

Erdungsschemas in der Niederspannung - Teil 4

Die Erdungsschemas und der Personenschutz: Nicht oder über eine Impedanz geerdeter Sternpunkt oder Schema IT

Der Sternpunkt ist isoliert, d.h. nicht geerdet. Die Massen der Anlage sind normalerweise miteinander verbunden (wie bei den Schemas TN und TT).

Im Normalbetrieb (ohne Isolationsfehler) wird das Netz durch die Streuimpedanz des Netzes geerdet. Es sei daran erinnert, dass die Streuimpedanz eines Drehstromkabels gegen Erde durch die folgenden typischen Werte charakterisiert wird:

- $C = 1 \mu\text{F}/\text{km}$
- $R = 1 \text{ M}\Omega/\text{km}$, was (bei 50 Hz) ergibt:
- $Z_{cf} = 1/j \cdot C \cdot \omega = 3 \text{ 200 } \Omega$
- $Z_f = R_f = 1 \text{ M}\Omega$ somit $Z_f \leq Z_{cf} = 3 \text{ 200 } \Omega$.

Um das Potential eines IT-Netzes gegenüber Erde festzulegen, wird – besonders wenn es kurz ist – empfohlen, eine Impedanz ($Z_n \leq 1 \text{ 500 } \Omega$) zwischen den Sternpunkt des Transformators und die Erde zu schalten. Dann haben wir das Schema IT mit über eine Impedanz geerdetem Sternpunkt.

Verhalten beim ersten Fehler

- **Isolierter Sternpunkt:**
Der Fehlerstrom entsteht wie folgt (Maximalwert bei einem satten Fehler und nicht verteiltem Sternpunkt).
 $I_f = I_{c1} + I_{c2}$, wobei:
 $I_{c1} = j \cdot C_f \cdot \omega \cdot V_{13}$ und
 $I_{c2} = j \cdot C_f \cdot \omega \cdot V_{23}$, woraus:
 $I_d = U_o \cdot 3 C_f \cdot \omega$.
Für 1 km 230/400-V-Netz beträgt die Fehlerspannung:
 $U_c = R_b \cdot I_d$, d.h. 0,7 V, wenn $R_b = 10 \Omega$.
Diese Spannung ist ungefährlich, weshalb die Anlage in Betrieb bleiben kann.

Wenn der Neutral-Leiter (N-Leiter) verteilt ist, fügt die Potentialverschiebung vom N-Leiter gegenüber der Erde einen Strom $I_{cn} = U_o \cdot C_f \cdot \omega$ hinzu, und $I_f = U_o \cdot 4 \cdot C_f \cdot \omega$; (siehe Abb. 12).

- **Über eine Impedanz geerdeter N-Leiter: Strom des ersten Fehlers:**

$$I_d = \frac{U}{Z_{\text{eq}}}, \text{ wobei}$$
$$\frac{1}{Z_{\text{eq}}} = \frac{1}{Z_n} + 3j \cdot C_f \cdot \omega.$$

Die entsprechende Fehlerspannung bleibt niedrig und ungefährlich und die Anlage kann in Betrieb bleiben. Die gefahrlose Weiterführung des Betriebs ist sehr interessant, man muss jedoch wissen, dass ein Fehler vorhanden ist, diesen schnell suchen und beseitigen, bevor ein zweiter Fehler auftritt. Um diese Anforderungen zu erfüllen. Wird die Fehler-Information von einer Isolationsüberwachungseinrichtung (CPI) gegeben, die alle aktiven Leiter einschließlich des Neutralleiters überwacht, erfolgt die Suche mit Hilfe eines Fehlerortungsgerätes.

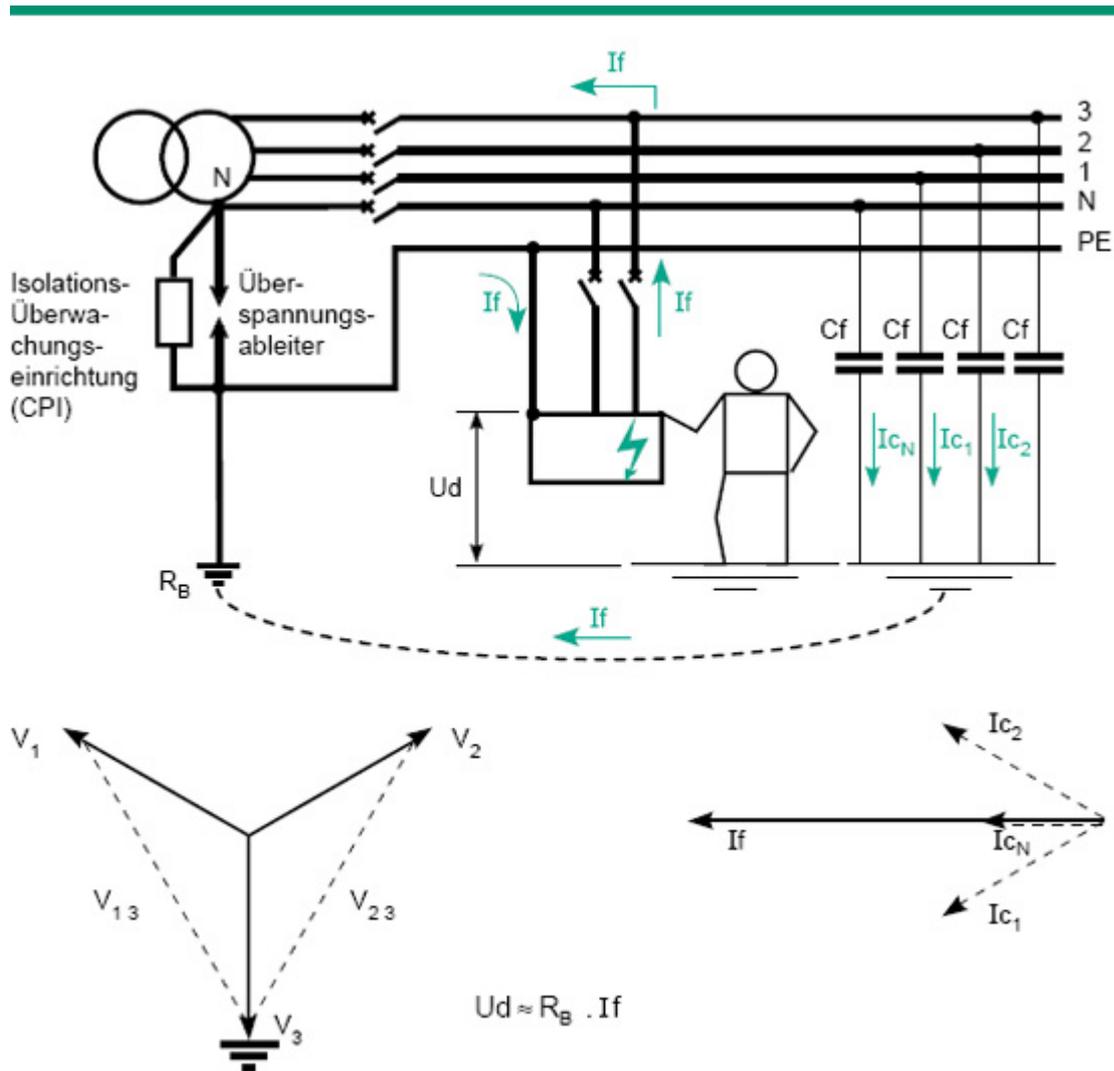


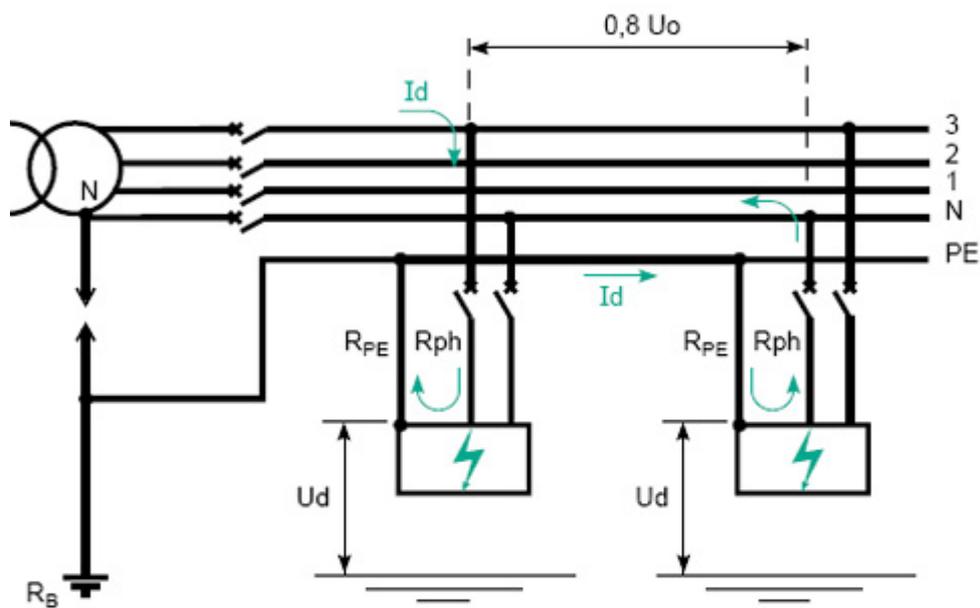
Abb. 12: Strom beim ersten Isolationsfehler im Schema IT.

Verhalten beim zweiten Fehler

Wenn ein zweiter Fehler auftritt, während der erste Fehler noch nicht beseitigt ist, müssen die folgenden drei Fälle betrachtet werden:

- Der Fehler betrifft denselben aktiven Leiter: Es geschieht nichts und der Betrieb kann weitergehen.
- Der Fehler betrifft zwei verschiedene aktive Leiter: Wenn alle Massen miteinander verbunden sind, ist der Doppelfehler ein Kurzschluss (über den Schutzleiter PE).

Die Elektrisierungsgefahr ist ähnlich wie diejenige im Erdungsschema TN. Die ungünstigsten Bedingungen für die Kurzschlusschutzeinrichtungen (niedrigster I_d) ergeben sich, wenn die beiden Fehler an Abgängen mit den gleichen Eigenschaften (Querschnitt und Länge) auftreten (siehe Abb. 13). Die Kurzschlusschutzeinrichtungen müssen die folgenden Bedingungen erfüllen:



$$I_d = \frac{0,8 U_0}{2(R_{PE} + R_{ph})} \quad U_d = \frac{0,8 U_0}{4}$$

Abb. 13: Strom beim zweiten Isolationsfehler im Schema IT (verteilter N-Leiter), wobei Abgänge von gleichem Querschnitt und gleicher Länge betroffen sind.

Wenn der N-Leiter verteilt und einer der beiden fehlerhaften Leiter der Neutralleiter ist:

$$I_a \leq \frac{0,8 U_0}{2 Z},$$

oder wenn der N-Leiter nicht verteilt ist:

$$I_a \leq \frac{0,8 U_0 \cdot \sqrt{3}}{2 Z}.$$

Es muss darauf hingewiesen werden, dass, wenn einer der beiden Fehler den Neutralleiter betrifft, der Fehlerstrom und die Fehlerspannung zweimal niedriger sind als im Schema TN. Dies hat die Normierungsstelle veranlasst, längere Abschaltzeiten der Kurzschlusschutzeinrichtungen zuzulassen (siehe Abb. 14.) Wie beim Erdungsschema TN ist der Schutz durch Kurzschlusschutzeinrichtungen nur für die folgenden maximalen Kabellängen wirksam:

$$L_{\max} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot I_a}.$$

Verteilter Sternpunkt:

$$L_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot I_a},$$

Nicht verteilter N-Leiter:

$$L_{\max} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot I_a}$$

Dies unter der Bedingung, dass der Neutralleiter geschützt ist und denselben Querschnitt wie die Phasenleiter hat. Dies ist im Wesentlichen der Grund dafür, dass die französische Norm davon abrät, den Sternpunkt zu verteilen.

Der Fehler betrifft zwei verschiedene aktive Leiter, es sind aber nicht alle Masse miteinander verbunden. Für einzeln oder gruppenweise geerdete Massen muss jeder Stromkreis oder jede Stromkreisgruppe mit einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung geschützt werden. Bei einem Isolationsfehler an Gruppen, die an zwei verschiedene Erder angeschlossen sind, ist das Verhalten des Erdungsschemas gegenüber dem Isolationsfehler (Id, Ud) effektiv analog demjenigen eines Schemas TT (der Fehlerstrom fließt über die Erde). Der Personenschutz bei indirektem Berühren wird somit auf dieselbe Weise mit

$$I_{\Delta n} \leq \frac{U_L}{R_A}$$

wie gemäß Tabelle der Abbildung 11 gewährleistet. Es muss darauf hingewiesen werden, dass aufgrund der von der Norm vorgeschriebenen Zeiten eine horizontale Zeitselektivität realisiert werden kann, um die Kontinuität der Versorgung bestimmter Abgänge zu bevorzugen.

Anmerkung: Um ein von Erde isoliertes NS-Netz vor Spannungsanstiegen (Überschlag im MS/NSTransformator, zufällige Berührung mit einem Netz höherer Spannung, Blitzschlag im MS-Netz) zu schützen, schreibt in Frankreich die Norm vor, zwischen den Sternpunkt des MS/NSTransformators und Erde (Rb) einen Überspannungsableiter zu schalten. Dem Leser, der das Studium des Erdungsschemas IT vertiefen möchte, wird das Technische Heft Nr. 178 empfohlen. Um eine Übersicht über die Größen zu geben, welche die einzelnen Erdungsschemas in Bezug auf den Personenschutz charakterisieren, sind die wichtigsten Formeln in der Tabelle der Abbildung 15 zusammengefasst.

$$L_{\max} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot I_a}$$

	Id	Ud	Lmax	Kontinuität der Versorgung
TN	$\frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot L}$	$\frac{0,8 U_0}{1 + m}$	$\frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot I_a}$	Vertikale Selektivität
TT	$\frac{U_0}{R_a + R_b}$	$\frac{U_0 \cdot R_a}{R_a + R_b}$	Keine Einschränkung	Vertikale Selektivität
IT	1. Fehler Doppelfehler mit Neutralleiter Doppelfehler zwischen Phasen	$< 1 A$ $\leq \frac{1}{2} \cdot \frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot L}$ $\leq \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho (1 + m) \cdot L}$	$\ll U_L$ $\leq \frac{m}{2} \cdot \frac{0,8 U_0}{1 + m}$ $\leq \frac{m \cdot \sqrt{3}}{2} \cdot \frac{0,8 U_0}{1 + m}$	Keine Abschaltung Vertikale Selektivität und Möglichkeit der horizontalen Selektivität zugunsten von Abhängen mit hoher Stromstärke

Zur Erinnerung:

■ $r = 22 \times 10^{-6} \text{ W/mm}^2/\text{m}$ für Cu (36 für Al)

■ $m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}}$

■ Der Querschnitt des Leiters PE, der normalerweise gleich dem Querschnitt der Phasenleiter ist, kann gleich der Hälfte des Querschnitts der Phasenleiter sein, wenn dieser grösser als 35 mm² ist. Dies erhöht bei TN und IT die Fehlerspannung Ud.

Abb. 15: Charakteristische Größen der einzelnen Erdungsschemas.

Klicken Sie auf das Bild für eine größere Version