Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 41 (1950)

Heft: 19

Artikel: Selektive Staffelung von Hochspannungs- mit Niederspannungs-Hochleistungssicherungen

Autor: Ruegg, G.F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058935

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: 04.12.2025

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

Selektive Staffelung von Hochspannungs- mit Niederspannungs-Hochleistungssicherungen

Von *G. F. Ruegg*, Sissach

621.316.923

Da die Abschmelzcharakteristiken für Niederspannungs-Hochleistungssicherungen durch die Publikation Nr. 182 des SEV: «Vorschriften für NH-Sicherungen» nun festgelegt sind, und jene für Hochspannungs-Hochleistungssicherungen zur Zeit in Diskussion stehen, ist dieses Thema aktuell. Die vorliegende Arbeit befasst sich im besonderen mit geschlossenen Sicherungen, und zwar mit Niederspannungs-Hochleistungssicherungen (NH-Sicherungen), Diazed-Schraubsicherungen (D-Sicherungen) und Hochspannungs-Hochleistungssicherungen (HH-Sicherungen).

Les caractéristiques de fusion des fusibles de coupe-circuit basse tension à haut pouvoir de coupure ont été récemment fixées dans la publication nº 182 de l'ASE et celles des fusibles de coupe-circuit haute tension font actuellement l'objet de discussions. L'auteur traite, en particulier, des coupe-circuit à fusible enfermé, tels que ceux à basse tension à haut pouvoir de coupure (NH), ceux à vis (D) et ceux à haute tension à pouvoir de coupure élevé (HH).

1. Sicherungs-Systeme

Die Sicherung stellt die «schwächste Stelle» in einem Stromkreis dar. Wenn auch die Sicherung zu den ältesten Apparaten der Elektrotechnik zählt, so ist doch ihre anfänglich sehr einfache Form im Laufe der Jahre bedeutend verändert worden. Unzählige Laboratoriumsversuche und Betriebserfahrungen aller Art haben eine Sicherung von hohem Schutzwert geschaffen. Geschlossene, sandgefüllte keramische Schmelzeinsätze mit Silberschmelzleiter sind die konstruktiven Merkmale der meistverbreiteten Sicherungen verschiedener Systeme. Solche Schmelzeinsätze vermögen sehr hohe Ströme ohne jede äussere Erscheinung sicher und zuverlässig abzuschalten. Das Durchschmelzen zeigt eine Kennmarke an. Defekte Schmelzeinsätze können leicht ausgewechselt und meist auch regeneriert werden.

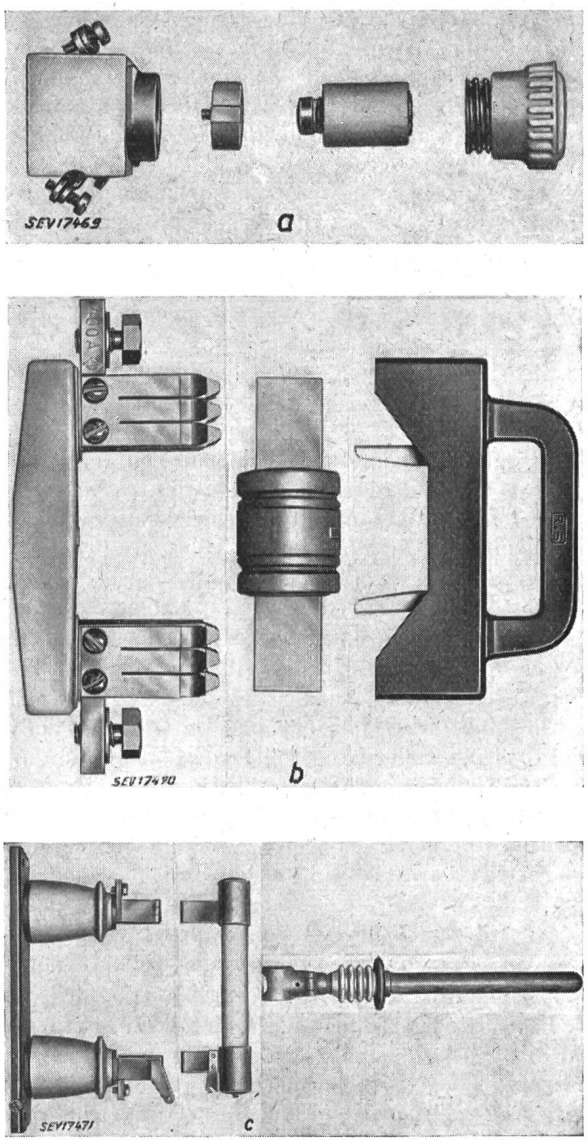


Fig. 1
Verschiedene Sicherungssysteme
(Fabrikat Rauscher & Stoecklin A.-G., Sissach)
a *D*-Sicherung, Typ *SS*, 500 V, 25...100 A
b *NH*-Sicherung, Typ *PN*, 500 V, 250...600 A
c *HH*-Sicherung, Typ *PH*, 10...20 kV, 4...40 A

Die konstruktive Entwicklung der Sicherungen hat nun einen vorläufigen Abschluss gefunden. Auf die Normung der *D*-Sicherungen folgte die der *NH*-Sicherungen, während die *HH*-Sicherungen vorderhand noch nicht genormt sind.

In Fig. 1 ist der konstruktive Aufbau von Sicherungen verschiedener Systeme, deren Zusammenwirken im folgenden behandelt werden soll, dargestellt.

Für den Einbau und die Bedienung der Sicherung unterscheidet man den fest eingebauten Untersatz mit den Kontaktträgern auf keramischer Unterlage, die auswechselbaren Schmelzeinsätze (Patronen) und die beweglichen Bedienungsteile (Sicherungskopf, Griff, Zange).

2. Abschmelz-Charakteristik

Der innere Aufbau der Schmelzeinsätze stellt gleichzeitig zwei Probleme, die verkettet sind und gemeinsam gelöst werden müssen. Einerseits soll eine möglichst grosse Abschaltleistung erzielt werden, anderseits muss die Abschmelzcharakteristik in die vorgeschriebenen Bereiche fallen. Je flinker eine Sicherung anspricht, desto mehr kann die Abschaltleistung gesteigert werden, weil die Abschaltarbeit stets eine Funktion der Zeit ist.

Fig. 2 zeigt die Anordnung der Schmelzleiter von verschiedenen Sicherungssystemen. Je nach Nennstrom werden ein oder mehrere Schmelzleiter parallel geführt.

Für Niederspannung werden die Schmelzleiter zwischen den Kontakten direkt ausgelegt, während bei Hochspannung die Schmelzleiter um einen keramischen Kern gewunden werden. Die Schmelzleiter haben je nach Stromstärke Draht- oder Bandform mit Verengungen oder Erweiterungen des Querschnittes. Dadurch soll die Abschmelzung an geeigneter Stelle erzwungen und ausserdem die verlangte Abschmelzcharakteristik erreicht werden.

Der Strom erzeugt im Schmelzleiter infolge des erhöhten Widerstandes eine gewisse Wärme. Diese verteilt sich längs des Schmelzleiters und wird nach dem Sand, den Kontaktstücken und schliesslich an die umgebende Luft abgeleitet. Diese Wärmeflussverhältnisse ergeben ein Temperaturgefälle längs

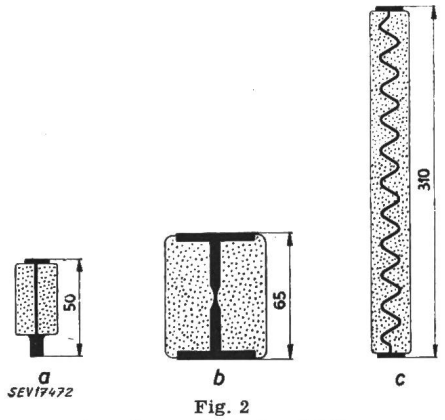


Fig. 2
Anordnung der Schmelzleiter
bei verschiedenen Sicherungssystemen
a *D*-Sicherung; *b* *NH*-Sicherung; *c* *HH*-Sicherung

des Schmelzleiters, das bei Querschnittsverengungen besonders hoch wird und bei Erreichen der Schmelztemperatur den Stromkreis unterbricht.

Der Verlauf der Abschmelzcharakteristik kann aber nicht frei gestaltet werden, sondern es sind die bestehenden Vorschriften des SEV zu beachten. Diese bestimmen die unteren und oberen Grenzwerte des Überstromes, welchen die Sicherungen während einer bestimmten Zeitdauer aushalten und unterbrechen müssen.

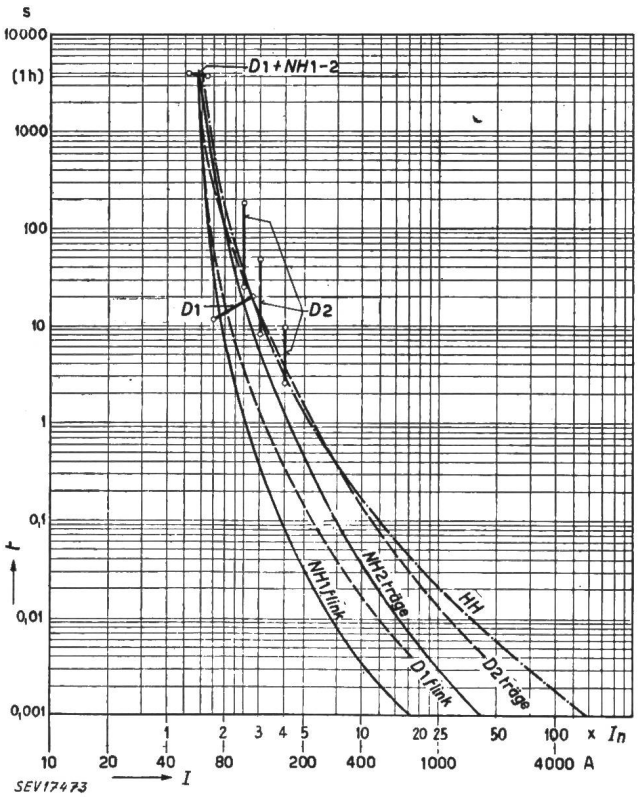


Fig. 3
Vergleich von Abschmelzcharakteristiken verschiedener Sicherungssysteme für einen 40-A-Schmelzleiter
I Überstrom; I_n Nennstrom; *t* Abschmelzzeit; D_1 Vorschrift des SEV für D_1-Sicherungen; D_2 Vorschrift des SEV für D_2-Sicherungen; $D_1 + NH$ 1—2 Vorschrift des SEV für D_1- und *NH*-1—2-Sicherungen

Immerhin kann durch entsprechendes geschicktes Kalibrieren, Formgebung der Schmelzleiter und die Ausnützung anderer Erfahrungen der Verlauf der Abschmelzcharakteristik in gewissen Grenzen beeinflusst werden.

In Fig. 3 sind die Abschmelzcharakteristiken verschiedener Schmelzleiterkonstruktionen für 40 A dargestellt. Alle Schmelzleiter wurden für gleiche Grenzströme gebaut, d. h. einen Überstrom von $1{,}3\ I_n = 1{,}3 \cdot 40 = 52$ A hält jede Sicherung dauernd aus; wird der Überstrom jedoch auf $1{,}6\ I_n = 1{,}6 \cdot 40 = 64$ A gesteigert, so schaltet jede Sicherung den Stromkreis innerhalb einer Stunde aus. Es haben demnach alle dargestellten Charakteristiken den gleichen Ausgangsbereich, und trotzdem ist ihr Verlauf bei grossen Kurzschlußströmen sehr verschieden.

Da im satten Kurzschlussgebiet praktisch keine Zeit für die Wärmeableitung verbleibt, so hängt dort der Trägheitsgrad der Schmelzeinsätze im wesentlichen vom Metallgewicht der Schmelzleiter ab. Nimmt man die Sicherung mit dem kleinsten Schmelzleitergewicht, also den *NH*-1-Schmelzeinsatz zu 1 an, so verhalten sich z. B. für einen 40-A-Schmelzeinsatz die Gewichtsverhältnisse folgendermassen:

Schmelzeinsatz	*Relatives Schmelzleitergewicht*
NH 1 — 40 A	1
D 1 — 40 A	1,56
NH 2 — 40 A	2,75
D 2 — 40 A	3,04
HH — 40 A	17,4

Die Trägheitsgrade dieser Sicherungen folgen sich in gleicher Weise wie die Metallgewichte. Ausserdem spielt die Formgebung der Schmelzleiter eine gewisse Rolle für die Abschmelzzeiten.

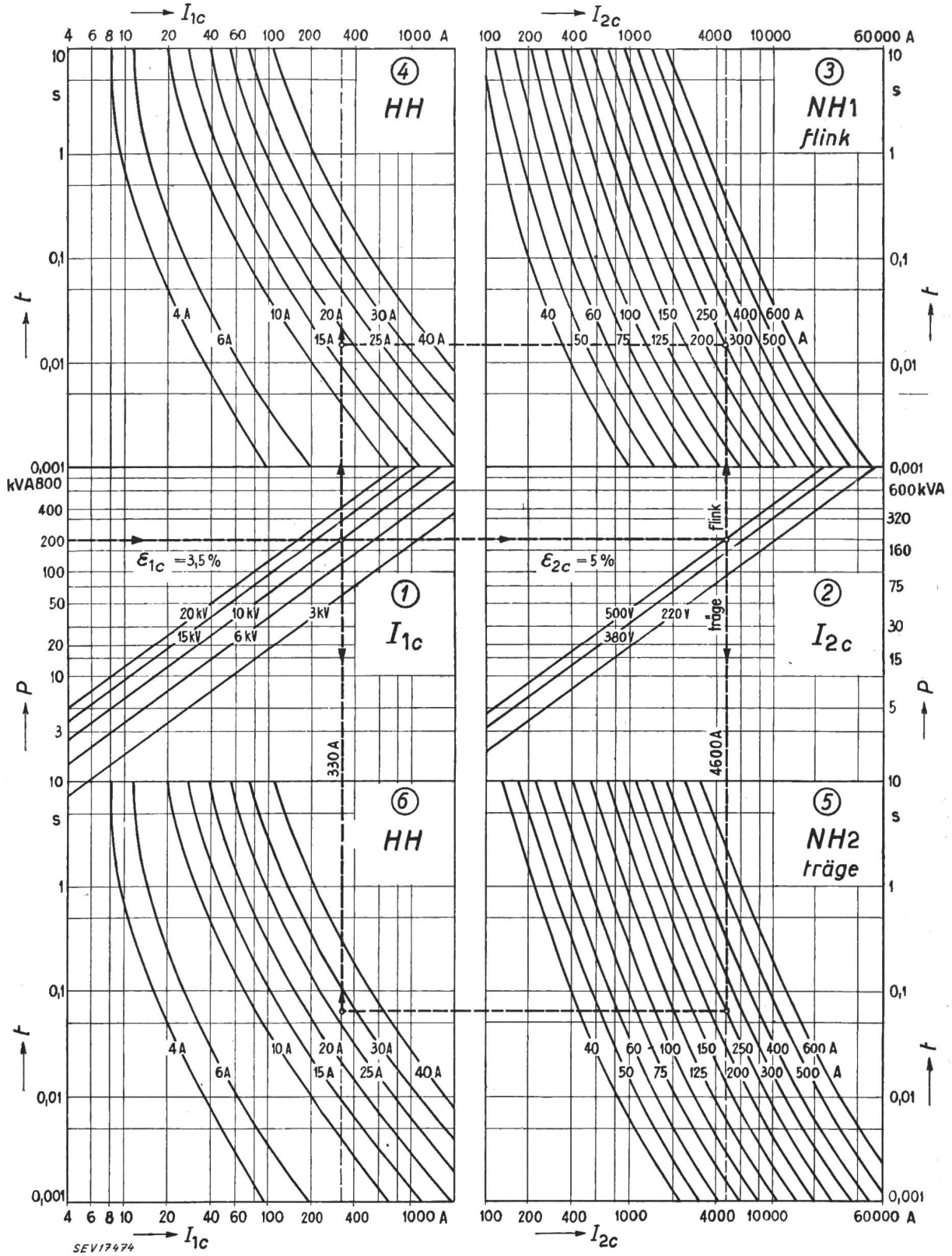
Erstaunlich an diesen Abschmelzcharakteristiken ist, dass die *D*-Sicherungen, welche aus Selektivitätsgründen gegenüber den *NH*-Sicherungen flinker ansprechen sollten, zur Zeit mit grösseren Trägheitsgraden gebaut werden. Hingegen ist die grössere Trägheit der *HH*-Sicherung im Hinblick auf die Selektivität sehr erwünscht. Trotzdem müssen aber die *HH*-Sicherungen für selektives Verhalten mit *NH*-Sicherungen in der Nennstromstärke wesentlich überdimensioniert werden, wie noch im folgenden gezeigt werden soll.

3. Selektives Zusammenarbeiten verschiedener Sicherungssysteme

In den Vorschriften für *NH*-Sicherungen (Publ. Nr. 182 des SEV) sind die Bereiche, innerhalb welchen die Abschmelzcharakteristiken verlaufen müssen, graphisch festgelegt. Hingegen existieren bis heute keine entsprechenden Vorschriften über den Gesamtverlauf der Abschmelzcharakteristiken von *HH*- und *D*-Sicherungen.

Die Betriebsbedingungen elektrischer Verteilnetze verlangen sehr oft die selektive Staffelung der in einem Stromkreis hintereinander geschalteten Si-

cherungen. Da dies aber bei gegebener Betriebsstromstärke mit der Verwendung verschiedener Systeme (*D*-Sicherung flink oder träge in Kombination mit *NH*-Sicherung flink oder träge) allein nicht zu erreichen ist, so bleibt nur der Weg offen, die Nennstromstärken der Schmelzeinlagen auf Grund



a) Hochspannungsseite

b) Niederspannungsseite

Fig. 4

Bestimmung der Nennstromstärke von *HH*-Sicherungen für Selektivität mit *HH*-Sicherungen für Transformatoren

1 Primärer Kurzschlußstrom; *2* sekundärer Kurzschlußstrom; *3* *NH*-1-Sicherung, flink; *4* *HH*-Sicherung; *5* *NH*-2-Sicherung, träge; *6* *HH*-Sicherung; *P* Transformatorenleistung; *t* Abschmelzzeit; ε_{1c} Kurzschlußspannung des Transformators primär; ε_{2c} Kurzschlußspannung des Transformators sekundär

der Abschmelzzeiten zu bestimmen und damit die Selektivität herbeizuführen. Im allgemeinen führt dieses Verfahren zu keiner Überdimensionierung der Leitungsstränge, da überall dort, wo Sicherungen in einem Stromkreis hintereinander geschaltet sind, sie wegen Verjüngung der Leitungsquerschnitte angebracht werden, und damit auch eine Staffelung der Schmelzeinsätze ohnehin geboten ist.

In einer Mitteilung der Materialprüfanstalt des SEV über «Selektive Staffelung der Schmelzsicherungen» [1]) ist in Tabellenform die Wahl der Nennstromstärken für Schmelzeinsätze verschiedener Systeme und verschiedener Trägheitsgrade für selektive Abschaltung von Niederspannungs-Sicherungen festgelegt. In der Praxis zeigt sich nun aber auch das Bedürfnis, die Wahl der Nennstromstärken für selektive Abschaltung von *HH*- mit *NH*-Sicherungen festzulegen. Die Bestimmung der Nennstromstärke von *HH*-Sicherungen für Selektivität mit *NH*-Sicherungen kann auf einfache Weise mit Hilfe von Fig. 4 erfolgen.

Zunächst können aus den Diagrammen *1* und *2* für jede installierte Transformatorenleistung die Kurzschlußströme bestimmt werden, die hoch- und niederspannungsseitig bei sekundärem Kurzschluss fliessen. Drehstrom-Transformatoren bis 300 kVA Leistung, die wir unserer Betrachtung zugrunde legen, werden heute für Kurzschlußspannungen von 3,5...5,0 % berechnet und gebaut.

Um die für selektive Staffelung ungünstigsten Verhältnisse zu erfassen, wurden auf der Hochspannungsseite im Diagramm *1* die mit $\varepsilon_{1c} = 3{,}5\,\%$ *höchst* errechenbaren Kurzschlußströme eingetragen. Umgekehrt sind dafür im Diagramm *2* die mit $\varepsilon_{2c} = 5{,}0\,\%$ *niedrigst* resultierenden Kurzschlußströme der Niederspannungsseite aufgezeichnet. Auch kann für jede beliebige Betriebs- und Kurzschlußspannung der genaue Wert der Kurzschlußströme durch Berechnung ermittelt und in Fig. 4 zur Bestimmung der Selektivität eingesetzt werden.

Über und unter dem Diagramm *1* sind im gleichen Strommaßstab die Abschmelzcharakteristiken (Diagramm *4* und *6*) für die *HH*-Sicherungen dargestellt. Beide Diagramme sind identisch. Über dem Diagramm *2* sind, ebenfalls im gleichen Strommaßstab, die Abschmelzcharakteristiken der *flinken NH*-Sicherungen (Diagramm *3*) aufgezeichnet, während unterhalb jene der *trägen NH*-Sicherungen dargestellt sind. Um auch hier wiederum die für selektive Staffelung ungünstigsten Verhältnisse zu erfassen, wurden für die *HH*-Sicherungen die *unteren* Streubandgrenzen, für die *NH*-Sicherungen die *oberen* Streubandgrenzen der Abschmelzcharakteristik eingetragen.

Die Summe von Lichtbogenzeit und Schmelzzeit ergibt die Schaltzeit des Schmelzeinsatzes. Die Grösse der Lichtbogenzeit (Löschzeit) kann je nach Schaltbedingungen und Charakteristik des Stromkreises verschieden ausfallen. Sie beträgt einige Tausendstelsekunden. Für die vorstehende Selektivitätsbetrachtung kann die Grösse der Lichtbogenzeit vernachlässigt werden, da diese praktisch keinen Einfluss auf die Bestimmungsgrössen der Schmelzeinlagen auszuüben vermag.

[1]) siehe Bull. SEV Bd. 40(1949), Nr. 6, S. 150...151.

4. Anwendungsbeispiel

Ein Transformator von 200 kVA Leistung, 10 000/500 V, soll hoch- und niederspannungsseitig mit Sicherungen ausgerüstet werden. Es stellt sich nun die Frage, welche Nennstromstärke die Sicherungen *S*1 bis *S*4 der Fig. 5 höchstens haben dürfen, ohne dass ein vorzeitiges Schmelzen der *HH*-Sicherung zu befürchten ist und ausserdem die selektive Staffelung aller Sicherungen gewährleistet bleibt. Die der Kurzschlußstelle unmittelbar vorgeschaltene Sicherung soll allein durchschmelzen, damit nur der mit dem Kurzschluss behaftete Netzteil unterbrochen wird.

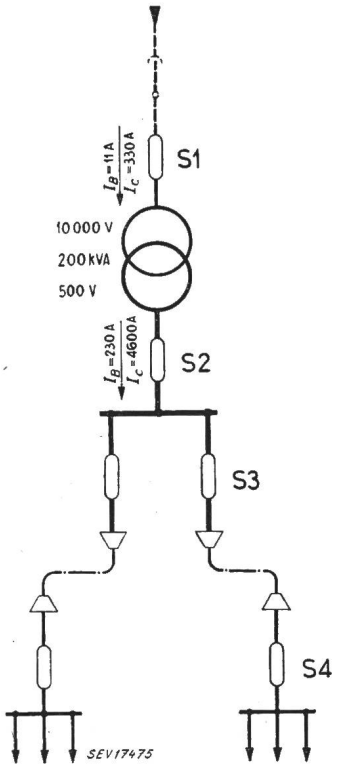


Fig. 5
Schematische Darstellung einer Verteilanlage ab Ortstransformatoren-Station

Der Sekundärstrom des Transformators beträgt bei 500 V Betriebsspannung 230 A. Für die sekundäre Absicherung des Transformators können flinke oder träge Schmelzeinsätze gewählt werden, die nun die weitere Wahl der übrigen Sicherungsschmelzeinsätze beeinflussen, und zwar:

a) Flinke Sekundärsicherung

Gewählt wurde für	*S*2:	*NH* 1, 250 A, *flink*
dann ergibt sich für	*S*3:	*NH* 1, 150 A, flink [nach Tabelle I der «Mitteilung der Materialprüfanstalt des SEV»[1])]
und weiter für	*S*4:	*NH* 1, 100 A, flink [ebenfalls nach Tabelle I[1])]

Sind jedoch nur Diazed-Sicherungen nachgeschaltet, so müssen diese folgendermassen gewählt werden:

*S*3: *D* 1, 100 A, flink [nach Tabelle I[1])]
*S*4: *D* 1, 60 A, flink [nach Tabelle III[1])]

Mit den Diagrammen der Fig. 4 wird nun die Nennstromstärke für die *HH*-Sicherung *S*1 bestimmt. Dieses Beispiel ist in den einzelnen Diagrammen eingetragen.

So werden zunächst die primären und sekundären Kurzschlußströme von 330 A und 4600 A festgestellt und in die entsprechenden Kurvenscharen übertragen. Es muss nun im Diagramm *4* diejenige Nennstromstärke der *HH*-Sicherung gewählt werden, die eine *grössere* Abschmelzzeit hat als die gewählte *NH*-Sicherung, also 20 A. Somit ergibt sich die Staffelung der Abschmelzzeiten für die im gleichen Stromkreis liegenden Sicherungen nach Tabelle A.

Staffelung der Abschmelzzeiten mit «S2, flink»

Tabelle A

Typ der Sicherung	Gleiches Sekundär-Sicherungssystem		Kombiniertes Sekundär-Sicherungssystem	
	Schmelzeinsatz A	Abschmelzzeit s	Schmelzeinsatz A	Abschmelzzeit s
*S*1	*HH*, 20 A	0,02	*HH*, 20 A	0,02
*S*2 flink	*NH* 1, 250 A	0,015	*NH* 1, 250 A	0,015
*S*3	*NH* 1, 150 A	0,003	*D* 1, 100 A	0,002
*S*4	*NH* 1, 100 A	0,001	*D* 1, 60 A	0,001

b) Träge Sekundärsicherung

Gewählt wurde für *S*2: *NH* 2, 250 A, *träge*
dann ergibt sich für *S*3: *NH* 1, 200 A, flink [nach Tab. II[1])]
*S*4: *NH* 1, 125 A, flink [nach Tab. I[1])]

oder falls Diazed-Sicherungen nachgeschaltet sind:

*S*3: *D* 1, 160 A, flink [nach Tab. II[1])]
*S*4: *D* 1, 100 A, flink [nach Tab. III[1])]

Gleich wie oben, bestimmt sich die Nennstromstärke der *HH*-Sicherung *S*1 unter Benützung der beiden unteren Diagramme *5* und *6* für träge *NH*-Sicherungen.

Die sekundäre träge Absicherung bewirkt nun, dass auch die primäre Seite träger abgesichert werden muss. Dies geschieht durch die Wahl einer entsprechend höheren Nennstromstärke der Schmelzeinlagen. Fig. 4 bestimmt hiefür 30 A. Auch die

Staffelung der Abschmelzzeiten bei «S2, träge»

Tabelle B

Typ der Sicherung	Gleiches Sekundär-Sicherungssystem		Kombiniertes Sekundär-Sicherungssystem	
	Schmelzeinsatz A	Abschmelzzeit s	Schmelzeinsatz A	Abschmelzzeit s
*S*1	*HH*, 30 A	0,1	*HH*, 30 A	0,1
*S*2 träge	*NH* 2, 250 A	0,06	*NH* 2, 250 A	0,06
*S*3	*NH* 1, 200 A	0,007	*D* 1, 160 A	0,006
*S*4	*NH* 1, 125 A	0,002	*D* 1, 100 A	0,002

Schmelzeinlagen der Sicherungen *S*3 und *S*4 können gegenüber dem Beispiel mit einer flinken Sicherung *S*2 in der Nennstromstärke grösser gewählt werden, wie die Zusammenstellung Tabelle B zeigt. Aus Fig. 4 ergibt sich, dass *HH*-Sicherungen für den 2...6fachen Betriebsstrom gewählt werden müssen, um selektiv zu sein. Es stellt sich somit die Frage, ob noch ein hinreichender Überstromschutz vorhanden ist.

Zunächst ist festzuhalten, dass sich Transformatoren gegen Überlastungen mit *HH*-Sicherungen nicht schützen lassen. Diese Aufgaben müssen besondere Apparate (thermische Relais, Buchholzschutz usw.) übernehmen. *HH*-Sicherungen schützen Transformatoren nur gegen Kurzschluss.

Es muss aber auch überprüft werden, ob für die gewählte Nennstromstärke der *HH*-Sicherung die Vorschrift des Art. 64 der «Verordnung über Starkstromanlagen» erfüllt ist. Diese besagt:

«Jeder Transformator ist auf der Hochspannungsseite für sich gegen Überstrom allpolig so zu schützen, dass die Abschaltung bei einem nicht höheren als dem *vierfachen* Vollaststrom des Transformators *möglichst rasch* erfolgt.»

Das eidgenössische Starkstrominspektorat anerkennt, dass durch die selektive Staffelung der *HH*-Sicherung mit der *NH*-Sicherung die Betriebssicherheit der Niederspannungsverteilnetze wesentlich verbessert wird, indem Kurzschlüsse in diesen Netzen nur von den zugehörigen niederspannungsseitigen Strangsicherungen abgeschaltet werden, ohne dass ein vorzeitiges Schmelzen der *HH*-Sicherungen zu befürchten ist. Dabei bedingt aber die Abschmelzcharakteristik der verwendeten *HH*- und *NH*-Sicherungen, dass für Transformatoren bis zu einer bestimmten Leistungsgrenze der in Art. 64 verlangte hochspannungsseitige Transformatorenschutz durch einen solchen ersetzt wird, der erst etwa beim 6...8fachen Vollaststrom in weniger als 5 s anspricht. Da Art. 64 aber noch nicht geändert wurde, soll diese Frage der eidg. Kommission für elektrische Anlagen mit dem Antrag des eidg. Starkstrominspektorates auf Änderung vorgelegt werden.

Auch im Hinblick auf eine weitere selektive Staffelung der *HH*-Sicherungen mit in der Speiseleitung eingebauten Schalter-Relais ist die Einhaltung einer möglichst kurzen Schaltzeit der *HH*-Sicherungen geboten.

Adresse des Autors:
G. F. Ruegg, dipl. Ingenieur, Rauscher & Stoecklin A.-G., Sissach (BL).

Energie- und Leistungs-Äquivalente für den Praktiker

Energie, Arbeit			Leistung			
1 kWh	= 367 000 mkg	= 860 kcal	1 kW	= 101,9 mkg/s	= 1,359 PS	= 0,239 kcal/s
1 PSh	= 270 000 mkg	= 633 kcal	1 PS	= 75 mkg/s	= 0,736 kW	= 0,176 kcal/s
1 kcal	= 427 mkg	= $1{,}162 \cdot 10^{-3}$ kWh	1 mkg/s	= $9{,}8 \cdot 10^{-3}$ kW	= 0,01334 PS	= $2{,}35 \cdot 10^{-3}$ kcal/s
1 mkg	= $2{,}72 \cdot 10^{-6}$ kWh	= $2{,}35 \cdot 10^{-3}$ kcal	1 kcal/s	= 427 mkg/s	= 4,18 kW	= 5,69 PS
			1 kcal/h	= $1{,}162 \cdot 10^{-3}$ kW		