

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. 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: 15.05.2025

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	$-R - b \rightarrow RW$
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	$-c/b = x_1 \rightarrow RW$

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, Küssnacht

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 Staffelfzeit, 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 Küssnacht eingeschlagen hat, nachdem es vor das obige Problem gestellt wurde, und die aus Versuchen ermittelten aufschlussreichen Ergebnisse.

1. Das Mittelspannungsnetz des EW Küssnacht

Die Energieverteilung des Elektrizitätswerkes Küssnacht erstreckt sich über ein Gebiet von rund 12,5 km², wozu im heutigen Ausbau 28 Transformatorstationen 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 Transformatorstation 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-

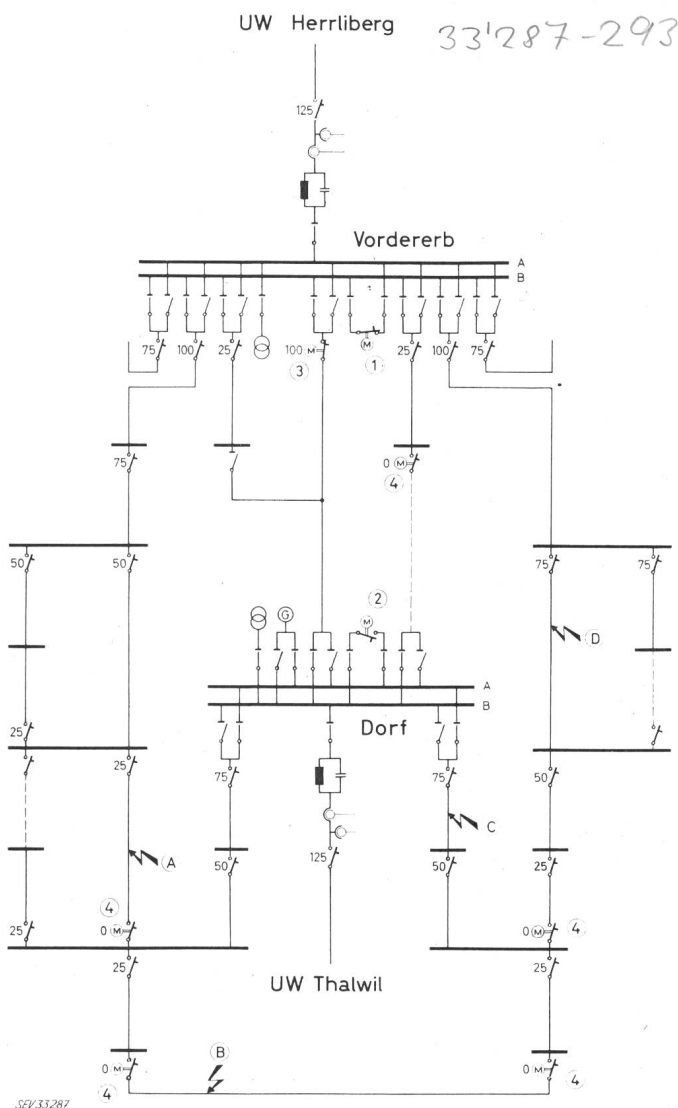


Fig. 1
16-kV-Netzteil Dorf des EW Küssnacht
1 Kuppelschalter Vordererb; 2 Kuppelschalter Dorf; 3 Netzverbindungs-
schalter; 4 Spaltschalter (mit Momentauslösung); A, B, C, D
Kurzschluss-Stellen; 25, 50 usw. Staffelfzeiten in 1/100 s
— bestehende Leitungen ——— projektierte Leitungen

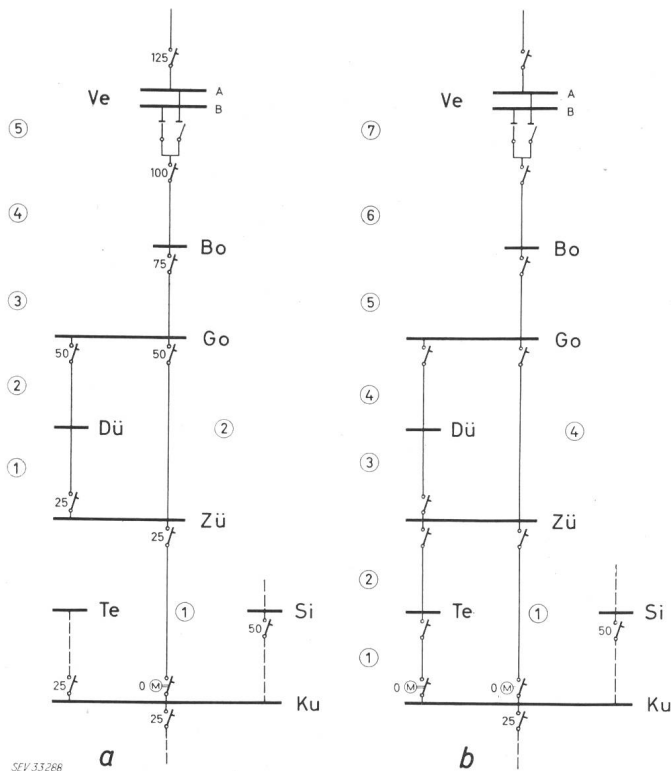


Fig. 2

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 Zürich-
 strasse; Te Terlinden; Si Schildhalde; Ku Kusen

zustand erfolgen in zwei ungefähr gleich grossen Belastungs-
 stufen, indem der Netzverbundungsschalter 3 jeweils mit dem
 Kuppelschalter 1 oder 2 auslöst, aber erst mit 3 s Verzöge-
 rung auf den entsprechenden Kuppelschalter 2 oder 1 wieder
 einschaltet.

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

2. Der Kurzschlußschutz

Der Kurzschlußschutz wird von Hauptstrom-Zeitauslö-
 sern übernommen. Tritt an irgendeiner Stelle (z. B. A, B, C
 oder D in Fig. 1) ein Kurzschluss ein, so sprechen die Mo-
 mentauslöser auf den Spaltschaltern 4 an und trennen die
 geschlossenen Ringe auf, womit — wie beim Spannungs-
 unterbruch — ein Baumnetz mit den angegebenen Staffel-
 zeiten 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 über-
 schreiten. Andererseits besteht dieser Strang aus fünf Schutz-
 strecken, die mit Zeitauslösern einwandfrei gegen Kurz-
 schlussauswirkungen 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 Haupt-
 strom-Zeitauslösern nicht erreicht werden konnten. Da je-
 doch aus verschiedenen Gründen eine Beibehaltung des
 jetzigen Schutzsystems beabsichtigt war, wuchs das Ver-
 langen 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 Hauptstromaus-
 lösern garantierte Staffelzeit von 0,2 s schien dem gewünsch-
 ten Schutz nicht zu genügen. Um nun das Verhalten dieser
 Auslöser unter betriebsmässigen Bedingungen zu prüfen und
 eventuell die gewünschte Staffelfähigkeit zu erreichen, wur-
 den im 16-kV-Netz des EW Küssnacht Schaltversuche durch-
 geführt.

3. Versuchsanordnung

Es bestand die Möglichkeit, in der Meßstation *Vordererb*
 das Sammelschienensystem A und die 16-kV-Systeme der
 Transformatorstationen *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 Ver-
 suchsbetrieb 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 gleich-
 zeitig 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 Auslöse-
 zeiten für den ersten Versuch. Die bei den weiteren Versuchen
 eingestellten Zeiten sind im Ver-
 suchsprotokoll (Tabelle II) ent-
 halten.

Die Auslöser entsprachen der
 serienmässigen Ausführung. Der
 Ausschaltstrom und zwei Span-
 nungen wurden über Messwand-
 ler und zusätzliche Anpasswand-
 ler mit einem 4-Kanal-Direkt-
 schreiber gemessen. Die Anord-
 nung ist in Fig. 4 wiedergegeben.
 Für die Herstellung zweiphasiger
 Kurzschlüsse mit definierter Im-
 pedanz wurde eine Strombegren-
 zungs-Drosselpule verwendet.
 Für die Versuche mit Kurz-
 schlüssen auf der Sekundärseite

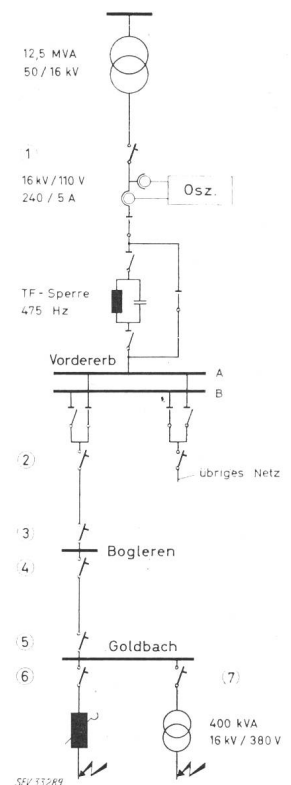


Fig. 3

Schema des Versuchsbetriebes

1, 2 usw. Nummern der Schalter

Tabelle I

Schalter Nr.	I_n A	$I_{therm.}$ A	$I_{anspr.}$ A	I_{moment} A	t_{anfang} 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

Versuchsprotokoll

Tabelle II

Ver- suchs- serie	Ver- suchs- nr.	IKDef.	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	ø	ø	95
VI	19	380	0,75			0,6			0,45			0,3			0,15						0	ø	ø	ø	ø	100
ø Erfolgte Auslösung																										

ø Erfolgte Auslösung

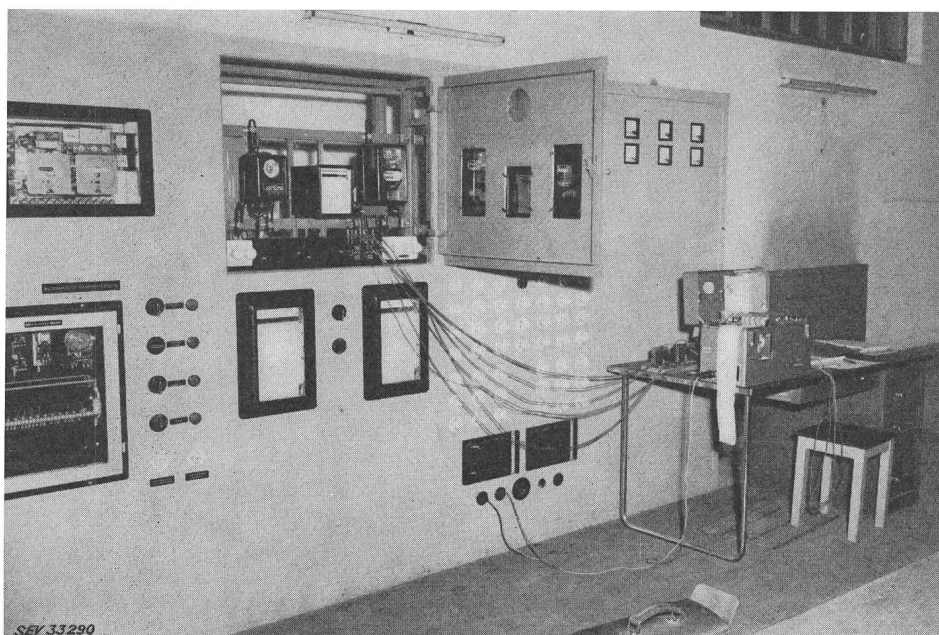


Fig. 4

Messanordnung mit Drehschreiber

links: Anschluss an Messwandlerleitung
Drehschreiber

rechts: Drehschreiber mit Anpassungs-
wandlern

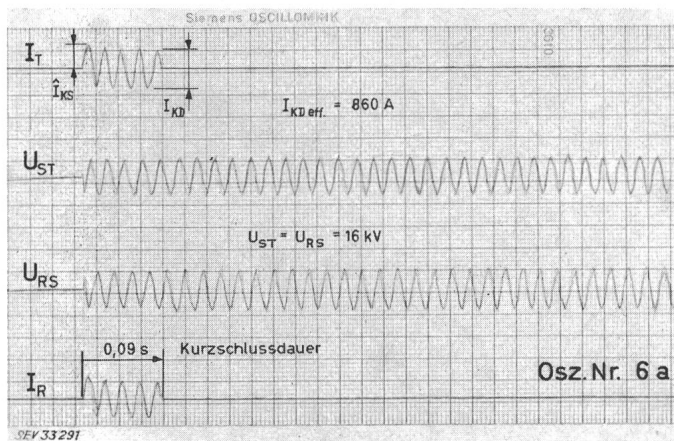


Fig. 5
Oszillogramm einer Momentauslösung

Für die Serien I und II wurde ein Strom gewählt, der einerseits ein sicheres Ansprechen der Auslöser gewährleistet, andererseits 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 dienen 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 programm-gemäss, 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:

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

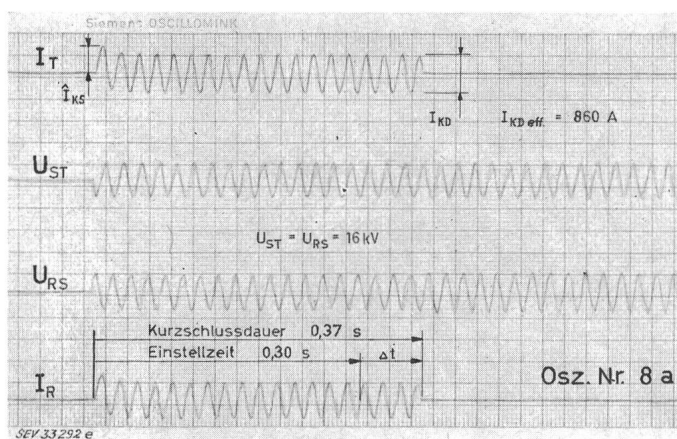


Fig. 6
Oszillogramm bei Einstellzeit 0,30 s

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.

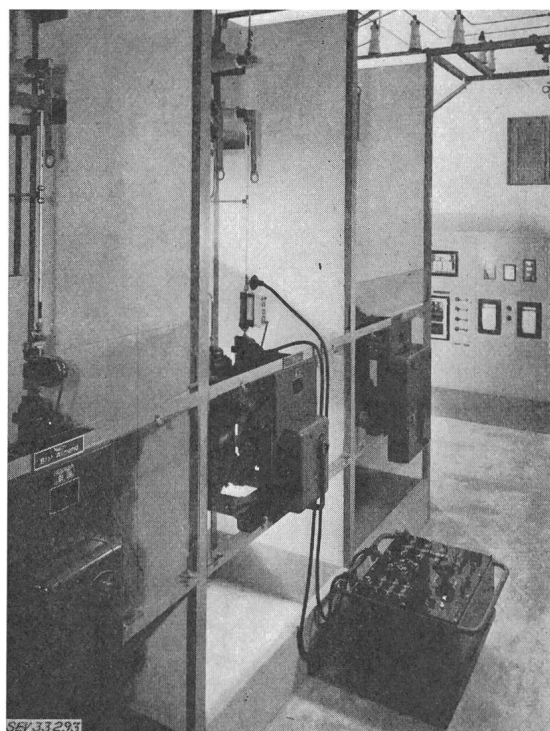


Fig. 7
Eichung der Auslöser mit Relaisprüfgerät

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 Versuchsergebnis.

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.