

Berechnung von Kurzschlussströmen – VDE 0102

K.-H. Kny; Magdeburg

Im Februar 2003 wurde das zur Norm VDE 0102 „Kurzschlussstromberechnung“ [1][2] gehörige Beiblatt 4 [3] herausgegeben. Es enthält internationale Betriebsmitteldaten, die für eine Kurzschlussberechnung erforderlich sind. Die bisher gültigen, in DIN VDE 0102 Teil 2:1975-11 [4] angegebenen Daten von NS-Betriebsmitteln wurden mit diesem Beiblatt abgelöst. Der Inhalt des Beiblatts wird nachfolgend behandelt und es wird auf Ergänzungen zu früheren Angaben und Besonderheiten bei der Anwendung hingewiesen.

1 Inhalt des Beiblatts 4 zur Norm VDE 0102

Auf Grundlage der Angaben von 15 nationalen Komitees sind charakteristische Daten von Betriebsmitteln aller Spannungsebenen im Beiblatt zusammengefasst. Neben einem Großteil von Angaben durch europäische Länder sind auch Angaben aus Australien, China, Japan und den USA Bestandteil der Datensammlung.

Die Betriebsmitteldaten sind im Allgemeinen in Kurvendarstellung gegeben. Außerdem sind für jede Betriebsmittelart in einer Tabelle typische Kennwerte aufgelistet. Bild 1 zeigt beispielhaft eine Zusammenfassung der Ergebnisse mit den Streubereichen für Niederspannungskabel 0,6/1 kV.

Bisher wurden in der Grundnorm nur Angaben zu den Impedanzen von Freileitungen, Kabeln und Transformatoren gemacht. Das Beiblatt enthält jetzt auch Daten von Generatoren und Stromschienen.

Im Anhang A des Beiblattes sind zusätzlich national zugeschnittene Daten von Widerständen und Reaktanzen im Mit- und Nullsystem für Niederspannungs-Freileitungen und -Kabel angegeben.

Diese Werte sind im Wesentlichen identisch mit den Angaben in [3]; geringfügige Abweichungen gibt es nur bei den Freileitungs-Reaktanzen.

Zusätzlich stehen die Impedanzen für das Dreieinhalbleiter-Kunststoffkabel NYY zur Verfügung. In Tafel 1 sind die Werte zusammengefasst. Im Gegensatz zum Beiblatt werden nicht die Quotienten von Null- und Mitimpedanz, sondern die berechneten Widerstände im Nullsystem bereitgestellt.

Autor

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

2 Kleine Querschnitte und Freileitungen

Leider werden für **kleine Querschnitte von Kabeln** bis 10 mm² keine Angaben gemacht. Der auf 1 km bezogene ohmsche Widerstand R' kann berechnet werden nach

$$R' = \frac{1000 \text{ m}}{\kappa \cdot q_n} \quad \text{mit}$$

- $\kappa_{\text{Cu}} = 54 \dots 56 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ oder
- $\kappa_{\text{Al}} = 34 \dots 36 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ sowie
- Leiternennquerschnitt q_n in mm².

Für die Berechnung setzt man entweder den Mittelwert der Leitfähigkeit ein oder man unterscheidet zwischen der Berechnung des größten (bei Kupfer $\kappa_{\text{Cu}} = 56$) und des kleinsten (bei Kupfer $\kappa_{\text{Cu}} = 54$) Kurzschlussstroms.

Der induktive Widerstand X'_L spielt bei den kleinen Leiterquerschnitten kaum eine Rolle; es kann aber $X'_L = 0,1 \Omega/\text{km}$ angenommen werden.

Für Freileitungen ist in [1] zur Bestimmung der Resistanz die Leitfähigkeit für

- Kupfer $\kappa_{\text{Cu}} = 54 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$,
- Aluminium $\kappa_{\text{Al}} = 34 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ und
- Aluminiumlegierung $\kappa_{\text{AlMgSi}} = 31 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$

eindeutig angegeben.

Durch die unterschiedliche geometrische Anordnung der Leiter von Freileitungen ist oft die Berechnung des induktiven Widerstands erforderlich. Mit der zugeschnittenen Gleichung

$$X'_L = 0,0628 \cdot \left(\ln \frac{d_m}{R_a} + 0,25 \right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

kann die Reaktanz einer Einfach-Drehstromleitung bei $f = 50 \text{ Hz}$ ermittelt werden.

Hierbei ist d_m der mittlere Leiterabstand

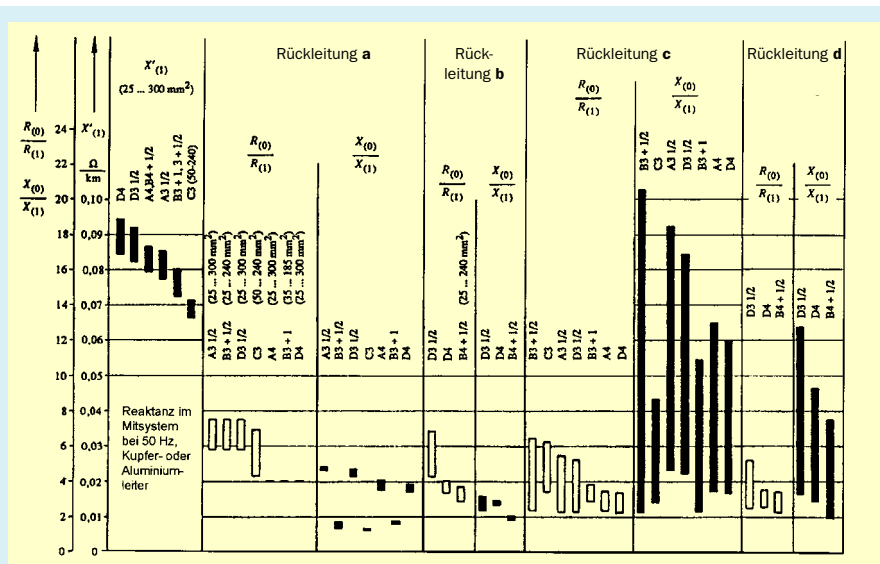
$$d_m = \sqrt[3]{d_{L1-L2} \cdot d_{L2-L3} \cdot d_{L1-L3}}$$

und R_a der Radius des elektrischen Leiters.

Beispiel 1

Eine Drehstrom-einfachfreileitung (Cu) mit $q_n = 16 \text{ mm}^2$ hat eine auf einen Kilometer bezogene Resistanz:

$$R' = \frac{1000 \text{ m}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \cdot 16 \text{ mm}^2} = 1,116 \frac{\Omega}{\text{km}}$$



1 Reaktanz im Mitsystem $X'_{(1)}$ und Quotienten von $R_{(0)}/R_{(1)}$ und $X_{(0)}/X_{(1)}$ für unterschiedliche Niederspannungskabeltypen A, B, C, und D mit Kupferleiter sowie Stromrückleitung a, b, c und d

Kabeltypen:

Typ A – N(A)YY; Typ B – N(A)YCWY;
Typ C – N(A)KLEY; Typ D – N(A)KBA
(mit dem Zusatz der Leiteranzahl)

Verschiedene Arten der Rückleitung:

a – Rückleitung über 4. Leiter; b – Rückleitung über 4. Leiter und Mantel; c – Rückleitung über 4. Leiter und Erde ($\rho = 100 \Omega\text{m}$); d – Rückleitung über 4. Leiter, Mantel und Erde ($\rho = 100 \Omega\text{m}$)

Tafel 1 Ohmsche und induktive Wirk- und Blindwiderstände in Ω/km bei $f = 50 \text{ Hz}$ für Dreieinhalbleiterkabel NYY im Mitsystem (1) und im Nullsystem (0) in Abhängigkeit von der Rückleitung

Aderzahl und Nennquerschnitt q_n in mm^2	$R'_{(1)}$ 20 °C	$X'_{(1)}$	$R'_{(0)}$		$X'_{(0)}$	
			Rückleitung über			
			4. Leiter	4. Leiter und Erde	4. Leiter	4. Leiter und Erde
a	c	a	c			
3 x 25/16	0,724	0,085	4,156	1,680	0,397	1,522
3 x 35/16	0,526	0,082	3,961	1,483	0,387	1,512
3 x 50/25	0,389	0,082	2,567	1,338	0,377	1,105
3 x 70/35	0,271	0,080	1,854	1,130	0,366	0,842
3 x 95/50	0,197	0,079	1,375	0,930	0,359	0,650
3 x 120/70	0,157	0,077	0,980	0,730	0,343	0,489
3 x 150/70	0,129	0,077	0,962	0,698	0,364	0,501
3 x 185/95	0,105	0,077	0,710	0,543	0,355	0,416
3 x 240/120	0,083	0,077	0,574	0,446	0,356	0,381
3 x 300/150	0,069	0,077	0,480	0,377	0,354	0,360

Bei Leiterabständen in einer Ebene

- $d_{L1-L2} = d_{L2-L3} = 0,5 \text{ m}$ und
- $d_{L1-L3} = 1 \text{ m}$

sowie dem wirksamen Leiterradius

$$R_a = 1,14 \cdot \sqrt{\frac{q_n}{\pi}} = 1,14 \cdot \sqrt{\frac{16 \text{ mm}^2}{\pi}}$$

$$R_a = 2,57 \text{ mm} = 0,00257 \text{ m}$$

und dem mittleren geometrischen Abstand

$$d_m = \sqrt[3]{0,5 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}} = 0,7937 \text{ m}$$

wird bei einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$ die auf einen Kilometer bezogene Reaktanz:

$$X'_L = 0,0628 \cdot \left(\ln \frac{0,7937 \text{ m}}{0,00257 \text{ m}} + 0,25 \right) \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$X'_L = 0,375 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$$

Die Temperaturabhängigkeit des ohmschen Widerstandes von Freileitungen und Kabeln (Außen- und Neutralleiter) ist bei der Berechnung des kleinsten Kurzschlussstromes zu berücksichtigen. Für Kupfer, Aluminium und AlMg Si-Legierungen wird die Widerstandserhöhung durch den Temperaturanstieg am Leiter auf ϑ mit folgender Gleichung ausreichend genau berechnet [5]:

$$R_{\vartheta} = R_{20 \text{ °C}} [1 + 0,004 / \text{K} \cdot (|\vartheta| - 20) \text{ K}]$$

Beispiel 2:

Aufgrund einer hohen Vorbelastung der Leitung und einer relativ langen Kurzschlussdauer wird mit einer Leitertemperatur von 145 °C der minimale Kurzschlussstrom berechnet. Die einzusetzende Resistanz des Kabels ist:

$$R_{145 \text{ °C}} = R_{20 \text{ °C}} [1 + 0,004 / \text{K} \cdot (145 - 20) \text{ K}]$$

$$R_{145 \text{ °C}} = R_{20 \text{ °C}} \cdot 1,5$$

Sie ist damit vergleichsweise 50 % höher! Vorsicht – wenn nicht sogar Skepsis – sind bei der Angabe von Nullimpedanzen mit dem Rückfluss über das Erdreich angebracht. Für das Betriebsmittel kann die Nullimpedanz vom

Hersteller gemessen und angegeben werden. Aber für ein Netzteil oder eine Anlage, die in eine Kurzschlussberechnung einbezogen ist, gibt es einige Unsicherheiten durch zusätzliche Erdungen bzw. Potentialausgleichsmaßnahmen, die eine Verminderung der Nullresistanz und eine Erhöhung der Nullreaktanz hervorrufen.

Nullimpedanzen sollten – wenn möglich – durch Messungen ermittelt werden.

3 Anwendung der Daten

Grundsätzlich werden die Daten elektrischer Betriebsmittel vom Hersteller auf dem Typenschild oder von Elektrizitätsunternehmen angegeben. Wenn die Daten nicht zur Verfügung stehen, dürfen die im Beiblatt 4 angegebenen Daten für die Berechnung von Kurzschlussströmen in Niederspannungsnetzen Verwendung finden.

Für die Planung von Mittel- und Hochspannungsnetzen können die gesammelten Daten und ihre jeweiligen Größenbereiche für die im jeweiligen Land eingesetzten typischen Betriebsmittel verwendet werden.

Für Freileitungen kann grundsätzlich die Berechnung der elektrischen Daten mit den gegebenen Abmessungen durchgeführt werden. Dazu sind für typische Freileitungen, Einfach- und Doppelleitungen in VDE 0102, Seiten 11 und 12 [1] Gleichungen angegeben.

Literatur

- [1] DIN EN 60 909-0(VDE 0102): 2002-07 Kurzschlussströme in Drehstromnetzen; Berechnung der Ströme.
- [2] Kny, K.-H.: Berechnen des Kurzschlussstroms nach neuer VDE 0102. Elektropraktiker, Berlin 56(2002)12, S. 1002-1005.
- [3] Beiblatt 4 zu DIN EN 60 909-0 (VDE 0102): 2003-02 Kurzschlussströme in Drehstromnetzen; Daten elektrischer Betriebsmittel für die Berechnungen von Kurzschlussströmen.
- [4] DIN 57102 Teil 2(VDE 0102 Teil 2):1975-11 VDE-Leitsätze für die Berechnung der Kurzschlussströme, Abschnitte 13 bis 15.
- [5] Kny, K.-H.: Kurzschlusschutz in Gebäuden. Berlin: Verlag Technik. ■