Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 40 (1949)

Heft: 16

Rubrik: Mitteilungen SEV

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: 08.08.2025

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:

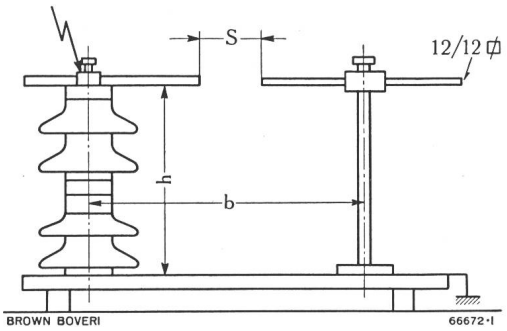


Fig. 1
Untersuchte Stabfunkenstrecken

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

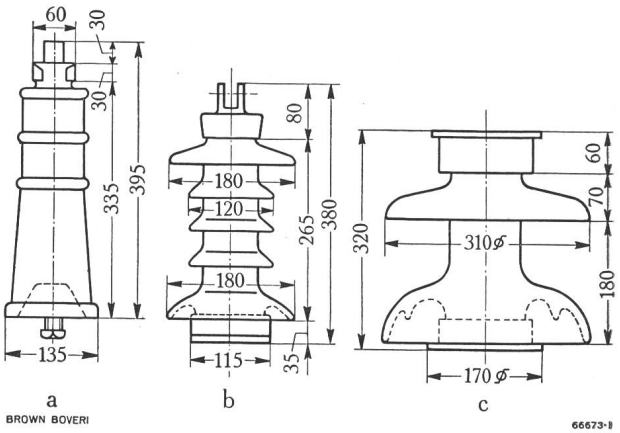


Fig. 2
Untersuchte Stützisolatoren
a Innenraumstützer, Schlagweite 340 mm
b Vollkernstützer für Freiluft, Schlagweite 355 mm
c Motorstützer mit weitem Schirm, Schlagweite 320 mm

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

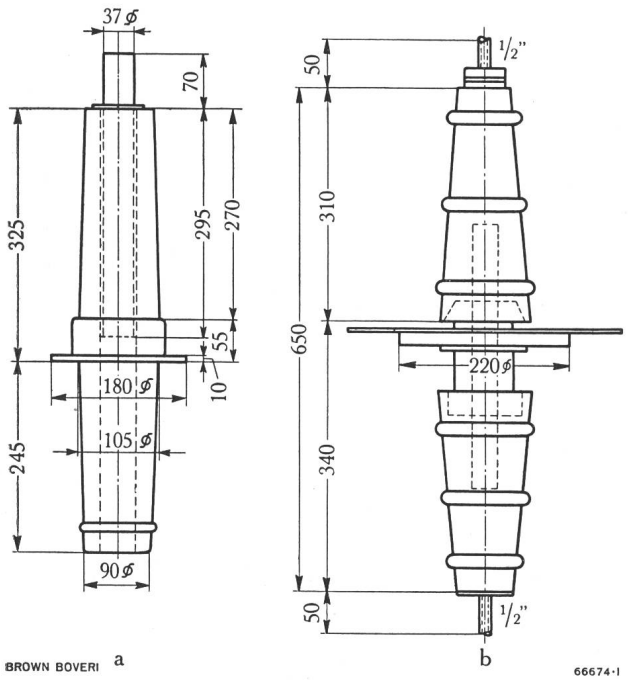


Fig. 3

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.

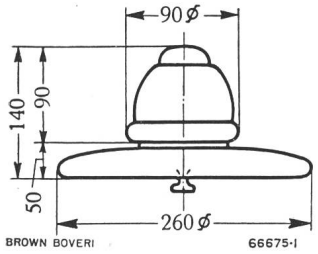


Fig. 4

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-

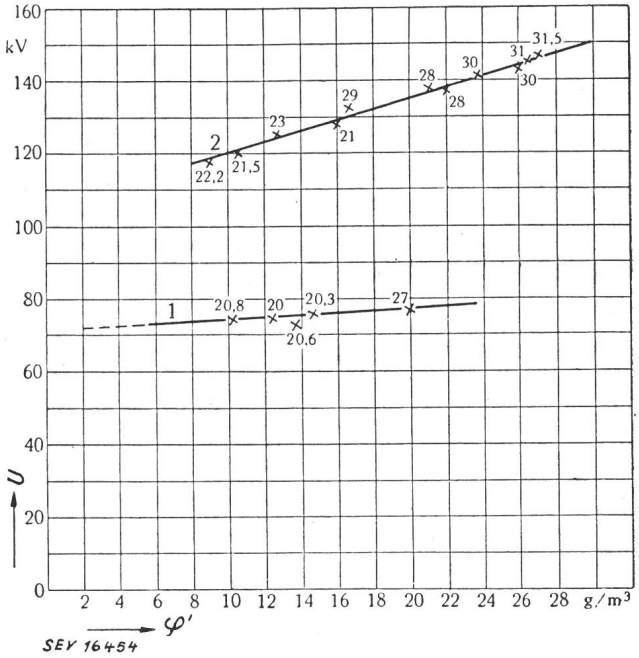


Fig. 5

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

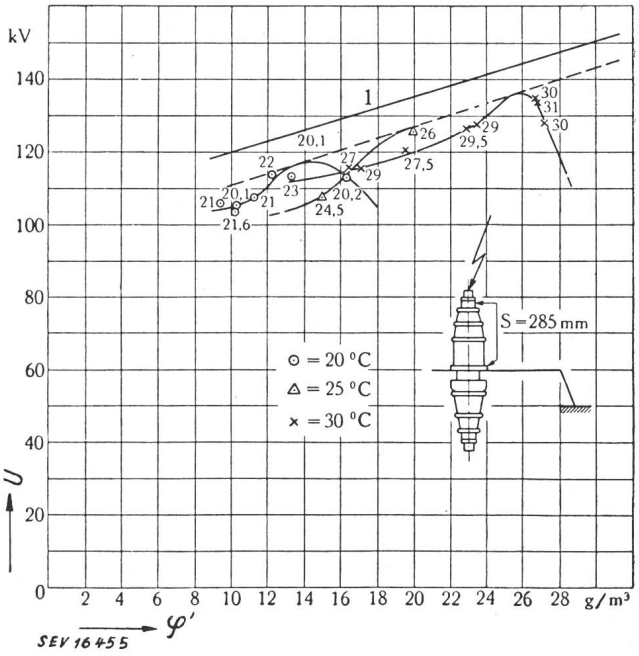


Fig. 6

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.

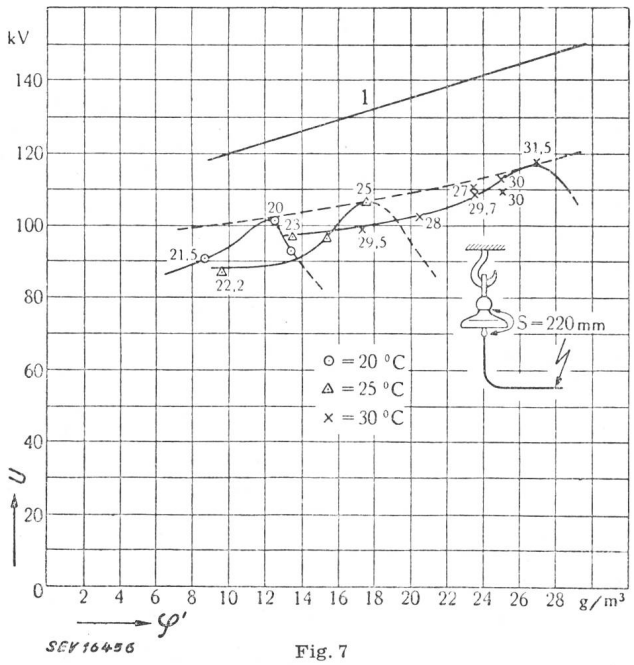


Fig. 7

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

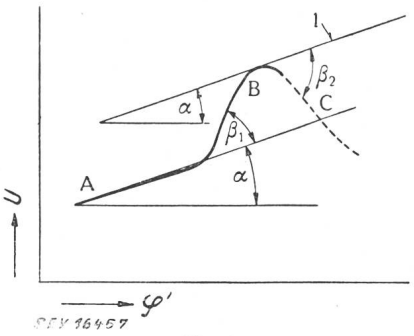


Fig. 8

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.

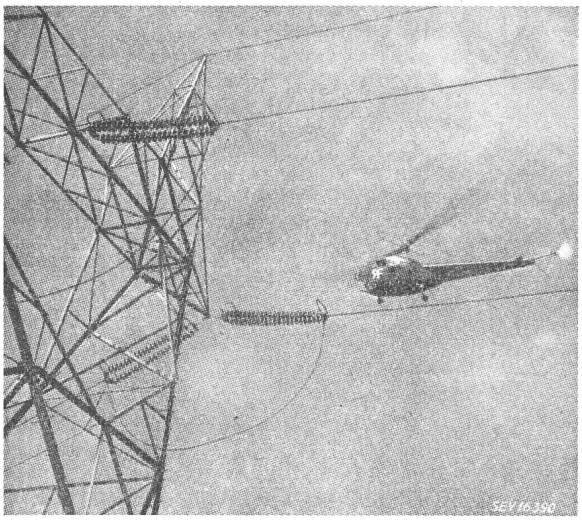


Fig. 1
Helikopterluftpatrouille

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

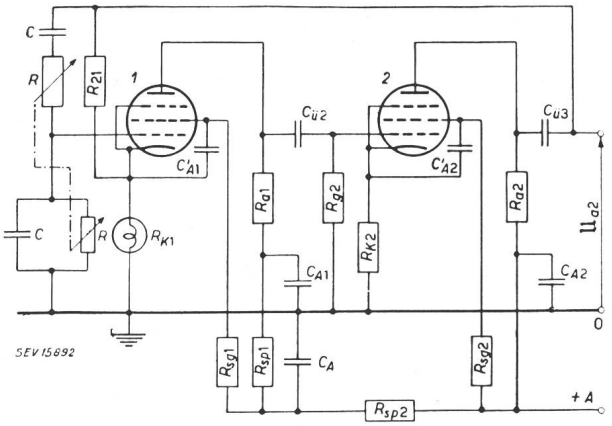


Fig. 1
Prinzipschema eines zweistufigen *RC*-Generators mit einer Glühlampe als Amplitudenbegrenzung

[1]) siehe Literaturverzeichnis am Schluss.

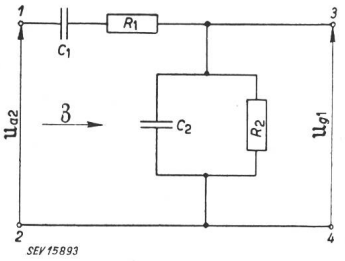


Fig. 2
Rückkopplungsvierpol

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:

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

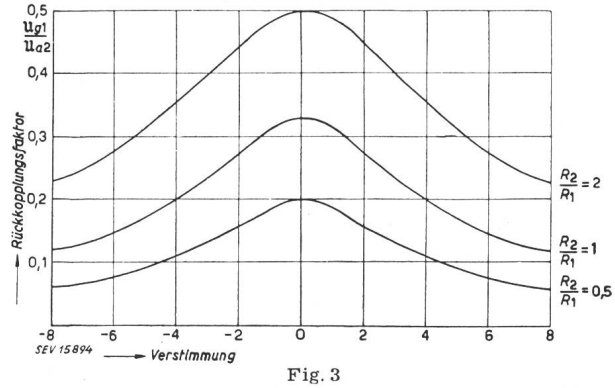


Fig. 3
Rückkopplungsfaktor des Vierpols der Fig. 2 in Funktion der Verstimmung

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 $1^0/_{00}$ 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

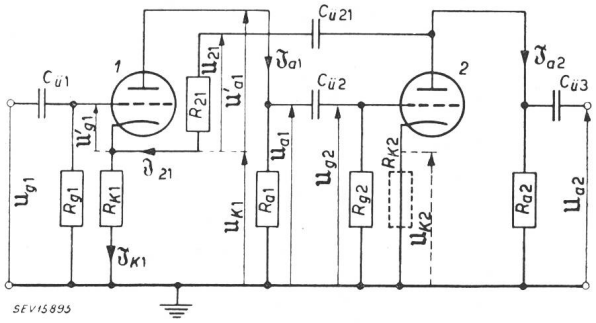


Fig. 4
Prinzipschema eines zweistufigen gegengekoppelten Verstärkers

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).

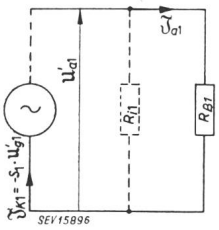


Fig. 5a
Ersatzschema der ersten Verstärkerstufe

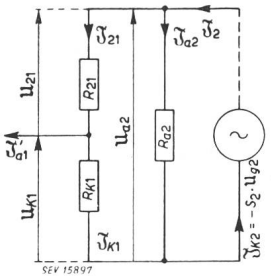


Fig. 5b
Ersatzschema der zweiten Verstärkerstufe

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

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

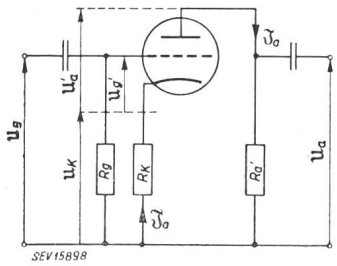


Fig. 6
Prinzipschema einer stromgegengekoppelten Verstärkerstufe

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 Gitterseite 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.

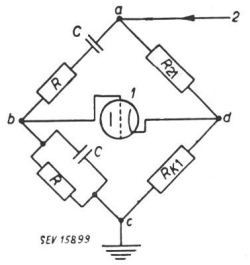


Fig. 7
Wiensche Brücke
1 Röhre 1
2 Leitung von der Anode der Röhre 2

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

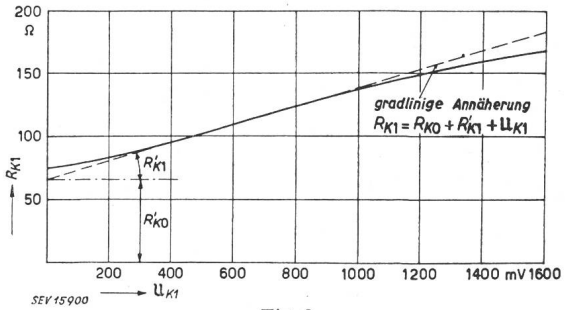


Fig. 8
Allgemeine Anfangscharakteristik einer Glühlampe

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-

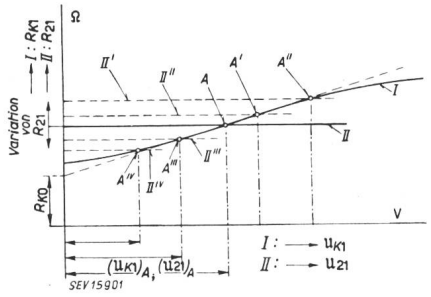


Fig. 9
Glühlampencharakteristik mit ohmschem Widerstand kombiniert
(Kurve II im Maßstab 2 : 1 gegenüber Kurve I)

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

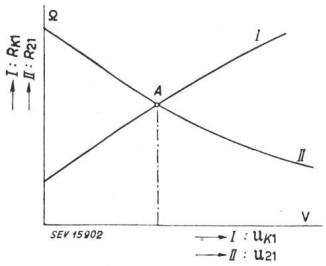


Fig. 10
Glühlampencharakteristik mit Thermistor kombiniert
(Kurve II im Maßstab 2 : 1 zur Kurve I)

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).

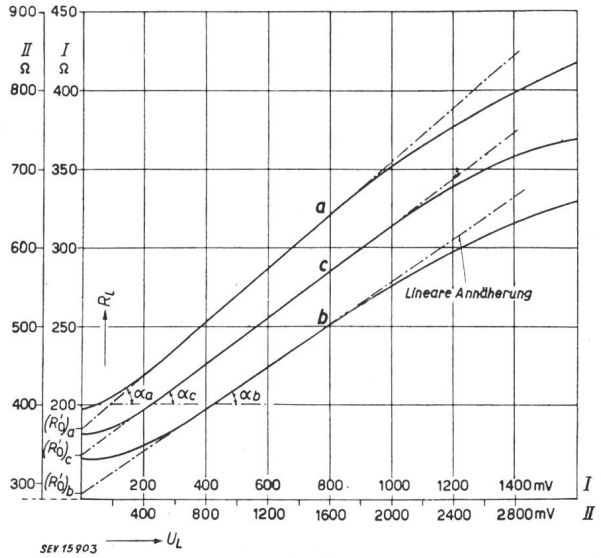


Fig. 11
Gemessene Glühlampencharakteristiken von 10 W-Lampen

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:

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

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:

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

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.

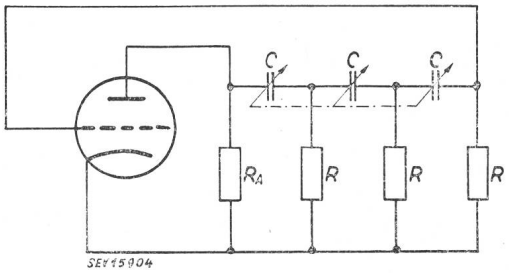


Fig. 12
Prinzipschema eines *RC*-Phasenschiebergenerators mit einer Röhre
(ohne Gleichstromzuleitungen)

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

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

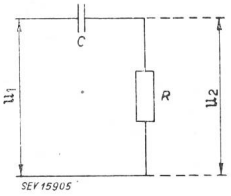


Fig. 13
***RC*-Glied für Phasenschiebergenerator**
$\frac{\mathfrak{U}_2}{\mathfrak{U}_1} = \frac{R\,\mathrm{j}\,\omega\,\mathfrak{C}}{1 + R\,\mathrm{j}\,\omega\,\mathfrak{C}}$

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-

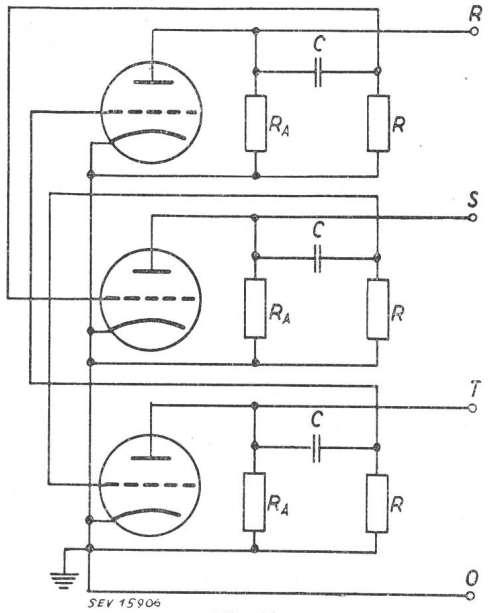


Fig. 14
Prinzipschema eines Dreiphasen-*RC*-Phasenschiebergenerators
(ohne Gleichstromzuleitungen)

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.

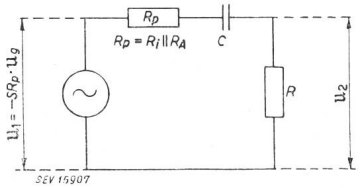


Fig. 15
Ersatzschema einer Stufe des Dreiphasen-*RC*-Generators der Fig. 14

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

$$\frac{|\mathfrak{U}_2|}{|\mathfrak{U}_1|} = \mu \tag{57}$$

wird, (μ = Verstärkungsfaktor einer Röhre) damit ist

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

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.

Wirtschaftliche Mitteilungen

Zahlen aus der schweizerischen Wirtschaft

(Auszüge aus «Die Volkswirtschaft» und aus «Monatsbericht Schweizerische Nationalbank»)

Nr.			Juni 1948	Juni 1949
1.	Import	10^6 Fr.	477,3	303,5
	(Januar-Juni) . . .	10^6 Fr.	(2811,1)	(1965,3)
	Export	10^6 Fr.	289,1	287,6
	(Januar-Juni) . . .	10^6 Fr.	(1592,7)	(1637,4)
2.	Arbeitsmarkt: Zahl der Stellensuchenden		1395	4725
3	Lebenskostenindex	Juli 1914 = 100	224	222
	Grosshandelsindex	Juli 1914 = 100	233	220
	Detailpreise (Durchschnitt von 33 Städten)			
	Elektrische Beleuchtungsenergie Rp./kWh	(Juni 1914 = 100)	33 (66)	33 (66)
	Gas Rp./m³	(Juni 1914 = 100)	32 (152)	32 (152)
	Gaskoks Fr./100 kg	(Juni 1914 = 100)	20,04 (401)	17,27(346)
4.	Zahl der Wohnungen in den zum Bau bewilligten Gebäuden in 33 Städten		852	2133
	(Januar-Juni)		(5239)	(7609)
5.	Offizieller Diskontsatz . . %		1,50	1,50
6.	Nationalbank (Ultimo)			
	Notenumlauf . . .	10^6 Fr.	4221	4319
	Täglich fällige Verbindlichkeiten	10^6 Fr.	1246	1781
	Goldbestand u. Golddevisen	10^6 Fr.	5777	6414
	Deckung des Notenumlaufes und der täglich fälligen Verbindlichkeiten durch Gold	%	103,52	98,32
7.	Börsenindex (am 25. d. Mts.)			
	Obligationen		99	105
	Aktien		235	225
	Industrieaktien		367	322
8.	Zahl der Konkurse		42	52
	(Januar-Juni)		(224)	(300
	Zahl der Nachlassverträge . .		6	24
	(Januar-Juni)		(48)	(76)
9.	Fremdenverkehr		Mai 1948	Mai 1949
	Bettenbesetzung in % nach den *vorhandenen* Betten . .		24,9	22,1
10.	Betriebseinnahmen der SBB *allein*		Mai 1948	Mai 1949
	aus Güterverkehr .	in 1000 Fr.	29 423	24 288
	(Januar-Mai) . . .	in 1000 Fr.	(148 113)	(118 455)
	aus Personenverkehr	in 1000 Fr.	23 949	23 179
	(Januar-Mai) . . .	in 1000 Fr.	(111 184)	(106 811)

Miscellanea

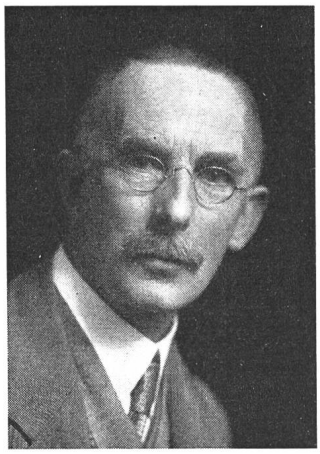
In memoriam

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.*

Mitteilungen aus den Technischen Prüfanstalten des SEV

«Insektenabstossende Glühlampen»

621.326.7 : 628.58

In Zeitungsinseraten und Propagandaschreiben werden insektenabstossende Glühlampen angepriesen. Es wird dabei behauptet, dass der Energieverbrauch der Lampen im Verhältnis zur Lichtabgabe bei gleicher Brenndauer gleich sei wie bei Normallampen.

Wie die folgenden Prüfresultate zeigen, haben Untersuchungen ergeben, dass diese Angaben den Tatsachen nicht entsprechen.

Es handelt sich im Prinzip um eine Glühlampe mit gelb gefärbtem Glaskolben, der einen wesentlichen Anteil des erzeugten Lichtstromes absorbiert. Untersuchungen über die Lebensdauer sind im Gang.

Lichtausbeute der geprüften Glühlampen

Nennleistung W	Ex.Insecta-Lampen lm/W	Minimalwert nach den Regeln des SEV lm/W
25	4,5	8,1
75	6,0	10,7
100	7,9	12,0

Prüfzeichen und Prüfberichte des SEV

I. Qualitätszeichen

B. Für Schalter, Steckkontakte, Schmelzsicherungen, Verbindungsdosen, Kleintransformatoren, Lampenfassungen, Kondensatoren

Für isolierte Leiter

Kleintransformatoren

Ab 1. Juli 1949.

E. Lapp & Co., Zürich.

Fabrikmarke:

Vorschaltgerät für Fluoreszenzlampen.

Verwendung: ortsfest, in trockenen und zeitweilig feuchten Räumen.

Ausführung: Vorschaltgeräte ohne Temperatursicherung. Wicklung aus emailliertem Kupferdraht. Grundplatte und Deckel aus Aluminiumblech. Für Einbau in Blecharmatur auch ohne Deckel lieferbar.

Lampenleistung: 15, 25 und 30 W. Spannung: 220 V, 50 Hz.

Schalter

Ab 1. Juli 1949.

Gardy S. A., Genf.

Fabrikmarke: GARDY GARDY

Drehschalter für 10 A 380 V ~.

Ausführung: Sockel aus Steatit. Kappe oder Gehäuse und Schaltergriff aus braunem oder weissem Isolierpreßstoff.

Verwendung:

a) für Aufputzmontage in trockenen Räumen;
b) für Unterputzmontage in trockenen Räumen;
c) für Aufputzmontage in feuchten Räumen;
d) für Aufputzmontage in nassen Räumen.

a)	b)	c)	d)	Schema
Nr. FAD 21/A	/E	/B	/C	
		einpol. Ausschalter		0
Nr. FAD 21/1A	/1E	/1B	/1C	
		einpol. Stufenschalter		1
Nr. FAD 21/2A	/2E	/2B	/2C	
		einpol. Umschalter		2
Nr. FAD 21/3A	/3E	/3B	/3C	
		einpol. Wechselschalter		3
Nr. FAD 21/4A	/4E	/4B	/4C	
		einpol. Gruppenschalter		4
Nr. FAD 21/5A	/5E	/5B	/5C	
		einpol. Mehrfachumschalter		5
Nr. FAD 21/6A	/6E	/6B	/6C	
		einpol. Kreuzungsschalter		6
Nr. FAD 21/7A	/7E	/7B	/7C	
		einpol. Umschalter		7
Nr. FAD 21/8A	/8E	/8B	/8C	
		einpol. Umschalter		8
Nr. FAD 21/9A	/9E	/9B	/9C	
		einpol. Umschalter		9
Nr. FAD 21/10A	/10E	/10B	/10C	
		einpol. Umschalter		10
Nr. FAD 22/A	/E	/B	/C	
		zweipol. Ausschalter		0

Ab 1. Juli 1949.

J. Huber & Cie. A.-G., Baden.

Fabrikmarke:

Schalter für 10 A 500 V ~.

Verwendung: in trockenen Räumen.

Ausführung: Schalter mit Tastkontakten aus Silber. Kontaktplatten aus braunem Isolierpreßstoff.
Diverse Polzahlen und Schemata.
a) Schalter für Einbau in Maschinen und Schalttafeln.
b) Schalter für Aufbau, mit Gehäuse aus Stahlblech.

Schmelzsicherungen

Ab 1. Juli 1949.

C. E. B. Société Anonyme, Genf.
(Vertretung der Firma Jean Müller o. H. G., Elektrotechn. Spezial-Fabrik, Eltville a. Rh.)

Fabrikmarke:

Mignon-Schmelzeinsätze für 250 V.
Nennstromstärke: 6 A.

Apparatesteckkontakte

Ab 1. Juli 1949.

Adolf Feller A.-G., Horgen.

Fabrikmarke:

Apparatesteckkontakte 3 P + E für 6 A 500 V.

Verwendung: in feuchten Räumen.

Ausführung. Einsätze aus Steatit. Apparatesteckdose mit Schutzkragen aus Stahlblech und Handgriff aus Isolierpreßstoff. Aufbau-Apparatestecker mit Schutzkragen aus Stahlblech, Einbau-Apparatestecker mit Schutzkragen und Klappdeckel aus Silumin.

Nr. 9354:	Apparatestecker für Aufbau	Normblatt SNV 24 550.
Nr. 9354 m. Kl.:	Apparatestecker mit Klappdeckel, für Einbau	
Nr. 9454:	Apparatesteckdose	

Steckkontakte

Ab 1. Juli 1949.

Adolf Feller A.-G., Horgen.

Fabrikmarke:

Industriesteckkontakte 3 P + E für 6 A 500 V.

Ausführung: Einsätze aus Steatit. Steckdosen mit Gussgehäuse, Stecker mit Schutzkragen aus Stahlblech und Handgriff aus Isolierpreßstoff.

Nr. 9704, 9704 G:	Wandsteckdosen	Normblatt SNV 24 538, Typ 32
Nr. 9804:	Stecker	

III. Radioschutzzeichen des SEV

Auf Grund der bestandenen Annahmeprüfung gemäss § 5 des «Reglements zur Erteilung des Rechts zur Führung des Radioschutzzeichens des SEV» [vgl. Bull. SEV Bd. 25 (1934), Nr. 23, S. 635...639, u. Nr. 26, S. 778] wurde das Recht zur Führung des SEV-Radioschutzzeichens erteilt:

Ab 1. Juli 1949.

SATURN A.-G., Utoquai 41, Zürich.

Fabrikmarke: Universal-Cyklon

Küchenmaschine «Universal-Cyklon»
Spannung 220 V
Leistung 140 W

IV. Prüfberichte

[siehe Bull. SEV Bd. 29(1938), Nr. 16, S. 449.]

Gültig bis Ende Juni 1952.

P. Nr. 1012.

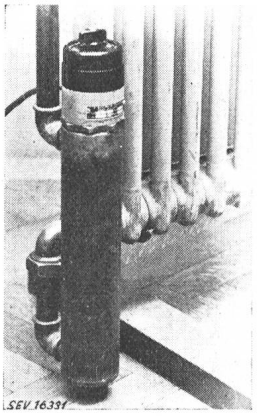
Gegenstand: **Heizkörper**

SEV-Prüfbericht: A. Nr. 23 247a vom 17. Juni 1949.

Auftraggeber: Ad. Bühlmann, Seestrasse 354, Zürich.

Aufschriften:

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



Beschreibung:

Heizkörper gemäss Abbildung, zum Anbau an Zentralheizungsradiator. Heizstab mit Metallmantel in Durchflussrohr eingebaut, welches mit dem Radiator derart verbunden ist, dass das Wasser der Zentralheizung in demselben zirkuliert. Regulierschalter aufgesetzt. Zuleitung dreiadriger Doppelschlauchleiter mit 2 P + E-Stecker, fest angeschlossen.

Das Heizelement hat die Prüfung in sicherheitstechnischer Hinsicht bestanden.

Gültig bis Ende Juni 1952.

P. Nr. 1013.

Gegenstand: **Lötkolben**

SEV-Prüfbericht: A. Nr. 23 590a vom 20. Juni 1949.

Auftraggeber: Käsermann & Spérisen, Aebistrasse 75, Biel.

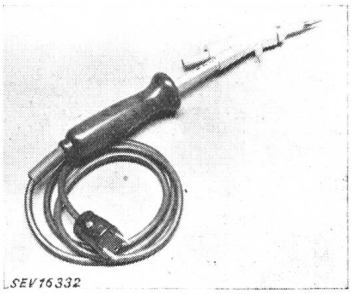
Aufschriften:

SOLO
220 V 100 W 16116

Beschreibung:

Lötkolben gemäss Abbildung. Heizpatrone mit Glimmerisolation. Löteinsatz aus Kupfer, auswechselbar. Griff aus lackiertem Holz. Zuleitung dreiadrige Gummiaderschnur mit

2 P + E-Stecker, fest angeschlossen und bei der Einführungsstelle durch Gummischlauch geschützt.



Der Lötkolben hat die Prüfung in sicherheitstechnischer Hinsicht bestanden.

P. Nr. 1014.

Gegenstand: **Vorschaltgerät**

SEV-Prüfbericht: A. Nr. 22 703a vom 28. Juni 1949.

Auftraggeber: A. Wagner, Elektroapparate, Winterthurerstrasse 437, Zürich 51.

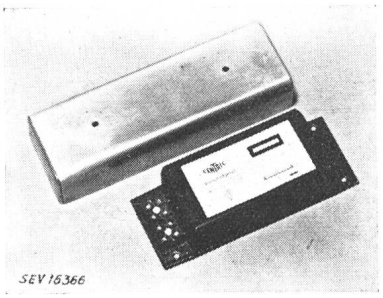
Aufschriften:

CENTRIC

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

Beschreibung:

Vorschaltgerät gemäss Abbildung, für 40-W-Fluoreszenzlampen, ohne Temperatursicherung. Wicklung aus emailliertem Kupferdraht, in Gehäuse aus Eisenblech eingebaut und mit Masse vergossen. Deckel aus Aluminiumblech.



Das Vorschaltgerät hat die Prüfung in Anlehnung an die «Kleintransformatoren-Vorschriften» (Publ. Nr. 149) bestanden. Verwendung: in trockenen und zeitweilig feuchten Räumen.

Apparate in dieser Ausführung tragen das Qualitätszeichen des SEV; sie werden periodisch nachgeprüft.

Gültig bis Ende Juni 1952.

P. Nr. 1015.

Gegenstand: **Telephonrundspruchapparat**

SEV-Prüfbericht: A. Nr. 23 546a vom 28. Juni 1949.

Auftraggeber: Paillard S. A., Ste-Croix.

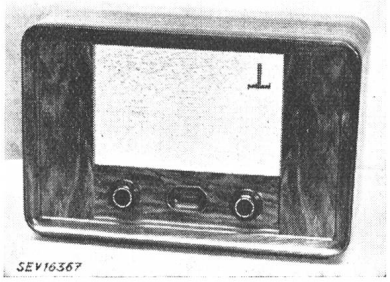
Aufschriften:

paillard

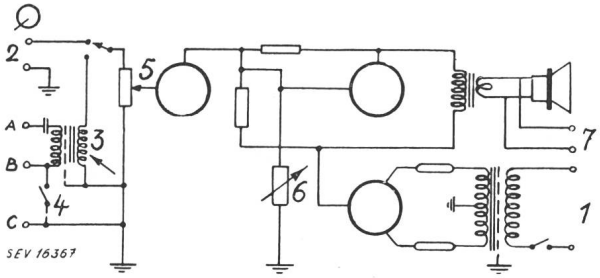
No. 6 Type 1001
Courant alternatif VA 40
110—250 Volts 50—60 ~
Made in Switzerland

Beschreibung:

Apparat für niederfrequenten Telephonrundspruch und Grammophonverstärkung, gemäss Abbildung und Schaltschema.



1 Netz
2 Tonabnehmer
3 Eingangsübertrager für Telephonrundspruch
4 Programmwähler
5 Lautstärkeregler
6 Klangregler
7 2. Lautsprecher



Der Apparat entspricht den «Vorschriften für Apparate der Fernmeldetechnik» (Publ. Nr. 172).

Gültig bis Ende Juli 1952.

P. Nr. 1016.

Gegenstand: **Heisswasserspeicher**

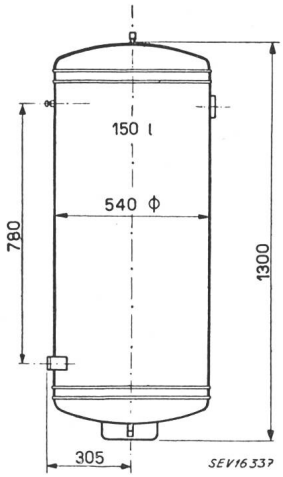
SEV-Prüfbericht: A. Nr. 23 687 vom 5. Juli 1949.

Auftraggeber: Hermann Forster A.-G., Arbon.

Aufschriften:

Forster

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



Beschreibung:

Heisswasserspeicher gemäss Skizze. Zwei Heizelemente und ein Temperaturregler mit Sicherheitsvorrichtung eingebaut. Wärmeisolation Korkschrot. Zeigerthermometer vorhanden.

Der Heisswasserspeicher entspricht den «Vorschriften und Regeln für elektrische Heisswasserspeicher» (Publ. Nr. 145).

P. Nr. 1017.

Gegenstand: **Heizkissen**

SEV-Prüfbericht: A. Nr. 23 281a vom 5. Juli 1949.

Auftraggeber: A. Wagner, Elektro-Apparate, Zürich.

Aufschriften:

CENTRIC

Volt 220 Type 147
Watt 57 Nr. 5000

Beschreibung:

Heizkissen von 30 × 40 cm Grösse. Heizschnur, bestehend aus Widerstandsdraht, der auf Asbestschnur gewickelt und mit Asbest umsponnen ist, zwischen zwei Tücher eingenäht. Darüber eine Lage Packwatte und je eine vernähte Hülle aus Gurit und Flanell. Temperaturregler mit Temperatursicherung auf allen Stufen eingeschaltet. Netzanschluss durch Rundschnur mit Stecker und Regulierschalter.

Das Heizkissen entspricht den «Anforderungen an elektrische Heizkissen» (Publ. Nr. 127) und dem «Radioschutzzeichen-Reglement» (Publ. Nr. 117).

Vereinsnachrichten

Die an dieser Stelle erscheinenden Artikel sind, soweit sie nicht anderweitig gezeichnet sind, offizielle Mitteilungen der Organe des SEV und VSE

Totenliste

Am 10. Juni 1949 starb in Bad Ischl (Österreich) während einer Tagung des Österreichischen Wasserwirtschafts-Verbandes, im Alter von 56 Jahren, *Walter P. Schnebli*, Ingenieur ETH, Direktor der Internationalen Stuag, Finanzgesellschaft für Bauunternehmungen, Mitglied des SEV seit 1948. Wir sprechen der Trauerfamilie unser herzliches Beileid aus.

Am 26. Juli 1949 starb in Zürich im Alter von 83 Jahren an den Folgen eines Verkehrsunfalles Dr. phil. *W. Schaufelberger*, Gründer und Seniorchef der Solis-Apparatefabrik Dr. W. Schaufelberger & Co., Kollektivmitglied des SEV. Wir sprechen der Trauerfamilie und dem Unternehmen, das er leitete, unser herzliches Beileid aus.

CIGRE 1950

Die nächste Vollsitzung der CIGRE findet vom 29. Juni bis 8. Juli 1950 statt.

Die Manuskripte der Berichte

sind dem Sekretariat des Schweizerischen Nationalkomitees der CIGRE, Seefeldstr. 301, Zürich 8, bis spätestens 15. November 1949 einzureichen. Das Sekretariat bittet alle Interessenten, die einen Bericht zu verfassen wünschen, dies unter Angabe des genauen Titels bis zum 25. August 1949 mitzuteilen, damit das Schweizerische Nationalkomitee prüfen kann, welche Berichte für die Vollsitzung 1950 einzureichen sind, worauf den Verfassern die nötigen Anweisungen zugestellt werden.

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

Einladung zum Beitritt als Mitglied

Die CIGRE ist eine seit 1921 bestehende internationale elektrotechnische Institution, welche alle zwei Jahre eine Vollversammlung, Session genannt, in Paris veranstaltet. An diesen Sessionen (die nächste findet 1950 statt) werden in 4 Sektionen folgende Hauptfragen an Hand der aus allen Industrieländern vorher eingereichten Berichte behandelt:

Sektion 1: Erzeugung, Umformung und Schaltung der elektrischen Energie.

Sektion 2: Konstruktion, Isolation und Unterhalt der Freileitungen und Kabel.

Sektion 3: Betrieb, Schutz und Zusammenschaltung der Netze.

Sektion 4: Höhere als bisher allgemein verwendete Spannungen.

Die Zahl der Teilnehmer an den Sessionen in Paris wächst ständig. 1948 waren es 1144 Personen, was beweist, dass die Bedeutung der CIGRE in der elektrotechnischen Fachwelt immer mehr erkannt wird.

Immer noch zu wenig bekannt dagegen ist, dass die CIGRE seit 1932 als Verein nach französischem Recht konstituiert ist, dessen Mitglied jedermann werden kann, der in dem vom Programm der CIGRE umschriebenen Fachgebiet tätig ist. Die CIGRE umfasst Einzelmitglieder (natürliche Personen) und Kollektivmitglieder (industrielle Unternehmungen, Handels- und Finanzgesellschaften, technische und wissenschaftliche Vereinigungen, öffentliche und private Verwaltungen, technische Schulen, technische und wissenschaftliche Forschungsinstitute).

Der Jahresbeitrag für Einzelmitglieder beträgt zur Zeit SFr. 13.— (1000 ffr.), für Kollektivmitglieder SFr. 130.— (10 000 ffr.).

Die Mitglieder geniessen folgende Vorteile, welche ihnen allein (nicht denjenigen, die nur an den Sessionen teilnehmen) zukommen:

1. Ermässigung von 20 % auf den Einschreibgebühren der Sessionen und auf allen Publikationen der CIGRE, inbegriffen das mehrbändige Berichtswerk über die Sessionen, das alle eingereichten Berichte im Wortlaut enthält.

2. Wählbarkeit in die Comités d'Etudes der CIGRE, in denen die einzelnen Teilgebiete in besonderen Sitzungen behandelt werden.

3. Auskunfterteilung durch das Sekretariat der CIGRE in Paris.

4. Ausstellung von Empfehlungsschreiben durch das Sekretariat der CIGRE für Mitglieder, welche Auslandreisen unternehmen.

5. Kostenlose Zustellung des periodisch erscheinenden Mitteilungsblattes «Electra».

Organe der CIGRE sind die alle zwei Jahre zusammentretende Generalversammlung, der Verwaltungsrat, in dem 18 Länder vertreten sind, und der geschäftsleitende Generaldelegierte, der dem Sekretariat in Paris vorsteht.

Präsident der CIGRE ist seit 1948 Direktor R. A. Schmidt, Mitglied des Verwaltungsrates der S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse, Lausanne; Generaldelegierter ist J. Tribot Laspière, Paris.

Wir laden diejenigen unter unseren Einzel- und Kollektivmitgliedern, welche beruflich in dem vom Programm der CIGRE umschriebenen Gebiet tätig sind, ein, Mitglied der CIGRE zu werden und sich mit dem Sekretariat des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, in Verbindung zu setzen, das gerne weitere Auskünfte gibt und die Anmeldungen entgegennimmt.

Regeln und Leitsätze für Buchstabensymbole und Zeichen

Der im Jahr 1947 in Form eines Sonderdruckes veröffentlichte Entwurf der Buchstabensymbole und Zeichen begegnete überall grösstem Interesse, so dass die Sonderdrucke bald gänzlich vergriffen waren. Um der überaus grossen Nachfrage entsprechen zu können, haben wir eine zweite, neu bearbeitete Auflage herausgegeben, die gegenüber der ersten Auflage grundsätzliche Änderungen aufweist. Als neue Abschnitte dürfen die Symbole der Hochfrequenz- und Fernmeldetechnik und der Akustik, ferner ein Buchstabenverzeichnis erwähnt werden.

Der Sonderdruck ist als Publikation Nr. 192 des SEV (44 Seiten) erschienen und wird all denen wertvolle Dienste leisten, die sich in ihren Berechnungen an die international oder vom SEV empfohlenen Symbole anlehnen, und damit ihre Arbeiten der weiteren Öffentlichkeit zugänglicher machen wollen. Sie kann bezogen werden bei der Gemeinsamen Geschäftsstelle des SEV und VSE, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, zum Preise von Fr. 5.— (für Nichtmitglieder) und von Fr. 3.50 (für Mitglieder des SEV).

Regeln für Hochspannungs-Stützer

Der Vorstand unterbreitet den Mitgliedern des SEV auf Antrag des CES den vom Fachkollegium 8 aufgestellten Entwurf zu Regeln für Hochspannungs-Stützer. Die Mitglieder werden gebeten, allfällige Bemerkungen innerhalb von drei Wochen dem Sekretariat des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, in zweifacher Ausfertigung einzureichen. Sollten keine Stellungnahmen eingehen, so wird der Vorstand Zustimmung voraussetzen und den Entwurf in Kraft setzen.

Entwurf

Regeln für Hochspannungs-Stützer

I. Geltungsbereich

1. Diese Regeln gelten für Stützer, die für Wechselstromanlagen über 1000 V in Höhen bis 1000 m ü. M. bestimmt sind.

Stützisolatoren für Hochspannungsfreileitungen fallen nicht unter diese Regeln; es gelten für sie die Regeln für die Prüfung von Porzellanisolatoren, bestimmt zur Verwendung an Hochspannungsfreileitungen (Publikation Nr. 155 des SEV).

II. Definitionen

2. Stützer sind Teile elektrischer Anlagen, mit denen spannungführende Teile von Hochspannungsanlagen gegen Erde oder andere spannungführende Teile isoliert abgestützt werden.

3. Stützer für Innenraum werden verwendet in geschlossenen Räumen, in welchen sie keinem Feuchtigkeitsniederschlag unterworfen sind.

Bemerkung:

Ist in Innenräumen Feuchtigkeitsniederschlag zu befürchten, so wird empfohlen, den Raum zu heizen.

4. Stützer für Freiluft werden verwendet im Freien oder in Räumen, in welchen sie Feuchtigkeitsniederschlag unterworfen sind oder wo starke Verschmutzung zu befürchten ist.

5. Die Nennspannung (U_n) eines Stützers ist der Effektivwert der Spannung zwischen den Polleitern des Systems, für welche der Stützer bemessen und nach der er benannt wird.

Bemerkung:

Der Begriff «Nennspannung Pol-Erde» wird bei Stützern nicht gebraucht.

6. Die **Prüfspannung bei Industriefrequenz** ist der nach den Regeln für Spannungsprüfungen, Publikation Nr. 173 des SEV, Ziff. 8, definierte Wert. Bei der Prüfung dürfen am Prüfobjekt weder Durchschlag, noch Überschlag auftreten.

7. Die **positiven und negativen 50-%-Überschlag-Stossspannungen** sind die nach den Regeln für Spannungsprüfungen, Publikation Nr. 173 des SEV, Ziff. 31, definierten Werte. Die Überschläge erfolgen ausserhalb des Stützers zwischen den Armaturen.

8. Der **Radiostörwert** kennzeichnet die störende Beeinflussung des Radioempfanges durch Glimm- und Funkenentladungen in oder an einem Stützer.

9. Die **Bruchlast bei der Biegeprobe** (Umbruchkraft oder Biegebruchlast) ist derjenige Wert der senkrecht zur Achse an der Endfläche der Kopfarmatur angreifenden, stetig zunehmenden Kraft, bei welchem direkt sichtbare oder elektrisch feststellbare Beschädigungen des Stützers auftreten.

10. Die **Bruchlast bei der Zerreissprobe** (Zerreissbruchlast) ist derjenige Wert der in der Ausrichtuno des Stützers wirkenden, an den Armaturen angreifenden, stetig zunehmenden Zugkraft, bei welchem direkt sichtbare oder elektrisch feststellbare Beschädigungen des Stützers auftreten.

11. Das **Bruchmoment bei Torsion** (Torsionsbruchmoment) ist derjenige Wert des senkrecht zur Achsrichtung des Stützers wirkenden, an den Endarmaturen angreifenden, stetig zunehmenden Drehmomentes, bei welchem direkt sichtbare oder elektrisch feststellbare Beschädigungen des Stützers auftreten.

12. Die **Bauhöhe** ist der in der Achse gemessene Abstand zwischen den Endflächen des Stützers, ausschliesslich der Träger zur Befestigung der gestützten Teile.

III. Bestimmungen über die Verwendung und Bemessung

13. Die **Nennspannung** des Stützers muss den Regeln des SEV für genormte Werte der Spannungen, Frequenzen und Ströme für elektrische Anlagen, Publikation Nr. 159 des SEV, entsprechen.

Der Stützer ist daher so zu bemessen, dass er bei einer Betriebsspannung vom 1,15fachen Wert der Nennspannung zwischen den Polleitern während beliebiger Dauer betrieben werden kann.

14. Die **Prüfspannungen bei Industriefrequenz** und die **Mindestwerte der 50-%-Überschlag-Stoßspannungen 760/20/11** haben den Werten der Tabellen I und II zu entsprechen:

Prüfspannungen bei Industriefrequenz

Tabelle I

Nennspannung U_n in kV	3	10	20	30	45	60	80	110	150	220
Prüfspannung in kV	27	42	64	86	119	152	196	262	350	504

Mindestwerte der 50-%-Überschlag-Stoßspannung 760/20/11

Tabelle II

Nennspannung U_n in kV	3	10	20	30	45	60	80	110	150	220
Überschlag-Stossspannung (Scheitelwert) in kV	55	80	115	155	220	275	360	490	660	960

15. Die **Bruchlast bei der Biegeprobe** (Umbruchkraft) hat den Werten der Tabelle III zu entsprechen:

Umbruchkraft

Tabelle III

Gruppe	Bruchlast bei der Biegeprobe in kg (Umbruchkraft)	Nennspannung U_n in kV									
A	200	—	—	—	—	45	60	80	110	150	220
B	400	3	10	20	30	45	60	80	—	—	—
C	1250	—	10	20	30	—	—	—	—	—	—

Bemerkung:

Die Wahl der Umbruchkraft richtet sich nach der im Betrieb zu erwartenden grössten mechanischen und elektrodynamischen Beanspruchung. Die elektrodynamische Beanspruchung kann nach folgender Formel berechnet werden:

$$F = \frac{2{,}04}{a}\,\hat{\imath}^2 \cdot 10^{-6} \text{ kg/m Leiterlänge}$$

darin bedeuten:

a den Leiterabstand in Zentimeter

$\hat{\imath}$ den Scheitelwert des maximalen Kurzschlußstromes (Einschaltstromstoss) in Ampère.

Es empfiehlt sich, mit einem Sicherheitsgrad von mindestens 2 zu rechnen. Ferner ist die Gefährdung durch eine mögliche mechanische Resonanzschwingung des Systems Leiter—Isolator mit der Betriebsfrequenz zu beachten.

Bei Stützern, die einer Torsionsbeanspruchung unterworfen sind, müssen die Armaturen gegen Verdrehen gesichert sein. Über die Beanspruchung von Freiluft-Stützern durch Schneelast, Rauhreif und Winddruck gilt die Verordnung über Starkstromanlagen, Abschnitte «Freiluftanlagen» und «Freileitungen».

16. Die **Masstoleranzen** der Stützer sollen die in Tabelle IV aufgeführten Werte für die Grobtoleranzen (Klasse G, für unbearbeitete Stützer) und die Feintoleranzen (Klasse F, für geschliffene oder armierte Stützer) nicht überschreiten.

Masstoleranzen

Tabelle IV

	Bauhöhe h	Oberer u. unterer Durchmesser	Übrige Abmessungen
Klasse G	± 3 %	± 3 %	± 5 %
Klasse F			
$h \leq 150$ mm	± 1,5 mm	± 3 %	± 5 %
$h > 150$ mm	± 1 %	± 3 %	± 5 %

IV. Prüfbestimmungen

17. Stückprüfungen werden an sämtlichen Stützern einer Lieferung ausgeführt.

18. Typenprüfungen werden neben den Stückprüfungen an neuen Konstruktionen zur Überprüfung ihrer Eigenschaften ausgeführt. Stützer, welche sämtlichen Typenprüfungen unterworfen wurden, sollen in der Regel nicht in Anlagen eingebaut werden.

19. Besondere Prüfungen werden nach Vereinbarung zwischen dem Fabrikanten und dem Abnehmer durchgeführt.

20. Für die **Ausführung** der Spannungsprüfungen gelten, wo nichts Besonderes festgesetzt ist, die Regeln für Spannungsprüfungen, Publikation Nr. 173 des SEV.

Es gelten auch sinngemäss die Bestimmungen des entsprechenden Abschnittes der Regeln für die Prüfung von Porzellanisolatoren, bestimmt zur Verwendung an Hochspannungsfreileitungen, Publikation Nr. 155 des SEV.

A. Stückprüfungen

21. Kontrolle der Dimensionen. Die Einhaltung der in Ziff. 16 enthaltenen Masstoleranzen wird festgestellt.

22. Kontrolle der Glasur. Die Glasur, bzw. die Oberflächenbeschaffenheit wird kontrolliert, Glasurfehler dürfen nur vereinzelt auftreten, und jede Fehlerfläche darf nicht grösser als 0,5 cm² sein, ihre Summe nicht grösser als 1,5 cm².

23. Biegeprobe. Wenn der Verwendungszweck es rechtfertigt, kann nach besonderer Vereinbarung zwischen Lieferant und Abnehmer eine Biegeprobe mit maximal 50 % der in Ziff. 15 festgelegten Bruchlast durchgeführt werden. Diese Prüfung hat vor der Spannungsprüfung zu erfolgen.

24. Trockenprüfung mit Wechselspannung von Industriefrequenz. Am Stützer wird bei Raumtemperatur während 1 Minute eine Wechselspannung von Industriefrequenz zwischen Kopf- und Fussarmatur angelegt. Die Anordnung des Stützers während der Prüfung hat soweit als möglich derjenigen des Betriebes zu entsprechen; im besonderen ist die Prüfung mit allen Armaturen auszuführen. Verstellbare Sicherheitsfunkenstrecken dürfen jedoch für diese Prüfung auseinandergezogen oder entfernt werden, sofern dies zur Vermeidung von Überschlägen nötig ist.

Der Wert der Prüfspannung ist der Tabelle I zu entnehmen.

B. Typenprüfungen

25. Prüfung mit Wechselspannung von Industriefrequenz unter Regen (wird nur an Freiluftstützern ausgeführt). Der Stützer wird bei Raumtemperatur nach den Regeln für Spannungsprüfungen, Publikation Nr. 173 des SEV, beregnet (3 mm Wasser pro Minute, spezifischer Widerstand des Wassers 9000...11 000 Ωcm, Einfallwinkel 40...50°).

Zwischen Kopf- und Fussarmatur wird eine Wechselspannung von Industriefrequenz während 1 Minute angelegt. Die Anordnung des Stützers während der Prüfung hat soweit als möglich derjenigen des Betriebes zu entsprechen; im besonderen ist die Prüfung mit allen Armaturen auszuführen. Verstellbare Sicherheitsfunkenstrecken dürfen jedoch für diese Prüfung auseinadergezogen oder entfernt werden, sofern dies zur Vermeidung von Überschlägen nötig ist.

Der Wert der Prüfspannung ist der Tabelle I zu entnehmen.

26. Prüfung mit Stoßspannung. Der Stützer ist in trockenem Zustande in einer Anordnung zu prüfen, welche den Betriebsverhältnissen soweit als möglich entspricht. Er ist mit allen Armaturen zu versehen. Besitzt der Stützer eine angebaute verstellbare Sicherheitsfunkenstrecke, so ist sie bei diesen Versuchen auf den auf dem Leistungsschild angegebenen Sollwert einzustellen. Die Spannung wird zwischen den Armaturen angelegt.

a) Zunächst ist nachzuweisen, dass die 50-%-Überschlag-Stoßspannung 760/20/11 bei beiden Polaritäten die Werte der Tabelle II mindestens erreicht. Dies ist dann der Fall, wenn von 10 positiven und 10 negativen Stössen 1|50 mit dem in Tabelle II vorgeschriebenen Spannungswert höchstens je 5 zum Überschlage führen.

b) Sodann ist der Stützer mit je 10 positiven Spannungsstössen 1|50 zu beanspruchen. Dabei ist der Stossgenerator mit angeschlossenem Stützer 15 % höher als zur Erzeugung der Stoßspannung nach Tabelle II einzustellen. Erfolgt bei dieser Beanspruchung nicht bei jedem Stoss ein Überschlag, so ist die Spannung zu steigern, bis bei jedem der 10 Stösse ein Überschlag erfolgt. Dieselbe Prüfung wird mit 10 negativen Stössen wiederholt. Ein Durchschlag darf hierbei nicht erfolgen.

Bei Stützern, welche weder durch ihre Bemessung noch durch angebaute Sicherheitsfunkenstrecken gegen Durchschlag geschützt sind, ist beim Versuch parallel zum Stützer eine Sicherheitsfunkenstrecke anzuschliessen, welche möglichst genau auf die Überschlagswerte von Tabelle II einzustellen ist.

27. Bestimmung des Radiostörwertes. Der Radiostörwert wird nach den Leitsätzen zur Prüfung des Radiostörwertes von Hochspannungsisolatoren bestimmt.

Bemerkung:

Diese Leitsätze sind in Vorbereitung.

28. Bestimmung der Bruchlast bei der Biegeprobe. Der betriebsmässig ausgerüstete und montierte Stützer wird senkrecht zu seiner Achse mit einer in Leiterhöhe, mindestens aber 60 mm über der Ebene der Kopffläche des Stützers angreifenden, stetig zunehmenden Biegekraft beansprucht, bis er bricht. Die Steigerung der Beanspruchung hat so zu erfolgen, dass der festgelegte Wert der Bruchlast in ca. 3 Minuten erreicht wird.

Die beim Bruch gemessene Kraft, multipliziert mit dem Verhältnis aus dem Hebelarm des Angriffspunktes der Kraft über der Grundfläche des Stützers und der Bauhöhe des Stützers ist die Bruchlast des Stützers und darf den für die betreffende Konstruktion in Tabelle III festgelegten Wert nicht unterschreiten.

29. Bestimmung der Bruchlast bei der Zerreissprobe. Sie wird nur nach besonderer Vereinbarung ausgeführt [1]). Der betriebsmässig ausgerüstete und montierte Stützer wird in Achsrichtung mit an der Kopfarmatur angreifender, stetig zunehmender Zugkraft beansprucht. Die Steigerung der Beanspruchung hat so zu erfolgen, dass die Bruchlast in ca. 3 Minuten erreicht wird. Die erreichte Bruchlast darf den vereinbarten Wert nicht unterschreiten.

30. Bestimmung des Bruchmomentes bei Torsion. Sie wird nur nach besonderer Vereinbarung ausgeführt [1]). Der be-

[1]) Die Erfahrung hat gelehrt, dass für den Nachweis der mechanischen Festigkeit eine der drei Prüfungen nach Ziff. 28, 29 und 30 in Frage kommt. Es soll diejenige der drei Prüfungen gewählt werden, welche dem Verwendungszweck am besten entspricht. In der Regel genügt die Prüfung nach Ziff. 28.

triebsmässig ausgerüstete und montierte Stützer wird mit einem stetig zunehmenden Torsionsmoment so beansprucht, dass keine zusätzlichen Biegekräfte auftreten. Die Steigerung der Beanspruchung hat so zu erfolgen, dass das Bruchmoment in ca. 3 Minuten erreicht wird. Das Bruchmoment darf den vereinbarten Wert nicht unterschreiten.

31. Temperatursturzprüfung. Sie wird nur an *Stützern aus keramischem Material* ausgeführt, und zwar nach besonderer Vereinbarung. Die Temperatursturzprüfung wird, sofern keine andern Vereinbarungen getroffen wurden, 5mal wiederholt. Stützer, die diese Prüfung durchgemacht haben, sind von der Lieferung auszuschliessen.

Mehrteilige Stützer werden einzeln mit Armaturen, aber zerlegt geprüft. Einteilige Stützer werden mit Armaturen geprüft.

Die Stützer werden abwechslungsweise in warmes und kaltes Wasser eingetaucht. Als Temperatursturz gilt der jeweilige Unterschied zwischen warmem Wasser und kaltem Wasser. Die Wärmezufuhr ist derart zu regeln, dass die vorgesehene Temperatur vor Ablauf der Eintauchzeit wieder erreicht wird. Die Eintauchzeit beträgt 15 Minuten.

Die Höhe des Temperatursturzes wird abgestuft nach dem umschriebenen Volumen des Stützers (Tabelle V). Das umschriebene Volumen wird ermittelt:

a) bei zylindrischen Stützern aus der Gesamthöhe und dem grössten Schirmdurchmesser,

b) bei konischen Stützern aus der Gesamthöhe und dem arithmetischen Mittel aus dem grössten und dem kleinsten Schirmdurchmesser.

Wert des Temperatursturzes für Porzellan und Steinzeug

Tabelle V

Umschriebenes Volumen Liter	Temperatursturz in °C
bis 20	85
20... 50	80
50...100	75
100...150	70
150...200	65
200...300	60
über 300	nach besonderer Vereinbarung

Bemerkung:

Eine *Kälteprobe* im Bereich zwischen 0 und —20 °C befindet sich im Studium.

Nach der Temperatursturzprüfung dürfen die Stützer keine Beschädigungen aufweisen. Für nicht direkt sichtbare Beschädigungen erfolgt der Nachweis durch die Biegeprobe nach Ziff. 23 und durch die Stossprüfung nach Ziff. 26.

32. Die **Prüfung der Feuerverzinkung** wird nur an Freiluftstützern mit feuerverzinkten Armaturen ausgeführt. Nach Entfettung (Abreiben mit Benzin) und Spülen in Wasser werden verzinkte Eisenteile der Stützer 4mal während je 1 Minute in eine gesättigte Kupfersulfatlösung (neutral) von 20 °C eingetaucht. Nach jeder Tauchung werden die Metallteile vom Kupferschlamm durch Spülen in Wasser und mit weichem Lappen sorgfältig gereinigt. Nach der Prüfung darf kein Kupferbelag auf den Metallteilen haften, der durch die genannte Reinigung nicht entfernt werden kann.

Regeln für Hochspannungs-Wechselstrom-Durchführungen

Der Vorstand unterbreitet den Mitgliedern des SEV auf Antrag des CES den vom Fachkollegium 8 aufgestellten Entwurf zu Regeln für Hochspannungs-Wechselstrom-Durchführungen. Die Mitglieder werden gebeten, allfällige Bemerkungen innerhalb von drei Wochen dem Sekretariat des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, in zweifacher Ausfertigung einzureichen. Sollten keine Stellungnahmen eingehen, so wird der Vorstand Zustimmung voraussetzen und den Entwurf in Kraft setzen.

Entwurf

Regeln für Hochspannungs-Wechselstrom-Durchführungen

I. Geltungsbereich

1. Diese Regeln gelten für Durchführungen, die für Wechselstromanlagen von Industriefrequenz, von mehr als 1000 V Spannung und in Höhen bis 1000 m ü. M. bestimmt sind.

Kabelendverschlüsse fallen nicht unter diese Regeln; es gelten für sie die Leitsätze für Hochspannungskabel (Publikation Nr. 164 des SEV).

II. Definitionen

2. Durchführungen sind Teile elektrischer Anlagen, mit welchen Leiter durch einen von diesen isolierten Flansch hindurchgeführt werden. Sie bestehen aus einem oder mehreren spannungführenden Leitern mit oder ohne Anschlussarmaturen, dem Dielektrikum und einem Befestigungsflansch.

3. Durchführungen für Innenraum werden verwendet in geschlossenen Räumen, in welchen sie keinem Feuchtigkeitsniederschlag unterworfen sind. Ein Teil der Durchführung kann dabei in ein flüssiges oder erstarrtes Dielektrikum eingetaucht sein.

Bemerkung:

Ist in Innenräumen Feuchtigkeitsniederschlag zu befürchten, so wird empfohlen, den Raum zu heizen.

4. Durchführungen für Freiluft werden verwendet im Freien oder in Räumen, in welchen sie einem Feuchtigkeitsniederschlag unterworfen sind oder wo starke Verschmutzung zu befürchten ist. Ein Teil der Durchführung kann dabei in ein flüssiges oder erstarrtes Dielektrikum eingetaucht oder als Innenraumdurchführung ausgebildet sein.

5. Kondensatordurchführungen enthalten eine oder mehrere nicht geerdete leitende Einlagen im Dielektrikum, welche das dielektrische Feld zwischen dem spannungführenden Leiter und dem geerdeten Flansch in axialer und radialer Richtung steuern.

6. Die **Nennspannung** (U_n) einer Durchführung ist der Effektivwert der Spannung zwischen den Polleitern des Systems, für welche die Durchführung bemessen und nach der sie benannt wird.

7. Die **Nennspannung Pol-Erde** (U_{Yn}) einer Durchführung ist der Effektivwert der Spannung zwischen Leiter und Flansch, für welche die Durchführung bemessen und nach der sie benannt wird.

8. Der **Nennstrom** (I_n) einer Durchführung ist der Effektivwert des Stromes, für den die Durchführung bemessen und nach dem sie benannt wird.

9. Die **Prüfspannung bei Industriefrequenz** ist der nach den Regeln für Spannungsprüfungen, Publikation Nr. 173 des SEV, Ziff. 8, definierte Wert. Bei der Prüfung dürfen am Prüfobjekt weder Durchschlag, noch Überschlag auftreten.

10. Die **positiven und negativen 50-%-Überschlag-Stoßspannungen** sind die nach den Regeln für Spannungsprüfungen, Publikation Nr. 173 des SEV, Ziff. 31, definierten Werte. Die Überschläge müssen ausserhalb der Durchführung zwischen Leiter und Flansch erfolgen.

11. Die **dielektrischen Verluste** einer Durchführung sind die Verluste, die beim Anlegen einer Wechselspannung zwischen Leiter und Flansch im Dielektrikum auftreten. Sie werden im allgemeinen mit der Scheringbrücke nach VSM-Normblatt 77108 gemessen.

12. Der **thermische Grenzstrom während einer Sekunde (Einsekundenstrom)** ist der Effektivwert des grössten Leiterstromes, dessen Wärmewirkung die Durchführung unter betriebsmässigen Bedingungen während 1 Sekunde ohne eine bleibende Verminderung ihrer dielektrischen und mechanischen Eigenschaften aushalten kann.

13. Der **Radiostörwert** kennzeichnet die störende Beeinflussung des Radioempfanges durch Glimm- und Funkenentladungen in oder an der Durchführung.

14. Die **zulässige Biegelast** ist der vereinbarte Wert der senkrecht zur Achse an der Kopfarmatur angreifenden Kraft, bei welcher weder mechanische oder elektrische Beschädigungen, noch bleibende Deformationen der Durchführung auftreten.

III. Bestimmungen über Verwendung und Bemessung

15. Die **Nennspannung** der Durchführung muss den Regeln des SEV für genormte Werte der Spannungen, Frequenzen und Ströme für elektrische Anlagen, Publikation Nr. 159 des SEV, entsprechen.

Die Durchführung ist daher so zu bemessen, dass sie bei einer Betriebsspannung vom 1,15fachen Wert der Nennspannung zwischen den Polleitern während beliebiger Dauer betrieben werden kann.

16. Die **Nennspannung Pol-Erde** muss mindestens betragen:

bei Drehstromanlagen mit betriebsmässig nicht geerdetem Polleiter (Nullpunkt isoliert oder geerdet) $U_n/\sqrt{3}$,

bei Ein- oder Mehrphasenanlagen mit betriebsmässig geerdetem Polleiter: U_n

bei Einphasenanlagen mit betriebsmässig nicht geerdeten Polleitern: $U_n/2$.

Die Durchführung muss zwischen Leiter und Flansch den 1,15fachen Wert der Nennspannung Pol-Erde bei max. Betriebstemperatur, bei Nennstrom und in betriebsmässiger Anordnung während beliebiger Dauer ertragen, ohne dass an irgend einer Stelle durch thermische oder elektrische Überbeanspruchung des Materials eine bleibende Verminderung ihrer Eigenschaften auftritt. Ferner muss sie unter den gleichen Bedingungen zwischen Leiter und Flansch die 1,15fache Nennspannung während 8 h ertragen.

Bemerkung :

Bei der Wahl der Durchführungen für Drehstromsysteme mit nicht direkt geerdetem Sternpunkt ist mit der Möglichkeit von Unsymmetrien der Sternpunktlage zu rechnen.

17. Die **Prüfspannungen bei Industriefrequenz** und die **Mindestwerte der 50-%-Überschlag-Stoßspannung 760/20/11** haben den Werten nach Tabellen I und II zu entsprechen.

Prüfspannungen bei Industriefrequenz

Tabelle I

Nennspannung U_n in kV	3	10	20	30	45	60	80	110	150	220
Prüfspannung in kV	27	42	64	86	119	152	196	262	350	504

Mindestwerte der 50-%-Überschlag-Stoßspannung 760/20/11

Tabelle II

Nennspannung U_n in kV	3	10	20	30	45	60	80	110	150	220
Überschlagstossspannung (Scheitelwert) in kV	55	80	115	155	220	275	360	490	660	960

18. Die **Nennströme** der Durchführungen müssen den folgenden genormten Werten aus Publikation Nr. 159 des SEV entsprechen:

100 250 400 600 1000 1500 A

19. Die Durchführung muss den **Nennstrom** ertragen, ohne dass bei Beanspruchung mit Spannung nach Ziff. 16 die zulässige Erwärmung nach Ziff. 20 überschritten wird.

20. Als **maximale Umgebungstemperaturen** und **zulässige Erwärmungen** an den Anschlußstellen der Durchführung gelten für den Nennbetrieb die Werte nach Tabelle III.

Die Durchführung muss den vereinbarten thermischen Grenzstrom (Einsekundenstrom) (Ziff. 12) aushalten.

Max. Umgebungstemperaturen und Grenzerwärmungen

Tabelle III

	Max. Umgebungstemperatur °C	Erwärmung °C
a) Für den Luftteil aller Durchführungen	40	35
b) Für den in Öl eingetauchten Teil von Durchführungen der Schalter und Messwandler [1])	60	20
c) Für den in Öl eingetauchten Teil von Durchführungen der Leistungs-Transformatoren	95	10

[1]) Gilt nicht als Erwärmungsvorschrift für Messwandler

21. Die **zulässige Biegelast** ist bei der Bestellung zu vereinbaren.

IV. Prüfbestimmungen

22. **Stückprüfungen** werden an sämtlichen Durchführungen einer Lieferung ausgeführt.

23. **Typenprüfungen** werden neben den Stückprüfungen an neuen Konstruktionen zur Überprüfung ihrer Eigenschaften ausgeführt. Durchführungen, welche sämtlichen Typenprüfungen unterworfen wurden, dürfen in der Regel nicht in Anlagen eingebaut werden.

24. **Besondere Prüfungen** werden nach Vereinbarung zwischen dem Fabrikanten und dem Abnehmer durchgeführt.

25. Für die **Ausführung der Spannungs-Prüfungen** gelten, wo nichts Besonderes fetsgesetzt ist, die Regeln für Spannungsprüfungen, Publikation Nr. 173 des SEV.

A. Stückprüfungen

26. **Trockenprüfung mit Wechselspannung von Industriefrequenz.** An der Durchführung wird bei Raumtemperatur während 1 Minute eine Wechselspannung von Industriefrequenz zwischen dem spannungführenden Leiter und dem geerdeten Flansch angelegt.

Die Anordnung der Durchführung während der Prüfung hat soweit als möglich derjenigen des Betriebes zu entsprechen; im besonderen ist die Prüfung mit allen Armaturen auszuführen. Verstellbare Sicherheitsfunkenstrecken dürfen jedoch für diese Prüfung auseinandergezogen oder entfernt werden, sofern dies zur Vermeidung von Überschlägen nötig ist.

Der Wert der Prüfspannung ist Tabelle I zu entnehmen.

Vor und nach der Prüfung wird bei Kondensatordurchführungen die Kapazität mit der Scheringbrücke oder einer anderen gleichwertigen Messmethode gemessen.

27. **Messung der dielektrischen Verluste in Abhängigkeit von der Spannung.** Die Messung der dielektrischen Verluste oder der Tangente des Verlustwinkels in Abhängigkeit von der Spannung wird an Durchführungen von 45 kV Nennspannung und mehr ausgeführt.

Die Durchführung wird für diese Prüfung in der Regel den Betriebsverhältnissen entsprechend angeordnet. Der Leiter wird nicht mit Strom belastet und die Messung erfolgt bei Raumtemperatur.

Bei dieser Messung sind verstellbare Sicherheitsfunkenstrecken zu entfernen.

Erläuterung: Wegen allfälliger Glimmentladungen können diese Funkenstrecken einen nicht erfassbaren Einfluss auf die Messung der dielektrischen Verluste des *Dielektrikums* ausüben.

Die Messung der dielektrischen Verluste oder der Tangente des Verlustwinkels erfolgt mit der Scheringbrücke oder einer gleichwertigen Messmethode bei steigender Beanspruchung mit Wechselspannung von Industriefrequenz bis zum 1,15fachen Wert der Nennspannung der Durchführung. Die Tangente des Verlustwinkels darf sich mit steigender Spannung bis zum Werte der 1,15fachen Nennspannung Pol-Erde nur wenig ändern.

Bemerkung:

Die Messung der dielektrischen Verluste oder der Tangente des Verlustwinkels in Abhängigkeit von der Spannung und der Kapazität erlaubt bei späteren Kontrollen, Veränderungen des Isolationszustandes festzustellen.

B. Typenprüfungen

28. Prüfung mit Wechselspannung von Industriefrequenz unter Regen (wird nur an Durchführungen für Freiluft ausgeführt). Die Durchführung wird bei Raumtemperatur nach den Regeln für Spannungsprüfungen, Publikation Nr. 173 des SEV, beregnet (3 mm Wasser pro Minute, spezifischer Widerstand des Wassers 9000...11 000 Ωcm, Einfallwinkel 40...50°).

Zwischen dem spannungführenden Leiter und dem geerdeten Flansch wird eine Wechselspannung von Industriefrequenz während 1 Minute angelegt. Die Anordnung der Durchführung während der Prüfung hat soweit als möglich derjenigen des Betriebes zu entsprechen; im besonderen ist die Prüfung mit allen Armaturen auszuführen. Verstellbare Sicherheitsfunkenstrecken dürfen jedoch für diese Prüfung auseinandergezogen oder entfernt werden, sofern dies zur Vermeidung von Überschlägen nötig ist.

Der Wert der Prüfspannung ist Tabelle I zu entnehmen.

Vor und nach der Prüfung wird bei Kondensatordurchführungen die Kapazität mit der Scheringbrücke oder einer anderen gleichwertigen Meßmethode gemessen.

29. Prüfung mit Stoßspannung. Die Durchführung ist in trockenem Zustande in einer Anordnung zu prüfen, welche den Betriebsverhältnissen möglichst entspricht. Sie ist mit allen Armaturen zu versehen. Ist die Durchführung mit einer angebauten verstellbaren Sicherheitsfunkenstrecke versehen, so ist diese bei diesen Versuchen auf den Sollwert einzustellen, der auf dem Leistungsschild angegeben ist. Die Spannung wird zwischen Leiter und Flansch angelegt.

a) Zunächst ist nachzuweisen, dass die 50-%-Überschlag-Stoßspannung 760/20/11 bei beiden Polaritäten die Werte der Tabelle II mindestens erreicht. Dies ist dann der Fall, wenn von 10 positiven und 10 negativen Stössen 1|50 mit dem in Tabelle II vorgeschriebenen Spannungswert höchstens je 5 zum Überschlage führen.

b) Sodann ist die Durchführung mit je 10 positiven Spannungsstössen 1|50 zu beanspruchen. Dabei ist der Stossgenerator mit angeschlossener Durchführung um 15 % höher als zur Erzeugung der Stoßspannungen nach Tabelle II einzustellen. Erfolgt bei dieser Beanspruchung nicht bei jedem Stoss ein Überschlag, so ist die Spannung zu steigern, bis bei jedem der 10 Stösse ein Überschlag erfolgt. Dieselbe Prüfung wird mit 10 negativen Stössen wiederholt. Ein Durchschlag darf hierbei nicht erfolgen.

Bei Durchführungen, welche weder durch ihre Bemessung, noch durch angebaute Sicherheitsfunkenstrecken gegen Durchschlag geschützt sind, ist beim Versuch parallel zur Durchführung eine Sicherheitsfunkenstrecke anzuschliessen, welche möglichst genau auf die Überschlagswerte nach Tabelle II einzustellen ist.

Vor und nach der Prüfung wird bei Kondensatordurchführungen die Kapazität mit der Scheringbrücke oder einer anderen gleichwertigen Messmethode gemessen.

30. Messung der dielektrischen Verluste bei konstanter Spannung. Die Messung der dielektrischen Verluste oder der Tangente des Verlustwinkels bei konstanter Spannung wird ausgeführt an Durchführungen von 45 kV Nennspannung und mehr.

Die Durchführung wird für diese Prüfung soweit als möglich den Betriebsverhältnissen entsprechend angeordnet und der in Öl eingetauchte Teil nach den Bestimmungen von Ziff. 20 erwärmt. Der Leiter wird nicht mit Strom belastet.

Bei dieser Messung sind verstellbare Sicherheitsfunkenstrecken zu entfernen.

Erläuterung: Wegen allfälliger Glimmentladungen können diese Funkenstrecken einen nicht erfassbaren Einfluss auf die Messung der dielektrischen Verluste des *Dielektrikums* ausüben.

Die Messung der dielektrischen Verluste oder der Tangente des Verlustwinkels erfolgt mit der Scheringbrücke oder einer gleichwertigen Messmethode beim 1,15fachen Wert der Nennspannung mit Wechselspannung von Industriefrequenz, wenn möglich Nennfrequenz, bis zum Nachweis der Konstanz der Verluste, höchstens aber während 8 Stunden.

31. Bestimmung der Erwärmung (Ziff. 20). Der Leiter der betriebsmässig ausgerüsteten Durchführung wird mit Nennstrom belastet. Der Versuch erfolgt bei Raumtemperatur. Die Erwärmung wird an den Anschlußstellen mit dem Thermometer gemessen.

Erläuterung: Es ist praktisch nicht möglich, die Erwärmung an der heissesten Stelle im Isolierkörper der Durchführung mit einfacher Methode zu messen.

32. Bestimmung des Radiostörwertes. Der Radiostörwert wird nach den Leitsätzen zur Prüfung des Radiostörwertes von Hochspannungsisolatoren bestimmt.

Bemerkung:

Diese Leitsätze sind in Vorbereitung.

33. Prüfung der zulässigen Biegelast. Die betriebsmässig ausgerüstete und montierte Durchführung wird senkrecht zu ihrer Achse an der Kopfarmatur belastet. Die Steigerung der Beanspruchung hat so zu erfolgen, dass der volle Wert der vereinbarten Biegelast in 10...20 Sekunden erreicht wird.

Zum Nachweis der bestandenen Prüfung wird die Trockenprüfung nach Ziff. 26 wiederholt, und es werden die bleibenden Deformationen kontrolliert.

V. Leistungsschild

34. Das Leistungsschild muss folgende Angaben enthalten:

Name des Herstellers
Nennspannung U_n in kV *)
Nennspannung Pol-Erde U_{Yn} in kV *)
Nennstrom I_n in A
Nennfrequenz f in Hz
Schlagweite der Sicherheitsfunkenstrecke s in cm

*) Diese beiden Angaben können nach folgenden Beispielen vereinigt werden:
«Nennspannung 45/45 kV» bedeutet eine Durchführung von 45 kV Nennspannung und 45 kV Nennspannung Pol-Erde.
«Nennspannung 45/26 kV» bedeutet eine Durchführung von 45 kV Nennspannung und 26 kV Nennspannung Pol-Erde.

Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, herausgegeben vom Schweizerischen Elektrotechnischen Verein als gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke. — **Redaktion:** Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, Seefeldstrasse 301, Zürich 8, Telephon (051) 34 12 12, Postcheck-Konto VIII 6133, Telegrammadresse Elektroverein Zürich. — Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet. — Das Bulletin des SEV erscheint alle 14 Tage in einer deutschen und in einer französischen Ausgabe, ausserdem wird am Anfang des Jahres ein «Jahresheft» herausgegeben. — Den Inhalt betreffende Mitteilungen sind an die Redaktion, den Inseratenteil betreffende an die Administration zu richten. — **Administration:** Postfach Hauptpost, Zürich 1, Telephon (051) 23 77 44, Postcheck-Konto VIII 8481. — **Bezugsbedingungen:** Alle Mitglieder erhalten 1 Exemplar des Bulletins des SEV gratis (Auskunft beim Sekretariat des SEV). Abonnementspreis für Nichtmitglieder im Inland Fr. 40.— pro Jahr, Fr. 25.— pro Halbjahr, im Ausland Fr. 50.— pro Jahr, Fr. 30.— pro Halbjahr. Abonnementsbestellungen sind an die Administration zu richten. Einzelnummern im Inland Fr. 3.—, im Ausland Fr. 3.50.