

Erdungsschemas in der Niederspannung - Teil 3

Die Erdungsschemas und der Personenschutz: Nullung oder Schema TN; Schutzterdung oder Schema TT

In diesem Kapitel werden die Gefahren einer Elektrisierung oder sogar einer Elektroktion für die einzelnen Erdungsschemas behandelt, die von der Internationalen Elektrotechnischen Kommission in der Norm IEC 364 festgelegt worden sind. Das Erdungsschema in der NS charakterisiert die Art der Verbindung der Sekundärseite des MS/NS-Transformators mit der Erde und die Art der Erdung der Körper der elektrischen Anlage. Die einzelnen Erdungsschemas werden wie folgt durch zwei Buchstaben gekennzeichnet:

- Der erste für den Anschluss des Sternpunktes (bzw. Nullpunktes N) des Transformators (2 Möglichkeiten):
 - T für direkte Erdung
 - I für Isolierung von Erde
- Der zweite für die Art des Anschlusses der Körper der Anlage (2 Möglichkeiten):
 - T für direkte Erdung
 - N für Anschluss an den Sternpunkt an der Einspeisestelle der Anlage, der geerdet ist (siehe Abb. 5).

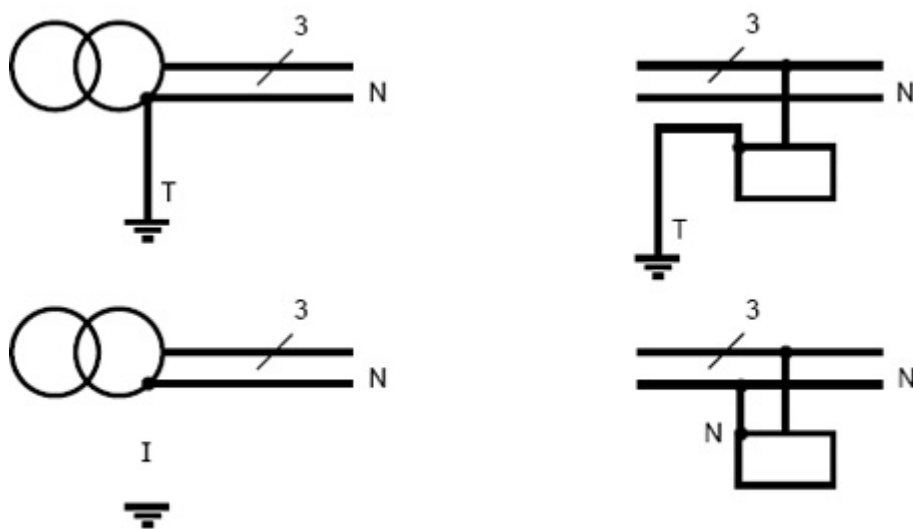


Abb. 5: Art des Anschlusses des Transformatornullpunktes und der Körper der elektrischen Verbraucher (an Erde).

Die Kombination dieser beiden Buchstaben ergibt drei mögliche Konfigurationen:

Sternpunkt des Transformators: wenn T

Körp der Anlage: T oder N

Sternpunkt des Transformators: wenn I

Körp der Anlage: T

d.h. TT, TN oder IT.

- **Anmerkung 1:**

Das Schema TN gemäß IEC 364 umfasst mehrere Unterschemas:

- TN-C: Neutraleiter (N) und Schutzleiter (PE) in einem Leiter kombiniert (PEN)

- o TN-S: Neutraleiter (N) und Schutzleiter (PE) separat
- o TN-C-S: Anwendung von TN-S hinter TN-C (die umgekehrte Reihenfolge ist verboten).

Es ist zu bemerken, dass das Schema TN-S für Netz mit Leitern mit Kupferquerschnitten $\leq 10 \text{ mm}^2$ obligatorisch ist.

• **Anmerkung 2:**

Jedes Erdungsschema kann für die Gesamtheit einer NS-Anlage angewendet werden, es können jedoch auch mehrere Erdungsschemas in derselben Anlage gleichzeitig vorhanden sein. Siehe als Beispiel die Abb. 6.

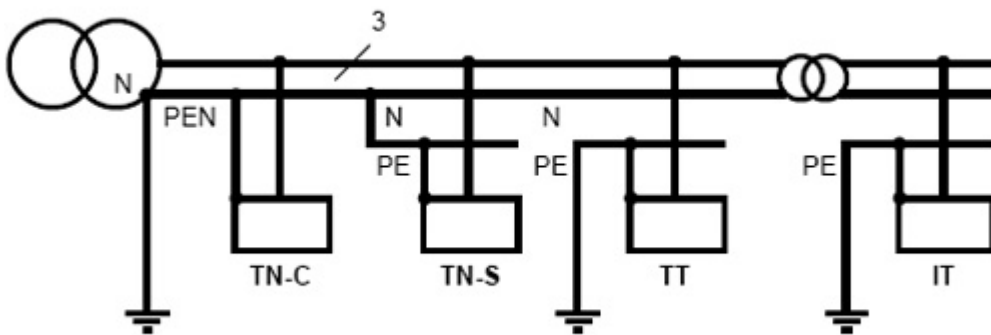


Abb. 6: Gleichzeitige Anwendung verschiedener Erdungsschemas.

Nullung oder Schema TN Beim Auftreten eines Isolationsfehlers wird der Fehlerstrom I_d nur durch die Impedanz der Kabel der Fehlerschleife begrenzt (siehe Abb. 8):

$$I_d = \frac{U_0}{R_{ph1} + R_d + R_{PE}}$$

Für einen Abgang und sobald $R_d \gg 0$:

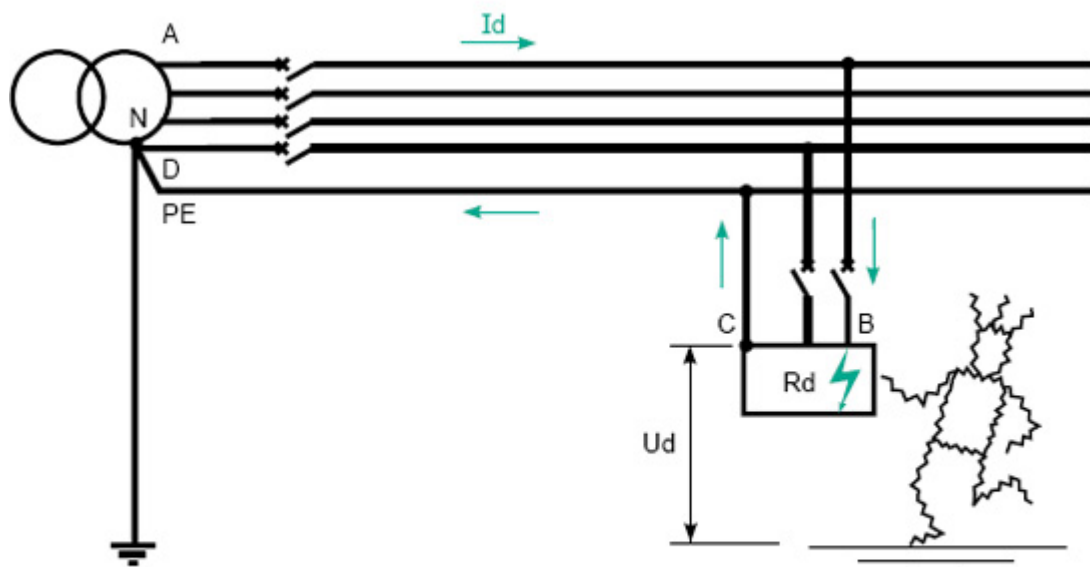
$$I_d = \frac{0,8 U_0}{R_{ph1} + R_{PE}}$$

Bei einem Kurzschluss wird angenommen, dass die Impedanzen auf der Speiseseite des betreffenden Abganges einen Abfall der Phasenspannung in der Größenordnung von 20% bewirken, woraus sich der Faktor 0,8 ergibt. I_d bewirkt nun eine Fehlerspannung gegen Erde:

$U_d = R_{PE} \cdot I_d$ somit:

$$U_d = 0,8 U_0 \frac{R_{PE}}{R_{ph1} + R_{PE}}$$

Für 230/400-V-Netze ist diese Spannung von der Größenordnung $U_0/2$ (wenn $R_{PE} = R_{ph}$) gefährlich, da sie selbst in trockener Umgebung höher ist als die maximal zulässige Berührungsspannung ($U_L = 50 \text{ V}$). Deshalb muss eine sofortige automatische Abschaltung der Anlage oder des Anlageteils sichergestellt werden (siehe Abb. 9). Da der Isolationsfehler einem Kurzschluss zwischen Phase und Neutraleiter gleicht, erfolgt die Abschaltung durch die Kurzschlusschutzeinrichtung DPCC mit einer vorgeschriebenen maximalen Abschaltzeit, die von U_L abhängt.



$$U_d = \frac{0,8 U_0}{2} \text{ si } R_{PE} = R_{ph} + R_d = 0 \quad I_d = \frac{U_0}{R_{AB} + R_d + R_{CD}} \Rightarrow \frac{0,8 U_0}{R_{ph} + R_{PE}}$$

Abb. 8: Fehlerstrom und Fehlerspannung im Schema TN.

Durchführung:

Um sicher zu sein, dass der Schutz unabhängig von der Fehlerstelle wirksam ist, muss der Strom I_d größer sein als der Auslösestrom I_a der Schutzeinrichtung ($I_d > I_a$). Diese Bedingung muss bei der Projektierung der Anlage durch Berechnung der Fehlerströme aller Kreise der Verteilung überprüft werden. Der gleiche Verlauf des Schutzleiters PE und der aktiven Leiter erleichtert die Berechnung.

Eine andere Vorgehensweise, um diese Bedingung zu erfüllen, besteht darin, einen maximalen Wert der Impedanz in der Fehlerschleife in Funktion vom Typ und Einstellstrom der gewählten Kurzschlusschutzeinrichtung vorzuschreiben (siehe die britische Norm BS 7671). Ein solches Vorgehen kann dazu führen, den Querschnitt der aktiven und/oder der Schutzleiter zu erhöhen.

Eine weitere Art und Weise, um sich zu vergewissern, ob die Kurzschlusschutzeinrichtung den Personenschutz sicherstellt, besteht darin, die Maximale Länge zu berechnen, die jeder Abgang für einen bestimmten Auslösestrom I_a der Schutzeinrichtung nicht überschreiten darf:

- Impedanzenmethode
- Zusammensetzungsmethode
- Konventionelle Methode

$$I_d = \frac{0,8 U_0}{Z} = \frac{0,8 U_0}{R_{ph} + R_{PE}}$$

$$= \frac{0,8 U_0 \cdot S_{ph}}{\rho \cdot (1 + m) L}$$

Damit die Schutzeinrichtung ihre Funktion wirklich erfüllt, muss $I_a < I_d$ sein, woraus sich die von der Schutzeinrichtung mit dem Auslösestrom I_a maximal zulässige Länge L_{max} ergibt:

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

- $L_{\max}$ = maximal zulässige Länge in m
- U_0 = Phasenspannung 230 V für ein 400-V-Drehstromnetz
- P = spezifischer elektrischer Widerstand bei normaler Betriebstemperatur
- I_a = automatischer Abschaltstrom
 - o Für einen Leistungsschalter $I_a = I_m$ (I_m = Auslösestrom des magnetischen oder Kurzverzögerungs-Auslösers)
 - o Für eine Sicherung, deren totale Abschaltzeit (Vorlichtbogenzeit + Lichtbogenzeit) der Norm entspricht (siehe Abb. 9).

- $m = \frac{S_{ph}}{S_{PE}}$

Wenn die Leitung länger als $L_{\max}$ ist, muss I_a reduziert oder S_{PE} erhöht oder eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung eingesetzt werden.

U_0 (Volt) Phasenspannung	Abschaltzeit (Sekunden) $U_L = 50 \text{ V}$	Abschaltzeit (Sekunden) $U_L = 25 \text{ V}$
127	0,8	0,35
230	0,4	0,2
400	0,2	0,05
≥ 400	0,1	0,02

Abb. 9: Abschaltzeiten im Schema TN (siehe IEC 364 und NF C 15-100, Tabellen 41 A und 48 A).

Schutzerdung oder Schema TT

Beim Auftreten eines Isolationsfehlers wird der Fehlerstrom I_d (siehe Abb. 10) im Wesentlichen durch die Erdungswiderstände begrenzt (wenn der Erder der Körper der Verbraucher und der Erder des Sternpunktes nicht miteinander verbunden sind). Immer unter der Annahme, dass $R_d = 0$, beträgt der Fehlerstrom:

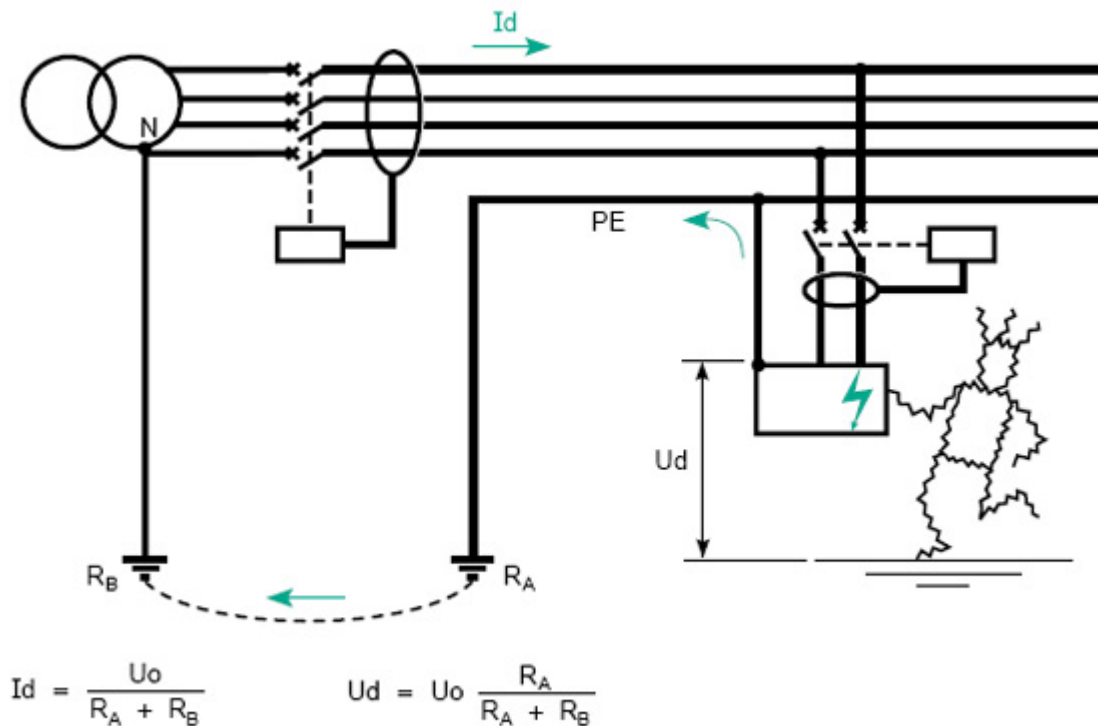


Abb. 10: Fehlerstrom und Fehlerspannung im Schema TT.

$$I_d \approx \frac{U_0}{R_a + R_b}$$

Dieser Fehlerstrom bewirkt im Erdungswiderstand R_A eine Fehlerspannung:

$$U_d = R_A \cdot I_d, \text{ oder } U_d = \frac{U_0 \cdot R_A}{R_A + R_B}$$

Da die Erdungswiderstände in der Regel niedrig und von der gleichen Größenordnung sind ($\leq 10 \, \Omega$), ist diese Spannung von der Größenordnung $U_0/2$ gefährlich. Es muss deshalb unbedingt eine automatische Abschaltung des vom Fehler betroffenen Teils der Anlage vorgesehen werden (siehe Abb. 11).

$$I\Delta n \leq \frac{U_L}{R_A} \quad \text{Maximalwiderstand der Erders } R_A$$

U_L	50 V	25 V
3 A	16 Ω	8 Ω
1 A	50 Ω	25 Ω
500 mA	100 Ω	50 Ω
300 mA	166 Ω	83 Ω
30 mA	1660 Ω	833 Ω

Abb. 11: Oberer Grenzwert des Erdwiderstandes der Masse, der in Funktion der Empfindlichkeit der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen und der maximal zulässigen Berührungsspannung U_L nicht überschritten werden darf, ($I\Delta n = f(R_A)$).

Durchführung

Da der Fehlerstrom

$$(I_{d0} = \frac{U_L}{R_a}),$$

über dem eine Gefahr besteht, wesentlich niedriger ist als die Einstellungen der Maximalstrom- Schutzeinrichtungen, muss an der Einspeisestelle der Anlage mindestens eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung vorgesehen werden. Zur Erhöhung der Verfügbarkeit der elektrischen Energie gestattet der Einsatz von mehreren Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen die Einführung einer Strom- und Zeitselektivität der Abschaltung. Alle diese Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen müssen einen Nennauslösestrom $I_{\Delta n}$ kleiner als I_{d0} haben. Die Abschaltung mit Hilfe von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen muss in Übereinstimmung mit der Norm in weniger als 1 s erfolgen (diese Zeit kann 5 s erreichen, wenn R_a und R_b miteinander verbunden sind). Es ist zu bemerken, dass der Schutz mit Hilfe von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen unabhängig von der Länge der Kabel ist und mehrere separate Erder R_a gestattet (diese Anordnung ist nicht empfehlenswert, da dann der Schutzleiter PE nicht mehr eine Potentialreferenz für die gesamte Anlage ist).