

Erd- und Kurzschlussfestigkeit

Pflichten der Niederspannungsverteilnetzbetreiber | Die Zunahme der dezentralen Einspeisungen und der Ausbau der Verteilnetze erfordern kontinuierliche Anpassungen bzw. Überprüfungen bestehender Anlagen. Verteilnetze müssen so dimensioniert sein, dass sie die potenziell möglichen Erd- und Kurzschlussströme aushalten.

ROLAND HÜRLIMANN, DANIEL OTTI

Gemäss Art. 17 der Starkstromverordnung (SR 734.2) müssen Betriebsinhaber ihre Starkstromanlagen regelmässig instand halten, reinigen und kontrollieren oder diese Arbeiten durch Dritte ausführen lassen.

Gemäss Art. 17 Abs. 2 muss konkret geprüft werden, ob:

- sich die Anlagen und die daran angeschlossenen elektrischen Einrichtungen in einwandfreiem Zustand befinden;
- die Anlagen bezüglich Unterteilung, Anordnung und Kurzschlussfestigkeit den Vorschriften entsprechen;
- die Schutzeinrichtungen korrekt eingestellt und wirksam sind;
- im Bereich der Anlagen sicherheitsmindernde Veränderungen eingetreten sind;
- Anlageschemata, Kennzeichnungen und Beschriftungen vorhanden und nachgeführt sind.

Einige Grundlagen

Im Zusammenhang mit der Beurteilung der Kurzschlussfestigkeit werden folgende Begriffe verwendet (**Bild 1**):

Die **Bernessungsstossstromfestigkeit** (I_{pk}) ist der Scheitelwert der ersten Halbwelle des Kurzschlussstroms. Dies ist die ausschlaggebende Grösse für die mechanische Festigkeit bzw. die Auslegung einer Schaltanlage. Der angegebene Wert ist ein Momentanwert (Peak-Wert) und wird in kA angegeben.

Die **Bemessungskurzzeitstromfestigkeit** (I_{cw}) ist der Effektivwert des Stromes, den eine Anlage oder ein Stromkreis kurze Zeit führen kann. Dieser Wert gibt die thermische Festigkeit eines Stromkreises im Kurzschlussfall an. Dieser Wert, der sich normalerweise auf 1 s bezieht, wird ebenfalls in kA angegeben.

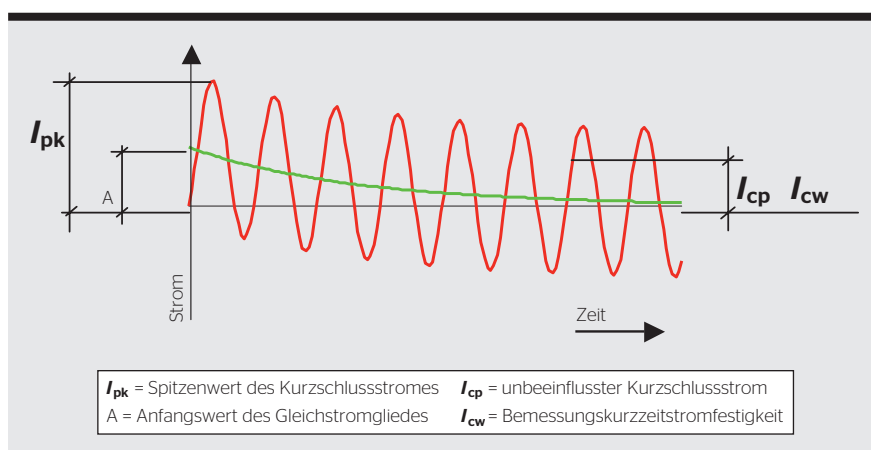


Bild 1 Definition der Ströme im Kurzschlussfall.



Bild 2 Auf dem Typenschild eines Trafos ist die Kurzschlussspannung in % der Nennspannung angegeben, z.B. Kurzschlussspannung von 5,3%.

Der **bedingte Bemessungskurzschlussstrom** (I_{cc}) ist ein vom Hersteller der Schaltergerätekombination angegebener Wert des unbeeinflussten Kurzschlussstroms, dem der durch eine Kurzschluss-Schutzeinrichtung geschützte Stromkreis, während der gesamten Ausschaltzeit (Stromflussdauer) des Geräts unter festgelegten Bedingungen standhalten kann.

Austausch von Transformatoren

Wird ein Trafo in einer Station mit einem anderen Typ ausgewechselt, so muss zwingend der Kurzschlussstrom

bei Niederspannungsverteilungen
überprüft werden.

Beispiel: Austausch eines Trafos von 630 kVA mit Kurzschlussspannung von 4,6% gegen einen Trafo von 1250 kVA mit Kurzschlussspannung von 5,3% (**Bild 2**).

Trafo alt: Kurzschlussstrom $I_k = I_n / u_k = 866 \text{ A} / 4,6\% \times 100 = 18,8 \text{ kA}$

Trafo neu: Kurzschlussstrom $I_k = I_n / u_k = 1805 \text{ A} / 5,3\% \times 100 = 34,0 \text{ kA}$

Effektiver Kurzschlussstrom

Der Kurzschlussstrom einer Anlage hängt von der Leitungslänge zum Trafo sowie vom Querschnitt der Leitung

Name des Herstellers Muster	Warenzeichen Marke C	Produktnorm EN 61439-5
Typenbezeichnung oder Kennnummer Musterverteilung MV-001		
U_n 400 V _{AC}	f_n 50-60 Hz	I_P -Code 2X
I_{sc} 2500 A		
Kurzschlussfestigkeit I_{cp} 65 kA I_{ek} 143 kA	Basisschutz für: Instr. Personen ☐ Laien ☐	System der Erderdverbindung ☐ TN-C
Herstellungsdatum 30.07.2017		Nächste Instandhaltung

Bild 3 Auf dem Typenschild der Schaltgerätekombination ist die Kurzschlussfestigkeit angegeben.

und des Schutzleiters ab. Er kann berechnet oder gemessen werden. Je grösser die Impedanz zwischen der Anlage und der Trafostation, desto weniger wird sich der Kurzschluss an der Anlage infolge von Anpassungen verändern. Eine gute Abschätzung des effektiven Kurzschlussstroms kann mittels des Nomogramms NIN (B+E) 4.3.4.1§1 3-polig abgelesen werden.

Bei sehr hohen Kurzschlussströmen (>15 kA) empfiehlt es sich aus Sicherheitsgründen (wenn keine geeignete PSA vorhanden ist) anstelle einer Messung eine Berechnung durchzuführen. Muss für die Bestimmung des Kurzschlussstroms eine Messung durchgeführt werden, ist die ESTI Weisung 407 «Arbeiten an elektrischen Anlagen» zu beachten und die entsprechende persönliche Schutzausrüstung zu tragen.

Überprüfung der Anlagen

Ist der effektive Kurzschlussstrom bekannt, müssen die Abschalteneinrichtungen nach Art. 63 Starkstromverordnung überprüft werden. Zudem müssen nach Art. 62 Abs. 1 Starkstromverordnung die Teile der Starkstromanlage den Beanspruchungen widerstehen, die betriebsmässig oder bei Kurz- und Erdschlüssen am Einbauort auftreten können.

Kurzschlusschutz und -festigkeit

Schaltgerätekombinationen müssen den thermischen und dynamischen Beanspruchungen standhalten, die durch Kurzschlussströme bis zu den Bemessungswerten verursacht werden. Damit eine Niederspannungsverteilung (Transformatorstation oder Verteilkasten) den Ansprüchen genügt,

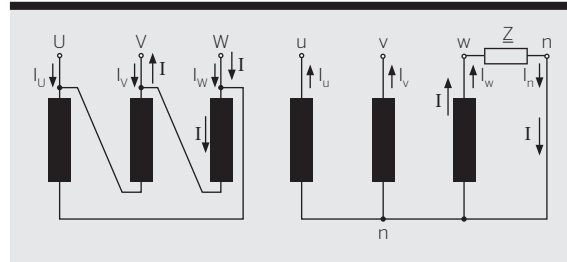


Bild 4 Stromverteilung bei Erdschluss.

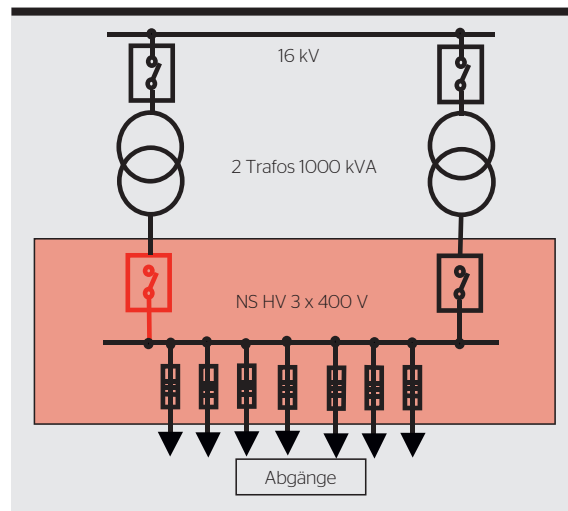


Bild 5 Parallelschaltungen von 2 gleichen Transformatoren.

ist diese nach der SN EN 61439-5 «Schaltgerätekombinationen in öffentlichen Energieverteilungsnetzen» auszulegen. Im Kapitel 10.11 «Kurzschlussfestigkeit» ist der Nachweis vom Hersteller nach der Prüfungsanforderung gemäss Kapitel 10.11.5 der SN EN 61439-1 «Allgemeine Festlegungen» zu erstellen. Der Nachweis ist mit Ausnahme der Stromkreise im Kapitel 10.11.2 von Teil 1 durch Prüfung zu erstellen.

Der bedingte Bemessungskurzschlussstrom (I_{cc}) darf nicht kleiner sein als der unbeeinflusste Effektivwert des Kurzschlussstroms (I_{cp}), zeitlich begrenzt durch das Ansprechen der Kurzschluss-Schutzeinrichtung, die die Schaltgerätekombination schützt.

Bei Schaltgerätekombinationen ohne eingebaute Kurzschluss-Schutzeinrichtung in der Einspeisung muss der Hersteller der Schaltgerätekombination die Kurzschlussfestigkeit in einer oder mehreren der folgenden Arten angeben (**Bild 3**):

- die Bemessungskurzzeitstromfestigkeit (I_{cw}) zusammen mit der zugehörigen Dauer und die Bemessungsstossstromfestigkeit (I_{pk});
- die bedingte Bemessungskurzschlussstromfestigkeit (I_{cc})

Erdschluss auf der Niederspannungsseite

Der Erdschluss (**Bild 4**) ist für die Schaltgerätekombination zwar eine kleinere Belastung als der Kurzschluss, aber der Transformator kann trotzdem so stark belastet werden, dass die Wicklung beschädigt werden kann und, bei längerer Dauer, sogar der Transformator zerstört werden kann. Zudem ionisieren Störlichtbögen die Umgebungsluft, was einen Kurzschluss zwischen zwei Aussenleitern verursachen kann. Eine Abschaltung des Erdschlusses nur mit einer Hochspannungssicherung auf der Primärseite des Transformators ist nicht möglich.

Wenn ein 3-poliger Kurzschlussstrom als 100% betrachtet wird, dann ist ein 2-poliger Kurzschluss etwa 86% und ein 1-poliger Kurzschluss etwa 50% des primären 3-poligen Kurzschlussstromes.

Parallelschaltung von Transformatoren

Parallel geschaltete Transformatoren sollten, wenn immer möglich, baugleich sein und die gleichen technischen Kenndaten aufweisen. Der Kurzschlussstrom steigt dabei massiv an (**Bild 5**).



Bild 6 Durch Kurzschluss beschädigte Schaltgerätekombination ohne korrekte Schutzabschaltung.

Beispiel: Zusammenschaltung von 2 Transformatoren mit 1000 kVA mit einer Kurzschlussspannung von 5,1%.
Nennstrom = $S_n / (U_n \times 1,732) = 1000 \text{ kVA} / (400 \text{ V} \times 1,732) = 1443 \text{ A}$

Trafo einzeln: Kurzschlussstrom $I_{k1} = I_n / u_k = 1443 \text{ A} / 5,1\% \times 100 = 28,2 \text{ kA}$

Trafo zusammen geschaltet: Kurzschlussstrom $I_k = I_{k1} \times 2 = 28,2 \text{ kA} \times 2 = 56,4 \text{ kA}$

Schutz auf der Niederspannungsseite

Der Kurzschlussstrom und der Erdschlussstrom können auf der Niederspannungsseite nur beherrscht werden, wenn die Zuleitungen zur Schaltgerätekombination über einen Leistungsschalter oder eine spezielle Niederspannungs-Hochleistungssicherung (gTr NH-Sicherung; g = Ganzbereichsschutz, Tr = Transformatorschutz) geführt werden. Damit können die Abschaltzeiten und damit die Kurzschlussleistungen reduziert werden. Eine Sicherung auf der Primärseite des Transformators alleine bietet keinen vollständigen Schutz nach Starkstromverordnung, denn wenn sie nicht auslöst, können ganze Niederspannungsverteilungen zerstört werden. Messereinsätze sind reine Trenner und bieten keinen Schutz bei Kurzschluss und sind deshalb nicht zugelassen.

Tr = Transformatorschutz) geführt werden. Damit können die Abschaltzeiten und damit die Kurzschlussleistungen reduziert werden. Eine Sicherung auf der Primärseite des Transformators alleine bietet keinen vollständigen Schutz nach Starkstromverordnung, denn wenn sie nicht auslöst, können ganze Niederspannungsverteilungen zerstört werden. Messereinsätze sind reine Trenner und bieten keinen Schutz bei Kurzschluss und sind deshalb nicht zugelassen.

Aufsicht durch das ESTI

Die Inspektoren achten bei der Kontrolle von Anlagen auf die Kurzschluss-

electro suisse	VSAS USAT USAQ	Niederspannungs-Schaltgerätekombination
Stücknachweisprotokoll (EN 61439-1 2011)		
Art des Produkts (Produktenorm):		
Hersteller:		
Typbezeichnung oder Kennnummer:		
Herstellungsdatum:		
Normen Abschnitt	Nachzuweisende Merkmale	✓ Mögliches Nachweisverfahren
11.2	Schutzart von Umhüllungen	☐ Sichtprüfung
11.3	Kriechstrecken	☐ Sichtprüfung
11.3	Luftstrecken	☐ Prüfung
	Kleiner als die in Tabelle 1 (EN 61439-1)	☐ Messung / Prüfung
	Nicht offensichtlich grösser als in Tabelle 1 (EN 61439-1)	☐ Sichtprüfung
	Grösser als Tabelle 1 (EN 61439-1)	☐ Sichtprüfung

Bild 7 Beispiel eines Stücknachweises durch den Hersteller der Schaltgerätekombination.

a) Bauanforderungen	b) Verhalten
1. Schutzart von Gehäusen	1. Isolationseigenschaften
2. Luft- und Kriechstrecken	2. Verdrahtung, Betriebsverhalten und Funktion
3. Schutz gegen elektrischen Schlag und Durchgängigkeit der Schutzleiterkreise	
4. Einbau von Betriebsmitteln	
5. innere elektrische Stromkreise und Verbindungen	
6. Anschlüsse für von aussen eingeführte Leiter	
7. mechanische Funktion	

Tabelle 1 Anforderungen, die für einen Nachweis erfüllt sein müssen.

festigkeit. Bei den Niederspannungsverteilungen und den Verteilkabinen nach SN EN 61439-5 wird ein Inspektor einen Stücknachweis verlangen, mit dem Werkstoff- und Fertigungsfehler festgestellt und das richtige Funktionieren der fertiggestellten Schaltgerätekombination sichergestellt werden können. Ein Stücknachweis wird an jeder Schaltgerätekombination durchgeführt. Der Hersteller der Schaltgerätekombination muss festlegen, ob der Stücknachweis während und/oder nach der Herstellung durchzuführen ist. Wenn dies angemessen ist, bestätigt er auch, dass ein Bauartnachweis zur Verfügung steht. **Tabelle 1** zeigt auf, was der Nachweis umfassen muss.

Fazit

Der Schutz des Niederspannungsverteilnetzes muss regelmässig durch den Betriebsinhaber überprüft und dokumentiert werden. Er bestimmt anhand der äusseren Einflüsse, der Art der Anlage und der elektrischen Beanspruchung die Kontrollperiode. Im Rahmen dieser Kontrollen muss der Betreiber die Kurzschlussfestigkeit der Anlagen regelmässig überprüfen. In der Regel sind den Betreibern die Änderungen von Kurzschlussleistungen ihrer Trafostationen bekannt.

Die regelmässige Überprüfung der Erd- und Kurzschlussfestigkeit dient der Anlagen- und Personensicherheit. Es können so verheerende Schäden (**Bild 6**) verhindert werden. Je nach Ergebnis der Überprüfung sind entsprechende Massnahmen zur Erhöhung der Kurzschlussfestigkeit nötig.

Autoren

Roland Hürlimann, Leiter Inspektionen ESTI
Daniel Otti, Geschäftsführer ESTI

Kontakt

Hauptsitz

Eidgenössisches
Starkstrominspektorat ESTI
Luppenstrasse 1, 8320 Fehraltorf
Tel. 044 956 12 12
info@esti.admin.ch
www.esti.admin.ch

Niederlassung

Eidgenössisches
Starkstrominspektorat ESTI
Route de Montena 75, 1728 Rossens
Tel. 021 311 52 17
info@esti.admin.ch
www.esti.admin.ch