

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 57 (1966)
Heft: 21

Artikel: Eine Betrachtung von Prüfstromkreisen für Steuer-Schalter (Control-switches)
Autor: Kirchdorfer, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916642>

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: 05.04.2026

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

Eine Betrachtung von Prüfstromkreisen für Steuer-Schalter (Control-switches)

Von J. Kirchdorfer, Solothurn

621.316.54.001.4

Bei der Ausarbeitung der CEI-Empfehlungen¹⁾ für die Prüfung von Steuerschaltern (control-switches) wurde von der zuständigen Arbeitsgruppe für die Prüfung des Abschaltvermögens in einem Dokument ein Prüfstromkreis vorgeschlagen, welcher im Aufbau dem für Motorschalter gültigen Prüfstromkreis ähnlich ist, aber einen kleineren Parallelwiderstand aufweist. Anlässlich der Diskussion des entsprechenden Dokumentes an der Generalversammlung der CEI in Tokio wurde dieser Prüfstromkreis von verschiedenen Seiten kritisiert, wobei stark divergierende Meinungen zum Ausdruck kamen. Die folgende Betrachtung will sich mit der Frage auseinandersetzen, ob die für Steuerschalter empfohlenen Prüfstromkreise als brauchbare Nachbildungen der praktischen Betriebsbedingungen angesehen werden können. Die Betrachtung beschränkt sich auf die Prüfstromkreise für Wechselstrom. Sie stützt sich auf Versuchsdaten, welche zu einer von der CEI-Arbeitsgruppe veranlassten Studie von den Firmen

Allen-Bradley Co., Milwaukee (USA),
AG Brown, Boveri & Cie., Baden (Schweiz)
Cie. Electro-Mécanique, Paris (Frankreich)
Ghielmetti AG, Solothurn (Schweiz)
Carl Meier & Cie., Schaffhausen (Schweiz)
«Saia» AG für Schaltapparate, Murten (Schweiz)
Sprecher & Schuh AG, Aarau (Schweiz)
Watford Electric and Manufacturing Co. Ltd., Herts
(Grossbritannien)

zur Verfügung gestellt wurden.

1. Allgemeines

Die Aufstellung eines Ersatzstromkreises verfolgt stets den Zweck, die Betriebskriterien von Verbrauchern mit relativ grosser Streuung durch eine Konvention in der Art nachzubilden, dass diese Nachbildung die Betriebsbedingungen der gebräuchlichsten Last möglichst gut simuliert.

Im Falle der Steuerschalter (control-switches), welche man in Deutschland auch als «Schalter für Hilfsstromkreise» bezeichnet, werden meist die Spulen von Schützen geschaltet. Daher ist der Prüfstromkreis für diese Lastart (coil-duty) ausgelegt worden.

Bei den Schützen-Spulen ist bekanntlich das Phänomen zu beobachten, dass der «Anzugsstrom» viel grösser ist als der «Haltestrom» (siehe Fig. 1), weil beim offenen Magnet die induktive Reaktanz wesentlich weniger beträgt als dies beim geschlossenen der Fall ist.

Man war zunächst bemüht — ähnlich wie bei den Motoren — die Kriterien einer «Normalspule» festzulegen, mit einem bestimmten Verhältnis von Einschalt- zu Ausschaltstrom bzw. unterschiedlichen Leistungsfaktoren, und entsprechende «Verwendungsklassen» für Steuerschalter festzulegen. Da aber bei den Schützenspulen dieses Stromverhältnis von etwa 3 : 1 bis 30 : 1 variiert (Fig. 2), schien eine Einigung auf eine bestimmte Norm (z. B. 10 : 1) so schwierig, dass man sich entschloss, den Einschaltvorgang und den Ausschaltvorgang getrennt zu betrachten und auch getrennt zu prüfen.

Um die Prüfstromkreise für die Prüfung von Steuerschaltern im Rahmen einer Konvention beurteilen zu können, ist es demnach zweckmässig, diese gesondert zu betrachten auf:

¹⁾ CEI = Commission Electrotechnique Internationale.

- a) die Prüfung des Abschaltvermögens und der Kontaktlebensdauer im Normalbetrieb;
- b) die Prüfung des Einschaltvermögens;
- c) die Prüfung des Abschaltvermögens bei abnormalen Betriebsbedingungen (blockiertem Magnet).

2. Aufbau des Prüfstromkreises für die Ermittlung des Abschaltvermögens und der Kontaktlebensdauer im Normalbetrieb

Eine Schützenspule kann als ein sekundär kurzgeschlossener Transformator mit sehr hoher Streuinduktivität aufgefasst werden, dessen Ersatzschaltbild in Fig. 3a angegeben ist. Der grösste Teil der Wirkverluste tritt im Eisen auf. Die Anteile der Kupferverluste der Spule und des Kurzschlussringes sind verhältnismässig klein, insbesondere bei grossen Schützen.

Von dem Prüfstromkreis, welcher wegen der Reproduzierbarkeit der Schaltkreisdaten aus Luftdrosselspulen und Widerständen aufgebaut werden soll, verlangt man ausreichende Ähnlichkeit im transienten Verhalten, weil durch die Steilheit und Höhe der wiederkehrenden Spannung die Wahrscheinlichkeit des Wiederspügens des Lichtbogens bestimmt wird. Ein Prüfstromkreis soll aber auch einfach sein. Als Kompromiss aus beiden Anforderungen drängte sich daher eine prinzipielle Lösung auf, wie man sie im Rahmen der CEI auch für die Motorschalter vorgesehen hat, nämlich einen Ersatzstromkreis gemäss Fig. 3b.

Der Unterschied zur bestehenden Lösung für Motorschalter liegt in der Verschiedenheit des Parallelwiderstandes. Durch Erfahrungen bei Motorschaltern weiss man aber inzwischen, dass auch bei der Lösung mit Luftdrosselspulen und Parallelwiderstand keine eindeutig reproduzierbaren Verhältnisse hinsichtlich der Dämpfung der wiederkehrenden Spannung erreicht werden können, weil die Eigenkapazität der Drossel

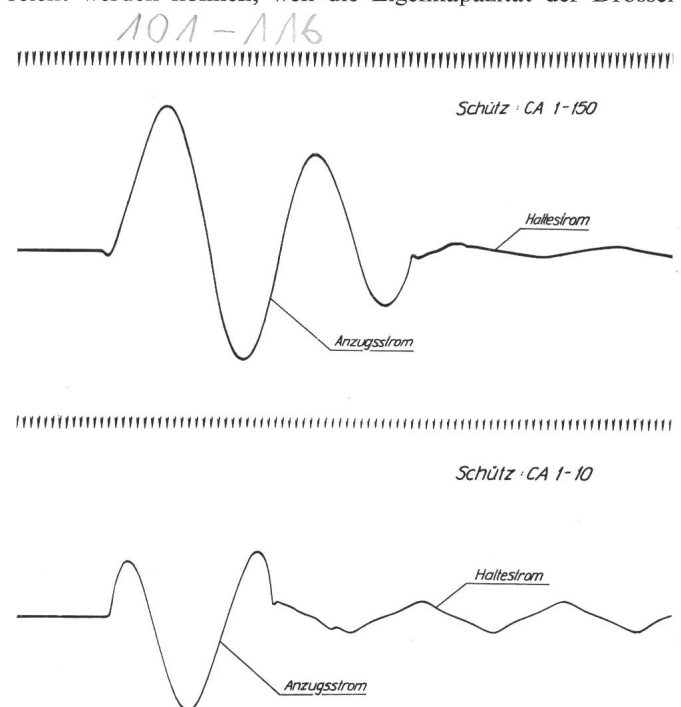


Fig. 1
Anzugs- und Haltestrom von Schützenspulen
CA 1-10 Schütz für 10 A Nennstrom;
CA 1-150 Schütz für 150 A Nennstrom

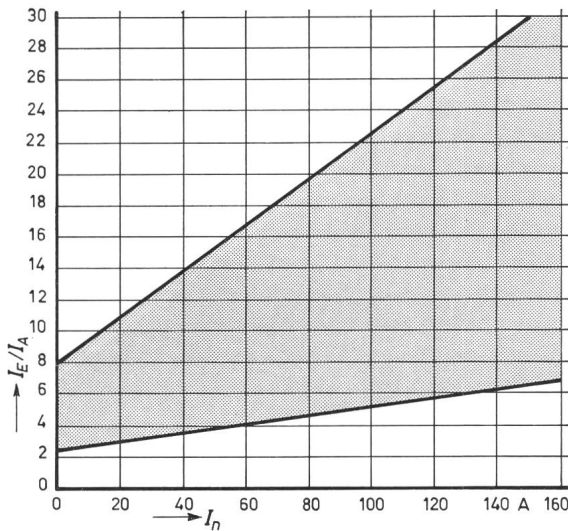


Fig. 2

Der Streubereich des Einschaltstromes I_E zum Ausschaltstrom I_A bei Schützenspulen, in Abhängigkeit von der Nennstromstärke I_n der Schütze

spule, welche von der Bauart abhängt, einen wesentlichen Einfluss auf den Spannungsanstieg hat. Die Berücksichtigung der Eigenkapazität führt zu einem Ersatzschaltbild des Prüfstromkreises gemäss Fig. 3c.

Als weitere Faktoren, welche die Streuung vergrössern, sind die Induktivität des Parallelwiderstandes und die Kapazität der Zuleitung zu erwähnen. Beide Grössen sind nicht definiert und beeinträchtigen die Dämpfung ebenfalls. Man hat daher bei den Motorschaltern angeregt, den Prüfstromkreis nicht durch die Festlegung seiner Bauelemente (Drosselspulen und Widerstände), sondern vielmehr durch die *Eigenfrequenz* und die *Dämpfung* der im Ersatzstromkreis auftretenden wiederkehrenden Spannung zu kennzeichnen. Da in den eisenlosen Prüfstromkreisen lineare Überlagerungsgesetze gelten, kann man den Prüfstromkreis durch seine Eigenfrequenz f und den Überschwingfaktor eindeutig definieren.

Versuchsserien mit Motorschaltern haben bestätigt, dass mit Prüfstromkreisen, welche auf gleiche Frequenz und gleichen Überschwingfaktor eingestellt waren, reproduzierbare Werte für das Ausschaltvermögen von Schützen erzielt werden konnten.

Die Verwirklichung des erwähnten Vorschlages hat allerdings zur Folge, dass der Aufbau des Prüfstromkreises und seine Justierung kompliziert werden.

Da die Ersatzstromkreise von Schützenspulen und Motoren einander prinzipiell sehr ähnlich sind, soll im Folgenden die Frage geprüft werden, ob ähnliche Überlegungen auch bei Steuerschaltern zu gleichen Schlussfolgerungen führen.

Bevor man jedoch eine vergleichende Betrachtung der wiederkehrenden Spannung durchführt, soll die Frage geprüft werden, ob das Abschaltvermögen für Normalbetrieb bei den Steuerschaltern überhaupt ein wesentliches Beurteilungskriterium darstellt.

Hiezu muss man sich vergegenwärtigen, dass die Steuerschalter in einem Strombereich arbeiten, der bei den Betrachtungen der Motorschalter gewöhnlich vernachlässigt wird, nämlich im Bereich des Niederstromlichtbogens und der Glimmentladungen (Fig. 4). Es gelten daher hier völlig andere Gesetze. Schon seit langem weiss man beispielsweise, dass Kontaktpaare mit kleinen Kontaktöffnungen (micro-gap-switches) und relativ niedrigen Öffnungsgeschwindigkeiten bei

Wechselstrom ein verblüffend gutes Abschaltvermögen erreichen. Die rasche Kühlung der kurzen Lichtbogensäule durch die in diesem Fall dominierende Wärmeleitung zu den relativ grossen und daher kühlen Elektroden sowie der geringe Leistungsumsatz im Lichtbogen tragen dazu bei, dass die Schaltstrecke sich ausserordentlich rasch verfestigt. *W. Burstyn* [2]²⁾ zitiert in seinem Buch amerikanische Versuchsdaten, wonach die Durchschlagfestigkeit einer 1,6 mm langen Schaltstrecke bei einem Strom von 300 A (!) schon 0,1 ms nach dem Strom-Nulldurchgang auf 500 V angestiegen ist. Wenn man sich vergegenwärtigt, dass der übliche Abschaltstrom von Steuerschaltern meist etwa 1000mal kleiner ist, und die übliche Speisespannung nur 220 V beträgt, kann man ermessen, wie leicht die Steuerschalter ihre Schaltaufgabe zu erfüllen vermögen.

Diese kurze Betrachtung zeigt, dass die Prüfung des Wechselstrom-Schaltvermögens von Steuerschaltern für normale Betriebsbedingungen eher eine Formalität als eine Notwendigkeit darstellt. Es klingt wie ein Scherz, aber es ist wahr: bei den Steuerschaltern ist es fast unmöglich, einen Schalter zu machen, der sicher schaltet, aber kein ausreichendes Schaltvermögen für Spulenlast unter normalen Betriebsbedingungen erreicht. Die Angabe dieses «Schaltvermögens» für normale Betriebsbedingungen hat daher kaum einen echten, praktischen Wert.

Viel wichtiger für den Kunden sind Angaben über die elektrische Lebensdauer des Schalters. Bei den Steuerschaltern ist diese nicht unbedingt identisch mit der Kontaktlebensdauer, da beim Schalten relativ grosser Ströme in kleinen Schaltkammern auch die Beeinträchtigung der Isolation durch das Schalten die elektrische Lebensdauer begrenzen kann. In der Regel wird jedoch der Kontakt-Lebensdauer die entscheidende Bedeutung zukommen. Daher ist bei einem Prüfstromkreis, der den Normalbetrieb simulieren soll, die Nachbildung der Verhältnisse in Bezug auf die *Kontaktlebensdauer* wichtiger als das Simulieren der wiederkehrenden Spannung. Von dieser Überlegung ausgehend sind in der Schweiz von der Arbeitsgruppe

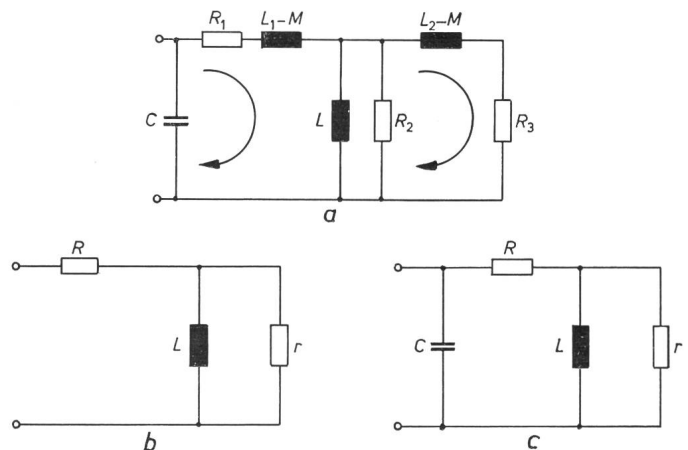


Fig. 3

Ersatzstromkreis und Prüfstromkreis

a Ersatzstromkreis einer Schützenspule; b CEI-Prüfstromkreis; c Ersatzstromkreis des Prüfstromkreises (Berücksichtigung der Wicklungskapazität)

R_1 Widerstand der Spule; R_2 fiktiver Widerstand zur Erfassung der Eisenverluste; R_3 Widerstand des Kurzschlussringes; M Gegeninduktivität der beiden Maschen; L_1-M Streuinduktivität der Spule; L_2-M Streuinduktivität des Kurzschlussringes; C Kapazität der Wicklung

²⁾ Siehe Literatur am Schlusse des Aufsatzes.

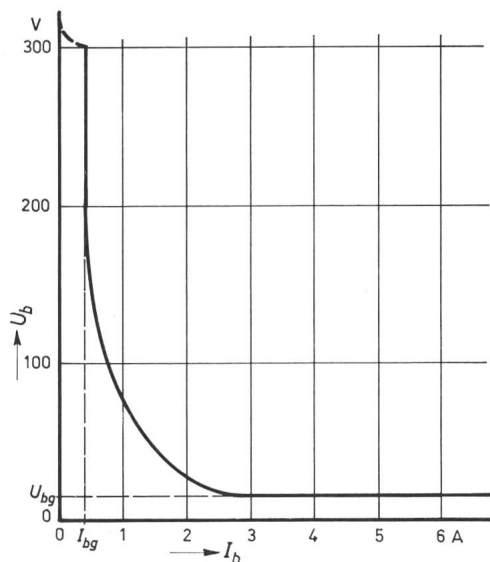


Fig. 4
Die Lichtbogen-Mindestspannung U_b in Abhängigkeit von der Stromstärke I_b
 I_{bg} Lichtbogenstrom; U_{bg} Lichtbogenspannung

für Steuerschalter Versuche durchgeführt worden, mit dem Ziel:

- das transiente Verhalten des Prüfstromkreises und
 - die Kontaktlebensdauer bei Verwendung des Prüfstromkreises
- mit jenen Werten zu vergleichen, welche beim Schalten von Schützen verschiedener Hersteller erzielt wurden. (Die Versuche gemäss b) wurden auch in Frankreich, Grossbritannien und den USA durchgeführt.) Im Prüfstromkreis wurde gemäss

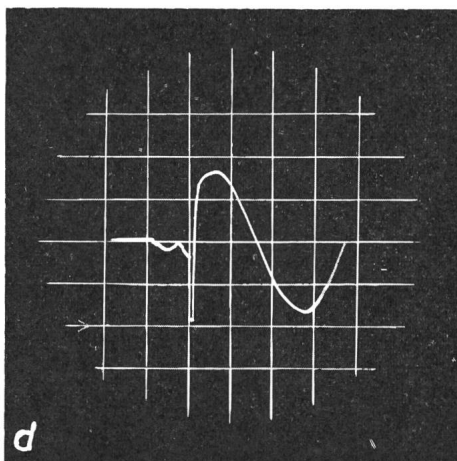
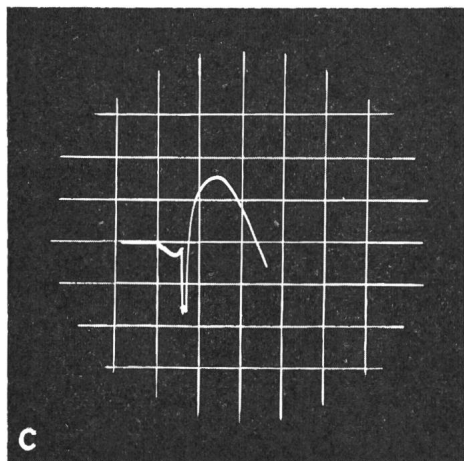
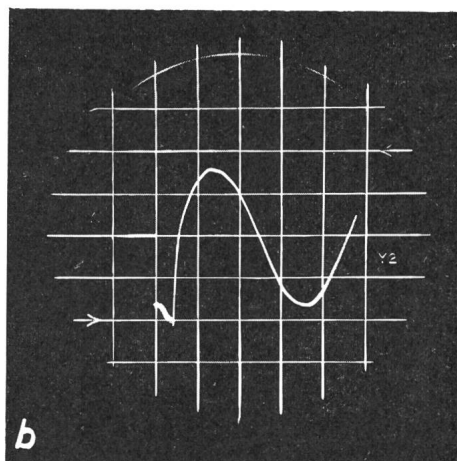
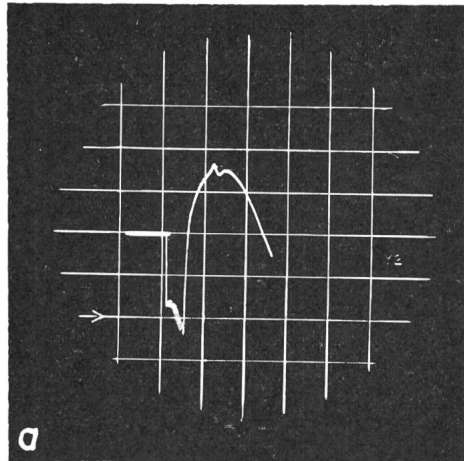


Fig. 5
Die wiederkehrende Spannung beim Ausschalten von Schützen
a) $I = 40$ mA; b) $I = 70$ mA;
c) $I = 350$ mA; d) $I = 510$ mA
Nennstrombereich der Schütze:
10...150 A;
 I Haltestrom der Schützenpule;
 U Nennspannung der Schützenpule =
= 220 V

dem Vorschlag der CEI-Arbeitsgruppe 3 des SC 17B ein Parallelwiderstand verwendet, durch den 5 % des Gesamtstromes fließen sollten. Die Versuche wurden ergänzt durch Messungen mit einem Parallelwiderstand von 1 %, weil bei den Schützen bereits eine derartige Konvention besteht (welche allerdings vermutlich geändert wird). Der Stromkreis wurde so ausgelegt, dass ein $\cos \varphi$ von etwa 0,3...0,4 entstand, weil dies dem Mittelwert der Leistungsfaktoren geschlossener Magnete entspricht. In der Schweiz wurden von allen 5 Firmen genau gleiche Luftdrosselspulen verwendet.

3. Vergleich des transienten Verhaltens beim Abschalten von Schützenpulen unter normalen Betriebsbedingungen

Das transiente Verhalten von Schützenpulen mit geschlossenem Magnet (Wirkstellung) ist fast ausnahmslos gekennzeichnet durch einen aperiodisch gedämpften Anstieg der Spannung (Fig. 5). Zum gleichen Ergebnis kam auch H. Zorb [1], der in seiner Arbeit unter anderem die elektrischen Werte von Schützen mit Nennströmen zwischen 4 und 64 A untersuchte. Dieses transiente Verhalten kann durch einen Prüfstromkreis mit Parallelwiderstand gut simuliert werden (Fig. 6 und 7).

Ein Vergleich der Oszillogramme zeigt, dass die günstigste Nachbildung mit einem Parallelwiderstand erreicht wird, durch den ca. 5 % des Gesamtstromes fließen. Der Vergleich zeigt aber auch, dass schon ein Parallelstrom von 1 % genügt, um die Überspannungsspitze der überlagerten, eigenfrequenten Komponente auf ein vernachlässigbares Ausmass zu reduzieren.

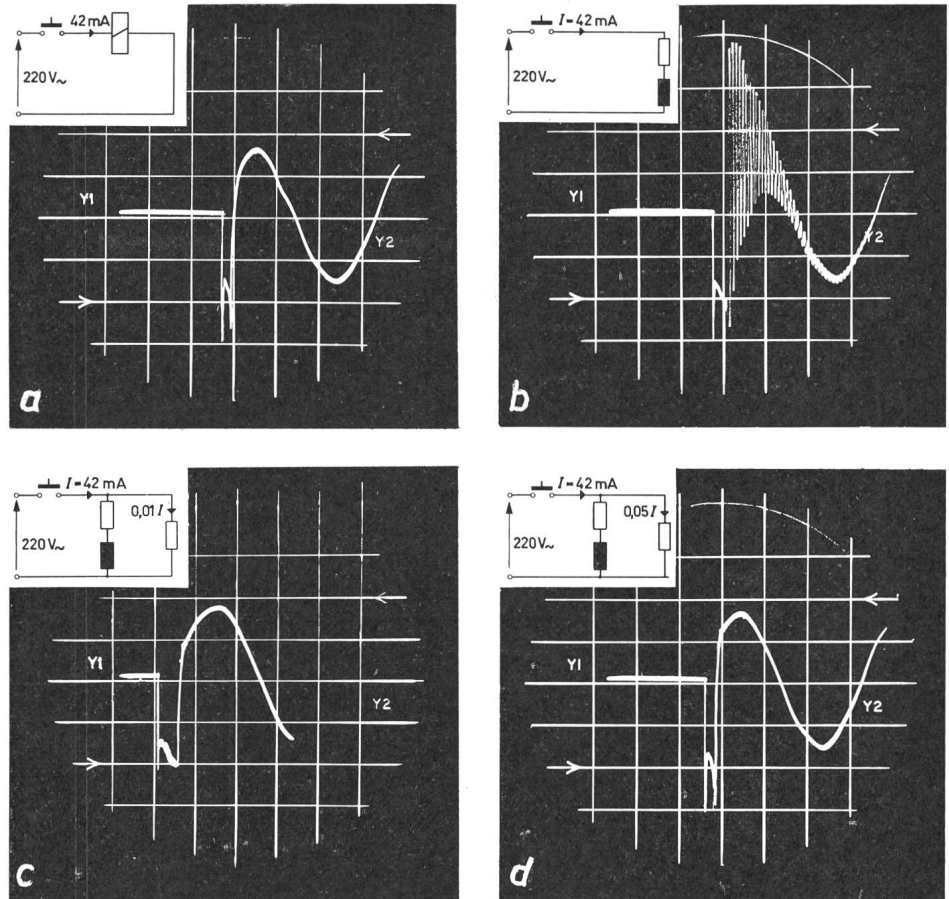
Die Steilheit des Anstieges der wiederkehrenden Spannung ist zwar erwartungsgemäss deutlich unterschiedlich für die Kreise mit 1 oder 5 % Parallelstrom, aber die praktische Auswirkung auf das Schaltvermögen ist bei den Steuerschaltern aus den bereits erwähnten Gründen vernachlässigbar.

Die Oszillogramme zeigen unter anderem auch den Einfluss der in Fig. 4 angegebenen Strom-Spannungs-Charakteristik des Niederstrom-Lichtbogens. Man sieht sehr deutlich die hohen Glimmentladungsspannungen bei ganz kleinen Strömen und die wesentlich kleineren Lichtbogen-Spannungen bei höheren Stromwerten.

Das Abschaltvermögen der Steuerschalter für Spulenlast bei normalen Betriebsbedingungen liegt durchwegs etwa eine Grössenordnung

Fig. 6

Vergleich der wiederkehrenden Spannung bei einem Abschaltstrom von ca. 40 mA
 Betriebsspannung 220 V
 Prüfling: Industrie-Relais mit 0,3 mm Kontaktöffnung
 a Spule eines 10-A-Schützen; b induktiver Kreis ohne Parallelwiderstand, $\cos \varphi = 0,35$; c induktiver Kreis mit 1 % Parallelstrom, $\cos \varphi = 0,35$; d induktiver Kreis mit 5 % Parallelstrom, $\cos \varphi = 0,35$
 Zeitablenkung: 1 Einheit = 5 ms



höher, als es dem tatsächlichen Bedarf entspricht. Mit Kontaktöffnungen von 0,3...0,6 mm lassen sich ohne besondere Massnahmen Ströme von 30...120 A sicher unterbrechen. Diese Erkenntnis — die keineswegs neu ist — muss man sich bei der Festlegung der Prüfbedingungen vor Augen halten. Wenn man aus formalen Gründen die Prüfung des Schaltvermögens bei Normallast durchführen will, kann man hierfür Stromkreise wählen, die einen Parallelstrom zwischen 1 bis 5 % aufweisen. Die Unterschiede im Schaltvermögen sind unerheblich.

Für den Verbraucher ist die Angabe dieses Schaltvermögens praktisch nutzlos, weil es als selbstverständlich vorausgesetzt werden darf. Viel sinnvoller ist für ihn die Angabe der elektrischen Lebensdauer in Abhängigkeit des Abschaltstromes. Hiefür Prüfbedingungen zur Durchführung von «Spezial-Prüfungen» festzulegen (für welche keine Prüfpflicht bei Abnahmeversuchen besteht), ist zweifellos von grösserem praktischem Nutzen.

4. Vergleich der Kontaktlebensdauer bei normalen Betriebsbedingungen

Mit Rücksicht auf die Bedeutung der Kontaktlebensdauer für eine sinnvolle Anwendung der Steuerschalter, wurde von der zuständigen Arbeitsgruppe der CEI die Durchführung von vergleichenden Lebensdauerversuchen mit Schützen und Prüfstromkreisen vereinbart. Das Ziel dieser Versuche war, die Daten für einen Prüfstromkreis zu finden, mit dem die Kontaktlebensdauer unter tatsächlichen Betriebsbedingungen hinreichend gut simuliert werden kann.

Die Versuche mussten die Unterschiede berücksichtigen, welche zwischen den Ein- und Ausschaltbedingungen der Schütze bestehen. Bekanntlich ist der Einschaltstrom etwa 3...30mal grösser als der Abschaltstrom, und der Leistungsfaktor ist ebenfalls deutlich verschieden.

Da man aus vorgängigen Versuchen — welche sich mit der getrennten Erfassung des Ein- und Ausschalt-Abbrandes befassten — bereits wusste, dass der Einschaltabbrand bei den Steuerschaltern keine wesentliche Rolle spielt (Fig. 8), und da man ausserdem darauf abzielte, möglichst einfache Prüfkreise für diese Test-Konvention zu benutzen, wurden die Vergleichsversuche mit folgenden beiden Prüf-Stromkreisen durchgeführt:

- Prüf-Stromkreis mit einem Einschalt zu Ausschalt-Verhältnis von 1 : 1 und Stromkreis-Daten gemäss Fig. 8a.
- Prüf-Stromkreis mit einem Einschalt- zu Ausschalt-Verhältnis von 10 : 1 und Stromkreis-Daten gemäss Fig. 8b.

Die Auswertung der Kontaktlebensdauer-Versuche ist stets etwas problematisch, weil die Beurteilungs-Kriterien der subjektiven Auslegung einen weiten Spielraum lassen. Klarere Verhältnisse entstehen, wenn man anstelle der eigentlichen Lebensdauer den Abbrand der Kontakte (den Gewichtsverlust) betrachtet.

Um einen völlig einwandfreien Vergleich zu ermöglichen, müssten die massgebenden Parameter (Spannung, Stromstärke, konstruktiver Aufbau, Kontaktmaterial, Prüfstromkreis, Schaltfolge etc.) genau gleich gehalten werden. Diese Forderung ist jedoch praktisch nicht zu verwirklichen, wenn man Schütze mit unterschiedlichen Verhältnis des Einschalt- zu Ausschaltstromes (make to break ratio) vergleichen will, weil sich schwerlich Schütze mit genau gleichem Haltestrom und stark unterschiedlichem Anzugsstrom finden lassen. Aus diesem Grund hat man sich bei den von der CEI-Arbeitsgruppe vereinbarten Versuchen dazu entschlossen, einen «totalen spezifischen Gewichtsverlust» als Vergleichswert zu betrachten. Das «total» sollte andeuten, dass alle Teile der Kontakt-Anordnung, feste und bewegliche, in die Betrachtung eingeschlossen werden sollten. Das «spezifisch» sollte klarstellen, dass sich die gefundenen Ergebnisse

- auf ein bestimmtes Schalt-Gerät beziehen,
- nur für eine bestimmte Stromstärke gelten (Index).

Da die Versuche mit den Schützenspulen, wie bereits erwähnt, nicht mit genau gleichen Werten des Abschaltstromes durchgeführt werden können, war es erforderlich, eine Formel

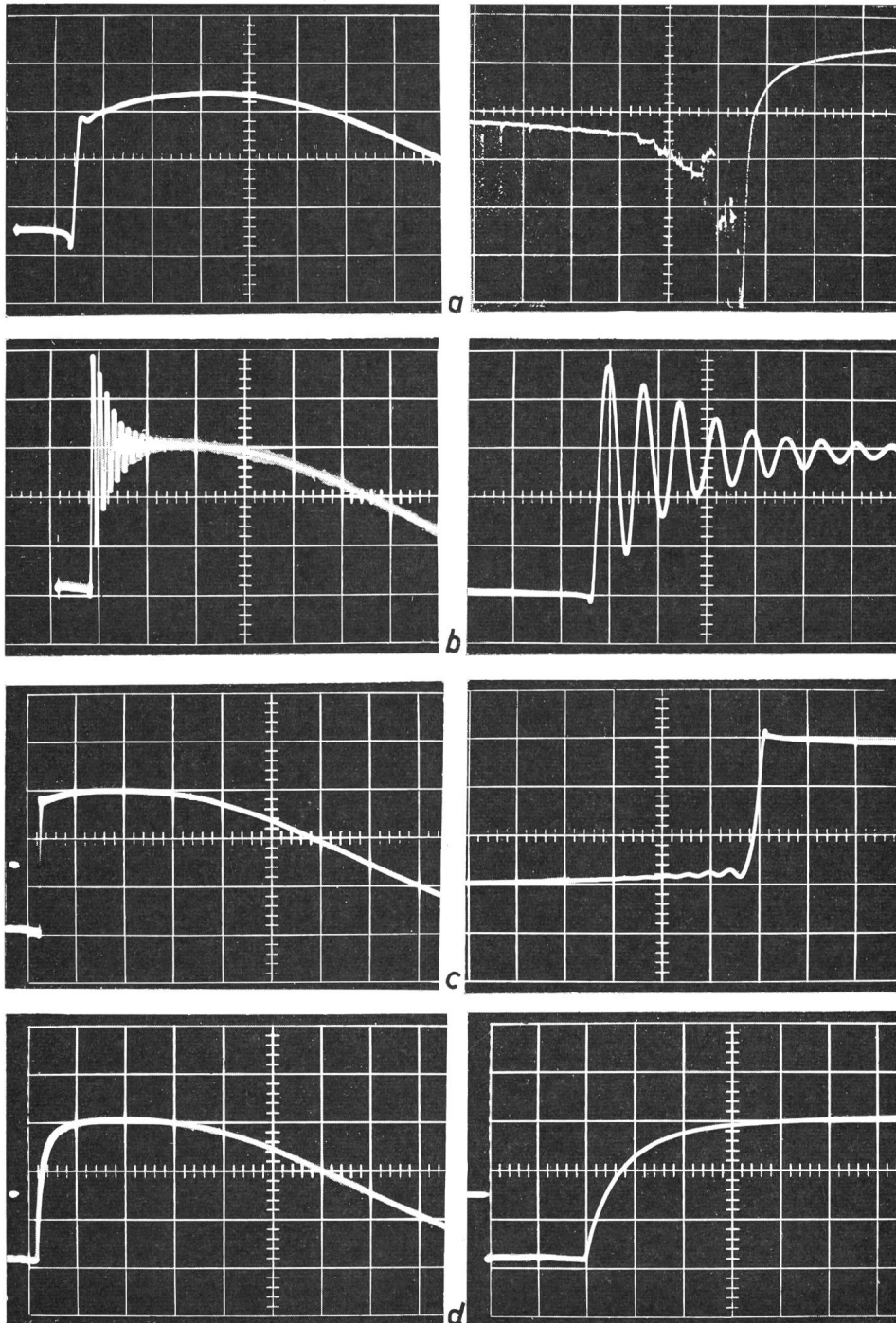


Fig. 7
 Vergleich der wiederkehrenden Spannung
 bei einem Abschaltstrom von ca. 400 mA
 Betriebsspannung 220 V
 Prüfling: Schütz mit 1,8 mm Kontakt-
 öffnung
 a...d wie bei Fig. 6
 Zeitablenkung: linke Reihe 1 Einheit =
 = 1 ms; rechte Reihe: 1 Einheit = 0,2 ms

kleiner rechnen kann. Eine kürzlich veröffentlichte Arbeit von O. Loh [4] gibt für Ströme, die etwa eine Größenordnung höher liegen, einen Exponenten von 2,15 an. Da eine exakte Ermittlung sehr zeitraubend wäre, wurde die Auswertung der Versuchsergebnisse mit beiden Exponenten 1 und 2 vorgenommen. Verglichen wurden daher die Werte:

$$k_{0,5(1)} = \frac{\Delta W}{I n} \quad k_{0,5(2)} = \frac{\Delta W}{I^2 n}$$

Weil der Ausdruck «spezifisch» zu Missverständnissen führen könnte, sei hier nochmals ausdrücklich betont, dass nur der Vergleich bei einem bestimmten Bezugswert des Stromes beabsichtigt war, und dass der ermittelte Wert für k nicht für eine Extrapolation des Abbrandes für Stromstärken weit ausserhalb des Meßstrom-Bereiches benützt werden soll.

Ein Vergleichsversuch mit einer Serie von Relais gemäss Fig. 12, bei welchem mit je 4 Prüflingen je 2 Millionen Schaltspiele mit 0,05 und 5 A durchgeführt wurden, zeigt eindeutig, dass das einfache Exponentialgesetz nicht in dem weiten Strombereich von 50 bis 5000 mA angewendet werden kann. Für den Stromstärkebereich von 50 bis 500 mA wurde bei diesem Versuch ein Exponent von 0,8 ermittelt; für den Stromstärkebereich von 500 bis 5000 mA ein solcher von 1,1. Man darf daher annehmen, dass die lineare Umrechnung wirklichkeitsnähere Werte ergibt und im Bereich der bescheidenen praktischen Abweichungen vom angestrebten Sollwert bedenkenlos angewendet werden kann.

anzugeben, welche eine Umrechnung auf den Sollwert erlauben würde. Es ist anzunehmen, dass die Gleichung:

$$\Delta W = k_{R(x)} I^x n$$

ΔW Gewichtsverlust in mg; I Strom in A; k spezifischer Abbrand, gültig für einen bestimmten Schalter im Bereich des Referenzstromes R ; n Anzahl der Schaltspiele

eine befriedigende Umrechnung innerhalb der Grenzen der praktischen Abweichung vom angestrebten Sollwert des Stromes erlaubt, besonders wenn diese Abweichung in den Grenzen von nur etwa $\pm 30\%$ liegt. Offen bleibt die Frage, welcher Wert für den Exponenten x einzusetzen sei. Dieser Wert wird vom konstruktiven Aufbau des Schalters stark abhängen und dürfte für Steuerschalter im Bereich niederer Ströme etwa zwischen 1 und 2 liegen. Einige Angaben hiezu findet man bei H. Franken [3], nach welchen man für den Stromstärkebereich der Steuerschalter (bis etwa 10 A) mit Exponenten von 2 oder

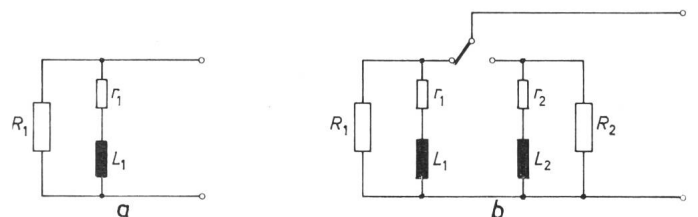


Fig. 8
 Prüfstromkreis für die Kontakt-Abbrand-Prüfung
 a $r_1 = 154 \Omega$; $L_1 = 1320 \text{ mH}$; $R_1 = 8300 \Omega$;
 b $r_2 = 15,4 \Omega$; $L_2 = 132 \text{ mH}$; $R_2 = 830 \Omega$
 r Widerstand; R Parallelwiderstand; L Induktivität

Art des Schalters	Kontakt		Versuch durchgeführt von	Prüflinge pro Last	Spezifischer Abbrand $k_{0,5(1)}$ für 0,5 A obere Zeile in $\text{mg/A} \cdot 10^6 \text{ sc}^3$ untere Zeile in % des 10:1-Wertes					Spezifischer Abbrand $k_{0,5(2)}$ für 0,5 A obere Zeile in $\text{mg/A}^2 \cdot 10^6 \text{ sc}^3$ untere Zeile in % des 10:1 Wertes					Unterschied in %, beide Prüfstromkreise minus Schütze (Mittelwerte)		Wirklicher Abschaltstrom				
	Öffnung mm	Druck g			Schütze mit Ein / Aus-Verhältnis			Prüfstromkreis		Schütze mit Ein / Aus-Verhältnis			Prüfstromkreis		$k_{0,5(1)}$	$k_{0,5(2)}$	Schütze			Prüfkreis	
					5:1	10:1	20:1	Fig. 8a	Fig 8b	5:1	10:1	20:1	Fig. 8a	Fig. ab			5:1	10:1	20:1	Fig. 8a	Fig. 8b
Druckknopf			Watford, GB	1	4,8 24	19,6 100	20,8 106			10 28	36 100	81 225			0,43	0,54	0,63				
			Allen Bradley, USA	4		4 100	4,2 105				9,4 100	9,8 104									
Mikroschalter	0,7	60	Watford, GB	1	12,3 308	4 100	20,8 520			29 390	7,5 100	32 427			0,43	0,54	0,63				
			SAIA, CH	4	12,8 126	10,2 100	14 140	25,3 240	24 230	10,3 45	23 100	19,4 85	51,2 230	48,5 210	+113 +145	1,24	0,44	0,71	0,5	0,5	
Hilfsschütz	0,3	20	Watford, GB	2	49 250	19,7 100	3600 18000			115 320	36 100	5500 15000			0,43	0,54	0,63				
			Ghielmetti, CH	4	10,3 77	13,1 100	22,5 173	18 136	23 176	20,6 67	31 100	31 103	36 117	46 148	+ 40 + 42	0,51	0,43	0,7	0,51		
Schaltrelais	2×3	2×30	BBC, CH	4	24 68	42 100	65 154	47 110	53 124	47 48	93 100	91 97	69 73	105 111	+ 10 + 10	0,65	0,45 0,47	0,71		0,5	
			CEM, F Allen Bradley, USA	2 4		27,2 15,4 100					87 255	34 100									
Hilfskontakte an Schützen	2×3	2×30	Watford, GB	1	30 133	22,6 100	66 293			70 167	42 100	102 243			0,43	0,54	0,63				
			CMC, CH	4	43 104	41 100	54 130	68 166	32 78	69 73	95 100	76 80	137 145	66 70	+ 11 + 23	0,62	0,44	0,72	0,47	0,47	
	2×5	2×160	Sprecher und Schuh, CH	4	13,8 144	9,6 100	16,3 170	47 490	30 312	28 126	22 100	24 108	96 436	64 288	+263 +251	0,48	0,43	0,68		0,47	
			CEM, F	2		88,4															
Durchschnittswerte absolut					22	17,3 ²⁾	31,4 ¹⁾	43	32,4	44,3	44,3 ²⁾	60	85	66							
Durchschnittswerte in %					140	100	210	228	184	140	100	171	232	165							

¹⁾ Der Wert von 3600 wurde nicht berücksichtigt.

²⁾ Die Werte 88,4 und 188 wurden nicht berücksichtigt.

³⁾ sc = Schaltspiel (switching-cycle).

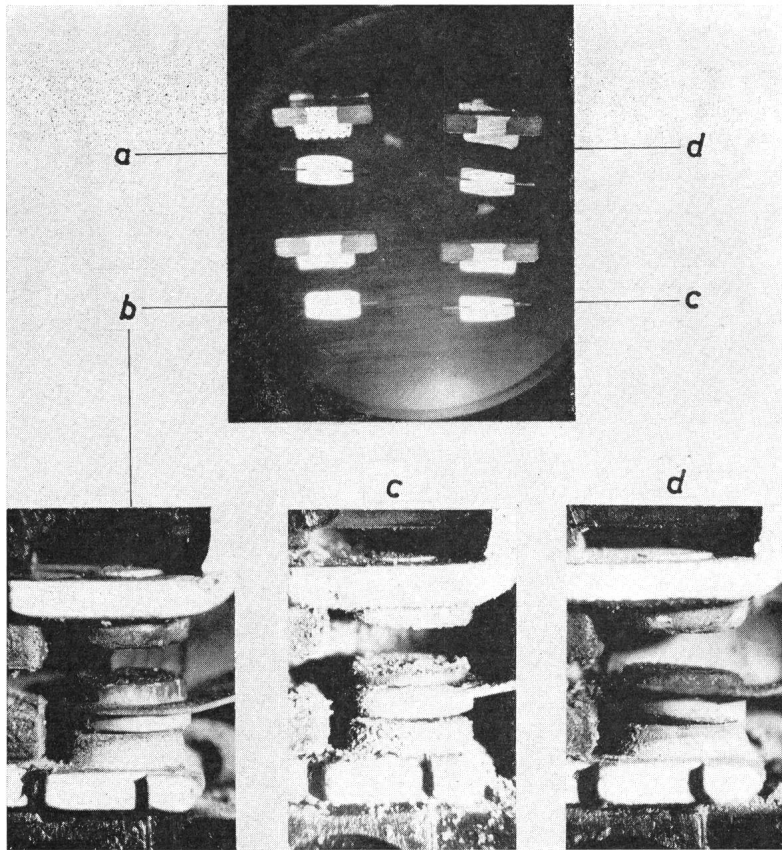


Fig. 9
Kontaktabbildung nach 1,5 Mill. Schaltspielen
 Einschaltstrom 5 A; Abschaltstrom 0,5 A; Spannung 220 V;
 $\cos \varphi = 0,3$
 a Kontakt vor dem Versuch; b Kontakt nach dem Versuch, wenn nur EIN-geschaltet wurde; c Kontakt nach dem Versuch, wenn nur AUS-geschaltet wurde; d Kontakt nach dem Versuch, wenn EIN- und AUS-geschaltet wurde

bedingungen mit den simulierten sind in der Tabelle I zusammengefasst. Der Vergleich zwischen Schützenslast und Test-Konvention kann vereinfacht werden, wenn der spezifische Abbrand in Prozenten statt in mg verglichen wird. Für die Illustration dieses Vergleiches, welcher in Fig. 11 angegeben ist, wurde der Fall der Schütze mit einem Einschalt-, Ausschaltstrom-Verhältnis von 10 : 1 als der Bezugswert (100 %) betrachtet.

Trotz internationaler Beteiligung (Frankreich, Grossbritannien, der Schweiz und den USA) liegen leider nur wenig verwertbare Ergebnisse vor. Es lassen sich aber dennoch folgende Schlussfolgerungen ziehen:

a) Die Streuung innerhalb einer Versuchsreihe mit unveränderlicher Last ist vielfach von gleicher Grösse oder übertrifft sogar die durchschnittlichen Unterschiede zwischen verschiedenen Last-Arten. Die Beobachtung der grossen Streuung wurde ausnahmslos von allen Firmen gemacht.

b) Der Einfluss des hohen Einschaltstromes ist in den meisten Fällen vernachlässigbar klein. (Vergleiche auch [3] und [4].)

c) Der Durchschnittswert des spezifischen Abbrandes, ermittelt mit den Prüfstromkreisen, ist für beide Werte höher als der Durchschnittswert, welcher mit den Schützen ermittelt wurde. Der Prüfstromkreis ergibt demnach ein praxisnahes Resultat.

d) Angesichts der starken, schaltgerätbedingten Streuung und des geringen Einflusses der Einschaltspitze könnte man den einfacheren Prüfstromkreis (1 : 1) wählen.

e) Bei einem Vergleichsversuch mit rein ohmscher Last betrug der Kontaktabbild ca. 30 % des Wertes, welcher beim Prüfstromkreis A ermittelt wurde. (Prüflinge: Schaltrelais mit Kontaktöffnung von 0,3 mm.)

Für die Versuche galt folgendes Programm:

a) *Nenndaten des Stromes und der Spannung*

Speisespannung: 220 V~;
 Sollwert des Abschaltstromes: 0,5 A.

b) *Prüflinge*

Die Versuche wurden an folgenden Arten von Steuerschaltern ausgeführt:

- Mikro-Schalter (micro-gap-switches)
- Schaltrelais oder Hilfsschütze (all-or-nothing relais)
- Hilfskontakte von Schützen
- Druckknöpfe.

Für die meisten Versuche wurden je 4 Prüflinge pro Last verwendet.

c) *Verwendete Last*

- ca) Schützenspulen mit einem Verhältnis des Einschalt- zu Abschaltstromes von etwa 5 : 1
- cb) Schützenspulen mit einem Verhältnis des Einschalt- zu Abschaltstromes von etwa 10 : 1
- cc) Schützenspulen mit einem Verhältnis des Einschalt- zu Abschaltstromes von etwa 20 : 1
- cd) Prüfstromkreis A gemäss Fig. 8
- ce) Prüfstromkreis B gemäss Fig. 8

Um einen ausreichend hohen Abschaltstrom zu erreichen, wurden in den meisten Fällen mehrere Schützenspulen parallel geschaltet.

d) *Schalhäufigkeit*

Die Versuche wurden mit einer Schalhäufigkeit von 1800 Schaltungen pro Stunde ausgeführt. Um Zeit zu sparen, wurde eine zeitliche Staffelung gemäss dem Schema nach Fig. 10 vereinbart. Die Betätigungsgeschwindigkeit der Mikroschalter betrug etwa 0,3 m/s.

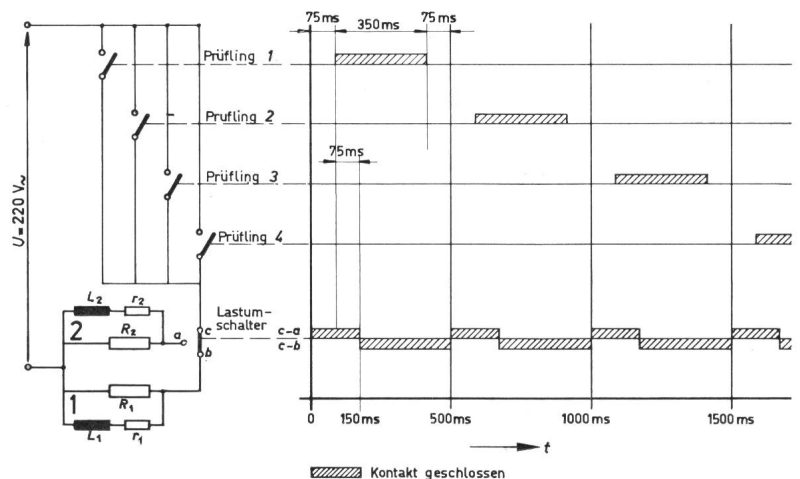
5. Auswertung des Kontaktabbild-Vergleiches

Die vorläufig verfügbaren Ergebnisse des beachteten Vergleiches der tatsächlichen Betriebs-

6. Prüfung des Einschaltvermögens

Wie bereits erwähnt und durch Fig. 1 illustriert, tritt beim Einschalten einer Schützenspule eine Stromspitze von etwa 3- bis 30facher Grösse des Haltestromes auf. Wegen der vorhandenen Induktivität kann der Höchstwert des Stromes nicht plötzlich, sondern erst nach etlichen Millisekunden erreicht werden. Für die weitere Betrachtung ist es zweckmässig, die Einschaltspitze des Stromes als Wert für sich aufzufassen

Fig. 10
 Zeitliche Staffelung der Schaltfolge bei der Kontakt-Abbrand-Prüfung



Während der Motorschalter in der Regel so ausgewählt wird, dass er dem einen Motor, den er zu schalten hat, im Schaltvermögen und in der Schaltstücklebensdauer angepasst ist, wird der Steuerschalter aus den bereits erläuterten Gründen in der Regel eine reichliche Leistungsreserve aufzuweisen haben, wenn er nur eine Schützenspule zu schalten hat. Das Beispiel im letzten Abschnitt zeigt dies sehr deutlich.

Wenn der Steuerschalter durch Parallelschaltung mehrerer Spulen besser ausgelastet wird, so ist der Fall des gleichzeitigen Blockierens mehrerer Magnete unwahrscheinlich. Eine Ausnahme bildet das Offenbleiben der Magnete bei extremer Unterspannung.

Die Nachbildung der Betriebsbedingungen bei blockiertem Magnet und voller Betriebsspannung ist demnach nur in jenem Fall von praktischem Interesse, wenn ein Steuerschalter durch eine Einzellast voll ausgelastet wird. Solche Einzellasten sind selten. Es stellt sich daher die Frage, mit welchem $\cos \varphi$ und mit welchem Parallelwiderstand zur Induktivität die Verhältnisse bei abnormalen Betriebsbedingungen am besten nachzubilden seien.

Auch hier ist die Frage der praktischen Auswirkung der Testkreis-Modifikationen von ausschlaggebender Bedeutung. Aus diesem Grund wurden einige Versuche mit blockierten Schützenspulen durchgeführt. Betrachtet wurden Spulen mit Anzugsströmen im Bereich von 0,3...30 A.

Geschaltet wurde mit Hilfsschützen, deren Kontaktöffnungen zwischen 2,5 und 5 mm variierten und einigen micro-gap-switches mit Kontaktöffnungen von etwa 0,3...0,5 mm. Die Betriebs-Spannung war 220 V. In allen Fällen erfolgte die Löschung des Lichtbogens (spätestens) beim ersten Nulldurchgang des Stromes. Das transiente Verhalten der wiederkehrenden Spannung ist erwartungsgemäss anders als beim geschlossenen Magnet, da der Einfluss des Eisens sehr stark verringert wird. Es wird dem Verhalten einer Luftdrosselspule ohne Parallelwiderstand ähnlicher, mit einer klar erkennbaren Oberschwingung, deren Eigenfrequenz bei den geprüften Spulen zwischen etwa 3 bis 20 kHz lag. Die eigenfrequente Komponente ist stark gedämpft und klingt innerhalb von etwa 0,1...1 ms ab, wie die Fig. 13...15 zeigen. Interessant ist der krasse Unterschied beim Schalten gleicher Lasten durch verschiedene Schalter. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass für die Nachbildung des Betriebsverhaltens bei blockiertem Magnet ein induktiver Kreis mit einem $\cos \varphi$ von etwa 0,7, ohne Parallelwiderstand zur Induktivität, besser geeignet ist als der vorgesehene Kreis mit $\cos \varphi = 0,4$ und einem Parallelwiderstand, durch welchen 3 % des Stromes fließen.

Bezüglich der erforderlichen Schaltzahl, welche im CEI-Entwurf derzeit mit 5 Schaltungen angegeben wird, ist zu sagen, dass 5

Fig. 13
Vergleich des Abschaltens einer blockierten Spule mit dem Abschalten eines Prüfstromkreises von $\cos \varphi = 0,7$ geschaltet mit Relais gemäss Fig. 12
oberer Strahl: Spannung, unterer Strahl: Strom
Ablenkung 0,5 ms/Einheit
a Schütz, blockiert in offenem Zustand, $I = 6 \text{ A}$, $U = 220 \text{ V}$;
b Prüfstromkreis, $\cos \varphi = 0,7$ ohne Parallelwiderstand, $I = 5,6 \text{ A}$, $U = 220 \text{ V}$

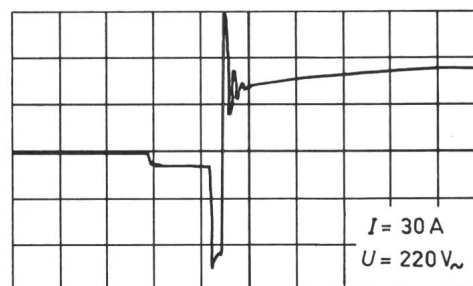
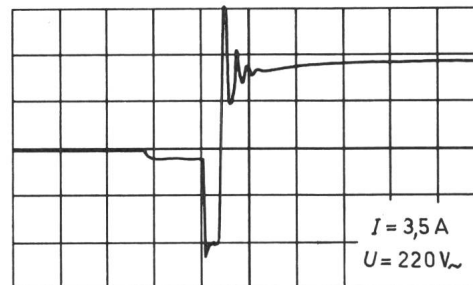
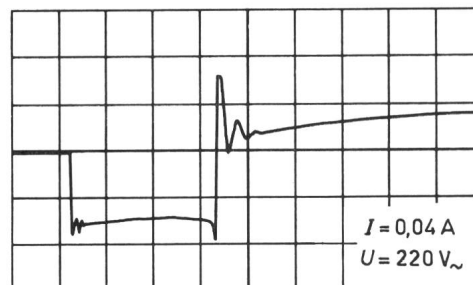
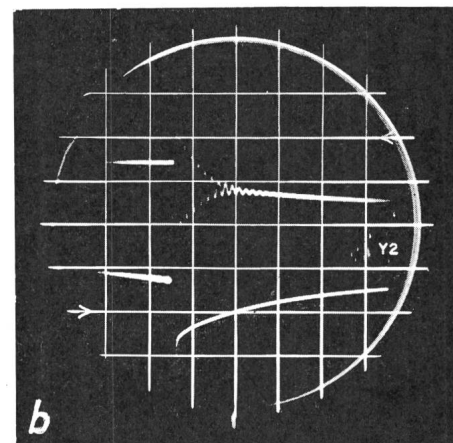
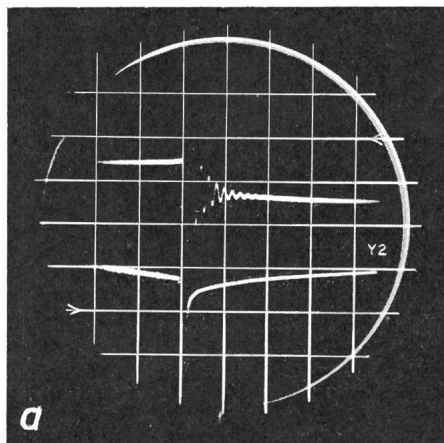


Fig. 14
Die wiederkehrende Spannung beim Abschalten blockierter Magnete mit unterschiedlicher Stromaufnahme
Geschaltet wurde mit dem Relais gemäss Fig. 12,
Kontaktöffnung 0,3 mm
Zeitablenkung: 0,2 ms/Einheit

Schaltungen bei Wechselstrom keine representative Prüfung darstellen. Diese Tatsache ist zu bekannt, um einer weiteren Erhärtung durch Versuchsdaten zu bedürfen. Weil sich aber mit Messergebnissen leichter argumentieren lässt, sind in Tabelle II einige Messungen an typischen Steuerschaltern zusammengefasst.

Bei den einpoligen Steuerschaltern liegt das Einschaltvermögen im allgemeinen tiefer als das Abschaltvermögen. Bei mehrpoligen Schaltern kann ein Überschlag zwischen den Polen das Schaltvermögen begrenzen. Trotz des unterschiedlichen transienten Verhaltens der wiederkehrenden Spannung bei den Kreisen $\cos \varphi = 0,4$ mit Parallelwiderstand und dem

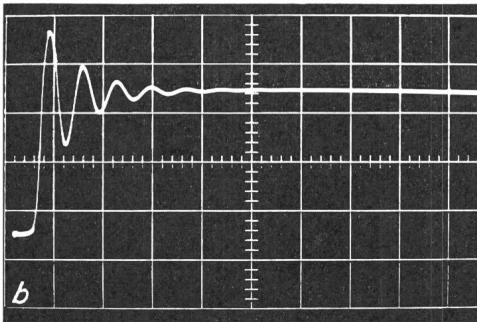
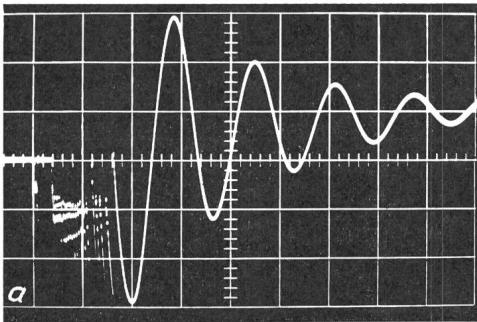


Fig. 15

Die wiederkehrende Spannung beim Abschalten blockierter Magnete
 Geschaltet wurde mit einem Hilfsschütz, Kontaktöffnung 2,5 mm
 $a I = 0,04 \text{ A}, U = 220 \text{ V}; b I = 3,5 \text{ A}, U = 220 \text{ V}$
 Zeitablenkung: 0,2 ms/Einheit

Kreis $\cos \varphi = 0,7$ ohne Parallelwiderstand zeigt die statistische Auswertung der Versuchsdaten, dass beide Kreise hinsichtlich des Schaltvermögens bei abnormalen Betriebsbedingungen etwa zu gleichen Ergebnissen führen.

8. Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Prüfungen lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

a) Zur Nachbildung des Abschaltens unter normalen Betriebsbedingungen (geschlossener Magnet) eignet sich der Prüfstromkreis mit $\cos \varphi = 0,4$ und einem Parallelstrom zur Induktivität von ca. 3 % sehr gut.

b) Bei der Prüfung des Einschaltvermögens ergibt ein Prüfstromkreis mit $\cos \varphi = 1$ eine etwas schärfere Prüfung als mit $\cos \varphi = 0,7$ (was etwa im Durchschnitt den normalen Einschaltbedingungen entspräche).

c) Zur Prüfung des Abschaltvermögens unter abnormalen Betriebsbedingungen (bei blockiertem Magnet) ist ein Prüfstromkreis mit $\cos \varphi = 0,7$, ohne Parallelwiderstand gut geeignet, weil durch ihn eine gute Nachbildung des transienten Verhaltens erreicht wird. (Der praktisch feststellbare Unterschied zwischen den beiden Prüfstromkreisen bezüglich der Häufigkeit von Überschlagen im Grenzstrom-Bereich ist allerdings nur geringfügig.)

d) Bei allen Wechselstrom-Schaltversuchen sollte eine Prüf-Schaltzahl von 100 Schaltungen vorgeschrieben werden, weil nur bei ausreichend hoher Schaltzahl ein einigermaßen zuverlässiges Beurteilungskriterium gegeben werden kann.

Welche Folgerungen man daraus ableitet, hängt nicht nur von den Ergebnissen selbst, sondern auch von der Betrachtungsweise ab. Diese sollte im wesentlichen von der Überlegung bestimmt werden, was der Benutzer vom Schaltgerät unmittelbar wissen will — auch wenn er zufällig keinen Katalog zur Hand haben sollte, welcher ihm erschöpfend Auskunft geben könnte. Solch eine elementare Auskunft muss ihm die Aufschrift des Schalters vermitteln. Vermutlich will der Benutzer wissen, für welche Verwendungsart der Schalter bestimmt ist und wo die Grenzen seines Einsatzes innerhalb dieser Verwendungsart liegen. Eine günstige Möglichkeit, dies in kurzer Form auszudrücken, wurde bei den Schützen erstmals eingeführt durch die Angabe der «Verwendungs-klasse»

und des «Nennbetriebsstromes I_e ». Es scheint vernünftig, auch für die Steuerschalter eine Verwendungsklasse anzugeben. Dieser Auffassung wurde in Tokio anlässlich der CEI-Tagung mehrheitlich zugestimmt. Daraus ergeben sich in Bezug auf die Aufschriften sowohl als auf die Prüfungen gewisse Konsequenzen. Wenn man die Verwendungsklasse so charakterisiert, dass der Einschaltstrom 10mal so gross sein soll als der Ausschaltstrom I_e , sollten folgende Prüfungen empfohlen werden:

a) Prüfung des Schaltvermögens unter abnormalen Betriebsbedingungen

Prüfstromkreis: $\cos \varphi = 0,7$, kein Parallelwiderstand.

Durchzuführende (Typen) Prüfung: 100 Schaltspiele (EIN-AUS).

Zweck: Ermittlung des zulässigen Grenzstromes, um daraus den Nennbetriebsstrom I_e ($= 1/10$ des erreichten Grenzstromes) ableiten zu können.

Hinweis: Der Nennbetriebsstrom darf nicht grösser sein als der thermische Dauerstrom I_{th} .

b) Prüfung des Einschaltvermögens

Falls eine gesonderte Prüfung des Einschaltvermögens durchgeführt wird, sollte hierzu ein rein Ohmscher Kreis verwendet werden. Die Prüfung soll den Charakter einer Spezialprüfung haben. Schaltzahl: 100 Einschaltungen.

c) Angabe eines Prüfstromkreises für die Prüfung der Kontaktlebensdauer

Prüfstromkreis: Entweder gemäss Fig. 16a, mit einem Einschaltkreis mit $\cos \varphi = 0,7$ ohne Parallelwiderstand und einem Abschaltkreis mit $\cos \varphi = 0,4$ mit Parallelwiderstand (Parallelstrom 3 %). Das Verhältnis von Einschalt zu Abschaltstrom soll 10 : 1 sein.

oder gemäss Fig. 16b mit dem gleichen Kreis für den EIN- und AUS-Schaltvorgang ($\cos \varphi = 0,4$ mit Parallelwiderstand).

Hinweis: Bei modernen Konstruktionen ist der Einschaltabbrand etwa $1/10$ des Ausschaltabbrandes oder weniger. Man könnte daher den einfacheren Prüfstromkreis wählen um den Kontaktabbrand zu ermitteln.

Die Kontaktlebensdauer hängt aber ausser vom Kontaktabbrand auch noch von anderen Kriterien ab. So gibt es z. B. Steuerschalter, bei welchem der Kontaktdruck mit zunehmenden Abbrand erheblich verringert wird. Durch diese Reduktion des Kontaktdruckes — welche bei Relais mit eingefederten Kontakten bis zum Wert Null führen kann — wird die Schweißneigung der Kontakte beträchtlich erhöht.

Da das Verschweissen der Kontakte ein wesentliches Beurteilungskriterium darstellt und stark von der Stromstärke abhängt, scheint es angebracht, die Versuche mit dem hohen Einschaltstrom von $10 I_e$ auszuführen, d. h. den Prüfstromkreis gemäss Fig. 16 a zu benutzen. Dieser Prüfstromkreis simuliert die Verhältnisse der praktischen Anwendung zuverlässiger als die vereinfachte Anordnung gemäss 16 b.

Zweck: Die Festlegung dieses Prüfstromkreises soll sicherstellen, dass die Kontaktlebensdauer von allen Herstellern unter identischen Bedingungen geprüft wird.

Die Kontaktlebensdauer-Prüfung ist keine Typenprüfung, sondern eine Spezialprüfung, für welche keine Prüfpflicht besteht.

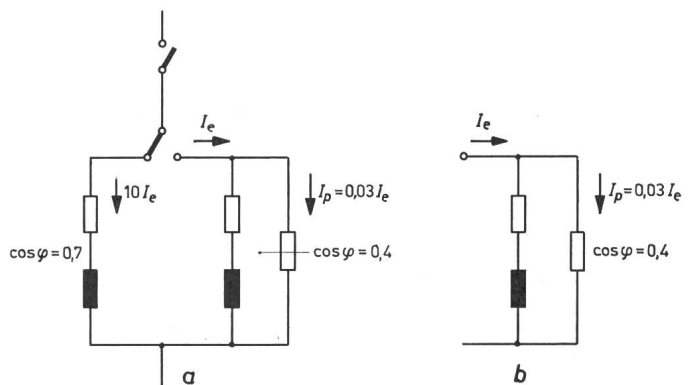


Fig. 16

Prüfstromkreis

I_e Nenn-Betriebsstrom; I_p Parallelstrom

Prüfstromkreis		Schaltrelais 1polig benutzt	Schaltrelais mehrpilig ¹⁾	Mikroschalter	Hilfskontakt
Leistungs- faktor $\cos \varphi$	Parallel- strom I_p	$I = 25 \text{ A}$ $U = 220 \text{ V}$ Kontaktöffnung: 0,3 mm Kontaktdruck: 20 g Anzahl Prüflinge: 16	$I = 22 \text{ A}$ $U = 220 \text{ V}$ 0,5 mm 25 g	$I = 55 \text{ A}$ $U = 220 \text{ V}$ 0,3 mm ? g	$I > 300 \text{ A}$ $U = 220 \text{ V}$ 2×3 mm 2×60 g
VERSUCHSERGEBNIS					
Obere Zeile: Erster Überschlag nach...Schaltspielen Mittlere Zeile: Anzahl der Überschläge pro 100 Schaltspiele Untere Zeile: Anzahl der Verschweissungen pro 100 Schaltspiele					
0,4	3 %	— 50 — 63 — 2 — 2 — — — 1	— 4 2	— — — — — — — — — 1 2 —	} keine Fehler
0,7	1 %	98 — — — 1 — — — — — — —			} keine Fehler
1	0 %	— 41 31 92 2 3 1 1 —	5 20 4	— — — — 32 37 69 ?	} keine Fehler
0,7	0 %	35 — — 19 4 — — 2 — — — 1	3 3 3	2 18 62 1 — 3 1 5	keine Fehler

¹⁾ zwischen 2 benachbarten Kontaktfedern Spannung von 220 V.

Literatur

[1] H. Zoerb: Die Beanspruchung von Hilfsstromquellen beim Schalten von Schützenmagneten. ETZ-B 15(1963)11, p. 312...313.
 [2] W. Burstyn: Elektrische Kontakte und Schaltvorgänge. Grundlagen für den Praktiker, 3. Auflage, Berlin, Springer-Verlag 1950.
 [3] H. Franken: Schütze und Schützensteuerungen. Berlin, Springer-Verlag 1959.

[4] O. Loh: Vorschriften zur Prüfung und Beurteilung von Schaltstücken bei Schützen. E u. M 82(1965)1, p. 19...22.

Adresse des Autors:
 J. Kirchdorfer, Ghelmetti AG, 4500 Solothurn.