

Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) in TN-S-Systemen

Schaltgeräte mit Fehlerstromschutz müssen dort verwendet werden, wo:

- die Schleifenimpedanz nicht exakt bestimmt werden kann (schwer zu schätzende Leitungslängen, metallische Werkstoffe nahe der Leitungen),
- der Fehlerstrom so niedrig ist, dass die max. zulässige Abschaltzeit bei Verwendung von Überstromschutzeinrichtungen nicht eingehalten werden kann,
- Stromkreise mit Steckdosen bis 20 A, die von Laien benutzt werden (IEC 60364-4-410 (VDE 0100-410)),
- Endstromkreise für im Außenbereich verwendete tragbare Betriebsmittel mit einem Bemessungsstrom nicht größer als 32 A.

Da der Bemessungsauslösestrom von Schaltgeräten mit Fehlerstromschutz nur einige Ampère beträgt, liegt er im Allgemeinen weit unter den auftretenden Fehlerstromwerten. Folglich sind Fehlerstromschutzgeräte hier gut geeignet. In der Praxis werden RCDs als Zusatzschutz in Unterverteilern nahe der Endstromreise installiert,

- wenn der Schleifenwiderstand zu hoch ohmig ist, um die automatische Abschaltung zu gewährleisten,
- oder auf Anforderungen aus Installationsnormen für Sonderbereiche (IEC 60364-7ff (VDE 0100-7ff))

Automatische Abschaltung bei einem zweiten Fehler im IT-System

- In diesem System müssen die aktiven Teile entweder gegen Erde isoliert oder über eine ausreichend hohe Impedanz geerdet sein.
- Diese Impedanz darf zwischen Erde und dem Sternpunkt des Systems oder einem künstlichen Sternpunkt liegen.
- Der künstliche Sternpunkt darf unmittelbar mit der Erde verbunden werden, wenn die resultierende Nullimpedanz des Systems ausreichend groß ist.
- Wenn kein Sternpunkt ausgeführt ist, darf ein Außenleiter über eine Impedanz mit Erde verbunden werden.

Auftreten eines ersten Fehlers

Im IT-System soll der erste Fehler gegenüber Erde nicht zu einer Abschaltung führen.

Der Fehlerstrom bei Auftreten nur eines Körper- oder Erdschlusses ist niedrig und eine Abschaltung nicht gefordert, wenn die Bedingung $I_d \times R_A \leq 50 \text{ V}$ (s. Abschnitt 3.3 „Automatische Abschaltung in TT-Systemen“) erfüllt ist und keine gefährlichen Fehlerspannungen auftreten können. Unter diesen Bedingungen ist der Strom I_d so klein, dass er weder für das Personal noch für die Anlage eine Gefahr darstellt.

Es müssen jedoch Maßnahmen getroffen werden, um bei Auftreten eines zweiten Fehlers das Risiko gefährlicher physiologischer Einwirkungen auf Personen, die in Verbindung mit gleichzeitig berührbaren leitfähigen Teilen stehen, zu vermeiden.

Dennoch erfordert dieses System:

- eine Einrichtung zur kontinuierlichen Überwachung des Isolationswiderstandes gegen Erde gem. IEC 60364-4-41 (VDE 0100-410). Sie muss bei Auftreten eines ersten Fehlers eine Meldung (akustisch und/oder visuell usw.) auslösen (siehe **Abb. F16**),
- zwingend die schnelle Beseitigung eines ersten Fehlers, damit die Vorteile des IT-Systems vollständig genutzt werden können. Die Betriebskontinuität ist der Hauptvorteil des IT-Systems.



Abb. F16: Isolationsüberwachungseinrichtung zwischen Außenleiter und Erde: im IT-System vorgeschrieben

In einem System, in dem neue Kabel/Leitungen/Leiter verwendet werden, ergibt sich z.B. bei einer Länge von 1 km ein Ableitstrom (kapazitiv) gegen Erde von ca. 3500 Ω pro aktiven Außenleiter. Im Normalbetrieb beträgt der kapazitive Strom [\[1\]](#) zur Erde daher:

$$\frac{U_o}{Z_f} = \frac{230}{3500} = 66 \text{ mA}$$

pro Außenleiter.

Während eines Fehlers zwischen Außenleiter und Schutzleiter/Erde (s. **Abb. F17**) entspricht der Strom durch den Widerstand des Erdungsanschlusses R_{nA} der Vektor-summe der kapazitiven Ströme in den fehlerfreien Außenleitern. Die Spannungen der fehlerfreien Außenleiter haben sich (aufgrund des Fehlers) auf die verkettete Spannung ($\sqrt{3}$ der normalen Spannung gegen Erde) erhöht, so dass sich die kapazitiven Ströme um denselben Wert erhöhen. Diese Ströme sind um 60° verschoben, so dass deren Vektorsumme (in diesem Beispiel) einen Wert von:

$$3 \times 66 \text{ mA} = 198 \text{ mA} \text{ ergibt.}$$

Die Berührungsspannung U_B entspricht daher $198 \times 5 \times 10^{-3} = 0,99 \text{ V}$ und ist somit ungefährlich.

Der durch den Körperschluss/Erdschluss verursachte Strom entspricht der Vektorsumme des Stromes I_{d1} ($=153 \text{ mA}$) und des kapazitiven Stromes I_{d2} (198 mA).

Da die berührbaren leitfähigen Teile der Anlage über Schutzleiter direkt geerdet sind, spielt die Impedanz Z_{ct} bei der Erzeugung von Berührungsspannungen gegen Erde praktisch keine Rolle.

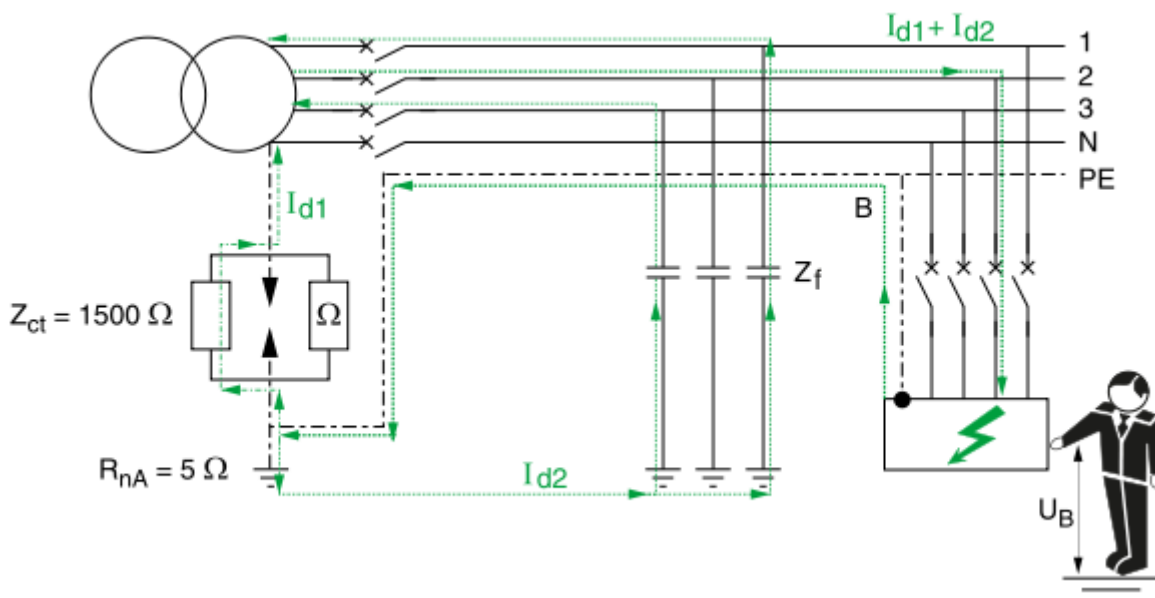


Abb. F17: Weg des Fehlerstromes bei einem ersten Fehler im IT-System

Auftreten eines zweiten Fehlers

Das gleichzeitige Auftreten zweier Körperschlüsse/Erdschlüsse (an unterschiedlichen aktiven Leitern) ist gefährlich und die schnelle Abschaltung der Stromversorgung durch Sicherungen oder Leistungsschalter hängt von der Verbindung der Körper mit Erde (einzeln, in Gruppen oder gemeinsame Erdung) ab.

Tritt ein zweiter Fehler in einem anderen Außenleiter oder in einem Neutralleiter auf, ist eine Abschaltung der Stromversorgung innerhalb der festgelegten Zeiten zwingend notwendig. Die Fehlerbeseitigung wird in den folgenden Fällen unterschiedlich durchgeführt:

1. Fall

Betrifft eine Anlage, in der alle Körper gemeinsam mit einem geerdeten Schutzleiter (PE-Leiter) verbunden sind (siehe **Abbildung F18**).

In diesem Fall führt der Weg des Fehlerstromes nicht über die Erde, so dass ein relativ hoher Fehlerstrom auftritt und herkömmliche Überstromschutzeinrichtungen verwendet werden können, d.h. Leistungsschalter, Leitungsschutzschalter und Sicherungen.

Der erste Fehler könnte an einem Stromkreisende in einem entfernten Anlagenteil auftreten, während der zweite Fehler am entgegengesetzten Anlagenteil auftreten könnte.

Aus diesem Grund wird zur Berechnung des zu erwartenden Fehlerstromes die ermittelte Schleifenimpedanz eines Stromkreises verdoppelt.

Enthält das System zusätzlich zu den 3 Außenleitern einen Neutralleiter, treten niedrigere Kurzschluss-/Fehlerströme auf, wenn einer der (zwei) Fehler zwischen dem Neutralleiter und Erde auftritt (alle vier Leiter sind in einem IT-System von Erde isoliert). In Vierleiter-IT-Systemen muss daher die Spannung zwischen Außenleiter und Neutralleiter zur Berechnung

der Kurzschlussströme verwendet werden, d.h. $0,8 \frac{U_o}{2Z_c} \geq I_{a[2]}$ wobei gilt:

U_o : Nennwechselspannung zwischen Außenleiter und Neutralleiter

Z_c : Impedanz der Fehlerstromschleife (siehe Kapitel F, Abschnitt 3.2)

I_a : Auslösestromwert

Bei nichtverteiltem Neutralleiter ist die zur Fehlerstromberechnung zu verwendende

Spannung die Spannung zwischen den Außenleitern, d.h. $0,8 \frac{\sqrt{3}U_o}{2Z_c} \geq I_{a[2]}$

- Maximale Abschaltzeiten

Die Abschaltzeiten für IT-Systeme hängen von der Art der Erdung der Körper (einzeln, in Gruppen oder gemeinsame Erdung) ab.

Für Endstromkreise zur Versorgung von elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln mit einem Bemessungsstrom unter 32 A, deren berührbare leitfähige Teile mit dem Erdungsanschluss der Anlage verbunden sind, ist die maximale Abschaltzeit in Tabelle F8 angegeben. Für die anderen Stromkreise innerhalb derselben Gruppe, deren berührbare leitfähigen Teile ebenfalls verbunden sind, beträgt die maximale Abschaltzeit 5 s. Der Grund dafür ist, dass jeder Doppelfehler einen Kurzschlussstrom wie im TN-System zur Folge hat.

Für Endstromkreise zur Versorgung von elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln mit einem Bemessungsstrom unter 32 A, deren berührbare leitfähige Teile an einen unabhängigen, elektrisch vom Erdungsanschluss der Station getrennten Erdungsanschluss anschlossen sind, wird die maximale Abschaltzeit in **Abbildung F15** angegeben. Für die anderen Stromkreise innerhalb derselben Gruppe, deren berührbare leitfähigen Teile nicht verbunden sind, beträgt die maximale Abschaltzeit 1 s.

Der Grund dafür ist, dass jeder Doppelfehler, der durch einen Isolationsfehler in dieser Gruppe und dem Isolationsfehler in einer anderen Gruppe entsteht, einen Fehlerstrom erzeugt, der durch die verschiedenen Erdanschlusswiderstände wie im TN-System begrenzt wird.

- Schutz durch Leistungsschalter

Für den in **Abbildung F18** dargestellten Fall müssen die Einstellungen für das unverzügerte und kurzzeitverzögerte Überstromauslösesystem gewählt werden. Die hier empfohlenen Zeiten können eingehalten werden. Der Kurzschlusschutz durch den Leistungsschalter NSX160 ist für die Beseitigung eines Außenleiterschusses auf der Verbraucherseite der betreffenden Stromkreise geeignet.

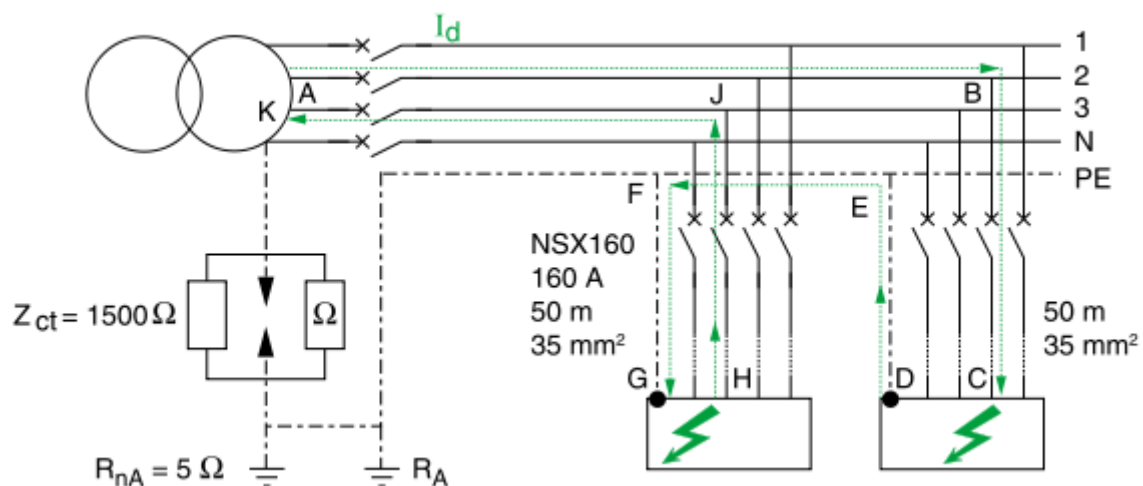


Abb. F18: Leistungsschalterauslösung im Fall eines Doppelfehlers. Die berührbaren leitfähigen Teile sind mit einem gemeinsam geerdeten Schutzleiter verbunden.

Zur Erinnerung: In einem IT-System werden zwei von einem Außenleiterschuss betroffene Stromkreise mit identischer Länge und identischen Leiterquerschnitten angenommen (der Querschnitt des PE-Leiters ist identisch mit den Querschnitten der Außenleiter). In so einem Fall ist die Impedanz der Stromkreisschleife bei Verwendung der „konventionellen Methode“

(siehe Kapitel F, Abschnitt 6.2) doppelt so groß wie die, die für einen der Stromkreise im TN-System berechnet wurde (siehe Kapitel F, Abschnitt 3.3).

Der Widerstand der Stromkreisschleife errechnet sich aus:

$$R_{GHJ} = 2R_{JH} = 2\rho \frac{L}{a}, \text{ in m}\Omega \text{ wobei gilt:}$$

ρ : Widerstand eines Kupferstabes mit einer Länge von 1 m und einem Querschnitt von 1 mm^2 , in $\text{m}\Omega$

L: Stromkreislänge in m

a: Leiterquerschnitt in mm^2

$$R_{GHJ} = 2 \times 22,5 \times 50/35 = 64,3 \text{ m}\Omega$$

und der Schleifenwiderstand B, C, D, E, F, G, H, J beträgt $2 \times 64,3 = 129 \text{ m}\Omega$.

Der Fehlerstrom beträgt daher $0,8 \times \sqrt{3} \times 230 \times 10^3 / 129 = 2470 \text{ A}$.

- Schutz durch Sicherungen

Der Strom I_a , bei dem das Auslösen der Sicherung innerhalb einer festgelegten Zeit (wie zuvor beschrieben) sichergestellt sein muss, kann Auslösekennlinien der Sicherungen entnommen werden (siehe **Abbildung F15**).

Der notwendige Abschaltstrom der Schutzeinrichtung muss wesentlich kleiner sein, als die für den betreffenden Stromkreis berechneten maximalen Fehlerströme.

- Schutz durch Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzeinrichtungen (RCCBs)

Für niedrige Kurzschlussstromwerte sind Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalter erforderlich. Der Schutz bei indirektem Berühren kann durch die Verwendung eines Fehlerstrom-/Differenzstrom-Schutzschalters für jedes Betriebsmittel gewährleistet werden.

2. Fall

- Betrifft Körper, die entweder einzeln (jedes Teil hat seinen eigenen Erdungsanschluss) oder gruppenweise (jede Gruppe hat einen Erdungsanschluss) geerdet sind.

Sind nicht alle Körper mit einem gemeinsam geerdeten Schutzleiter verbunden, kann der zweite Körperschluss/Erdschluss möglicherweise in einer anderen Gruppe oder einem separat geerdeten einzelnen Betriebsmittel auftreten. Es ist, verglichen mit dem 1. Fall, ein zusätzlicher Schutz notwendig. Dieser wird durch ein Fehlerstromschutzgerät sichergestellt, das sich jeweils an dem Leistungsschalter befindet, der jede Gruppe oder jedes separat geerdete Gerät absichert.

Der Grund für diesen zusätzlichen Schutz ist, dass die Erdungsanschlüsse der separaten Gruppen durch die Erde „verbunden“ sind, so dass der Außenleiterschlussstrom beim

Durchfluss durch die Erdverbindung durch die Erdungsanschlusswiderstände im Allgemeinen begrenzt wird, wodurch ein zuverlässiger Schutz durch Überstromschutzgeräte nicht mehr gewährleistet ist. Daher sind die empfindlicheren Schaltgeräte mit Fehlerstromschutz erforderlich, wobei deren Betriebsstrom den bei einem ersten Fehler auftretenden Strom überschreiten muss (siehe **Abb. F19**).

Ableitkapazität (μF)	Erster Fehlerstrom (A)
1	0,07
50	0,36
30	2,17

Hinweis: 1 μF ist die typische Ableitkapazität für ein 4-Leiter-Kabel mit einer Länge von 1 km.

Abb. F19: Zusammenhang zwischen Ableitkapazität und Strom beim ersten Fehler

Tritt ein zweiter Fehler innerhalb einer Gruppe mit gemeinsamem Erdungsanschluss auf, löst die Überstromschutzeinrichtung, wie zuvor für den 1. Fall beschrieben, aus.

Hinweis 1: Siehe auch Kapitel G, Abschnitt 7.2: Schutz des Neutralleiters.

Hinweis 2: In dreiphasigen Vierleiteranlagen wird der Überstromschutz im Neutralleiter manchmal durch Verwendung eines Ringstromwandlers über dem einadrigen Neutralleiter sichergestellt (siehe **Abb. F20**).

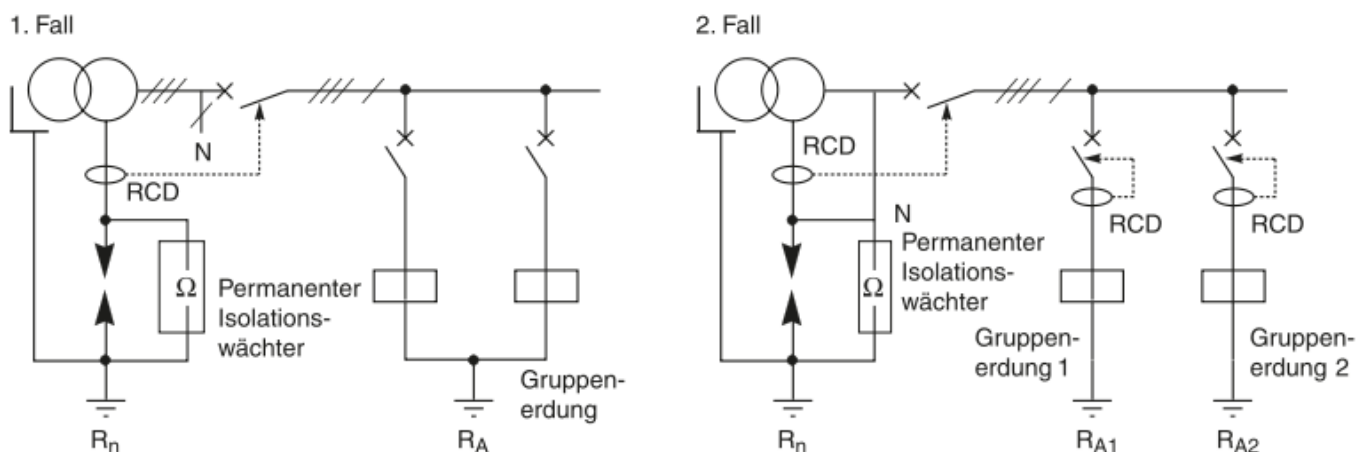


Abb. F20: Anwendung von Schaltgeräten mit Fehlerstromschutz, wenn die berührbaren leitfähigen Teile im IT-Netz einzeln oder gruppenweise geerdet sind

Anmerkung

1. ^a Der Ohmsche Fehlerstrom gegen Erde durch die nicht unendlich hochohmige Isolierung der Leiter wird in diesem Beispiel als vernachlässigbar betrachtet.
2. ^{a b} Auf Grundlage der „konventionellen Methode“, die im ersten Beispiel im Abschnitt 3.3 erwähnt wird.