

Schutz gegen elektromagnetische Störungen durch fremdspannungsarme Sternpunkterdung

Einführung

Der Einsatz nichtlinearer Verbraucher bzw. die Verwendung sehr schnell schaltender Halbleiter führt bei der fortschreitenden Vernetzung technischer Systeme mit ihren sehr kleinen Signalpegeln zu unerwünschten Beeinflussungen auf Datenleitungen, die durch die Starkstrominstallation in der bisher bekannten Form unterstützt wird. Diese Probleme waren in der Vergangenheit allenfalls in der analogen Regelungstechnik bekannt. Ausgleichsströme auf Schirmleitungen führen zu Störungen in der Datenübertragung, die Verwendung von PEN-Leitern verursacht Gebäudestreuströme, die wiederum niederfrequente magnetische Felder zur Folge haben und das Arbeiten am Bildschirm erschweren können bis hin zur Arbeitsunfähigkeit bzw. die Anwendung von z. B. Diagnosesystemen in der Medizin stark einschränken.

Im Normenwerk wurden diese Phänomene erstmals 1991 behandelt mit der Empfehlung in VDE 0100 Teil 540: Erdung, Schutzleiter, Potentialausgleichsleiter, einen "fremdspannungsarmen" Potentialausgleich in Gebäuden mit informationstechnischen Anlagen durchzuführen.

Diese Empfehlung ist zwischenzeitlich in VDE 0100 Teil 444: Schutz gegen elektromagnetische Störungen (EMI) in Anlagen von Gebäuden als Forderung aufgenommen worden in der Form, daß bei TN-Systemen die Verwendung des TN-C-Systems in Gebäuden mit umfangreichen informationstechnischen Einrichtungen nicht mehr zulässig ist.

Nachfolgend werden die einzelnen Sternpunkterdungen in Drehstromnetzen hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz in Gebäuden mit empfindlichen elektronischen Verbrauchern behandelt.

Bau und Betrieb

Referat
Netze und Systeme

Westendstraße 199
D-80686 München
Telefon (0 89) 57 91-2442
Telefax (0 89) 57 91-2412
www.tuev-sued.de
E-mail Karl-Otto.Edelmann
@tuev-sued.de

München, 2003-09-18
BB-EGN-MUC/ed
Fremdspannungsarme
Sternpunkterdung.doc

Das Dokument besteht aus:
17 Seiten

TÜV Süddeutschland
Bau und Betrieb GmbH
Aufsichtsratsvorsitzender:
Dr. Axel Stepken
Geschäftsführer:
Roland Ayx
Dr. Udo Heisel
Sitz: München
Amtsgericht München
HRB 96 869

1 Übersicht über die einzelnen Sternpunktterdungen

In Starkstromnetzen sind folgende Sternpunktterdungen üblich:

1.1 Anlagen mit Nennspannung größer 1 kV

Art der Erdung	Beschreibung	bevorzugte Anwendung
Sternpunkt isoliert	Sternpunkt ist nicht geerdet	Netze mit geringer Ausdehnung, insbesondere Industriernetze
Resonanzsternpunktterdung	Sternpunkt ist über Induktivität geerdet (Petersenspule)	Verteilungsnetze im Mittelspannungsbereich, insbesondere Freileitungsnetze
Niederohmige Sternpunktterdung	Ein Sternpunkt ist über einen festgelegten Widerstand geerdet	Verteilungsnetze im Mittelspannungsbereich mit hohem Kabelanteil
Starre Sternpunktterdung	Alle Sternpunkte sind direkt (widerstandslos) geerdet	Hochspannungsnetze
Teilstarre Sternpunktterdung	Nicht alle Sternpunkte sind direkt (widerstandslos) geerdet	Hochspannungsnetze

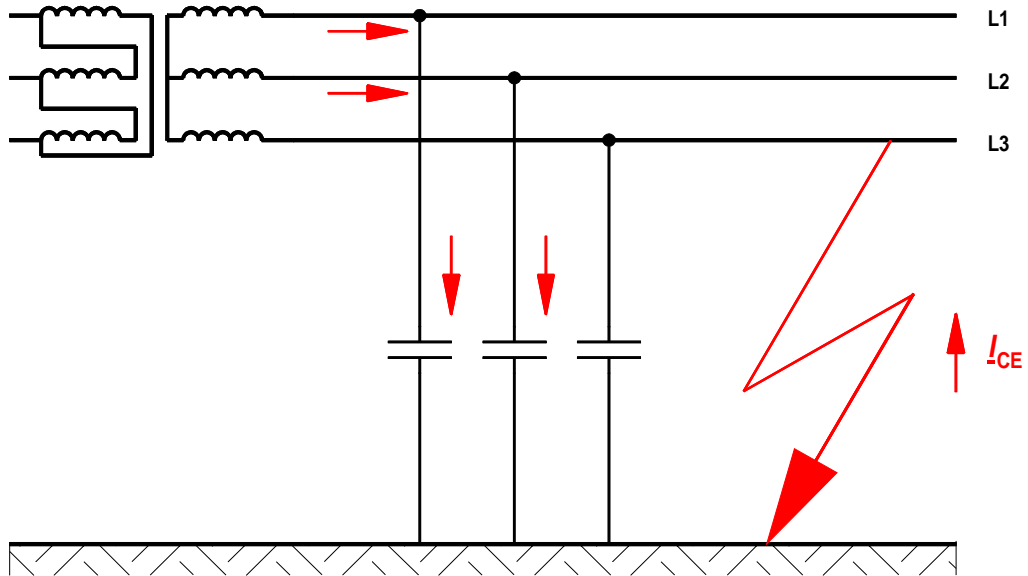
1.2 Anlagen mit Nennspannung bis 1 kV

Art der Erdung	Beschreibung	bevorzugte Anwendung
Sternpunkt isoliert	Sternpunkt ist nicht geerdet	Industriernetze für hohe Motorleistungen, OP-Räume im Krankenhaus
Niederohmige Sternpunktterdung	Sternpunkt ist über eine Drossel geerdet	Stromerzeugungsaggregate mit ungesehnter Wicklung im Parallelbetrieb zur Reduzierung von Ausgleichsströmen
Starre Sternpunktterdung	Alle Sternpunkte sind direkt geerdet	TN-Netz, TT-Netz
Zentrale Sternpunktterdung	Nur ein Sternpunkt pro galvanisch verbundenem Netz ist direkt geerdet	TN-Netz bei Schutz durch Abschaltung mit Überstromschutzeinrichtung in Gebäuden mit hohem Anteil informationstechnischer Einrichtungen

1.3 Netzschaltplan der einzelnen Sternpunktterdungen

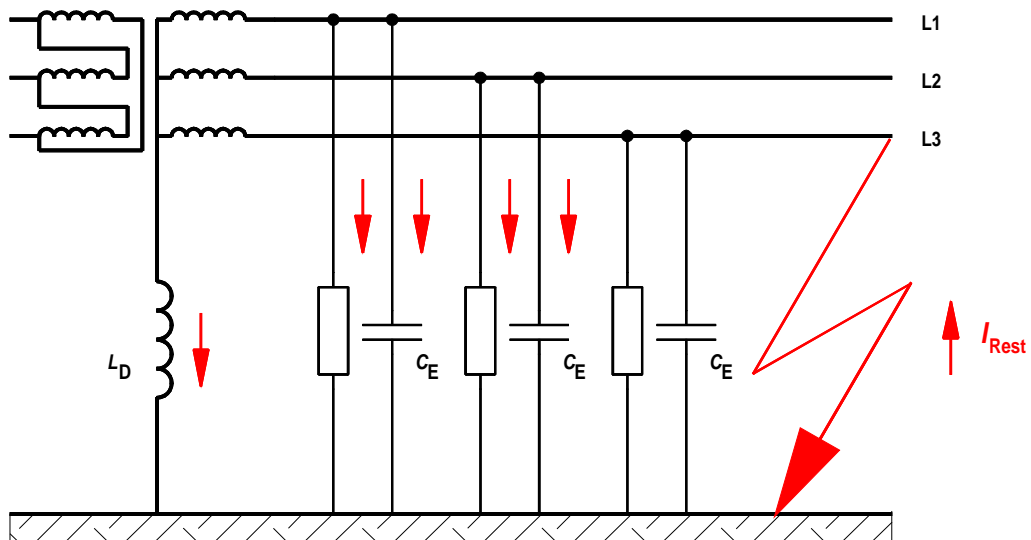
1.3.1 Anlagen mit Nennspannung größer 1kV

Sternpunkt isoliert



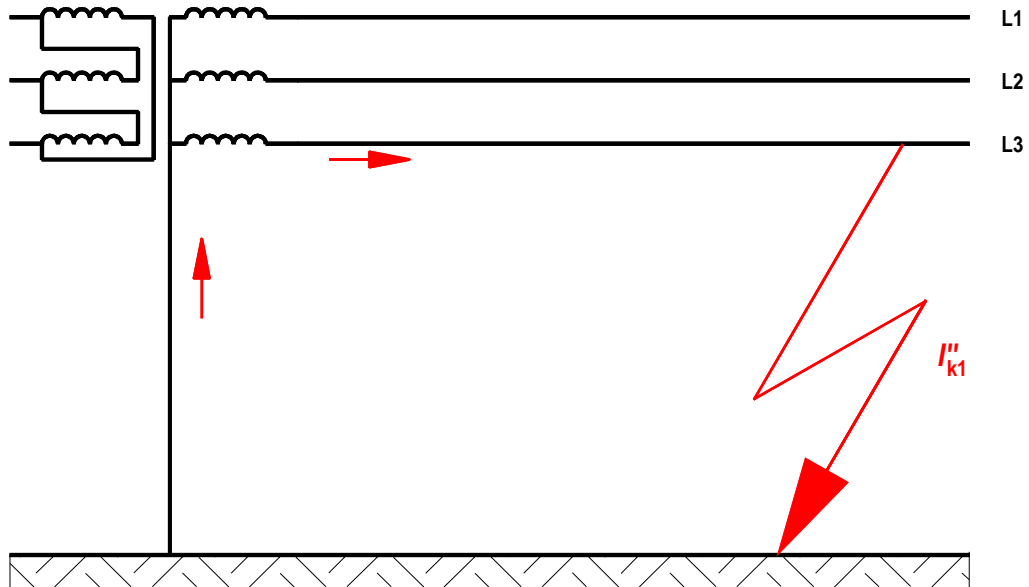
$$I_{CE} = I_{CE_L1} + I_{CE_L2}$$

Resonanzsternpunktterdung



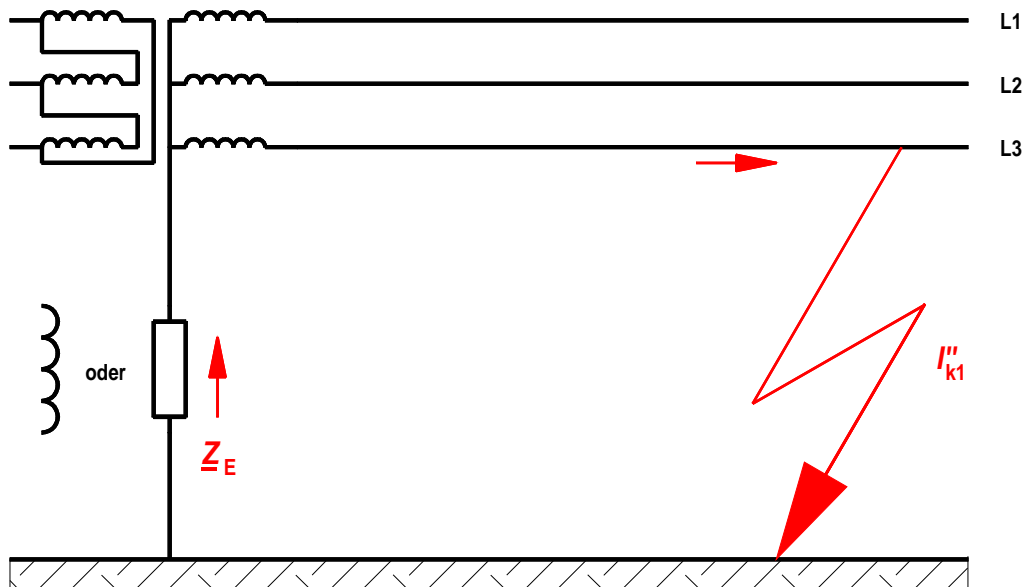
$$I_{Rest} = (I_{CE} - I_L) + I_R$$

Starre Sternpunktterdung



$$I''_{k1} = \frac{3 U_\lambda}{Z_m + Z_g + Z_0 + 3 Z_F}$$

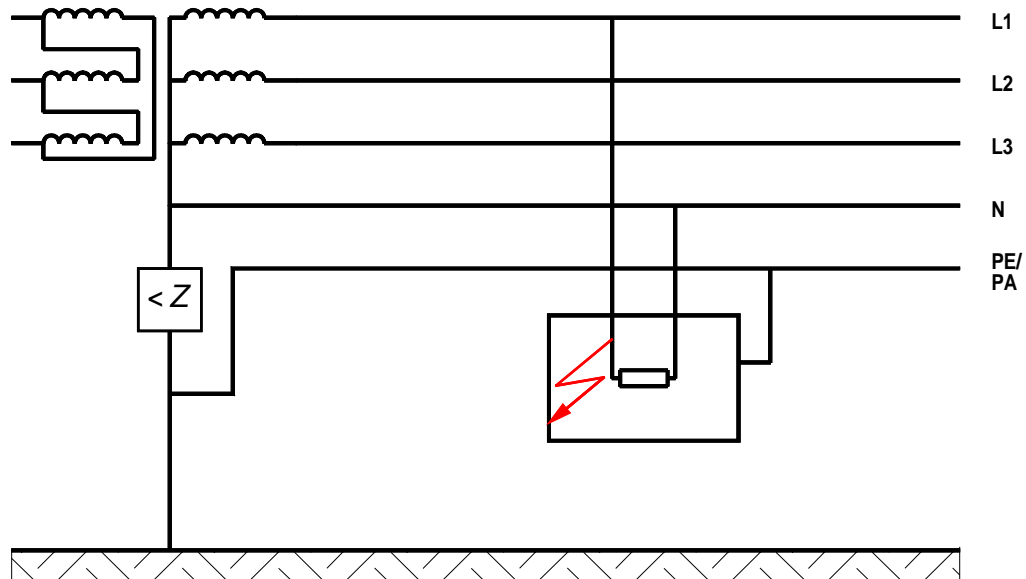
niederohmige Sternpunktterdung



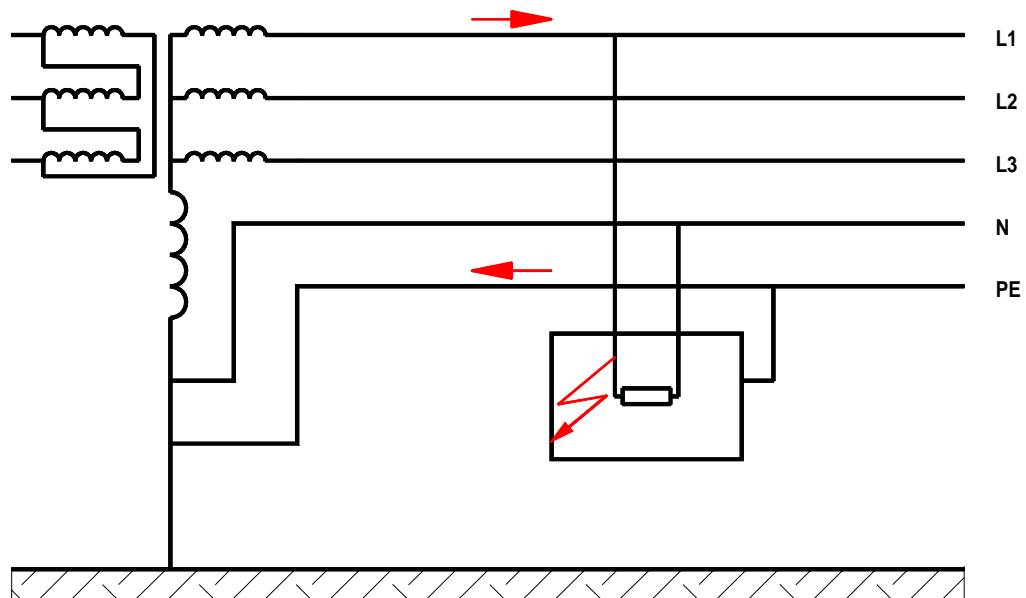
$$I''_{k1} = \frac{3 U_\lambda}{Z_m + Z_g + Z_0 + 3 Z_E}$$

1.3.2 Anlagen mit Nennspannung bis 1kV

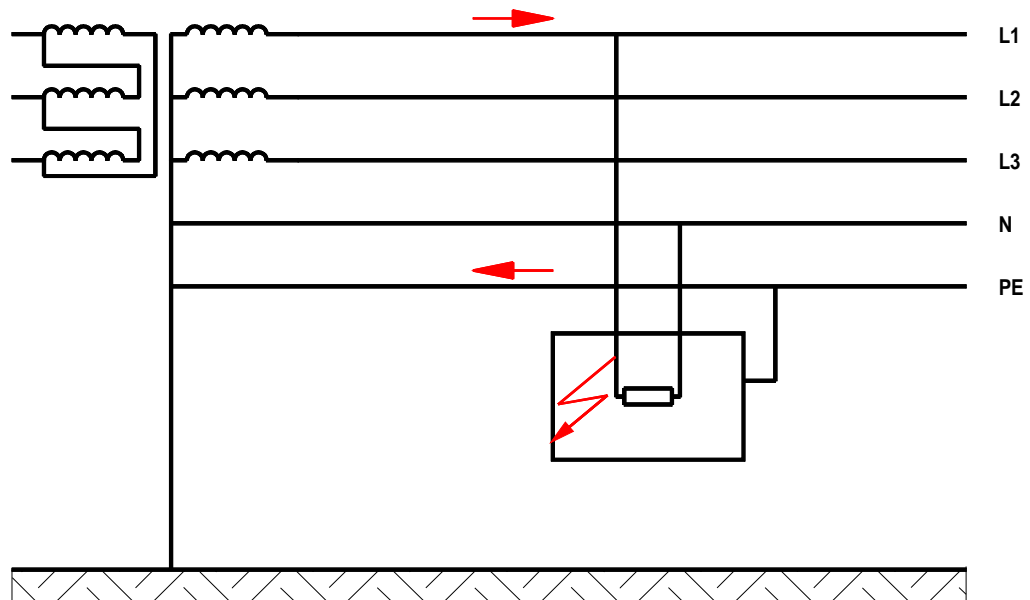
Sternpunkt isoliert, IT-System



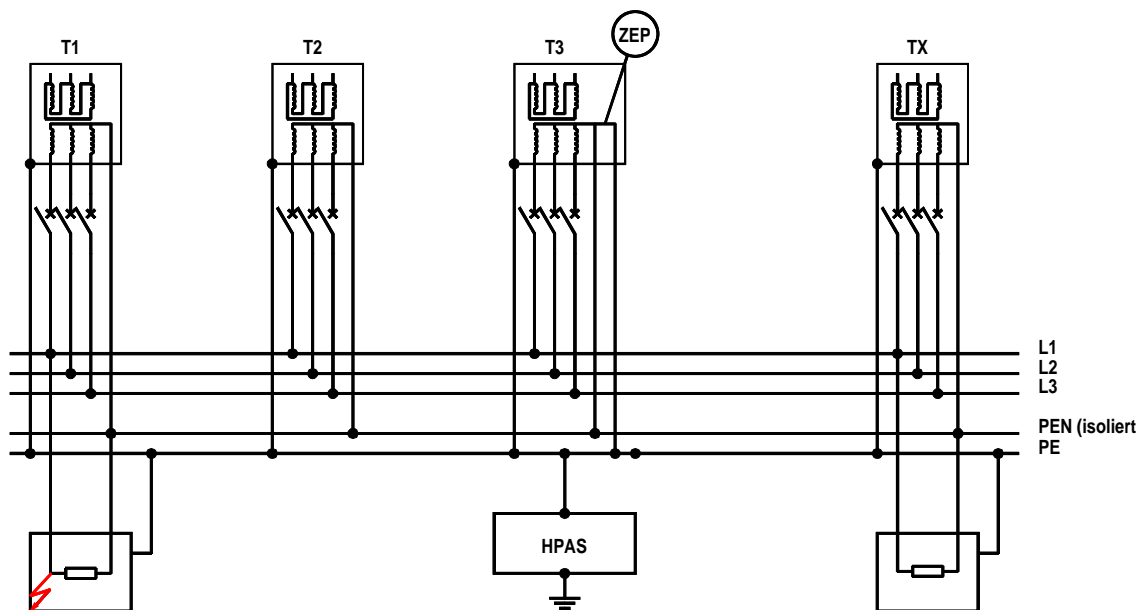
Niederohmige Sternpunktterdung im TN-System



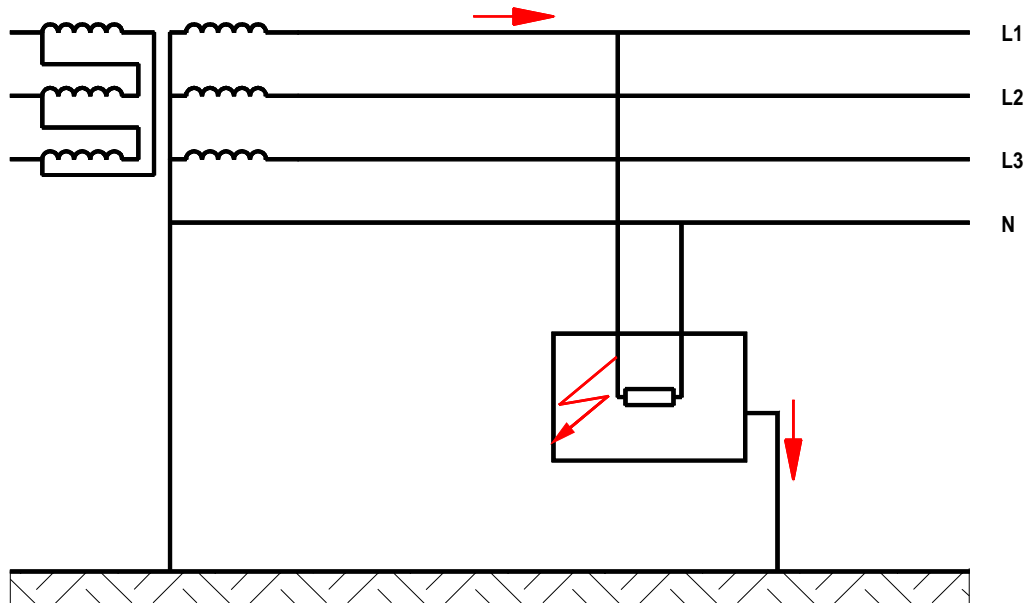
Starre Sternpunktterdung im TN-System



Zentrale Sternpunktterdung im TN-System

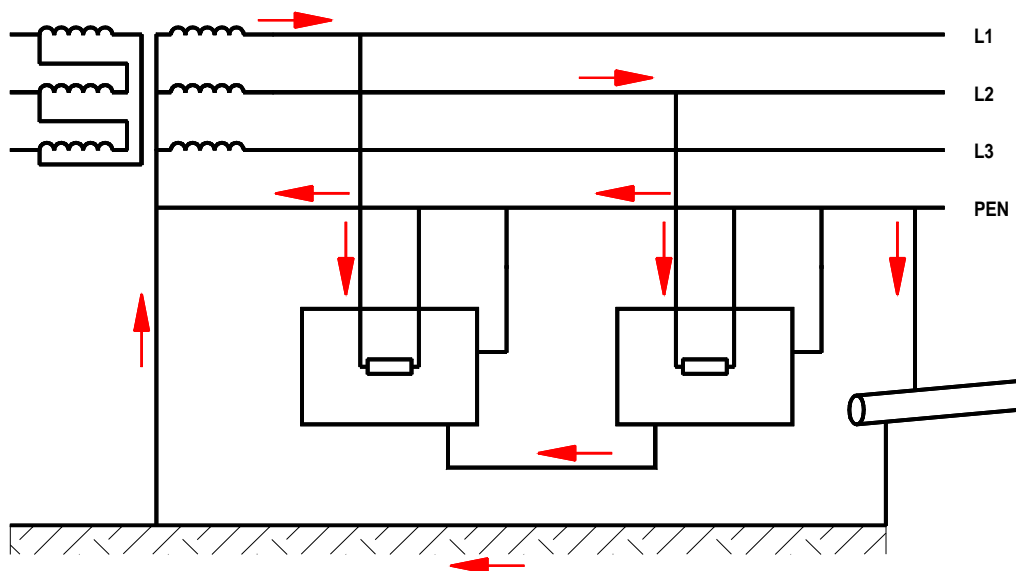


Sternpunktterdung im TT-System

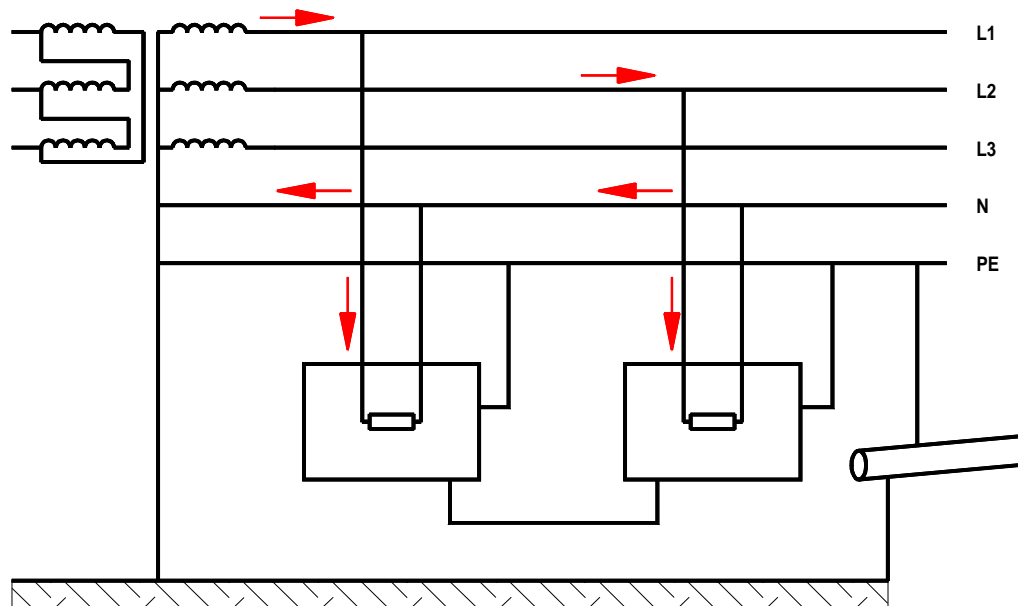


1.4 Gegenüberstellung von TN-C-System, TN-S-System, TT-System, IT-System hinsichtlich EMV-Eignung

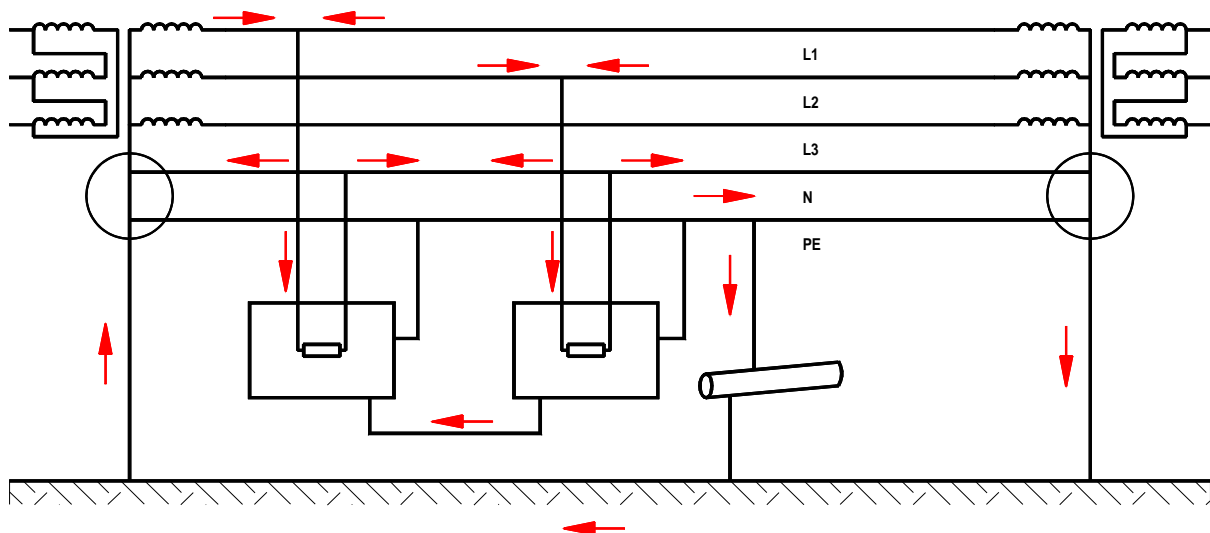
Aufteilung der Betriebsströme im TN-C-S-System



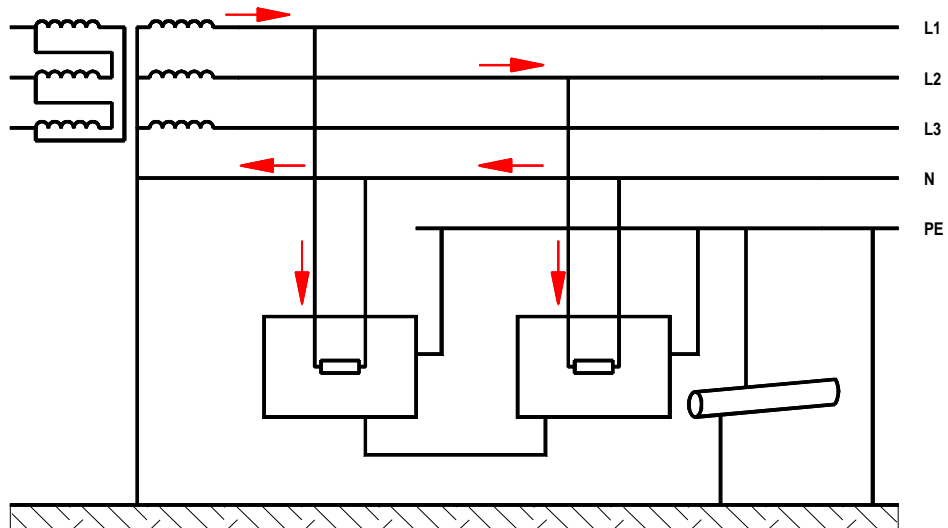
Aufteilung der Betriebsströme im TN-S-System



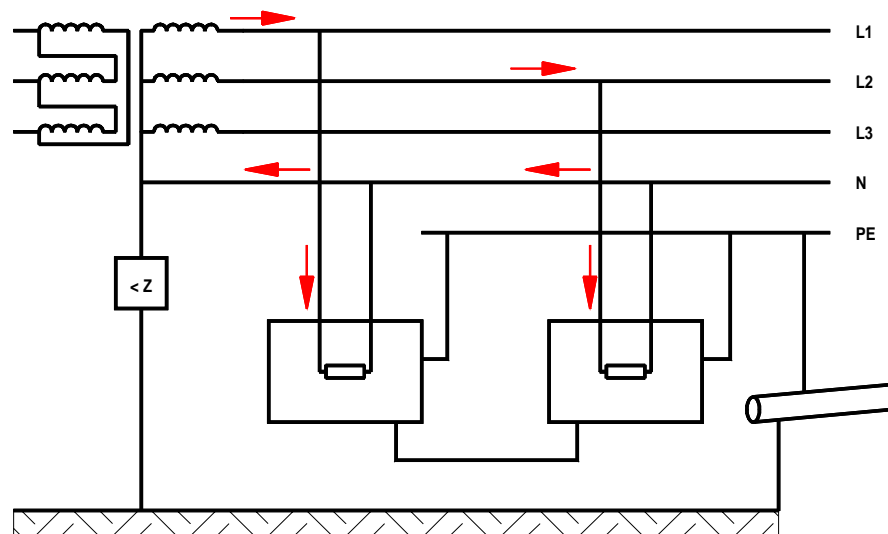
Aufteilung der Betriebsströme im TN-S-System mit mehreren Einspeisungen



Aufteilung der Betriebsströme im TT-System



Aufteilung der Betriebsströme im IT-System



1.5 Zusammenfassung der einzelnen Netzformen in Niederspannungsnetzen

Netzform	Vorteile	Nachteile	Bemerkungen
IT-System	EMV-freundlich, Erdschluß führt nicht zur Abschaltung	Spannungsanhebung des N-Leiters bei Erdschluß, Überstrom-Schutzeinrichtung für N-Leiter kann erforderlich sein, Probleme mit Abschaltung bei zweitem Erdschluß möglich	wegen der Ableitströme nur geringe Ausdehnung möglich
TT-System	EMV-freundlich, Schutzmaßnahme unabhängig von der Netz-kurzschlußleistung	wegen der Verwendung von RCD's nur für geringe Leistungen möglich, regelmäßige Funktionsprüfung erforderlich	in bebauten Gebieten schwer zu realisieren, die meisten TT-Netze sind unbewußt TN-Netze
TN-C-System	einfach zu errichten, geringer Materialaufwand	nicht EMV-freundlich, bei PEN-Leiterbruch besteht Lebensgefahr, wegen der Gebäude-streuströme entstehen niederfrequente Magnetfelder, höheres Risiko von elektrisch gezündeten Bränden möglich	zulässig für Leiterquerschnitte ab 10 mm ² Cu oder 16 mm ² Al bei fester Verlegung, nicht zulässig bei bestimmten Betriebsstätten und Anlagen besonderer Art
TN-C-S-System	preiswerter Kompromiß für Gebäude ohne IT	nicht EMV-freundlich, niederfrequente Magnetfelder möglich	
TN-S-System	EMV-freundlich	erhöhter Aufwand in der Schutztechnik bei entfernt stehenden Mehrfacheinspeisungen, Risiko der unbewußten Mehrfacherdung	alle TN-Systeme stellen in Verbindung mit selektiver Fehlerfortschaltung hohe Anforderungen an die Fachkompetenz von Planer und Errichter

Fazit:

TT-Systeme und IT-Systeme sind wegen der Trennung von N-Leiter und PE-Leiter für die Anwendung in Anlagen mit informationstechnischen Einrichtungen gut geeignet.

TN-C-Systeme und TN-C-S-Systeme sollten in Anlagen mit informationstechnischen Einrichtungen nicht eingesetzt werden. Auch reine TN-S-Systeme können durch Mehrfacherdung der Sternpunkte in ein TN-C-System überführt werden.

Nachfolgend werden die Schutzmaßnahmen im TN-System weiter untersucht.

2 Schutz durch Abschaltung im TN-System

2.1 Wesentliche Normen

Für die Festlegung der Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag und deren Umsetzung gelten im wesentlichen die nachfolgenden Normen:

1	DIN VDE 0100-410 Januar 1997	Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V Teil 4: Schutzmaßnahmen, Kapitel 41: Schutz gegen elektrischen Schlag
2	DIN VDE 0100-444 Oktober 1999	Elektrische Anlagen von Gebäuden Teil 4: Schutzmaßnahmen – Kapitel 44: Schutz bei Überspannung Hauptabschnitt 444: Schutz gegen elektromagnetische Störungen in Anlagen von Gebäuden
3	DIN VDE 0100-460 August 2002	Errichten von Niederspannungsanlagen Teil 4: Schutzmaßnahmen, Kapitel 46: Trennen und Schalten
4	DIN VDE 0100-470 Februar 1996	Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V Teil 4: Schutzmaßnahmen, Kapitel 47: Anwendung der Schutzmaßnahmen
5	VDE 0102 Juli 2002	Kurzschlußströme in Drehstromnetzen

2.2 Allgemeine Anforderungen

Elektrische Anlagen mit Nennspannung größer 50 VAC (in Sonderfällen 25 VAC) müssen mit Schutzeinrichtungen versehen werden, die bei Versagen der Isolierung aktiver Anlagenteile das Auftreten oder das Bestehenbleiben gefährlicher Berührungsspannungen verhindern. Hierzu ist eine Koordinierung der Sternpunktterdung, der Anlagenschutzleiter und der Schutzgeräte erforderlich.

Starkstromnetze in Industrie, Gewerbe und Gebäuden besonderer Art oder Nutzung (z. B. Krankenhäuser) werden im Allgemeinen als TN-Netz ausgeführt. Das Kennzeichen eines TN-Netzes ist die Verbindung der Körper der elektrischen Betriebsmittel mit dem Sternpunkt der Spannungsquelle. Bei Auftreten eines Körperschlusses fließt bei korrekter Auslegung des Netzes ein hoher 1poliger Kurzschlußstrom, der die vorgeschaltete Schutzeinrichtung (Leitungsschutzsicherung, Leistungsschalter etc.) zum Auslösen bringt. Abhängig von Spannungshöhe und Art des Stromkreises sind maximale Abschaltzeiten zulässig. Für die Wirksamkeit dieser Schutzmaßnahme ist die Erdung des Sternpunktes der Spannungsquelle unerheblich. Um im Fehlerfall keine unzulässig hohen Spannungen an fremden leitfähigen Teilen abzugreifen, fordert die Errichtungsbestimmung VDE 0100 Teil 410 sowohl die Durchführung eines Hauptpotentialausgleichs als auch die Verbindung des Sternpunktes der Spannungsquelle mit dem Anlagenerder.

Im TN-Netz kann das Entstehen von gefährlichen Berührungsspannungen nicht verhindert werden. Das Schutzziel besteht vielmehr darin, die Einwirkdauer gefährlicher Berührungsspannungen so kurz wie möglich zu halten.

2.3 Koordination von Schutzmaßnahmen und EMV durch ZEP

Das Problem, das bei Anwendung des TN-C-Systems und des TN-C-S-Systems auftritt, sind Gebäudeströme, die vom Verbraucher nicht über den PEN-Leiter zur Spannungsquelle zurückfließen, sondern, je nach Impedanzverhältnis, auch über leitfähige Gebäudeteile, z. B. Wasserleitungen, Bewehrungsstähle etc. Es entstehen dadurch unerwünschte elektromagnetische Beeinflussungen, hervorgerufen einerseits durch die Gebäudeströme und andererseits durch den fehlenden Summenstrom im jeweiligen Kabel.

Dieser Effekt läßt sich erheblich reduzieren durch die konsequente Anwendung des TN-S-Systems, beginnend ab der Spannungsquelle. Bei Spannungsquellen, die räumlich weit auseinander stehen, z. B. Transformatorstation und Notstromaggregat, führt die Erdung des Sternpunktes jeder Spannungsquelle in Verbindung mit Potentialdifferenzen der jeweiligen Sternpunkte wiederum zu Ausgleichströmen über fremde leitfähige Teile. Um diese unerwünschten Effekte zu vermeiden, dürfen solche Anlagenkonfigurationen nie parallel betrieben werden und die Spannungsquellen müssen 4polig geschaltet werden.

Liegen Forderungen nach dem Parallelbetrieb mehrerer Spannungsquellen vor und sollen Gebäudeströme so weit wie möglich reduziert werden, so bietet sich als technische Lösung die Anwendung des zentralen Erdungspunktes (ZEP) an. Hierbei werden pro galvanisch verbundenem Netz die Sternpunkte aller Spannungsquellen nur an einer einzigen Stelle mit dem Anlagenschutzleiter/Anlagenerder verbunden. Dadurch können sich trotz Potentialdifferenzen der Sternpunkte keine Gebäudeströme mehr ausbilden. Diese technische Ausführung, die in VDE 0100 Teil 444 empfohlen wird, zeigt Konflikte mit Forderungen anderer Normen auf.

Für die Ausführung der Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag gelten die Forderungen nach VDE 0100 Teil 410. Gemäß Ziffer 413.1.3.1 müssen "alle Körper der Anlage ...mit dem geerdeten Punkt des speisenden Netzes, der am oder in der Nähe des zugehörigen Transformators oder Generators geerdet sein muß, durch Schutzleiter verbunden sein."

Aus dieser Formulierung ist nicht abzuleiten, daß jeder Sternpunkt einer jeden Spannungsquelle in deren unmittelbaren Nähe mit dem Anlagenerder zu verbinden ist. Wie bereits in Abschnitt 2.2 ausgeführt, ist zur Einhaltung des Schutzes durch Abschaltung mit Überstromschutzeinrichtung die Erdung des Sternpunktes der Spannungsquelle nicht relevant. Wesentlich wichtiger ist die Abstimmung von Spannungsquelle, Übertragungsnetz und Schutzeinrichtung untereinander in der Art, daß bei einem Körperschluß an beliebiger Stelle des Netzes zumindest derjenige Fehlerstrom zum Fließen kommt, der die vorgesehene Schutzeinrichtung in der maximal zulässigen Abschaltzeit auslöst. In Verbindung mit dem Hauptpotentialausgleich wird dadurch das Schutzziel, das Bestehenbleiben gefährlicher Berührungsspannungen, eingehalten. Falls es zu einer Unterbrechung der zentralen Sternpunktverbindung kommen sollte, so geht das TN-Netz über in ein IT-Netz ohne Isolationsüberwachung.

Es ist somit nicht zwingend erforderlich, jeden Sternpunkt jeder Spannungsquelle in deren unmittelbaren Nähe mit dem Anlagenerder zu verbinden. Die Anwendung des ZEP widerspricht nicht den Forderungen aus VDE 0100 Teil 410.

2.4 Anforderungen an Schaltanlagen und Schaltgeräte

Bei der technischen Umsetzung eines ZEP sind einige Anforderungen zu beachten:

- Entgegen den Ausnahmen nach VDE 0100 Teil 540 und VDE 0660 Teil 500 müssen PEN-Leiter in ihrem gesamten Verlauf (also auch innerhalb von Schaltanlagen und Verteilungen) isoliert werden. Als PEN-Leiter gilt die Leiterverbindung ab dem Transformatorsternpunkt (Generatorsternpunkt) bis zur zentralen Verbindung mit dem Anlagenschutzleiter.

- Die zentrale Verbindung zwischen PEN-Leiter und Anlagenschutzleiter ist thermisch kurzschlußfest auszuführen. Die ausreichende thermische Kurzschlußfestigkeit kann nach VDE 0100 Teil 540 oder nach VDE 0103 rechnerisch ermittelt werden.
- Diese zentrale Verbindung ist besonders zu kennzeichnen. Es ist darauf hinzuweisen, daß bei Öffnen dieser Verbindung die Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag nicht mehr gewährleistet sind.
- PEN-Leiter dürfen nicht geschaltet werden (VDE 0100 Teil 460). D. h., alle Schalter, die bei einem Körperschluß vom Fehlerstrom durchflossen werden, müssen als 3polige Schalter ausgeführt werden. Im Allgemeinen sind dies die Transformator(Generator)-Einspeiseschalter und die Kuppelschalter.
- Bei der Ermittlung der 1poligen Kurzschlußströme ist die zusätzliche Impedanz zu beachten, die sich ergibt aus der elektrischen Entfernung zwischen dem ZEP und den jeweiligen Einspeisungen.

3 Berechnung des Kurzschlußstromes bei Körperschluß

Die Abschaltströme I_a zur Einhaltung der Schutzmaßnahmen sind abhängig von der zulässigen Fehlerzeit (0,4 s, 0,2 s, 0,1 s) und von der verwendeten Schutzeinrichtung. Bei Leitungsschutzsicherungen sind die Strom-Zeit-Kennlinien gemäß VDE 0636 anzuwenden. Zur Ermittlung des erforderlichen Abschaltstromes bei vorgegebener Zeit gilt die obere Kennlinie des Streubandes (Ausschaltzeit). Bei Einsatz von Leistungsschaltern nach VDE 0660 Teil 100 ist zu beachten, daß Kurzschlußauslöser sowohl im Auslösestrom als auch in der Auslösezeit einen Toleranzbereich von $\pm 20\%$ haben dürfen.

Abhängig von der Art der Sternpunktterdung ergeben sich unterschiedliche 1polige Kurzschlußströme I_{k1}'' . Es gilt:

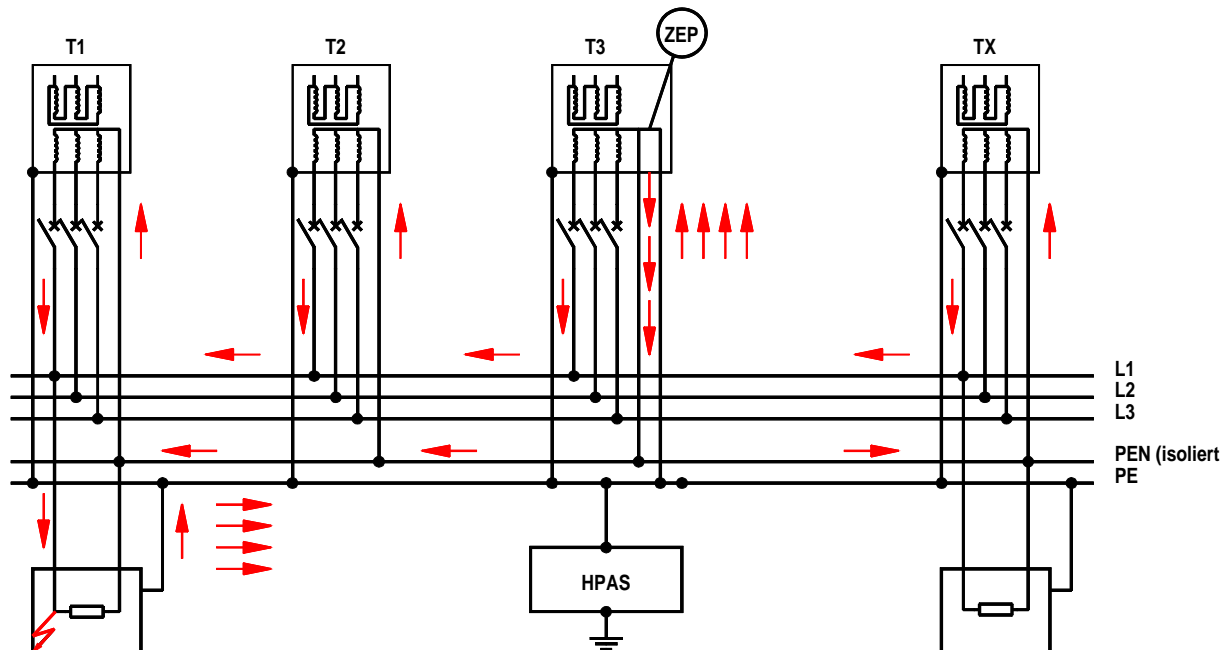
$$I_a \leq I_{k1}''$$

TN-System	$I_a \leq I_{k1}'' = \frac{c \sqrt{3} U_n}{2 Z_1 + Z_0}$ oder vereinfacht mit dem Schleifenwiderstand $I_{k1}'' = \frac{c U_n}{\sqrt{3} Z_s}$	Z_1 : Impedanz im Mitsystem Z_0 : Impedanz im Nullsystem Z_s : Impedanz von Hinleiter und Rückleiter
TT-System	I_a : Nennstrom der RCD	
IT-System	$I_a \leq I_{kEE}''$	Es wird vereinfacht angenommen, daß der erste Körperschluß in unmittelbarer Nähe der Stromquelle auftritt. Somit ergeben sich Berechnungsmethoden wie im TN-Netz

Bei Anwendung des ZEP ergeben sich abhängig von der Fehlerstelle zum ZEP unterschiedliche Fehlerschleifen. Es sind derzeit noch keine Berechnungsprogramme verfügbar, die diese Besonderheit berücksichtigen. Die Berechnung der 1poligen Kurzschlußströme müssen deshalb manuell durchgeführt werden oder es müssen Vereinfachungen angesetzt werden.

Es wird eindringlich empfohlen, nach Fertigstellung einer elektrischen Anlage mit ZEP die 1poligen Kurzschlußströme im Hauptleitungsnetz meßtechnisch zu überprüfen.

Nachfolgend der Verlauf der Fehlerströme in einem TN-System mit ZEP.



Es ist leicht ersichtlich, daß es bei der angenommenen Fehlerstelle für Transformator TX nahezu unerheblich ist, wo sich der ZEP befindet. Für Transformator T1 stellt diese Fehlerstelle den ungünstigsten Fall dar.

Bei Schaltanlagen, die in einem Gebäude weit verteilt sind und die leistungsstarke Abgänge speisen, kommt man sehr schnell an die maximal mögliche Leitungslänge, bei der der Schutz durch Abschaltung noch möglich ist. Nachfolgend eine Übersicht über maximal mögliche Leitungslängen für verschiedene Sicherungsnennströme. Es werden 4 Transformatoren parallel betrieben, die in einem Gebäude an unterschiedlichen Stellen aufgestellt sind und über Stromschielen verbunden sind. Der elektrische Abstand der Transformatoren beträgt jeweils 100 m.

Sicherung gL/gG	Leitung	ZEP, $t_k \leq 5$ s	U_{Rest} in V	PEN, $t_k \leq 5$ s	U_{Rest} in V
100 A	NYCWY 4 x 50/25	278 m	214	282 m	217
250 A	NYCWY 4 x 150/70	259 m	204	269 m	213
500 A	NYCWY 2 x 4 x 150/70	215 m	186	237 m	205
630 A	NYCWY 2 x 4 x 185/95	181 m	171	209 m	197

ZEP: eine zentrale PEN-Verbindung

PEN: PEN-Verbindung an jedem Transformator

U_{Rest} : Restspannung an der Verknüpfungsstelle

4 Koordination von Schutzmaßnahme, EMV und Selektivität

Besteht die Forderung nach einer selektiven Fehlerfortschaltung und einer schnellen Spannungswiederkehr, so können Fehlerzeiten bis zu 5 Sekunden nicht akzeptiert werden. Restspannungen von 170 V wie im vorigen Beispiel führen zum Ausfall anderer Verbraucher und somit zu Betriebsunterbrechungen. Da die Ausschaltzeit von Leitungsschutzsicherungen abhängig ist vom Kurzschlußstrom, besteht zur Verkürzung der Ausschaltzeit nur die Möglichkeit, den Kurzschlußstrom wesentlich zu erhöhen. Um gleichzeitig noch selektiv zu den Einspeiseschaltern zu sein, sollten die Abschaltzeiten 300 ms nicht überschreiten. Mit der vorgegebenen Abschaltzeit der Einspeiseschalter von 400 ms ergibt sich dann ein Sicherheitsabstand von 100 ms. Nachfolgend die Übersicht der Leitungslängen bei Fehlerzeiten bis 300 ms.

Sicherung gL/gG	Leitung	ZEP, $t_k \leq 300$ ms	U_{Rest} in V	PEN, $t_k \leq 300$ ms	U_{Rest} in V
100 A	NYCWY 4 x 50/25	130 m	202	138 m	214
250 A	NYCWY 4 x 150/70	98 m	159	124 m	200
500 A	NYCWY 2 x 4 x 150/70	43 m	76	99 m	175
630 A	NYCWY 2 x 4 x 185/95	. / .	. / .	78 m	150

Man erkennt, daß bei größeren Sicherungsabgängen keine selektive Abschaltung in Verbindung mit ZEP möglich ist bzw. nur sehr kurze Leitungslängen möglich sind. Durch folgende Maßnahmen sind größere Leitungslängen möglich:

- Erhöhung der Querschnitte der Abgangskabel oder
- Einbau von zeitselektiven Leistungsschaltern bei den Abgängen

Beide Maßnahmen sind technisch und/oder ökonomisch aufwendig. Als möglicher Kompromiß bietet sich die Anwendung der kurzzeitig niederohmigen Sternpunkterdung (KNOSPE) an. Diese Technik ist in Mittelspannungsnetzen, insbesondere in Ostdeutschland, weit verbreitet. Hierbei sind die Sternpunkte der Spannungsquellen isoliert bzw. hochohmig geerdet. Bei Erkennen eines Erdschlusses werden die Sternpunkte starr mit der Erdungsanlage verbunden. Der sich nun ergebende 1pol Kurzschlußstrom wird durch den Überstrom-Zeit-Schutz erkannt und selektiv fortgeschaltet. Anschließend werden die Erdungsschalter wieder geöffnet und die Netzform ZEP hergestellt.

Folgende Maßnahmen sind hierfür erforderlich:

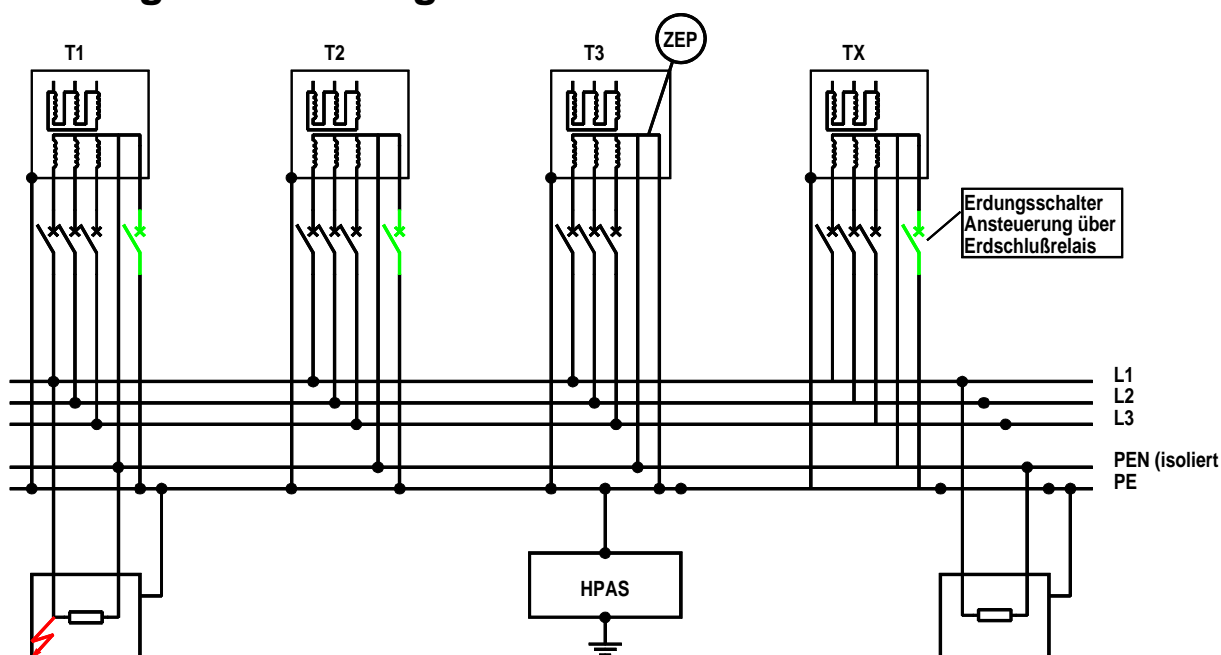
Alle Transformatorstationen erhalten zwischen Transformatorsternpunkt und Schutzleiterschienen Erdungsschalter, die betriebsmäßig offen sind. Ausgenommen hiervon ist die Station mit dem Zentralen Erdungspunkt ZEP. Bei Auftreten eines Erdschlusses, der durch die Erdschlußfunktion des Schutzrelais' im jeweiligen Transformatorschalter erkannt wird, wird dieser Erdungsschalter geschlossen und das Netz dadurch kurzzeitig in ein TN-C-System überführt. Der sich nun ergebende hohe 1pol. Kurzschlußstrom löst die Abgangssicherung in weniger als 300 ms aus. Nach dem Fortschalten des Erdschlusses werden die jeweiligen Erdungsschalter geöffnet und das Netz wieder in ein TN-S-System überführt.

Diese Schutzmaßnahme ist im VDE-Regelwerk nicht beschrieben. Es sind besondere Überlegungen für ihre Zulässigkeit anzustellen. Sofern

- die maximal zulässigen Abschaltzeiten gemäß VDE 0100 Teil 410 (5 s) auch ohne diese Schaltung eingehalten werden und
- die eingesetzten Leistungsschalter gemäß VDE 0100 Teil 410 als Schutzeinrichtung anerkannt sind,

ist unseres Erachtens diese Schaltung eine zulässige Variante der Schutzmaßnahme "Schutz durch Abschaltung mit Überstromschutzeinrichtungen" und kann bei Beachtung der üblichen Randbedingungen des TN-Netzes uneingeschränkt eingesetzt werden.

5 Ausgeführte Anlage



Funktion:

Im fehlerfreien Betrieb sind die Erdungsschalter (grün) geöffnet. Die "Betriebserdung" erfolgt bei T3 (ZEP). Jeder Schalter ist mit einem Schutzrelais mit Erdschlusserkennung ausgestattet. Der Anregestrom dieser Relais liegt bei einigen 100 A, d. h., ausreichend niedrig um auch kleine 1polige Kurzschlußströme zu erkennen. Im Falle eines Körperschlusses werden die Erdungsschalter angesteuert und schließen die Verbindung zwischen Sternpunkt und Schutzleiter am betreffenden Transformator. Der sich nun einstellende hohe 1polige Kurzschlußstrom löst die betreffende Abgangsschutzeinrichtung in der vorgegebenen Zeit aus. Die Erdungsschalter werden anschließend wieder geöffnet. Falls der Fehler nicht in der vorgegebenen Zeit durch die Abgangsschutzeinrichtung geklärt ist, lösen die Transformatorschalter über die Erdschlußschutzeinrichtung aus.

6 Grenzen des TN-S-Systems hinsichtlich EMV

Die Anwendung des ZEP löst nicht alle Probleme, die sich durch die Anwendung nichtlinearer Verbraucher bzw. die Verwendung sehr schnell schaltender Halbleiter (IGBT's) ergibt. Rückwirkungen infolge Oberschwingungsströme führen zu Spannungsverzerrungen, die durch die Netzform nicht beeinflussbar sind. Hohe Spannungssteilheiten bei IGBT's in Verbindung mit parasitären Kapazitäten führen zu eingepprägten Strömen, die sich auch in "echten" TN-S-Systemen andere Verbraucher beeinflussen. Hier sind Einzelmaßnahmen an der jeweiligen Störungsquelle erforderlich, z. B. Einbau von Trenntransformatoren oder aktiven Oberschwingungsfiltren.

7 Zusammenfassung

Die Anforderungen an eine möglichst störungsarme Stromversorgung erfordern ein Umdenken auch bei den Netzformen. Die derzeit noch zulässigen Systeme TN-C und TN-C-S stellen ein Störungspotential dar, das nicht mehr akzeptabel ist. Es gibt vielschichtige Lösungsmöglichkeiten sowohl bei den Netzsystemen (TT, IT) als auch auf der Verbraucherseite (Schutzisolierung, Schutztrennung). Letztendlich durchsetzen, weil bewährt und problemlos durchführbar, wird sich das "echte" TN-S-System, d.h. der zentrale Erdungspunkt ZEP.