

11.5.6 Messung von Kurzschlussströmen bzw. Schleifenimpedanzen

Es gibt grundsätzlich zwei Methoden, den Kurzschlussstrom zu messen. Die beiden Messmethoden sind:

- Durch Schaltgeräte wird ein direkter Kurzschluss zwischen einem Außenleiter und dem PEN-Leiter, ggf. auch Schutzleiter, hergestellt und nach kurzer Zeit (etwa 100 ms) wieder abgeschaltet. Nach dem Abklingen des Einschwingvorgangs wird der letzte Teil des Messwerts (etwa 40 ms) gespeichert und steht als Ergebnis zur Verfügung.
- Durch Einschaltung eines Prüfwiderstands R_P wird der bei Belastung auftretende Spannungsfall gemessen und daraus der Kurzschlussstrom berechnet.

Geräte nach a) sind teuer und störanfällig und werden in der Praxis kaum noch verwendet. Nachfolgend wird nur die Messmethode nach b) behandelt.

Die prinzipielle Messschaltung ist in Bild 11.5 gezeigt. Bei der Messung wird zunächst der Schalter S_V eingelegt und der Vorprüfwiderstand R_V (etwa 1 000 Ω bis 2 000 Ω) an das Netz geschaltet. Dabei wird festgestellt, ob eine Unterbrechung im PEN-Leiter vorliegt und die Prüfung abgebrochen werden muss. Danach erfolgt die Hauptprüfung, wobei durch den Schalter S_P der Widerstand R_P (etwa 5 Ω bis 25 Ω) eingeschaltet wird. Dabei wird der Spannungsfall U_{E1} am Hauptwiderstand gemessen. Die Netzspannung U_E wird nicht gleichzeitig gemessen; sie ist entweder kurz vor oder kurz nach der Belastungsmessung vorzunehmen. Die Zusammenhänge zeigt Bild 11.6. Aus den Messwerten ergeben sich der Kurzschlussstrom I_k und der Schleifenwiderstand R_S zu:

$$I_k = \frac{U_E}{U_E - U_{E1}} I \quad (11.3)$$

$$R_S = \frac{\Delta U}{I} = \frac{U_E - U_{E1}}{I} \quad (11.4)$$

In den Gln. (11.3) und (11.4) sowie in Bild 11.5 und Bild 11.6 bedeuten:

- I_k errechneter Kurzschlussstrom in A
- I gemessener Strom durch R_P (Schalter S_V in AUS-Stellung) in A
- R_i Messgeräte-Innenwiderstand ($R_i \ll R_P$)
- R_P Prüfwiderstand
- R_V Vorprüfwiderstand
- R_S Ohm'scher Anteil (Resistanz) an der Schleifenimpedanz Z_S in Ω
- X_S induktiver Anteil (Reaktanz) an der Schleifenimpedanz Z_S in Ω
- Z_S Schleifenimpedanz des Versorgungsnetzes

- U_E Netzspannung des Versorgungsnetzes in V
- U_{E1} gemessener Spannungsfall in V am Prüfwiderstand R_P
- U tatsächliche Differenzspannung zwischen U_E und U_{E1} nach Bild 11.6
- ΔU überschlägig errechnete Differenzspannung zwischen U_E und U_{E1} ohne Berücksichtigung des Phasenwinkels zwischen diesen Größen und ohne Berücksichtigung der Reaktanz X_S der Schleifenimpedanz Z_S nach Bild 11.6

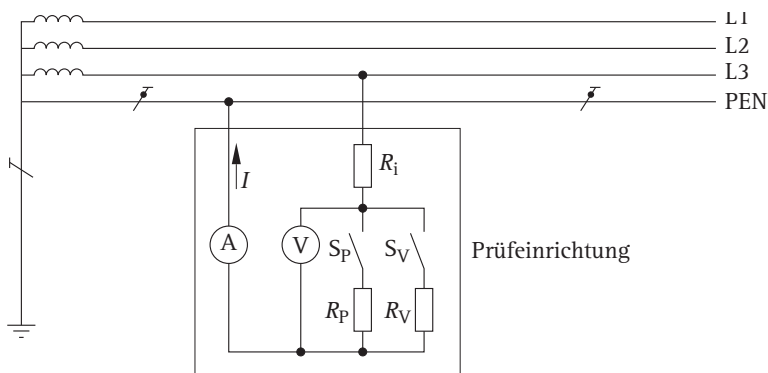


Bild 11.5 Messung des Kurzschlussstroms bzw. Schleifenwiderstands

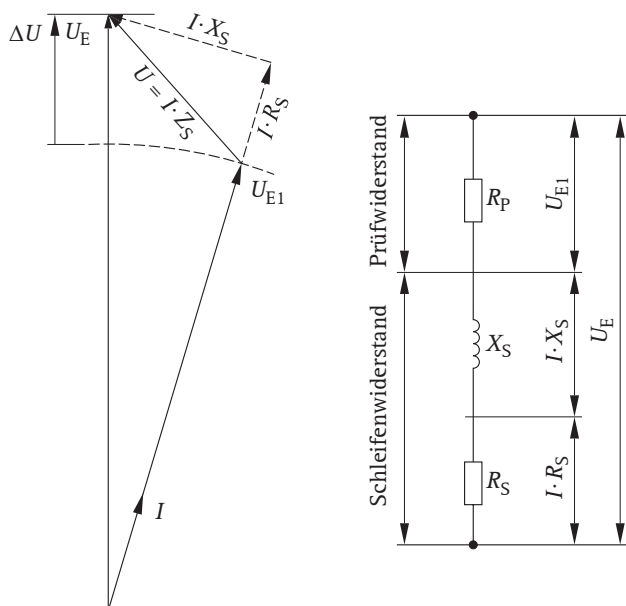


Bild 11.6 Ersatzschaltbild zur Messung des Kurzschlussstroms bzw. Schleifenwiderstands

Dabei wird deutlich, dass die beiden Gln. (11.3) und (11.4) nur den Ohm'schen Anteil R_S der Schleifenimpedanz Z_S berücksichtigen. Im Bild 11.6 werden die tatsächlichen Zusammenhänge grafisch dargestellt. Auch der Fehler, den man bei dieser vereinfachten Betrachtungsweise einbringt, wird erkennbar. Ebenso ist der zusätzliche Spannungsfall über den Messgeräte-Innenwiderstand R_i nach Bild 11.5 nicht berücksichtigt, da $R_i \ll R_P$ ist.

Die Aussagen der Gln. (11.3), (11.4) sowie der Bilder 11.5 und 11.6 sind Folgende:

Der Gesamtstrom I , der nach Bild 11.5 mit einem Amperemeter gemessen wird, verursacht am Prüfwiderstand R_P einen Spannungsfall U_{E1} , der nach Bild 11.5 mit einem Spannungsmesser gemessen wird.

Demnach gilt: $U_{E1} = I \cdot R_P$ (siehe im Bild 11.6, rechte Darstellung)

Vor der Prüfeinrichtung nach Bild 11.5 liegt in Reihe zum Widerstand R_P die Schleifenimpedanz Z_S des einspeisenden Versorgungsnetzes bis zur Messstelle. Diese Schleifenimpedanz besteht selbstverständlich aus einem Ohm'schen Anteil R_S (Resistanz) und einem Blindanteil X_S (Reaktanz).

Der Strom I fließt auch durch die gesamte Schleifenimpedanz Z_S und verursacht an deren Ohm'schen Anteil R_S einen Ohm'schen Spannungsfall ($I \cdot R_S$ – siehe im Bild 11.6, rechte Darstellung).

Am Blindanteil X_S der Schleifenimpedanz wird demzufolge ein um 90° verschobener Spannungsfall entstehen ($I \cdot X_S$ – siehe Bild 11.6, rechte Darstellung).

Die Gesamtspannung bzw. die Nennspannung des Versorgungsnetzes U_E ist die Summe dieser Spannungen (siehe Bild 11.6, rechte Darstellung). Natürlich geht es dabei nicht um die Summe der Beträge, sondern um die sogenannte vektorielle Summe bzw. geometrische Summe der gegeneinander phasenverschobenen Spannungen – so wie im Bild 11.6 (linke Seite) dargestellt.

Die Gln. (11.3) und (11.4) ignorieren jedoch diese Phasenverschiebung, die durch den Blindanteil (Reaktanz) der Schleifenimpedanz Z_S entsteht. Dies wird in Bild 11.6 (linke Darstellung) durch den Kreisbogenabschnitt (gestrichelte, gebogene Linie) dargestellt, wodurch der Betrag von U_{E1} auf die Pfeildarstellung von U_E projiziert wird. Die Längendifferenz zwischen der Länge von U_E und der „projizierten Länge“ von U_{E1} ist ein Maß für den Spannungsfall ΔU , der durch die Gln. (11.3) und (11.4) errechnet wird.

Für die Differenz zwischen dem realen Spannungsfall U und dem überschlägig errechneten Spannungsfall ΔU ist es gleichgültig, ob die Rechnung nach den beiden zuvor erwähnten Gleichungen konkret ausgeführt oder automatisch vom Messgerät vorgenommen und angezeigt wird. Der Fehler, der in jedem Fall bei ΔU verursacht wird, ist umso größer, je höher der Anteil der Reaktanz X_S am Schleifenwiderstand zu veranschlagen ist. Der Anteil der Reaktanz steigt jedoch mit zunehmendem Leiterquerschnitt und wird bei Leiterquerschnitten über 185 mm^2 zur bestimmenden Größe. Ohm'sche Anteile spielen dann kaum noch eine Rolle.

Allerdings kann der Fehler schon bei kleineren Leiterquerschnitten durch die vereinfachte Betrachtung bereits so groß werden, dass von einer korrekten Messung und Berechnung des Kurzschlussstroms kaum mehr gesprochen werden kann. Aus diesem Grund sollte die Messung der Schleifenimpedanz Z_S mit üblichen Schleifenwiderstandsmessgeräten nach VDE 0413-3 nur bei Leiterquerschnitten von maximal 70 mm^2 vorgenommen werden. Für die Berechnungen mithilfe der Gln. (11.3) und (11.4) trifft dies natürlich ebenfalls zu.

Der Grund für diese Einschränkung liegt auf der Hand: Wie Bild 11.6 zeigt, wird bei größeren Leiterquerschnitten für ΔU ein zu kleiner Wert gemessen. Dadurch ist auch die ermittelte Schleifenimpedanz zu klein, sodass der Kurzschlussstrom zu groß errechnet wird. Das führt unweigerlich zu sinnlosen Fehldimensionierungen.

Aber auch für Messungen bei Leiterquerschnitten bis 70 mm^2 müssen Korrekturen vorgenommen werden; denn es kommen noch systembedingte Messfehler hinzu, die z. B. durch Lastveränderungen oder durch Spannungsschwankungen während der Messung entstehen können. Diese systematischen Fehler sollen nach VDE 0413-3 mit $\pm 30 \%$ veranschlagt werden, und dabei ist noch nicht die Einflussnahme der Temperaturerhöhung im Kurzschlussfall eingerechnet.

Eine Korrektur der Messergebnisse ist deshalb unbedingt erforderlich. Nach Teil 600, Anhang C, Abschnitt C.61.3.6.2 ist dringend zu empfehlen, folgende Korrekturen vorzunehmen:

$$I_k = \frac{I_{k \text{ (Messwert)}}}{1,5} \quad (11.5)$$

$$Z_S = 1,5 Z_{S \text{ (Messwert)}} \quad (11.6)$$

Die Messung muss mit einem Messgerät nach DIN EN 61557-3 (VDE 0413-3) durchgeführt werden.

11.5.7 Messung des Auslösestroms bei RCDs

Bei der Überprüfung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) geht es um die Feststellung, ob die Schutzeinrichtung im errichteten Zustand den Anforderungen genügt, die durch Normen der Reihe VDE 0100 an sie gestellt werden. Im Wesentlichen muss überprüft werden, ob:

- a) die RCD bei dem vorgesehenen Auslösestrom tatsächlich auslöst; dieser Auslösestrom wird nach Norm Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n}$ genannt
- b) im TT-System die maximal zulässige Berührungsspannung nach VDE 0100-410, Abschnitt 411.5.3 beim Auftreten des Bemessungsdifferenzstroms nicht überschritten wird; im TN-System ist dies nicht erforderlich