Die Selektionierung von Kurzschlussauswirkungen in Mittelspannungsnetzen

Autor(en): **Bühler, H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **55 (1964)**

Heft 24

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-916794

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://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	$-R - b \rightarrow RW$
36	DIV	104	$(-R - b)/2 \rightarrow RW$
37	DIV	100	$x_2 = (-R - b)/2a \rightarrow RW$
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	$-c/b = x_1 \rightarrow RW$
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 Kurzschluss-schutz-System für Mittelspannungsnetze kann mit Primärauslösern 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 aufschlussreichen 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 vermascht 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 Spaltschalter *4,* so dass ein sog. Baumnetz entsteht. Sowohl die Umschaltung als auch die Rückschaltung in den Normal-

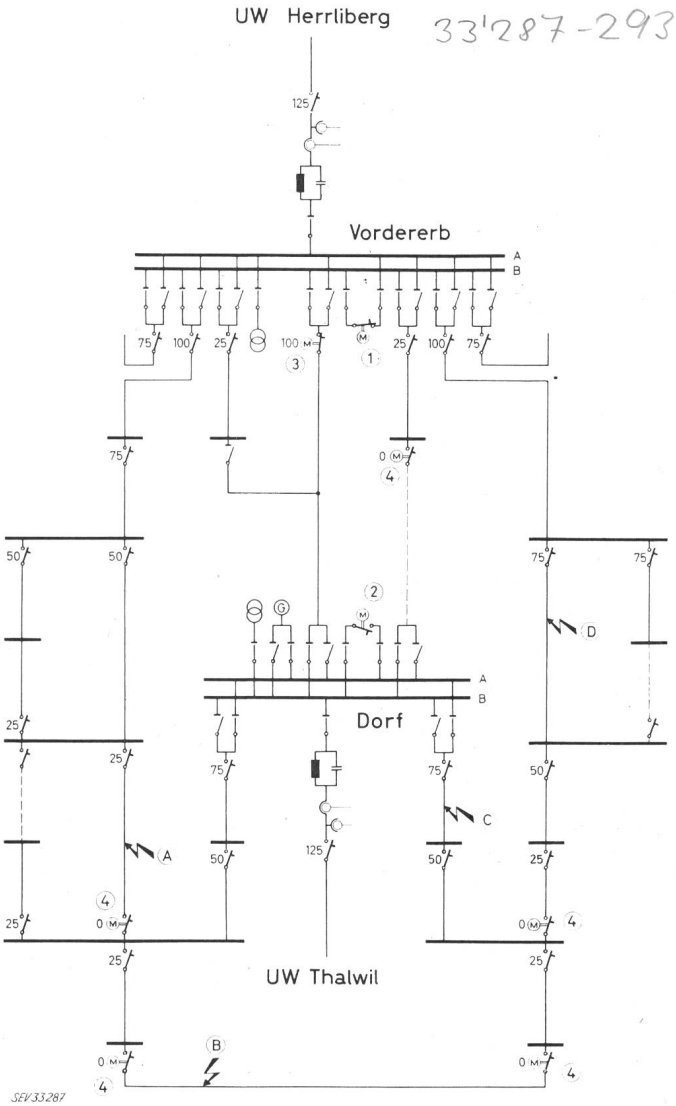

Fig. 1
16-kV-Netzteil Dorf des EW Küsnacht
1 Kuppelschalter Vordererb; *2* Kuppelschalter Dorf; *3* Netzverbindungsschalter; *4* Spaltschalter (mit Momentauslösung); *A, B, C, D* Kurzschluss-Stellen; 25, 50 usw. Staffelzeiten in 1/100 s
——— bestehende Leitungen – – – – – – projektierte Leitungen

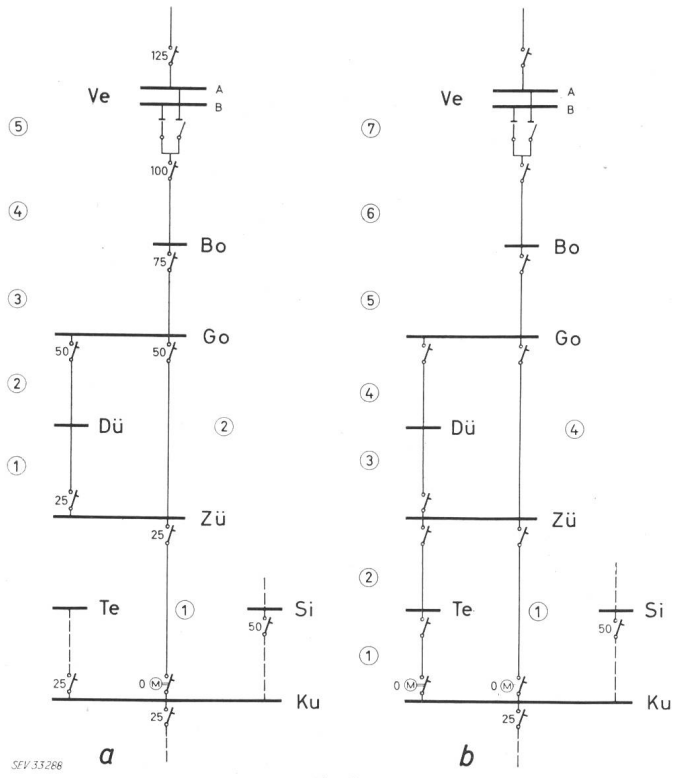

Fig. 2
Ausbau des Stranges Bogleren
a heutiger Zustand; *b* projektierter Zustand
1, 2 usw. Schutzstrecken; 25, 50 usw. Staffelzeiten in 1/100 s
Ve Vordererb; *Bo* Bogleren; *Go* Goldbach; *Dü* Düggel; *Zü* Zürichstrasse; *Te* Terlinden; *Si* Schildhalde; *Ku* Kusen

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 Versuchsprotokoll (Tabelle II) enthalten.

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

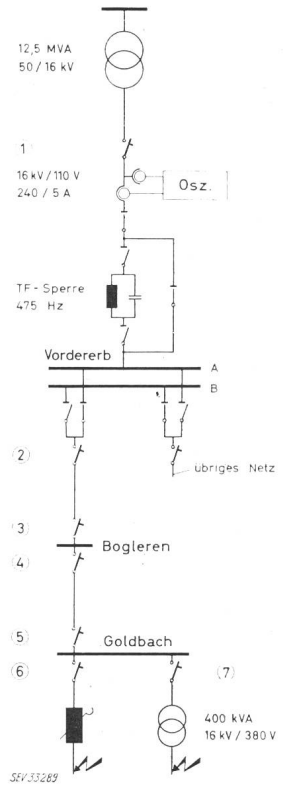

Fig. 3
Schema des Versuchsbetriebes
1, *2* usw. Nummern der Schalter

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 Klein-Funkgeräte.

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

Um eine gewisse statistische Sicherheit des Versuchsresultates zu erhalten, wurde mit jeder Einstellung mindestens 3mal 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.

Versuchsprotokoll

Tabelle II

Versuchsserie	Versuchsnr.	$I_{KD\,eff.}$ A	Schalter mit eingestellter Staffelzeit [s]																								Δt ms
			1	Phase R	Phase T	2	Phase R	Phase T	3	Phase R	Phase T	4	Phase R	Phase T	5	Phase R	Phase T	6	Phase R	Phase T	7	Phase R	Phase S	Phase 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	ø	95
VI	19	380	0,75			0,6			0,45			0,3			0,15						0	ø	ø	ø	100

ø Erfolgte Auslösung

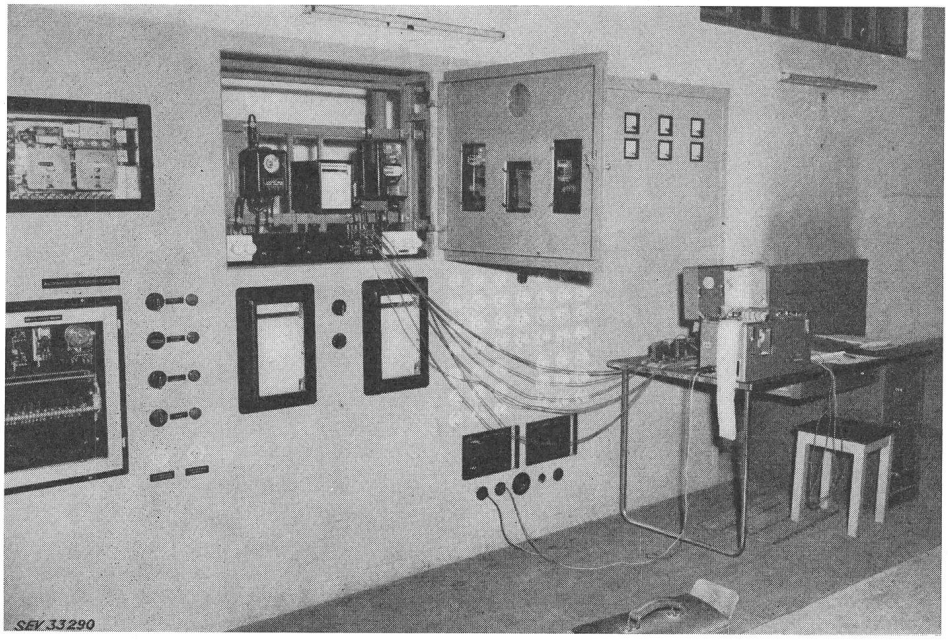

Fig. 4
Messanordnung mit Direktschreiber
links: Anschluss an Messwandlerleitung Direktschreiber
rechts: Direktschreiber mit Anpassungswandlern

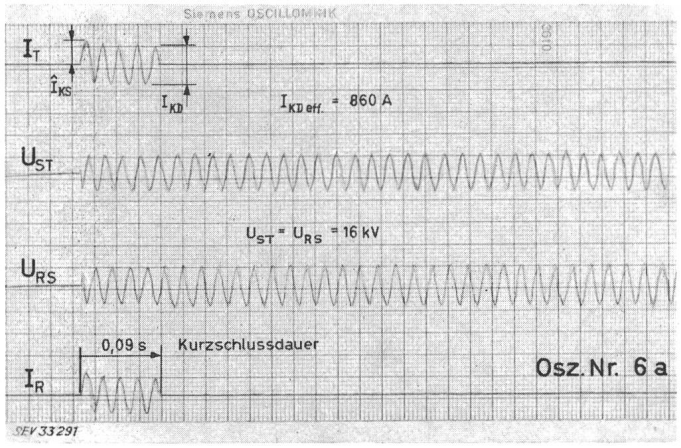

Fig. 5
Oszillogramm einer Momentauslösung

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 verzögerter Auslösung:
Streuung der Zeitverzögerung inkl. Einstell- und Eichfehler (ev. auch negativ);
Eigenzeit des Schalters (Auslösung durch Isoliergestänge);
Lichtbogenzeit des Schalters.

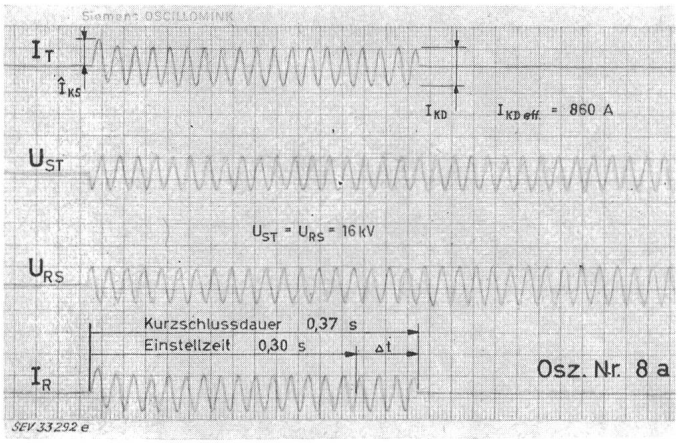

Fig. 6
Oszillogramm bei Einstellzeit 0,30 s

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.

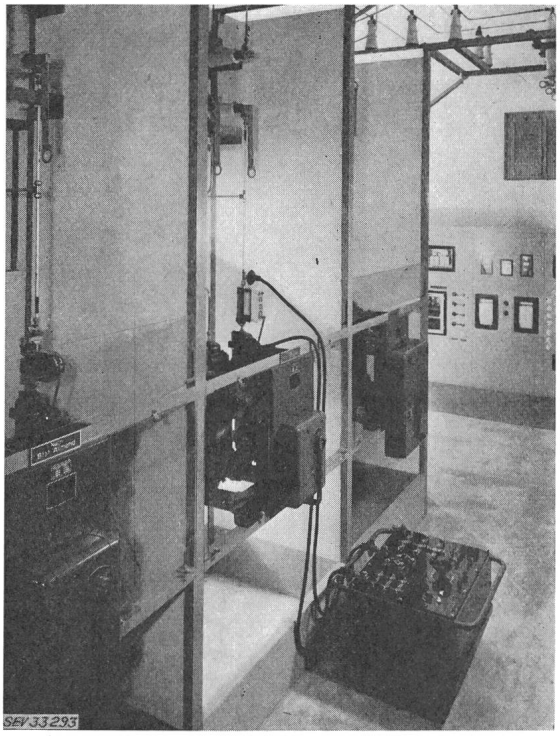

Fig. 7
Eichung der Auslöser mit Relaisprüfgerät

Bei den in den Versuch einbezogenen Schaltern handelte 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.