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

Artikel: Probleme um Starkstromkontakte
Autor: Caflisch, C.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057928

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: 10.08.2025

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

Rest der Schwingung in der Grössenordnung von 10 kHz bewegt und dass der Vorgang nach ca. 1,6 ms abgeklungen ist.

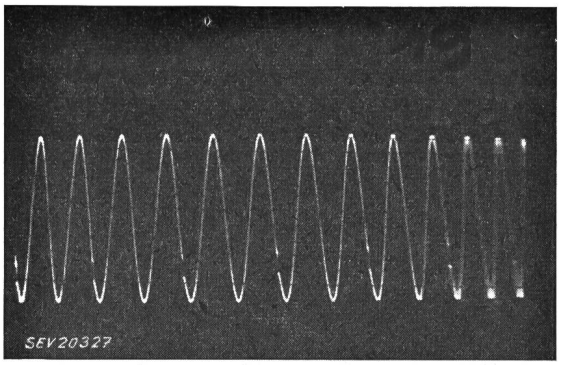

Fig. 6
Vergleichsfrequenz zu Fig. 5
Sinusförmiger Wechselstrom von 20 V und 20 kHz
Zeitmarke = 100 µs

Über die *praktische Anwendung* der Hochfrequenzfrittung und der Impulsfrittung können die folgenden Angaben gemacht werden:

Das Postcheckamt in Basel wurde mit einer Gegensprechanlage ausgerüstet, deren Sprechstellen durch eine Wählerautomatik miteinander verbunden worden sind. Da der Spannungspegel an den Wählerkontakten nur 1,7 mV beträgt, war diese Anlage ausserordentlich schwundanfällig. Seit Einführung der Hochfrequenzfrittung ist die Anlage vollständig schwundfrei und gibt zu keinen Klagen mehr Anlass. Die gleichen Erfahrungen sind mit der Gegensprechanlage des Finanzamtes in Zürich gemacht worden.

Bei dem schon erwähnten Grossversuch in einer Quartierzentrale in Bern wurde festgestellt, dass die Impulsfrittung den Schwund vollständig beseitigt.

Ebenso wurde durch Messungen im automatischen Fernamt in Zürich ermittelt, dass die Geräuschanfälligkeit bei Gleichstromfrittung viel grösser ist als bei Impulsfrittung.

Die Versuche zur Verminderung der Schwund- und Geräuschanfälligkeit sind noch nicht abgeschlossen, doch sind bereits einige Anfangsergebnisse erzielt worden, die erfolgversprechend sind.

Adresse des Autors:
Ed. Anderfuhren, techn. Beamter der Generaldirektion der PTT, Speichergasse 6, Bern.

Probleme um Starkstromkontakte

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

von *Ch. Caflisch*, Zürich

621.3.066.6:621.31

Es wird über das Verhalten von Kontaktmetallen bei Starkstromapparaten berichtet. An Hand von verschiedenen Beispielen werden ruhende Kontakte, Abhebekontakte usw. besprochen.

Etude du comportement des métaux utilisés pour diverses formes de contacts d'appareils à courant fort. A l'aide d'exemples l'auteur traite des contacts repos, des contacts travail, etc.

1. Einführung

Unter Starkstromkontakten verstehen wir Stromübergangsstellen zwischen zwei Metallteilen, die so grosse Ströme führen müssen, dass sich auch die weitere Umgebung der Übergangsstelle fühlbar erwärmen kann. Diese thermischen Wirkungen stellen die wichtigste Bemessungsgrundlage für Starkstromkontakte dar. Störungen äussern sich in fast allen Fällen durch übermässige Erwärmungen. Im Gegensatz z. B. zur Telephonie kommt in der Starkstromtechnik der «nichtleitende Kontakt» kaum vor. Die am offenen Kontakt auftretenden Spannungen sind normalerweise grösser als einige Hundert Volt. Das hat zur Folge, dass selbst dicke Fremdschichten gefrittet werden, und dass beim Öffnen der stromführenden Kontakte ein Lichtbogen gezogen wird. Die Massnahmen zur Lichtbogenlöschung oder die Schaltungen zur lichtbogenfreien Unterbrechung von Starkstrom sind konstruktive Fragen; wir wollen hier nur so weit auf diese eintreten, als sie auf die Wahl der Kontaktwerkstoffe einen bestimmenden Einfluss haben.

2. Ruhende Kontakte

Der einfachste Fall eines Kontaktes liegt vor, wenn zwei blanke Metallteile dauernd mit einem gegebenen Druck gegeneinander gepresst sind, und ein elektrischer Strom durch die Berührungsstelle von einem zum andern fliessen muss. Von der kleinen Schraubenklemme bis zur Verbindung schwerer Sammelschienen finden wir diesen einfachsten Fall des Ruhekontaktes in der Elektrotechnik immer wieder. Dass diese Kontakte trotz ihrer Einfachheit nicht ganz harmlos sind, haben in schärfster Weise alle diejenigen erfahren, welche zum Austausch von Kupfer ohne viel Umstände Aluminiumleiter zusammengeschraubt haben. Die immer vorhandene Oxydhaut des Aluminiums und das Nachlassen des Druckes der Verschraubung infolge Fliessens des Leichtmetalls führten zu schweren Störungen. Durch sauberes Putzen der Stromübergangsstellen unter Öl gelang es, die Oxydation bis zum Zusammenfügen der Teile in einem mässigen Rahmen zu halten, so dass wenigstens der frisch verschraubte Kontakt sich nicht übermässig erwärmte. Bessere Lösungen stellten die Plattierungen des Aluminiums mit edleren Metallen dar, doch sind diese gegen Korrosionseinflüsse sehr empfindlich. Das Nachlassen des Kontaktdruckes infolge Kriechens des Aluminiums wurde so weit als möglich verzögert durch den Einbau von federnden Verschraubungselementen. Die grossen Fortschritte der Schweisstechnik in jüngster Zeit ermöglichen die zuverlässigste Abhilfe bei derartigen Schwierigkeiten an nichtbeweglichen Kontakten, nicht nur bei

Leichtmetallen. Ich möchte hier besonders die Lichtbogenschweissung mit Edelgasschirm hervorheben, die keinerlei korrosionsaggressive Flussmittelreste hinterlässt und bei Kupferlegierungen auch keine Wasserstoffkrankheit erzeugt.

3. Stromlos geschaltete Abhebekontakte und Gleitkontakte

Ganz ähnlicher Natur, jedoch nicht durch eine Schweissung behebbar sind die Schwierigkeiten mit stromlos betätigten Kontakten bei seltener Bewegung, wie z. B. in Starkstromsteckern, Trennern oder Spannungswählern von Transformatoren. Hier kann, im Gegensatz zur Verbindung ausgedehnter Leiter, durch Wahl eines Materials mit günstigen Kontakteigenschaften dafür gesorgt werden, dass die Übergangswiderstände nicht unzulässig ansteigen und der Kontaktdruck nicht verschwindet. Die beliebtesten Werkstoffe für Stecker für mässige Stromstärken sind harte Kupferlegierungen. In neuester Zeit wird allgemein eine Stahlfeder zur Erzeugung des Kontaktdruckes verwendet, statt der konstruktiv vielleicht etwas einfacheren, aber weniger zuverlässigen selbstfedernden Kontaktstücke. Neben Kupfer, Messing und Bronze können auch andere Materialien gelegentlich mit Erfolg in Steckern verwendet werden, so z. B. rostfreier Stahl, wenn höchste Korrosionssicherheit wichtiger ist als grosse Strombelastung.

In Fig. 1 ist ein einfacher Trenner gezeigt, d. h. ein Schalter, der nur stromlos geöffnet werden soll und nicht sehr häufig betätigt wird. Trotz seiner einfachen und leichten Bauart führt er Dauerströme bis 600 A zuverlässig. Durch geeignete Anordnung der Leiter werden hier neben den in den Abstützungen vorhandenen Stahlfedern auch die elektrodynamischen Kräfte zur Erzeugung des Kontaktdruckes

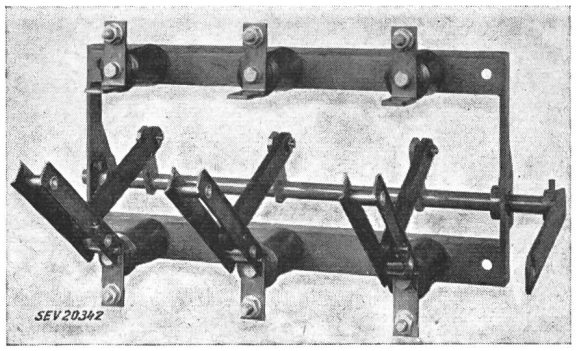

Fig. 1
Einfacher Trenner

herangezogen, was eine bemerkenswerte Kurzschlussfestigkeit des Apparates ergibt. Bei hohen Dauerströmen können Verunreinigungen an den Kontaktflächen unzulässige Erwärmungen zur Folge haben. Anderseits begünstigen hohe Übergangswiderstände das gefürchtete Schweissen im Fall von Kurzschlüssen. Um Fremdkörper oder Oxydschichten so weit als möglich zu entfernen, werden die Kontaktstücke beim Schliessen aufeinander aufgerieben. Als wirtschaftlichster Werkstoff für die stromführenden Teile der Trenner erweist sich Hartkupfer. Galvanische Versilberung gibt gute Resultate und erreicht trotz der dünnen Schicht bei wirklich stromlosem Öffnen eine bemerkenswerte Lebensdauer. In Fällen, wo mit Schwefelwasserstoffeinwirkung gerechnet werden musste, wurden solche Trenner auch schon mit Erfolg vernickelt. Die Kontaktgabe in der aggressiven Atmosphäre ist gegenüber

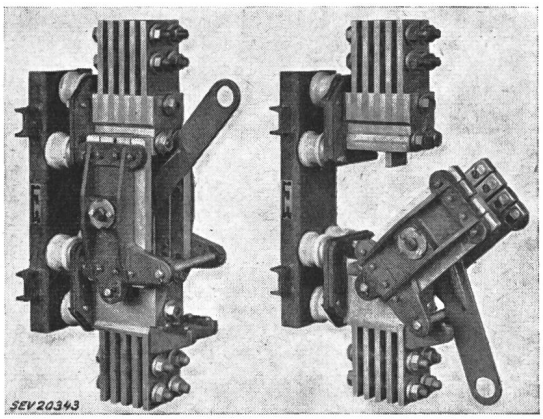

Fig. 2
Trenner für grosse Stromstärken

Ag oder Cu wesentlich zuverlässiger, die Belastbarkeit wird aber merklich geringer als bei reinem Kupfer oder Silber. Einen Trenner für extrem grosse Ströme zeigt Fig. 2. Hier sind Kontaktstücke aus massivem Hartsilber eingesetzt, und es werden viele voneinander unabhängige Strombahnen parallel geschaltet.

4. Theorie des Kontaktwiderstandes

Bei der Betrachtung der ruhenden Kontakte lohnt es sich festzustellen, dass die wichtigsten Grundlagen der Kontaktphysik an ihnen studiert werden können. Die Zusammenhänge zwischen wohl definierten Eigenschaften der Werkstoffe, z. B. ihrer Härte, ihres elektrischen Widerstandes, der Temperaturabhängigkeit dieser Grössen und dem Verhalten eines gegebenen Kontaktes unter bestimmten Belastungen, können mit verhältnismässig kleinem Aufwand theoretisch und experimentell auch zahlenmässig erfasst werden. Die grundlegenden, von *Holm* [1] zusammengestellten Formeln für den Übergangswiderstand eines Kontaktes mit einer einzigen metallischen Berührungsfläche, die klein ist verglichen mit der makroskopisch scheinbaren Kontaktfläche, gehören in ihrer einfachsten Fassung an die Spitze dieser Betrachtungen.

$$R = 0{,}45 \sqrt{\frac{H}{P}}\,(\varrho_1 + \varrho_2) \qquad (1)$$

Darin bedeuten R den Übergangswiderstand in $\mu\Omega$, P die Kontaktlast in kg, H die Härte des weicheren Materials in kg/cm², ϱ_1 und ϱ_2 die spezifischen Widerstände der beiden Kontaktmetalle in $\mu\Omega$cm. Die Gl. (1) ist abgeleitet ohne Berücksichtigung des elastischen Anteils der Verformung und unter der Voraussetzung fremdschichtfreier Metalloberflächen.

Die maximale Temperatur an der Stromübergangsstelle wird von dieser Theorie ebenfalls gegeben.

$$(T^2 - T_0^2) = \frac{U^2}{4A} \qquad (2)$$

Dabei ist T die absolute Temperatur der Übergangsstelle; T_0 die Umgebungstemperatur (also ungefähr 300 °K). U ist der Spannungsabfall am Kontaktwiderstand R, und A ist eine vom Werkstoff abhängige Konstante, die für Metalle die Grösse $2...3 \cdot 10^{-8}$ $V^2/Grad^2$ hat. Wenden wir diese Formeln auf eine Reihe von z. B. Sammelschienenverschraubungen oder Steckerkontakte an und verifizieren sie durch Messungen, werden wir allerdings vorerst enttäuscht sein. Wir finden gelegentlich auch an scheinbar sauberen Kontakten Abweichungen um Zehnerpotenzen. Unterschreitungen sind durch mehrere parallele Strompfade [8] oder vorangegangene Überlastungen mit Schmelzbrückenbildung zu erklären, Überschreitungen durch Fremdschichten. Die Aufnahme von Widerstands-Spannungs-Charakteristiken und die Diskussion der erfüllten und nicht erfüllten Voraussetzungen der Theorie vermag uns häufig Fingerzeige zu geben, durch welche Mittel konstruktive Verbesserungen noch möglich und wo die Grenzen bereits erreicht sind. In dieser Weise angewendet, bilden die Holmsche Theorie und ihre Ergänzungen ein sehr nützliches Werkzeug des Konstrukteurs.

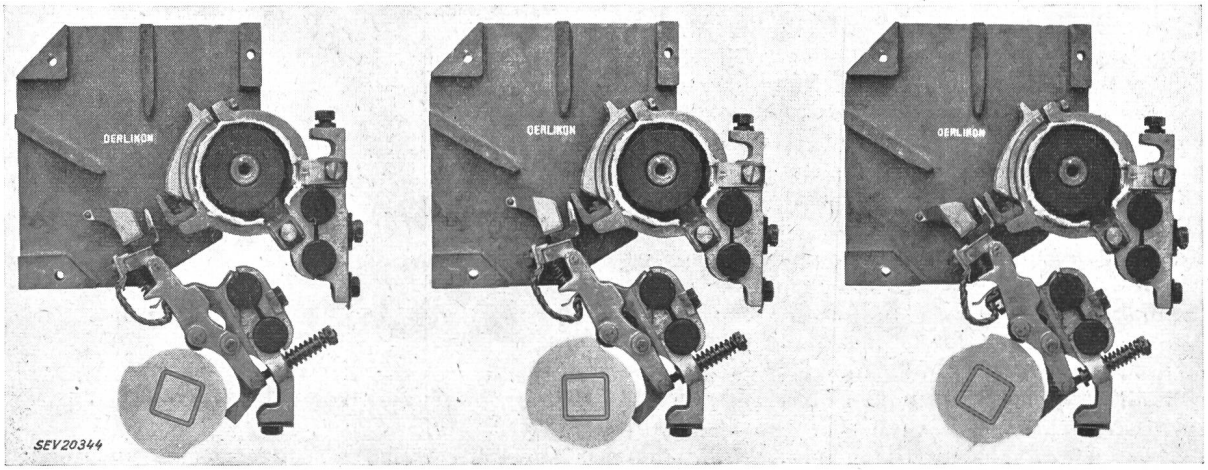

Fig. 3
Element eines Strassenbahn-Fahrschalters in 3 verschiedenen Stellungen

5. Unterbrecherkontakte

Wenn wir von Starkstromkontakten sprechen, denken wir zuerst an Kontakte, die zur Unterbrechung grosser Ströme dienen. Wenden wir uns zur Besprechung der Anforderungen an Unterbrecherkontakte dem ersten Beispiel zu. In Fig. 3 ist ein einfaches Element eines Strassenbahnfahrschalters in drei verschiedenen Stellungen der Schaltorgane dargestellt. Dieser Schalter hat Ströme in der Grössenordnung von einigen 100 A zu unterbrechen bei Spannungen, die um 1 kV herum liegen. Die beiden Kontaktstücke trennen sich erst, nachdem sie sich eine gewisse Strecke aufeinander abgewälzt haben. Die Verhältnisse am geschlossenen Schalter sind damit ganz ähnlich wie bei den stromlos geöffneten Kontakten, die Werkstoffauswahl erfolgt nach den gleichen Regeln. Bei diesen regelmässig, aber doch nicht extrem häufig betätigten Schaltern hat sich Kupfer als Werkstoff für den Dauerkontakt gut bewährt. Auch für den Abbrennkontakt ist hier Kupfer gewählt worden. Da an Fahrschaltern ohnehin regelmässige Revisionen durchgeführt werden, und die Kontaktstücke leicht auswechselbar sind, wäre die Anwendung teuerer Metalle nicht wirtschaftlich. An der Übergangsstelle für den Dauerstrom könnte der Kontakt durch Aufreiben der beiden Kupferstücke ähnlich wie beim Trenner verbessert werden. Das führt aber zu einem merklichen mechanischen Verschleiss und zu viel grösseren Kräften für die Betätigung.

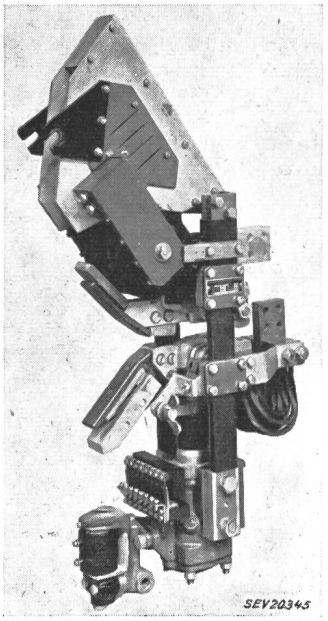

Fig. 4
Hüpfer für Stromstärken bis 2600 A

Fig. 4 zeigt einen im Prinzip gleich aufgebauten Hüpfer, der in der bekannten, seit zwei Jahren im Dienst stehenden 50-Hz-Lokomotive der SNCF montiert ist. Er ist für Ströme bis 2600 A gebaut, wird aber beim Einschalten infolge der Eigenart der Steuerung mit Überschaltdrosselspulen durch Stromspitzen belastet, die ein Vielfaches betragen. Bemerkenswert ist in diesem Falle, dass Kupfer als Material für den Dauerkontakt vollauf befriedigt hat, während an der Abbrennstelle eine Platte aus Wolfram-Kupfer-Sintermetall eingebaut wurde, um eine gute Lebensdauer zu gewährleisten. Die Verwendung dieses Materials hat sich ebenfalls sehr günstig ausgewirkt auf die Lebensdauer von grossflächigen Tastbolzen, die als Vorkontakte des Lastschalters von Grosstransformatoren dienen. Diese Schalter erreichen zuverlässig sehr hohe Schaltzahlen zwischen zwei Revisionen.

Hochleistungsschalter

Die zuerst besprochenen Bahnschaltgeräte nehmen inbezug auf Spannung, Ruhestrom und Schalthäufigkeit unter den Starkstromkontakten eine mittlere Stellung ein. Wir finden bei den Hochspannungsschaltern Kontakte, die beim Abschalten von Kurzschlüssen infolge der extrem hohen Lichtbogenleistungen grosse Abbrandverluste haben. Einen Schnitt durch die Kontakttulpe eines ölarmen Schalters mittlerer Grösse zeigt Fig. 5. Sechs me-

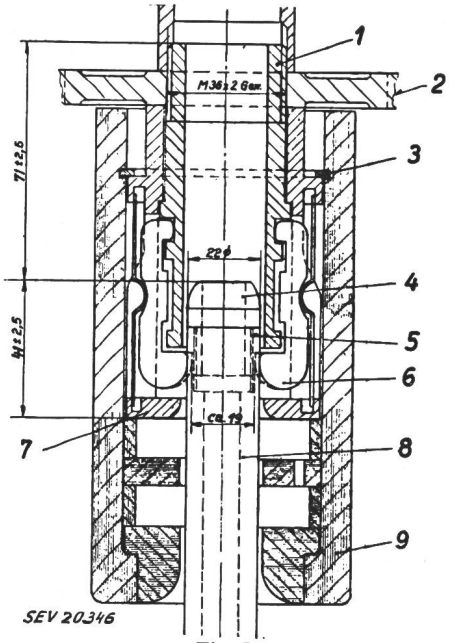

Fig. 5
Kontaktvorrichtung für ölarme Schalter Typ V
1 Kontaktfingerträger; *2* Kontaktflansch; *3* Seegerring-Sicherung; *4* Wolframabbrennstück; *5* Gewinde; *6* feste Kontaktsegmente; *7* Abbrennring; *8* bewegliches Kontaktrohr; *9* Löschkammer

chanisch voneinander unabhängige kupferne Kontaktfinger stellen die leitende Verbindung zwischen dem oberen Träger und der kupfernen Schaltstange her. Der Kontaktdruck wird durch Blattfedern aus Stahl erzeugt. Die Abbrennstücke sind normalerweise aus Wolfram-Kupfer-Sintermetall hergestellt und auf alle Fälle auswechselbar. Die relativ geringen Schaltzahlen erlauben ein Schliessen der Kontakte mit Reibung. Wird ein solcher Schalter, was gelegentlich vorkommt, während Jahren nicht bewegt, und hat er einen nahe dem Nennstrom liegenden sehr hohen Dauerstrom zu führen, kann es trotz genügendem Kontaktdruck selbst unter Öl vorkommen, dass die Kontakte etwas oxydieren. Sie erwärmen sich stärker, was die Oxydation weiter beschleunigt. Gelegentliche Schaltungen wirken sich somit günstig auf die Betriebssicherheit solcher Schalter aus. Durch konsequente Anwendung von hoch silberhaltigen Legierungen für die Dauerkontaktstellen kann die Betriebssicherheit unter hohem, dauernd eingeschaltetem Strom merklich verbessert werden.

Absolute Gewähr bietet allerdings auch Silber nicht. Die starke Affinität des Silbers für Sulfid-Schwefel gibt bei der Auslegung von Schaltapparaten für gewisse chemische Betriebe schwer zu lösende Probleme auf. Wenn Betriebssicherheit trotz geringer Pflege höchstes Gebot ist, und Lüftungsmassnahmen keinen genügenden Schutz bieten, sucht man die Lösung mit Nickel, rostfreiem Stahl oder Kohle, seltener durch Verzinnung. Alle diese Werkstoffe sind aber wegen ihres hohen Widerstandes in den für Cu oder Ag berechneten Konstruktionen nur unter Reduktion der Strombelastung und bei Kohle unter Anpassung der mechanischen Beanspruchung verwendbar [4]. Nickel, das neben anderen Vorteilen sich auch durch seine geringe Neigung zum Schweissen auszeichnet, hat leider den Nachteil, so stark nichtleitende Polierschichten zu bilden, dass seine Verwendung z. B. in Steuerkreisen oder Regulierkreisen mit kleiner Spannung kaum zu verantworten ist. In korrosionstechnisch schwierigen Fällen darf man nicht vor den Kosten zurückschrecken und muss auch grössere Starkstromkontakte aus hoch goldhaltigen Legierungen herstellen.

Diese Darlegungen zeigen, dass ausser Kupfer und Silber sich kein Werkstoff für allgemeine Verwendung in Starkstromdauerkontakten durchsetzen konnte. Entweder ist der Widerstand zu hoch (Nickel, rostfreier Stahl, Kohle) oder sie zeigen Bildung isolierender Schichten auf der Oberfläche (Leichtmetall, Zink und seine Legierungen, Wolfram [5], Molybdän usw.) oder der Preis fällt allzusehr ins Gewicht (Edelmetalle, wie Gold, Platin usw. und ihre Legierungen). Einzig für die nur kurz, dafür sehr stark durch Lichtbogen beanspruchten Abbrennstücke haben sich Wolfram und Molybdän bzw. an diesen Metallen reiche Verbundwerkstoffe als wirtschaftlich erwiesen.

Motorschalter

Ein vom Hochleistungsschalter wesentlich verschiedenes Problem bieten die Motorschalter oder -schütze, die für sehr hohe Schalthäufigkeiten ausgelegt wurden [3]. Fig. 6 zeigt einen solchen Motorschutzschalter mit Kontakten, die im Prinzip ähnlich arbeiten, wie die in Fig. 3 gezeigten. Wegen der hohen Schaltzahlen ist mit hohem Verschleiss an Kontaktmaterial zu rechnen, deshalb sind die Schaltstücke leicht auswechselbar. Der Verschleiss

der Kontaktstücke hat mehrere Ursachen. Wenn die Wälzbewegung nicht hinreichend exakt ausgeführt wird, tritt durch rein mechanischen Abrieb eine nicht zu unterschätzende Abnützung auf, die ins Gewicht fällt, sobald die Oberfläche durch den Lichtbogen aufgerauht und z. T. oxydiert ist. Bei Schaltern dieser Art werden daher häufig und mit Erfolg mehrstufige Tastkontakte angewendet. Hauptursache des Metallverlustes der Kontaktstücke ist das Verdampfen von Material im Lichtbogen. Hier ist Silber dem Kupfer deutlich überlegen, denn es

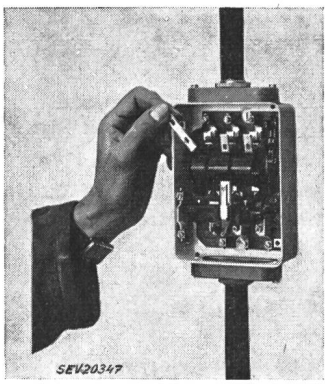

Fig. 6
Motorschutzschalter mit auswechselbaren Kontakten

bildet keine stabilen Oxyde, es kann sich also z. T. wieder auf den Kontakten niederschlagen, wenn auf Blasung verzichtet wird. Dass auch beim Einschalten ein nennenswerter Materialverlust eintreten kann, scheint vorerst unwahrscheinlich. Berücksichtigen wir aber, dass bei Einschalten von stehenden Käfigankermotoren der Einschaltstrom ein Mehrfaches des Nennstromes beträgt, und dass es sehr schwierig ist, Schalter dieser Grösse mit so kurzen Ansprechzeiten auch nach Abnützung vollständig prellfrei zu schalten, wird auch dieser Verlust verständlich.

Für diese Art von Schaltapparaten hat sich allgemein die Verwendung von Silberkontaktstücken durchgesetzt. Die Fragen bei der Werkstoffauswahl lauten nun: hart oder weich, Feinsilber oder legiertes Silber. Unsere Praxis wählte möglichst hartes Feinsilber, wobei Legierungsbestandteile von Bruchteilen von Prozent, die zur Verhinderung der Relaxation der durch Kaltbearbeitung erzeugten Härte dienen, erwünscht sind, sofern sie die Leitfähigkeit des Silbers nicht wesentlich beeinträchtigen. Schwach legiertes Silber, also Zusatz von einigen Prozenten unedlerer Metalle, Cu, Cd, bringen gewisse Vorteile. So wird die Schweissgrenze erhöht durch Verwendung von legierten, besonders mit ungleich legierten Kontakten [6]. Zusätze von rund 10 % Cd sollen infolge der leichten Verdampfbarkeit dieses Metalles die Lichtbogenlöschung begünstigen. Die Neigung des Silbers, in flüssigem Zustande Sauerstoff aufzunehmen und beim Erstarren rasch wieder abzugeben, führt zu unangenehmen Spratzerscheinungen und damit Metallverlust. Dieser Nachteil wird durch die unedle Zulegierung ebenfalls gemildert. Diesen Vorteilen stehen Nachteile gegenüber, wie grösserer Widerstand, verstärkte Neigung zu Oxydschichten. Die Kompliziertheit und die Vielfalt dieses Problems erlaubt die Abklärung der Frage nach der wirtschaftlichsten Silberlegierung beim heutigen Stand der Wissenschaft nur auf rein empirischem Wege durch Dauerschaltversuche. Dabei sollen Kontaktstückgrösse und -form, Kontaktdruck, Impedanz des Kreises beim Einschalten und beim Ausschalten, mittlere Schaltstück-Temperatur, Blasung usw. möglichst wenig von den Verhältnissen im praktischen Betrieb abweichen. Es darf nicht verwundern, wenn bei scheinbar geringfügigen Änderungen der Versuchsbedingungen eine einmal ermittelte Rangliste der Legierungen gründlich geändert wird.

Schleifkontakte

Wenn man von Starkstromkontakten spricht, darf man die Kohle-Kupfer-Schleifkontakte der elektrischen Maschinen nicht vergessen. Die Vorgänge in der Kupfer-Oxydulschicht auf der Oberfläche eines Kollektors, unter den Kohlenbürsten beim Stromübergang und die damit verbundenen Werkstoffragen bilden Gegenstand reizvoller Untersuchungen und Diskussionen [10]. Da aber praktisch das Verhalten eines Stromwenders in sehr hohem Masse von den elektrischen Daten der Maschine abhängt, wollen wir in diesem Rahmen auf eine eingehende Diskussion dieser Fragen verzichten.

Literatur

[1] *Burstyn, Walther.* Elektrische Kontakte und Schaltvorgänge. Grundlagen für den Praktiker. Berlin: Springer 1950.

[2] *Holm, Ragnar.* Die technische Physik der elektrischen Kontakte. Berlin: Springer 1941.

[3] *Gagel, Helmut,* und *Hans Dittler.* Werkstoffe für elektrische Kontakte. Elektrotechn. Z. Bd. 73(1952), Nr. 9, S. 292...294.

[4] *Keil, Albert,* und *Carl-Ludwig Meyer.* Über die Bildung von isolierenden Deckschichten auf Kontakten aus Verbundmetallen. Elektrotechn. Z. Bd. 73(1952), Nr. 2, S. 31...34.

[5] *Linckh, H. E.* Die Untersuchung der Werkstoffwanderung bei elektrischen Kontakten. Elektrotechn. Z. Bd. 72(1951), Nr. 3, S. 79...83.

[6] *Keil, Albert,* und *Carl-Ludwig Meyer:* Der Einfluss des Faserverlaufes auf die elektrische Verschleissfestigkeit von Wolfram-Kontakten. Elektrotechn. Z. Bd. 72(1951), Nr. 11, S. 343...346

[7] *Franken, H.* Schaltstückstoffe für Motorschaltgeräte. VDE-Fachber". Bd. 14(1950), S. 65.

[8] *Hofmann, F.,* und *L. Weiler.* Kohle als Kontaktwerkstoff für Schalt- und Steuergeräte. Elektrotechn. Z. Bd. 64(1943), Nr. 13/14, S. 181...184.

[9] *Müller-Hildebrand, D.* Flächenkontakte unter hoher Druckkraft. Wiss. Veröff". Siemens Bd. 20(1941), S. 85.

Adresse des Autors:
Ch. Caflisch, Reservoirstrasse 20, Wallisellen (ZH).