Mitteilungen SEV

Objekttyp: **Group**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **51 (1960)**

Heft 6

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Messungen des Durchschlages in Isolierölen [1])

621.317.333.6 : 621.315.615

1. *Die maximale Löslichkeit von Wasserdampf in Öl und die Messung geringster Wassermengen*

Isolieröle vermögen geringste Wassermengen (10^{-6} bis 10^{-5} Gewichtsteile Wasser auf ein Gewichtsteil Öl bei 20 °C) zu lösen. Mit steigender Temperatur steigt auch die Lösungsfähigkeit der Öle für Wasser exponentiell an (vgl. Fig. 1 in [2; 3] [2]). Daraus folgt, dass bei konstantem Wassergehalt mit steigender Temperatur die relative Feuchtigkeit des Öles sinkt. Aus Kurve *1* (Fig. 1) und anderen Messungen muss man schliessen, dass sich diese geringen Wasserspuren nicht nur infolge der Wärmebewegung frei im Öl bewegen. Vielmehr deutet der konstante Wert bei niedrigen Temperaturen (vgl. Kurve *1* in Fig. 1) darauf hin, dass ein geringer Feuchtigkeitsanteil z. B. an Dipole im Öl gebunden ist.

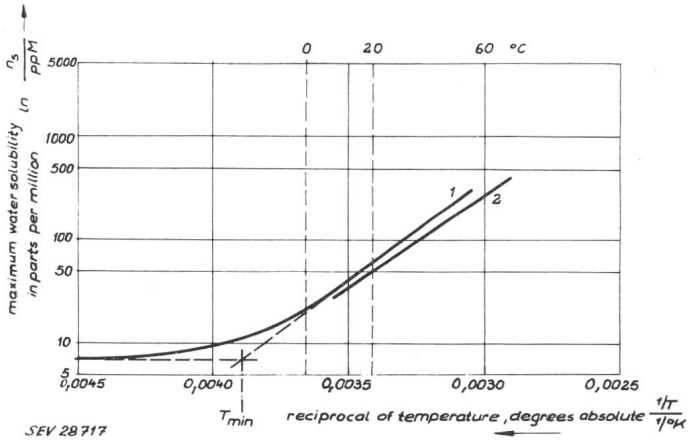

Fig. 1
Feuchtigkeitsgehalt bei Sättigung des Öls mit Wasser, abhängig von der Temperatur [2; 3]
1 nach *Clark*; *2* nach *Kaufmann, Schimansky* und *Mac Fadyen*

Zur Messung des geringen Feuchtigkeitsgehaltes im Öl und seiner Zu- und Abnahme wurde die relative Feuchtigkeit der Luft über dem Öl gemessen; aus deren Änderung wurden die von der Luft in das Öl abgegebene oder aus dem Öl aufgenommene Feuchtigkeitsmenge bestimmt. Mit der in Fig. 2 schematisch gezeigten Messanordnung konnten noch Änderungen von 0,5 ppM [3]) (d. i. ca. 1 Wassermolekül unter 10^5 Ölmolekülen) festgestellt werden. Die übliche Methode zur Wasserbestimmung nach *K. Fischer* war für die beschriebenen Messungen viel zu ungenau.

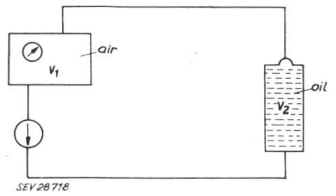

Fig. 2
Anlage zur Befeuchtung oder Trocknung von Öl
V_1 Luftvolumen
V_2 Ölvolumen

2. *Die Durchschlagspannung U_D und der Verlustfaktor tg δ abhängig von Wasserspuren im Öl*

Wird bei konstanter Temperatur (20 °C) der Feuchtigkeitsgehalt des Öles schrittweise von ca. 4,5 ppM bis 45 ppM gesteigert, so sinkt der Mittelwert der Durchschlagspannung zunächst rasch und strebt bei der Sättigung des Öles mit Wasser einem konstanten Wert zu (Fig. 3, Kurve *I*: U_D/U_{D0}).

Die zwischen VDE-Elektroden (2,5 mm Abstand) gemessene Durchschlagspannung sinkt von $U_{D0} \approx 60$ kV (dieser Wert sei gleich 100 % gesetzt) auf 25...30 % dieses Wertes bei Sättigung des Öles mit ca. 45 ppM Wasser.

Bei einer Temperatursteigerung nimmt die relative Feuchtigkeit des Öles ab und die Durchschlagspannung steigt (Fig. 4 und 5). Obwohl also die Gesamtzahl n von Wassermolekülen im Öl konstant bleibt, steigt die Durchschlagfestigkeit mit steigender Temperatur. Nimmt man an, dass ein Teil a der Wassermenge n an Dipole oder Verunreinigungen gebunden, und der Rest $b = n - a$ der Wassermoleküle frei beweglich ist – entsprechend der Wärmebewegung im Öl –, so

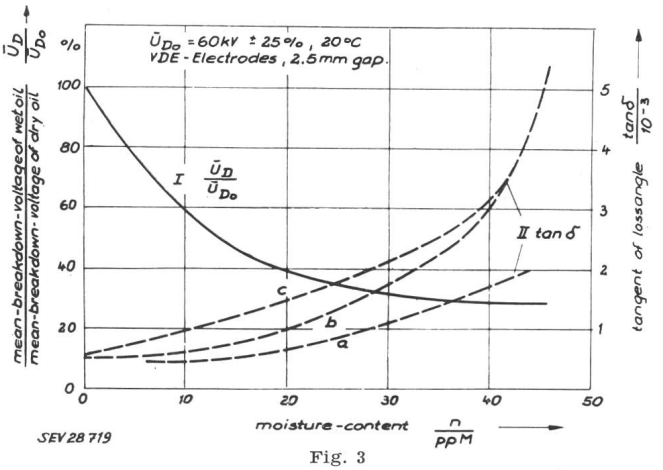

Fig. 3
Abnahme der Durchschlagspannung U_D und Anstieg des Verlustfaktors tg δ mit steigendem Gehalt des Öles an Feuchtigkeitsspuren

beobachtet man mit steigender Temperatur (bei konstantem n) folgendes: Durch das thermodynamische Gleichgewicht verschiebt sich mit steigender Temperatur das zahlenmässige Verhältnis der freien Wassermoleküle b zu den gebundenen a. Bei höherer Temperatur T' sind von den n Wassermolekülen grössere Mengen ($b' > b$) frei im Öl beweglich und nur noch eine geringe Menge ($a' < a$) von Wassermolekülen ist gebunden. Da $a \ll b$, ändert sich die Zahl der an Dipole gebundenen Wassermoleküle mit der Temperatur sehr wesentlich. Dagegen bleibt die Zahl b der freien Wassermoleküle fast unverändert.

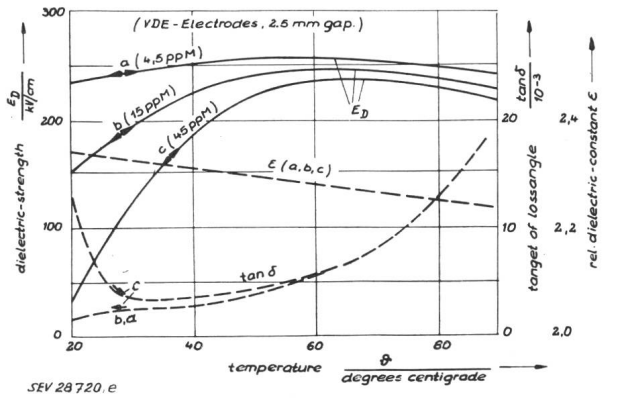

Fig. 4
Temperaturabhängigkeit von Durchschlagfestigkeit (VDE-Kalotten), Verlustfaktor, Elektrisierungsziffer und Zähigkeit verschiedener feuchter Transformatorenöle
$a \approx 0$, $b = 15$, $c = 45$ mg/kg Wassergehalt

Aus diesen Überlegungen folgt, dass die im Öl an Verunreinigungen (Dipole) gebundenen Wassermoleküle a den Durchschlag beeinflussen und nicht die wie ein Gas frei im Öl beweglichen Wassermoleküle. Da die Durchschlagspannung durch geringe Feuchtigkeitsspuren viel stärker beeinflusst wird als der Verlustfaktor, kann festgestellt werden, dass nicht die Wasserdipole selbst durch ihre Orientierung im Wechselfeld, sondern die im hohen elektrischen Feld dissoziierenden gebundenen Wasserdipole durch eines der Dissoziationsprodukte den elektrischen Durchschlagsmechanismus beeinflussen.

[1]) Nach einem Vortrag des Verfassers, gehalten auf dem «Symposium on Liquid Dielectrics» der Electrochemical Society am 5. Mai 1959 in Philadelphia.

[2]) Siehe Literatur am Schluss des Artikels.

[3]) ppM = parts per million = 1 Gewichtsteil Wasser auf 10^6 Gewichtsteile Öl.

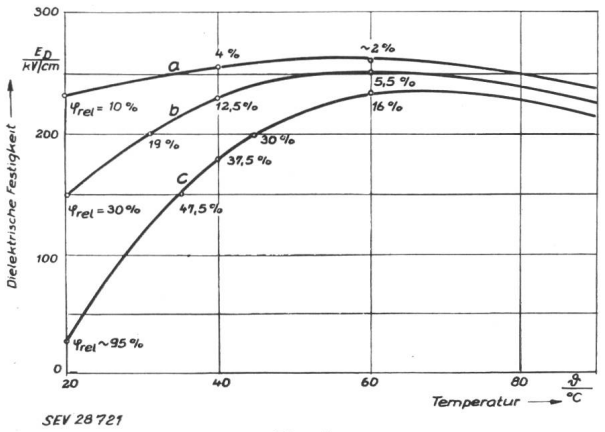

Fig. 5
Durchschlagfestigkeit nach Fig. 4
Parameter ist die relative Feuchtigkeit φ in %
a = 4,5 ppM; b = 15 ppM; c = 45 ppM

3. *Einige technische Messungen*

Ein Vergleich zwischen Elektroden von verschiedener Form (Fig. 6) zeigt, dass die Abhängigkeit der Durchschlagspannung vom Feuchtigkeitsgehalt des Öles geringer wird, d. h. dass die Durchschlagwerte schon bei relativ trockenerem Öl niedriger liegen, wenn hohe Feldstärken an den Kanten oder Spitzen der Elektroden auftreten.

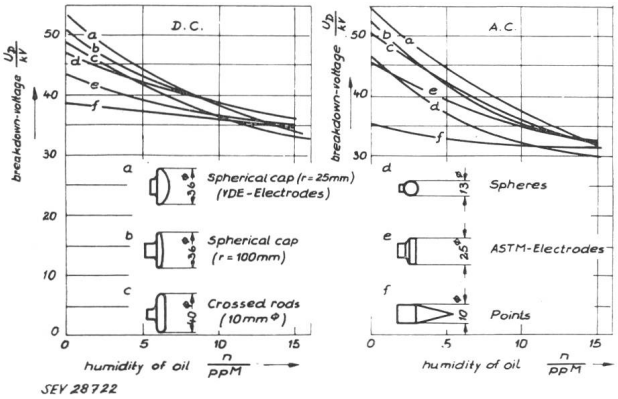

Fig. 6
Durchschlagspannung in Öl, abhängig vom Wassergehalt
Schlagweite a = 2,5 mm bei Gleich- und Wechselspannung; Regelzeit ca. 35 s bis zum Durchschlag

Wenn man sehr starke Feldkonzentrationen und Entladungen hervorruft, wie etwa im Spitzen-Feld, so kann man die gleiche Verminderung der Isolierfähigkeit erreichen wie im homogenen Feld, wenn das Öl genügend feucht ist. Dass die Erwärmung des Dielektrikums im elektrischen Wechselfeld keine erhebliche Rolle spielt, zeigt der Vergleich zwischen Gleich- und Wechselspannungsmessungen (Fig. 6). Ausserdem lehrt die Stoßspannungsmessung (Fig. 7) an verschiedenen feuchten Ölen zweierlei, nämlich dass:

1. der Betrag der elektrischen Durchschlagspannung bei Anlegen einer Stosswelle (1|40 µs) ca. 3 mal höher ist als bei Wechselspannung, und dass

2. bei Stoßspannung die Absenkung der Durchschalgwerte, abhängig von der Feuchtigkeit, sehr gering ist.

Bei 1 mm Schlagweite zwischen VDE-Elektroden findet man, dass die Aufbauzeiten τ konstant, die Streuzeiten σ aber von der Feuchtigkeit beeinflusst werden (Fig. 7). Bei negativer Spitze gegen Platte sind die Streuzeiten sehr gering und kleiner als die Aufbauzeit. Es muss sich also hier um einen langsamen Vorgang handeln, der Wasser dazu befähigt, den Durchschlag bei Gleich- und Wechselspannung so stark zu beeinflussen. Auch die Abhängigkeit der Durchschlagspannung von der Geschwindigkeit der Spannungssteigerung zeigt dies (Fig. 8). Man muss daraus schliessen, dass ein langsamer Dissoziationsprozess der Wassermoleküle, die an Störstellen im Öl gebunden sind, den Durchschlagmechanismus beeinflussen.

Dass in feuchtem Isolieröl ein Felddissotiationsprozess eintritt, zeigen die Messungen des Verlustfaktors tg δ, in Abhängigkeit von der Feldstärke (Fig. 9). Bei geringen relativen Feuchtigkeiten ist der Verlustfaktor unabhängig von der Feldstärke. Wird die Feuchtigkeit im Öl gesteigert, so tritt eine zusätzliche Wechselstromleitfähigkeit bei höheren Feldstärken auf.

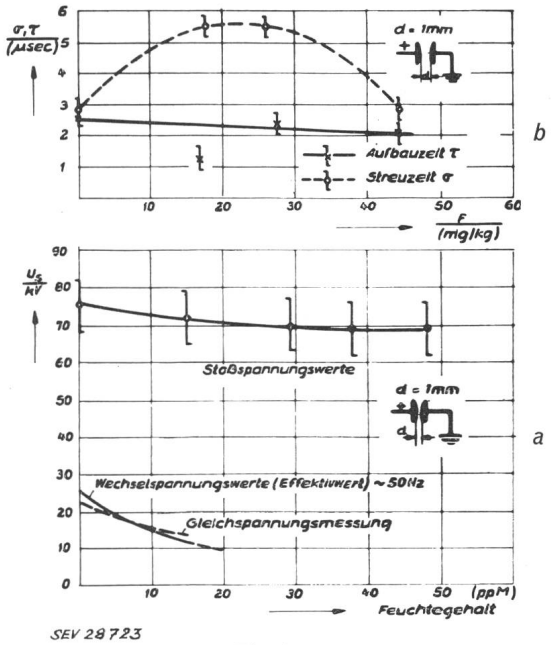

Fig. 7
a **Durchschlagspannung,** b **Streuzeit** σ **und Aufbauzeit** τ, **abhängig vom Wassergehalt des Öles bei Stoßspannung**
VDE-Elektroden, 1 mm Schlagweite, 1|40-µs-Welle

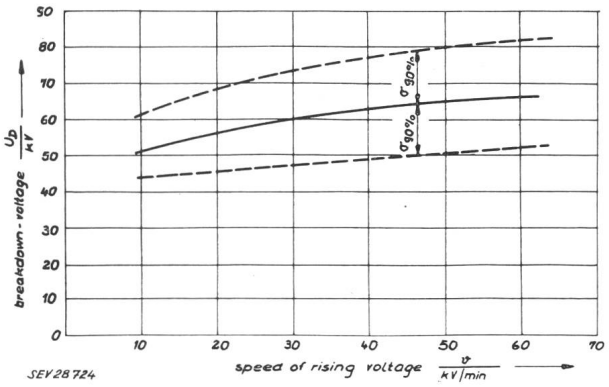

Fig. 8
Durchschlag-Wechselspannung U_D **eines trockenen Öles, abhängig von Spannungssteigerungsgeschwindigkeit**
VDE-Elektroden, 2,5 mm Abstand

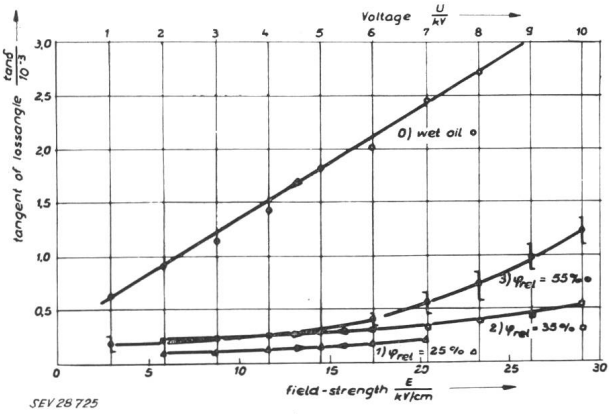

Fig. 9
Verlustfaktor (tan δ) in Öl verschiedener Feuchtigkeit, abhängig von der Feldstärke E (bei 22 °C)
1) φ_{rel} = 25 %; 2) φ_{rel} = 35 %; 3) φ_{rel} = 55 %; 0) $\varphi_{rel} \approx$ 95 %

Aus der Messung der Gleichstromleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur, wurde ausserdem die notwendige Dissoziationsenergie $W = 0{,}13$ eV bestimmt, die unter der des reinen Wassers (0,29 eV) liegt (Fig. 10).

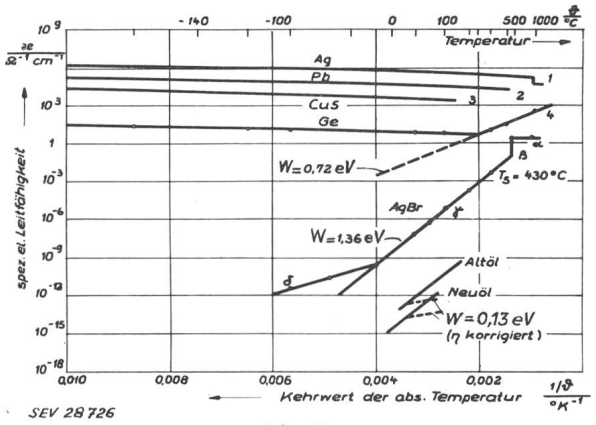

Fig. 10
Temperaturabhängigkeit der spezifischen Leitfähigkeit verschiedener Stoffe
1 Isolatoren: Neuöl und Altöl; *2* Ionenkristalle: AgBr mit Störstellenleitung δ; *3* Halbleiter: G_e mit elektronischer Störleitung; *4* Metalle: Pb, Ag (CuS)
(*2, 3, 4* nach Pohl)

4. Die wichtigsten Messergebnisse

a) Die Wasserlöslichkeit von Isolierölen steigt exponentiell mit der Temperatur an [2; 3].

b) Die relative Feuchtigkeit im Öl ist gleich der relativen Feuchtigkeit der Luft über dem Öl [2; 3].

c) Die Konzentration der Wassermoleküle im Öl ist so klein, dass die Bewegung der Wassermoleküle in einem nicht gesättigten Öl zum grössten Teil wie die eines Gases betrachtet werden kann.

d) Die Durchschlagspannung hängt stärker von dem Wassergehalt ab, als die Verluste ansteigen (solange man unterhalb der Sättigung bleibt).

e) Massgeblich für die Abhängigkeit der elektrischen Festigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt ist vor allem die Zahl der an Störstellen gebundenen Wassermoleküle und damit die relative Feuchtigkeit.

f) Bei einer Temperatur von 20 °C und einem geringen Feuchtigkeitsgehalt von nur wenigen Gewichtsteilen Wasser pro einer Million Gewichtsteile Öl (weniger als 45 ppM) kann man ein bedeutendes Sinken der Durchschlagspannung beobachten.

g) Für Gleich- und Wechselspannung wird ein ähnlicher Einfluss des Wassergehaltes auf die Durchschlagspannung bei verschiedenen Elektrodenformen gemessen. Bei Stoßspannung wird ein wesentlich geringerer Einfluss des Wassergehaltes auf die Höhe der Durchschlagspannung festgestellt.

h) Mit Wasser gesättigtes Öl zeigt etwa 1/3 der Durchschlagspannungswerte von trockenem Öl. Spitzenelektroden verursachen selbst in trockenem Öl eine ähnlich niedrige Durchschlagspannung.

Alle diese Schlüsse gelten für eine Temperatur zwischen 20 und 90 °C bzw. für weniger als 45 ppM Feuchtigkeitsgehalt im Öl.

5. Diskussion der Messergebnisse

Damit wurde die Frage entschieden, ob der steile Abfall der Durchschlagspannung zurückzuführen ist auf Wassermoleküle, die in Brownscher Molekularbewegung frei im Öl sich bewegen, oder ob er verursacht wird durch die Wassermoleküle, die an Verunreinigungen gebunden sind. Die an Verunreinigungsstellen gebundenen Wassermoleküle bilden Störstellen, deren Zahl von der relativen Feuchtigkeit des Öles bei gegebener Temperatur abhängt.

Die Zahl der Störstellen bestimmt den Durchschlagwert. Da sich der Verlustfaktor bei geringen Feldstärken mit Änderung der Feuchtigkeit zunächst nur wenig ändert, lässt dies die Vermutung aufkommen, dass die Störstellen erst bei höheren Feldstärken zu einer merklichen Erhöhung der Ladungsträgerkonzentration beitragen. In Fig. 9 findet diese Vermutung, dass es sich um Felddissoziation handelt, ihre Bestätigung. Auch führt der grosse Unterschied zwischen den Stoßspannungmessungen und den Gleich- und Wechselspannungmessungen in Bezug auf den Feuchtigkeitseinfluss zu der Annahme, dass an den Störstellen ein Felddissoziationsprozess stattfindet.

6. Folgerungen

Aus Abschnitt 5 folgt, dass der Durchschlag im Öl durch geringste Spuren von Störstellen stark beeinflusst wird. Diese Störstellen sind die mit Wassermolekülen besetzten Verunreinigungsstellen des Öles. Ohne die Art der Verunreinigungen genauer zu kennen, kann man durch Verminderung der relativen Feuchtigkeit im Öl die Zahl der Störstellen vermindern. Damit werden die Durchschlagwerte verbessert.

L. Hofacker und der Verfasser vermuten, dass die Verunreinigungen, die mit Wasser Störstellen bilden, in O-H-Gruppen zu suchen sind. Die Störstellen selbst werden durch Wassermoleküle, die in Form von Wasserstoffbrückenbindungen an die O-H-Gruppen angehängt sind, gebildet. Eine solche Wasserstoffbrückenbindung im elektrischen Feld bedeutet eine erhöhte Dissoziationswahrscheinlichkeit für Wasser in Protonen und O-H-Ionen.

Der beobachtete Anstieg des Verlustfaktors bei höheren Feldstärken und schliesslich das starke Sinken der elektrischen Durchschlagfestigkeit bei Anwesenheit von Feuchtigkeit wird ganz allgemein durch die aus Wasserstoffbrückenbindungen befreiten Protonen bewirkt.

Da diese hypothetische Annahme den Einfluss der Feuchtigkeit auf den Durchschlag, auf den Verlustfaktor, auf die Leitfähigkeit sowie auf das Gasverhalten und auf die Alterung von Öl im hohen elektrischen Feld aus einer einzigen Ursache heraus zu erklären versucht, tritt sofort die Frage auf: Wie können Protonen, die durch einen Felddissoziationsprozess aus Wasserstoffbrücken etwa befreit wurden, die Entladungen beeinflussen?

Es gibt drei Möglichkeiten für die Protonen, im elektrischen Feld ein Anwachsen der Ladungsträgerdichte — die auch für den Durchschlagmechanismus wie für die Entladungen massgebend ist — zu unterstützen:

1. Die Protonen können durch ihre im Feld aufgenommene kinetische Energie die Atome der Moleküle anregen.

2. Durch die hohe potentielle Energie des Protons kann die Elektronenemission und Emission von Photonen aus Atomen wesentlich erleichtert werden.

3. Die Elektronenemission aus Elektrodenoberflächen wird durch den raschen Potentialabfall in der Umgebung eines H^+-Ions (Proton) erleichtert.

Diese drei Möglichkeiten führen zu drei verschiedenen Wegen zur Erklärung und Untersuchung der in technischen Isolationen beobachteten Erscheinungen, wenn Feuchtigkeit anwesend ist. Es wird also die Hypothese aufgestellt, dass durch Protonen die Leitfähigkeit im hohen elektrischen Feld stark zunimmt und so Feuchtigkeit im Zusammenwirken mit O-H-Gruppen schädigend auf die elektrische Festigkeit, die Alterungsbeständigkeit und das Gasverhalten einwirkt.

Es bleibt noch zu erklären, wie O-H-Gruppen in das Öl gelangen. Einmal wird bei Alterung des Öles, bei einer der drei Möglichkeiten der Oxydation der Kohlenwasserstoffe, an die Ölmoleküle eine O-H-Gruppe angehängt. Viel wichtiger aber scheint die örtliche Konzentration von O-H-Stellen zu sein, wie sie vor allem durch Zellulosefasern gegeben ist. Papierfasern im Öl sind immer vorhanden, sobald das Öl in einer Konstruktion mit Öl-Papier-Isolation verwendet wird. Jede Zellulose-Molekül-Kette besteht aus Ringen mit jeweils drei O-H-Gruppen. Sie hat also bei einer Kettenlänge von 1200 (für ungealtertes Papier) ca. 3600 O-H-Gruppen auf kleinstem Raume konzentriert. Fibern oder gar Fasern setzen sich aus einer ganzen Anzahl solcher Moleküle zusammen. Eine Faser bedeutet also eine örtliche Konzentration von O-H-Gruppen. Ist das Öl feucht, so lagern sich die im Öl zunächst frei beweglichen Wassermoleküle an die O-H-Gruppen, insbesondere um die der Fasern, an. Die dabei gebildeten Wasserstoffbrücken bedingen eine Protonenleitfähigkeit der im Feld ausgerichteten Fasern. Eine feuchte Faser im Elektrodenzwischenraum wird den Durchschlag wesentlich früher herbeiführen. Bei der statistischen Auswertung stellt man in solchen Fällen eine Mischverteilung der Häufigkeit der Durch-

schlagwerte fest. Eine trockene Faser hingegen vermindert die Durchschlagspannung nicht. Daraus folgt, dass die Papierfasern entweder trocken sein müssen oder dass die Zahl der O-H-Gruppen z. B. durch Acetylieren stark herabgesetzt werden muss; am besten ergreift man beide Massnahmen gleichzeitig. Nicht nur das Öl, sondern auch die Fasern im Öl müssen trocken sein, wenn der Durchschlag nicht vorzeitig eingeleitet werden soll. Gleiches wie für die Papierfasern gilt auch für die gesamte Papierisolation im Öl [4].

7. *Zusammenfassung*

Auf Grund des Wassereinflusses auf die Durchschlagfestigkeit von Isolieröl wird eine neue Hypothese aufgestellt: Vor allem das Wasser bildet Störstellen, welches an O-H-Gruppen, also Oxydationsstellen des Öles oder Fasern, in Form von Wasserstoffbrückenbindungen angelagert ist. Diese Störstellen dissoziieren unter der Einwirkung des elektrischen Feldes in beträchtlichem Masse. Die dabei freigesetzten H^+-Ionen oder Protonen ergeben eine wesentlich höhere Ladungsträgerkonzentration und damit Leitfähigkeit. Da H^+-Ionen sehr gut beweglich sind und nicht wie Elektronen von den Atomhüllen abgestossen werden, auch sehr grosse mittlere freie Weglängen haben usw., sind sie genau wie Elektronen als primäre Ladungsträger anzusehen in Bezug auf die Ausbildung des elektrischen Durchschlages. Wegen der geringen Dissotiationsgeschwindigkeit wird zur Erzeugung genügend hoher Protonen- und Ionenkonzentrationen Zeit benötigt. Daraus folgt, dass die Durchschlagspannung von der Dauer der anliegenden Spannung abhängt, wenigstens im Bereich von einigen Sekunden.

Die Verbesserung der Isolation und ihrer Lebensdauer kann man erreichen durch sorgfältiges Trocknen, durch Vermeiden von O-H-Gruppen oder Absorption der gebildeten Ionen. *E. Baumann*

Literatur

[1] *Baumann, E.:* Measurements of the Breakdown in Insulating Oils. Symposium on Liquid Dielectrics der Electrochemical Society, Paper Nr. 12, Philadelphia 5. Mai 1959.

[2] *Clark, F. M.:* Water Solution in High-Voltage Dielectric Liquids. Trans. AIEE Bd. 59(1940), August, S. 433...441.

[3] *Kaufmann, R. B., E. J. Shimanski* und *K. W. MacFadyen:* Gas and Moisture Equilibriums in Transformer Oil. Trans. AIEE Bd. 74(1955), Part 1, Juli, S. 312...318.

[4] *Hildebrand, J. H.* und *R. L. Scott:* Solubility of Nonelectrolytes. Am. Chem. Soc. Monograph Series Nr. 17. 3. Aufl.; New York: Reinhold 1950. S. 171, Tab. 1.

[5] *Fabre, J.* und *H. Josse:* Influence de l'humidité dans les transformateurs de puissance et de mesure sur le vieillissement des papiers et sur la rigidité diélectrique. Conférence Internationale des Grands Réseaux électriques à haute tension (CIGRE), 17e session 1952, t. 2, rapp. 149, S. 5...11.

Schreibweise von Wortverbindungen

001.4 : 413.164

Im Normenentwurf DIN 5485, Verwendung der Wörter Konstante, Koeffizient, Zahl, Faktor usw. in Begriffen und Benennungen, wird ein Versuch unternommen, den Wortverbindungen je eine bestimmte Bedeutung zuzuschreiben, damit sie in Zukunft nicht wahllos verwendet werden.

So sollen als «*Konstanten*» nur physikalische Grössen bezeichnet werden, die allgemein naturgesetzliche Zusammenhänge wiedergeben, z. B. Boltzmannsche Konstante, allgemeine Gaskonstante usw. Den Einfluss der Stoffeigenschaft auf einen physikalischen Zusammenhang kennzeichnen die *Koeffizienten*, z. B. Dehnungskoeffizient. Falls die Abweichung von einer Ausgangsgrösse durch Multiplikation ausgedrückt werden soll, so geschieht dies mit Hilfe eine *Faktors*, z. B. des Reflexionsfaktors usw.

Die Bestrebung, diesen und ähnlichen Wörtern eine bestimmte Bedeutung zuzuweisen, ist sicher lobenswert, doch stellt sich die Frage, ob hier die Normung nicht zum Selbstzweck wird und ob es notwendig und zweckmässig ist, in unserer mit Normen und Vorschriften überhäuften Zeit den Individualismus so zu beschränken, dass man geneigt wäre, eine schlechte Note zu erteilen, wenn z. B. jemand zufällig statt «Faktor» das Wort «Koeffizient» verwendet. Ein solcher Fehler kann auch aus der Gewohnheit entstehen, sich in einer Fremdsprache auszudrücken. So z. B. heisst in der französischen Sprache Reflexions*koeffizient: facteur* de réflexion, oder Absorptions*koeffizient: facteur* d'absorption, oder Durchlässigkeits*koeffizient: facteur* de transmission usw.

Wir sind der Ansicht, dass man es niemandem verübeln darf, wenn die durch DIN auf diesem Gebiet angestrebte Normung nur mangelhaft befolgt wird. *E. Schiessl*

Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

Erhöhung der Multivibratorempfindlichkeit mittels Seriedioden

621.373.431.1

[Nach *M. M. Vojinovic:* Series Diode Increases Multivibrator Sensitivity. Electronics Bd. 32(1959), Nr. 17, S. 90...91]

Die Lösung vieler elektronischer Schaltprobleme könnte mit einer Schalteinheit vereinfacht werden, deren Empfindlichkeit diejenige des üblichen monostabilen Multivibrators übertrifft.

Bekanntlich kann die Empfindlichkeit eines monostabilen Multivibrators erhöht werden, indem die Verstärkung erhöht wird, bis der Gewinn über die ganze Schleife nahezu 1 beträgt. Da der Multivibrator bei einer Verstärkung von 1 bereits allein schwingt, ist jedoch diese Einstellung sehr kritisch und die Zuverlässigkeit nur gering.

Bei den üblichen Röhrenschaltungen wird der Kippvorgang durch Erhöhung der Röhrenverstärkung ausgelöst. Da die Röhrenparameter nur langsam ändern, wird bei einer zuverlässigen Schaltung ein Auslöseimpuls von einigen Volt benötigt.

Die Empfindlichkeit kann erhöht werden, indem ein Element in die Schleife eingefügt wird, welches bereits bei kleinen Spannungsunterschieden seine Eigenschaften stark ändert. Eine Lösung dieses Problems ist in Fig. 1 angegeben. In Serie zum Kopplungskondensator C_1 wird ein nichtlineares Element R geschaltet. R und der Gitterableitwiderstand R_g bilden einen nichtlinearen Spannungsteiler. Der Widerstandswert von R muss nun so geändert werden können, dass im stabilen Zustand des Multivibrators die Schleifenverstärkung kleiner als 1 ist und bei Auslösung des Kippvorganges grösser als 1 wird. Die Kippbedienung ist erfüllt wenn $R = R_g\,(A-1)$, wobei A die Verstärkung der beiden Röhren ist.

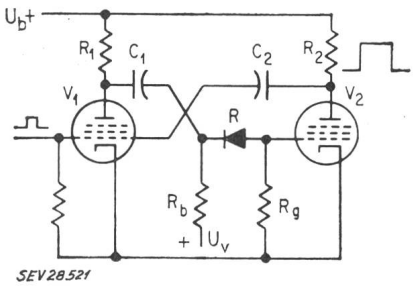

Fig. 1

Prinzipschema eines monostabilen Multivibrators mit nichtlinearem Widerstand

Bezeichnungen siehe Text

Das ideale nichtlineare Element sollte im leitenden Zustand den Widerstand null, im Sperrzustand unendlichen Widerstand aufweisen. Ausserdem sollte die Eigenkapazität sehr klein sein. Halbleiterdioden weisen diese Eigenschaften an-

genähert auf. Wegen der kleineren Kapazität sind Germaniumdioden den Siliziumdioden vorzuziehen. Fig. 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel. Die Empfindlichkeit der Schaltung kann mit einem Potentiometer eingestellt werden. Dieses ändert die Vorspannung und somit auch den Widerstand der Diode. Bei einer Vorspannung von 0,1 V wird eine Kippspannung von ca. 5 mV benötigt, während bei 1 V Vorspannung ca. 120 mV benötigt werden.

Auf ähnliche Art kann auch die Schaltung des kathodengekoppelten Multivibrators abgeändert werden, um seine Empfindlichkeit zu erhöhen.

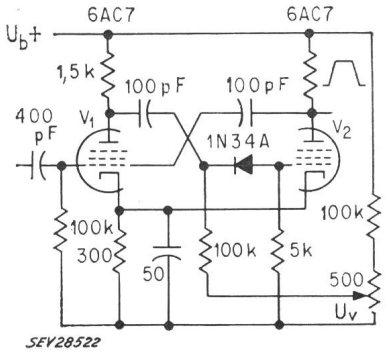

Fig. 2

Beispiel eines empfindlichen Multivibrators

U_v Vorspannung; U_b Batteriespannung
Widerstände in Ω (nur Ziffern) und kΩ (k), Kondensatoren in μF (nur Ziffern) und pF

Wenn die Schaltungen auf höchste Empfindlichkeit entworfen werden, ist es notwendig, die Temperaturabhängigkeit des Diodenwiderstandes zu kompensieren oder die Temperatur zu stabilisieren. Im allgemeinen genügt jedoch die Stabilität der Schaltung ohne besondere Massnahmen. *T. Brenig*

Temperatur in Transistoren

621.314.7.017.71 : 536.53

[Nach *H. Sutcliffe* und *D. J. Matthews:* Transistor Junction Temperature. Electronic & Radio Engr. Bd. 36(1959), Nr. 4, S. 143...144]

Die Temperatur an der Übergangsstelle von Transistoren ist eine Funktion der Verlustleistung an dieser Stelle, der Wärmeübergabe nach aussen und der Umgebungstemperatur. Die Erwärmung kann bei Transistoren im A- und B-Betrieb leicht in den zulässigen Grenzen gehalten werden, da die Verlustleistung bekannt ist. Anders verhält es sich mit Transistoren

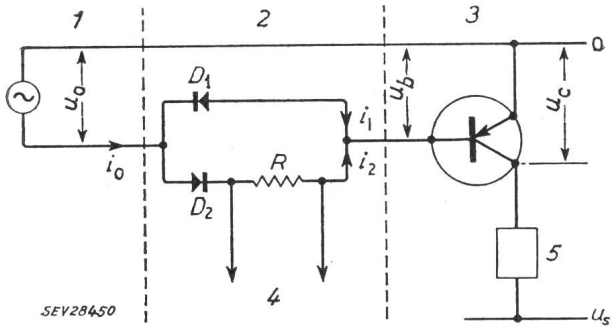

Fig. 1

Schaltschema zur Erfassung der Transistor-Temperatur

1 Spannungsquelle; *2* Messglied; *3* Transistor und Last; *4* zum Differentialverstärker; *5* Last

im C-Betrieb, die im «aus»-Zustand sehr kleine Ströme unter hoher Spannung führen, im «ein»-Zustand kleine Spannungsabfälle aber dafür hohe Ströme aufweisen. Ferner kommt der Staueffekt, bzw. eine Entladung bei jedem Ausschalten als zusätzliche Verlustleistung hinzu. Somit wird die Temperaturmessung während des Betriebes einer solchen Schaltung unerlässlich, will man den Transistor leistungsfähig möglichst voll ausnützen. Dies kann bei der Entwicklung und der Untersuchung von Relais-Schaltungen als Warnvorrichtung von grosser Bedeutung sein.

Die Messanordnung Fig. 1 zeigt im wesentlichen im mittleren Abschnitt die Aufteilung der Sperr- und Durchlaßströme über zwei Zweige mit den Gleichrichtern D_1 und D_2. Den zeitlichen Verlauf der elektrischen Grössen zeigt Fig. 2. Massgebend für die Transistor-Erwärmung ist der Anteil I_t von i_0, während i_2 den Widerstand R durchfliesst. Die Spannung RI_t ist ein Mass für die Transistor-Temperatur, vorausgesetzt, dass die Abhängigkeit zwischen I_t und Temperatur bekannt ist, was wegen der unvermeidlichen Kenndaten-Streuung zur Aufnahme einer neuen Charakteristik für jeden Transistor führt. Der Messverstärker braucht nicht unbedingt galvanisch mit der Meßstrecke R verbunden zu sein, da der Sprung von I_t auf 0 einen genügenden Hinweis liefert. Die Gleichrichter werden der Transistor-Leistung angepasst unter Berücksichtigung des Sperrstromes, der gegenüber von I_t klein sein muss. Am besten eignen sich hier Silizium-Dioden. Elektronenröhren können hier nur mit Vorschalten eines Widerstandes verwendet werden, damit im leitenden Zweig der Spannungsabfall genügend gross wird, um ein Sperren im anderen Zweig einzuleiten.

Wird ein zu kleiner Widerstand R gewählt, so entstehen messtechnische Schwierigkeiten, da RI_t zu gering wird gegenüber den Schwankungen der Basisspannung. Ein zu grosser Widerstand R hätte eine unzulässige Verlängerung der Zeitkonstante beim Staueffekt zur Folge. Das optimale R wird so gewählt, dass RI_t ungefähr 0,2mal die Amplitude der Basis-Spannung wird.

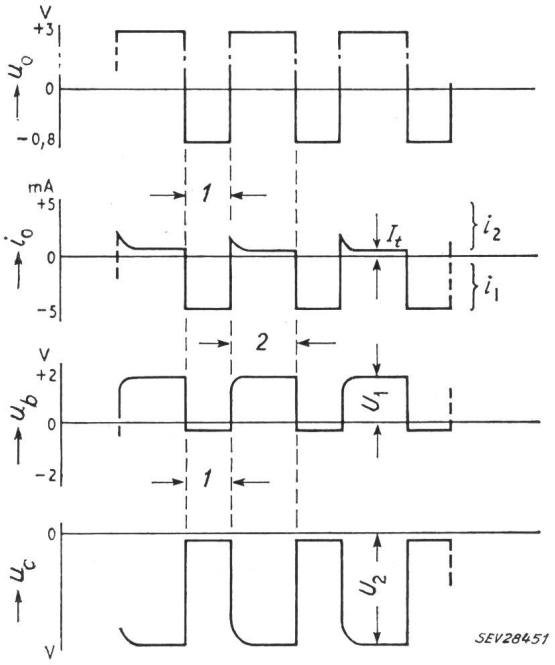

Fig. 2

Zeitlicher Strom- und Spannungsverlauf

1 Ein; *2* Aus
Weitere Bezeichnungen siehe Text

Der in einer Ausführung der Schaltung verwendete Transistor Typ OC 72 wies eine Änderung des Stromes I_t von annähernd 8 %/°C. Da aber Emitter- und Kollektor-Spannungen veränderlich sein mussten, wurde eine Kennlinie ermittelt, die bei konstantem Strom I_t, d. h. Transistor-Temperatur die Abhängigkeit zwischen beiden Spannungen angibt. Ferner wurde eine maximale Schwankung von höchstens 5 % für I_t zugelassen, womit die vorhin erwähnte Kennlinie ein Band wurde, innerhalb dessen die Spannungen am Kollektor und Emitter beliebig gewählt werden können, ohne eine Temperaturabweichung von 0,7 °C zu überschreiten. *B. Hammel*