

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

**Band:** 60 (1969)

**Heft:** 6

**Artikel:** Prüfung des Schaltvermögens von Steuerschaltern

**Autor:** Kirchdorfer, J.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916133>

#### **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:** 16.01.2026

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

# Prüfung des Schaltvermögens von Steuerschaltern

Von J. Kirchdorfer, Solothurn  
2719 - 2735

621.316.542

In dem CEI-Entwurf<sup>1)</sup> der Empfehlung zur Prüfung von Steuerschaltern (Schalter für Hilfsstromkreise) ist zur Prüfung des Schaltvermögens ein einfacher Prüfstromkreis vorgesehen, über den bereits früher im Bulletin des SEV berichtet wurde [1]<sup>2)</sup>. In letzter Zeit wurden von verschiedenen Autoren einige ergänzende Messungen durchgeführt, über die im Folgenden kurz berichtet werden soll.

Die Betrachtungen sind auf Wechselstrom beschränkt.

## 1. Zweck der Prüfung

Die Prüfung des Schaltvermögens soll den Nachweis erbringen, dass der Steuerschalter in der Lage ist, die seiner Verwendungskategorie zugeordneten Vielfachwerte des Nennbetriebsstromes unter den schwierigsten Betriebsbedingungen sicher ein- und auszuschalten.

Im CEI-Entwurf sind die Bedingungen für Wechselstrom gemäss Tabelle I festgelegt.

Da die abnormalen Betriebsbedingungen die schwierigsten sind, ist die Prüfung des Schaltvermögens nur unter diesen Bedingungen vorgesehen, wobei der Steuerschalter bei Wechselspannung 50mal die festgelegten Werte ein- und abschalten muss. Die Prüfung wird nach der CEI-Empfehlung mit einem Prüfstromkreis nach Fig. 1 durchgeführt. Dieser Prüfstromkreis simuliert das Verhalten von Elektromagneten im Störungsfall.

## 2. Bemerkung zum Prüfstromkreis

Bei der Festlegung dieses einfachen Prüfstromkreises war bekannt, dass zur Erzielung reproduzierbarer Verhältnisse bei Abschaltvorgängen eigentlich die wiederkehrende Spannung zu definieren wäre. Dies kann in einfacher Form durch die Angabe des Überschwingfaktors und der Einschwingfrequenz  $f$  geschehen, wobei der Prüfstromkreis so justiert werden muss, dass diese Werte innerhalb festgelegter Toleranzen erreicht werden.

Die an der Ausarbeitung des Steuerschalter-Dokumentes der CEI beteiligten Delegierten kannten diese Methode und hatten auch Kenntnis davon, dass Vorschläge vorlagen, für Motorschalter den Prüfstromkreis durch Beachtung dieser

Gesichtspunkte zu verbessern<sup>3)</sup>. Sie standen vor der Frage, ob ein solches Vorgehen auch für die Steuerschalter angebracht sei.

Mit Rücksicht auf die praktischen Gegebenheiten beim Einsatz der Steuerschalter in Wechselstromkreisen, die zu mehr als 95 % für Nennspannungen von weniger als 250 V verwendet werden (Fig. 2) und selbst bei abnormalen Betriebsbedingungen nur Ströme in der Größenordnung weniger Ampère zu unterbrechen haben, wurde für die Steuerschalter die einfachste Prüfmöglichkeit gewählt und ein Prüfstromkreis festgelegt, anstatt die wiederkehrende Spannung genau zu definieren und den Kreis jeweils entsprechend zu justieren. Für diesen Entscheid waren folgende Überlegungen massgebend:

2.1 Zweck der Festlegung ist, eine möglichst einfache, konventionelle Prüfung festzulegen, bei der durch geeignete

Kombination der Parameter ein etwa gleichartiger Effekt in Bezug auf den charakteristischen Verlauf der wiederkehrenden Spannung erzielt wird, wie er an den Elektromagneten von Schützen zu beobachten ist. Der charakteristische Verlauf ist für Schützenspulen mit unterschiedlicher Stromaufnahme in Fig. 3 dargestellt. Dieses transiente Verhalten, mit einer sehr rasch abklingenden Oberschwingung, wurde von allen Autoren beobachtet [1...4].

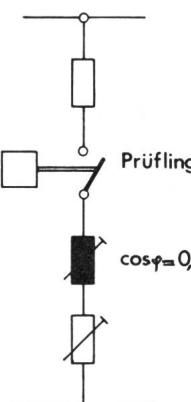


Fig. 1  
Prüfstromkreis zur Prüfung des Schaltvermögens

2.2 Das dargestellte, transiente Verhalten kann auf verschiedene Arten nachgebildet werden. Am einfachsten durch die Serieschaltung eines Widerstandes und einer Luftdrosselspule. Diese Nachbildung lässt sich begründen aus dem Ersatzschaltbild in Fig. 4, unter Berücksichtigung der Tatsache, dass bei den hochfrequenten Ausgleichsvorgängen der prozentuale Anteil der Eisenverluste vernachlässigbar klein wird.

2.3 Es ist zu berücksichtigen, dass der Fall eines gleichzeitigen Blockierens mehrerer parallelgeschalteter Magnete bei

<sup>1)</sup> CEI = Commission Electrotechnique Internationale.

<sup>2)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

<sup>3)</sup> Dieser Vorschlag hat inzwischen im Dokument 17B(Central Office)35 seinen Niederschlag gefunden.

Bedingungen des CEI-Entwurfes 17B(Sekretariat)72

Tabelle I

Kategorie	Normale Betriebsbedingungen						Abnormale Betriebsbedingungen						
	Einschalten			Abschalten			Einschalten			Abschalten			
	$I$	$U$	$\cos \varphi$	$I$	$U$	$\cos \varphi$	$I$	$U$	$\cos \varphi$	$I$	$U$	$\cos \varphi$	
AC 11	$10 I_e$	$U_e$	0,7	$I_e$	$U_e$		0,4	$10 I_e$	1,1 $U_e$	0,7	$10 I_e$	1,1 $U_e$	0,7

Als «normale Betriebsbedingung» gilt das Einschalten offener und das Abschalten geschlossener Elektromagnete. Als «abnormale Betriebsbedingung» gilt das Abschalten von Elektromagneten, deren Anker in der offenen Stellung infolge einer Störung mechanisch blockiert ist.

$I_e$  Nennbetriebsstrom (entspricht dem Haltestrom der Spule);  
 $U_e$  Nennbetriebsspannung.

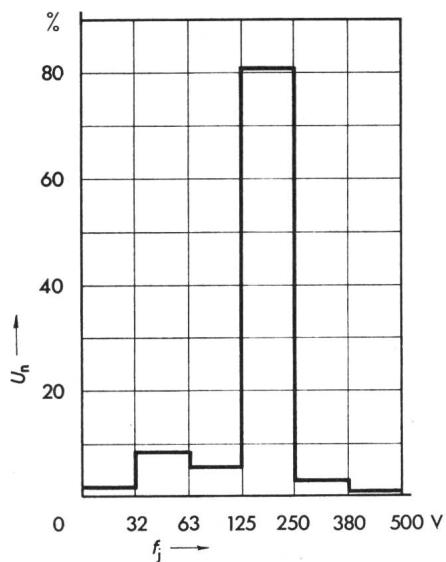


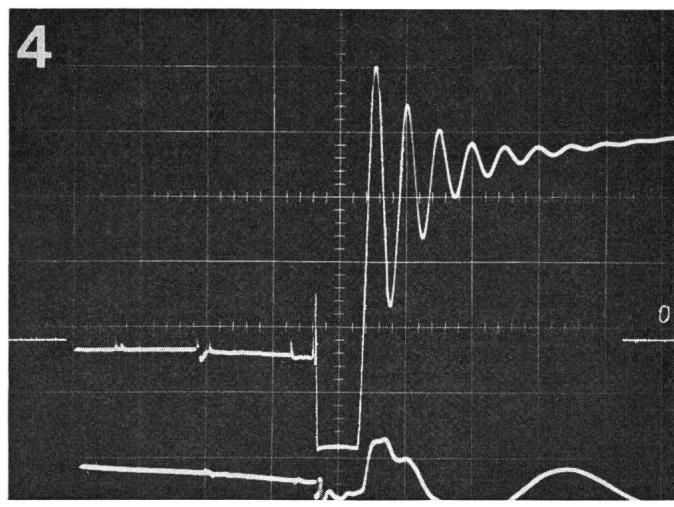
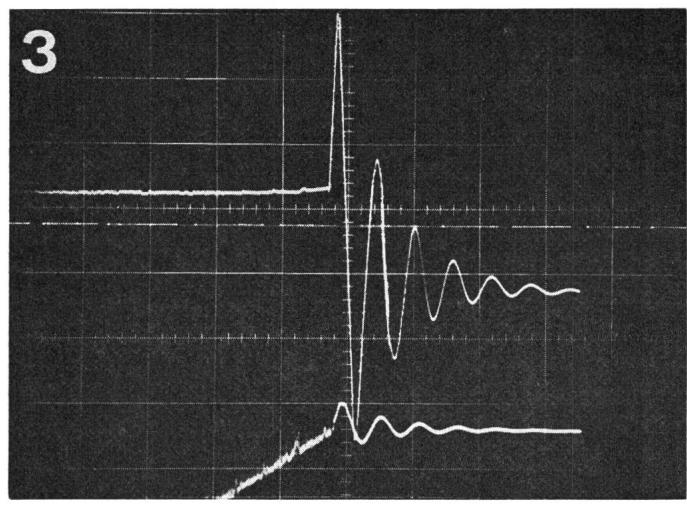
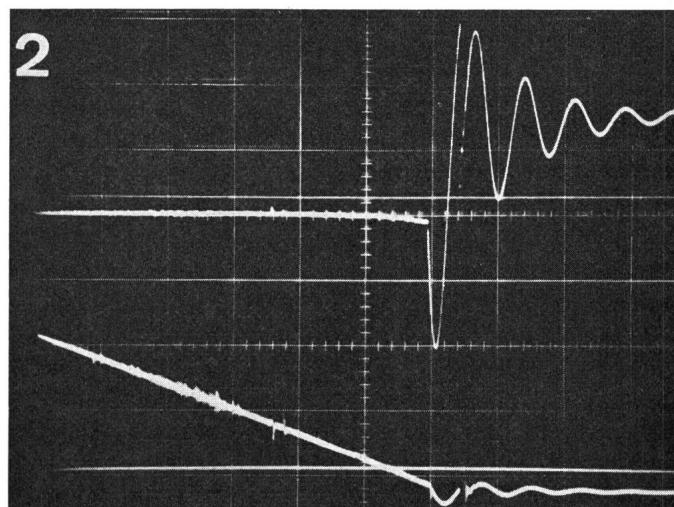
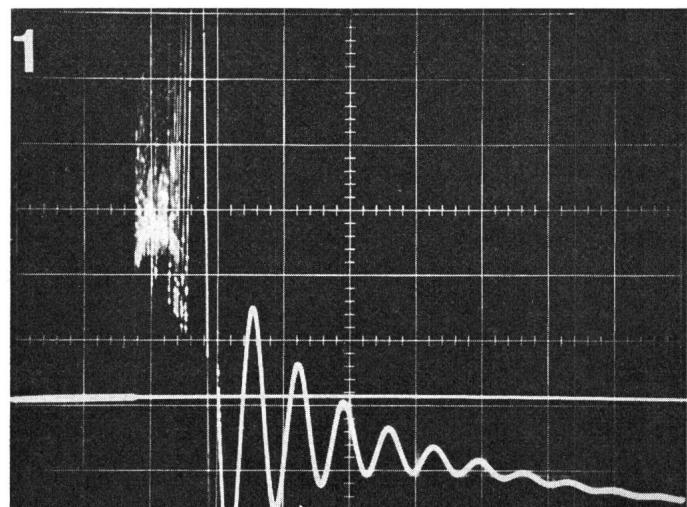
Fig. 2  
Die Häufigkeitsverteilung  $-f_j$  der Nennspannung  $U_n$  von Schützspulen  
Durchschnittswerte

voller Betriebsspannung sehr unwahrscheinlich ist. Für den prüftechnisch interessanten Fall hoher Strombelastung durch Parallelschaltung mehrerer Magnete ist damit zu rechnen,

dass die Belastung im Störungsfall aus der Parallelschaltung eines blockierten Magneten mit mehreren normal arbeitenden Magneten besteht. Der Abschaltstrom im Störungsfall wird daher im Verhältnis zu Nennbetriebsstrom günstiger liegen und der Stromkreis eine stärkere Dämpfung aufweisen. (Die Größenordnung der Reduktion der Einschwingfrequenz und des Überschwingfaktors bei Parallelschaltung eines gleich grossen, nicht blockierten Schützes beträgt ca. 10 %.)

2.4 Bei Steuerschaltern werden oft nur geringe Kontaktkräfte angewendet. Dies hat zur Folge, dass solche Steuerschalter primär wegen des Verschweissens der Kontakte beim Einschalten ausfallen. Der Prüfstromkreis für das Schaltvermögen (Ein- und Ausschalten kombiniert) sollte dieser praktischen Erfahrung Rechnung tragen und so ausgelegt sein, dass der praktisch kritischere Fall möglichst scharf geprüft wird. Dies erreicht man wegen des steileren Stromanstieges durch hohen  $\cos \varphi$ .

2.5 Steuerschalter sind im allgemeinen für häufiges Schalten relativ kleiner Leistungen bestimmt. Die Nennleistung (Halteleistung) der Magnete liegt in einem Bereich von etwa 10...200 VA, die Leistung unter abnormalen Betriebsbedingungen (offen blockiert) etwa zwischen 50 und 5000 VA, wobei die hohen Leistungen nur äusserst selten vorkommen. Legt man



Die wiederkehrende Spannung beim Abschalten von Schützen unter abnormalen Betriebsbedingungen (im offenen Zustand blockierte Magnete)

Kontaktoffnung: 0,3 mm; Öffnungsgeschwindigkeit: 0,08 mm/ms; Nenn-Schaltvermögen 100 VA; 1 ein Schütz  $I_a = 0,35$  A;  $U_N = 220$  V, Zeitablenkung: 0,5 ms/Einheit; Vertikal-Ablenkung: ca. 185 V/Einheit; 2 ein Schütz  $I_a = 9$  A;  $U_N = 220$  V, Zeitablenkung: 25  $\mu$ s/Einheit; 3 zwei Schütze  $I_a = 18$  A;  $U_N = 220$  V, Zeitablenkung: 25  $\mu$ s/Einheit; 4 Schütz  $I_a = 4,5$  A;  $U_N = 500$  V, Zeitablenkung: 100  $\mu$ s/Einheit  
obiger Strahl: Spannung; unterer Strahl: Strom  
 $I_a$  Strom bei abnormalen Betriebsbedingungen

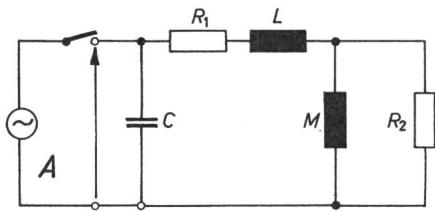


Fig. 4  
Ersatzschaltbild eines Elektromagneten

A Ersatzschaltbild bei Berücksichtigung der Eisenverluste;  
B Ersatzschaltbild bei Vernachlässigung der Eisenverluste;  
R Widerstand;  $R_1$  Wirkwiderstand der Spule;  $R_2$  Wirkwiderstand der Eisenverluste;  $L$  Induktivität;  $M$  Gegeninduktivität;  $C$  Wicklungskapazität;  $I$  Strom (freie Komponente);  $U$  Spannung an der Spule;  $U_s$  Spannung der Speiseleitung;  $a, b$  Anschlussklemmen der Spule

die Konvention zu Grunde, dass der Nennstrom  $I_e$  10mal kleiner als der Strom bei blockiertem Magnet sei, so kommt man bei 500 V auf praktisch zu erwartende Nennbetriebsströme von maximal etwa 1 A.

Mit Rücksicht auf die Kontaktlebensdauer sollte der Nennbetriebsstrom  $I_e$  vernünftigerweise im praxisnahen Bereich

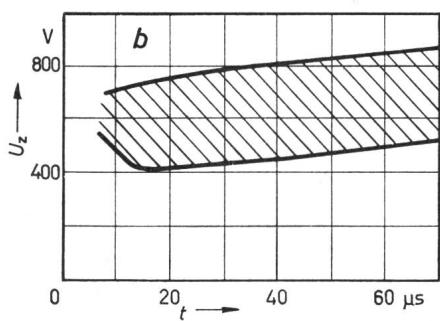
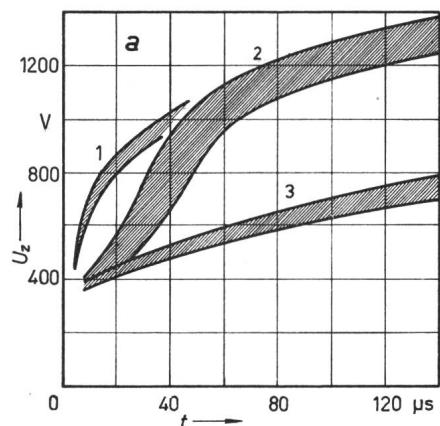


Fig. 5

Die Wiederverfestigung der Schaltstrecke nach dem Abschalten von Wechselstrom 75 A, 690 V,  $\cos \varphi = 0,4$  [8; 11]

a bei idealisierter Kontaktordnung und Einfachunterbrechung  
b Luftschiütz mit Doppelunterbrechung, Kontaktöffnung ca.  $2 \times 4$  mm  
1 Kontaktöffnung 0,3 mm; 2 Kontaktöffnung 1,5 mm; 3 Kontaktöffnung 5,5 mm;  $U_z$  Wiederverfestigungsspannung;  $t$  Zeit nach dem Nullwerden des Stromes

liegen, teilweise wesentlich unter dem thermischen Nennstrom, der gewöhnlich mit etwa 6 oder 10 A angegeben wird.

Die zugeordneten Prüfströme von  $10 I_e$  sind bei den üblichen Steuer-Spannungen ausserordentlich leicht zu unterbrechen.

Diesen Überlegungen kann das bekannte Argument entgegengehalten werden, dass die Angabe von  $L$  und  $R$  allein einen zu weiten Spielraum für die nicht definierte Wicklungskapazität lasse und somit eine ausreichende Vergleichbarkeit der Messungen in Frage stelle, weil bekanntlich die transiente Komponente der wiederkehrenden Spannung von der Wicklungskapazität sehr wesentlich beeinflusst wird.

Das Argument ist zutreffend, allerdings mit der Einschränkung, dass es für den Spannungsbereich unter etwa 380 V keine Geltung hat, da bei Wechselstromabschaltung für Steuerströme in diesem Bereich keine Probleme entstehen. Bei hohen Nenn-Betriebsspannungen hingegen (500, 660 V usw.) könnte

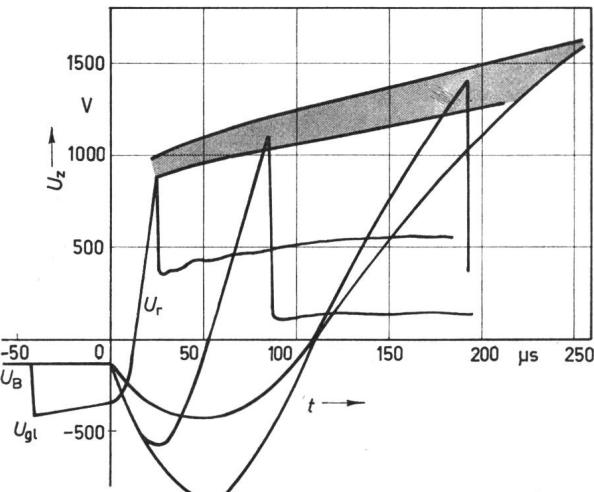


Fig. 6  
Wiederzündspannungen als Funktion der Zeit nach dem Stromnulldurchgang bei Einfachunterbrechung [9]

$I = 4,5$  A;  $U = 540$  V;  $\cos \varphi = 0,4$ ;  $v = 0,5$  m/s; Kontaktmaterial: Feinsilber;  $U_B$  Lichtbogenspannung;  $U_{gl}$  Glimmspannung;  $U_r$  Einschwingspannung;  $U_z$  Wiederzündspannung;  $t$  Zeit nach dem Nullwerden des Stromes  
Kontaktöffnung im Augenblick des Nullwerdens des Stromes = 5mm

es sich als ein Mangel erweisen, die Steilheit des Spannungsanstieges bzw. die Frequenz der Einschwingspannung nicht ausreichend definiert zu haben, weil die Wiederverfestigung der Schaltstrecke eine Funktion der Zeit ist, die – zumindest bei Einfachunterbrechung – im interessierenden Bereich von 5...100  $\mu$ s deutlich ansteigt.

Einen Begriff vom Ausmass des Anstieges geben die Fig. 5 und 6, die von G. Burghardt [8; 11] und G. Studtmann [9] stammen. Diese Figuren, wie auch die Fig. 7 und 8, zeigen deutlich, welchen Einfluss diverse Parameter des Schalters auf die mögliche Grösse der wiederkehrenden Spannung haben. Für die Festlegung des Prüfstromkreises ist es jedoch ausreichend, die vom Schalter unbeeinflussten Kenngrössen der passiven Belastungselemente zu betrachten.

### 3. Die Berechnung der wiederkehrenden Spannung

Zur Berechnung der wiederkehrenden Spannung geht man zweckmässig vom Ersatzstromkreis gemäss Fig. 4 aus. Die dämpfende Wirkung des Eisens, charakterisiert durch den Widerstand  $R_2$ , wird umso kleiner, je weiter der Magnet geöff-

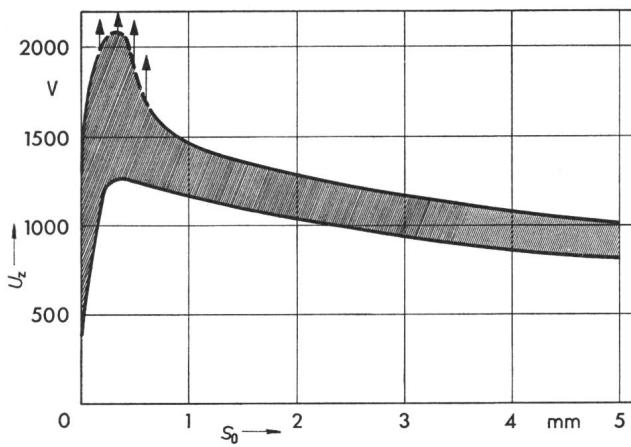


Fig. 7

Bereich gemessener Wiederzündspannungen  $U_z$  in Abhängigkeit vom Kontaktabstand  $S_0$  [19]

$I = 9$  A;  $U = 540$  V;  $\cos\varphi = 0,4$ ;  $f_x = 8,2$  kHz;  $\gamma^* = 1,9$ ; Kontaktmaterial: Feinsilber; Anzahl der Abschaltungen: ca. 400

net wird. Der Leistungsumsatz im Eisen beträgt bei betriebsfrequenten Vorgängen an den Elektromagneten von Schützen

bei geschlossenem Magnet etwa 70...90%  
bei geöffnetem Magnet etwa 5...20%

der gesamten Wirkleistungsaufnahme.

Bei den hochfrequenten Ausgleichsvorgängen ( $f_x$  ca. 10...60 kHz) ist die Leistungsverteilung infolge der unterschiedlichen Frequenzabhängigkeit der Blind- und Wirkwiderstände wesentlich anders im Sinne eines erheblich kleineren Einflusses der Eisenverluste.

Wie die quantitativen Verhältnisse bei Schützen etwa liegen, gibt G. Studtmann [9] in einer Forschungsarbeit an. Für eine worst-case-Betrachtung ist es angebracht, die Eisenverluste bei der Berechnung des Einschwingvorganges (zumindest für die Zeit nach  $t = 0$ ) vollständig zu vernachlässigen und den Ausgleichsvorgang für den tatsächlich schlimmsten Fall des Fehlens jeglicher Dämpfung durch das Eisen zu errechnen. Dies ist auch darum zu empfehlen, weil wegen der grossen

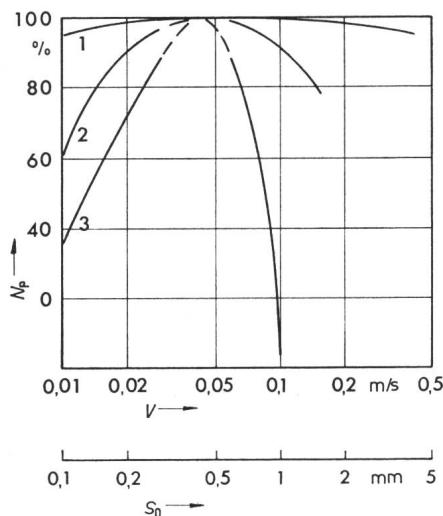


Fig. 8

Die Prozentuale Löschhäufigkeit  $N_p$  in Abhängigkeit von der Lichtbogenlänge [8]

Kontaktmaterial: Silber; Spannung  $U = 209$  V ( $U_{\max} = 400$  V);  $\cos\varphi = 0,4$  (Luftdrosselpule) Kontaktöffnung beginnt beim Stromnulldurchgang  $I = 80$  A,  $\sigma = 27$  V/ $\mu$ s; 2  $I = 240$  A,  $\sigma = 42$  V/ $\mu$ s; 3  $I = 400$  A,  $\sigma = 50$  V/ $\mu$ s;  $\sigma$  Steilheit des Spannungsanstieges;  $v$  Öffnungsgeschwindigkeit;  $S_0$  Kontaktöffnung beim Nullwerden des Stromes

Unterschiede der im Handel befindlichen Elektromagnete ohnehin Reihenuntersuchungen nötig sind, um eine «mittlere Einschwingfrequenz» und einen «mittleren Überschwingfaktor» statistisch zu ermitteln.

Für den vereinfachten Ersatzstromkreis nach Fig. 4B erhält man nach Umformung ( $i = C \cdot dU/dt$ ) die Differentialgleichung:

$$\frac{d^2U}{dt^2} + \frac{R}{L} \cdot \frac{dU}{dt} + \frac{U}{LC} = 0 \quad (1)$$

welche sich unter Verwendung der Laplace Transformation sehr einfach lösen lässt. Nach G. Doetsch [10] erhält man als Lösung im Unterbereich:

$$U_{(s)} = \frac{U_{(+0)} (2\alpha + s) + U_{(+0)'}}{s^2 + 2\alpha s + \Omega_0^2}$$

Als Anfangswert  $U_{(+0)}$  hat man den Momentanwert der Spannung  $U_1$ , also  $\hat{U}_1 \sin \varphi$  einzusetzen, falls man zunächst die

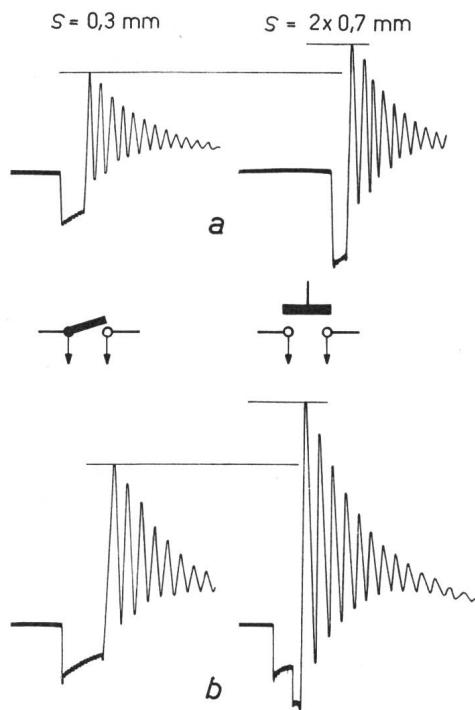


Fig. 9

Wiederkehrende Spannung beim Abschalten des Prüfstromkreises für abnormale Betriebsbedingungen an Steuerschaltern mit Einfach- und Doppelunterbrechung

$$a \quad U_e = 220 \text{ V}; I_a = 0,5 \text{ A}; \cos\varphi = 0,7$$

$$b \quad U_e = 500 \text{ V}; I_a = 0,5 \text{ A}; \cos\varphi = 0,7$$

Lichtbogenspannung  $U_B$  als vernachlässigbar betrachtet. Der Anfangswert  $U_{(+0)'}^{'}$  ist für die freie Schwingung (Entladung der Kapazität) gleich Null zu setzen, da die Induktivität keine sprunghafte Entladung zulässt.

Die Lösung von Gl. (1) lautet mit diesen Randbedingungen:

$$U_{(t)} = \hat{U}_1 \sin \varphi \frac{\Omega_0}{\Omega} e^{-\alpha t} \sin(\Omega t + \tau) \quad (2)$$

mit

$$\alpha = \frac{R}{2L} \quad (\text{Dämpfungskonstante})$$

$$\Omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (\text{Kreisfrequenz der ungedämpften Schwingung})$$

$$\Omega = \sqrt{\Omega_0^2 - \alpha^2} \quad (\text{Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung})$$

$$\tan \tau = \frac{\Omega}{\alpha} \quad \left( \sin \tau = \frac{\Omega}{\Omega_0} \right)$$

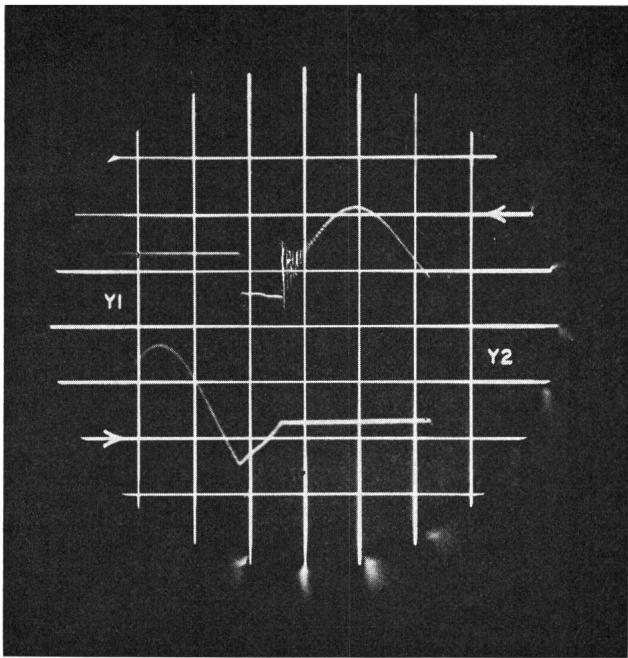


Fig. 10  
Die wiederkehrende Spannung und der Strom beim Abschalten eines Stromes von 0,5 A bei 220 V

Prüfling: Steuerschalter mit 0,25 mm Kontaktöffnung; Last: Prüfstromkreis gemäss Fig. 1 (cos $\varphi$  = 0,7)

Für die wiederkehrende Spannung an der Schaltstrecke gilt demnach:

$$U_r = \hat{U}_1 \sin \varphi \left[ 1 - \frac{\Omega_0}{\Omega} e^{-\alpha t} \sin(\omega t + \tau) \right] \quad (3)$$

Die Voraussetzungen, welche bei der Ableitung getroffen wurden, gelten für einen idealen Schalter. Sie sind in guter Näherung erfüllt, wenn man anstelle des Steuerschalters eine Diode verwendet, um die unbeeinflussten Kennwerte des Kreises zu ermitteln. Beim tatsächlichen Schalten sind die

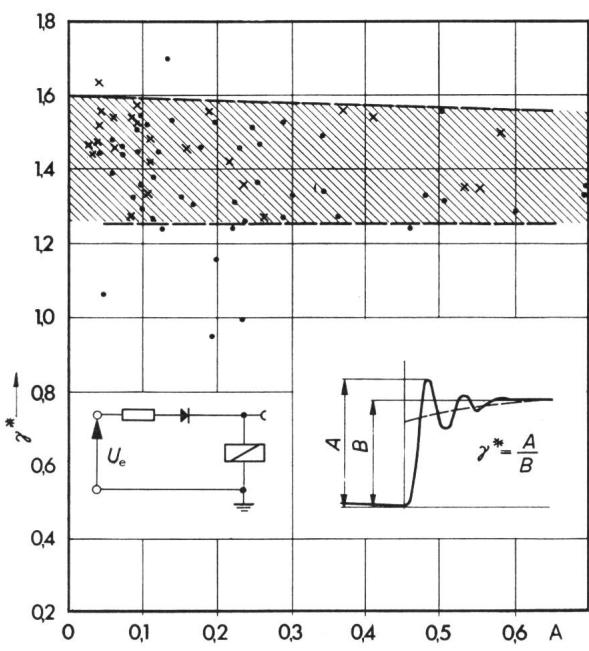


Fig. 11  
Die Natürlichen Überschwingfaktoren von Schützspulen, deren Magnetkerne in offener Stellung blockiert wurden

$I_e$  Nennbetriebsstrom der (geschlossenen) Magnete bei 220 V Spulenspannung (240 V für •)

× nach G. Studtmann [2]; • nach H. W. Turner

$A$  höchste Spitze der Einschwingspannung;  $B$  Bezugsspannung ( $U_1 \sin \varphi$ );  $\gamma^*$  Überschwingfaktor

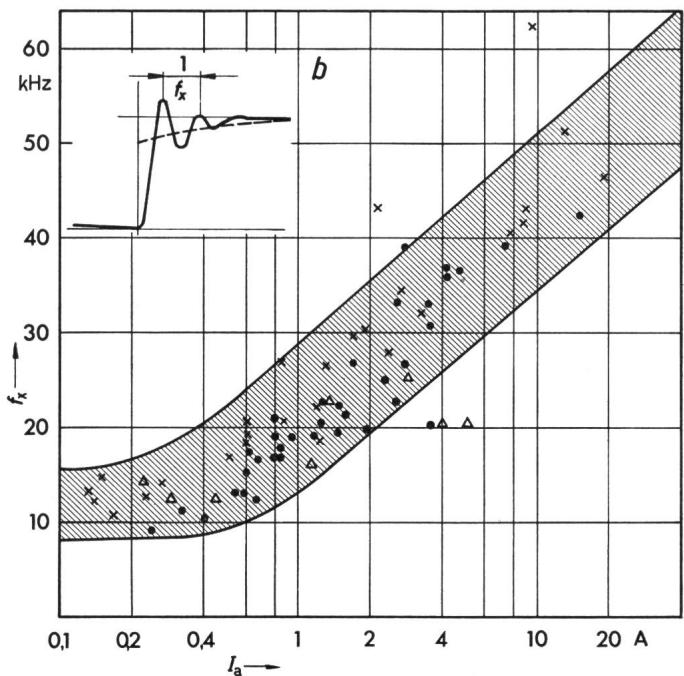
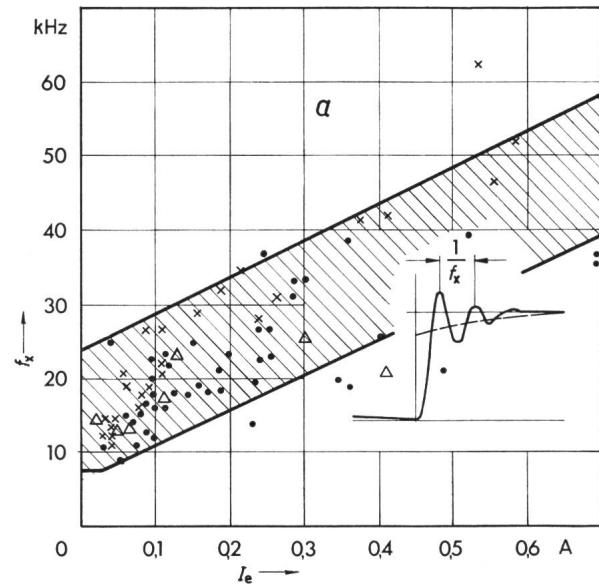


Fig. 12  
Die Einschwingfrequenzen von Schützspulen, deren Magnetkerne in der offenen Stellung blockiert wurden  
a  $I_e$  Nennbetriebsstrom der (geschlossenen) Magnete bei 220 V Spulenspannung (240 V für •); b  $I_a$  Stromaufnahme der im offenen Zustand blockierten Magnete  
× nach G. Studtmann; • nach H. W. Turner; △ nach Siemens AG

Voraussetzungen meist nicht erfüllt. In vielen Fällen sind die Anfangsbedingungen wesentlich anders als für die Rechnung angenommen. Würde man z. B. die Lichtbogenspannung nur in stark idealisierter Form berücksichtigen, so müsste man — weil die Spannung über dem Kondensator unmittelbar vor dem Nulldurchgang um  $U_B$  kleiner war als für  $t = +0$  und auch die in der Induktivität auftretende Gegenspannung  $L' I'$  dementsprechend kleiner ist, — die Wirkung des Spannungssprunges um  $U_B$  der freien Schwingung überlagern. Damit lassen sich z. B. die Unterschiede der wiederkehrenden Spannung bei Einfach- und Doppelunterbrechung erklären (Fig. 9).

Eine weitergehende rechnerische Behandlung hat aber wenig Sinn, denn die Vorgänge beim Löschen des Lichtbogens sind sehr komplex. Die Annahme, dass der Strom im Schwingkreis im Augenblick des Löschens tatsächlich 0 sei, ist häufig nicht

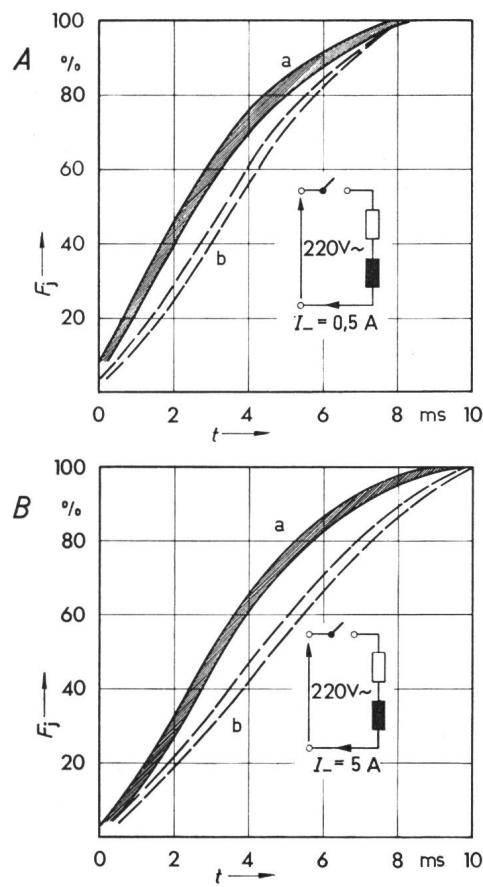


Fig. 13

**Summenhäufigkeit  $F_j$  der Lichtbogen-Brenndauer von Wechselstrom-Lichtbögen bei simulierten, abnormalen Betriebsbedingungen (Störungsfall)**  
 Spannung: 220 V; Strom  $I = 0,5$  A (A) und 5 A (B);  $\cos\varphi = 0,4$  bis 0,7; Kontaktöffnung:  $a = 0,25$ ;  $b = 2,5$  mm; Einfachunterbrechung; Kontaktmaterial: Feinsilber; Kontakt-Durchmesser = 5,5 mm; Öffnungs-Geschwindigkeit: 0,2 m/s; Anzahl der Schaltungen pro Parameter-Paarung: 200  
 $t$  Lichtbogen-Brenndauer

erfüllt, weil oft ein Abreissen der Spannung und ein Neubeginn des Schwingungsvorganges unter veränderten Anfangsbedingungen stattfindet. Dies ist in Fig. 3 deutlich zu sehen. Außerdem ist bei den häufig vorkommenden, niederen Werten der Abschaltströme damit zu rechnen, dass unter gewissen Bedingungen (je nach dem Abschaltmoment) infolge der hohen Lichtbogenspannung ein gleichstrommässiges Abschalten durch Stromreduktion entsteht. Fig. 10 zeigt entsprechende Abschalt-Oszillogramme.

#### 4. Die «natürlichen» Kenndaten von Schützenpulsen bei abnormalen Betriebsbedingungen

In letzter Zeit wurden von G. Studtmann [2] und H. W. Turner, einige Reihenmessungen über die natürlichen Einschwingvorgänge an Spulen von Schützen durchgeführt, deren Magnet in der offenen Stellung blockiert war. In den Fig. 11 und 12 sind diese Messungen zusammengefasst. Sie zeigen, dass der Überschwingfaktor der natürlichen Einschwingspannung  $\gamma^*$  (Schalter durch Diode ersetzt):

$$\gamma^* = \frac{A}{B}$$

A Maximalwert der höchsten Spannungsspitze; B Momentanwert der betriebsfrequenten Anfangsspannung  $\hat{U}_1 \sin \varphi$

etwa im Bereich von 1,2...1,6 liegt. Das Streuband ist praktisch horizontal, ist also unabhängig vom Nennbetriebsstrom. Bei

der Einschwingfrequenz hingegen ist eine deutliche Abhängigkeit vom Nennbetriebsstrom festzustellen.

Die angegebenen Werte wurden an Spulen für 220 bzw. 240 V ermittelt. Sie gelten in grober Näherung auch für höhere Spannungen. Da bei gleichem Magnet die Scheinleistung ungefähr gleich bleibt, verändert sich die Eigenfrequenz etwa reziprok proportional zur Nennspannung der Spule.

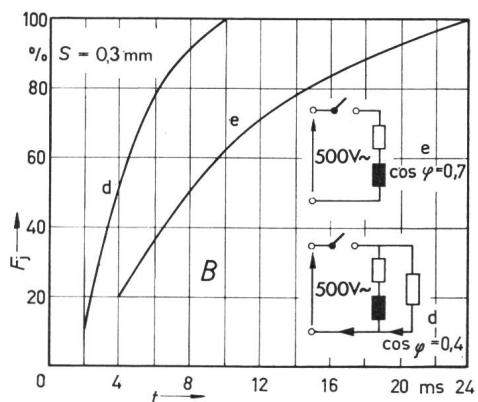
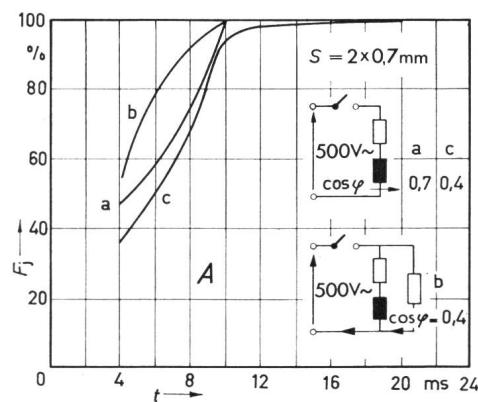
Geht man von der Überlegung aus, dass die Wahrscheinlichkeit eines gleichzeitigen Blockierens mehrerer Magnete bei voller Spannung vernachlässigbar klein ist, so können aus den vorliegenden Daten mittlere Kennwerte für eine annähernd ideale Nachbildung von Schützenpulsen abgeleitet werden.

Für die Festlegung von Mittelwerten, insbesondere beim Überschwingfaktor spricht u. a. der Umstand, dass ein Blockieren wohl nur äußerst selten in der Extremlage, sondern meist irgendwo zwischen den beiden Endlagen erfolgt. Dies hat eine deutliche Verkleinerung des Überschwingfaktors zur Folge. Für die Nachbildung von Schützenpulsen wäre es daher theoretisch richtig, einen Prüfstromkreis zu definieren, der folgende Nenngrößen aufweist:

Nennspannung	250	380	500 V
Einschwingfrequenz	45	30	20 kHz
Überschwingfaktor	1,4	1,4	1,4

#### 5. Folgerungen

Nachdem auf Grund der Messungen an einem repräsentativen Kollektiv unterschiedlicher Schütze brauchbare Mittelwerte der charakteristischen Kenndaten dieser Verwendungs-



**Summenhäufigkeit der Lichtbogen-Brenndauer von Wechselstrom-Lichtbögen bei Verwendung der angegebenen Prüfstromkreise**  
 a, b, c Kontaktöffnung  $S = 2 \times 0,7$  mm; Kontaktmaterial AgCdO; Öffnungsgeschwindigkeit 0,2 m/s  
 d, e Kontaktöffnung 0,3 mm; Kontaktmaterial Ag; Öffnungsgeschwindigkeit 0,08 m/s  
 $t$  Lichtbogen-Brenndauer  
 Spannung  $U_n = 500$  V; Strom  $I_a = 10$  A

kategorie nun bekannt sind, soll auch die Frage erörtert werden, inwieweit es sinnvoll ist, eine möglichst exakte Nachbildung dieser Mittelwerte anzustreben. Die praktische Erfahrung lehrt, dass für 99 % aller Steuerschalter, deren wirkliche Betriebsspannung unter 380 V liegt, diese Frage eindeutig verneint werden kann. Das Abschalten der in Steuerkreisen üblichen Leistungen stellt bei diesen Spannungen kein Problem dar. Die Lösung erfolgt, wie die Fig. 13 zeigt, stets innerhalb der ersten Halbwelle. Eine Variation des  $\cos \varphi$  von 0,7...0,4 bei «natürlichen» Überschwingfaktoren von etwa 1,7...1,9 brachte keine nennenswerte Veränderung.

Bei 500 V und 10 A hingegen führt die höhere Einschwingspannung beim niedrigeren  $\cos \varphi$  gelegentlich zu einem Wiederzünden des Bogens und zu einer unterschiedlichen Summenhäufigkeitsverteilung, wie die Kurven der Fig. 14 zeigen, welche mit Prüfstromkreisen aus Widerständen und Luftdrosselspulen ermittelt wurden. Wie die Verhältnisse bei einem blockierten Schütz mit hoher Stromaufnahme bei 550 V etwa liegen, zeigt Fig. 15.

Als Steuer-Schalter wurde ein Industrie-Relais mit 0,3 mm Kontaktöffnung verwendet, dessen Grenz-Schaltvermögen<sup>4)</sup> beim Abschalten des blockierten Elektromagneten mit:  $\cos \varphi = 0,4$ ,  $\gamma^* = 1,3$ ,  $f_x = 18 \text{ kHz}$  bei 600 V, 5,8 A und beim

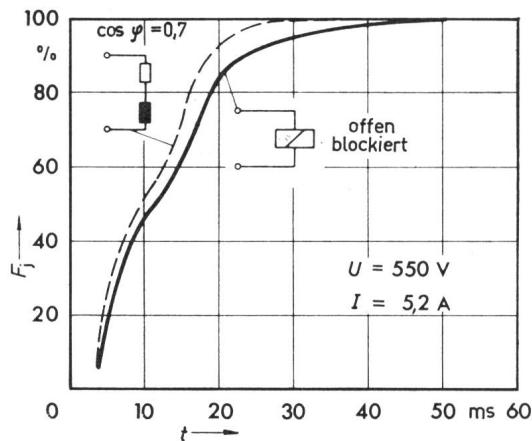


Fig. 15

Summenhäufigkeit  $F_j$  der Lichtbogen-Brenndauer von Wechselstrom-Lichtbogen bei abnormalem Betrieb (Magnet in offener Stellung blockiert)

Steuerschalter: Relais; Nenn-Schaltvermögen ( $I_e$ ,  $U_e$ ) = 100 VA; Kontaktöffnung  $S = 0,3 \text{ mm}$ ; Kontaktmaterial: Feinsilber, vergoldet; Kontakt durchmesser: 3 mm; Öffnungs-Geschwindigkeit: 0,08 m/s; Last: Schütz

Prüfstromkreis nach Fig. 1;  $f_x = 10,5 \text{ kHz}$ ;  $\gamma^* = 1,4$ ;  
 $I_a = 5,2 \text{ A}$  bei 550 V (2850 VA);  $f_x = 18 \text{ kHz}$ ;  $\gamma^* = 1,3$ ; Anzahl Schaltungen pro Kurve: 200  
 $t$  Lichtbogen-Brenndauer

Abschalten eines Prüfstromkreises gemäß Fig. 1 mit  $\cos \varphi = 0,7$ ,  $\gamma^* = 1,4$ ,  $f_x = 10,5 \text{ kHz}$  bei 660 V, 6,4 A liegt.

Das Ergebnis zeigt, dass die Nachbildung dieses Schützes durch den Prüfstromkreis nicht exakt erreicht wird und die konventionelle Prüfung in diesem Fall ein etwas günstigeres Ergebnis liefert. Sie bestätigt die nie bestrittene These, dass es theoretisch richtig wäre, die Prüfung mit Schaltkreisen vorzunehmen, deren transientes Verhalten ausreichend definiert ist.

Das Ergebnis zeigt aber auch die andere Seite des Problems sehr klar:

<sup>4)</sup> Als Grenz-Schaltvermögen gilt jener Wert der Abschalt-Scheinleistung, bei welcher der Lichtbogen innert 0,05 s nicht mehr verlöscht. Ein einmaliges oder sogar ein mehrmaliges Wiederzünden des Bogens ist jedoch statthaft.

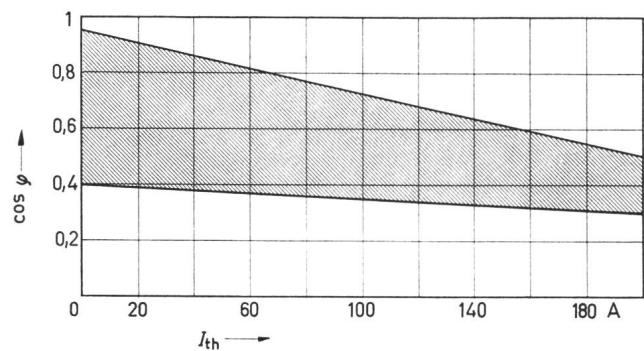


Fig. 16  
Streubereich der Leistungsfaktoren  $\cos \varphi$  von Schützen bei abnormalen Betriebsbedingungen in Abhängigkeit vom thermischen Nennstrom  $I_{th}$  der Schütze

Ein kleines Industrie-Relais, das für eine maximale Nennspannung von 250 V bestimmt ist und dessen Nenn-Schaltleistung vom Hersteller — mit Rücksicht auf eine hohe Kontaktlebensdauer — auf 100 VA festgelegt wurde, könnte das grösste, in der Schweiz hergestellte Schütz bei doppelt so hoher Nennspannung (500 V) noch sicher abschalten. Sein Grenzschaltvermögen wäre selbst beim Doppelten der vorgesehenen Nennspannung noch etwa 3mal so hoch als dies nach den Empfehlungen der CEI erforderlich ist. Bei der maximal zulässigen Nennspannung ist die Sicherheitsreserve noch erheblich grösser. Es stünde dem Hersteller also frei, den Nennbetriebsstrom wesentlich höher anzugeben. Dass er es nicht tut, liegt daran, dass dies von der erreichbaren Schaltzahl aus betrachtet ein wenig praxisfremd wäre. Aber selbst wenn er den fragwürdigen Vorteil wahrnehmen würde, sein Gerät aus optischen Gründen schalteistungsmässig aufzuwerten, wäre die Gefahr einer Überbeanspruchung, wiederum aus praktischen Gründen, nur sehr gering.

Man darf nicht vergessen, dass Schütze mit derart hoher Scheinleistungsaufnahme, wie im Beispiel behandelt, stückzahlmässig kaum ins Gewicht fallen. Die Häufigkeit ihrer Verwendung innerhalb sämtlicher Spannungsbereiche ist auf Promille beschränkt. Der auf den Spannungsbereich von 500 V und mehr entfallende Anteil ist noch um mindestens eine Grössenordnung kleiner. Bei Kontaktelementen üblicher Bauart (z. B. Steuerschützen mit Doppelunterbrechung) beträgt das Abschaltvermögen in Schaltkreisen mit Einschwingfaktoren von 1,6 bei 500 V etwa 20 kVA, bei 380 V etwa

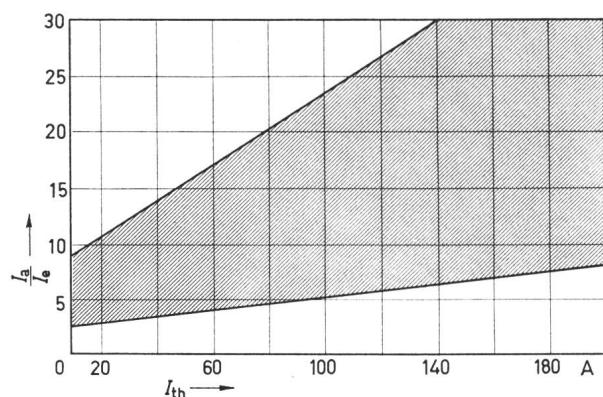


Fig. 17  
Streubereich des Quotienten  $I_a/I_e$  in Abhängigkeit vom thermischen Nennstrom  $I_{th}$  der Schütze  
 $I_a$  Strom bei abnormalen Betriebsbedingungen; (Magnet in offener Stellung blockiert);  $I_e$  Nennbetriebsstrom (Strom bei geschlossenem Magnet)

25 kVA. Das ist etwa eine Größenordnung höher, als die Leistungsaufnahme der grössten Schütze bei blockiertem Magnet.

Stellt man ausserdem in Rechnung, dass:

- a) das Verhältnis der Ströme  $I_a : I_e$  im Ausmass von etwa 3...30 variieren kann (Fig. 17);
- b) der Leistungsfaktor in weiten Grenzen streut (Fig. 16);
- c) die Einschwingfrequenz in Abhängigkeit von der Stromstärke zwischen etwa 3...60 kHz liegen kann (Fig. 12a);
- d) die natürlichen Überschwingfaktoren im Bereich zwischen etwa 1,2...1,6 variieren können (Fig. 11);
- e) die wirklichen Belastungswerte meist um mindestens eine Größenordnung kleiner sind als der Nennbetriebsstrom des Schalters,

so kann man ermessen, dass die Festlegung einer konventionellen Prüfmethode immer eine Art Lotterie darstellt. Eine Anpassung an den wirklichen Betriebsfall ist bei einer derartigen Streuung nur in so grober Näherung möglich, dass man um Feinheiten des Kompromisses nicht allzulange diskutieren sollte. Die Betrachtung hat ausserdem deutlich gezeigt, dass die Frage einer exakten Nachbildung eher durch unvernünftige Angaben praxisfremder Nenndaten als durch echte Bedürfnisse zu einem Problem wird.

Die Arbeitsgruppe für Steuerschalter des Fachkollegiums 17B des Schweiz. Elektrotechnischen Komitees kam daher, nach sorgfältiger Prüfung der erwähnten Gesichtspunkte, einstimmig zur Auffassung, dass aus praktischen Erwägungen der

im CEI-Dokument vorgesehene, einfache Prüfstromkreis zu unterstützen sei. Man könnte aber auch an eine Modifikation denken, wobei anstelle von  $\cos \varphi = 0,7$  der natürliche Überschwingfaktor  $\gamma^*$ , etwa in der Grösse  $1,5 \pm 0,1$  anzugeben sei.

## Literatur

- [1] J. Kirchdorfer: Eine Betrachtung von Prüfstromkreisen für Steuerschalter (Control-switches). Bull. SEV 57(1966)21, S. 970...980.
- [2] G. Studtmann: Kontaktbelastung beim Schalten von induktiven Kreisen mit Hilfsstromschaltern. Elektrische Ausrüstung 9(1968)1, S. 8/24...15/31.
- [3] E. Rühlemann: Einfluss der Magnetantriebe von Schützen und Hilfsrelais auf ihr Betriebsverhalten sowie auf die Beanspruchung der steuernden Schaltglieder. Regelungstechn. Praxis 1(1959)4, S. 109...111.
- [4] H. Zörb: Die Beanspruchung von Hilfsstromschaltern beim Schalten von Schützmagneten. ETZ-B 15(1963)11, S. 312...313.
- [5] A. Ehr und M. Schmelze: Die Einschwingspannung beim Ausschalten festgebremster Kurzschlussläufermotoren. ETZ-A 84(1963)11, S. 357...361.
- [6] H.-J. Mau: Kritische Bemerkungen zur Schaltvermögensprüfung von Motorschaltern und Schützen. Elektric 15(1961)9, S. 288...295.
- [7] G. Burghardt: Die wiederkehrende Spannung in Niederspannungsprüfkreisen und ihre Bedeutung für das Löschverhalten kurzer Lichtbögen. Elektrische Ausrüstung 3(1962)3, S. 83/25...89/31.
- [8] G. Burghardt: Über den Einfluss der Lichtbogenlänge und der Lichtbogenverlustarbeit auf die Wiederverfestigung kurzer Wechselstromlichtbögen in Luft. ETZ-A 85(1964)6, S. 161...166.
- [9] G. Studtmann: Über die Beanspruchung kleiner Niederspannungs-Schalter durch die Einschwingspannung bei der natürlichen Abschaltung induktiver Wechselströme. Forschungsarbeit der Technischen Universität Hannover 1968.
- [10] G. Doetsch: Anleitung zum praktischen Gebrauch der Laplace-Transformation. München, Oldenbourg, 1956.
- [11] G. Burghardt: Wiederverfestigung erloschener Lichtbogenstrecken bei Doppelunterbrechungen in Luftschrüten. ETZ-A 85(1964)10, S. 306...311.

## Adresse des Autors:

J. Kirchdorfer, Ingenieur, Ghielmetti AG, 4500 Solothurn.

2843



Sowohl Einzelteile aus der Entwicklung als auch Prototypen von Geräten der Nachrichtentechnik, unter anderem für den Satellitenfunk, müssen in Testverfahren verschiedenen klimatischen Beanspruchungen unterworfen werden. In der neuen Höhenklimakammer des Münchner Zentral-Laboratoriums der Siemens AG können alle irdischen Klimata nachgebildet werden. Von den Temperaturen der Arktis bis zum Wüstenklima, von tropischer Feuchtigkeit bis zum Luftdruck auf höchsten Berggipfeln und darüber hinaus reicht die Skala der Umweltbedingungen, die hier simuliert werden kann.