Die Anschaltung des Distanzschutzes erfolgt analog Bild 7-4. Das Schaltzeichen ist im **Bild 7-7** enthalten.

Bild 7-7 Distanzschutz-Schaltzeichen

7.3.1 Arbeitsweise

Die Anregung erfolgt durch Überstrom oder Unterimpedanz. Die Anregekennlinien verschiedener digitaler Distanzrelais sind im **Bild 7-8** dargestellt.

Üblich ist auch die sog. spannungsgesteuerte Überstromanregung und der Mho- oder Konduktanzkreis.

Bei Anregung misst das Relais den Fehlerwiderstand und vergleicht diesen mit den im Relais eingestellten Impedanzwerten der Leitung. Wegen der nicht vermeidbaren Messfehler (z. B. Wandler- und Relaisfehler sowie Ungenauigkeit der Leitungsdaten) wird nur etwa 85 % der zu schützenden Leitung in Schnellzeit eingestellt und dann auf t_2 gesprungen. Mit den weiteren Stufensprüngen werden die nachgeordneten Relais überstaffelt. Versagt ein Relais oder Leistungsschalter übernimmt der vorgelagerte Schutz die Fehlerabschaltung in der nächsten Zeitstufe.

Während beim elektromechanischen Schutz lediglich der Betrag der komplexen Impedanz Z gemessen wird, erfolgt beim digitalen Schutz die Ermittlung von R und X.

Beim elektromechanischen Relais ist die Ortskurve der Auslösekennlinie i. A. ein Kreis, dessen Mittelpunkt bei $R = X = 0$ liegt (**Bild 7-9**). Bei einem Lichtbogenfehler kurz vor dem Kippunkt wird ein Z gemessen, welches schon in der nächsten oder übernächsten Zone liegt. Dies führt zu unerwünschten Erhöhungen der Kommandozeiten. Ist ein Mischimpedanzzusatz vorhanden, so wird der Messkreis in R-Richtung verscho-

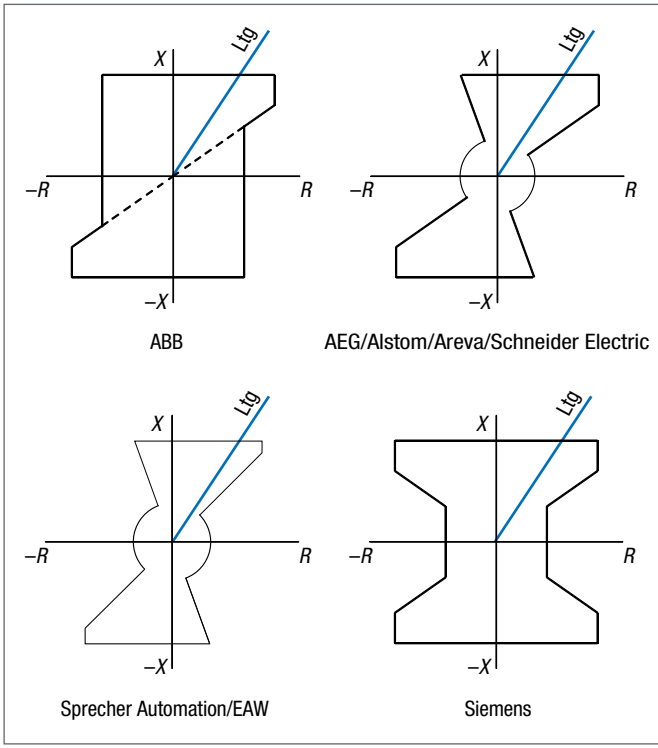


Bild 7-8 Distanzschutz – Anregekennlinien

ben und der Einfluss des Lichtbogens wird bis zu einem Wert von etwa 60 % bezogen auf den Einstellwert eliminiert.

Beim digitalen Schutz wird der Staffelplan mit der Leitungsreaktanz *X* erstellt (siehe Bild 7-13).

Die Auslösekennlinie ist hierbei ein Polygon (**Bild 7-10**). Der zu erwartende Lichtbogenwiderstand kann bei der Einstellung von *R* berücksichtigt werden. Der Einstellwert für *R* ergibt sich aus dem ohmschen Anteil der Leitungsimpedanz plus dem Lichtbogenwiderstand.

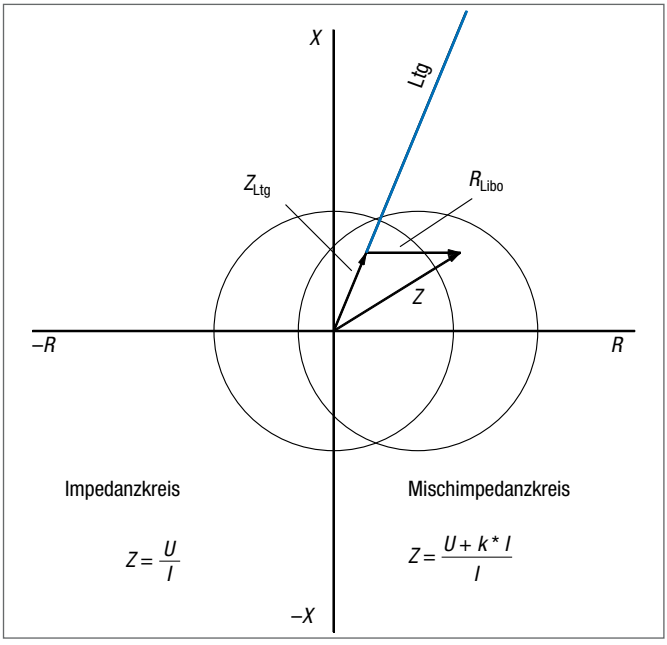


Bild 7-9 Distanzschutz – Mischimpedanz

Mit einer sog. ***Doppelerdschlusserfassung*** wird erreicht, dass im Fall eines Doppelerdschlusses nur ein Fehlerfußpunkt abgeschaltet wird und das übrige Netz im Erdschluss weiter betrieben werden kann. Im **Bild 7-11** wird aufgrund der im Relais eingestellten Leiterbevorzugung (z. B. L3 vor L1 azyklisch) die Energierichtung und die Fehlerimpedanz im Leiter L3–N ausgewertet. Somit kommt es zur Auslösung in SSt C, Abgang UW B und im UW B, Abgang C. Der Fußpunkt in L3 wird also herausgetrennt und der Erdschluss in L1 bleibt bestehen. Die Auslösung in SSt C, Abgang UW B, erfolgt hierbei in Schnellzeit. Im UW B, Abgang C, in dem lediglich ein normaler, zweipoliger Fehler gesehen wird, kommt es erst in der entsprechenden Stufenzeit zur Auslösung.

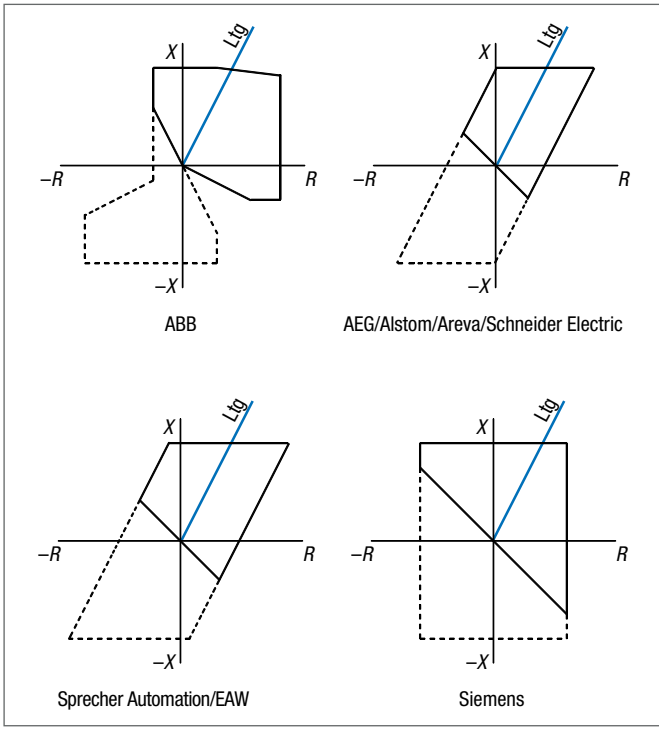


Bild 7-10 Distanzschutz – Auslösekennlinien

Die Bevorzugung funktioniert nicht, wenn wie in Bild 3-1 dargestellt die Fußpunkte auf zwei Stichleitungen liegen. Dem Relais im Abgang C (=J09) fehlt die Information, ob L3 (das hieße, es braucht eigentlich nicht auszulösen) oder L2 (es müsste auslösen) am Doppelerdschluss auf einer anderen Leitung beteiligt ist. Deshalb kommt es in diesem Fall zur Auslösung im UW A, Abgang B und C. Beim digitalen Schutz kann durch eine leiterselektive „*U*<“-Anregung mit gleichzeitiger Abfrage eines ebenfalls einstellbaren Fußpunktstroms auch bei der Stichversorgung erreicht werden, dass nur ein Fußpunkt abgeschaltet wird.

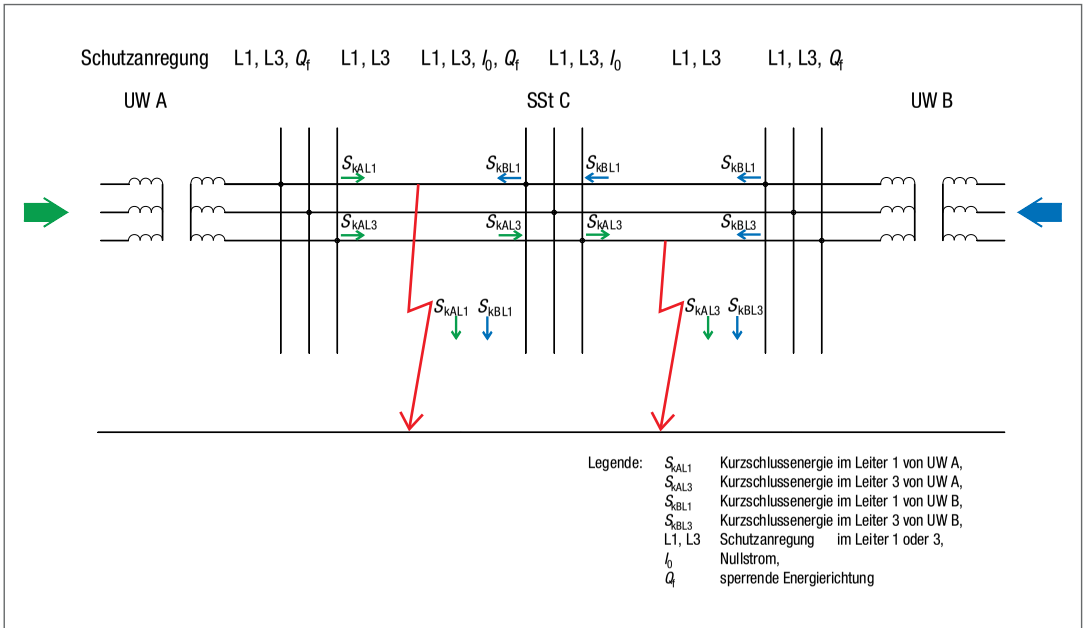


Bild 7-11 Azyklische Doppelerdschlusserfassung

Zur Vermeidung eines Ansprechens der Unterimpedanzanregung bei abgeschalteter Leitung oder ausgelöstem Spannungswandler-Schutzschalter wird sie in diesen Fällen gesperrt. Dies erfolgt, wenn trotz fehlender Spannung ein Mindeststrom überschritten wird bzw. indem über den Meldekontakt des Schutzschalters beim elektromechanischen Schutz die Hilfsspannung unterbrochen und beim digitalen Relais ein Binäreingang von H auf L gesetzt wird.

Aber auch beim Distanzschutz ohne Unterimpedanzanregung führt das Fehlen der Wandlerspannung bei einer Schutzanregung zum Fehlverhalten, da ein Nahfehler vorgetäuscht wird. Der digitale Schutz erkennt den Ausfall der Wandlerspannung durch eine interne Überwachungsfunktion selbstständig und schaltet auf einen sog. ***Not-UMZ-Schutz*** um, mit dem dann eine bedingte Selektivität gegeben ist.

Beim digitalen Schutz kann weiterhin der ***Fehlerort*** X_{prim} in Ω oder *l* in km bei Schutzanregung bzw. -auslösung ausgelesen oder am Display angezeigt werden.

Im **Bild 7-12** wird eine Fehlerentfernung von 0,9 km im Relais angezeigt. Der Fehler muss also zwischen C und D liegen.

Die Angabe in km ist bei nicht homogenen Leitungen natürlich ungenau.

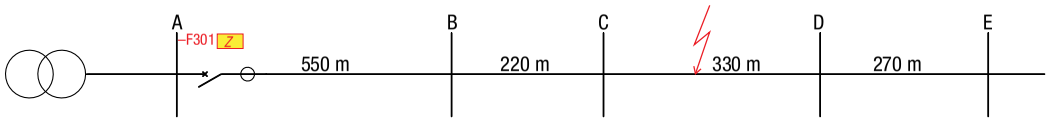
Ein spezielles Problem stellt der Schutz von Dreibeinleitungen dar. Wird ein Kurzschluss von allen drei Beinen gespeist, ist mit dem Distanzschutz keine Selektivität zu erreichen. Wird an eine durchgehende Leitung eine Stichleitung (z. B. für den Anschluss eines Transformators) angeschlossen, so ergibt sich in Abhängigkeit von der Lage des Ansprungpunkts und dem Verhältnis der den Kurzschluss speisenden Teilströme eine zulässige Stichlänge [L8].

7.3.2 Staffelplan

Im Staffelplan wird die Kommandozeit über dem primärseitigen Leitungswiderstand aufgetragen.

Die Staffelimpedanz ΔZ soll mindestens 15 % der Summe aus der zu schützenden Strecke und der Kippstufe des nachgeschalteten Relais betragen:

$$\Delta Z = 0{,}15\ (Z_{AB} + Z_{1BC}) \text{ bzw. } \Delta Z = 0{,}15\ (Z_{AB} + Z_{2BC}) \text{ usw.}$$



Beispiel für Fehlerortanzeige

Relaisdisplay:

PD531	0.92	Fehlerort in km
	0422	Adresse
7SA511	t = 125 ms	Laufzeit
	d = 0,9 km	Fehlerort

Leittechnik:

Übertragung von X_{prim}

Bild 7-12 Fehlerortung mit digitalen Schutzrelais

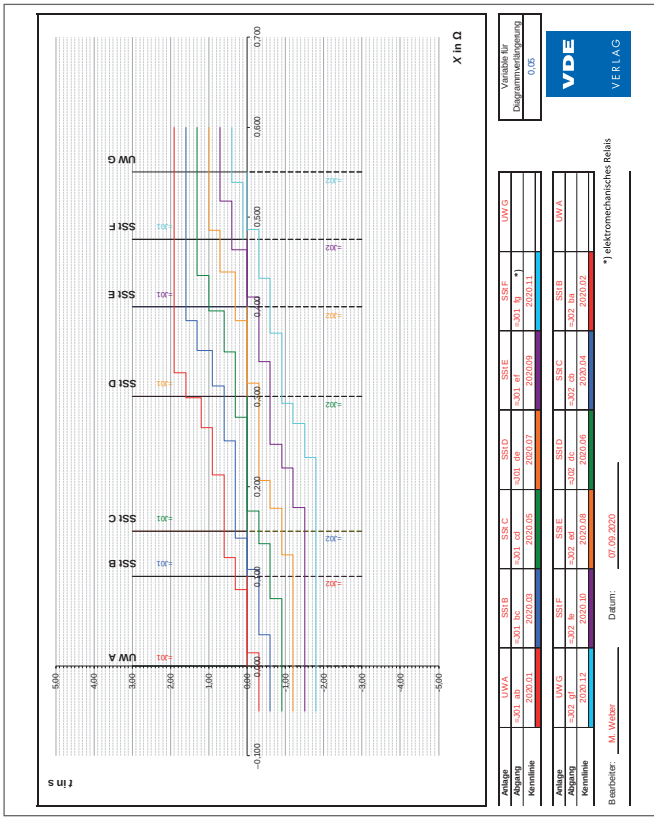


Bild 7-13 Distanzschutz – „klassischer Staffelplan“

Bild 7-13 zeigt einen mit einem Excel-Programm erstellten Staffelplan für Mittelspannungs-Stich- oder Ringnetze. Hierzu werden die Leitungs- und Wandlerdaten sowie Kommandozeiten wie in **Bild 7-14** ersichtlich eingegeben und es entsteht das in **Bild 7-15** aufgeführte Relaiseinstellblatt. Das Programm hierzu kann zusammen mit einer Datenbank über *R′*- sowie *X′*-Werte in Ω/km vom Autor bezogen werden.

In vermaschten Netzen kommt es zu Stromaufteilungen und Zwischeneinspeisungseffekten, sodass eine richtige Impedanzmessung nur bei Fehlern auf der eigenen Leitung erfolgen kann. Für den Reserveschutz sind die Hinweise im nächsten Abschnitt zu beachten.

7.3.3 Einstellregeln

Für die Überstromanregung gelten die Hinweise zum Überstromzeitschutz. Es wird deshalb bei gut angepasstem Wandler-Primärstrom folgende Einstellung empfohlen:
Überstrom:

Einfachleitung: $I_> = 1{,}6\ I_{nomWdl}$
Doppelleitung: $I_> = 2\ I_{nomWdl}$
Nullstrom: $I_0> = 0{,}4\ I_{nomWdl}$

Einstellbeispiele sind in der **Tabelle 7-3** aufgeführt.

Im **Bild 7-16** ist ein Beispiel eines Anregepolygons für eine Unterimpedanzanregung im 110-kV-Netz dargestellt.

Als Staffelzeit wird

$\Delta t = 0{,}4$ bei elektromechanischen Relais bzw.
$\Delta t = 0{,}3$ s beim digitalen Schutz

empfohlen, sodass Stufenzeiten von 0,1 s, 0,5 s, 0,9 s usw. bei elektromechanischen Relais bzw. 0 s, 0,3 s, 0,6 s usw. bei digitalen Relais entstehen.

Die Endzeit t_e wird normalerweise gerichtet und die Grenzzeit t_g ungerichtet eingestellt. Im Einspeisepunkt (z. B. Mittelspannungsabgang im Umspannwerk) kann $t_e = t_g$ und somit ungerichtet eingestellt werden.

Der Reserveschutz sollte unter der Endzeit wirken.

Bei den Kennlinien der zu überstaffelnden Distanzschutzeinrichtungen ist ein Sicherheitsabstand einzuhalten, der

- die Abbildtreue der Strom- und Spannungswandler,
- den Messfehler der Schutzeinrichtungen sowie
- einer Ungenauigkeit der Leitungsimpedanzen bis zu 5 %

berücksichtigt.

Netzdaten/Staffelplan

VDE VERLAG

7.9.2020 Bearbeiter: M. Weber

A **Anlage:** UW A

Abgang: =J01 ab Kennlinie: 2020.01

Relaisdaten			
Hersteller:	ABB		
Relaistyp:	REL630		
Strom:	1	A	

t_1	0,00	vorwärts
t_2	0,30	vorwärts
t_3	0,60	vorwärts
t_4	0,90	vorwärts
t_5	1,20	vorwärts
t_6	1,60	vorwärts
t_e	1,90	vorwärts
t_g	1,90	ungerichtet

Spannungswandler			
20.000	V	100	V
Stromwandler			
400	A	1	A
$* I_{nom}$	**Überstromanregung**		
1,2	480	A	1,2 A
Ansprechwert Erdschluss			
30	mA		

$R_{AB} = R_{BA}$	$X_{AB} = X_{BA}$	$Z_{AB} = Z_{BA}$	$l_{AB} = l_{BA}$
0,184 Ω	0,100 Ω	0,209 Ω	0,910 km

Relaisdaten			
Hersteller:	SA		
Relaistyp:	DDE6-2		
Strom:	1	A	

t_1	0,00	vorwärts
t_2		vorwärts
t_3		vorwärts
t_4		vorwärts
t_5		vorwärts
t_6		vorwärts
t_e	0,30	vorwärts
t_g	1,90	ungerichtet

Spannungswandler			
20.000	V	100	V
Stromwandler			
300	A	1	A
$* I_{nom}$	**Überstromanregung**		
1,6	480	A	1,6 A

Abgang: =J02 ba Kennlinie: 2020.02

B **Anlage:** SSt B

Abgang: =J01 bc Kennlinie: 2020.03

Relaisdaten			
Hersteller:	SEE		
Relaistyp:	P439		
Strom:	1	A	

t_1	0,00	vorwärts
t_2	0,30	vorwärts
t_3	0,60	vorwärts
t_4	0,90	vorwärts
t_5	1,30	vorwärts
t_6		vorwärts
t_e	1,60	vorwärts
t_g	1,90	ungerichtet

Spannungswandler			
20.000	V	100	V
Stromwandler			
300	A	1	A
$* I_{nom}$	**Überstromanregung**		
1,6	480	A	1,6 A

$R_{BC} = R_{CB}$	$X_{BC} = X_{CB}$	$Z_{BC} = Z_{CB}$	$l_{BC} = l_{CB}$
0,092 Ω	0,050 Ω	0,105 Ω	0,455 km

Relaisdaten			
Hersteller:	Siemens		
Relaistyp:	7SA86		
Strom:	5	A	

t_1	0,00	vorwärts
t_2	0,30	vorwärts
t_3		vorwärts
t_4		vorwärts
t_5		vorwärts
t_6		vorwärts
t_e	0,60	vorwärts
t_g	1,90	ungerichtet

Spannungswandler			
20.000	V	100	V
Stromwandler			
400	A	5	A
$* I_{nom}$	**Überstromanregung**		
1,2	480	A	6,0 A

Abgang: =J02 cb Kennlinie: 2020.04

C **Anlage:** SSt C

Abgang: =J01 cd Kennlinie: 2020.05

Bild 7-14 Eingabe Staffelplan (Auszug)

Relaiseinstellblatt

erstellt am _____ durch _____

Anlage: _____ Abgang: _____

Relaisdaten

Hersteller:	Typ:			Nennstrom:	Geräteadr.:
				A	
Fabriknummer:	Spannung:	Hilfsspannung:	Erdfaktor:	Version:	Firmware:
	100 V	DC V	1		

Anlagendaten

Spannungswandler	prim	V	sek	V	k_u	k_i	k_u/k_i	
Stromwandler	prim	A	sek	A	200	400	0,5	
Kabelumbauwandler	prim	60 A	sek	1 A	Verh. KUW/W		0,15	

Überstromanregung

I_s, Distanz		$*I_{nom}$	prim	480 A	sek	1,2 A	t	zonenabh.	
$I_{E>}$ Distanz/Not-UMZ	0,4	$*I_{nom}$	prim	160 A	sek	0,4 A	t	0,3	s
I_s, Not-UMZ		$*I_{nom}$	prim	480 A	sek	1,2 A	t	0,3	s
I_{sp} Not-UMZ	2,4	$*I_{nom}$	prim	960 A	sek	2,4 A	t	0,1	s

Leitungsdaten

	R_{Libo}	R	X	Z	$2*Z$	
AB	2,500 Ω		Ω	Ω	0,419 Ω	0,85
BC	0,000	Ω		Ω	0,209 Ω	0,85
CD	0,000 Ω		Ω	Ω	0,628 Ω	0,85
DE	0,000	Ω		Ω	0,419 Ω	0,85
EF	0,000 Ω		Ω	Ω	0,314 Ω	0,85
FG	0,000	Ω		Ω	0,314 Ω	0,85
$ü_{AB}$	2,500 Ω		Ω	0,251 Ω	0,503 Ω	1,20
$ü_{R1, X1}$	Digitalschutz AEG/Alstom/Areva/SEE/EAW/SA			1,40	entspricht $ü_{AB}$	1,20

Leitungswinkel		29 Grad	Impedanzanregung			
Leitungslänge [FO]		km	X_{+A}	Ω	R_{A1E}	Ω
prim	X	Ω	X_{-A}	Ω	R_{A2E}	Ω
sek	X	0,200 Ω	R_{A1}	Ω	φ_A	°
prim	X	0,110 Ω/km	R_{A2}	Ω	φ_{AE}	°
sek	X	0,220 Ω/km	Mindeststrom für Impedanzanregung			A

Einstellwerte

	prim in Ω	sek in Ω		prim in Ω	sek in Ω	Kennlinie		Zeit in s	Richtung
R_1	2,656	5,31	Z_1	0,178	0,36		t_1		
R_2	2,723	5,45	Z_2	0,254	0,51		t_2		
R_3	2,892	5,78	Z_3	0,447	0,89		t_3		
R_4	2,988	5,98	Z_4	0,556	1,11		t_4		
R_5	3,050	6,10	Z_5	0,626	1,25		t_5		
R_6	3,102	6,20	Z_6	0,685	1,37		t_6		
R_0	3,715	7,43	Z_0	0,250	0,50		t_e		
							t_g		
X_1	0,085	0,17	$2*Z_1$	0,356	0,71				
X_2	0,121	0,24	$2*Z_2$	0,507	1,01	1. Pausenzeit		0,4	
X_3	0,213	0,43	$2*Z_3$	0,893	1,79	1. Bereitmachung		20	
X_4	0,265	0,53	$2*Z_4$	1,112	2,22	2. Pausenzeit		20	
X_5	0,299	0,60	$2*Z_5$	1,251	2,50	2. Bereitmachung			
X_6	0,327	0,65	$2*Z_6$	1,370	2,74	$Z_{rückwärts}$ in Ω			
X_0	0,120	0,24	$2*Z_0$	0,500	1,00				

Toleranz Z	Toleranz t	Toleranz t abs. L–E	***Wattmetrische Erdschlussfassung***			
5 %	15 %	50 ms	kompensiert	30 mA	40 V	

Bemerkungen

zusätzliche Erdschlussrichtungserfassung EOR-3D

Einstellung erfolgte am: 10.09.2020 durch N. Schuchardt

Bild 7-15 Relaiseinstellblatt

Tabelle 7-3 Einstellbeispiele für die Distanzschutzanregung in Leitungsabgängen

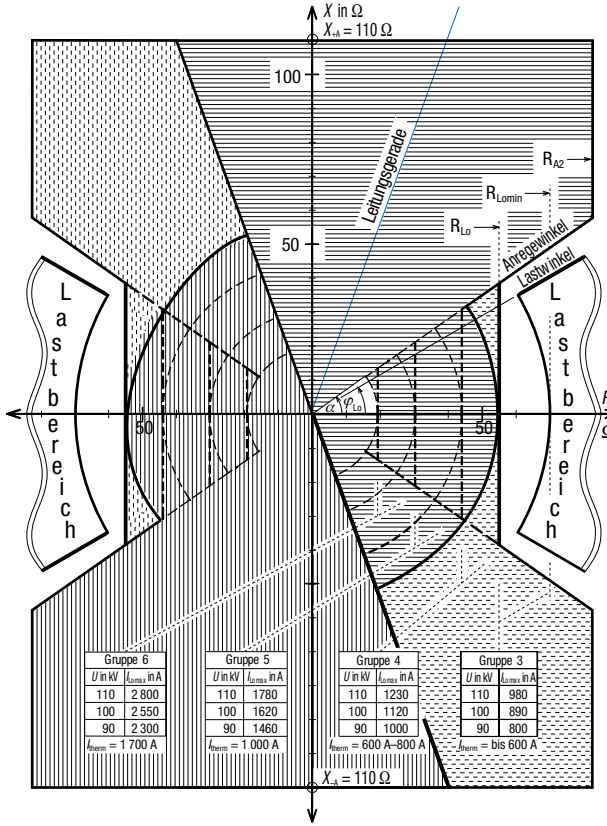
Spannungsebene		**20 kV**						**110 kV**							
Sternpunkt-behandlung		**gelöscht/niederohmig geerdet**						**gelöscht/niederohmig geerdet**							
Beseilungs-gruppe[1)]		**Gruppe 1**		**Gruppe 2**		**Gruppe 3**				**Gruppe 4**		**Gruppe 5**		**Gruppe 6**	
Leiter-seil-quer-schnitt in mm²	I_{Dauer} in A	bis 50/8	max. 170	70/12 95/15	290 350	120/20 150/25 185/30	410 470 535	120/20 150/25 185/30	410 470 535	230/30 240/40	630 645	340/30 380/50 385/35 560/50	790 840 850 1 050	2× 340/40 2× 385/50	1 580 1 700
				Alukabel:											
				150 185	320 361										
Stromwandler		200/1		200/1 … 400/1		200/1 … 600/1		400/1 G		400/1 G		400/1 G … 800/1 G		800/1 G … 1 200/1 G	
$I_L \gg$ prim. in A		320		320 … 600		320 … 800		800 … 1 200[1)]		1 000 … 1 200[1)]		1 500		2 400	
$I_0 >$ prim. in A		80		80 … 160		80 … 240		160		160		160 … 320		320 … 480	
$I_F >$ prim. in A[3)]		–		–		–		200		200		200 … 400		400 … 600	
$U <$ in %		–		–		–		75 … 80		75 … 80		75 … 80		75 … 80	
$X_{A\,prim.}$ in Ω		–		–		–		110		110		110		110	
$R_{A1\,prim.}$ in Ω[4)]		–		–		–		55		44		30,25		19,25	
$R_{A2\,prim.}$ in Ω[5)]		–		–		–		82,5		82,5		82,5		82,5	
Z_{-A}/Z_{+A} in Ω		–		–		–		1		1		1		1	
α in Grad		–		–		–		35		35		35		35	

Tabelle 7-3 (Fortsetzung) Einstellbeispiele für die Distanzschutzanregung in Leitungsabgängen

Spannungsebene	**20 kV**			**110 kV**			
Sternpunktbehandlung	**gelöscht/niederohmig geerdet**			**gelöscht/niederohmig geerdet**			
Beseilungsgruppe[1)]	**Gruppe 1**	**Gruppe 2**	**Gruppe 3**		**Gruppe 4**	**Gruppe 5**	**Gruppe 6**
Mitn. 1-pol. Anr.[6)]	LL/LE	LL/LE	LL/LE	LL/LE	LL/LE	LL/LE	LL/LE
Leiterausw. 2-pol.-E	LE	LE	LE	LE	LE	LE	LE
Leiterbev. 2-pol.-E[7)]	L3 (L1)azykl.	L3 (L1) azykl.	L3 (L1) azykl.	L3 (L1) azykl.	L3 (L1) azykl.	L3 (L1) azykl.	L3 (L1) azykl.
Ausw. mehrpol.	LL	LL	LL	LL	LL	LL	LL

Die Angaben der Tabelle sind beispielhaft – es können davon abweichende Einstellungen erforderlich werden.

1) Leitungsabschnitt mit der schwächsten Beseilung zugrunde legen!
3) Bei niederohmiger Sternpunkterdung Fremdanregung vermeiden!
4) Mindest-Stromanregewert bei $U = 0$,
gleiche Einstellungen für LE und LL; ($\varphi < \alpha$)
Parameter ist nur fabrikatabhängig vorhanden
RA1 = 110 kV · 0,75/$\sqrt{3}$ · $I_{\gg}$ in kA,
5) gleiche Einstellungen für LE und LL; ($\varphi < \alpha$),
6) unterschiedliche Einstellung für „gelöschtes Netz/Netz mit niederohmiger Sternpunkterdung“
7) oder andere im Teilnetz einheitliche Einstellung



Gruppe 6	
U in kV	I_{Lomax} in A
110	2 800
100	2 550
90	2 300
I_{therm} = 1 700 A	

Gruppe 5	
U in kV	I_{Lomax} in A
110	1780
100	1620
90	1460
I_{therm} = 1 000 A	

Gruppe 4	
U in kV	I_{Lomax} in A
110	1230
100	1120
90	1000
I_{therm} = 600 A–800 A	

Gruppe 3	
U in kV	I_{Lomax} in A
110	980
100	890
90	800
I_{therm} = bis 600 A	

Anregewinkel $\alpha = 35°$
max. zulässiger Lastwinkel $\varphi_0 = 30°$
I_{Lomax} = max. zulässiger Laststrom bei R_{Lomin} und U = 90/100/110 kV

minimal zulässiger Lastwiderstand $$R_{Lomin} = \frac{R_{A1}}{0{,}85}$$

Alle Widerstände sind Primärwerte!

Bild 7-16 Anregepolygon für den Distanzschutz im 110-kV-Netz

Staffelungsfaktor: $f_S = \dfrac{X_{\text{Zone}}}{X_{\text{zu überstaffelnde Impedanz}}}$

Als praktischer Wert wird ein Staffelungsfaktor von 0,85 vorgeschlagen.

Für die ***Zonenreichweiten in Strahlennetzen ohne Zwischeneinspeisung*** gilt:

Zone	***Ermittlung***	
1. Zone vorw.	$X_1 = f_S\, X_{AB}$	
2. Zone vorw.	$X_2 = f_S\, (X_{AB} + f_S\, X_{BC})$	
	Es ist die von der Gegenstation abgehende Leitung zu überstaffeln, deren 1. Zonenimpedanz am kleinsten ist! „X_{BC}<“	
3. Zone vorw.	$X_3 = f_S\, X_{AB} + f_S(f_S\, X_{BC} + f_S^2\, X_{CD})$	
	Es ist die von der Gegenstation abgehende Leitung zu überstaffeln, deren 2. Zonenimpedanz am kleinsten ist! „(X_{BC} +X_{CD})<“	
Übergreifstufe	bei Einfachleitungen:	$X_Ü = 1{,}25\, X_{AB}$
für AWE	bei Mehrfachleitungen:	$X_Ü = 1{,}35\, X_{AB}$
1. Zone rückw.	Leitungsabzweige:	$X_- = f_S\, X_{1\ \text{kürzeste abgehende Ltg}}$
	Trafoabzweige:	$X_- = 0{,}5\, X_{Tr}$

Im vermaschten Netz wird jedoch bei Anwendung dieses Verfahrens die Wirkung des Reserveschutzes stark eingeschränkt. Bei der Festlegung der ***Zonenreichweiten für vermaschte Netze*** wird deshalb für die Strecken BC und CD die durch den Zwischeneinspeisungseffekt wirksame Impedanzerhöhung ausgenutzt. Näherungsweise kann auch das vereinfachte Ermittlungsverfahren wie nachfolgend beschrieben angewendet werden.

Zone	***Ermittlung***
1. Zone vorw.	$X_1 = f_S\, X_{AB}$
2. Zone vorw.	$X_2 \geq 1{,}25 \ldots 1{,}35\, X_{AB}$
	(angestrebte Mindestreichweite)
	Zur sicheren Erfassung von Fehlern an der nächsten Sammelschiene sollte die 2. Stufe möglichst das 1,25-fache der Leitungsimpedanz betragen.

Sind hier unter Berücksichtigung der Zwischeneinspeisung noch Selektivitätsprobleme zu erwarten, kann der Wert auf minimal 1,15 X_{AB} verringert werden. Ist auch der neue Wert zu hoch, wird empfohlen, eine Zeitstufe zu überspringen.

3. Zone vorw. $X_3 \geq 1{,}25\ (X_{AB} + X_{BC})$; die Strecke BC ist die längste zu überstaffelnde Leitung.
Ergibt sich trotz der Berücksichtigung der Zwischeneinspeisung ein zu geringer Abstand zu den Stufen der vorgelagerten Schutzeinrichtungen, wird empfohlen, eine Zeitstufe zu überspringen, oder es ist im äußerst seltenen Fall mit einer unselektiven Auslösung zu rechnen (Risikoabwägung).

Übergreifstufe für AWE	bei Einfachleitungen:	$X_Ü = 1{,}2\ X_{AB}$
	bei Mehrfachleitungen:	$X_Ü = 1{,}35\ X_{AB}$
1. Zone rückw.	Leitungsabzweige:	$X_- = f_S\ X_{1\ \text{kürzeste abgehende Ltg}}$
	Trafoabzweige:	$X_- = 0{,}5\ X_{Tr}$

Daraus wird folgende praktische Empfehlung abgeleitet:

Strahlennetze:

$X_1 = 0{,}85\ X_{AB}$

$X_2 = 0{,}85\ X_{AB} + 0{,}72\ X_{BC}$ BC ist die <u>kürzeste</u> von B abgehende Leitung

$X_3 = 0{,}85\ X_{AB} + 0{,}72\ X_{BC} + 0{,}61\ X_{CD}$ BC und CD sind die <u>kürzesten</u> von B und C abgehenden Leitungen

$X_4 = 0{,}85\ X_{AB} + 0{,}72\ X_{BC} + 0{,}61\ X_{CD} + 0{,}52\ X_{DE}$

$X_Ü = 1{,}2\ X_{AB}$

Doppelleitung:

$X_1 = 0{,}85\ X_{AB}$

$X_2 = 0{,}85\ X_{AB} + 0{,}41\ X_{BC}$

$X_3 = 0{,}85\ X_{AB} + 0{,}41\ X_{BC} + 0{,}35\ X_{CD}$

Maschennetze:

$X_1 = 0{,}85\ X_{AB}$

$X_2 \geq 1{,}25\ X_{AB}$

$X_3 \geq 1{,}25\ (X_{AB} + X_{BC})$ BC ist die <u>längste</u> von B abgehende Leitung

Übergreifstufe:
$X_Ü = 1{,}2\ X_{AB}$ bei Einfachleitungen
$X_Ü = 1{,}35\ X_{AB}$ bei Mehrfachleitungen

Bei speziellen Netzkonstellationen kann ein Distanzschutz mit Schutzsignalübertragung erforderlich sein:

- kurze Leitungen < 2,5 Ω,
- Mehrendenleitungen,
- Folge lange – kurze Leitung (Staffelungsprobleme),
- Netzstabilität (KW, AWE-Übergriffe nicht zulässig, empfindliche Verbraucher).

Hinweise zur Schutzeinstellung bei Einspeisung von Erzeugungsanlagen in ein 110-kV-Netz sind in [G12] enthalten.

Zur Erfassung von hochohmigen Lichtbogenwiderständen darf die Einstellung der Zonenreichweiten in *R* eine Mindestgröße als ***Lichtbogenreserve*** nicht unterschreiten.

Als Empfehlung für die Berücksichtigung des Lichtbogenwiderstands gilt [E2][E25]:

Tabelle 7-7 Einstellung des Lichtbogenwiderstands

Spannungsebene	10 kV	20 kV	60 kV	110 kV
Lichtbogenwiderstand R_{Libo} in Ω	1,0 … 1,5	2,5 … 3	4	5 … 6
Die angegebenen Werte sind Primärwerte in Ω/Leiter				

Die Mindesteinstellung der Zonen in *R*-Richtung muss den Realanteil des Leitungswiderstands plus Lichtbogenwiderstand beinhalten. Dabei ist bei der Einstellung am Relais eine herstellerunterschiedliche Verfahrensweise zu beachten.

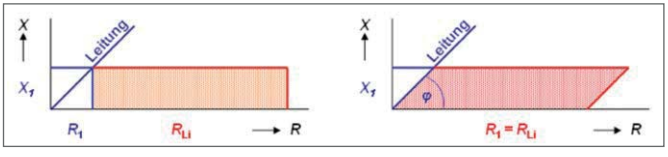


Bild 7-17 Herstellerunterschiedliche Einstellung des Lichtbogenwiderstands