

Berührungsspannung – TN- versus TT-System

DIN VDE 0100-410, DIN VDE 0100-540, ungültige DIN VDE 0100-540:1991-11

PROBLEM

Ich habe ein Verständnisproblem zwischen der Berührungsspannung im TN- und TT-System. Wie wird im TN-System die max. Berührungsspannung von 50 V AC realisiert? Im TT-System wird das durch eine RCD realisiert. Bei entsprechender Erdung löst die RCD spätestens ab 50 V AC aus – Ziel erreicht. Im TN-System ist es mir aber ein Rätsel, wie das funktioniert. Nehmen wir an, wir haben durch einen Isolationsfehler eine eSpannung von 60 V AC am Körper eines Betriebsmittels anliegen. Die Schleifenimpedanz beträgt $1,5 \Omega$. Nun sollte in diesem Fall eine automatische Abschaltung des LS-Automaten (B 16 A) stattfinden. In diesem Fall kommt es zu einem Fehlerstrom von 40 A. Dieser Strom ist aber nicht ausreichend, um einen Endstromkreis in 0,4 s abzuschalten. Liege ich mit meiner Annahme richtig oder wo liegt evtl. mein Denkfehler?

C. M., Bayern

ANTWORT

Verwendung des Begriffs Berührungsspannung

Ihr Problem liegt vermutlich in erster Linie daran, dass sich die Abschaltzeiten gemäß DIN VDE 0100-410:2018-10 im Abschnitt 411.3.2 – einschließlich der Abschaltzeiten in der Tabelle 41.1 – nicht auf Berührungsspannungen, sondern auf Nennwechsel- oder Nenngleichspannungen beziehen. Außerdem gilt, dass in den Normen – und insbe-

sondere in DIN VDE 0100-410 – besser nicht mehr von Berührungsspannung die Rede sein sollte. Es handelt sich nämlich in Stromkreisen mit einem Körperschluss um eine Fehlerspannung, aus der sich dann die Berührungsspannung ergibt. Die allgemeine Verwendung des Begriffs Berührungsspannung stellt ein Überbleibsel aus älteren Normen dar. Die Berührungsspannung hat sich aber im Sprachgebrauch zementiert.

Die Fehlerspannung ist abhängig von der Versorgungsspannung des Stromkreises, also von der Nennwechselspannung bzw. Nenngleichspannung und vom System nach Art der Erdverbindung. Eine Nennwechselspannung von 50 V AC – unabhängig von der daraus resultierenden möglichen kleineren Fehlerspannung am Betriebsmittel/Verbrauchsmittel – muss innerhalb der im Abschnitt 411.3.2 bis 411.3.4 von DIN VDE 0100-410:2018-10 vorgegebenen Zeiten abgeschaltet werden, damit der Mensch keine gefährliche Spannung (= Berührungsspannung) überbrücken kann.

Die Berührungsspannung kann sich nur durch eine Berührung von leitfähigen Teilen ergeben – d.h. bei gleichzeitiger Berührung eines aktiven Teiles sowie von leitfähigen Teilen, die eine Verbindung mit Erde oder Schutzleiter haben. Diese Berührungsspannung kann sich auch ergeben bei einer Berührung eines aktiven Teiles, wenn der Mensch auf Erde oder einem leitfähigen Fußboden steht. In beiden Fällen wird ein Strom durch den Menschen zum Fließen kommen. **Bild 1** stellt die sich ergebende Be-

rührungsspannung dar. Die tatsächliche Berührungsspannung ist jedoch kleiner, da auch auf dem Schutzpotentialausgleichsleiter, sowie auf dem kurzen Schutzleiterstück ($3R_{PE}$) eine Spannung abfällt.

Dieser Strom durch den Menschen und die sich ergebende Berührungsspannung wird aber durch die sehr unterschiedlichen Körperimpedanzen des Menschen (je nach Berührungspunkten des Menschen) wesentlich beeinflusst. Er kann daher nicht allgemein spezifiziert werden.

Zur Frage nach 60 V AC

Hierzu stellt sich mir allerdings die Frage, wo die 60 V AC denn eigentlich herkommen sollen. Vielleicht betrachten Sie ja einen impedanzbehafteten Fehler, der jedoch nach Abschnitt 411.3.2.1 von DIN VDE 0100-410:2018-10 normativ weder betrachtet werden muss noch kann.

Sollten Sie aber einen über einen Transformator gespeisten Stromkreis vorliegen haben, an dessen 60 V-Ausgang ein Betriebsmittel/Verbrauchsmittel angeschlossen ist, dann handelt es sich bei den angeführten 60 V AC weder um eine Berührungsspannung noch um eine Fehlerspannung, die an einem Betriebsmittel/Verbrauchsmittel auftreten könnte. Die Fehlerspannung dürfte bei einem TN-Ausgang von 60 V AC hinter dem Transformator tatsächlich bei ca. 30 V AC liegen. Trotzdem muss nach Abschnitt 411 von DIN VDE 0100-410:2018-10 auch dieser Stromkreis im Fehlerfall abgeschaltet werden. Die Nennwechselspannung

Quelle: W. Hörmann

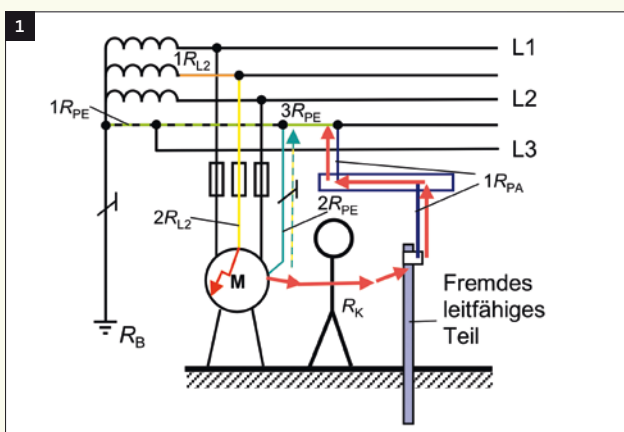


Bild 1: Maximale Berührungsspannung, die von einem Menschen überbrückt werden und einen Körperstrom hervorrufen kann

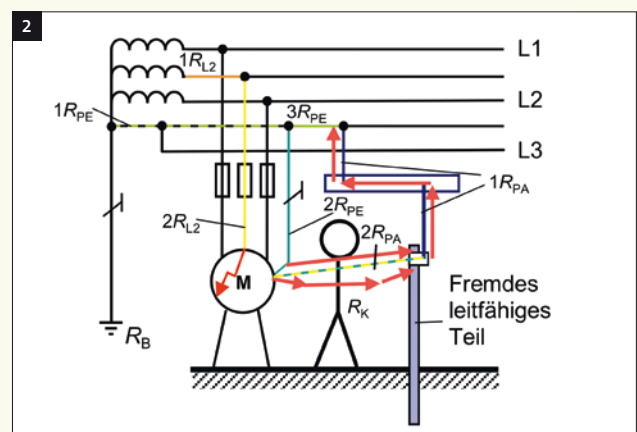


Bild 2: Maximal mögliche Berührungsspannung bei Verwendung eines zusätzlichen (örtlichen) Schutzpotentialausgleichsleiters

des Stromkreises ist nämlich größer als 50 V AC (s.u.).

Wenn jedoch nach Ihrem Beispiel bei den 60 V AC die Abschaltung der Stromversorgung nicht erreicht werden kann, dann muss ich leider sagen: falsch dimensioniert. Bei der von Ihnen angeführten Schleifenimpedanz von $1,5\Omega$ müsste der Bemessungsstrom der Schutzeinrichtung reduziert oder der Querschnitt soweit vergrößert werden, dass sich eine Schleifenimpedanz ergibt, bei der die Schutzeinrichtung innerhalb der geforderten Zeit den fehlerhaften Stromkreis abschaltet. Ggf. ist eine Fehlerstrom-Schutz-einrichtung (RCD) vorzusehen, die dann auch bei größeren Schleifenimpedanzen noch abschalten wird. Letztlich besteht auch die Möglichkeit, einen zusätzlichen (örtlichen) Schutzpotentialausgleich nach Abschnitt 415.2 von DIN VDE 0100-410:2018-10 anzuwenden (Bild 2). Hierbei ist die Berührungsspannung wesentlich kleiner als im Bild 1.

Weiterführende Erläuterungen zum Schutzpotentialausgleich

Da die Probleme rund um den Schutzpotentialausgleich allgemein immer wieder zu Verständnisschwierigkeiten führen, hatte ich das Thema bereits schon einmal in der Fachzeitschrift »de« an einem Beispiel vertieft. Hierzu gab es den Beitrag »Der Schutzpotentialausgleich wirkt«, in »de« 7.2015, S. 32 ff., zu finden im Internet unter: www.elektro.net/49575/der-schutzpotentialausgleich-wirkt/. Dort erklären sich auch die hier in den Bildern 1 und 2 genannten Symbole, die als Berechnungsrundlage dienen.

Geforderte Abschaltzeiten

Im TN-System beträgt die geforderte Abschaltzeit nach Tabelle 41.1 von DIN VDE 0100-410:2018-10 aber nicht – wie Sie anführen – 0,4s, sondern 0,8s. Dieser Unterschied spielt aber bei Leitungsschutzschaltern kaum eine Rolle. Diese benötigen zum Auslösen im Fehlerfall den 5-fachen bzw. 10-fachen Bemessungsstrom, wobei dann eine Auslösung in max. 100ms erfolgt – also weit unter den max. zulässigen Abschaltzeiten.

Ist Ihr Stromkreis bzw. das Betriebsmittel/ Verbrauchsmittel jedoch an einer normalen 230V-Versorgung angeschlossen, dann scheint mir Ihre Betrachtung nicht ganz schlüssig zu sein. Im TN-System wird bei Schutzleiterquerschnitt gleich Außenleiterquerschnitt die Fehlerspannung am Körper ca. 115 V betragen – siehe hierzu auch die Tabelle und meine weiteren Ausführungen.

Tabelle: Kenngrößen für die Abschaltbedingungen in Endstromkreisen im TN- und TT-System mit Nennspannungen von 230V/400V AC

Kenngrößen	Werte im TN-System	Werte im TT-System
Impedanz der Fehlerschleife Z_s (Messwerte)	einige 10 mΩ bis etwa 2Ω	bis 100Ω
Fehlerstrom $I_F = 230V/Z_s$	etwa 115 A bis zu einigen 1000 A	mindestens 2,3 A
Maximal zulässige Abschaltzeit t_A nach Tabelle 41.1	0,4 s	0,2 s
Maximale Berührungsspannung U_T (Erfahrungswerte)	80 V bis 115 V	160 V bis 230 V
Berührungsstrom $I_T = U_T/1000\Omega$	80 mA bis 115 mA	160 mA bis 230 mA
¹⁾ Körperimpedanz bei Hand-Fuß-Durchströmung (Richtwert)		Quelle: DKE

Diese Tabelle stammt aus einer PDF-Broschüre der DKE-Internetseite namens »Erläuterungen zum Konzept der Norm DIN VDE 0100-410:2018-10«. Diese Unterlage lässt sich von www.dke.de herunterladen.

Wenn aber die Fehlerschleife an 230 V liegt, dann wird bei einer Schleifenimpedanz von $1,5\Omega$ – entsprechend Ihrem Beispiel – ein Fehlerstrom von 133 A zum Fließen zu kommen. Dieser wird auch zur Abschaltung des von Ihnen angeführten Leitungsschutzschalters von B16 A innerhalb der geforderten Zeit führen. Sofern der Schutzleiterquerschnitt auf halben Außenleiterquerschnitt reduziert ist, kann die Fehlerspannung im TN-System auch einen höheren Wert als 115 V annehmen.

Vorsicht mit dem Begriff Berührungsspannung

In der in diesem Beitrag dargestellten Tabelle und in den Bildern 7 und 8 der oben angeführten PDF-Broschüre der DKE wird auch noch der Begriff Berührungsspannung verwendet, was aus meiner Sicht nicht richtig ist. Dies kann aber in den, in dieser Unterlage enthaltenen, schematischen Darstellungen akzeptiert werden, da durch den menschlichen Körper beim Berühren nur ein Teilfehlerstrom des Gesamtfehlerstroms zum Fließen kommt. Somit kann durch den Menschen auch nicht die gesamte Fehlerspannung überbrückt werden, die am Körper des Betriebsmittels/Verbrauchsmittel ansteht. Daher kann diese Spannung (Berührungsspannung) – wie bereits angeführt – nur schlecht spezifiziert werden.

Fehlerspannung im TT-System

Bezüglich eines TT-Systems möchte ich noch anmerken, dass bei Einhaltung der Bedingung nach Abschnitt 411.5.3 ii) die Abschaltbedingung erfüllt ist. Allerdings kann im TT-

System, anders als im TN-System, die Fehler-spannung bis zur Abschaltung nahezu den Wert der Nennwechselspannung bzw. Nenn-gleichspannung erreichen – siehe Tabelle. Daher werden für TT-Systeme im Abschnitt 411.3.2 und 411.3.4 von DIN VDE 0100-410:2018-10 auch kürzere Abschaltzeiten ge-fordert.

Spannungsreduzierung durch Dimmer und ähnliche Einrichtungen

Bei der Verwendung von Dimmern kann die von Ihnen angeführte Spannung von 60 V AC am Körper eines Betriebsmittels/Verbrauchsmittels als Fehlerspannung auftreten. Somit wäre nach Ihrem Beispiel mit einem Lei-tungsschutzschalter vom Typ B eines Bemessungsstroms von 16 A die Abschaltung des betreffenden Stromkreises nicht gewährleis-tet. In solchen Fällen habe ich schon immer darauf hingewiesen, dass in den Dimmern nennstromkleinere, superflinke Sicherungen vom Hersteller vorgesehen werden, die ins-besondere die Elektronik des Dimmers schützen. Diese Sicherung kann dann auch einen Körperschluss – auch bei reduzierter Spannung – abschalten. Ich bin mir aber nicht ganz sicher, ob alle diese Einrichtungen heutzutage noch einen solchen Schutz auf-weisen. In solchen Fällen könnte nur noch ei-ne Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) die Abschaltung des fehlerhaften Stromkreises bewirken.

In Einzelfällen könnte auch – wie bereits erwähnt – ein zusätzlicher (örtlicher) Schutz-potentialausgleich nach Abschnitt 415.2 von DIN VDE 0100:2018-10 die Überbrückung einer gefährlichen Spannung verhindern.

Werner Hörmann