

Unerwünschte Auslösungen
von Fehlerstromschutzschaltern



ABB Unerwünschte Auslösungen von Fehlerstromschutzschaltern

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines

2. Auslösungen als Folge von Installationsfehlern

- 2.1 Neutralleiter-Schutzleiter-Verbindung
 - 2.1.1 Erhöhung des Auslösestromes I_{Δ} des Fehlerstromschutzschalters
 - 2.1.2 Auslösung des Fehlerstromschutzschalters beim Anschliessen eines Verbrauchers
 - 2.1.3 Auslösung des Fehlerstromschutzschalters beim Anschliessen eines Verbrauchers an einen benachbarten Stromkreis
- 2.2 Verwendung des Schutzleiters als Neutralleiter
- 2.3 Parallelschaltung des Neutralleiters
- 2.4 Parallelschaltung von Fehlerstromschutzschaltern
- 2.5 Vertauschen von Leitern
- 2.6 Ungleichseitige Einspeisung

3. Auslösungen als Folge von äusseren Einwirkungen

- 3.1 Kurzschlüsse
- 3.2 Erdschlüsse
- 3.3 Blitzschläge und atmosphärische Überspannungen
- 3.4 Magnetische Einflüsse

4. Auslösungen als Folge von kapazitiven Ableitströmen

- 4.1 Kapazitive Ableitströme von Leitungen
- 4.2 Kapazitive Ableitströme von Heizleitungen
- 4.3 Kapazitive Ableitströme von Folienbodenheizungen

5. Fehlersuche

6. Produkte für den Fehlerstromschutz

1. Allgemeines

Fehlerstromschutzschalter haben die Aufgabe, Stromkreise zu unterbrechen, wenn infolge eines Isolationsfehlers ein zu grosser Strom auf die Erde fliesst.

Die Abschaltung muss erfolgen, wenn dieser Strom (Fehlerstrom) grösser als der Nennauslösestrom I_n des Fehlerstromschutzschalters ist. In einer Installation, die in Bezug auf die Isolation einwandfrei ist, sind die Fehlerströme äusserst gering. Gemäss SN SEV 1000 – 3, 612.3 muss bei einer Nennspannung zwischen 50 V und 500 V der Isolationswiderstand gegen Erde mindestens 0,5 M betragen. In Netzen mit einer Spannung von 230 V gegen Erde ist deshalb ein maximaler Fehlerstrom von 0,5 mA ($230 \text{ V}/0,5 \text{ M}$) zugelassen. Der Isolationswiderstand von 0,5 M bezieht sich nur auf die Installation, das heisst, die angeschlossenen Geräte werden nicht mitgerechnet. Wenn ein Fehlerstromschutzschalter anspricht, müssen daher zuerst die elektrischen Verbraucher untersucht werden.

Gelegentlich löst ein Fehlerstromschutzschalter vermeintlich grundlos aus. Die angeschlossenen Geräte sind in Ordnung, und auch die Isolation ist in einem einwandfreien Zustand. Man spricht dann gerne von Fehlauflösungen. Die Ursachen sind aber oft Installationsfehler, in vielen Fällen bei Installationserweiterungen entstanden. Diese Mängel werden oft beim nachträglichen Einbau von Fehlerstromschutzschaltern entdeckt oder entstehen bei Installationserweiterungen. In den Schemata werden die Fehlerstromschutzschalter aus Gründen der Übersichtlichkeit nur als Summenstromwandler mit den durch diese fliessenden Strömen dargestellt. Ist die vektorielle Summe der durch den Summenstromwandler fliessenden Ströme ungleich null, löst der Fehlerstromschutzschalter aus. Ebenfalls aus Gründen der Übersichtlichkeit wird, wenn die Polzahl keine Rolle spielt, eine zweipolige Darstellung gewählt.

2.1 Neutraleiter-Schutzleiter-Verbindung

In der SN SEV 1000 – 1, 41 222.3 ist festgelegt, dass die getrennt verlegten Neutral- und Schutzleiter eines TN-S-Netzes nach ihrer Auftrennung am Hausanschluss an keiner Stelle mehr miteinander verbunden sein dürfen. Eine solche Verbindung ist zum Beispiel gegeben, wenn eine Netzsteckvorrichtung verwendet wird, die eine der im alten Nullungssystem Schema 3 üblichen Brücken zwischen der Neutraleiter- und der Schutzleiterbuchse enthält. Die Verbindung zwischen N und PE hat für die Fehlerstromschutzschaltung mehrere Einflüsse und Konsequenzen. Es sind:

- Erhöhung des Auslösestromes I des Fehlerstromschutzschalters
- Auslösen des Fehlerstromschutzschalters beim Anschliessen eines Verbrauchers an den fehlerstromgeschützten Stromkreis
- Auslösen des Fehlerstromschutzschalters beim Anschliessen eines Verbrauchers an einen benachbarten Stromkreis

Im folgenden werden anhand einer Neutraleiter-Schutzleiter-Brücke in einer Steckvorrichtung die Ursachen dieser Effekte beschrieben.

2.1.1 Erhöhung des Auslösestromes I des Fehlerstromschutzschalters

Eine Verbindung zwischen dem Neutraleiter und dem Schutzleiter auf der Abgangsseite eines Fehlerstromschutzschalters (Abbildung 1) erhöht den Auslösestrom I derart, dass ein Fehlerstromschutzschalter bei einem höheren Niveau – ein 30 mA-Fehlerstromschutzschalter vielleicht bei einem Fehlerstrom von 120 mA statt bei 25 mA – anspricht.

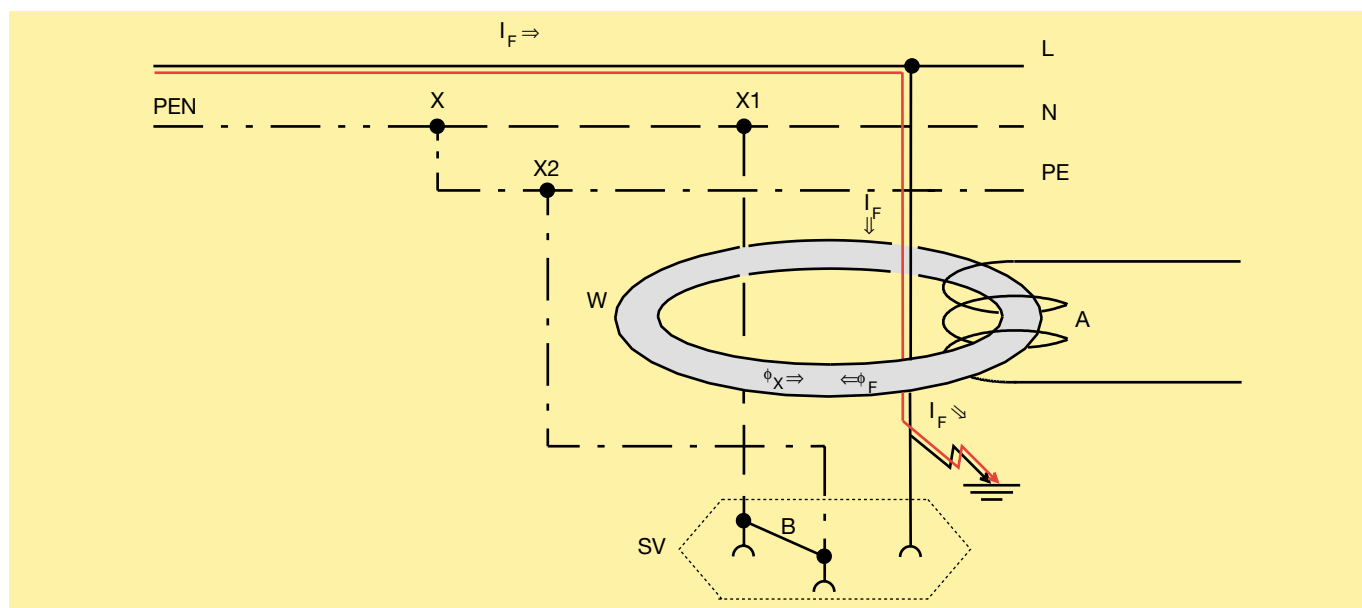


Abbildung 1

2. Auslösungen als Folge von Installationsfehlern

Wenn auf der Abgangsseite eines Fehlerstromschutzschalters ein Fehlerstrom I_F auf die Erde fließt, entsteht im Summenstromwandler W des Fehlerstromschutzschalters ein Magnetfluss Φ_F . Dieser induziert in der Sekundärwicklung A eine Spannung, welche die Auslösung des Fehlerstromschutzschalters bewirkt. Die im vorliegenden Fall des TN-S-Netzes falsch – nämlich zwischen der Neutralleiter- und der Schutzleiterbuchse der Steckvorrichtung SV – eingebaute Brücke B erzeugt eine zweite aus einer Windung um den Summenstromwandler W bestehende geschlossene Sekundärwicklung. Diese führt über die Punkte $X - X1 -$ Brücke $B - X2 - X$. Der Magnetfluss Φ_F induziert in dieser Schlaufe eine Spannung, und da die Wicklung geschlossen ist, fließt in ihr ein Strom. Dieser Strom erzeugt im Summenstromwandler W einen dem Magnetfluss Φ_F entgegengerichteten Magnetfluss Φ_X . Der Gesamtfluss wird dadurch geschwächt, so dass die in der Sekundärwicklung A erzeugte Spannung nicht mehr genügt, um den Fehlerstromschutzschalter auszulösen. Der Fehlerstromschutzschalter wird unempfindlich und löst eventuell beim Betätigen der Prüfvorrichtung nicht aus. Der Betrag, um den der Auslösestrom durch die Fehlschaltung ansteigt, ist von der Impedanz der Windungsschleufe abhängig. Dass aber die Erhöhung des Auslösestromes kaum ein Sicherheitsrisiko darstellt, zeigen die in den Abschnitten 2.1.2 und 2.1.3 erwähnten Situationen.

2.1.2 Auslösung des Fehlerstromschutzschalters beim Anschliessen eines Verbrauchers

Wenn an der Steckvorrichtung SV , welche fälschlicherweise eine Neutralleiter-Schutzleiter-Brücke enthält, oder an einer zu dieser parallel geschalteten Steckvorrichtung ohne Neutralleiter-Schutzleiter-Brücke ein fehlerfreier Verbraucher grösserer Leistung angeschlossen wird (Abbildung 2), löst der Fehlerstromschutzschalter aus.

Beim Anschliessen des Verbrauchers V fließt sein Betriebsstrom I_B von der Stromquelle über den Polleiter L durch den Summenstromwandler W des Fehlerstromschutzschalters, dann durch den Verbraucher V und zurück bis zur Neutralleiterbuchse der Steckvorrichtung SV . Dort teilt sich I_B auf. Ein Teilbetriebsstrom I_B' fließt durch den Summenstromwandler W zum Neutralleiter N , während ein Teilbetriebsstrom I_B'' über die Brücke B und den Schutzleiter PE fließt. Beim Punkt X vereinigen sich I_B' und I_B'' und fließen im PEN-Leiter zur Stromquelle zurück. Weil die durch den Summenstromwandler W fließenden Ströme I_B und I_B' nicht gleich gross sind, löst der Fehlerstromschutzschalter aus. Allerdings muss der Betriebsstrom I_B des Verbrauchers V um einiges grösser als der Nennauslösestrom I_n des Fehlerstromschutzschalters sein, da dieser durch den unter 2.1.1 beschriebenen Effekt unempfindlich geworden ist.

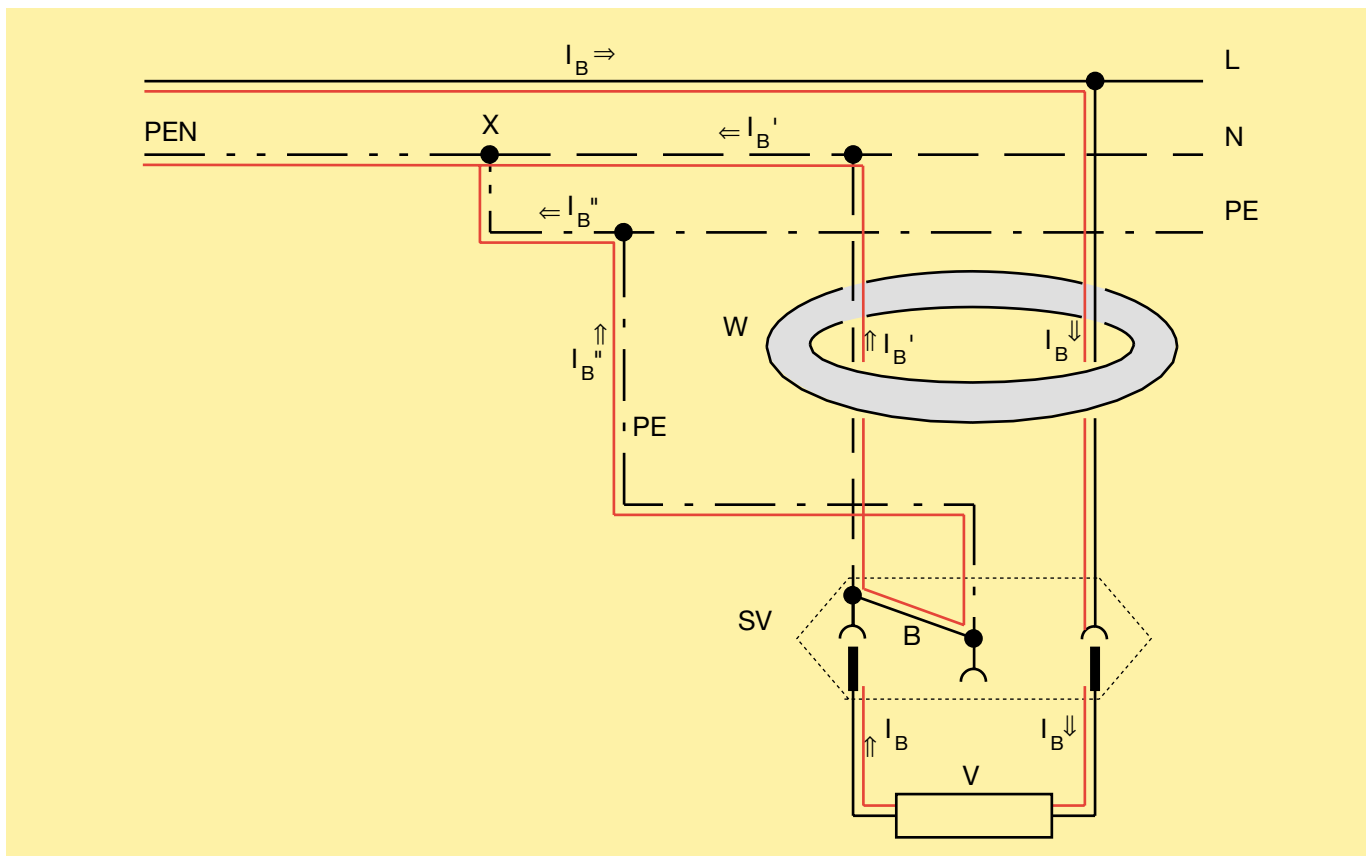


Abbildung 2

2. Auslösungen als Folge von Installationsfehlern

2.1.3 Auslösung des Fehlerstromschutzschalters beim Anschliessen eines Verbrauchers an einen benachbarten Stromkreis

Ein Fehlerstromschutzschalter, auf dessen Abgangsseite der Neutralleiter fälschlicherweise mit dem Schutzleiter verbunden ist, kann auslösen, auch wenn kein Verbraucher angeschlossen ist. Eine Auslösung ist möglich oder sogar wahrscheinlich, obwohl der Betriebsstrom des benachbarten Stromkreises gar nicht über den Fehlerstromschutzschalter fließt. Ob eine Auslösung erfolgt, ist von verschiedenen Kriterien abhängig, wie Nennauslösestrom I_n des Fehlerstromschutzschalters, Betriebsstrom des Verbrauchers und den Längen und Querschnitten der Leiter, über welche die Ströme fließen. Wenn der am benachbarten Stromkreis angeschlossene Verbraucher

zum Punkt X und ebenfalls über den PEN-Leiter zur Stromquelle zurück. Dieser Strom, der von keinem Strom im Polleiter kompensiert wird, kann den Fehlerstromschutzschalter auslösen.

Eine Auslösung erfolgt nur, wenn im Verbraucher V ein Betriebsstrom I_B fließt, der wesentlich über dem Nennauslösestrom I_n des Fehlerstromschutzschalters liegt. Wie gross dieser tatsächlich sein muss, kann nicht gesagt werden, da weder bekannt ist, um wieviel der Auslösestrom I des Fehlerstromschutzschalters durch die Neutralleiter-Schutzleiter-Verbindung erhöht ist, noch in welchem Verhältnis die Aufteilung des Betriebsstromes I_B in $I_{B'}$ und $I_{B''}$ erfolgt. Diese Aufteilung ist abhängig vom Verhältnis der Impedanzen zwischen X-X₁ einerseits und X₁-B-X₂-X andererseits.

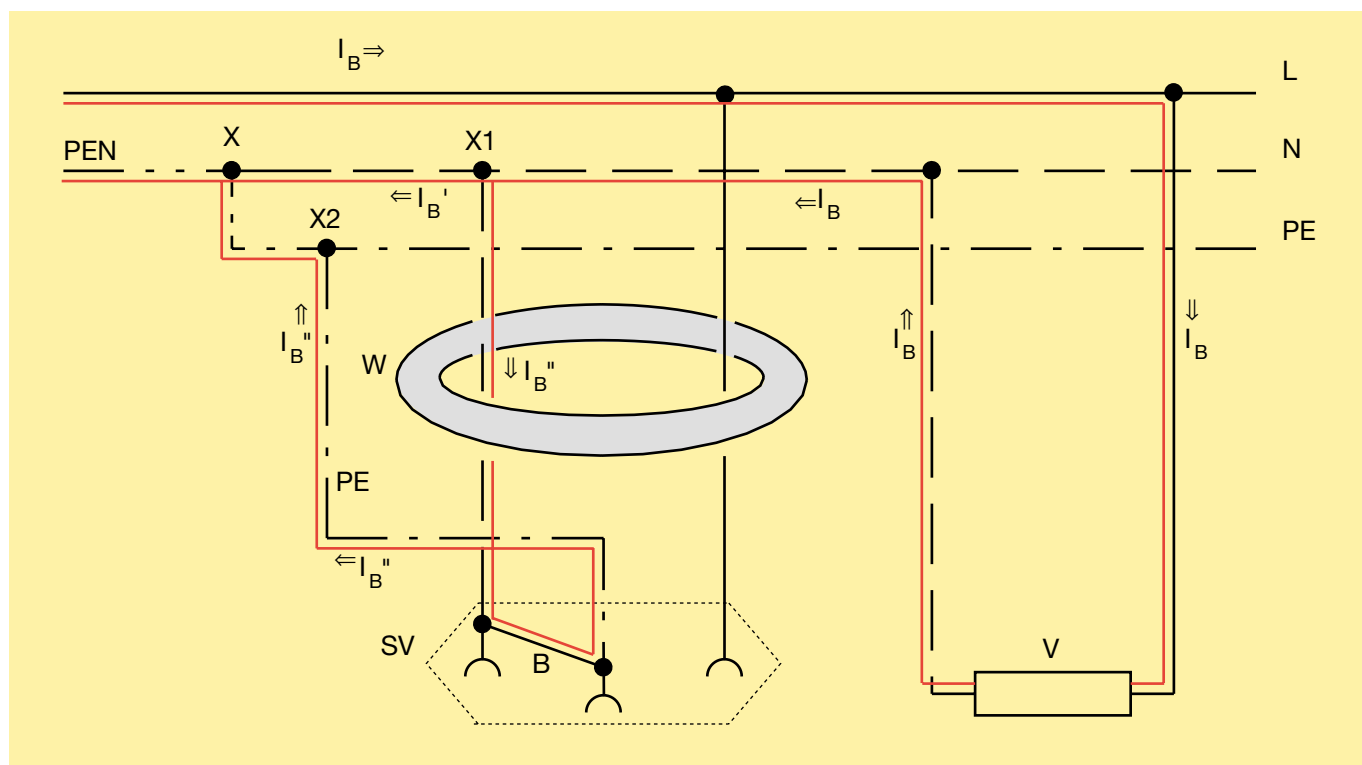


Abbildung 3

(Abbildung 3) beim Einschalten des Fehlerstromschutzschalters schon in Betrieb ist, löst der Fehlerstromschutzschalter sofort aus; er kann gar nicht eingeschaltet werden.

Wenn der Verbraucher V eingeschaltet wird, fließt sein Betriebsstrom I_B von der Stromquelle über den Polleiter L und durch den Verbraucher V zum Neutralleiter N. Beim Punkt X₁ teilt sich der Betriebsstrom I_B auf. Ein Teilbetriebsstrom $I_{B'}$ fließt direkt über den Neutralleiter und den PEN-Leiter zur Stromquelle zurück. Ein Teilbetriebsstrom $I_{B''}$ fließt durch den Summenstromwandler W des Fehlerstromschutzschalters, über die Brücke B, über den Schutzleiter PE

Eine Neutralleiter-Schutzleiter-Verbindung, die wegen der Erhöhung des Auslösestromes I eigentlich ein Sicherheitsrisiko darstellt, wird, wie in den Punkten 2.1.2 und 2.1.3 beschrieben, sehr rasch erkannt, weil durch die Auslösungen des Fehlerstromschutzschalters ein Betrieb kaum möglich ist. Ist dem Verbraucher V ebenfalls ein Fehlerstromschutzschalter vorgeschaltet, löst dieser beim Einschalten von V nicht aus.

2. Auslösungen als Folge von Installationsfehlern

2.2 Verwendung des Schutzleiters als Neutralleiter

Verbraucher, für deren Betrieb kein Neutralleiter notwendig ist, werden über ihre Polleiter gespeist, wobei ein Schutzleiter mitgeführt wird. Muss nachträglich im Verbraucher ein zusätzliches Betriebsmittel eingebaut werden, das eine Spannung von 230 V benötigt, fehlt der Neutralleiter. Aus Nachlässigkeit wird dieses Gerät dann zwischen einen Polleiter und das geerdete Verbrauchergehäuse geschaltet. Das «Nachziehen» des Neutralleiters ist meistens recht aufwendig. Diese Lösung ist jedoch nicht nur unzulässig, sondern bringt wahrscheinlich den vorgeschalteten Fehlerstromschutzschalter zum Auslösen (Abbildung 4).

Das im Verbraucher V eingebaute Gerät Z, zum Beispiel ein Ventilator, ist zwischen den Polleiter L1 und das geerdete Gehäuse des Verbrauchers V geschaltet. Der Betriebsstrom I_Z des Gerätes Z fließt über den Polleiter L1, durch den Summenstromwandler W des Fehlerstromschutzschalters, durch Z und über den

Schutzleiter PE zur Stromquelle zurück. Der Strom I_Z wird im Wandler W durch keinen Rückstrom kompensiert, und der Fehlerstromschutzschalter löst aus. Falls kein Neutralleiter zur Verfügung steht, muss richtigerweise im Verbraucher V ein Transformator eingebaut werden, über den das Gerät Z betrieben werden kann. Gelegentlich wird aus Versehen eine Verbindung zwischen dem Sternpunkt SP und dem Gehäuse des Verbrauchers V gemacht. Diese Verbindung ist nicht zulässig und führt zu einer Auslösung des Fehlerstromschutzschalters. Beim Einschalten des Verbrauchers V, zum Beispiel durch ein Schütz, kommt zuerst, wenn auch nur kurzzeitig, nur einer der Polleiter unter Spannung. Der Betriebsstrom dieses Stranges fließt auf die Erde, und der Fehlerstromschutzschalter löst aus. Selbst wenn alle Polleiter absolut gleichzeitig geschlossen werden könnten, würde der Fehlerstromschutzschalter abschalten, denn die Impedanzen der einzelnen Stränge sind nie genau gleich gross. Über eine Verbindung zwischen dem Sternpunkt SP und der Erde würde immer ein Ausgleichsstrom fließen.

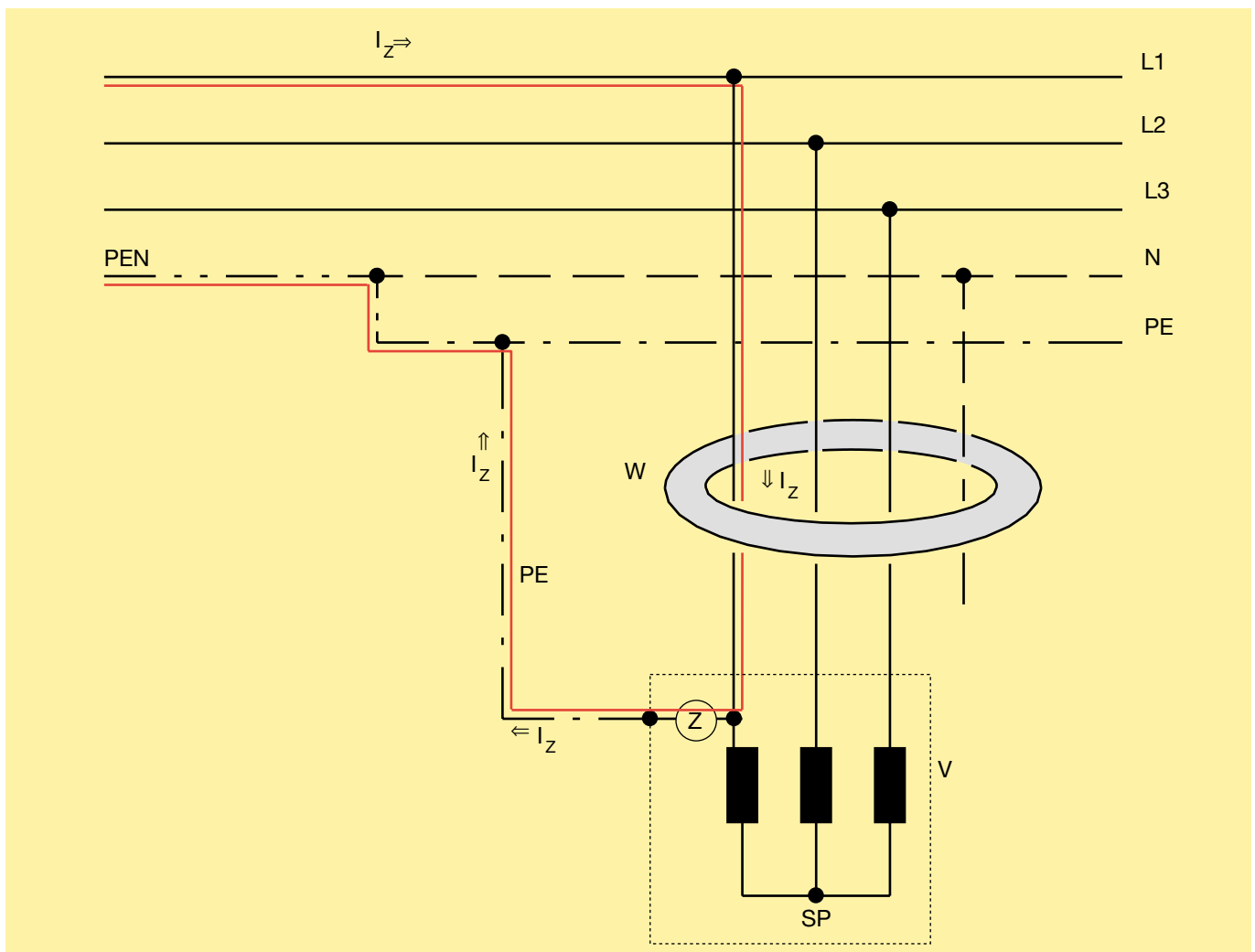


Abbildung 4

2. Auslösungen als Folge von Installationsfehlern

2.3 Parallelschaltung des Neutralleiters

Sind in einem Netz mehrere Fehlerstromschutzschalter installiert, muss darauf geachtet werden, dass die von den Fehlerstromschutzschaltern abgehenden Neutralleiter nicht miteinander verbunden werden. Dieser Fehler (Abbildung 5) führt zur Auslösung eines oder mehrerer Fehlerstromschutzschalter.

Der Betriebsstrom I_B des Verbrauchers V fließt vom Polleiter L durch den Summenstromwandler W1 des einen Fehlerstromschutzschalters und den Verbraucher V bis zum Punkt X1. Durch die Parallelschaltung der Neutralleiter auf der Abgangsseite der Fehlerstromschutzschalter (Verbindung zwischen den Punkten X1 und X2) teilt sich I_B bei X1 auf. Ein Teilstrom I_B' fließt durch den Summenstromwandler W1 des einen Fehlerstromschutzschalters und ein zweiter Teilstrom I_B'' durch den Summenstromwandler W2 des anderen Fehlerstromschutzschalters zur Stromquelle zurück.

Sind, wie im vorliegenden Fall, von einem Installationsfehler zwei Fehlerstromschutzschalter betroffen, sollten – da die vektorielle Summe, der in den Summenstromwandlern beider Fehlerstromschutzschalter fließenden Ströme ungleich null ist – beide Fehlerstromschutzschalter ansprechen. Gelegentlich wird aber nur ein Fehlerstromschutzschalter auslösen. Der Grund liegt darin, dass die Abschaltung der Fehlerstromschutzschalter über ein polarisiertes Relais erfolgt. Dieses reagiert entweder auf die positive oder auf die negative Halbwelle des Fehlerstromes. Es werden daher immer entweder der eine, der andere oder beide Fehlerstromschutzschalter auslösen. Wenn einer der beiden Fehlerstromschutzschalter bei der ersten Halbwelle anspricht, ist die Stromungleichheit im Summenstromwandler des andern Fehlerstromschutzschalters durch die Abschaltung beseitigt und der zweite Fehlerstromschutzschalter löst nicht mehr aus.

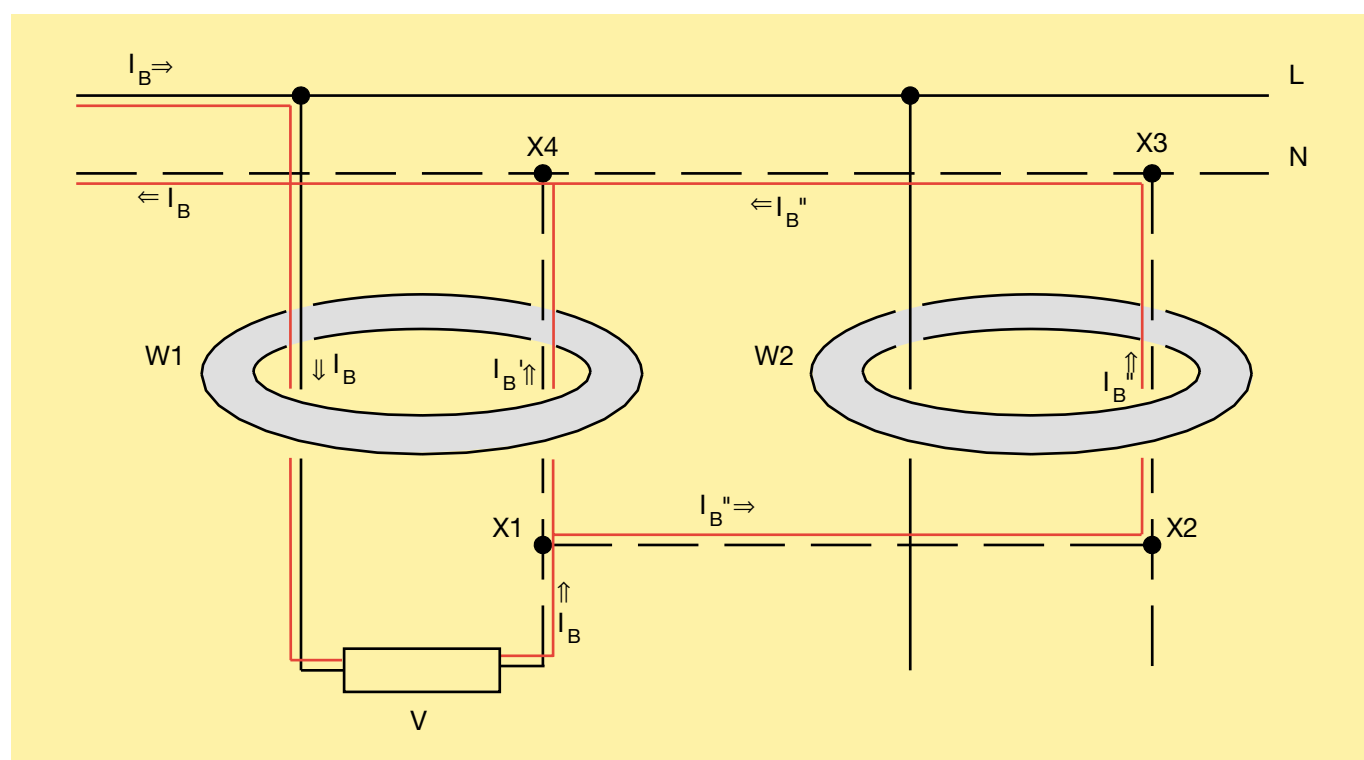


Abbildung 5

In beiden Fehlerstromschutzschaltern ist die vektorielle Summe der durch die Summenstromwandler fließenden Ströme ungleich null, und mindestens einer der Fehlerstromschutzschalter schaltet aus. Eine Auslösung erfolgt auch dann, wenn nur in einem der beiden Abgänge ein Fehlerstromschutzschalter eingebaut ist.

2. Auslösungen als Folge von Installationsfehlern

2.4 Parallelschaltung von Fehlerstromschutzschaltern

Bei einigen elektrischen Betriebsmitteln kann durch Parallelschaltung, wenn auch meistens unter Vorbehalt, der Betriebsstrom oder die Leistung erhöht werden. Bei Fehlerstromschutzschaltern ist dies nicht möglich. Parallel geschaltete Fehlerstromschutzschalter (Abbildung 6) lösen aus, sobald ein Verbraucher eingeschaltet wird.

nicht gleich gross, denn die Impedanzen der Leiter zwischen L_A und L_B über $W1$ bzw. $W2$ sind nie absolut gleich.

Der vom Verbraucher V zurückfliessende Betriebsstrom I_{BL} teilt sich bei N_B auf. Ein Teilstrom I_{BN}^* fliesst durch den Summenstromwandler $W1$, und ein Teilstrom I_{BN}^{**} fliesst durch $W2$. Auch die Teilströme I_{BN}^* und I_{BN}^{**} sind wegen der ungleichen Impedanzen der Strompfade über $W1$ und $W2$ nicht gleich gross. Da auch die Impedanzen der Polleiter- und

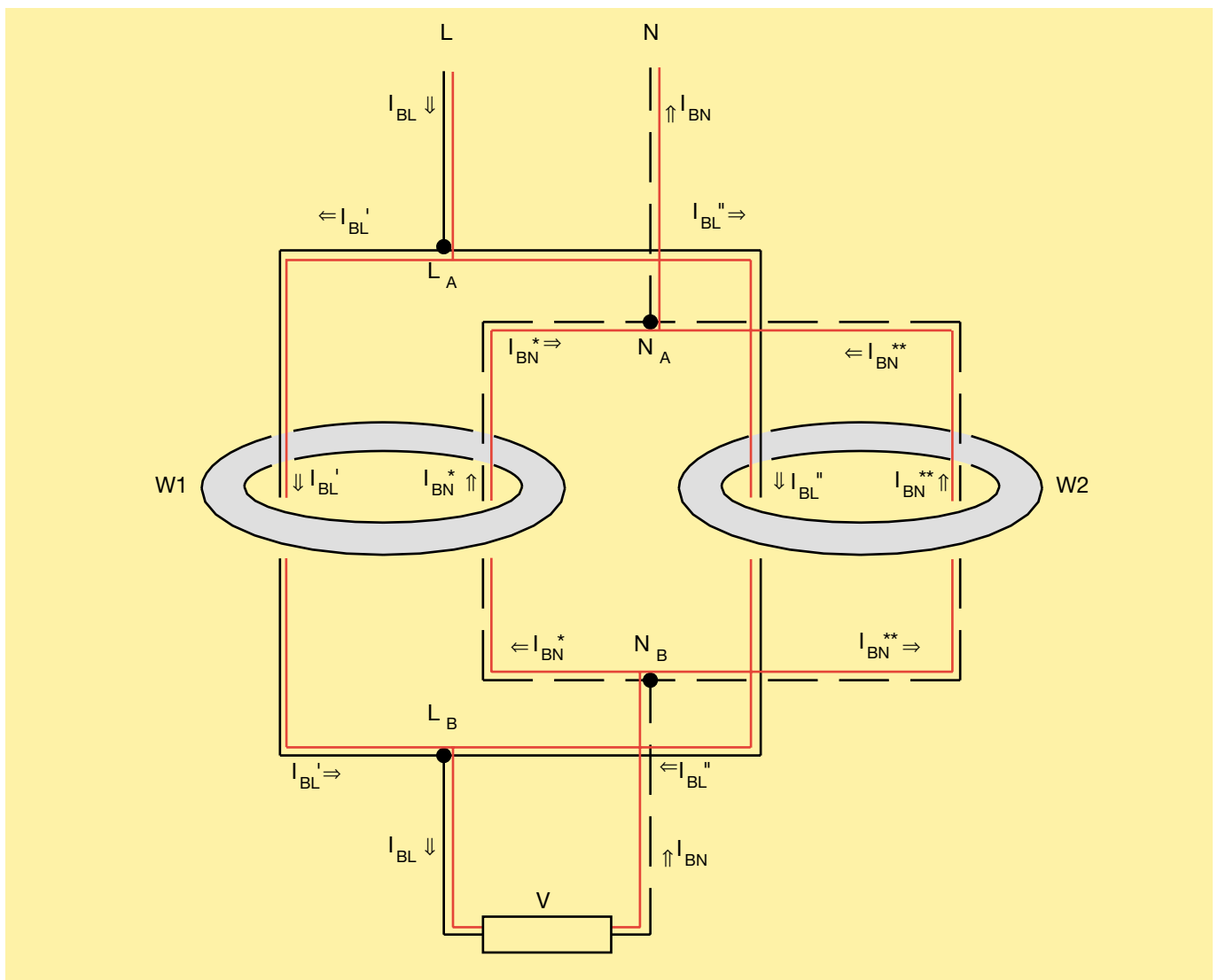


Abbildung 6

Die parallel geschalteten Fehlerstromschutzschalter sind durch ihre Summenstromwandler $W1$ und $W2$ dargestellt. Das Netz wird bei L_A und N_A gespeist, der oder die Verbraucher V sind bei L_B und N_B angeschlossen. Im Polleiter L fliesst bis zum Punkt L_A der Betriebsstrom I_{BL} des Verbrauchers V . Bei L_A wird I_{BL} aufgeteilt. Ein Teilstrom I_{BL}' fliesst durch den Summenstromwandler $W1$ und ein zweiter Teilstrom I_{BL}'' fliesst durch $W2$. Die Teilströme I_{BL}' und I_{BL}'' sind

Neutralleiterpfade über $W1$ und $W2$ verschieden sind, werden auch die Teilströme I_{BL}' und I_{BN}^* bzw. I_{BL}'' und I_{BN}^{**} ungleich sein. Die vektorielle Summe der Ströme in den Summenstromwandlern ist nicht null, und einer oder beide Fehlerstromschutzschalter lösen aus.

Im Absatz 2.3 ist begründet, weshalb eventuell nicht beide Fehlerstromschutzschalter auslösen, obwohl sie dies aufgrund der vektoriellen Summe der Ströme in

2. Auslösungen als Folge von Installationsfehlern

den Summenstromwandlern eigentlich tun sollten. Wenn zwei Fehlerstromschutzschalter parallel geschaltet sind, jedoch bei der Inbetriebsetzung nur einer auslöst, wird der «Lapsus» der Parallelschaltung nicht bemerkt. Thermische Schäden sind die Folge, weil der eingeschaltet gebliebene Fehlerstromschutzschalter überlastet wird, wenn der Betriebsstrom des oder der Verbraucher V grösser als der Nennstrom I_n des Fehlerstromschutzschalters ist. Es gilt deshalb: Die Parallelschaltung von Fehlerstromschutzschaltern ist verboten!

2.5 Vertauschen von Leitern

Sind in einem Netz mehrere Abgänge vorhanden, besteht die Gefahr, dass die Pol- oder die Neutralleiter vertauscht werden (Abbildung 7). Dieser Fehler führt zur Auslösung eines oder beider von der Vertauschung betroffenen Fehlerstromschutzschalter.

Auf den Abgangsseiten der Fehlerstromschutzschalter sind die Neutralleiter vertauscht. Der Betriebsstrom I_B des Verbrauchers V fliesst durch den Summenstromwandler $W1$ zum Verbraucher V und über den Neutralleiter durch den Summenstromwandler $W2$. In beiden Summenstromwandlern ist die vektorielle Summe der fließenden Ströme ungleich null, und ein oder beide Fehlerstromschutzschalter schalten aus. Ist nur einer der angeschlossenen Stromkreise mit einem Fehlerstromschutzschalter geschützt, löst natürlich nur dieser aus.

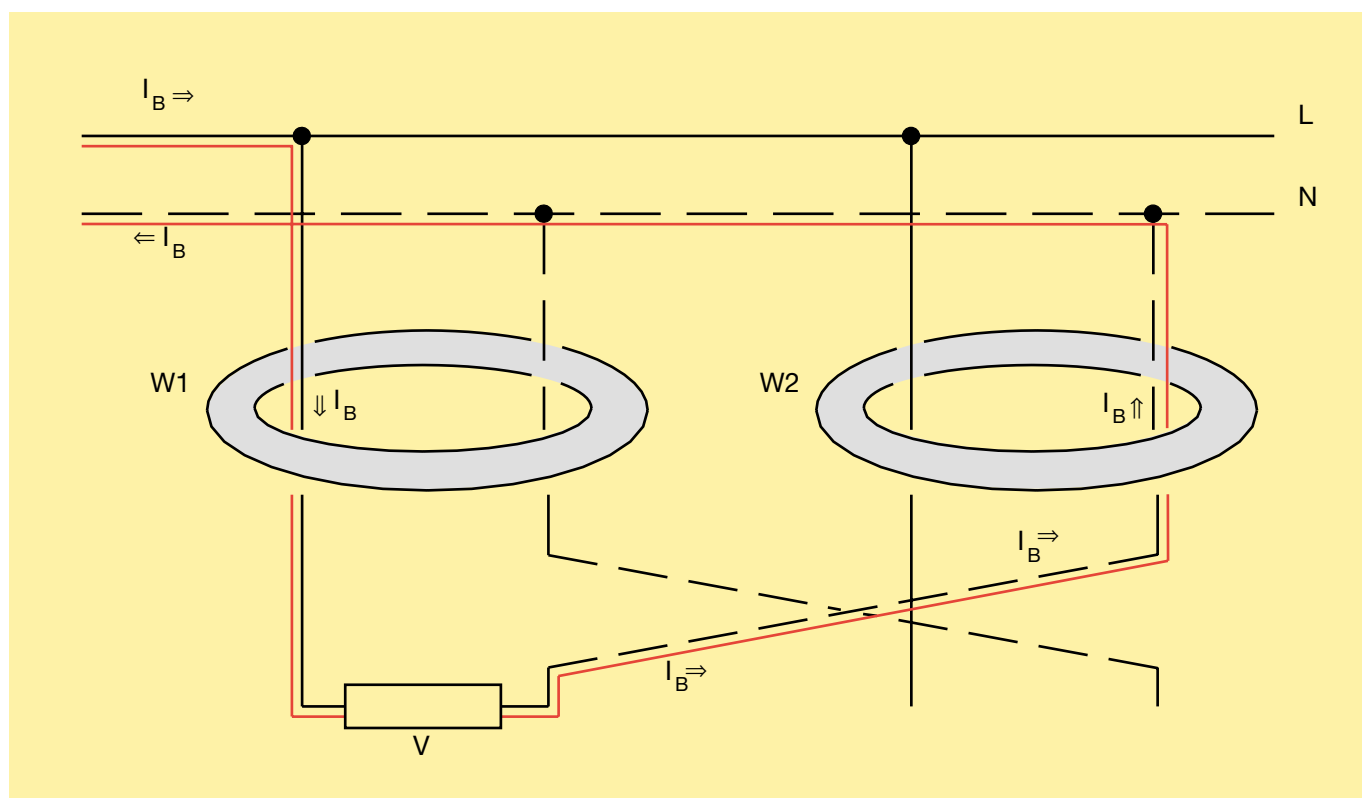


Abbildung 7

Z20064

2. Auslösungen als Folge von Installationsfehlern

2.6 Ungleichseitige Einspeisung

Ein Fehlerstromschutzschalter kann sowohl von oben, das heisst an den Klemmen 1, 3, 5 und 7 als auch von unten, das heisst an den Klemmen 2, 4, 6 und 8 eingespeist werden (Abbildung 8). Die Energierichtung im Fehlerstromschutzschalter spielt keine Rolle. Es ist aber unzulässig, die Polleiter bei den Klemmen 1, 3 und 5 und den Neutralleiter bei 8 einzuspeisen.

Fehlerstromschutzeinrichtungen für grosse Betriebsströme gilt – eine Fehlerstromschutzeinrichtung aus Einzelkomponenten (Summenstromwandler, Relais und Schalter) aufgebaut, müssen die Kabel manuell durch den Summenstromwandler geführt werden. In einem solchen Fall kann es unter Umständen weniger aufwendig sein, das Neutralleiterkabel von der anderen Seite als die Polleiterkabel durch den Summenstromwandler zu führen.

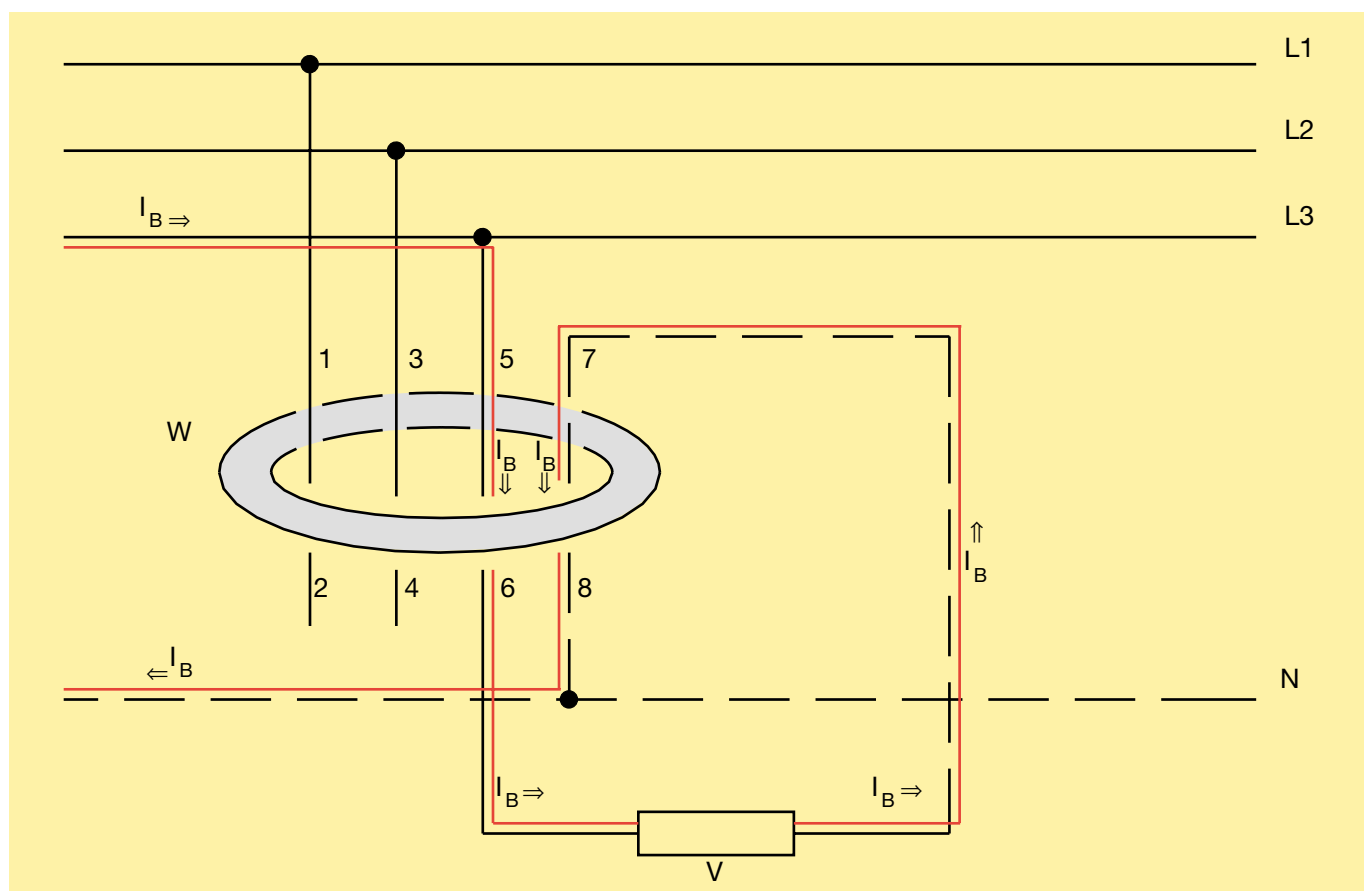


Abbildung 8

Z200065

Die Polleiter L1, L2 und L3 sind an den Klemmen 1, 3 und 5 des Fehlerstromschutzschalters angeschlossen. Der Neutralleiter N ist mit der Klemme 8 verbunden. Beim Einschalten des Verbrauchers V fließt sein Betriebsstrom I_B vom Polleiter L3 durch den Summenstromwandler W zum Verbraucher V. Dann fließt I_B über die Klemme 7 und durch den Summenstromwandler W zur Klemme 8 und zum Neutralleiter N. Die Ströme I_B im Summenstromwandler W fließen in der gleichen Richtung, ihre vektorielle Summe ist ungleich null, und der Fehlerstromschutzschalter löst aus. Auf dem Schema von Abbildung 8 scheint ein solcher Fehler unverständlich. Wird aber – was vor allem für

Verwirrend bei dieser Situation ist die Tatsache, dass beim Inbetriebsetzen eines Verbrauchers, der keinen Neutralleiter benötigt, keine Auslösung erfolgt. Wird zum Beispiel ein Schütz, das einen Motor einschaltet, von Hand in die Einschaltstellung gedrückt, löst die Fehlerstromschutzeinrichtung nicht aus, weil im Neutralleiter kein Strom fließt. Dagegen erfolgt eine Abschaltung, wenn das Schütz eingeschaltet wird, weil die Schützenspule zwischen einem Pol- und dem Neutralleiter angeschlossen ist.

3. Auslösungen als Folge von äusseren Einwirkungen

3.1 Kurzschlüsse

Die vektorielle Summe der Ströme im Summenstromwandler ist bei einem Kurzschluss immer null. Deshalb sollte bei einem Kurzschluss zwischen Polleitern – unter sich oder zwischen einem Polleiter und dem Neutralleiter – ein Fehlerstromschutzschalter nicht auslösen. Bedingt durch geringe und unvermeidliche Unsymmetrien im Summenstromwandler entsteht bei grossen Strömen aber doch eine leichte Magnetisierung des Summenstromwandlers und der Fehlerstromschutzschalter kann auslösen. Da aber bei einem Kurzschluss das Netz durch die Überstromunterbrecher ohnehin abgeschaltet wird, ist das zusätzliche Ansprechen des Fehlerstromschutzschalters normalerweise nicht nachteilig.

3.2 Erdschlüsse

Da bei einem Erdschluss ein Strom auf Erde abfließt, sollte ein Fehlerstromschutzschalter ansprechen. Wenn aber der Erdschlussstrom durch einen im Netz eingebauten Überstromunterbrecher innerhalb einer Zeit abgeschaltet wird, die kleiner ist als die Reaktionszeit des Fehlerstromschutzschalters, bleibt der Fehlerstromschutzschalter bei einem Erdschluss eventuell eingeschaltet. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn kurzverzögerte oder verzögerte Fehlerstromschutzschalter installiert sind. Eine Gefahr besteht jedoch nicht, denn das Netz wird durch den Überstromunterbrecher abgeschaltet.

3.3 Blitzschläge und atmosphärische Überspannungen

Blitzschläge können in einem Netz Überspannungen verursachen. Überspannungen von mehr als etwa 2000 V können in einer Installation, zum Beispiel in einer Steckdose, Überschlüsse zwischen einem Polleiter und dem Schutzleiter auslösen. Der dadurch bedingte zur Erde fließende Strom kann unverzögerte Fehlerstromschutzschalter zur Auslösung bringen. Solche Fälle sind in einem verkabelten Netz allerdings selten. In Regionen mit häufigen durch atmosphärische Vorgänge verursachten Überspannungen empfiehlt sich, Überspannungsableiter und kurzverzögerte Fehlerstromschutzschalter einzubauen. Dies nicht nur, um unerwünschte Auslösungen der Fehlerstromschutzschalter zu vermeiden, sondern vor allem, um empfindliche Geräte mit elektronischen Komponenten zu schützen.

3.4 Magnetische Einflüsse

Weil der Auslöser des Fehlerstromschutzschalters auf magnetischem Prinzip basiert, sind Beeinflussungen durch starke magnetische Fremdfelder möglich. Das Einschalten eines grossen, unmittelbar neben einem Fehlerstromschutzschalter montierten Schützes (grösser 100 A) kann eine Abschaltung verursachen. In diesen Fällen besteht die Möglichkeit, entweder die Distanz zwischen der Störquelle und dem betroffenen Fehlerstromschutzschalter zu vergrössern oder zwischen der Störquelle und dem Fehlerstromschutzschalter ein Eisenblech als Abschirmung anzubringen.

4. Auslösungen als Folge von kapazitiven Ableitströmen

4.1 Kapazitive Ableitströme von Leitungen

Alle Verbraucher, auch elektrische Leitungen, haben eine gewisse Kapazität gegen Erde. Eine Leitungskapazität kann als Kondensator zwischen dem Polleiter und der Erde dargestellt werden (Abbildung 9). Wird der Polleiter an eine geerdete Wechselstromquelle angeschlossen, lädt und entlädt sich der Kondensator, das heisst die Leitungskapazität, im Rhythmus der Netzfrequenz.

Wird U_{Ph} in V, die Frequenz in Hz und die Kapazität in μF eingesetzt, ergibt sich der Strom in mA aus der folgenden Formel:

$$I_C = 10^{-3} \cdot U_{Ph} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

Auch der Neutraleiter besitzt eine Kapazität gegen die Erde. Diese führt aber zu keinem Stromfluss im Neutraleiter, weil die Spannung des Neutraleiters gegen Erde praktisch null ist. Ein Fehlerstromschutzschalter, eingesetzt in einem einpoligen Netz, wird deshalb den

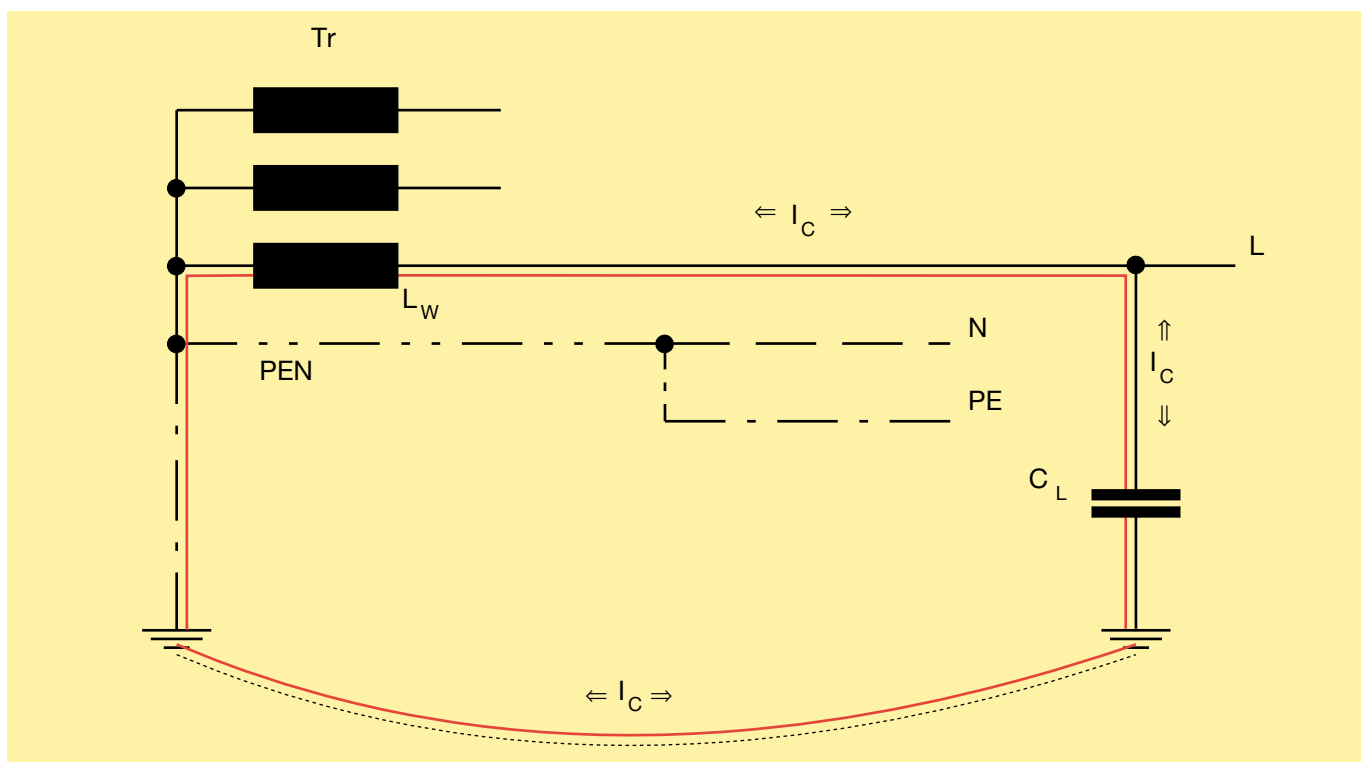


Abbildung 9

Die Stromquelle Tr kann ein Wechselstromgenerator oder auch die Sekundärwicklung eines Transformators sein. Der Kondensator C_L stellt die Kapazität des Polleiters L gegen Erde dar. Die Wechselspannung an den Klemmen der Wicklung L_W führt zu einer periodischen Verschiebung von Ladungsträgern über Leitung, Stromquelle und Erde. Diese Ladungsträgerverschiebung kann mit einem empfindlichen Zangenamperemeter als (kapazitiver) Strom I_C im Polleiter gemessen werden, am besten dann, wenn dieser keinen Verbraucher speist.

Die Höhe des Stromes I_C ist abhängig von der Spannung gegen Erde, das heisst der Phasenspannung U_{Ph} , der Leitungskapazität C_L und der Frequenz f der Stromquelle. Die Formel für die Berechnung eines kapazitiven Stromes lautet:

$$I_C = U_{Ph} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

kapazitiven Ableitstrom des Polleiters als Fehlerstrom erkennen und, wenn dieser gross genug ist, abschalten.

Die Kapazität einer Leitung ist von ihrem Aufbau und der Verlegeart abhängig. Im allgemeinen kann mit einer Leitungskapazität von $0,1 \mu\text{F}$ pro 1000 m Leitungslänge gerechnet werden. In einem 50-Hz-Netz fliesst deshalb in einer 1000 m langen Leitung, deren Polleiter unter einer Spannung von 230 V gegen Erde stehen, in jedem Polleiter ein kapazitiver Strom I_C von etwa 7 mA.

Meistens lösen die Fehlerstromschutzschalter beim Einschalten einer Leitung aus. Die Leitungskapazität lädt sich beim Anlegen der Spannung mit einer recht grossen Stromspitze oder einem Einschwingvorgang auf. In der Literatur findet man für die erste Ladestromspitze \hat{I}_C die Formel: $\hat{I}_C = \sqrt{2} \cdot I_C \cdot I_K$ wobei I_C der dauernd fließende kapazitive Ableitstrom und I_K der Strom ist, welcher bei einem etwa in der Mitte der Leitung auftretenden Erdschluss resultieren würde.

4. Auslösungen als Folge von kapazitiven Ableitströmen

Bei einer 1000 m langen, einen Leiterquerschnitt von 6 mm^2 aufweisenden Leitung beträgt der Erdschlussstrom I_K (bei einem Erdwiderstand in der Grössenordnung des halben Leiterwiderstandes) etwa 100 A. Daraus und mit dem weiter oben berechneten kapazitiven Ableitstrom von $I_C = 7 \text{ mA}$ ergibt sich eine Ladestromspitze $\hat{I}_C = \sqrt{2} \cdot 0.007 \text{ A} \cdot 100 \text{ A} = 1.18 \text{ A}$. Der Ladestromstoss dauert zwar kaum eine Millisekunde, aber seine Energie reicht aus, um einen unverzögerten Fehlerstromschutzschalter zur Auslösung zu bringen. In einem Drehstromnetz ist die vektorielle Summe der kapazitiven Ableitströme etwa null. Beim Einschalten einer Drehstromleitung wird aber immer einer der drei Polleiter zuerst unter Spannung gesetzt, und deshalb ist die auftretende Ladestromspitze \hat{I}_C genau gleich gross wie beim Einschalten einer einpoligen Leitung. Bei der Verwendung von kurzverzögerten oder selektiven Fehlerstromschutzschaltern werden die durch die Einschaltspitzen entstehenden Auslösungen verhindert. Bezüglich der Längen einpoliger Leitungen bestehen aber immer gewisse Einschränkungen. Der kapazitive Ableitstrom I_C darf nicht grösser als 50% des Nennauslösestromes des vorgeschalteten Fehlerstromschutzschalters sein. Gerechnet mit einer Leitungskapazität von $0,1 \mu\text{F}$ pro 1000 m Leitungslänge und einer «Reserve» von 30%, ergeben sich die folgenden maximalen Leitungslängen:

Fehlerstromschutzschalter $I_n = 10 \text{ mA}$: max. Leitungslänge = 500 m
Fehlerstromschutzschalter $I_n = 15 \text{ mA}$: max. Leitungslänge = 750 m
Fehlerstromschutzschalter $I_n = 30 \text{ mA}$: max. Leitungslänge = 1500 m
Fehlerstromschutzschalter $I_n = 300 \text{ mA}$: max. Leitungslänge = 15 000 m

Fehlerstromschutzschalter können infolge der Leitungskapazität auch beim Ausschalten einer Leitung oder des angeschlossenen Verbrauchers ansprechen. Besonders häufig sind Auslösungen, wenn die Verbraucher induktiv sind (Fluoreszenzröhren, Schutzspulen etc.).

Beim Ausschalten eines induktiven Verbrauchers entsteht an seinen Klemmen eine Überspannung, welche die Leitungskapazität der Leitung auflädt. Ist der Abschaltvorgang abgeschlossen, das heisst, der Polleiter vom Netz getrennt, entlädt sich die kapazitive Ladung der Leitung über den Neutralleiter. Dieser Entladevorgang führt zur Auslösung des Fehlerstromschutzschalters. Auch diese Auslösungen können durch den Einsatz kurzverzögerter oder verzögerter Fehlerstromschutzschalter vermieden werden.

4.2 Kapazitive Ableitströme von Heizleitungen

Rohrbegleitheizungen sowie in Unterlagsböden eingegossene Heizleiter weisen in grossen Räumen oft beträchtliche Längen mit entsprechend grossen kapazitiven Ableitströmen auf. Werden diese Heizelemente einigermaßen symmetrisch auf drei Polleiter aufgeteilt, sollten bei der Verwendung von kurzverzögerten Fehlerstromschutzschaltern keine Probleme entstehen. Die Heizung darf jedoch nicht durch Zu- und Abschalten von einem oder zwei Polleitern reguliert werden. Wenn nicht alle Polleiter zugeschaltet sind, erfolgt keine vektorielle Kompensation der kapazitiven Ableitströme der einzelnen Heizungsstränge, und die kapazitiven Ströme, die zur Auslösung des vorgeschalteten Fehlerstromschutzschalters führen, sind bald einmal erreicht.

4.3 Kapazitive Ableitströme von Folienbodenheizungen

Bei den Folienbodenheizungen besteht das Heizelement aus einer dünnen, zwischen zwei isolierenden Folien eingebetteten Kohleschicht. Diese Bodenheizungen – sie werden in den Unterlagsboden eingegossen – haben Flächen von mehreren Quadratmetern und erzeugen beachtliche kapazitive Ableitströme. Gemäss der SN SEV 1000 – 1, 47 325 handelt es sich um «Heizeinheiten integriert in Gebäudeteile». Wenn diese Folien keine geerdete Metallabschirmung haben, dürfen sie ohne Fehlerstromschutz nur in trockenen Räumen mit isoliertem Standort verwendet werden. In allen anderen Fällen ist ein Fehlerstromschutzschalter vorzuschalten. Sein Nennauslösestrom I_n darf nicht grösser als 10 mA sein. Bei Heizflächen von mehr als etwa 4 m^2 kommt der kapazitive Ableitstrom I_C in die Grössenordnung von 5 mA, vor allem, solange der Bodenbelag, in den die Heizfolie eingegossen ist, noch Feuchtigkeit enthält. Bei Fehlerströmen $I > 5 \text{ mA}$ kann ein 10-mA-Fehlerstromschutzschalter ansprechen. Deshalb sollten solche Heizungen symmetrisch auf die drei Polleiter aufgeteilt werden. Ist dies nicht oder nicht mehr möglich, kann der kapazitive Ableitstrom I_C gemäss Abbildung 10 kompensiert werden.

4. Auslösungen als Folge von kapazitiven Ableitströmen

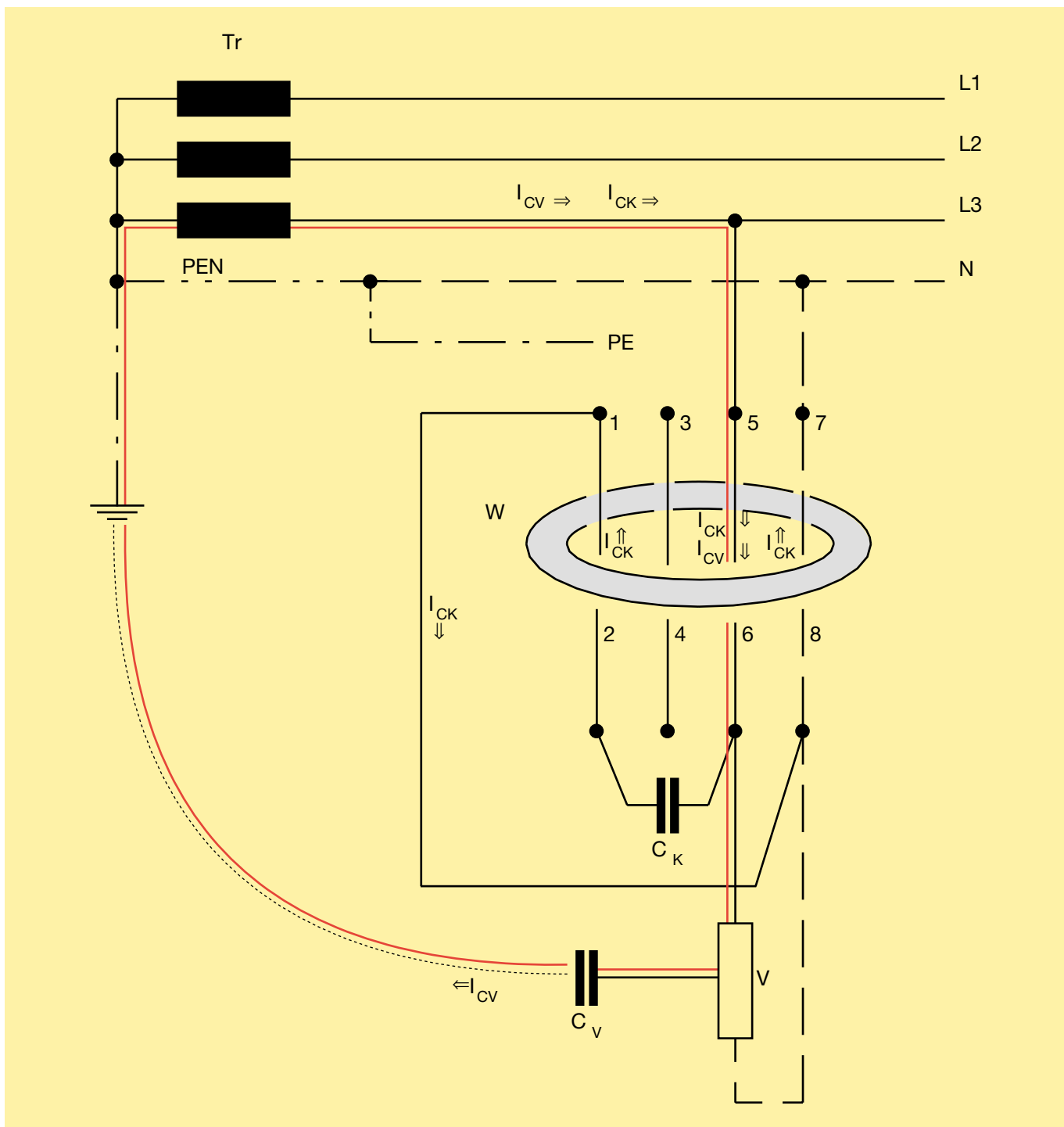


Abbildung 10

Der Verbraucher V, zum Beispiel eine Folienheizung mit einem grossen kapazitiven Ableitstrom I_{CV} , ist am Polleiter L3 und am Neutraleiter N angeschlossen. Die Kapazität des Verbrauchers V gegen Erde ist durch den Kondensator C_V dargestellt. Obwohl es sich um einen einpoligen Verbraucher handelt, wird er mit einem Fehlerstromschutzschalter 3L+N – im Schema von Abbildung 10 durch den Summenstromwandler W dargestellt – geschützt. Dies gibt die Möglichkeit, den kapazitiven Strom I_{CV} , wenigstens teilweise, zu kom-

pensieren. An den Abgangsklemmen 2 und 6 des Fehlerstromschutzschalters W wird der Kompensationskondensator C_K angeschlossen. Im weiteren wird die Abgangsklemme 8 mit der Eingangsklemme 1 verbunden.

Der Betriebsstrom des Verbrauchers ist im Schema nicht eingetragen, er hat keinen Einfluss auf die Wirkung des Kompensationskondensators. Ist der Verbraucher V eingeschaltet, fliessen die kapazitiven Ströme I_{CV} und I_{CK} über den Polleiter L3

4. Auslösungen als Folge von kapazitiven Ableitströmen

und durch den Summenstromwandler W des Fehlerstromschutzschalters bis zur Klemme 6. Während I_{CV} über den Verbraucher V zur Erde und zurück zur Stromquelle Tr fließt, verläuft der Stromfluss von I_{CK} über den Kompensationskondensator C_K , durch den Summenstromwandler W zur Klemme 1, über die Verbindung zur Klemme 8, durch den Summenstromwandler W zum Neutralleiter N und zurück zur Stromquelle Tr . Der Summenstromwandler W wird durch die kapazitiven Ströme zweimal in der einen und zweimal in der Gegenrichtung durchflossen. Dadurch wird, wenn I_{CK} gleich gross ist wie I_{CV} , der kapazitive Ableitstrom I_{CV} des Verbrauchers V kompensiert. Die Möglichkeiten bezüglich der Kompensierung von I_{CV} sind jedoch beschränkt. Ist der Verbraucher V ausgeschaltet, fließt der kapazitive Ableitstrom I_{CV} nicht mehr, und wenn der Strom I_{CK} zu gross ist, führt dieser Strom zum Abschalten des Fehlerstromschutzschalters. Der Kompensationskondensator C_K darf deshalb nicht zu gross gewählt werden. Die maximale Kapazität des Kompensationskondensators C_K ist vom Nennauslösestrom I_n des Fehlerstromschutzschalters abhängig. Bei einer Spannung gegen Erde von 230 V dürfen die Kapazitäten der Kompensationskondensatoren die folgenden Werte nicht überschreiten:

Fehlerstromschutzschalter $I_n = 10 \text{ mA}$: Kompensationskondensator max. $0,063 \mu\text{F}$
Fehlerstromschutzschalter $I_n = 15 \text{ mA}$: Kompensationskondensator max. $0,1 \mu\text{F}$
Fehlerstromschutzschalter $I_n = 30 \text{ mA}$: Kompensationskondensator max. $0,2 \mu\text{F}$

Mit diesen Kompensationskondensatoren lassen sich immerhin kapazitive Ableitströme von 9 mA, 14 mA und 28 mA kompensieren. Die beschriebene Kompensationsschaltung kann für alle einpoligen Verbraucher angewendet werden. Der Fehlerstromschutzschalter muss kurzverzögert (Typ FIK) sein, da mit relativ hohen kapazitiven Einschaltstromspitzen immer zu rechnen ist.

5. Fehlersuche

Die Fehlersuche ist oft recht zeitraubend. Es ist zuerst abzuklären, in welchen Situationen, wann und bei welchen Schalthandlungen und Vorgängen ein Fehlerstromschutzschalter scheinbar grundlos abschaltet. Ist die Gegebenheit, bei der die Auslösungen erfolgen, bekannt und sind die Auslösungen auch reproduzierbar, können die Ursachen schon etwas eingegrenzt werden. Wichtig sind ein systematisches Vorgehen und die genaue Kenntnis der Installation.

Meistens genügt für die Fehlersuche ein Isolationsprüfer. Der Isolationsprüfer legt eine Gleichspannung von etwa 500 V an den Prüfling und misst den resultierenden Messstrom. Die Messskala oder die Anzeige ist allerdings nicht in Ampere (A), sondern in Kiloohm (k Ω) und Megohm (M Ω) geeicht.

Bei der Fehlersuche empfiehlt sich das folgende Vorgehen, wobei davon ausgegangen wird, dass der Fehlerstromschutzschalter einwandfrei arbeitet. Wenn Messungen mit dem Isolationsprüfer durchgeführt werden, darf, auch dann, wenn zwei Fehlerstromschutzschalter vom Fehler betroffen sind, immer nur ein Fehlerstromschutzschalter abgeschaltet werden.

- a) Prüftaste während mindestens 0,3 s drücken
Der Fehlerstromschutzschalter muss auslösen.
Erfolgt keine Auslösung, besteht möglicherweise eine Verbindung zwischen dem Neutralleiter und dem Schutzleiter (siehe 2.1).
Löst beim Drücken der Prüftaste ein anderer Fehlerstromschutzschalter aus, besteht eine Neutralleiterparallelschaltung (siehe 2.3).
- b) Fehlerstromschutzschalter ausschalten
Isolationsprüfung nach dem Fehlerstromschutzschalter zwischen dem Neutralleiter und dem Schutzleiter. Ist der gemessene Widerstand null, bestehen die folgenden Fehlermöglichkeiten:
 - Neutralleiter-Schutzleiter-Verbindung (siehe 2.1)
 - Neutralleiterparallelschaltung (siehe 2.3)Wenn die Isolationsprüfung mit vertauschter Polarität der Messspitzen wiederholt wird, besteht die Möglichkeit, dass ein (anderer) Fehlerstromschutzschalter durch den Messstrom auslöst. Dies deutet auf eine Neutralleiterparallelschaltung (siehe 2.3) oder Neutralleiterverschaltung (siehe 2.5) hin.
- c) Fehlerstromschutzschalter ausschalten, alle angeschlossenen Verbraucher vom Netz trennen
Isolationsprüfung nach dem Fehlerstromschutzschalter zwischen den Polleitern und dem Schutzleiter. Ist der gemessene Widerstand klein (Widerstand null bedeutet Kurzschluss) oder geht die Anzeige des Messinstrumentes nur zögernd auf einen Endwert, bestehen möglicherweise kapazitive Ableitströme der Leitung.

Kapazitive Ströme einer Leitung oder eines Verbrauchers können relativ einfach gemessen werden: Am Leitungsende werden die Verbraucher abgetrennt. Ein Polleiter wird über ein Amperemeter an Spannung gelegt. Der resultierende Strom ist die Summe des ohmschen und des kapazitiven Ableitstromes des betreffenden Leiters. Da bei einer einwandfreien Isolation der ohmsche Ableitstrom vernachlässigt werden kann, entspricht der gemessene Strom praktisch dem kapazitiven Ableitstrom.

Vorsicht: Wenn am Ende der zu messenden Leitung nicht alle Verbraucher abgetrennt sind, wird nicht der kapazitive Strom des Leiters, sondern eventuell der Verbraucherstrom oder ein Teil desselben gemessen. Allerdings nicht lange, denn das verwendete Milliampere-meter wird die Prozedur nicht mitmachen.

- d) Ist der Fehler nicht in der Verteilanlage zu finden, müssen alle am Fehlerstromschutzschalter angeschlossenen Stromkreise allpolig (auch der Neutralleiter) abgeschaltet werden. Dann wird ein Stromkreis nach dem anderen zugeschaltet, bis der Fehler wieder auftritt. Ist der mit dem Fehler behaftete Stromkreis gefunden, muss in der Installation gesucht werden. Bei der nächsten Abzweigdose werden die Leiter unterbrochen und die von dort abgehenden Stromkreise einzeln geprüft.

6. Produkte für den Fehlerstromschutz

SIDOS Sicherheits-Steckdosen



40006

Fest installierte Geräte

Steckerbild Schweiz



40004

Steckerbild Schuko



40638

Mobile Geräte

Steckerbilder Schuko oder Schweiz

smisline Fehlerstromschutzschalter



40272

4polige Fehlerstromschutzschalter



40075

2polige Fehlerstromschutzschalter



40076

Kombinierte Fehlerstrom-/
Leitungsschutzschalter



40072

FI-Signalgeber



Fehlerstromrelais
mit Wandler

40083

Hochleistungsautomat Q/F500



40459

Hochleistungsautomat
mit Fehlerstromschutz



ABB Schweiz AG
CMC Low Voltage Products
Fulachstrasse 150
CH-8200 Schaffhausen
Telefon +41 (0)58/586 41 11
Telefax +41 (0)58/586 42 22
E-Mail: cmc@ch.abb.com

www.abb.com