive Kontrolle und 10,8 h (23,5 %) auf die unproduktiven Anflugzeiten. Es wurde also im Durchschnitt eine Freileitungslänge von rund 45 km pro Stunde kontrolliert. Eine solche Strecke kann vom Boden nur innert 3...7 Tagen überwacht werden.

In neuerer Zeit sind die Helikopter zum Teil mit Handie-Talkie-Apparaten versehen worden, so dass sie die Verbindung mit einer Reparaturmannschaft oder mit einer Werkstatt am Boden aufrechterhalten können. *Schi.*

Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

Die Berechnung von *RC*-Generatoren

Von *G. Isay*, Basel

621.396.615.11

Es werden Berechnungsgrundlagen mit einem Berechnungsbeispiel für RC-Generatoren angegeben, wobei die Berechnung des nötigen Gegenkopplungsverstärkers auf die Berechnung von zwei einfachen, stromgegengekoppelten Verstärkerstufen, von denen die erste einen definierten, reduzierten Kathodenwiderstand enthält, zurückgeführt wird. Weiter wird die selektive, starken Resonanzcharakter aufweisende Wirkung eines Gegenkopplungsverstärkers mit Wienscher Brücke behandelt, und es werden verschiedene Amplitudenbegrenzungsmethoden mit wärmeempfindlichen Widerstandselementen (Thermistors) erläutert. Zum Schluss folgt ein kurzer Hinweis auf Phasenschieber-RC-Generatoren, die sich insbesondere zum Bau von Mehr-, speziell Dreiphasengeneratoren vorzüglich eignen.

L'auteur indique les principes du calcul des générateurs à résistance-capacité et donne un exemple où le calcul de l'amplificateur à contre-réaction est ramené à celui de deux simples étages amplificateurs couplés en opposition de courants, dont le premier comporte une résistance cathodique réduite, bien définie. Il traite ensuite de l'effet sélectif, nettement résonnant, d'un amplificateur à contre-réaction avec pont de Wien et expose différents méthodes de l'imitation de l'amplitude à l'aide de thermistors. Il termine en mentionnant brièvement les générateurs RC à déphasage, qui conviennent particulièrement à la construction de générateurs polyphasés, notamment à celle de générateurs triphasés.

1. Einleitung

Im Laufe der letzten Jahre ist man vielfach dazu übergegangen, statt der bekannten Rückkopplungsgeneratoren oder der Schwebungssummer mit Schwingungskreisen die sogenannten *RC*-Generatoren, bestehend aus Widerständen *(R)* und Kondensatoren *(C)* in Anwendung zu bringen [1] [1]). Sie lassen sich im Frequenzgebiet von 1 Hz bis über 1 MHz ohne Schwierigkeiten mit einer Frequenz- und Amplitudenkonstanz sowie einem derartig kleinen Klirrfaktor verwenden, wie man es früher selten und dann nur mit einem sehr grossen Aufwand hat erreichen können. Diese Generatoren zeichnen sich ausserdem durch einen einfachen Aufbau aus und sind der Berechnung so gut zugänglich, dass es nützlich erscheint, ihre praktische Berechnung anzugeben. Die hierfür nötigen Mittel hat jeder Hochfrequenz- und Fernmeldetechniker ohne weiteres zur Hand, wobei es von besonderem Vorteil ist, dass keinerlei Spulen gewickelt und abgeglichen werden müssen, so dass ein solcher *RC*-Generator z. B. für den Laboratoriumsbedarf innerhalb weniger Stunden aufgebaut werden kann. Für Zwecke, die keine grössere Frequenzgenauigkeit als 2% verlangen, ist eine spezielle Eichung nicht notwendig.

Ein *RC*-Generator ist ein Rückkopplungsgenerator, jedoch ohne eigentliche Schwingungskreise [7b]. Er entsteht, wenn man einen zweistufigen Verstärker, dessen obere und untere Grenzfrequenz den Schwingungsbereich des Generators umfassen werden, über einen geeigneten Widerstands-Kondensator-Vierpol von der Anodenseite der zweiten Stufe auf die Gitterseite der ersten Stufe rückkoppelt. Jeder Widerstandsverstärker mit hohem Verstärkungsgrad, der ungewollt wilde Schwingungen ausführt, ist demnach eine Art *RC*-Generator [2].

Um eine bestimmte, vorgegebene Frequenz zu erzeugen, ist es nötig, dass der genannte Rückkopplungsvierpol bestimmte selektive Eigenschaften besitzt. Diese Selektivität muss allfällig durch geeignete Schaltmassnahmen noch erhöht werden. Bekanntlich haben selbsterregte Schwingungen in linearen Schaltungen die Tendenz, nach einer Exponentialfunktion dauernd anzusteigen [2a; 3]. Beim normalen Röhrengenerator mit Schwingungskreis wird ein dauerndes Ansteigen der Schwingungsamplitude durch die Nichtlinearitäten der Röhrencharakteristiken verhindert. Beim *RC*-Generator muss ebenfalls für eine geeignete Amplitudenbegrenzung gesorgt werden, die hingegen auf recht einfache und insbesondere nicht verzerrungsvermehrende Weise wirkt.

Es gibt auch *RC*-Generatoren, die als wesentliche Elemente nur eine Verstärkerstufe und einen Rückkopplungsvierpol, der eine Phasenverschiebung von 180° erzeugt, aufweisen. Diese Generatoren werden oft als Phasenschiebergeneratoren bezeichnet [4; 5; 17], welche am Schluss noch kurz behandelt werden, da sie sich besonders zur Erzeugung von mehr-, speziell dreiphasigen Schwingungen eignen.

2 Der Rückkopplungsvierpol

In Fig. 1 ist das allgemeine Prinzipschema eines *RC*-Generators mit zwei Röhren dargestellt. Die Röhren 1 und 2 sind in einer Widerstandsverstärkerschaltung miteinander gekoppelt. Der Kopplungskondensator $C_{ü2}$ bilde für den ganzen Schwingungsbereich, für den der Generator gebaut werden soll, gegenüber dem Gitterableitwiderstand der zweiten Röhre einen so kleinen kapazitiven Widerstand, dass man ohne weiteres die Anodenwechselspannung der ersten mit der Gitterwechselspannung der zweiten Röhre gleichsetzen kann. Der aus den Kondensatoren *(C)* und Widerständen *(R)* bestehende Vierpol ist in Fig. 2 nochmals gezeichnet. Punkte 2 und 4 sind an die Erde, Punkt 1 an die Anode der zweiten Röhre und Punkt 3 an das Gitter der ersten Röhre gelegt. Zunächst seien

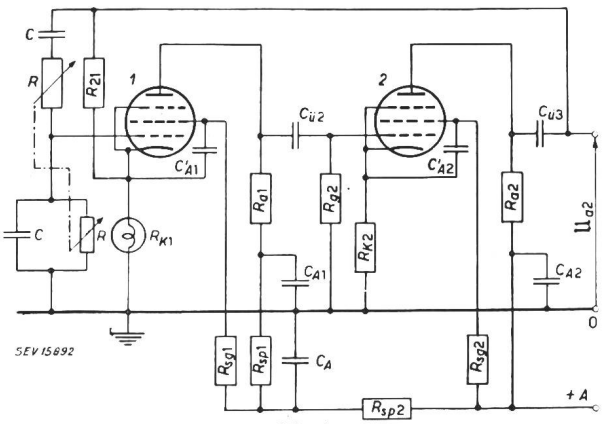


Fig. 1
Prinzipschema eines zweistufigen *RC*-Generators mit einer Glühlampe als Amplitudenbegrenzung

[1]) siehe Literaturverzeichnis am Schluss.

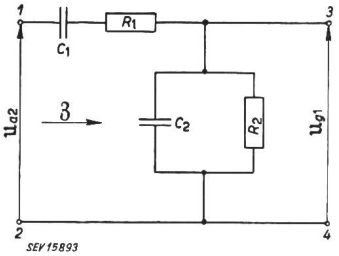


Fig. 2
Rückkopplungsvierpol

verschiedene Kondensatoren C_1 und C_2 bzw. verschiedene Widerstände R_1 und R_2 vorausgesetzt. Bekanntlich entsteht ein schwingungsfähiges System mit einer Röhre dann, wenn dem Gitter dieser Röhre eine Wechselspannung zugeführt wird, die erstens mit der ursprünglich dort vorhandenen Wechselspannung in Phase (also gegen die Anodenspannung um 180° verschoben) ist, und die zweitens die nötige Amplitude aufweist, um einmal angefachte Schwingungen aufrechtzuerhalten [2a]. Beim vorliegenden *RC*-Generator besorgt die Phasendrehung um 180° die zweite Röhre, während der Rückkopplungsvierpol lediglich zur Selektion und Rückkopplung dient. Aus Fig. 2 lässt sich leicht ablesen

$$\frac{\mathfrak{U}_{g1}}{\mathfrak{U}_{a2}} = \frac{\dfrac{R_2}{j\omega R_2 C_2 + 1}}{\dfrac{R_2}{j\omega R_2 C_2 + 1} + R_1 + \dfrac{1}{j\omega C_1}} \tag{1}$$

Diese komplexe Gleichung ist zwei reellen Gleichungen gleichwertig. Die eine dieser Gleichungen ergibt die Amplituden-, die andere die Phasen- bzw. Frequenzbedingung.

Bevor wir diese Bedingungen ausrechnen, wollen wir den durch Gl. (1) beschriebenen Resonanzcharakter näher untersuchen. Es ist leicht nachzuweisen, dass man den optimalen Fall dann erhält, wenn die Zeitkonstanten R_1C_1 und R_2C_2 gleich gross gemacht werden [6]. Der reziproke Wert dieser Zeitkonstanten werde mit ω_0 bezeichnet. Dann ist

$$\frac{1}{\omega_0} = R_1C_1 = R_2C_2 \tag{2}$$

Setzt man Gl. (2) in Gl. (1) ein, so folgt nach einer einfachen Umrechnung:

$$\frac{\mathfrak{U}_{g1}}{\mathfrak{U}_{a2}} = \frac{R_2/R_1}{(R_2/R_1) + 2 + jv} \tag{3}$$

Die Grösse v wird als Verstimmung folgendermassen definiert:

$$v = \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \tag{4}$$

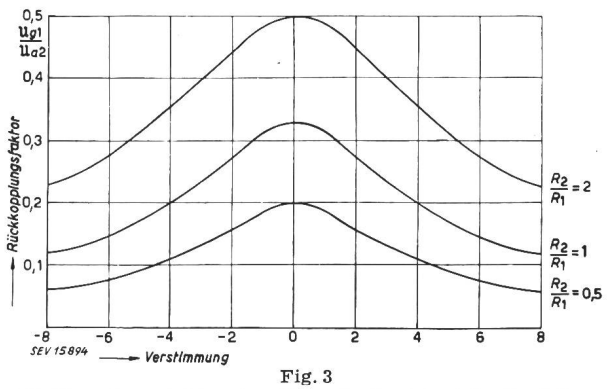


Fig. 3
Rückkopplungsfaktor des Vierpols der Fig. 2 in Funktion der Verstimmung

Gl. (3) ist in den Kurven der Fig. 3 graphisch dargestellt, wobei als Parameter der Quotient R_2/R_1 gewählt ist [7; 8]. Die Resonanzschärfe dieser Kurven wird durch die in den folgenden Gleichungen definierte Resonanzschärfe Q' ausgedrückt. Vergleichen wir nämlich Gleichung (3) mit dem Ausdruck $\frac{\mathfrak{U}}{\mathfrak{U}_{res}}$ eines normalen Schwingungskreises, so können wir setzen:

$$1/Q' = (R_2/R_1) + 2 \tag{5}$$

so dass Gl. (3) die Form annimmt

$$\frac{\mathfrak{U}_{g1}}{\mathfrak{U}_{g1_{res}}} = \frac{1/Q'}{(1/Q') + jv} \tag{6}$$

Aus Gl. (5) sieht man, dass brauchbare Werte für R_2/R_1 zwischen 0,5 und 2 liegen (Fig. 3) [8; 11]. Am einfachsten ist

$$R_1 = R_2 = R \tag{7}$$

zu wählen. Die Einbusse an Resonanzschärfe wird durch die bequeme Realisierbarkeit ausgeglichen. Mit Gl. (2) folgt weiter noch

$$C_1 = C_2 = C \tag{8}$$

a. Frequenz

Da $\mathfrak{U}_{a2}$ und $\mathfrak{U}_{g1}$ in Phase sein sollen, muss Gl. (1) reell werden. Das heisst aber, dass

$$1 - \omega_0 R^2 C^2 = 0 \tag{9}$$

sein muss. Daraus folgt, dass

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \tag{10}$$

Im Gegensatz zum normalen Schwingungskreisgenerator variiert die sich erregende Frequenz direkt umgekehrt proportional mit RC. Gl. (10) ist die erste Hauptgleichung des zweistufigen RC-Generators.

Um ein bestimmtes Frequenzband überstreichen zu können, muss man demnach entweder C oder R stetig variieren können. Im allgemeinen ist eine Variation von C genauer, sofern der Kondensator praktisch realisierbar bleibt, was z. B. bei tiefen Frequenzen unter 20 Hz keineswegs mehr mit einfachen Mitteln zu erreichen ist. Ausserdem muss der Kondensator eine gut isolierte Achse besitzen, da der gemeinsame Punkt am Gitter der ersten Röhre liegt. Daher ist es für den allgemeinen Laboratoriumsgebrauch oft günstiger, die Frequenzvariation mit dem Widerstand R vorzunehmen und lediglich bei den Bereichumschaltungen die Kapazitäten zu verändern. Auch bei Präzisionsanfertigungen benötigt ein variabler Widerstand recht wenig Platz (Tandempotentiometer). Hingegen sollten folgende Bedingungen möglichst erfüllt sein:

1. Beide Widerstände R sollen möglichst für alle Abgreifstellungen untereinander bis auf 1‰ gleich sein.

2. Sowohl die Widerstände als auch die Blockkondensatoren sollen temperaturkonstant sein.

Stellt man jedoch keine zu grossen Anforderungen, so genügen handelsübliche Tandempotentiometer und Papier- oder Glimmerkondensatoren.

b. Amplitude

Für den Fall, dass der imaginäre Teil der Gl. (1) gleich null wird, sich also die Frequenz f_0 gemäss Gl. (10) erregt, erhalten wir für den reellen Teil der Gl. (1)

$$\frac{|\mathfrak{U}_{a2}|}{|\mathfrak{U}_{g1}|} = \frac{U_{a2}}{U_{g1}} = 3 \tag{11}$$

Dies ist die zweite Hauptgleichung des zweistufigen RC-Generators. Der Gesamtverstärkungsgrad des eigentlichen zweistufigen Verstärkers muss demnach gleich 3 sein.

c. Der Scheinwiderstand des Rückkopplungsvierpols

Wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, stellt der Rückkopplungsvierpol für die zweite Stufe prinzipiell eine Belastung dar. Die Grösse dieser Belastung ergibt sich gemäss Fig. 2 allgemein zu

$$\mathfrak{Z} = \frac{j\omega RC + 1}{j\omega C} + \frac{R}{1 + j\omega RC} \tag{12}$$

Im Falle der Selbsterregung wird $\omega = \omega_0 = \frac{1}{RC}$ und $\mathfrak{Z}$ geht über in $\mathfrak{Z}_0$

$$\mathfrak{Z}_0 = \frac{3}{2}\left(R + \frac{1}{j\omega_0 C}\right) = \frac{3}{2} R\,(1 - j) \tag{13}$$

Der Scheinwiderstand der durch Gl. (13) dargestellten Serieschaltung ist

$$|\mathfrak{Z}_0| = Z_0 = \frac{3}{2}\sqrt{2}\,R \tag{14}$$

Um über den ganzen Frequenzbereich des Generators eine konstante Amplitude zu erhalten, ist es zunächst nötig, die Röhrenbelastungen von der Frequenz unabhängig zu machen. Daher sollte Z_0 gegenüber der restlichen Belastung der zweiten Röhre möglichst gross sein. Liegt die eigentliche resultierende Röhrenbelastung in der Grössenordnung von 1 kΩ, so sollte Z_0 für alle vorkommenden Frequenzen nicht kleiner als 10...20 kΩ werden. Ein 100-kΩ-Potentiometer als frequenzbestimmender Teil kann also für ein Verhältnis der oberen zur unteren Bereichfrequenz von ca. 10:1 verwendet werden, wenn die Amplitude innerhalb dieses Bereiches nicht mehr als ± 2,5% schwanken soll. Wählt man als frequenzbestimmenden Teil hingegen einen Drehkondensator, so ist die Amplitude innerhalb eines Bereiches konstant, sofern der restliche Teil des Generators, also der zweistufige Verstärker, dementsprechend konstruiert ist. In diesem Falle kann erst infolge einer Bereichumschaltung, wenn also ein anderer Widerstand R eingeschaltet wird, bei höheren Frequenzen eine Amplitudenabnahme auftreten; denn man kann im Hinblick auf die Schalt- und Röhrenkapazitäten die Kapazität C nicht allzu klein wählen, so dass bei hohen Frequenzen R klein werden muss und grössenordnungsmässig sich dem Wert des restlichen Belastungswiderstandes der zweiten Stufe annähert.

3. Der Gegenkopplungsverstärker

Wie aus Fig. 1 hervorgeht, besteht der RC-Generator in erster Linie aus einem rückgekoppelten Verstärker. Es wurde bereits die Notwendigkeit einer Amplitudenbegrenzung erwähnt. Diese Amplitudenbegrenzung kann auf verschiedene Weise realisiert werden, worauf wir im Abschnitt 4 noch näher eingehen werden. In Fig. 1 ist eine zusätzliche Gegenkopplung

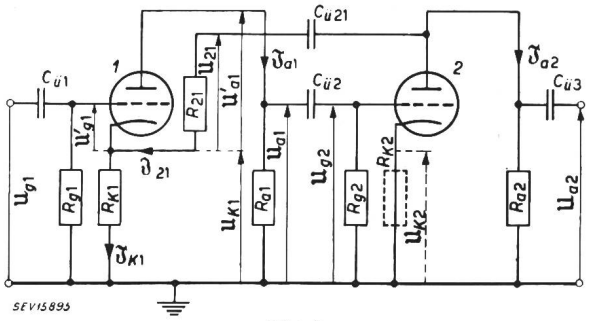


Fig. 4
Prinzipschema eines zweistufigen gegengekoppelten Verstärkers

über die Widerstände R_{21} und R_{k1} eingebaut, so dass der Gegenkopplungsverstärker auf Grund von Fig. 4 berechnet werden muss [9]. Wir gehen dabei so vor, dass wir die verhältnismässig komplizierte Schaltung der Fig. 4 auf eine einfache zweistufige, stromgegengekoppelte Verstärkerschaltung reduzieren.

In Fig. 5a und b sind die Ersatzschemata der ersten und zweiten Verstärkerstufe getrennt aufgezeichnet. R_{B1} stellt in Fig. 5a den gesamten Anodenbelastungswiderstand der Röhre 1 dar. Vergleichen wir Fig. 4 mit Fig. 5a, so muss gelten

$$R_{B1} = (R_{a1} \| R_{g1}) + R_{k1} = R_{a'1} + R_{k1} \tag{15}$$

Verwendet man Penthoden und macht den äusseren Belastungswiderstand viel kleiner als den inneren Röhrenwiderstand R_i, so ist R_i vernachlässigbar (siehe Fig. 5a).

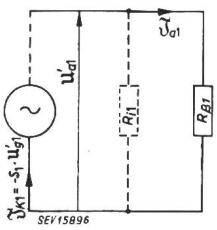


Fig. 5a
Ersatzschema der ersten Verstärkerstufe

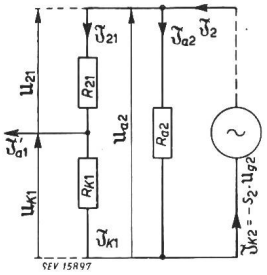


Fig. 5b
Ersatzschema der zweiten Verstärkerstufe

a. Der Verstärkungsgrad der ersten Stufe

Unter Beobachtung der in Fig. 4 eingezeichneten Pfeile können wir folgende Umlaufspannungen ablesen:

1. Im Gitterkreis der Röhre 1: $\mathfrak{U}_{g1} - \mathfrak{U}_{g'1} - \mathfrak{U}_{k1} = 0$ (16)
2. Im Anodenkreis der Röhre 1: $\mathfrak{U}_{a'1} - \mathfrak{U}_{a1} + \mathfrak{U}_{k1} = 0$ (17)

Der Verstärkungsgrad der ersten Stufe ist

$$\mu_1 = \frac{\mathfrak{U}_{a1}}{\mathfrak{U}_{g1}} \tag{18}$$

Setzen wir Gl. (16) in Gl. (18) ein, so erhalten wir unter Verwendung der in Fig. 5a eingezeichneten Grössen

$$\mu_1 = -\frac{S_1 R_{a'1}}{1 + \mathfrak{U}_{k1}/\mathfrak{U}_{g'1}} \tag{19}$$

$R_{a'}$ ist in Gl. (15) definiert und stellt die Parallelschaltung von R_{a1} mit R_{g1} dar. Das negative Vorzeichen bedeutet bekanntlich, dass die Anoden- gegen die Gitterspannung um 180° verschoben ist.

Betrachten wir nun Fig. 6, die eine einfache, stromgegengekoppelte Verstärkerstufe darstellt, wie man sie durch Weglassen des Kathodenblockes erhält [18]. Der Verstärkungsgrad dieser Stufe ist

$$\mu_1 = -\frac{S R_a}{1 + S R_k} \tag{20}$$

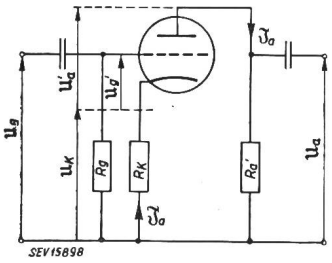


Fig. 6
Prinzipschema einer stromgegengekoppelten Verstärkerstufe

Vergleichen wir Gl. (20) mit Gl. (19), so sehen wir, dass die erste Stufe des *RC*-Generators als einfache stromgegengekoppelte Stufe gemäss Fig. 6 aufgefasst werden kann, wenn

$$S_1 R_k = \mathfrak{U}_{k1}/\mathfrak{U}_{g'1} \tag{21}$$

gesetzt wird. Mit Gl. (21) wird

$$\mu_1 = -\frac{S_1 R_{a'1}}{1 + S_1 R_k} \tag{22}$$

Nun wird im allgemeinen eine grosse Gegenkopplung angestrebt, da eine grosse Gegenkopplung einer Vergrösserung der Selektivität gleichbedeutend ist, wie weiter unten noch näher erläutert werden soll. Grosse Gegenkopplung bedeutet, dass

$$1 \ll S_1 R_k \tag{23}$$

und

$$\mu_1 = -R_{a'1}/R_k \tag{24}$$

Der Widerstand R_k spielt die Rolle eines *reduzierten Kathodenwiderstandes*, wodurch die von der Anode der 2. Röhre hervorgerufene Gegenkopplung auf eine einfache Stromgegenkopplung einer einzigen Stufe reduziert wird.

b. Der reduzierte Kathodenwiderstand

Aus Fig. 5b ist ersichtlich, dass der Strom $\mathfrak{J}_{a'1}$ sehr klein ist gegenüber $\mathfrak{J}_{k1}$. $\mathfrak{J}_{a'1}$ sei vernachlässigt. Weiter sei der Strom $\mathfrak{J}_{a1}$ durch R_{k1} vernachlässigt, was ebenfalls ohne weiteres zulässig ist. Dann gilt

$$\mathfrak{U}_{k1} = \mathfrak{J}_{k1} R_{k1} \tag{25}$$

$\mathfrak{J}_{k1}$ ist aus Fig. 5b sofort abzulesen

$$\mathfrak{J}_{k1} \approx \mathfrak{J}_{21} = \mathfrak{J}_2 - \mathfrak{J}_{a2} = -S_2 \mathfrak{U}_{g2} - \frac{\mathfrak{U}_{a2}}{R_{a2}} = S_1 S_2 R_{a'1} \mathfrak{U}_{g'1} - \frac{\mathfrak{U}_{a2}}{R_{a2}} \tag{26}$$

Hierbei ist die Beziehung

$$\mathfrak{U}_{g2} \approx \mathfrak{U}_{a1} = -S_1 \mathfrak{U}_{g'1} R_{a'1} \tag{27}$$

verwendet worden.

Setzen wir Gl. (26) in Gl. (25) und Gl. (25) in Gl. (21) ein, so folgt nach kurzer Umrechnung

$$R_k = \frac{\mathfrak{U}_{k1}}{S_1 \mathfrak{U}_{g'1}} = S_2 R_{a'1} R_{k1} - \frac{\mathfrak{U}_{a2} R_{k1}}{S_1 \mathfrak{U}_{g1} R_{a2}} \tag{28}$$

Nun ist aber (s. Fig. 5b)

$$\frac{\mathfrak{U}_{a2}}{\mathfrak{U}_{k1}} = -\frac{\mathfrak{U}_{a2}}{\mathfrak{U}_{g1} - \mathfrak{U}_{g'1}} = \frac{R_{21} + R_{k1}}{R_{k1}} \tag{29}$$

und damit schlussendlich als reduzierter Kathodenwiderstand

$$\underline{R_k = \frac{S_2 R_{a'1} R_{a2} R_{k1}}{R_{a2} + R_{21} + R_{k1}}} \tag{30}$$

c. Der Verstärkungsgrad der zweiten Stufe

Der Verstärkungsgrad der zweiten Stufe lässt sich ebenfalls nach Fig. 5b sofort angeben

$$\mu_2 = \frac{\mathfrak{U}_{a2}}{\mathfrak{U}_{g2}} = -\frac{S_2 R_{a2} (R_{21} + R_{k1})}{R_{a2} + R_{21} + R_{k1}} \tag{31}$$

d. Gesamtverstärkungsgrad

Gemäss Gl. (11) soll der Gesamtverstärkungsgrad gleich 3 sein. Es gilt also, dass

$$\mu_1 \cdot \mu_2 = \mu = 3 \tag{32}$$

Setzen wir nun die Gl. (24), (30) und (31) in Gl. (32) ein, so wird

$$\underline{R_{21} = 2 R_{k1}} \tag{33}$$

Gl. (33) ist die dritte Hauptgleichung des zweistufigen *RC*-Generators. Sie gilt um so genauer, je mehr die Vernachlässigungen mit den wirklichen Verhältnissen übereinstimmen.

Setzen wir ausserdem noch Gl. (30) in Gl. (24) ein, so folgt

$$\mu_1 = -\frac{R_{a2} + R_{21} + R_{k1}}{S_2 R_{a2} R_{k1}} \tag{34}$$

oder mit Gl. (33)

$$\mu_1 = -\frac{R_{a2} + 3 R_{k1}}{S_2 R_{a2} R_{k1}} \tag{35}$$

Die Verstärkung der ersten Stufe ist demnach unabhängig vom Anodenwiderstand $R_{a'1}$, der infolgedessen nach noch zu erläuternden anderen Gesichtspunkten gewählt werden kann.

e. Gegenkopplungsgrad

Betrachten wir nochmals Gl. (22). Die Verstärkung einer Verstärkerstufe ohne Gegenkopplung ist bekanntlich

$$\mu_1' = -S_1 R_{a'1} \tag{36}$$

während mit Gegenkopplung Gl. (22) gilt. Als Gegenkopplungsgrad wird der Ausdruck

$$\mu_1' \beta = S_1 R_k \tag{37}$$

bezeichnet (s. auch Gl. 21).

Mit Gl. (30) und (33) wird somit

$$\mu_1' \beta = \frac{S_1 S_2 R_{a'1} R_{a2} R_{k1}}{R_{a2} + 3 R_{k1}} \tag{38}$$

f. Wiensche Brücke

Die Schaltung des zweistufigen *RC*-Generators in Fig. 1 stellt nichts anderes als die Kombination einer Wienschen Brücke [3; 6; 11; 12] mit einem zweistufigen Verstärker dar (Fig. 7), wobei der Diagonalzweig *a-c* seine Spannung von der Anodenseite der zweiten Verstärkerstufe erhält, während der andere Diagonalzweig *b-d* seine Differenzspannung der Gitter-

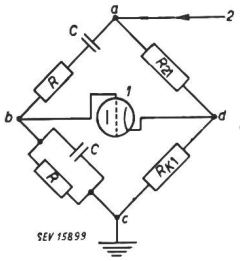


Fig. 7
Wiensche Brücke
1 Röhre 1
2 Leitung von der Anode der Röhre 2

seite der ersten Stufe aufdrückt. Gemäss Gl. (11) verhalten sich im abgestimmten Zustand die Spannungen über den beiden Zweigen *a-b*, *b-c* wie 3:1. Macht man das Spannungsteilerverhältnis der rechten Seite auch gleich 3:1, so ist der Diagonalzweig *b-d* spannungslos. Jede kleine Vergrösserung dieses Verhältnisses, also eine kleine Mitkopplung, wird über *c-d* eine kleinere Spannung hervorrufen, so dass im Diagonalzweig *b-d* eine Differenzspannung als Gitterspannung der ersten Stufe auftritt und das System zu schwingen beginnt. Im Grenzfall der reinen Sinusschwingung muss sich also das Spannungsverhältnis über den rechten Zweigen *a-d* .*d-c* dem Wert 3:1 annähern.

g. Resonanzüberhöhung

Wie wir gesehen haben, weist der Rückkopplungsvierpol gemäss Fig. 2 einen sehr schwachen Resonanzcharakter auf, ist doch die Resonanzgüte Q' nur $^1/_3$. Durch die Schaltung der Wienschen Brücke jedoch wird diese Resonanzgüte ausserordentlich überhöht. Der Grund dafür ist, dass die am Gitter der ersten Röhre wirkende Brückendiagonalspannung *b-d* aus der Differenz der Spannung $\mathfrak{U}_{g1}$, welche zwar mit zunehmender Verstimmung betragsmässig grösser, aber in ihrer Phase gedreht wird, und der Spannung $\mathfrak{U}_{k1}$, die keine Phasendrehung erfährt, gebildet wird. Zufolge der Phasendrehung ist eine Selbsterregung im allgemeinen nur für den Fall möglich, dass die gegenseitige Phasenverschiebung zwischen $\mathfrak{U}_{g'1}$ und $\mathfrak{U}_{k1}$ null ist.

Man kann die Überhöhung der Resonanzschärfe Q' infolge der Gegenkopplung folgendermassen berechnen [8; 9]: Im Falle, dass keine Gegenkopplung vorhanden ist, ist $\mathfrak{U}_{g1} = \mathfrak{U}_{g'1}$. Es gilt weiterhin Gl. (3) bzw. Gl. (6).

$$\frac{\mathfrak{U}_{g1}}{\mathfrak{U}_{a2}} = \frac{\mathfrak{U}_{g'1}}{\mathfrak{U}_{a2}} = \frac{1}{(1/Q') + jv} \qquad \text{(3a) (ohne Gegenkopplung).}$$

Mit Gegenkopplung hingegen gilt Gl. (16), d. h.

$$\mathfrak{U}_{g'1} = \mathfrak{U}_{g1} - \mathfrak{U}_{k1}$$

so dass

$$\frac{\mathfrak{U}_{g'1}}{\mathfrak{U}_{a2}} = \frac{1}{(1/Q') + jv} - \frac{1}{1 + R_{21}/R_{k1}} \quad \text{wird. (3b) (mit Gegenkopplung)}$$

Berechnet man in beiden Fällen den Phasengang der Phasenwinkel φ_1 und φ_2 mit zunehmender Verstimmung v, so lässt sich die Resonanzüberhöhung infolge der Gegenkopplung durch einen Faktor ϱ definieren [6].

$$\varrho = \left(\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}\right)_{v=0} \tag{39}$$

Die Gesamtresonanzschärfe wird damit

$$Q = \varrho \cdot Q' \tag{40}$$

Zur Bestimmung von ϱ berechnen wir aus Gl. (3a) den Phasenwinkel φ_1 und aus Gl. (3b) den Phasenwinkel φ_2.

Es wird

$$\varphi_1 = -\operatorname{arctg} Q'v \tag{41}$$

und

$$\varphi_2 = -\operatorname{arctg} \frac{v}{{}^1/_{Q'}\left(1 - {}^1/_{Q'}\dfrac{1}{1 + R_{21}/R_{k1}}\right) - v^2 \dfrac{1}{1 + R_{21}/R_{k1}}} \tag{42}$$

Bilden wir von φ_1 und φ_2 die Ableitungen für $v = 0$, so ergibt sich

$$\left(\frac{d\varphi_1}{dv}\right)_{v \to 0} = -Q' \tag{43}$$

und

$$\left(\frac{d\varphi_2}{dv}\right)_{v=0} = -\frac{Q'}{1 - {}^1/_{Q'}\dfrac{1}{1 + R_{21}/R_{k1}}} \tag{44}$$

Somit folgt für die Resonanzüberhöhung

$$\varrho = \left(\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1}\right)_{v=0} = \frac{1}{1 - {}^1/_{Q'}\dfrac{1}{1 + R_{21}/R_{k1}}} \tag{45}$$

Gl. (45) lässt sich noch umformen, indem wir Gl. (29) beachten

$$\frac{R_{k1}}{R_{k1} + R_{21}} = \frac{\mathfrak{U}_{k1}}{\mathfrak{U}_{a2}} = \frac{\mathfrak{U}_{g1}}{\mathfrak{U}_{a2}} - \frac{\mathfrak{U}_{g'1}}{\mathfrak{U}_{a2}} \tag{46}$$

Nach Gl. (11) ist

$$\left(\frac{\mathfrak{U}_{g1}}{\mathfrak{U}_{a2}}\right)_{v=0} = \frac{1}{3}$$

Weiter gilt nach Gl. (27), (31) und (38)

$$\left(\frac{\mathfrak{U}_{g'1}}{\mathfrak{U}_{a2}}\right)_{v=0} = \frac{1}{S_1 S_2 R_{a'1} \dfrac{3R_{a2}R_{k1}}{R_{a2} + 3R_{k1}}} = \frac{1}{3\mu'\beta} \tag{47}$$

Setzen wir Gl. (11), (47) und (46) in Gl. (45) ein und beachten, dass für $R_1 = R_2$ gemäss Gl. (5) ${}^1/_{Q'} = 3$ wird, so folgt schlussendlich

$$\varrho = \mu'\beta \tag{48}$$

so dass die Gesamtresonanzgüte ausgedrückt wird durch

$$\underline{Q = \frac{\mu'\beta}{3}} \tag{49}$$

Gl. (48) besagt nichts anderes, als dass die Resonanzgüte, also die Frequenzstabilität, um den Gegenkopplungsgrad überhöht wird, so dass hieraus die Forderung nach grossem Gegenkopplungsgrad resultiert. Da der Gegenkopplungsfaktor β für $v = v_0$ angenähert $^1/_3$ ist, ist hoher Gegenkopplungsgrad mit grosser Stufenstärkung bzw. grossen Röhrensteilheiten gleichbedeutend.

h. Allgemeine Bemerkungen über den Gegenkopplungsverstärker

Es sei zunächst nochmals auf die Bemerkungen zu Gl. (14) verwiesen. Ausser der Belastung der zweiten Röhre, die durch die Gl. (14) gegeben ist, und die möglichst hochohmig gegen R_{a2} sein soll, damit der Frequenzgang des Generators konstant bleibt, ist die zweite Stufe auch durch den Spannungsteiler $R_2 + R_{k1}$ belastet. Es wäre gut, wenn auch dieser Spannungsteiler hochohmig gegen R_{a2} wäre. Dies ist jedoch nicht so einfach zu verwirklichen, wie wir weiter unten unter Amplitudenbegrenzung noch näher sehen werden. Die Hauptschwierigkeit liegt darin, dass zumindest R_{k1} in bestimmten Grenzen gegeben ist. R_{k1} kann sich z. B. in der Grössenordnung von einigen hundert Ohm bewegen, so dass R_{a2} so klein werden muss, dass man für eine genügende Verstärkung eine Leistungsröhre mit sehr grosser Steilheit zu wählen hat. Dies ist aber nur für hochwertige Geräte nötig. Allgemein verwendete Laboratoriumsgeneratoren können ohne weiteres als zweite Röhre eine kleinere Leistungsröhre (z. B. 6K6, EL3 usw.) erhalten.

Es ist günstig, auch die zweite Stufe intern gegenzukoppeln (z. B. durch Weglassen des Kathodenblockes) [9]. Dann muss in obigen Gleichungen S_2 durch S_2' ersetzt werden, wobei unter S_2' eine dynamische Steilheit, die alle verstärkungsvermindernden Einflüsse miteinschliesst (z. B. Stromgegenkopplung, Gitterableitwiderstand einer allfällig folgenden Stufe usw.), zu verstehen ist. Der Verstärker soll in bezug auf seine obere und untere Grenzfrequenz so gebaut sein,

dass er alle verlangten Frequenzen ohne Amplitudenabfall linear verstärkt; d. h. die Kopplungs-, Schalt- und Ableitkondensatoren müssen dementsprechend dimensioniert sein. Dies gilt besonders bei tiefen Frequenzen für den Gleichstromsperrkondensator $C_{ü21}$ in Fig. 4, bzw. $C_{ü3}$ in Fig. 1. Damit dieser Kondensator nicht allzu gross wird, empfiehlt es sich, ebenfalls den Spannungsteiler $R_{21} + R_{k1}$ so gross wie möglich zu machen. Es muss bemerkt werden, dass ein eventueller Amplitudenabfall auf jeden Fall von einer nicht richtigen Dimensionierung der oben erwähnten Elemente herrührt, da, wie Gl. (3) zeigt, der absolute Betrag des Rückkopplungsfaktors $\mathfrak{U}_{g1}/\mathfrak{U}_{a2}$ im Resonanzfall bei einem einmal gewählten Verhältnis von R_2/R_1 konstant ist.

Sinusschwingungen sind nur zu erzeugen, wenn die in den bisherigen Gleichungen vorausgesetzten linearen Beziehungen der Röhrencharakteristiken eingehalten werden. Das bedingt, dass nicht nur kein Gitterstrom fliesst, sondern auch, dass die jeweiligen Aussteuerungen den verwendeten Röhren entsprechend gewählt werden. Ohne Gegenkopplung ist die Verstärkung der beiden Stufen recht gross, wie aus Gl. (37) und (38) ersichtlich ist. Daher können am Gitter der zweiten Röhre Spannungen von einigen V auftreten, die nur mit einer Endröhre zu verarbeiten sind. Eine allfällige Gegenkopplung dieser Endröhre erhöht die Aussteuerungsmöglichkeit um den internen Gegenkopplungsgrad [9; 10]. Die Spannungen am Gitter der ersten Röhre sind dagegen so klein (Differenzspannung im Diagonalzweig der Wienschen Brücke), dass ohne weiteres eine HF-Penthode gewählt werden kann.

Der Anodenwiderstand R_{a1} der ersten Röhre soll einerseits möglichst gross sein, damit der Gegenkopplungsgrad (s. Gl. 38) hoch wird, ist aber andererseits durch die obere Grenzfrequenz und die hierbei auftretende kapazitive Ableitung infolge der Röhren- und Schaltkapazitäten begrenzt. Bei Generatoren für hohe Frequenzen (z. B. über 100 kHz) empfiehlt sich daher eine Breitbandverstärkerröhre als erste Röhre. Schlussendlich sei darauf hingewiesen, dass ein *RC*-Generator sehr praktisch zur Steuerung einer Gegentaktverstärkerstufe ohne Transformator und Phasenumkehrröhre verwendet werden kann [13]. Der Verstärkungsfaktor der zweiten Generatorstufe liegt im allgemeinen zwischen 0,5 und 2, so dass man die eine Gegentaktspannung als $\mathfrak{U}_{a2}$ und die andere als $\mathfrak{U}_{a1}$ abnehmen kann.

4. Amplitudenbegrenzung

Bei allen Röhrengeneratoren spielt die Amplitudenbegrenzung eine ausschlaggebende Rolle, sofern man bestrebt ist, sinusförmige Schwingungen mit kleinem Klirrfaktor zu erzeugen. Im Gegensatz zum normalen Röhrengenerator mit Schwingkreisen lässt sich beim *RC*-Generator nicht nur die Amplitudenbegrenzung, sondern auch die Grösse der erzeugten Wechselspannung genau berechnen.

Zur Amplitudenbegrenzung lassen sich prinzipiell zwei Methoden anwenden. Die eine Methode ist eine Art Fadingregulierung, indem man beispielsweise die Anodenspannung $\mathfrak{U}_{a2}$ gleichrichtet und mittels der gleichgerichteten Spannung die Gittervorspannung der ersten Röhre proportional der Anodenspannung $\mathfrak{U}_{a2}$ so reguliert, dass keine Übersteuerungen auftreten können [13]. Diese Methode hat den Nachteil, dass der Klirrfaktor nicht unwesentlich vergrössert wird, da die gleichgerichtete Spannung, die dann am Gitter der ersten Röhre wirkt, noch eine gewisse Welligkeit aufweist. Ausserdem ist es schwierig, diese Schaltung für tiefe Frequenzen zu dimensionieren, da die Kopplungs- und Überbrückungskondensatoren recht grosse Werte annehmen. Die andere Methode ist die der Gegenkopplung, wie sie prinzipiell in Fig. 1 gezeigt ist. Das Wesentliche dieser Gegenkopplung ist, dass sie amplitudenabhängig ist, d. h. sie wirkt um so stärker, je grösser die Anodenspannung $\mathfrak{U}_{a2}$ wird.

Die amplitudenabhängige Gegenkopplung lässt sich auf verschiedene Weise realisieren:

1. Der Spannungsteiler $R_{21} + R_{k1}$ besteht z. B. aus drei verschiedenen Widerständen, nämlich reinen ohmschen Widerständen R_{21} und R'_{k1} in Serie, sowie einem amplitudenabhängigen Widerstand R''_{k1}, der R'_{k1} parallel geschaltet ist. Der Widerstand R''_{k1} wird durch den Innenwiderstand R_i einer Impedanz-Röhre gebildet, der durch Änderung der Gitterspannung dieser Röhre proportional zur Anodenspannung $\mathfrak{U}_{a2}$ des Generators reguliert wird [3]. Diese Methode hat den Vorteil, dass man hohe Spannungsteilerwiderstände erhält, also die zweite Generatorstufe durch die Gegenkopplung kaum belastet wird. Der Nachteil ist der, dass man eine zusätzliche Röhre braucht.

2. Der Spannungsteiler $R_{21} + R_{k1}$ besteht aus einem rein ohmschen Widerstand und einem amplitudenabhängigen Heiss- oder Kaltleiter [6; 8; 12; 15]. Ist R_{21} ohmisch, so muss R_{k1} ein Kaltleiter sein, so dass zu höheren Anodenspannungen $\mathfrak{U}_{a2}$ grössere Gegenkopplungswiderstände R_{k1} gehören. Ist R_{k1} ohmisch, so muss R_{21} ein Heissleiter sein, damit zu höheren Anodenspannungen $\mathfrak{U}_{a2}$ kleinere Gegenkopplungswiderstände R_2 gehören.

3. Der Spannungsteiler $R_{21} + R_{k1}$ besteht aus zwei amplitudenabhängigen Widerständen. R_{21} ist ein Heissleiter, R_{k1} ein Kaltleiter [14].

Die unter 3 genannte Methode ist die beste, da in diesem Fall R_{21} *und* R_{k1} auf den Effektivwert reagieren, während im Fall 2 einer der beiden Widerstände vom Effektivwert und der andere von der Amplitude beeinflusst wird. In ungünstigen Fällen kann dies bestimmte, längere Einschwingungsvorgänge bei der kontinuierlichen Frequenzvariation zur Folge haben, dann nämlich, wenn man z. B. einen Kaltleiter verwendet, der durch die Gegenkopplungsspannung im abgeglichenen stationären Zustand nur wenig aufgeheizt wird [15]. Die genannten Einschwingungsvorgänge nehmen mit wachsender Amplitude der Anodenspannung $\mathfrak{U}_{a2}$ ab, wodurch aber andererseits wiederum die Verzerrung vergrössert wird. Will man Schwingungen mit kleinstem Klirrfaktor erzeugen, so macht man bei Methode 2 zweckmässig die Ausgangsspannung $\mathfrak{U}_{a2}$ auch klein und sorgt dafür, dass der Kaltleiter R_{k1} durch die kleinen Gegenkopplungsspannungen bereits genügend aufgeheizt wird. Ganz lassen sich jedoch diese Einschwingvorgänge nur durch die Verwendung der 3. Methode vermeiden. Die 1. Methode wurde hier nicht weiter behandelt, weil die in den Methoden 2 und 3 verwendeten Elemente einen viel kleineren Aufwand beanspruchen, so dass sich diese Methoden in der Praxis eher durchsetzen werden.

Zu bemerken ist noch, dass der Kaltleiter R_{k1} auch vom Anodenstrom der ersten Röhre durchflossen wird. Es ist jedoch gut, wenn die hierdurch erzeugte Vorbelastung des Kaltleiters R_{k1} möglichst klein ist, so dass der Anodengleichstrom I_{a1} dementsprechend klein gehalten werden muss.

a. R_{k1} als Kaltleiter und R_{21} als ohmscher Widerstand

In Fig. 8 ist die Charakteristik eines Kaltleiters aufgetragen, und zwar der Widerstand R_{k1} in Abhängigkeit von der angelegten Spannung $\mathfrak{U}_{k1}$. Dieser Kurvencharakter gilt allgemein für derartige Lampen, wobei insbesondere das gradlinige Stück der Charakteristik von Wichtigkeit ist, da hier die Kurvensteilheit $\frac{dR_{k1}}{d\mathfrak{U}}$ am grössten ist [6; 15]. Bei der Dimensionierung eines *RC*-Generators sollte der Arbeitspunkt möglichst in dieses Gebiet fallen, da die stabilisierende Wirkung naturgemäss da am grössten ist. Andrerseits sollte die

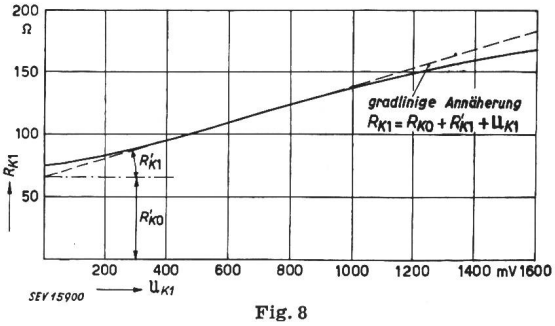


Fig. 8
Allgemeine Anfangscharakteristik einer Glühlampe

Lampe in diesem Anfangsgebiet bereits genügend durch die Rückkopplungsspannung aufgeheizt sein, damit die oben erwähnten Einschwingvorgänge genügend gedämpft werden. Daher ist es nicht gleichgültig, ob man zur Realisierung eines bestimmten Widerstandes R_{k1} z. B. eine einzige Lampe oder zwei bzw. mehrere Lampen in Serie schaltet. Der letztere Fall wird im allgemeinen bei handelsüblichen Lampen vorgezogen werden, weil man auf diese Weise einen relativ hohen Wider-

stand, dessen Charakteristik in einem relativ grossen Gebiet annähernd gradlinig ansteigt, erhält. Selbstverständlich lassen sich auch die angrenzenden, nichtlinearen Bereiche der Lampencharakteristik verwenden, sofern die Steilheit nicht zu klein wird.

Fig. 9 zeigt nochmals die Charakteristik einer Glühlampe zusammen mit der Charakteristik eines ohmschen Widerstandes R_{21} im Maßstab 1:2 zur ersten Charakteristik. Der Schnittpunkt der beiden Kurven gibt den stationären Arbeitspunkt an, die zugehörige Spannung ist die Gegenkopplungsspannung $\mathfrak{U}_{k1}$ bzw. $\mathfrak{U}_{21}$, zu der sich der Generator aufschaukelt. Durch Variation von R_{21} (in Fig. 9 die gestrichel-

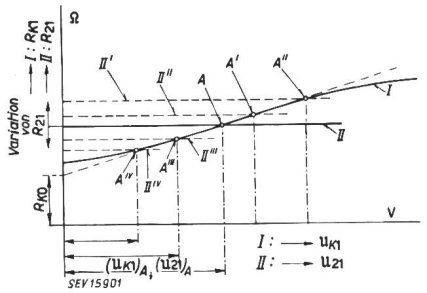


Fig. 9
Glühlampencharakteristik mit ohmschem Widerstand kombiniert
(Kurve II im Maßstab 2 : 1 gegenüber Kurve I)

ten Geraden) kann man diese Aufschaukelungsspannung, also entsprechend die Ausgangsspannung des Generators, in weiten Grenzen verändern. Ist R_{21} kleiner als $2 \cdot R_{k0}$ (Fig. 9), so erregt sich keine Schwingung mehr, die einen stationären Zustand erreicht. Ist R_{21} grösser als $2 \cdot R_{k\,grenz.}$, so sind die Schwingungen nicht mehr als verzerrungsfrei anzusehen; denn je grösser R_{21} wird, desto grösser werden die an den Gittern der Röhren wirkenden Spannungen, die dann die Röhren nicht mehr verzerrungsfrei aussteuern können.

Der Aufschaukelungsmechanismus arbeitet folgendermassen: Im Ruhezustand ist R_{21} viel grösser als R_{k1}, da $R_{k1} = R_{k0}$ ist. Wird nun der Generator eingeschaltet, so ist die Wiensche Brücke stark verstimmt und die Rückkopplung überwiegt so sehr, dass sich Schwingungen aufzuschaukeln suchen. Je grösser die Schwingungsamplitude wird, um so grösser wird R_{k1} und die Selektivität werden (siehe Abschnitt 3g). Dies geht so lange, bis das Gleichgewicht zwischen R_{k1} und R_{21} hergestellt ist und die Schwingungen lediglich durch die kleine Mitkopplung, die als Differenz der Rück- und der Gegenkopplung im Diagonalzweig *b-d* zurückbleibt, unterhalten werden und somit der stationäre Zustand erreicht wird.

b. R_{k1} als Kaltleiter und R_{21} als Warmleiter

In Fig. 10 sind qualitativ die Charakteristiken eines Kalt- und eines entsprechenden Warmleiters aufgetragen. Ein solcher Warmleiter oder Thermistor [15; 16] (*therm*ally sensitive

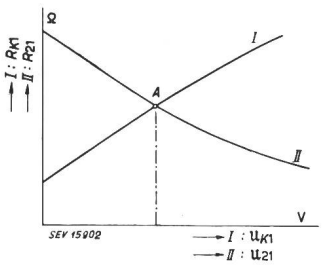


Fig. 10
Glühlampencharakteristik mit Thermistor kombiniert
(Kurve II im Maßstab 2 : 1 zur Kurve I)

res*istor*) reagiert, genau wie die Lampe R_{k1}, auf den Effektivwert, so dass sowohl die Stabilität wie auch Verzerrungsfreiheit des Generators gewährleistet ist. Der Arbeitspunkt ist der Schnittpunkt der beiden Kurven, so dass die sich erregende Spannung fest bestimmt ist, wenn man die Elemente für R_{21} und R_{k1} gewählt hat. Ob die amerikanische Industrie aufeinander abgestimmte Warm- und Kaltleiter bereits fabriziert, ist uns unbekannt, doch ist dies im Hinblick auf die zunehmende Bedeutung der *RC*-Generatoren wahrscheinlich.

5. Berechnungsbeispiel

Es soll nun ein einfacher *RC*-Generator mit R_{k1} als Kaltleiter und R_{21} als Ohmscher Widerstand berechnet werden (siehe Fig. 1).

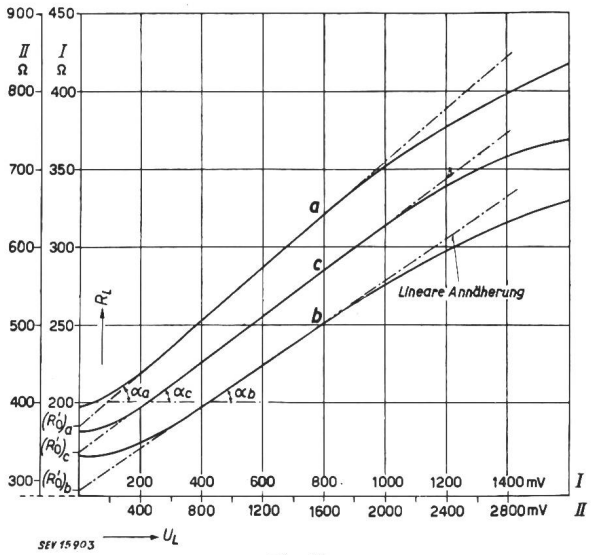


Fig. 11
Gemessene Glühlampencharakteristiken von 10 W-Lampen

Kurve a.: *160 V/10 W-Lampe*
Skala I: 1 Lampe — $R_L = f(U_L)$; $R_0' = 184\ \Omega$
Skala II: 2 Lampen in Serie — $\mathrm{tg}\alpha = 174{,}5\ \Omega/\mathrm{V}$

Kurve b.: *145 V/10 W-Lampe*
Skala I: 1 Lampe — $R_L = f(U_L)$; $R_0' = 144\ \Omega$
Skala II: 2 Lampen in Serie — $\mathrm{tg}\alpha = 135\ \Omega/\mathrm{V}$

Kurve c.: *160 V- und 145 V-Lampen in Serie* — $\mathrm{tg}\alpha = 145\ \Omega/\mathrm{V}$
Zahlenwerte siehe Skala II — $R_0' = 336\ \Omega$

Alle Glühlampencharakteristiken kann man im betrachteten Gebiet durch eine Gerade annähern. Die Gleichungen dieser Geraden lassen sich auf die Form bringen:

$$R_L = R'_0 + R'_L \cdot U_L, \text{ wobei } R'_L = \frac{dR_L}{dU_L} = \mathrm{tg}\alpha$$

Fig. 11 zeigt gemessene Lampencharakteristiken. Verwenden wir z. B. die Charakteristik *c*. Man wählt die verlangte Ausgangsspannung $\mathfrak{U}_{a2} = 6{,}3$ V. Weiter wird die Röhre 6C6 für die erste und die Röhre 6K6 für die zweite Stufe gewählt. Damit sind auch S_1 und S_2 bestimmt: $S_1 = 1{,}1$ mA/V; $S_2 = 2$ mA/V.

Die zweite Röhre benötigt einen Kathodenwiderstand von 800 Ω, der nicht abgeblockt wird, somit eine interne Gegenkopplung darstellt. Daher wird die wirksame Steilheit der zweiten Röhre:

$$S_2' = \frac{2}{1 + 2 \cdot 0{,}8} = 0{,}77 \text{ mA/V}.$$

Die maximale Frequenz sei 20 kHz. Die Anoden- und Schaltkapazität der ersten Röhre betrage 30 pF. Wählt man $R_{a1} = 100$ kΩ und $R_{g2} = 500$ kΩ, so wird die Verstärkung des Gegenkopplungsverstärkers bei der oberen Grenzfrequenz nicht wesentlich absinken.

Wenn $\mathfrak{U}_{a2} = 6{,}3$ V ist, so wird $\mathfrak{U}_{g1} = 2{,}1$ V und $\mathfrak{U}_{g'1} \approx 2$V. Der resultierenden Spannung $\mathfrak{U}_{k1}$ entspricht gemäss Fig. 11 ein Widerstand $R_{k1} = 630\ \Omega$, so dass $R_{21} = 1260\ \Omega$ wird. Wäre $R_{k1} + R_{21}$ allein der Belastungswiderstand der Röhre 2, so wäre die Verstärkung der zweiten Stufe $\mu'_2 = 1{,}45$. Da wir nur eine kleine Leistungsröhre gewählt haben, lassen sich die in Abschnitt 3h beschriebenen Forderungen, dass $R_{a2} < (R_{21} + R_{k1})$ sein soll, nicht erfüllen. Es wird somit R_{a2} entsprechend den verfügbaren Gleichspannungen gewählt, z. B. $R_{a2} = 7{,}5$ kΩ. Damit wird $\mu_2 = 0{,}77 \cdot 1{,}51 = 1{,}16$. Aus Gl. (30) ist R_k berechenbar: $R_k = 32{,}3$ kΩ.

Mit Gl. (24) erhalten wir den Verstärkungsfaktor der ersten Stufe: $\mu_1 = 2{,}58$. Die Kontrolle ergibt: $\mu = \mu_1\mu_2 = 2{,}58 \cdot 1{,}16 \approx 3$. Der Gegenkopplungsgrad ist nicht sehr gross, genügt aber für einen einfachen Generator. Er ist nach Gl. (37): $\mu'_1\beta = 1{,}1 \cdot 32{,}3 = 35{,}5$. $\mathfrak{U}_{g'1}$ ist um den Gegenkopplungsgrad

kleiner als $\mathfrak{U}_{k1}$ (Gl. 21), so dass die erste Röhre mit einer Spannung $\mathfrak{U}_{g'1} = 62{,}5$ mV ausgesteuert wird. Dementsprechend liegt am Gitter der zweiten Röhre eine Spannung $\mathfrak{U}_{g2} = 5{,}72$ V. Da die Vorspannung dieser Röhre —20 V ist und infolge des nicht abgeblockten Kathodenwiderstandes eine Erhöhung der Aussteuerung um den Faktor $1+S_2 \cdot R_{k2} = 2{,}6$ erzielt wird, bedeutet eine Aussteuerung von $\mathfrak{U}_{g2} = 5{,}72$ V, dass die vorausgesetzten linearen Beziehungen gültig sind.

Statt $R_{a'1}$ und R_{a2} kann man auch $\mathfrak{U}_{g'1}$ und $\mathfrak{U}_{g2}$ frei wählen, wenn man eine bestimmte maximale Aussteuerung der Röhren entsprechend einem bestimmten Klirrfaktor, den man aus den Röhrenkennlinien berechnet, vorschreibt.

6. Phasenschiebergenerator

Im Gegensatz zu den bisher behandelten *RC*-Generatoren ist der Phasenschieber-*RC*-Generator ein solcher, bei dem der *RC*-Vierpol die gesamte nötige Phasendrehung besorgt, also nicht allein als selektives Element wirkt.

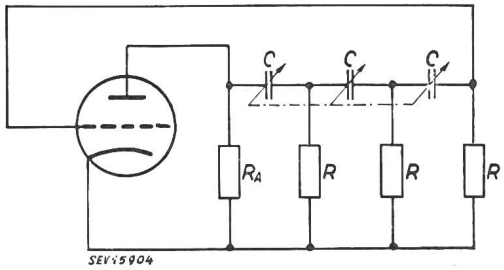


Fig. 12
Prinzipschema eines *RC*-Phasenschiebergenerators mit einer Röhre
(ohne Gleichstromzuleitungen)

Fig. 12 zeigt das Schema eines solchen Generators. Der Rückkopplungsvierpol besteht aus 3 *RC*-Gliedern, von denen eines in Fig. 13 nochmals gezeichnet ist. Der Phasenwinkel des Verhältnisses zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung dieses *RC*-Gliedes ist gegeben durch

$$\mathrm{tg}\varphi = \frac{1}{R\omega C} \tag{50}$$

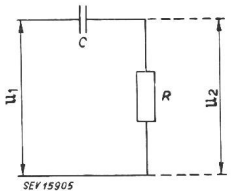


Fig. 13
***RC*-Glied für Phasenschiebergenerator**
$\frac{\mathfrak{U}_2}{\mathfrak{U}_1} = \frac{R\,\mathrm{j}\,\omega\,\mathfrak{C}}{1 + R\,\mathrm{j}\,\omega\,\mathfrak{C}}$

Um bei einem solchen *RC*-Generator die Phasenbedingung für $f > 0$ bzw. $f < \infty$ einzuhalten, benötigen wir die drei *RC*-Glieder. Berechnen wir mit den Selbsterregungsbedingungen $\left(\varphi_{tot} = 180°;\ \mu \cdot \frac{|\mathfrak{U}_2|}{|\mathfrak{U}_1|} = 1\right)$ die nötige Verstärkung und die sich erregnde Frequenz, so erhalten wir

$$\frac{|\mathfrak{U}_2|}{|\mathfrak{U}_1|} = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{29} \quad (\mu = \text{Verstärkungsgrad der Schwingröhre}) \tag{51}$$

und

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}\,RC} \tag{52}$$

Die Amplitudenbegrenzung kann bei diesem Generator mit einer der im Abschnitt 4 behandelten Methoden ausgeführt werden. Verwendet man aus finanziellen Gründen diese Art von *RC*-Generator, so lässt sich der grössere Aufwand einer Gegenkopplungsbegrenzung kaum rechtfertigen, so dass man am besten eine Doppelröhre, die eine HF-Regelpenthode und eine Diode enthält, als Schwingröhre verwendet. Die durch die Diode gleichgerichtete Spannung beeinflusst die negative Vorspannung des Gitters. Man kann auch eine HF-Penthode mit linearer Charakteristik verwenden und die Begrenzung mit Hilfe des Raumladegitters und eines Gleichrichters erreichen. Da alle diese Methoden den Klirrfaktor vergrössern und andererseits für eine geeignete Gegenkopplung ein mehrstufiger Verstärker nötig ist, wird man im allgemeinen lieber den reinen *RC*-Generator statt den Phasenschiebergenerator verwenden.

Der Phasenschieber-*RC*-Generator kommt dafür bei der Erzeugung von mehrphasigen, insbesondere dreiphasigen Schwingungen zu Bedeutung [17]. Fig. 14 zeigt das Prinzip-

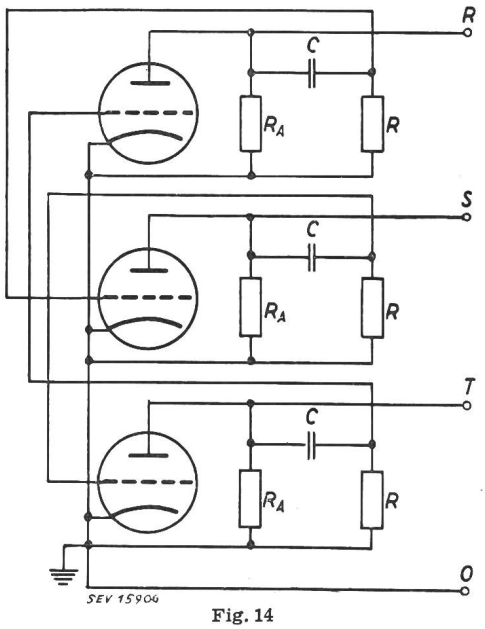


Fig. 14
Prinzipschema eines Dreiphasen-*RC*-Phasenschiebergenerators
(ohne Gleichstromzuleitungen)

schema eines solchen Generators, der aus Fig. 13 entwickelt wurde. Bei einer Gesamtphasendrehung von 180° ruft jedes *RC*-Glied eine solche von 60° hervor. Schaltet man nun zwischen jedes *RC*-Glied noch eine Röhre, so ist die Phasendrehung pro Stufe 180° — 60° = 120°, wie es bei einem Dreiphasengenerator verlangt wird.

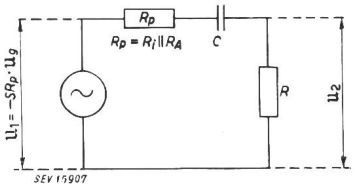


Fig. 15
Ersatzschema einer Stufe des Dreiphasen-*RC*-Generators der Fig. 14

Für die Berechnung eines solchen Generators benutzen wir Fig. 15, die das Ersatzschema einer Stufe des Dreiphasen-*RC*-Generators der Fig. 14 darstellt. Es gilt

$$\frac{\mathfrak{U}_2}{\mathfrak{U}_1} = \frac{R}{R_p + R + 1/\mathrm{j}\omega C} = \frac{R\,\mathrm{j}\omega C}{\mathrm{j}\omega C\,(R_p + R) + 1} \tag{53}$$

und

$$\mathrm{tg}\varphi = \frac{1}{(R_p + R)\,\omega C} \tag{54}$$

wobei also unter R_p die Parallelschaltung des Anodenzuleitungswiderstandes R_A mit dem inneren Röhrenwiderstand R_i zu verstehen ist.

Für $\varphi = 60°$ ist $\mathrm{tg}\varphi = \sqrt{3}$, so dass die sich erregende Frequenz

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{3}\,(R_p + R)\,C} \tag{55}$$

Setzen wir Gl. (55) in Gl. (53) ein und berechnen den Betrag von $|\mathfrak{U}_2/\mathfrak{U}_1|$, so folgt

$$\frac{|\mathfrak{U}_2|}{|\mathfrak{U}_1|} = \frac{1}{2\,(1 + R_p/R)} \tag{56}$$

Damit sich das in Fig. 14 gezeigte System erregt, ist es nötig, dass

$$\frac{|\mathfrak{U}_2|}{|\mathfrak{U}_1|} = \mu \qquad (57)$$

wird, (μ = Verstärkungsfaktor einer Röhre) damit ist

$$\underline{\mu = 2\,(1 + R_p/R)} \qquad (58)$$

Bei einem solchen Generator lohnt sich die Hinzuschaltung einer weiteren Stufe pro Phase, die eventuell eine Kathodenverstärkerstufe sein, und von der die nötige Gegenkopplungsspannung abgenommen werden kann. Die Amplitudenbegrenzung geschieht dann mittels Gegenkopplung, wie sie schon ausführlich beschrieben wurde.

Literatur

[1] *Jacot, H.:* Erzeugung sinusförmiger Wechselströme über sehr breite Frequenzbereiche. Techn. Mitt". PTT Bd. 23(1945), Nr. 1.

[2] a) *Barkhausen, H.:* Elektronenröhren. Bd. II. - Verstärker. Bd. III. - Rückkopplung.

b) *Reichardt, W.:* Der einheitliche Zusammenhang zwischen Sinusschwingungen, Kippschwingungen und Kippsprüngen. Elektr. Nachr.-Techn. Bd. 20(1943), Nr. 9, S. 213.

c) *Reichardt, W.:* Negative Widerstände, Sinusschwingungen, Kippschwingungen und Kippsprünge. Elektr. Nachr.-Techn. Bd. 20(1943), Nr. 3, S. 76.

[3] *Willoner, G.,* u. *F. Tihelka:* Tongenerator ohne Schwingungskreis. Arch. techn. Messen Z 42—4(1941).

[4] *Willoner, G.,* u. *F. Tihelka:* Über Phasenschiebergeneratoren. Hochfrequenztechnik und Elektroakustik Bd. 61(1943), Nr. 2, S. 48.

[5] *Newitt, J. H.:* R.C.-Oscillator Performance. Electronics Bd. 17(1944), Nr. 3, S. 126 u. 252.

[6] *Zaiser, W.:* Untersuchungen an einem Schwingungserzeuger mit Widerstand und Kapazität als frequenzbestimmende Schaltteile (RC-Generator). Elektr. Nachr.-Techn. Bd. 19(1942), Nr. 11, S. 228.

[7] a) *Gerrmann, A.:* Netzwerke aus Widerständen und Kondensatoren für Schwingkreisschaltungen. Elektr. Nachr.-Techn. Bd. 21(1944), Nr. 3/6, S. 75.

b) *de Gruyter, E.:* LR- und CR-Glieder sind entartete Schwingungskreise. Bull. SEV Bd. 23(1942), Nr. 1, S. 19.

[8] *Termann, F. E., R. R. Buss, W. R. Hewlett* u. *F. C. Cahill:* Some Applications of Negative Feeback with Particular Reference to Laboratory Equipment. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 27(1939), Nr. 10. Bull. SEV Bd. 23(1942), Nr. 14, S. 404.

[9] a) *Tellegen, B. D.:* Gegenkopplung. Philips techn. Rdsch. Bd. 2(1937), Nr. 10, S. 289.

b) *Bartels, H.,* u. *F. Schierl:* Die Arbeitsweise gegengekoppelter Verstärker. Telefunken Bd. 18(1937), Nr. 77, S. 9.

c) *Bode, H. W.:* Relations between Attenuation and Phase in Feedback Amplifier Design. Bell Syst. Techn. J. Bd. 19(1940), Nr. 3, S. 421.

[10] a) *Wunderlich, R.:* Die Arbeitsweise des Kathodenverstärkers. Elektr. Nachr.-Techn. Bd. 19(1942), Nr. 5, S. 63.

b) *Pullen, K. A.:* The Cathode-Coupled Amplifier. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 34(1946), Nr. 6, S. 402...405.

c) *Pacini, H. P.:* Cathode follower Calculations: Electronics Bd. 17(1944), Nr. 10, S. 137.

d) *Krauss, L.:* Graphical solutions for Cathode Follower. Electronics Bd. 20(1947), Nr. 1, S. 116.

[11] *Clifford, F. G.:* A Bridge-Stabilized Resistance-Capacitance Oscillator. Electronics Engng. Bd. 17(1945), Nr. 6, S. 560.

[12] *Meacham, L. A.:* The Bridge-Stabilized Oscillator. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 26(1938), Nr. 10, S. 1278.

[13] *Gauger, R.,* u. *B. Berrang:* Gegentaktsender für stetig regelbare, sehr tiefe Frequenzen. Telegr.-, Fernspr.- u. Funktechn. Bd. 30(1941), Nr. 9, S. 257.

[14] *Black, H. S., F. A. Brooks, A. J. Wier,* u. a.: Cable Carrier Developements. Electr. Engng. Bd. 66(1947), Nr. 7, S. 650.

[15] a) *Cooper, W. H. B.,* u. *R. A. Seymour:* Temperature-Dependent Resistors. Wirel. Engr. Bd. 24(1947), Nr. 10, S. 298.

b) *Fleming:* Thermistor Regulated Low Frequency Oscillator. Electronics Bd. 19(1946), Nr. 10, S. 97.

[16] a) *Person, G. L.,* The Physics of Electronic Semiconductors. Electr. Engng. Bd. 66(1947), Nr. 7, S. 638.

b) *Becher, J. A., C. B. Green* u. *G. L. Pearson:* Properties and Uses of Themistors. Electr. Engng. Bd. 65(1946), Nr. 11, S. 711.

[17] *Barett, R. M.:* N-Phase Resistance - Capacitance Oscillators. Proc". Inst. Radio Engr". Bd. 33(1945), Nr. 8, S. 541.

Adresse des Autors:

G. Isay, dipl. El.-Ing. ETH, Ingenieur der Fr. Sauter A.-G., Im Surinam 55, Basel.

Communications de nature économique

Données économiques suisses

(Extraits de «La Vie économique» et du «Bulletin mensuel Banque Nationale Suisse»)

N°		Juin 1948	Juin 1949
1.	Importations . . . (en 10^6 frs)	477,3	303,5
	(janvier-juin) . .	(2811,1)	(1965,3)
	Exportations . . .	289,1	287,6
	(janvier-juin) . .	(1592,7)	(1637,4)
2.	Marché du travail: demandes de places	1395	4725
3.	Index du coût de la vie (Juillet 1914 = 100)	224	222
	Index du commerce de gros (Juillet 1914 = 100)	233	220
	Prix-courant de détail (moyenne de 33 villes)		
	Eclairage électrique cts/kWh (Juin 1914 = 100)	33 (66)	33 (66)
	Gaz cts/m³ (Juin 1914 = 100)	32 (152)	32 (152)
	Coke d'usine à gaz frs/100 kg (Juin 1914 = 100)	20,04 (401)	17,27(346)
4.	Permis délivrés pour logements à construire dans 33 villes	852	2133
	(janvier-juin)	(5239)	(7609)
5.	Taux d'escompte officiel . %	1,50	1,50
6.	Banque Nationale (p. ultimo)		
	Billets en circulation 10^6 frs	4221	4319
	Autres engagements à vue 10^6 frs	1246	1781
	Encaisse or et devises or 10^6 frs	5777	6414
	Couverture en or des billets en circulation et des autres engagements à vue %	103,52	98,32
7.	Indices des bourses suisses (le 25 du mois)		
	Obligations	99	105
	Actions	235	225
	Actions industrielles . . .	367	322
8.	Faillites	42	52
	(janvier-juin)	(224)	(300)
	Concordats	6	24
	(janvier-juin)	(48)	(76)
9.	Statistique du tourisme	Mai 1948	Mai 1949
	Occupation moyenne des lits *existants*, en %	24,9	22,1
10.	Recettes d'exploitation des CFF *seuls*	Mai 1948	Mai 1949
	Marchandises . . (en 1000 frs)	29 423	24 288
	(janvier-mai) . . (en 1000 frs)	(148 113)	(118 455)
	Voyageurs . . . (en 1000 frs)	23 949	23 179
	(janvier-mai) . . (en 1000 frs)	(111 184)	(106 811)

Miscellanea

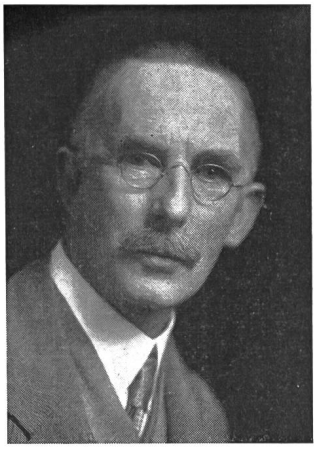
In memoriam

Sir Clifford Paterson †. Sir Clifford Copland Paterson, der am 26. Juli 1948 starb, war Direktor der Research Laboratories der General Electric Co. Er vereinigte in sich in seltsamem Ausmass Herzensgüte, menschliche Würde und ein aussergewöhnliches berufliches Geschick und Können. Die englische Industrie hat mit ihm einen ihrer Besten verloren.

Nach Absolvierung der Mill-Hill-School, der Studien am Finsburry Technical College und am Faraday House begann für Paterson eine Laufbahn, reich an glänzenden Erfolgen. Als junger Ingenieur übernahm er an dem um die Jahrhundertwende gegründeten National Physical Laboratory, unter der Leitung von R. Galzebrôok, die Verantwortung für die elektrotechnische und photometrische Abteilung. Der nötigen Entwicklung folgend, die wissenschaftlichen Ergeb-

nisse in den Dienst der menschlichen Gesellschaft zu stellen, plante die englische General Electric Co. ein industrielles Forschungslaboratorium, zu dessen Leitung Paterson ausersehen war und dem er vom Tage seiner Berufung an seine ganze Arbeitskraft gewidmet hat. Er begann mit dem Aufbau dieses Lebenswerkes im Jahr 1919 mit 29 Mitarbeitern; an seiner Bahre trauerten deren über 1000.

Die Research Laboratories in Wembley atmen Patersonschen Geist. Hier wurde eine Arbeitsgemeinschaft ins Leben gerufen, in der der Einzelne die grösste Freiheit geniesst und im Genusse dieser Freiheit ein Maximum freudig geleisteter Arbeit gibt. Damals war beispielsweise die Glühlampe noch ein recht unsicheres und oft problematisches Erzeugnis, während sie heute die einfachste und zuverlässigste Lichtquelle darstellt. An dieser Entwicklung mitgeholfen zu



Sir Clifford C. Paterson
1879—1948

haben, ist eines von Patersons Verdiensten, und die internationale Beleuchtungstechnik schuldet seiner unermüdlichen Mitarbeit viel. Paterson bewegte sich unter seinen Mitarbeitern wie der schlichteste unter seinesgleichen. Sein erfolgreiches und vielseitiges Wirken machte ihn zum Exponenten der englischen industriellen Forschungsarbeit und zum Träger unzähliger Ehrungen:

Er wurde Präsident der Illuminating Engineering Society, der Institution of Electrical Engineers, des Institute of Physics, des BSI-Councils, des DSIR-Lighting Building Commitee, Fellow der Royal Society. 1946 wurde er in den Adelsstand erhoben. Er war Inhaber der Faraday- und James-Ewing-Medaille, und als er inmitten höchster Aktivität krank im vergangenen Sommer aus Australien heimkehrte, überreichte man Lady Paterson drei Tage vor seinem Tode die goldene IES-Medaille.

Diese Ehrungen nahm er mit Bescheidenheit hin und war nie stolz auf einen Erfolg, denn niemand suchte die Ehre um der Ehre willen weniger als gerade er.

Zwischen den beiden Weltkriegen kam Paterson regelmässig zu Sitzungen in unser Land. Er präsidierte diese Anlässe mit der Überlegenheit des umsichtigen Verhandlungsleiters, und wenn die Diskussion in eine Sackgasse geriet, war meistens er es, der den Ausweg zeigte. Von dieser Tätigkeit her besass er in der Schweiz eine grosse Zahl von Freunden, und er unterhielt enge Beziehungen zur Schweizer Industrie. Wenn er nach Zürich kam, besuchte er zu dessen Lebzeiten jedesmal Prof. Stodola, den er nicht nur als hervorragenden Lehrer, sondern vor allem auch als tiefgründigen Denker und hochstehenden Menschen verehrte.

In seinem Garten in Oxhey bei London steht ein stattlicher Tannenbaum; den nahm er einst im Anblick des Genfersees von den Höhen des Juras als winziges Pflänzchen im Koffer mit nach England, und er und Lady Paterson konnten im Lauf der Jahre sich an seinem Wachstum freuen. Möge der grünende Baum für die Witwe des Verstorbenen noch recht lange ein lebendiger Zeuge für die Stunden sein, die Sir Clifford und Lady Paterson in unserem Lande verbracht haben.

Persönliches und Firmen

(Mitteilungen aus dem Leserkreis sind stets erwünscht)

H. A. Schlatter A.-G., Zollikon. Das Grundkapital von Fr. 300 000.— wurde auf Fr. 500 000.— erhöht.

Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt. Der Bundesrat wählte mit Amtsantritt auf Anfang Oktober 1949 als Direktoren der Hauptabteilungen A und B der EMPA mit Sitz in Zürich Ing. E. Amstutz, von Sigriswil (BE), zurzeit ordentlicher Professor für Flugzeugstatistik und Flugzeugbau an der ETH, und Dr. Ernst Brandenberger, von Flaach (ZH), zurzeit ausserordentlicher Professor für Allgemeine Metallkunde an der ETH. Prof. Amstutz wurde zudem das Präsidium des Direktoriums der EMPA übertragen.

Die beiden neuen Direktoren der EMPA wurden gleichzeitig als ordentliche Professoren für Werkstoffkunde und Materialprüfung in mechanisch-technischer, beziehungsweise in physikalisch-chemischer Richtung an der ETH gewählt.

Kleine Mitteilungen

La **Médaille André Blondel** pour 1949 a été décernée, le 18 mai 1949, par M. Louis de Broglie, à M. *Marc Jouguet*, maître de conférences à l'Ecole supérieure d'Electricité, à M. *Gilbert Nasse*, ingénieur à la Direction des Etudes et Recherches de l'Electricité de France et à M. *Stanislas Teszner*, ingénieur-conseil.

Briefmarken mit Motiven aus der Elektrotechnik. Auf den 1. August erscheinen aus Anlass des Jubiläums «100 Jahre Schweizer Post» neue Frankomarken von 3...70 Rappen. Die Dreirappenmarke zeigt eine Hochspannungsleitung im Mittelland, die Zwanzigrappenmarke den Grimselstausee, die Dreissigrappenmarke das Kraftwerk Verbois.

Literatur — Bibliographie

621.396.933 *Nr. 10 552*

Radio-navigation aérienne; réalisations et perspectives. Par *P. Gaudillère.* Paris, Dunod, 1949; 8°, 245 p., 123 fig., 3 tab. — Prix: broché ffr. 1350.—.

Das Buch «Radio-Navigation aérienne» besteht aus 3 Teilen und stellt in der Hauptsache eine Zusammenfassung der bis heute verwendeten Funknavigations-Hilfsmittel und -Methoden dar.

Im ersten Teil werden die allgemeinen Grundlagen behandelt, wobei auch die Grundbegriffe der Kartographie, soweit sie die Radio-Navigation interessieren, sehr gut dargestellt sind.

Der zweite Teil befasst sich mit den gegenwärtig im Gebrauch stehenden Funknavigationsmethoden mit Einschluss von Verfahren, welche sich noch im Entwicklungsstadium befinden, wie beispielsweise das «Navaglobe», «Navaglide», «Teleran» usw.

Im dritten Teil wird die Zukunft der Flugfunknavigation auf Grund der Entwicklungsrichtung, die sich heute auf diesem Gebiet präsentiert, analysiert.

Der Verfasser hat es verstanden, in einfacher Darstellung, ohne viel Mathematik, ein umfassendes Bild von dem sehr komplexen Gebiet der Flugfunknavigation zu geben. Er hat dabei sämtliche Hilfsmittel behandelt, welche von einiger Bedeutung sind. Das Buch kann deshalb vor allem jenen empfohlen werden, welche einen allgemeinen Überblick über dieses Gebiet erhalten möchten. Aber auch der Fachmann, welcher meistens in einer bestimmten Richtung spezialisiert ist, wird das Werk gerne zu Rate ziehen. *H. Schafroth*

621.313.13 *Nr. 10 383*

Operation and Maintenance of Industrial Electric Motors; a Textbook for the use of Electricans' Apprentices and Power Plant Engineers. By *G. W. Stubbings*. London, Spon, 3rd ed., 1947. 8°, VII, 176 p., 53 fig. — Price: cloth £ —.10.6.

Der Verfasser stellt sich die Aufgabe, unter Voraussetzung nur weniger Vorkenntnisse das für den praktischen Betrieb elektrischer Maschinen notwendige Wissen zu vermitteln. In knapper Form wird die Wirkungsweise der Gleichstrommaschinen, der Wechselstrommaschinen (in kl. Kommutatormotoren) und der Transformatoren behandelt. Ein besonderes Kapitel «Testing» befasst sich mit Prüfmethoden, die sich mit einfachen, in jedem Betrieb vorhandenen Mitteln durchführen lassen. Breiter Raum ist dem Betriebsverhalten, den Störungen mechanischer und elektrischer Art sowie deren Feststellung und Behebung gewidmet. Ein kurzes Kapitel über Motorschutz, elektrisches Bremsen, Leistungsfaktorverbesserung und Erdung beschliesst den Stoff.

Das Büchlein vermittelt in knapper Form einen einfachen Überblick und enthält wertvolle praktische Hinweise für das Auffinden und Beheben leichter Störungen. Es kann jedem, der sich in dieses Gebiet einarbeiten will, bestens empfohlen werden. *R. Zwicky*

621.311.21 (436) *Nr. 509 004*

Über den derzeitigen Stand der Bauarbeiten am Tauernkraftwerk Kaprun. Von *Hans Böhmer*, Wien, Springer, 1949; 8°, 50 S., 22 Fig., 1 Tab. — Schriftenreihe des Österreichischen Wasserwirtschaftsverbandes, Heft 14. — Preis: brosch. Fr. 4.30.

Die vorliegende Broschüre gibt über das erste Baujahr des Tauernkraftwerkes Kaprun einen Rechenschaftsbericht. Die Kraftwerkgruppe Glockner-Kaprun liegt am östlichen Rand des für die nutzbaren Gewässer der Hohen Tauern projektierten Kraftwerknetzes. Es besteht aus zwei Stufen, der Hauptstufe mit dem Speicher Wasserfallboden und der Oberstufe mit dem Speicher Mooserboden. Die genannte Fallhöhe vom Speicher Mooserboden bis nach Kaprun beträgt 1244 m bei einer totalen Stollenlänge von 10,9 km. Die Gesamtleistung beider Stufen wird $600 \cdot 10^6$ kWh betragen, wovon $400 \cdot 10^6$ kWh Winterenergie.

Mit dem Bau des wichtigsten Teiles der Hauptstufe der Limbergsperre wurde nach anstrengenden Vorarbeiten anfangs September 1948 begonnen. Das beabsichtigte Bauziel, die Verarbeitung von 30 000 m³ Beton, konnte bis Mitte November 1948 voll erreicht werden. *Schi.*

621.3.016.35 *Nr. 10 487*

Power System Stability, vol. I: Elements of Stability Calculations. By *Edward Wilson Kimbark*. New York & London, Wiley, 1947; 8°, 355 p., fig., tab. — Price: cloth $ 6.—.

Die Frage der Stabilität von Energie-Übertragungen nimmt mit den immer stärker belasteten Verbindungs- und Austauschleitungen gesteigertes Interesse an. Es ist daher für den mit diesen Fragen Beschäftigten erfreulich, alle in Betracht fallenden mathematischen und betrieblichen Unterlagen in einem Buch zusammengefasst zu finden.

In den ersten beiden Kapiteln werden die Grundlagen der Stabilitätsberechnung behandelt, während das dritte Kapitel eine eingehende Würdigung der Netzberechnung und deren Auswertung an den in USA häufig verwendeten Wechselstromnetzmodellen enthält. Die weiteren Kapitel behandeln die Stabilität des Zwei-Maschinen-Systems unter Einfluss von Störungen und die Ermittlung der zulässigen Abschaltzeit mit Hilfe vorausberechneter Kurvenscharen. Die zweite Hälfte des Buches ist der praktischen Besprechung effektiver untersuchter Netze gewidmet und zeigt das Vorgehen bei Stabilitätsuntersuchungen ganzer komplexer Versorgungsnetze.

Wenn auch das Buch naturgemäss sich der amerikanischen Masseinheiten bedient und damit nicht ohne weiteres für die europäischen Verhältnisse angewendet werden kann, so bietet es doch dem Ingenieur, welcher sich speziell mit diesen Fragen zu beschäftigen hat, eine ausserordentlich prägnante Zusammenfassung der vielen, über die Stabilitätsfragen geschriebenen Arbeiten. *Ho.*

666.974.15 *Nr. 511 017*

Talsperrenbeton; Sicherheit und Verantwortung. Von *Josef Fritsch*. Wien, Springer, 1949; 8°, 34 S., 4 Fig. — Schriftenreihe des Österreich. Wasserwirtschaftsverbandes, Heft 15. — Preis: brosch. Fr. 2.60.

Die vorliegende Broschüre ist der Weiterentwicklung der grundlegenden Gedanken über Aufbau und Prüfung von Massenbeton gewidmet. Gegenwärtig kommen in Österreich im Massenbetonbau Streuungen in der Kornzusammensetzung vor, so dass bei der Herstellung von mageren Mischungen auch bei völlig gleichmässiger Zementzugabe und Wassergehalt mit einem zeitweisen Absinken der Betonqualität gerechnet werden muss. Die Bauherren sehen sich aus diesem Grund gezwungen, höhere Zementdosierungen vorzuschreiben, als was die Festigkeit der Massenbetonbauten beanspruchen würde. Der Verfasser will in seiner Arbeit beweisen, dass bei Massenbetonbauten durch Einführung neuer Grundsätze und Arbeitsweisen in die Betontechnik nicht einzig der Zementgehalt und Siebkurvenbereich massgebend ist und vorgeschrieben werden muss, sondern die Rüttelwilligkeit und der Verdichtungsgrad des Betongemisches, während Zementleim in stets gleichbleibender Konzentration verwendet wird. Einem grösseren Arbeits- und Materialaufwand bei der Aufbereitung des Korngemenges sollen Zementersparnis und die technischen Vorteile eines zementärmeren Betons (z. B. kleinere Wärmespannungen) gegenüberstehen. *Schi.*

621.31 *Nr. 10 502*

Elektrische Starkstromanlagen; Maschinen, Apparate, Schaltungen, Betrieb. Kurzgefasstes Hilfsbuch für Ingenieure und Techniker und zum Gebrauch an technischen Lehranstalten. Von *Emil Kosack*. Berlin u. Göttingen, Springer, 10. durchges. Aufl., 1947; 8°, X, 354 S., 320 Fig. Preis: brosch. DM 12.60.

Kosack gibt mit diesem Buch ein kurzgefasstes Lehrbuch der praktischen Elektrotechnik, indem er mit den wichtigsten Gesetzen der Erzeugung der elektrischen Energie beginnt und auch dem Gleichstrom eine beträchtliche Seitenzahl einräumt. In einem weiteren Abschnitt werden die Messgeräte und die Messverfahren behandelt, um dann zur Besprechung der elektrischen Apparate und Maschinen überzugehen. Den Starkstromanlagen als solchen ist nur ein verschwindend kleiner Teil des Buches eingeräumt.

Das Buch ist leider nicht ganz seinem Titel entsprechend durchdacht und entspringt eher der gegenwärtigen Notlage an kurzen Zusammenstellungen der technischen Handbücher. Als theoretische Einführung in das Wesen der Elektrizität ist es zu knapp, in der Apparate- und Maschinenbesprechung fehlen die Hinweise auf die wichtigsten Berechnungsformeln, während der Aufbau der Erzeugungs- und Transformierungsanlagen nur schematisch behandelt ist und effektive bauliche Beispiele fehlen. Es leidet damit an einem Zuviel und Zuwenig und ergibt beim Studium das Gefühl eines gewissen Mangels an definitiver Information. *Ho.*

389.6 : 621 *Nr. 10 551*

Grundzüge der Maschinenkonstruktion und Normung. Von *Hermann Winter*. Wolfenbüttel u. Hannover, Wolfenbütteler Verlagsanstalt, 2. Aufl., 1948; 8°, 119 S., Fig., Tab., 1 Taf. — Bücher der Technik. — Preis: brosch. DM 6.80.

Das vorliegende kleine Handbuch ist äusserst nützlich für den jungen Konstrukteur, aber auch für den Studierenden. In sehr prägnanter und äusserst praktischer Form gibt der Verfasser Beispiele und Unterlagen für die Konstruktion von Maschinen und macht sehr geschickt auf die Normung der verschiedenen Maschinenteile aufmerksam unter Hinweis auf bereits bestehende nationale und internationale Normblätter. Es ist dem Autor gelungen, gerade auf das Wichtigste aufmerksam zu machen und Nebensächlichkeiten wegzulassen. Sehr prägnant sind auch die Konstruktions- und Einbaubeispiele für Maschinenelemente oder Teile von Maschinen redigiert. Es ist das gezeigt, was man in einem Buch für die Praxis öfters wünschen möchte, nämlich die Gegenüberstellung von falscher und richtiger Anwendung oder Konstruktion, denn nur dadurch, dass man auch das Falsche zeigt, ist es hauptsächlich dem jungen Konstrukteur oder dem

Studierenden möglich, den Vorteil einer Konstruktion zu erkennen. Auf einige Kleinigkeiten soll immerhin aufmerksam gemacht werden, nämlich, dass im Büchlein verschiedene Male das alte deutsche Grenzlehrensystem erwähnt ist und der Leser nicht ohne weiteres ersieht, ob in Deutschland eigentlich die ISA-Toleranzen oder das alte DIN-Toleranzsystem üblich sind. Bekanntlich arbeiten heute sozusagen sämtliche deutsche Industrien nach dem ISA-Toleranzsystem. Ferner ist für schweizerische Verhältnisse die lange Tabelle über die Anwendungsmöglichkeiten verschiedener Maschinenbau-Werkstoffe ungeeignet, denn sie enthält die in Deutschland übliche marktgängige Markenbezeichnung. Zum Schluss ist noch auf einen Umstand aufmerksam zu machen, der leider in Deutschland sehr stark um sich gegriffen hat, nämlich die Aufteilung einer Konstruktion. Es ist einfach nicht erklärlich, dass in Deutschland eine Gruppenaufteilung einer Maschine in «Fertiggruppe», «Hauptgruppe», «Baugruppe», «Zwischengruppe», «Untergruppe», «Hilfsgruppe» und «Einzelteile» gemacht wird. Diese Ausdrücke sind doch mnemotechnisch äusserst schlecht und man kann sich nicht vorstellen, dass in einer Maschinenfabrik nach diesen Benennungen unterteilt werden kann. Jedenfalls möchte der Rezensent warnen vor einer Aufnahme dieser ungünstigen Ausdrücke in der schweizerischen Industrie. Abgesehen von diesen Details ist das Büchlein, wie schon erwähnt, zu empfehlen. Für eine spätere Auflage wünschte man einen etwas besseren Druck und etwas besseres Papier. *H. Abegg.*

621.39 *Nr. 10 555*

Einführung in die Theorie der Schwachstromtechnik. Von *Julius Wallot.* Berlin, Göttingen, Heidelberg, Springer, 5. verb. Aufl., 1948; 8°, X, 458 S., Fig., Tab. — Preis: geb. DM 35.—, brosch. DM 31.60.

Die vorliegende fünfte Ausgabe dieses Werkes kommt einem Bedürfnis entgegen, da die frühern Auflagen vollkommen vergriffen sind. Der Name Wallot bürgt für Qualität. Der Verfasser ist einer der eifrigsten Befürworter des Systems der Grössengleichungen. Jede Formel, die in diesem Buche zur praktischen Rechnung herangezogen wird, enthält die Angabe der Einheiten, in denen die Zahlenwerte einzusetzen sind. Das Buch ist das eigentliche Standardwerk der Schwachstromtechnik in deutscher Sprache. Es umfasst sozusagen alles, womit sich der Fernsprech-Ingenieur in der Praxis beschäftigen muss. Zur Vertiefung in Spezialgebiete sind die entsprechenden Literaturhinweise vorhanden. Die fünfte Auflage unterscheidet sich nur unwesentlich von der vorangegangenen; schade nur, aber begreiflich, dass die Papierqualität noch nicht mit der inhaltlichen Qualität Schritt halten konnte. Das Buch darf als ausserordentlich nützliches Lehrbuch und Nachschlagewerk jedem theoretisch interessierten Fernsprechtechniker empfohlen werden. *H. Weber*

621.316.31 *Nr. 10 527*

Schaltungsbuch für Gleich- und Wechselstromanlagen; Dynamomaschinen, Motoren und Transformatoren, Lichtanlagen, Kraftwerke und Umformerstationen. Ein Lehr- und Hilfsbuch. Von *Emil Kosack.* Berlin u. Göttingen, Springer, 6. Aufl., 1948; 8°, XII, 216 S., 306 Fig. — Preis: brosch. DM 10.50.

Das Buch enthält in der Hauptsache Schaltbilder für den Aufbau von Gleichstrom- und Wechselstromanlagen, wobei auf die Besprechung der Bauelemente nicht eingegangen wird. Die Schaltbilder sind dabei z. T. ausserordentlich weit bis ins Detail gezeichnet, wodurch die grosse Linie des Buches etwas verloren geht.

Ein grosser Teil des Buches ist weiter der Schaltung der Motoren und ihrer Anlassvorrichtung gewidmet, welche für den Praktiker kaum mehr in Frage kommt, wie auch die Besprechung der verschiedenen Umformerarten.

Damit ist das Buch für den Praktiker etwas zu detailliert in den Schaltbildern, während die Hinweise auf Ausführungsarten fehlen. Für den Studierenden dürfte es zu umfangreich sein. *Ho.*

Communications des Institutions de contrôle de l'ASE

«Lampes à incandescence repoussant les insectes»

Ces derniers temps, certaines annonces et réclames ont fait l'éloge des lampes à incandescence repoussant les insectes. Il est prétendu que la consommation d'énergie de ces lampes par rapport à l'émission de lumière pendant la même durée d'éclairage serait égale à celle des lampes normales.

Comme il en ressort des résultats suivants, les examens prouvent que ces données ne correspondent pas à la réalité.

Il s'agit en principe d'une lampe à incandescence munie d'une ampoule jaune absorbant une grande quantité de lumière. Des vérifications relatives à la durée sont en cours.

Cœfficient d'efficacité des lampes à incandescence contrôlées

Puissance nominale W	Lampes Ex. Insecta lm/W	Valeur minimum d'après les Règles de l'ASE lm/W
25	4,5	8,1
75	6,0	10,7
100	7,9	12,0

Estampilles d'essai et procès-verbaux d'essai de l'ASE

I. Marque de qualité

B. Pour interrupteurs, prises de courant, coupe-circuit à fusibles, boîtes de jonction, transformateurs de faible puissance, douilles de lampes, condensateurs.

pour conducteurs isolés.

Transformateurs de faible puissance

A partir du 1er juillet 1949.

E. Lapp & Co., Zurich.

Marque de fabrique:

Appareils auxiliaires pour lampes fluorescentes.

Utilisation: Montage à demeure pour lampes fluorescentes temporairement humides.

Exécution: Appareils auxiliaires sans coupe-circuit thermique. Enroulement en fil de cuivre émaillé. Plaque de base et couvercle en tôle d'aluminium. Livrable également sans couvercle, pour montage incorporé.

Interrupteurs

A partir du 1er juillet 1949.

Gardy S. A., Genève.

Marque de fabrique: GARDY

Interrupteurs rotatifs pour 10 A 380 V ~.

Exécution: socle en stéatite. Couvercle ou boîtier et manette en matière isolante moulée brune ou crème.

Utilisation:

a) pour montage apparent dans des locaux secs;
b) pour montage encastré dans des locaux secs;
c) pour montage apparent dans des locaux humides;
d) pour montage apparent dans des locaux mouillés.

	a)	b)	c)	d)	schéma
Nr. FAD 21/A		/E	/B	/C	
	interrupteur ordinaire, unipol.				0

N° FAD 21/1A	/1E	/1B	/1C	schéma
	interrupteur à gradation, unipol.			1
N° FAD 21/2A	/2E	/2B	/2C	
	commutateur, unipol.			2
N° FAD 21/3A	/3E	/3B	/3C	
	inverseur, unipol.			3
N° FAD 21/4A	/4E	/4B	/4C	
	commutateur de groupe, unipol.			4
N° FAD 21/5A	/5E	/5B	/5C	
	commutateur multiple, unipol.			5
N° FAD 21/6A	/6E	/6B	/6C	
	interrupteur de croisement, unipol.			6
N° FAD 21/7A	/7E	/7B	/7C	
	commutateur, unipol.			7
N° FAD 21/8A	/8E	/8B	/8C	
	commutateur, unipol.			8
N° FAD 21/9A	/9E	/9B	/9C	
	commutateur, unipol.			9
N° FAD 21/10A	/10E	/10B	/10C	
	commutateur, unipol.			10
N° FAD 22/A	/E	/B	/C	
	interrupteur ordin., bipol.			0

A partir du 1er juillet 1949.

J. Huber & Cie S. A., Baden.

Marque de fabrique:

Interrupteurs pour 10 A 500 V ~.

Utilisation: Dans des locaux secs.

Exécution: Doigts de contact en argent, plaques de support en matière isolante moulée brune.

Pour différents nombres de pôles et schémas de couplage.

a) Interrupteurs pour encastrement dans des machines ou des tableaux.

b) Interrupteurs pour montage en saillie, avec boîtier en tôle d'acier.

Coupe-circuit à fusible

A partir du 1er juillet 1949.

C. E. B. Société Anonyme, Genève.

(Représentation de la maison Jean Müller o. H. G., Eltville a. Rh.)

Marque de fabrique:

Fusibles «Mignon» pour 250 V.

Intensité nominale: 6 A.

Prises de courant d'appareils

A partir du 1er juillet 1949.

Adolphe Feller S. A., Horgen.

Marque de fabrique:

Prises de courant d'appareils 3 P + T pour 6 A 500 V.

Utilisation: dans des locaux humides.

Exécution: Pièces intérieures en stéatite. Prise d'appareil avec collet de protection en tôle d'acier et poignée en matière isolante moulée. Fiche d'appareil pour montage saillant avec collet de protection en tôle d'acier, fiche d'appareil pour montage encastré avec collet de protection et couvercle à clapet en silumin.

N° 9354:	Fiche d'appareil pour montage saillant	Norme SNV 24 550
N° 9354 m. Kl.:	Fiche d'appareil avec couvercle à clapet, pour montage encastré	
N° 9454:	Prise d'appareil	

Prises de courant

A partir du 1er juillet 1949.

Adolphe Feller S. A., Horgen.

Marque de fabrique:

Prises de courant industrielles 3 P + T, pour 6 A 500 V.

Exécution: Pièces intérieures en stéatite. Prises avec boîtier en fonte, fiches avec collet de protection en tôle d'acier et poignée en matière isolante moulée.

N° 9704, 9704 G:	Prises murales	Norme SNV 24 538, type 32
N° 9804:	Fiches	

III. Signe «antiparasite» de l'ASE

Sur la base de l'épreuve d'admission, subie avec succès, selon le § 5 du *Règlement pour l'octroi du signe «antiparasite» de l'ASE* [voir Bull. ASE t. 25(1934), N° 23, p. 635...639, et n° 26, p. 778], le droit à ce signe a été accordé:

Signe «antiparasite»

A partir du 1er juillet 1949.

SATURN S. A., Utoquai 41, Zurich.

Marque de fabrique: Universal-Cyklon

Machine de cuisine «Universal-Cyklon»

Tension 220 V

Puissance 140 W

IV. Procès-verbaux d'essai

[Voir Bull. ASE t. 29(1938), N° 16, p. 449.]

Valable jusqu'à fin juin 1952.

P. N° 1012.

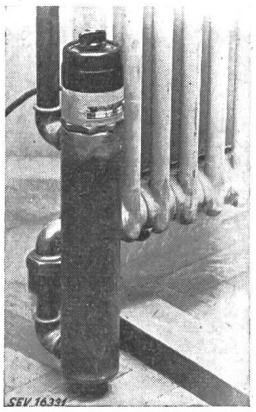
Objet: **Corps de chauffe**

Procès-verbal d'essai ASE: O. N° 23 247a, du 17 juin 1949.

Commettant: Ad. Bühlmann, Seestrasse 354, Zurich.

Inscriptions:

A. BUEHLMANN
Heizungen
Seestr. 354 Zürich 2
Typ ASR 145 Volt 220
F. No. 1040818 Watt 1200



Description:

Corps de chauffe, selon figure, pour adossement à un radiateur de chauffage central. Barre chauffante à gaine métallique logé dans une tubulure, qui est reliée au radiateur de telle sorte que l'eau du chauffage central y circule. Commutateur de chauffage au-dessus du corps de chauffe. Cordon de raccordement à trois conducteurs sous double gaine isolante fixée à l'appareil, avec fiche 2 P + T.

Le corps de chauffe a subi avec succès les essais relatifs à la sécurité.

Valable jusqu'à fin juin 1952.

P. N° 1013.

Objet: **Fer à souder**

Procès-verbal d'essai ASE: O. N° 23 590a, du 20 juin 1949.

Commettant: Käsermann & Spérisen, Aebistrasse 75, Bienne.

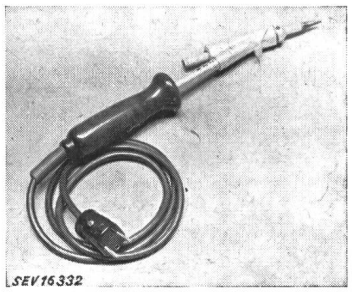
Inscriptions:

SOLO
220 V 100 W 16116

Description:

Fer à souder, selon figure. Corps de chauffe isolé au mica. Panne amovible, en cuivre. Manche en bois verni. Cordon de raccordement à trois conducteurs sous gaine de caoutchouc fixé à l'appareil, avec fiche 2 P + T, et protégé

par une gaine de caoutschouc à son introduction dans le manche.



Ce fer à souder a subi avec succès les essais relatifs à la sécurité.

P. N° 1014.

Objet: **Appareil auxiliaire**

Procès-verbal d'essai ASE: O. N° 22 703a, du 28 juin 1949.

Commettant: A. Wagner, Appareils électriques, Winterthurerstrasse 437, Zurich 51.

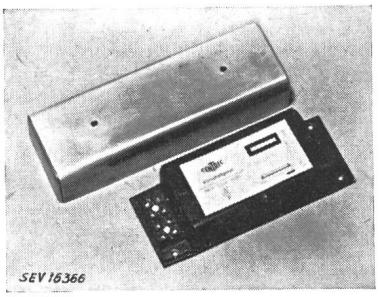
Inscriptions:

CENTRIC

Vorschaltgerät
für 40 W Fluoreszenz-Lampen
220 V 0,41 A 50 Hz

Description:

Appareil auxiliaire sans coupe-circuit thermique, selon figure, pour lampe fluorescente de 40 W. Enroulement en fil de cuivre émaillé dans boîtier en tôle de fer, rempli de masse coumpound. Couvercle en tôle d'aluminium.



Cet appareil auxiliaire a subi avec succès des essais analogues à ceux prévus dans les «Prescriptions pour transformateurs de faible puissance» (Publ. n° 149 f). Utilisation: dans les locaux secs ou temporairement humides.

Les appareils de cette exécution portent la marque de qualité de l'ASE; ils sont soumis à des épreuves périodiques.

Valable jusqu'à fin juin 1952.

P. N° 1015.

Objet: **Appareil de télédiffusion**

Procès-verbal d'essai ASE: O. N° 23 546a, du 28 juin 1949.

Commettant: S. A. Paillard, Sainte-Croix.

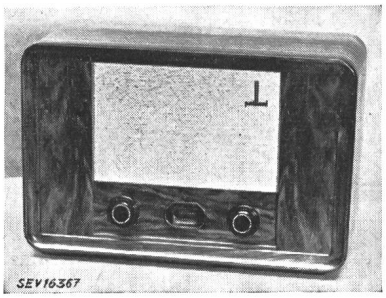
Inscriptions:

paillard

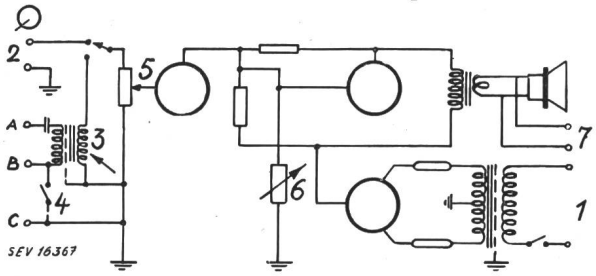
No. 6 Type 1001
Courant alternatif VA 40
110—250 Volts 50—60 ~
Made in Switzerland

Description:

Appareil pour télédiffusion à basse fréquence et amplification gramophonique, selon figure et schéma.



1 Réseau
2 Pick-up
3 Translateur d'entrée pour la télédiffusion
4 Sélecteur de programme
5 Régulateur de puissance
6 Régulateur de tonalité
7 Deuxième haut-parleur



Cet appareil est conforme aux «Prescriptions pour appareils de télécommunication» (Publ. n° 172 f).

Valable jusqu'à fin juillet 1952.

P. N° 1016.

Objet: **Chauffe-eau à accumulation**

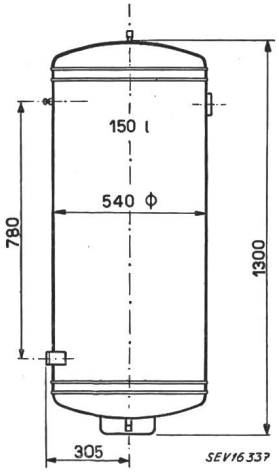
Procès-verbal d'essai ASE: O. N° 23 687, du 5 juillet 1949.

Commettant: Hermann Forster S. A., Arbon.

Inscriptions:

Forster

Arbon Schweiz
Volt 380 ~ Liter 150 Fe
Watt 1800 Probedruck 12 at.
No. 49186 Betriebsdruck 6 at.



Description:

Chauffe-eau à accumulation, selon croquis. Deux corps de chauffe et un régulateur de température avec dispositif de sûreté. Calorifugeage en liège granulé. Thermomètre à aiguille.

Ce chauffe-eau est conforme aux «Prescriptions et Règles pour chauffe-eau électriques à accumulation» (Publ. N° 145 f).

P. N° 1017.

Objet: **Coussin chauffant**

Procès-verbal d'essai ASE: O. N° 23 281a, du 5 juillet 1949.

Commettant: A. Wagner, Appareils électriques, Zurich.

Inscriptions:

CENTRIC

Volt 220 Type 147
Watt 57 Nr. 5000

Description:

Coussin chauffant de 30 × 40 cm. Cordon chauffant constitué par du fil de résistance enroulé sur un cordon d'amiante et recouvert d'une tresse d'amiante, le tout cousu entre deux draps. Couche d'ouate et deux housses cousues, l'une en gurite, l'autre en flanelle. Un régulateur de température combiné à un coupe-circuit thermique est enclenché à tous les échelons. Cordon de raccordement rond avec fiche et interrupteur de réglage.

Ce coussin chauffant est conforme aux «Conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les coussins chauffants électriques» (Publ. n° 127 f), ainsi qu'au «Règlement pour l'octroi du signe distinctif antiparasite» (Publ. n° 117 f).

Communications des organes des Associations

Les articles paraissant sous cette rubrique sont, sauf indication contraire, des communiqués officiels des organes de l'ASE et de l'UCS

Nécrologie

Nous déplorons la perte de Monsieur *Walter P. Schnebli*, ingénieur EPF, directeur de la Stuag internationale, société financière de constructions routières, membre de l'ASE depuis 1948, décédé le 10 juin 1949 à Bad Ischl (Autriche) pendant un congrès de l'Association autrichienne pour l'aménagement des eaux, à l'âge de 56 ans. Nous présentons nos sincères condoléances à la famille en deuil.

Nous deplorons la perte de Monsieur *W. Schaufelberger*, Dr phil., fondateur et chef de la fabrique d'appareils Solis, Dr W. Schaufelberger & Co., membre collectif de l'ASE, décédé à Zurich le 26 juillet 1949 à la suite d'un accident routier, à l'âge de 83 ans. Nous présentons nos sincères condoléances à la famille en deuil et à l'entreprise qu'il dirigeait.

CIGRE 1950

La prochaine session de la CIGRE se tiendra du jeudi 29 juin au samedi 8 juillet 1950.

Les manuscrits des rapports

devront être remis au secrétariat du Comité National Suisse de la CIGRE, Seefeldstrasse 301, Zurich 8, avant le 15 novembre 1949 au plus tard. Ce secrétariat prie tous ceux qui désirent présenter un rapport de vouloir bien lui communiquer le sujet du rapport dès maintenant et avant le 25 août 1949 au plus tard pour permettre au Comité National Suisse de faire le choix des rapports à présenter et d'envoyer aux rapporteurs les instructions nécessaires.

Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à haute tension (CIGRE)

Invitation à devenir membre de cette Association

La CIGRE est une organisation électrotechnique internationale créée en 1921. Elle se réunit tous les deux ans, à Paris, en Assemblée plénière, dite Session, d'une durée de 10 jours. A ces sessions biennales (dont la prochaine aura lieu en 1950), les rapports provenant de tous les pays industriels sont répartis en 4 sections, qui s'occupent des sujets suivants:

Section 1: Production, transformation et couplage de l'énergie électrique.
Section 2: Construction, isolation et entretien des lignes aériennes et souterraines.
Section 3: Exploitation, interconnexion et protection des réseaux.
Section 4: Transmission de l'énergie à des tensions supérieures aux tensions actuellement utilisées.

Le nombre des participants à ces sessions augmente constamment. En 1948, il a été de 1144, ce qui prouve que l'importance de la CIGRE est de plus en plus reconnue dans les milieux de l'électrotechnique.

Rappelons que la CIGRE est constituée depuis 1932 en association selon la loi française, de sorte que quiconque s'occupe du domaine délimité dans son programme peut en devenir membre. La CIGRE comprend deux catégories de membres, à savoir: les membres personnels (personnes physiques) et les membres collectifs (sociétés de nature industrielle, commerciale ou financière, associations techniques ou scientifiques, grandes administrations publiques ou privées, établissements d'enseignements ou de recherches techniques ou scientifiques, etc.).

Les cotisations annuelles sont actuellement fixées à fr.s. 13.— (1000 francs français) pour les membres personnels et à fr.s. 130.— (10 000 francs français) pour les membres collectifs.

Les membres permanents (mais non les personnes qui ne font qu'assister aux sessions) jouissent des avantages suivants:

1° Réduction de 20 % sur le droit d'inscription aux sessions biennales et sur le prix de toutes les publications de la CIGRE, en particulier des comptes rendus des sessions, qui renferment en plusieurs volumes le texte de tous les rapports présentés.

2° Possibilité d'être désignés pour faire partie des Comités d'Etudes de la CIGRE, qui se réunissent entre les sessions.

3° Possibilité de s'adresser au Secrétariat de la CIGRE pour toute information qu'ils pourraient désirer.

4° Dans les cas où ils voyagent à l'étranger, ils peuvent être introduits auprès des membres de la CIGRE résidant dans les pays qu'ils visitent et recevoir ainsi une fructueuse assistance.

5° Envoi gratuit du Bulletin périodique «Electra».

La CIGRE est gérée par une Assemblée générale qui se réunit tous les deux ans et qui élit elle-même un Conseil d'administration, où sont représentés 18 pays. Le Conseil a pour agent d'exécution un délégué général, qui dirige le Secrétariat de Paris.

Depuis 1948, la présidence de la CIGRE est assumée par M. R. A. Schmidt, membre du conseil d'administration de la S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse, Lausanne. Le délégué général est M. J. Tribot Laspière, Paris.

Nous invitons tous ceux de nos membres individuels et collectifs qui s'occupent du domaine délimité par le programme de la CIGRE, à devenir membres de la CIGRE et à s'adresser pour cela au Secrétariat de l'ASE, Seefeldstr. 301, Zurich 8, qui leur fournira volontiers de plus amples renseignements et transmettra les inscriptions.

Règles et recommandations pour les symboles littéraux et signes

Le projet de Règles pour les symboles littéraux et signes paru en 1947 sous forme d'un tirage à part a soulevé partout un grand intérêt, de sorte que cette publication a été rapidement épuisée. Afin de satisfaire à de nombreuses demandes, nous avons publié une deuxième édition remaniée, qui comporte d'importantes modifications par rapport à la première, ainsi que de nouveaux chapitres concernant la haute fréquence et les télécommunications, de même qu'une liste des lettres.

Ce tirage à part constitue la Publication n° 192 f de l'ASE. Cette brochure de 44 pages rendra certainement de grands services à tous ceux qui tiennent à utiliser les symboles internationaux recommandés par l'ASE, de manière que leurs travaux puissent être largement diffusés. Elle est en vente auprès de l'Administration commune de l'ASE et de l'UCS, Seefeldstrasse 301, Zurich 8, au prix de frs. 5.— (frs. 3.50 pour les membres).

Règles pour les isolateurs-supports pour haute tension

A la demande du CES, le Comité de l'ASE publie ci-après le projet de Règles sur les isolateurs-supports pour haute tension, élaboré par le Comité Technique 8. Les membres de l'ASE sont invités à adresser leurs observations éventuelles, par écrit, en deux exemplaires, au Secrétariat de l'ASE, 301, Seefeldstrasse, Zurich 8, dans les trois semaines. Si aucune objection n'est formulée dans ce délai, le Comité de l'ASE admettra que les membres sont d'accord avec ce projet et procédera à la mise en vigueur de ces règles.

Projet

Règles pour les isolateurs-supports pour haute tension

I. Domaine d'application

1. Les présentes règles concernent les isolateurs-supports destinés aux installations à courant alternatif de tensions supérieures à 1000 V, jusqu'à une altitude de 1000 m.

Les isolateurs rigides pour lignes aériennes à haute tension ne sont pas régis par ces règles, mais par les Règles pour les isolateurs en porcelaine destinés aux lignes aériennes à haute tension (Publ. n° 155f de l'ASE).

II. Définitions

2. Les **isolateurs-supports** sont des parties d'installations électriques qui servent à supporter des parties sous tension et à les isoler de la terre ou d'autres parties sous tension.

3. Les **isolateurs-supports d'intérieur** sont destinés à des locaux où ils ne sont pas soumis à des condensations d'humidité.

Remarque:

Lorsque des condensations d'humidité sont à craindre, il est recommandé de chauffer le local.

4. Les **isolateurs-supports d'extérieur** sont destinés à l'extérieur ou à des locaux où ils risquent d'être soumis à des condensations d'humidité ou à un fort encrassement.

5. La **tension nominale** (U_n) d'un isolateur-support est la valeur efficace de la tension entre les conducteurs de phases du système, pour laquelle il est dimensionné et qui justifie sa désignation.

Remarque:

La notion de «tension nominale pôle-terre» n'entre pas en considération pour les isolateurs-supports.

6. La **tension d'essai à fréquence industrielle** est la valeur définie selon le chiffre 8 des Règles pour les essais diélectriques (Publ. n° 173f de l'ASE). Lors de l'essai, aucune perforation, ni aucun contournement de l'isolateur-support ne doit se produire.

7. Les **tensions 50 % de contournement au choc positives et négatives** sont les valeurs définies au chiffre 31 des Règles pour les essais diélectriques (Publ. n° 173f de l'ASE). Les contournements doivent se produire en dehors de l'isolateur-support, entre les armatures.

8. Le **pouvoir radioperturbateur** d'un isolateur-support caractérise le trouble apporté aux réceptions radiophoniques par les décharges par effluves ou aigrettes à l'intérieur ou à la surface de l'isolateur-support.

9. La **charge d'essai à la flexion** (charge de rupture) est la valeur de l'effort appliqué perpendiculairement à l'axe, à l'extrémité de l'armature du sommet en augmentant graduellement, jusqu'à ce que des détériorations de l'isolateur-support deviennent directement visibles ou soient constatées électriquement.

10. La **charge d'essai à la traction** (charge de rupture) est la valeur de l'effort de traction appliqué axialement, aux armatures en augmentant graduellement, jusqu'à ce que des détériorations de l'isolateur-support deviennent directement visibles ou soient constatées électriquement.

11. Le **couple d'essai à la torsion** (couple de rupture) est la valeur du couple appliqué perpendiculairement à l'axe, aux armatures d'extrémité en augmentant graduellement, jusqu'à ce que des détériorations de l'isolateur-support deviennent directement visibles ou soient constatées électriquement.

12. La **hauteur** d'un isolateur-support est la distance mesurée entre les surfaces d'extrémité, non comprise la pièce servant à la fixation des parties supportées.

III. Dispositions relatives à l'emploi et au dimensionnement

13. La **tension nominale** de l'isolateur-support doit être conforme aux Règles de l'ASE pour les valeurs normales des tensions, fréquences et courants pour installations électriques (Publ. n° 159f de l'ASE).

En conséquence, l'isolateur-support doit être dimensionné de manière à pouvoir supporter, pendant une durée quelconque, une tension de service égale à 1,15 fois la tension nominale, entre conducteurs de pôles.

14. Les **tensions d'essai à fréquence industrielle** et les **valeurs minima de la tension 50 % de contournement au choc 760/20/11** doivent être conformes aux valeurs indiquées aux tableaux I et II.

Tensions d'essai à fréquence industrielle

Tableau I

Tension nominale U_n en kV	3	10	20	30	45	60	80	110	150	220
Tension d'essai en kV	27	42	64	86	119	152	196	262	350	504

Valeurs minima de la tension 50 % de contournement au choc 760/20/11

Tableau II

Tension nominale U_n en kV	3	10	20	30	45	60	80	110	150	220
Tension de contournement au choc (valeur de crête) en kV	55	80	115	155	220	275	360	490	660	960

15. La **charge d'essai à la flexion** (charge de rupture) doit être conforme aux valeurs indiquées au tableau III.

Charge de rupture

Tableau III

Groupe	Charge de rupture à l'essai de flexion, en kg	Tension nominale U_n en kV									
A	200	—	—	—	—	45	60	80	110	150	220
B	400	3	10	20	30	45	60	80	—	—	—
C	1250	—	10	20	30	—	—	—	—	—	—

Remarque:

Le choix de la charge de rupture dépend des sollicitations mécaniques et électriques maxima auxquelles il y a lieu de s'attendre en service. La contrainte électrodynamique peut être calculée à l'aide de la formule:

$$F = \frac{2{,}04}{a}\,\hat{i}^2 \cdot 10^{-6} \text{ kg par m de longueur de conducteur,}$$

où

a est la distance du conducteur, en cm,

$\hat{i}$ la valeur de crête du courant maximum de court-circuit (choc de courant à l'enclenchement), en ampères.

Il est recommandé d'adopter un coefficient de sécurité d'au moins 2. Il faut également tenir compte du danger qui pourrait résulter d'une oscillation mécanique du système constitué par le conducteur et l'isolateur, en résonance avec la fréquence de service.

Les armatures des isolateurs-supports sollicités à la torsion doivent être assurées contre celle-ci. En ce qui concerne les sollicitations des isolateurs-supports d'extérieur dues au poids de la neige, au givrage et à la pression du vent, il y a lieu de tenir compte des prescriptions de l'Ordonnance sur les installations électriques à fort courant, aux chapitres «Installations en plein air» et «Lignes aériennes».

16. Les **tolérances des dimensions** des isolateurs-supports ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées au tableau IV pour les tolérances grossières (classe G, pour isolateurs-supports bruts) et pour les tolérances fines (classe F, pour les isolateurs-supports polis ou armés).

Tolérances des dimensions

Tableau IV

	Hauteur h	Diamètres superieur et inférieur	Autres dimensions
Classe G	± 3 %	± 3 %	± 5 %
Classe F			
$h \leq 150$ mm	± 1,5 mm	± 3 %	± 5 %
$h > 150$ mm	± 1 %	± 3 %	± 5 %

IV. Dispositions concernant les essais

17. Les **essais de routine** sont exécutés pour tous les isolateurs-supports d'une livraison.

18. Les **essais de type** sont exécutés, en sus des essais de routine, pour le contrôle des qualités des isolateurs-supports de nouvelle construction. Dans la règle, les isolateurs-supports qui ont été soumis à tous les essais de type ne doivent pas être utilisés dans des installations.

19. Des **essais spéciaux** peuvent être exécutés après entente entre le fabricant et le client.

20. Sauf indications contraires, les **essais diélectriques** seront exécutés conformément aux Règles pour les essais diélectriques (Publ. n° 173f de l'ASE).

Sont également valables les dispositions analogues du chapitre correspondant des Règles pour les isolateurs en porcelaine destinés aux lignes aériennes à haute tension (Publ. n° 155f de l'ASE).

A. Essais de routine

21. Contrôle des dimensions. L'observation des tolérances indiquées au chiffre 16 sera constatée.

22. Contrôle de la glaçure. La glaçure, l'émaillage ou la constitution de la surface seront contrôlés. Les défauts doivent être localisés et ne pas s'étendre sur une surface de plus de 0,5 cm², la surface défectueuse ne devant pas dépasser 1,5 cm² par isolateur-support.

23. Essai de flexion. Lorsque l'emploi de l'isolateur-support l'autorise, un essai de flexion peut être exécuté avec une charge ne dépassant pas la moitié de la charge de rupture selon le chiffre 15, après entente entre le fournisseur et le client. Cet essai doit avoir lieu avant l'essai diélectrique.

24. Essai sous tension alternative à fréquence industrielle, à sec. Une tension alternative à fréquence industrielle est appliquée, pendant 1 minute, à la température du local, entre l'armature du sommet de l'isolateur-support et l'armature de la base. Pour cet essai, l'isolateur-support doit être disposé d'une manière aussi analogue que possible à la disposition normale de service, notamment avec toutes ses armatures. Les éclateurs de sécurité réglables peuvent toutefois être ouverts ou enlevés, lorsque cela est nécessaire pour éviter des amorçages d'arc.

La valeur de la tension d'essai est indiquée au tableau I.

B. Essais de type

25. Essai sous tension alternative à fréquence industrielle, sous pluie (uniquement pour les isolateurs-supports d'extérieur). Cet essai est exécuté à la température du local d'essais, conformément aux Règles pour les essais diélectriques (Publ. n° 173f de l'ASE), sous pluie artificielle, à raison de 3 mm d'eau par minute, d'une résistivité de 9000... 11 000 Ωcm, avec une incidence de 40...50 °.

Une tension alternative à fréquence industrielle est appliquée, pendant 1 minute, entre l'armature du sommet de l'isolateur-support et l'armature de la base. Pour cet essai, l'isolateur-support doit être disposé d'une manière aussi analogue que possible à la disposition normale de service, notamment avec toutes ses armatures. Les éclateurs de sécurité réglables peuvent toutefois être ouverts ou enlevés, lorsque cela est nécessaire pour éviter des amorçages d'arc.

La valeur de la tension d'essai est indiquée au tableau I.

26. Essai sous tension de choc. L'isolateur-support doit être essayé à sec en étant disposé d'une manière aussi analogue que possible à la disposition normale de service, notamment avec toutes ses armatures. Si l'isolateur-support est équipé d'un éclateur de sécurité réglable, celui-ci devra être réglé à la valeur requise, indiquée sur la plaque signalétique. La tension est appliquée entre les armatures.

a) Il y a lieu de prouver tout d'abord que la tension 50 % de contournement au choc 760/20/11 atteint au moins, pour les deux polarités, les valeurs indiquées au tableau II. C'est le cas lorsque, sur 10 chocs 1|50 positifs et 10 négatifs aux valeurs indiquées au tableau II, un contournement se produit tout au plus pour 5 chocs positifs et 5 chocs négatifs.

b) L'isolateur-support est ensuite soumis à 10 chocs de tension positifs 1|50, le générateur de chocs étant réglé à une valeur de 15 % plus élevée que pour la production de tensions de choc conformément au tableau II. S'il ne se produit pas un contournement à chaque choc, la tension sera augmentée jusqu'à ce que chacun des 10 chocs provoque un contournement. Ce même essai sera répété avec 10 chocs négatifs. Ce faisant, aucune perforation ne doit se produire.

Dans le cas des isolateurs-supports qui ne sont protégés contre une perforation ni par leur dimensionnement, ni par des éclateurs de sécurité adossés, il y aura lieu de prévoir, lors de l'essai, un éclateur de sécurité en parallèle avec l'isolateur-support, qui sera réglé aussi exactement que possible aux valeurs indiquées au tableau II pour les tensions de contournement.

27. Détermination du pouvoir radioperturbateur. Le pouvoir radioperturbateur est déterminé conformément aux Recommandations pour l'essai du pouvoir radioperturbateur des isolateurs pour haute tension.

Remarque:

Ces Recommandations sont en préparation.

28. Détermination de la charge de rupture à la flexion. L'isolateur-support équipé et monté comme pour le service normal est soumis, perpendiculairement à son axe, à un effort de flexion agissant à la hauteur du conducteur, mais au moins à 60 mm au-dessus de la surface du sommet de l'isolateur-support, jusqu'à rupture. La charge sera augmentée de telle sorte, que la charge de rupture soit atteinte en 3 minutes environ.

La force mesurée à la rupture, multipliée par le rapport entre le bras de levier du point d'attaque de la force au-dessus de la surface de base de l'isolateur-support et la hauteur de celui-ci, est la charge de rupture de l'isolateur-support et ne doit pas être inférieure à la valeur indiquée au tableau III pour la construction dont il s'agit.

29. Détermination de la charge de rupture à la traction. Cet essai ne sera exécuté qu'après entente [1]). L'isolateur-support équipé et monté comme pour le service normal est soumis à un effort de traction agissant axialement sur l'armature du sommet en augmentant graduellement. L'effort sera augmenté de telle sorte, que la charge de rupture soit atteinte en 3 minutes environ. La charge de rupture ne doit pas être inférieure à la valeur convenue.

[1]) L'expérience a démontré que l'un des trois essais selon les chiffres 28, 29 et 30 entre en ligne de compte pour prouver la résistance mécanique. Il y a lieu de choisir celui de ces trois essais qui correspond le mieux au genre d'emploi de l'isolateur-support. Dans la règle, l'essai selon le chiffre 28 est suffisant.

30. Détermination du couple de rupture à la torsion. Cet essai ne sera exécuté qu'après entente [1]). L'isolateur-support équipé et monté comme pour le service normal est soumis à un couple de torsion augmentant graduellement, en veillant à ce qu'il ne se produise pas d'efforts de flexion additionnels. L'effort sera augmenté de telle sorte, que le couple de rupture soit atteint en 3 minutes environ. Le couple de rupture ne doit pas être inférieur à la valeur convenue.

31. Essai de résistance aux variations brusques de température. Cet essai n'est exécuté que pour les *isolateurs-supports en matière céramique* et cela après entente. Sauf indications contraires, il est répété cinq fois de suite. Les isolateurs-supports qui ont subi cet essai doivent être éliminés de la livraison.

Les isolateurs-supports composés de plusieurs parties sont essayés individuellement avec les armatures, mais démontés. Ceux d'une seule pièce sont essayés avec les armatures.

Les isolateurs-supports sont plongés alternativement dans de l'eau chaude et dans de l'eau froide. La chute de température est la différence qui existe chaque fois entre l'eau chaude et l'eau froide. L'amenée de chaleur doit être réglée de manière que la température prescrite soit rétablie avant la fin de la durée d'immersion, qui est de 15 minutes.

La chute de température est graduée selon le volume déplacé par l'isolateur-support (tableau V). Ce volume est déterminé:

a) pour les isolateurs-supports cylindriques, par leur hauteur totale et le diamètre maximum des jupes,

b) pour les isolateurs-supports coniques, par leur hauteur totale et la moyenne arithmétique du plus grand et du plus petit des diamètres des jupes.

Chute de température pour la porcelaine et le grès

Tableau V

Volume déplacé en litres	Variation de température en °C
Jusqu'à 20	85
de 20 à 50	80
de 50 à 100	75
de 100 à 150	70
de 150 à 200	65
de 200 à 300	60
Plus de 300	selon entente particulière

Remarque:

Un *essai à basse température* entre 0 et —20 °C est à l'étude.

A la suite de l'essai de résistance aux variations brusques de température, les isolateurs-supports ne doivent pas présenter d'avaries. L'essai de flexion selon le chiffre 23 et l'essai sous tension de choc selon le chiffre 26 permettent de constater les avaries qui ne sont pas directement visibles.

32. L'essai de galvanisation n'est exécuté que pour les isolateurs-supports d'extérieur à armatures galvanisées. Les ferrures galvanisées, préalablement frottées à la benzine pour les débarrasser de tout corps gras, puis rincées à l'eau, sont immergées à 4 reprises, pendant 1 minute chaque fois, dans une solution saturée neutre de sulfate de cuivre à la température de 20 °C. Après chaque immersion, les ferrures sont nettoyées sous l'eau, rincées et soigneusement essuyées. L'essai terminé, il ne doit rester aucun dépôt de cuivre rouge qui adhère malgré le rinçage et l'essuyage.

Règles pour les isolateurs de traversée pour courant alternatif à haute tension

A la demande du CES, le Comité de l'ASE publie ci-après le projet de Règles pour les isolateurs de traversée pour courant alternatif à haute tension, élaboré par le Comité Technique 8. Les membres de l'ASE sont invités à adresser leurs observations éventuelles, par écrit, en deux exemplaires, au Secrétariat de l'ASE, 301, Seefeldstrasse, Zurich 8, dans les trois semaines. Si aucune objection n'est formulée dans ce délai, le Comité de l'ASE admettra que les membres sont d'accord avec ce projet et procédera à la mise en vigueur de ces règles.

Projet

Règles pour les isolateurs de traversée pour courant alternatif à haute tension

I. Domaine d'application

1. Les présentes règles concernent les isolateurs de traversée destinés aux installations à courant alternatif à fréquence industrielle de tensions supérieures à 1000 V, jusqu'à une altitude de 1000 m.

Les boîtes d'extrémité de câbles ne sont pas régies par ces règles, mais par les Recommandations pour câbles à haute tension (Publ. n° 164f de l'ASE).

II. Définitions

2. Les **isolateurs de traversée** sont des parties d'installations électriques qui permettent de faire passer des conducteurs par une bride isolée. Ils comportent un ou plusieurs conducteurs sous tension avec ou sans pièces de connexion, un diélectrique et une bride de fixation.

3. Les **isolateurs de traversée d'intérieur** sont destinés à des locaux où ils ne sont pas soumis à des condensations d'humidité. Ils peuvent être plongés, en partie, dans un diélectrique liquide ou figé.

Remarque:

Lorsque des condensations d'humidité sont à craindre, il est recommandé de chauffer le local.

4. Les **isolateurs de traversée d'extérieur** sont destinés à l'extérieur ou à des locaux où ils risquent d'être soumis à des condensations d'humidité ou à un fort encrassement. Ils peuvent être plongés, en partie, dans un diélectrique liquide ou figé, ou encore être constitués partiellement comme des isolateurs de traversée d'intérieur.

5. Les **isolateurs de traversée à condensateurs** comportent une ou plusieurs parties métalliques conductrices dans le diélectrique, mais non reliées à la terre, pour régler axialement et radialement le champ diélectrique entre les conducteurs sous tension et la bride mise à la terre.

6. La **tension nominale** (U_n) d'un isolateur de traversée est la valeur efficace de la tension entre les conducteurs de phases du système, pour laquelle il est dimensionné et qui justifie sa désignation.

7. La **tension nominale pôle-terre** (U_{Yn}) d'un isolateur de traversée est la valeur efficace de la tension entre conducteurs et bride, pour laquelle il est dimensionné et qui justifie sa désignation.

8. Le **courant nominal** (I_n) d'un isolateur de traversée est la valeur efficace du courant, pour laquelle il est dimensionné et qui justifie sa désignation.

9. La **tension d'essai à fréquence industrielle** est la valeur définie selon le chiffre 8 des Règles pour les essais diélectriques (Publ. n° 173f de l'ASE). Lors de l'essai, aucune perforation, ni aucun contournement de l'isolateur de traversée ne doit se produire.

10. Les **tensions 50 % de contournement au choc positives et négatives** sont les valeurs définies au chiffre 31 des Règles pour les essais diélectriques (Publ. n° 173f de l'ASE). Les contournements doivent se produire en dehors de l'isolateur de traversée, entre conducteur et bride.

11. Les **pertes diélectriques** d'un isolateur de traversée sont celles qui se produisent dans le diélectrique, lors de l'application d'une tension alternative entre conducteur et bride. Elles sont généralement mesurées au pont de Schering, conformément à la Norme VSM 77 108.

12. Le **courant thermique limite pendant une seconde (courant d'une seconde)** est la valeur efficace du courant le plus intense dans le conducteur, dont l'isolateur de traversée est capable de supporter les effets thermiques pendant 1 seconde dans des conditions normales de service, sans qu'il en résulte une diminution durable de ses qualités diélectriques et mécaniques.

13. Le **pouvoir radioperturbateur** d'un isolateur de traversée caractérise le trouble apporté aux réceptions radiophoniques par les décharges par effluves ou aigrettes à l'intérieur ou à la surface de l'isolateur de traversée.

14. L'**effort de flexion admissible** est la valeur convenue de l'effort sollicitant l'armature de la tête d'un isolateur de traversée, perpendiculairement à l'axe de celui-ci, sans qu'il en résulte d'avaries mécaniques ou électriques, ni de déformations durables de l'isolateur de traversée.

III. Dispositions relatives à l'emploi et au dimensionnement

15. La **tension nominale** de l'isolateur de traversée doit être conforme aux Règles de l'ASE pour les valeurs normales des tensions, fréquences et courants pour installations électriques (Publ. n° 159f de l'ASE).

En conséquence, l'isolateur de traversée doit être dimensionné de manière à pouvoir supporter, pendant une durée quelconque, une tension de service égale à 1,15 fois la tension nominale, entre conducteurs de pôles.

16. La **tension nominale pôle-terre** doit atteindre au moins:

$U_n/\sqrt{3}$ pour les installations à courant triphasé avec conducteur de pôle qui n'est normalement pas relié à la terre (point neutre isolé ou mis à la terre),

U_n pour les installations à courant monophasé ou polyphasé avec conducteur de pôle mis normalement à la terre,

$U_n/2$ pour les installations à courant monophasé avec conducteur de phase qui n'est normalement pas relié à la terre.

L'isolateur de traversée doit supporter, pendant une durée quelconque, avec le courant nominal et installé comme en service normal, à la température maximum de service, une tension entre conducteur et bride égale à 1,15 fois la tension nominale pôle-terre, sans qu'il en résulte en aucun point une diminution durable de ses qualités, par suite d'une sollicitation thermique ou électrique excessive du matériel. En outre, l'isolateur de traversée doit supporter, dans ces mêmes conditions, durant 8 h, une tension égale à 1,15 fois la tension nominale, appliquée entre conducteur et bride.

Remarque:

Lorsqu'il s'agit d'isolateurs de traversée destinés à des systèmes triphasés dont le point neutre n'est pas relié directement à la terre, il y a lieu de tenir compte de dyssymétries éventuelles de la position du point neutre.

17. Les **tensions d'essai à fréquence industrielle** et les **valeurs minima de la tension 50 % de contournement au choc 760/20/11** doivent être conformes aux valeurs indiquées aux tableaux I et II.

Tensions d'essai à fréquence industrielle

Tableau I

Tension nominale U_n en kV	3	10	20	30	45	60	80	110	150	220
Tension d'essai en kV	27	42	64	86	119	152	196	262	350	504

Valeurs minima de la tension 50% de contournement au choc 760/20/11

Tableau II

Tension nominale U_n en kV	3	10	20	30	45	60	80	110	150	220
Tension de contournement au choc (valeur de crête) en kV	55	80	115	155	220	275	360	490	660	960

18. Les **courants nominaux** des isolateurs de traversée doivent être conformes aux valeurs normales ci-après, indiquées dans la Publication n° 159f de l'ASE:

100 250 400 600 1000 1500 A.

19. L'isolateur de traversée doit supporter le **courant nominal** sans que l'échauffement admissible selon le chiffre 20 soit dépassé, lorsqu'il est sollicité par la tension selon le chiffre 16.

20. Les **températures ambiantes maxima** et les **échauffements admissibles** aux connexions de l'isolateur de traversée sont, en régime nominal, celles qui sont indiquées au tableau III.

L'isolateur de traversée doit être capable de supporter le courant thermique limite convenu (courant d'une seconde), selon le chiffre 12.

Températures ambiantes maxima et limites des échauffements

Tableau III

	Température ambiante max. °C	Échauffement °C
a) Pour la partie à l'air de tous les isolateurs de traversée	40	35
b) Pour la partie plongeant dans l'huile des isolateurs de traversée d'interrupteurs et de transformateurs de mesure [1])	60	20
c) Pour la partie plongeant dans l'huile des isolateurs de traversée de transformateurs de puissance	95	10

[1]) Ne concerne pas l'échauffement des transformateurs de mesure

21. L'**effort de flexion admissible** doit être convenu lors de la commande.

IV. Dispositions concernant les essais

22. Les **essais de routine** sont exécutés pour tous les isolateurs de traversée d'une livraison.

23. Les **essais de type** sont exécutés, en sus des essais de routine, pour le contrôle des qualités des isolateurs de traversée de nouvelle construction. Dans la règle, les isolateurs de traversée qui ont été soumis à tous les essais de type ne doivent pas être utilisés dans des installations.

24. Des **essais spéciaux** peuvent être exécutés après entente entre le fabricant et le client.

25. Sauf indications contraires, les **essais diélectriques** seront exécutés conformément aux Règles pour les essais diélectriques (Publ. n° 173f de l'ASE).

A. Essais de routine

26. Essai sous tension alternative à fréquence industrielle, à sec. Une tension alternative à fréquence industrielle est appliquée pendant 1 minute, à la température du local, entre le conducteur et la bride mise à la terre.

Pour cet essai, l'isolateur de traversée doit être disposé d'une manière aussi analogue que possible à la disposition normale de service, notamment avec toutes ses armatures. Les éclateurs de sécurité réglables peuvent toutefois être ouverts ou enlevés, lorsque cela est nécessaire pour éviter des amorçages d'arc.

La valeur de la tension d'essai est indiquée au tableau I.

Quand il s'agit d'isolateurs de traversée à condensateurs, la capacité sera mesurée avant et après l'essai à l'aide d'un pont de Schering ou d'une autre méthode équivalente.

27. Mesure des pertes diélectriques en fonction de la tension. La mesure des pertes diélectriques ou de la tangente de l'angle de pertes en fonction de la tension est exécutée pour les isolateurs de traversée d'une tension nominale égale ou supérieure à 45 kV.

Dans la règle, cet essai a lieu conformément aux conditions de service. Le conducteur n'est pas chargé avec du courant et l'essai est exécuté à la température du local.

Commentaire: Du fait des décharges luminescentes qui risquent de se produire, les éclateurs de sécurité pourraient influencer la mesure des pertes dans le *diélectrique*, d'une manière qu'il serait difficile de prévoir.

La mesure des pertes diélectriques ou de la tangente de l'angle de pertes s'opère au pont de Schering ou à l'aide d'une méthode équivalente, en augmentant successivement la tension alternative à fréquence industrielle jusqu'à 1,15 fois la tension nominale de l'isolateur de traversée. La tangente de l'angle de pertes ne doit pas se modifier sensiblement lors de l'augmentation de la tension jusqu'à 1,15 fois la tension nominale pôle-terre.

Remarque:

La mesure des pertes diélectriques ou de la tangente de l'angle de pertes en fonction de la tension et de la capacité permet de constater, lors de contrôles ultérieurs, les changements survenus dans l'état de l'isolement.

B. Essais de type

28. Essai sous tension alternative à fréquence industrielle, sous pluie (uniquement pour les isolateurs de traversée d'extérieur). Cet essai est exécuté à la température du local d'essai, conformément aux Règles pour les essais diélectriques (Publ. n° 173f de l'ASE), sous pluie artificielle, à raison de 3 mm d'eau par minute, d'une résistivité de 9000...11 000 Ωcm, avec une incidence de 40...50 °.

Une tension alternative à fréquence industrielle est appliquée, pendant 1 minute, entre le conducteur et la bride mise à la terre. Pour cet essai, l'isolateur de traversée doit être disposé d'une manière aussi analogue que possible à la disposition normale de service, notamment avec toutes ses armatures. Les éclateurs de sécurité réglables peuvent toutefois être ouverts ou enlevés, lorsque cela est nécessaire pour éviter des amorçages d'arc.

La valeur de la tension d'essai est indiquée au tableau I.

Quand il s'agit d'isolateurs de traversée à condensateurs, la capacité sera mesurée avant et après l'essai à l'aide d'un pont de Schering ou d'une autre méthode équivalente.

29. Essai sous tension de choc. L'isolateur de traversée doit être essayé à sec en étant disposé d'une manière aussi analogue que possible à la disposition normale de service, notamment avec toutes ses armatures. Si l'isolateur de traversée est équipé d'un éclateur de sécurité réglable, celui-ci devra être réglé à la valeur requise, indiquée sur la plaque signalétique. La tension est appliquée entre conducteur et bride.

a) Il y a lieu de prouver tout d'abord que la tension 50 % de contournement au choc 760/20/11 atteint au moins, pour les deux polarités, les valeurs indiquées au tableau II. C'est le cas lorsque, sur 10 chocs 1|50 positifs et 10 négatifs aux valeurs indiquées au tableau II, un contournement se produit tout au plus pour 5 chocs positifs et 5 chocs négatifs.

b) L'isolateur de traversée est ensuite soumis à 10 chocs de tension positifs 1|50, le générateur de chocs étant réglé à une valeur de 15 % plus élevée que pour la production de tensions de choc conformément au tableau II. S'il ne se produit pas un contournement à chaque choc, la tension sera augmentée jusqu'à ce que chacun des 10 chocs provoque un contournement. Ce même essai sera répété avec 10 chocs négatifs. Ce faisant, aucune perforation ne doit se produire.

Dans le cas des isolateurs de traversée qui ne sont protégés contre une perforation ni par leur dimensionnement, ni par des éclateurs de sécurité adossés, il y aura lieu de prévoir, lors de l'essai, un éclateur de sécurité en parallèle avec l'isolateur de traversée, qui sera réglé aussi exactement que possible aux valeurs indiquées au tableau II pour les tensions de contournement.

Quand il s'agit d'isolateurs de traversée à condensateurs, la capacité sera mesurée avant et après l'essai à l'aide d'un pont de Schering ou d'une autre méthode équivalente.

30. Mesure des pertes diélectriques sous tension constante. La mesure des pertes diélectriques ou de la tangente de l'angle de pertes sous tension constante est exécutée pour les isolateurs de traversée d'une tension nominale égale ou supérieure à 45 kV.

Pour cet essai, l'isolateur de traversée doit être disposé d'une manière aussi analogue que possible à la disposition normale de service et la partie plongeant dans l'huile sera chauffée conformément aux dispositions du chiffre 20. Le conducteur n'est pas chargé avec du courant.

Les éclateurs de sécurité réglables doivent être enlevés pour cet essai.

Commentaire: Du fait des décharges luminescentes qui risquent de se produire, les éclateurs de sécurité pourraient influencer la mesure des pertes dans le *diélectrique*, d'une manière qu'il serait difficile de prévoir.

La mesure des pertes diélectriques ou de la tangente de l'angle de pertes, s'opère au pont de Schering ou à l'aide d'une méthode équivalente, sous une tension égale à 1,15 fois la tension nominale à fréquence industrielle, si possible à la fréquence nominale, jusqu'à ce que les pertes soient devenues constantes, mais au maximum durant 8 heures.

31. Détermination de l'échauffement (chiffre 20). Le conducteur de l'isolateur de traversée équipé comme pour le service normal est chargé avec le courant nominal, à la température du local. L'échauffement est mesuré aux connexions, à l'aide d'un thermomètre.

Commentaire: Il est pratiquement impossible de mesurer, à l'aide d'une méthode simple, l'échauffement à l'endroit le plus chaud du corps isolant de l'isolateur de traversée.

32. Détermination du pouvoir radioperturbateur. Le pouvoir radioperturbateur est déterminé conformément aux Recommandations pour l'essai du pouvoir radioperturbateur des isolateurs à haute tension.

Remarque:

Ces Recommandations sont en préparation.

33. Essai de l'effort de flexion admissible. L'isolateur de traversée équipé et monté comme pour le service normal est sollicité par son armature de tête, perpendiculairement à son axe. La charge sera augmentée de telle sorte, que la pleine valeur de l'effort de flexion convenu soit atteinte en 10 à 20 secondes.

Pour prouver que cet essai a été subi avec succès, l'essai de tension à sec selon le chiffre 26 sera ensuite répété et les déformations durables seront contrôlées.

V. Plaque signalétique

34. La plaque signalétique doit porter les indications suivantes:

Nom du fabricant
Tension nominale U_n en kV *)
Tension nominale pôle-terre U_{Yn} en kV *)
Courant nominal I_n en A
Fréquence nominale f en Hz
Distance disruptive de l'éclateur de sécurité s en cm

*) Ces deux indications peuvent être réunies, comme dans les exemples suivants:
«Tension nominale 45/45 kV» signifie qu'il s'agit d'un isolateur de traversée d'une tension nominale de 45 kV et d'une tension nominale pôle-terre de 45 kV.
«Tension nominale 45/26 kV» signifie qu'il s'agit d'un isolateur de traversée d'une tension nominale de 45 kV et d'une tension nominale pôle-terre de 26 kV.

Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, édité par l'Association Suisse des Electriciens comme organe commun de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité. — Rédaction: Secrétariat de l'Association Suisse des Electriciens, 301, Seefeldstrasse, Zurich 8, téléphone (051) 34 12 12, compte de chèques postaux VIII 6133, adresse télégraphique Elektroverein Zurich. — La reproduction du texte ou des figures n'est autorisée que d'entente avec la Rédaction et avec l'indication de la source. — Le Bulletin de l'ASE paraît toutes les 2 semaines en allemand et en français; en outre, un «annuaire» paraît au début de chaque année. — Les communications concernant le texte sont à adresser à la Rédaction, celles concernant les annonces à l'Administration. — **Administration:** case postale Hauptpost, Zurich 1, téléphone (051) 23 77 44, compte de chèques postaux VIII 8481. — **Abonnement:** Tous les membres reçoivent gratuitement un exemplaire du Bulletin de l'ASE (renseignements auprès du Secrétariat de l'ASE). Prix de l'abonnement pour non-membres en Suisse fr. 40.— par an, fr. 25.— pour six mois, à l'étranger fr. 50.— par an, fr. 30.— pour six mois. Adresser les commandes d'abonnements à l'Administration. Prix de numéros isolés en Suisse fr. 3.—, à l'étranger fr. 3.50.