

# Berechnen des Kurzschlussstroms nach neuer VDE 0102

Änderungen nach DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2002-07

K.-H. Kny, Magdeburg

Nachfolgend werden Änderungen in der Norm genannt und an Beispielen erläutert. Die Darlegungen können den verantwortlichen Ingenieur vom eigenen Studium der Norm nicht befreien, aber ein schnelleres Zurechtfinden in der Vorschrift und mehr Sicherheit bei der Handhabung ermöglichen.

## 1 Gültigkeit der Norm

Die Europäische Norm EN 60909-0:2001 [1] zur Berechnung von Kurzschlussströmen in Drehstromnetzen wurde mit Wirkung vom 01.07.2002 angenommen. Die neue Norm – mit dem Status einer Deutschen Norm – ist auf der Grundlage von [2] entstanden und gilt als Ersatz für [3] und [4], die aber noch bis 01.01.2003 angewendet werden dürfen.

## 2 Generatornaher und generatorferner Kurzschluss

In der Einteilung der Norm ist nicht mehr die Unterscheidung von generatornahem und generatorfernem Kurzschluss vorhanden. Diese formale Änderung soll die Anwendung der Norm verbessern. Die Unterscheidung bei Kurzschluss bezüglich des Einflusses der Ausgleichsvorgänge im Generator auf die Höhe des Anfangskurzschlussstromes – da physikalisch begründet – ist nach wie vor nötig: Wenn der dreipolige Anfangskurzschlussstrom größer ist als das Zweifache des Generatorbemessungsstromes  $I_{TG}$  liegt ein generatornaher Kurzschluss vor. Von einem generatorfernen Kurzschluss soll ausgegangen werden, wenn die Transformatorreaktanz  $X_T$  größer als das Zweifache der am Anschlusspunkt Q vorgeschalteten Reaktanz  $X_Q$  (oft die Netzreaktanz  $X_N$  bzw. Netzimpedanz  $Z_N$ ) ist:  $X_T > 2 X_Q$ .

## 3 Anschlusspunkt Q

Als Bezugspunkt für Kurzschlussberechnungen gilt der Anschlusspunkt Q (Bild 1), für den die erforderlichen Angaben des

Autor

Dipl.-Ing. Karl-Heinz Kny ist Lehrkraft für Elektroenergieversorgung und Projektierung elektr. Anlagen an der FH Magdeburg

vorgeordneten Netzes ( $U_n, R_Q/X_Q$ ) gelten und für den der Anfangskurzschlusswechselstrom bei einem dreipoligen Kurzschluss an dieser Stelle durch das EVU angegeben wird oder anderweitig (Berechnung, Messung) ermittelt wurde.

Die Anfangskurzschlusswechselstromleistung  $S_k''$  wird in der überarbeiteten Norm [1] für die Berechnung nicht mehr verwendet.

Mit dem Anfangskurzschlusswechselstrom  $I_{kQ}''$  am Anschlusspunkt Q wird die Impedanz des vorgeschalteten Netzes mit Gleichung (1) berechnet:

$$Z_Q = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I_{kQ}''} \quad (1)$$

Mit dem angegebenen Quotienten  $R_Q/X_Q$  kann die Reaktanz  $X_Q$  mit:

$$X_Q = \frac{Z_Q}{\sqrt{1 + (R_Q/X_Q)^2}} \quad (2)$$

und die Resistanz  $R_Q$  mit:

$$R_Q = X_Q \cdot \left( \frac{R_Q}{X_Q} \right) \quad (3)$$

ermittelt werden.

Die bisher in [2] ausgewiesene Gleichung:

$$Z_Q = \frac{c \cdot U_{nQ}^2}{S_{kQ}''} \quad (4)$$

mit der Rechengröße

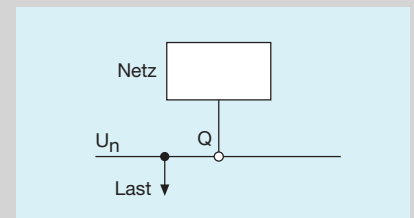
$$S_{kQ}'' = \sqrt{3} \cdot U_{nQ} \cdot I_{kQ}'' \quad (5)$$

hat weiterhin Gültigkeit und kann in Bezug auf vorhandene Netzentlagen bzw. Schaltpläne, in denen  $S_k''$  als Berechnungsgröße angegeben ist, verwendet werden.

## 4 Spannungsfaktor c

Die angestrebte Vereinheitlichung der Nennspannungen im Niederspannungsbereich machte eine Neufestlegung der Spannungsfaktoren c erforderlich.

1983 wurden neue Nennspannungen eingeführt, die hinsichtlich der zulässigen Toleranz nach oben mit +6% bis 2003 begrenzt sind. Ab dem Jahr 2004 gilt für die zulässige



1 Kennzeichnung von Anschlusspunkt Q

Tafel 1 Spannungsfaktor c [1], S. 19

Nennspannung $U_n$	Spannungsfaktor c für die Berechnung des größten <sup>1)</sup> / kleinsten Kurzschlussstromes	
	$c_{max}$	$c_{min}$
100 V bis 1000 V	1,05 <sup>3)</sup> 1,10 <sup>4)</sup>	0,95
Mittelspannung > 1 kV bis 35 kV	1,10	1,00
Hochspannung <sup>2)</sup> > 35 kV	1,10	

<sup>1)</sup>  $c_{max} \cdot U_n$  sollte die höchste Spannung  $U_m$  für Betriebsmittel in Netzen nicht überschreiten.  
<sup>2)</sup> Wenn keine Nennspannung genormt ist, sollte  $c_{max} U_n = U_m$  oder  $c_{min} U_n = 0,90 U_m$  angewendet werden.  
<sup>3)</sup> Für Niederspannungsnetze mit einer Toleranz + 6 %  
<sup>4)</sup> Für Niederspannungsnetze mit einer Toleranz +10%

Betriebsspannung  $U_b = U_n \pm 10\%$ . Deshalb ist die Unterscheidung von  $c_{max}$  im Niederspannungsbereich bezogen auf die maximal zulässige Toleranz notwendig (Tafel 1). Hinsichtlich der Anwendung der Norm gilt nicht mehr die Begrenzung der Nennspannung  $U_n \leq 230$  kV; Berechnungen der Ströme bei Kurzschluss nach [1] können bis  $U_n = 380$  kV durchgeführt werden.

## 5 Korrekturfaktoren für Kurzschlussimpedanzen von Betriebsmitteln

### 5.1 Transformatoren

Zur Berechnung der Transformatorimpedanz (6) wurde ein Korrekturfaktor  $K_T$  eingeführt. Er ist für Zweiwicklungs- und Dreiwicklungstransformatoren sowohl für das Mitsystem als auch für das Gegen- und Nullsystem anzuwenden.

$$\underline{Z}_{TK} = K_T \cdot \underline{Z}_T = K_T \cdot (R_T + jX_T) \quad (6)$$

Ermittelt wird der Korrekturfaktor für Zweiwicklungs-(Netz-)transformatoren mit Gleichung (7):

$$K_T = 0,95 \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_T} \quad (7)$$

Hierin ist der Spannungsfaktor  $c_{max}$  nach Tafel 1 einzusetzen und  $x_T$  die bezogene Reaktanz des Transformators nach Gl. (8):

$$x_T = \frac{X_T}{Z_T} \cdot z_T \quad \text{bzw.} \quad x_T = \frac{X_T}{Z_T} \cdot \frac{u_K / \%}{100\%} \quad (8)$$

In [1], Seite 26 wird weiterhin ein Korrekturfaktor

**Tafel 1** Impedanzen von Öltransformatoren [4], berechnet mit einer Bemessungsspannung  $U_{rT} = 420 \text{ V}$  und dem Korrekturfaktor  $K_T$  (vergleiche [5], Tafel 3.20)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$S_{nT}$ kVA	$u_k$ %	$P_k$ kW	$u_r$ %	$u_x$ %	$R_T$ mΩ	$X_T$ mΩ	$Z_T$ mΩ	$x_T$	$K_T$	$R_{TK}$ mΩ	$X_{TK}$ mΩ	$Z_{TK}$ mΩ	$R_{0TK}$ mΩ	$X_{0TK}$ mΩ
50	4	1100	2,2	3,341	77,616	117,88	141,14	0,033	0,978	75,909	115,3	138	75,909	109,5
100	4	1750	1,75	3,597	30,87	63,452	70,563	0,036	0,976	30,13	61,93	68,88	30,13	58,84
160	4	2350	1,469	3,721	16,193	41,025	44,106	0,037	0,976	15,805	40,04	43,05	15,805	38,04
200	4	2850	1,425	3,738	12,569	32,97	35,285	0,037	0,976	12,267	32,18	34,44	12,267	30,58
250	4	3250	1,3	3,783	9,173	26,693	28,226	0,038	0,975	8,944	26,03	27,53	8,944	24,73
315	4	3900	1,239	3,804	6,934	21,303	22,404	0,038	0,975	6,76	20,77	21,85	6,76	19,74
400	4	4600	1,15	3,832	5,072	16,9	17,645	0,0383	0,975	4,945	16,48	17,21	4,945	15,66
500	4	5500	1,1	3,846	3,881	13,569	14,114	0,038	0,975	3,784	13,23	13,77	3,784	12,57
630	4	6500	1,032	3,865	2,889	10,822	11,201	0,039	0,975	2,817	10,56	10,93	2,817	10,04
800	6	8400	1,05	5,908	2,316	13,028	13,233	0,059	0,963	2,23	12,55	12,75	2,23	11,93
1000	6	10500	1,05	5,908	1,853	10,422	10,586	0,059	0,963	1,784	10,04	10,2	1,784	9,54
1250	6	13000	1,04	5,91	1,468	8,341	8,47	0,059	0,963	1,414	8,04	8,17	1,414	7,64
1600	6	17000	1,063	5,906	1,172	6,512	6,617	0,059	0,963	1,129	6,28	6,39	1,129	5,97
2000	6	21500	1,075	5,903	0,949	5,207	5,293	0,059	0,963	0,914	5,02	5,11	0,914	4,77
2500	6	26500	1,06	5,906	0,748	4,168	4,235	0,059	0,963	0,721	4,02	4,09	0,721	3,82

turfaktor  $K_T$  angegeben, der die Möglichkeit einer genaueren Bestimmung der wirklichen Impedanz bietet, wenn der Belastungszustand des Transformators vor dem Kurzschluss bekannt ist.

$$K_T = \frac{U_n}{U^b} \cdot \frac{c_{\max}}{1 + x_T \cdot (I_T^b / I_{rT}) \cdot \sin \varphi_T^b} \quad (9)$$

In Gleichung (9) ist  $U_b$  die höchste Betriebsspannung,  $I_T^b$  der höchste Betriebsstrom und  $\varphi_T^b$  der Winkel des Leistungsfaktors vor dem Kurzschluss.

### Beispiel 1:

#### Ermittlung der Impedanzen eines Verteilungstransformators

Für einen Ortsnetztransformator mit einer niederspannungsseitigen Bemessungsspannung  $U_{rT} = 420 \text{ V}$ , einer Bemessungsscheinleistung  $S_{rT} = 400 \text{ kVA}$  und der Schaltgruppe Dy5 sind die Impedanzen im Mitsystem  $R_T$ ,  $X_T$  und  $Z_T$  sowie im Nullsystem  $R_{0T}$  und  $X_{0T}$  zu ermitteln. Im Datenblatt für den Transformator ist als Kurzschlussverlustleistung  $P_{krT} = 4,6 \text{ kW}$  und für die Kurzschlussspannung  $u_{kr} = 4 \%$  angegeben.

#### a) Mit- und Gegensystem

Die Impedanzen im Mit- und Gegensystem sind bei Transformatoren gleich:

$$Z_{T(1)} = Z_{T(2)} = Z_T$$

$$Z_T = \frac{u_k^2 \cdot U_{rT}^2}{100\% \cdot S_{rT}} = \frac{4\% \cdot (420 \text{ V})^2}{100\% \cdot 400 \text{ kVA}} = 17,64 \text{ m}\Omega \quad (10)$$

$$R_T = \frac{P_{krT} \cdot U_{rT}^2}{S_{rT}^2} = \frac{4,6 \text{ kW} \cdot (420 \text{ V})^2}{(400 \text{ kVA})^2} = 5,07 \text{ m}\Omega \quad (11)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (12)$$

$$X_T = \sqrt{17,64^2 - 5,07^2} \text{ m}\Omega = 16,9 \text{ m}\Omega$$

Mit Gleichung (8) wird die bezogene Reaktanz des Transformators:

$$x_T = \frac{16,9 \text{ m}\Omega}{17,64 \text{ m}\Omega} \cdot \frac{4\%}{100\%} = 0,038$$

Der Korrekturfaktor  $K_T$  mit  $c_{\max}$  aus Tafel 1 und der zuvor ermittelten transienten Reaktanz  $x_T$  ist nach Gleichung (7):

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{1,05}{1 + 0,6 \cdot 0,038} = 0,975$$

und die komplexe korrigierte Transformatorimpedanz nach Gleichung (6):

$$\underline{Z}_{TK} = 0,975 \cdot (5,07 + j 16,9) \Omega = (4,945 + j 16,482) \Omega = 17,2 \text{ m}\Omega \cdot e^{73,3^\circ}$$

Unter Verzicht der komplexen Rechnung können die korrigierten Transformatorimpedanzen auch folgendermaßen berechnet werden:

$$R_{TK} = 0,975 \cdot 5,07 \Omega = 4,945 \text{ m}\Omega$$

$$X_{TK} = 0,975 \cdot 16,9 \Omega = 16,482 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{TK} = 0,975 \cdot 17,64 \Omega = 17,2 \text{ m}\Omega$$

#### b) Nullsystem

Für das Nullsystem gilt für Transformatoren mit der Schaltgruppe Dy5 [3]:

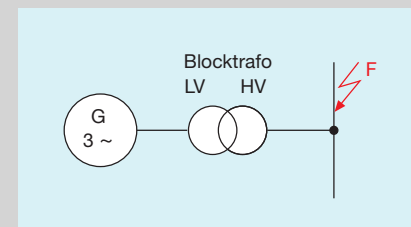
$$\frac{R_{T(0)}}{R_{T(1)}} = 1 \quad \text{und} \quad \frac{X_{T(0)}}{X_{T(1)}} = 0,95$$

Damit wird

$$R_{TK(0)} = 4,945 \text{ m}\Omega$$

und

$$X_{TK(0)} = 0,95 \cdot 16,482 \text{ m}\Omega = 15,66 \text{ m}\Omega$$



2 Kraftwerksblock

In Tafel 2 sind mit der Bemessungsspannung  $U_{rT} = 420 \text{ V}$  und dem Korrekturfaktor  $K_T$  berechnete Impedanzen von Öltransformatoren [4] angegeben.

Die Korrekturfaktoren für Dreiwicklungstransformatoren sind analog aufgebaut und können [1], Seite 26 entnommen werden.

## 5.2 Kraftwerksblöcke

Bisher wurden für die Bestimmung der Impedanzen von Generatoren und Blocktransformatoren in Kraftwerken (Bild 2) folgende Möglichkeiten angegeben:

- Einzelne Ermittlung der Generator- und Blocktransformatorimpedanz
- Berechnung der Gesamtimpedanz des Kraftwerksblockes

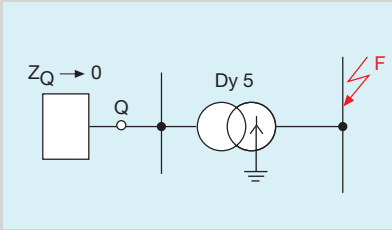
In der neuen Norm [1] ist nur noch die Ermittlung der gesamten Impedanz des Kraftwerksblockes vorgesehen. Allerdings mit den beiden Möglichkeiten: mit und ohne Stufenschalter. Nachfolgend sind die Berechnungsformeln angegeben.

#### a) Kraftwerksblöcke mit Stufenschaltern

$$\underline{Z}_S = K_S \left( I_r^2 \cdot \underline{Z}_G + \underline{Z}_{THV} \right) \quad (13)$$

mit dem Korrekturfaktor

$$K_S = \frac{U_{nQ}^2}{U_{rG}^2} \cdot \frac{U_{rTLV}^2}{U_{rTHV}^2} \cdot \frac{c_{\max}}{1 + |x_d - x_T| \cdot \sin \varphi_{rG}} \quad (14)$$



3 Kurzschluss auf der NS-Seite eines Ortsnetztransformators

b) Kraftwerksblöcke ohne Stufenschalter

$$Z_{SO} = K_{SO} (t_r^2 \cdot Z_G + Z_{THV}) \quad (15)$$

mit dem Korrekturfaktor

$$K_S = \frac{U_{nQ}}{U_{rG}(1+p_G)} \cdot \frac{U_{rTLV}}{U_{rTHV}} \cdot (1 \pm p_T) \frac{c_{max}}{1 + x_d'' \sin \varphi_{rG}} \quad (16)$$

In den Gleichungen (13) bis (16) bedeuten:

- $Z_s$  Korrigierte Impedanz des Kraftwerkblockes mit Stufenschalter, bezogen auf die OS-Seite
- $Z_{SO}$  Korrigierte Impedanz des Kraftwerkblockes ohne Stufenschalter, d. h. bei konstantem Übersetzungsverhältnis  $t$ , bezogen auf die Oberspannungsseite
- $Z_G$  Subtransiente Impedanz des Generators (ohne Korrekturfaktor  $K_G$ )
- $Z_{THV}$  Impedanz des Blocktransformators, bezogen auf die OS-Seite (ohne Korrekturfaktor  $K_T$ )
- $U_{nQ}$  Netzennspannung am Anschlusspunkt Q des Kraftwerkblockes
- $U_{rG}$  Bemessungsspannung des Generators
- $x_d''$  Bezogene subtransiente Reaktanz des Generators, bezogen auf die Bemessungsimpedanz mit  $x_d'' = X_d'' / Z_{rG}$  mit  $Z_{rG} = U_{rG}^2 / S_{rG}$
- $\varphi_{rG}$  Phasenwinkel zwischen  $I_{rG}$  und  $U_{rG} / \sqrt{3}$
- $x_T$  Bezogene Reaktanz des Blocktransformators bei Hauptanzapfung des Stufenschalters  $x_T = X_T / (U_{rT}^2 / S_{rT})$
- $t_r$  Bemessungswert des Übersetzungsverhältnisses des Blocktransformators  $t_r = U_{rTHV} / U_{rTLV}$
- $1 \pm p_T$  ist einzuführen, wenn der Blocktransformator Anzapfungen hat und wenn eine dieser Anzapfungen dauernd verwendet wird, sonst ist  $1 \pm p_T = 1$  zu setzen.

6. Berechnung der Kurzschlussströme

Das folgende Beispiel zeigt den Einfluss des veränderten Spannungsfaktors  $c$  und der korrigierten Transformatorimpedanz  $Z_{TK}$  auf die Höhe der Kurzschlussströme.

Tafel 3 Faktoren  $\alpha$  und  $\beta$  zur Kurzschlussstromberechnung nach Gleichung [1], Seite 57

Kurzschluss in F	dreipolig	zweipolig mit Erdberührung	einpolig	
Betroffene Leiter auf der Niederspannungsseite	L1, L2, L3 L1, L2, L3, N(E)	L1, L3, N(E)	L1, L2, N(E) L2, L3, N(E)	L2, N(E) <sup>1)</sup>
Faktor $\beta$	0	2	0,5	0,5
Faktor $\alpha$ für die Ströme				
$I''_{kL1}$	0,5	1,5	-	-
$I''_{kL2}$	1,0	-	1,5	1,5
$I''_{kL3}$	0,5	1,5	-	-
$I''_{kN}$	-	3,0	1,5	1,5
Faktor $\alpha$ (HV) für die Ströme $I''_{kV}$ $I''_{kL2HV} = I''_{kL3HV}$	$\frac{1}{t_r} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{t_r} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{t_r} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{t_r} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$

<sup>1)</sup> Bei einpoligen Erdkurzschlüssen L1, N(E) oder L3,N(E) werden die resultierenden kleinen Ströme durch die Leerlaufimpedanzen des Transformators verursacht und sind vernachlässigbar.

Beispiel 2:

Berechnung von Kurzschlussströmen

Berechnet wird der maximale dreipolige und minimale einpolige Kurzschlusswechselstrom bei Klemmenkurzschluss auf der Niederspannungsseite eines Ortsnetztransformators (Bild 3), wenn die vorgeordnete Netzimpedanz vernachlässigt wird.

Zugrunde gelegt wird der im Beispiel 1 angegebene Transformator mit der berechneten korrigierten Impedanz.

Unter Berücksichtigung des in Tafel 1 zu treffenden Spannungsfaktors  $c_{max} = 1,05$  und der korrigierten Kurzschlussimpedanz  $Z_{TK} = 17,2 \Omega$  wird der maximale dreipolige Kurzschlusswechselstrom:

$$I_{k(3)max} = \frac{c_{max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{TK}} = \frac{1,05 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 17,2 \Omega} = 14,1 \text{ kA} \quad (17)$$

Mit dem bisher gültigen Spannungsfaktor  $c_{max} = 1,0$  und der Transformatorimpedanz  $Z_T$  ergibt die Berechnung einen etwas geringeren dreipoligen Kurzschlussstrom:

$$I_{k(3)max} = \frac{1,0 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 17,64 \Omega} = 13,09 \text{ kA}$$

Bei der Überprüfung der Kurzschlussfestigkeit liegt man mit  $I_{k(3)} = 14,1 \text{ kA}$  vergleichsweise auf der sicheren Seite.

Wenn der Kurzschlussort nicht an den Sekundärklemmen des Transformators angenommen wird, sondern in der nachfolgenden Anlage und es werden richtigerweise die Netz- und Leitungsimpedanzen berücksichtigt, dann macht sich die Korrektur der Transformatorimpedanz auf die Höhe der

$$I_{k(1)min} = \frac{c_{min} \cdot U_n}{\sqrt{(2 \cdot R_T + R_{T(0)})^2 + (2 \cdot X_T + X_{T(0)})^2}} \quad (18)$$

$$I_{k(1)min} = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{(2 \cdot 4,945 + 4,945)^2 + (2 \cdot 16,482 + 15,66)^2 \text{ m}\Omega}} = 4,32 \text{ kA}$$

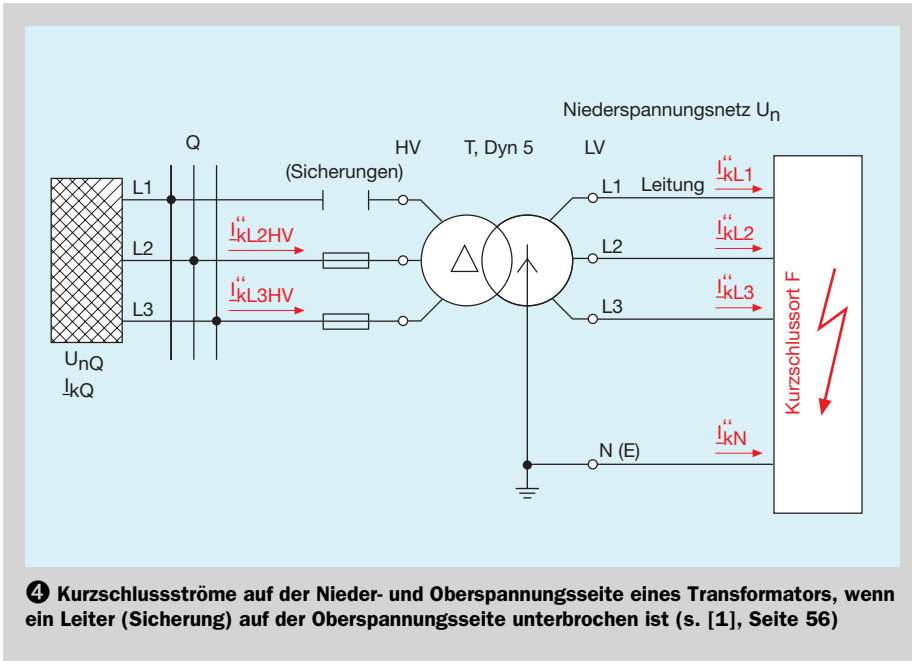
$$I''_{kV} = \alpha \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \left| Z_{Qt} + K_T \cdot Z_T + Z_L + \beta \cdot (K_T \cdot Z_{(0)T} + Z_{(0)L}) \right|} \quad (19)$$

gesamten Kurzschlussimpedanz kaum bemerkbar. Der minimale einpolige Kurzschlussstrom mit dem Spannungsfaktor  $c_{min} = 0,95$  wird nach Gl. (18) ermittelt. Eine ausführliche Darstellung der Kurzschlussberechnungen mit praxisorientierten Berechnungsbeispielen ist in [5] enthalten.

7. Ausfall von Hochspannungssicherungen

Neu ist, dass für Ortsnetztransformatoren eine vereinfachte Berechnungsgleichung (19) zur Ermittlung der Kurzschlussströme in den Leitungen auf der Ober- und Unterspannungsseite bei Unterbrechung eines Leiters auf der Oberspannungsseite angegeben ist (Bild 4). Die Berücksichtigung des Übersetzungsverhältnisses des Transformators und die Umrechnung der Ströme auf die Oberspannungsseite mit dem komplexen Übersetzungsverhältnis des Transformators wird mit der Angabe der Faktoren  $\alpha$  und  $\beta$  in Tafel 3 erleichtert.

- Im Bild 4 und Gleichung (19) bedeuten:
- $v$  L1, L2, L3, N(E) der Niederspannungsseite
- L2HV, L3HV L1, L2, L3, N(E) der Oberspannungsseite
- $Z_{Qt} + K_T Z_T + Z_L$  Resultierende Impedanz im Mitsystem auf Niederspannungsseite ( $Z_T = Z_{TLV}$ )
- $K_T Z_{(0)T} + Z_{(0)L}$  Resultierende Impedanz im Nullsystem auf Niederspannungsseite
- $\alpha, \beta$  Faktoren nach Tafel 3



Die Anwendung der Gleichung (19) ist nur zur Berechnung kleinster Kurzschlussströme mit  $c = c_{\min}$  sinnvoll, weil bei ungestörter Speisung von der Oberspannungsseite aus die Kurzschlussströme im Vergleich zur gestörten Speisung immer größer sind.

**Beispiel 3: Berechnung der Kurzschlussströme bei Leiterunterbrechung auf der Oberspannungsseite**

Angenommen wird ein dreipoliger Kurzschluss am Fehlerort F (Klemmenkurzschluss am Transformator), wenn Oberspannungsseitig die HH-Sicherung im Leiter L1 angesprochen hat. Da keine Netz- und Leitungsimpedanz berücksichtigt bzw. vorhanden ist, vereinfacht sich Formel (19) für die Berechnung der Kurzschlussströme zu:

$$I''_{kv} = \alpha \cdot \frac{c_{\min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |K_T \cdot Z_T|}$$

Auf der Niederspannungsseite (LV) werden unter Berücksichtigung des Faktors  $\alpha$  aus Tafel 3 die Kurzschlussleiterströme:

$$I''_{kL1} = I''_{kL3} = 0,5 \cdot \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot |19,2 \text{ m}\Omega|} = 5,71 \text{ kA}$$

$$I''_{kL2} = 1,0 \cdot \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot |19,2 \text{ m}\Omega|} = 11,43 \text{ kA}$$

und auf der Hochspannungsseite (HV):

$$I''_{k2HV} = I''_{k3HV} = \frac{1}{t_r} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{c_{\min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{TK}|}$$

$$= \frac{0,42 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot |19,2 \text{ m}\Omega|} = 208 \text{ A}$$

**8. Thermisch gleichwertiger Kurzschlussstrom**

Die Gleichung (20) zur Berechnung des Thermisch gleichwertigen Kurzschlussstroms  $I_{th}$  mit den Faktoren  $m$  und  $n$  zur Berücksichtigung der Ausgleichsvorgänge

$$I_{th} = I''_k \cdot \sqrt{m + n} \quad (20)$$

war bisher nur in DIN VDE 0103 [6] angegeben.

Sinnvollerweise ist sie jetzt Bestandteil der hier behandelten Norm [1], so dass alle erforderlichen Kurzschlussströme zur Überprüfung der mechanischen und thermischen Kurzschlussfestigkeit von elektrischen Anlagen in einer Norm beschrieben werden.

**Literatur:**

- [1] DIN EN 60909-0 (VDE 0102):2002-07. Kurzschlussströme in Drehstromnetzen; Teil 0: Berechnung der Ströme
- [2] DIN VDE 0102:1990-01. Berechnung von Kurzschlussströmen in Drehstromnetzen.
- [3] DIN 57102 Teil 2/VDE 0102 Teil 2/11.75. „VDE-Leitsätze für die Berechnung der Kurzschlussströme“; Abschnitte 13 bis 15
- [4] DIN 42500 Teil 1 Drehstrom-Öl-Verteilungstransformatoren 50 Hz, 50 bis 2500 kVA
- [5] Kny, K.-H.: Kurzschlusschutz in Gebäuden. Berlin: Verlag Technik 1999
- [6] DIN EN 60865-1 VDE 0103:1994-11. Kurzschlussströme; Berechnung der Wirkung Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren