

ENERGIE

Definition von Kurzschlusswerten für Leistungsschalter

Leistungsschalter schützen elektrische Anlagen vor Beschädigungen, die durch Kurzschlüsse verursacht werden können. Doch der „Kurzschlussstrom“ kann je nach Anwendung variieren. Wie helfen IEC- und EN-Normen Planern dabei, den Überstromschutz in elektrischen Anlagen richtig zu spezifizieren?



Joachim Becker
ABB Stotz-Kontakt GmbH
Heidelberg, Deutschland

joachim.becker@
de.abb.com

Die ständige Verfügbarkeit elektrischer Energie ist für eine moderne Gesellschaft unerlässlich. Ohne Strom wären die meisten Wohnhäuser, Betriebe und Industrieanlagen lahmgelegt. Diese elektrische Energie muss dem Verbraucher sicher und zuverlässig bereitgestellt werden,

Schaltanlagen müssen den fehlerhaften Stromkreis abschalten und gleichzeitig den Weiterbetrieb der nicht betroffenen Stromkreise gewährleisten.

wobei Schaltanlagen eine wesentliche Rolle spielen. Aufgrund der offensichtlichen Gefahren, die damit verbunden sind, müssen solche Schaltanlagen bzw. lokale Installationsverteiler so ausgelegt sein, dass sie die Installation durch Abschalten des fehlerhaften Stromkreises schützen und gleichzeitig den Weiterbetrieb der nicht betroffenen Stromkreise gewährleisten.



—
01 Zum Schutz elektrischer Anlagen gegen Kurzschlussströme kommt eine Vielzahl von Leistungsschaltern zum Einsatz. Das umfangreiche Schalterangebot von ABB deckt praktisch alle Spannungs- und Stromwerte ab. Das Bild zeigt einen Hauptsicherungsautomaten vom Typ ABB S753DR-E63.

Schalterarten

Ein Kurzschluss setzt Geräte einer großen Belastung aus. Daher müssen bei der Auslegung der Schaltgerätekombination bzw. des Installationsverteilers die thermischen und dynamischen Belastungen berücksichtigt werden, die der maximale Kurzschlussstrom am Anschlusspunkt vor Ort verursacht. Um Schäden an der Installation (oder Personen) zu verhindern, werden Kurzschluss-Schutzeinrichtungen eingesetzt, die den Kurzschlussstrom am Anschlusspunkt abschalten →1.

—
Bei der Auslegung müssen die thermischen und dynamischen Belastungen berücksichtigt werden, die der maximale Kurzschlussstrom am Anschlusspunkt vor Ort verursacht.

Am häufigsten werden für diese Schaltaufgabe Kompaktleistungsschalter (MCCBs) →2, Leitungsschutzschalter (MCBs), Fehlerstrom-Schutzschalter (RCCBs) und Fehlerstrom-Schutzschalter mit Überstrom-Schutzeinrichtung (RCBOs) verwendet. Diese Geräte sind mit ihrem maximalen Kurzschlusschaltvermögen gekennzeichnet, um Schaltschrankbauern die Wahl des richtigen Produkts für die jeweilige Anwendung zu ermöglichen. Solche Schalter eignen sich zur Trennung, wobei für häufig auch Lasttrennschalter installiert werden, damit die Anlage zu Wartungs- und Instandsetzungszwecken vollständig spannungsfrei geschaltet werden kann.

Der Dauer-Kurzschlussstrom

Niederspannungsanlagen werden typischerweise von Transformatoren gespeist. In einem solchen Niederspannungsnetz errechnet sich der Dauer-Kurzschlussstrom (I_k) aus der Bemessungsspannung und dem Wechselstromwiderstand (Impedanz) des Kurzschlusses. Eine überlagerte Gleichstromkomponente, die langsam auf null abklingt, ist ebenfalls vorhanden →3. Der Spitzenwert von I_k ist ein wichtiger Wert für die Kurzschlussdefinitionen in den Normen.

Normen für Leistungsschalter

Je nach Anwendung können bei der Spezifikation von Leistungsschaltern oder entsprechender Ausrüstung für den Netzschutz verschiedene Normen herangezogen werden:

- Die IEC/EN60898-1 gilt für Leitungsschutzschalter für den Überstromschutz in Haushalten und ähnlichen Installationen wie z. B. Läden, Büros, Schulen und kleine Gewerbegebäude. Diese Schalter sind wartungsfrei und so konzipiert, dass sie von nicht unterwiesenen Personen bedient werden können.
- Die IEC/EN60947-2 gilt für Leistungsschalter, die vorwiegend in industriellen Anwendungen eingesetzt werden, zu denen nur unterwiesene Zugang haben.
- Trennschalter werden gemäß der Norm IEC/EN60947-3 geprüft.
- Schaltgerätekombinationen oder Installationsverteiler werden gemäß der Norm IEC/EN61439 geprüft.

Aufgrund des unterschiedlichen Umfangs der Normen werden in einigen Fällen verschiedene Definitionen für den gleichen elektrischen Vorgang verwendet. Daher muss der Planer dafür sorgen, dass er genau weiß, welche Definition – z. B. für das Kurzschlusschaltvermögen – für das Design, an dem er gerade arbeitet, gültig ist.

Leitungsschutzschalter und die IEC/EN60898-1

Die IEC/EN60898-1 definiert das Bemessungsschaltvermögen (I_{cn}) als Ausschaltvermögen gemäß einer vorgegebenen Prüffolge. Nicht eingeschlossen ist dabei die Fähigkeit des Schalters, 85 % des Nichtauslösestroms für eine festgelegte Zeit (konventionelle Zeit) zu führen. Das Betriebsschaltvermögen (I_{cs}) ist das Ausschaltvermögen gemäß einer vorgegebenen Prüffolge, die die Fähigkeit des Schalters einschließt, 85 % des Nichtauslösestroms für eine festgelegte Zeit zu führen.





02

Die IEC/EN60898-1 definiert feste Werte für das Verhältnis zwischen I_{cs} und I_{cn} . Die Werte für I_{cs} und I_{cn} sind als Effektivwerte der prospektiven (unbeeinflussten) Kurzschlussströme angegeben. Um die Anforderungen der Norm für beide Schaltvermögen zu erfüllen, muss das Ein- und Ausschalten von drei Leitungsschutzschaltern geprüft werden. Beim Einschalten wird der Kurzschlussstrom bei einem bestimmten Phasenwinkel in Bezug auf die Spannungswelle initiiert. Die drei Schalter werden bei verschiedenen Winkeln geprüft. Die Prüffolge für I_{cn} ist „O - t - CO“, wobei „O“ für eine Ausschaltung (open) und „CO“ für eine Einschaltung gefolgt von einer Ausschaltung (close-open) steht, d. h. der geprüfte Schalter wird eingeschaltet und für eine bestimmte Zeitspanne mit dem Kurzschlussstrom beaufschlagt. Die Zeit „t“ (time) zwischen den Schaltungen beträgt 3 min. Für I_{cs} lautet die Schaltfolge „O - t - O - t - CO“ für ein- und zweipolige und „O - t - CO - t - CO“ für drei- und vierpolige Schalter. Entsprechend der Initiierung des Kurzschlussstroms laut Norm muss mindestens einer der geprüften Schalter beim härtesten Spannungsphasenwinkel abschalten.

Leistungsschalter und die IEC/EN60947-2

Die IEC/EN60947-2 definiert das Bemessungs-Grenzkurzschlussausschaltvermögen (I_{cu}) anhand einer bestimmten Prüffolge, die den Nachweis der Überlastauslösung des Schalters beinhaltet. In der IEC/EN60947-2 ist I_{cs} das Ausschaltvermögen gemäß einer festgelegten Prüffolge, die den Nachweis der Funktionsfähigkeit des Schalters beim Bemessungsstrom, eine Erwärmungsprüfung und den Nachweis der Überlastauslösung beinhaltet. Für das Verhältnis zwischen I_{cs} und I_{cn} definiert die IEC/EN60947-2 Werte zwischen 25 und 100%. Auch hier sind die Werte für I_{cs} und I_{cn} als Effektivwerte der prospektiven Kurzschlussströme angegeben. Um die Anforderungen der Norm für beide Schaltvermögen zu erfüllen, müssen zwei

Mindestens einer der geprüften Schalter muss beim härtesten Spannungsphasenwinkel abschalten.

Leistungsschalter geprüft werden. Ähnlich wie bei der IEC/EN60898-1 wird der Kurzschlussstrom beim Einschalten bei einem bestimmten Phasenwinkel in Bezug auf die Spannungswelle initiiert. Allerdings erfolgt die Prüfung beider Schalter beim gleichen Winkel. Die Prüffolgen lauten „O - t - CO“ für I_{cu} und „O - t - CO - t - CO“ für I_{cs} . Die Zeit „t“ zwischen den Schaltungen beträgt ebenfalls 3 min. Der Spannungsphasenwinkel, bei dem der Kurzschlussstrom beim Einschalten initiiert wird, entspricht dem Winkel, bei dem der Spitzenstrom erreicht wird. Dieser Spitzenstrom entspricht gleichzeitig dem Bemessungs-Kurzschlusseinschaltvermögen (I_{cm}) und ist gleich dem Bemessungs-Grenzkurzschlussausschaltvermögen multipliziert mit einem in der IEC/EN60947-2 definierten Faktor.

Lasttrennschalter und die IEC/EN60947-3

Werden Lastschalter, Trennschalter, Lasttrennschalter oder Schalter-Sicherungseinheiten in ein System eingebaut, kommt die IEC/EN60947-3 zur Anwendung. Ein Lasttrennschalter ist in der Lage, einen Strom unter bestimmten Bedingungen ein- und auszuschalten. In offener Stellung erfüllt der Lasttrennschalter eine isolierende Funktion. Da ein Lasttrennschalter nicht mit einem Überstromauslöser ausgestattet ist, muss er durch einen Leitungsschutzschalter, Kompaktleistungsschalter oder eine

— 02 Niederspannungs-Kompaktleistungsschalter ABB SACE FORMULA A1 (entspricht den Anforderungen der IEC/EN60947-2).

— 03 Verlauf des Kurzschlussstroms.

Sicherung geschützt werden. Das Kurzschluss-schaltvermögen der Kombination aus Lastschalter und Leistungsschalter ist definiert als der bedingte Bemessungs-Kurzschlussstrom und entspricht dem Wert des prospektiven Kurzschlussstroms, dem der durch eine Kurzschluss-Schutzeinrichtung (SCP) geschützte Lasttrennschalter standhalten kann. Dabei ist zu beachten, dass der Lasttrennschalter in der Lage sein muss, dem durch die Kurzschluss-Schutzeinrichtung begrenzten Strom standzuhalten.

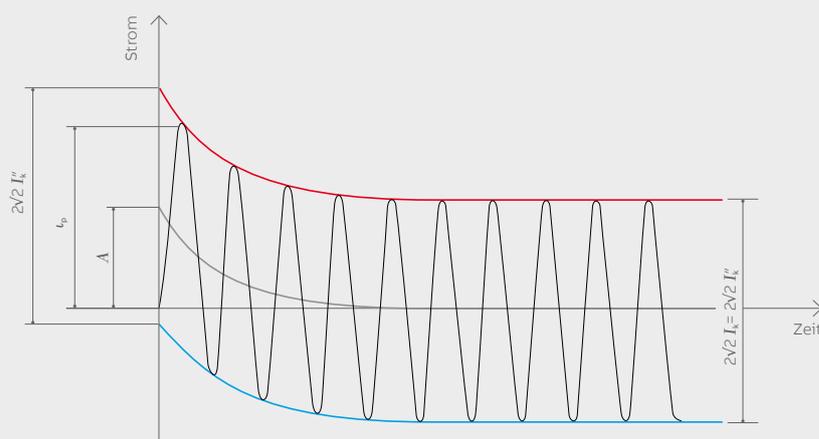
Der Lasttrennschalter muss in der Lage sein, dem durch die Kurzschluss-Schutzeinrichtung begrenzten Strom standzuhalten.

Gleiches gilt auch für Fehlerstrom-Schutzschalter, d. h. der auf dem Gerät angegebene Kurzschlussstrom ist der bedingte Bemessungs-Kurzschlussstrom der Kombination aus Fehlerstrom-Schutzschalter und einer Kurzschluss-Schutzeinrichtung.

Ein weiterer Kurzschlusswert, der in der IEC/EN60947-3 und der IEC/EN60947-2 definiert wird, ist die Bemessungs-Kurzzeitstromfestigkeit (I_{cw}). Dieser Wert gilt für Lastschalter (z. B. Lasttrennschalter), Leistungsschalter wie Kompaktleistungsschalter oder offene Leistungsschalter (ACBs) sowie für Sammelschienen. I_{cw} ist der Stromwert, dem das Gerät für eine bestimmte Zeitspanne standhalten kann, ohne beschädigt zu werden. Die IEC/EN60947-2 definiert bevorzugte Werte für diese Zeitspanne von 0,05, 0,1, 0,25, 0,5 und 1 s; die IEC/EN60947-3 definiert 1 s. Bei Wechselstrom entspricht I_{cw} dem Effektivwert des Stroms.

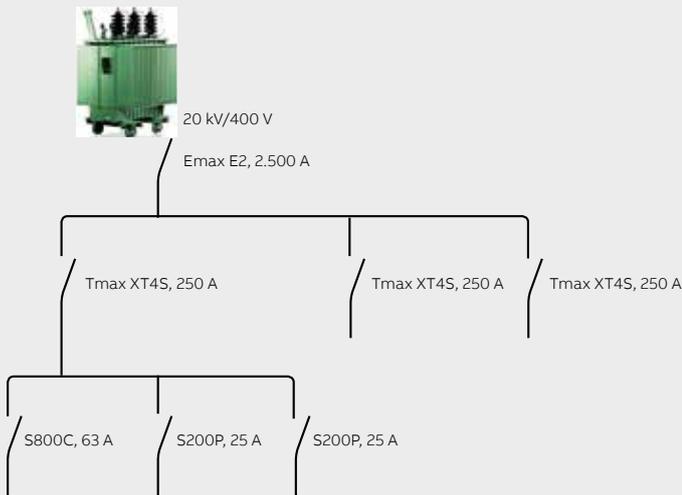
Der Wert I_{cw} ist wichtig für Schaltanlagen mit in Reihe geschalteten Komponenten, bei denen die Selektivität zwischen den Schutzeinrichtungen durch eine Zeitverzögerung realisiert ist. Wenn z. B. der Stromkreis eines Abzweigs mit einem offenen Leistungsschalter ausgestattet ist und die nachgeschalteten Abgangsstromkreise durch Kompaktleistungsschalter geschützt sind, wird eine Selektivität erreicht, indem eine verzögerte Auslösung des offenen Leistungsschalters eingerichtet wird. Die Installation zwischen dem offenen Leistungsschalter und dem Kompaktleistungsschalter muss dem angegebenen Kurzschlussstrom für die Dauer der Verzögerung des offenen Leistungsschalters standhalten.

03



I_k'' Anfangs-Kurzschlusswechselstrom
 I_k Stoßkurzschlussstrom
 I_k Dauerkurzschlussstrom
 I_{dc} Abklingende Gleichstromkomponente des Kurzschlussstroms
 A Anfangswert der Gleichstromkomponente

— Obere Hüllkurve
 — Abklingende Gleichstromkomponente
 — Untere Hüllkurve



04

Niederspannungs-Schaltgeräte und die IEC/EN61439-1

Die IEC/EN61439-1 gilt für Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen. Bei Schaltgerätekombinationen mit in der Einspeisung eingebauter Kurzschluss-Schutzeinrichtung muss der Hersteller den höchstzulässigen unbeeinflussten Kurzschlussstrom an den Einspeiseanschlüssen der Schaltgerätekombination angeben. Um die Schaltgerätekombination zu schützen, muss der I_{cu} - bzw. I_{cn} -Wert der Kurzschluss-Schutzeinrichtung

Die IEC/EN61439-1 gilt für Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen.

gleich oder höher sein als der unbeeinflusste Kurzschlussstrom. Wird ein Leistungsschalter mit verzögertem Auslöser als Kurzschluss-Schutzeinrichtung verwendet oder ist keine Kurzschluss-Schutzeinrichtung in die Schaltgerätekombination eingebaut, muss der I_{cw} -Wert mit der größten Verzögerungszeit angegeben werden.

Anwendungsbeispiel: Kupferfabrik

Angenommen, eine Kupferfabrik wird über einen 20-kV/400-V-Verteiltransformator vom 20-kV-Mittelspannungsnetz gespeist. Die Bemessungsleistung des Transformators S_r beträgt 1.600 kVA, und die relative Kurzschlussspannung u_{kr} ist 6 %.

Bei Verteiltransformatoren mit Bemessungsleistungen bis 3.150 kVA kann die Netzimpedanz normalerweise vernachlässigt werden. Die Kurzschlussimpedanz des Transformators

begrenzt den Kurzschlussstrom entsprechend folgender Gleichung:

$$I_k = \frac{S_r}{\sqrt{3} \times U_n \times u_{kr}} = \frac{1.600 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 0,06} = 38,5 \text{ kA}$$

→4 zeigt das Schaltbild der Stromversorgung.

An der Einspeisung kommt ein Leistungsschalter vom Typ ABB Emax E2 mit einem Bemessungsstrom von 2.500 A zum Einsatz. Die Verteilungsebene ist durch einen Leistungsschalter vom Typ ABB Tmax XT4S geschützt. Die Endstromkreise sind mit Leitungsschutzschaltern vom Typ ABB S800C und S200P ausgestattet.

Um die richtige Kaskadierung zu gewährleisten, wird folgende Rechnung durchgeführt: Der I_{cw} -Wert des Emax E2 (Version B) beträgt 42 kA. Die Verzögerung ist auf 0,1 s festgelegt. Folglich ist der Emax in der Lage, dem Kurzschlussstrom standzuhalten. Auf der Verteilungsebene beträgt der I_{cu} -Wert des Tmax XT4S 50 kA. Das Kabel zwischen dem Tmax und der Sammelschiene für die Unterverteilung hat einen Querschnitt von 95 mm² und eine Länge von 15 m. Der Widerstand des Kabels beträgt laut technischen Handbüchern 0,246 Ω/km.

Der Widerstand des Transformators beträgt 0,00597 Ω. Der Kurzschlussstrom an der Unterspannungsseite ist somit:

$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} \times (Z_r \times Z_i)} = \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3} \times (0,00597 + 0,00369) \Omega} = 23,9 \text{ kA}$$

Durch die Verwendung der Leitungsschutzschalter S800C und S200P ist kein Backup-Schutz erforderlich, da das Grenzkurzschlussausschaltvermögen der Geräte 25 kA beträgt. Eine vollständige Selektivität zwischen dem Tmax XT4S und dem S800C bzw. S200P ist gegeben.

Anwendungsbeispiel: Stromverteilung in einem großen Bürogebäude

Wird ein Bürogebäude vom 20-kV-Mittelspannungsnetz über einen 20-kV/400-V-Transformator mit einer S_r von 630 kVA und einer u_{kr} von 4 % gespeist, begrenzt auch hier die Kurzschlussimpedanz des Transformators den Kurzschlussstrom entsprechend der Gleichung:

$$I_k = \frac{S_r}{\sqrt{3} \times U_n \times u_{kr}} = \frac{630 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times 0,04} = 22,7 \text{ kA}$$

→5 zeigt das Schaltbild der Stromversorgung.

—
04 Beispielkonfiguration
von Schutzgeräten für
eine Kupferfabrik.

—
05 Beispiel eines
Schutzschemas für ein
großes Bürogebäude.

Der I_{cu} -Wert des Leistungsschalters vom Typ Tmax XT4 (Version N) beträgt 36 kA, der I_{cu} -Wert des selektiven Haupt-Leitungsschutzschalters vom Typ ABB S750DR 25 kA. Folglich sind der Tmax und der S750DR in der Lage, den Kurzschlussstrom abzuschalten. Das Kabel zwischen dem S750DR und dem Unterverteilungsnetz hat einen Querschnitt von 16 mm^2 und eine Länge von 10 m. Der Widerstand des Kabels beträgt laut technischen Handbüchern $1,32 \text{ } \Omega/\text{km}$. Der Widerstand des Transformators beträgt $0,01012 \text{ } \Omega$.

Der Kurzschlussstrom auf der Unterspannungsebene ist somit:

$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} \times (Z_r \times Z_i)} = \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3} \times (0,01012 + 0,0132) \text{ } \Omega} = 9,9 \text{ kA}$$

Durch die Verwendung eines Leitungsschutzschalters vom Typ S200M ist kein Backup-Schutz erforderlich, da das Grenzkurzschlussausschaltvermögen 15 kA beträgt. Eine vollständige Selektivität zwischen dem S750DR und S200M ist gegeben.

Für den in →5, dargestellten Lasttrennschalter vom Typ SD200 ist der bedingte Bemessungskurzschlussstrom wichtig. Der Wert für die Kombination SD200/S750DR beträgt 10 kA.

Folglich wird der SD200 vom S750DR geschützt, da der maximale Kurzschlussstrom an diesem Punkt 9,9 kA beträgt.

—
Die richtige Konfiguration
von Schutzeinrichtungen
ermöglicht einen sicheren und
zuverlässigen Betrieb unter
Kurzschlussbedingungen.

Die oben beschriebenen Beispiele zeigen, dass bei der richtigen Konfiguration von Schutzeinrichtungen ein sicherer und zuverlässiger Betrieb von Schaltanlagen unter Kurzschlussbedingungen möglich ist. Die verschiedenen erwähnten IEC/EN-Normen helfen Planern dabei, die richtigen Bemessungsdaten für die eingesetzten Produkte zu wählen, und sorgen somit dafür, dass die betreffende Anwendung auch im Fehlerfall mit elektrischer Energie versorgt wird. ●

