

Leitfaden über den Schutz - Teil 3: Kurzschlussströme

Der Kurzschluss ist eine der bedeutendsten Störungen, die in einem elektrischen Netz auftreten können. Seine Folgen sind oft schwerwiegend, wenn nicht verheerend.

Einleitung

Der Kurzschluss ist eine der bedeutendsten Störungen, die in einem elektrischen Netz auftreten können. **Seine Folgen** sind oft schwerwiegend, wenn nicht verheerend:

- Der Kurzschluss stört den Bereich des Netzes an der Nähe der Fehlerstelle durch die von ihm bewirkte plötzliche **Spannungsabsenkung**.
- Er zwingt zur **Abschaltung** eines oft großen Teils des Netzes durch entsprechende Schutzeinrichtungen.
- Alle vom Kurzschlussstrom durchflossenen Betriebsmittel und Verbindungen (Kabel, Leitungen) erleiden eine hohe **mechanische Beanspruchung** (durch elektrodynamische Kräfte), die zum Bruch führen kann, und eine **thermische Beanspruchung**, die ein Schmelzen der Leiter und eine Zerstörung der Isolationen bewirken kann.
- An der Fehlerstelle entsteht meistens ein **Lichtbogen hoher Energie**, dessen zerstörerische Auswirkungen sehr stark sind und der sich schnell ausbreiten kann.

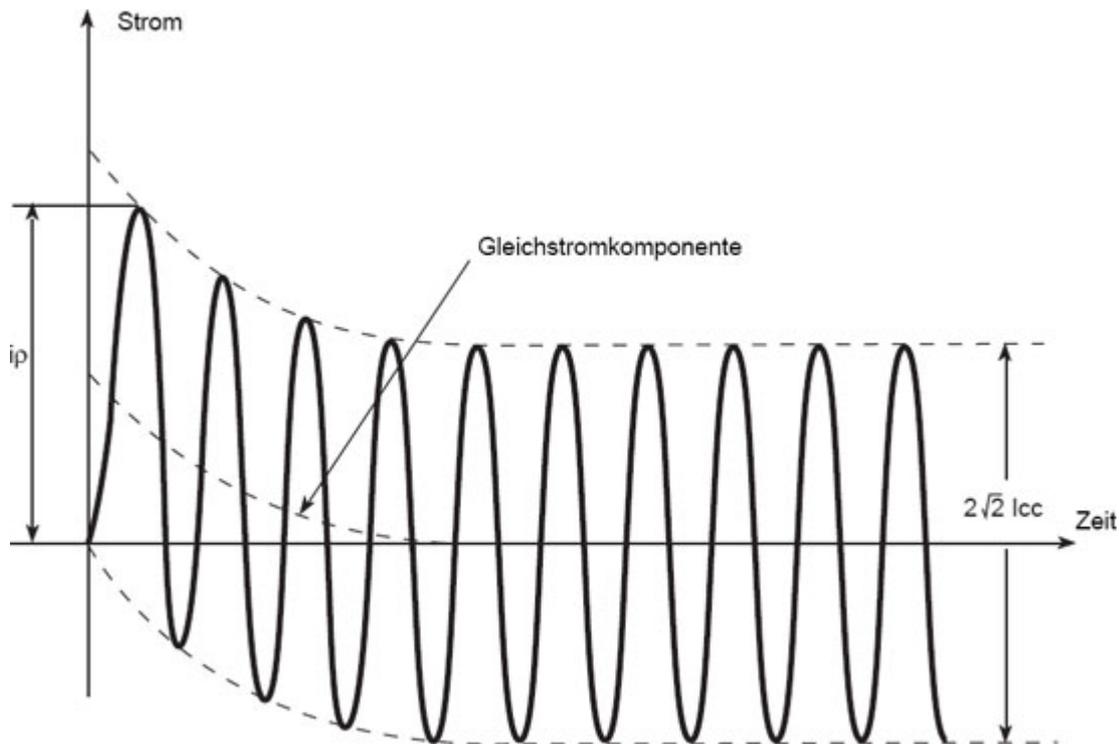
Trotz der abnehmenden Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Kurzschlusses in modernen, gut konzipierten und gut betriebenen Anlagen, sind die möglichen gravierenden Folgen Grund genug, alles zu unternehmen, um jeden Kurzschluss möglichst schnell festzustellen und zu beseitigen. Die Kenntnis des Wertes des Kurzschlussstroms an verschiedenen Stellen des Netzes ist **unerlässlich**, um die Kabel, Sammelschienen und alle Schalt- und Schutzeinrichtungen sowie deren Einstellung festzulegen.

Definitionen

Der Kurzschlussstrom an einem Punkt eines Netzes wird durch den **Effektivwert I_{cc}** (in kA) seiner Wechselstromkomponente ausgedrückt. Der maximale **Momentanwert**, den der Kurzschlussstrom erreichen kann, ist der **Scheitelwert i_p** der ersten Halbperiode.

Dieser Scheitelwert kann wegen der abklingenden **Gleichstromkomponente**, die sich der Wechselstromkomponente überlagern kann, wesentlich höher sein als $\sqrt{2} \cdot I_{cc}$. Diese zufällige Gleichstromkomponente hängt vom Momentanwert der Spannung im Moment des Auftretens des Kurzschlusses und von den Eigenschaften des Netzes ab. Die Kurzschlussleistung wird durch den Ausdruck $S_{cc} = \sqrt{2} U_n \cdot I_{cc}$ (in MVA) definiert.

Dieser fiktive Wert ist physikalisch nicht vorhanden. Es handelt sich um eine mit einer Scheinleistung vergleichbare **praktische konventionelle Größe**.



Kurzschluss zwischen Phasen

Der Wert I_{cc} des dreiphasigen Kurzschlussstroms an einem Punkt F des Netzes beträgt:

$$I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{cc}}$$

wobei U die verkettete Spannung am Punkt F vor dem Auftreten des Fehlers und Z_{cc} die von der Fehlerstelle aus gesehene Ersatzimpedanz des vorgeschalteten Netzes ist.

Diese Berechnung ist somit im Prinzip einfach. Ihre praktische Komplexität ergibt sich aus der Schwierigkeit der Berechnung von Z_{cc} , der Impedanz, die allen seriellen und parallelen Einzelimpedanzen der dem Fehler vorgeschalteten Netzkomponenten entspricht. Diese Impedanzen sind selber die quadratische Summe von Widerständen und Reaktanzen:

$$Z_{cc} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Eine wesentliche Vereinfachung liegt insbesondere vor, wenn man die Kurzschlussleistung (S_{cc}) an der Anschlussstelle an das Netz des Elektrizitätsversorgungsunternehmens kennt.

Aus dem Wert von S_{cc} an dieser Stelle kann die Impedanz Z_a , die der dieser Stelle vorgeschalteten Impedanz entspricht, mit der folgenden Formel abgeleitet werden:

$$Z_a = \frac{U^2}{S_{cc}}, \quad I_{cc} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_a}$$

Ebenso ist nicht unbedingt nur eine Spannungsquelle vorhanden; es können mehrere parallele Spannungsquellen vorliegen, denn insbesondere Synchron- und Asynchronmotoren verhalten sich unter Kurzschlussbedingungen wie Generatoren. Der dreiphasige Kurzschlussstrom ist im Allgemeinen der höchste Strom, der im Netz fließen kann. Der zweiphasige Kurzschlussstrom ist niedriger (im Verhältnis von $\sqrt{3}/2$, d.h. er beträgt ungefähr 87%).

$$I_{cc} \text{ zweiphasig} = \frac{U}{2 Z_{cc}}$$

Erdschluss (einphasig)

Der Wert dieses Stroms hängt von der Impedanz Z_n zwischen dem Sternpunkt und Erde ab. Diese Impedanz kann praktisch gleich null sein, wenn der Sternpunkt direkt geerdet (und somit diese Impedanz in Serie mit dem Erdungswiderstand geschaltet) ist, oder praktisch gleich unendlich, wenn der Sternpunkt nicht geerdet (und somit diese Impedanz parallel zur Phasen-Erde- Kapazität des Netzes geschaltet) ist. Zum Berechnen dieses asymmetrischen Kurzschlussstroms muss die Methode der symmetrischen Komponenten beigezogen werden. Diese Methode ersetzt das reale Netz durch eine Überlagerung der folgenden 3 Netze: Mitnetz, Gegenetz und Nullnetz. Auf diese Weise wird jedes Element des Netzes durch die folgenden 3 Impedanzen charakterisiert:

Mitimpedanz Z_1 ,

Gegenimpedanz Z_2 und

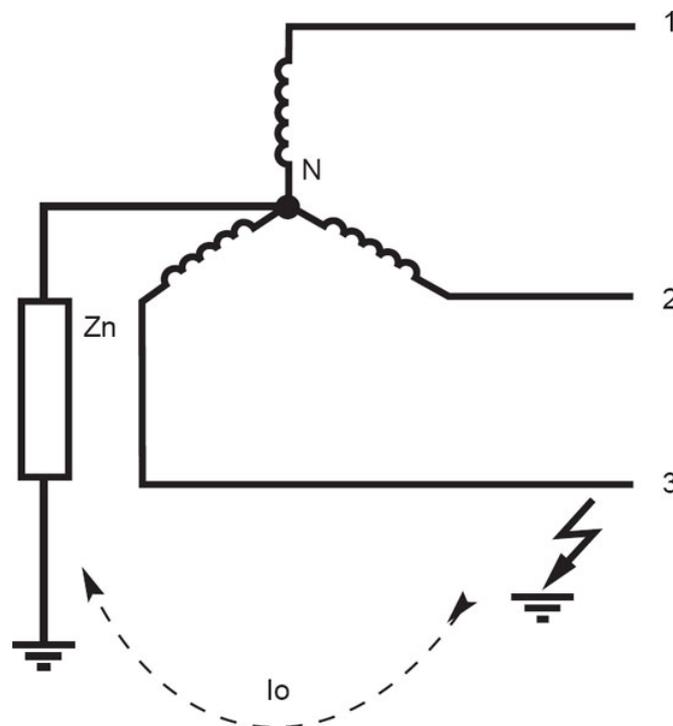
Nullimpedanz Z_0 .

Der Wert des Erdschlussstroms I_0 beträgt:

$$I_0 = \frac{U \sqrt{3}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 Z_n}$$

Diese Berechnung ist für Netze erforderlich, bei denen der Sternpunkt über eine Impedanz Z_n geerdet ist, um die Einstellwerte der Erdschlussstromschutzeinrichtungen zu bestimmen, die in Aktion treten müssen, um den Erdschlussstrom zu unterbrechen. In der Praxis gilt:

$$I_0 \approx \frac{U}{\sqrt{3} Z_n}$$

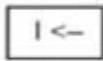




Maximalstromschutz



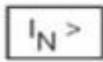
Minimalspannungsschutz



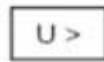
Stromrichtungsschutz



Maximal- und
Minimalfrequenzschutz



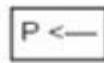
Maximalerdschlussstromschutz



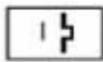
Maximalspannungsschutz



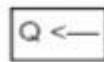
Maximal-
Gegenkomponentenschutz



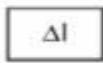
Wirkleistungsrückflussschutz



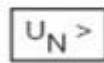
Thermisches Abbild



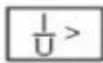
Blindleistungsrückflussschutz



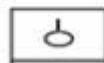
Differentialschutz



Maximalrestspannungsschutz



Maximalstromschutz mit
spannungsabhängigem
Ansprechwert



Buchholz-Schutz

