

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 24

Artikel: Die Selektionierung von Kurzschlussauswirkungen in Mittelspannungsnetzen

Autor: Bühler, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916794>

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: 03.02.2026

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

Adresse	Operationsteil	Adressteil	Erläuterungen (RW = Rechenwerk)
32	C	109	$x_1 \rightarrow 109$
33	B	107	$R \rightarrow RW$
34	ADD	101	$R + b \rightarrow RW$
35	MUL	105	$\neg R - b \rightarrow RW$
36	DIV	104	$(\neg R - b)/2 \rightarrow RW$
37	DIV	100	$x_2 = (\neg R - b)/2a \rightarrow RW$
38	C	110	$x_2 \rightarrow 110$
39	HALT		zwei reelle Lösungen
40	B	101	$b \rightarrow RW$
41	SNO	43	Sprung nach 43, wenn $b \neq 0$
42	HALT		Lösung unbestimmt
43	B	102	$c \rightarrow RW$
44	DIV	101	$c/b \rightarrow RW$
45	MUL	105	$\neg c/b = x_1 \rightarrow RW$

Adresse	Operationsteil	Adressteil	Erläuterungen (RW = Rechenwerk)
46	C	109	$x_1 \rightarrow 109$
47	HALT		eine reelle Lösung
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
100	a		
101	b		
102	c		
103	4		
104	2		
105	— 1		

Adresse des Autors:
Dipl.-Math. Adolf Mühlhahn, Telefunken AG, D-775 Konstanz (Deutschland).

Die Selektionierung von Kurzschlussauswirkungen in Mittelspannungsnetzen

Von H. Bühler, Küsnacht

621.316.13.027.6

Ein zweckmässiges und wirtschaftliches Kurzschlusschutz-System für Mittelspannungsnetze kann mit Primär auslösern aufgebaut werden. Mit dem zunehmenden Ausbau und der Ringbildung steigen aber die Anforderungen an die zeitliche Staffelfähigkeit dieses Systems. Von der Zeitgenauigkeit, d. h. von der kürzesten Staffelzeit, die eine selektive Auslösung garantiert, hängt es ab, ob man sich für ein anderes System entscheiden muss oder ob man eine kleinere Anzahl Schutzstrecken bildet und damit die Ausdehnung der Störung auf ein grösseres Gebiet in Kauf nimmt.

Dieser Beitrag zeigt den Weg, den das Elektrizitätswerk Küsnacht eingeschlagen hat, nachdem es vor das obige Problem gestellt wurde, und die aus Versuchen ermittelten ausschlussreichen Ergebnisse.

1. Das Mittelspannungsnetz des EW Küsnacht

Die Energieverteilung des Elektrizitätswerkes Küsnacht erstreckt sich über ein Gebiet von rund 12,5 km², wozu im heutigen Ausbau 28 Transformatorenstationen mit einer total installierten Leistung von 13 MVA in Betrieb stehen. Der Energieumsatz für das Jahr 1963 betrug 23 GWh bei einer maximalen Last von 5 MW. An diesen Werten ist die Industrie mit weniger als 15 % beteiligt.

Fig. 1 zeigt den vermascht aufgebauten 16-kV-Netzteil Dorf; er kann von zwei Seiten mit Energie versorgt werden. Normalerweise erfolgt die Einspeisung in der Meßstation Vordererb (Sammelschiene A) über eine Doppelfreileitung vom Unterwerk Herrliberg. Um über die Lastverteilung in diesem vermaschten betriebenen Netz eine Kontrolle zu haben, sind in allen Abgängen der Station Vordererb Stromwandler eingebaut. Durch eine Wahl-Fernmessung können in der zentral gelegenen Mess- und Transformatorenstation Dorf jederzeit die Belastungen der Kabel kontrolliert werden; diese Abgänge sind zudem durch thermische Auslöser gegen Überstrom geschützt.

Die zweite, voll leistungsfähige Einspeisemöglichkeit besteht in der Meßstation Dorf (Sammelschiene B) über das Seekabel vom Unterwerk Thalwil. Eine automatische Netzumschaltung wird eingeleitet, sobald die Spannung in der Meßstation Vordererb länger als 5 s ausfällt. Die Rückschaltung erfolgt, wenn die Sammelschiene A in Vordererb wieder 10 min die normale Betriebsspannung geführt hat.

Bei einem Spannungsunterbruch öffnen sofort die Spaltenschalter 4, so dass ein sog. Baumnetz entsteht. Sowohl die Umschaltung als auch die Rückschaltung in den Normal-

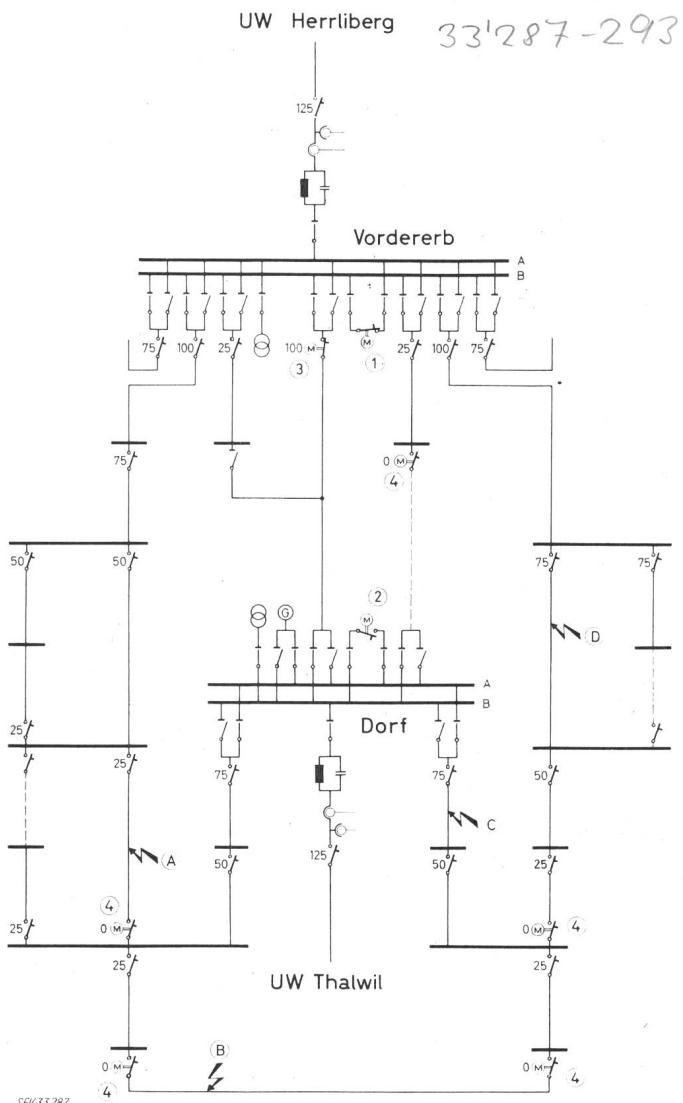


Fig. 1
16-kV-Netzteil Dorf des EW Küsnacht

1 Kuppelschalter Vordererb; 2 Kuppelschalter Dorf; 3 Netzverbindungsschalter; 4 Spaltenschalter (mit Momentauslösung); A, B, C, D Kurzschluss-Stellen; 25, 50 usw. Staffelzeiten in 1/100 s
— bestehende Leitungen ----- projektierte Leitungen

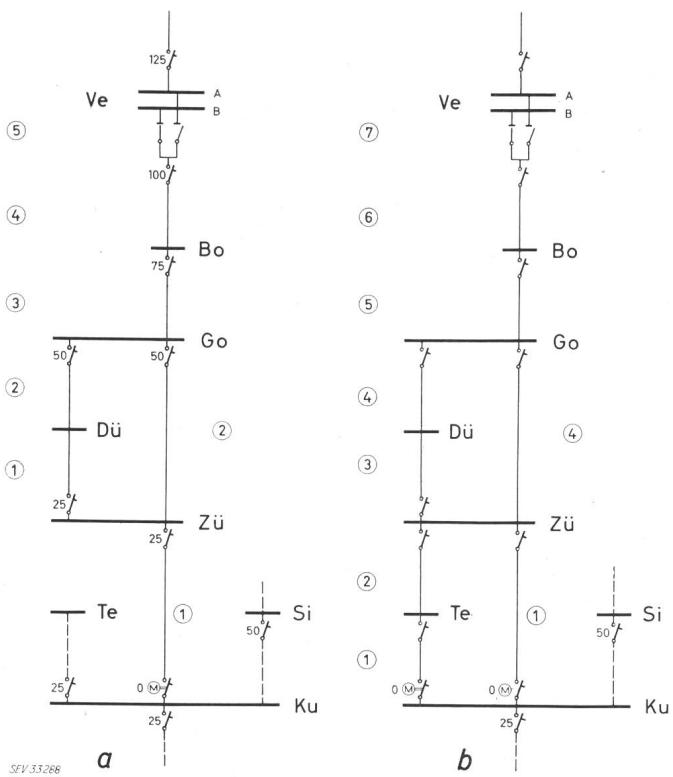


Fig. 2

Ausbau des Stranges Bogleren

a heutiger Zustand; b projektiert Zustand

1, 2 usw. Schutzstrecken; 25, 50 usw. Staffelzeiten in 1/100 s
 Ve Vordererb; Bo Bogleren; Go Goldbach; Dü Duggel; Zü Zürichstrasse; Te Terlinden; Si Schildhalde; Ku Kusen

zustand erfolgen in zwei ungefähr gleich grossen Belastungsstufen, indem der Netzverbindungsschalter 3 jeweils mit dem Kuppelschalter 1 oder 2 auslöst, aber erst mit 3 s Verzögerung auf den entsprechenden Kuppelschalter 2 oder 1 wieder einschaltet.

Dieser automatische Schaltvorgang unterbleibt, wenn die Primärauslöser auf dem Hauptschalter infolge eines Kurzschlusses angesprochen haben.

2. Der Kurzschlußschutz

Der Kurzschlußschutz wird von Hauptstrom-Zeitauslösern übernommen. Tritt an irgendeiner Stelle (z. B. A, B, C oder D in Fig. 1) ein Kurzschluss ein, so sprechen die Momentauslöser auf den Spaltschaltern 4 an und trennen die geschlossenen Ringe auf, womit — wie beim Spannungsunterbruch — ein Baumnetz mit den angegebenen Staffelzeiten entsteht.

In Fig. 2a ist ein Strang dieses Netzes, wie er bis heute bestanden hat, mit den nötigen Staffelzeiten wiedergegeben. Die maximale Laufzeit der Auslöser an der Einspeisestelle ist vom Energielieferant festgelegt und darf 1,25 s nicht überschreiten. Anderseits besteht dieser Strang aus fünf Schutzstrecken, die mit Zeitauslösern einwandfrei gegen Kurzschlussauswirkungen geschützt werden müssen; die Staffelzeit darf also maximal 0,25 s betragen. Indem die Relais vor dem Aufbau und auch nachher auf dem Schalter genau eingeeicht werden, kann man seit einigen Jahren diese kurzen Zeiten verwirklichen.

Inzwischen drängte sich der Ausbau dieses Stranges auf, so dass die Verhältnisse bald nach Fig. 2b bestehen werden. An den selektiven Kurzschlußschutz der Anlage wird dieser

Ausbau aber Forderungen stellen, die bis heute mit Hauptstrom-Zeitauslösern nicht erreicht werden konnten. Da jedoch aus verschiedenen Gründen eine Beibehaltung des jetzigen Schutzsystems beabsichtigt war, wuchs das Verlangen nach kürzeren Staffelzeiten.

Für die sieben Schutzstrecken nach Fig. 2b stehen also 1,25 s zur Verfügung, was einer maximalen Staffelzeit von 0,178 s entspricht. Die auf den neuesten Hauptstromauslösern garantierte Staffelzeit von 0,2 s schien dem gewünschten Schutz nicht zu genügen. Um nun das Verhalten dieser Auslöser unter betriebsmässigen Bedingungen zu prüfen und eventuell die gewünschte Staffelfähigkeit zu erreichen, wurden im 16-kV-Netz des EW Küsnacht Schaltversuche durchgeführt.

3. Versuchsanordnung

Es bestand die Möglichkeit, in der Meßstation *Vordererb* das Sammelschienensystem *A* und die 16-kV-Systeme der Transformatorenstationen *Bogleren* und *Goldbach* für solche Zwecke zu benützen. Das übrige Netz konnte während der Versuche durch das Unterwerk *Thalwil* mit Energie versorgt werden. Der weitgehende Ausbau des Niederspannungsnetzes sicherte die Energielieferung an die Abonnenten der Gebiete *Bogleren* und *Goldbach* über andere Stationen. Der Versuchsbetrieb wurde durch einen separaten Transformator 50/16 kV im Unterwerk *Herrliberg* gespeist.

Durch diese Umschaltungen konnten die Auswirkungen der Versuche auf die beteiligten Netze in tragbarem Rahmen gehalten werden, und das Netz nach Fig. 3 stand für beinahe unbeschränkte Schaltversuche zur Verfügung.

Um im verfügbaren Netz möglichst viele Auslöser gleichzeitig zu prüfen, wurden am Kabel-Ein- und -Ausgang jeder Station Auslöser aufgebaut. Die verwendeten Auslöser und deren Einstellungen sind in der Tabelle I zusammengestellt. In dieser Tabelle findet man in der Kolonne 6 die Auslösezeiten für den ersten Versuch. Die bei den weiteren Versuchen eingestellten Zeiten sind im Versuchspunkt (Tabelle II) enthalten.

Die Auslöser entsprachen der seriennässigen Ausführung. Der Ausschaltstrom und zwei Spannungen wurden über Messwandler und zusätzliche Anpassewandler mit einem 4-Kanal-Direktschreiber gemessen. Die Anordnung ist in Fig. 4 wiedergegeben. Für die Herstellung zweiphasiger Kurzschlüsse mit definierter Impedanz wurde eine Strombegrenzung-Drosselpule verwendet. Für die Versuche mit Kurzschlägen auf der Sekundärseite

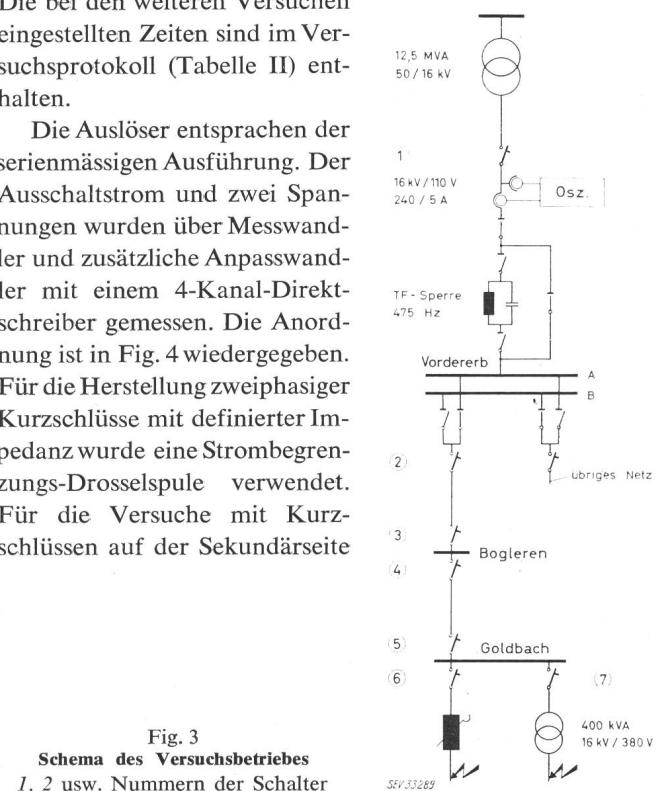


Fig. 3
Schema des Versuchsbetriebes
 1, 2 usw. Nummern der Schalter
 SEV 33289

Auslösereinstellungen

Tabelle I

Schalter Nr.	I_n A	$I_{therm.}$ A	$I_{anspr.}$ A	I_{moment} A	$t_{1anfang}$ s	τ min
1	300	—	450	∞	1,0	—
2	100	130	300	∞	0,8	30
3	300	—	300	∞	0,6	—
4	300	—	300	∞	0,4	—
5	300	—	300	∞	0,2	—
6	6	9	24	120	3	60
7	6	14	15	80	3	60

eines Transformators wurde ein solcher mit der Übersetzung 16 000/380 V direkt an den Sekundärklemmen kurzgeschlossen. Zur Steuerung der Versuche dienten Kleinfunkgeräte.

4. Versuchsprogramm

Um möglichst viele Auslöser auf ihre Fähigkeit zu selektiver Auslösung zu prüfen, wurden die Einstellzeiten nach der Tabelle II gewählt. Bei Versuch Nr. 1 wurden z. B. im wesentlichen nur die Auslöser auf den Schaltern 5 und 6 kritisch beansprucht, indem auf Schalter 6 beide auslösen mussten, auf Schalter 5 jedoch keiner auslösen durfte. Bei Versuch Nr. 5 hingegen mussten die beiden Auslöser auf dem Schalter 2 auslösen, während alle andern Auslöser auf den Schaltern 1, 3, 4, 5 und 6 gegenüber denen auf Schalter 2 gleich kritisch eingestellt waren und nicht auslösen durften.

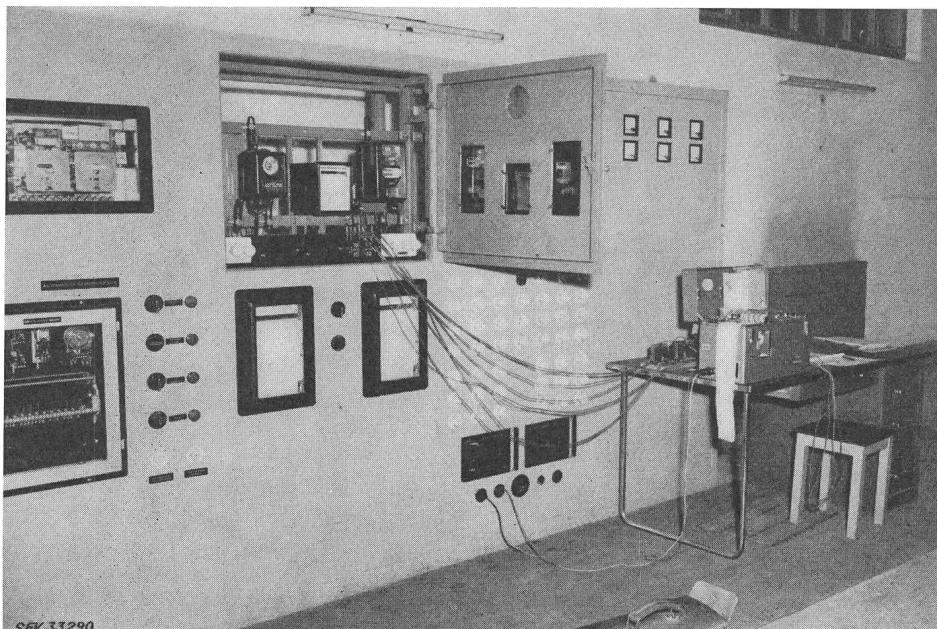
Die Versuchsserien I und V wurden mit der Staffelzeit von 0,2 s entsprechend dem Propagandawert durchgeführt. Damit die Reserve gegenüber diesem Wert geprüft werden

Versuchsprotokoll

Tabelle II

Ver-suchs-serie	Ver-suchsnr.	$I_{KD\ eff.}$ A	Schalter mit eingestellter Staffelzeit [s]														Δt ms
			1 Phase		2 Phase		3 Phase		4 Phase		5 Phase		6 Phase		7 Phase		
			R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	T	R	S	T
I	1	860	1,0		0,8		0,6		0,4		0,2		0	ø	ø		90
	2		1,0		0,8		0,6		0,4		0,2	ø	ø	0,4			80
	3		1,0		0,8		0,6		0,4	ø	ø	0,6		0,6			60
	4		1,0		0,8		0,6	ø	ø	0,8		0,8		0,8			40
	5		1,0		0,8	ø	ø	1,0		1,0		1,0		1,0			50
II	6	860	0,75		0,6		0,45		0,3		0,15		0	ø	ø		90
	7		0,75		0,6		0,45		0,3		0,15	ø	ø	0,3			90
	8		0,75		0,6		0,45		0,3	ø	ø	0,45		0,45			70
	9		0,75		0,6		0,45	ø	ø	0,6		0,6		0,6			60
	10		0,75		0,6	ø	ø	0,75		0,75		0,75		0,75			70
III	11	680	0,75		0,6		0,45		0,3		0,15		0	ø	ø		90
	12		0,75		0,6		0,45		0,3		0,15	ø	ø	0,3			60
	13		0,75		0,6		0,45		0,3	ø	ø	0,45		0,45			70
	14		0,75		0,6		0,45	ø	ø	0,6		0,6		0,6			60
	15		0,75		0,6	ø	ø	0,75		0,75		0,75		0,75			50
IV	16	2300	0,75		0,6		0,45		0,3		0,15		0	ø	ø		75
	17		0,75		0,6		0,45		0,3	ø	ø	0,45		0,45			70
V	18	380	1,0		0,8		0,6		0,4		0,2			0	ø	ø	95
VI	19	380	0,75		0,6		0,45		0,3		0,15		0	ø	ø	ø	100

ø Erfolgte Auslösung



konnte, wurde bei allen andern Versuchen mit 0,15 s gestaffelt.

Um eine gewisse statistische Sicherheit des Versuchsergebnisses zu erhalten, wurde mit jeder Einstellung mindestens 3 mal geschaltet, es fanden also total 57 Kurzschluss-Ausschaltungen statt. Die Zeiteinstellungen wurden von Auge nach den Skalen auf den Auslösern und von diversen Bedienungspersonen mittels der normalen Einstellstange vorgenommen.

Fig. 4
Messanordnung mit Direktschreiber
links: Anschluss an Messwandlerleitung
Direktschreiber
rechts: Direktschreiber mit Anpassungswandlern

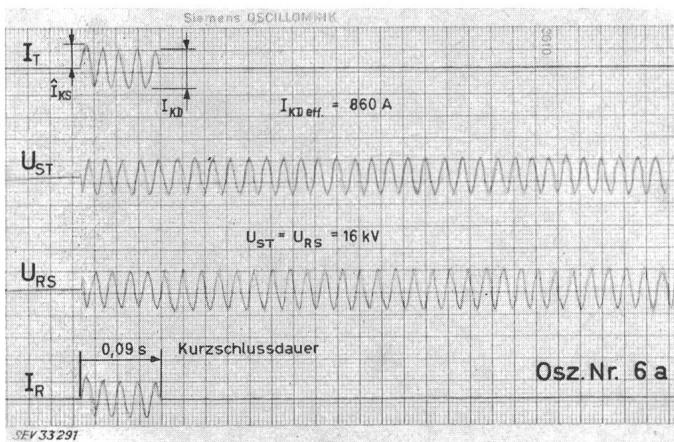


Fig. 5
Oszillogramm einer Momentauslösung

Für die Serien I und II wurde ein Strom gewählt, der einerseits ein sicheres Ansprechen der Auslöser gewährleistete, anderseits das Netz nicht übermäßig beanspruchte. Serie III wurde mit einem Strom näher dem Ansprechstrom der Auslöser und Serie IV mit dem maximalen zweiphasigen Kurzschlußstrom geschaltet. Die Serien V und VI dienten zur Prüfung der Momentauslösung bei einem im Verhältnis zum Einstellwert kleinen Überstrom.

5. Resultate

In Tabelle II waren vor den Versuchen alle Soll-Auslösungen mit o bezeichnet; erfolgte die Auslösung programmgemäß, so ist dies mit ø angegeben.

Bei insgesamt 312 kritischen Einstellungen fanden sämtliche programmäßigen Auslösungen richtig statt, unprogrammäßige Nicht-Auslösungen sind nicht eingetreten. In der letzten Kolonne der Tabelle II ist weiter die aus den Oszillogrammen ausgewertete Zeitdifferenz zwischen Kurzschlussdauer und eingestellter Kommandozeit eingetragen. Diese setzt sich zusammen aus:

- a) Bei Momentauslösung:
Eigenzeit der Momentauslösung;
Eigenzeit des Schalters (Auslösung durch Isoliergestänge);
Lichtbogenzeit des Schalters.
- b) Bei verzögterer Auslösung:
Streuung der Zeitverzögerung inkl. Einstell- und Eichfehler (ev. auch negativ);
Eigenzeit des Schalters (Auslösung durch Isoliergestänge);
Lichtbogenzeit des Schalters.

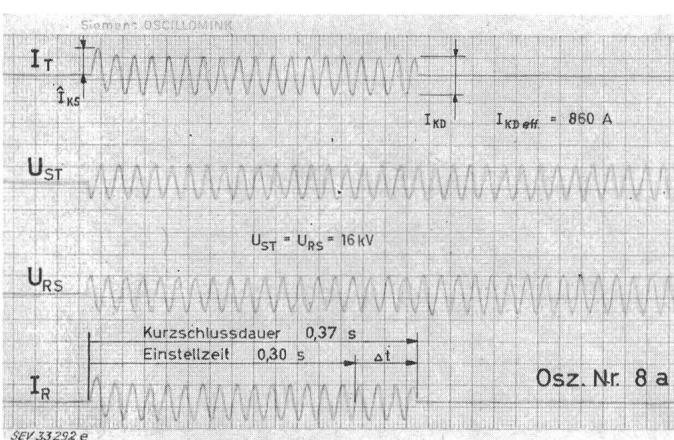


Fig. 6
Oszillogramm bei Einstellzeit 0,30 s

Bei Berücksichtigung der garantierten Zeitgenauigkeit darf bei Staffelung mit 0,15 s die Zeit Δt höchstens 0,11 s und bei Staffelung mit 0,2 s die Zeit Δt höchstens 0,16 s erreichen, ohne dass die Selektivität gefährdet wird. Die gemessenen Zeiten Δt betragen 0,045...0,100 s, woraus geschlossen werden kann, dass trotz den diversen verwendeten Nenn- und Ansprechströmen die propagierte Staffelzeit von 0,2 s mit grosser Sicherheit angewendet werden kann (Fig. 5 und 6).

Es ist anzunehmen, dass durch sorgfältigere Zeiteinstellung unter Zuhilfenahme eines Relaisprüfgerätes die maximal auftretende Zeit Δt noch um 0,01...0,02 s reduziert werden kann und somit auch die Selektivität bei Staffelung mit 0,15 s mit hinreichender Sicherheit gewährleistet wird (Fig. 7). Das bedeutet in diesem Fall, dass gegenüber dem heutigen Zustand gemäß Fig. 2a (mit 5 Schutzstrecken, einer Staffelzeit von 0,25 s und maximal zugelassener Laufzeit von 1,25 s) neu 8 Schutzstrecken mit einer Staffelzeit von 0,15 s und maximaler Laufzeit von 1,20 s ermöglicht werden. Der Ausbau kann somit ohne weiteres gemäß Fig. 2b auf 7 Schutzstrecken erfolgen.



Fig. 7
Eichung der Auslöser mit Relaisprüfgerät

Bei den in den Versuch einbezogenen Schaltern handelt es sich ausschließlich um ältere, revisionsbedürftige Objekte. Es können also nicht nur neue Netze mit sehr kurzen Staffelzeiten ausgerüstet werden, sondern auch ältere Netze oder Netzteile; den Beweis dafür liefert das Versuchsresultat.

Die Ergebnisse zeigen einen grossen Fortschritt im Bau von Primärauslösern, und das mit ihnen erstellte wirtschaftliche Mittelspannungs-Schutzsystem erhält in seinem wichtigsten Punkt, der minimalen Staffelzeit eine wesentliche Verbesserung.

Adresse des Autors:
Hugo Bühler, Sonnenrain 41, 8700 Küsnacht.