

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 57 (1966)  
**Heft:** 23

**Artikel:** Messung kleinster Gleichspannungen  
**Autor:** Mäusl, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916655>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 18.03.2025

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

es, zum Teil sehr komplizierte Probleme auszumessen, die der Rechnung nicht oder nur sehr schwer zugänglich sind.

Zweidimensionale oder rotationssymmetrische Probleme können auch mit Hilfe des Widerstandspapieres ausgemessen werden. Das Arbeitsprinzip ist dasselbe wie im elektrolytischen Trog, nur tritt an Stelle des flüssigen Elektrolyten das Kohlegraphitpapier. Die Messgenauigkeit ist aus zwei Gründen schlechter als im Trog: Das Widerstandspapier ist druckempfindlich gegenüber dem Meßstift und zudem ist der Widerstand quer zur Walzrichtung in der Größenordnung von 10 % verschieden vom Widerstand längs des Papiers. Der Vorteil des Widerstandspapieres liegt darin, dass ganz beliebige Elektroden mit Leitsilber aufgemalt werden können, und dass unterschiedliche Leitfähigkeiten einfach durch feine Lochungen im Papier zu erreichen sind.

Das Widerstandsnetz arbeitet genau gleich, aber mit diskreten Maschenweiten.

Ebenfalls zweidimensional ist die Gummimembrane, bei der die Randbedingungen durch senkrecht Auslenken einer gleichmässig gespannten Gummihaut eingegeben werden.

## Literatur

- [1] P. A. Abetti: Transformer Models for the Determination of Transient Voltages. Trans. AIEE Power and Apparatus Systems 72(1953)6, S. 468...475.
- [2] Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik. 6. Auflage. 2. Band: Eigenschaften der Materie in ihren Aggregatzuständen. 7. Teil: Elektrische Eigenschaften II. (Elektrochemische Systeme). Springer Berlin 1960.
- [3] K. Berger: Notwendigkeit und Schutzart metallischer Mäntel von Sekundärkabeln in Höchstspannungsanlagen und in Hochgebirgstollen, als Beispiel der Schutzwirkung allgemeiner Faradaykäfige. Bull. SEV 51(1960)11, S. 549...563.
- [4] K.-H. Feist: Einsatz des elektrolytischen Troges zur Lösung von Aufgaben der Erdungsprojektion und anderer Probleme der Netzplanung. Siemens Z. 33(1959)7, S. 444...450.
- [5] K. Berger: Blitzschutzprobleme bei Stollenbauten und Stollenkabeln im Gebirge. Schweiz. Bauztg. 81(1963)21, S. 377...380.
- [6] F. Schwab: Berechnung der Schutzwirkung von Blitzableitern und Türmen. Bull. SEV 56(1965)17, S. 678...683.

## Adresse des Autors:

F. Schwab, dipl. Ingenieur ETH, Hochspannungs-Laboratorium der ETH, Gloriastrasse 35, 8006 Zürich.

## Messung kleinster Gleichspannungen

Von R. Mäusl, München

621.317.32.024

*Das Problem der Messung von kleinsten Gleichspannungen führt wieder zu der Verstärkung derselben. Ausgehend vom direktgekoppelten Widerstandsverstärker zeigt sich eine erste Grenze für die zu verstärkende Gleichspannung in der Drift des Verstärkers. Durch die Verwendung des Differenzverstärkers wird eine wesentliche Reduzierung der Driftspannung erreicht. Selbst mit Transistoren lassen sich hierbei sehr stabile Gleichspannungsverstärker aufbauen. Einen weiteren Schritt zu niedrigeren Spannungen hin ermöglicht der Zerhacker-Verstärker. Es werden dabei die verschiedenen Möglichkeiten von Zerhackern mit ihren Vor- und Nachteilen besprochen. Die unterste Grenze der noch messbaren Spannung ist jedoch durch die auftretenden Kontakt- und Thermospannungen bedingt.*

*Le problème de la mesure des tensions continues les plus basses conduit toujours à un renforcement de ces dernières. Partant d'un amplificateur à résistance connecté directement, une première limite s'impose à l'amplification de la tension continue par l'espace de glissement de l'amplificateur. Lors de l'utilisation d'un amplificateur différentiel on obtient une réduction sensible de la tension de glissement. Dès lors, même des transistors permettent de construire des amplificateurs à tension continue très stables. Un autre pas en vue de réaliser des tensions plus basses peut être réalisé grâce aux amplificateurs-vibreurs. L'auteur décrit les divers convertisseurs-vibreurs avec leurs avantages et leurs inconvénients. La limite la plus basse d'une tension encore mesurable est toutefois motivée par les tensions de contact et les tensions thermo-électriques, survenant lors des mesures.*

Wie bereits in einem vorangegangenen Aufsatz erörtert wurde <sup>1)</sup>, erweist sich die Spannungsmessung als das Hauptaufgabengebiet innerhalb der elektrischen Messtechnik. Neben der Aufnahme von Wechselspannungen an den verschiedensten Stellen müssen auch Gleichspannungen über einen weiten Spannungsbereich messtechnisch erfasst werden. Erwartungsgemäss ergeben sich auch hier wieder gewisse Schwierigkeiten bei der Messung von kleinsten Spannungen. Dabei fällt unter diese Problemstellung nicht nur die Anzeige kleinster Gleichspannungen, sondern auch die Auswertung und Weiterverarbeitung dieser Messgrössen. Gerade aber durch den zunehmenden Einsatz von Rechen- und Regelanlagen in elektronisch gesteuerten Vorgängen hat die Technik der Messung und Verstärkung von kleinsten Gleichspannungen in den letzten Jahren eine bedeutende Weiterentwicklung erfahren.

### 1. Messung von Gleichspannungen

Die Messung von Gleichspannungen kann über ein analog oder digital auswertendes Messgerät erfolgen. Die zu messende Spannung wird bei der analogen Anzeige z. B. einem

<sup>1)</sup> Siehe Bull. SEV 57(1966)5, S. 179...182.

Drehspulinstrument oder einem ähnlichen Anzeigesystem zugeführt, wobei dann aus dem Zeigerausschlag mittels einer geeichten Skala der Spannungswert abgelesen werden kann. Andernfalls wird die Meßspannung auf ein Digitalvoltmeter gegeben und die gesuchte Grösse erscheint als Zahlenwert am Voltmeter. Beide Verfahren erfordern jedoch eine gewisse Mindestspannung für eine Anzeige des Messwertes. Diese liegt je nach der Empfindlichkeit des verwendeten Voltmeters bei 10 mV bis 1 V. Neben der Spannungsempfindlichkeit wird jedoch auch ein hoher Eingangswiderstand des Messgerätes verlangt, was z. B. von einem Drehspulinstrument nicht erfüllt wird. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, eine zu messende kleine Gleichspannung über einen Verstärker dem Anzeigesystem zuzuführen.

### 2. Verstärkung von Gleichspannungen

Gleichspannungsverstärker werden im Prinzip als Widerstandsverstärker ausgeführt, wobei eine direkte galvanische Kopplung zwischen den einzelnen Stufen vorhanden ist. Die Höhe der erreichbaren Verstärkung ist einerseits von der Stabilität der gesamten Anordnung, andererseits von den verfügbaren Spannungsquellen und der Spannungsfestigkeit der

Bauelemente abhängig. Extreme Hochohmigkeit des Verstärkereinganges wird durch die Verwendung von Elektrometerröhren bzw. Metalloxyd-Feldeffekttransistoren in transistorisierten Verstärkern erreicht. Eingangswiderstände von  $10^{14} \Omega$  sind technisch realisierbar, wobei allerdings bestmögliche Isolation aller spannungsführenden Punkte Bedingung ist.

Selbst hohe Verstärkungsfaktoren ermöglichen es jedoch nicht, auch beliebig kleine Gleichspannungen auf einen gewünschten höheren Pegel zu bringen. War es beim Wechselspannungsverstärker im wesentlichen das Eigenrauschen, das die Grösse der noch zu verstärkenden Spannung nach unten begrenzte, so ist es beim Gleichspannungsverstärker ein langsames Schwanken oder Abwandern der Arbeitspunkte, die sog. Drift. Dies führt dazu, dass sich die Ausgangsspannung des Verstärkers ändert, ohne dass am Eingang ein Signal anliegt. Unter dem Wert der Drift versteht man nun diejenige Eingangsspannung, die notwendig ist, um die Ausgangsspannung wieder auf ihren Ursprungswert zurückzubringen. Die Drift kann damit auch als ein dem zu verstärkenden Eingangssignal überlagertes Störsignal betrachtet werden. Daraus geht schon hervor, dass bei Messspannungen in der Grössenordnung der Driftspannung eine Verstärkung des Meßsignals nicht mehr möglich ist. Die Ursache der Drift liegt in der Temperaturabhängigkeit der aktiven Verstärkerelemente. Schwankungen der Umgebungstemperatur führen zu einer Veränderung der Arbeitspunkte. Elektronenröhren sind hierbei unempfindlicher als Halbleiterbauelemente, da ihre Kathodentemperatur etwa bei  $800^\circ\text{C}$  liegt und damit wesentlich über der Umgebungstemperatur, die zwischen  $0$  und  $50^\circ\text{C}$  angenommen wird. Diese Kathodentemperatur muss jedoch durch Stabilisierung der Heizspannung auf ihrem konstanten Wert gehalten werden. Trotzdem liegt die Drift bei guten Röhrenverstärkern in der Grössenordnung von einigen Millivolt, so dass die auf direktem Weg minimal noch zu verstärkende Gleichspannung bei etwa  $10 \text{ mV}$  läge, unter der Voraussetzung von nicht allzu grossen Schwankungen der Umgebungstemperatur.

Bei Transistorverstärkern liegt die Drift natürlich wesentlich höher. Hier treten als Ursachen der Drift die temperaturbedingte Schwankung der Emitter-Basis-Spannung, die bei Siliziumtransistoren etwa  $2...3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  beträgt, und die Temperaturabhängigkeit des Kollektorreststromes sowie der Stromverstärkung auf. Diese beiden Einflüsse verlieren jedoch durch die Verwendung von Silizium-Planartransistoren, bei denen der Reststrom schon sehr niedrig gehalten ist (unter  $1 \text{ nA}$ ), und durch geeignete Arbeitspunkt-festlegung an Bedeutung. Der gewünschte Einsatz von Transistoren auch in den Gleichspannungsverstärkern wegen des geringeren Raumbedarfes, der niedrigeren Versorgungsleistung und der höheren Lebensdauer führte nun zu einer Verfeinerung der Technik des Differenzverstärkers sowie zur Herstellung von speziellen Halbleiterbauelementen.

### 2.1 Differenzverstärker

Zur Verstärkung von Gleichspannungen bis herab zu einigen Millivolt wird oft auf den Differenzverstärker zurückgegriffen. Der Vorteil des Differenzverstärkers liegt darin, dass Spannungen, die an beiden Eingangsklemmen gleichsinnig auftreten, sich in ihrer Wirkung gegenseitig

aufheben. Das eigentliche Meßsignal jedoch liegt gegensinnig an den beiden Eingangsklemmen und erscheint dadurch verstärkt am Ausgang. Diese gleichsinnig wirkenden Spannungen können nun durch eine gemeinsame Störspannung hervorgerufen sein, können aber auch in Form der Driftspannungen der einzelnen Verstärkerzweige angenommen werden. Gelangen nun im Falle des transistorisierten Differenzverstärkers für die beiden Transistoren in der Eingangsstufe gleiche Typen zur Verwendung, nach Möglichkeit noch auf gleiches Temperaturverhalten ausgesuchte Exemplare, und befinden sich diese stets auf demselben Temperaturniveau, dann kann man annehmen, dass ihre temperaturbedingten Driftspannungen der Emitter-Basis-Strecke annähernd gleich sind. Als störende Komponente verbleibt nur noch die Differenz dieser beiden Spannungen, die aber weit unter dem Absolutwert der Driftspannung des einzelnen Transistors liegt. Der Einfluss einer von aussen auf beide Eingänge gemeinsam wirkenden Störspannung wird durch die Verwendung eines grossen gemeinsamen Emitterwiderstandes weitgehend unterdrückt (Fig. 1).

Seitens der Halbleiterhersteller werden nun bereits Doppeltransistoren zur Verwendung in Differenzverstärkern angeboten, die in einem Gehäuse untergebracht sind und die in ihren elektrischen Eigenschaften aufeinander abgestimmt sind. Durch diesen Aufbau unterliegen beide Transistoren demselben Temperatureinfluss. Der nächste Schritt führt zum Differenzverstärker als integrierte Schaltungseinheit, wo aus einem Halbleiterkristall der gesamte Verstärker hergestellt wird.

Mit transistorisierten Differenzverstärkern erreicht man so Driftspannungen von nur  $10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , bezogen auf die Eingangsklemmen, was gegenüber dem oben erwähnten Wert von  $2...3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  beim einzelnen Siliziumtransistor eine Verbesserung um den Faktor  $200...300$  bedeutet. Solche Verstärker eignen sich damit zur Verstärkung von Gleichspannungssignalen bis herab zu einigen Millivolt. Der Eingangswiderstand dieser Anordnungen wird durch Gegenkopplung auf Werte von mehreren hundert Kiloohm gebracht. Durch die Verwendung von Feldeffekttransistoren in der Eingangsstufe erreicht man Eingangswiderstände von  $10^{10}...10^{12} \Omega$  bei einer Drift von  $10...100 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .

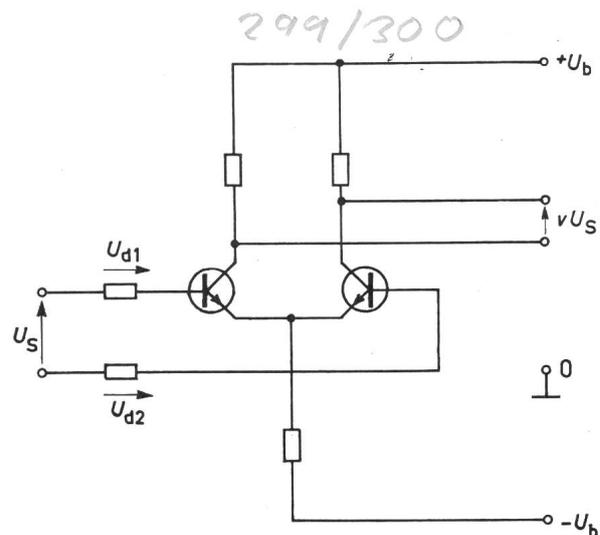


Fig. 1

#### Differenzverstärkerstufe

$U_s$  Signalspannung;  $U_d$  Driftspannung;  $U_b$  Betriebsspannung;  $v$  Verstärkung

## 2.2 Zerhackerverstärker

Sollen nun Gleichspannungen in der Größenordnung von 1 mV und niedriger noch zur Anzeige gebracht werden, dann würde die Verwendung des Differenzverstärkers einen übermässigen Aufwand zur Stabilisierung und Temperaturkonstanthaltung erfordern. In diesem Fall bietet sich der Einsatz eines Zerhackerverstärkers [«Chopper-Verstärker»<sup>2)</sup>] an.

Bei dieser Art von Gleichspannungsverstärker wird das angebotene Gleichspannungssignal auf mechanischem oder elektrischem Weg zerhackt und damit in eine Wechselspannung umgewandelt. Wechselspannungen lassen sich bis zu sehr kleinen Pegeln herab noch verstärken, insbesondere wenn eine Begrenzung der Bandbreite erfolgen kann. Bei konstant gehaltener Zerhackfrequenz kann durch genügende Selektion die Empfindlichkeit des Verstärkers sehr hoch getrieben werden. Nach Verstärkung des Wechselspannungssignales wird dieses wieder gleichgerichtet, wobei bei phasenrichtiger Gleichrichtung sogar die Polarität der Gleichspannung erhalten bleibt (Fig. 2).

Als Zerhacker werden sowohl mechanische als auch elektronische Anordnungen verwendet. Das Gebilde hat dabei lediglich als Schalter zu fungieren und soll in den beiden Schaltstellungen einmal einen möglichst niedrigen Durchlasswiderstand und andernfalls einen möglichst hohen Sperrwiderstand aufweisen. In dieser Hinsicht als ideal zeigt sich der mechanische Zerhacker. Dieser ist ähnlich einem polarisierten Relais aufgebaut, die Kontaktgabe muss jedoch sehr prellfrei sein, um Störspannungen zu vermeiden. Ausserdem ist eine gute Schirmung zwischen der Antriebspule und den Schaltkontakten notwendig. Der mechanische Zerhacker kann gleichzeitig mit einem zweiten Kontaktsatz zur phasenrichtigen Wiedergleichrichtung ausgestattet sein. Nachteilig wirkt sich beim mechanischen Zerhacker dessen begrenzte Lebensdauer, sowie in manchen Fällen die relativ niedrige Schaltfrequenz (bis zu 400 Hz) aus.

Weiterhin finden optisch-elektrische Anordnungen, sog. Photo-Zerhacker, Verwendung. Ein Photowiderstand wird von einer Glühlampe, die von einer Wechselspannung gespeist wird, beleuchtet und verändert damit im Rhythmus der Wechselspannung seinen Widerstand zwischen einem niederohmigen Hell- und einem hochohmigen Dunkelwert. Der Vorteil des Photo-Zerhackers liegt in der höheren Schaltfrequenz (bis zu 1 kHz und höher), wodurch der Aufwand an Siebmitteln verringert wird und kürzere Übergangszeiten im Verstärker erreicht werden.

Ausserdem werden Sperrschicht- und Feldeffekt-Transistoren als Zerhacker eingesetzt. Die Vorteile der Halbleiterzerhacker liegen bei der höheren Betriebsfrequenz, der längeren Lebensdauer, den geringeren Abmessungen und dem niedrigeren Steuerleistungsbedarf. Bei Sperrschichttransistoren wirkt sich nachteilig aus, dass im Durchlassfall eine Störspannung im Signalkreis auftritt, die sog. «offset-Spannung». Sie liegt in der Größenordnung von 1...2 mV und rührt daher, dass eine Diodenstrecke des Transistors gemeinsam vom Steuerstrom, der zum Schalten des Transistors notwendig ist, und vom Signalstrom durchflossen wird. Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, um den Einfluss

<sup>2)</sup> Auch in der deutschsprachigen Literatur erscheint oft der Name «Chopper-Verstärker». Da jedoch eine eindeutige Übersetzung existiert, wird hier der Ausdruck «Zerhackerverstärker» gebraucht.

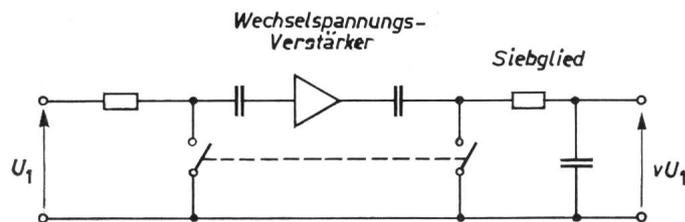


Fig. 2  
Prinzipschaltbild des Zerhacker-Verstärkers  
 $U_1$  Gleichspannung;  $v$  Verstärkung

dieser Störspannung zu reduzieren. Einmal werden die Transistoren «invers» betrieben, d. h. die Kollektor-Basis-Diode wird als Steuerstrecke benützt. Die Stromverstärkung des Transistors im inversen Betrieb liegt niedriger als im Normalbetrieb, so dass dadurch in der Emitter-Basis-Strecke ein geringerer Störstrom auftritt. Andermal verwendet man zwei gegeneinandergeschaltete gleiche Transistoren in Serie, damit sich die auftretenden Störkomponenten kompensieren. Diese Störspannungen sind jedoch temperaturabhängig, so dass beide Transistoren möglichst gleiches Temperaturverhalten aufweisen und auf möglichst derselben Temperatur gehalten werden müssen. Der Einbau der Transistoren in einen Thermostaten erweist sich als zweckmässig.

Spezielle Ausführungsformen von »Chopper-Transistoren«, bei denen beide Transistoren in bestimmter Anordnung auf einem Kristall aufgebaut sind, vermeiden den gemeinsamen Pfad für Steuer- und Signalstrom weitgehend. Die «offset-Spannung» wird dadurch auf Werte in der Größenordnung von 10...50  $\mu$ V reduziert.

Im Falle des Feldeffekttransistors tritt eine «offset-Spannung» nicht auf, weil im durchgeschalteten Zustand keine Schaltspannung anliegt und der Signalpfad nicht über einen PN-Übergang führt. Durch die zum Sperren des Feldeffekttransistors notwendige Steuerspannung tritt jedoch in der Sperrphase ein Leckstrom von der gate-Elektrode zum Signalkreis auf, der sich als Störkomponente bemerkbar macht. Dies kann aber durch eine über eine Diode zugeführte Kompensationsspannung eliminiert werden.

Die mit Feldeffekttransistoren als Zerhacker erreichten Driftspannungen liegen bei etwa 5...10  $\mu$ V für Änderungen der Umgebungstemperatur bis zu 20 °C und sind damit um eine Größenordnung niedriger als die vergleichbaren Werte von Sperrschichttransistoren.

Kontaktspannungen und Thermospannungen bilden die untere Grenze für die noch zu verstärkende Gleichspannung. Diese Spannungen treten insbesondere dann auf, wenn in dem empfindlichen Signalkreis verschiedene Metalle aneinander gelangen, sei es allein schon durch die Berührung bei einem mechanischen Kontakt oder in einer Lötstelle. Geringste Temperaturdifferenzen führen somit zu Thermospannungen, die sich als Störspannung dem eigentlichen Gleichspannungssignal überlagern. Die Grenze für praktisch noch messbare Gleichspannungen dürfte daher bei 1  $\mu$ V liegen, wobei aber selbst bei Spannungen von 100  $\mu$ V schon grösste Vorsicht beim Aufbau des Messkreises geboten ist.

Diese Erörterungen haben nun die verschiedenen Möglichkeiten aufgezeigt, um niedrigste Gleichspannungssignale noch zu verstärken und zu einer Anzeige zu bringen. Lag bei der Messung kleinster Wechselspannungen der Aufwand

in den Selektionsmitteln der Verstärker, so zeigt sich dieser bei der Gleichspannungsmessung in den Umwandlungsgliedern von Gleichspannung in Wechselfspannung. Die hierfür erforderlichen Bauelemente werden dem Entwicklungsingenieur bereits in breiter Auswahl angeboten, so dass es von der Seite der Planung keine Schwierigkeiten mehr bereiten würde, in den Bereich niedrigster Gleichspannungen vorzustoßen. Eine natürliche Grenze wird jedoch in den meisten Fällen durch die auftretenden Störeinflüsse geboten, die in der Praxis beherrscht werden müssen.

## Literatur

- [1] H. Kielgas: Direkt gekoppelte Transistor-Gleichstromverstärker mit geringer Drift für Regel- und Rechenzwecke. BBC-Nachrichten 45(1963)6, S. 340...347.
- [2] C. M. Sinclair: Transistorised D. C. Chopper Amplifiers. Instrument Practice 16(1962)5, S. 577...584.
- [3] K. Barton: The Field-Effect Transistor Used as a Low-Level Chopper. Electronic Engng. 37(1965)444, S. 80...83.

### Adresse des Autors:

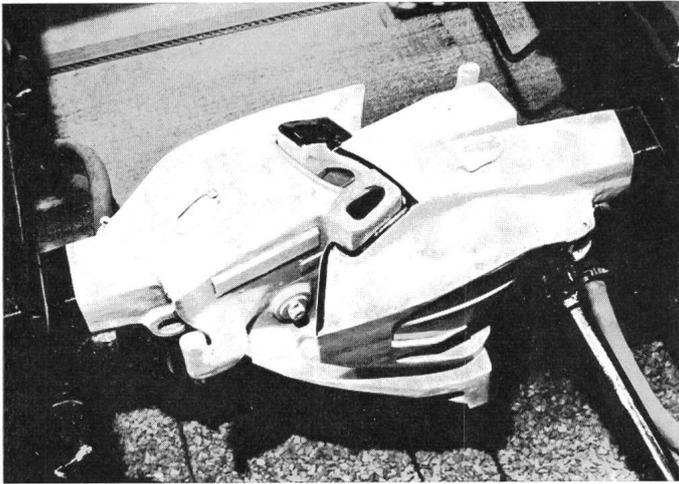
Rudolf Mäusl, Diplom-Ingenieur, Haidhauser Strasse 14, D-8 München 8.

## Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

### Die automatische Eisenbahnkupplung

625.2.013

So soll die europäische Eisenbahnkupplung der Zukunft aussehen. Die Fachleute hoffen, dass die automatische Kupplung in etwa zehn Jahren Wirklichkeit geworden ist. Dann würden auch die herkömmlichen Puffer verschwunden sein; denn die automatische Kupplung vermag sowohl Zug- als auch Druckkräfte zu übernehmen. Ausserdem verbindet sie auch die Druckluftleitungen für die Bremsen sowie elektrische Leitungen automatisch.



Nächster Schritt zur Verwirklichung des gigantischen Projektes, das nahezu sämtliche Eisenbahnfahrzeuge Europas berührt, wird eine im Oktober in Minden stattfindende Konferenz von Experten aus Ost und West sein, auf der die Verhandlungen über eine einheitliche Kupplungsform für alle europäischen Bahnen, auch die der Sowjetunion und der übrigen Ostblockländer, ihrem Ziel weiter entgegengeführt werden sollen.

### Registrierende Ionisationsmessung

621.317.333.002.56

[Nach K. A. Sajzew und S. A. Scharlot: Automatische Registrierung von Teilentladungen in der elektrischen Isolation, Elektrotechnika 37(1966)6, S. 51...54]

Die Ionisationsmessung findet in der letzten Zeit eine immer breitere Anwendung, und zwar nicht nur in der physikalischen Forschung, sondern auch bei Routineuntersuchungen und Qualitätskontrollen an der Isolation elektrischer Geräte und Einrichtungen sowohl in der Fabrikation als auch unter Betriebsverhältnissen.

Bestehende Messgeräte für die Registrierung von Teilentladungen in elektrischen Isolationen sind zwar in der Lage, die spezifischen Eigenarten des Vorganges wiederzugeben, sind jedoch nur für kurzzeitige Untersuchungen geeignet. Die heute angewandte periodische Registrierung ist nicht imstande, eine ununterbrochene Aufzeichnung der Teilentladungen, d. h. ein volles Bild des Prozesses, zu geben.

Für Untersuchungen unter dauernder Spannungseinwirkung wurde am Leninschen Elektrotechnischen Institut ein Ionisationsmessgerät entwickelt, mit dem eine automatische Aufzeichnung der Teilentladungen bei Lebensdaueruntersuchungen oder bei Dauerbeobachtungen an Isolationen von in Betrieb stehenden Geräten möglich ist. Dieses Messgerät schaltet sich beim Auftreten von Teilentladungen automatisch ein und bei deren Verschwinden wieder aus, macht eine ununterbrochene Aufzeichnung des Vorganges auf ein Band und sorgt durch zwischengeschalteten Vorschub für eine deutliche Trennung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Aufzeichnungen.

In Fig. 1 ist eine Aufzeichnung dargestellt, die bei der Prüfung eines Versuchsmusters zwischen zwei Plattenelektroden entstanden ist. Das Versuchsmuster bestand aus 20 Lagen Kondensatorpapier von je 0,01 mm Dicke, das zunächst trocken mit einer Wechselfspannung von 10 kV 50 Hz beaufschlagt wurde. Es entstand sofort eine kräftige Ionisation, die automatisch die Aufzeichnung der vom registrierenden Voltmeter gemessenen Impulsweite der Teilentladungen einleitete (Punkt 1 im Diagramm). Nach einer gewissen Zeit (hier ca. 1,5 min) wurde das Versuchsmuster ohne Spannungsunterbruch mit Mineralöl vergossen (Punkt 2), worauf die Teilentladungen praktisch aufhörten, und die Aufzeichnung automatisch unterbrochen wurde (Punkt 3). Später kamen die Entladungen wieder, das Gerät schaltete sich erneut ein (Punkt 4) und zeichnete die Entwicklung des Vorganges bis zum Durchschlag auf (Punkt 5). Darauf erfolgte der Vorschub des Bandes in die Ausgangsstellung für die nächste Aufzeichnung (Punkt 6).

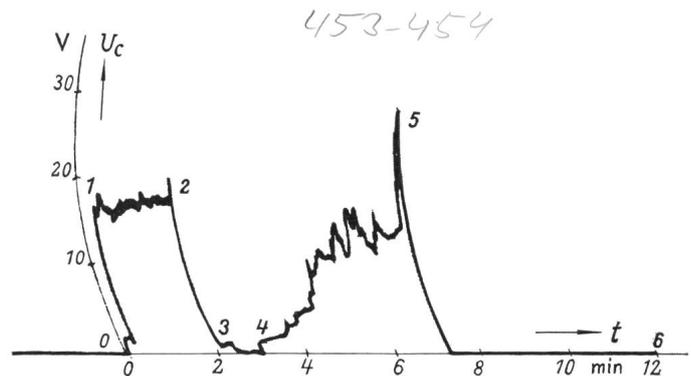


Fig. 1  
Aufzeichnung von Teilentladungen  $U_c$  in einem Versuchsmuster aus Papier-Isolation, die unter einer Wechselfspannung von 10 kV mit Mineralöl getränkt wird

- 0...1 Rasches Einsetzen der Teilentladungen in der trockenen Papier-Isolation nach Anlegen der Spannung
- 1...2 Fortbestehen der Entladungen in der trockenen Papier-Isolation
- 2...3 Verschwinden der Entladungen nach Vergiessen der Papier-Isolation mit Mineralöl
- 3...4 automatischer Unterbruch der Aufzeichnung
- 4...5 Entwicklung des Vorganges bis zum Durchschlag nach automatischer Wiedereinschaltung des Gerätes beim Auftreten neuer Teilentladungen
- 5...6 Vorschub des Bandes in die Ausgangsstellung für die nächste Aufzeichnung