

# Das Selektivitätsverhalten von Überstromunterbrechern

Autor(en): **Bächtold, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **74 (1983)**

Heft 13

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-904836>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Das Selektivitätsverhalten von Überstromunterbrechern

R. Bächtold

Der Artikel beschreibt die Funktionsweise der verschiedenen dem Leitungsschutz dienenden Überstromunterbrecher. Das Selektivitätsverhalten bei Serieschaltung dieser Apparate wird erläutert, und die Kriterien werden erwähnt, die zur Erreichung von Selektivität nötig sind.

Description du fonctionnement des divers coupe-surintensité servant à la protection de canalisations. Leur comportement sélectif en couplage série est expliqué et les critères concernant l'obtention de la sélectivité sont mentionnés.

## 1. Einleitung

In einer Starkstromverteilung sind meistens mehrere Überstromunterbrecher in Serie geschaltet, und man erwartet, dass bei einem Kurzschluss nur das der Kurzschlussstelle unmittelbar vorgeschaltete Schutzelement anspricht, dass also Selektivität besteht. Wie die Praxis zeigt, ist dies vor allem dann nicht immer der Fall, wenn in einer Verteilanlage Überstromunterbrecher verschiedener Bauarten, d.h. Schmelzsicherungen und Leitungsschutzschalter, eingebaut sind.

Damit im Kurzschlussfall Selektivität besteht, muss bei der Planung die richtige Apparateauswahl getroffen werden, und dies ist nur möglich, wenn die Funktionsweise der verwendeten Überstromunterbrecher in allen Störungsfällen bekannt ist. Im folgenden sollen deshalb die Funktionsprinzipien und -merkmale der verschiedenen Leitungsschutzvorrichtungen beschrieben und ihr Selektivitätsverhalten erläutert werden.

## 2. Arten von Überstromunterbrechern für den Leitungsschutz

### 2.1 Schmelzsicherungen

Das Element, welches in einer Sicherung bei Überlast den Strom abschaltet, besteht aus einem Schmelzleiter. Dieser schmilzt ab, wenn ein Strom, der die angeschlossene Leitung gefährden könnte, über die Sicherung fließt. Die Sicherung spricht, je nach Höhe des Stromes sowie entsprechend dem Nennstrom und dem Trägheitsgrad, nach kürzerer oder längerer Zeit an. Nachdem das Schmelzelement durchgeschmolzen ist, wird bei einer gut funktionierenden Sicherung der Stromfluss sehr rasch unterbrochen. Eine Schmelzsicherung ist deshalb in der Lage, die beim Abschalten eines Kurzschlusses fließende Energie auf einen Wert zu begrenzen, welcher un-

abhängig von der Höhe des Kurzschlussstromes ist. Diese «Durchlassenergie» (Einheit:  $A^2s$ ) setzt sich aus der Schmelz- und der Löschenenergie zusammen. Diese für das Selektivitätsverhalten wichtigen Werte können aus dem Abschaltoszillogramm der Sicherung (Fig. 1) ermittelt werden.

### 2.2 Leitungsschutzschalter

Mechanische Überstromunterbrecher, welche zum Schalten von Kurzschlussströmen geeignet sind, werden als Leitungsschutzschalter bezeichnet. Sie bestehen im Prinzip aus einem mechanischen und einem elektrischen Teil, welcher einen meist thermischen Überstromauslöser, eine magnetische Schnellauslösung und ein Kontaktsystem mit einer Schaltkammer enthält.

Da für das Selektivitätsverhalten nur der Strombereich oberhalb der Ansprechgrenze der magnetischen

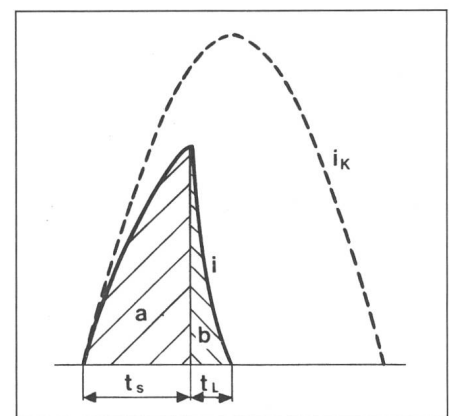


Fig. 1 Abschaltoszillogramm einer Schmelzsicherung

$i_K$  Kurzschlussstrom  
 $i$  Stromverlauf beim Abschalten von  $i_K$  durch eine Schmelzsicherung  
 $a$  Schmelzenergie  
 $b$  Löschenenergie  
 $t_s$  Schmelzzeit  
 $t_L$  Löschzeit

(Die massstäblichen Verhältnisse entsprechen etwa der Abschaltung eines Kurzschlussstromes von 2000 A durch eine flinke Schraubsicherung 63 A)

#### Adresse des Autors

Rudolf Bächtold, El.-Ing. HTL, CMC Carl Maier + Cie. AG, 8201 Schaffhausen.

Auslöser bestimmend ist, wird in der Folge das Verhalten der Leitungsschutzschalter nur in diesem Bereich beschrieben.

Leitungsschutzschalter können in zwei Gruppen eingeteilt werden. Die eine umfasst Apparate mit Nennstromstärken bis etwa 40 A. Diese im folgenden als *kleine Leitungsschutzschalter* bezeichneten Schalter bestehen aus relativ leichten mechanischen Bauteilen, welche schnelle Bewegungsabläufe und entsprechend kurze Schaltzeiten ergeben. Bei der zweiten Gruppe handelt es sich um die Schalter, welche bisher unter dem Begriff Leistungsschalter bekannt waren. Die Nennströme dieser im folgenden als *grosse Leitungsschutzschalter* bezeichneten Apparate beginnen bei etwa 100 A. Entsprechend grösser sind ihre mechanischen Bauteile und die damit verbundenen Funktionszeiten.

### 2.2.1 Kleine Leitungsschutzschalter

Die Ansprechgrenze der magnetischen Auslösung ist durch die entsprechenden Materialvorschriften gegeben, wobei in der Schweiz die Auslösecharakteristiken *L*, *V* und *Z* unterschieden werden [1]. Wenn bei einer Störung ein Strom auftritt, welcher die Ansprechgrenze der magnetischen Auslösung überschreitet, gibt das Schaltschloss die Kontakte frei, und die sich öffnenden Kontakte bewirken die Abschaltung des Stromes. Der eigentliche Abschaltvorgang ist vom Aufbau der Löschkammer des Schalters abhängig, wobei heute zwei Löschesysteme bekannt sind:

#### A. Nullpunktlöcher

Beim Entstehen eines Kurzschlusses steigt der Strom auf einen Wert an, welcher durch die Impedanz des Kurzschlussstromkreises und den Augenblickswert der Spannung im Moment des Auftretens des Kurzschlusses gegeben ist.

Der Leitungsschutzschalter, der den Kurzschluss abschalten soll, bleibt im ersten Augenblick geschlossen, da sein Schaltschloss eine gewisse Zeit benötigt, bis es die Kontakte freigibt. Nach Ablauf dieser Eigenzeit, welche bei modernen kleinen Leitungsschutzschaltern in der Grössenordnung von 0,5 ms liegt, beginnen sich die Kontakte zu öffnen, wobei ein Lichtbogen entsteht, über den der Stromfluss bis zum nächsten Stromnulldurchgang aufrechterhalten wird; der Kurz-

schluss ist erst in diesem Moment abgeschaltet. Schalter, die nach diesem System arbeiten, werden als Nullpunktlöcher bezeichnet. Sie haben eine relativ einfache Lichtbogenkammer. Die maximale Abschaltzeit ist von der Netzfrequenz abhängig und beträgt im 50-Hz-Netz etwa  $\frac{1}{100}$  s. Die während des Abschaltvorganges durch den Schalter fließende Energie bestimmt dessen Schaltvermögen; für Nullpunktlöcher in den heute üblichen Dimensionen liegt es bei 3000...5000 A.

#### B. Energiebegrenzende Schalter

Wenn man den bei der Abschaltung im Innern des Schalters sich bildenden Lichtbogen kühlt, sei es durch Verlängerung oder Unterteilung desselben durch Deionisierungsbleche, wird dem Lichtbogen Energie entzogen, so dass er seine Leitfähigkeit rasch verliert und der Strom schon vor dem Nulldurchgang abbricht [2]. Dadurch wird die Energie kleiner, welche beim Abschalten eines Kurzschlusses durch den Schalter fließt. Sie ist von der Wirksamkeit der Löschkammer abhängig; die Unterschiede bei den verschiedenen Typen sind bedeutend. Immerhin kann gesagt werden, dass ein Nullpunktlöcher (Nennstrom 16 A) bei einem Kurzschlussstrom von 1000 A etwa 60% der Energie einer 50-Hz-Sinushalbwellen durchlässt, während es bei einem energiebegrenzenden Schalter noch 30...40% sind. Bei höheren Kurzschlussströmen sind die Durchlassenergien, verglichen mit der Energie der Sinushalbwellen, geringer.

Die geringere Durchlassenergie dieser Apparate hat zur Folge, dass deren Schaltvermögen gegenüber demjenigen der Nullpunktlöcher gleicher Dimension grösser ist, so dass Schalter dieser Bauart Kurzschlussströme von 6000...10 000 A beherrschen.

Modernste Konstruktionen energiebegrenzender Leitungsschutzschalter arbeiten mit zwei Lichtbogenkammern. Dadurch wird die Energiebegrenzung noch wirksamer. Entsprechend höher ist das Schaltvermögen. So bewältigt ein *Hochleistungsautomat* einen Kurzschlussstrom von 30 000 A bei einer Abschaltzeit von 2 ms. Figur 2 zeigt die Innenansicht sowie den Stromverlauf eines solchen Schalters.

Die Durchlassenergien der verschiedenen Typen kleiner Leitungsschutzschalter sind in Figur 3 in Abhängigkeit des Kurzschlussstromes dargestellt.

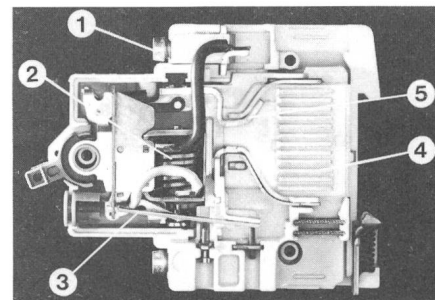
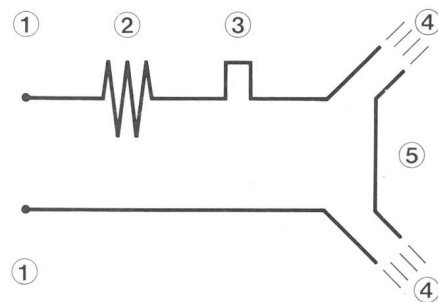


Fig. 2 Hochleistungsautomat

- 1 Anschlussklemmen
- 2 magnetische Auslösespule
- 3 thermische Überstromauslöser
- 4 Löschkammer
- 5 beweglicher Kontakt

### 2.2.2 Grosse Leistungsschalter

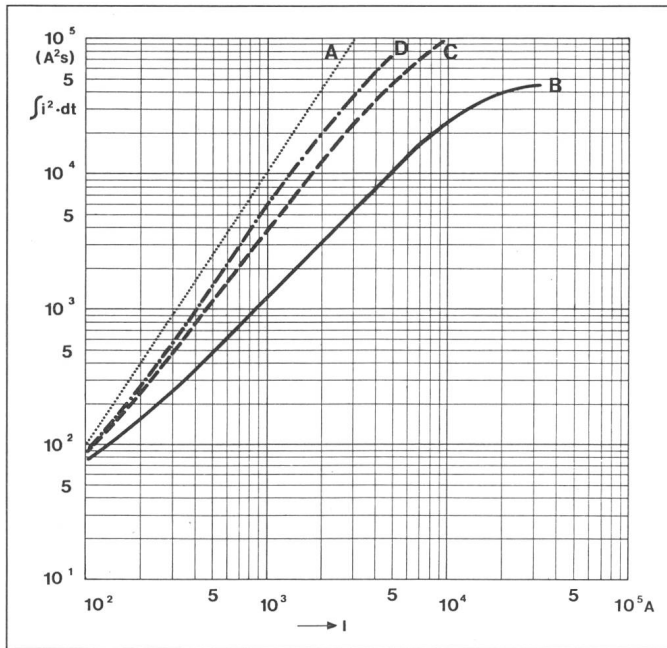
Der Aufbau dieser Apparate ist prinzipiell der gleiche wie derjenige der kleinen Leistungsschalter. Unterschiede bestehen in bezug auf die Funktionszeiten und Durchlassenergien. Ausserdem besteht meistens die Möglichkeit, dass die Ansprechgrenze der magnetischen Auslösung von aussen eingestellt werden kann. Bei gewissen Produkten ist es zudem möglich, die magnetische Auslösung zeitlich zu verzögern. Dem Anwender stehen drei Ausführungen zur Verfügung:

#### A. Unverzögerte magnetische Auslöser (Nennströme ab 100 A; mit Einstellbereichen ab 10 A)

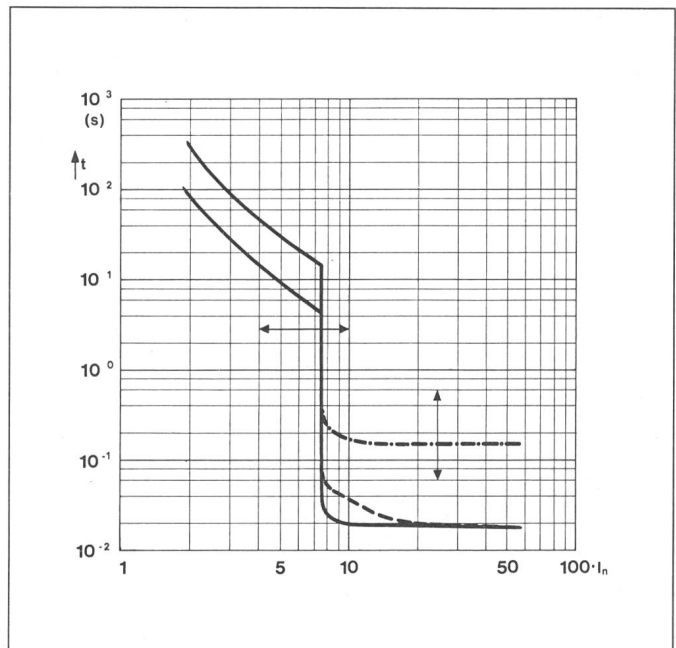
Auch bei diesen Schaltern spricht der Mechanismus an, wenn ein Strom fließt, welcher über der Ansprechgrenze der magnetischen Auslösung liegt. Je nach Baugrösse des Apparates ist mit Eigenzeiten von 5...10 ms und totalen Abschaltzeiten von max. 20 ms zu rechnen.

#### B. Kurzverzögerte magnetische Auslöser (ab etwa 200 A)

Diese Schalter lösen, wenn der Strom über der Ansprechgrenze der magnetischen Auslöser liegt, erst nach einer gewissen festgestellten Zeit



**Fig. 3 Durchlassenergie  $\int i^2 \cdot dt$  als Funktion des Kurzschlussstromes  $I$**   
 A Energie der 50-Hz-Sinushalbwellen  
 B Hochleistungsautomat 30 000 ( $I_n = 16$  A)  
 C Strombegrenzer 6000 ( $I_n = 16$  A)  
 D Nullpunktlöscher 3000 ( $I_n = 16$  A)



**Fig. 4 Auslösekennlinien grosser Leitungsschutzschalter**  
 — unverzögert  
 - - - kurzverzögert  
 - · - · verzögert

aus. Diese liegt bei etwa 50 ms. Bei höheren Strömen wird die Verzögerungszeit kleiner, und bei Strömen, welche über dem 15...20fachen Nennstrom liegen, arbeiten die kurzverzögerten Auslöser wie die unverzögerten.

**C. Verzögerte magnetische Auslöser (ab etwa 400 A)**

Bei diesen Schaltern lässt sich neben dem Ansprechstrom auch die zeitliche Verzögerung der magnetischen Auslöser einstellen. Die möglichen Verzögerungszeiten liegen zwischen 50 ms und 500 ms. Bei solchen Apparaten erfolgt die Abschaltung immer erst nach Ablauf der eingestellten Verzögerungszeit, auch wenn der Strom weit über der Ansprechgrenze der Auslöser liegt.

Figur 4 zeigt die Auslösekennlinien der verschiedenen Typen grosser Leitungsschutzschalter.

Während der eigentlichen Abschaltphase arbeitet die Mehrzahl der grossen Leitungsschutzschalter nach dem Prinzip der Nullpunktlöscher. Eine Ausnahme bilden die sog. *Limitoren*. Bei diesen werden die Kontakte mit Hilfe der dynamischen Kräfte des Stromes direkt und nicht über das Schaltschloss aufgerissen, um eine

möglichst schnelle Abschaltung zu erreichen. Durch den im Schalterinnern sehr rasch entstehenden Lichtbogen wird der Kurzschlussstrom reduziert und innerhalb von 8...10 ms abgeschaltet. Da bei diesen Schaltern die dynamische Kraft des Stromes zum Öffnen der Kontakte ausgenutzt wird, tritt eine strombegrenzende Wirkung erst bei relativ hohen Kurzschlussströmen (ab etwa 10 kA) ein. Solche Schalter werden nur als unverzögerte Apparate geliefert. Figur 5 zeigt den Verlauf der Durchlassenergie für 63-A-Überstromunterbrecher der verschiedenen Bauarten.

**3. Kurzschlussstrom; Auslösekennlinie im Kurzschlussbereich**

Als Kurzschlussstrom ist der Effektivwert des Stromes definiert, der im Kurzschlussfall fließen würde, wenn der der Kurzschlussstelle unmittelbar vorgeschaltete Überstromunterbrecher überbrückt wäre und kein anderer Überstromunterbrecher abschalten würde. Der Kurzschlussstrom ist abhängig von der Kurzschlussleistung des Hochspannungsnetzes, von der Leistung und der Kurzschlussspan-

nung des oder der parallelgeschalteten Niederspannungstransformatoren, von den Längen und Querschnitten der Leiter bis zur Kurzschlussstelle und von der Art des Kurzschlusses (Kurzschluss zwischen drei Polleitern, zwischen zwei Polleitern oder zwischen einem Pol- und dem Nulleiter). Der an einem bestimmten Netzpunkt zu erwartende Kurzschlussstrom wird als *prospektiver Kurzschlussstrom* bezeichnet [3]. Weil die Impedanz des der Kurzschlussstelle unmittelbar vorgeschalteten Überstromunterbrechers sowie der Lichtbogenwiderstand vernachlässigt werden, ist der bei der Abschaltung durch den Leitungsschutzschalter fließende Strom immer kleiner als der prospektive Kurzschlussstrom.

In den Auslöse-*diagrammen* ist auf der Abszisse der prospektive Kurzschlussstrom aufgetragen, ein Strom also, der während der Abschaltung gar nicht erreicht wird. Dies muss bei der Ermittlung der Strom-Zeit-Kennlinie berücksichtigt werden. Dies geschieht in der Weise, dass der tatsächlich geflossene Strom rechnerisch in einen sinusförmigen Stromstoss in der Höhe des prospektiven Stromes umgewandelt wird, wobei die Dauer  $t^*$  dieses Stromstosses so berechnet wird, dass

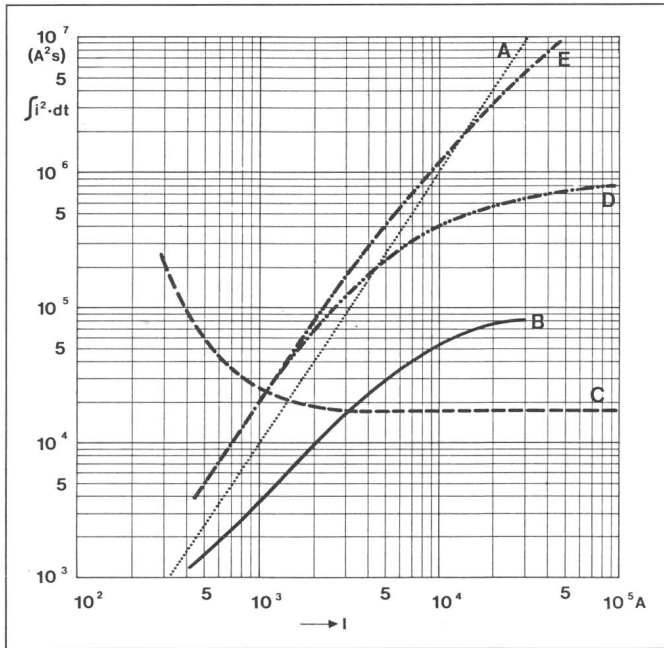


Fig. 5 Durchlassenergie  $\int i^2 \cdot dt$  als Funktion des Kurzschlussstromes  $I$

- A Energie der 50-Hz-Sinushalbwellen
- B Hochleistungsautomat  $I_n = 63 \text{ A}$
- C Hochleistungssicherung Trägheitsgrad 2  $I_n = 63 \text{ A}$
- D grosser Leitungsschutzschalter «Limitor»  $I_n = 63 \text{ A}$
- E grosser Leitungsschutzschalter unverzögert  $I_n = 63 \text{ A}$

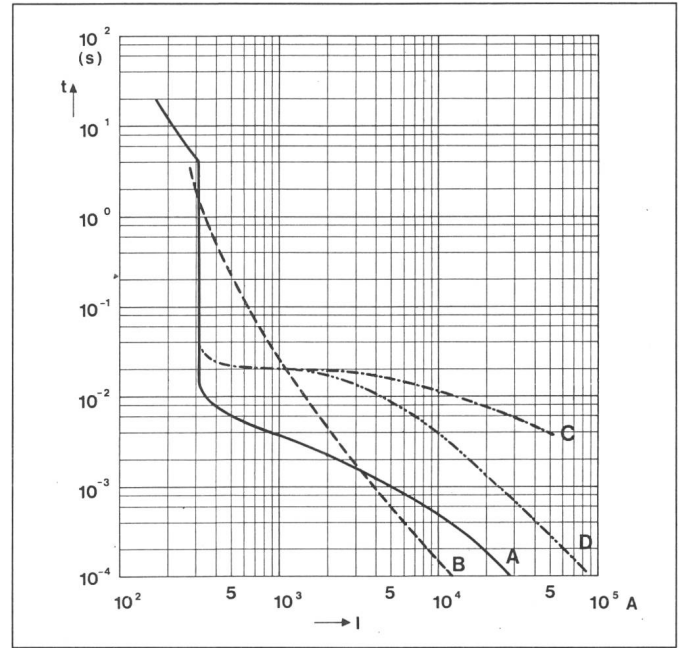


Abb. 6 Auslösezeit  $t$  als Funktion des Kurzschlussstromes  $I$  für Überstromunterbrecher  $I_n = 63 \text{ A}$

- A Hochleistungsautomat
- B Hochleistungssicherung Trägheitsgrad 2
- C grosser Leitungsschutzschalter
- D Limitor

dieser «künstliche» Stromstoss die gleiche Energie enthält wie der tatsächliche bei der Abschaltung geflossene Strom. Die Berechnung von  $t^*$  erfolgt über die aus dem Abschaltoszilogramm ermittelte Durchlassenergie.

$$t^* = D / I_p^2$$

- $t^*$  In der Auslösekennlinie eingetragene Abschaltzeit (s)
- D Durchlassenergie ( $\text{A}^2\text{s}$ )
- $I_p$  Prospektiver Kurzschlussstrom (A)

Im Bereich über der Ansprechgrenze der magnetischen Auslösung ist daher die in den Auslösekennlinien eingetragene Zeit nicht die tatsächliche Abschaltzeit. Diese ist immer länger, andererseits wird aber auch der angegebene Kurzschlussstrom nicht erreicht. Dank diesem Vorgehen ist es möglich, die Auslösekennlinien der Leitungsschutzschalter direkt mit denen der Schmelzsicherungen zu vergleichen; eine Tatsache, welche für die Bestimmung der Selektivitätsgrenzen wichtig ist. Figur 6 zeigt den Verlauf der Auslösekennlinien der Überstromunterbrecher, deren Durchlassenergie in Figur 5 angegeben sind.

## 4. Selektivität von in Serie geschalteten Überstromunterbrechern

### 4.1 Allgemeines

In einer Niederspannungsverteilanlage können die folgenden sieben dem Leitungsschutz dienenden Überstromunterbrecher eingebaut sein:

- Schmelzsicherung
- Grosser Leitungsschutzschalter - verzögert
- Grosser Leitungsschutzschalter - kurzverzögert
- Grosser Leitungsschutzschalter - unverzögert
- Kleiner Leitungsschutzschalter - Nullpunktlöscher
- Kleiner Leitungsschutzschalter - Energiebegrenzer
- Kleiner Leitungsschutzschalter - Hochleistungsautomat.

Theoretisch können diese Überstromunterbrecher in beliebigen Varianten in Serie geschaltet werden, was 49 Kombinationsmöglichkeiten ergibt. Davon sind aber einige sinnlos oder werden in der Praxis nicht angewendet. In den Kästchen der Tabelle I sind

die Ziffern eingetragen, unter welchen im folgenden das Selektivitätsverhalten der verschiedenen Kombinationen beschrieben ist.

### 4.2 Vorgesaltet: Schmelzsicherung

Eine Sicherung spricht an, wenn die über sie fließende Energie grösser als ihre Schmelzenergie ist. Selektivität besteht deshalb immer dann, wenn der nachgeschaltete Überstromunterbrecher beim Abschalten eines Kurzschlusses weniger Energie durchlässt als notwendig ist, die vorgeschaltete Sicherung abschmelzen zu lassen.

#### 4.2.1 Nachgeschaltet: Schmelzsicherung

Da eine Schmelzsicherung in der Lage ist, die Durchlassenergie, unabhängig von der Höhe des Kurzschlussstromes, zu begrenzen, kann mit zwei richtig gewählten Sicherungen absolute Selektivität erreicht werden. Die richtige Staffelung ist im allgemeinen gegeben, wenn bei Sicherungen gleicher Bauart der Nennstrom der vorgeschalteten Sicherung zwei Stufen höher ist, als jener der nachgeschalteten.

vorgeschaltest / nachgeschaltet		Schmelz-Sicherung	Grosse Leitungsschutzschalter			Kleine Leitungsschutzschalter		
			verzögert	kurzverzögert	unverzögert	Nullpunkt-Löscher	Strombegrenzer	Hochleistungsautomat
Schmelzsicherung		4. 2. 1	4. 3. 1	4. 4. 1	4. 5. 1	4. 6. 1	4. 6. 1	4. 6. 1
Grosse Leitungsschutzschalter	verzögert	4. 2. 2	4. 3. 2	-	-	-	-	-
	kurzverzögert	4. 2. 2	4. 3. 3	4. 4. 2	-	-	-	-
	unverzögert	4. 2. 2	4. 3. 4	4. 4. 3	4. 5. 2	-	-	-
Kleine Leitungsschutzschalter	Nullpunkt-Löscher	4. 2. 2	4. 3. 5	4. 4. 4	4. 5. 3	4. 6. 2	4. 6. 2	4. 6. 2
	Strombegrenzer	4. 2. 2	4. 3. 5	4. 4. 4	4. 5. 3	4. 6. 2	4. 6. 2	4. 6. 2
	Hochleistungsautomat	4. 2. 2	4. 3. 5	4. 4. 4	4. 5. 3	4. 6. 2	4. 6. 2	4. 6. 2

Hat die vorgeschaltete Sicherung eine andere Bauart oder einen anderen Trägheitsgrad, sollten ihre Kennlinien verglichen werden. Wie Figur 7 zeigt, müssen bei extremen Trägheitsunterschieden recht grosse Nennstromdifferenzen eingehalten werden.

4.2.2 Nachgeschaltet: Leitungsschutzschalter

Je höher der Kurzschlussstrom, desto grösser ist die Durchlassenergie eines Leitungsschutzschalters. Deshalb ist bei einer Kombination Vorsiche-

rung-Leitungsschutzschalter Selektivität nur bis zu einem bestimmten Kurzschlussstrom, welcher durch Vergleich der Auslösekennlinien von Sicherung und Leitungsschutzschalter ermittelt werden kann, möglich. Wie Figur 8 zeigt, macht jedoch das breite Streu-

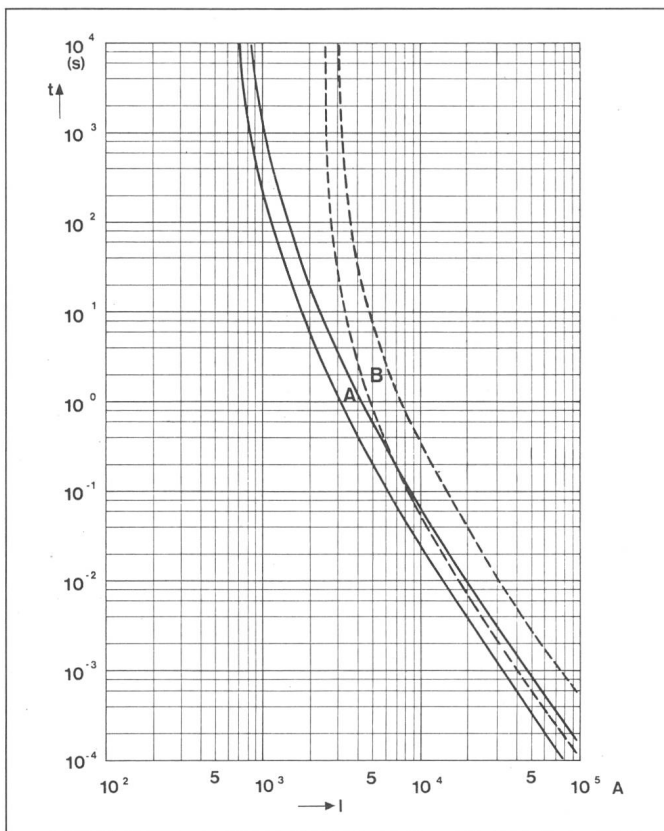


Fig. 7 Auslösekennlinien (Streuband) von Schmelzsicherungen

- A Schraubsicherung 63 A träg
- B Hochleistungssicherung 200 A Trägheitsgrad 1

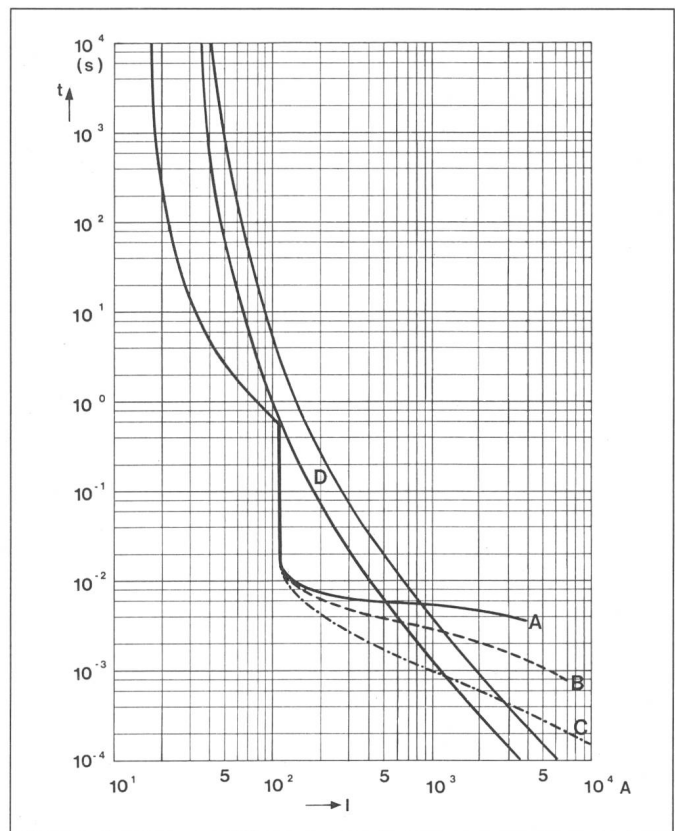


Fig. 8 Auslösekennlinien von kleinen Leitungsschutzschaltern ( $I_n = 10$  A) und Schmelzsicherung 25 A träg

- A Nullpunktlöscher: Selektivitätsgrenze 520... 840 A
- B Strombegrenzer: Selektivitätsgrenze 630...1200 A
- C Hochleistungsautomat: Selektivitätsgrenze 1200...2800 A
- D Streubereich Schmelzsicherung

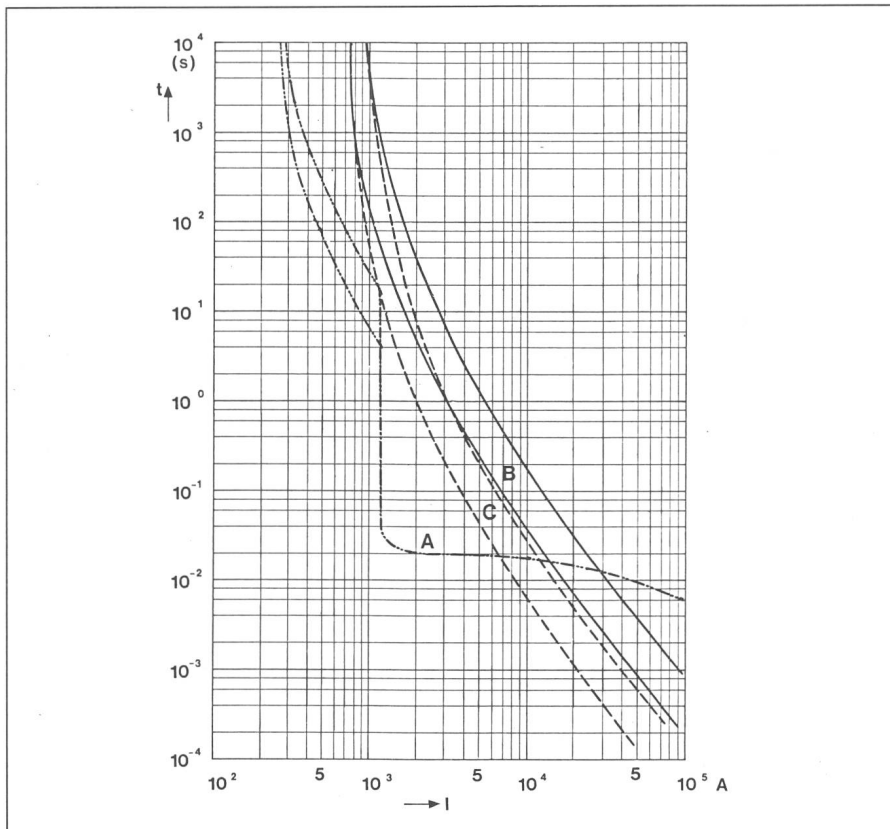


Fig. 9 Auslösekennlinie grosser Leitungsschutzschalter 250 A und Hochleistungssicherung 600 A

A grosser Leitungsschutzschalter  
 B Hochleistungssicherung Trägheitsgrad 2: Selektivitätsgrenze 18 000...28 000 A  
 C Hochleistungssicherung Trägheitsgrad 1: Selektivitätsgrenze 6 500...16 000 A

band der Schmelzsicherung exakte Selektivitätsangaben schwierig, vor allem dann, wenn man berücksichtigt, dass sich das Sicherungsstreuband durch Vorbelastung verschiebt.

In Hausinstallationen mit Leiterquerschnitten von 1,5...2,5 mm<sup>2</sup> erreicht man bei Verwendung von trägen 25-A-Vorsicherungen normalerweise Selektivität zu nachgeschalteten kleinen Leitungsschutzschaltern.

In Industrieanlagen, wo grosse Leitungsschutzschalter (unverzögert oder kurzverzögert) eingebaut sind, muss die Vorsicherung mindestens den dreifachen Nennstrom des Schalters haben, und es sollten Hochleistungssicherungen Trägheitsgrad 2 eingesetzt werden (Fig. 9), um befriedigende Selektivitätsverhältnisse zu erreichen. Zu einem nachgeschalteten grossen, verzögerten Leitungsschutzschalter sind die Selektivitätsverhältnisse wegen der durch die Verzögerung bedingten grossen Abschaltzeit unbefriedigend.

#### 4.3 Vorgeschaltet: Grosser Leitungsschutzschalter - verzögert

Im Kurzschlussfall spricht ein solcher Schalter an, wenn ein Strom, wel-

cher oberhalb der Ansprechgrenze der Kurzschlussauslösung liegt, länger als die eingestellte Verzögerungszeit fliesst. Wird ein Kurzschluss innerhalb dieser Zeit vom nachgeschalteten Überstromunterbrecher abgeschaltet, besteht Selektivität. Durch Vergleich der Auslösekennlinien kann dies überprüft werden.

##### 4.3.1 Nachgeschaltet: Schmelzsicherung

Da eine Schmelzsicherung eine relativ flinke Charakteristik hat, kann gesagt werden, dass ein grosser verzögerter Leitungsschutzschalter immer selektiv zur nachgeschalteten Schmelzsicherung arbeitet, wenn der Sicherungsnennstrom kleiner ist als derjenige des grossen Leitungsschutzschalters.

##### 4.3.2 Nachgeschaltet: Grosser verzögerter Leitungsschutzschalter

Selektivität besteht immer dann, wenn der Nennstrom des vorgeschalteten grossen Leitungsschutzschalters über demjenigen des nachgeschalteten

liegt, und wenn die Verzögerungszeit des vorgeschalteten Leitungsschutzschalters mindestens 50 ms grösser ist als die des nachgeschalteten.

##### 4.3.3 Nachgeschaltet: Grosser kurzverzögerter Leitungsschutzschalter

Selektivität wird erreicht, wenn die Verzögerung des vorgeschalteten Leitungsschutzschalters auf mindestens 80 ms eingestellt ist.

##### 4.3.4 Nachgeschaltet: Grosser unverzögerter Leitungsschutzschalter

Um Selektivität zu erreichen, muss die zeitliche Verzögerung des vorgeschalteten Leitungsschutzschalters auf mindestens 50 ms eingestellt sein.

##### 4.3.5 Nachgeschaltet: Kleiner Leitungsschutzschalter

Die kleinen Leitungsschutzschalter haben aufgrund ihres Aufbaues derart kurze Abschaltzeiten, dass im Kurzschlussfall zu einem vorgeschalteten verzögerten, grossen Leitungsschutzschalter immer Selektivität besteht.

#### 4.4 Vorgeschaltet: Grosser kurzverzögerter Leitungsschutzschalter

Aufgrund der Funktionsweise dieser Apparate - d.h. verzögerte Auslösung bei nicht allzu grossen Kurzschlussströmen - ergeben sich recht gute Selektivitätsverhältnisse, wenn die nachgeschalteten Überstromunterbrecher schnell abschalten. Zu einem nachgeschalteten verzögerten, grossen Leitungsschutzschalter ist aber keine Selektivität möglich, und eine solche Kombination wäre sinnlos.

##### 4.4.1 Nachgeschaltet: Schmelzsicherung

Absolute Selektivität besteht, wenn der Nennstrom der nachgeschalteten Schmelzsicherung nicht grösser ist als 50% des Nennstromes des vorgeschalteten kurzverzögerten, grossen Leitungsschutzschalters. Ist der Nennstrom der nachgeschalteten Sicherung grösser, besteht nur Selektivität, wenn der Kurzschlussstrom nicht grösser ist als der 20fache Nennstrom des vorgeschalteten Leitungsschutzschalters.

##### 4.4.2 Nachgeschaltet: Kurzverzögerter grosser Leitungsschutzschalter

Selektivität besteht nur dann, wenn der Kurzschlussstrom die Ansprech-

grenze der magnetischen Auslösung des vorgeschalteten Leitungsschutzschalters nicht überschreitet. Da diese Ansprechgrenze höchstens auf das 8...10fache des Schalternennstroms (vom Fabrikat abhängig) eingestellt werden kann, ist für die Praxis diese Kombination nicht zu empfehlen.

#### 4.4.3 Nachgeschaltet: Unverzögerter grosser Leitungsschutzschalter

Selektivität besteht bis zu jenem Kurzschlussstrom, bei welchem die Verzögerung des vorgeschalteten kurzverzögerten Leitungsschutzschalters noch wirksam ist; also bis zum 15...20fachen Nennstrom des vorgeschalteten Schalters. In der Praxis sind die Selektivitätsverhältnisse bei dieser Kombination befriedigend.

#### 4.4.4 Nachgeschaltet: Kleiner Leitungsschutzschalter

Bei dieser Apparatekombination besteht wegen der geringen Abschaltzeit der kleinen Leitungsschutzschalter immer Selektivität.

#### 4.5 Vorgeschaltet: Grosser unverzögerter Leitungsschutzschalter

Wird einem solchen Leitungsschutzschalter ein verzögerter oder kurzverzögerter Leitungsschutzschalter nachgeschaltet, besteht keine Selektivität. Solche Kombinationen sind deshalb nicht zu empfehlen.

#### 4.5.1 Nachgeschaltet: Schmelzsicherung

Selektivität besteht, wenn der Kurzschlussstrom die Ansprechgrenze der magnetischen Auslösung des vorgeschalteten Leitungsschutzschalters nicht übersteigt. Absolute Selektivität wird unabhängig vom Kurzschlussstrom erreicht, wenn der Nennstrom der nachgeschalteten Sicherung nicht höher ist als 25% des Nennstromes des vorgeschalteten Leitungsschutzschalters und wenn dessen magnetische Auslösung auf den Maximalwert eingestellt ist.

#### 4.5.2 Nachgeschaltet: Grosser unverzögerter Leitungsschutzschalter

Selektivität besteht nur dann, wenn der Kurzschlussstrom die Ansprechgrenze der magnetischen Auslösung des vorgeschalteten Leitungsschutzschalters nicht übersteigt. Für die Pra-

Selektivitätsgrenzen im Falle eines kleinen Leitungsschutzschalters mit vorgeschaltetem, unverzögertem grossem Leitungsschutzschalter

Tabelle II

		Vorgeschalteter grosser Leitungsschutzschalter unverzögert		
		≤ 100 A	≥ 250 A	≥ 550 A
Nachgeschalteter kleiner Leitungsschutzschalter	Nullpunktlöscher 3000	1 200 A	2 000 A	3 000 A *)
	Strombegrenzer 6000	3 000 A	5 000 A	6 000 A *)
	Hochleistungsautomat 30 000	10 000 A	20 000 A	30 000 A *)

\*) Selektiv bis zum Nennschaltvermögen des nachgeschalteten kleinen Leitungsschutzschalters

xis ist diese Kombination nicht zu empfehlen, es sei denn, man verzichte bewusst auf Selektivität.

#### 4.5.3 Nachgeschaltet: Kleiner Leitungsschutzschalter

Da die kleinen Leitungsschutzschalter den Strom einerseits recht gut begrenzen und andererseits die Abschaltzeiten sehr klein sind, bestehen gute bis ausgezeichnete Selektivitätsverhältnisse. Die Grenzwerte sind allerdings nur durch Versuche zu ermitteln. Die Tabelle II gibt die etwa zu erwartenden Selektivitätsgrenzen an.

#### 4.6 Vorgeschaltet: Kleiner Leitungsschutzschalter

Im Prinzip besteht nur dann Selektivität, wenn der Kurzschlussstrom den Ansprechwert der magnetischen Auslösung des vorgeschalteten Leitungsschutzschalters nicht übersteigt. Deshalb erreicht man bei Verwendung der Z-Charakteristik für den vorgeschalteten Automaten in Installationen mit kleinen Kurzschlussströmen (<1000 A) meistens befriedigende Selektivitätsverhältnisse.

#### 4.6.1 Nachgeschaltet: Schmelzsicherung

Da Schmelzsicherungen bis 10 A den Strom sehr stark begrenzen, besteht absolute Selektivität, wenn der vorgeschaltete Leitungsschutzschalter einen Nennstrom von mindestens 20 A hat und in Z-Charakteristik ausgeführt

ist. Bei Schmelzsicherungen mit Nennströmen von mehr als 10 A besteht nur Selektivität, wenn der Kurzschlussstrom die Ansprechgrenze der magnetischen Auslösung des vorgeschalteten Leitungsschutzschalters nicht mehr als etwa 25% übersteigt.

#### 4.6.2 Nachgeschaltet: Kleiner Leitungsschutzschalter

Bei der Serieschaltung von zwei kleinen Leitungsschutzschaltern besteht nur dann Selektivität, wenn der vom nachgeschalteten Leitungsschutzschalter beim Abschalten eines Kurzschlusses durchgelassene Stromstoss die Ansprechgrenze der magnetischen Auslösung des vorgeschalteten Leitungsschutzschalters nicht übersteigt. Der vorgeschaltete Leitungsschutzschalter sollte daher eine möglichst hoch eingestellte magnetische Auslösung (Charakteristik Z) haben. Je nach dem Nennstrom des vorgeschalteten Leitungsschutzschalters (25 oder 40 A) werden so Selektivitätsgrenzen von 500 A bis 800 A erreicht, was in Netzen mit Leiterquerschnitten von 1,5 mm<sup>2</sup> normalerweise genügt, um Selektivität zu erreichen.

Gelegentlich werden zum Schutz von leistungsschwachen Verbrauchern (Relais, Instrumente usw.) Leitungsschutzschalter mit sehr kleinen Nennströmen (<2 A) eingesetzt. Mit solchen Schaltern besteht zum vorgeschalteten kleinen Leitungsschutzschalter normalerweise Selektivität, denn diese nachgeschalteten Überstromunterbre-



cher begrenzen den Kurzschlussstrom dank ihrem grossen Innenwiderstand ( $>0,5\ \Omega$ ) so stark, dass er die Ansprechgrenze der magnetischen Auslösung des vorgeschalteten Leitungsschutzschalters nicht erreicht.

In Fällen, wo sehr oft Kurzschlüsse auftreten (z.B. Übungslokale von Schulen, Ausbildungszentren usw.), ist zu überlegen, ob der Kurzschlussstrom nicht durch den Einbau von ohmschen Widerständen reduziert werden kann. Damit kann einerseits absolute Selektivität zwischen den Überstromunterbrechern erreicht werden, und andererseits wird die beim Kurzschluss auftretende Energie reduziert. Dies wirkt sich besonders dann positiv aus, wenn in den Stromkreisen nichtkurzschlussfeste Apparate, wie Kleinschütze, Relais usw., eingebaut sind. Natürlich kommen solche Lösungen wegen

der Verlustleistungen der Widerstände nur in Netzen mit kleinen Nennströmen (bis 16 A) in Frage. Zur Reduktion eines Kurzschlussstromes von 1000 A auf z.B. 400 A ist bei 220 V ein Vorwiderstand von  $0,33\ \Omega$  notwendig. Bei einem Dauerstrom von 10 A ergibt dies eine Verlustleistung von 33 W, ein Wert, der meistens in Kauf genommen werden kann, um so mehr als in solchen Anlagen der Strom kaum sehr lange oder gar dauernd fliesst.

## 5. Zusammenfassung

Wie der vorliegende Artikel zeigt, ist es nicht immer möglich, Selektivität zu erreichen. Es sollte deshalb bei der Projektierung einer Verteilanlage überlegt werden, ob an einem bestimmten Netzpunkt tatsächlich absolute Selektivität verlangt werden muss.

Sehr oft spielt es keine Rolle, wenn bei einem Kurzschluss nicht nur der gestörte Kreis abgeschaltet wird. So ist denn auch in den HV 43 220.3b [4] festgelegt, dass «bei Überstrom womöglich nur der gestörte Anlagenteil» abgeschaltet werden muss. Die Forderung nach Selektivität ist also nicht absolut.

## Literatur

- [1] - Provisorische SEV-Vorschrift TP 23E/1A: Provisorische Sicherheitsvorschriften für Leitungsschutzschalter.
- [2] R. Bächtold: Energiebegrenzendes Schalten in Niederspannungsnetzen. Bull. SEV/VSE 69(1978)4, S. 145...152.
- [3] J. Kirchgasser: Selektiver Leitungsschutz in der Hausinstallation. Bull. SEV/VSE 67(1976)24, S. 1329...1335.
- [4] - Hausinstallationsvorschriften des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins, SEV 1000. 1974.