

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Band:	65 (1974)
Heft:	18
Artikel:	Über den Kontaktwiderstand bei steckbaren Steuerschützen
Autor:	Chaudhuri, P.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-915457

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: 26.01.2026

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

Über den Kontaktwiderstand bei steckbaren Steuerschützen

Von P. Chaudhuri

Die Bedeutung der Funktionssicherheit von Kontakten in den heutigen, umfangreichen Steuerkreisen und die Vorteile von steckbaren Steuerschützen werden erläutert. Es werden zwei mögliche Kontaktfehler betrachtet: der Spannungsfehler, d. h. zu hoher Spannungsabfall am Kontakt, und der Leistungsfehler, d. h. unzulässig hohe Erwärmung der Kontakte und der Umgebungsmaterialien. Eine Berechnungsmethode für die Grenzwerte des Kontaktwiderstandes für beide Fehlerarten wird beschrieben.

An zwei Ausführungen steckbarer Steuerschütze werden Messungen des Kontaktwiderstandes während der mechanischen Lebensdauer der Schütze durchgeführt, wobei u. a. der Einfluss des Überzugsmaterials der Kontakte (Ni, Ag), der Kontaktkraft und -form untersucht wird. Die Ergebnisse mit versilberten Steckkontakten zeigen, dass der Widerstand der Schaltkontakte bei neuen Kontakten mindestens 5mal grösser als der von neuen Steckkontakten ist; für gebrauchte Kontakte ist dieses Verhältnis noch grösser. Auch im äusserst unwahrscheinlichen Fall, dass die Widerstände von Steckkontakt und Schaltkontakt gleichzeitig den höchsten gemessenen Wert annehmen, liegt der Widerstandswert von 5 in Reihe geschalteten Kontakten (Steck- und Schaltkontakte) weit unter dem für funktionssichere Steuerkreise zulässigen Grenzwert. Die untersuchten steckbaren Steuerschütze mit versilberten Steckkontakten sind also in bezug auf die Kontaktsicherheit vollkommen unproblematisch, obwohl gegenüber nicht steckbaren Steuerschützen zusätzliche Stromübergangsstellen des Steckkontakte in Reihe mit dem Schaltkontakt vorhanden sind.

1. Einleitung

In den vergangenen 20 Jahren sind die elektrischen Steuerkreise durch die zunehmende Automatisierung umfangreicher geworden. Sie wirken sich damit stark auf die Produktivität von Industriebetrieben aus. In der gleichen Zeit sind die Unkosten infolge eines Produktionsausfalles erheblich gestiegen. Ein Versagen der Steuerung kann durch einen Fehler am Antriebssystem oder an den Kontakten eines Steuerschützes verursacht werden. Verwendet man steckbare Schütze, ist die Ausfallzeit kleiner als bei nicht steckbaren Schützen, denn das Schütz ist ohne Lösen der Anschlüsse schnell auszuwechseln.

Diese Arbeit befasst sich mit der Funktionssicherheit der Kontakte. Es soll gezeigt werden, dass ein gut konstruiertes steckbares Steuerschütz über seine gesamte mechanische Lebensdauer in bezug auf den Kontaktwiderstand vollkommen unproblematisch ist, obwohl gegenüber nicht steckbaren Steuerschützen zusätzliche Übergangsstellen durch den Steckkontakt in Reihe mit dem Schaltkontakt in dem Steuerstromkreis liegen.

2. Die Grenzwerte für den Kontaktwiderstand

In Fig. 1a ist das Schaltschema eines einfachen Steuerkreises dargestellt. Er besteht aus einem beliebigen Verbraucher und dem Kontakt eines Steuerschützes, der stellvertretend für beliebig viele in Reihe geschaltete Steuerkontakte steht. Die zulässige Grösse des Kontaktwiderstandes ist nicht absolut, sondern sie hängt von den Parametern des Steuerkreises ab. Der Verbraucher benötigt für seine sichere Funktionsweise eine minimale Spannung. Überschreitet der Spannungsabfall infolge des fliessenden Stromes an den Kontakten eine Grenze, so wird der Steuerkreis funktionsunfähig und man spricht, in dieser Arbeit, vom Spannungsfehler. Der sich daraus ergebende

621.316.53 : 621.316.541.2 : 537.311.4

L'importance d'un fonctionnement sûr des contacts dans les circuits de commande actuels, souvent très étendus, et les avantages de contacteurs enfichables, sont décrits. Deux défauts possibles des contacts sont: une trop forte chute de tension au contact et un échauffement excessif des contacts et des matières environnantes. L'auteur décrit une méthode de calcul des valeurs limites de la résistance de contact pour ces deux genres de défauts.

A deux exécutions de contacteurs de commande enfichables on a procédé à des mesures de la résistance de contact au cours de la durée de vie mécanique des contacteurs, en examinant notamment l'influence de la matière de revêtement des contacts (Ni, Ag), ainsi que de la force et de la forme de ceux-ci. Les résultats avec les contacts d'enfichage argentés montrent que la résistance des contacts de couplage est d'au moins 5 fois plus grande que celle des contacts d'enfichage pour des contacts neufs. Pour des contacts usagés, cette proportion est encore plus élevée. Même dans le cas très improbable où les résistances du contact d'enfichage et du contact de couplage atteindraient simultanément la même valeur maximale mesurée, la résistance de 5 contacts en série (d'enfichage et de couplage) est très inférieure à la valeur limite admissible pour un fonctionnement sûr de circuits de commande. Les contacteurs de commande enfichables examinés, avec contacts d'enfichage argentés, ne présentent donc aucun problème en ce qui concerne la sécurité de fonctionnement des contacts, malgré le fait que, par rapport à des contacteurs non enfichables, il y a en outre des endroits de passage de courant entre contact d'enfichage et contact de commande couplés en série.

Grenzwert für den Kontaktwiderstand muss für den einzelnen Anwendungsfall festgelegt werden. Ist der Verbraucher z. B. ein Schütz, gilt sicheres Anziehen als ein Kriterium für die Funktionsfähigkeit des Steuerkreises.

Ein anderer Fehlerfall liegt dann vor, wenn im Kontakt eine Verlustleistung erzeugt wird, die eine Erwärmung der Anschlüsse und der benachbarten Teile über die nach den internationalen Vorschriften angegebenen Grenzen bewirkt. Dieser Fall sei in der vorliegenden Arbeit mit Leistungsfehler bezeichnet; er ist von der gesamten Konstruktion des Steuerschützes abhängig.

Den Grenzwert des maximal zulässigen Spannungsabfalls am Kontakt, damit gerade kein Spannungsfehler auftritt, kann man mit Hilfe eines Ersatzschaltbildes (Fig. 1b) berechnen [Gl. (1)]. Der Spannungsabfall über der Steuerleitung ist nicht berücksichtigt.

$$U_{K\max} = U_{V\min} \left[\sqrt{\left(\frac{U_{B\min}}{U_{V\min}} \right)^2 - \sin^2 \varphi} - \cos \varphi \right] \quad (1)$$

Darin bedeuten: (Fig. 1):

I	Strom
R_V, X_V	Ohmscher und induktiver Widerstand des Verbrauchers
R_K	Kontaktwiderstand
U_B	Nennbetriebsspannung
$U_{B\min}$	minimale Betriebsspannung
U_K	Spannungsabfall über dem Kontakt
$U_{K\max}$	maximal zulässiger Spannungsabfall über dem Kontakt
U_V	Verbraucherspannung
$U_{V\min}$	minimal notwendige Verbraucherspannung
$\cos \varphi$	$R_V/Z_V \quad (Z_V = \sqrt{R_V^2 + X_V^2})$

Aus Gl. (1) ergibt sich der maximal zulässige Kontaktwiderstand $R_{KS\max}$ bei einem Strom I [Gl. (2)]:

$$R_{KS\max} = \frac{U_{V\min}}{I} \left[\sqrt{\left(\frac{U_{B\min}}{U_{V\min}} \right)^2 - \sin^2 \varphi} - \cos \varphi \right] \quad (2)$$

(Index S bei $R_{KS\max}$ bedeutet: Spannungsfehler)

Gl. (2) zeigt, dass in einem Steuerkreis die minimale Verbraucherspannung immer kleiner sein muss als die minimale Betriebsspannung, da bei Gleichheit der Spannungswerte der Kontaktwiderstand gleich Null sein müsste. Als Beispiel sei ein Steuerkreis mit einem Schütz als Verbraucher betrachtet. Dann gelten folgende Werte:

$$U_{V\min} = 0,85 U_B \text{ (vgl. IEC 158-1, 1970)}$$

$$\cos \varphi \approx 0,65 \quad (\text{Schütz beim Anziehen})$$

Der untere Grenzwert für die Betriebsspannung kann für übliche Netze mit

$$U_{B\min} = 0,9 U_B$$

angenommen werden.

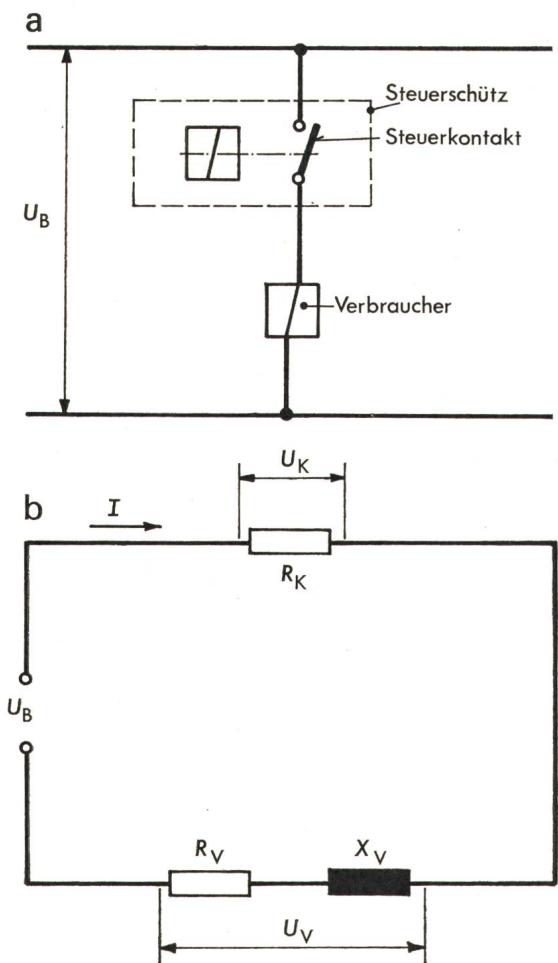


Fig. 1 Beispiel eines einfachen Steuerkreises

a Schalschema

b Ersatzschaltbild

U_B Nennbetriebsspannung

U_K Spannungsabfall über dem Kontakt

U_V Verbraucherspannung

I Strom

R_K Kontaktwiderstand

R_V Ohmscher Widerstand des Verbrauchers

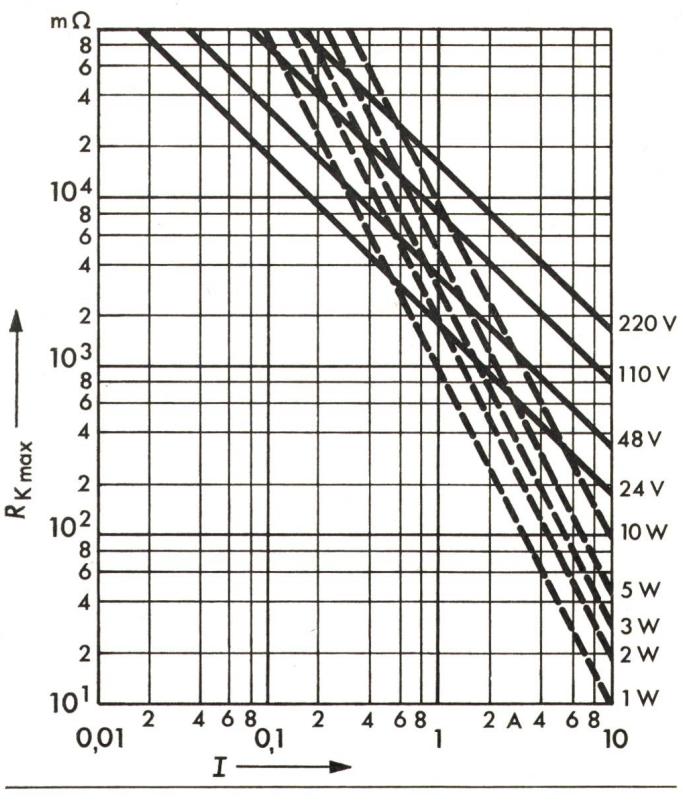


Fig. 2 Grenzwerte des Kontaktwiderstandes in Abhängigkeit vom Strom

— Spannungsfehlergrenzen

- - - Leistungsfehlergrenzen

Voraussetzungen: $U_{V\min} = 0,85 U_B$

$\cos \varphi = 0,65$

$U_{B\min} = 0,9 U_B$

Parameter: $U_B = 24 \dots 220 \text{ V}$

$P_K = 1 \dots 10 \text{ W}$

I Strom

$R_{K\max}$ Grenzwert des Kontaktwiderstandes

Setzt man diese Werte in Gl. (2) ein, so erhält man für den Grenzwert des Kontaktwiderstandes die Beziehung [Gl. (3)]:

$$R_{KS\max} = 0,0742 \frac{U_B}{I} \quad (3)$$

Die durchgezogenen Linien in Fig. 2 zeigen die Grenzwerte des Kontaktwiderstandes in Abhängigkeit vom Strom nach Gl. (3) mit der Nennbetriebsspannung U_B als Parameter.

Zur allgemeineren Anwendung der Fig. 2 kann man die Widerstandsgrenzwerte auf den gesamten Steuerkreis mit Steuerleitung übertragen, d. h., der gesamte Widerstand im Kreis ohne Verbraucherwiderstand muss für eine sichere Funktionsweise kleiner als der Grenzwert sein. Diese Bedingungen stellen hohe Anforderungen an Steuerkreise, denn bereits nur eine Kupferleitung von 10 m Länge und einem Querschnitt von 1 mm^2 würde die Steuerung bei 24 V und 10 A funktionsunfähig machen.

Den Grenzwert des Kontaktwiderstandes für einen Leistungsfehler berechnet man nach Gl. (4) aus der zulässigen Verlustleistung $P_{KL\max}$ (die durch einen Erwärmungsversuch bestimmt wird) und dem Strom:

$$R_{KL\max} = \frac{P_{KL\max}}{I^2} \quad (4)$$

(Index L bei $R_{KL\max}$ bedeutet: Leistungsfehler)

Die gestrichelten Linien in Fig. 2 zeigen den Verlauf der Widerstandsgrenzwerte für einen Leistungsfehler in Abhängig-

keit vom Strom für verschiedene Grenzleistungen. Die Grenzleistungen der untersuchten Steuerschütze liegen bei 2...3 W pro Strompfad.

Die Beziehungen für Gleichstrombetrieb erhält man durch Einsetzen von $\cos \varphi = 1$ und $\sin \varphi = 0$ in die Gl. (1) und (2).

Als Beispiel für die Bestimmung der Grenzwerte des zulässigen Kontaktwiderstandes sei ein Steuerkreis mit einem Schütz als Verbraucher betrachtet:

– Wechselstrombetrieb:

Um ein sicheres Anziehen des Schützes zu gewährleisten, muss der Grenzwert des Kontaktwiderstandes für den Spannungsfehler mit dem Anzugsstrom berechnet werden, der bis zu 25mal grösser als der Haltestrom sein kann. Der Grenzwert für den Leistungsfehler wird aus dem Haltestrom bestimmt.

– Gleichstrombetrieb mit Sparschaltung:

Es gelten die gleichen Regeln wie bei Wechselstrom.

– Gleichstrombetrieb ohne Sparschaltung:

Der Anzugs- und der Haltestrom sind gleich gross (= Spulenstrom) und bestimmen damit den Grenzwert des Kontaktwiderstandes sowohl für Spannungsfehler als auch für Leistungsfehler.

3. Der Widerstand des Steckkontakte

Steckbare Steuerschütze weisen im Gegensatz zu nicht steckbaren Schützen zusätzliche Stromübergangsstellen des Steckkontakte zwischen dem Anschluss der Steuerleitung und dem schaltenden Kontakt auf. Die Fig. 3 und 4 zeigen die Baugruppen der untersuchten steckbaren Schütze: Anschlusssockel und Steckeinheit, d. h. Antrieb mit den Kontakten. Bei der Ausführung A (Fig. 3) sind die Kontakte an den Antrieb ansteckbar (Kontakteinsatz), die Ausführung B (Fig. 4) besitzt sowohl ansteckbare als auch fest mit dem Antrieb verbundene Schaltkontakte. Die Bewegung des Magnetsystems beim Schalten bewirkt eine Relativbewegung zwischen dem An-

schlußsockel und der Steckeinheit. Dadurch entsteht eine Reibung zwischen den Teilen des Steckkontakte, die einen Verschleiss des auf ein Grundmaterial aufgebrachten Überzugsmaterials bewirken. Fig. 5a zeigt die Übergangsstelle am versilberten Messingkontakt eines Kontakteinsatzes, nachdem das Schütz 25 Mill. Schaltungen, entsprechend seiner mechanischen Lebensdauer, durchgeführt hat. Die Silberschicht ist an der Berührungsfläche mit dem entsprechenden Kontaktteil im Anschlusssockel praktisch vollständig abgenutzt (Fig. 5b). Auf dem dann hervortretenden Basismaterial des Kontaktes kann sich eine Fremdschicht bilden, die einen höheren Kontaktwiderstand bewirkt.

Messungen (Abschnitt 5, Absatz b) werden zeigen, dass Silber eine mikroskopisch nach Fig. 5b nicht feststellbare «Schmierschicht» bildet, wodurch der Kontaktwiderstand praktisch nicht zunimmt.

Die wichtigsten Faktoren, die den Verschleiss und damit den Kontaktwiderstand des Steckverbinder beeinflussen, sind: Überzugsmaterial, Dicke und Herstellungsverfahren des Überzuges, Fertigungsverfahren der Berührungsflächen (z. B. Stangen, Walzen), Kontaktform und Kontaktkraft. Aus Zeit- und Kostengründen beschränkt man sich auf die im folgenden beschriebenen Untersuchungen, die die wichtigsten Betriebsbedingungen der Praxis umfassen.

4. Messanordnung und Versuchsdurchführung

Bei einem steckbaren Steuerschütz setzt sich der Kontaktwiderstand aus dem Widerstand des Schaltkontakte, des Steckkontakte und des Schraubanschlusses zusammen. In Fig. 6 ist der prinzipielle Aufbau eines Kontakteinsatzes mit Anschlusssockel dargestellt, wie er bei den Untersuchungen benutzt wird. Der Widerstand des Schaltkontakte kann zwi-

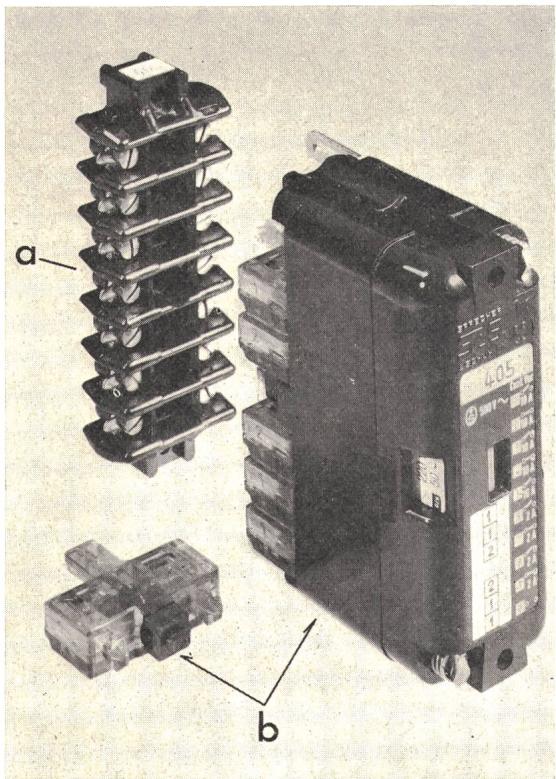


Fig. 3 Baugruppen des Steuerschützes A

- a Anschlusssockel
- b Steckeinheit: Antrieb und Kontakte

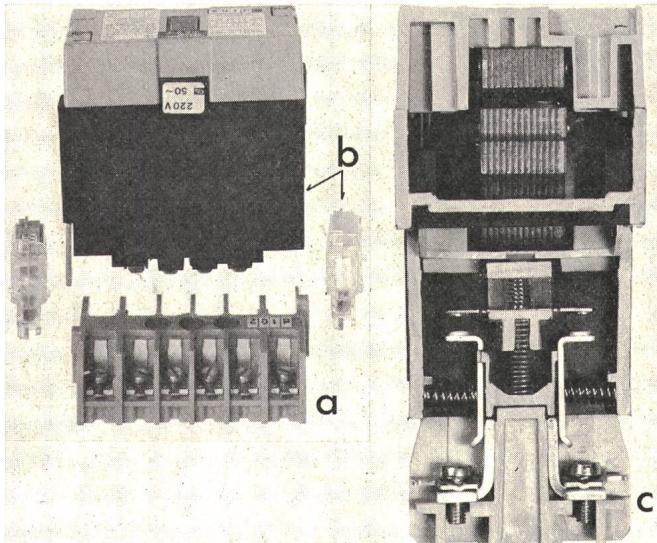


Fig. 4 Baugruppen des Steuerschützes B

- a Anschlusssockel
- b Steckeinheit: Antrieb und Kontakte
- c Schnitt durch den fest mit dem Antrieb verbundenen Kontakt und den Anschlusssockel

schen den Punkten *c* und *c'* gemessen werden. Unter dem Widerstand des Steckkontakte wird der zwischen den Punkten *b* und *b'* gemessene Wert verstanden, wenn der Schaltkontakt (*c*–*c'*) durch eine angelötete niederohmige Litze überbrückt ist. Schalt- und Steckkontakte haben je 2 Übergangsstellen. Der

Widerstand des Schraubanschlusses ist zwischen *a*–*b* und *a'*–*b'* zu messen.

Wie bereits im Abschnitt 3 erläutert wurde, hängt der Kontaktwiderstand u. a. von der Anzahl der Schaltungen des Schützes ab. Daher werden die Messungen der Kontaktwiderstände an neuen Kontakten und in Abständen während des mechanischen Dauerlaufes des Schützes durchgeführt. Die ungünstigste Bedingung für den Widerstand des Schaltkontakte ist das stromlose Ein- und Ausschalten, weil dann die Kontaktobерflächen nicht durch den Lichtbogen gereinigt werden. Daher werden die Kontakte während der Dauerversuche stromlos geschaltet.

Der Kontaktwiderstand wird nach der üblichen Strom-Spannungsmethode gemessen, d. h., es wird der Spannungsabfall über dem Kontakt bei einem bestimmten Strom gemessen, und daraus wird der Widerstand berechnet. Der Meßstrom wird durch einen Vorwiderstand in Reihe mit der Spannungsquelle eingestellt und kann damit als eingraviert betrachtet werden. Die Ein- und Ausschaltung des Messkreises übernimmt ein Schütz.

Die treibende Spannung des Messkreises und die Meßströme werden im Bereich der beim Schalten von Schützmagneten vorkommenden Größen gewählt. Sie liegen oberhalb von 12 V bzw. etwa 100 mA. Um zu untersuchen, wie sich der Kontaktwiderstand mit zunehmendem und abnehmendem Strom ändert, wird bei einem Teil der Messungen der Strom nach dem Zyklus 0,1–1–6–1–0,1 A nach jeder Meßschaltung variiert und bei jedem Strom der Spannungsabfall am Kontakt gemessen. Gleichzeitig erhält man durch diese Messung nach jeder Schaltung drei Messwerte für verschiedene Meßströme. Alle

Messungen werden mit Wechselspannung (50 Hz) durchgeführt.

Im allgemeinen liegen in einem Steuerkreis nur 2...3 Kontakte in Reihe, doch sind Kreise mit 5...10 Kontakten möglich. Bei vielen Anwendungen liegen 5 oder weniger Kontakte in Reihe. Daher wird bei einem Teil der Versuche der Widerstand von 5 in Reihe geschalteten Kontakten gemessen.

Um die Grösse der Widerstände der Steck- und Schaltkontakte vergleichen zu können, werden drei verschiedene Messreihen durchgeführt:

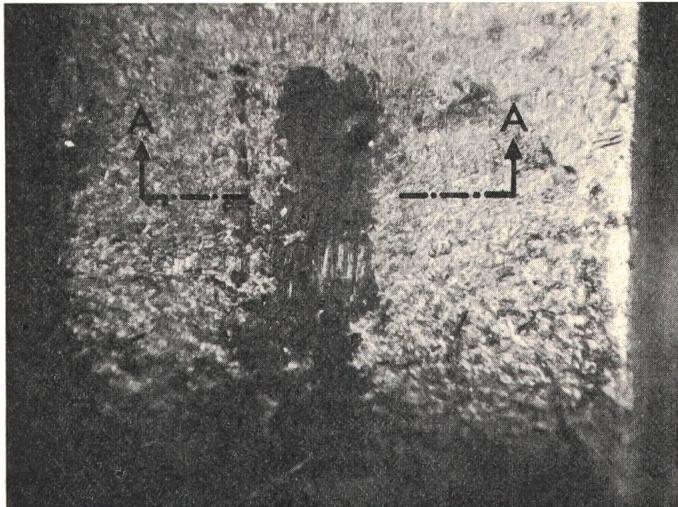
- a) Steckkontakt allein: 5 Steckkontakte in Reihe, Schaltkontakte kurzgeschlossen Stromzyklus 0,1–1–6–1–0,1 A
- b) Schaltkontakt allein: 5 Schaltkontakte in Reihe, Steckkontakte kurzgeschlossen Stromzyklus 0,1–1–6–1–0,1 A
- c) Kontaktschleife: 1 Schaltkontakt und 1 Steckkontakt in Reihe Strom: 0,1 und 1 A

Ausserdem werden die Widerstände des Schraubanschlusses (Fig. 6) gemessen. Das Versuchsprogramm ist ausführlich in Tabelle I dargestellt.

5. Messergebnisse

Bei den Messungen, entsprechend den Varianten 1...7 (siehe Tabelle I), zeigt sich, dass sich der Widerstand des Steckkontakte mit der Grösse des Stromes ändert. In Fig. 8 ist als ein typisches Beispiel der Spannungsabfall an einem Steckkontakt und der daraus berechnete Widerstandswert in Abhängigkeit vom Strom dargestellt, wobei der Strom in einem stufenlosen

a



b

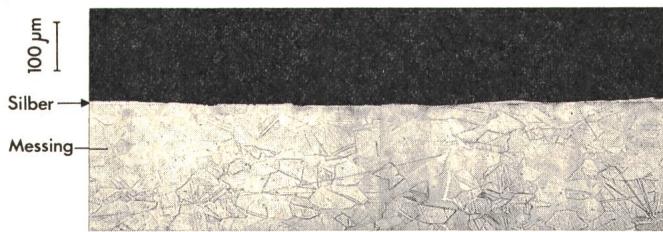


Fig. 5 Übergangsstelle eines versilberten (4 μm) Messingkontakte eines Kontakteneinsatzes nach 25 Mill. Schaltungen

a Vergrösserung ca. 20×

b Schnitt A–A'; Vergrösserung ca. 150×

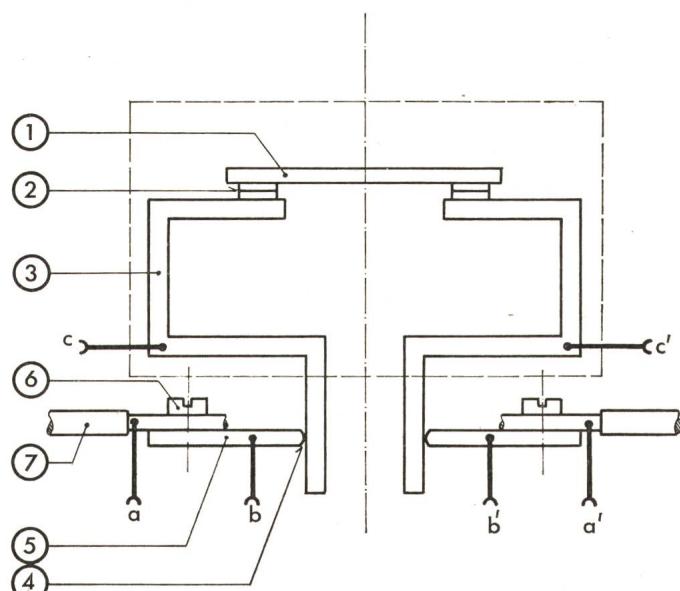
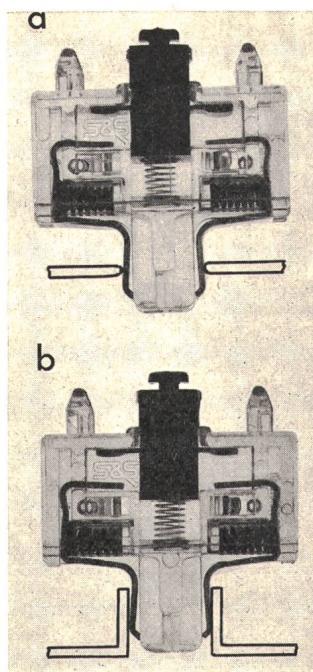


Fig. 6 Schematische Darstellung der Kontakte im Kontakteneinsatz und Anschlußsockel und Kennzeichnung der Abschnitte für die Widerstandsmessung

- | | |
|---|--------------------|
| 1 beweglicher Teil des Schaltkontakte | } Kontakteneinsatz |
| 2 Übergangsstelle des Schaltkontakte | |
| 3 fester Teil des Schaltkontakte und gleichzeitig steckbarer Teil des Steckkontakte | |
| 4 Übergangsstelle des Steckkontakte | } Anschlußsockel |
| 5 fester Teil des Steckkontakte | |
| 6 Anschlußschraube | |
| 7 Anschlussdraht | |
| a–b' b'–a' | Schraubanschluss |
| b–b' (c–c' überbrückt) | Steckkontakt |
| c–c' | Schaltkontakt |

Fig. 7

Schematische Darstellung der beiden untersuchten Steckkontakte
Die Berührungsfläche des steckbaren Teiles ist gewalzt
a Berührungsfläche des festen Teiles: gestanzt
b Berührungsfläche des festen Teiles: gewalzt



Zyklus von 0 auf 7,5 A und wieder auf 0 A variiert wurde. Aufgrund dieser Erscheinung sind in den Histogrammen (Fig. 9) nur die Messergebnisse bei ansteigendem Strom dargestellt.

Bei Variante 8 (Schaltkontakte) konnte man die gleiche Erscheinung nicht feststellen. Daher werden in den Histogrammen (Fig. 10) alle Messwerte aufgetragen.

Die Messungen haben für die verschiedenen, betrachteten Bedingungen folgende Ergebnisse gebracht:

a) Nickel als Überzugsmaterial für die Steckkontakte bewirkt hohe Widerstandswerte und eine Streuung in einem weiten Bereich (Fig. 9c-9e). Zwischen den Ergebnissen der Messungen bei 220 V und 24 V sind praktisch keine Unterschiede festzustellen (Fig. 9d und 9e). Die Dicke des Überzuges hat ebenfalls wenig Einfluss auf die Grösse der Kontaktwiderstände (Fig. 9c und 9d). Eine grössere Streuung der Widerstandswerte, hervorgerufen durch starken Verschleiss des Überzuges, tritt bereits nach ca. 3 Mill. Schaltungen auf (Fig. 9c-9e).

b) Bei versilberten Kontakten streuen die Widerstandswerte der Steckkontakte bis 25 Mill. Schaltungen sehr wenig (Fig. 9a und 9b, 9f und 9g). Die Dicke des Überzuges hat wenig Einfluss (Fig. 9a und 9b). Mit den Kontakten der Varianten 2, 6 und 7 wurden die Versuche bis 75 Mill. Schaltungen weitergeführt; die Streuung blieb aber ungefähr gleich wie nach 25 Mill. Schaltungen.

Versuchsprogramm

Tabelle 1

Variante	Schütz	Anzahl Prüflinge \times Anzahl Messungen (pro Strom)	Anzahl Kontakte in Reihe		Strom A	Treibende Spannung V	Steckkontakte			Fig. Nr.	Bemerkungen
			Steckkontakt	Schaltkontakt			Material u. Dicke des Überzuges μm	Fertigungsverfahren der Berührungsflächen	Kontaktkraft p		
1	A	3 \times 5	5	—	0,1-1-6-0,1	220	Ag/ca. 25	gewalzt	gestanzt	ca. 840	9a
2	A	3 \times 5	5	—	0,1-1-6-0,1	220	Ag/ \geq 4	gewalzt	gestanzt	ca. 840	9b
3	A	3 \times 5	5	—	0,1-1-6-0,1	220	Ni/ca. 20	gewalzt	gestanzt	ca. 840	9c
4	A	3 \times 5	5	—	0,1-1-6-0,1	220	Ni/ \geq 4	gewalzt	gestanzt	ca. 840	9d
5	A	3 \times 5	5	—	0,1-1-6-0,1	24	Ni/ \geq 4	gewalzt	gestanzt	ca. 840	9e
6	A	3 \times 5	5	—	0,1-1-6-0,1	220	Ag/ \geq 4	gewalzt	gewalzt	ca. 840	9f
7	A	3 \times 5	5	—	0,1-1-6-0,1	220	Ag/ \geq 4	gewalzt	gewalzt	ca. 280	9g
8	A	3 \times 20	—	5	0,1-1-6-0,1	220	—	—	—	—	10
9	B	10 \times 500	1	1	0,1	220	Ag/ \geq 4	gewalzt	gewalzt	ca. 600	11
10	B	10 \times 500	1	1	1	220	Ag/ \geq 4	gewalzt	gewalzt	ca. 600	11

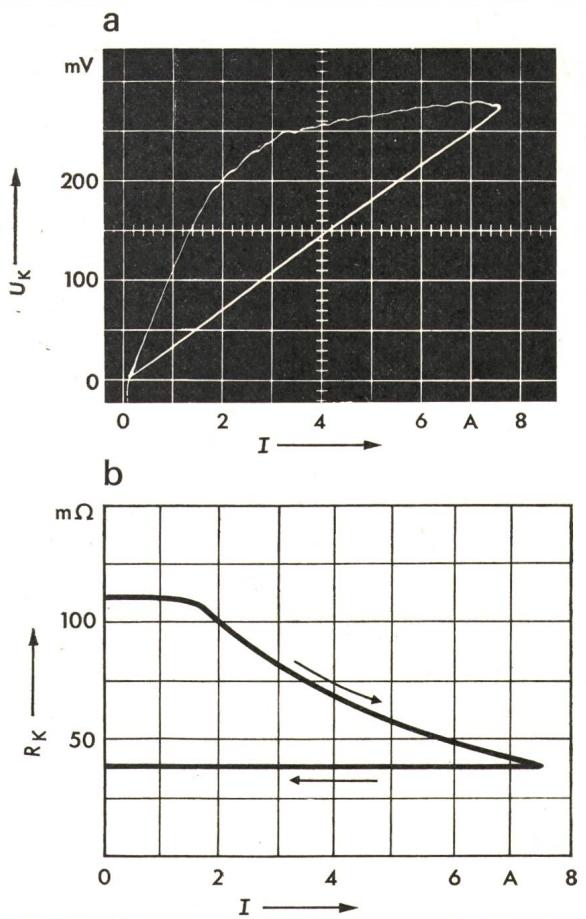


Fig. 8 Beispiel des Spannungsabfalls U_K an einem Steckkontakt und der daraus berechnete Wert des Widerstandes R_K in Abhängigkeit vom Strom I bei einem Zyklus 0...7,5...0 A
a Verlauf des Spannungsabfalls
b berechneter Widerstand des Steckkontakte nach a

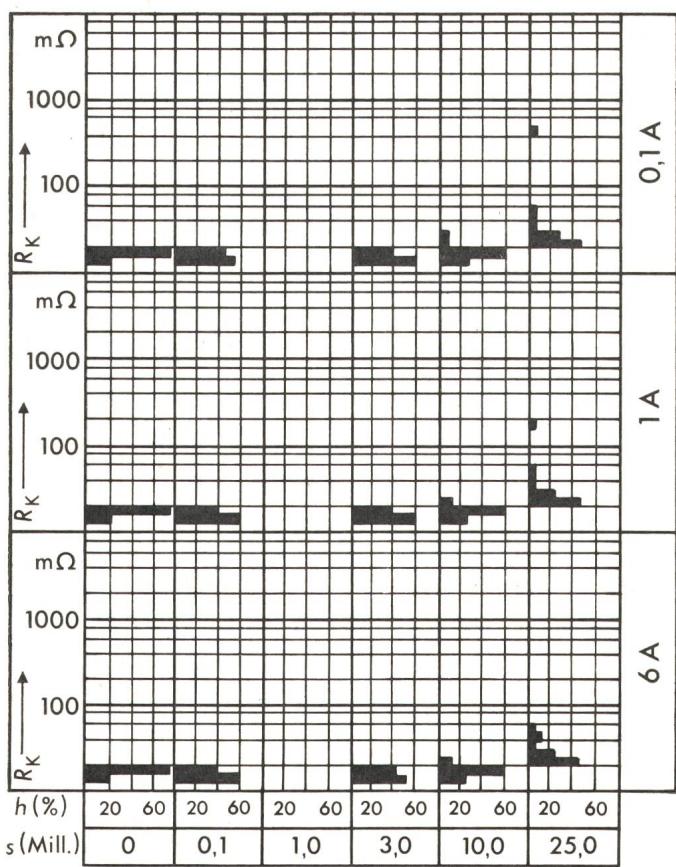
c) Das Fertigungsverfahren der Berührungsflächen der Kontaktstücke der Steckkontakte (Walzen oder Stanzen) bewirkt keine Unterschiede der Widerstandswerte (Fig. 9b und 9f).

d) Der Kontaktdruck hat in dem untersuchten Bereich (zwischen ca. 280 und 840 p pro Übergangsstelle) einen unbedeutenden Einfluss (Fig. 9f und 9g) auf den Widerstand der Steckkontakte.

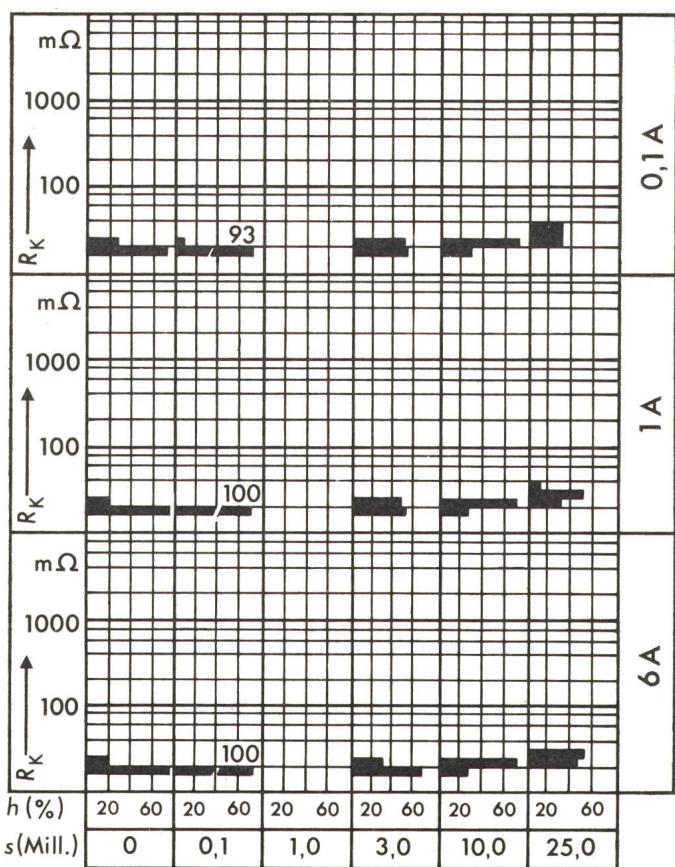
e) Die Widerstandswerte von einzelnen Kontaktenschleifen (Var. 9 und 10 – Schütz B) liegen weit unter der nach Fig. 2 zulässigen Spannungsfehlergrenze (Fig. 11).

f) Bei der Messung der Widerstandswerte der Steckkontakte und Schaltkontakte wird der Widerstand der stromführenden Leiter-

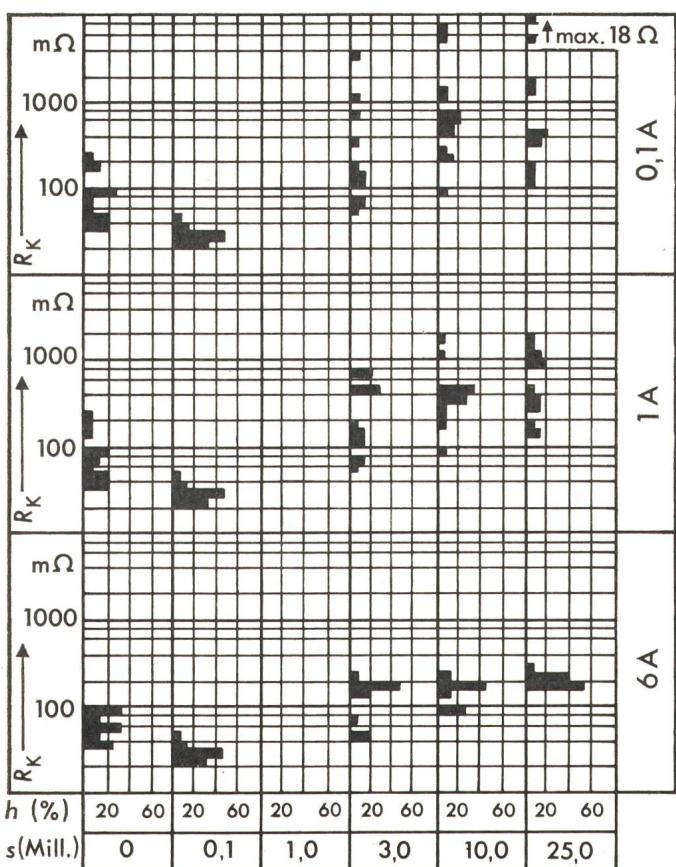
a



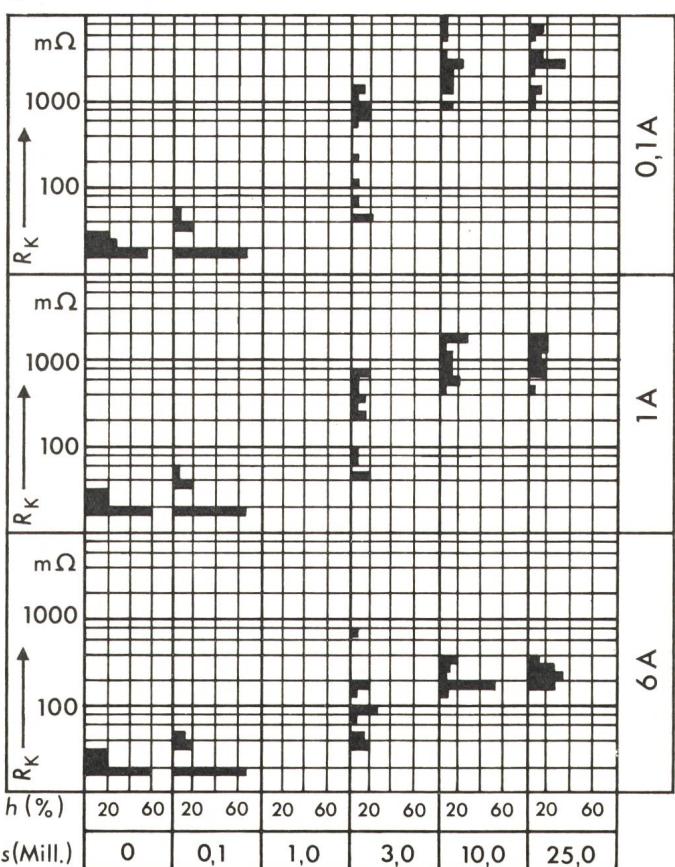
b



c



d



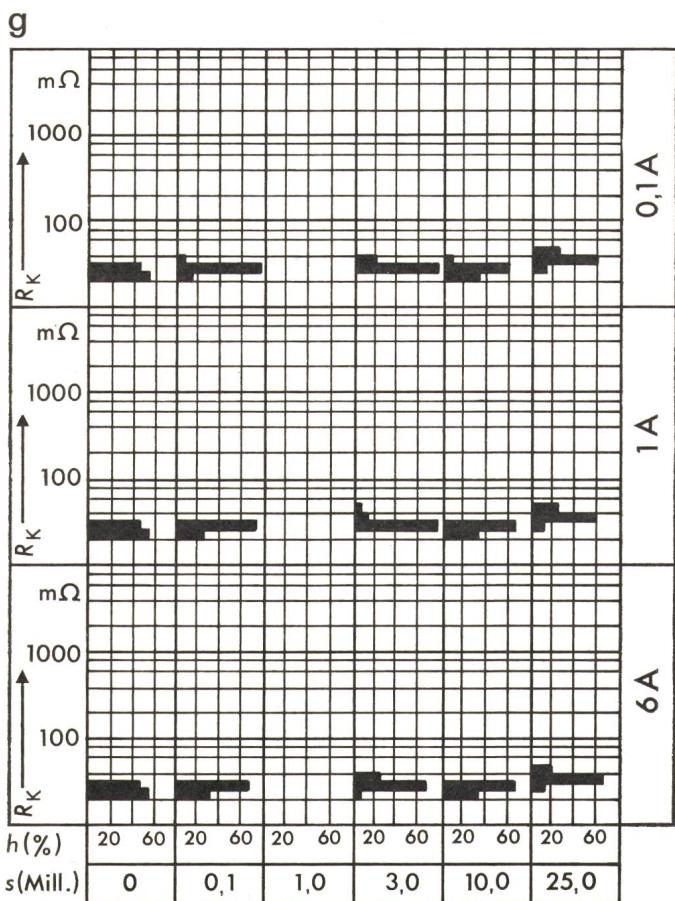
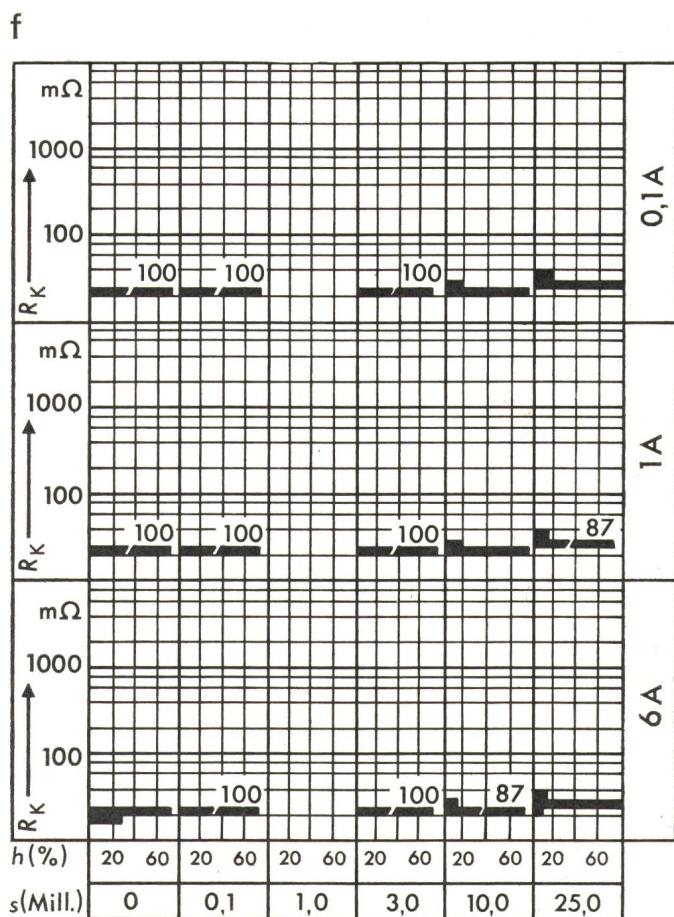
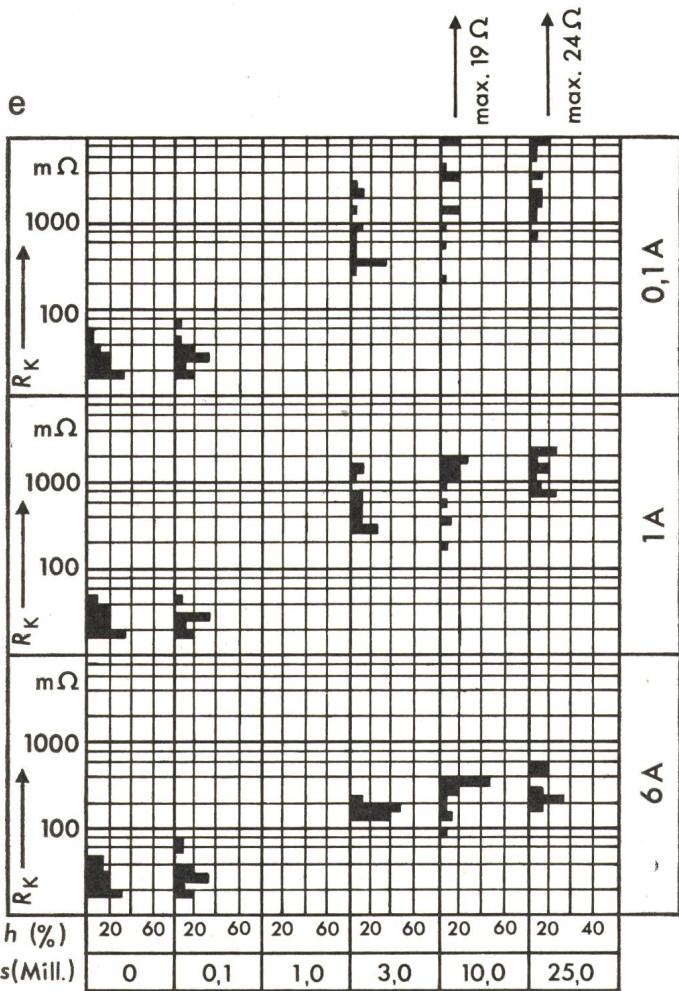


Fig. 9 Relative Häufigkeit h der gemessenen Werte der Kontaktwiderstände R_K bei verschiedenen Meßströmen in Abhängigkeit von der durchgeführten Anzahl Schaltungen s , Steuerschütz A

5 Steckkontakte in Reihe, Schaltkontakte überbrückt
Anzahl der Messungen pro Strom und Schaltzahl: 15;
Meßströme: 0,1; 1; 6 A

Treibende Spannung: 220 V, nur Variante 5: 24 V; 50 Hz;
Widerstandswert der Leiterbahn ca. 14 mΩ

Fertigungsverfahren der Berührungsflächen des Steckkontakte:
steckbarer Teil gewalzt
fester Teil gestanzt, nur Variante 6 + 7: gewalzt

a Variante 1:

Überzugsmaterial und Dicke: Ag, ca. 25 µm
Kontaktkraft pro Kontaktstelle: ca. 840 p

b Variante 2:

Überzugsmaterial und Dicke: Ag, ≥ 4 µm
Kontaktkraft pro Kontaktstelle: ca. 840 p

c Variante 3:

Überzugsmaterial und Dicke: Ni, ca. 20 µm
Kontaktkraft pro Kontaktstelle: ca. 840 p

d Variante 4:

Überzugsmaterial und Dicke: Ni, ≥ 4 µm
Kontaktkraft pro Kontaktstelle: ca. 840 p

e Variante 5:

Überzugsmaterial und Dicke: Ni, ≥ 4 µm
Kontaktkraft pro Kontaktstelle: ca. 840 p
Treibende Spannung: 24 V, 50 Hz

f Variante 6:

Überzugsmaterial und Dicke: Ag, ≥ 4 µm
Kontaktkraft pro Kontaktstelle: ca. 840 p
Fester Teil des Steckkontakte: gewalzt

g Variante 7:

Überzugsmaterial und Dicke: Ag, ≥ 4 µm
Kontaktkraft pro Kontaktstelle: ca. 280 p
Fester Teil des Steckkontakte: gewalzt

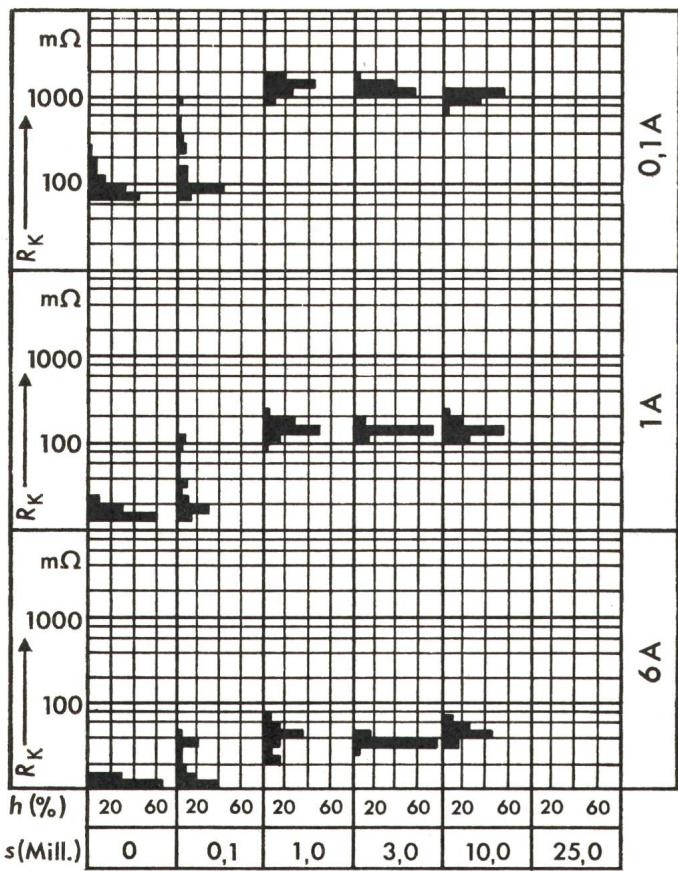


Fig. 10 Relative Häufigkeit h der gemessenen Werte der Kontaktwiderstände R_K bei verschiedenen Meßströmen in Abhängigkeit von der durchgeführten Anzahl Schaltungen s , Steuerschütz A
 5 Schaltkontakte in Reihe, Steckkontakte überbrückt
 Anzahl der Messungen pro Strom und Schaltzahl: 60
 Meßströme 0,1–1–6–1–0,1 A (Zyklus)
 Treibende Spannung: 220 V, 50 Hz
 Widerstandswert der Leiterbahn ca. 6 mΩ

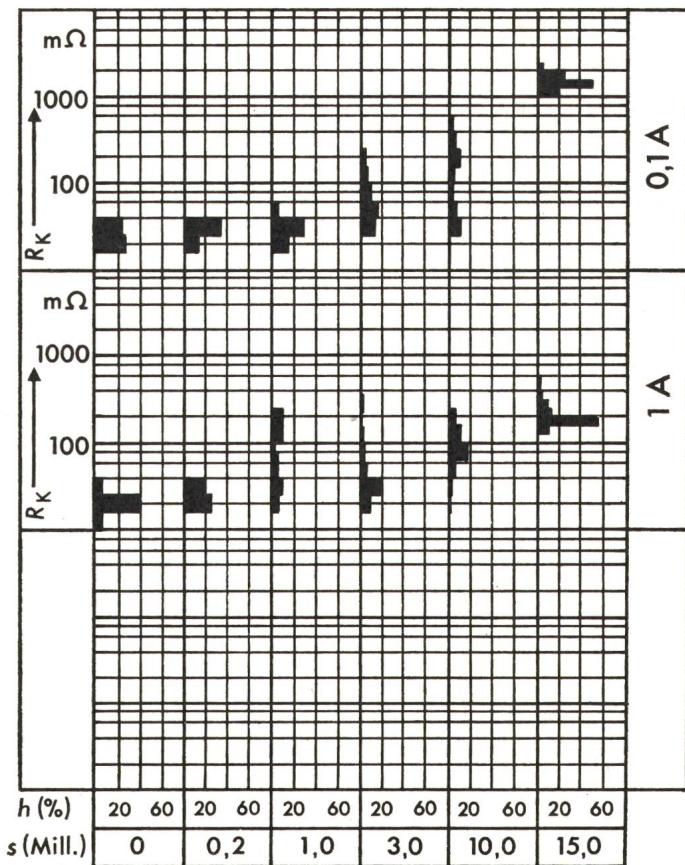


Fig. 11 Relative Häufigkeit h der gemessenen Werte der Kontaktwiderstände R_K bei verschiedenen Meßströmen in Abhängigkeit von der durchgeführten Anzahl Schaltungen s , Steuerschütz B
 1 Steckkontakt und 1 Schaltkontakt in Reihe
 Anzahl der Messungen pro Strom und Schaltzahl: 5000
 Meßströme 0,1 und 1 A
 Treibende Spannung: 220 V, 50 Hz
 Widerstandswert der Leiterbahn ca. 2 mΩ
 Fertigungsverfahren der Berührungsflächen des Steckkontakte:
 steckbarer Teil und fester Teil gewalzt
 Überzugsmaterial und Dicke: Ag, $\geq 4 \mu\text{m}$
 Kontaktkraft des Steckkontakte: ca. 600 p

bahnen zur Stromübergangsstelle mitgemessen. Der Widerstand der Leiterbahn bei der Messung nach Varianten 1–7 beträgt 14 mΩ; bei Variante 8 6 mΩ und bei den Varianten 9 und 10 2 mΩ. Der Widerstand eines Schraubanschlusses liegt zwischen 0,5 und 1,5 mΩ.

g) Der Widerstand von 5 Schaltkontakten in Reihe ist mehr als 5mal grösser als der von 5 Steckkontakten in Reihe (Fig. 9b, 9f, 10). Berücksichtigt man den Widerstand der Leiterbahnen, zeigt sich, dass das Verhältnis der Widerstände der Übergangsstellen noch grösser ist.

h) Tritt bei versilberten Steckkontakten der ausserordentlich unwahrscheinliche Fall auf, dass die Schalt- und Steckkontakte gleichzeitig die maximalen Widerstandswerte aufweisen, liegt der Gesamtwiderstand von 5 Kontakten in Reihe (Schalt- und Steckkontakte) mit Abstand unter der nach Fig. 2 zulässigen Spannungsfehlergrenze (Fig. 9b und 10).

i) Die Widerstandswerte der versilberten Steckkontakte liegen auch unterhalb der Grenzwerte für einen Leistungsfehler.

6. Zusammenfassung

Nickel ist als Überzugsmaterial für die Steckkontakte der verwendeten Steuerschütze nicht geeignet, wenn sie unter den Versuchsbedingungen eingesetzt werden. Versilbert man jedoch die Steckkontakte, so ist der Kontaktwiderstand klein und die Streuung der gemessenen Werte gering über den gesamten

Bereich der mechanischen Lebensdauer der untersuchten Steuerschütze. Mehr als 100000 Messungen haben gezeigt, dass die Grösse des Kontaktwiderstandes für praxisnahe Bedingungen weit unter den Grenzen für Spannungsfehler und Leistungsfehler liegt. Die untersuchten steckbaren Steuerschütze mit versilberten Steckkontakten sind also in bezug auf den Kontaktwiderstand vollkommen unproblematisch.

Der Autor dankt Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Haars für die wertvolle Mitarbeit an der Verfassung des Manuskriptes.

Adresse des Autors:

P. Chaudhuri, dipl. Ingenieur, Sprecher + Schuh AG, 5001 Aarau.