

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:	Probleme bei der Entwicklung von Leitungsschutzschaltern
Autor:	Wirth, H.P.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-915458

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: 13.01.2026

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

Probleme bei der Entwicklung von Leitungsschutzschaltern

Von H. P. Wirth

Der Wunsch nach höherer Schaltleistung und günstigeren Selektivitätsverhältnissen bestimmt die Entwicklungsrichtung von Leitungsschutzschaltern. Es werden die bei der Entwicklung auftretenden Probleme und einige für deren Lösung erforderliche Messmethoden besprochen.

1. Einleitung

Leitungsschutzschalter (LS) werden schon seit Jahrzehnten als Alternative zur Schmelzsicherung in Hausinstallationen eingebaut. Früher war der sog. Schraubautomat üblich, der anstelle einer Schmelzsicherung in das Sicherungselement eingeschraubt werden kann. Heute wird, vor allem in Neuinstallationen, nur noch der sog. Sockelautomat in Schmalbauweise verwendet, der entweder mit zwei Schrauben auf dem Verteiltableau befestigt oder auf eine Profilschiene aufgeschnappt wird.

Die Vorteile des LS gegenüber der Schmelzsicherung sind vor allem:

- Wiedereinschaltbarkeit;
- Gut sichtbarer Schaltzustand;
- Berührungsschutz ist dauernd gewährleistet;
- Möglichkeit mehrpoliger Abschaltung;
- Geringer Platzbedarf;
- Es besteht kein Anlass, unfall- und feuergefährliche Überbrückungen anzubringen.

Diesen Vorteilen stehen jedoch auch Nachteile gegenüber:

- Höherer Preis;
- Begrenzte Kurzschluss-Abschaltleistung;
- Selektivität zur Vorsicherung begrenzt auf kleine bis mittlere Kurzschlußströme;
- Beim Arbeiten in der Installation ist keine sichtbare Trennstelle vorhanden;
- Die wenigsten LS können gegen unbefugtes Einschalten gesichert werden.

Die genannten Nachteile führen zu folgenden Entwicklungsschwerpunkten:

- Verbesserung der Selektivität zur Vorsicherung;
- Erhöhen des Abschaltvermögens;
- Entwicklung einer mechanischen Sperre gegen unbefugtes Wiedereinschalten.

Dies alles bei minimalem Herstellungspreis und mit der zusätzlichen Bedingung, dass nationale und internationale Vorschriften erfüllt werden!

Das Entwicklungsteam fächert nun diese Schwerpunkte auf in eine Reihe technischer Einzelprobleme. Diese sollen im folgenden so dargestellt werden, wie sie sich dem Entwicklungsingenieur stellen und von diesem theoretisch und messtechnisch bearbeitet werden.

2. Grundsätzliche Überlegungen

Zu Beginn der LS-Entwicklung muss entschieden werden, ob Einfach- oder Doppelunterbrechung angewendet werden soll. Beide Systeme haben ihre Vor- und Nachteile.

Vorteile der Doppelunterbrechung:

- Benötigt keine flexible Verbindung zum beweglichen Kontakt;
- Erleichtert das Abdecken des Schaltschlusses gegenüber der Schaltkammer;
- Gibt kürzeren Weg für den Lichtbogen zwischen Kontakten und Löschkammer;
- Eignet sich besser zum Schalten von Gleichspannung.

621.316.9

L'évolution des disjoncteurs de protection de canalisation est dictée par le désir d'atteindre un pouvoir de coupure encore plus grand et de meilleures conditions de sélectivité. L'auteur traite des problèmes que pose cette évolution, ainsi que de quelques méthodes de mesure nécessaires pour les résoudre.

Demgegenüber stehen die folgenden Nachteile:

- Benötigt höhere Gesamt-Kontaktkraft;
- Erzeugt höhere Verlustleistung durch Spannungsabfälle an den Kontakten;
- Erfordert zusätzliche Lagerstelle für die bewegliche Schaltbrücke;
- Die Schweissneigung ist grösser, da ein Abwälzen (Hebelwirkung) der Kontakte nur sehr aufwendig realisierbar wäre.

Ein weiterer grundsätzlicher Entscheid betrifft die Anwendung des Schlagankerprinzips, bei dem der Anker des Magnetauslösers direkt auf den Kontaktthebel einwirkt.

Die Vorteile des Schlagankers sind:

- Schnelleres Öffnen der Kontakte, was eine rascher einsetzende Strombegrenzung ermöglicht;
- Sicherheit gegen Verschweissen, indem leicht verschweißte Kontakte schlagartig auseinander gerissen werden.

Als Nachteil muss in Kauf genommen werden, dass ein «Ja» zum Schlaganker die konstruktiven Freiheiten einschränkt und ein kleiner Mehraufwand für die Fertigung entsteht.

Die nachstehenden Ausführungen beziehen sich auf einen Sockelautomaten mit Einfachunterbrechung und Schlaganker-auslösung. Spezielles Gewicht wird auf die Messtechnik für diejenigen Probleme gelegt, die das selektive Abschalten zur Vorsicherung direkt beeinflussen. Es sind dies:

- Kurzer Öffnungsverzug (Eigenzeit) und
- rascher Aufbau einer hohen Lichtbogenspannung.

3. Das Schaltschloss

Ein Schaltschloss für einen LS soll bei geringsten Gestehungskosten die folgenden Eigenschaften in sich vereinen:

- Kleine Abmessung, damit für die Löschkammer, das Bimetall und den Magnetauslöser noch genügend Platz vorhanden ist;
- Erzeugen eines hohen Kontaktdruckes, um den Kontakt-Spannungsabfall kleinzuhalten;
- Erzeugen einer hohen Ausschaltkraft, um Schweisskräfte der Kontakte zu überwinden;
- Kleiner Kraftbedarf und kurzer Entklinkungsweg, um die Auslösestreuung trotz geringer Leistung des thermischen und magnetischen Auslösers kleinzuhalten.
- Die Verlinkungsstelle muss räumlich eng toleriert liegen und soll unabhängig vom Kontaktabbrand sein.
- Es sollen mehrere Schlösser gekuppelt werden können, alle Kräfte in einer Ebene liegen, möglichst alle Teile dynamisch ausgewuchtet sein (Rüttelsicherheit!) und das Ganze erst noch aus wenigen einfachen Teilen bestehen und möglichst automatisch montierbar sein.

Alle diese Forderungen in einer optimalen Lösung zu berücksichtigen, ist die anspruchsvolle Aufgabe des Konstruktors.

Eine erste Beurteilung des Prototyps ergibt sich meist schon aus einem mechanischen Dauerlauf, der Verschleißstellen und Veränderungen der Kraftverhältnisse aufdeckt. Weitergehende Untersuchungen, vor allem der dynamischen Eigenschaften, werden im Zusammenwirken mit dem Magnetauslöser durchgeführt.

4. Der Magnet-Auslöser

4.1 Anforderungen

Ein Magnetauslöser, der auch als Schlagankerantrieb dient, muss vor allem eine hohe Kraft im Kurzschluss-Strombereich erzeugen. Die Möglichkeit, zu diesem Zweck eine hohe Windungszahl der Wicklung zu wählen, scheidet aus, weil dadurch die Verlustleistung bei Nennstrom zu hoch würde. Es bleibt nur noch der Weg offen, den magnetischen Kreis und die Masse des (beweglichen) Ankers zu optimieren. Zurzeit wird meistens das Tauchankerprinzip angewendet, das wegen seines symmetrischen Aufbaus den geringsten magnetischen Streufluss aufweist (Fig. 1).

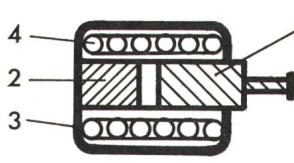


Fig. 1
Tauchanker-Prinzip
1 beweglicher Anker
2 feststehender Kern
3 magnetischer Rückschluss aus Eisen
4 Wicklung

4.2 Das Strom-Kraft-Diagramm

4.2.1 Problemstellung

Da die Kraft des Magnetauslösers speziell bei hohen Kurzschlußströmen interessiert und bei diesen Strömen mit Sättigungserscheinungen im magnetischen Kreis zu rechnen ist, muss eine Methode für die Kraftmessung bei hohen Strömen gefunden werden. Diese soll einen so kurzen Stromfluss während der Kraftmessung ermöglichen, dass die Spule nicht verbrennt.

4.2.2 Die Kraftmessung

Die zur Verfügung stehenden Kraftmessdosen, die mit Dehnungsmeßstreifen in Brückenschaltung arbeiten, weisen eine beträchtliche bewegliche Masse auf. Damit die Beschleunigungs Kräfte für diese Masse das Resultat nicht verfälschen, muss die Messung quasi-statisch erfolgen.

Im folgenden soll der Fehler als Funktion der Messfrequenz geschätzt werden. Die Messdose wird dazu dargestellt als einseitig eingespannte Feder, die am freien Ende eine Masse trägt. Es bedeuten:

F_F rücktreibende Kraft der Feder

F_m Massenträgheitskraft

s Auslenkung

A Amplitude der Auslenkung

m Masse des aktiven Teiles der Messdose

a Beschleunigung der Masse m

c Federkonstante

Der Masse m soll eine Sinus-Bewegung der Frequenz ω aufgezwungen werden. Gesucht ist die Kraft F_m bzw. das Verhältnis von F_m zu F_F .

Es gilt:

$s = A \cdot \sin \omega t$, durch zweimaliges differenzieren ist

$$a = -\omega^2 A \cdot \sin \omega t$$

Mit dem Newtonschen Gesetz ist $F = m a$:

$$F_m = -m A \omega^2$$

Mit der Federkonstanten $c = \frac{F_F}{A}$ wird:

$$\left| \frac{F_m}{F_F} \right| = \frac{m}{c} \omega^2$$

Für $\frac{F_m}{F_F} = 1$ herrscht Resonanz, womit sich die Resonanzfrequenz ω_0 ergibt zu:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$$

Damit kann der Messfehler η direkt auf ω_0 bezogen angegeben werden:

$$\eta = \frac{\omega^2}{\omega_0^2} = \frac{f^2}{f_0^2} = \Omega^2$$

Beispiel: Ein Fehler von 1 % ist zu erwarten, wenn die Messfrequenz 10 % der Resonanzfrequenz beträgt. Die vom Verfasser verwendete Messdose für Kräfte bis 5 kp hat eine Resonanzfrequenz von 75 Hz; womit als Messfrequenz ein Bereich bis ca. 10 Hz in Frage kommt.

4.2.3 Der Meßstromkreis

Es gilt nun, mit einfachen Mitteln eine Stromform im genannten Frequenzbereich zu realisieren. Nach Prüfen einer ganzen Anzahl Möglichkeiten hat sich die im folgenden beschriebene Schaltung am besten bewährt (Fig. 2).

Eine Kondensatorbatterie C dient als Energiequelle für einen Entladevorgang über den Widerstand R , die Induktivität L , den Prüfling P und den Meßshunt. Die Stromanstiegssteilheit $\tan \alpha$ wird bestimmt durch die Kondensatorspannung U und die Induktivität L des Kreises:

$$\tan \alpha = \frac{\frac{U}{R}}{\frac{L}{R}} = \frac{U}{L}$$

Der Widerstand R bestimmt lediglich die Lage der Asymptote.

Da sich der Kondensator entlädt, ergeben sich Stromformen gemäß Fig. 3, die sich durch Sinus-Schwingungen angleichen lassen. Man sieht, dass dabei Frequenzen im gewünschten Bereich sehr einfach zu realisieren sind.

In diesem Stromkreis können nun mit handelsüblichen Kraftmessdosen Strom-Kraft-Diagramme in einem sehr grossen Strom- (bzw. Ampèrewindungs-)Bereich aufgenommen werden, indem die beiden Größen einem x-y-Oszillographen zugeführt werden.

Fig. 4 zeigt ein Beispiel eines Vergleiches zwischen einer gemessenen und einer berechneten Kraftkurve. Die Übereinstimmung im unteren Strombereich ist recht gut, bei höheren Strömen bleiben jedoch die gemessenen Werte beträchtlich hinter den berechneten zurück. Der Grund dafür liegt in der einsetzenden Sättigung des Eisenkreises, die an Stoßstellen,

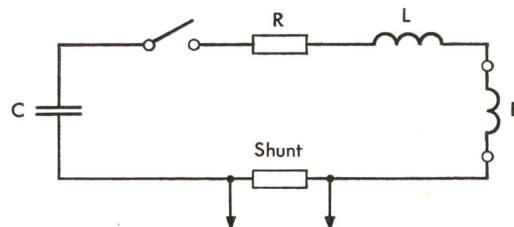


Fig. 2 Stromkreis für Kraftmessung

C Kondensator-Batterie, 20000 μ F

R strombestimmender Widerstand

L Induktivität

P Prüfling

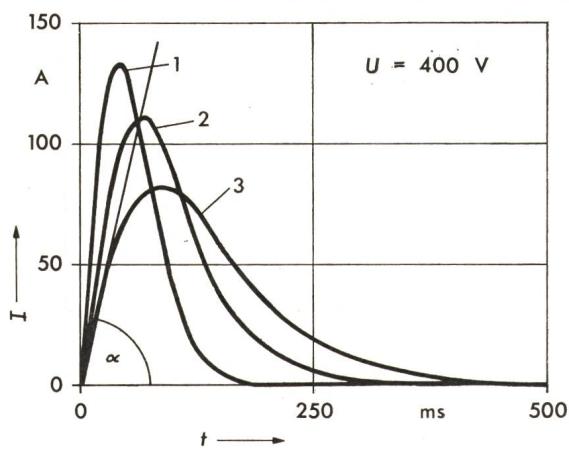


Fig. 3 Mit der Schaltung gemäss Fig. 2 erhaltene Stromformen

	Kurve L	R
1	4,7 mH	2,6 Ω
2	100 mH	2,0 Ω
3	210 mH	2,0 Ω

I Strom
U Spannung
t Zeit

z. B. zwischen äusserem Joch und innerem Kern wesentlich früher eintritt als die Berechnung für den vollen Eisenquerschnitt ergibt.

4.3 Die Bewegung des Ankers

Das nun bekannte Kraft-Strom-Diagramm gestattet, die Bewegung des Ankers und damit die zu erwartende Eigenzeit des Schalters zu berechnen. Um die Berechnung nicht unnötig zu belasten, wird der in Fig. 4 eingetragene lineare Zusammenhang zwischen Strom und Kraft $F = KI$ (mit K als Proportionalitätsfaktor) vorausgesetzt. Die Berechnung wurde durchgeführt für den Fall eines im Nullpunkt einschaltenden sinusförmigen Wechselstromes. Da die Resultate sowohl für den Einsatz im 50-Hz-Netz als auch für den Meßstromkreis gemäss Fig. 2 interessieren, jedoch nur für kurze Zeiten im Bereich des

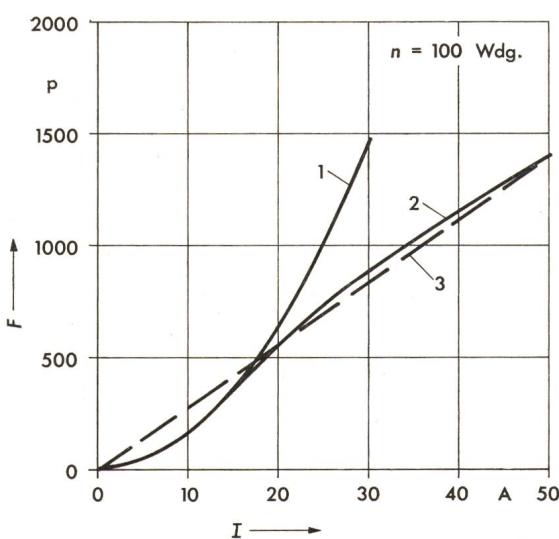


Fig. 4 Strom-Kraft-Diagramm

- 1 berechnet
- 2 gemessen
- 3 für Wegberechnung verwendete Gerade
- F Kraft
- n Windungszahl
- I Strom

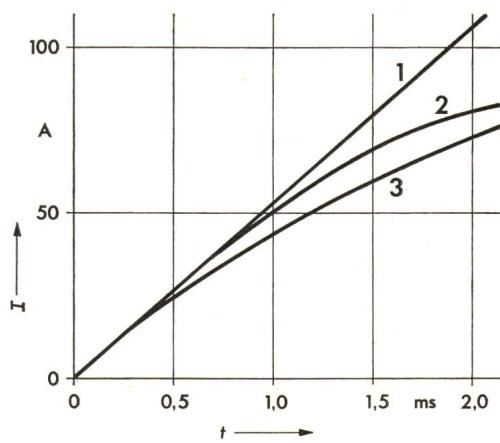


Fig. 5 Strom-Anstiegsformen

- 1 linear
- 2 sinusförmig
- 3 exponentiell

I Strom
t Zeit

ansteigenden Stromes, wurde die Berechnung für linear, sinusförmig und exponentiell ansteigenden Strom berechnet (Fig. 5).

$$\text{Linear} \quad i = I \omega t$$

$$\text{Sinusförmig} \quad i = I \sin \omega t$$

$$\text{Exponentiell} \quad i = I_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

wobei $I_1 = \frac{\pi}{2} I$ und $\tau = 5 \text{ ms}$ gewählt wurde (bei diesen Werten schneidet die e-Funktion die Sinuskurve im Scheitelpunkt).

Die lineare Stromfunktion ist die Tangente im Nullpunkt für die Sinus- und Exponentialfunktion. Fig. 6 zeigt die prozentuale Abweichung gegenüber der Sinus-Funktion für Zeiten bis zu 4 ms.

Die Wegfunktion entsteht, indem man die mit K multiplizierte Stromfunktion in das Newtonsche Grundgesetz

$$F = m a$$

einsetzt und dieses zweimal integriert.

Für die drei Anstiegsarten erhält man die folgenden Formeln:

Stromanstieg Zeit-Weg-Funktion

$$\text{Linear} \quad s(t) = \frac{KI\omega}{6m} t^3$$

$$\text{Sinusförmig} \quad s(t) = \frac{KI}{m\omega} \left(t - \frac{\sin \omega t}{\omega} \right)$$

$$\text{Exponentiell} \quad s(t) = \frac{\pi K I}{2m} \left[\frac{t^2}{2} + \tau^2 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) - \tau t \right]$$

Der Vergleich der drei berechneten Weg-Zeit-Funktionen für 50 Hz gemäss Fig. 7 zeigt, dass man sich bei überschlägigen Berechnungen der sehr einfachen Formel für linearen Stromanstieg bedienen kann.

In Fig. 8 ist ein Vergleich zwischen berechneten und mit Hilfe von Kontaktsonden gemessenen Weg-Zeit-Diagramm

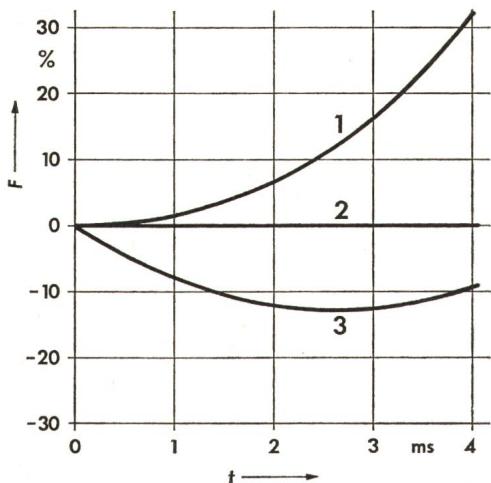


Fig. 6 Prozentualer Stromfehler bezogen auf die Sinus-Funktion

- 1 linearer Stromanstieg
- 2 sinusförmiger Stromanstieg
- 3 exponentieller Stromanstieg
- F Fehler
- t Zeit

eines Ankers eingetragen. Die Abweichung ist hauptsächlich auf den in der Rechnung vernachlässigten Reibungseinfluss zurückzuführen.

5. Die Bewegung des Kontaktes

Der Kontaktthebel führt meistens eine komplizierte Bewegung aus, da er häufig unter der Wirkung von mehreren Federkräften steht. Kommen noch angekoppelte Teile, eine Schlagankerwirkung und Kräfte von der stromzuführenden Litze hinzu, wird die rechnerische Behandlung des Bewegungsablaufes höchst fraglich. Man wird deshalb die Bewegung des Kontaktthebels mit messtechnischen Mitteln untersuchen. Es bieten sich dazu folgende Möglichkeiten an:

1. Schnellfilmkamera (z. B. bis 8000 oder bis 20000 Bildern pro Sekunde);
2. Abtastung der Bewegung mit Kontaktsonden;
3. Funkenstrecken-Methode.

Da die Funkenstrecken-Methode wenig bekannt ist, soll hier speziell auf diese Technik eingegangen werden.

Die Prinzipschaltung gemäß Fig. 9 enthält den Hochspannungsgenerator G (bis 10 kV), der über einen Widerstand R (einige $M\Omega$) mit dem zu untersuchenden Kontakt verbunden ist. Die gestrichelt eingezeichnete Kapazität C setzt sich aus den Streukapazitäten der Anordnung zusammen. Über einen frequenzkompensierten Spannungsteiler T ist ein Speicher-Oszillograph angeschlossen.

Beim Öffnen des zu untersuchenden Kontaktes P lädt der Widerstand R die Kapazität C auf, bis die Durchschlagsspannung der Kontaktstrecke K erreicht ist. Der nun auftretende Durchschlag entlädt die Kapazität C. Bei richtiger Dimensionierung des Kreises bleibt der Lichtbogen nicht stehen, sondern verlöscht innerhalb weniger Nanosekunden. Der Vorgang mit Spannungsanstieg und Durchschlag wiederholt sich, bis die Kontaktöffnung so gross ist, dass kein Durchschlag mehr erfolgen kann. Die Zündspannung ist dabei ein Mass für die Kontaktöffnung. Sie ist abhängig vom Material und der Form der Kontakte. Der Zusammenhang wird in einer Messreihe

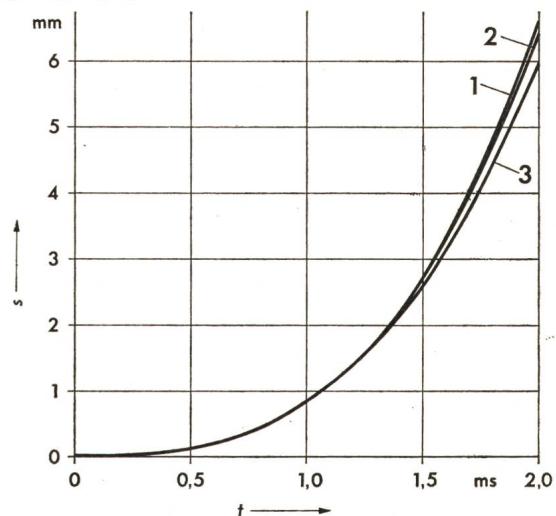


Fig. 7 Berechnete Weg-Zeit-Funktionen

- 1 Stromanstieg linear
- 2 Stromanstieg sinusförmig
- 3 Stromanstieg exponentiell
- s Weg
- t Zeit

mit einer Anzahl bekannter Kontaktöffnungen ermittelt. Diese Werte graphisch aufgetragen, ergeben die Eichkurve gemäß Fig. 10. In Fig. 11 ist die praktische Ausführung eines Messgerätes zur Messung von Kontaktöffnungs-Diagrammen dargestellt.

Fig. 12 zeigt ein Beispiel eines Öffnungs-Diagrammes, in dem auch der Verlauf des Stromes mitgeschrieben wurde. In diesem Diagramm ist in der Umhüllenden der Spannungsspitzen deutlich ein Knick zu erkennen, der dem Auftreffen des Ankers auf den Kontakt entspricht.

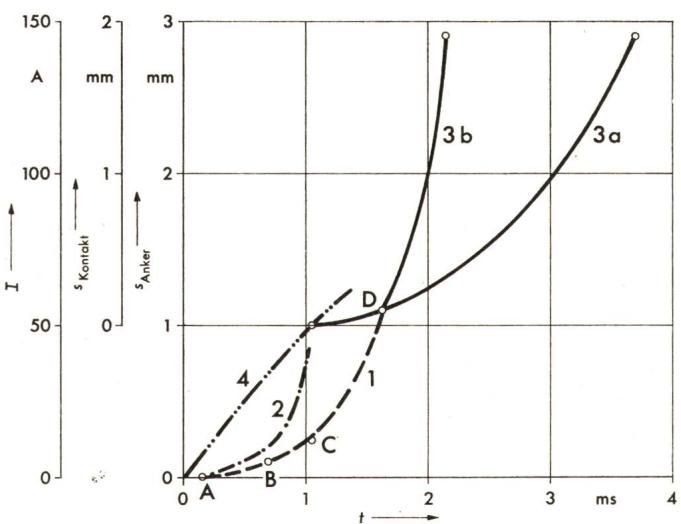


Fig. 8 Weg-Zeit-Diagramm

- 1 Anker, gemessen
- 2 Anker, berechnet
- 3a Kontakt, gemessen, ohne Schlaganker
- 3b Kontakt, gemessen, mit Schlaganker
- 4 Stromanstieg
- A der Anker beginnt sich zu bewegen
- B der Anker trifft auf Klinke
- C das Schaltschloss ist entklinkt
- D der Anker trifft auf den Kontakt
- s Weg
- t Zeit

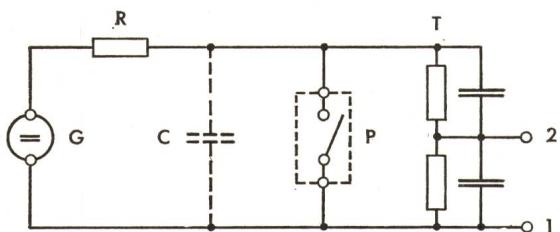


Fig. 9 Prinzipschaltung des Weg-Zeit-Messgerätes nach der Funkenstrecke-Methode

- G Hochspannungsgenerator
- R Vorwiderstand
- C Streukapazität
- P Prüfling
- T frequenzkompensierter Meßspannungsteiler
- 1, 2 Anschluss für Oszilloskop

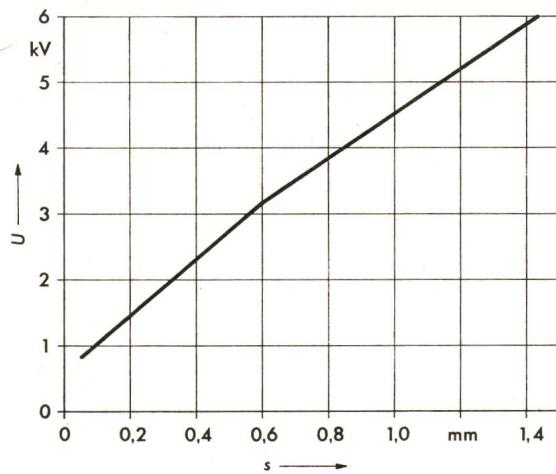


Fig. 10 Eichkurve des Funkenstrecken-Messgerätes

- U Meßspannung
- s Weg des Kontaktes

Mit Hilfe dieses Oszillogrammes und einiger weiterer Messpunkte mit Kontaktsonden konnte in Fig. 8 das gesamte interessierende Weg-Zeit-Diagramm von Anker und Kontakt aufgezeichnet werden. Man sieht, dass eine kurze Eigenzeit nur erreicht werden kann, wenn der Weg des Ankers bis zum Entklinken bzw. bis zum Aufschlagen auf den Kontakt sehr kurz ist. Diese Forderung ist wegen der Toleranzen der mechanischen Teile nicht leicht zu erfüllen, insbesondere muss unbedingt sichergestellt sein, dass die Entklinkung des Schlosses vor dem Aufschlag auf den Kontakt erfolgt.

6. Das Kontaktmaterial

Die Wahl des Kontaktmaterials wird stark vom Gesamtaufbau des Schalters mitbestimmt. Die Anforderungen an das Material sind vor allem:

- Geringer Abbrand im gesamten Strombereich;
- Geringe Schweißneigung;
- Kleiner Kontaktwiderstand auch nach einigen tausend Schaltungen bei Nennstrom;
- Günstiges Verhalten in bezug auf Kammerverrussen;
- Gute Verarbeitbarkeit;
- Gute Lichtbogen-Laufeigenschaft.

Das Gewichten dieser Anforderungen erfolgt auf Grund der konstruktiven Gegebenheiten, wie z. B.:

- Vorhandener Kontaktdruck;
- Erreichte statische Öffnungskraft;
- Schlagankerwirkung.

Im weiteren haben die geforderte Schaltleistung und die Kontakt-Lebensdauer bei Schaltungen mit Nennstrom Einfluss auf die Wahl des Materials.

Die Resultate von Kontaktmaterial-Untersuchungen unter genormten Prüfbedingungen geben keine unmittelbar auf eine vorliegende Konstruktion übertragbare Werte. Sie sind jedoch sehr nützlich, indem sie die Rangfolge der Materialien in bezug auf einen bestimmten Parameter festlegen.

So lautet z. B. die Reihenfolge der am häufigsten verwendeten Materialien bezüglich Schweißneigung wie folgt:

- Ag/C 95/5 (kleinste Schweißkraft);
- Ag/C 97/3;
- Ag/Cd 0 85/15;
- Ag/Cd 0 90/10;
- Ag/Zn 0 92/8;
- Ag/Ni 80/20;
- Ag/Cu 97/3;
- Ag/Cu 90/10;
- Cu;
- Ag (größte Schweißkraft).

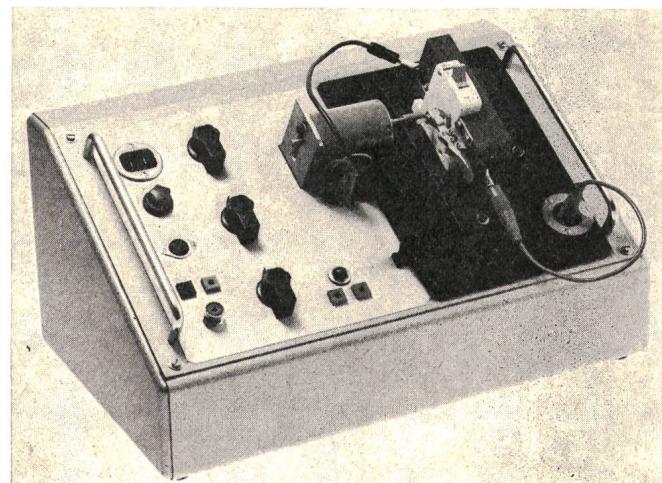


Fig. 11 Kontaktöffnungs-Messgerät nach der Funkenstrecken-Methode

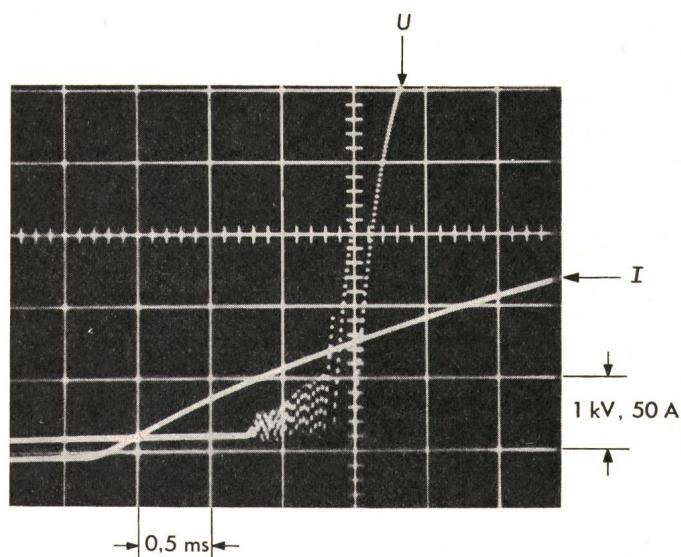


Fig. 12 Beispiel eines Kontaktöffnungs-Diagrammes

- U Spannung
- I Strom

Häufig werden für Festkontakt und beweglichen Kontakt verschiedene Materialien gewählt. Damit erreicht man z. B. hohe Schweißsicherheit und gutes Weglaufen des Lichtbogens vom Entstehungsort auf dem Kontakt, was mit einem einzigen Kontaktmaterial nicht erreichbar ist.

7. Die Löschkammer

7.1 Problemstellung

Die Löschkammer soll nicht nur den Lichtbogen löschen, sondern im Hinblick auf eine gute strombegrenzende Wirkung dabei eine möglichst hohe Lichtbogenspannung aufbauen. Alle zurzeit bekannten strombegrenzenden LS verfügen über eine Löschkammer mit Deion-Blechen aus Eisen, zwischen denen der Lichtbogen aufgeteilt und gelöscht wird (Fig. 13). Pro Teillichtbogen zwischen zwei Deion-Blechen kann mit einer Lichtbogenspannung von ca. 25 V gerechnet werden.

Auch für die Löschkammer gilt dasselbe wie für das Kontaktmaterial: Die Resultate, die mit einer bestimmten Kammer erhalten wurden, sind nicht auf eine andere Kammer anwendbar. Aus diesem Grunde seien hier lediglich einige der wichtigsten Parameter angegeben, deren Einfluss in Versuchsreihen ermittelt werden muss:

- Länge, Breite, Dicke und Oberflächenbehandlung der Bleche;
- Abstand zwischen den Blechen;
- Form des Einlauf-Schlitzes in den Blechen;
- Material der Kammerwände;
- Abstand zwischen Hinterkante der Bleche und Kammerwand.

7.2 Messtechnik

Das Oszillogramm und die Besichtigung der Löschkammer-Teile nach der Abschaltung ergeben meist genügend Hinweise auf die Lichtbogenbewegung. Wenn die daraus gezogenen Schlüsse unsicher sind, müssen weitere Untersuchungsmethoden eingesetzt werden.

Den besten Einblick in die Vorgänge während der Lichtbogenzeit gibt die Filmaufnahme mit einer Schnellfilmkamera. Nachteilig ist allerdings neben dem grossen zeitlichen Aufwand die Notwendigkeit, einzelne Teile des Prüflings durch durchsichtiges Material zu ersetzen. Dies kann die Lichtbogenvorgänge beeinflussen, indem Zusammensetzung und Quantität des unter Hitzeinwirkung aus dem Kunststoff austretenden Gases verschieden sein können.

Eine andere Methode, um die Lichtbogenbewegung nachzuweisen, ist das Messen des Spannungsabfalles über einem Teilstück eines stromzuführenden Teiles oder über den Löschblechen. Bei solchen Untersuchungen ist meist die zu messende

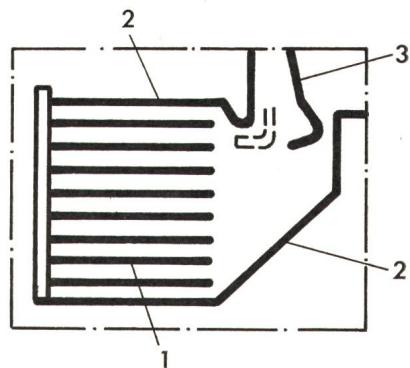


Fig. 13 Löschkammer mit Deion-Blechen

- 1 Deion-Blech
- 2 Leitblech
- 3 Kontakthebel

Spannung sehr klein (z. B. im Millivolt-Bereich), weshalb die Meßsonden so zu plazieren sind, dass keine induktiven Spannungen eingekoppelt werden.

8. Die Messung des I^2t -Wertes

Der Begriff « I^2t -Wert» steht hier für den mathematischen Ausdruck

$$W = \int i^2 dt$$

Damit ein LS zur vorgeschalteten Sicherung selektiv abschaltet, muss der von ihm bei einem Kurzschluss durchgelassene I^2t -Wert kleiner sein als der Schmelz- I^2t -Wert der vorgeschalteten Sicherung. Um die Selektivitäts-Verhältnisse als Funktion des Kurzschlußstromes berechnen zu können, muss man zuerst den Durchlass- I^2t -Wert des LS ermitteln. Dazu bieten sich die folgenden Methoden an:

a) Man schaltet dem LS bei Kurzschlussabschaltungen einen Silberdraht in Serie, dessen Durchmesser so lange verändert wird, bis dieser bei etwa 50 % der Abschaltungen schmilzt. Aus dem spezifischen I^2t -Wert von Silber

$$W_{Ag} = 7 \cdot 10^4 \frac{A^2 s}{mm^4}$$

berechnet sich der I^2t -Wert W_{LS} des Schalters zu

$$W_{LS} = q^2 W_{Ag} \quad A^2 s$$

mit

$$q = \frac{d^2 \pi}{4} \quad mm^2$$

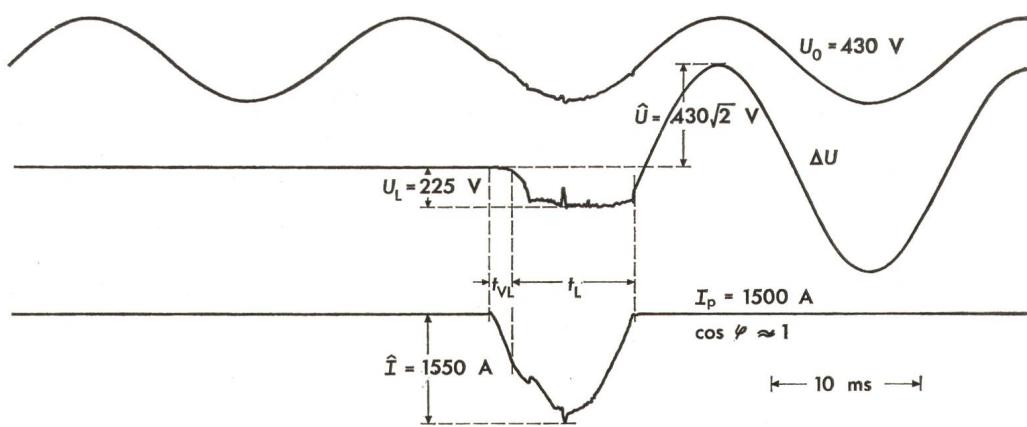


Fig. 14
Oszillogramm einer Kurzschlussabschaltung durch einen strombegrenzenden LS

$t_{VL} = 1,6$ ms Vorlichtbogenzeit
 $t_L = 80$ ms Lichtbogenzeit

b) Man kann das Oszillogramm des Stromes Punkt für Punkt quadrieren und die Fläche der so gewonnenen I^2 -Kurve graphisch integrieren. Diese aufwendige Methode wird dank der Fortschritte der Messtechnik heute nur noch beim Ausmessen von sehr einfachen Kurvenformen angewendet.

c) Die Halbleiter-Industrie bietet heute analoge Quadrier- und Integrier-Bausteine an, mit deren Hilfe es relativ einfach ist, die Funktion $\int i^2 dt$ auf dem Oszillographen darzustellen oder den Endwert direkt auf einem Messinstrument abzulesen.

d) Die sinkenden Preise bei steigender Verarbeitungsgeschwindigkeit von Digital-Computern haben es mit sich gebracht, dass zunehmend Kleincomputer für messtechnische Probleme eingesetzt werden. Die Vorteile sind vor allem:

- Universelle Einsetzbarkeit;
- Langzeitstabilität;
- Hohe Genauigkeit.

Ein vom Verfasser eingesetzter Kleincomputer besorgt die vollständige quantitative Auswertung des Oszillogrammes, so dass dieses selbst – sofern es überhaupt noch mitgeschrieben wird – nur noch der ergänzenden qualitativen Beurteilung des Kurvenverlaufes dient.

Fig. 14 zeigt das Oszillogramm einer Kurzschlussabschaltung eines strombegrenzenden LS. In Fig. 15 wird die zugehörige Auswertung durch einen Computer dargestellt.

Die hohe elektrische Empfindlichkeit, das relativ tiefe Signalverarbeitungsniveau und die sehr hohe Grenzfrequenz der Computer-Stromkreise bringen beim Einsatz des Computers in einem Kurzschlusslabor einige Probleme mit sich.

Bei Abschaltversuchen mit hohen Strömen entstehen hohe elektromagnetische Feldstärken, deren Frequenzbereich bis ins Megahertzgebiet reicht. Bei solchen transienten Vorgängen gibt es auch keine starre Erdung und keine ideale Kopplung verschiedener Teile der Messanordnung mehr. Neben der direkten elektromagnetischen Einstrahlung auf den Computer und seine Eingangsstromkreise fließen in den Messleitungen Ausgleichsströme, die sich zum Meßsignal addieren.

Durch niederohmige und induktionsarme Abschirmungen und durch Einbau von Hochfrequenz-Filtern in Netz- und Signalleitungen gelingt es, einen störungsfreien Betrieb zu erreichen. Eine weitere wirksame Massnahme zur Beherrschung der Störprobleme ist der Einbau von Trennverstärkern in die Messleitungen. Dies erlaubt dann auch Messungen an Stromkreisen durchzuführen, die nicht einpolig geerdet sind. Ein Nachteil für gewisse Messungen ist dabei der zurzeit nur bis ca. 10 kHz reichende Frequenzbereich von handelsüblichen Trennverstärkern.

OSZILLOGRAMM NR. 04365	
I SPITZE	1,5494 E3 A
U SPITZE	2,3243 E2 V
UI SPITZE	3,8094 E5 W
 TVL	 0,0016 E3 MS
TL	0,0080 E3 MS
 INTEGRAL IITVL	 2,4415 E2 AAS
INTEGRAL IITL	9,9424 E3 AAS
INTEGRAL UITL	1,7405 E3 JOUL

Fig. 15 Computer-Auswertung der Abschaltung nach Fig. 14

9. Ausblick

Der Trend zur Vergrößerung der Schaltleistung und zur Verkleinerung der Schaltgeräte erfordert vom Entwicklungs-Ingenieur ein immer tieferes Eindringen in die Schaltgeräteprobleme. Er benötigt dazu ein hochentwickeltes Instrumentarium, nicht nur für die eigentlichen Messungen am Schalter-Prototyp allein, sondern auch für Materialuntersuchungen unter den speziellen, in einem Schaltgerät herrschenden Bedingungen. Neben dem messtechnischen Aspekt ist es aber auch notwendig, durch theoretische Betrachtungen die Möglichkeiten und Grenzen von Entwicklungsprojekten vorauszuberechnen. Als Beispiel einer solchen Studie sei erwähnt, dass zurzeit an einem Computer-Programm gearbeitet wird, das es erlaubt, den I^2t -Wert und die Lichtbogenenergie für verschiedene Parameter des Schalters und des Stromkreises zu berechnen. Die Resultate dieser Berechnungen werden es erlauben, die Schwerpunkte für die weitere Entwicklungsaktivität zweckmäßig zu setzen.

Adresse des Autors:

Herbert P. Wirth, dipl. El.-Ing. ETHZ, Weber AG, 6020 Emmenbrücke.