Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 51 (1960)

Heft: 18

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: 10.07.2025

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

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Projet de rapport sur les conditions atmosphériques normales pour les essais et les mesures [1])

621.317.2 : 697

A. Introduction

Lors de sa réunion à Philadelphie en 1954, le Comité d'Action décida de prier les Comités nationaux de faire savoir s'ils souhaitaient voir normaliser la température à laquelle les essais doivent être effectués ou à laquelle les échantillons doivent être préconditionnés pour les essais, en vue de permettre à tous les laboratoires d'employer un matériel et des méthodes de préconditionnement normalisés. La tâche d'analyser les réponses des Comités nationaux fut alors confiée au Comité d'Etudes N° 40 qui fut également prié d'examiner la question sous son aspect d'ensemble, et pas seulement du point de vue des essais des pièces détachées pour équipements électroniques.

Le Comité d'Etudes N° 40 confia au Sous-Comité 40–5, Méthodes pour les essais fondamentaux, la tâche d'analyser les réponses des Comités nationaux et de rédiger une proposition détaillée à soumettre au Comité d'Action. Ce Sous-Comité établit un document qui fut diffusé à tous les Comités nationaux pour observations en juin 1957.

Lors de leur réunion de Stockholm, en juillet 1958, le Sous-Comité 40–5 et le Comité d'Etudes N° 40 procédèrent à l'examen de ce document ainsi que des observations dont il avait fait l'objet de la part des Comités nationaux. Par la suite, une proposition révisée concernant les températures et les conditions normales recommandées pour les essais fut soumise au Comité d'Action.

De son côté, l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) poursuivait des travaux dans ce même domaine. Lors de la réunion du Conseil de l'ISO en septembre 1954, il fut décidé de former un «Comité de Coordination des travaux de conditionnement de l'atmosphère pour essais (ATCO)», composé de représentants de chacun des Secrétariats de Comités Techniques de l'ISO intéressés par cette question. Des dispositions furent également prises pour établir une liaison avec la CEI.

Par décision du Conseil de l'ISO lors de sa réunion de juillet 1956, ces dispositions furent complétées de manière à permettre aux Secrétariats de tous les Comités d'Etudes de la CEI intéressés de devenir membres de l'ATCO.

Faisant suite à ces arrangements, des représentants de trois Comités d'Etudes de la CEI (CE 15, CE 35 et SC 40–5) assistèrent à une réunion de l'ATCO à Paris, en mai 1957. Dix Comités Techniques de l'ISO étaient également représentés à cette réunion.

Les discussions qui eurent lieu à la réunion de l'ATCO, en mai 1957, aboutirent à un rapport qui fut soumis au Conseil de l'ISO. Ce rapport fut approuvé par le Conseil de l'ISO lors de sa réunion de juillet 1957 où il fut décidé de le communiquer à tous les Comités Techniques de l'ISO intéressés, ainsi qu'au Comité d'Action de la CEI.

Lors de sa réunion de Madrid en juillet 1959, le Comité d'Action de la CEI décida que les propositions établies par le Sous-Comité 40–5 et par le Comité d'Etudes N° 40 formeraient la base d'un rapport de la CEI sur les températures et les conditions normales d'essai. Le Bureau Central fut prié de préparer le projet de ce rapport, destiné à être soumis aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois.

Ce projet de rapport a été préparé conformément à la demande du Comité d'Action. Il est basé sur l'Annexe D du compte rendu RM 487/CA et tient également compte du rapport de l'ISO/ATCO dont il est fait mention ci-dessus.

B. Rapport

1. Domaine d'application

Ce rapport est basé sur:

a) Les recommandations du Comité d'Etudes N° 40 de la CEI, Pièces détachées pour équipements électroniques, et du Comité ISO/ATCO, concernant les caractéristiques de l'atmosphère des locaux ou enceintes où se font les essais et les mesures sur des échantillons de matériaux et sur des pièces détachées, et

b) Les recommandations du Comité ISO/ATCO concernant les caractéristiques de l'atmosphère d'une enceinte pour le préconditionnement des échantillons avant l'essai.

Le rapport ne traite que des atmosphères associées à des températures ne s'écartant pas sensiblement de la température ambiante. Dans de nombreux cas, les essais doivent forcément être exécutés à la température ambiante, dans une atmosphère non contrôlée; c'est ainsi que les moteurs électriques, les génératrices et les transformateurs sont essayés dans les conditions atmosphériques existant au moment de l'essai, à l'endroit où celui-ci a lieu; dans de tels cas, il ne saurait être question du contrôle de l'atmosphère.

En ce qui concerne le préconditionnement des échantillons avant une épreuve, la durée d'exposition de l'échantillon aux conditions atmosphériques de préconditionnement est importante. Elle varie selon la nature de l'échantillon en essai et il n'en est pas traité dans le présent rapport.

L'usage des recommandations contenues dans ce rapport doit être le plus large possible. Toutefois, pour un type donné d'appareil, elles ne s'appliquent que dans les limites prescrites par la recommandation de la CEI particulière à ce type d'appareil.

2. Définitions

Les définitions suivantes ont été adoptées pour les besoins de ce rapport:

Conditions atmosphériques pour les essais et les mesures

Conditions régnant dans l'espace où l'échantillon ou l'éprouvette sont soumis aux essais et aux mesures.

Préconditionnement

Opération ayant pour but de placer avant une épreuve un échantillon ou une éprouvette dans l'état qu'ils acquerraient s'ils étaient sous l'influence continue des conditions atmosphériques d'essai et de mesure.

Le préconditionnement implique normalement le maintien de l'échantillon ou de l'éprouvette dans des conditions spécifiées de température, d'humidité et de pression pendant une durée déterminée (cette durée doit être spécifiée dans chaque cas particulier).

Note: Le local utilisé pour les essais et les mesures et le préconditionnement peut être, suivant le cas, le laboratoire tout entier dans lequel les conditions spécifiées sont maintenues à l'intérieur des tolérances prescrites, ou une chambre d'essais et de mesures spéciale plus petite.

Plage normale des températures ambiantes

Plage des températures ambiantes dans laquelle les essais et les mesures doivent être effectués dans tous les cas où aucune température d'essai et de mesure n'est spécifiée.

Conditions atmosphériques de référence

Atmosphère à laquelle sont ramenées par le calcul les valeurs obtenues par des essais et mesures effectués dans les conditions normales d'essai et de mesure.

Essais et mesures d'arbitrage

Essais et mesures effectués lorsque les paramètres mesurés varient en fonction des conditions atmosphériques de mesure et que l'on ne connaît pas les facteurs de correction à utiliser pour ramener les paramètres mesurés à l'atmosphère normale de référence.

3. Conditions atmosphériques normales recommandées pour les essais et les mesures

Les conditions atmosphériques normales recommandées pour les essais et les mesures sont les suivantes:

Plage des températures	de + 15 °C à + 35 °C
Humidité relative	de 45 % à 75 %
Pression atmosphérique	de 860 à 1060 mbar (650 à 850 mm Hg)

[1]) Siehe die Mitteilung auf Seite 876.

4. Atmosphère normale de référence

L'atmosphère normale de référence est la suivante:

Température	20 °C
Pression atmosphérique	1000 mbar
Humidité relative	65 %

Il est cependant reconnu que, très souvent, une correction par calcul pour l'humidité n'est pas possible. Dans ce cas, l'atmosphère normale de référence ne tient compte que de la température et de la pression dont les valeurs sont indiquées ci-dessus.

5. Conditions atmosphériques normales de préconditionnement et d'essais et de mesures d'arbitrage

Trois atmosphères normales sont reconnues pour le préconditionnement et pour les essais et mesures d'arbitrage effectués sur les échantillons ou les éprouvettes dans des conditions voisines de l'atmosphère ambiante; il est recommandé de n'utiliser qu'une seule de ces atmosphères normales pour une application déterminée.

Les trois atmosphères normales sont les suivantes:

a)	Température	20 °C
	Humidité relative	65 %
	Pression atmosphérique	860 à 1060 mbar (650 à 850 mm Hg)
b)	Température	23 °C
	Humidité relative	50 %
	Pression atmosphérique	860 à 1060 mbar (650 à 850 mm Hg)
c)	Température	27 °C
	Humidité relative	65 %
	Pression atmosphérique	860 à 1060 mbar (650 à 850 mm Hg)

Ces atmosphères normales sont assujetties aux tolérances suivantes:

Tolérances normales:

Température	± 2 °C
Humidité relative	± 5 %

Si des tolérances plus serrées sont nécessaires:

Température	± 1 °C
Humidité relative	± 2 %

Nouveau type de cabine transformatrice souterraine à Genève

621.311.42(24)

1. Généralités

La distribution de l'énergie électrique dans un grand réseau urbain pose une série de problèmes délicats à résoudre, notamment la construction des cabines transformatrices.

La circulation très intense dans les artères oblige l'exploitant à réaliser un ouvrage dans les délais les plus courts. L'ouverture de la chaussée et l'entreposage des matériaux de construction constituent rapidement une entrave que la population ne peut supporter longtemps.

Dans le cas particulier de Genève, où les anciennes maisons n'ont pas de caves, à cause de la proximité du lac, il ne faut pas songer y installer une cabine transformatrice. D'autre part, le niveau de la nappe d'eau souterraine se trouve à quelque deux mètres au-dessous des chaussées. L'étanchéité des ouvrages classiques en béton armé devient très difficile et les délais de mise en œuvre sont toujours très longs. Dans les meilleures conditions, une cabine souterraine réalisée en béton peut être mise à disposition de l'exploitant après 7 à 8 mois de travaux.

Une nouvelle cabine du type 6 cellules équipées à 20 kV a été mise au point et réalisée avec succès en utilisant pour enveloppe une citerne métallique (fig. 1).

2. Cabine métallique cylindrique

La cabine est une citerne de 3,4 mètres de diamètre intérieur et de 13,84 mètres de longueur. L'épaisseur de la tôle est de 12 mm renforcée par 9 cercles intérieurs en fer à té 100×100×10 mm (fig. 1). Les fosses d'accès des transformateurs sont combinées avec le couloir du service d'une part, et la sortie d'air chaud, d'autre part. La citerne d'un poids de 20 t repose sur un radier en béton armé de 50 cm de hauteur, dont le but est de servir également de contre-poids en cas de montée des eaux souterraines.

Fig. 1
La carcasse

La surface extérieure de la cabine est recouverte de deux couches de bitume à froid, protégée par une épaisseur de 20 cm de sable. Quatre verrins à vis ont été fixés aux extrémités du cylindre afin de placer la citerne sur sa remorque de transport et de régler sa mise en place après sa dépose dans la fouille (fig. 2).

Fig. 2
La cabine posée dans la rue

La durée totale des travaux dans la rue de la Monnaie a été de 37 jours ouvrables (200 jours en solution classique).

3. Equipement électrique

Deux transformateurs isolés au pyralène de 1000 kVA chacun 17 500/220...380 V équipent la cabine. La ventilation naturelle est suffisante jusqu'à demi-charge. Deux ventilateurs commandés par thermostat aspirent l'air frais par la cage de service. L'air chaud est refoulé par une ouïe de 2 mètres carrés de section prévue à l'autre extrémité de la cabine.

Les câbles 17 500 V 3 (1×150 mm²) sont isolés au polythène et reliés aux lignes circonvoisines par des manchons spéciaux polythène-papier. Les départs basse tension Tdc 220...380 V sont au nombre de 20. Le couplage des deux tableaux de distribution se fait au moyen de fusibles hpc de 600 A (fig. 3).

4. Conclusions

Une fois livrée par le constructeur de chaudronnerie, la cabine a été entièrement équipée à proximité des ateliers du Service de l'Electricité; hormis les transformateurs qui ont été mis en place au moyen d'une grue de 5 t.

Le délai d'exécution est particulièrement court, la mise en place n'ayant donné lieu à aucune difficulté; c'est l'avantage principal de cette réalisation.

Les problèmes d'étanchéité sont élégamment résolus et en cas d'avarie (courants vagabonds toujours présents à cause des tramways) on peut toujours facilement réparer. Au point

Fig. 3
L'intérieur de la cabine équipée

de vue économique, et pour terminer, les frais de construction comparés à ceux d'un ouvrage équivalent réalisé en béton sont dans le rapport de un à deux. *P. Jaccard*

Nichtlineare Elemente in Regelkreisen

621-53

[Nach *A. Leonhard:* Sind nichtlineare Elemente in Regelkreisen erwünscht oder unerwünscht? E u. M Bd. 76(1959), Nr. 21, S. 489...495]

Da die funktionalen Zusammenhänge in der Natur praktisch immer nichtlinear sind, stellt die Behandlung linearer Regelkreise einen Sonderfall dar, der oft nur eine erste Annäherung an die Wirklichkeit bedeutet. Im folgenden soll untersucht werden, wie Nichtlinearitäten die Lösung von Regelproblemen beeinflussen.

Zur Vorausberechnung von Stabilität und Übergangsverhalten von linearen Regelsystemen liegen heute brauchbare und im allgemeinen einfach zu handhabende Verfahren vor, welche auch in der Praxis weitgehend angewendet werden. Diese Rechenmethoden versagen jedoch, sobald es sich um nichtlineare Systeme handelt, weil die mathematische Behandlung solcher Systeme auf nichtlineare Differentialgleichungen oder auf Differentialgleichungen mit nichtkonstanten Koeffizienten führt. Diese Gleichungen sind nur in Ausnahmefällen elementar lösbar.

Eine erste Möglichkeit der Behandlung nichtlinearer Regelsysteme besteht darin, dass man sie, nach der Methode der kleinen Schwingungen, linearisiert. Dabei wird die nichtlineare Kennlinie im Betriebspunkt durch die Tangente ersetzt, die Lösung hat dann nur in einem gewissen Bereich um den Betriebspunkt Gültigkeit. Diese Linearisierungsmethode kann man nicht mehr anwenden, wenn die Nichtlinearität in Form einer Unstetigkeit auftritt, wenn es sich also z. B. um eine Relaischarakteristik handelt.

Eine zweite, häufig angewendete Methode zur Bestimmung der Stabilität von nichtlinearen Regelsystemen besteht in der Einführung der Beschreibungsfunktion. Diese gibt den — amplitudenabhängigen — Zusammenhang zwischen der sinusförmigen Eingangsgrösse und der Grundwelle der Ausgangsgrösse. Die Beschreibungsfunktion wird wie ein normaler Frequenzgang behandelt und nach einer der bekannten Methoden, z. B. nach *Bode* oder nach *Nyquist*, kann dann die Stabilität untersucht werden. Da die Beschreibungsfunktion amplitudenabhängig ist, wird dies im allgemeinen auch die Stabilität sein, die Regelung kann also beispielsweise für grosse Amplituden stabil, für kleine instabil sein oder umgekehrt.

Es zeigt sich demnach, dass die Berechnung von Regelsystemen durch nichtlineare Elemente wesentlich erschwert, oft sogar unmöglich gemacht wird. Mit Rücksicht auf die *theoretische Behandlung* von praktischen Regelproblemen sind Nichtlinearitäten also *unerwünscht.*

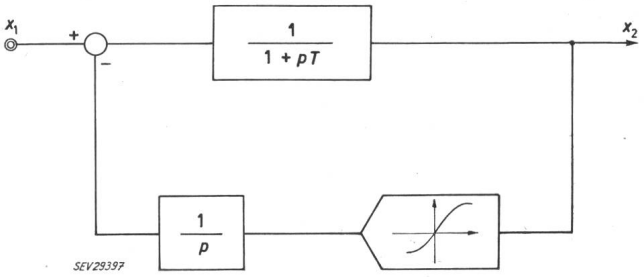

Fig. 1
Mit Integralregler und nichtlinearem Glied geregelter Kreis erster Ordnung
x_1 Eingangssignal; x_2 Ausgangssignal

Welches sind nun die praktischen Auswirkungen von Nichtlinearitäten auf den Regelvorgang? Das einfache Beispiel eines mit einem nichtlinearen Element geregelten Kreises erster Ordnung, wie es in Fig. 1 dargestellt ist, soll zeigen, wie durch eine Nichtlinearität die Regeleigenschaften günstig beeinflusst werden können. Die in Fig. 2 dargestellten Übergangsfunktionen für den oben beschriebenen Regelkreis zeigen, dass sich die nichtlineare Regelung (Kurve *b*) wesentlich günstiger verhält als die entsprechende lineare Regelung (Kurve *a*). Diese Übergangsfunktionen wurden sowohl mit digitalen Rechenmaschinen als auch mit Analogierechengeräten ermittelt. Stetige nichtlineare Kennlinien können durch gerade Streckenzüge approximiert werden. Solche Regelkreise lassen sich dann abschnittweise berechnen. Aus geraden Streckenzügen zusammengesetzte Kennlinien lassen sich praktisch einfach verwirklichen.

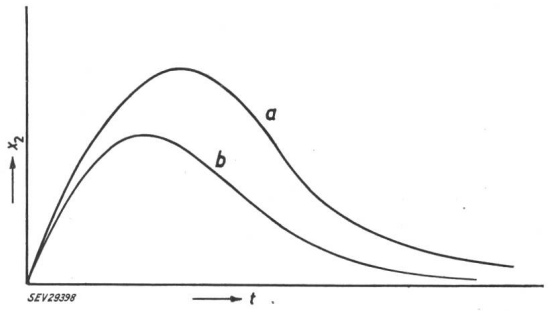

Fig. 2
Übergangsfunktionen des in Fig. 1 dargestellten Regelkreises
a bei linearem Regler; *b* bei nichtlinearem Regler

Dieses Beispiel zeigt, dass mit *stetigen* nichtlinearen Reglern bei geschickter Wahl der Reglerkennlinien günstigere Regelbedingungen geschaffen werden können, als sie sich mit linearen Reglern erzielen lassen. Die damit gegebenen Möglichkeiten sind bislang erst in bescheidenem Masse ausgenützt worden.

Hingegen wird von einer andern Art der nichtlinearen Regelung, nämlich der unstetigen Zwei- oder Dreipunkt-Regelung, in der Praxis sehr häufig Gebrauch gemacht. Sehr viel wird z. B. der Zweipunktregler bei Temperaturregelungen verwendet. Praktisch alle kleineren Ölheizungsregulierungen arbeiten mit Zweipunktreglern.

Anhand des *Phasendiagrammes* [Darstellung der Funktion $x' = F(x)$] gewinnt man einen anschaulichen Überblick über das Verhalten des Zwei- oder Dreipunktregelsystems. Selbstverständlich sind viele Zweipunkt-Regelsysteme ohne Zuhilfenahme von Phasendiagrammen auf rein empirischem Weg entwickelt worden (wie z. B. der *Tirill*-Regler), doch können die theoretischen Erkenntnisse auf dem Gebiete der nichtlinearen Regelungen auch dort wertvolle Anregungen für die Verbesserung solcher Regler liefern.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Nichtlinearitäten zwar die Berechnung von Regelkreisen erschweren, dass sie dafür aber dem Theoretiker interessante Probleme liefern und vor allem dem Praktiker vielseitige Möglichkeiten geben, durch geschickte Anwendung von nichtlinearen Elementen besonders wirksame Regeleinrichtungen zu bauen und dass demnach Nichtlinearitäten im ganzen betrachtet keineswegs unerwünscht sind.

H. G. Bürgin

Synthetisches Prüfverfahren für Hochspannungs-Leistungsschalter

621.316.57.064.3

[Nach *A. I. Balakin:* Neues Verfahren für die Prüfung der Ausschaltleistung von Hochspannungs-Schaltern. Elektritschestwo, Bd. -(1960), Nr. 1, S. 43...47]

Nach diesem synthetischen Prüfverfahren für Hochspannungs-Leistungsschalter wird die Energie für die wiederkehrende Spannung aus den Energiequellen der Kreise für den Ausschaltstrom entnommen. Der Kreis der wiederkehrenden Spannung bildet sich automatisch bei Annäherung des Stromes an den Nulldurchgang, wodurch die Notwendigkeit einer Synchronisierung der Strom- und Spannungs-Kreise entfällt. Für die Prüfung der Schalter nach diesem Verfahren kann eine bestehende Anlage für direkte Leistungsprüfungen verwendet werden.

Das Schema der Prüfanlage ist in Fig. 1 wiedergegeben.

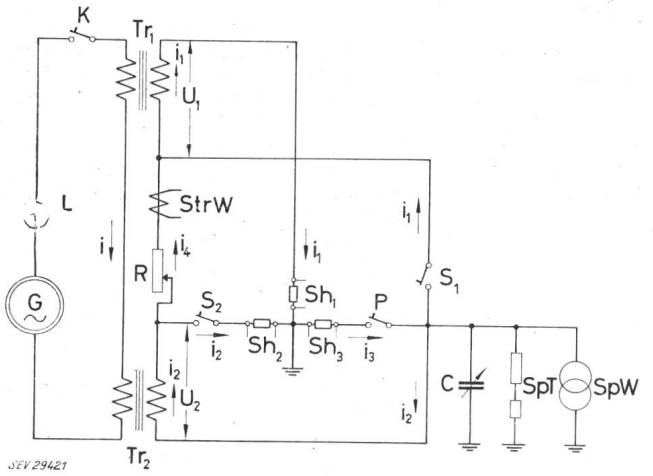

Fig. 1

Schema der Prüfanlage

Sh_1, Sh_2, Sh_3 Shunts; *C* variabler Kondensator zur Regelung der Frequenz der wiederkehrenden Spannung; *SpT* Spannungsteiler; *L* Induktivität des Speisekreises; *R* Schutzwiderstand; *SpW* Spannungs-Wandler; *StrW* Strom-Wandler
Weitere Bezeichnungen siehe im Text

Vor Beginn des Versuches sind der Versuchsschalter P und die Hilfsschalter S_1, S_2 geschlossen, während der Kurzschliesser K geöffnet ist. Die Energiequelle G — sei es ein Kurzschluss-Generator oder das Netz — wird mit Hilfe von K auf die Prüftransformatoren Tr_1 und Tr_2 geschaltet. Dabei erfolgt eine Serieschaltung der Primärwicklungen dieser Transformatoren und eine Parallelschaltung ihrer Sekundärwicklungen, die zwei Stromkreise bilden.

Über den Hilfsschalter S_1 fliesst der Strom i_1 der Sekundärwicklung von Tr_1, über den Hilfsschalter S_2 der Strom i_2 der Sekundärwicklung von Tr_2. Über den Versuchsschalter P fliesst ein Strom $i_3 = i_1 + i_2$.

Nun werden der Versuchsschalter und die Hilfsschalter geöffnet. Die Lichtbogenlöschung in den Hilfsschaltern muss am Ende derjenigen Halbwelle erfolgen, in der auch der Versuchsschalter löschen sollte. Die gleichzeitige Löschung der Hilfsschalter ist sowohl durch die Versuchsanordnung selbst als auch durch die konstruktive Gestaltung der Hilfsschalter gewährleistet.

Nach erfolgter Lichtbogenlöschung in den Hilfsschaltern und im Versuchsschalter entsteht zwischen den Kontakten des Versuchsschalters eine wiederkehrende Spannung, die der Summe der Sekundärspannungen der beiden Transformatoren entspricht.

Der Versuchsschalter wird im Verlaufe der Lichtbogenlöschung sowohl mit dem vollen Kurzschlußstrom als auch mit der vollen wiederkehrenden Spannung beansprucht und hat eine Kurzschlussleistung abzuschalten, die das Doppelte der Grundleistung der Energiequelle beträgt.

Bei Rückzündungen im Versuchsschalter (Versagen des Schalters) findet eine Strombegrenzung durch den Widerstand R statt, so dass der reduzierte Strom i_4 im nächsten Nulldurchgang durch den Versuchsschalter unterbrochen wird.

Ein Schema der drei- oder vierfachen Vergrösserung der ausgeschalteten Kurzschlussleistung entsteht analog der Verdoppelung in Fig. 1 bei entsprechender Anwendung von 3 oder 4 Stromkreisen.

Die Gleichwertigkeit des besprochenen Verfahrens mit direkten Prüfverfahren kann mathematisch nachgewiesen werden. Der praktische Nachweis konnte an Beispielen durchgeführter Versuche erbracht und durch Oszillogramme belegt werden. So wurde u. a. ein ölarmer Schalter geprüft, der eine Kurzschlussleistung von 822,5 MVA bei einer wiederkehrenden Effektiv-Spannung von Industriefrequenz von 47 kV abschaltete, während die Kurzschlussleistung der Energiequelle 411,25 MVA bei einer wiederkehrenden Spannung von 9,4 kV betrug.

G. v. Boletzky

Fortschritte auf dem Gebiet der elektrischen Isoliermaterialien

621.315.61

[Nach *L. J. Berberich:* Three Decades of Progress in Electrical Insulation. Trans. AIEE, Part I, Communication and Electronics, Bd. 78(1959), Nr. 43, S. 237...248]

Die vergangenen dreissig Jahre haben im Gebiet der elektrischen Isolation gewaltige Fortschritte gebracht. Auf *theoretischem Gebiet* ist durch die Quantentheorie das Verständnis für die Mechanismen der Leitung in Metallen, des Nichtleitens im Isolierstoff und der Halbleiterphänomene gewachsen. Die Entwicklung der Festkörperphysik machte die Herstellung der Transistoren und anderer Halbleiterelemente möglich.

Die Studien über die *Gasentladungsvorgänge* führten zur Erkenntnis, dass elektronegative Elemente, wie die Halogene, in den ersten Stadien der Entladung Elektronen aufzufangen vermögen. Dies gab den Anstoss zur Verwendung der halogenhaltigen Gase wie Schwefelhexafluorid in Hochspannungsgeräten.

Das Studium der *Polarisationserscheinungen* und der daraus sich ergebenden dielektrischen Verluste im Wechselfeld haben in Zusammenarbeit zwischen Physiker, Chemiker und Ingenieur zu neuen Isolierstoffen, besonders im Gebiet der Kondensatoren und der Fernmeldekabel, geführt.

Die Zahl der *neuen Isolierstoffe* ist durch die Entwicklung der Chemie enorm gestiegen. Am deutlichsten ist die Zunahme bei den Bindemitteln, Harzen, Lacken und den kautschukelastischen Stoffen. Dabei sind eine ganze Reihe Typen gefunden worden, die in Bezug auf ihre Wärmealterungsbeständigkeit früheren Materialien weit überlegen sind.

Im Gebiete der *Lackdrähte* existierte vor dreissig Jahren einzig der Öllackdraht. Heute ist er in seinen Wärmealterungseigenschaften durch fünf chemisch verschiedene Typen übertroffen.

Im Gebiete der *anorganischen Stoffe*, wo der Glimmer immer noch eine sehr wichtige Rolle spielt, sind die verbesserten Asbestqualitäten zu erwähnen. Gläser für viele Anwen-

dungen wurden entwickelt. Neben dem Porzellan mit seinen in der Wärme oft ungenügenden Isolationseigenschaften kamen die verbesserten Zirkonporzellane in den Handel. In der Titanatkeramik eröffneten sich durch die neuen Typen mit hohen Dielektrizitätskonstanten neue Anwendungsgebiete im Kondensatorbau.

Bei den *Temperaturklassen* konnte durch ein systematisches Studium des Temperatureinflusses auf die Isoliermaterialien die Festlegung neuer Klassen erwogen werden, wie dies später in der Publikation 85 der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) niedergelegt worden ist.

Diese Errungenschaften haben im *Maschinenbau* erlaubt, bei gleichbleibender Leistung die Betriebstemperaturen heraufzusetzen und die Abmessungen zu verkleinern. Im Grossmaschinenbau brachte der Ersatz der thermoplastischen, schlecht eindringenden Asphaltbindemittel durch die härtbare Polyesterisolation einen Gewinn in Lebensdauer, elektrischen und mechanischen Eigenschaften, was wieder den Bau leistungsfähiger, grösserer Einheiten möglich macht. Auch mit durch Kunstharz gebundenem Glimmerpapier und mit Silikonkautschukbändern sind neue Isolationen aufgebaut worden.

Im *Trockentransformatoren-Bau* hat die Verwendung der Giessharze bedeutende Fortschritte gebracht. Mit den Silikon-Isolierstoffen konnten Transformatoren mit Betriebstemperaturen von 200 °C und darüber verwirklicht werden. Bei den *ölgefüllten Transformatoren* ist der Ersatz von Papier und Transformatorenöl durch andere Produkte zu wirtschaftlich tragbaren Bedingungen noch nicht gelungen, aber die genannten Stoffe sind wesentlich verbessert worden. Durch die neuen Magnetblechqualitäten und die verbesserte Kühlung wurden Transformatoren bis 400 MVA möglich, bei gleichzeitiger Gewichtsreduktion per kVA. — Im Transformatorenbau ist auch die Verwendung der Gase mit elektronegativen Elementen zu erwähnen.

Bei den *Kondensatoren* gelang durch die Verwendung der teureren Askarels anstatt des Kohlenwasserstofföls eine Grössenverminderung, ohne dass wegen der Verwendung des teureren Materials der Preis des fertigen Kondensators höher geworden wäre.

Wie im Transformatorenbau sind bei den *Hochspannungskabeln* Papier und Öl noch nicht ersetzt worden, dagegen konnte die Ionisation im Inneren durch neue Kabelkonstruktionen beseitigt werden. Bei den Niederspannungskabeln sind der Naturkautschuk und das Öltuch fast gänzlich durch Kunststoffe und synthetische Kautschukarten ersetzt worden.

In diesen wenigen Beispielen wird gezeigt, wie die Zusammenarbeit von Theorie und Praxis und Angehöriger verschiedener Wissenszweige zum Fortschritt in der Isolationstechnik beitragen. *H. Mosimann*

Ein Sonnenkraftwerk von 1 W Leistung

621.311.29 : 621.472

[Nach *D. H. Smith:* A One-Watt Power Plant. Trans. AIEE, Part I, Communication and Electronics, Bd. 78(1959), Nr. 45, S. 530...535]

Kurz nach der Erfindung der Sonnenbatterie in den Bell Telephone Laboratories wurde mit der Untersuchung begonnen, wie Sonnenzellen am besten angewendet werden können. Insbesondere war ein Sonnenkraftwerk von 1 W Leistung zu bauen, welches der Speisung der Endstelle eines transistorisierten Trägerfrequenz-Telephoniesystems dienen sollte.

Eine Sonnenzelle oder Siliziumphotodiode ist eine kreisförmige Scheibe, die aus einem Siliziumkristall des n-Typs ausgeschnitten wird. Durch Eindiffundieren von p-Material aus der gasförmigen Phase in den Kristall wird ca. 2,5 μm unter der Oberfläche ein pn-Übergang erzeugt.

Wenn eine Zelle von 25 mm Durchmesser ans Sonnenlicht gebracht wird, so beträgt die aufgenommene Sonnenleistung ca. 0,5 W. Theoretisch sollte in diesem Falle jede Zelle ca. 100 mW an einen Widerstand abgeben können. In Praxis gaben die Zellen jedoch nur 25...50 mW ab.

Es wurden jeweils 9 Zellen auf eine Druckschaltungsplatte montiert und in Serie geschaltet. Die Platte wurde in einen Plexiglasbehälter montiert. Um Lichtverluste zu vermeiden, wurde dieser Behälter mit Silikonöl gefüllt und abgedichtet. Die Eigenschaften dieser Einheit sind aus Fig. 1 ersichtlich. 1,45 g · cal/cm² · min oder 1000 W/m² entspricht der Belichtungsstärke bei hellem Sonnenschein, während 0,2 g · cal/cm² min oder 150 W/m² der Belichtungsstärke an einem trüben, bewölkten Tag entspricht. Bei sehr starker Belichtung nähert sich die abgegebene Leistung infolge innerer Verluste einem Grenzwert. Konzentrierung der Lichtstrahlen mittels optischen Systemen sind somit vorläufig nur begrenzt wirksam.

Das ganze Sonnenkraftwerk besteht im wesentlichen aus 48 Einheiten von je 9 Photodioden, welche einen Akkumulator puffern. Aus Fig. 1 ist ersichtlich, dass die von der Sonnenbatterie abgegebene Spannung von der Belichtungsstärke abhängt. Um bei schwacher Beleuchtung ein Entladen des Akkumulators über die Photodioden zu verhindern, wird daher eine Siliziumdiode zwischen Sonnenbatterie und Akkumulator geschaltet.

Als Akkumulator wurden 96 Nickel-Cadmium-Zellen eines experimentellen Typs verwendet. Sie wurden so geschaltet, dass sich eine Spannung von 22 V und eine Kapazität von 15 Ah ergab. Die Gase, die sich während der Ladung bilden, können dank einem besonderen Zusatz rekombinieren, so dass im Inneren der hermetisch abgedichteten Zellen kein höherer Druck auftritt. Dieser Zusatz bewirkt auch, dass sich die Spannung während der Entladung, aber auch bei Überladung nur sehr wenig ändert.

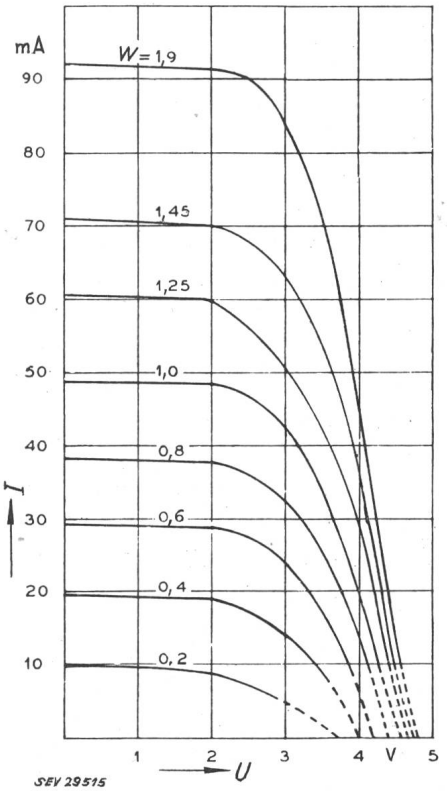

Fig. 1

Charakteristik einer Sonnenbatterie

I Batteriestrom; *U* Klemmenspannung; *W* Belichtungsenergie in g · cal/cm² · min
(1,45 g · cal/cm² · min ≈ 1 kW/m²)

Beim Parallelschalten der Sonnenzellen wurde darauf geachtet, möglichst gleichartige Einheiten zu verwenden. Der Lichtwandler gab bei der maximalen Bestrahlung von 1,2 kW/m² eine Spitzenleistung von 10 W ab, während die Durchschnittleistung 1 W betrug.

1955 wurde die Trägerendstelle in Americus, Georgia, an das Sonnenkraftwerk angeschlossen und während der nächsten sechs Monate wurde die benötigte Energie von der Sonne geliefert. Sämtliche Erwartungen wurden erfüllt, womit die technische Realisierbarkeit bewiesen ist.

Während z. Z. der Versuche die Anlage noch relativ teuer war, kann doch damit gerechnet werden, dass in naher Zukunft derartige Anlagen auch preislich gegenüber anderen Systemen konkurrenzfähig sind. *T. Brenig*

Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

Tunnel-Dioden als HF-Schaltelemente

621.314.632.029.6

[Nach *H. S. Sommers*, Jr: Tunnel Diodes as High-Frequency Devices. Proc. IRE Bd. 47(1959), Nr. 7, S. 1201...1206]

Legierte Germanium-Flächendioden, die aus sehr hoch dotiertem Material bestehen und einen abruten p-n-Übergang aufweisen, zeigen bei kleinen Vorwärtsspannungen eine Strom-Spannungs-Kennlinie mit einem negativen differentiellen Widerstand (Fig. 1). Die Wirkungsweise einer solchen Diode, die

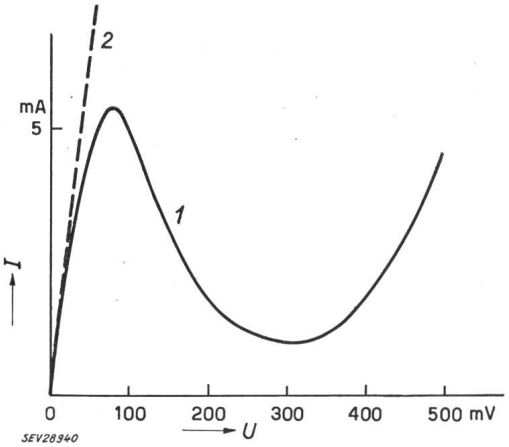

Fig. 1

Strom-Spannungs-Kennlinie einer Tunneldiode

Ausgezogene Kurve: Vorwärtskennlinie
Gestrichelte Kurve: Rückwärtskennlinie
(gespiegelt aus dem 3. Quadranten)

nach ihrem Entdecker auch als *Esaki*-Diode bezeichnet wird, kann durch den quantenmechanischen *Tunneleffekt* erklärt werden. Insbesondere im nichtsperrenden Rückwärtsgebiet und im Vorwärtsgebiet vom Nullpunkt bis zum Stromminimum werden die Transportphänomene durch den Tunneleffekt beschrieben, während der Rest des Vorwärtsgebietes den Gesetzen des normalen Minoritätsträgertransportes gehorcht. Die Stromextrema guter Exemplare aus Germanium liegen bei rund 50 bzw. 350 mV. Bei Zimmertemperatur werden als Verhältnis zwischen Strommaximum und -minimum Werte bis 15:1 beobachtet.

Die Zeit, welche die Majoritätsträger zum «Durchtunneln» des Potentialberges benötigen, ist ausserordentlich kurz. Abgesehen von der unvermeidlichen Sperrschichtkapazität weist die Tunneldiode daher praktisch keine zusätzlichen, von Minoritätsträger-Laufzeiten herrührenden Speichereffekte auf. Daraus kann man schliessen, dass der negative Widerstand der Tunneldiode bei sehr hohen Frequenzen ausgenutzt werden kann. Über die Dynamik des Tunneleffektes existiert bis jetzt noch keine Theorie. Möglicherweise wird die obere Frequenzgrenze der Tunneldiode durch die Relaxationszeit der Majoritätsträger bestimmt. Für sehr hoch dotiertes Germanium liegt diese bei etwa 10^{-13} s. Vorläufig sind die Schranken der obern Frequenzgruppe aber durch die Technologie und Schaltungstechnik und nicht durch den physikalischen Vorgang gesetzt.

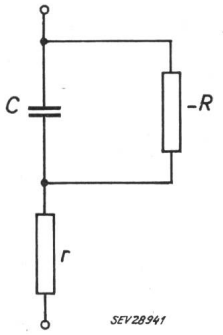

Fig. 2

Ersatzschaltbild der Tunneldiode

$-R$ negativer differentieller Widerstand; C Sperrschichtkapazität; r Zuleitungswiderstand

Für das Kennliniengebiet mit negativem Widerstand wird das in Fig. 2 dargestellte wechselstrommässige Ersatzschaltbild vorgeschlagen. Je nach der Dotierung erhält man für R Werte von 90...1Ω für das RC-Produkt Werte von 5...0,05 ns. Der Zuleitungswiderstand r ist immer bedeutend kleiner als der Betrag des negativen Widerstandes.

Die Tunneldiode kann in Verstärker-, Oszillator- und Schaltkreisen verwendet werden. Für das Gewinn-Bandbreite-Produkt einer Verstärkerschaltung findet man in erster Näherung, wenn $G \gg 1$

$$G \cdot \Delta f = 1/2\pi RC,$$

worin G die Spannungsverstärkung in der Bandmitte, und $\pm \Delta f$ die Bandbreite (3-db-Abfall) bedeuten. Ferner ist die Oszillatorfrequenzgrenze durch

$$f_0 = \sqrt{R/r_t} \,/\, 2\pi RC$$

gegeben, worin r_t den totalen Verlustwiderstand des Oszillatorkreises bezeichnet.

Infolge der äusserst geringen Impedanz der Tunneldiode kann deren aktiver Teil bei Anwendungen im UHF-Gebiet nicht in einem üblichen Diodengehäuse eingebaut werden. Selbst die Mikrowellenpatrone weist zu hohe Zuleitungsinduktivitäten auf. Der aktive Teil der legierten Tunneldiode wird daher direkt zwischen die Streifen eines Stripline-Abschnittes eingebaut, welcher einen Bauteil eines Verstärker- oder Oszillatorkreises bildet. Bei Anwendungen in Verstärker- und Oszillatorkreisen besteht die schaltungstechnische Schwierigkeit darin, unerwünschte Schwingungen zu unterdrücken. Dies gelingt durch geeignete Anordnung der Diode und zusätzlicher Dämpfungswiderstände in einer Stripline. Mit solchen Anordnungen wurden Schwingungen im Grundmodus mit Frequenzen bis 1,4 GHz erzeugt, wobei verschiedene Abstimm- und Modulationsmöglichkeiten untersucht wurden.

Die Tunneldiode kann auch als bistabiler Schalter (Speicher) betrieben werden. Dabei wird der Lastwiderstand so gewählt, dass die Lastgerade die Kennlinie im Strommimimum und in einem Punkt links vom Strommaximum schneidet (Fig. 1). Durch einen positiven Impuls wird die Diode in den leitenden Zustand gekippt. Bis jetzt erreichte Schaltzeiten liegen in der Grössenordnung von 2 Nanosekunden.

Als weitere Anwendungsmöglichkeiten sind selbstschwingende Mischstufen, Spannungsregler, Clipper und Schaltungen als Stromquellen zu erwähnen. ***W. Wunderlin***

Synthese von HF-Transistorfiltern

621.372.54 : 621.382.3

[Nach *L. M. Vallese:* High Frequency Transistor Filter Synthesis. Electronic Engng., Bd. 31(1959), Nr. 382, S. 748...752]

In den letzten Jahren hat die Synthese aktiver Netzwerke an Bedeutung gewonnen, was sich in der grossen Anzahl von Veröffentlichungen auf diesem Gebiet ausdrückt. Die geringere Zuverlässigkeit der aktiven Bauelemente wird durch die grössere Freiheit in der Filterauslegung aufgewogen.

Bisher wurde die Synthese von Transistorfiltern durch die innere Gegenkopplung erschwert. Die Entwicklung moderner Hochfrequenztransistoren mit inhomogen dotierter Basis gestattet jedoch in vielen Fällen eine Vernachlässigung der inneren Gegenkopplung und dadurch eine wesentliche Vereinfachung der Filterberechnung. Bei der hier benützten Methode wird die Basis-Emitter-Kapazität berücksichtigt. Der Basiszuleitungswiderstand sowie die Kollektor-Basis-Kapazität sollen dagegen vernachlässigt werden. Die hier entwickelten Methoden zur Synthese von Tiefpässen und Bandfiltern beruhen auf der Transformation nicht-reziproker in reziproke Netzwerke, die von *Vallese* an anderer Stelle beschrieben worden sind. Das Filter setzt sich aus kanonischen Leiterstrukturen zusammen, und zwar des Zwitter-π-Typs und des Zwitter-T-Typs, wobei jede ein komplexes Polpaar erzeugt. Während die Zwitter-π-Strukturen unter Verwendung von Pufferstufen aneinandergereiht werden, lassen sich die Zwitter-T-Strukturen unmittelbar in Kaskade schalten. ***H. P. Louis***