

Leitfaden über den Schutz - Teil 4: Verhalten der Betriebsmittel unter Kurzschlussbedingungen

Die Berechnung des Kurzschlussstroms an den Klemmen eines Synchrongenerators ist komplexer als an den Klemmen eines an das Netz angeschlossenen Transformators.

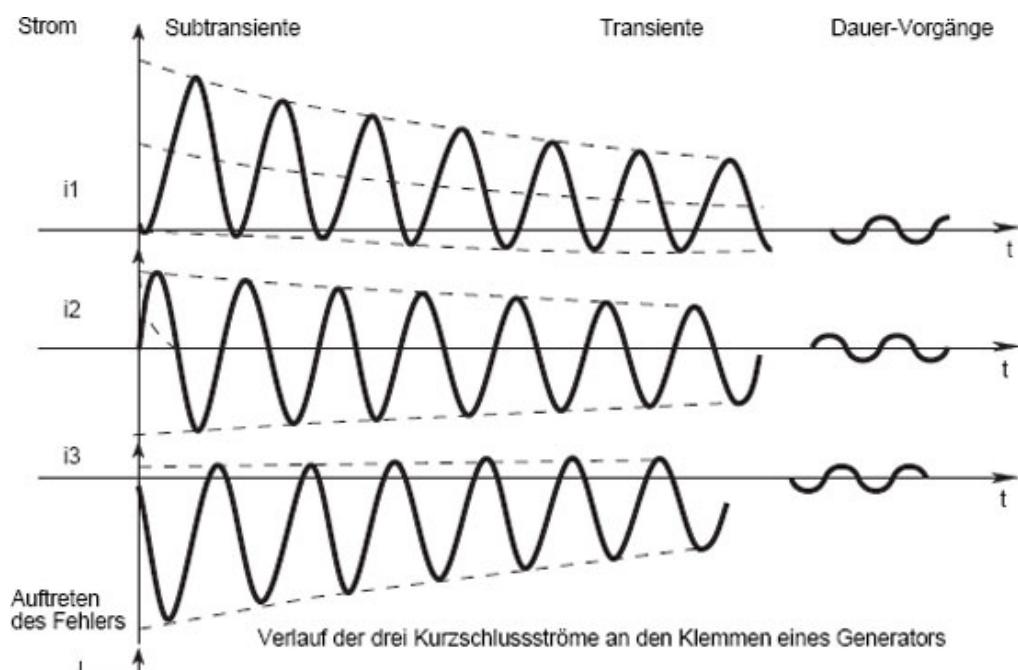
Kurzschlussstrom an den Klemmen eines Generators

Die Berechnung des Kurzschlussstroms an den Klemmen eines Synchrongenerators ist komplexer als an den Klemmen eines an das Netz angeschlossenen Transformators. Dies deshalb, weil die innere Impedanz der Maschine nach dem Auftreten des Fehlers nicht als konstant erachtet werden kann. Diese nimmt allmählich zu, weshalb der Strom abnimmt und dabei drei charakteristische Phasen durchläuft:

- **Subtransiente Phase** (etwa 0,01 bis 0,1 s):
Der Kurzschlussstrom (Effektivwert der Wechselstromkomponente) ist hoch und beträgt das 5- bis 10fache des Nennstroms.
- **Transiente Phase** (zwischen 0,1 und 1 s):
Der Kurzschlussstrom klingt bis zum 2- bis 6fachen des Nennstroms ab.
- **Dauerphase:**
Der Kurzschlussstrom fällt auf das 0,5- bis 2fache des Nennstroms zurück.

Die angegebenen Werte hängen von der Leistung der Maschine, von der Art ihrer Erregung und für den Dauerkurzschlussstrom vom Wert des Erregerstroms und somit von der Belastung der Maschine im Moment des Auftretens des Fehlers ab.

Zudem ist die Nullimpedanz von Generatoren in der Regel 2- bis 3mal niedriger als die Mitimpedanz. Somit ist der Phasen-Erde- Kurzschlussstrom höher als der drei-phägige Strom. Zum Vergleich beträgt der dreiphasige Dauerkurzschlussstrom an den Klemmen eines Transformators je nach Leistung das 6- bis 20fache des Nennstroms. Daraus kann geschlossen werden, dass Kurzschlüsse an den Klemmen eines Generators schwer zu charakterisieren sind, vor allem jedoch, dass wegen ihres niedrigen und abklingenden Wertes das Einstellen der Schutzeinrichtungen schwierig ist.



Berechnung der Kurzschlussströme

Die Regeln für die Berechnung der Kurzschlussströme in Industrieanlagen sind in der 1988 erschienenen Norm IEC 909 festgelegt worden. Die praktische Berechnung der Kurzschlussströme an verschiedenen Stellen eines Netzes kann bald eine aufwendige Arbeit werden, wenn die Anlage komplex ist. Mit Hilfe von speziellen Software-Programmen können diese Berechnungen schneller durchgeführt werden.

Verhalten der Betriebsmittel unter Kurzschlussbedingungen

Man unterscheidet zwei Arten von Netzbetriebsmitteln, je nachdem, ob sie beim Auftreten eines Fehlers in Aktion treten müssen oder nicht.

Passive Betriebsmittel

Zu dieser Kategorie gehören alle Betriebsmittel, die aufgrund ihrer Funktion dazu bestimmt sind, sowohl den Nennstrom als auch den Kurzschlussstrom zu übertragen, ohne Schaden zu nehmen. Das sind die Kabel, Leitungen, Sammelschienen, Trenner, Schalter, Transformatoren, Drosseln, Kondensatoren und Messwandler. Für diese Betriebsmittel wird die Befähigung, den Durchgang eines Kurzschlussstroms ohne Beschädigung auszuhalten, wie folgt definiert:

- Anhand des elektrodynamischen Verhaltens (ausgedrückt in kA Scheitelwert), das ihre mechanische Widerstandsfähigkeit gegen elektrodynamische Beanspruchungen kennzeichnet.
- Anhand des thermischen Verhaltens (ausgedrückt in kA eff. während 1 bis 5 Sekunden), das die maximal zulässige Erwärmung kennzeichnet.

Aktive Betriebsmittel

Zu dieser Kategorie gehören die Betriebsmittel, die dazu bestimmt sind, den Kurzschlussstrom zu beseitigen, d.h. die Leistungsschalter und Sicherungen. Diese Befähigung wird durch das **Ausschaltvermögen** und wenn nötig durch das Kurzschluss-**Einschaltvermögen** ausgedrückt.

Ausschaltvermögen

Diese wichtige Eigenschaft eines Schaltgerätes entspricht dem **Maximalstrom** (in kA eff.) **den dieses** unter in den Normen festgelegten Bedingungen **unterbrechen kann**. Dabei handelt es sich normalerweise um den **Effektivwert der Wechselstromkomponente** des Kurzschlussstroms. Manchmal wird für bestimmte Geräte der Effektivwert der Summe der Wechsel- und der Gleichstromkomponente angegeben. Dies ist dann der «asymmetrische Strom».

Das Ausschaltvermögen hängt ferner von den folgenden Bedingungen ab:

- Spannung
- Verhältnis R/X des unterbrochenen Stroms
- Netzfrequenz
- Anzahl Unterbrechungen des Maximalstroms, zum Beispiel Schaltzyklus O - S/O - S/O (O = Öffnen, S = Schließen)
- Zustand des Gerätes nach der Prüfung

Das Ausschaltvermögen scheint somit eine ziemlich schwierig zu definierende Eigenschaft zu sein. Deshalb ist es nicht erstaunlich, dass demselben Gerät je nach der angewendeten Norm ein anderes Ausschaltvermögen zugeordnet werden kann.

Kurzschluss-Einschaltvermögen

Diese Eigenschaft wird in der Regel implizit durch das Ausschaltvermögen festgelegt, denn ein Schaltgerät muss in der Lage sein, auf einen Kurzschluss einzuschalten, den es auch

unterbrechen kann. Manchmal muss das Einschaltvermögen höher sein, zum Beispiel für Generator- Leistungsschalter. In diesem Fall wird das **Einschaltvermögen in kA Scheitelwert** angegeben, da der asymmetrische ersten Scheitelwert die höchste elektrodynamische Beanspruchung verursacht.

«Abgeschnittener» prospektiver Kurzschlussstrom

Gewisse Schaltgeräte haben die Eigenschaft, den Strom, den sie zu unterbrechen haben, zu «begrenzen». Ihr Ausschaltvermögen wird als **maximaler prospektiver Kurzschlussstrom** angegeben, der sich bei einem satten Kurzschluss an den speisungsseitigen Klemmen des Schaltgerätes bilden würde und der unterbrochen wird.

$I >$	Maximalstromschutz	$U <$	Minimalspannungsschutz
$I <-$	Stromrichtungsschutz	$> f >$	Maximal- und Minimalfrequenzschutz
$I_N >$	Maximalerdschlussstromschutz	$U >$	Maximalspannungsschutz
$li >$	Maximal- Gegenkomponentenschutz	$P <—$	Wirkleistungsrückflussschutz
$I \frac{1}{2}$	Thermisches Abbild	$Q <—$	Blindleistungsrückflussschutz
ΔI	Differentialschutz	$U_N >$	Maximalrestspannungsschutz
$\frac{1}{U} >$	Maximalstromschutz mit spannungsabhängigem Ansprechwert		Buchholz-Schutz