

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 53 (1962)
Heft: 12

Artikel: Konstruktionsprobleme und Einsatzmöglichkeiten von Apparateschutz-Schmelzeinsätzen
Autor: Bolleter, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916947>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 13.05.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Konstruktionsprobleme und Einsatzmöglichkeiten von Apparateschutz-Schmelzeinsätzen

Von H. Bolleter, Luzern

621.316.923.002.2

Apparateschutz-Schmelzeinsätze haben in den letzten Jahren, wohl nicht zuletzt infolge des Aufschwunges der Elektronik, eine grosse Verbreitung gefunden. Parallel mit dieser sind auch die Ansprüche gestiegen. So mussten neue Schmelzcharakteristiken entwickelt werden, und es galt auch, die Qualität zu verbessern. Der Aufsatz zeigt, welche Probleme sich bei der Herstellung der Schmelzeinsätze stellen und auf welchen Wegen die neuen Ansprüche bezüglich Schmelzcharakteristik, Lebensdauer, usw. gelöst werden können. Insbesondere wird auf die I^2t -Abhängigkeit der Schmelzeinsätze und der Schutzobjekte hingewiesen, zwecks besserer Beurteilung der Schutzwirkung.

Les fusibles pour la protection d'appareils sont devenus d'un emploi très fréquent depuis quelques années, surtout du fait du grand développement de l'électronique. En outre, les exigences sont nettement plus sévères. Il a donc fallu mettre au point de nouvelles caractéristiques de fusion et améliorer encore la qualité de ces fusibles. L'auteur indique quels sont les problèmes que pose la fabrication des fusibles et comment les nouvelles exigences au sujet de la caractéristique de fusion, de la durée de vie, etc. peuvent être satisfaites. Il insiste notamment sur la dépendance I^2t des fusibles et des appareils à protéger, pour permettre une meilleure appréciation de l'effet de protection.

1. Einleitung und Definitionen

Längst haben die Apparateschutz-Sicherungen ihr Dasein im Schatten der Hausinstallations- und Hochleistungssicherungen aufgegeben und sind infolge des grossen Aufschwunges der Elektronik zu technischer und wirtschaftlicher Bedeutung gelangt. Die folgenden Ausführungen sollen einerseits zeigen, welche Probleme sich bei Entwurf und Fabrikation stellen, andererseits sollen auch die Einsatzmöglichkeiten und deren Grenzen dargelegt werden.

Apparateschutz-Sicherungen dienen als Überlast- und Kurzschlußschutz von Apparaten, also vorwiegend zum Schutze von Einzelobjekten und von Schwachstromanlagen. Als Verteilsicherungen, im Sinne der Hausinstallationsvorschriften des SEV dürfen Apparateschutz-Sicherungen nicht verwendet werden. Eine Apparateschutz-Sicherung besteht aus dem Sicherungs-

halter und dem auswechselbaren Schmelzeinsatz. Der Sicherungshalter ist der gesamte, zur Aufnahme des Schmelzeinsatzes und zum Anschluss der äusseren Leiter bestimmte Teil der Sicherung. Wie Fig. 1 zeigt, wird zwischen offenen und geschlossenen Sicherungshaltern unterschieden. Unter Schmelzeinsatz wird der den eigentlichen Schmelzleiter enthaltende, auswechselbare Teil der Sicherung verstanden. Der Schmelzeinsatz besteht aus einem zylindrischen Isolierrohr, welches stirnseitig metallische Endkappen trägt. Auf dem europäischen Kontinent werden normalerweise Schmelzeinsätze von 5 mm Durchmesser und 20 mm Länge verwendet. In den angelsächsischen Ländern ist die Dimension 6,3 mm Durchmesser mal 32 mm Länge üblich, was dem Zollmass $\frac{1}{4}'' \times 1\frac{1}{4}''$ entspricht. Dieser Typ hat jedoch in neuerer Zeit auch in europäischen Ländern starke Verbreitung gefunden. Neben den beiden erwähnten Ausführungen gibt es noch eine ganze Reihe weiterer Grössen, auf die jedoch, da anomal, nicht näher eingegangen werden soll.

2. Aufbau und charakteristische Daten von Schmelzeinsätzen

2.1 Allgemeines

Wohl das wichtigste Kennzeichen eines Schmelzeinsatzes ist seine Nennstromstärke. Für Apparateschutzschmelzeinsätze erstreckt sich die Nennstromreihe von Bruchteilen von 1 mA bis auf etwa 40 A. Die Abstufung erfolgt vorzugsweise nach der Reihe R 10 oder für feinere Unterteilungen nach der Reihe R 20. Der grosse Nennstrombereich, sowie die relativ feine Abstufung ergibt bereits eine erhebliche Zahl von verschiedenen Klassen. Berücksichtigt man, dass heute vier Trägheitsgrade, mindestens zwei verschiedene Nennschaltvermögen, sowie mehrere Dimensionen hergestellt werden, so ist leicht zu erkennen, mit welcher grossen Vielfalt von Typen, Klassen, usw. sich der Hersteller zu befassen hat. Es ist daher offensichtlich, dass

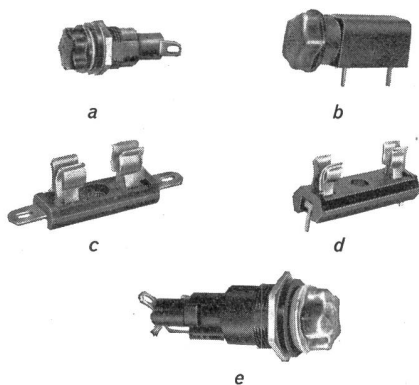


Fig. 1

Beispiele von Apparateschutz-Sicherungen

a geschlossener Sicherungshalter für Frontplattenmontage; b geschlossener Sicherungshalter zum Einlöten in gedruckte Schaltungen; c offener Sicherungshalter für Chassismontage; d offener Sicherungshalter zum Einlöten in gedruckte Schaltungen; e geschlossener Sicherungshalter mit eingebauter Signallampe zur Defektanzeige des Schmelzeinsatzes

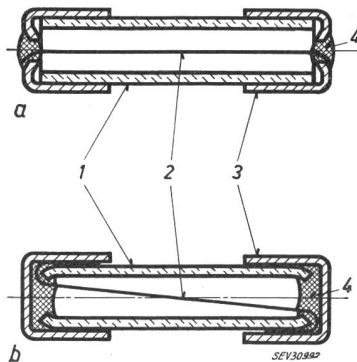


Fig. 2

Schmelzeinsätze mit Aussen- bzw. Innenlötstellen

a aussengelöteter Schmelzeinsatz, Stirnseite mit Lötzinn; b innengelöteter Schmelzeinsatz, Stirnseite metallisch sauber
1 Isolierrohr; 2 Schmelzleiter; 3 metallische Endkappen; 4 Lot

sich heute anomale Spezialausführungen wohl kaum mehr wirtschaftlich rechtfertigen. Diese Vielfalt stellt besondere Probleme an Konstruktion, Herstellung und Lagerhaltung, was aus folgendem Beispiel hervorgeht:

Für einen Schmelzeinsatz von 2 mA Nennstrom wird ein Schmelzleiter von $0,8 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^2$ Querschnitt benötigt, was einem Drahtdurchmesser von etwa 0,001 mm entspricht, der von bloßem Auge überhaupt nicht mehr sichtbar ist. Andererseits ist für einen 30-A-Schmelzeinsatz ein Querschnitt erforderlich, welcher etwa 10^6 mal grösser ist als derjenige für 2 mA Nennstrom.

Vom konstruktiven Gesichtspunkt aus lassen sich die Schmelzeinsätze in solche mit Aussenlötstellen, sowie in solche mit Innenlötstellen einteilen. Fig. 2 zeigt den prinzipiellen Unterschied. Mit innengelöteten Schmelzeinsätzen sind kleinere und konstantere Übergangswiderstände zum Sicherungshalter zu erzielen, da insbesondere bei stirnseitiger Kontaktabnahme die Kontaktgabe bei Aussenlötstellen über eventuell vorstehendes Lötzinn erfolgt. Aus fabrikatorischen Gründen lassen sich jedoch nicht alle Schmelzeinsatztypen mit Innenlötstellen versehen. Das Isolierrohr, das sich zwischen den beiden metallischen Endkappen befindet, besteht aus Glas, Keramik oder anderen Isolierstoffen.

2.2 Schmelzcharakteristik

Schmelzsicherungen zeigen ein typisch stromabhängiges Auslöseverhalten und sind demnach prädestiniert als *thermischer* Überstrom- und Kurzschlußschutz. Um die zu schützenden Objekte thermisch voll ausnützen zu können, ist es notwendig, dass die thermische Zeitkonstante des Schmelzeinsatzes derjenigen des Schutzobjektes angepasst wird. Dies erfolgt durch Wahl des *Trägheitsgrades* des Schmelzeinsatzes und Konsultation der entsprechenden Schmelzcharakteristik. Es werden heute zur Hauptsache vier Trägheitsgrade superfink (oder überfink), flink, trög und supertrög (oder übertrög) unterschieden. Die jetzt noch verwendete Kategorie mitteltrög ist in den neuen internationalen Normvorschlügen (siehe auch Abschnitt 3) nicht mehr enthalten. Fig. 3 gibt einen Anhaltspunkt über die Unterschiede der vier Trägheitsgrade. Der Übersichtlichkeit halber sind hier lediglich die Mittelwerte der entsprechenden Streubänder aufgetragen. Als *Schmelzzeit* t_s wird die Zeitdauer vom Einschalten eines zum Schmelzen führenden Stromes bis zum Beginn des Lichtbogens im Schmelzeinsatz bezeichnet. Massgebend für

den Schmelzeinsatz ist der Effektivwert des Belastungsstromes, was insbesondere bei Abschmelzzeiten, die unterhalb einer Periodendauer liegen, von Bedeutung ist.

Nachfolgend soll gezeigt werden, dass es praktischer ist, bei derartig kleinen Schmelzzeiten zur Beurteilung der Schutzwirkung an Stelle des Fehlerstrom-Effektivwertes das *Strom-Zeit-Integral* heranzuziehen. Die Aufgabe besteht darin, rechnerisch zu ermitteln, welcher Strom und welche Zeit notwendig sind, um einen gegebenen Schmelzleiter zum Schmelzen und Verdampfen zu bringen. Unter der Einwirkung von Kurzschlussströmen erwärmt sich der Schmelzleiter derart rasch, dass eine Wärmeableitung und Wärmestrahlung vernachlässigt werden kann. Versuche haben ergeben, dass diese Annahmen für Schmelzzeiten unterhalb etwa 10 ms richtig sind.

Unter diesen Voraussetzungen ist die Schmelzleitererwärmung ΔT gegeben durch die Differential-Gleichung:

$$i^2 R = c V \frac{d \Delta T}{dt} \quad (1)$$

ΔT Temperaturerhöhung gegenüber der Umgebungstemperatur [$^{\circ}\text{C}$]

c spezifische Wärme [Ws/cm^3]

t Zeit [s]

V Schmelzleitervolumen [cm^3]

R Widerstand des Schmelzleiters [Ω]

I Stromstärke im Schmelzleiter [A]

Gl. (1) lässt sich vereinfachen [1]¹⁾, indem spezifische Werte eingeführt werden:

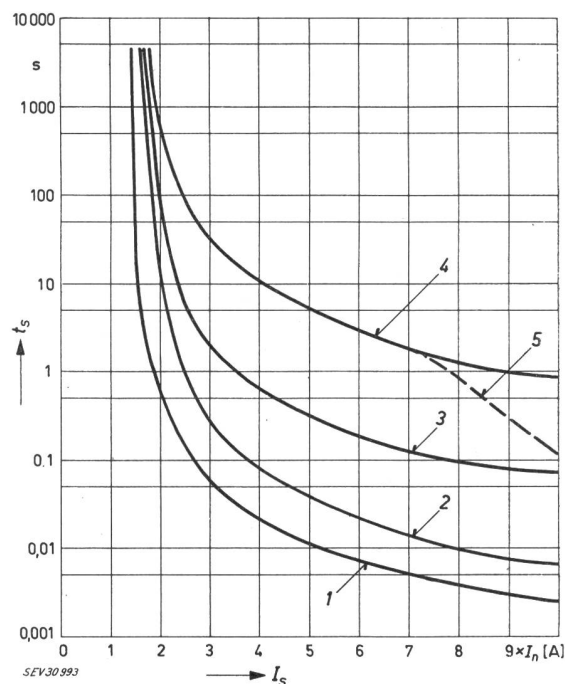


Fig. 3

Mittlere Schmelzcharakteristik von Apparateschutz-Schmelzeinsätzen der Masse 5 (Durchmesser) $\times$ 20 mm

I_s Schmelzstrom als Vielfaches des Nennstromes; t_s Schmelzzeit; I_n Nennstrom; 1 superflinke Charakteristik; 2 flinke Charakteristik; 3 träge Charakteristik; 4 superträge Charakteristik; 5 superträge kurzschlussflinke Charakteristik

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

$$J^2 dt = \frac{c}{\varrho} d\Delta T \quad (2)$$

J Stromdichte [A/cm²]
 ϱ spezifischer Widerstand [Ω cm]

Es ist jedoch für die meisten Schmelzleitermaterialien nicht zugänglich, das Strom-Zeit-Integral nach Gl. (2) zu berechnen, da der Temperaturkoeffizient α des spezifischen Widerstandes zu berücksichtigen ist und zudem der gesamte Erwärmungsprozess in die drei Perioden,

- a) Erwärmungsperiode bis Schmelzpunkt,
- b) Schmelzperiode,
- c) Verdampfungsperiode

aufzuteilen ist.

Für die erste Erwärmungsperiode bis zur Erreichung des Schmelzpunktes ist an Stelle von ϱ in Gl. (2) einzusetzen:

$$\varrho = \varrho_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T_s) \quad (3)$$

ΔT_s Erwärmung in °C von der Raumtemperatur bis zur Schmelztemperatur

ϱ_0 spezifischer Widerstand bei Raumtemperatur [Ω cm]

Durch Einsetzen von Gl. (3) in Gl. (2) wird nach Integration erhalten:

$$\int J^2 dt = \frac{c}{\varrho_0} \int \frac{d \cdot \Delta T_s}{1 + \alpha \cdot \Delta T_s} \quad (4)$$

Die Auswertung von Gl. (4) ergibt das Strom-Zeit-Integral bis zur Erreichung der Schmelztemperatur:

$$\int J^2 dt = \frac{c}{\varrho_0 \alpha} \ln (1 + \alpha \cdot \Delta T_s) \quad (5)$$

Aus Gl. (5) geht die wichtige Tatsache hervor, dass das Strom-Zeit-Integral eine *Materialkonstante* des betreffenden Schmelzleitermaterials darstellt.

Zur Bestimmung des Strom-Zeit-Integrals der Schmelzperiode ist die Schmelzwärme des betreffenden Materials, sowie dessen mittlerer spezifischer Widerstand während der Schmelzperiode massgebend. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Temperatur konstant bleibt, dass aber der spezifische Widerstand bei der Schmelztemperatur sprunghaft auf einen erhöhten Wert in flüssigem Zustande ansteigt. Unter obigen Gesichtspunkten ergibt sich das Strom-Zeit-Integral der Schmelzperiode zu:

$$\int J^2 dt = \frac{c_s}{\varrho_m} \quad (6)$$

wobei mit c_s die spezifische Schmelzwärme und mit ϱ_m der mittlere spezifische Widerstand während der Schmelzperiode bezeichnet sind. Gl. (6) besagt, dass auch für die Schmelzperiode das Strom-Zeit-Integral nur von Materialkonstanten abhängig ist.

Das Strom-Zeit-Integral der Verdampfungsperiode wird auf ganz ähnliche Weise wie für die erste Erwärmungsperiode bestimmt. Massgebend ist wiederum die spezifische Wärme des Schmelzleitermaterials, sowie dessen spezifischer Widerstandswert ϱ_s in flüssigem Zustande. Bis zur Erreichung der Verdampfungstemperatur erhöht sich der spezifische Widerstand. Es ist deshalb α_s , der Temperaturkoeffizient in flüssigem Zustande, zu berücksichtigen. ΔT_v ist die Temperatur-

differenz zwischen Verdampfungs- und Schmelztemperatur. Somit ergibt sich das Strom-Zeit-Integral der 3. Periode wie folgt:

$$\int J^2 dt = \frac{c}{\varrho_s \alpha_s} \ln (1 + \alpha_s \cdot \Delta T_v) \quad (7)$$

d. h. auch für die Verdampfungsperiode sind nur Materialkonstanten massgebend.

Das gesamte Strom-Zeit-Integral bis zur Verdampfung und damit bis zur Unterbrechung des Schmelzleiters ergibt sich als Summe der Strom-Zeit-Integralwerte der einzelnen Perioden nach den Gl. (5), (6) und (7) zu:

$$\Sigma \int J^2 dt = \frac{c}{\varrho_0 \alpha} \ln (1 + \alpha \Delta T_s) + \frac{c_s}{\varrho_m} + \frac{c}{\varrho_s \alpha_s} \ln (1 + \alpha_s \cdot \Delta T_v) = C \quad (8)$$

Anstelle der Stromdichte j kann in Gl. (8) der Strom-Effektivwert I eingesetzt werden, was ergibt:

$$I^2 t = C A^2 \quad (9)$$

A Schmelzleiterquerschnitt [cm²]

C Materialkonstante [A²s/cm⁴]

Das Wesentliche an diesem Resultat ist, dass sich auf der rechten Seite der Gleichung nur Materialkonstanten befinden. Das Strom-Zeit-Integral ist also eine konstante Grösse, welche allein von dem verwendeten Schmelzleitermaterial abhängig ist. So sei beispielsweise angeführt, dass das häufig verwendete Schmelzleitermaterial Silber eine Konstante C von $8 \cdot 10^8$ A²s/cm⁴ aufweist, wobei auf die erste Erwärmungsperiode etwa 74% entfallen, und auf die Schmelz- und die Verdampfungsperiode je etwa 13%. Die Anwendung dieser Ergebnisse ergibt für die Hersteller von Schmelzeinsätzen, sowie für die Verbraucher die folgenden Vorteile:

a) Sind die Schmelzleiterdaten dem Hersteller bekannt, so erübrigt sich ein experimentelles Aufnehmen der Abschmelzcharakteristik für Zeiten kleiner als etwa 10 ms. Die Abschmelzzeiten können für beliebig grosse Ströme rechnerisch bestimmt werden.

b) Für die meisten Schutzobjekte ist ebenfalls Gl. (8) bzw. (9) massgebend. Jedes Schutzobjekt hat für eine gewählte, maximal zulässige Temperatur einen bestimmten $I^2 t$ -Wert. Als Kurzschlußschutz ist nun ein Schmelzeinsatz auszuwählen, der auf jeden Fall einen kleineren $I^2 t$ -Wert aufweist. Ist diese Bedingung erfüllt, so ist das Schutzobjekt für alle Fehlerströme, die kleinere Schmelzzeiten als 10 ms ergeben, einwandfrei geschützt. Es ist nicht mehr notwendig, die Abschmelzcharakteristik zu konsultieren. Voraussetzung für dieses Verhalten ist selbstverständlich, dass die auftretende Schaltleistung vom Schmelzeinsatz bewältigt werden kann (siehe Abschnitt 2.3).

2.2.1 Superflinke Schmelzcharakteristik

Superflinke Schmelzeinsätze sollen Fehlerströme in kürzerer Zeit unterbrechen als die üblichen flinken Schmelzeinsätze. Hierzu ist, gemäss den Ausführungen in dem vorhergehenden Abschnitt, der Schmelzleiter mit entsprechend verkleinertem Querschnitt auszubilden. Damit jedoch zufolge des reduzierten Querschnittes der Schmelzleiter bei Nennstrombelastung

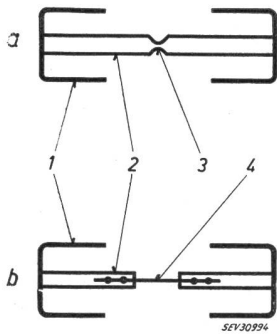


Fig. 4
Schmelzleiter-Ausbildung für
superflinke Schmelzeinsätze
a Bandförmiger Schmelzleiter
mit ausgestanzten Querschnitt-
verschwächungen; b bandförmiger
Schmelzleiter mit aufge-
punktetem, querschnittschwache-
chem Runddraht
1 metallische Endkappen; 2
bandförmiger Schmelzleiter; 3
Querschnittverschwächung; 4
Querschnittschwacher Rund-
draht

nicht vorzeitig unterbricht, sind besondere konstruktive Massnahmen erforderlich. So wird beispielsweise ein bandförmiger Schmelzleiter mit extrem starken Querschnittverschwächungen vorgesehen (Fig. 4a). Der Querschnitt der verschwächten Stelle richtet sich nach den Anforderungen der Abschmelzzeit im Kurzschlussfalle. Er ist massgebend für die Bestimmung des I^2t -Wertes. In diesen reduzierten Querschnitten können bei Nennstrombelastung Stromdichten von einigen Hundert A/mm² auftreten; die benachbarten Vollquerschnitte haben demzufolge die Aufgabe, durch Wärmeableitung die verschwächte Stelle zu kühlen, damit die sehr hohe Stromdichte ausgehalten wird. Das Verhältnis des verschwächten Querschnittes zum Vollquerschnitt kann in der Grössenordnung 1 : 10 bis 1 : 30 liegen. Fig. 4b zeigt eine andere Möglichkeit zur Erzielung von Querschniteinschnürungen. Es wird hier auf einen in der Mitte unterbrochenen, bandförmigen Schmelzleiter ein drahtförmiger Schmelzleiter geringeren Querschnittes z. B. durch Punktschweissen befestigt.

Derartige Schmelzeinsätze haben in jüngster Zeit grosse Bedeutung erlangt zum Schutze von Halbleitern, wie Transistoren, Germanium- und Siliziumdioden. Wird ein konstanter Belastungsstrom an solche Elemente angelegt, so stabilisiert sich die erhöhte Sperrschichttemperatur innerhalb weniger Perioden, höchstens innerhalb einiger Sekunden. Bei Kurzschlussströmen kann aber die Sperrschicht von Halbleitergleichrichtern innerhalb von Millisekunden oder sogar Bruchteilen davon Temperaturen annehmen, die zur Zerstörung führen. Vom thermischen Standpunkte aus zeigen die Halbleiter ganz ähnliches Verhalten wie die Schmelzleiter für superflinke Schmelzeinsätze. Auch bei diesen sind «Einschnürungen» mit sehr hohen Stromdichten und benachbarte grosse Querschnitte zur Wärmeableitung vorhanden. Bei richtiger Dimensionierung des Schmelzleiters muss es demnach möglich sein, den Halbleitergleichrichter für grosse Fehlerströme, wie sie bei lastseitigen Kurzschlüssen oder bei Verlust der Sperrfähigkeit auftreten, mittels superflinken Schmelzsicherungen einwandfrei zu schützen.

Hiezu ist nun die Benützung des Strom-Zeit-Integrale oder des I^2t -Wertes von wesentlichem Nutzen. Insbesondere erwähnt die amerikanische Literatur [2] über Halbleitergleichrichter unter den technischen Daten den für den Halbleiter zulässigen I^2t -Wert, wobei jedoch darauf hingewiesen wird, dass die Sicherungsfabrikanten diesen Wert meistens nicht angeben. Diesem Vorwurf sei durch die Tabelle I sogleich begegnet. Hierin sind als Beispiel für bestimmte Halbleitertypen die vom Halbleiterfabrikanten angegebenen zulässigen I^2t -Werte den $I_s^2 t_s$ -Werten der zuzuordnenden superflinken Schmelzeinsätze gegenübergestellt.

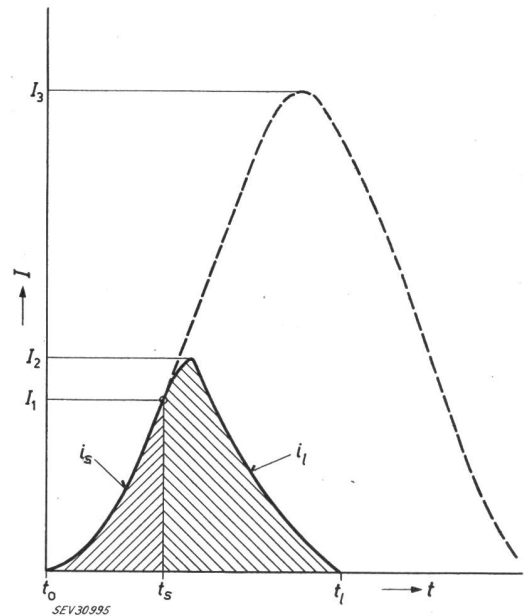


Fig. 5
Verlauf der Abschaltung eines superflinken Schmelzeinsatzes mit
strombegrenzender Wirkung

t_0 Einschaltmoment; t_s Lichtbogenbeginn; t_l Löschmoment; i_s Stromverlauf während Schmelzdauer; i_l Stromverlauf während Lichtbogendauer; I_1 Stromwert bei Lichtbogenbeginn; I_2 auftretende maximale Stromamplitude; I_3 maximale Amplitude des Kurzschlußstromes ohne Schmelzeinsatz

Bei der Auswahl der Schmelzeinsätze ist zu beachten, dass nicht nur das Strom-Zeit-Integral während der Schmelzzeit berücksichtigt werden muss, sondern auch das Strom-Zeit-Integral während der Lichtbogen-Löschperiode, da während dieser Zeit das Schutzobjekt weiterhin erwärmt wird. Diese Verhältnisse sind in Fig. 5 wiedergegeben. Hierin ist massgebend für den Strom-Zeit-Integralwert der Schmelzperiode der Strom i_s während der Zeitdauer $t_0 \dots t_s$ und für die Löscheriode der Strom i_l während der Zeitdauer $t_s \dots t_l$. Obwohl der $I_s^2 t_s$ -Wert der Schmelzperiode mit guter Genauigkeit zum voraus bestimmt werden kann, hängt der $I_l^2 t_l$ -Wert der Löscheriode von verschiedenen Faktoren ab, wie z. B. Löschfähigkeit des Schmelzeinsatzes, Höhe der wiederkehrenden Spannung, Einschaltmoment, Belastungsart, usw. Im allgemeinen kann angenommen werden, dass der Integralwert des Lichtbogenstromes das 1,5...2fache des Schmelzstrom-Integralwertes nicht überschreitet. Demzufolge soll der $I_s^2 t_s$ -Wert des Schmelzleiters ungefähr drei Mal kleiner gewählt werden als der zulässige I^2t -Wert des zu schützenden Halbleiters. In Tabelle I ist dies weitgehend der Fall. Um möglichst kleine Lichtbogenstromintegralwerte zu erreichen, ist es erforderlich, dass derartige Schmelzeinsätze eine gute Löschfähigkeit aufweisen, um einerseits die auftretende maximale Stromamplitude möglichst zu begrenzen und andererseits eine kurze Löscheriode zu erreichen. Diese Schmelzeinsätze werden auch als *strombegrenzende Schmelzeinsätze* bezeichnet. Der Schmelzleiter ist vorzugsweise von einem Löschmittel, wie z. B. Quarzsand, umgeben und kann daher in die Kategorie der «Schmelzeinsätze mit grossem Schaltvermögen» eingereiht werden. Es muss jedoch in diesem Zusammenhang gesagt werden, dass nicht alle Hersteller von Halbleitern die Auffassung von der I^2t -Gesetzmässigkeit eines Halbleitergleichrichters teilen [3]. Da in der Durchlassrichtung

Halbleiter-Gleichrichter [2]			Zu den Gleichrichtern zugeordnete Schmelzeinsätze	
Typ	Maximaler Dauerstrom (Grenzstrom) A	Zulässiger I^2t -Wert $A^2 s$	Nennstrom A	I^2t_s -Wert $A^2 s$
C 10	4,7	13	4	4,5
C 36	10	40	8	15
C 35	16	75	10	25
C 60	50	4000	40 50	500 800
C 70	70	4000	60	1000

I^2t für den Halbleiter zulässiger Strom-Zeit-Integralwert
 $I_s^2 t_s$ Strom-Zeit-Integralwert des zuzuordnenden superflinken Schmelzeinsatzes

die Stromspannungscharakteristik nicht linear ist, soll der Strom-Zeit-Integral-Wert eher dem Produkt $I t$ entsprechen. Diese verschiedenen Auffassungen sollen zwar hier nicht diskutiert werden, doch zeigt Fig. 6 die prinzipiellen Unterschiede der Strom-Zeit-Charakteristiken für beide Fälle, sowie die richtig ausgelegte Abschmelzcharakteristik des zugehörigen Schmelzeinsatzes mit konstanter $I_s^2 t_s$ -Charakteristik. Es geht daraus hervor, dass mindestens für grosse Fehlerströme auch Halbleiter mit $I t$ -Charakteristik einwandfrei geschützt werden können. Ob superflinke Schmelzeinsätze auch für das Überlastgebiet, also bei kleinen Fehlerströmen den Halbleiter eindeutig schützen, ist von Fall zu Fall durch Vergleichen der Abschmelzcharakteristik zu überprüfen, wobei auf allfällige Kühleinrichtungen Rücksicht zu nehmen ist.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass Schmelzeinsätze zum Schutze von Halbleitern derart gebaut sein

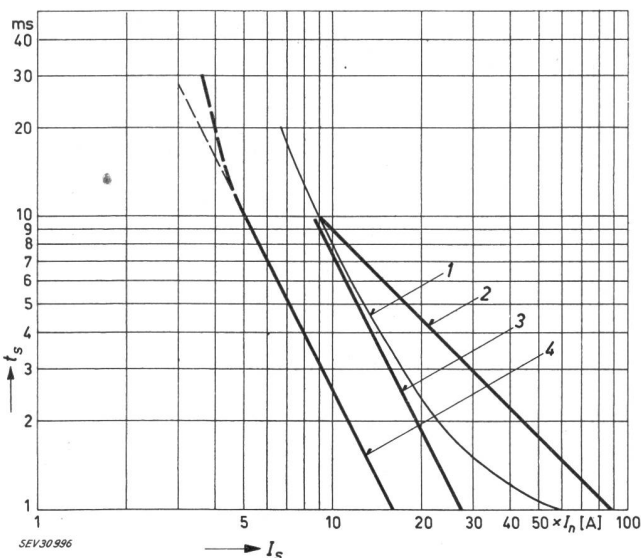


Fig. 6

Strom-Zeitcharakteristiken von Halbleitern und zugehörigen Schmelzeinsätzen für Schmelzzeiten < 10 ms

I_s Schmelzstrom als Vielfaches des Nennstromes; t_s Schmelzzeit; 1 Kennlinie von Silizium-Gleichrichtern, Typen SK1...SK35 [4]. Die Kennlinie liegt zwischen $I t$ - und $I^2 t$ -Charakteristik; 2 konstante $I t$ -Charakteristik; 3 konstante $I^2 t$ -Charakteristik; 4 zur Kurve 1: richtig zugeordnete Schmelzeinsatz-Charakteristik mit konstantem $I^2 t_s$ -Wert

müssen, dass beim Abschaltvorgang möglichst geringe Überspannungen erzeugt werden, damit die maximal zulässige Sperrspannung des Halbleiters nicht überschritten wird.

2.2.2 Flinke Schmelzeinsätze

Sofern es sich nicht um extrem kleine oder extrem grosse Stromstärken handelt, weisen flinke Schmelzeinsätze vom konstruktiven Gesichtspunkt aus den einfachsten Aufbau auf. Der Schmelzleiter besteht meistens aus einem Runddraht, der zwischen den beiden Endkappen eingelötet oder eingespannt ist. Je nach Nennstrom werden für den Schmelzleiter verschiedene Materialien verwendet, so z. B. Chromnickeldraht mit extrem grossem spezifischem Widerstand, wie auch Feinsilber als eines der Metalle mit besonders kleinem spezifischem Widerstand.

Flinke Schmelzeinsätze werden für Objekte verwendet, die eine geringe Kurzschlussfestigkeit aufweisen, also ähnlich wie Halbleiter einen kleinen zulässigen $I^2 t$ -Wert besitzen, die demnach im Kurzschlussfalle rasch abgeschaltet werden müssen. Diese Schmelzeinsätze eignen sich aber nicht für Stromkreise, in welchen grössere kurzzeitige Belastungsstösse, wie z. B. Einschaltströme von Transformatoren, Kondensatoren, Motoren usw. auftreten. Hingegen werden flinke Schmelzeinsätze öfters in Stromkreisen eingesetzt, in welchen mit vorgeschalteten trägen Schmelzeinsätzen einwandfreie Selektivität erreicht werden soll. Bei Nennströmen kleiner als 1 A eignen sich erfahrungsgemäss flinke Schmelzeinsätze ebenfalls zum Schutze von Transistoren und Halbleitergleichrichtern. Die Strom-Zeit-Charakteristik oder die $I^2 t$ -Werte von Halbleiter und Schmelzeinsatz sind in jedem Falle zu vergleichen. Fig. 3 gibt grössenordnungsmässig einen Anhaltspunkt über die Strom-Zeit-Charakteristik von flinken Schmelzeinsätzen.

2.2.3 Träge Schmelzeinsätze

Durch spezielle Ausbildung des Schmelzleiters wird ermöglicht, eine träge Strom-Zeit-Charakteristik zu erzielen. In Fig. 7 sind einige Möglichkeiten aufgezeigt.

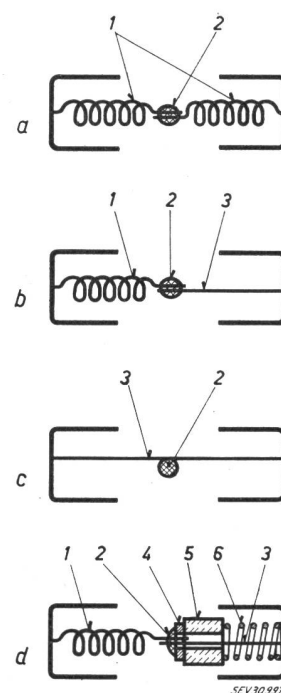


Fig. 7

Beispiele von Schmelzleiterkonstruktionen für träge und superträge Schmelzeinsätze

a...c träge Schmelzeinsätze; d superträge Schmelzeinsätze
 1 Schmelzleiter-Heizspirale; 2 Lot; 3 Schmelzleiter-Heizdraht; 4 Trägemasse; 5 Isolierscheibe; 6 Druckfeder

zeit der Spiralen, sowie der notwendige Wärmetransport zur Lötstelle ist verantwortlich für die zeitliche Verzögerung des Durchschmelzens. Die Spiralen haben nebst der Heizfunktion auch die Aufgabe, als Zugfeder zu wirken, um nach Verflüssigung des Lotes eine Trennstelle zu schaffen, und damit einen Lichtbogen einzuleiten. Wesentlich ist, dass zum Durchschmelzen nicht die Schmelztemperatur des Schmelzleiters zu erreichen ist, sondern lediglich die Schmelztemperatur des verwendeten Lotes.

Schmelzleiterausführung nach Fig. 7b ist in der Wirkungsweise ähnlich wie für die Ausführung a) dargestellt. Hier ist jedoch die zweite Spirale ersetzt durch einen geraden, drahtförmigen Heizleiter, dessen Material verschieden sein kann von demjenigen der Spirale. In diesem Zusammenhang mag interessant sein, auf folgenden, nicht unbedingt vorauszu sehenden Effekt hinzuweisen: Bei Gleichstrombelastung ist festzustellen, dass die Abschmelzzeit bei gleichem Stromwert, je nach Stromrichtung, verschieden ist. Wird beispielsweise der positive Pol an die Spiralseite des Schmelzeinsatzes gelegt, so ergibt sich für einen bestimmten Schmelzeinsatz-Typ eine Schmelzzeit von 3...5 s; wird hingegen der positive Pol an die Drahtseite gelegt, so beträgt die Schmelzzeit bei gleicher Strombelastung über 300 s. Weiter fällt auf, dass bei Wechselstrombelastung die Schmelzzeit in der Mitte der beiden Gleichstrommessungen liegt. Dieses Verhalten erscheint recht sonderbar, sind doch Erwärmungsvorgänge hauptsächlich abhängig vom quadratischen Mittelwert der Stromstärke, nicht aber von der Stromrichtung. Die Erklärung dieses Phänomens gibt der sog. Peltier-Effekt, der bereits im Jahre 1834 entdeckt wurde, welcher aber erst in neuester Zeit in anderem Zusammenhang technische Bedeutung erlangt hat [5]. Der Peltier-Effekt besagt, dass bei Stromfluss durch die Verbindungsstelle zweier verschiedener Metalle je nach Stromrichtung eine Erwärmung oder Abkühlung der Verbindungsstelle eintritt. Diese physikalische Erscheinung stellt die Umkehrung des bekannten Thermoeffektes dar. Damit ist die Ursache der unterschiedlichen Abschmelzzeiten erklärt.

Schliesslich sei bezüglich Schmelzleiterausbildung für träge Schmelzeinsätze auf Fig. 7c hingewiesen. Hier wird eine Drahtschleife mit Zinn ausgefüllt, welches bei Verflüssigung infolge Überstrombelastung mit dem vorteilhaft aus Silber bestehenden Drahtmaterial eine Legierung bildet. Der Schmelzpunkt dieser Legierung liegt tiefer als der Schmelzpunkt des Silbers, jedoch höher als der Schmelzpunkt des verwendeten Lotes. Wegen des reduzierten Schmelzpunktes kann bei gleicher Strombelastung der Drahtquerschnitt grösser gewählt werden als ohne Zinnaufrag, was eine grössere Trägheit bewirkt.

Träge Schmelzeinsätze haben heute das verbreitetste Anwendungsgebiet. Sie werden überall dort eingesetzt, wo mit Einschaltstromstössen oder kurzzeitigen Belastungsschwankungen zu rechnen ist, und wo keine besondere Notwendigkeit besteht, Kurzschlüsse möglichst schnell abzuschalten.

2.2.4 Superträge Schmelzeinsätze

Wie aus der Bezeichnung hervorgeht, weisen diese Schmelzeinsätze eine noch grössere Trägheit auf als die trägen Schmelzeinsätze, was aus Fig. 3 ersichtlich ist. Eine Ausführungsform derartiger Schmelzeinsätze zeigt Fig. 7d. Die Heizspirale 1 ist bei der Lötstelle 2

mit dem Heizdraht 3 verbunden. Die Lötstelle wird auf einer Trägheitsmasse 4 angebracht, welche die Verflüssigung des Lotes zeitlich zu verzögern hat. Wird bei Überstrombelastung die Schmelztemperatur des Lotes erreicht, so stösst die Druckfeder 6 die Isolierscheibe 5 in Richtung der Spirale 1, wodurch sich eine Trennstelle bildet. Der Heizdraht 3 kann ausgenützt werden, um einen überstromträgen und kurzschlussflinken Schmelzeinsatz herzustellen, wie dies aus Fig. 3, Kurve 5 hervorgeht. Hierbei ist der Querschnitt des Heizdrahtes 3 so reduziert, dass er Überströme bis zu einem bestimmten Wert erträgt, und die Unterbrechung durch die Lottrennstelle verzögert erfolgt. Bei grösseren Kurzschlußströmen schmilzt jedoch der Heizdraht 3 zeitlich vor Verflüssigung der Lötstelle.

Superträge Schmelzeinsätze werden dort eingesetzt, wo die trägen Schmelzeinsätze extrem hohe Einschaltströme von Transformatoren oder Motoren nicht aushalten. Es ist damit nicht mehr notwendig, den Schmelzeinsatz strommässig zu überdimensionieren, was einen wirkungsvolleren Überstromschutz ermöglicht. Das Schutzobjekt, in den meisten Fällen ein Servomotor, kann thermisch besser ausgenützt werden.

2.3 Schaltvermögen

Das Schaltvermögen ist gekennzeichnet durch den grössten Strom, den ein Schmelzeinsatz-Typ unter bestimmten Prüfbedingungen einwandfrei unterbricht.

Das für einen Schmelzeinsatz zulässige Schaltvermögen ist von mannigfaltigen Faktoren abhängig, die in *innere* und *äussere* Bedingungen aufgeteilt werden können.

Die inneren Bedingungen sind vom Schmelzeinsatz selbst abhängig, wobei bei gegebenen Schmelzeinsatz- Dimensionen die folgenden konstruktiven Merkmale eine Hauptrolle spielen: Mechanische und thermische Festigkeit des den Schmelzleiter umgebenden rohrförmigen Gehäuses, allfällige Einbettung des Schmelzleiters in ein Löschmittel, Schmelzleiterausbildung, Schmelzleitermaterial, und damit Nennstromstärke und Abschmelzcharakteristik des Schmelzeinsatzes.

Als äussere, das Abschaltvermögen bestimmende Bedingungen seien genannt: Höhe der wiederkehrenden Spannung, Kurzschlußstromstärke, magnetische Energie des Stromkreises im Zeitpunkt des Lichtbogenbeginnes, Leistung der Stromquelle, Leistungsfaktor oder Zeitkonstante des Stromkreises, bei Wechselstrom Frequenz und Einschaltmoment.

Eine Überschreitung des zulässigen Abschaltvermögens äussert sich in der Praxis darin, dass bei einer Abschaltung das Isolierrohr berstet, dass die metallischen Endkappen event. durch Lichtbogeneinwirkung zerstört werden, und dass, obwohl in seltenen Fällen, ein stehender Lichtbogen auftreten kann, der dann durch eine vorgeschaltete Schutz Einrichtung abgeschaltet werden muss. Bei Verwendung von offenen Sicherungshaltern besteht Gefahr, dass durch das Bersten des Schmelzeinsatzes oder durch Lichtbogeneinwirkung benachbarte Bauteile in Mitleidenschaft gezogen werden können. Bei Verwendung von geschlossenen Sicherungshaltern macht sich eine Überschreitung der zulässigen Abschaltleistung in dem Sinne unangenehm bemerkbar, indem gebrochene Schmelzeinsätze nur mühsam aus dem Sicherungshalter entfernt werden können. Es ist daher stets lohnenswert, bei Wahl eines Schmelzeinsatzes sich Rechenschaft über die im Stromkreis auftretenden

beträgt und im Fall b) $\cos \varphi = 0,87$ ist, wobei beide Schmelzeinsätze sandgefüllt und auch anderweitig identisch sind. Der Einschalt-Zeitpunkt ist so gewählt, dass der Lichtbogenbeginn im Gebiete des Spannungsmaximums liegt. Das Oszillogramm in Fig. 8a ergibt eine etwa 6mal längere Lichtbogenzeit als in Fig. 8b, eine Überspannung, die den 2fachen Scheitelwert der wiederkehrenden Spannung erreicht, wohingegen im Falle 8b praktisch keine Überspannung festzustellen ist. Die Lichtbogenarbeit ist in Fig. 8a etwa 30mal grösser als bei 8b. Aus diesem Vergleich ist ersichtlich, dass der Leistungsfaktor des Stromkreises auf das Schaltvermögen einen ganz erheblichen Einfluss hat.

Fig. 8b und 8c geben einen Vergleich bei veränderten inneren Bedingungen. In beiden Fällen sind die äusseren Bedingungen gleich, so dass der Abschaltstrom 35 A bei 220 V, 50 Hz, und bei einem Leistungsfaktor von $\cos \varphi = 0,87$ beträgt. Im Gegensatz zu Fig. 8b ist bei Fig. 8c der Schmelzeinsatz *nicht* sandgefüllt und gehört demnach in die Kategorie «kleines Schaltvermögen». Es ergibt sich beim nicht sandgefüllten Schmelzeinsatz (Fig. 8c) eine bedeutend längere Lichtbogenzeit als beim sandgefüllten Schmelzeinsatz (Fig. 8b). Ebenso ist die Lichtbogenarbeit etwa 8mal grösser ohne Sandfüllung. Daraus ist die günstige, lichtbogenlöschende Wirkung eines Füllmittels ersichtlich.

Die drei Oszillogramme zeigen auch, dass trotz zum Teil unterschiedlichen Einschaltmomenten die Schmelzintegralwerte $I_s^2 t_s$ praktisch gleich sind, was auch so sein muss, da in allen Fällen der gleiche Schmelzleiter verwendet wird, der rechnerisch einen $I_s^2 t_s$ -Wert von 5 A^2 ergibt. Die Auswertung der Oszillogramme ergibt einen $I_s^2 t_s$ -Wert, der zwischen 5 und $6 \text{ A}^2 \text{ s}$ liegt, was unter Berücksichtigung der Auswertgenauigkeit der Oszillogramme als gute Übereinstimmung zu werten ist.

2.4 Nennspannung

Die Nennspannung für die beschriebenen Schmelzeinsätze beträgt 250 V. Die Festlegung dieses Wertes steht im Zusammenhang mit dem im vorhergehenden Abschnitt behandelten Schaltvermögen, welches bei 1,1facher Nennspannung, also bei 275 V angegeben wird. Schmelzeinsätze mit kleinem Schaltvermögen können in Sekundärstromkreisen auch für höhere Spannungen verwendet werden, sofern der auftretende maximale Kurzschlußstrom das stark reduzierte Schaltvermögen bei dieser erhöhten Spannung nicht überschreitet. Schmelzeinsätze mit grossem Schaltvermögen können in Primärstromkreisen bis 500 V eingesetzt werden, dürfen in diesem Falle jedoch nur zur Sicherung von Steuerstromkreisen dienen, wobei die Sicherung dort eingebaut sein soll, wo leistungsstarke Kurzschlüsse nicht zu erwarten sind. In diesen Fällen ist ausserdem zu beachten, dass ein Sicherungshalter verwendet wird, der in Bezug auf Isolation für die erhöhte Spannung bemessen ist.

2.5 Eigenverbrauch des Schmelzeinsatzes

Der Eigenverbrauch der beschriebenen Schmelzeinsätze liegt je nach Trägheitsgrad und Nennstromstärke in der Grössenordnung vom 0,2...2 W. Als Eigenverbrauch wird diejenige Leistung verstanden, die unter Nennstrombelastung nach Erreichung des Temperaturgleichgewichtes auftritt. In belastungs-empfindlichen Kreisen, wie z. B. in Messkreisen, ist zu

beachten, dass der Widerstand des Schmelzeinsatzes im Kaltzustand, also z. B. bei kleinen Belastungsströmen 2...3mal kleiner sein kann als bei Nennstrombelastung. Bei Schmelzleitern aus Widerstandsmaterial mit kleinem Temperaturkoeffizienten tritt dieser Effekt naturgemäss nicht auf.

Einzelne träge Schmelzeinsätze mit kleinen Nennstromstärken haben einen extrem kleinen Eigenverbrauch. Diesem scheinbaren Vorteil steht jedoch ein empfindlicher Nachteil gegenüber: Um einen kleinen Eigenverbrauch zu erzielen, wird für den die Trennstelle bildenden Lotauftrag (siehe Abschnitt 2.2.3) eine niederschmelzende Legierung verwendet. Infolge des tiefen Lotschmelzpunktes, der kleiner als 100°C sein kann, ergibt sich eine grosse Abhängigkeit der Schmelzzeit von der Umgebungstemperatur. Bei Verwendung solcher Schmelzeinsätze in Apparaten, welche der Sonnenbestrahlung ausgesetzt sind, oder bei höheren Betriebstemperaturen der Geräte, ergibt sich öfters ein unmotiviertes Durchschmelzen. Um diesem Nachteil zu begegnen, besteht heute die Tendenz, einen etwas höheren Eigenverbrauch in Kauf zu nehmen, damit ein höher schmelzendes Lot für die Trennstelle verwendet werden kann.

2.6 Lebensdauer

Von besonderer Wichtigkeit ist die Lebensdauer eines Schmelzeinsatzes. Aus Wartungsgründen soll ein in einem zu schützenden Gerät eingesetzter Schmelzeinsatz auch über lange Zeiträume, z. B. während mehreren Jahren, aus unmotivierten Gründen nicht defekt werden. So einfach diese Forderung erscheint, erfordert deren Erfüllung ganz besonders sorgfältige Untersuchungen, langwierige Entwicklungsarbeiten und laufende Kontrollen.

Es ist seit langem bekannt, dass Kupfer besonders bei erhöhten Temperaturen zur Oxydation neigt und deshalb in qualitativ hochwertigen Schmelzeinsätzen wohl kaum mehr verwendet wird, da unter Strombelastung ein vorzeitiges Durchschmelzen zu erwarten ist. Zur Verbesserung dieser Verhältnisse hat Silber als Schmelzleiterwerkstoff weitgehende Verbreitung gefunden und hat auch zu entscheidender Erhöhung der Lebensdauer beigetragen. Trotzdem treten Fälle auf, bei welchen Silber oder Feinsilber den Anforderungen noch nicht genügen, zumal dann, wenn die Schmelzeinsätze über lange Zeiträume mit Belastungsströmen betrieben werden, die nur wenig unter dem minimalen Schmelzstrom liegen. Versuche in Schutzgasatmosphäre, in welcher eine Oxydation ausgeschlossen ist, haben gezeigt, dass auch hier Ausfälle zu verzeichnen sind, dass also nicht allein Oxydationsvorgänge das vorzeitige Altern verursachen. Eingehende Untersuchungen haben nachgewiesen, dass Silberschmelzleiter nach erfolgter Dauerbelastung eine grosse Kornvergrösserung gegenüber dem Neuzustand aufweisen. Diese Kornvergrösserung führt zu einer Widerstandserhöhung und zu Materialversprödung. Tatsächlich kann beobachtet werden, dass sich ein derartiger Schmelzleiter unter Strombelastung verlängert, jedoch bei Abkaltung sich nicht mehr auf seine ursprüngliche Länge zurückziehen kann. Durch Wahl von Legierungen, welche einer Kornvergrösserung entgegenwirken, wird eine entscheidende Verbesserung erzielt. Auch Gold hat sich in solchen Fällen als Schmelzleiter bestens bewährt.

Ein Mass für die Lebensdauer eines Schmelzeinsatzes gibt die in den CEI-Regeln vorgesehene Zyklische

Kurzschlussbeanspruchungen zu geben, um kontrollieren zu können, ob das in den Normen festgelegte oder vom Hersteller angegebene zulässige Schaltvermögen des Schmelzeinsatzes nicht überschritten wird.

Ein Schmelzeinsatz geht bei Überschreitung des zulässigen Abschaltvermögens defekt zufolge der durch den Lichtbogen auftretenden Temperatur- und Druckerhöhung, wofür die bei der Abschaltung auftretende Lichtbogenarbeit W_L massgebend ist:

$$W_L = \int_{t_s}^{t_l} u_l i dt \quad [\text{Ws}]$$

- t_s Zeit bei Lichtbogenbeginn
 t_l Zeit bei Lichtbogenlöschung
 u_l Lichtbogenspannung
 i Strom

Die heutigen Schmelzeinsätze können in zwei Kategorien eingeteilt und bezeichnet werden als:

- Schmelzeinsätze mit kleinem Schaltvermögen,
- Schmelzeinsätze mit grossem Schaltvermögen.

Bei Schmelzeinsätzen mit *kleinem Schaltvermögen* ist der Schmelzleiter sichtbar, das Isolierrohr besteht aus transparentem Material, meistens aus Glas. Diese Schmelzeinsätze weisen kein Löschmittel auf, die Lichtbogenlöschung erfolgt in Luft. Damit ergibt sich eine relativ lange Lichtbogenzeit, es tritt keine wesentliche Strombegrenzung auf, der Kurzschlußstrom kann seine volle Höhe erreichen. Auf diese Weise ergibt sich zwangsläufig ein relativ kleines zulässiges Schaltvermögen, welches in den kommenden Normen für Schmelzeinsätze der Dimension 5×20 mm (siehe Abschnitt 3) bei einer wiederkehrenden Spannung von 275 V $\sim$ und $\cos \varphi = 0,75$ auf 35 A festgelegt ist. Der zulässige Abschaltstrom ist bei kleineren Spannungen grösser und bei höheren Spannungen als 275 V kleiner. Bei Gleichstrom ist insbesondere bei dieser Kategorie das Schaltvermögen kleiner als bei Wechselstrom, da die Begünstigung der Löschung infolge des natürlichen Spannungs-Nulldurchganges wegfällt.

Bei der Kategorie der Schmelzeinsätze mit *grossem Schaltvermögen* ist der Schmelzleiter nicht sichtbar. Das Isolierrohr besteht meistens aus keramischem Material oder aus Glas, wobei stets ein Löschmittel vorhanden ist. Dieses, z. B. Quarzsand, Kieselgur, Talkum, begünstigt in hohem Masse die Lichtbogenlöschung, was die Lichtbogenzeit und damit die Lichtbogenarbeit reduziert. Zuzufolge der guten Löschfähigkeit können insbesondere flinke und superflinke Schmelzeinsätze strombegrenzend wirken, d. h. die maximale Kurzschlußstrom-Amplitude, die im Stromkreis auftreten würde, wenn kein Schmelzeinsatz vorhanden wäre, tritt während dem Abschaltvorgang gar nicht auf. Schmelzeinsätze der Dimension 5×20 mm mit grossem Schaltvermögen müssen nach den schweizerischen Vorschriften bei 275 V $\sim$ wiederkehrender Spannung und $\cos \varphi = 0,15 \dots 0,3$ einen maximalen Strom von 1500 A abschalten können. Bei Schaltleistungsprüfungen werden auch kleinere Stromwerte als der max. zulässige Abschaltstrom geprüft, da diese Werte unter Umständen eine grössere Beanspruchung des Schmelzeinsatzes ergeben können.

Fig. 8 zeigt drei Abschaltoszillogramme zum Vergleich der verschiedenartigen Beanspruchungen eines Schmelzeinsatzes. Bei allen 3 Oszillogrammen sind die Schmelzeinsätze mit Schmelzleitern aus Feinsilberdraht

von 0,1 mm Durchmesser ausgerüstet. Es ergibt dies für sandgefüllte Schmelzeinsätze, wie in Fig. 8a und 8b verwendet, einen flinken Schmelzeinsatz von 3 A Nennstrom. Für nicht sandgefüllte Schmelzeinsätze, wie bei Fig. 8c verwendet, beträgt hierbei der Nennstrom 2 A. Es wird ein Abschaltstrom von 35 A eingestellt bei einer wiederkehrenden Spannung von 220 V, 50 Hz. Fig. 8a und 8b zeigt einen Vergleich bei verschiedenartigen äusseren Bedingungen, indem bei Fall a) der Leistungsfaktor des Stromkreises $\cos \varphi \approx 0,2$

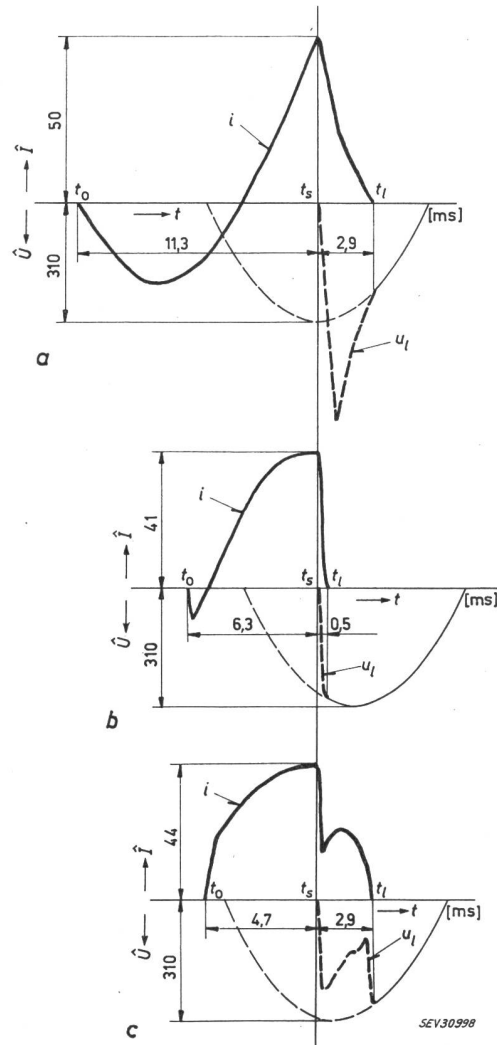


Fig. 8

Abschaltoszillogramme von Schmelzeinsätzen 5 (Durchmesser) $\times$ 20 mm, ausgerüstet mit Feinsilber-Schmelzleitern von 0,1 mm Durchmesser

Abschaltstrom 35 A bei 220 V, 50 Hz

I, U Scheitelwerte des Stromes in [A] bzw. der Spannung in [V];
 t_0 Einschaltmoment; t_s Lichtbogenbeginn; t_l Löschmoment; i Strom; u_l Lichtbogenspannung

S Schmelzintegral $\int_{t_0}^{t_s} i^2 dt$ [A 2 s]; L Löschintegral $\int_{t_s}^{t_l} i^2 dt$ [A 2 s];

W_L Lichtbogenarbeit $\int_{t_s}^{t_l} u_l i dt$ [Ws]

a Schmelzeinsatz sandgefüllt, Stromkreis-Leistungsfaktor $\cos \varphi = 0,2$

$S = 5,1 \text{ A}^2\text{s}$; $L = 1,4 \text{ A}^2\text{s}$; $W_L = 30 \text{ Ws}$

b Schmelzeinsatz sandgefüllt, Stromkreis-Leistungsfaktor $\cos \varphi = 0,87$

$S = 5,1 \text{ A}^2\text{s}$; $L = 0,2 \text{ A}^2\text{s}$; $W_L = 1 \text{ Ws}$

c Schmelzeinsatz nicht sandgefüllt, Stromkreis-Leistungsfaktor $\cos \varphi = 0,87$

$S = 6 \text{ A}^2\text{s}$; $L = 1,1 \text{ A}^2\text{s}$; $W_L = 8,4 \text{ Ws}$

Prüfung. Hierbei werden die Schmelzeinsätze einem Belastungs-Zyklus unterworfen, der sich aus einer einstündigen Belastungszeit mit einem je nach Schmelzeinsatz-Typ bestimmten Überstrom, z. B. $1,2 \times$ Nennstrom und einer anschliessenden $\frac{1}{4}$ stündigen Ruhezeit zusammensetzt. Es werden 100 Zyklen durchgeführt, wobei nachfolgend der vorgesehene Stundenstrom, z. B. $1,5 \times$ Nennstrom noch ausgehalten werden muss. Der Spannungsabfall des Schmelzeinsatzes darf nach diesem Dauerversuch um max. 10 % höher sein als im Neuzustand.

3. Normung und Kennzeichnung

In verschiedenen Ländern bestehen Landesnormen, welche die Eigenschaften von Apparateschutz-Sicherungen festlegen. Hiedurch ergibt sich eine Vielfalt von Typen, welche die bekannten Nachteile bei Ersatz usw. verursachen. Es ist daher als besonders erfreuliches Zeichen zu werten, dass es der CEI in neuester Zeit gelungen ist, für Apparateschutz-Schmelzeinsätze internationale Empfehlungen aufzustellen, welche in CEI-Publikation Nr. 127 dargelegt sind. Diese Empfehlungen setzen sich aus einem allgemeinen Teil, in welchem Definitionen, allgemeine Anforderungen und die Prüfbedingungen enthalten sind, sowie aus einzelnen Datenblättern zusammen, welche für jeden Schmelzeinsatz-Typ die speziellen Werte festlegen. In der

Schweiz werden ebenfalls Regeln für Apparateschutz-Schmelzeinsätze ausgearbeitet, die sich voraussichtlich in allen wesentlichen materiellen Punkten mit den Empfehlungen des CEI decken werden.

Als Kennzeichnung für Schmelzeinsätze mit kleinem Schaltvermögen dient der sichtbare Schmelzleiter. Schmelzeinsätze mit grossem Schaltvermögen sind nicht transparent, der Schmelzleiter ist nicht sichtbar. Die Kappen des Schmelzeinsatzes werden nach den oben erwähnten Normen, sowie nach der heutigen, weitverbreiteten Praxis beschriftet mit der Firmenmarke des Herstellers, der Nennspannung in V, sowie der Nennstromstärke in A oder mA. Der Trägheitsgrad bei superflinken Schmelzeinsätzen wird in Zukunft auf der Kappe mit FF, der flinken mit F, der trägen mit T und der superträgen Schmelzeinsätze mit TT bezeichnet.

Literatur

- [1] Rüdenberg, R.: Elektrische Schaltvorgänge in geschlossenen Stromkreisen von Starkstromanlagen. 4. Aufl., Berlin: Springer 1953.
- [2] General Electric: Controlled Rectifier Manual. 1960.
- [3] Gutzwiller, F. W.: The Current-Limiting Fuse as Fault Protection for Semiconductor Rectifiers. Trans. AIEE -I, Commun. & Electronics, 77(1958)39, S. 751...754; Diskussion: S. 754...755.
- [4] Gasser, F. W.: Thermoelektrische Kühlung — eine neue Halbleiteranwendung. STZ 58(1961)36, S. 733...738.

Adresse des Autors:

H. Bolleter, H. Schurter AG, Luzern.

Transistorisierte Messwertumformer in den Elektrizitätsbetrieben

Von G. Gätzi, Zug

621.3.087.9 : 621.382.3.004 : 621

Es wird eine sich bei Schalt- und Transformatorstationen, Unterwerken und Lastverteilern aufdrängende Anwendungsmöglichkeit von Messwertumformern beschrieben und der prinzipielle Aufbau solcher Geräte erläutert.

Dans cet article est décrit un exemple d'application de convertisseurs de mesure dans des postes de couplage et de transformateurs, de sous-stations et de répartiteurs de charge, où leur emploi s'est imposé, ainsi que le principe de ces appareils.

1. Allgemeines

Als Messwertumformer bezeichnet man in der Elektrotechnik Apparate, die elektrische Messwerte, wie z. B. Wirk- oder Blindleistungen, Spannungen oder Ströme in proportionale Gleichströme umformen. Das konventionelle Anwendungsgebiet — die eigentliche Fernmessung — wurde in jüngster Zeit stark erweitert durch die Verwendung dieser Apparate in Schalt- und Transformatorstationen, Unterwerken, Lastverteilern, Kommandoräumen, denn die Nennspannung der Energie-Transportanlagen ist allmählich gestiegen. Parallel mit der Erhöhung der Nennspannung müssen naturgemäss die Abstände von Leiter zu Leiter vergrössert werden, so dass man für Schaltstationen und Unterwerke, bei denen mehrere Leitungen zusammen laufen, bereits sehr ausgedehnte Areale beanspruchen muss. Dies bedingt lange Mess-, Signal- und Steuerleitungen von der Kommandostelle zu den einzelnen Wandlern, Trennern und Schaltern. Längere Messleitungen rufen aber nach grösseren Querschnitten, damit man die Bürden und Spannungsabfälle in den zulässigen Grenzen halten kann. Bei den Stromwandlerleitungen kann man die durch sie verursachte Bürde reduzieren, indem man mit der Sekundärstrom-

stärke auf beispielsweise 1 A heruntergeht. Diese Massnahme schafft aber neue Probleme, denn sowohl die Sekundärwicklungen der Stromwandler wie auch die Leitungen selbst müssen für die bei Unterbruch im Sekundärkreis auftretende Leerlaufspannung isoliert sein. Bei den Spannungswandlerleitungen liegen die Verhältnisse etwas anders. Hier darf aus messtechnischen Gründen der Spannungsabfall höchstens 1 % betragen. Diese Forderung bedingt bei den heute üblichen Sekundärspannungen von 100...200 V und Bürden bis zu 200 VA bereits einen Leiterquerschnitt von 20...80 mm² pro 100 m Entfernung zwischen Wandler und Messstation. Distanzen von 500...700 m oder mehr sind aber heute keine Seltenheit. Entsprechend den Entfernungen müssen auch grössere Querschnitte für die Messleitungen verlegt werden, sofern man nicht, wie dies bereits bei einigen Anlagen der Fall ist, auf die nachstehend näher beschriebene, indirekte Messung übergeht.

Jeweils im Hochspannungsfeld wird zwischen zwei Hochspannungsleitungen bzw. Wandlersätzen ein kleines Gebäude unter- oder oberirdisch errichtet (Relaisstation), das dann die Zähler, Messwertumformer, Fernmesswandler, Zwischenrelais und Schützen aufnimmt (Fig. 1 und 3).