Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 43 (1952)
Heft: 26

Artikel: Das Kontaktproblem in der Fernmeldetechnik
Autor: Spälti, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057926

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: 14.12.2025

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

43e année N° 26 Samedi, le 27 Décembre 1952

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

Das Kontaktproblem in der Fernmeldetechnik

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SVMT/SEV vom 16. Oktober 1952 in Zürich,

von *A. Spälti*, Zürich

621.3.066.6:621.39

Nach einer Gegenüberstellung der Fernmelde- und Starkstromkontakte werden das Prellen, die Fein- und Grobwanderung als die wichtigsten Störeigenschaften der Abhebekontakte näher beschrieben. Auf Grund vereinfachender Voraussetzungen werden die Bedingungen für prellfreie Kontaktanordnungen aufgeführt. Untersuchungen über den Thomsonkoeffizienten bei höheren Temperaturen ergeben Resultate, die mit der Feinwanderung qualitativ übereinstimmen. Der Grobwanderung wird mit Funkenlöschkreisen und Kontaktmaterialien hoher Schaltleistung begegnet. Die wichtigsten Probleme bei Fernmelde-Gleitkontakten werden auf Grund eines Dauerversuches mit Motorwählern erläutert.

Une comparaison entre les contacts pour les télécommunications et pour les courants forts est suivie de la description des effets perturbateurs principaux pour les contacts à pression: Le rebondissement et le transport de matière par courant de rupture et par arc. Les conditions pour éviter le rebondissement sont déduites des relations fondamentales simplifiées. Les résultats de mesures sur le coefficient de Thomson aux températures élevées concordent qualitativement avec l'effet de transport de matière par courant de rupture. Pour éviter le transport par l'arc, on emploie des matériaux à grande puissance de rupture et des circuits amortisseurs d'arc. Les problèmes principaux des contacts glissants sont exposés à partir d'un essai d'usure avec des sélecteurs à moteur.

1. Einleitung

Aus der Vielzahl von Erscheinungen, wie sie das Thema «Das Kontaktproblem in der Fernmeldetechnik» umfasst, soll im folgenden nur über einige Teilprobleme berichtet werden, die in der Firma Albiswerk Zürich A.-G. Gegenstand eingehender Untersuchungen waren.

Im Gegensatz zu den Kontakten der Starkstromtechnik müssen die Fernmeldekontakte um Grössenordnungen kleinere Energien schalten, was auf den ersten Blick ihre Aufgabe beträchtlich zu vereinfachen scheint. Dagegen sind aber die Anforderungen bezüglich Schaltzahl sehr hoch, ergeben sich doch bei gewissen Relaiskontakten in Telephonzentralen jährliche Schaltzahlen von der Grössenordnung 10^7, eine Schalthäufigkeit, die in der Starkstromtechnik nur bei mechanischen Gleichrichtern überschritten wird. Im weiteren ist die Sicherheit der Kontaktgabe, die oft gerade durch die Kleinheit der zu schaltenden Spannungen gefährdet ist, eine der ersten Forderungen, wenn man bedenkt, dass bei der Abwicklung eines Telephongespräches zwischen zwei Teilnehmern gegen Tausend Kontakte öffnen oder schliessen und dass das Versagen eines Einzigen die gewünschte Abwicklung der Verbindung in Frage stellen kann.

Im weiteren wollen wir die Fernmeldekontakte ihrer Konstruktion entsprechend in Abhebe- und Gleitkontakte klassieren.

2. Abhebekontakte

Die Abhebekontakte werden bei Schaltern, Selbstunterbrechern der Wähler und vor allem bei Relais angewendet.

Fig. 1 zeigt die Gegenüberstellung eines idealen und eines praktischen Relaiskontaktes. Die ersten beiden Diagramme stellen für den Idealfall den Erregerstrom der Relaiswicklung und den Kontaktwiderstand in Funktion der Zeit dar. Praktisch kann nun der Erregerstrom weder unendlich rasch ansteigen noch abfallen, so dass sich ein Stromverlauf gemäss dem dritten Oszillogramm ergibt. Aus dem Verlauf des Kontaktwiderstandes lassen sich alle wesentlichen Störeigenschaften erkennen:

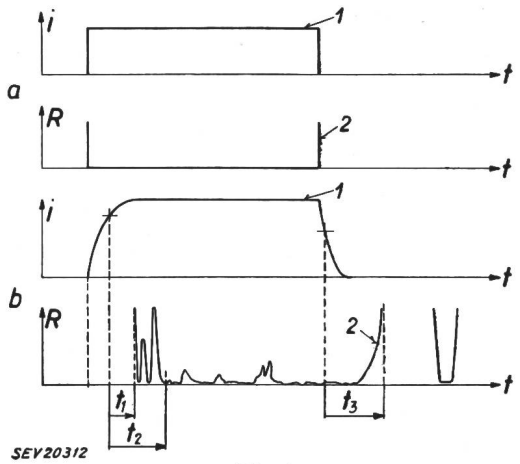

Fig. 1
Erregerstrom i und Kontaktwiderstand R eines Relais in Funktion der Zeit t
a ideeller Relaiskontakt
b praktischer Relaiskontakt
1 Steuersignal; *2* Kontaktwiderstand; t_1 ideelle Einschaltzeit; t_2—t_1 Prellzeit; t_3 Ausschaltzeit

Die erste metallische Berührung erfolgt mit einer gewissen Verzögerung t_1 nach dem Erreichen des Ansprechstromes. Sie ist aber keine bleibende, denn infolge der kinetischen Energie und der Elastizität öffnet sich der Kontakt wieder und die Erscheinung kann sich mehrere Male wiederholen, bis

die bleibende Berührung bei t_2 eintritt. Dieser Vorgang, den man als Prellen bezeichnet, hat mehrfache Nachteile.

Erstens ist der Schaltmoment undefiniert und die nach aussen massgebende Schaltzeit ist sicher grösser als die Zeit t_1, welche sich aus der bewegten Masse, dem Einschaltweg und der Kraft berechnet.

Zweitens tritt infolge des mehrmaligen Ein- und Ausschaltens eine vermehrte Materialabnützung und -wanderung auf, was die Lebensdauer des Kontaktes herabsetzt.

Über die Störerscheinungen bei der nächsten Etappe des Schaltvorganges, die Inkonstanz des Kontaktwiderstandes wollen wir nicht eintreten.

Auch der Ausschaltvorgang beginnt erst nach der Abfallverzögerungszeit t_3 nach dem Erreichen des Abfallstromes durch einen mehr oder weniger stetigen Übergang von einem kleinen Kontaktwiderstand bis zur vollständigen Trennung, was je nach den elektrischen Gegebenheiten noch von einer Lichtbogenbildung begleitet sein kann. Ein nochmaliges Schliessen des Kontaktes infolge Ausschaltprellung tritt nur in vereinzelten Fällen bei Relais mit sehr kleiner Kontaktöffnung auf.

Mit den steigenden Ansprüchen der automatischen Telephonie an die Geschwindigkeit des Verbindungsaufbaues steigen auch die Anforderungen an die Schaltgeschwindigkeit der Relais. Die neuen Motorwähler laufen z. B. mit einer Geschwindigkeit von 200 Schritten/s und vom zugehörigen Prüfrelais, welches den Motorwähler im richtigen Moment stillsetzen soll, wird eine Schaltzeit von weniger als 1 ms verlangt, wobei der Erregerkreis stark induktiv ist und im stationären Zustand nur 2,4 W aufnimmt. Solche extreme Forderungen lassen sich nur erfüllen, wenn der Schaltweg und die bewegten Massen so klein als nur möglich gehalten werden, was automatisch zu Konstruktionen führt, bei welchen das Kontaktstück einen ganz wesentlichen Teil der bewegten Masse ausmacht. Bei dem erwähnten Prüfrelais z. B. ist das Kontaktstück mit 25 % am gesamten Massenträgheitsmoment beteiligt und bei andern Schalterkonstruktionen, mit welchen wir 0,2 ms Schaltzeit erreicht haben, sogar mit 90 %. In solchen Fällen ist natürlich das Kontaktmetall am Prellvorgang massgebend beteiligt.

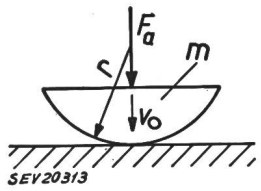

Fig. 2
Schliessender Kontakt
Bezeichnungen siehe im Text

Die grundsätzlichen Zusammenhänge beim Auftreffen eines Kontaktes mit kugelförmiger Oberfläche auf einen ebenen, feststehenden Kontakt lassen sich auf Grund von Fig. 2 berechnen.

Ein Kontakt mit der Masse m, dessen Stirnfläche gewölbt ist, trifft mit der Geschwindigkeit v_0 auf einen ruhenden, ebenen Kontakt mit gegenüber m praktisch unendlich grosser Masse. Im Moment der Berührung soll die Kraft F_a angreifen, was sich praktisch durch eine vorgespannte und im Berührungsmoment abhebende Feder erreichen lässt.

In diesem System wird eine Spannungsenergie W aufgespeichert, welche gegeben ist durch die kinetische Energie des auftreffenden Kontaktes und die Arbeit der Kraft F_a längs der Deformation δ.

Es ist somit:

$$W = \frac{m v_0^2}{2} + F_a \delta \tag{1}$$

Ein Teil der Energie W geht durch innere Reibung und vielfache Reflexion der Deformationswellen verloren. Der Rest $\kappa^2 W$ versucht das bewegliche Kontaktstück entgegen der Kraft F_a wieder zurückzudrücken. κ^2 entspricht in Näherung dem Verhältnis zwischen Rücksprunghöhe und Fallhöhe einer frei fallenden Kugel. Ist nun $\kappa^2 W \leqq F_a \delta$, so tritt kein Abheben auf. Die Bedingung für prellfreies Schalten lautet daher:

$$\kappa^2 \left(\frac{m v_0^2}{2} + F_a \delta \right) \leqq F_a \delta \tag{2}$$

Der Zusammenhang zwischen Druckkraft F_i und Deformation x ergibt sich aus den Hertzschen Gleichungen zu:

$$F_i = c x^{\frac{3}{2}} \tag{3}$$

mit $$c \approx 0{,}69\, E \sqrt{r}$$
(E = Elastizitätsmodul),

so dass sich die Energie W auch berechnen lässt zu:

$$W = \int_0^\delta F_i \, dx = \int_0^\delta c x^{\frac{3}{2}} \, dx$$

$$W = \frac{2}{5} c \delta^{\frac{5}{2}} \tag{4}$$

Durch Elimination von δ aus Gl. (2) folgt die für prellfreies Einschalten erforderliche Mindestkraft:

$$F_a = 0{,}6 \, \frac{\kappa^2}{(1-\kappa^2)^{\frac{3}{5}}} \, E^{\frac{2}{5}} \, r^{\frac{1}{5}} \left(\frac{m v_0^2}{2} \right)^{\frac{3}{5}} \tag{5}$$

Die Gültigkeit der Gl. (5) ist jedoch an die Voraussetzung gebunden, dass die bei der elastischen Deformation von Kugeloberfläche und Platte auftretenden Massenverschiebungen und demgemäss die zugehörigen kinetischen Energien verschwindend klein sind.

Für einen kugelsegmentförmigen Relaiskontakt aus Silber mit einem Krümmungsradius von 1,5 mm, einem Gewicht von 0,12 g und einer Auftreffgeschwindigkeit von 20 cm/s ergibt sich nach dieser Formel eine Kraft von ca. 1 kg. Ein so hoher Druck kann natürlich nicht ohne starke Federn, deren Masse ein Mehrfaches der Kontaktmasse betragen würde, erreicht werden. Für κ^2 wurde für diese Berechnung der Wert 0,75 eingesetzt. In der Literatur findet man für diese Materialkonstante meist wesentlich kleinere Werte; für Kupfer z. B. 0,25...0,35. Eigene Versuche haben aber ergeben, dass bei wiederholtem Schlag auf genau dieselbe Stelle eine Erhärtung des Materials eintritt und dass sich dabei κ^2 asymptotisch einem höheren Wert nähert.

Eine vollständige Behebung des Prellens liesse sich bei der beschriebenen Anordnung nur durch Verwendung eines Kontaktmaterials mit viel grösserer innerer Dämpfung und einem viel geringeren Elastizitätsmodul erreichen. Eine Vergrösserung des Kontaktwiderstandes gegenüber den heute gebräuchlichen Kontaktmetallen könnte dabei in manchen Fällen in Kauf genommen werden.

Zum gleichen Erfolg wie eine hohe innere Materialdämpfung führt natürlich auch eine äussere Reibungsdämpfung. Die Schwierigkeiten werden aber offensichtlich, wenn man bedenkt, dass die Deformationswege nur sehr klein sind. Zudem sind die Reibungskräfte stark abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit, Temperatur, Feuchtigkeit und Verschmutzung.

Eine sehr originelle Art der künstlichen Materialdämpfung haben die Firmen Westinghouse und Siemens & Halske an einem Relais verwirklicht, indem der bewegliche Kontakt hohl ausgebildet und mit Wolframpulver gefüllt ist. Die kinetische Energie wird beim Aufprallen des Kontaktes vom Wolframpulver ähnlich wie bei einem fallenden Sandsack aufgenommen, wodurch das Prellen vollständig vermieden wird. Wolframpulver eignet sich für solche Zwecke besonders gut, weil es ein hohes spezifisches Gewicht besitzt und keine Neigung zum Zusammenballen zeigt.

Eine grundsätzlich andere Methode zur Prellungsverhinderung zeigt die Anordnung nach Fig. 3.

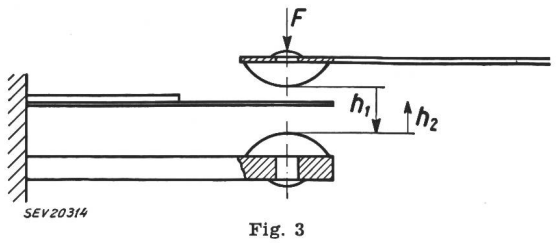

Fig. 3
Prellfreie Kontaktanordnung
Bezeichnungen siehe im Text

Der bewegliche Kontakt berührt vor dem Auftreffen auf die feste Gegenlage eine möglichst massenarme Feder. Diese Feder folgt nun beim Rückprallen dem beweglichen Kontakt und verhindert damit die elektrische Trennung. Für eine zeitlich linear ansteigende beschleunigende Kraft F findet man für das Verhältnis Rückprellhöhe h_2 zu Einschaltweg h_1 den Wert 0,75 $\varkappa^2$ und für eine quadratisch ansteigende Kraft den Wert 0,67 $\varkappa^2$. Um diesen Betrag muss nun die Feder dem beweglichen Kontakt nachlaufen können. Voraussetzung für prellfreies Schalten ist dabei, dass die Eigenfrequenz der Feder genügend hoch ist, um dem beweglichen Kontakt zu folgen und dass ihre Masse vernachlässigt werden darf. Ohne diese Feder ist ein prellfreies Schalten nur dann möglich, wenn die durch die Einschaltkraft F hervorgerufene Auftreffgeschwindigkeit genügend klein ist. Bei gegebener Masse lässt sich dann der zulässige Einschaltweg h_1 berechnen, jedoch folgen für die heute bekannten Kontaktwerkstoffe unrealisierbar kleine Werte in der Grösse von einigen µm.

Bei der Kontakttrennung können je nach den geschalteten Spannungen und Strömen drei grundsätzlich verschiedene Erscheinungen auftreten.

Es gibt für jedes Metall eine sog. Schmelzspannung, welche an einen Leiter beliebiger Form angelegt werden muss, um das Metall zum Schmelzen zu bringen. Wenn diese Spannung nicht erreicht wird, so trennen sich die Kontakte wie bei einem rein mechanischen Vorgang ohne irgendwelche zusätzlichen Erscheinungen. Diese Schmelzspannung beträgt für Silber 0,35 V und erreicht bei Wolfram den höchsten Wert von 1,0 V. Die in der Fernmeldetechnik auftretenden Spannungen sind aber in der Regel höher, weshalb dieses Gebiet nicht von grösserem Interesse ist.

Bei grösseren Spannungen spielt sich der Ausschaltvorgang bekanntlich folgendermassen ab:

Mit der Abnahme des Kontaktdruckes steigt der Kontaktwiderstand derart, dass sich die Berührungsstelle bis zum Schmelzpunkt des Kontaktmetalles erhitzt. Vor der Trennung bildet sich infolge der Oberflächenspannungen eine flüssige Brücke, welche bei der Trennung zum Teil verdampft, was eine thermische Ionisation zur Folge hat. Durch den nun einsetzenden Lichtbogen ist die Wärmeentwicklung in der Nähe der Kathode am grössten, so dass hauptsächlich dort das Metall verdampft und sich an den kälteren Stellen der Elektroden niederschlägt. Es tritt deshalb in der Regel eine Materialwanderung von der Kathode zur Anode auf. Mit der weiteren Vergrösserung des Kontaktabstandes stellen sich Strom und Spannung entsprechend der Lichtbogencharakteristik ein. Diese Lichtbogencharakteristiken verlaufen für verschiedene Metalle ganz ähnlich, und als Beispiel zeigt Fig. 4 diejenige

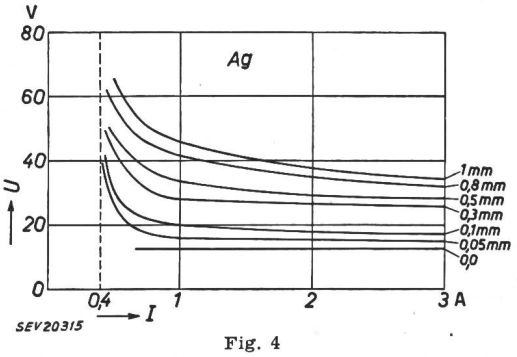

Fig. 4
Lichtbogencharakteristik für eingelaufene Silberkontakte mit dem Kontaktabstand als Parameter
(nach Holm)

für Silber. Von besonderem Interesse ist nun das Gebiet zwischen den Koordinatenachsen und der Kurve für den Abstand Null. Wenn der Ausschaltvorgang sich in diesem Gebiet abspielt, so kann offenbar kein Funke und damit auch keine Materialwanderung auftreten. Das letztere ist jedoch nur bedingt der Fall. Bei der Kontakttrennung schmilzt nämlich die flüssige Metallbrücke nicht in der Mitte, wie man das aus Symmetriegründen erwarten würde, sondern meist etwas näher bei der Anode (Fig. 5). Nach häufiger Wiederholung tritt nun eine fühlbare Materialwanderung von der Anode auf die Kathode auf, eine Erscheinung, welche man als Fein-

wanderung bezeichnet. Durch den Materialtransport wird der Kontaktabstand verändert und bei Stiftbildung können sich beide Kontakte ineinander verklemmen, so dass eine Kontakttrennung nicht mehr erfolgt.

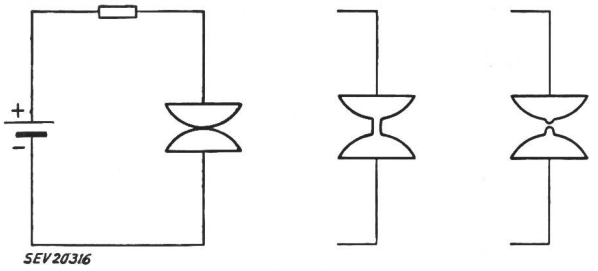

Fig. 5
Funkenfreie Kontakttrennung
Feinwanderung

Die Ursachen der Feinwanderung sind heute noch nicht vollständig abgeklärt. Bei zwei gleichen Metallen ist nur der Thomson-Effekt bekannt, welcher sich bekanntlich so äussert, dass beim Stromdurchgang durch einen ungleich temperierten Leiter Wärme erzeugt oder verbraucht wird. Diese Thomsonwärme ist proportional der Zeit, der Stromstärke, der Temperaturdifferenz und dem Thomson-Koeffizienten. Aus der Literatur sind nun nur Thomson-Koeffizienten bei relativ niedrigen Temperaturen bekannt, und das Vorzeichen ist derart, dass die höhere Temperatur im Widerspruch zu der beobachteten Materialwanderung auf der Kathodenseite auftritt.

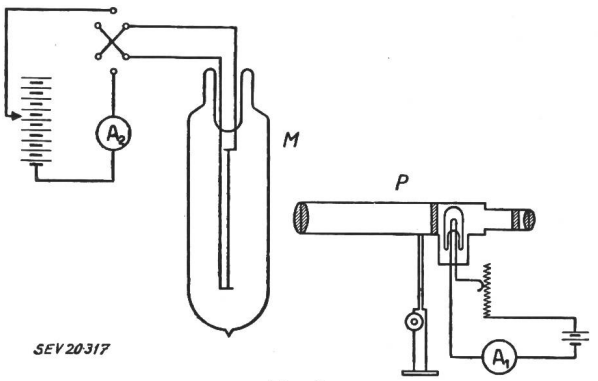

Fig. 6
Messeinrichtung zur Bestimmung des Thomson-Koeffizienten
Bezeichnungen siehe im Text

Unsere Physiker haben deshalb den Thomson-Koeffizienten mit der Apparatur nach Fig. 6 bei höheren Temperaturen bestimmt und dabei sehr interessante Feststellungen gemacht [2].

Als Messobjekt diente ein stromdurchflossener, in einem evakuierten Glasgefäss *M* aufgehängter Draht, dessen Durchmesser über eine Hälfte der Länge grösser war als über die andere Hälfte. Mit Hilfe eines Glühfadenpyrometers *P* wurde die Temperatur längs des Drahtes in der Nähe der Sprungstelle des Drahtdurchmessers in Abhängigkeit von Grösse und Richtung des durchfliessenden Gleichstromes gemessen. Aus der Temperaturdifferenz bei Umkehr der Stromrichtung und Aufstellung der Energiebilanz lässt sich nun der Thomson-Koeffizient berechnen. Das Ergebnis zeigt Fig. 7, wonach der Thomson-Koeffizient bei höheren Temperaturen tatsächlich negativ wird und mit der Materialwanderung in der beobachteten Richtung übereinstimmt.

Die quantitative Bestimmung der Feinwanderung ist sowohl theoretisch wie praktisch ausserordentlich heikel. Die Versuche können nach unserer Erfahrung nur einwandfrei durchgeführt werden bei Strömen, die kleiner sind als der aus der Lichtbogencharakteristik entnommene kleinste Lichtbogenstrom. Bei grösseren Strömen entstehen infolge der raschen Stromänderung und der selbst bei sorgfältigstem Aufbau der Messanordnung vorhandenen Induktivität immer Spannungen, die über der Lichtbogenspannung von ca. 15 V liegen. Wir haben diese Versuche so durchgeführt, dass wir den Kontakt im Dunkeln unter dem Mikroskop beobachteten. Der Kontakt wurde mit 50 Hz betätigt; wenn sich nach 15 min Beobachtungsdauer, also 45 000 Schaltungen, keine Funken zeigten, wurde der Kontakt als nicht funkend und grobwanderungsfrei bezeichnet.

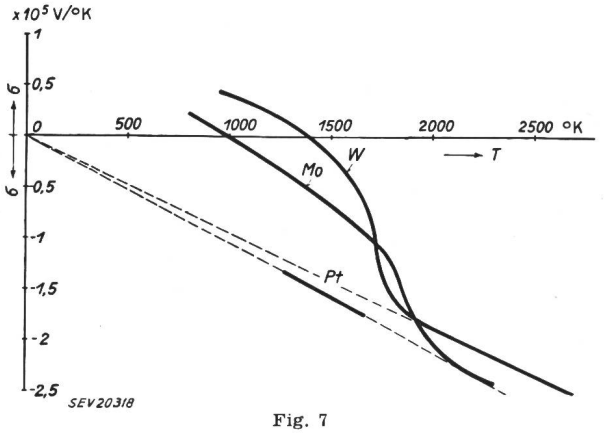

Fig. 7
Thomsonkoeffizient σ für W, Mo und Pt in Abhängigkeit von der absoluten Temperatur T

Eine fühlbare Reduktion der Feinwanderung lässt sich durch Wahl verschiedener Metalle für Anode und Kathode erreichen. Zweckmässigerweise verwendet man für die Kathode ein Metall mit tieferem Schmelzpunkt, so dass die flüssige Brücke vorerst in der Nähe der Kathode schmilzt und einen Materialtransport von der Kathode auf die Anode bewirkt. Sobald sich auf der Anode eine Berührungsstelle aus dem Kathodenmaterial gebildet hat, geht die Materialwanderung wieder in der umgekehrten Richtung, bis sich ein Gleichgewichtszustand eingestellt hat.

Wenn auch die in der Fernmeldetechnik geschalteten Spannungen und Ströme klein sind, so spielen sich doch bei weitem nicht alle Schaltvorgänge im Gebiete der Feinwanderung ab. Die Verwendung von Funkenlöschanordnungen, seien es nun Kombinationen von Widerständen und Kondensatoren oder neuerdings auch spannungsabhängiger Widerstände, kann die schädliche Wirkung des Lichtbogens nur herabsetzen, kaum aber den Bogen selbst verhindern. Die zusätzliche Verwendung von Metallen oder Metallmischungen mit höherer Schaltleistung bringt jedoch merkliche Abhilfe.

Es ist nicht möglich, ein einfaches Kriterium anzugeben, für welche Schaltleistungen die in der automatischen Telephonie am häufigsten verwendeten Silberkontakte, wo Wolfram-Silber, wo Platin-Iridium und wann Funkenlöschkreise angewendet werden sollen. Die Materialwanderungen hängen eben nicht von den stationären Strömen und Spannungen ab; sondern von deren Verlauf während des Ausschaltvorgangs und während des Prellens, aber diese Verhältnisse sind in den wenigsten Fällen genau bekannt. Zudem spielt noch die Atmosphäre, insbesondere die Luftfeuchtigkeit eine wesentliche Rolle. Aber selbst bei identischen äusseren Bedingungen können die Materialwanderungen noch beträchtlich streuen [3].

Die Kontakte nach Fig. 8 haben 500 000 Schaltungen bei induktionsarmer Belastung ausgeführt. Es lässt sich daraus keine strenge Gesetzmässigkeit für die Materialwanderung in Funktion der Spannung und der Stromstärke erkennen. Beispielsweise zeigt die Messreihe mit 16,5 V und steigendem Strom von 0,6 A bis 2,5 A wohl eine mit wachsender Stromstärke zunehmende Materialwanderung, jedoch ist diese Wanderung bei 1,0 A grösser als bei 1,5 A. Im grossen und ganzen zeichnet sich aus diesen Versuchen doch die Tendenz ab, dass bei höheren Spannungen die Materialwanderung von der Kathode zur Anode, bei niederen Spannungen in der umgekehrten Richtung geht.

Versuch	Spannung	Widerstand	Stromstärke	Feuchtigkeit	Kontakt in 30 facher Vergrößerung	Versuch	Spannung	Widerstand	Stromstärke	Kontakt in 30 facher Vergrößerung
Nr.	V	Ω	A	g/m³		Nr	V	Ω	A	
R 25	24,0	16,0	1,50	32		R 37	10,1	11,2	0,90	
R 26	24,0	15,5	1,55	32		R 38	10,1	10,6	0,95	
R 27	24,0	15,0	1,60	32		R 39	10,1	10,1	1,00	
R 28	60,0	85,8	0,700	32		R 40	16,5	27,5	0,600	
R 29	60,0	75,0	0,800	32		R 41	16,5	23,6	0,700	
R 30	60,0	64,9	0,925	32		R 42	16,5	20,6	0,800	
R 31	60,0	63,2	0,950	32		R 43	16,5	16,5	1,000	
R 32	60,0	61,5	0,975	32		R 44	16,5	11,0	1,500	
R 33	2,1	1,9	1,10	7		R 45	16,5	10,0	1,650	
R 34	2,1	1,75	1,20	7		R 46	16,5	9,15	1,800	
R 35	2,1	1,61	1,30	7		R 47	16,5	8,25	2,00	
R 36	2,1	1,50	1,40	7		R 48	16,5	6,60	2,50	

SEV20319

Fig. 8
Formänderung von Silberkontakten
(nach Krüger)

Fig. 9 zeigt den Kontaktwiderstand von Silberkontakten, welche beim Schalten deutliche Funkenbildung aufwiesen, in Funktion der Schaltzahl. Es lässt sich daraus entnehmen, dass die Grobwanderung keinen sehr grossen Einfluss auf den Kontaktwiderstand hat.

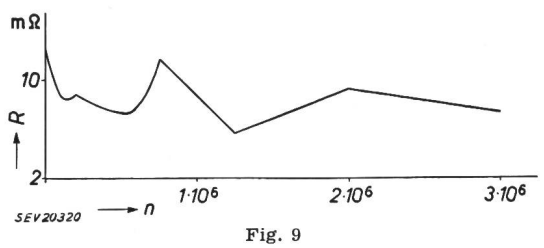

Fig. 9
Kontaktwiderstand von funkenden Silberkontakten
R Kontaktwiderstand bei 20 g Druck; *n* Anzahl Schaltungen

3. Gleitkontakte

Ein sehr wichtiges Anwendungsgebiet von Gleitkontakten bilden die Wähler für die automatische Telephonie. Solche Wähler bestehen aus einer Vielzahl von in radialer Richtung zylinderförmig angeordneten Lamellen und mehreren über sie gleitenden Schleifarmen. Die Schaltleistung ist immer sehr gering und das Hauptproblem bilden bei diesen Kontakten die mechanische Abnützung und der Kontaktwiderstand.

Über die Reibung fester Stoffe ist von *F. P. Bowden* im Schweizer Archiv ein sehr interessanter Artikel veröffentlicht worden [4]. Danach ist der Reibungskoeffizient μ bei ganz reinen Metalloberflächen ausserordentlich hoch. In der Regel wurden μ-Werte in der Grösse von 100 beobachtet und die mikroskopische Untersuchung der Berührungsstelle zeigt, dass allein mit der Berührung eine Verschweissung eintritt. Bei der Reibung tritt infolge des Herausreissens von Metallteilen eine sehr starke Abnützung auf.

Diese Verhältnisse lassen sich aber nur im Vakuum und nach gründlicher Reinigung realisieren: In der Atmosphäre bildet sich in kurzer Zeit durch Oxydation und die Luftfeuchtigkeit eine Fremdschicht, welche den Reibungskoeffizienten um Grössenordnungen herabsetzt, jedoch anderseits eine starke Erhöhung des Kontaktwiderstandes bewirkt. Es scheint deshalb bereits festzustehen, dass kleiner

Kontaktwiderstand und geringe Abnützung sich widersprechende Forderungen sind.

Unsere eigenen Dauerversuche an Motorwählern mit verschiedenen Kontaktwerkstoffen, welche bei einem gegenüber den praktischen Verhältnissen stark forcierten Betrieb und ohne Schmierung durchgeführt worden sind, haben diese Überlegungen durchwegs bestätigt.

Fig. 10 zeigt die Grösse des Kontaktwiderstandes R_k und die Abnützung des Schleifarmes in Funktion der ausgeführten Drehungen des Wählers. Die drei Figuren gelten für verschiedene Kontaktmaterialien, und zwar waren beim ersten Wähler die Arme aus Stahl, die Lamellen aus Neusilber, beim zweiten die Arme aus Bronze, die Lamellen aus Messing, beim dritten die Arme und Lamellen aus Neusilber.

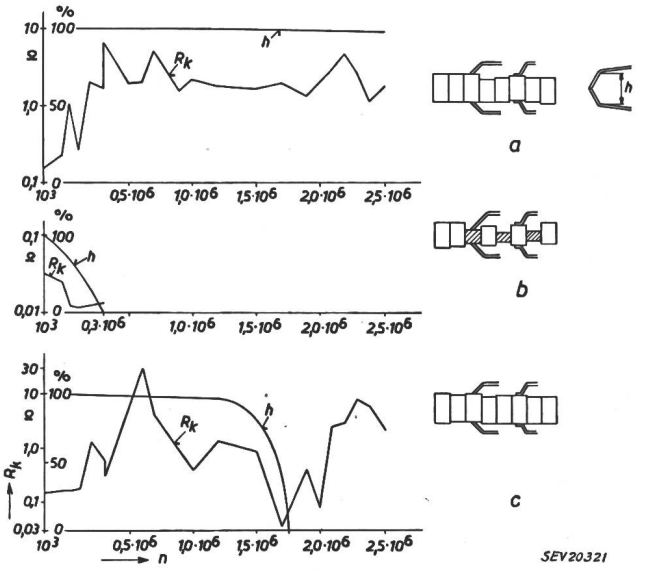

Fig. 10
Motorwähler-Dauerversuch
a Arm: Stahl, Lamellen: Neusilber; *b* Arm: Bronze, Lamellen: Messing; *c* Arm: Neusilber, Lamellen: Neusilber; R_k Kontaktwiderstand; *n* Umdrehungen; *h* Mass für die Abnützung am Kontaktmaul

Die Armabnützung wurde am Kontaktmaul durch Kontrolle von *h* verfolgt, während die Lamellen, die im zusammengebauten Wähler nicht gut zugänglich sind, erst nach $2{,}5 \cdot 10^6$ Umdrehungen oder bei entsprechender Abnützung früher durch Demontage ausgemessen werden konnten. Die Dicke des ursprünglichen Materials und der verbliebene Rest gehen aus den rechts der Diagramme stehenden Figuren hervor. Es ist daraus bereits ersichtlich, dass die Form des Kontaktmaules von wesentlichem Einfluss auf die Abnützung ist. Die schraffierten Lamellen sind von spitzen Armen, die hellen von flachen Armen abgegriffen worden.

Die Arme nützten sich bei der ersten Materialkombination während des ganzen Dauerversuchs überhaupt fast nicht messbar ab und zeigten an den Berührungsstellen gleich wie die Lamellen eine ausgesprochen polierte Oberfläche. Der Kontaktwiderstand steigt nach Beginn des Betriebes vorerst an, was mit der Politur und Fremdschichtbildung zusammenhängen dürfte. Nachher verläuft er ziemlich unregelmässig und liegt im allgemeinen sehr hoch.

Die nächste Materialkombination bildet etwa das andere Extrem. Der Kontaktwiderstand ist schon zu Beginn des Betriebes klein und sinkt in der Folge noch weiter. Kontaktarm und Lamellen zeigen eine starke Abnützung und nach $3 \cdot 10^5$ Umdrehungen war der Arm vollständig abgeschliffen, so dass der Versuch abgebrochen werden musste. Die starke Materialabnützung bedingt die Bildung einer beträchtlichen Menge Metallstaubes, der für die Betriebssicherheit von Telephonanlagen infolge Verschlechterung des Nebensprechens oder gar Kurzschluss sehr gefährlich ist.

Während die beiden ersten Materialkombinationen entweder zum Polieren oder zur Spanbildung tendieren, so neigt die Kombination Neusilber-Neusilber zu ausgesprochenen Unstabilitäten. Bis zu ca. $1{,}5 \cdot 10^6$ Umdrehungen zeigte sich fast keine Abnützung, und der Kontaktwiderstand ist infolge des Polierens der Oberflächen gestiegen. Dann setzte die Abnützung aber ganz unvermittelt ein, es bildete sich Metallpulver, und der Kontaktwiderstand ist im gleichen Zeitpunkt stark gesunken. Die angegebene Widerstandskurve ist ein Mittelwert von Messungen an mehreren Armen; die Extremwerte zeigten ein Maximum von 200 Ω und ein Minimum von 30 mΩ. Warum die Abnützung gerade in diesem Moment begann, ist sicher nur von Zufälligkeiten abhängig, wie z. B. vom Eindringen von Metallstaub aus einem andern Wähler. Bei einem Parallelversuch hat sich die gleiche Erscheinung zu einem ganz andern Zeitpunkt eingestellt.

Natürlich sind die sinnvollen Metallkombinationen mit diesen drei Beispielen noch lange nicht erschöpft; sie wurden vielmehr als Vertreter von drei ganz typischen Fällen erwähnt. Einen guten Kompromiss stellt die heute verwendete Kombination Stahlarme/Messinglamellen dar, doch versprechen andere Kombinationen, die sich zur Zeit in Dauererprobung befinden, noch bessere Resultate. Die Umdrehungszahl von $2{,}5 \cdot 10^6$ entspricht übrigens bei einer mittleren täglichen Belegung von 200 einer Lebensdauer von 34 Jahren. Dies ist für einen so komplizierten und hoch beanspruchten Apparat sicher befriedigend.

Literatur

[1] *Holm, Ragnar.* Electric Contacts. Stockholm, Gebers Förlag.
[2] *Ekkers, G. J., A. Farner* und *R. Kläui.* Der Thomsonkoeffizient von Metallen bei hohen Temperaturen. Albiswerk-Ber. Bd. 1 (1949), Nr. 1, S. 20...23.
[3] *Krüger, Wolfgang.* Formänderung hochbelasteter Silberkontakte von Fernmeldeapparaten beim Schalten von Gleichstrom. Z. Fernmeldetechn. Bd. 17 (1936), Nr. 1, S. 1...13.
[4] *Bowden, F. P.* Über den Einfluss von Oberflächenfilmen auf die Reibung fester Stoffe. Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn. Bd. 18 (1952), Nr. 4, S. 116...127.

Adresse des Autors:
Dr. Ing. *A. Spälti*, Eugen-Huber-Strasse 22, Zürich 48.