

Anwenden von Kurzschlussbemessungsgrößen (2)

K.-H. Kny, Magdeburg

Der erste Beitragsteil gab eine Übersicht zu den charakteristischen Kurzschlussströmen. Nachfolgend ist dargelegt, wie die von den Herstellern angegebenen Bemessungswerte zum Nachweis des Kurzschlussschutzes im Niederspannungsbereich angewendet werden.

4 Schaltgeräte als Kurzschlussschutzeinrichtung

Schaltgeräte werden neben der Aufgabe den Stromfluss ein- oder auszuschalten, auch oder ausschließlich für den Übersstromschutz genutzt. Als Kurzschlussschutzgerät – bezeichnet mit der Abkürzung SCPD – sollen sie nachgeordnete Betriebsmittel, Anlagen sowie Kabel und Leitungen vor den Wirkungen zu hoher Ströme schützen.

4.1 Leistungsschalter

Nur die Leistungsschalter sind in der Lage, Kurzschlussströme sicher ein- und auszuschalten. Die für den Nachweis der Kurzschlussfestigkeit relevanten Bemessungswerte für Leistungsschalter – auch die speziellen für das Kurzschlusschaltvermögen – sind nachfolgend definiert und die einzuhaltenden Bedingungen genannt.

Bemessungskurzschlusseinschaltvermögen eines Leistungsschalters I_{cm} . Der Spitzenkurzschlussstrom I_p darf nicht größer sein als das Bemessungskurzschlusseinschaltvermögen eines Leistungsschalters I_{cm}

$$I_{cm} \geq I_p \quad (8)$$

Bemessungsgrenzkurzschlussausschaltvermögen eines Leistungsschalters I_{cu} . Der Leistungsschalter beherrscht unter bestimmten Prüfbedingungen nach dem Ausschalten des Anfangskurzschlussstromes das nochmalige Ein- und Ausschalten des Kurzschlussstromes

$$I_{cu} \geq I_b \quad (9)$$

bei generatorfernem Kurzschluss $I_{cu} \geq I_k$.

Bemessungsbetriebskurzschlussausschaltvermögen eines Leistungsschalters: I_{cs} . Der Leistungsschalter beherrscht unter bestimmten Prüfbedingungen nach dem Ausschalten des Anfangskurzschlussstromes anschließend das zweimalige Ein- und Ausschalten des Kurzschlussstromes (Prüfung O-CO-CO, früher P-2) und erfüllt höhere

Anforderungen als das Bemessungsgrenzkurzschlussausschaltvermögen

$$I_{cs} \geq I_b \quad (10)$$

bei generatorfernem Kurzschluss $I_{cu} \geq I_k$.

Bemessungskurzzeitstrom eines Leistungsschalters I_{cw} . Der Bemessungskurzzeitstrom, der auf eine bestimmte Gesamtausschaltzeit bzw. Bemessungskurzzeit T_{kr} (0,05-0,1-0,25-0,5-1 s) bezogen ist, darf nicht kleiner sein, als der thermisch gleichwertige Kurzschlussstrom. Der Kurzschlussauslöser am Leistungsschalter muss auf die angegebene Zeit eingestellt sein.

$$I_{cw} \geq I_{th} \quad (11)$$

Für Leistungsschalter bis 2500 A muss der Bemessungskurzzeitstrom das 12-fache des Bemessungsstromes, aber mindestens 5 kA betragen.

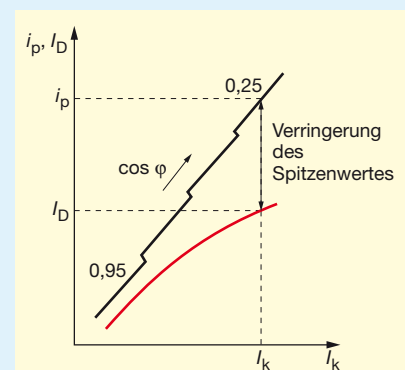
Durchlassstrom eines Leistungsschalters. Das ist der höchste Spitzenwert, den ein strombegrenzender Leistungsschalter zulässt. Die Hersteller geben Strombegrenzungskennlinien für Leistungsschalter an. Aus ihnen kann abgelesen werden, welcher Spitzenwert als Durchlasswert I_D nach dem Schalter auftreten kann. Bild 10 zeigt, wie der Durchlassstrom aus dem Diagramm abgelesen wird. Eingezeichnet ist auch die Kennlinie für den Stoßkurzschlussstrom. Damit kann man die Wirkung der Strombegrenzung einschätzen.

Die Kennlinie für den Stoßkurzschlussstrom ist üblicherweise mit dem Parameter $\cos \varphi$ dargestellt. Dieser Wert stellt die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom des Kurzschlussstromes dar. Je kleiner $\cos \varphi$ ist, um so kleiner ist auch das R/X-Verhältnis der Kurzschlussstrombahn ($\cos \varphi = 0,95$ bedeutet $R/X = 3,25$ und $\cos \varphi = 0,25$ bedeutet $R/X = 1,085$).

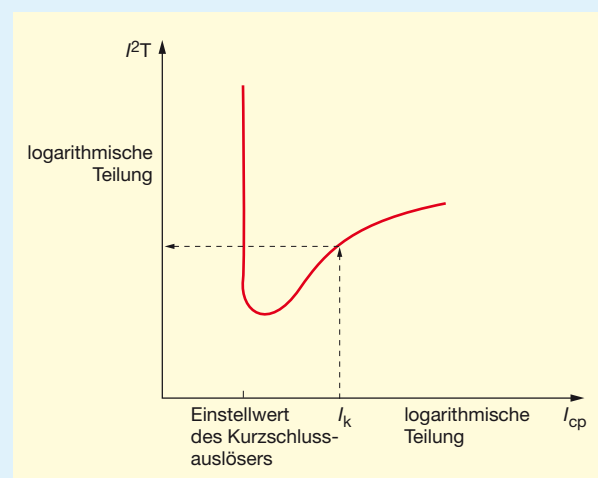
Durchlass- I^2T -Wert eines Leistungsschalters. Unter dem Durchlass- I^2T -Wert eines Leistungsschalters ist die Energie zu verstehen, die bis zur Unterbrechung vom Schalter durchgelassen wird und die thermische Wirkung auf den Stromkreis ausdrückt. Diese I^2T -Werte sind von der Höhe des Kurzschlussstromes abhängig und werden durch Kennlinien dargestellt (Bild 11). Bei größeren Kurzschlussströmen ist auch der I^2T -Wert größer.

4.2 Leitungsschutzschalter

Leitungsschutzschalter für die Anwendung in Hausinstallationen haben inzwischen eine Bemessungsgröße bis 63 A mit einem Bemessungsschaltvermögen $I_{cn} \leq 15$ kA. Zum Einsatz im Elektroenergieverteilungsnetz stehen Haupt-Leitungsschutzschalter für Bemessungsströme bis 125 A und $I_{cn} \leq 50$ kA zur Verfügung.



10 Strombegrenzungsdiagramm für einen Leistungsschalter (qualitativ)



11 I^2T -Kennlinie von Leistungsschaltern (qualitativ)

Autor

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Kny ist Dozent an der Hochschule Magdeburg-Stendal (FH).

Der Ausschalt- βT -Wert ist als oberer Grenzwert in DIN VDE 0641-11 angegeben. Eine ausgewählte Zusammenfassung für die höchste Energiebegrenzungsklasse 3 stellen die Werte in Tafel 3 dar. Sie gelten für den maximal zulässigen Kurzschlussstrom, dem angegebenen Ausschaltvermögen. Die von den Herstellern bereitgestellten Kennlinien stellen wie für Leistungsschalter die Abhängigkeit des Durchlass- βT -Wertes von der Höhe des tatsächlich fließenden Kurzschlussstromes dar.

4.3 Schmelzsicherungen

Für den Kurzschlussschutz durch Sicherungen sind drei Bemessungswerte zu nennen: das Bemessungsausschaltvermögen, der Durchlassstrom und der Ausschalt- βT -Wert.

Bemessungsausschaltvermögen. Das Bemessungsausschaltvermögen I_{cn} muss nach VDE 0636 mindestens 50 kA betragen. Produkte mit Werten von 80 kA und höher werden durch die Hersteller angeboten.

Durchlassstrom. Der Durchlassstrom wird in Form von Strombegrenzungskennlinien den Planern und Errichtern zur Verfügung gestellt. Aus diesen Kennlinien kann der Durchlassstrom I_D und der Stoßkurzschlussstrom i_p mit Gleichstromglied ($\kappa = 1,8$) sowie ohne ($\kappa = 1$) in Abhängigkeit des effektiven Kurzschlussstromes ermittelt werden.

In Anlehnung des in Bild 13 dargestellten Strombegrenzungsdiagramms ist das Ablesen der entsprechenden Werte in Bild 12 dargestellt.

Bei einem angenommenen effektiven Kurzschlussstrom von 10 kA tritt bei einem Stoßfaktor $\kappa = 1,8$ ein Stoßkurzschlussstrom von $i_p = 25,5$ kA auf. Ohne Gleichstromglied, also $\kappa = 1,0$, beträgt der Stoßkurzschlussstrom 14,4 kA. Liegt der Stoßfaktor zwischen 1,0 und 1,8 nimmt der Stoßkurzschlussstrom entsprechende Werte zwischen 14,4 und 25,5 kA an.

Ausschalt- βT_a -Werte (Joule-Integral). Die in DIN VDE 0636-1 [5] angegebenen Grenzwerte gelten für eine Ausschaltzeit von 10 ms und sind als Höchstwerte zu verstehen. Bei ihrer Anwendung liegt man schutztechnisch auf der sicheren Seite. In Tafel 4 sind auszugsweise einige Werte zusammengestellt.

In der gleichen Tabelle der genannten Norm sind auch Schmelz- βT_s -Werte angegeben. Diese Größen stellen die Wärmeenergie dar, die für das Anschmelzen des Fadens gelten und sind für Selektivitätsuntersuchungen erforderlich.

4.4 Schütze und Starter

Kurzschlussfestigkeit für Schütze und Starter ist gegeben,

- wenn der Kurzschlussstrom I_k am Einbauort nicht größer ist als der angegebene bedingte Kurzschlussstrom I_q und
- die vorgegebene zulässige Bemessungsstromstärke der Vorsicherung einschließt

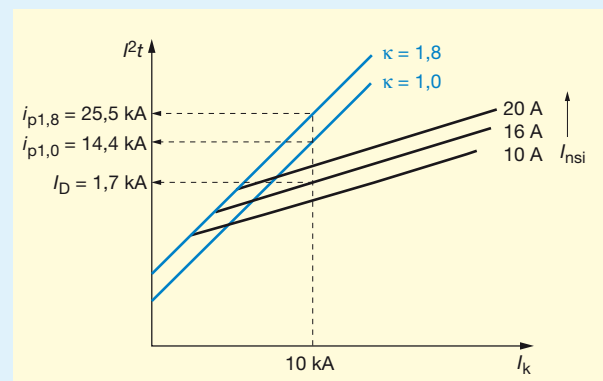
Tafel 3 Maximal zulässige βT -Durchlasswerte für Leitungsschutzschalter [4, Tabelle ZA.1 und ZA.2, Auszug]

	B-Charakteristik		C-Charakteristik	
	I_r bis 16 A	> 16 A bis 32 A	I_r bis 16 A	> 16 A bis 32 A
6000 A	35 000	42 000	45 000	55 000
10000 A	70 000	84 000	90 000	110 000

Tafel 4 Ausschalt- βT_a -Werte von Sicherungseinsätzen, gG und gM [5, Tabelle 7, Auszug]

I_n in A	16	20	25	32	40	50	63	80	100
βT_a in A ² s	1000	1800	3000	5000	9000	16000	27000	46000	86000

12 Strombegrenzungsdiagramm als Ablesebeispiel



lich der Angabe zur Betriebsklasse eingesetzt wird:

$$I_Q \geq I_k \text{ bei max. Vorsicherung} \quad (12)$$

Steuer- und Schutz-Schaltgeräte sind bis zur Angabe des Bemessungskurzschlussausschaltvermögens I_{cs} selbstschützend. Besondere Bedingungen und Prüfungen sind in [6] beschrieben.

5 Nachweis der Kurzschlussfestigkeit

5.1 Grundsätzliches

Bemessungswerte sind Festigkeitswerte, die einen Belastungsgrenzwert unter bestimmten Bedingungen ausdrücken. Kurzschlussbemessungswerte sind von den Herstellern angegebene Stromgrenzwerte, die im Falle eines Kurzschlusses von den Betriebsmitteln und Anlagen standgehalten werden. Sie sind nicht zu verwechseln mit dem sich zeitlich ändernden Strom, der

bezogen auf den Sinusverlauf als Effektiv- und Scheitelwert berechnet oder angegeben wird. Ist der Stromverlauf nicht symmetrisch zur Abszisse, wie kurze Zeit nach dem Kurzslusseintritt, ist der größte zeitliche Wert der Spitzenwert.

Beim Nachweis der Kurzschlussfestigkeit werden der entsprechende Kurzschlussbemessungswert und der jeweilige höchste zu erwartende Kurzschlussstrom miteinander verglichen, wobei der Bemessungswert nicht kleiner sein darf:

**Kurzschlussbemessungswert
des Herstellers**

$\geq$

höchster zutreffender Kurzschlussstrom

Es geht somit um die Frage, wie diese Bedingung für Schaltgerätekombinationen und Schaltgeräte sowie Kabel und Leitungen überprüft wird und was im Einzelnen besonders beachtet werden muss.

5.2 Schaltgerätekombinationen

Die **mechanische Kurzschlussfestigkeit** ist nachgewiesen, wenn der Stoßkurzschlussstrom i_p nicht größer ist als der angegebene Bemessungsstoßstrom I_{pk}

$$I_{pk} \geq i_p \quad (13)$$

Wird der Stoßkurzschlussstrom durch eine Schmelzsicherung oder einen strombegrenzenden Leistungsschalter nicht zugelassen und auf den Durchlassstrom begrenzt, wird die Anlage nur durch diesen Spitzenwert



VOR ORT

**Besuchen Sie uns
vom 25. bis 27. März 2009
auf der Fachmesse Eltefa
in Stuttgart:
Halle 4, Stand F 45**

mechanisch beansprucht. Es gilt dann als Nachweis:

$$I_{pk} \geq I_D \quad (14)$$

Da der Durchlassstrom erheblich geringer als der Stoßkurzschlussstrom sein kann, ist der Einsatz von Schmelzsicherungen eine wirkungsvolle Maßnahme zur Begrenzung der Kurzschlussstrombeanspruchung.

Die Wirkung der Kurzschlussstrombegrenzung soll anhand der Strombegrenzungskennlinien nach Bild 13 für eine 20-A-Schmelzsicherung verdeutlicht werden. Angenommen wird

- ein Anfangskurzschlusswechselstrom von 1 kA: Ausgehend von 1 kA auf der Abszisse als effektiver Kurzschlussstrom wird ein Durchlassstrom $I_D = 1$ kA abgelesen. Dieser Strom ist der Spitzenwert, der von der Sicherung durchgelassen wird. Ohne diese strombegrenzende Wirkung würde der Spitzenwert als Stoßkurzschlussstrom Werte zwischen 1,4 kA und 2,9 kA annehmen;
- ein Anfangskurzschlusswechselstrom von 50 kA: Bei 50 kA wird der Durchlassstrom $I_D = 3,5$ kA abgelesen. Der ohne Strombegrenzung auftretende Stoßkurzschlussstrom würde von 70 kA bis 127,3 kA (rechnerisch mit $\kappa = 1,8$ ermittelt) liegen.

Die **thermische Kurzschlussfestigkeit** ist gewährleistet, wenn der Bemessungskurzschlussstrom I_{cw} nicht kleiner ist als der thermisch gleichwertige Kurzschlussstrom I_{th} und dabei die Kurzschlussdauer T_k nicht größer ist als die zugehörige Bemessungskurzzeit t_{thr} :

$$I_{cw} \geq I_{th} \text{ wenn } T_k \geq T_{kr} \quad (15)$$

Die notwendige Kurzschlussdauer T_k kann durch die Einstellung der Zeitverzögerung an der Schutzeinrichtung angepasst werden. Ist aus Gründen der Selektivität eine höhere Auslösezeit T_k als die Bemessungskurzzeit T_{kr} erforderlich, wird nach DIN VDE 0103 [8] der zulässige Bemessungskurzzeitstrom auf einen geringeren Wert mit folgender Formel umgerechnet:

$$I_{cw} \cdot \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \geq I_{th} ; T_{kr} < T_k \quad (16)$$

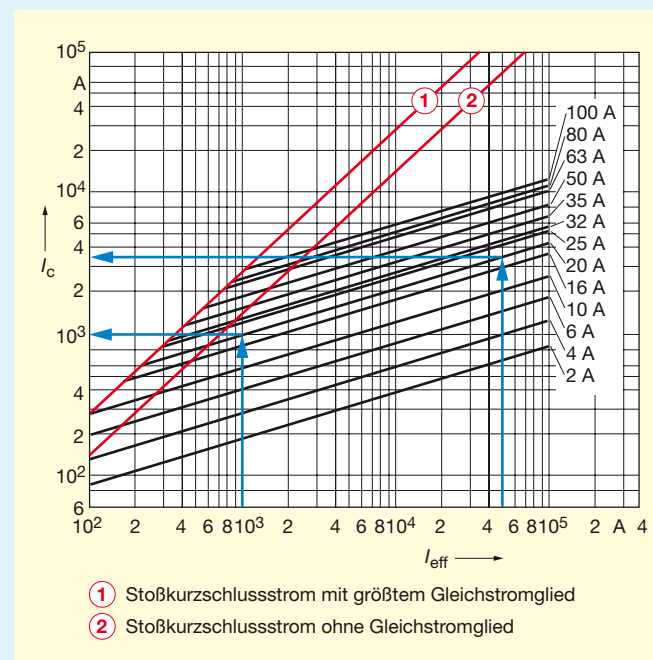
In Tafel 5 sind beispielsweise die für den Nachweis der mechanischen und thermischen Kurzschlussfestigkeit erforderlichen Bemessungskurzschlussströme für die Haupt- und die Verteilsammelschienen angegeben. Der vom Hersteller angegebene bedingte Bemessungskurzschlussstrom I_{cc} (Effektivwert) ist der Grenzwert des unbeeinflussten Kurzschlussstromes, der von der Schaltanlage beherrscht wird, wenn die vorgeschriebene Kurzschlusschutzeinrichtung (z. B. eine Schmelzsicherung) vor bzw. in der Schaltanlage/-verteiler eingesetzt ist:

$$I_{cc} \geq I_{th} \quad (17)$$

Ist für einen Schienenverteiler die Bedingung $I_{cw} \geq I_{th}$ nicht eingehalten, aber $I_{cc} \geq I_{th}$ erfüllt, dann ist der Schutz gewährleistet, wenn die

Tafel 5 Technische Daten von ABB-Niederspannungsschaltanlagen Typ MNS, Auszug Bemessungsströme (Bemessungs-Kurzzeit $T_{kr} = 1$ s)

Bemessungsströme	Hauptsammelschienen:	
	Bemessungsstrom I_e	bis 6300 A
	Bemessungsstoßstrom I_{pk}	bis 250 kA
Verteilschienen:	Bemessungs-Kurzzeitstrom I_{cw}	bis 100 kA
	Verteilschienen:	
	Bemessungsstrom I_e	bis 2000 A
	Bemessungsstoßstrom I_{pk}	bis 176 kA
	Bemessungs-Kurzzeitstrom I_{cw}	bis 80 kA



13 Strombegrenzungs-Diagramm für D-Schmelzeinsätze 2 – 100A gL/gG [7, Seite 3/9]

vorgegebene Kurzschlusschutzeinrichtung eingesetzt wird.

5.3 Kurzschlusschutz von Leitungen und Kabeln

Die thermische Kurzschlussfestigkeit von Leitungen ist für eine Kurzschlussdauer bis 5 s gewährleistet, wenn das Produkt aus dem Quadrat des Materialkoeffizienten k und dem Quadrat des Leiterquerschnitts S in mm^2 mindestens so groß ist, wie die Durchlass- bzw. Ausschaltenergie $I^2 T$ des Kurzschlusschutzgerätes SCPD:

$$(I^2 T)_{SCPD} \leq (k^2 S^2)_{\text{Leitung}} \quad (18)$$

Für Ausschaltzeiten kleiner 0,1 s bzw. beim Unterbrechen des Stromes durch strombegrenzende Schaltgeräte ist diese Bedingung (18) anzuwenden.

Der Materialkoeffizient k hängt von der Leitfähigkeit und dem Isolierstoff ab. Nachfolgend sind einige Werte von k nach [8] angegeben:

- 115 As/ mm^2 bei PVC-isolierten Kupferleitern
- 76 As/ mm^2 bei PVC-isolierten Aluminiumleitern
- 141 As/ mm^2 bei gummi-isolierten Kupferleitern.

In Tafel 6 sind einige berechnete Stromwärmewerte $I^2 T$ für Kunststoffkabel N(A)YY aufgelistet.

Zwei Beispiele sollen das prinzipielle Vorgehen beim Nachweis der thermischen Kurzschlussfestigkeit unter Anwendung von Herstellerangaben für die Ausschalt- und Durchlassenergie von Schmelzsicherungen, Leitungsschutzschaltern und Leistungsschaltern (Tafel 7, Bilder 14 und 15) zeigen:

Beispiel 1:

Ein Kunststoffkabel NYY mit einem Leiterquerschnitt $S = 1,5 \text{ mm}^2$ soll

- durch eine Schmelzsicherung D 16 A und
- durch einen Leitungsschutzschalter B16 mit einem Bemessungsschaltvermögen $I_{cn} = 10 \text{ kA}$ geschützt werden. Es wird ein Kurzschlussstrom von 10 kA angenommen.

Bei der Lösung ist zu beachten, dass der Ausschalt- $I^2 T$ -Wert der Schutzeinrichtung nach Bedingung (18) nicht größer sein darf als die mit $k^2 S^2$ ausgedrückte thermische Festigkeit des Kabels.

- a) $(I^2T)_{a/Sich} \leq (115^2 \cdot 1,5^2) \text{ A}^2\text{s} = 29756 \text{ A}^2\text{s}$
Mit dem $(I^2T)_{a/Sich}$ -Wert aus Tafel 7 für 230 V und 16 A ist:
 $890 \text{ A}^2\text{s} < 29756 \text{ A}^2\text{s}$.

Der Schutz ist nachgewiesen!

Tafel 6 Zulässige k^2S^2 - bzw. I^2T -Werte für Kunststoffkabel

S in mm ²	k^2S^2 in A ² s	
	NYN	NAYN
1,5	29756	-
2,5	82656	36100
4	211600	92416
6	476100	207936
10	1322500	577600
16	3385600	1478656
25	8265625	3610000

Tafel 7 Ausschalt- I^2T_a -Werte (Joule-Integral) für D-Schmelzeinsätze 2-100 A gL/gG [7, Seite 3/9]

I_{nSich} in A	I^2T_{max} in A ² s	
	AC 230 V	AC 500V
2	6,6	10,7
4	22	34
6	66	100
10	240	340
16	890	1090
20	1200	1620
25	2400	3450
32	3450	4850
35	5200	7200
50	9750	14500
63	16500	26500
80	23000	32500
100	44000	65000

- b) $(I^2T)_{a/MCB} \leq (115^2 \cdot 1,5^2) \text{ A}^2\text{s} = 29756 \text{ A}^2\text{s}$
Mit der genormten Angabe des maximal zulässigen Ausschalt- I^2T -Wertes in Tafel 3 **schützt** der Leitungsschutzschalter bei 10 kA das Kabel **nicht**:
 $70000 \text{ A}^2\text{s} > 29756 \text{ A}^2\text{s}$.

Aus den Herstellerangaben in Bild 14, die niedrigere Werte als die vorgegebenen Normwerte aufweisen, wird bei 10 kA ein Durchlasswert von 45000 A²s ausgewiesen. Dieser ist immer noch zu groß.

Aus dem gleichen Bild 14 ist zu erkennen, dass bei einem Kurzschlussstrom $I_k \approx 7 \text{ kA}$ die zulässige Stromwärme durchgelassen wird:

$$(I^2T)_{a/MCB} \approx 29756 \text{ A}^2\text{s}.$$

Deshalb gilt bis zu einem Kurzschlussstrom von 7 kA die thermische Kurzschlussfestigkeit als nachgewiesen.

Beispiel 2:

Es wird für einen größeren Leiterquerschnitt die thermische Kurzschlussfestigkeit überprüft. Ein Kabel NAYY mit einem Leiterquerschnitt $S = 16 \text{ mm}^2$ soll

- a) durch eine Schmelzsicherung D 63 A,
b) durch einen Haupt-Leitungsschutzschalter B63 mit einem Bemessungsschaltvermögen $I_{cn} = 25 \text{ kA}$ oder
c) durch einen Leistungsschalter 63 A geschützt werden.

Es wird ein zu erwartender Kurzschlussstrom von 10 kA angenommen.
Überprüfung der Bedingung (18):

- a) $(I^2T)_{a/Sich} \leq (76^2 \cdot 16^2) \text{ A}^2\text{s} = 1478656 \text{ A}^2\text{s}$
Mit dem $(I^2T)_{a/Sich}$ -Wert aus Tafel 7 für 230 V und 63 A ist:
 $16500 \text{ A}^2\text{s} < 1478656 \text{ A}^2\text{s}$.

Der Schutz ist nachgewiesen!

- b) $(I^2T)_{a/MCB} \leq 1478656 \text{ A}^2\text{s}$

Aus Bild 14 wird ein $(I^2T)_{a/MCB}$ -Wert von ca. 82000 A²s abgelesen. Damit ist die Bedingung (18) erfüllt:
 $82000 \text{ A}^2\text{s} < 1478656 \text{ A}^2\text{s}$

- c) $(I^2T)_{a/MCCB} \leq 1478656 \text{ A}^2\text{s}$

Aus Bild 15 wird ein $(I^2T)_{a/MCCB}$ -Wert von ca. 180000 A²s abgelesen und damit die Bedingung (18) erfüllt:

Der Einsatz der drei Kurzschlusschutzrichtungen ist für diesen Fall möglich.

Nachweis mittels des Bemessungskurzzeitstromes I_{cw} . Für Kabel wird von den Herstellern der Strom bezogen auf eine Bemessungskurzzeit T_{kr} angegeben. Der Bemessungskurzzeitstrom I_{cw} , der ja nur für die Bemessungskurzzeit T_{kr} gilt, wird mit der tatsächlichen Kurzschlussdauer T_k umgerechnet und dann mit dem thermisch gleichwertigen Kurzschlussstrom I_{th} verglichen.

$$I_{cw} \cdot \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \geq I_{th} \quad ; \quad T_{kr} < T_k \quad (19)$$

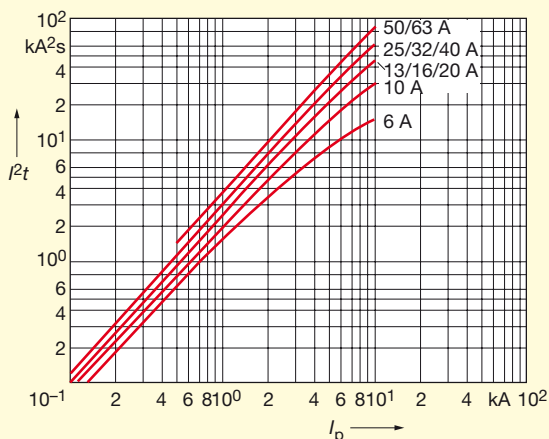
Beispiel

Für ein Kabel wird ein Bemessungskurzzeitstrom $I_{cw} = 10 \text{ kA}$ bezogen auf eine Bemessungskurzzeit $T_{kr} = 1 \text{ s}$ angegeben. Vom vorgeordneten Leistungsschalter ist im Kurzschlussfall eine Gesamtausschaltzeit von $T_k = 2 \text{ s}$ zu erwarten.

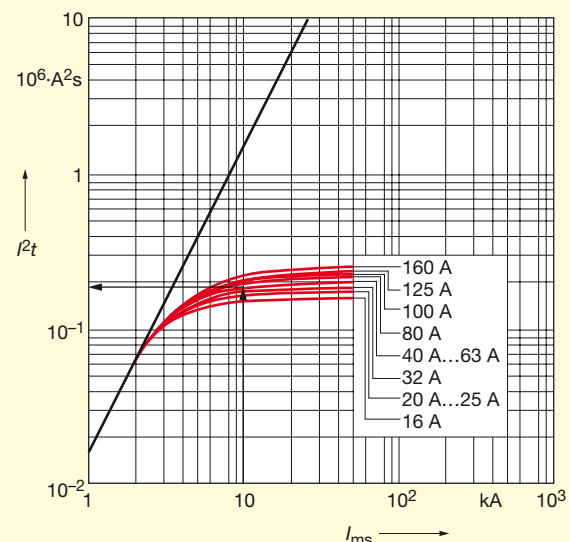
Rechnerisch wurde ein thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom $I_{th} = 12 \text{ kA}$ ermittelt. Nachweis der thermischen Kurzschlussfestigkeit:

$$15 \text{ kA} \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ s}}{2 \text{ s}}} = 10,6 \text{ kA} < 12 \text{ kA}$$

Die Bedingung ist nicht erfüllt.



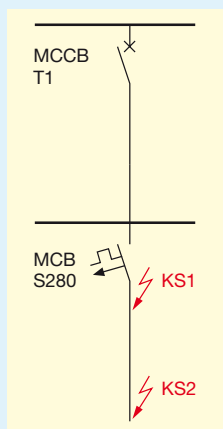
14 Durchlass- I^2T -Werte eines Leitungsschutzschalters mit der Charakteristik B [7, Seite 1/54]



15 Spezifische Durchlassenergie von Niederspannungs-Kompaktleistungsschaltern [10, Seite 4/19]

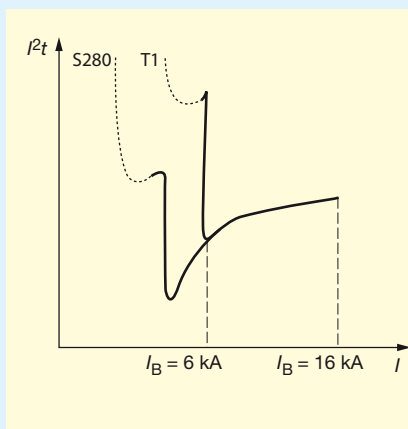
Tafel 8 Ausschnitt aus einer Koordinationstabelle für den Back-up-Schutz [11, Seite 1/7]

Lastseite	Charakteristik	I_n in A	Einspeiseseite	T1	T2
			Ausführung	B	C
S200	B,C,K,Z	0,5...63	I_{cu} in kA	16	25
S200M	B,C,D	0,5...63	10	16	25
S200P	B,C, D, K, Z	32...63	15	16	25
S280	B,C	80, 100	6	16	16
S290	C,D	80...125	15	16	25



16 Schaltbild zum Beispiel Back-up-Schutz

17 Durchlass- I^2t -Kennlinien zum Beispiel Back-up-Schutz



Die Formel nach T_k umgestellt und damit die maximal zulässige Zeit berechnet:

$$T_k \leq \left(\frac{I_{cw}}{I_{th}} \right)^2 \cdot T_{kr} = \left(\frac{15 \text{ kA}}{12 \text{ kA}} \right)^2 \cdot 1 \text{ s} = 1,56 \text{ s}$$

Wenn der Einstellwert für den Kurzschlussauslöser so gewählt wird, dass die Ausschaltzeit nicht größer ist als 1,56 s, ist die thermische Kurzschlussfestigkeit gewährleistet.

5.4 Back-up-Schutz

5.4.1 Vorsicherung

Wenn das doch begrenzte Bemessungs-Ausschaltvermögen von Leitungsschutzschaltern nicht ausreicht, weil der auszuschaltende Kurzschlussstrom höher ist, ist es üblich, den Kurzschlussstrom durch eine Vorsicherung sicher ausschalten zu lassen. Dafür wird die maximal zulässige Bemessungssicherungsstromstärke vorgegeben.

Der eigentliche Vorteil der sofortigen Wiedereinschaltbarkeit des Leitungsschutzschalters geht dabei allerdings verloren, weil ja der Schmelzeinsatz gewechselt werden muss.

5.4.2 Vorgeordnete Schalter

Back-up-Schutz als Rückschutz wird angewandt, wenn zwei Leistungsschalter oder ein Haupt-Leitungsschutzschalter mit einem Leitungsschutzschalter in Reihe angeordnet sind und das Ausschaltvermögen des nachgeordneten Schalters bei einem Kurzschluss an seiner Einbaustelle nicht ausreicht. Der vorgeordnete Schalter muss dann die Durchlassenergie so begrenzen, damit das Ausschalt-

vermögen des nachgeordneten Schalters nicht überschritten wird. Nachteilig ist, dass beide Schalter reagieren und damit unselektiv auslösen.

In Tafel 8 ist der Ausschnitt einer Koordinationstabelle für den Back-up-Schutz zwischen hintereinander geschalteten Schaltern dargestellt. Es ist der Wert in kA angegeben, für den der Back-up-Schutz bei der angegebenen Schalterkombination geprüft ist.

Beispielsweise soll entsprechend Bild 16 auf der Einspeiseseite der Leistungsschalter T1 mit der Auslösecharakteristik C und auf der Lastseite der Leitungsschutzschalter S280 angeordnet sein. Für den vorgeordneten Leistungsschalter T2 wird ein Bemessungsgrenzkurzschlussausschaltvermögen $I_{cu} = 25 \text{ kA}$ angegeben. Er kann einen Kurzschlussstrom bis 25 kA sicher ausschalten. Der nachgeordnete Schalter S280 hat eine geringeres Schaltvermögen von $I_{cu} = 6 \text{ kA}$. Kurzschlussströme größer 6 kA beherrscht dieser Schalter allein nicht.

Ein höherer Kurzschlussstrom ist an der Einbaustelle von S280 (Kurzschlussstelle KS1) im Vergleich zur KS2 zu erwarten.

In der Tafel 8 ist im Kreuzungsfeld der Schalter T1 und S280 ein bedingter Kurzschlussbemessungswert von 16 kA angegeben. Das bedeutet: Wenn der Anfangskurzschlusswechselstrom an der Einbaustelle von S280 größer wird als 6 kA ist die sichere Ausschaltung durch den vorgeordneten Schalter T1 bis 16 kA sichergestellt.

Liegt der Kurzschluss möglicherweise am Ende einer längeren Leitung (Kurzschlussstelle KS2), dann kann der Kurzschlussstrom

kleiner als 6 kA sein und der Leitungsschutzschalter S280 unterbricht den Fehlerstrom allein.

In Bild 17 sind für diesen Fall die I^2t -Auslösekennlinien der Schalter dargestellt. Bis 6 kA schaltet der Leitungsschutzschalter allein und damit selektiv. Ab 6 kA, dem sogenannten Übernahmestrom I_B , bis 16 kA schalten beide Schalter gleichzeitig ab.

Der Übernahmestrom I_B kennzeichnet die Stromgrenze, ab dem die zwei Überstromschutzeinrichtungen auch als eine Einheit betrachtet werden kann.

6 Fazit

Der Nachweis der Kurzschlussfestigkeit erfolgt über den Vergleich der von den Herstellern bereitgestellten Kurzschlussbemessungswerte und den entsprechenden Kurzschlussgrößen am Einbaort der Betriebsmittel und elektrischen Anlagen. Beim Vergleich dürfen die Strom-Festigkeitswerte von den Kurzschlussströmen nicht überschritten werden.

Wenn der Kurzschlussstrom nach sehr kurzer Zeit ($T_k < 0,1 \text{ s}$) durch Sicherungen oder strombegrenzende Leistungsschalter ausgeschaltet wird, ist der Nachweis der thermischen Kurzschlussfestigkeit mit den Ausschalt- bzw. Durchlass- I^2t -Werten durchzuführen.

Die normative Grundlage für die Anwendung der Kurzschlussbemessungswerte in Niederspannungsanlagen ist die EN 60947-1 (VDE 0660-100) Beiblatt 1 [6].

Literatur

- [1] DIN VDE 0102:2002-07 Berechnung von Kurzschlussströmen in Drehstromnetzen.
- [2] Kny, K.-H.: Kurzschluss-Schutz in Gebäuden. 1. Auflage. Berlin: Verlag Technik 1999.
- [3] Berechnen des Kurzschlussstroms nach neuer VDE 0102. Elektropaktiker, Berlin 56 (2002) 12, S. 1002-1005.
- [4] DIN EN 60898-1 (VDE 0641-11):2006-03 Elektrisches Leitungsmaterial – Leitungsschutzschalter für Hausinstallationen und ähnliche Zwecke – Teil 1 Leitungsschutzschalter für Wechselstrom.
- [5] DIN EN 60269-1 (VDE 0636-1):2008-03 Niederspannungssicherungen – Teil 1 Allgemeine Anforderungen.
- [6] DIN EN 60947-1 Beiblatt 1 (VDE 0660-100) Beiblatt 1: 2008-02 Niederspannungsschaltgeräte – Überstrom-Schutzeinrichtungen, Teil 1: Anwendung der Kurzschlussbemessungswerte.
- [7] Niederspannungs-Schutzschalttechnik BETA. Siemens-Katalog ET B1 2008.
- [8] DIN EN 60865-1 VDE 0103:1994-11 Kurzschlussströme – Berechnung der Wirkung, Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren.
- [9] DIN VDE 0100 Teil 430:1991-11 Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V. Schutzmaßnahmen; Schutz bei Kabeln und Leitungen bei Überstrom.
- [10] ABB-Katalog, NS-Kompaktleistungsschalter bis 1600 A, Tmax. Generation T.
- [11] Koordinationstabellen ABB.