

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

1 PROBLEMATIK DER VAGABUNDIERENDEN STRÖME.....

2 ÜBER DIE ELEKTRISCHE ENERGIE.....

3 MAGNETISCHE UND ELEKTRISCHE FELDSTÄRKEN.....

Das magnetische Feld

Das elektromagnetische Feld eines Stromes

Die magnetische Feldstärke H

Beispiel:

Die elektrische Feldstärke E

Bezeichnung der verschiedenen Frequenzbereiche

4 **ENERGIEERZEUGUNG**

Energieerzeugung durch Induktion

Wechselstromgenerator

Drehstromgenerator / Energiemix

Störungen in der Energieerzeugung und Weiterleitung

Hochspannungsnetze

Niederspannungsnetze

Energieumwandlung durch Transformatoren

Bezugssystem Erde

Energieversorger

5 **BELASTUNGSARTEN**

Ohmsche Verbraucher

Induktive Verbraucher

Kapazitive Verbraucher

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

nicht lineare Verbraucher

Einweggleichrichtung	
Zweiweggleichrichtung mit Kondensator.....	
Schnelle Leistungselektronik.....	

Messung von Oberschwingungen

6 ENERGIEVERTEILUNG

Leitungsschutz durch Abschaltung

Der „vergessene“ Leiter N

Forderung aus EMV-Sicht

Hochspannungseinspeisung

Niederspannungseinspeisung

Netzsysteme nach VDE 0100

Stromquelle

Verbraucher

TN-System (Terra Neutral)

TN-S-System (In einer elektrischen Anlage durchgängiges Fünfleitersystem)	
TN-C-System (Vierleitersystem mit z.T. reduziertem PEN)	
TN-C-S-System (Vier- und Fünfleitersystem gemixt).....	

TT-System (Terra Terra)

IT-System

Übersicht aller Netzsysteme und die möglichen Kombinationen nach VDE 0100 Teil 410 1997-01

Praxiserfahrungen mit Netzsystemen

Kabel- und Stromschienensysteme

Netzsymmetrie und Schiefast

7 AUFRÄUMEN VON NETZEN

Hausanschlußkasten bis zur Niederspannungshauptverteilung.

Im TN-System.....	
-------------------	--

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Im TT-System

Einspeisung durch kundeneigene Transformatoren und Netzersatzanlagen.

8 FEHLERSUCHE DURCH ÜBERLAGERTES STROMMESSVERFAHREN

Verfolgung von Stromwegen

Messung des Erdübergangswiderstandes

Durchgängigkeit einer Schutzleiterverbindung

Belastungsprüfung von Kontakten und Verbindungsleitungen

Belastungsprüfung an Datenverbindungsleitungen

Verhalten der Prüfeinrichtung im Fehlerfall

9 FI Prüfung und Analyse Theoretische Grundlagen des FI Betriebs

10 BEZUGSQUELLEN FÜR MESSGERÄTE UND KOMPONENTEN

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

PROBLEMATIK DER VAGABUNDIERENDEN STRÖME

Trotz aller Bemühungen um die Verbesserung der Produktqualität und der Arbeitsabläufe treten seit mehreren Jahren zunehmend Störungen und Schäden an installierten elektrischen und elektronischen Geräten auf:

- Computer steigen aus oder hängen sich auf;
- Die Performance nimmt ab
- Festplatten produzieren Schreib- oder Lesefehler
- Bildschirme flackern

Neue LAN-Netze, die sorgfältig geplant, installiert und auch abgenommen sind, zeigen Leitungs- und Übertragungsfehler. Schon bei geringsten Unterbrechungen der elektrischen Stromversorgung oder weit entfernten Blitzeinschlägen kommt es zu Zerstörungen von Datenübertragungsschnittstellen.

Häufig stellt sich heraus, dass auch der Austausch von Geräten die auftretenden Störungen nicht beseitigt. In anderer Betriebsumgebung zeigen die Geräte ein einwandfreies Betriebsverhalten, produzieren nach dem Wiedereinbau aber erneut Störungen, deren Ursache nicht erkennbar ist.

Oft finden sich außerdem Schäden an den elektrischen Versorgungseinrichtungen wie

- Schäden an Kompensationsanlagen
- Überhitzen und Abbrennen von Mittelpunktsleitern
- Sternpunktverschiebungen
- Abbrennen kleiner Netzteile trotz vorhandener Überspannungsschutzeinrichtung
- Ausfall von EDV-Schnittstellen nach Stromunterbrechungen
- Korrosionsschäden an Rohrleitungen
- Korrosion an Erden und Blitzschutzeinrichtungen.

Die Folgen der undefinierten Störungen sind weitreichend: Die Mitarbeiter werden von Betriebsstörungen und flimmernden Bildschirmen belastet; die Frage der Reparatur- bzw. Wartungskosten steht im Raum, im Rahmen von Mietverhältnissen über Geschäftsräume entstehen Streitigkeiten über die Frage der Haftung für die Qualität der elektrischen Installationen, Versicherungsfragen, Gewährleistungsansprüche gegenüber Lieferanten, Planern und Errichtern sind zu klären – und die Ursache der bestehenden Probleme ist nicht festzustellen.

Häufig wird versucht, durch nachträgliche Einrichtung von unterbrechungsfreien Stromversorgungsanlagen (USV), Überspannungsschutzeinrichtungen, Netzfiltern

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

und elektrischen Sonderstromkreisen, Nachrüstung von Klimaanlage und Luftbefeuchtern, die Verwendung von Antistatikmatten und/oder Antistatikspray etc. die auftretenden Störungen zu eliminieren – in der Regel ohne nennenswerten Erfolg.

Die Ursache für die geschilderten Probleme liegt in der historischen Entwicklung der Elektroinstallationstechnik und der unzureichenden Anpassung an moderne Versorgungserfordernisse.

Die anerkannten Regeln der Elektroinstallationstechnik (z.B. VDE 0100) lassen es zu, dass innerhalb eines Stromversorgungsnetzes der Rückleiter N und der Schutzleiter PE in einem gemeinsamen PEN-Leiter geführt werden. Das war in der Vergangenheit nicht kritisch: in einem Dreiphasen-Netz mit rein sinusförmigem Strom kompensieren sich die Teilströme zu null, sodass der Rückleiter N im Regelfall nicht belastet ist.

Heutigen Versorgungsanforderungen wird diese Netzstruktur nicht mehr gerecht. Mit der Entwicklung der Elektronik sind neue Schalt- und Steuerungstechniken entstanden: Verlustarme Schaltnetzteile und Regelungseinrichtungen beeinflussen den aufgenommenen Strom, verändern Form und Frequenz. Diese Veränderungen haben zur Folge, dass sich die Teilströme nicht mehr kompensieren; der Rückleiter ist nicht mehr stromfrei, sondern wird in erheblichem Umfang mit Betriebsströmen belastet. Die Vernetzung moderner EDV-Anlagen und die Verbindung zwischen N und PE führen dazu, dass auf diesem Wege „vagabundierende“ Betriebsströme über das PE-System, die Datenleitungen und alle metallenen Gebäudeteile verteilt werden. Weil diese Ströme nicht ausgeglichen sind, generieren sie elektromagnetische Felder, verursachen induktive Einflüsse und beschleunigen Korrosionsvorgänge – vielfältige Störungen in der elektrischen Anlage, in EDV-Netzen und –Anlagen und in Rohrsystemen der Gebäudeinstallation sind die Folgen.

Kernproblem ist das physikalische Prinzip des geschlossenen elektrischen Stromkreises – in zweierlei Hinsicht: Hin- und Rückleiterströme gleichen sich aus, wenn sie gemeinsam definiert geführt werden und die beiderseitigen elektromagnetischen Felder sich kompensieren können. Bei Verwendung eines PEN-Leiters bietet das Versorgungssystem keine definierte Rückleitung an, sondern auch die Rückführung über das PE-System. In diesem Fall sucht sich der Strom seinen Rückweg zur speisenden Quelle selbst je nach Materialqualität und Leitungswiderstand und vagabundiert über die gesamten metallischen Gebäudeinstallationen.

Bei der Planung und Errichtung elektrischer Versorgungseinrichtungen wird die notwendige Anpassung an heutige Versorgungserfordernisse häufig nicht bedacht; Strom kommt ja aus der Steckdose. In meiner langjährigen Tätigkeit als Sachverständiger habe ich immer wieder die Erfahrung machen müssen, dass letztendlich falsch aufgelegte Erdungsleitungen und die gemeinsame Führung vom Arbeitsstrom und Schutzleiterfunktion Ursache der überwiegenden Anzahl von

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Störungen und Zerstörungen an modernen und komplexen elektronischen Einrichtungen sind.

Der Bauunternehmer bekommt den Auftrag für eine Erdungsanlage zu sorgen, die später für den Potentialausgleich und den äußeren Blitzschutz genutzt werden soll. Die elektrotechnische Bedeutung dieser Maßnahme ist ihm nicht geläufig; er hält seinen Auftrag für erfüllt, wenn genügend Eisen in den Beton eingegossen und an einigen Stellen herausgeführt ist.

Der Planer der Haustechnik bezieht sich auf die VDE Bestimmungen aus Januar 1997, die den PEN zulassen. Folglich wird erst ab der Hauptverteilung oder in vielen Fällen erst ab der Unterverteilung eine Trennung der Rückleiterfunktion von der Schutzleiterfunktion vorgesehen.

Der Bauherr sieht in erster Linie einen geringfügigen Kostenvorteil, dessen Auswirkungen er aber nicht erkennen kann.

Der Errichter der elektrischen Anlage hält sich an die Vorgaben des Planers; auch dann, wenn der Planer ein TN-S-Netz mit getrennter Führung des Rückleiters vorgesehen hat, werden häufig aus Unwissenheit Mehrfachbrücken zwischen N und PE an der Hauseinspeisung oder der Netzersatzanlage eingebaut. Die Stromfreiheit des PE wird in der Regel nicht überprüft.

Der Errichter der Blitzschutzanlage verbindet an möglichst vielen Stellen seine Blitzableiter mit den metallischen Verbindungen des Gebäudes und den Fundamentiertern, die der Bauunternehmer in den Beton eingelegt hat. Ob die vermaschten Blitzschutzsysteme frei von Arbeitsströmen sind, wird meistens nicht überprüft.

Der Hardwarelieferant und der Kommunikationstechniker vertrauen auf eine ordnungsgemäße Elektroinstallation, an der eine EDV-Anlage laufen müsste. Jeder hat in seinem Gewerk vermeintlich alles richtig gemacht. Trotzdem stellen sich nach kurzer Zeit die anfangs beschriebenen Probleme ein - besonders dann, wenn schnelle Rechneranwendungen mit einem hohen Vernetzungsgrad zum Einsatz kommen.

Eine betriebssichere Stromversorgung erfordert zunächst das Bewusstsein für die veränderten Verbrauchsgewohnheiten. Mit aktueller Fachkunde und geeigneten Messmitteln (und –Methoden) kann der speziell ausgebildete Fachmann die Ursachen der häufig auftretenden Störungen ermitteln.

Danach ist es erforderlich, die Ursachen grundsätzlich zu beseitigen. Der Einsatz von Schutzgeräten wie Spannungskonstanthaltern, unterbrechungsfreien Stromversorgungseinrichtungen, Entstörschutzbauteilen (Filter und Abschirmungen), Überspannungsschutz- und Blitzschutzanlagen etc. laboriert an Symptomen, hilft im konkreten Fall jedoch nicht weiter. Den störungsfreien Betrieb der

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Stromversorgungseinrichtungen gewährleistet nur die gezielte Bereinigung der vorhandenen elektrischen Installationen mit anschließender automatischer Überwachung.

In Zusammenarbeit mit Herrn H.G. Hergesell, der für die Fa. IBM Problemanlagen betreute, habe ich in den letzten Jahren größere Probleminstallationen umgestellt und bereinigt. Die Durchführbarkeit, die Wirksamkeit und die Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen ist vielfach erwiesen.

Das vorliegende, überarbeitete Skript wurde sorgfältig zusammengestellt und beinhaltet die Erfahrungen von mehr als 250 Seminaren und aus der praktischen Tätigkeit in der Umstellung von elektrischen Installationen auf ein sauberes, kontrolliertes TN-S-System. Es ist ausschließlich zur Schulung und zum besseren Verständnis von Praktikern gedacht, damit sie vorhandene elektrische Einrichtungen mit geeigneten Hilfsmitteln und Messgeräten bereinigen können und damit eine umweltgerechte Elektroinstallation schaffen, die Arbeitsströme auf kontrollierten Bahnen fließen lässt. Die EDV-Installation wird dadurch automatisch verbessert.

Der „Elektrosmog“ im unteren Frequenzbereich (16 2/3 bis 500 Hz) wird weitgehend eliminiert. Dieser niedrige Frequenzbereich wird in der EMV- Messtechnik bisher ungenügend berücksichtigt.

Das Skript soll dazu dienen, Grundlagen und Zusammenhänge über die Computer- und Elektronikinstallation zu vermitteln, Schwachpunkte aufzuzeigen und Hinweise für einen möglichst störungsfreien Betrieb von Anlagen zu geben, so dass Schäden vermieden werden.

Anregungen zur Verbesserung des vorliegenden Skriptes, die zum besseren Verständnis für den Praktiker beitragen, sind jederzeit willkommen.

Lage, 09.09.2002

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Die elektrische Energie

Elektron – das griechische Wort für Bernstein, aus dem die Bezeichnung „Elektrizität“ abgeleitet ist – dokumentiert noch heute die Umstände, die zur Entdeckung der ersten elektrischen Phänomene geführt haben: vor rund 2.500 Jahren machte man im antiken Griechenland die Erfahrung, dass geriebener Bernstein andere Materialien anzieht. Thales von Milet hat um etwa 600 v.Chr. diese Eigenschaft des Bernsteins beschrieben – und ihm mangels anderweitiger Erklärungen Kräfte der Seele zugeschrieben.

Annähernd 2000 Jahre lang beschäftigten sich Naturforscher mit dem Phänomen des Magnetismus und mit der Erprobung von Materialien, die sich durch Reibung mehr oder weniger intensiv magnetisieren ließen. Auch die Entladung durch einen kleinen Funkenüberschlag wurde beobachtet – und für Unterhaltungszwecke genutzt.

Erst im 18. Jahrhundert beschleunigte sich die Entwicklung: die Polarität wurde entdeckt, die Unterschiede zwischen Leitern und Nichtleitern, die Unzerstörbarkeit der elektrischen Ladung, der Unterschied zwischen Ladung und Strom.

Ende des 18. Jahrhunderts entdeckte der italienische Physiker Alessandro Volta (1745 bis 1827) nach einer Vielzahl von Untersuchungen und Experimenten, dass man elektrische Energie nicht nur durch Reibung erzeugen kann. In einem Brief vom 20.03.1800 an die Londoner Royal Society beschrieb er seine bedeutendste Erfindung: die „voltaische Säule“, eine Batterie aus wechselweise übereinander geschichteten Kupfer- und Zinkplatten, die durch säuregetränkte Tuchfetzen voneinander getrennt waren – das erste galvanische Element. Voltas Erfindung war die erste brauchbare Elektrizitätsquelle, die einen stetig fließenden Strom abgab.

Vor dieser Erfindung konnte man lediglich durch Reibung kleine Ladungen erzeugen, die nur für kurzfristige Effekte zu nutzen waren und schon aus diesem Grund keine weiteren Untersuchungen zuließen. Erst mit der Erfindung der elektrischen Batterie wurde es möglich, einen längeren Fluss bewegter Ladung zu erzeugen – und daran die Gesetzmäßigkeiten des Stromflusses zu untersuchen.

Elektrische Energie ist für jeden so selbstverständlich geworden, dass man sie erst bei Störungen wahrnimmt: erst durch einen Stromausfall oder durch andere Versorgungsprobleme wird uns die Bedeutung und die Abhängigkeit von einer störungsfreien Energieversorgung bewusst.

In einem Rechenzentrum kann der Ausfall der Stromversorgung – und sei es nur für einige Millisekunden – schwerwiegende Folgen haben und enorme Kosten verursachen.

Ein Stromausfall ist im Prinzip jederzeit möglich ist und wird dennoch bei der

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Konzeption elektrotechnischer Anlagen häufig nicht hinreichend bedacht.

Für Informationstechnologie (IT)-Sicherheit werden extrem hohe Summen investiert (Z.B. Zugangskontrolle, Klimatisierung, etc.); die Versorgungsgrundlage, die Elektro-Technik, wird oft vernachlässigt, weil sie selbstverständlich ist. Strom kommt ja aus der Steckdose.

Selbst in komplexen Rechenzentren findet sich kein permanentes Power Monitoring, das alle wichtigen Parameter der Stromversorgung kontinuierlich aufzeichnet und bei dem Überschreiten von Grenzwerten ein Warnsignal gibt; die EDV-Anlagen werden „blind“ gefahren.

Die Koordination der Netzersatzanlagen wird nicht oder nur unzureichend ausgetestet – mit dem Risiko, dass sie im tatsächlichen Einsatzfall nicht wie vorgesehen funktionieren oder USV-Batterien nach kurzer Zeit ihren Dienst einstellen.

Auch die Koordination der Abschaltvorrichtungen NOT-AUS gemäß VDE 0800 bietet erhebliche Tücken: viele neue Rechnersysteme verfügen über intern eingebaute unterbrechungsfreie Stromversorgungen, die sich nicht ohne weiteres in das Abschaltsystem mit einbeziehen lassen. Die Folge ist, dass z.B. bei einem Brand Teile der Anlage weiterlaufen. Die in den Geräten eingebauten Lüfter verteilen den Rauch und saugen ihn z.T. in die Anlagen hinein.

Die elektrische Energie selbst birgt auch erhebliche Gefahren. Die Abschaltbedingungen gemäß VDE 0100 (Schutz durch Abschaltung) sollen sicherstellen, dass ein gestörter Stromkreis zuverlässig vom Netz getrennt wird. Sie gehen dabei von einem vollständigen Kurzschluss aus – und von einer idealen Stromquelle mit einem unendlich kleinen Innenwiderstand und genügend hoher Kurzschlussleistung. An sehr vielen Rechnerarbeitsplätzen steht jedoch, bedingt durch die USV-Anlage, nur begrenzt Kurzschlussleistung zur Verfügung. Ein unvollkommener Kurzschluss, z.B. an einem Entstörkondensator oder einem einfachem Geräteanschlusskabel/Stecker, zwingt aber eine Abschalteinrichtung (wie Sicherung, Sicherungsautomat) nicht zum Auslösen, da die Abschaltbedingung unter Umständen nicht eingehalten wird. Die Folge davon sind hohe Fehlerströme unterhalb der Auslösekennlinie, die zu einer Brandauslösung führen können.

Sicherere Abschaltbedingungen durch Fehlerstromschutzeinrichtungen (FI=RCD) werden häufig aus Kostengründen oder aus Angst vor Fehlauflösungen nicht in EDV-Stromversorgungen eingebaut. Viel sicherer wäre eine permanente Differenzstromüberwachung (RCM), die Fehler anzeigt und unter definierten Bedingungen abschalten kann.

Aber auch Fehlerstromschutzeinrichtungen sind kein 100%iger Schutz. Sie kontrollieren nur die Ströme der aktiven Leiter (L1, L2, L3 und N) gegenüber dem Erdungssystem; Ströme auf dem Erdungssystem werden nicht erfasst. Das Erdungssystem selbst wird als Bezugssystem genutzt – mit der Folge, dass

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

verschiedene Interessen kollidieren. Es wird genutzt für

- die normalen elektrischen Installation als Bezugspunkte
- deren Abschaltbedingungen
- die Bezugspunkt- und Masse-Philosophie der Informationsübertragung
- Blitzschutz- und Potentialausgleichsmaßnahmen

Das hat Konsequenzen: wo eine Spannung ansteht, entsteht ein elektrisches Feld, und wo ein Strom fließt, auch ein magnetisches Feld. Im Niederfrequenzbereich sind das elektrische und das magnetische Feld unabhängig voneinander. Die elektrische Feldstärke steigt mit der Spannungshöhe, die magnetische Feldstärke mit der Stromstärke. Auch bei sehr kleinen Spannungsunterschieden auf Erdungs- und Potentialausgleichsanlagen können extrem hohe Ströme fließen, die starke Magnetfelder generieren.

Selbst in scheinbar ordnungsgemäßen Installationen, z.B. in Krankenhäusern, wurden Stromstärken von 200 A auf dem Erdungssystem gemessen. Diese verteilen sich auf alle an den Potentialausgleich angeschlossenen elektrisch leitenden Systeme bis zum Rechnerraum und den Operationsräumen.

Im Hinblick auf das Erdungssystem muss praktischer Umweltschutz betrieben werden: ungewollte Ströme und hohe Magnetfelder im Erdreich und auf den Potentialausgleichssystemen müssen erkannt und beseitigt werden.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Magnetische und elektrische Feldstärken

Theoretische Grundlagen [9]

Das Kapitel führt ein in die Grundlagen der elektrischen und magnetischen Felder, der Belastungsarten, die im Versorgungsnetz vorkommen, und der verschiedenen Kopplungsmechanismen, die zum Verständnis der in der Einleitung beschriebenen Problematiken dienen.

Magnetische und elektrische Felder

In der Physik wurde der Begriff „Feld“ eingeführt, um damit die Wirkung einer physikalischen Größe im Raum zu beschreiben. Bei der elektromagnetischen Strahlung kommt dieser Größe eine entscheidende Bedeutung zu: als elektrisches Feld, wie es im Bereich elektrischer Ladungen vorhanden ist, und in Form des magnetischen Feldes, wie es der elektrische Stromfluss erzeugt.

Feldstärken sind in der Natur vorhanden und beeinflussen unser tägliches Leben. Die magnetischen Feldstärken sind durch das Magnetfeld der Erdpole geprägt.

Das homogene, magnetische Gleichfeld der Erde wird in der Literatur mit $50\mu\text{T}$ angegeben (Äquator $\sim 35\mu\text{T}$). Dieses Gleichfeld dient zur Orientierung von Kompass-Nadeln und hat biologische Auswirkungen für das Orientierungsverhalten von z.B. Zugvögeln und Bienen.

Die Erde besitzt ein natürliches elektrisches Feld und ist gegenüber der leitfähigen Schicht der Erde ständig negativ geladen. Bei schönem Wetter liegt die elektrische Feldstärke bei ca. 150 V/m und hat nur geringen Einfluss auf den menschlichen Körper, da dieser ein Gegenfeld erzeugt. Hohe elektrische Feldstärken von einigen 1000 V/m entstehen kurzzeitig bei atmosphärischen Entladungen.

Zu diesen natürlichen Feldstärken sind zusätzlich vom Menschen geschaffene Hoch- und Niederfrequenzfelder, Gleichfelder und elektromagnetische Felder gekommen, die in der Technik sehr nützlich und erforderlich sind und die Grundlage für die gesamte Elektrotechnik bilden.

Im statischen Zustand, wenn sich zeitlich gesehen die Felder nicht verändern, sind diese Zusammenhänge besonders anschaulich zu beschreiben.

Das elektrostatische Feld

Befinden sich im Raum an verschiedenen Stellen elektrische Ladungen Q_1, Q_2 usw., so geht von diesen eine summarische Kraftwirkung \vec{F} auf eine im Raum befindliche elektrische Ladung q aus. Eine bestimmte Größe, die im Raum zusätzlich eine

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

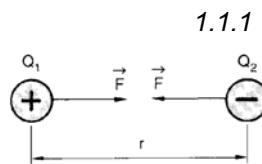
Richtung zuzuordnen ist, wird in der Physik mit Hilfe des „Vektors“ charakterisiert (symbolisch durch einen Pfeil auf dem Buchstaben gekennzeichnet). Das elektrische Feld \vec{E} (der elektrische Feldvektor) beschreibt demnach definitionsgemäß Größe und Richtung der Kraft auf die Ladung q .

$$Gl.2.2.1 \quad \vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Ganz allgemein gilt dabei: Zwei im Abstand r (m) im Raum vorhandene elektrisch geladene Körper mit den Ladungen Q_1 und Q_2 (As) ziehen sich je nach den Polaritätsverhältnissen betragsmäßig mit der Kraft \vec{F} (N) an oder stoßen sich ab.

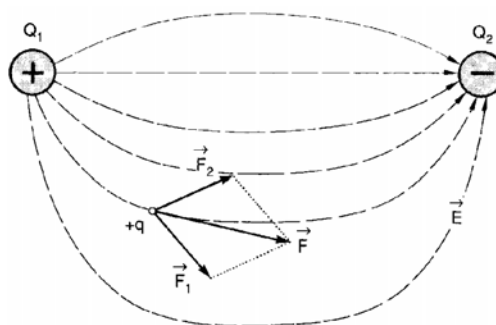
$$Gl.2.2.2 \quad F = k \cdot Q_1 \cdot Q_2 / r^2$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ (Vm / As)}$$



Der hier beschriebene Zusammenhang für die Ladungen Q_1 und Q_2 gilt für alle vorhandenen Paar-Kombinationen von Ladungen, wie sie in einem bestimmten Raum vorhanden sind. Jede Einzelladung hat also zu jeder anderen Einzelladung eine Kraftwirkungsbeziehung. Die Einführung des Begriffs des elektrischen Feldes vereinfacht und veranschaulicht nun die kräftemäßigen Zusammenhänge, wie sie sich z.B. für eine Vielzahl im Raum befindlicher Ladungen Q ergeben. Für jede Stelle im Raum wird hiermit summarisch die Kraftwirkung \vec{F} beschrieben, wie sie sich für eine einzelne, dort befindliche Ladung q darstellt, verursacht durch das Kräftewechselfpiel der von einer Vielzahl anderer im Raum befindlicher Ladungen Q ausgehenden unterschiedlichen Kraftwirkungen auf eben diese einzelne Ladung q .

1.1.2



Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Mit Hilfe der sogenannten Feldlinien lässt sich das so definierte elektrische Feld anschaulich beschreiben. Die elektrische Feldstärke steht auch an, wenn kein Strom über die Leitung fließt, aber eine Spannung ansteht.

Das statische Magnetfeld

Für das magnetische Feld gelten prinzipiell und im wesentlichen die selben Definitionen wie beim elektrischen Feld, nur dass es hier um die Kraftwirkung geht, die durch Magnetismus bedingt ist. In einem Punkt unterscheidet sich jedoch das Magnetfeld wesentlich vom elektrischen: Die magnetischen Feldlinien haben keinen Anfang und kein Ende; sie sind in sich geschlossen.

Ein magnetisches Feld tritt in der Umgebung eines jeden stromdurchflossenen Leiters auf. Bei einem einzelnen Leiter stellen sich die Kraftlinien in konzentrischen Kreisen um den Leiter ein. Das ist z. B. mit Hilfe einer Kompassnadel bei dem Magnetfeld einer Luftspule nachvollziehbar.

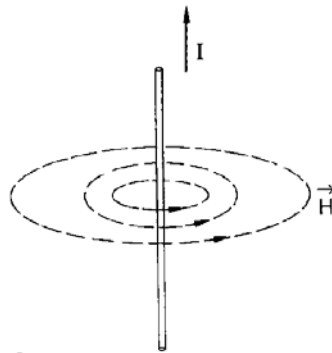
Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Im Zuge eines geschlossenen Umlaufs orientiert sich die Nadel beim Abtasten des Feldes auch im Bereich innerhalb der Luftspule tangential zum Feldlinienverlauf längs einer bestimmten Feldlinie.

Dieser Umstand bildet die Gedankenbrücke zu dem Zusammenhang mit dem „magnetischen Fluss“, der als in sich geschlossen vorstellbar ist.

1.1.3



Die daraus abzuleitende sogenannte magnetische Flussdichte (auch als „magnetische Induktion“ bezeichnet) wird durch die Anzahl der magnetischen Feldlinien repräsentiert, die im rechten Winkel die Normfläche von 1 m^2 durchdringen, und stellt ein wesentliches Hilfsmittel dar, um physikalisch den Magnetismus zu beschreiben. Der Zusammenhang zwischen der magnetischen Induktion B und der magnetischen Feldstärke H ist durch die magnetische Permeabilität μ gegeben.

$$\text{Gl. 2.3.1} \quad \vec{H} = \vec{B} / \mu \quad \mu_r = \text{Permeabilitätszahl}$$

$$\text{Gl. 2.3.2} \quad \mu = \mu_0 \cdot \mu_r \quad \mu_0 = \text{magnetische Feldkonstante}$$
$$\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am}$$

Die Permeabilität μ (magnetische Leitfähigkeit) beschreibt materialmäßig die für den Magnetismus interessierenden Eigenschaften eines Mediums (z.B. Eisen oder Luft). Die magnetische Induktion B (Tesla) ergibt sich dimensionsmäßig zu (Vs/m²).

Die magnetische Feldstärke H ergibt sich dimensionsmäßig zu (A/m). Wird der gleiche Strom durch einen zweiten Leiter zurückgeführt, heben sich die konzentrischen Kraftlinien weitestgehend auf.

Elektrisches Wechselfeld - kapazitive Ströme

Die an einer bestimmten Elektrode vorhandene Ladungskonzentration bleibt in einem Wechselfeld nicht bestehen; sie baut sich ab und mit der umgekehrten Polarität wieder auf. Es muss somit notwendigerweise elektrische Ladung zyklisch (im Rhythmus der Frequenz und meist sinusförmig) zu- und wieder abfließen. Jede Art sich räumlich bewegender elektrischer Ladungen bedeutet die Existenz eines

Grundlagenkript zum Seminar:

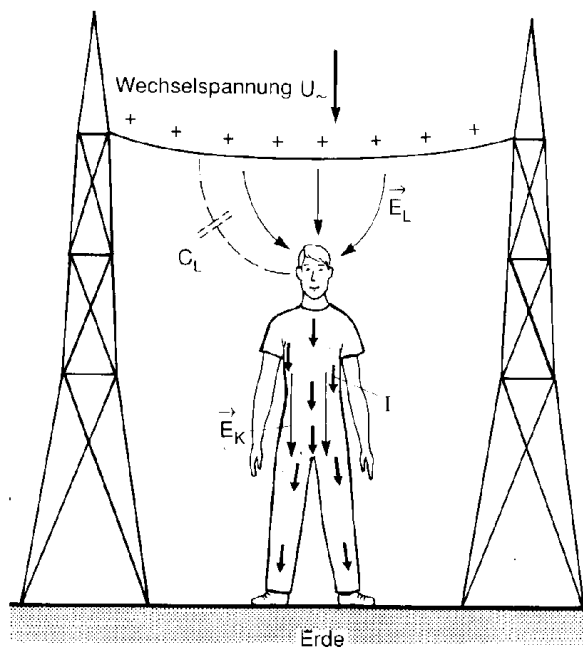
Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

elektrischen Stroms und damit letztlich eines damit verbundenen magnetischen Wechselfeldes, mag es auch noch so schwach sein.

Die ladungsmässige Umpolung an den Elektroden hat ferner zur Folge, dass in der gleichen Weise auch das von den Ladungen zwischen den Elektroden erzeugte elektrische Feld alternierend mit entgegengesetzter Orientierung auf- und abgebaut wird. Technisch wird die Größe des zu den Elektroden fließenden Wechselstroms durch die Kapazität (z.B. bei einem Kondensator) und die Frequenz des Wechselstromes bestimmt. Meist ist die Kapazität zwischen den beiden Elektroden für die Stärke des fließenden Wechselstroms von entscheidender Bedeutung. Dies gilt insbesondere dann, wenn innerhalb des geschlossenen Stromkreises der durch die Kapazität C und die Kreisfrequenz ω bestimmte Blindwiderstand X_C entsprechend groß gegenüber den sonst im Stromkreis befindlichen Widerständen ist.

Im Bereich von Hochspannungsfreileitungsstrecken lässt sich mit Feldsonden die Feldstärke eines niederfrequenten Wechselfeldes feststellen.

1.1.4



Das elektrische Feld \vec{E}_L im Bereich einer Hochspannungsfreileitung influenziert an der menschlichen Körperoberfläche eines geerdeten Körpers elektrische Ladung. Im Wechselfeld ($16 \frac{2}{3}$ Hz, 50/60 Hz) entspricht sein Körper einer Elektrode. Folglich fließt durch seinen hinreichend geerdeten Körper ein entsprechend großer Wechselstrom I .

Elektrosensible Menschen reagieren empfindlich auf diese Einwirkung. Zusammenfassend ist somit festzuhalten: Herrscht zwischen zwei Elektroden eine elektrische Wechselspannung, so entsteht zwischen den beiden Elektroden ein

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

elektrisches Wechselfeld, das sich im selben Rhythmus ändert. Dieses geschieht auch, wenn kein Strom über die Leitung fließt.

Die Stärke des elektrischen Feldes hängt von der elektrischen Spannung ab, die zwischen den für die Stromversorgung benutzten Leitungen, Schaltern etc. und Masse/Erde vorhanden ist.

$$\text{Gl.:2.4.1} \quad U_{12} = \int_1^2 \vec{E} * \vec{ds} \quad \text{Spannung } U_{12} \text{ in V zwischen den}$$

Punkten 1 und 2, Wegstrecke s in mm

$$\text{Gl.:2.4.2} \quad U_{12} = E * d \quad \text{Homogenes Feld E in V/m, Abstand}$$

Daraus folgt, dass mit zunehmendem Abstand das elektrische Feld abnimmt. Jede Art hinreichend elektrisch leitender und geerdeter Materie stellt eine geerdete Elektrode dar. Wird ein metallisch geerdeter Mantel um einen spannungsführenden Leiter gelegt, so ist nur zwischen dem Leiter und dem geerdeten Mantel ein elektrisches Feld vorhanden (Prinzip der Schirmung).

Einen Spezialfall stellt der „Faradaysche Käfig“ dar. Er besteht aus elektrisch leitendem Material, das üblicherweise geerdet wird. Sein Innenraum bleibt zumindest bei den hier interessierenden Verhältnissen feld- bzw. ladungsfrei. Berühmt wurde der Faradaykäfig vor allem durch seine Schutzwirkung gegen den Blitz. Deswegen gilt der Faradaykäfig als die bewährteste Abschirmvorrichtung gegen elektrische Felder, gegen magnetische Felder wirkt er jedoch nicht.

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Magnetisches Wechselfeld

Vom Versorgungsunternehmen wird vornehmlich Wechselstrom auf die stromführenden Leiter gespeist. Bei jedem fließenden (dynamischen) Zustand muss es eine treibende Kraft geben, die diesen fließenden Zustand erzeugt bzw. aufrecht erhält (zum Vergleich das Ohmsche Gesetz: Die elektrische Spannung einer Spannungsquelle bestimmt in einem geschlossenen Stromkreis die Größe des durch einen gegebenen Widerstand fließenden Stroms).

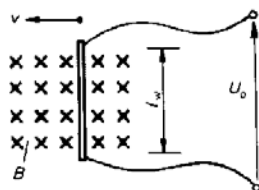
Beim Magnetfeld ist diese treibende Kraft der fließende elektrische Strom, der bekanntlich um sich ein Magnetfeld aufbaut, das z.B. bei einem langen geraden Draht mit konzentrischen, kreisförmig um den Leiter angeordneten magnetischen Feldlinien zu beschreiben ist.

Die Kraft, die das Magnetfeld erzeugt, wird als die magnetische Feldstärke H bezeichnet. Dimensionsmäßig ist der Strom I in Ampere und der Radius r in Meter gegeben, woraus die Dimension A/m der magnetischen Feldstärke abzuleiten ist.

Die bestehende Wechselwirkung zwischen Strom und Magnetfeld wird für vielfältige Anwendungen genutzt. Durch das magnetische Feld kann ein stromdurchflossener Leiter oder Lichtbogen magnetisch abgelenkt werden (magnetische Funkenlöschung).

Die Ablenkeinheit in einer Bildröhre lenkt den Elektronenstrahl zielgerichtet auf die Schlitplatte des Bildschirmes (magnetische Ablenkung). Wird der stromdurchflossene Leiter in einem magnetischen Feld bewegt (Bild 2.5.1), wird in dieser Leiterschleife eine Spannung induziert oder eine Stromänderung eines geschlossenen Stromkreises verursacht (Generatorprinzip).

1.1.5



Gl.:2.5.1
$$u_0 = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Gl.:2.5.2
$$u_0 = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Gl.:2.5.3
$$u_0 = B * l_w * v$$

u_0 = induzierte Spannung in V

N = Windungszahl dimensionslos

ϕ = magnetischer Fluss in Vs = Wb

t = Zeit in s

L = Induktivität in Vs/A = H

B = magn.

Induktion/Flussdichte in Vs/m² = T

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

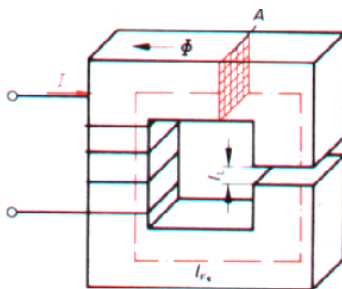
Wird nicht nur ein einzelner Draht, sondern werden mehrere zu einer Spule aufgewickelte Drähte mit Strom beaufschlagt, verhält sich die Spule ähnlich dem Stabmagneten: die Kraftlinien treten an den Enden aus.

Nach diesem Prinzip funktionieren die Magnetköpfe von Laufwerken der Datenträgertechnik.

An einer vorgegebenen Austrittsstelle ist das Magnetfeld so hoch, dass die darunter vorbei bewegten Molekularmagnetteile des Datenträgers „orientiert“ werden. Haftmagnete, z. B. von Brandschutztüren oder Hubmagnete funktionieren nach dem gleichen Prinzip der stromdurchflossenen Spule. In Synchrongeneratoren oder Drehstromlichtmaschinen nutzt man den Effekt, um dem Läufer ein orientiertes Magnetfeld zur Verfügung zu stellen.

Wird eine Spule um einen geschlossenen Eisenstab oder ein Wicklungspaket an Wechselspannung gelegt, so treten die Feldlinien nicht aus dem Eisen heraus (bis auf Streulinien), sondern verbleiben innerhalb des Eisenkörpers und erzeugen einen geschlossenen magnetischen Kreis, dessen Kraftlinien sich im Inneren des Eisens bewegen und in der Lage sind, magnetische Kopplungen mit weiteren Spulen zu erzeugen (Transformatorprinzip).

1.1.6



Gl.:2.5.4

$$\phi = \int_A \vec{B} * d\vec{A} \text{ speziell } \phi =$$

Gl.:2.5.5

$$B * A$$

Gl.:2.5.6

$$\Theta = I * N$$

Gl.:2.5.7

$$H = \Theta / l_m$$

$$B = I * N * \mu / l_m$$

Θ = Durchflutung in A

A = Querschnittsfläche in

Aufgrund des technischen Wechselstromes von 16 2/3 bis 400 Hz müssen die Molekularmagnete der Eisenkörper/-kerne sich fortlaufend umorientieren. Dadurch entsteht eine innere "Reibung" und Erwärmung des Eisens, welches als Ummagnetisierungs- oder Hystereseverlust bezeichnet wird.

Der Eisenkörper kann in beliebiger Form ausgeführt werden und besteht aus lamellierten, kornorientierten Eisenblechen, die möglichst geringe Ummagnetisierungs-/ Hystereseverluste aufweisen. Auch beim menschlichen Körper wird durch ein magnetisches Wechselfeld \vec{B} ein Strom induziert. Das Magnetfeld durchdringt im Gegensatz zum elektrischen Feld jede praktisch interessierende Materie weitestgehend ungehindert.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Gegen Magnetfelder dieser Art gibt es praktisch keine wirksame Abschirmung. Nur wenn der gleiche Strom durch einen zweiten (parallelen) Leiter zurückgeführt wird, kompensieren sich die konzentrischen Kraftlinien weitestgehend.

Dieses Prinzip wird in der „Twisted Pair“ Technik (verdrillte Leitungen) genutzt.

Bei Hochspannungsfreileitungen kommt es auf die Lage der Leitungen zueinander an. Die Außenleiter L_1 , L_2 , L_3 werden normalerweise in einer erdfreien Dreieckschaltung geschaltet. Liegen die Hochspannungsleitungen dicht in einer Dreiecksform zueinander, heben sich die Felder relativ auf.

Am Boden unter der Hochspannungsleitung oder in der unmittelbaren Nähe werden nur kleine, unkritische elektromagnetische Felder gemessen. Liegen die Hochspannungsleitungen seitlich versetzt untereinander, breitet sich das magnetische Feld bis zum Boden aus. Mit einem Teslameter können dann über dem Boden Feldstärken festgestellt werden.

Beispiele:

Im Diktiergerät befindet sich ein Lautsprecher mit einem relativ starken Magnetfeld. Diktiergerät und Datenträger dicht zusammen in einer Aktentasche zeigen Wirkung.

Viele Bürotische bestehen aus einem Stahluntergerüst, auf dem die eigentliche Schreibtischplatte aufgeschraubt ist. Durch die Bearbeitung des Stahls an den Kanten (Schweiß- oder Schnitтарbeiten) bleibt ein Restmagnetismus an diesen Kanten bestehen.

Wird z.B. eine Diskette im Bereich einer Kante über einen gewissen Zeitraum (über Nacht) liegen gelassen, kann es zu einer Umorientierung der Magnetteilchen auf der Diskette kommen.

Farbbildschirme können durch Restmagnetismus eine Farbverfälschung und Bildverzerrung erhalten, die aber konstant ist.

Moderne Halogenschreibtischlampen und manche Drucker und Laptops verfügen über Transformatoren, die speziell im Leerlauf eine hohe elektromagnetische Abstrahlung produzieren. Dadurch können Datenträger, aber auch moderne, hochauflösende Farbbildschirme beeinflusst werden. Farbbildschirme beginnen zu flimmern, besonders dann, wenn die Bürotische mit einem Stahluntergerüst versehen sind, welches als geschlossener magnetischer Kreis/Spule wirkt, über das sich magnetische Wechselstromkreise einkoppeln können.

Zusammenfassend ist somit festzuhalten:

Die Stärke des magnetischen Feldes hängt ausschließlich von dem elektrischen Strom ab, der über Leitungen, Schalter, usw. fließt. Eine magnetische Feldstärke ist auch vorhanden, wenn an der stromführenden Leitung eine minimale Spannung

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

anliegt. Es gibt praktisch keine wirksame Abschirmung gegen niederfrequente magnetische Felder.

Beispiel:

Ein Neubau musste in der Nähe einer Freileitungstrasse errichtet werden. Da ein Abstand von der Freileitung nicht realisiert werden konnte, schlug der Blitzschutzsetzer vor, einen Faradayschen Käfig zu bauen. Nach Errichtung des Gebäudes war das Chaos perfekt: Die Metallkonstruktion des Gebäudes und die Blitzableiter selbst verstärkten durch neue Induktionen die magnetische Feldstärke und Bildschirme im Betrieb flimmerten.

Merke:

Der magnetischen Feldstärke kann nur durch Abstand oder Elimination der Felder entgangen werden. Auch sogenannte Mu - Metalle, die vereinzelt um hochwertige Bildschirmarbeits-Plätze aufgestellt werden, helfen relativ wenig.

Zur Messung der magnetischen Feldstärke eignen sich Spulen, die in der VDE 0108 exakt beschrieben sind. Diese Spulen sind in der Lage, ein $\mu\text{T} = 1 \text{ mV}$ abzugeben. Der Messwert kann auf beliebige Echt-Effektivwert-Multimeter oder besser auf ein Oszilloskop gegeben werden, damit außer der Höhe auch die Amplitude und die Kurvenform betrachtet werden können. Auf dem Markt befinden sich inzwischen relativ preisgünstige Teslameter, die sowohl die Spule als auch eine Anzeigeeinheit beinhalten. Entsprechende Lieferhinweise finden sich im Anhang.

Diese Geräte sind für den praktischen täglichen Gebrauch im „Feld“ geeignet. Präzisionsmessungen verlangen einen stark erhöhten Aufwand und dienen der Gerätezulassung (Spezifizierung).

Die elektrische Feldstärke E

Die elektrische Feldstärke wird in $E = \frac{V}{m}$ gemessen.

Die elektrische Feldstärke steigt mit der Spannungshöhe. Unter Hochspannungsfreileitungstrecken (10 kV, 20 kV, 110 kV, 380 kV) lassen sich mit Feldsonden die Feldstärken des niederfrequenten Wechselfeldes direkt feststellen.

Mit einem einfachen Prüfstift (Voltstick) mit Hallgenerator und Anzeigeleuchte oder akustischem Stift „PAMA“ lassen sich die elektrischen Felder an Hochspannungstrassen, Trafos aber auch Bildschirmarbeitsplätzen anzeigen.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Die elektrische Feldstärke steht auch dann an, wenn kein Strom über die Freileitung fließt, aber eine Spannung ansteht.

In der Nähe eines Funksenders und bereits an einem Handy entstehen hochfrequente Wechselfelder. Zu diesem Thema gibt es eine große Anzahl von Instituten, Laboratorien und Experten, die dieses Thema, je nach Auftrag, verschieden behandeln.

Der Hochfrequenzbereich beginnt bei ca. 30 kHz und endet bei 300 GHz (Mikrowellen).

Bezeichnung der verschiedenen Frequenzbereiche

Bezeichnung	Frequenz	Wellenlänge
Langwellen (LW)	30 kHz - 300 kHz	10000 m - 1000 m
Mittelwellen (MW)	300 kHz - 3 MHz	1000 m - 100 m
Kurzwellen (KW)	3 MHz - 30 MHz	100 m - 10 m
Ultrakurzwellen (UKW)	30 MHz - 300 MHz	10 m - 1 m
Dezimeterwellen, Ultra hohe Frequenzen (UHF)	300 MHz - 3 GHz	100 cm - 10 cm
Zentimeterwellen, Super hohe Frequenzen (SHF)	3 GHz - 30 GHz	10 cm - 1 cm
Millimeterwellen, Extrem hohe Frequenzen (EHF)	30 GHz - 300 GHz	10 mm - 1 mm

Die Übertragungstechnik arbeitet mit immer höheren Frequenzen, da die übertragbare Informationsmenge und die Bandbreiten der zu übertragenen Signale immer größer werden. Die im Mobiltelefonbereich verwendeten Frequenzen liegen bei 900 MHz für das E plus 1800 MHz. Der in vielen Haushalten verwendete Mikrowellenherd arbeitet dagegen bei einer Frequenz von 2,45 GHz.

Energieerzeugung und der geschlossene elektrische Stromkreis

Das Fließen elektrischer Ladungen setzt voraus, dass eine Stromquelle vorhanden ist und zwischen deren beiden Polen eine Potentialdifferenz besteht.

Schließt man an beide Pole je einen Leitungsdraht an ohne Verbindungen zwischen beiden Leitungen, so bildet sich in einem solchen „offenen Stromkreis“ zwischen beiden Leitern ein elektrisches Feld.

Verbindet man beide Leitungen zu einem geschlossenen Kreis, entsteht innerhalb des Drahtes ein elektrisches Feld, das jeweils in Richtung der Drahtachse zeigt und überall gleich groß ist.

Auf dieses Feld ist es zurückzuführen, dass die Elektronen im Metalldraht vom negativen zum positiven Pol wandern. Es fließt ein Strom – das Grundprinzip des geschlossenen Stromkreises.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Gleichstrom

Der einfache elektrische Stromkreis lässt sich am Beispiel einer Taschenlampe erklären.

Wird der Lampenwendel mit zwei Leitungen an den Plus- und Minuspol einer aufgeladenen Batterie angeschlossen, fließt ein Strom durch den Wendel und bringt diesen zum Glühen. Der Gleichstrom (DC) ist sowohl auf der hin- als auch auf der rückführenden Leitung gleich groß, nur die Richtung bzw. das Vorzeichen ändert sich.

Die Leistung ergibt sich aus der angelegten Spannung und dem fließenden Strom ($P = U \times I$). Wird der Verbraucher kurzgeschlossen, so wird die gesamte Energie der Batterie in Wärme umgesetzt. Nur der Innenwiderstand der Batterie und die Verbindungsleitungen begrenzen den Strom. Die Batterie entlädt sich und je nach ihrer Leistungsfähigkeit kommt es unter Umständen zur Explosion der Batterie (deshalb dürfen Lithium-Batterien oder Knopfzellen nicht kurzgeschlossen werden).

Um festzustellen, wie viel Strom in dem Stromkreis fließt, muss dieser Kreis aufgetrennt und ein geeignetes Amperemeter zwischengeschaltet werden. Nur beim Einschalten oder Ausschalten entsteht durch die Änderung des Stromes ein Magnetfeldimpuls als Wechselfeld.

Einphasen-Wechselstrom

Gleiches gilt für einen technischen Wechselstrom 50 Hz (AC), der über einen Transformator 230/12 V z.B. ein Leuchtmittel mit Spannung versorgt. Die Sinuskurve des technischen Wechselstroms ändert sich 50 mal in der Sekunde. Somit entsteht ein periodisches 50-Hz-Wechselfeld, welches außen an den Leitern mit entsprechenden Strommesszangen nach dem Trafoprinzip berührungslos abgegriffen werden kann. Wie beim Gleichstrom fließt der Strom im Hin- und Rückleiter mit der gleichen Stromstärke (in Ampere), aber mit unterschiedlicher Richtung.

Zwischen den Leitern entstehen elektromagnetische Felder. Liegen die Leitungsdrähte weit auseinander, so können die Felder nach dem Induktionsprinzip einen Strom in andere metallische Leiter oder Eisenteile einkoppeln. Werden die Drähte eng beieinander geführt oder verdreht (twisted pair), so heben sich die Felder gegeneinander auf; das Kabel als Ganzes ist nach außen hin elektromagnetisch neutral.

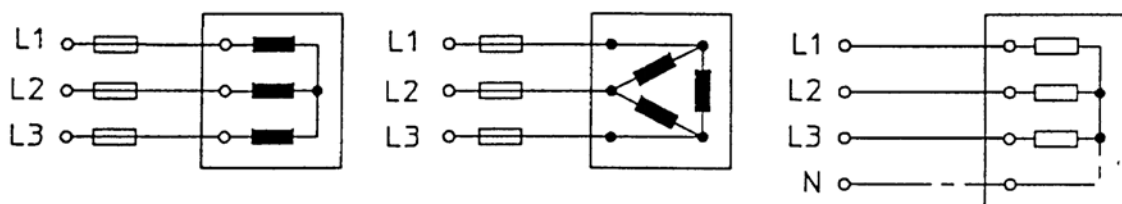
Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

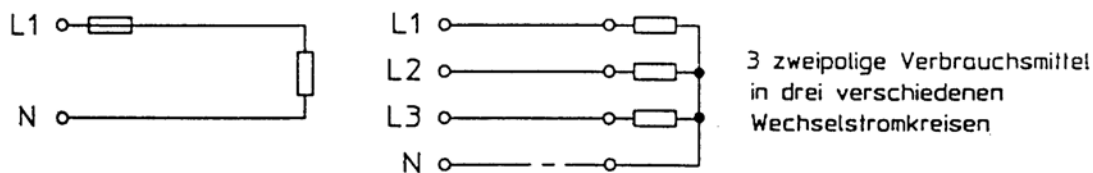
Dreiphasen-Wechselstrom

In realen Generatoren der Niederspannungsversorgung sind drei elektrische Einphasen-Systeme um 120° geometrisch versetzt angeordnet. Dadurch gelangen die Außenleiterspannungen L1, L2 und L3 jeweils 120° später an die jeweiligen Verbraucherstränge.

Wird an diese Anordnung ein linearer Verbraucher gleicher Leistung und identischer Stromaufnahmen, wie z.B. ein Dreiphasen-Motor oder Widerstände/Leuchtmittel angeschlossen, kompensieren sich die Ströme im N(PEN) zu Null und es fließt kein oder nur ein sehr geringer Rückleiterstrom zur speisenden Quelle.



Drehstromkreise (dreipoliger Verbrauchsmittel)



Wechselstromkreis (einpoliger Verbrauchsmittel)

Wird die Belastung nicht gleichmäßig angelegt, fließt z.B. der Strom bei nur einer belasteten Phase sowohl im Hinleiter L1 als auch im Rückleiter N mit der gleichen Stromstärke vom Generator zum Verbraucher und zurück.

Auch im Dreiphasen-Wechselstromnetz mit hoher N-Leiterbelastung heben sich bei sauberer Führung aller Hinleiter und des Rückleiters die elektromagnetischen Felder gegeneinander auf und ein Kabel wirkt nach außen hin elektromagnetisch neutral.

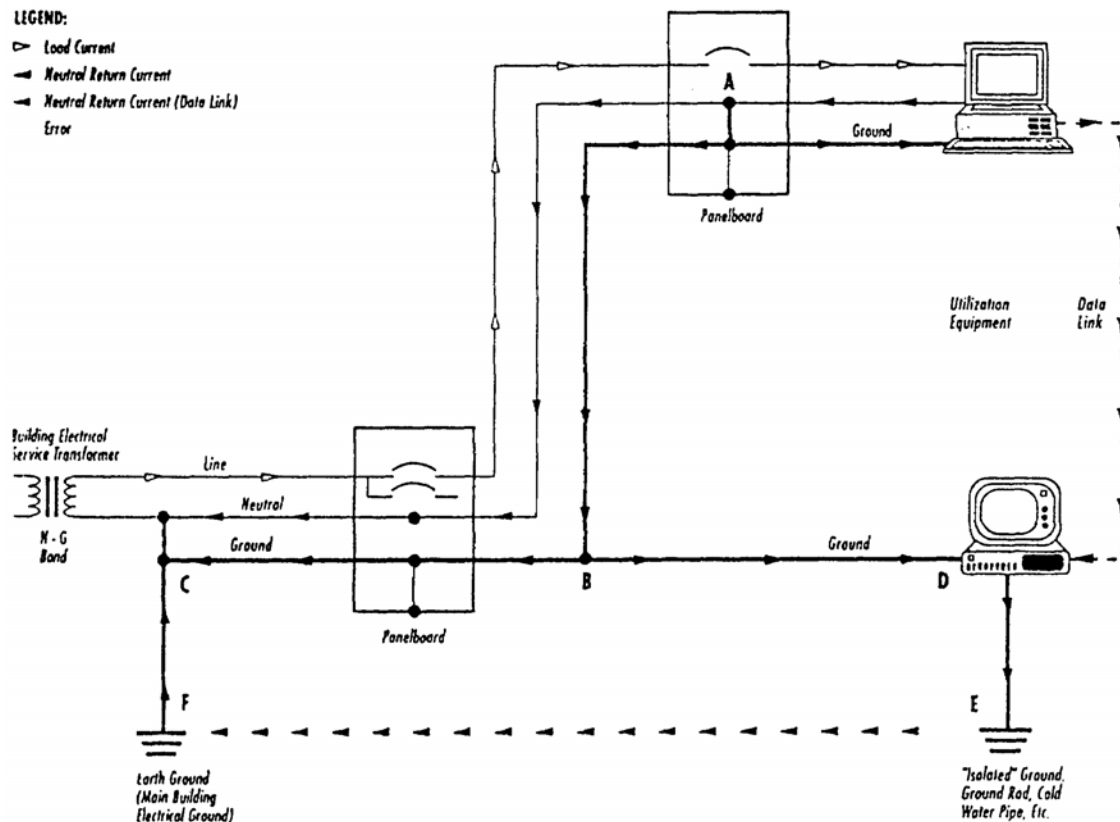
Probleme/Störungen

Schwierigkeiten im Stromversorgungsnetz entstehen durch Störungen des geschlossenen Stromkreises, die sich aus der Leiterführung oder aus der Verbrauchssituation ergeben können.

Verbindet man – im Ausgangsmodell eines Stromkreises mit einer Glühbirne als Verbraucher – den Rückleiter sowohl am Transformator als auch am Leuchtmittel

Grundlagenkript zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

jeweils mit einer leitenden Erdverbindung, fließt ein Teil des Rückstromes nicht mehr über die Leitung, sondern auch über das Erdungssystem: je nach der Qualität der Verbindungen und dem jeweiligen Leitungswiderstand bewegt sich der Ladungsfluss über alle „angebotenen“ leitfähigen Verbindungen. Das hat zur Folge, dass innerhalb des Kabels die Summe der hin- und der rückfließenden Ströme nicht mehr gleich ist; das Kabel ist magnetisch nicht mehr neutral. Es tritt ein von außen messbares Magnetfeld auf und generiert eine elektromagnetische Beeinflussung auf andere leitfähige Systeme, Bauteile und Bauelemente.



Die Ströme im Erdungssystem müssen wieder zur speisende Quelle zurückfließen und nutzen dabei den Weg des geringsten Widerstandes. Bietet man außer dem Rückleiter weitere leitfähige Verbindungen an, vagabundieren sie unkontrolliert über alle vorhandenen leitfähigen Verbindungen.

Das Ausgangsmodell eines Stromkreises nimmt als Beispiel eines Verbrauchers eine Glühbirne an – einen linearen Verbraucher.

Die Verbrauchssituation ist völlig anders, wenn an die gleiche Anordnung nicht lineare Verbraucher wie Schaltnetzteile, Computernetzteile oder elektronische Vorschaltgeräte angeschlossen werden. Die in diesen Geräten eingebauten Glättungskondensatoren entladen sich bei 50-Hz-Wechselströmen nicht vollständig.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Das hat zur Folge, dass die Ströme nicht im Nulldurchgang der Spannung gegen Null gehen, sondern lediglich im Bereich 0° bis 90° und 180° bis 240° variierend nachgeladen werden.

Dadurch „lückt“ der Strom im Sternpunkt, wenn einphasige Verbraucher an das technische Dreiphasen-Wechselstromsystem angeschlossen sind: die Ströme aus dem Dreiphasen-Wechselstromsystem addieren sich nicht mehr zu Null. Die Rückleiterströme kommen jeweils um 120° plus Phasenwinkel des Eintritts des Stromflusses zeitlich versetzt nacheinander auf die gemeinsame Rückleitung, die immer noch als N-Leiter bezeichnet wird.

Für diese Art der Belastung ist der N-Leiter aber in der Regel nicht ausgelegt. Da in der Vergangenheit über diesen Leiter kein oder nur ein geringer Strom floss, wurde es in verschiedenen VDE-Bestimmungen zugelassen, dass der Rückleiter im Querschnitt (PEN-, aber auch N-Leiter) reduziert ausgeführt werden kann. Durch die hohen, nicht sinusförmigen Belastungen kommt es zu einer Erwärmung/Erhitzung, die bis zum Abbrand des N-Leiters führen kann. Zusätzlich addieren sich die Rückleiterfrequenzen, die je nach Belastung Werte zwischen 50 Hz und 150 Hz annehmen können.

Vibrieren die N-Leiterdrähte durch die Stromkräfte mit bis zu 150 Hz, also 3 mal schneller als die Phasenleiter, so sind die mechanischen Anschlüsse der Drähte stärker belastet und können in Verbindung mit thermischen Wechsellasten früher altern.

In einigen EDV-Installationen ging dieser Vorgang bis zum Abbrand/Abriss des N-Leiters, so dass sich zusätzlich eine Sternpunktverschiebung einstellte. Die Folge davon war, dass die schwächsten Verbraucher einer langandauernden Überspannung ausgesetzt waren und „durchbrannten“.

Um derartige Effekte auszuschließen, ist es erforderlich, das Grundprinzip des geschlossenen Stromkreises wiederzubeleben und Versorgungseinrichtungen so zu gestalten, dass die zuverlässige Hin- und Rückführung des Stroms sichergestellt ist.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Energieerzeugung durch Induktion

Fließt durch einen elektrisch leitenden Draht ein Strom, so richtet sich, je nach Stärke des Stromes, ein elektromagnetisches Feld um ihn aus.

Die Verteilung von Eisenfeilspänen um einen stromführenden Draht zeigt das Magnetfeld [1].

Wirkt auf den gleichen Draht ein magnetisches Feld, so wird bei Bewegungen des Drahtes oder des Feldes eine Spannung in diesem induziert.

Induzierte Spannung bei bewegtem Magnet [1]

Dieser Induktionsvorgang ist abhängig vom magnetischen Fluss.

Induktionsgesetz: " Ändert sich der magnetische Fluss in einer Leiterschleife, so wird eine Spannung induziert."

Wechselstromgenerator

Das Induktionsprinzip wurde bereits 1867 zum Bau von elektrischen Generatoren genutzt (Siemens).

In einem Generator werden Spulen in einem Magnetfeld durch mechanische Kraft gedreht. In einer Spule wird entsprechend der Drehzahl, der Anzahl der Windungen und der Stärke des Magnetfeldes eine Spannung induziert.

Wechselstromgenerator [1].

Die Folge ist ein technischer Wechselstrom, dessen Verlauf eine Sinuskurve darstellt.

Wechselspannung durch Drehung [1].

Drehstromgenerator

Schon sehr früh erkannte man den Vorteil von Drehstromgeneratoren, da mit nur vier Leitern, je nach Beschaltung, zwei unterschiedliche Spannungen genutzt werden können.

Niederspannungsseitig werden zwischen den Außenleitern L1, L2, L3 heute 400 V und zwischen den Außenleitern L1, L2, L3, gegen N 230 V als Nennspannung betrieben. Der N-Leiter wird als Rückleiter zur speisenden Quelle genutzt und muss den vektoriellen Strom der drei Außenleiter aufnehmen.

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Anordnung der Drehstromspulen [2]

Die Spulen können in der Stern- oder in der Dreieckschaltung verknüpft sein.

Die Sternschaltung wird international wie folgt bezeichnet

Zur Energieerzeugung werden „große“ Synchronmaschinen als Generatoren genutzt. Die Kraft, um deren mechanischen Antrieb anzutreiben, wird aus den unterschiedlichen Primärenergien gewonnen.

Die Drehzahl des Generators bestimmt die Frequenz. In einer einpoligen Maschine wird bei 3000 U/min. eine Frequenz von exakt 50 Hz erzeugt. Die Dauer einer Schwingung beträgt 20 mS, entsprechend der Frequenz von 50 Hz in europäischen Versorgungsnetzen. Die Frequenzen 60 Hz sind in USA und Südamerika üblich. Historisch bedingt sind die Frequenzen 16 2/3 Hz für den Bahnbetrieb. In Sondernetzen für EDV-Anlagen und Flugzeugen sind auch 400 Hz zu finden.

Energiemix

Damit die Energie nach dem tages-/jahreszeitlichen Bedarf geliefert werden kann und die Frequenz stabil bleibt, sind im zentraleuropäischen Raum Energieverbundsysteme aufgebaut, die die verschiedenen Kraftwerksarten wie

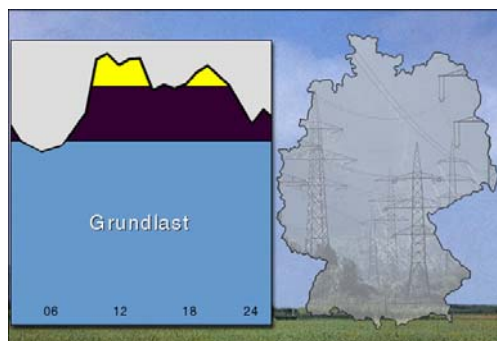
Wärme- und Wasserkraftwerke durch Rohstoffverbrennung (Stein- und Braunkohle, Erdöl und Diesel, Gas, Abgas, Atom)

Wasserkraftwerke (Spitzenlast und Dauerbetrieb)

Windkraftwerke

Solarkraftwerke

zielgerichtet zu- und abschalten oder „hochfahren“.



Elektrische Drehstromenergie lässt sich nicht direkt speichern, somit ist es erforderlich, dass je nach der Verbrauchssituation exakt soviel Energie produziert

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

wird, wie auch abgenommen werden kann. Die Grundlast wird hauptsächlich durch Wärmekraftwerke erzeugt, diese lassen sich nicht einfach an- und abfahren.

Zu Spitzenbedarfszeiten müssen daher kurzzeitig Gasturbinen und Wasserspeicherkraftwerke angefahren werden. In Schwachlastzeiten wird Wasser wieder in die dafür vorgesehenen Speicherbecken der Wasserkraftwerke gepumpt (Energiespeicherung).

Die kurzfristig zusätzlich benötigte Energie erfordert einen erhöhten Aufwand, der von den Energieversorgern den gewerblichen Abnehmern gesondert in Rechnung gestellt wird, wenn diese ihre vertraglichen Spitzenlasten länger als 10 bis 15 Minuten überschreiten.

Wasser-, Wind- und auch Blockheizkraftwerke werden durch die massiven Förderungen in den letzten Jahren verstärkt eingesetzt. Da sie aber nicht konstant nutzbar sind, ist ihr Einsatz in der Energieversorgung insgesamt noch gering. Die in von den Kleingeneratoren produzierte elektrische Energie wird in der Regel durch Drehstromasynchronmaschinen erzeugt, die ihre Frequenzstabilität aus dem übergeordneten Netz, in das sie einspeisen, erhalten.

Auch interessante Fernsehsendungen, z.B. Fußballweltmeisterschaften, treiben den Strombedarf kurzzeitig in die Höhe, so dass von den Energieversorgern der Bedarf nur innerhalb eines ausgetüftelten Systems (heute computergesteuert) durch Umschaltvorgänge in den 380 kV Schaltanlagen sichergestellt werden kann. Dadurch kann ein ökonomisch optimaler Energiemix gefahren werden. Für die Grundlast werden Kernkraft- und Braunkohlekraftwerke genutzt, für die Mittellast billige Steinkohle und Öl verheizt, für Spitzenzeiten teure Gas- und Pumpspeichieranlagen genutzt.

Störungen in der Energieerzeugung und Weiterleitung

Die Schaltanlagen sind untereinander durch Freileitungstrassen verbunden. Abhängig von der Jahreszeit kann es zu dem gefürchteten „Seiltanzen“ der Freileitungen durch Impulslasten und wetterbedingte Einflüsse kommen, die Kurzschlüsse produzieren können. In solch einem Fall oder auch bei einem Blitzeinschlag in die Freileitung, werden diese kurzzeitig freigeschaltet, geprüft und wieder zugeschaltet. Diese relativ kurzen Unterbrechungen (KU, 0,2 bis 0,4 Sekunden) werden vom Auge kaum wahrgenommen, bedeuten für elektronische Anlagen und Kondensatoren aber erhebliche Stresssituationen und eventuell Störungen. Anlaufströme belasten mit dem Faktor 6 bis 7 des Nennstromes das Netz. Einphasige Schaltnetzteile von Computern belasten bei einer KU sowohl die Phasen als auch den N-Leiter extrem. Dadurch kann es zu „Domino-Effekten“ kommen, indem unmittelbar nach einer KU ein erneuter Ausfall auftritt. Die Situation kann sich bis zu einem kompletten Ausfall (black out) aufschaukeln, so wie es 2001 in Kalifornien passierte, als die Energieversorger überlastet waren und der nächste Versorger die Last nicht übernehmen konnte.

Grundlagenkript zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Auch in größeren Bürokomplexen oder Krankenhäusern können durch den Ausfall von Transformatoren und nicht rechtzeitiger Übernahme der Netzersatzanlagen auf der Niederspannungsseite black outs auftreten.

Hochspannungsnetze

Jeder Schaltvorgang und jede Laständerung erzeugt in dem vorhandenen Energieverbund Netzurückwirkungen, die die Qualität der elektrischen Energie beeinflussen.

Damit das Energieverbundsystem funktioniert, und Energie/Leistung auf langen Leitungstrassen möglichst verlustarm „transportiert“ werden kann, wird die Spannung „hochtransformiert“, um die Stromverluste niedrig zu halten.

Höchstspannungsnetz 380 kV,
Hochspannungsnetz 110 kV,
Mittelspannungsnetz z.B. 30/20/10/6 kV

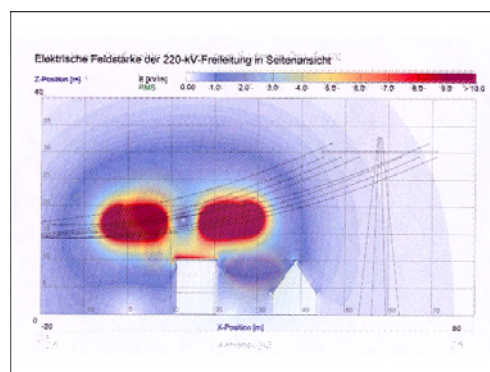
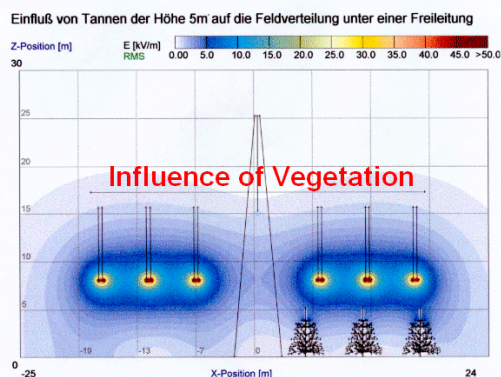
Bedingt durch die hohe Spannung entsteht zwischen den Freileitungen und der Erde ein höheres elektrisches Feld. Der Strom in der Freileitung ist dagegen relativ gering und erzeugt vergleichsweise niedrigere elektromagnetische Felder als eine Niederspannungsleitung mit hohem Strom.

Die Hochspannungsleitungen werden in der Regel im Dreieck geschaltet, so dass die Leistungsübertragung ohne einen erdbezogenen N-Leiter auskommt.

Je nachdem, wie die drei Leiter L1, L2, L3 in der Freileitungstrasse angeordnet sind, kommt es zur elektromagnetischen Beeinflussung bis zum Boden hin.

In der Praxis ist es günstiger, wenn die drei Leiter in einer Dreieckskombination angeordnet sind, da sich die Felder dann untereinander besser ausgleichen können. Hängen die drei Phasen untereinander, so wird das magnetische Feld bis nach unten gelenkt. Im Bodenbereich können Werte bis zu 6 bis 10 μ Tesla gemessen werden.

Im konkreten Fall musste unter solch eine Freileitung ein Bürogebäude gebaut werden. Logischerweise flimmerten die eingesetzten Farbbildschirme.



Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Niederspannungsnetze

Überwiegend wird im Niederspannungsbereich der Ortsnetze mit 400 V/230 V gearbeitet. Einige Industriezweige, wie Chemie und Petrochemie, nutzen außer der 400 V/230 V auch den Niederspannungsbereich 660 V für bestimmte Anlagen/Antriebe.

Die Energieübertragung erfolgt in ländlichen Gebieten heute noch durch Freileitungen, die über Dachständer eine Energieeinspeisung für das Gebäude realisieren. In den oberen Stockwerken dieser Gebäude sind daher relativ hohe elektromagnetische Felder mit bis zu 100 μ Tesla zu messen. Die Gefahr, dass in solchen Versorgungsgebieten Blitzeinschläge zu Schädigungen an elektrischen Einrichtungen führen ist relativ hoch, so dass Überspannungsableiter gegen ein stromtragfähiges Erdungssystem erforderlich sind.

Sind die Ortsnetze mit Erdkabeln ausgerüstet, so wären, wenn die Leistungen ausgeglichen sind, die magnetischen Felder in der Lage, sich innerhalb des Kabels auszugleichen und nach außen hin elektromagnetisch neutral zu erscheinen. Durch die Mehrfacherdung innerhalb eines TN-C-Systems wird dieses nicht erreicht.

Energieumwandlung durch Transformatoren

Zur Umspannung werden Transformatoren genutzt, die ebenfalls nach dem Induktionsgesetz arbeiten. In Abhängigkeit von der Windungszahl der Primär- und Sekundärspulen wird eine Leistung durch den magnetischen Fluss innerhalb des Eisenkerns transformiert.

Transformator mit magnetischem Fluss im Eisenkern [1].

Für Drehstromanwendungen sind drei Spulensysteme auf Eisenkernen aufgebaut, die je nach Schaltgruppe primärseitig im Dreieck und sekundärseitig im Stern geschaltet sein können.

Bezugssystem Erde

Sehr früh wurde erkannt, dass das feuchte Erdreich elektrisch leitend ist. Da im Hochspannungsnetz die Freileitungstrecken durch ihre parallellaufenden Drähte wie Kondensatoren wirken und in Verbindung mit Dämpfungsdrosseln und Transformatoren elektrische Schwingkreise mit Spannungserhöhungen auftreten können, wurde die Erde als Bezugssystem gewählt. Das gleiche Bezugssystem wird auch benötigt, damit bei Erdschlüssen Schutzgeräte und Schalteinrichtungen ansprechen können.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Im Niederspannungsbereich wurde das gleiche Erdsystem genutzt, um Schalteinrichtungen wie Sicherungen und Leistungsschalter zum Leitungsschutz auch als Sicherheitseinrichtungen gegenüber gefährlichen Berührungsspannungen ansprechen zu lassen.

Von der Deutschen Bahn wird aus historischen Gründen die Erde als Rückleiter für den 16 2/3 Einphasen-Bahnstrom genutzt und belastet damit das Erdungssystem in der Umgebung der Schienen. Gleiches gilt auch für elektrische Gleichstromstraßenbahnen.

Energieversorger

Die Energieerzeugung und -verteilung ist in Deutschland gesetzlich geregelt und wird monopolistisch von Energieversorgungsunternehmen (EVU) sichergestellt. Erst im Zeichen der EU wird in 1997 das Energiemonopol aufgeweicht, indem Großbetriebe direkt mit Nachbar-EVU's (anderer Länder, hauptsächlich Frankreich) Stromlieferverträge abschließen können.

Von den EVU's wird lt. Energiewirtschaftsgesetz und der Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Elektrizitätsversorgung von Tarifkunden die Stabilität der Netzverhältnisse gewährleistet. Die Stabilität liegt bei normalen Netzverhältnissen bei +/- 1,5% bis 4% der Nennwerte der Spannung und ist den Festlegungen in den AVBEltV, TAB und DIN 18015, Teil 1, zu entnehmen. Für die Mehrheit der elektrischen Verbraucher sind diese Netzqualitäten ausreichend.

Gesamtenergie wirtschaftlich verbrauchen elektronische Anlagen ca. 4% bis 5% der hergestellten Energie. Das bedeutet, dass für die EVU's in der Regel noch immer kein Handlungsbedarf besteht, die Netzverhältnisse über die angegebenen Werte hinaus zu verbessern. Nach der VDEW Prognose aus dem Jahre 1996 über die Entwicklung des Haushaltsstromverbrauchs für das Jahr 2010 werden sich die Verbrauchsverhältnisse deutlich ändern:

Verringerung des Strombedarfs von Kühl- und Gefriergeräten um 25%
Anstieg des Strombedarfs im Bereich Audio, Video, Computer um 40%
Erhöhung des Marktanteils von Energiesparlampen auf 50%.

Das heißt, die dämpfenden, linearen Verbraucher gehen zurück; die aggressiven Schaltnetzteile = nicht linearen Verbraucher werden zunehmen und die Niederspannungsnetze stärker und anders belasten. Lastreduzierungsfaktoren für Transformatoren, Leitungen und Übertragungseinrichtungen, als sogenannter k-Faktor, müssen stärker beachtet werden.

Empfindliche und wichtige Elektronik-Anlagen müssen an die bestehenden Verhältnisse angepasst und die Netzqualität, falls erforderlich, durch Zusatzanlagen

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

(z.B. USV Anlagen, Spannungskonstanthalter oder Störschutzfilter) verbessert werden.

Zum Beispiel wird im herausgegebenen Musterwortlaut der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V. -VDEW- vom Nov. 1984 ausgeführt, dass bei Anschluss von spannungs- und frequenzempfindlichen Betriebsmitteln, wie Nachrichtengeräte, vom Kunden Maßnahmen zur Verhinderung von Schäden zu treffen sind.

Die Verantwortung für Energieerzeugung und Fortleitung bis zu dem Hausanschluss ist den EVU's übertragen und durch Stromlieferverträge geregelt. Ab dem Hausanschluss ist der Betreiber für die elektrische Anlage verantwortlich.

Belastungsarten

Ohmsche Verbraucher

In technischen Wechselstromkreisen sind bei einer reinen ohmschen Belastung die Kurvenverläufe zwischen Strom und Spannung theoretisch deckungsgleich und sinusförmig.

Die Leistung entspricht der Wärmeleistung mit dem $\cos \phi = 1$.

Bereits durch die Leitungsführung können aber schon leicht induktive und kapazitive Belastungsanteile auf einen ohmschen Verbraucher wirken. Die klassischen ohmschen Verbraucher sind Glühlampen, widerstandbehaftete Verbrauchsgüter, wie Bügeleisen, Herde und Heizgeräte.

Technischer Wechselstrom einer ohmschen Belastung [2].

Spulen und Kondensatoren bewirken eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung, die mit $\cos \phi$ als Leistungsfaktor bezeichnet wird.

Induktive Verbraucher

Ein Transformator oder ein Motor besteht aus einer Anordnung von Spulen, die bei dem Anlegen an eine Wechselspannung einen induktiven Widerstand darstellen. Der Strom benötigt „ein wenig“ Zeit um durch die Spule zu fließen und ein elektromagnetisches Feld aufzubauen. Aus diesem Grunde „eilt“ der Strom der Spannung nach (theoretisch 90° nacheilend). Durch ohmsche Anteile der Spulen kann dieser Wert schwanken.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Typische induktive Verbraucher sind z.B. Antriebsmotore, jegliche Art von Transformatoren der Leistungs- und Unterhaltungselektronik und Drosseln von Leuchten.

Motoren haben im direkten Einschalten einen 5- bis 7-fachen Anlaufstrom gegenüber dem Normalbetrieb.

Technischer Wechselstrom einer induktiven Belastung [2].

Transformatoren stellen im Leerlauf und Überlastbetrieb eine besondere Belastung für das speisende Netz dar. Durch die Fluss- und Spannungsverkettung (magnetische und elektrische Verkettung) ist die Stromaufnahme nicht mehr sinusförmig, so dass Oberschwingungen = höhere Harmonische entstehen. Die Ursache der Oberschwingungen liegt in der nicht linearen Magnetisierungskennlinie des realen Transformators in Verbindung mit seiner Beschaltung.

In der Praxis sind höhere Abweichungen von der Sinusschwingung des Stromes bei Trockentransformatoren als bei gekapselten Öltransformatoren festzustellen.

Kapazitive Verbraucher

Netzkondensatoren, z.B. für Entstöreinrichtungen und Kompensationsanlagen, aber auch Zwischenkreiskondensatoren in Schaltnetzteilen speichern durch ihre Bauform und gegenüberliegenden „Flächen“ elektrische Energie.

Bei dem ersten Anlegen einer Wechselspannung stellt der Kondensator theoretisch gegenüber dem Wechselstromnetz einen Kurzschluss dar.

Der Strom „eilt“ der Spannung 90° voraus (wobei auch dieser Wert schwanken kann).

Typische kapazitive Verbraucher sind Kondensatoren in zentralen Kompensationsanlagen und Einzelkondensatoren, z.B. in Leuchten.

Technischer Wechselstrom einer kapazitiven Belastung [2].

Innerhalb von Kondensatorgruppen kann es vorkommen, dass einige Kondensatoren defekt sind, Wirkleistung aufnehmen und damit Wärme erzeugen bis zur Selbstzerstörung bzw. Selbstabschaltung. In diesem Moment ist die Stromaufnahme des Kondensators nicht mehr linear vorausseilend, sondern auch hier sind Oberschwingungen in der Praxis festzustellen (siehe auch Abschnitt Kompensationsanlagen).

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Nicht lineare Verbraucher

Mit Einzug der Elektronik war es möglich, aus der Sinusspannung innerhalb der 20 mS einer Wechselspannungskurve mit Halbleiterbauelementen wie Gleichrichtern, Thyristoren, Triac, Transistoren und MOS FET die Stromaufnahme zu manipulieren. Damit konnte die Leistungsaufnahme von Glühlampen und Wärmegeräten bis zur Nennaufnahme gezielt „variiert“, Motoren in ihrer Drehzahl verändert und Gleichströme relativ verlustfrei aus der Wechselspannung erzeugt werden.

Einweggleichrichtung

Im einfachsten Fall der Manipulation an der Sinusspannung schneidet eine Diode eine Halbwelle der Sinusspannung ab (Einweggleichrichtung). In Folge davon „lückt“ der Strom, so dass nur der positive Ladungstransport wirkt. Der Strom ist nicht mehr sinusförmig und erzeugt Oberschwingungen. Diese Art der Leistungssteuerung mit 50%iger Leistungsreduktion wird für einfache Haushaltsgeräte, wie Fön oder Absorberkühlschrankheizung genutzt, aber auch für Netzteile mit Spannungsumschaltung zwischen 110 V und 230 V.

Zweiweggleichrichtung mit Kondensator

Die Zweiweggleichrichtung mit Glättungskondensator nutzt vier Dioden, die aus der Wechselspannung eine Gleichspannung erzeugen. Parallel zu der erzeugten Gleichspannung ist ein Kondensator geschaltet, der den Gleichstrom speichern kann. Durch Verluste des realen Kondensators müssen die Gleichrichter den Kondensator immer nur nachladen, aber nicht vollständig aufladen (Entladungsausgleich).

Infolgedessen sind auf der Netzteileneingangsseite im Leerlauf noch Sinusschwingungen zu messen, die bei Belastung bis zu einem gekappten Trapezstrom reichen. Die Stromaufnahme ist exakt dort am Höchsten, wo das Spannungsmaximum bei 90° und –Min. bei 240° auftreten. Im Bereich von 180° und 360° „lückt“ der Strom und ist damit nicht mehr linear zum Verlauf der Sinusspannung.

Schnelle Leistungselektronik

Wenn Thyristoren und sonstige Halbleiter die Sinusschwingung der Spannung anschneiden, sind die Ströme weit von einer Sinusschwingung entfernt, aber immer noch periodisch.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Durch eine Fourier-Analyse, die Herr Jan Baptiste (1768 – 1830) 1822 erstmalig durchführte, kann rechnerisch nachgewiesen werden, dass in nicht sinusförmigen aber periodischen Kurvenverläufen Anteile von harmonischen Kurvenformen (sinusförmig) enthalten sind. Die Rechenoperation zerlegt den nicht sinusförmigen Verlauf einer Schwingung (dabei kann es sich um Strom- oder auch um Spannungsverläufe handeln) in Grundschwingungen und Oberschwingungen, die jeweils ein ganzzahliges Vielfaches von der Grundschwingung haben.

In Form eines Balkendiagramms wird das Verhältnis der Oberschwingung zur Grundschwingung als Linienspektrum dargestellt.

Messung von Oberschwingungen

„Normale“ Messgeräte sind auf den Effektivwert einer Sinusspannung kalibriert. Der Echt-Effektivwert (RMS = root mean square) eines Wechselstromes oder einer Wechselspannung entspricht dem Heizwert eines Gleichstromes oder einer Gleichspannung.

Sind die Ströme oder Spannungen nicht sinusförmig, so ergeben sich mit „normalen“ Messmitteln krasse Fehlmessungen. Besonders dann, wenn das Verhältnis vom Spitzen- zum Effektivwert als Scheitelfaktor = Crestfaktor hoch ist, werden zu niedrige Messwerte angezeigt.

Die RMS-Messgeräte zerlegen eine Sinusschwingung in ihre Bestandteile und errechnen so den Echt-Effektivwert.

Mit modernen Messmitteln lassen sich heute sowohl die vorhandenen Kurvenformen der Spannung als auch die der Ströme aufnehmen und direkt in einem Linienspektrum darstellen.

Im technischen Wechselstromnetz kommen fast nur ungradzahlige Oberschwingungen vor. Die Grundschwingung ist durch die Anbindung an die Netzfrequenz mit 50 Hz festgelegt, daraus folgt die dritte Oberschwingung mit 150 Hz, die fünfte Oberschwingung mit 250 Hz usw..

Im anglo-amerikanischen Raum, aus dem die Mehrheit der Meßsysteme stammen, hat sich der Begriff THD (T=Total, H=Harmonic, D=Distortion) durchgesetzt, der als Faktor zwischen Klirrfaktor und Grundschwingungsgehalt fungiert (Faktor 1 = keine Oberschwingungen). Höhere Faktoren als 1 (bis über 100) zeigen die Abweichung von der Grundschwingung 50 Hz an.

Im Idealfall werden vom Generator exakt 50 Hz Wechselspannung mit genügender „Spannungssteifigkeit“ durch große Leistung erzeugt. Auch bei einem nicht linearen Verbraucher, der den Stromverlauf „verbiegt“, wird die Spannung nach wie vor exakt sinusförmig sein, d.h. Spannung = Faktor THD 1, Strom = z.B. Faktor THD 30. Der

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Strom kann hier noch nicht die Spannung beeinflussen. Der nicht harmonische Strom belastet aber Leitungen, Schalter und auch Kontakte durch die zusätzliche Verzerrungsleistung. Diese liegt höher als bei einem rein linearen Strom, hat höhere Verluste durch Skineffekte und Wirbelströme und ist proportional zum Quadrat der Frequenz. Die Folge davon sind z.T. Überhitzung oder sogar Abbrennen von Leitungen. Die Dimensionierung von elektrischen Anlagen, die durch nicht lineare Stromverbraucher wie Schaltnetzteile von Computern und Elektronik-Systemen, Vorschaltgeräte von Beleuchtungen, Büromaschinen und regelbare Motoren belastet werden, erfordert besondere Aufmerksamkeit bereits bei der Planung. Da diese Verbraucher in der Regel einphasige Verbraucher sind, belasten die nicht sinusförmigen Ströme in einem Dreiphasen-Wechselstromnetz den N-Leiter mit dem gleichen Stromladungstransport, wie er auf dem jeweiligen Außenleiter fließt. Das heißt: im Sternpunkt einer Verteilung heben sich die Ströme nicht wie bei linearen Verbrauchern auf, sondern werden mit einem Versatz von jeweils 120° über den N-Leiter geschickt. Auf dem N-Leiter können nun 50 Hz bis 150 Hz Stromanteile, je nach der Belastung, gemessen werden.

In der Realität finden sich aber, bedingt durch Transformatoren, lange Leitungen und Unterverteilungen Verbraucherinstallationen, die nicht genügend „spannungssteif“ sind. Durch die nicht sinusförmige Belastung des Stromes „knickt“ der Netzsinus der Spannung ein und verändert sich ebenfalls in einen nicht sinusförmigen Spannungsverlauf. Statt der ursprünglich guten 50 Hz = Faktor THD 1, für die alle Verbraucher ausgelegt sind, können sich höhere Faktoren, z.B. 3 bis 5 THD, einstellen. Das heißt: zusätzliche Frequenzen überlagern die 50 Hz als Rückwirkung und die so veränderte Spannung mit zusätzlichen Frequenzanteilen wird nun allen Verbrauchern gemeinsam angeboten.

Die zusätzlichen Frequenzanteile wirken auf die frequenzabhängigen Bauelemente wie Spulen und Kondensatoren und verändern deren Betriebsverhalten. Kondensatoren ziehen dann höhere Ströme und altern schneller, da sie wärmer werden.

Ab einem Abweichungsfaktor THD 4 bis 5 auf dem Spannungsverlauf muss mit Störungen an elektrischen und elektronischen Geräten gerechnet werden.

Die Effekte durch Oberschwingungen lassen sich unterscheiden in

Momentaneffekte

Fehlfunktionen von elektronischen Steuerungen, da die Schaltbedingungen für Thyristoren und Transistoren nicht gegeben sind (Schnittpunkt der Folgephasen stimmen nicht mehr, Wechselrichtertrittgrenzen werden überschritten).

Fehlanzeige von Messgeräten, Messwertaufnehmern und Stromzählern.

Messwertverfälschung durch überlagerte Frequenzen.

Störung von Datenübertragung.

„Übersprechen“ und Interferenzprobleme in Telefonleitungen.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Mechanische Vibrationen in Transformatoren und Motoren.
Höhere Geräusche an Eisenblechpaketen (brummen und knurren).

Langzeiteffekte

Überhitzung von Kondensatoren der Netzentstörfilter von Elektroniksystemen.
Überhitzung von Blindleistungskondensatoren.
Bildung von Resonanzkreisen bei verdrosselten Kompensationsanlagen.
Erwärmung von Leitern und Wicklungen. Dadurch Reduzierung der Leistung und Lebensdauer.
Auslösen von Sicherungen.
Rückwirkungen auf das Erdungssystem durch erhöhte N-Leiterströme.

Energieverteilung

Von der Erzeugung bis zu den Endverbrauchern hat die elektrische Energie bereits eine lange Übertragungsstrecke hinter sich gebracht und dabei verschiedene Spannungsstufen durchlaufen.

- Vom Generator zum Transformator
- Höchstspannungs-Verbundnetze 380 kV
- Hochspannungs-Verbundnetze 110 kV
- Mittelspannung 30 bis 6 kV bis zum Niederspannungstrafo 0,4 kV
- Niederspannungstrafo 0,4 kV über Verteilungssysteme zum Endverbraucher 230 V.

Der Strom fließt immer von der speisenden Quelle zwangsweise auch wieder zum Ausgangspunkt als geschlossener Kreislauf zurück. Er verteilt sich nach den Kirchhoffschen Gesetzen.

Der Weg des Rückleiterstroms zurück zur Quelle hängt von der verwendeten Schaltungsart und dem eingesetzten Netzsystem ab.

Die Hochspannungsübertragung erfolgt in der Regel in einer Dreiecksschaltung, die keine Betriebsströme über das Erdungssystem duldet, d.h. auch die Rück- und Ausgleichsströme bleiben auf den dreipoligen Leitersystemen der Energieübertragung. Bei Störungen im Betrieb, z.B. Erdschluss oder Verlust der Isolationsfähigkeit von Freileitungen, müssen aufwendige Schutzeinrichtungen präzise ansprechen. Hochspannungseinrichtungen lassen sich nicht durch einfache Schmelzsicherungen schützen.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Die betrieblichen Schutzeinrichtungen, wie

Generatorschutz durch

- Wicklungsschluss-,
- Überstromzeit-,
- Ständererdschluss-,
- Schiefelastschutz

Transformatorschutz durch

- Differential-,
- Buchholz-,
- Überlastschutz durch
- Temperaturüberwachung,
- Überspannungsschutz

Leitungsschutz durch

- Anregelkreis (Überstromanregung Spannungserniedrigung, Widerstandserniedrigung)
- Arbeitskreis Auswertung der Anregelkreise und Fehlererkennung)
- Betätigungskreis (Auslösung von Leistungsschaltern unter Berücksichtigung von Selektivität und Zeitstaffelung)

werden zu einem sinnvollen Gesamtkonzept zusammengestellt und für das Versagen einer Schutzeinrichtung sind Reserveschutzeinrichtungen vorgesehen. Die Instandhaltung dieser komplexen Sicherheitseinrichtungen ist arbeits- und kostenintensiv.

In diesen beschriebenen Sicherheitskreisen mit Schutzeinrichtungen sind hohe Spannungen, aber nur kleine Ströme zu beherrschen.

Anders sieht die Situation im Sekundärbereich der Niederspannungsanlagen aus. Hier fließen hohe Ströme bei einer Spannung von nur 400 V Phase gegen Phase und 230 V gegen Erde, wenn der Sternpunkt des Trafos starr mit dem Erdungssystem wie im TN- und TT-System verbunden ist.

Leitungsschutz durch Abschaltung

Um einen Brand oder Schädigungen der Leitungen, Schalteinrichtungen und Transformatoren zu verhindern, werden in die drei Außenleiter eines Stromkreises „Sollbruchstellen“ in Form von Leistungsschaltern oder Schmelzsicherungen eingebaut, die bei einem zu hohen Stromfluss im Millisekundenbereich den defekten

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Stromkreis freischalten sollen. Die in der Energierichtung vorgelagerten Schutzeinrichtungen dürfen aber nach den Staffel- und Selektivitätsbetrachtungen noch nicht abschalten, damit andere Verbraucher weiter betrieben werden können. Stimmen die Abschaltbedingungen in Richtung des Energieflusses nicht, so kann es vorkommen, dass übergeordnete Schutzeinrichtungen unnötigerweise abschalten und größere Störungen verursachen.

Zur sicheren Abschaltung ist es notwendig, dass eine Kurzschlussleistung zur Verfügung steht, deren Kurzschlussstrom im Fehlerfall kurzzeitig so hoch wird, dass eine Sicherung durchschmelzen kann. Die Grundidee liegt darin, dass die Leitungen gegen zu hohe Temperaturen in Folge des Stromflusses geschützt werden.

Liegt ein indirekter oder unvollkommener Kurzschluss (z.B. Lichtbogen) vor, können die Schutzorgane trotz ausreichender Kurzschlussleistung und Leitungsdimensionierung nicht wie vorgesehen wirken. USV- und Netzersatzanlagen verfügen in der Regel über relativ kleine Kurzschlussleistungen, so dass der Leitungsschutz in Frage gestellt sein kann.

Es bedarf einer exakten Dimensionierung der Abschaltbedingungen (Schutz durch Abschaltung); dies erfordert Kenntnisse der Randbedingungen.

Die Auswirkung von Isolationsfehlern hängt entscheidend ab von der verwendeten Netzform und der dazugehörigen Schutzeinrichtung. Schutzeinrichtungen sind in der VDE 0100 Teil 300 und Teil 410 definiert. Es wird zwischen geerdeten TN- und TT-System und ungeerdeten IT-System unterschieden.

Der „vergessene“ Leiter N

Der Rückleiter (im anglo-amerikanischen: return) zum Sternpunkt war früher nur gering belastet und wurde deshalb als Nulleiter bezeichnet. Erst mit der Umstellung der VDE-Vorschriften nach EU-Richtlinien wurde aus dem Nulleiter ein Neutralleiter.

Die Begriffe werden heute nebeneinander verwendet, ohne dass vielfach die Bedeutung des Rückleiters – Neutralleiters (N) bewusst wird.

Durch den sorglosen Einsatz von PEN-Leitern, deren Funktion durch die einphasigen Verbraucher zum „NPE“ geworden ist, wurde der geschlossene elektrische Stromkreis mit seinem Rückleiter N vergessen. Der Rückleiterstrom kann so über unbeabsichtigte Bypässe zur Einspeisestelle zurückfließen.

In Schaltschränken sind mehrheitlich die Außenleiter in einem Schienensystem im oberen Teil des Schrankes übersichtlich angeordnet. Der Rückleiter (Neutralleiter N) ist „stiefmütterlich“ behandelt und die Neutralleiterschienen findet sich meist unzugänglich und räumlich weit von dem Schienensystem der Außenleiter entfernt im unteren Bereich des Schaltschranks.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Dadurch bilden sich „riesige“ elektromagnetische Felder, die vergrößert werden, wenn der N gemeinsam mit dem PE als PEN geführt wird und direkt auf das metallische Schaltschrankgehäuse geschraubt ist. Die Arbeitsströme fließen dann als Teilströme direkt über das Gehäuse der Metallschaltanlagen.

Die Messmöglichkeiten am N/PEN oder deren Verbindungspunkt sind zusätzlich eingeschränkt, wenn die („ge PEN ten“) Schaltanlagen auf geerdeten Stahlgerüsten stehen.

Forderungen aus EMV-Sicht

In den Niederspannungshauptverteilungen muss in jedem Netzsystem eine ausreichend dimensionierte isolierte N-Leiterschiene in der Nähe der Außenleiter angeordnet werden, damit die elektromagnetischen Felder relativ klein bleiben.

Der PE sollte möglichst niederohmig im unteren Teil des NSHV zugänglich angeordnet sein. Für die Kabelabgänge wird der N in der Nähe der jeweiligen Außenleiterstränge, die über Sicherungen oder Schalter verlaufen, bis auf die Abgangsklemmen mitgeführt, damit auch in den Abgängen die elektromagnetischen Felder geringer werden. Große Abstände zwischen den Phasen und N generieren hohe Einkopplungen.

TN-Systeme des Endkunden, die mehrere Transformatoren und Netzersatzanlagen als Speisequelle nutzen, müssen zur Realisation des TN-S-Systems die Sternpunktverbindung in der geometrischen Lastmitte der Einspeisungen an einer Stelle in der NSHV haben. Diese Verbindung muss im Fehlerfall „Erdschluss“ den vollen Kurzschlussstrom tragen können. Der Verbindungspunkt sollte zweckmäßiger Weise mit einem RCM Schutzgerät dauerhaft überwacht werden, um rechtzeitig Fehler melden zu können.

Hochspannungseinspeisung

Wird vom EVU Hochspannung geliefert, muss die Hochspannung in einem kundeneigenen Trafo oder auch Trafogruppen in Niederspannung umgewandelt werden. Die Trafos liegen im Verantwortungsbereich des Betreibers und die Erfassung des Energieverbrauchs erfolgt hochspannungsseitig, so dass die Verlustleistungen der Transformatoren mit erfasst werden. Das Erdungssystem für die elektrische Anlage, die Art der Leitungsführung, Anzahl und Größe der Unterverteilungen kann vom Planer/ Betreiber im Rahmen der anerkannten Regeln der Technik gewählt werden.

Leider sagen VDE-Bestimmungen nichts darüber aus, wie der Betreiber bei Parallelschaltungen mehrerer Transformatoren die Trafosternpunkte mit der Niederspannungshauptverteilung koordinieren soll. Daher wird das Prinzipschaltbild

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

aus der VDE 0100 genutzt und in der Regel jeder Trafo und NEA nach dem TN-C-System für sich mit dem Sternpunkt geerdet, PE und N gemeinsam als PEN auf die Niederspannungshauptverteilung geführt und dort an der PEN-Schiene nochmals mit dem Erdungssystem verbunden. Die Folge davon sind vagabundierende, oft sehr hohe N-Leiter-Kreisströme (bis 200 A, in der Praxis in einem Krankenhaus gemessen), die sich über das gesamte Erdungssystem eines Geländes/Gebäudes verteilen.

Grundsätzlich muss bereits ab der Einspeisestelle ein TN-S-System realisiert werden, da im Falle der Verwendung eines PEN, und sei es nur für wenige Meter, die N-Leiterströme nicht mehr von dem Erdungssystem zu eliminieren sind.

Niederspannungseinspeisung

Wird vom EVU direkt Niederspannung geliefert, erfolgt die Einspeisung am Hausanschlusskasten. Innerhalb des Ortsnetzes obliegt es dem EVU, das kostengünstigste und nach Sicherheitskriterien optimale Netz (Strahlennetz, Ringnetz, Maschennetz) mit entsprechenden Trafostationen einzusetzen.

Die Netzform wird so ausgewählt, dass nach Auftreten einer Störung das gestörte Netzelement schnell herauszuschalten ist und nach kürzester Zeit die Versorgung aller übrigen Verbraucher sichergestellt werden kann. In der Regel handelt es sich um ein Drehstromsystem mit den drei Außenleitern und einem Rückleiter, der entweder als reiner N (im TT-System) oder als PEN (im TN-C-System) fungiert. In beiden Systemformen ist der Sternpunkt der Sekundärwicklung des Trafos mit dem Erdungssystem der Trafostation des EVU's verbunden.

Im TN-System wird vom EVU der Rückleiter (N) aus Sicherheitsgründen mehrfach mit den vorhandenen Erdungssystemen verbunden und damit als TN-C-System geführt. Am Trafosternpunkt wird der Rückleiter (N) erstmalig an das dortige Erdungssystem angeschlossen, an jedem Verteilungs- und Hausanschlusskasten erfolgt ebenfalls eine Verbindung zwischen Erde (PE) und dem Rückleiter (N), so dass ein gemeinsamer PEN-Leiter gebildet wird. Durch diese Parallelschaltung aller Erdungssysteme soll sichergestellt werden, dass der am Hausanschlusskasten ankommende PEN im niederohmigen Bereich um 2 Ohm liegt und bei einem Erdschluss der Außenleiter gegen das Erdungssystem einfache Schmelzsicherungen sicher auslösen können. Das System „Schutz durch Abschaltung“ soll gleichzeitig die Leitungen schützen und die Berührungsspannung an geerdeten, metallischen Gehäusen auf eine für Personen ungefährliche Spannung von unter 50 V begrenzen. Der Erder (PEN) wird durch das EVU mitgeliefert.

Im TT-System wird vom EVU nicht garantiert, dass am Hausanschlusspunkt der N-Leiter gegenüber dem dortigen Erdungssystem niederohmig genug ist. Das TT-System wird in ländlichen Gebieten mit langen Leitungen bevorzugt.

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Der Kunde hat in jedem Fall für sein Erdungssystem und die Abschaltbedingungen für den Leitungsschutz und den Personenschutz Sorge zu tragen. Da das Erdungssystem der Kundeninstallation in Abhängigkeit von den geografischen Gegebenheiten nicht dauerhaft bei ca. 2 Ohm sichergestellt werden kann, werden in der Regel vom EVU FI-Schutzschalter für Wohngebäude vorgeschrieben.

Der Betreiber ist ab dem Hausanschlusspunkt für die Art der Leitungsführung und Anzahl und Größe der Unterverteilungen verantwortlich.

Allerdings gibt ihm das EVU durch die Technischen Anschlussbedingungen TAB die Netzform und die Mindestanforderungen an die elektrische Anlage im Rahmen der anerkannten Regeln der Technik vor.

Netzsysteme nach VDE 0100

Die DIN VDE 0100 Teil 410 vom Januar 1997 definiert drei grundlegende Netzformen und richtet sich bei der Klassifizierung nach den Erdungsbedingungen auf Versorgungs- und Verbraucherseite. Die Netzformen werden durch einen Buchstabenschlüssel gekennzeichnet, in dem die verwendeten Buchstaben folgende Bedeutung haben:

Der erste Buchstabe betrifft die Erdungsbedingungen der speisenden Stromquelle.

- T direkte Erdung eines Punktes
- I Isolierung aller aktiven Teile von der Erde oder Verbindung eines Punktes mit Erde über eine Impedanz

Der zweite Buchstabe betrifft die Erdungsbedingungen der Körper der elektrischen Anlage:

- T Körper direkt geerdet, unabhängig von der gegebenenfalls bestehenden Erdung der Stromquelle
- N Körper direkt mit dem Betriebserder verbunden (der geerdete Punkt ist in Wechselspannungsnetzen im allgemeinen der Sternpunkt)

Zusätzliche Buchstaben kennzeichnen die Anordnung des Neutral- und des Schutzleiters:

- C Neutralleiter und Schutzleiter sind in einem Leiter kombiniert (combined)
- S Neutralleiter und Schutzleiter sind getrennt (separated)

Grundlagenkript zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

TN-Netze

Die Gemeinsamkeit aller TN-Netze besteht darin, dass ein Punkt direkt geerdet ist (Betriebserder). Differenzierungen ergeben sich aus der Anordnung von Neutral- und Schutzleiter.

TN-S-Netz

Im TN-S-Netz werden Neutral- und Schutzleiter im gesamten Netz getrennt geführt.

Grafik Dipl.-Arb. Thur, S. 9

TN-C-Netz

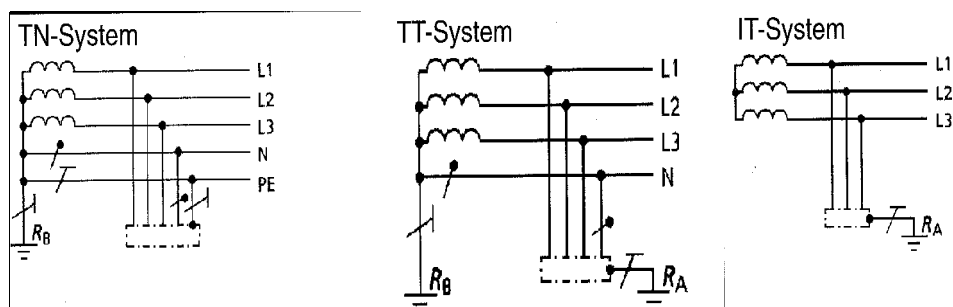
Im TN-C-Netz sind Neutral (N)- und Schutzleiter (PE) im gesamten Netz zusammengefasst und werden in einem gemeinsamen Leiter als PEN-Leiter geführt.

Grafik Thur, S. 10

TN-C-S-Netz

In dieser Netzform sind die beiden vorgenannten Netzformen kombiniert: in einem Teil des Netzes werden Schutzleiter und Neutralleiter getrennt geführt, in einem anderen Teil verlaufen beide auf einem gemeinsamen Leiter (PEN).

Grafik Thur, S. 10



Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Netzformen nach VDE 0100 Teil 410: 1997-01 [3]

Stromquelle

Das T steht für Terra "direkte Erdung eines Punktes", das I steht für Isolation "Isolierung aller aktiven Teile gegenüber Erde oder Verbindung eines aktiven Teiles mit Erde über eine Impedanz/Widerstand".

Verbraucher

Das T steht für "Körper direkt geerdet, unabhängig von der gegebenenfalls bestehenden Erdung der Stromquelle".

Das N steht für "Körper direkt mit dem Betriebserder verbunden" (in Wechselspannungsnetzen ist der geerdete Punkt im allgemeinen der Sternpunkt).

Verbraucheranlagen mit TN-Systemen gemäß VDE 0100 Teil 300 6.2.1

„In TN-Systemen ist ein Punkt direkt geerdet (Betriebserder) (312.2.1)“.

Diese Grundvoraussetzung wird im nachfolgenden Text der VDE Bestimmung verwässert und der Begriff des PEN-Leiters eingeführt. Außerdem wird in dem Prinzipschaltbild für das TN-C-S-System, welches nur hinweisenden Charakter hat, vergessen, dass in der nachgeschalteten Verbraucheranlage nach dem PEN wieder PE nach PA Verbindungen vorhanden sind, die eine Aufteilung der Rückleiterströme bedingen.

Beim Betrieb eines TN-Systems wird die Führung der Neutralleiter N und Schutzleiter PE durch weitere Buchstaben gekennzeichnet.

S steht für "Neutral- und Schutzleiter als zwei (s)eparate Leiter ausgeführt", C für "Neutral- und Schutzleiter zu einem Leiter, dem PEN-Leiter, (c)ombiniert".

In der täglichen EDV-Praxis sind in der Regel aber TN- und TT-Systeme gebräuchlich und dann schadensträchtig, wenn sie nicht sauber aufgebaut sind.

TN-System (Terra Neutral)

TN-S-System (In einer elektrischen Anlage durchgängiges Fünfleitersystem)

Netzformen nach VDE 0100 Teil 410 [3]

Transformator / Neutralleiter direkt am Einspeisepunkt geerdet (Betriebserder).

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Körper über Schutzleiter mit dem Betriebserder verbunden.
Schutz- und Neutralleiter im gesamten Netz als zwei separate Leiter ausgeführt.

Der Schutz bei indirekten Berührungen muss gemäß VDE 0100 Teil 410 durch die Überstromschutzvorrichtung sichergestellt werden, damit keine höheren Werte als die dauernd zulässige Berührungsspannung von 50 V Wechselspannung bestehen bleiben kann. Das heißt, die Auslösecharakteristik der Sicherung in Kombination mit der Kurzschlussleistung des Netzes und der zulässigen Kabellänge müssen so dimensioniert werden, dass eine sichere Abschaltung in der von der Norm vorgegebenen Zeit (0,2/ 0,4 / 5 Sek.) gewährleistet ist. Diese Abschaltbedingungen werden im konkreten Schadenfall oftmals nicht erreicht, da die Kurzschlüsse nicht vollständig sind oder durch Wirkwiderstände oder Leitungen der Strom nur bis unterhalb des Zeit/Strom-Diagramms abläuft, so dass nicht abgeschaltet wird.

Auf dem PE dürfen in der EDV-gerechten Netzform keine Ströme im Bereich 16 2/3 bis 300 Hz fließen. Höhere Frequenzen, die z.B. über die Netzfilter ausgekoppelt werden, sollen möglichst niederohmig ins Erdreich geführt werden.

Trotz eines geplanten und vermeintlich realisierten TN-S-Systems fließen in vielen elektrischen Anlagen durch Fehler im System und Brücken zwischen N und PE unbemerkt z. T. erhebliche Ströme auf dem Erdungssystem.

Feuchtigkeit oder direkte Wasserberührung zwischen den aktiven Leitern L1, L2, L3 und N oder Isolationsfehler (beginnendes Durchbrennen einer Spule oder Motors) werden nicht erkannt oder der Fehlerstrom liegt unterhalb der Auslösekennlinie des Schutzorgans, so dass nur ein scheinbarer Schutz vorhanden ist. 50 V Berührungsspannung an einem Gehäuse, welches über Datenleitung mit einem zweiten verbunden ist, schädigen bereits die erdgebundenen Schnittstellen. Im Abschaltmoment bis eine Schutzorgan abschaltet (0,2 bis 5 Sek.) können erhebliche Überspannungen auftreten.

Trotzdem ist ein sauberes TN-S-System, welches zusätzlich permanent überwacht wird, die kostengünstigste und sicherste Netzform für EDV-Systeme.

Mit zwei RCM (Residual Current Monitor) Überwachungseinrichtungen könnte wie bei einem Fehlerstromschutzschalter RCD (Residual Current Device) zum einen mit der ersten Einrichtung der Fehlerstrom festgestellt und nach vorausbestimmbaren Kriterien eine Abschaltung erfolgen, zum anderen könnte mit dem zweiten RCM Gerät die Stromfreiheit des PE permanent überwacht werden.

Der N-Leiter sollte in keinem Fall mit einem reduzierten Querschnitt ausgeführt werden, da er durch einphasige, nicht lineare Lasten hohe Ströme mit 150 Hz Anteilen aufnehmen muss.

Grundlagentext zum Seminar:

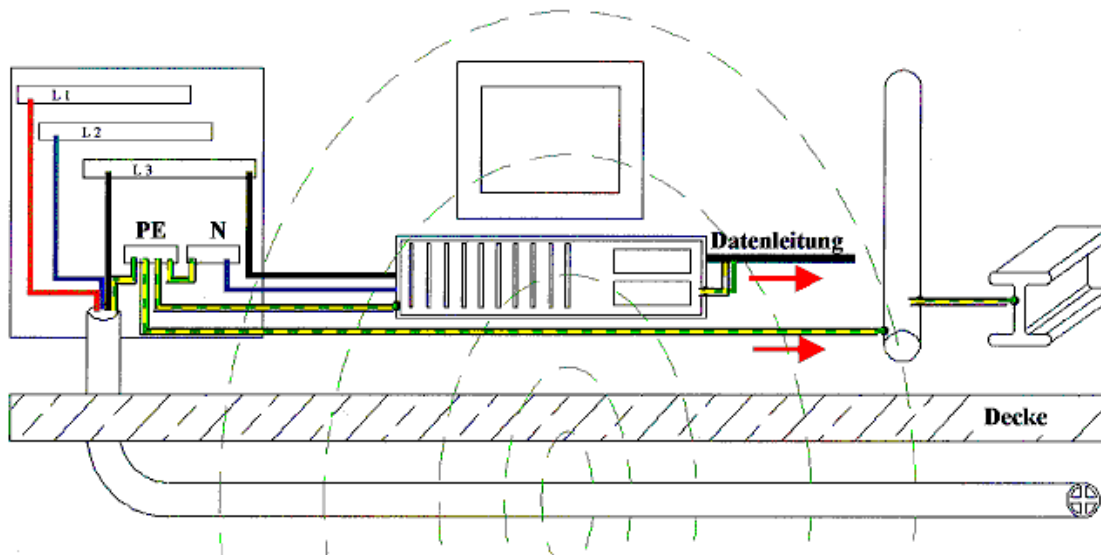
Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

TN-C-System (Vierleitersystem mit z.T. reduziertem PEN)

Das TN-C-System ist in der öffentlichen Stromversorgung zwischen Transformator und Hausanschlusskästen eingesetzt. Es handelt sich um ein klassisches Vierleitersystem, welches für Drehstromverbraucher, die keinen Neutraleiter benötigen, gedacht war.

Das C steht für kombinierte Führung von N und PE.

Da in der Vergangenheit die Rückleiterströme relativ gering waren und das Erdungssystem eine parallele Rückleiterfunktion des N zum Trafosternpunkt darstellte, wurde eine Reduzierung des PEN in den Installationsvorschriften der VDE 0100 gestattet.



Zwangswise fließen nun zwischen den einzelnen Hausanschlusskästen der unterschiedlichen Gebäude und der Trafostation Teilströme des Rückstromes durch das Erdreich, so dass die Summe der hin- und rücklaufenden Ströme nicht mehr ausgeglichen ist. Die Folge davon sind Differenzströme im Kabel, die zum Teil hohe elektromagnetische Felder nach außen hin generieren. In der Praxis werden bereits an den Kabeln der Hausanschlusskästen, deren PEN mit dem Potentialausgleich des jeweiligen Gebäudes verbunden ist, Differenzströme zwischen 1 und 20 A (in der Regel 3 bis 7 A im Innenstadtbereich) gemessen. Gelangen weitere, ferne Erdungssysteme, wie Breitbandvideoleitung, Ferndampf/-wärme, Gasleitungen etc., in das Gebäude und werden auf das Potentialausgleichssystem (PA) gelegt, fließen Teilarbeitsströme fremder Rückleitersysteme (N) im Hausanschlussraum, die sich unter ungünstigen Bedingungen im gesamten Gebäudekomplex, einschl. der Blitzschutzanlage, die mit auf das niederohmige PA-System gelegt ist, verteilen.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

In einem Gebäude, in dem verbundene elektronische Systeme betrieben werden, ist diese Netzform extrem schädlich und wird in der Regel auch nicht eingesetzt. Allerdings findet sich mehrheitlich die „Schwesternetzform“ TN-C-S, die die kombinierte Führung von N und PE vor dem Aufteilungspunkt beinhaltet.

Netzformen nach VDE 0100 Teil 410 1997-01 [3]

TN-C-S-System (Vier- und Fünfleitersystem gemixt)

Transformatorsternpunkt direkt geerdet (Betriebserder), Körper über PEN- bzw. Schutzleiter mit dem Betriebserder verbunden, Schutz- und Neutralleiter teils zum PEN-Leiter kombiniert, teils als separate Leiter ausgeführt.

Diese Netzform ist am häufigsten in der Schadenpraxis anzutreffen. Sie verfügt über die gleichen negativen Eigenschaften wie das TN-S-System und das TN-C-System, da sich der N-Leiter-Strom seinen Weg vom Auftrennungspunkt in der NSHV zurück zur Einspeisestelle über niederohmigere PE-Leiter, Schirmungsleiter und Bezugssysteme von Datenleitungen sucht und auch findet. Im Fehlerfall und auch bei Blitzentladungen kommt es zu massiven Schnittstellenschäden, aber auch nicht erklärbare Funktionsstörungen haben in dieser „EMV- unsauberen“ Netzform ihre Ursache.

Werden innerhalb der elektrischen Installation des Gebäudes in den Verteilungen/Unterverteilungen weitere Verbindungen zwischen dem Rückleiter (N) und dem PE/PA-System durch das TN-C- oder TN-C-S-System hergestellt, verstärken sich die Effekte der vagabundierenden Ströme auf dem PE/PA-System und machen das EMV-Chaos perfekt. Speziell dann, wenn die Rückleiterströme nicht sinusförmig und relativ hoch sind.

In den 50er und 60er Jahren wurde in einigen Versorgungsgebieten sogar das Verbinden des Schutzleiteranschlusses auf den vorhandenen N-Leiter in der Schukosteckdose von den EVU's geduldet und als „moderne Nullung“ bezeichnet. Diese Verbindungen sind auch heute noch zu finden und machen in der Schadenpraxis einen nicht unerheblichen Anteil aus, da in diese Steckdosen vernetzte Computersysteme eingesteckt werden.

Das TN-C-S-System stellt ein extrem hohes EMV-Risiko dar und ist die schlechteste aller Schutzmaßnahmen und leider am weitesten verbreitet, was auf Kostenreduzierung durch die Einsparung eines einzigen Leiter zurückgeführt werden kann.

Aus Sicherheitsgründen sollten TN-C- und TN-C-S-Systeme in Gebäuden untersagt und soweit vorhanden verbannt werden.

Der überwiegende Anteil aller Störungen, wie

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Funktionsstörungen
Bildschirmflimmern
Unwohlsein bei Personen durch Elektrosmog
Korrosionen an geerdeten Metallverbindungen mit Elektrolyteinfluß

ist auf diese beiden Netzformen zurückzuführen, da der Schadenmechanismus hier systematisch vorprogrammiert ist.

TT-System (Terra Terra)

(Bild) Netzformen nach VDE 0100 Teil 410 1997-01 [3]

Im TT-System ist ein Punkt der Stromquelle direkt geerdet. Die Körper (elektrisch leitende Gehäuse) der elektrischen Anlage sind mit dem Erdungssystem verbunden, welches vom Betriebserder der speisenden Quelle (Trafo) getrennt sein kann. Der geerdete N-Leiter des Trafos ist nicht mit dem Erdungssystem des Verbrauchers verbunden. Der Rückstrom wird im TT-System ausschließlich über das Kabelnetz bis zum Sternpunkt des Trafos zurückgeführt.

Der Leitungsschutz (Phasen untereinander und gegen N) wird durch Sicherungen oder Leistungsschalter realisiert.

Damit die Abschaltbedingungen für den Personenschutz funktionieren, müsste das Erdungssystem der Verbraucherinstallation niederohmig (2 Ohm) genug ausgebildet und tragstromfähig sein. Um das Erdungssystem derartig sicher aufzubauen, ist ein erheblicher Aufwand notwendig, so dass mittels intelligenter Schutzgeräte (wie im Hochspannungsbereich) eine kostengünstigere und bessere Ersatzlösung durch Fehlerstromschutzschalter (FI) schafft, um den Berührungsschutz sicherzustellen. Das sichere Abschalten funktioniert dann auch, wenn das Erdungssystem zwischen 20 und 100 Ohm höher gegenüber dem Erdungssystem des einspeisenden Trafos des EVU liegt und wird durch die Auslösekennlinie des FI-Schutzschalters (0,03 A / 0,3 A / 0,5 A) bestimmt. Der FI-Schutzschalter RCD schaltet unverzüglich bei Erreichen des Schwellwertes ab und kann dadurch für Elektronikanwendungen zum Betriebsproblem werden.

Für die Schutzmaßnahme FI-Schutzschaltung mit 0,5 A Auslösestrom reicht ein Erder von 100 Ohm aus, um sicher abzuschalten. Dieser 100-Ohm-Erder ist für den Entstörschutz- oder Überspannungsschutzmaßnahmen allerdings ungeeignet. Die Datenetze bilden z.T. mit ihrem Abschirmungsverbund über größere Flächen (z.T. stockwerks- und gebäudeüberschreitend) bessere Erdungssysteme als das vorgesehene Erdungs- und Potentialausgleichssystem des zu betrachtenden Gebäudes.

Deshalb ist im TT-System auf einen ausreichend kleinen Erdübergangswiderstand ca. 10 Ohm zu bestehen, da sonst EMV-Störspannungen nicht wie vorgesehen über

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

die Entstöreinrichtungen abfließen können. Im Fehlerfall könnten sonst die Abschirmungs- und Bezugssysteme der Datenleitungen zum Ersatzerdungssystem werden und Schäden an den Schnittstellen der Datenübertragung hervorrufen.

Aus EMV-Sicht ist das TT-System hervorragend für EDV- und Elektronikanwendungen geeignet, wenn das Erdungssystem niederohmig genug ist, keine unbeabsichtigten Fehler vorliegen und mit zwei RCM (deren Abschaltung koordiniert werden kann) überwacht wird.

Die Summe der hinfließenden Ströme ist gleich der der rückfließenden Ströme, so dass sich die Kabel oder auch Freileitungssysteme elektromagnetisch relativ neutral verhalten.

Da der FI nicht feststellen kann, welche Ströme auf dem nicht überwachten Erdungssystem fließen, sollte ein zweites RCM Gerät das Erdungssystem permanent überwachen.

IT-System

Netzformen nach VDE 0100 Teil 410 1997-01 [3]

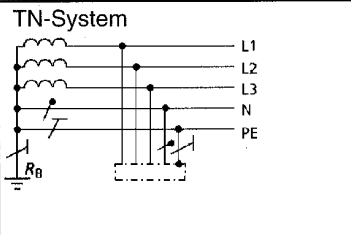
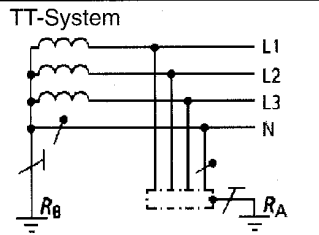
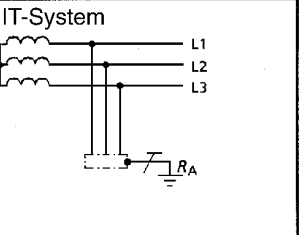
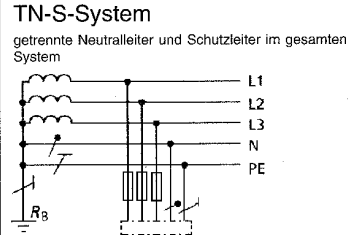
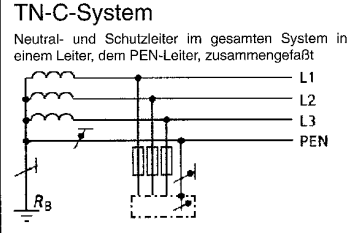
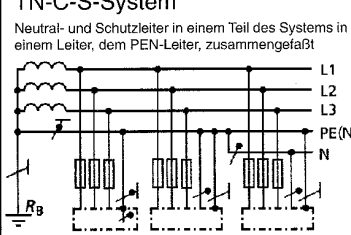
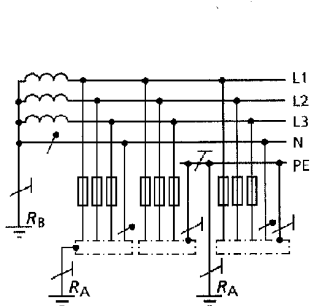
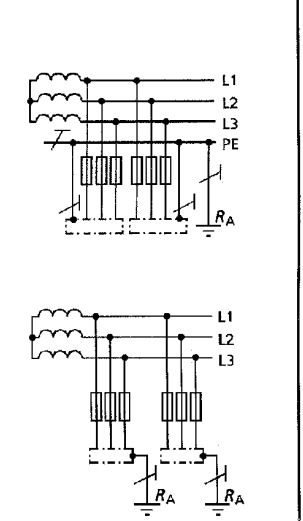
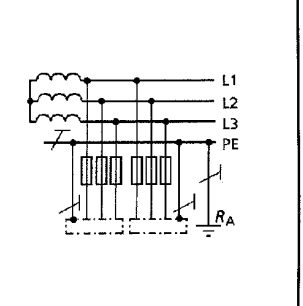
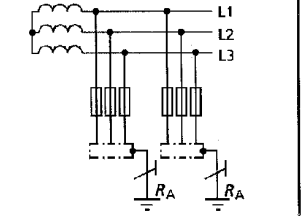
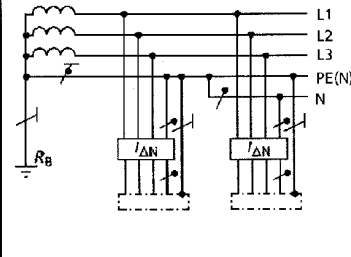
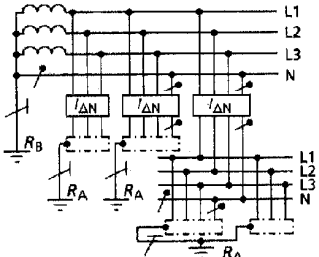
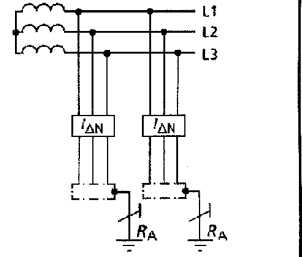
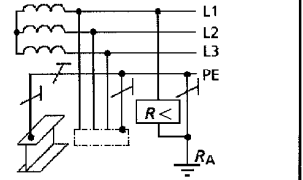
Das IT-System hat keine direkte Verbindung zwischen den aktiven Leitern L1, L2, L3 und gegebenenfalls auch N und den geerdeten Teilen einer Anlage. Die Körper (Gehäuse) der nachgeschalteten elektrischen Anlage sind niederohmig geerdet. Der Vorteil dieses Systems liegt darin, dass bei einem Erdschluss eine vorzusehende Überwachungselektronik den Fehler anzeigt, aber mit den an dieses IT Netz angeschlossenen Geräten weiter gearbeitet werden kann.

In risikobehafteten Betriebsstätten, wie z.B. Operationsräume im Krankenhaus, im Chemie- und Bergbaubereich, aber auch Großgeneratoren im Kraftwerk, hat sich das IT-System bewährt. In der Schadenpraxis sind kaum Schäden durch Überspannung, atmosphärische Entladung oder Netzanomalien bekannt.

Werden EDV-Geräte an dem IT-System betrieben, müssen die NetzeingangsfILTER mit ihren Netzparallelkondensatoren gegen PE eine besondere Güte aufweisen, damit sie nicht zur Schwachstelle des Systems werden. Leider fließen aus vorgelagerten Elektroenergiesystemen mit TN-C-S-Systeme unbeabsichtigt Ströme bis in den 1000-mA-Bereich über die begleitenden Erdungssysteme des IT-Netzes bis z.B. in einen Operationsraum hinein.

Im IT-System sollte ebenfalls eine Überwachung des Erdungssystems mittels eines RCM Gerätes erfolgen, da das Erdungssystem als Bezugssystem für die Datenübertragung von vernetzten Computersystemen dient.

Grundlagentext zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Schutzeinrichtungen für den Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen (Schutz bei indirektem Berühren) in den Systemen nach Art der Erdverbindung			
System nach Art der Erdverbindung	TN-System 	TT-System 	IT-System 
Schutzeinrichtung	Schaltung		
Überstrom-Schutzeinrichtung	TN-S-System getrennte Neutralleiter und Schutzleiter im gesamten System  TN-C-System Neutral- und Schutzleiter im gesamten System in einem Leiter, dem PEN-Leiter, zusammengefaßt  TN-C-S-System Neutral- und Schutzleiter in einem Teil des Systems in einem Leiter, dem PEN-Leiter, zusammengefaßt 	 	 
RCD (Fehlerstrom-Schutzeinrichtung)			
Isolationsüberwachungs-einrichtung			

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Praxiserfahrungen mit Netzsystemen

Alle von mir bisher durchgeführten Untersuchungen der elektrischen Installationen in Gebäuden nach massiven Störungen und Schadenfällen an elektronischen Systemen, haben gezeigt, dass in TN-Systemen bereits am Einspeisepunkt zwischen Hausübergabe/Trafo(s) und erster Niederspannungshauptverteilung (NSHV) die gravierendsten Fehler vorhanden sind. Weitere Fehler werden gemacht, indem aus Kostengründen ab der NSHV Vierleitersysteme als TN-C-System zu den Unterverteilungen verlegt werden.

Dadurch, dass sowohl zwischen den Trafos und der NSHV als auch dem Hausanschlusskasten und der NSHV PEN-Leiter verlegt sind, ist der N-Leiter bereits am Sternpunkt oder der Einspeisestelle (Hausanschlusskasten) und der NSHV zweifach geerdet. Hinzu kommen u.U. weitere Verbindungen in den Stockwerksverteilern, wenn das TN-C-System bis zu diesen Verteilern verlegt ist. Es fließen massive Teilströme des Rückleiterstromes über die vorhandene Erdungs- und Potentialausgleichsanlage, die nicht wie „gedacht“ über den PEN-Leiter zur speisenden Quelle zurückkehren. Statt dessen fließen die Ströme, in Abhängigkeit von leitfähigen Erdverbindungen, durch das gesamte Gebäude und verteilen sich auf

- Wasserrohre
- Heizungsrohre
- Gebäudearmierungen
- Blitzableiter
- Abschirmungen von Datenkabeln
- Bezugleitersystemen
- Potentialausgleichsleitungen
- Schaltschränke
- bis in das Innerste von EDV-Systemen.

Wird erst ab der Niederspannungshauptverteilung versucht, die Funktion des Rückleiters (N) von dem Erdungssystem (PE) zu trennen, gelingt dies leider nicht, da die Teilströme bereits unerkannt auf dem Erdungs- und Potentialausgleichssystem fließen.

Die elektrische Installation innerhalb eines Gebäudes ist oftmals "gewachsen", abhängig von den jeweiligen Errichtungszeitpunkten und den zu diesem Zeitpunkt gültigen anerkannten Regeln der Technik.

Unterschiedliche Elektroinstallationskonzepte und Schutzmaßnahmen können vorhanden sein, die für Personen- und Brandschutz gedacht sind. Die Elektroenergieverteilung erfolgt in der Regel durch mehrere Stockwerks- und Unterverteiler, deren Zuordnung in den seltensten Fällen mit einfachen Mitteln überprüft werden kann.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Allein die Prüfung der Sicherungselektivität, der Kabelquerschnitte und der Stromaufnahmen erfordert erhebliche Zeit, da Pläne meistens fehlen und die Kabellängen nicht bekannt sind. Über die Führung der Erdungs- und Potentialausgleichsleitungen (PE, PA und N) ist in der Regel ebenfalls keine Dokumentation vorhanden. Selbst die Erdungsprüfpunkte sind oft nicht zugänglich oder prüffähig.

Die Netzverteiler (Haupt- und Unterverteilungen) sind aus Platzgründen und Unkenntnis immer kleiner und kompakter geworden und aufgrund der Belange des Berührungsschutzes unzugänglich, so dass eine echte Prüfung mit Messmitteln, wie Strommesszangen und Spannungsabgriffen, häufig nicht oder nur unter erschwerten Bedingungen möglich ist. In den seltensten Fällen finden sich abgesicherte Spannungsprüfbuchsen oder zugängliche Zu- und Abgangsleitungen, die eine gefahrlose Prüfung/Messung ermöglichen. Selbst dann, wenn Messwandler eingebaut sind, lassen die Messleitungen sich nicht ohne Gefährdung öffnen.

Im Abschnitt „Aufräumen von Netzen“ wird auf die Vorgehensweise bei der Sanierung von Netzen speziell eingegangen.

Hausverteilungsnetz [6].

Durch die verschiedenen Verteilungen mit PEN-Leitern, Brücken zwischen N und PE, ergeben sich unterschiedliche Erdungsbezugspunkte, die besonders bei neuesten erdgebundenen EDV-Vernetzungen (Twisted Pair LAN-Netze) zum Verhängnis werden.

So werden neueste, schnelle Computergenerationen an Elektro-Installationen von 1950 betrieben.

Besonders deutlich wird dieses "Missverhältnis" in Altbauten und in den neuen fünf Bundesländern. Die damaligen Installationskonzepte gingen von einphasigen oder dreiphasigen linearen Verbrauchern aus. Der „Sternpunkt“ war kaum oder nur gering belastet.

Der massive Einsatz von einphasigen nicht linearen Verbrauchern, wie

- getaktete“ Schaltnetzteile der EDV- und Büroanlagen
- elektronische Vorschaltgeräte der Beleuchtung
- neuere Antriebstechnikmodule

hat die Sternpunktbelastung stark verändert, so dass die vorhandenen Querschnitte der N-Leiter (und auch PEN-Leiter) z. T. nicht mehr ausreichend dimensioniert sind.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Die Arbeitsstromkreise werden an einem alten Schema eines Vierleiterversorgungsnetzes ohne die Berücksichtigung der Schutzleiterfunktion sichtbar.

R	=	L1	=	A
S	=	L2	=	B
T	=	L3	=	C
Mp	=	N	=	N

- a) Die Sekundärseite des Transformators ist in Stern geschaltet
- b) Betriebserder der dem N-Leiter seinen Bezugspunkt gibt
- c) Leitungsschutzsicherungen
- d) Spannung einer Phase gegen N-Leiter
- e) Spannung Phase gegen Phase
- f) Geräteschalter
- g) Dreiphasiger Verbraucher
- h) Einphasiger Verbraucher

Kabel- und Stromschienensysteme

Zur Energiefortleitung im Niederspannungsnetz sind Verbindungsleitungen zwischen der Sekundärseite des Trafos bis zur Steckdose des letzten Endverbrauchers notwendig.

In Abhängigkeit von den zu erwartenden Betriebsströmen, den thermischen Umgebungsbedingungen, der Leitungslänge, den Abschaltbedingungen der Schutzorgane, dem Spannungsfall und dem Oberschwingungsgehalt der Betriebsströme müssen die Leitungsquerschnitte gemäß Beiblatt 5 zur VDE 0100 vom Planer ermittelt und geeignete Kabeltypen ausgewählt werden. Dies ist keine einfache Aufgabe, da die Betriebsströme selten im Voraus bekannt sind und sich während der Bauphase immer noch Änderungen einstellen.

Zusätzlich zu den Auswahlkriterien elektrischer Art müssen auch die Isolierstoffe und ihre Brandlasten berücksichtigt werden. Der Isolierstoff PVC eignet sich gut für Kabel, da er schwer entflammbar und selbstverlöschend ist. Im Brandfall, bei äußerer Beflammung, setzt der PVC Kunststoff Chloride und auch Dioxine frei und ist dadurch in die Schlagzeilen geraten. Die Ersatzkabel mit verbesserten Brandverhalten sind in ihrem Betriebsverhalten nachteilig und außerdem kostenintensiv (bis Faktor 4 gegenüber PVC). Schienensysteme sind im Brandfall günstiger, da ihre Brandlasten geringer sind, haben aber, wie einzeln verlegte Adern, aus EMV-Sicht durch die Abstrahlung höherer magnetische Felder Nachteile. Besonders deutlich wird dieser Nachteil an der Verbindung zwischen dem Trafoanschluss/Netzersatzanlage und der Niederspannungshauptverteilung durch verlegte Einzeladern. Liegen die Adern weit auseinander, koppeln sich nach dem

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Induktionsgesetz zwangsweise Ströme in vorhandene ringförmig verlegte Erdungs- und Metallkonstruktionen ein.

An dem Stromschienensystem der Phasen und auch des N-Leiters sind die Verbindungsstellen durch wechselnde thermische Lasten im Laufe der Zeit gefährdet. Bei nicht geeignetem Material und Art des Verbindungsaufbaus lockern sich die Klemmen und schwer zu findende Fehler können bis zu einem Abbrand führen.

Als besonders gefährlich haben sich in der Schadenpraxis die Neutralleiterschienen von Installationsklemmen, die zu Prüfzwecken geöffnet werden dürfen, herausgestellt. Aufgrund nicht geeigneter Materialauswahl und nicht sachgerechter Konstruktion und Montagemängeln traten N-Leiter Unterbrechungen auf.

Sternpunktverlagerung in einem Drehstromnetz [5]

Die größeren einphasigen elektrischen Verbraucher am gleichen Drehstromnetz erhalten durch den floatenden N-Leiter eine "Unterspannung", die bei getakteten Computer-Netzteilen kritische Schwingungsmomente auslösen können, da das Netzteil ein USA-Netz mit 110 V erkennt und automatisch umschaltet. Bei einer erneuten Verlagerung des Sternpunktes schaltet das Netzteil nicht zurück und es ist möglich, dass das Netzteil abbrennt.

Besonders häufig ist dieser Vorgang bei Neuinstallationen oder nachträglichem Einsatz von USV-Anlagen oder Spannungskonstanthaltern aufgetreten.

Netzsymmetrie und Schiefast

Das TN- und das TT-System sind symmetrische Drehstromnetze mit einer Außenleiterspannung von 400 V Phase gegen Phase und 230 Volt Außenleiterspannung gegen den Neutralleiter und dem Erdungssystem.

In einem symmetrischen Drehstromsystem 400/230 Volt liegt der Sternpunkt in der Mitte des Dreiecks. Bei einer symmetrischen, linearen Belastung heben sich die Ströme der Außenleiter im Sternpunkt auf und im Neutralleiter fließt kein oder nur geringer Ausgleichsstrom.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

7 Aufräumen von Netzen

Um eine vorhandene Elektroinstallation auf ein EMV- und EDV-gerechtes Netz umzustellen, ist es zunächst notwendig, die vorhandene Netzstruktur zu kennen. Für Planungen der Selektivität gibt es relativ aufwendige und teure Programme, über die ein betreuender Fachplaner verfügen sollte, so dass die Dokumentation bei ihm abgefragt werden könnte.

Ist diese Dokumentation nicht erstellt, bleibt nichts weiter übrig, als diese wichtige Grundlage im Nachgang zu erarbeiten. Diese Aufgabe kann sehr komplex sein, da Leitungslängen und Leitungsverläufe oft selbst den Betriebsfachleuten nicht bekannt sind. Allein die Kontrolle des Kabeltyps und des jeweiligen Aderquerschnittes erfordert einen hohen Zeitaufwand und ein geübtes Auge, da z. B. der Unterschied zwischen 70/90 mm² und 185/195 mm² Adern, je nach Kabeltyp, kaum auffällt.

Soweit aktuelle Übersichtsschaltpläne vorhanden sind, sollte zunächst eine einpolige Darstellung des Netzverlaufes von der einspeisenden Quelle bis zur Struktur der letzten Unterverteilungsebene mit dem betreuenden Betriebselektriker angefertigt werden. Dieses kann manuell in einer Handskizze erfolgen, in die später die Leitungslängen, Typ, Querschnitte, Absicherungen und Schaltereinstellungen eingetragen werden können. Mit diesen Informationen kann ein Berechnungsprogramm „gefüttert“ werden, welches die Einhaltung der VDE Bestimmungen bezüglich Leitungslängen, Querschnitt und Spannungsfall kontrolliert. Für die Kontrolle genügen aber einfachere Programme, die von Herstellerfirmen von Schaltanlagen gegen einen Kostenbeitrag zur Verfügung gestellt werden. Z.B.

Procera , General Electric

In diesem Abschnitt wird das Procera für Windows vorgestellt. Das Programm ist derart komfortabel und mächtig, dass man auch über Schreibfehler und Übersetzungsfehler hinwegsehen kann. Es handelt sich um ein Programm für internationale Anwendungen und wurde in Frankreich entwickelt. Die Sprachen und die verschiedenen länderspezifischen elektrotechnischen Vorschriften sind weitestgehend berücksichtigt.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Über Symbole werden die Einspeisepunkte, wie

- Trafos
- Netzersatzanlagen
- Leistungsschalter
- Niederspannungshauptverteilung
- Abgänge
- Zwischenverteiler
- Unterverteiler

auf einen Schaltplan platziert. Das Programm führt automatisch von der Einspeisequelle über die Leitungslängen und Querschnitte bis zur Unterverteilungsebene.

Sobald Querschnitte zu klein oder Kabellängen zu lang sind, werden Warnhinweise auf Engpässe, Vorschriftwidrigkeiten oder Widersprüche gegeben. Diese Engpässe sind anschließend durch Messung der tatsächlichen Lastverhältnisse abzuarbeiten, um entweder die Last zu reduzieren und entsprechen abzusichern oder die Kabel zu erneuern/verstärken.

Die vom Programm erzeugte Dokumentation hilft, ein durchgängiges Bezeichnungssystem einzuführen und kann mit in den Abschlußbericht nach erfolgtem Aufräumen eines Netzes eingefügt werden. Außerdem kann in jedem Schaltschrank eine Kopie hinterlegt werden, die bei Service- und Wartungsarbeiten genutzt wird.

Das Programm generiert ein durchgängiges Kabelbezeichnungssystem und Stromkreisbezeichnungen, die in einem Textverarbeitungsprogramm zur Erstellung von Aufklebern mittels Laser- oder Tintenstrahldruckern auf normalem Papier genutzt werden können. Ziel ist es, eine Visualisierung der bestehenden Anlage mit gleichzeitiger Kontrolle der thermischen Verhältnisse (beginnende Erwärmung von Klemmen, Kabeln) zu erreichen. Die Aufkleber können durch ein breites, durchsichtiges Klebeband dauerhaft angebracht und geschützt werden. Bisher wurde noch kein praktikables und preiswertes Bezeichnungssystem auf dem Markt gefunden, welches empfohlen werden kann.

Ist die Netzstruktur bekannt und dokumentiert, wird im zweiten Schritt eine Einzelmessung der Stromkreise durchgeführt, um die tatsächlichen momentanen Betriebsverhältnisse zu erhalten.

Bewährt hat sich das anliegende Projektblatt.

Die gewonnenen Daten können direkt in eine Excel Datei eingegeben werden und zur Dokumentation hinzugefügt werden. Das besondere dabei ist es, dass von der Einspeise- bis zur Verbraucherseite nicht die geplanten, sondern die tatsächlichen Istwerte von Sicherungen und Schaltereinstellungen dokumentiert werden. In der Praxis konnte z.B. festgestellt werden, dass Schalter noch immer die

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Originalwerkseinstellung hatten oder Sicherungen überdimensioniert oder Selektivitäten absolut nicht gegeben waren.

Sicherheitshinweis für die Messtechnik:

Die vorhandenen Schaltschränke sind oft sehr eng und nicht prüffähig aufgebaut und da die Messungen nur unter Lastbedingungen durchgeführt werden können, stehen gefährliche Berührungsspannungen an.

Die VDE geprüften Gummihandschuhe sind derart klobig, dass moderne Messgeräte, Strommesszangen, Netzanalysegeräte und daran angeschlossene Laptops nicht bedient werden können, sodass durch An- und Ausziehen der Handschuhe doch eine Berührungsschlag besteht. Außerdem schwitzen die Hände bereits nach relativ kurzer Zeit.

In der Praxis haben sich feine Argon-Schweißerhandschuhe aus Leder bewährt, die, solange sie trocken und unbeschädigt sind, ausreichenden Berührungsschutz 230 V gegen Erde geben.

Die Messung der Stromaufnahme in den einzelnen Abgangskreisen muss mit Echt-Effektivwert-Messzangen durchgeführt werden. Für die normalen Querschnitte hat sich z.B. die Messzange Hioki 3262 als Beste bewährt, da das Maul der Zange relativ groß ist, über kleine, dünne Schenkel verfügt und nach der Messung relativ leicht abgezogen werden kann.

Für diese Messung eignen sich ebenfalls Strommesszangen, die eine Messwerterfassung bereits ab 10 mA ermöglichen.

Für kleine Kabelquerschnitte hat sich z.B. die relativ kleine und preiswerte Strommesszange Minicamp 1 und für große Querschnitte und Messungen an Rohrleitungen die Strommesszange B2 vom Hersteller Chauvin Arnoux bewährt.

Im einfachsten Fall wird der Messwertausgang mA = mV auf ein Echt-Effektivwert Multimeter, z.B. Fluke 87 gelegt, mit dem per Knopfdruck auch die Frequenz/Nulldurchgänge des Stromverlaufes ermittelt werden können. Besser ist es den Kurvenverlauf auf einem Oszilloskop z.B. Fluke 92 – 99 darzustellen. Mit diesem kann außer der Frequenz auch der tatsächliche Kurvenverlauf festgestellt und über Speicher protokolliert werden.

Ohne großen Aufwand lassen sich einphasige Netzqualitätsmessungen mit einem Oberschwingungsdiagnostik Messgerät, z.B. der Fluke Serie 40, durchführen und protokollieren.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Für unzugängliche Kabelanschlüsse und große Querschnitte sind seit ca. 2 Jahren flexible Strommesszangen nach dem Rogowski Prinzip auf dem Markt, die sich als nützlich erwiesen haben.

Wenn der Messausgang im mV-Bereich liegt, kann dieser auch im Multimeter oder Oszilloskop/Netzqualitätsmessgerät weiter verarbeitet werden.

Besonders komfortabel, aber leider auch mit dem größten Zeitaufwand verbunden, ist der Anschluss eines allpoligen Präzisionsmessgerätes PML 3720 des Herstellers Power Measurement. Mit diesem Gerät können gleichzeitig bis zu 350 Messwerte erfasst und dokumentiert werden. Dabei werden sowohl die Außenleiter als auch der N und der PE gleichzeitig (deren Spannungen als auch Ströme) erfasst. Mit Hilfe der Software lassen sich außer der Netzqualität auch Ereignisse hochauflösend (wie bei einem Transientenrecorder) im mS Bereich aufzeichnen. Einschaltvorgänge, Lastschaltreaktionen oder KU's können bei korrekter Einstellung mit ihren Vor- und Nachereignisdaten erfasst werden.

Die Messung an einem Dreiphasen-Wechselstromanschluss werden mit dem jeweils bestgeeigneten Messgerät unter Berücksichtigung von Zeit, Kosten und Tiefe der

Dokumentation wie folgt durchgeführt:

Messtabelle für eine Verteilung

Dieses ist das wichtigste Hilfsmittel, um bestehende elektrotechnische Anlagen zu untersuchen und aufzunehmen.

Auch wenn es lästig ist, sollten die Messorte und Projekte, die Feldbezeichnungen, sowie das Datum mit aufgenommen werden, da bei der späteren Ausarbeitung in der Regel Zuordnungsprobleme entstehen

Die Blätter sind so aufgebaut, dass für einen Stromkreis auch mehrere Zeilen genutzt werden können.

Die Bezeichnung ist oftmals abweichend von denen der Pläne, notfalls sind zwei Bezeichnungen zu dokumentieren.

Einspeiseseite

Alternativ sollten entweder die Daten der Sicherungen oder des Leistungsschalters dokumentiert werden.

Nicht vorhandene Sicherheitseinrichtung ist mit einem Strich in der Tabelle zu kennzeichnen.

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Kabel/Leitungen

Diese Aufnahme ist sehr häufig extrem schwierig, da Leitungslängen unbekannt sind und selbst Fachleute sich über Querschnitte "streiten" können.

Verbraucherseite

Alternativ sollten entweder die Daten der Sicherungen oder des Leistungsschalters dokumentiert werden.

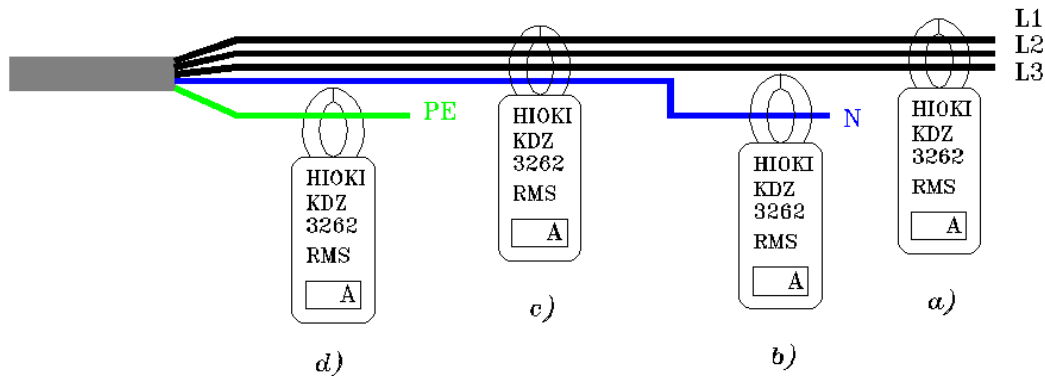
Nicht vorhandene Sicherheitseinrichtung ist mit einem Strich in der Tabelle zu kennzeichnen.

Die Kontrolle soll zeigen, ob Kabelquerschnitte und Selektivität zueinander stimmen.

Im Nachgang **muss** vor einer Netzformänderung eine Kontrolle, entweder manuell an Hand von Tabellen, oder besser mit einem entsprechenden Programm z.B. Procera/AEG oder KUBS von Siemens.

Messwerte

Mit entsprechenden Strommesszangen oder Rogowski-Spulen mit RMS-Auswertung sollten die Einzelströme erfasst werden.



Anschließend wird nur über die drei Phasen die Vektorsumme **als N-Bedarf** gemessen. Außerdem sollte die Frequenz angesehen werden. (a)

Die Stromkreise mit dem größten N-Bedarf sind für die Beurteilung, ob und in welchem Umfang umgerüstet wird, besonders wichtig.

So können z.B. echte Drehstromverbraucher, wie Klimaanlage, Motore oder auch Kompensationsanlagen, sowie USV-Systeme keine, oder sehr kleine Neutralleiter-Bedarfssituationen hervorrufen.

Wenn nur ein sehr kleiner Neutralleiterstrom tatsächlich gefordert wird, z.B. für eine kleine Steuerung der Kompensationsanlage, so kann bei einer Sanierung auch der

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Einsatz eines kleinen Steuertrafos von 400 V auf 230 V eine sehr preisgünstige Änderungsmöglichkeit sein.

Der neue Steuerstromkreis ist wieder einseitig am N' mit dem Erdpotential zu verbinden und stellt ein neues, kleines TN-S-System dar.

Der tatsächliche N-Strom oder Stromfluss über den PEN ist als **N-Ist** zu dokumentieren. (b)

Der Wert kann gleich/kleiner oder aber auch größer als der N-Bedarf sein. Die Frequenz ist ebenfalls zu dokumentieren.

Die Messung über alle vier aktiven Leiter ergibt dann den gesuchten **Stromdifferenzwert ΔI** . (c)

An den Stromabgängen mit den größten Differenzen ist mit der Sanierung eines Netzes in der Regel zu beginnen.

Es kann aber auch vorkommen, dass der Messbetrag von N-Bedarf und N-Ist vom Betrag her gleich sind.

Wenn die Vectorsumme nicht stimmt, kann trotzdem sogar ein großer Stromdifferenzbetrag gemessen und festgestellt werden.

Der Grund liegt meist darin, dass der N-Leiter über einen anderen Stromkreis geführt wird.

Auch wenn der Differenzstrom gleich 0 ist, d.h. der Stromkreis ist absolut galvanisch "abgeschlossen", so kann auf dem Erdungssystem sich dennoch ein Strom einfinden.

Diese Ströme sind in der Regel entweder durch Induktionseinkopplung entstanden, oder vagabundieren aus anderen Stromquellen und Stromkreisen über die Erdungssysteme.

Es kann deswegen notwendig sein, die Tabelle um eine **Spalte PE** zu erweitern

Wenn tageszeitliche oder lastabhängige Änderungen der Stromaufnahmen zu erwarten sind, müssen Langzeitmessungen z.B. mit einem Fluke 41 einphasig, oder besser mit einem allpoligen, transportablen Messverfahren, z.B. PML ACM 3720, durchgeführt werden, um die tatsächlichen Belastungssituationen zu erfassen. Mit der Analyse der Stromaufnahme lassen sich die Schwachstellen in der Dimensionierung der Kabel und der Absicherungen ermitteln und die Stärke und die Verursacher der vagabundierenden Rückleiterströme feststellen.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Erst nach Vorliegen all dieser Informationen kann mit der Umstellung des Netzes begonnen werden, um nicht neue Fehlerquellen einzubauen.

Die Umstellung des vorhandenen „Mischnetzes TN-C-S-System“ auf ein sauberes TN-S-System sollte an der „Wurzel“ der Einspeisung begonnen werden, da hier in der Regel die größten Fehler (PEN-Leiter-Verbindungen) vorhanden sind.

Hausanschlusskasten bis zur Niederspannungshauptverteilung.

Im TN-System

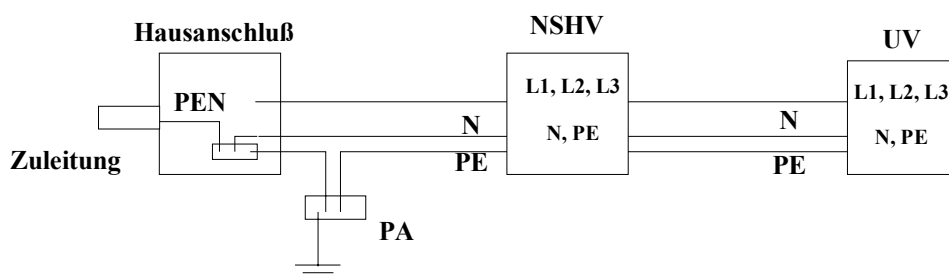
Im TN-System erfolgt der Anschluss des ankommenden PEN des EVU's auf das PA System in der Regel am Hausanschlusskasten. Dieses soll und darf in einem Gebäude der einzige Verbindungspunkt (Single Point Grounded) zwischen dem Neutralleiter (Rückleiter N) und dem PE/PA in einem TN-S-System sein.

Wenn in der nachgeschalteten Verteilung eines Gebäudes keine weiteren Verbindungen zwischen PE/PA und N vorhanden sind, fließt nach dem Hausanschlusskasten über das komplette Abgangskabel kein Differenzstrom. Die erforderlichen Messungen am Hausanschlusskasten (HAK) lassen sich von außen über die Kabel

Zuleitung

Erdverbindung zwischen PEN des HAK zur PA Schiene
(Ableitung zur Zählertafel/ Niederspannungshauptverteilung)

durchführen, da der Hausanschlusskasten vom EVU verplombt ist und auch bleiben sollte. Die Stärke der Absicherung im Hausanschlusskasten sollte auf diesem verzeichnet sein. Ist das nicht der Fall, muss in Absprache mit dem EVU eine Öffnung des Kasten erfolgen, um die Sicherungen und die Querschnitte zu kontrollieren.



Auf der Zuleitung lässt sich ein Differenzstrom messen, der über das PA-System direkt zum Erdersystem des Gebäudeerders abfließt. Dieser Differenzstrom lässt sich nicht vermeiden und resultiert aus dem öffentlichen TN-C-System mit Mehrfacherdung.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Es muss darauf geachtet werden, dass dieser Differenzstrom sich nicht über andere Erdungssysteme in das Gebäude „hineinschleichen“ kann.

Er soll möglichst außerhalb des Gebäudes bleiben. Es ist daher ratsam, dass bei der Errichtung des Gebäudes mit dem Kabelanschluss auch gleichzeitig ein Bänderder mit eingelegt wird, über den der ankommende Differenzstrom außerhalb des Gebäudes zum Trafosternpunkt des EVU's zurückfließen kann. Es ist vorteilhaft, wenn dieser Erder direkt mit an den PEN Leiter angeschlossen wird, damit der Differenzstrom gar nicht erst auf die Potentialausgleichsschiene des Gebäude gelangt.

In einem Innenstadtbereich können die von außen eingeschleppten Ströme bis zu 20 A ausmachen. In ländlichen Gebieten wurden bis zu 7 A gemessen.

Die Zuleitung zur Zählertafel muss ab dem Hausanschlusskasten mit 5-Leiter-Technik ohne reduzierte N und PE Querschnitte ausgeführt sein. Selbst wenn nur ein Stück 4-Leiterkabel mit PEN-Leiter von dem geerdeten HAK zu der nochmals geerdeten Zählerverteilung/Hauptverteilung mit Verwendung eines PEN-Leiter verlegt ist, bedingt dieses eine Aufteilung des Rückleiterstromes N auf das Erdungssystem. Da das Erdungssystem in der Regel durch die vielen, vorgeschriebenen Vermaschungen auf alle leitfähigen Verbindungen eines Gebäudes sehr niederohmig ist, fließt der heute relativ hohe N-Leiter-Rückstrom leichter und unkontrolliert über die Erderverbindungen als über den dafür vorgesehenen PEN-Leiter, der häufig auch noch im Querschnitt reduziert ist.

Die gleiche Situation stellt sich ein, wenn zwischen der Niederspannungshauptverteilung und den Stockwerks-/Unterverteilern PEN-Leiterstrecken verlegt ist.

Um ein vorhandenes TN-C-S-System auf ein TN-S-System umzurüsten ist es erforderlich ein durchgängiges 5-Leiternetz aufzubauen.

Die Strecke vom Hausanschlusskasten bis zur Zählertafel, die normalerweise nur wenige Meter beträgt, ist mit einem geeigneten Fünfleiterkabel zu realisieren. Gleiches gilt auch für die Verbindungsleitungen zwischen NSHV und den Stockwerks- bzw. Unterverteilungen.

Alternativ kann aus wirtschaftlichen Gründen ein zusätzlicher, isolierter blauer N-Leiter planparallel an das vorhandene Kabel „festgezurr“ werden. Damit stimmen die Farben der Adern und es entsteht kein großer Abstand zwischen den Phasen und dem N. Ist diese Lösung auch nicht möglich, kann hilfsweise bei ausreichend dimensionierter gelb/grüner PEN-Ader, diese Ader in ihrer Funktion zum N umgestellt, d.h. die Funktion des PE herausgenommen werden (wichtig: Bezeichnung und Farbgebung des N mit blauer Farbe an beiden Enden. Im Zuge dieser Bezeichnung sollten auch die Phasen L1, L2 und L3 dreifeldrichtig beschriftet werden).

Eine extra PE-Leitung, die nun stromlos ist, muss nachverlegt werden, diese braucht aber nicht mehr planparallel auf die Zuleitung oder auch Stockwerksleitung gelegt werden.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Die Umfirmierung und Kennzeichnung des PEN-Leiters lässt sich aus der VDE 0100 Teil 510 5.1.4.2 vom November 1995 ableiten.

Die Aderkennzeichnung sollte sowohl durch die Farbgebung (blaue Farbe mittels Schrumpfschlauch oder Anstrich) als auch durch zusätzliche Bezeichnung erfolgen, damit Verwechslungen ausgeschlossen sind.

Nach dieser Umbaumaßnahme sollten die drei Phasen und der N durch ein Differenzstrom-Überwachungsgerät dauerhaft überwacht werden. Ein zweites Überwachungsgerät sollte das PE/PA-System auf stromfreiheit überwachen.

Im TT-System

Im TT-System erfolgt der Anschluss des N in der Regel am Hausanschlusskasten und wird in der gesamten Gebäudeinstallation vollständig isoliert gegenüber dem Erdungssystem geführt.

Im HKA ist keine Verbindung mit dem PE/PA System des Gebäudes vorhanden. Sollten dennoch über das Zuleitungskabel zu dem HKA Differenzströme messbar sein, liegen Fehler in der nachgeschalteten elektrischen Installation vor, die gesucht und beseitigt werden müssen (siehe Abschnitt: Fehlersuche durch überlagertes Strommessverfahren).

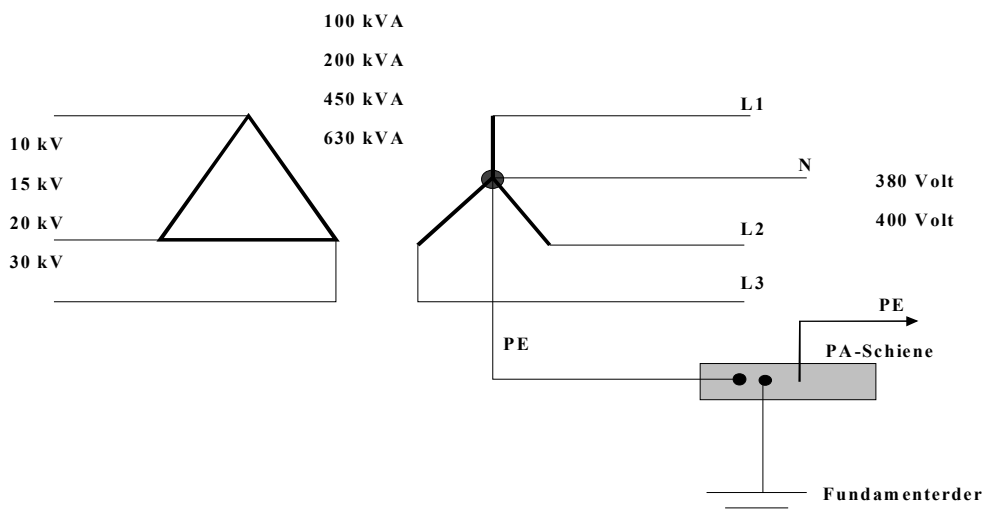
Die Fehlerstromschutzschalter der einzelnen Stromkreise RCD überwachen automatisch Ableitströme oder Fehlerströme, die von den aktiven Leitern L1, L2, L3 und N gegen Erde fließen. Bei Überschreiten der fest vorgegebenen Schwellwerte schalten die FI-Schutzschalter „gnadenlos“ und ohne Vorankündigung ab. Über selektive Fehlerstromschutzschalter, Bauart 2, wie sie die VDE 0100 Teil 410 im Januar 1997 beschreibt, können gewisse Staffelungen vorgenommen werden, um einen sofortigen Ausfall aller angeschlossenen Geräte zu vermeiden. In dieser Vorschrift wird unterschieden in RCD's mit Hilfsspannungsquelle, die in der Bundesrepublik als Differenzstromschutzeinrichtung (RCM) bezeichnet werden, und RCD's ohne Hilfsspannungsquellen (Residual Current Protective Device), die als FI-Schutzschalter bezeichnet werden.

Aus Sicht der Funktionssicherheit von elektronischen Anlagen und zur rechtzeitigen Erkennung von beginnenden Fehlern halte ich die Differenzstromschutzeinrichtungen mit Hilfsspannungsquelle, die im internationalen Sprachgebrauch mit Residual Current Monitor (RCM) bezeichnet wird, für die bessere Lösung. Ein RCD oder RCM kann aber nicht erkennen, welche Ströme auf dem Erdungssystem fließen. Aus diesem Grunde ist es geboten auch das Erdungssystem mit einem weiteren RCM zu überwachen.

Grundlagentext zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Einspeisung durch kundeneigene Transformatoren und Netzersatzanlagen.

In der VDE 0100 Teil 410 vom Januar 1997 ist unter 413.1.3.1 wörtlich ausgeführt:
„Alle Körper der Anlage müssen 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. Üblicherweise ist der geerdete Punkt des Stromversorgungssystems der Sternpunkt“.



Der Text ist verwirrend und Missverständnisse sind vorprogrammiert. In der Kernaussage ist der Sternpunkt des speisenden Netzes (N = Rückleiter) entweder am Transformator oder am Generator zu erden, also nur an einer Stelle.

In der Praxis empfehle ich, wie folgt vorzugehen, um ein sauberes TN-S-System zu erhalten, wenn mehrere Transformatoren, Netzersatzanlagen (NEA) und USV-Anlagen vorhanden sind und miteinander koordiniert werden müssen.

In der Niederspannungshauptverteilung ist eine durchgängige, d.h. auch bei Netzumgehungsschaltern, isolierte N-Schiene aufzubauen, auf die jeder Sternpunkt der anzuschließenden Transformatoren oder Generatoren aufgelegt wird. In Abhängigkeit von den zu erwartenden Lastverhältnissen wird in der geometrischen Lastmitte der N-Schiene

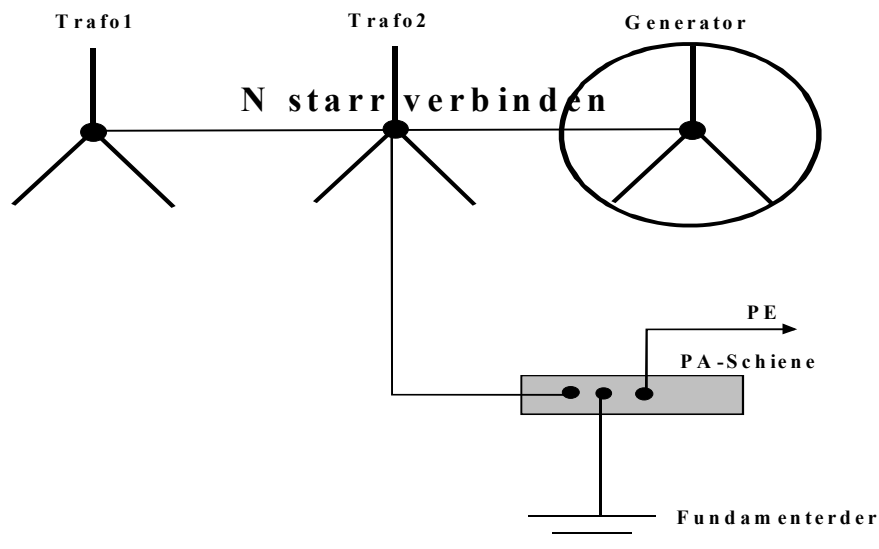
e i n e ausreichend dimensionierte Verbindung zur PE-Schiene der NSHV geschaffen.

Der Querschnitt muss so gewählt werden, dass der höchste zu erwartende Kurzschlussstrom des stärksten einspeisenden Erzeugers auch die vorgeschalteten Schutzeinrichtungen ansprechen lässt. Diese Verbindung kann auch bewusst außerhalb des Schaltschranks gelegt werden, damit der Verbindungspunkt bei

Grundlagentext zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

geschlossenem Schaltschrank jederzeit kontrolliert und auch ein Messwandler für ein Rom-Gerät eingesetzt werden kann.

Das Erdungssystem ist somit frei von Arbeitsströmen und soll so oft wie möglich mit der PE-Schiene in der NSHV verbunden werden.



In der Regel sind heute aus verlegungstechnischen Gründen Einzeladern von dem Trafo/Generator zur NSHV verlegt, die nicht miteinander verdreht sind. Dadurch heben sich die elektromagnetischen Felder nicht auf und Stromeinkopplungen auf Erdungssysteme sind möglich. Werden Neuanlagen geplant, ist es besser eine entsprechende Anzahl von Kabeln parallel zu verlegen, da innerhalb der Kabel (wenn sie gleich lang sind) die elektromagnetischen Felder weitaus kleiner sind.

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Blitzschutz / Erdung / Potentialausgleich

Einleitung

Auszug aus der DIN EN 50174 Teil 2 Ausgabe März 2002:

„...Die wesentlichen Ziele von Erdung und Potentialausgleich finden sowohl bei ungeschirmter als auch bei geschirmter Verkabelung Anwendung, und zwar hinsichtlich der

- Sicherheit: Begrenzung der Berührspannung und Erdschlussfehlerpfad;
- elektromagnetischen Verträglichkeit: Bezugspotential und Spannungsangleichung, Schirmeffekt.

Streuströme breiten sich zwangsläufig in einem Erdungsnetz aus. Es ist unmöglich, alle Störquellen an einem Standort zu beseitigen. Erdungsschleifen sind ebenfalls nicht zu vermeiden.

Wirkt ein äußeres Magnetfeld auf den Standort ein, beispielsweise durch Blitzschlag oder nicht ausgeglichene Stromleitungen verursacht, werden Potentialunterschiede in den Schleifen induziert und im Erdungssystem fließen Ströme. Deshalb hängt das Erdungssystem auch von äußeren Strömen in der Umgebung ab, z. B. Eisen-/Straßenbahn, andere „gePENnte“ Gebäude.

Solange die Ströme im Erdungssystem fließen und nicht in den elektronischen Schaltungen, hat dies keine schädlichen Auswirkungen. Liegen die Erdungssysteme jedoch nicht auf gleichem Potential, beispielsweise dann, wenn sie sternförmig mit dem Erdungsanschluss verbunden worden sind, fließen überall hoch- und niederfrequente Streuströme, d. h. auch auf den Signalleitungen. Die Geräte können gestört und sogar zerstört werden.

Die Festlegungen der EN 50310 zielen darauf ab, optimale Bedingungen für Erdung und Potentialausgleich in Gebäuden zu schaffen, in denen informationstechnische Anlagen betrieben werden sollen. Die EN 50310 muss zumindest bei Neubauten angewandt werden und in bestehenden Gebäuden immer dann, wenn es möglich ist (z. B. anlässlich von Renovierungen).

Die für die Installation an einem Standort verantwortlichen Personen müssen sich mit allen Beteiligten abstimmen (z. B. mit Elektrizitätsversorger, Telekommunikationsanbieter, Informationstechnik, Eisenbahnbetreiber, Straßenbahnbetreiber, Betreiber von Kabelverteilanlagen)...“

Der PE/PA hat den Zweck, im Fehlerfall kurzzeitig einen hohen Strom zu tragen, um bei einem Körperschluss einer Phase gegen PE/PA oder ein geerdetes Gehäuse eine Schutzeinrichtung, wie Leistungsschalter oder Sicherung, zum Ansprechen / Abschalten zu bringen.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Der zweite Zweck des Erdungssystems ist die Ableitung von hochfrequenten Ableitströmen aus Netzfiltern mit kleinen Kapazitäten im nF-Bereich, die möglichst auf einem Erder gegen Masse zum Sternpunkt hin fließen sollen.

Der dritte Grund ist der, bei einem direkten Blitzeinschlag in das Gebäude und bei Influence (Gewittertätigkeit mit Wolke/Wolke Überschlag) den Ableitstrom ungefährlich außerhalb des Gebäudes in das Erdreich fließen zu lassen.

Die Auslegung der Leitungen und deren Absicherung ist in der Regel nur für einen vollständigen Kurzschluss berechnet. Bei einem unvollkommenen Kurzschluss oder Lichtbogen können über lange Zeiten unentdeckte Ströme auf dem Erdungssystem fließen.

Oft ist es nicht ausreichend, nur mit einem einfachen Fundamenterder, der gegenüber dem echten Erdungssystem im Laufe der Zeit „trocken“ wird, alle drei Bedingungen zu erfüllen.

Aus Schadenerfahrungen ist ein großflächiger Erder, der unter die Sauberkeitsschicht mit in das feuchte Erdreich gelegt wird, das beste Erdungssystem.

Der äußere Blitzschutz sollte, wenn irgend möglich, mit zusätzlichen Ringerdern oder auch Baustahlmatten außerhalb des Gebäudes unterstützt werden.

Ziel ist es, z. B. den Ableitstrom eines direkten Blitzes möglichst aus dem Gebäude heraus zu halten und gefahrlos in die Feuchtigkeit des Erdübergangs zu bringen. Diese zusätzlichen Forderungen und Grundgedanken sind in der VDE 0185 für Blitzschutzanlagen nicht so deutlich formuliert. Die neue Ausgabe der VDE 0185 soll im Herbst 2002 veröffentlicht werden.

Bevor eine Erdungsanlage geplant wird, sollte der Bodenwiderstand gemessen werden, um die Leitfähigkeit festzustellen (bodenspezifischer Widerstand) – z. B. mit der Wenner-Methode. Schlechte Erdübergangswiderstände bedeuten erhöhten Erdungsaufwand (Grenzwert liegt nach Erfahrungswerten zwischen 200-500 Ohm meter).

Die Erdungsanlage besteht aus:

dem Außenerder für den Potentialausgleich mit außenliegenden Einrichtungen (z. B. Trafostation, Gasverteilerstation, Außenbeleuchtung) mit folgenden Anschlüssen:

- zum Fundamenterder,
- zu den Blitzschutz-Ableitungen an den Außenwänden,
- zu den Verbindungen ins Innere des Gebäudes.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

einem vermaschten Fundamenterd in der Sohle des Neubaus mit Anschlussfahnen für die im Konstruktionsbeton verlegten vertikalen Ableitungen zwischen der Bauwerkssohle und den verschiedenen Geschossen mit Anschlussfahnen für:

- den Außenerdern,
- die Ableitungen des Inneren Potentialausgleichs, die z. B. an Innenwänden oder in Installationsschächten installiert werden.
- Anschlüssen zu den Blitzschutz-Ableitungen an den Außenwänden,
- Anschlüssen ins Innere des Gebäudes,
- Ableitungen im Beton, elektrisch leitende Verbindungen der Bewehrungen.

Die Ableitungen für den Blitzschutz für den inneren Potentialausgleich werden in die neu zu errichtenden Gebäudeaußenwände bzw. Stützen und Säulen von der Sohle bis zu den verschiedenen Dachebenen in Teilstücken (abhängig vom Bauablauf) eingebaut. Sie werden mit der Armierung durch festes Verrödeln in Abständen von max. 3m verbunden.

Maßnahmen zum Aufbau von Blitzschutz / Erdung / Potentialausgleich

Auszug aus der DIN EN 50174 Teil 2:

„...In allen Fällen muss die Elektroinstallation mit einem Hauptpotentialausgleich (entsprechend HD 384.4.41 S2, HD 384.5.54 S1 und EN 50310) zur Verfügung gestellt werden, der Folgendes verbindet:

- Die Haupterdungsklemme oder –schiene;
- Jeden installierten Erder oder jedes installierte Erdernetz;
- Metallene Wasserleitungsrohre und andere fremde leitfähige Teile (z. B. metallene Elemente der Gebäudekonstruktion);
- Die (Haupt-)Schutzleiter.

Alle anderen Potentialausgleichsmaßnahmen einschließlich der folgenden Beispiele sollten elektrisch mit dem Hauptpotentialausgleich verbunden werden, um ein vermaschtes Netz zu bilden:

- Ableiter der Blitzschutzanlage des Gebäudes;
- Funktionserdungsleiter (siehe IEC 60364-5-548);
- Verbindende Erdungsleiter (z. B. von einem benachbarten Gebäude);
- Parallele Erdungsleiter (siehe Normen der Reihe IEC/TR 61000-5)...“

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Maßnahmen zum Ausbau einer Erdungsanlage

- zusätzlicher Außenerder im Bereich von Gebäuden
- Heutige Neubauten erfordern definierte Erdungssysteme, welche tatsächlich im feuchten Erdreich liegen. Diese gehören unter die Sauberkeitsschicht und sollten, wenn möglich, aus Kupferseilen mit einem Querschnitt von minimal 50qmm bestehen (so wie sie die Mittelspannungstechnik erfolgreich einsetzt).
- Achtung! Die Kupferseile dürfen nicht im Erdreich mit Bandeisen kombiniert werden (elektrochemische Korrosion).
- Dieser Erder ist in der Lage, hohe Energien außerhalb des Faraday'schen Käfigs (restliches komplettes Gebäude mit seinen Erdungsmaßnahmen) ins Erdreich abzuleiten, wenn die Blitzableiter getroffen werden.

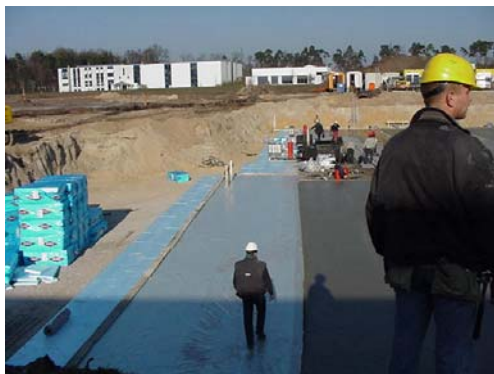


Abbildung: Isolierschicht Gebäude
Raster ca. 20 m)



zusätzliche Erdungsseile (grobes



Abbildung: Ausführung zusätzlicher Erdungsseile



Grundlagentext zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden



Abbildung: prüffähiger Anschluss zusätzlicher Erdungsseile

- bei Neubauten mit den Armierungen verbundene, im Beton eingebaute Ableitungen,

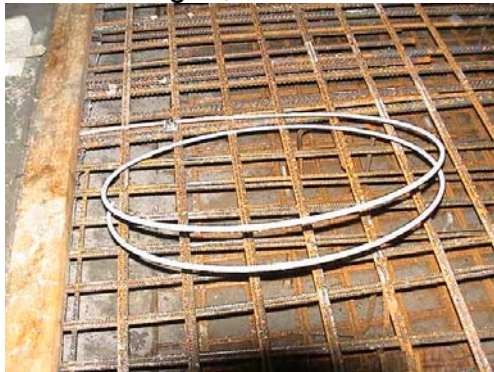


Abbildung: eingebaute Ableitungen in der Armierung mit gleichem Material

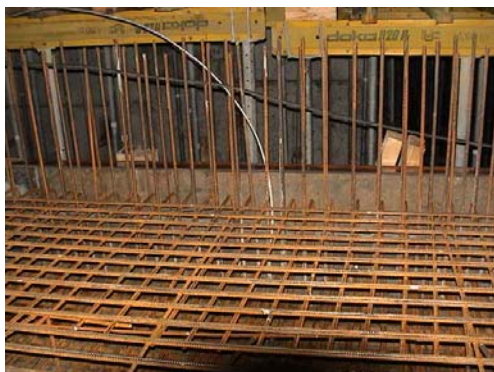


Abbildung: eingebaute Ableitungen in der Armierung

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

- Ausstattung aller Ableitungen mit prüffähigen Anschlusspunkten für Blitzschutzanlagen und Potentialausgleich

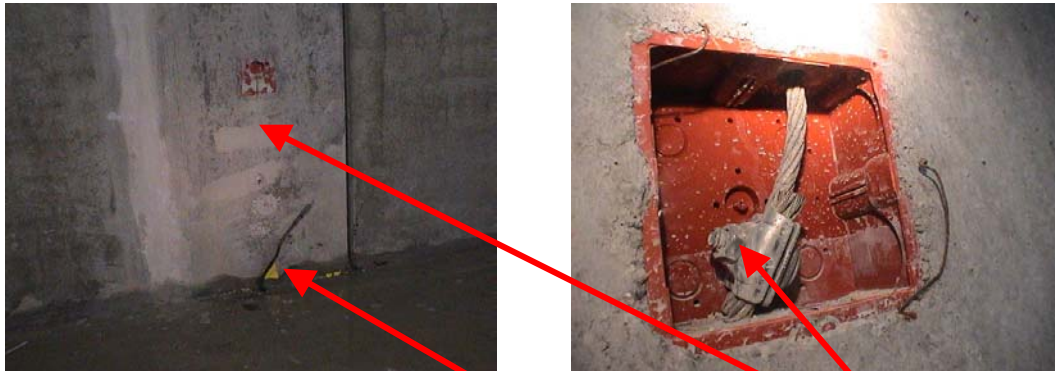


Abbildung: prüffähige Anschlusspunkte (Fundamenterder und zusätzliche Erdungsseile)

- Grundsätzlich sind die Vorschriften zum Blitzschutz baulicher Anlagen der DIN V ENV 61024 bzw. VDE V 0185 Teil 100 Ausgabe 2002 zu beachten, in die Planung einzubeziehen und einzuhalten.
- In den einzelnen Dachebenen werden Fangeinrichtungen an den jeweiligen Enden der Ableitungen als ein vermaschtes Netz angeschlossen. Metallene Dachhäute werden als Auffangleiter mit verwendet. Metallene Dachaufbauten wie die Traggestelle von Antennen etc. werden mit der Blitzschutzanlage ohne Funkenstrecke verbunden.
- Innere Ableitungen des Potentialausgleichs werden in Installationsschächten und zum Teil auch an Innenwänden installiert.
- In die Blitzschutzanlage werden die Metallelemente der Fassadenverkleidung einbezogen. Sie sind am oberen und am unteren Ende mit der Blitzschutzanlage im Raster der Anschlussfahnen an den Ableitungen anzuschließen.
- Schirmungen, (z. T. in Zusammenhang mit Akustik-Ausbau, z. T. Stahlbau),
- im Beton verlegte Ableitungen mit Anschlusspunkten für
 - die Fassadenverkleidung,
 - äußere Stahlkonstruktionen,
 - den inneren Potentialausgleich,

Grundlagenkript zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden



Abbildung: Fundamenterder und Potentialausgleich



Abbildung: Erdungsfestauslasspunkt Fundamenterder

Abgestelzte Doppelböden sind zu messen, um zu klären, ob zusätzliche Quererdungspunkte notwendig sind.

Das innere Potentialausgleichsystem, das mit den Anschlusspunkten der Ableitungen in Wänden und Säulen verbunden wird und alle nicht der Stromfortleitung dienenden metallenen Anlagen / Anlagenteile miteinander vermascht, umfasst u. a. folgende Teile:

- in Kabeltrassen mitgeführte Erdleiter,
- Kabel-Pritschen/-Leitern/-Rinnen (abgesetzte Brandwanddurchbrüche werden überbrückt),
- Rohrleitungen,
- Unterkonstruktionen von Doppelböden (Anschluss je nach Raumgröße mindestens diagonal oder in jeder Raumecke),
- metallische Gehäuse von Geräten, Schränken der Haus- und Versorgungstechnik.
- Ausgedehnte Gebilde wie Rohrleitungen, Kabeltrassen und Klimageräte werden mehrfach erfasst, mindestens aber
- am Anfang und Ende,

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

- beim Übergang in andere Stockwerke,
- beim Verlassen von Gebäuden.

Der innere Potentialausgleich bildet ein eng vermaschtes niederimpedantes PA-System, das gleichzeitig als Erdung für das Mittel- und Niederspannungs-System dient.

Maßnahmen bei vorhandener Erdungsanlage:

Bei bestehenden Gebäuden muss die Erdungsanlage eingemessen werden. Dies kann z.B. belastend nach dem Strom-Spannungs-Prinzip erfolgen:

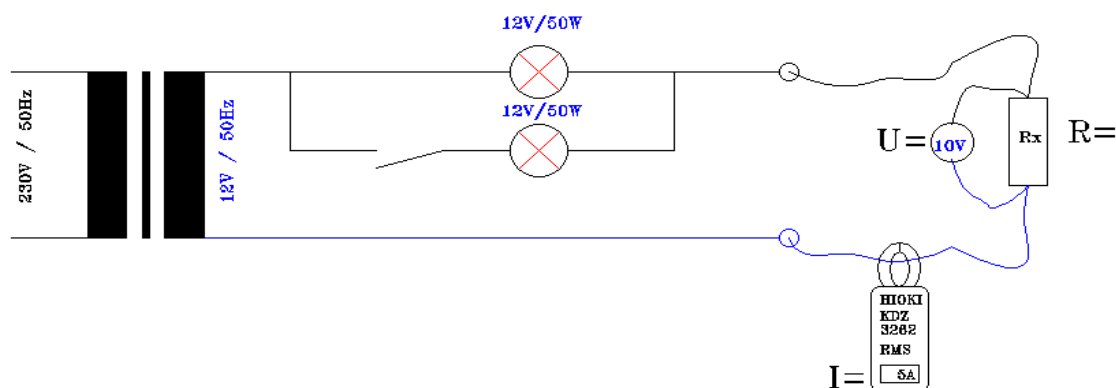


Abbildung: Prinzipschaltbild Strom-Spannungsmessung

Ein Erdungswiderstand von unter 10Ω wird als ausreichend eingestuft. Ggf. sind zusätzliche Maßnahmen zur Ertüchtigung der vorhandenen Erdungsanlage zu ergreifen, wie z.B.:

- zusätzliche Ableitungen des Fundamenterders erstellen,
- Tiefenerder oder zusätzliche Außenerder im Erdreich um das Gebäude verlegen mit ausreichenden Ableitungen ins Gebäudeinnere und Anbindungen an die vorhandene Blitzschutz- / Erdungsanlage.

Erdung von nachrichtentechnischen Verteilerpunkten (Datenverteileräume)

Für IT-Einrichtungen (Schränke etc.) muss eine ausreichend dimensionierte IT-Haupt-PA-Sammelschiene installiert werden. Alle Schränke und weitere PAS-Systeme in den Schränken (z.B. in passiven Verteilerschränken) sind an diese Haupt-PAS anzubinden.

In jedem Datenverteilerraum ist eine ausreichend dimensionierte Potentialausgleichschiene vorzusehen. Diese dient als nachrichtentechnischer

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Erdungspunkt. Alle Schränke und weitere PA-Systeme in den Schränken (z.B. in passiven Verteilerschränken) sind an diese PA-Schiene anzubinden

Die Zuleitung zwischen der Hauptpotentialausgleichschiene und der Schiene im DV-Verteiler darf einen Mindestquerschnitt von 16qmm nicht unterschreiten und muss fein verseilt sein wegen des Skineffektes im HF-Bereich.

Alle leitfähigen Teile eines Verteilerschranks sind niederohmig miteinander zu verbinden.

Die Verbindungskabel der zu erdenden Kabel sind möglichst kurz zu lassen. Eine Vermaschung wird zwangsweise durch Netz und Datenverkabelung hergestellt.

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Stromverteilungsanlage

Auszug aus der DIN EN 50174 Teil 2:

„...Einfluss der Stromverteilungsanlage gemäß 6.4.4.2

Elektroinstallationsplaner müssen folgende Punkte berücksichtigen, um zu verhindern, dass die Stromverteilungsanlage möglicherweise empfindliche Geräte beeinflusst:

- Mögliche Störquellen, z. B. Spannungsverteiler, Spannungstransformatoren, Aufzüge, hohe Ströme in Stromzuführungsschienen, müssen im Abstand von empfindlichen Geräten platziert werden;
- Metallrohre (z. B. für Wasser, Gas, Heizung) und Kabel sollten an einer Stelle in das Gebäude eintreten;
- Metallflächen, Schirme, Metallrohre und Verbindungen derselben müssen verbunden und mit niederohmigen Leitern an den Hauptpotentialausgleichsleiter des Gebäudes angeschlossen werden;
- Die Wahl einer gemeinsamen Trasse für Niederspannungskabel und Signalkabel mit einer ausreichenden Trennung (durch Abstand oder Schirmung) zwischen beiden, um große Induktionsschleifen zu vermeiden, die von den verschiedenen Niederspannungsverkabelungen gebildet werden;
- Die Verwendung entweder eines einzigen Mehrleiterkabels für alle Arten der Stromversorgung oder – im Falle höherer Leistungspegel – von Stromschienen mit geringen Magnetfeldern...“

„...Betrachtungen zu nichtlinearen Lasten

Nichtlineare Lasten (Fluoreszenzlampen, getaktete Stromversorgungseinheiten usw.) erzeugen auf dem Stromversorgungsnetz Ströme mit Oberschwingungen, die den Neutralleiter überlasten können. In solchen Situationen kann es erforderlich sein,

- die Transformatoren über das erforderliche Maß hinaus zu dimensionieren[engl: oversize], um eine niederohmige Quelle zur Verfügung zu stellen; bei unterschiedlichen Anwendungen eine sternförmige Stromverteilung mit verschiedenen Speiseleitungen oder Transformatoren (für Beleuchtung, Motoren, informationstechnische Einrichtungen usw.) vorzusehen, siehe Abbildung unten: „Aufteilung der Stromverteilung für verschiedene Anwendungen“; einen der zu erwartenden Belastung zugeordneten Querschnitt des Neutralleiters zu wählen, der mindestens mit demjenigen des Außenleiters übereinstimmt, um den Auswirkungen einer ungleichmäßigen Lastverteilung und der dritten Oberschwingung entgegenzuwirken;
- die Lastverteilung zwischen den Außenleitern auszugleichen.

Im Falle einer Anordnung des Stromversorgungsnetzes nach Abbildung „Aufteilung der Stromverteilung für verschiedene Anwendungen c)“, das Maßnahmen zur

Grundlagentext zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Verbindung unterschiedlicher Spannungsquellen bietet, sollte die elektromagnetische Beeinflussung hinsichtlich empfindlicher Geräte beachtet werden. Bei der Zusammenschaltung von zwei Spannungsquellen sollte dafür gesorgt werden, dass in einem TN-S-System der N nur einmal mit dem PE/PA System verbunden wird.

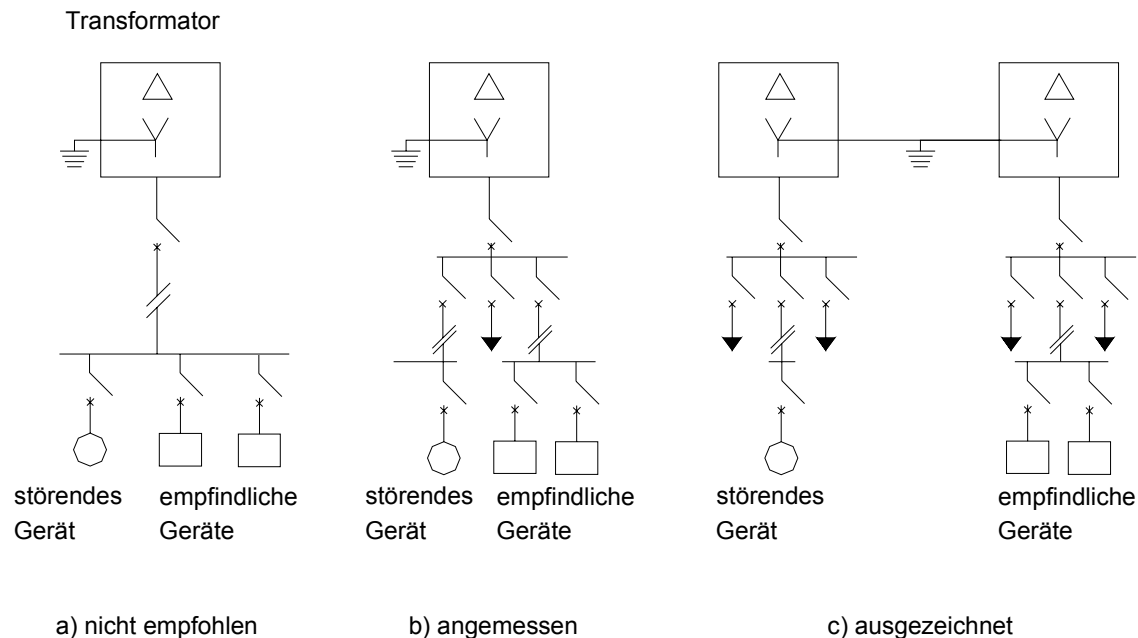


Abbildung: Aufteilung der Stromverteilung für verschiedene Anwendungen...

Schirmung von Hochspannungsleitungen

Auf **langen** Hochspannungsleitungen muss der Schirm des Hochspannungskabels, der zur Ortung einer möglichen Fehlerquelle dient, auf beiden Seiten mit dem Erdungssystem verbunden werden.

Erklärung:

1. An jeder Stelle einer langen Leitung kann ein Fehler auftreten.
2. Die Erdungssysteme von entfernt liegenden Punkten sind in der Regel höherohmig
3. Eine Trafowirkung in der einpoligen Leitung ist daher nicht zu erwarten.

Bei der Verbindung von der Hochspannungsschaltanlage zu den Transformatoren, die beide auf einem gemeinsamen Potentialausgleichs- und Erdungssystem installiert sind, empfiehlt es sich, den Schirm des Hochspannungskabels nur an der Schaltzelle mit dem Erdungssystem zu verbinden und vom Transformatoranschluss isoliert zu lassen. Dadurch werden Einkopplungen durch den Schirm auf die Anlage vermieden. Ausserdem sollten so wenig wie möglich ferromagnetische Materialien eingebaut werden, die die magnetischen Felder verstärken.

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Der Grenzwert für magnetische Felder ist nach dem nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz für Anlagen ab 1000 V und 50 Hz mit 100 μ Tesla angegeben.

Für Anlagen unter 1000 V gelten nur regionale Grenzwerte nach der jeweiligen Bauordnung der Länder zwischen 5 und 10 μ Tesla.

Dieser Wert ist aus Sicht von erfahrenen Sachverständigen zu hoch. Innerhalb eines Gebäudes sollten 1 μ Tesla nicht überschritten werden. Dies lässt sich durch geeignete Führung der Leitungen am Transformator beginnend, auch erreichen. In der Schweiz und in Schweden ist dieser Grenzwert gesetzlich festgelegt.

Der Einsatz von $M\mu$ - metallen oder Stahlschirmen in den Trafokammern bringt keinen besonderen positiven Effekt. Trockentransformatoren haben erfahrungsgemäß höhere Abstrahlwerte als ölgefüllte Transformatoren.

Bei der Auswahl der Transformatoren sollte auf Verlustarmut und Oberschwingungsfestigkeit geachtet werden. Diese Transformatoren sind leider etwas teurer und werden zum Teil nicht mit angeboten.

In der Schweiz werden spezielle feldarme Transformatoren angeboten.

Die Transformatoren (insbesondere Lufttransformatoren) der Energieversorgung und ihre Zu- und Ableitungen können (besonders im Kurzschlussfall) Quellen intensiver magnetischer Wechselfelder sein.

Ebenso können durch z. B. unmittelbar vor dem Gebäude verlaufende Straßenbahnlinien oder in der Nähe befindlichen Eisenbahnlinie mit 16 2/3 Hz (auch hier besonders im Kurzschlussfall) starke niederfrequente Magnetfelder entstehen. Hier hilft nur Abstand und möglichst wenig magnetische Kopplungen.

Auszug aus der DIN EN 50174 Teil 2:

„...Erdung der Wechselstromverteilungsanlage

Die verschiedenen Stromverteilungssysteme (TN-S-, TN-C-S-, TN-C-, TT- und IT-System) werden in HD 384.4 S2 beschrieben. Jedoch darf ein PEN-Leiter, über den unsymmetrische Ströme sowie überlagerte Ströme mit Oberschwingungen und anderen Störungen fließen, nicht als geeignete Erdung angesehen werden. Darüber hinaus müssen IT- und TT-Verteilungssysteme weitere Ausgleichsmaßnahmen aufweisen, insbesondere bezüglich Überspannungen. Deshalb sollte

- es im Gebäude keinen PEN-Leiter geben, das heißt, die betreffende Option in HD 384.5.54 S1:1988, 546.2.1, sollte nicht angewendet werden;
- wenn irgend möglich, das TN-S-System angewendet werden (siehe EN 50310).
Ausnahmen gelten bei Hochspannungs-Verteilungsanlagen, die als TT- oder IT-

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

System ausgeführt sind, oder falls im Hinblick auf die Anwendung (Krankenhäuser) oder auf nationale Vorschriften ein hoher Versorgungsgrad gefordert wird.

„...Betrachtungen zum TN-S-System

Wurde das TN-S-System gewählt, werden die kurzzeitigen und transienten Überspannungen, die in HD 384.4.42 S1 und HD 384.4.43 S1 beschrieben werden, auf ein Minimum reduziert. In bestimmten Fällen ist es jedoch erforderlich, die folgenden Phänomene zu berücksichtigen:

- Installation von Überspannungsschutzeinrichtungen nah beim Ursprung der Elektroinstallation, angepasst an die Überspannungen, denen die Stromverteilungsanlage ausgesetzt ist, und an die Widerstandsfähigkeit der Geräte (weitere Einzelheiten siehe HD 384.4.43 S1);
- Der Einfluss von Kurzschlussströmen, die Überspannungen kurzer Dauer bis zum 1,45-fachen der Nennspannung und Spannungsunterschiede im Verlauf des Schutzleiters und anderer Erdungsleiter erzeugen, muss bei der grundlegenden Dimensionierung der Installation berücksichtigt werden;
- Lang anstehende Überspannung bis 280V z.B. durch Sternpunktverschiebungen, können durch „Überspannungsschutzeinrichtungen“ in der Regel nicht beherrscht werden, da diese Schutzgeräte nur für Transienten ausgelegt sind.

TT- oder IT-Systeme

Ist die Stromverteilungsanlage ein TT- oder IT-System, oder ist das IT-System aufgrund von Vorschriften oder im Hinblick auf die Kontinuität der Versorgung erforderlich, muss darauf geachtet werden, dass

- empfindliche Geräte Überspannungen kurzer Dauer (bis AC 1200 V im TT-System nach HD 384.4.43 S1) widerstehen oder dass Transformatoren vorzugsweise an der Quelle installiert werden, um das TN-S-System zu benutzen;
- Überspannungsschutzeinrichtungen nach HD 384.4.43 S1 oder besser installiert werden, wobei ein Verfahren zur Risikoabschätzung verwendet wird, insbesondere dann, wenn zur Spannungsverteilung Freileitungen verwendet werden;
- in IT-Systemen die Geräte zwischen jedem Außenleiter und zugänglichen leitfähigen Teilen der Außenleiter-Außenleiter-Spannung widerstehen müssen. Im Allgemeinen sind isolierte Geräte geeignet, jedoch müssen elektronische Geräte den Anforderungen von EN 60950 bezogen auf das IT-System oder ähnlichen Anforderungen entsprechen oder über Transformatoren gespeist werden.

Das Niederspannungs-Stromversorgungssystem 230/400V muss als TN-S-System (siehe Abbildung unten: „Abbildung: EMV-günstige Installation (TN-S-System)“) aufgebaut werden, um ein von Betriebsstrom freies PA- / PE-System zu erzielen. Dadurch werden Spannungsfälle im PA- / PE-System vermieden, die bei

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

elektronischen Einrichtungen, welche das PE-System als Referenz-Erde benutzen, Störungen hervorrufen können.

Ausführungen sind in der DIN EN 50174 Teil 2 vom Januar 2002, der VDE 0100 Teil 444 vom Oktober 1999, der VDE E 0800 Teil 2 zu finden. Die VDE 0100 Teil 540 enthält diese Forderung bereits seit November 1991.

Trotzdem werden heute noch hochwertige neue Gebäude mit umfangreicher Informationstechnologie unzulässig mit PEN-Systemen ausgerüstet, da die VDE 0100, Teil 410 vom November 1983 den Einsatz von PEN-Leitern oberhalb 16 mm² nicht verbietet. Allein diese VDE-Bestimmung ist von 1983 bis zum Dezember 1995 sechs mal geändert worden. Die VDE 0800 fordert zwingend das TN-S-System.

Ein PEN-Leiter hat in einem modernen Gebäude keine Existenzberechtigung mehr; er ist nur aus Kostengesichtspunkten zur Einsparung von ein wenig Kupfer eingebracht worden. Vorrang hatte die niedrige Berührungsspannung.

Grundgedanke der VDE-Vorschriften ist es, gefährliche Berührungsspannungen durch Schutz durch Abschaltung zu vermeiden. Die Arbeitsströme von nichtlinearen Verbrauchern, die Rückwirkung auf das Erdungssystem und die Auswirkung auf informationstechnische Systeme waren früher ohne größere Bedeutung.

Der PEN ist ein Widerspruch in sich selbst. Der PE ist ein stromloser Leiter, der nur im Fehlerfall einen Strom führt. Der Null-Leiter, besser Return- (Rück-) Leiter, führt aktive Betriebsströme und kann somit keine Schutzfunktion erfüllen. Er ist der aktivste und wichtigste Leiter geworden.

Grundlagentext zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Die verPENnte Installation — Eine tickende Zeitbombe durch "neue" Verbraucher

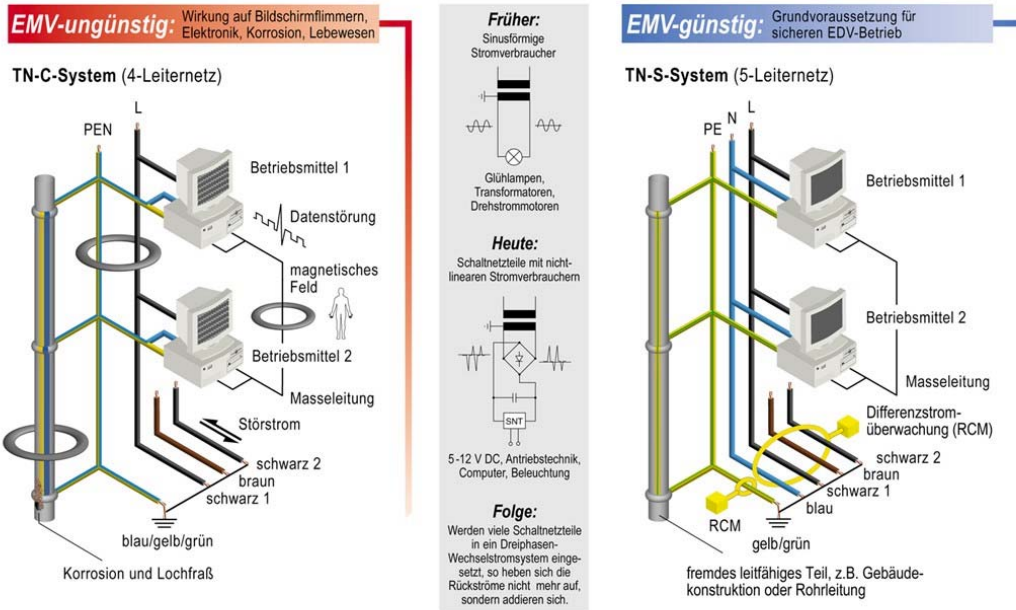


Abbildung: EMV-günstige Installation (TN-S-System)

Folgende wichtigen Vorgaben müssen zum Aufbau eines konsequenten TN-S Systems eingehalten werden:

- für die Niederspannungsstromversorgung muss durchgehend, ausgehend von den Transformatoren, Netzersatz-Anlagen und anderen Stromquellen (USV), ein 5-Leitersystem (L1, L2, L3, N, PE) aufgebaut werden,
- Kabel mit reduziertem N-Leiter-Querschnitt sind nicht zulässig, da sonst durch die zu erwartende Belastung eine Überlastungen des N-Leiters auftreten kann,
- die Querschnitte müssen generell „großzügig“ ausgelegt werden, damit die erhöhten Belastungen der Leiter durch ständig und schnell wiederkehrende Peakströme (nicht nur Effektivwert des Stromes) gut bewältigt werden können, ohne dass Leiter sich unzulässig erwärmen und größere (Spannungs-) Verluste auftreten,
- in Abhängigkeit von den zu erwartenden Lastverhältnissen wird in der geometrischen Lastmitte der N-Schiene eine ausreichend dimensionierte Verbindung zur PE-Schiene der Niederspannungs-Hauptverteilung (NSHV) geschaffen (zentraler Erdungspunkt ZEP). Der Querschnitt muss so gewählt werden, dass der höchste zu erwartende Kurzschlussstrom des stärksten einspeisenden Erzeugers die vorgeschalteten Schutzeinrichtungen ansprechen lässt,

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

- die N-Leiter in der elektrischen Energiezufuhr und Erzeugung von Generatoren, Transformatoren und USV Anlagen dürfen nicht direkt am Gerät geerdet werden, sondern müssen isoliert bis zur Hauptverteilung geführt werden, wo die Erdung in der einzigen N-PE Verbindung erfolgt (siehe Abbildung unten: „ZEP (Zentraler Erdungspunkt)“); Verbindungen an anderen Stellen sind nicht zulässig,

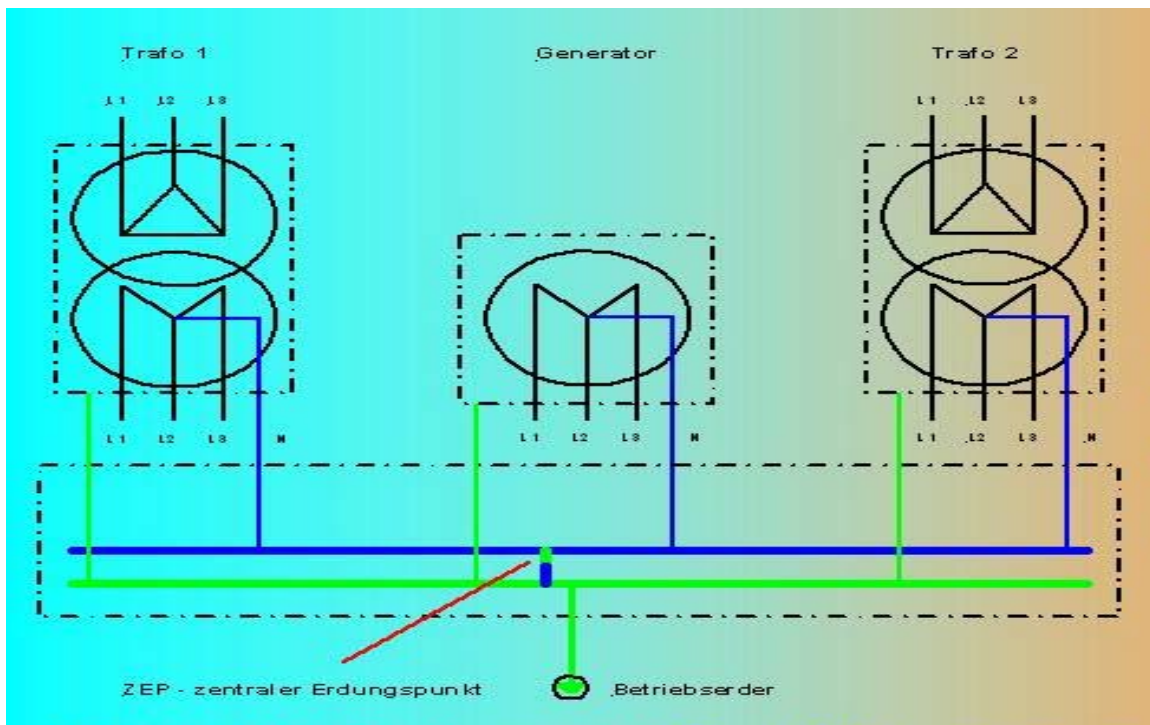


Abbildung: ZEP (Zentraler Erdungspunkt)

- alle Verteiler müssen mit einem 5-Leiter-Schienen-System ausgerüstet werden, wobei die N-Schiene isoliert in der Nähe der Phasenschienen vom Gehäuse montiert wird und die PE-Schiene möglichst weit entfernt von den übrigen 4 Leitern aufgebaut wird (wird der Neutraleiter, wie heute üblich, weit weg von den Phasen und in der Nähe der PE-Schienen geführt, so koppeln sich die Neutraleiterströme magnetisch auch in das Erdungssystem ein. Durch den Aufbau der Verteilungen mit Führung der Neutraleiter in der Nähe der Phasen wird das magnetische Feld reduziert),

Grundlagentext zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden



Abbildung: 5-Leiter-Schienen-System mit „abgesetzter“ Erdungsschiene



Abbildung: 5-Leiter-Schienen-System mit „abgesetzter“ Erdungsschiene

- die PE-Leiter müssen möglichst oft mit dem inneren Potentialausgleichssystem innerhalb der Gebäude, mit den Gehäusen von Schaltschränken, Geräten etc. verbunden werden. Der Erder ist wie die Wurzeln eines Baumes aufzubauen, um damit fest das Erdreich „elektrisch“ zu verankern,
- alle Stromversorgungskabel müssen
- für 1-Phasen-Wechselstrom als 3-Leiterkabel,
- für Motoranschlüsse ohne N-Leiter als 4-Leiterkabel (Drehstrom),
- für 3-Phasen-Drehstrom als 5-Leiterkabel (Drei-Phasen-Wechselstrom)

ausgeführt werden, wobei der N-Leiter mindestens den gleichen Querschnitt wie die der Phasenleiter haben muss,

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Stromschienensysteme sollten nur in Ausnahmefällen eingesetzt werden, da das von ihnen erzeugte Magnetfeld wesentlich größer ist als das eines entsprechenden Mehrleiterkabels (größere Leiterabstände, keine Verdrillung).

Insbesondere bei der Führung in der Nähe von empfindlichen Anlagen oder von datentechnischen Kabeltrassen können auch Sonderkonstruktionen mit spezieller Phasenordnung zur Verringerung des Magnetfeldes verwendet werden (8-polige Stromschienen in der Anordnung R-S-T-N-N-T-S-R).

Bei hauptsächlich 1-phasigen Anwendungslasten (Dreiphasenwechselstrom) wird auch zur Unterdrückung von common-mode Problemen (Gegentaktstörungen) auf dem N-Leiter der **Einsatz von 7-adrigen Leitungen bis zum Sternpunkt** notwendig sein, d.h. jeder N-Leiter wird zu jeder Phase separat und in gleichem Querschnitt zur Verteilung geführt.

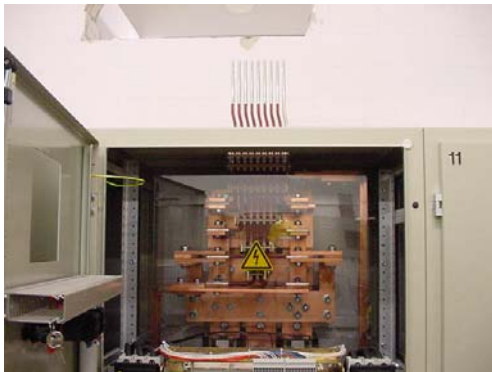


Abbildung: Stromschienensystem 8-polig

- Bei Dreiphasenanschlüssen von USV-Systemen und Umrichtern dürfen die Y-Kondensatoren im μF -Bereich nur zwischen Phase / Phase zum N geschaltet werden, nicht zum PE.



Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Heizgeräte wie z. B. Warmwasserbereiter und Dampfbefeuchter müssen in einer Ausführung mit minimierten Ableitströmen bestellt werden; diese Bedingung wird im Allgemeinen von 3-phasig angeschlossenen Geräten erfüllt und von solchen mit Eintauchwiderständen in speziellen Ausführungen (keine Direktwiderstände im Wasser). Vor Bestellung sind die technischen Unterlagen mit Angaben zu Ableitstrom und zu Netzurückwirkungen und die entsprechenden Prüfbescheinigungen (EMV-Gesetz) vorzulegen, nach Inbetriebnahme muss der Ableitstrom mit einem empfindlichen Zangenamperemeter kontrolliert werden,

Gerätefilter müssen ableitstromarm ausgewählt werden, d. h. bis 16A kleiner 3,5 mA.

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Vierpol- Messverfahren mit dem Max-Test Amprobe zur Erdungsmessung

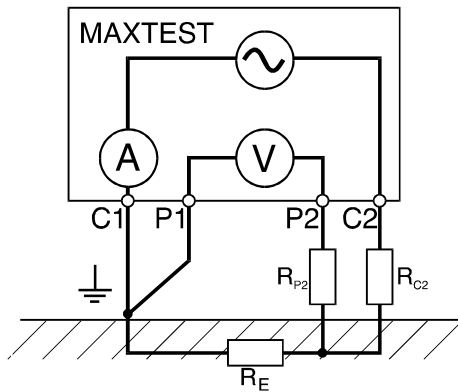


Abb.1. Ersatzstromkreis für Erdwiderstandsmessung

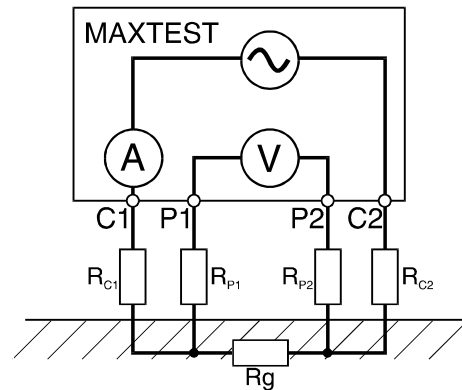


Abb.2. Ersatzstromkreis für Messung des bodenspezifischen Widerstandes

◆ Erdwiderstandsmessung mit zwei, drei- oder vier-Adern

R_E (ERDE)

Messbereich* (□)	Auflösung (□)	Messgenauigkeit
0 ÷ 19.99	0.01	±(2% der Anzeige + 2 Stellen)
20.0 ÷ 199.9	0.1	±(2% der Anzeige + 2 Stellen)
200 ÷ 1999	1	±(2% der Anzeige + 2 Stellen)

* Automatische Messbereichswahl

Messfrequenz: 125 Hz ± 1 Hz

Messstrom: < 10 mA effektiv

Messspannung bei offenem Anschluss: < 65 V effektiv

Form der Messspannung: Sinuswelle

Angezeigte Stromstärke und potentieller Spitzenwiderstand:

- Messbereich 0 ÷ 50 KΩ
- Auflösung 0,1 KΩ
- Messgenauigkeit ±(10% der Anzeige + 0,5 KΩ)

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

◆ Messung des bodenspezifischen Widerstandes

ρ (ERDE)

Meßbereich r^* (Ωm)	Auflösung (Ωm)	Meßgenauigkeit
0 ÷ 19,99	0,01	$\pm(2\% \text{ der Anzeige} + 2\rho a \cdot 0,02\Omega); \frac{\rho}{2\pi a} \leq 19,99\Omega$
20,0 ÷ 199,9	0.1	
200 ÷ 1999	1	$\pm(2\% \text{ d. Anzeige} + 2\rho a \cdot 0,2\Omega); 19,99\Omega < \frac{\rho}{2\pi a} \leq 199,9\Omega$
2,00k ÷ 19,99k	10	
20,0k ÷ 199,9k	100	$\pm(2\% \text{ der Anzeige} + 2\rho a \cdot 2\Omega); 199,9\Omega < \frac{\rho}{2\pi a}$
200k ÷ 377k	1000	

* Automatische Messbereichswahl

Der Abstand der beiden Erdspeße ist frei zwischen 1 und 30m wählbar, mit den Standardkabeln kann jedoch $a_{\max} = 8 \text{ m}$ erzielt werden.

$$\rho = 2\pi a R_E$$

ρ bodenspezifischer Widerstand

a Entfernung zwischen den beiden Erdspeßen

R_E Erwiderstand zwischen S und ES Erdspeßen

Messfrequenz: 125 Hz ± 1 Hz

Messstrom: < 10 mA effektiv

Messspannung bei offenem Anschluss: < 65 V effektiv

Form der Messspannung: Sinuswelle

Angezeigte Stromstärke und potentieller Spitzenwiderstand:

- Messbereich 0 ÷ 50 KΩ

- Auflösung 0,1 KΩ

- Messgenauigkeit ±(10 % der Anzeige + 0,5 KΩ)

Interferenz (gültig für die Messung des Erdwiderstands wie des bodenspezifischen Widerstandes):

Interferenzspannung 20 Vpp / 50Hz auf den potentiellen Stromkreis wirken sich mit max.

± 0.15 □ aus

Zulässiger Stromspitzenwiderstand $R_c \text{ max.}$:

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Der zulässige Spitzenwiderstand R_c max. führt zu einem max. 10-stelligen weiteren Fehlerwert (bodenspezifischer Widerstand) oder max. 2 Fehlerstellen (Erdwiderstand) und berechnet sich wie folgt:

$$R_{c\max} = (4 \text{ k}\Omega + 100 R_E) \text{ aber } \leq 50 \text{ k}\Omega$$

$R_c = R_{c1} + R_{c2}$ (Messung des bodenspezifischen Widerstandes, siehe Abbildung 2)

$R_c = R_{c2}$ (Erdwiderstandsmessung siehe Abbildung 1)

Zulässiger potentieller Spitzenwiderstand R_p max.:

Der zulässige Spitzenwiderstand R_p max. führt zu einem zusätzlichen, max. 10-stelligen Fehlerwert (Messung des bodenspezifischen Widerstandes) oder einem max. 2-stelligen Fehlerwert (Messung des Erdwiderstandes) und berechnet sich wie folgt:

$$R_p = (4 \text{ k}\Omega + 100 R_E) \text{ aber } \leq 50 \text{ k}\Omega$$

$R_p = R_{p1} + R_{p2}$ (Messung des bodenspezifischen Widerstandes, siehe Abbildung 2)

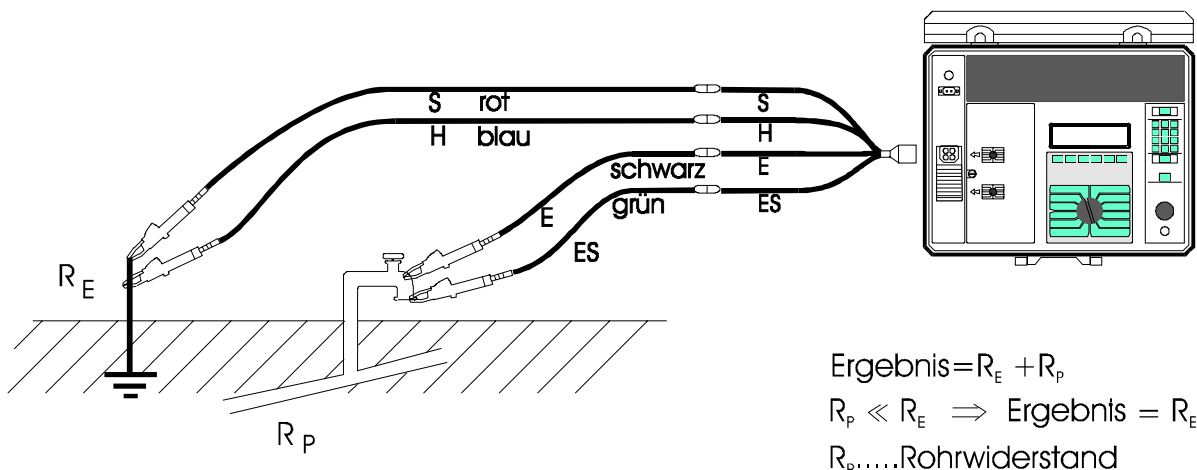
$R_p = R_{p2}$ (Erweiterungsmessung siehe Abbildung 1)

Erdwiderstandsmessung

Die Messung erfolgt mittels des geräteeigenen Generators und gemäß VDE 0413 Teil 7.

Die Messspannung des internen Generators ist eine Sinuswelle; der Messstrom liegt unter 10mA.

Entsprechend dem Meßsystem mit vier Anschlüssen können verschiedene Anschlüsse an dem Prüfstromkreis vorgenommen werden. Ferner kann auch der bodenspezifische Widerstand gemessen werden. Im nachfolgenden werden die für die Messung des Erdwiderstandes gebräuchlichsten Anschlussvarianten dargestellt.



Grundlagenkript zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Abb. 18. Zwei-Punkt-Messung des Erdwiderstandes

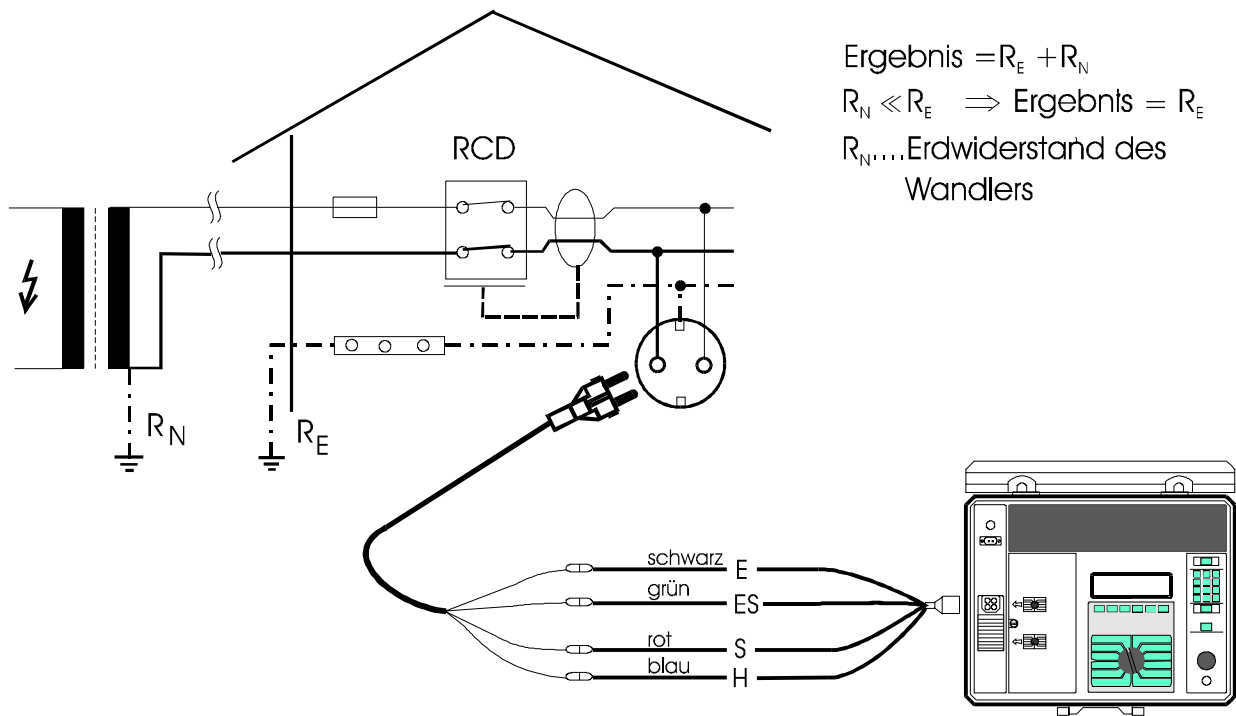


Abb. 19. Zwei-Punkt-Messung des Erdwiderstandes zwischen N und PE der Steckdose

Grundlagenkript zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

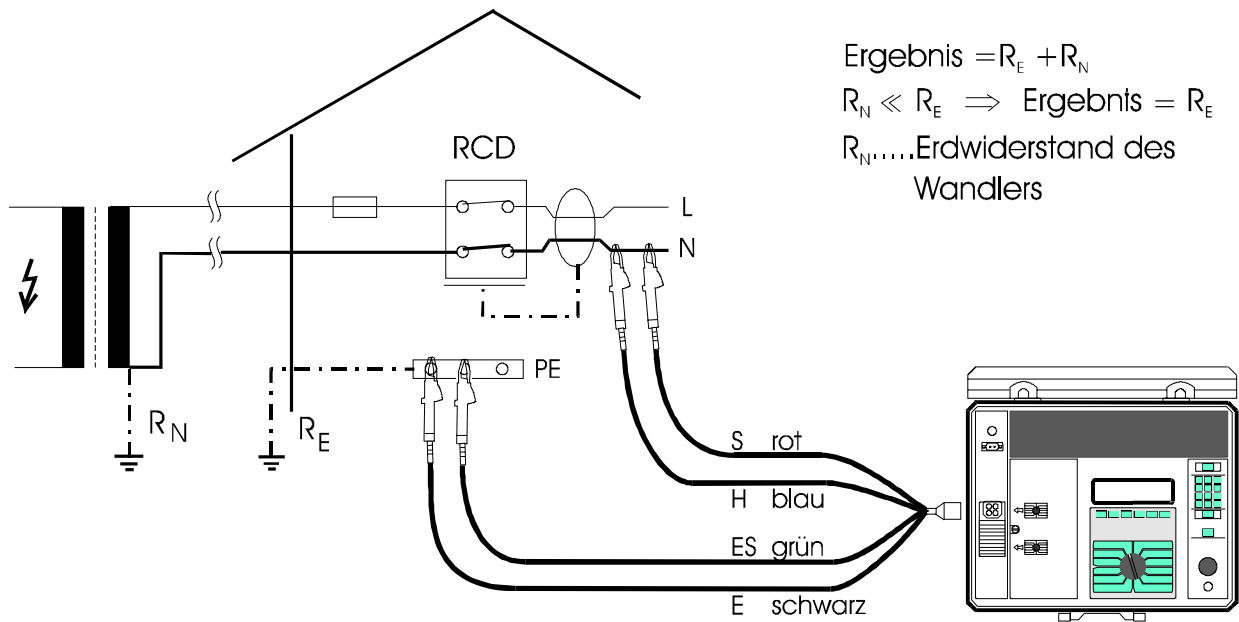


Abb. 20. Zwei-Punkt-Messung des Erdwiderstandes zwischen N und PE Anschlüssen

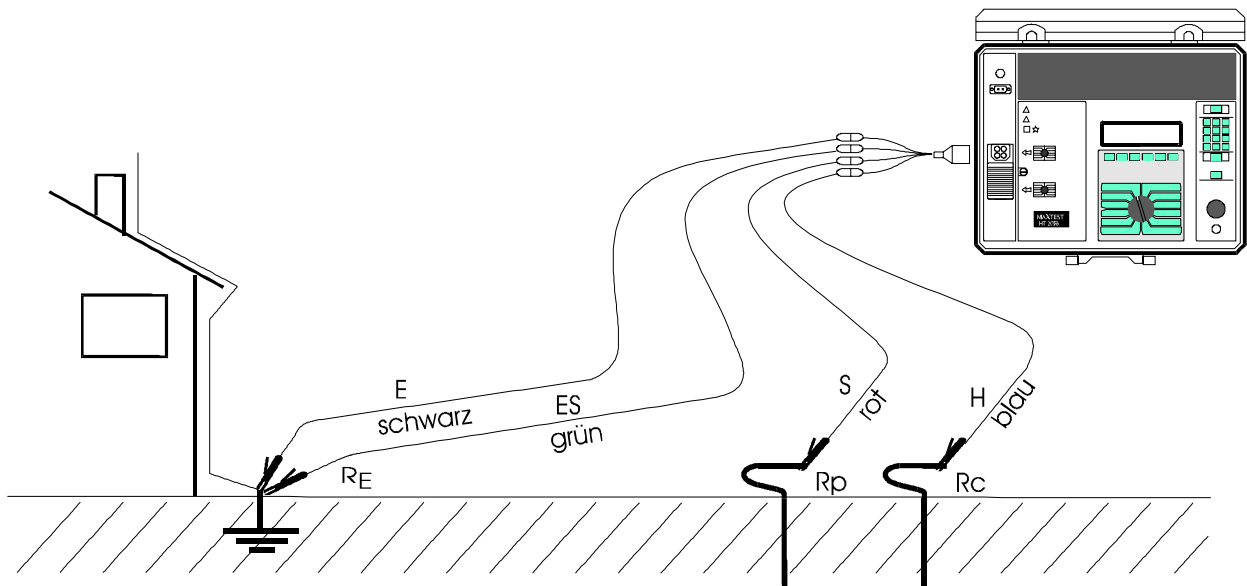


Abb.21. Drei-Punkt-Messung des Erdwiderstandes

Grundlagenkript zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Durchführung einer Erdwiderstandsmessung:

- Drehen Sie den Funktionswahlschalter in die **EARTH** Position.
- Bauen Sie eine der zuvor gezeigten Messanordnungen auf.
- Wählen Sie die EARTH R Funktion über die **F1** Taste aus.
- Wählen Sie die 2 oder 3 Punkt-Messung mit der **F2** Taste aus. Sie dient nur

zu

Dokumentationszwecken.

- Prüfen Sie den oberen Grenzwert (HI) und passen Sie ihn gegebenenfalls an
- (Siehe Beschreibung am Ende dieses Abschnittes).
- Drücken Sie die **START** Taste und halten Sie sie heruntergedrückt bis sich

das

Messergebnis stabilisiert und lesen Sie dieses dann ab.

- Speichern Sie das Messergebnis zu Dokumentationszwecken

Darstellung der Messergebnisse:

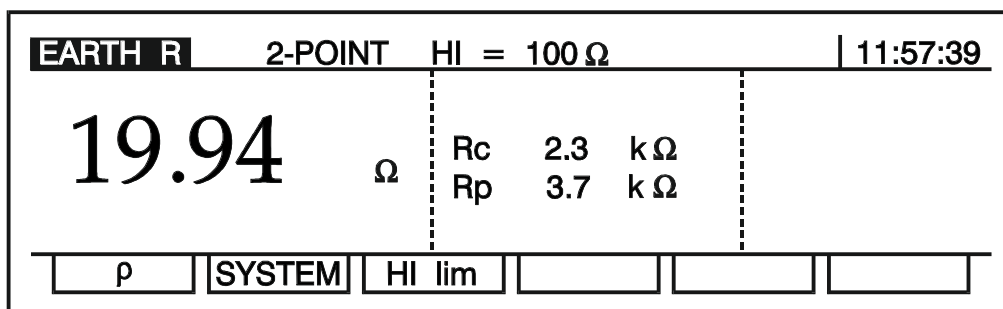


Abb 22. Darstellung der Meßergebnisse bei der Erdwiderstandsmessung (EARTH R)

Rc derzeitiger Spitzenwiderstand (siehe Technische Daten)

Rp potentieller Spitzenwiderstand (siehe Technische Daten)

HINWEIS!

- Liegt an E und H eine Spannung von mehr als 30V an, so kann die EARTH R Funktion nicht ausgeführt werden und es erscheint nach Betätigung der START Taste das "⚠" Symbol.**

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Jedes angezeigte Messergebnis wird mit dem voreingestellten oberen Grenzwert verglichen (HI); übersteigt das Messergebnis diesen Grenzwert, so erscheint die Meldung " $\Delta > X$ " auf der Anzeige.

X..... voreingestellter oberer Grenzwert (HI)

Wie wird der obere Grenzwert (HI) eingestellt?

- Drücken Sie die **F3** Taste; es wird der derzeitige Grenzwert angezeigt.

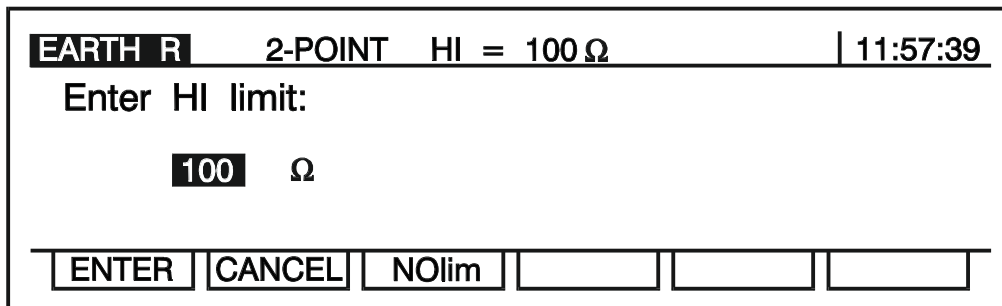


Abb.23. Eingabe des oberen Grenzwertes (HI)

- Geben Sie den neuen Grenzwert über die numerische Tastatur ein.
- Drücken Sie die **F1** Taste.
- Verwenden Sie die **F2** und **F3** Tasten wie folgt:
 - **F2** um die Eingabe rückgängig zu machen
 - **F3** um keinen Grenzwert einzugeben

Spezifischer Erdwiderstand

Um ein Schutzerdsystem aufzubauen muss zuvor der bodenspezifische Erdwiderstand ermittelt werden. Dieser wesentliche Parameter hilft bei der Bestimmung der mechanischen Auslegung des Erdungssystems wie auch bei der Bestimmung der Installationstiefe. Daher ist der bodenspezifische Widerstand unter Berücksichtigung der verschiedenen Installationstiefen zu ermitteln.

Je größer der Abstand a ist, in desto tiefere Erdschichten muss vorgedrungen werden.

Grundlagenkript zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

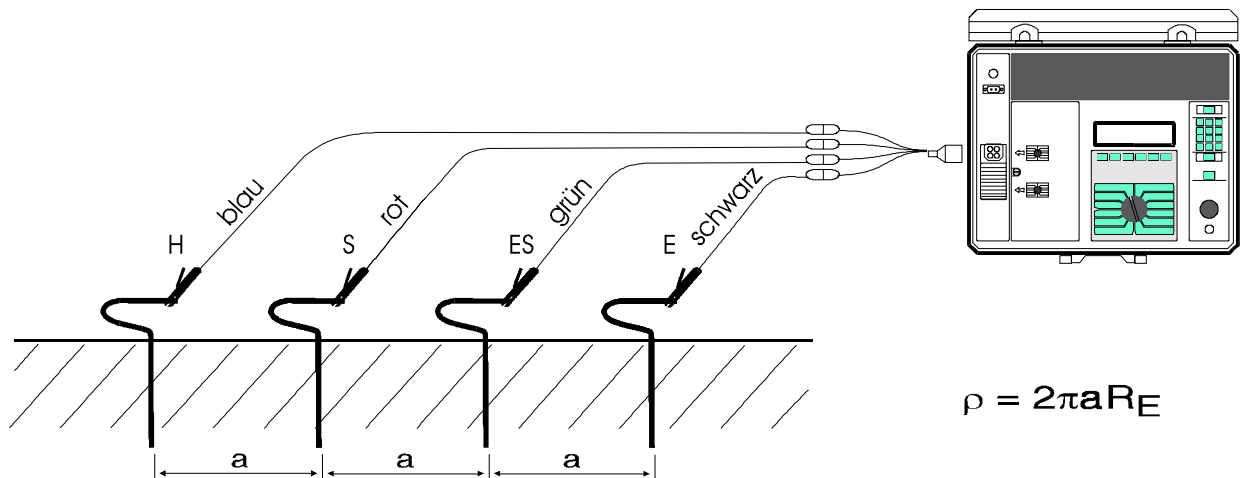


Abb.24. Messung des bodenspezifischen Widerstandes

Durchführung der bodenspezifischen Widerstandsmessung:

- Drehen Sie den Funktionswahlschalter in die **EARTH** Position.
- Schließen Sie die Messleiter wie oben gezeigt an.
- Wählen Sie die EARTH r Funktion über die **F1** taste aus.
- Geben Sie den Abstand zwischen den beiden Prüfspießen ("a") über die **F2** Taste ein. Es können Werte zwischen 1 und 30m eingegeben werden.
- Drücken Sie die **START** Taste und halten Sie sie heruntergedrückt bis sich das Messergebnis stabilisiert hat und lesen Sie es dann ab.
- Speichern Sie das Messergebnis zu Dokumentationszwecken

Darstellung des Messergebnisses:

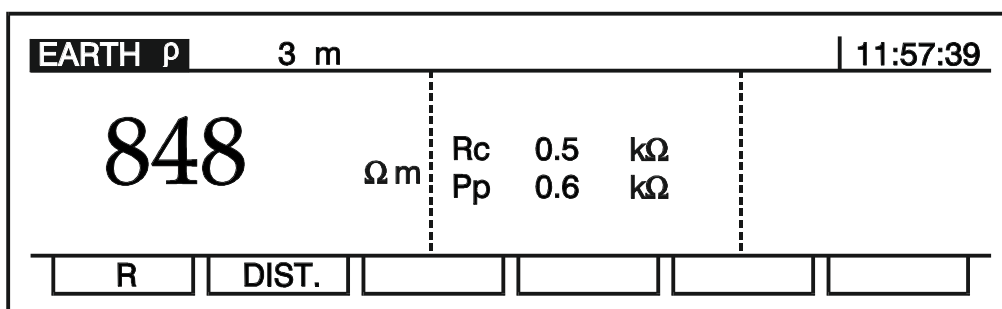


Abb.25. Darstellung des Messergebnisses bei der EARTH r Funktion

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

3m Abstand "a" zwischen zwei Prüfspießen

Rc derzeitiger Spitzenwiderstand (siehe Technische Daten)

Rp potentieller Spitzenwiderstand (siehe Technische Daten)

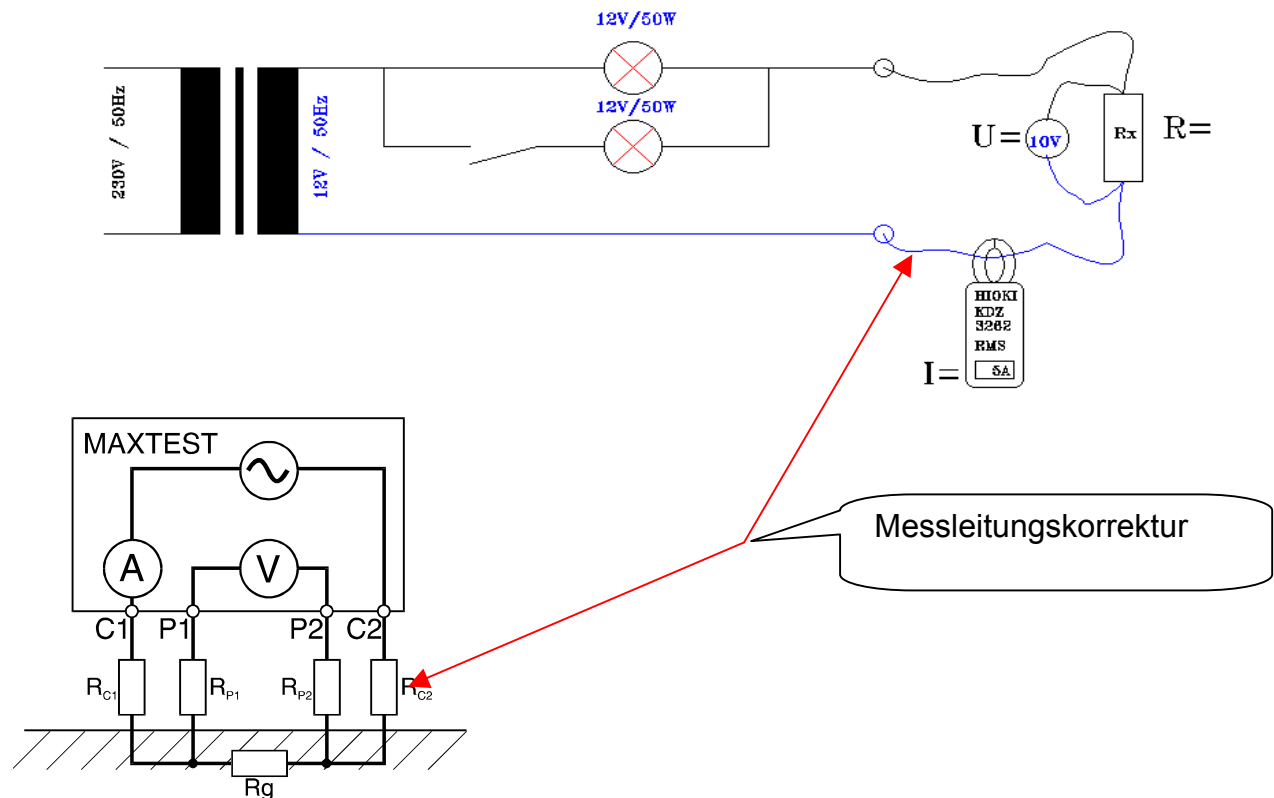
HINWEIS!

- Übersteigt die an E und H anliegende Spannung 30V, so kann die EARTH r Funktion nicht ausgeführt werden und es erscheint stattdessen nach Betätigung der START Taste das "⚠" Symbol auf der Anzeige.

Grundlagentext zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Messblatt Strom-Spannungs-Messung mit Prüfrafo

Diese einfache und exakte Messung arbeitet ebenso präzise wie das relativ teure Maxtest – Prüfsystem und wird für einen weiten Anwendungsbereich, wie Durchgängigkeit der Potentialverbindungen, Erdungsmessung, Messung an Datenleitungen und Schirmen, Fehlersuche durch überlagerte Strommessverfahren, Freiprüfen von TN-S-Systemen, Prüfen von Motoren und Transformatoren, genutzt.



Zum Beginn der Messung muss der Einfluss der Messleitung festgestellt werden. Dieser Korrekturfaktor MLF (Messleitungsfaktor) ist zu berücksichtigen.

	Messpunkt	Spannung in V	Strom in A	Faktor	Widerstand errechnet	Korrigierter Ohmwert
	Messleitung offen			MLF	$R = U/I$	$R_{\text{wahr}} = R - \text{MLF}$
	Messleitung geschlossen					
1						
2						

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Fehlersuche durch überlagertes Strommessverfahren

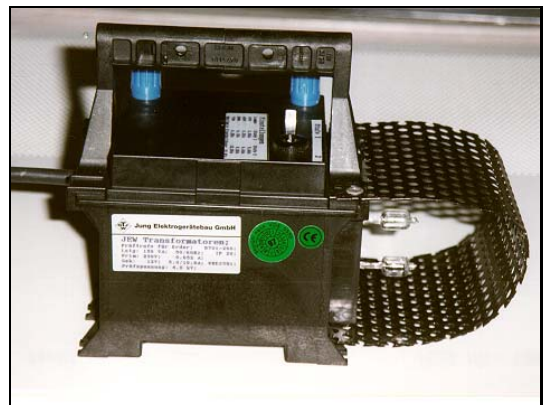
Um in bestehenden Anlagen

- den Weg von Strömen verfolgen zu können,
- Erdungsmessungen mittels eingepprägtem Strom nach dem Stromspannungsmess-verfahren durchführen zu können,
- zur Prüfung der Durchgängigkeit einer Schutzleiterverbindung gemäß VDE 0113,
- Belastungsprüfung von Kontakten und Verbindungsleitungen

wurde aus der Praxis heraus ein einfaches, aber effizientes Prüfverfahren und Prüfmittel entwickelt.

In einem stabilen, kompakten, tragbaren Gehäuse ist ein 200 VA Einphasen-Trafo eingebaut, der primärseitig mit einem Klicksohn als thermischer Überlastungsschutz versehen ist. Sekundärseitig ist eine Spannung von 12 V über einen Schalter so auf zwei Halogenlampen gelegt, dass durch den Schalter zwei unterschiedliche Prüfströme erzeugt werden können. Über die Halogenleuchten ist ein Metallgitter angeordnet, um diese zu schützen, aber auch, um die erzeugte Wärme abzutransportieren und um ein einfaches Wechseln der Halogenlampen zu ermöglichen. Hersteller dieses Prüfwerkzeuges ist die Fa. Jung (siehe Bezugsquellenliste).

Die beiden Ausgangsbuchsen des Prüftrafos für Erder werden genutzt, um zwei Messadern anzuschließen. Da metallische Verbindungen der Erdungssysteme in der Regel nicht über geeignete 4 mm Prüfbuchsen verfügen, haben sich einfache, preiswerte Grippzangen aus dem Baumarkt (ca. DM 10,-) bewährt, um die Messung zu ermöglichen. Die Grippzangen werden so modifiziert, dass in das Maul der Zange ein 4 mm Loch als Prüfbuchse und ein zweites Loch gebohrt wird, welches mit einem 5 mm Gewinde ausgerüstet wird, um über ein Flügelschraubensystem Kabelschuhe von stabilen Prüfadern (6 mm²) anschließen zu können.



Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Verfolgung von Stromwegen

Um mit dem Messverfahren vertraut zu werden, werden zwei Messkabel an die Prüfbuchsen gelegt und diese miteinander kurzgeschlossen. Nun fließt der volle Lampenstrom über die Messkabel. Die beiden Lampen leuchten auf. Man kann den geschlossenen Stromkreis „sehen“.

Da es sich um einen 50 Hz Prüfstrom handelt, können mit jedem Zangenamperemeter die Prüfströme von außen über die Messkabel erfasst werden. Durch die Umschalter lässt sich der definierte Prüfstrom variieren.

Werden die beiden Messkabel an das zu prüfende Objekt angeschlossen, zur Übung z.B. an ein Fahrrad, in dem ein Messkabel an das Vorderrad und das andere an das Hinterrad, angeschlossen werden, so kann der Prüfstrom (ca. 5 A oder 10 A, je nach gewählter Halogenlampe) nur zwischen diesen beiden Anschlusspunkten der Grippzangen fließen. Je nach den ohmschen Werten der metallischen Rohrverbindungen fließen Teilströme über die Gabel und den Fahrradrahmen. Mit einer Messzange lassen sich die Teilströme exakt nach dem Kirchhoffschen Gesetz ermitteln. Selbst über die Fahrradkette fließen kleine Teilströme.

In einem zweiten Versuch kann die gleiche Messanordnung an einem einfachen Metallkäfig durchgeführt werden. Z..B. eignet sich ein Fahrradkorb, der einem Faraday'schen Käfig eines Gebäudes ähnelt, welches über Blitzableiter, Betonarmierung und Rohrsysteme verfügt. Wird die Prüfstrecke mit den Grippzangen auf ca. 5 cm des Außenkranzes bestimmt, so sollte man annehmen, dass sich der Prüfstrom nur zwischen diesen beiden Zangen bewegt. Wie in einer normalen Installation ist dieses aber nicht der Fall. Die Teilströme fließen unberechenbar selbst über die kleinsten Verbindungswege des Fahrradkorbes und lassen sich mit dem Zangenamperemeter nachweisen.

Messung des Erdübergangswiderstandes

In der Praxis wird nach dem gleichen Grundmuster die Verbindung von niederohmigen Erdungssystemen kontrolliert. Mit der Meßmethode kann ein Anschlusspunkt an den niederohmigen N- oder PEN-Leiter des ankommenden, speisenden Netzes gelegt werden. Der zweite Anschlusspunkt geht an einen zu prüfenden Erder. Der Prüfstrom fließt jetzt von einem bekannten niederohmigen Erdungssystem (2 bis 3 Ohm), z.B. zu einem in den Boden eingetriebenen Erdespieß, dessen Erdübergangswiderstand unbekannt ist.

Der eingekoppelte Prüfstrom wird durch den Erdübergangswiderstand vermindert. Der real fließende Strom wird mit einem Zangenamperemeter gemessen. Die 4mm Prüfbuchsen an den Grippzangen werden für einen Spannungsabgriff genutzt. Nach

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

der Strom-Spannungsmethode lassen sich rechnerisch nach der Formel $R = U/I$ selbst kleinste Widerstände sicher ermitteln.

Der Vorteil dieser Meßmethode liegt darin, dass sie ungefährlich ist und durch den realen Stromfluss die Übergangswiderstände von Verbindungen/Anschlüssen belastet.

Mit einem weiteren Multimeter lassen sich die Spannungsabfälle über Schraubverbindungen feststellen und sich dadurch rechnerisch die Einzelübergangswiderstände bestimmen.

Im freien Feld oder auch zur Erzeugung einer anderen Prüffrequenz als 50 Hz kann dem Trafo eine kleine USV-Anlage vorgeschaltet werden, deren Frequenz einstellbar ist oder von 50 Hz abweicht. Mit einem Oszilloskop und daran angeschlossener Messzange lässt sich der eingekoppelte Prüfstrom von anderen im Erdungssystem vagabundierenden Arbeitsströmen unterscheiden.

Durchgängigkeit einer Schutzleiterverbindung

Die Durchgängigkeit der Schutzleiterverbindungen gemäß VDE 0113 kann durch den Prüftrafo mit 10 A Prüfstrom festgestellt werden. Da die Lampen bei einer Durchgängigkeit aufleuchten, kann bereits aufgrund der unterschiedlichen Helligkeit und Leuchtdichteschwankung eine gewisse Voraussage über den Übergangswiderstand getroffen werden. Mit dem Zangenamperemeter und einem über die Klemmen geschalteten Voltmeter können die exakten Übergangswiderstände ermittelt und dokumentiert werden.

Belastungsprüfung von Kontakten und Verbindungsleitungen

Nach der gleichen Methode, aber mit stärkerem Trafos (modifizierte Schweißtrafos), lassen sich Klemmverbindungen oder erhöhte Übergangswiderstände in elektrischen Installationen finden.

Durch einen hohen Prüfstrom, aber ungefährlicher, kleiner Spannung, kann in einer abgeschalteten Anlage eine komplette Prüfung aller Verbindungsstellen von der Einweisung mit den Nennstrom erfolgen. Schlechte Verbindungsstellen erwärmen sich bereits nach einiger Zeit, so dass die Spannungsabfälle mit einem Multimeter gemessen oder, dass mit einem Thermodifferenzmessverfahren die Temperaturerhöhung festgestellt werden kann. Im einfachsten Fall reicht auch eine rote Kerze aus, die bei Erwärmung des Stearins einen Abdruck hinterlässt.

Für Belastungsprüfungen einer neuen Niederspannungsanlage wurde ein Netztrafo mit 4 Ausgangsstromkreisen 10/12/14/16 V entwickelt, der als ungefährliches Ersatznetz in die Einspeisung geschaltet wird. Mit einem einfachen Stück Draht oder Prüfkabel und einem Zangenamperemeter kann eine komplette Installation unter Belastung geprüft werden.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Belastungsprüfung an Datenverbindungsleitungen

Mit einem relativ klein eingestellten Prüfstrom (0,5 - 2 A, durch Auswechseln der Halogenlampen) können auch abgeklemmte Datenübertragungsstrecken geprüft werden. Durch den eingprägten, definierten Strom werden die Schirmungsleiter auf Durchgängigkeit kontrolliert. Mit gleicher Methode lassen sich auch die aktiven Drahtverbindungen mit ihren Klemmstellen und z.T. schlechten Übergangswiderständen in Steckern kontrollieren, welches mit einem einfachen Ohmmeter ohne Belastung unmöglich wäre.

Verhalten der Prüfeinrichtung im Fehlerfall

Innerhalb der beschriebenen Prüfungen werden immer nur kleine Spannungen mit definierten Strömen verwendet, so dass die Prüfung risikolos ist, es sei denn, die Prüfströme würden, z.B. zur Prüfung der Datenleitungen, zu hoch gewählt. Wird trotz aller Vorsicht einmal mit einer Messleitung ein spannungsführendes Teil berührt, so wirkt die eingeschaltete Leuchte wie eine Sicherung und brennt durch. Die Folgekosten beschränken sich auf den Ersatz des Leuchtmittels.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Netz- und Schleifenimpedanz mit dem Maxtest

Netz- und Schleifenimpedanz mit Kurzschlussstromermittlung für Haupt und Unterverteilungen mit großem 280A Prüfstrom als Impulsfolge.

Die Messung erfolgt unter Einhaltung der Norm VDE 0413 Teil 3

Warum wird die Netz- und Schleifenimpedanz mit Kurzschlussstromermittlung getestet?

- **um eine ausreichende Absicherung nachzuweisen**
 - (Nennstrom und Abschaltstromleistung)
- **um ein Schutzsystem auslegen zu können**
- **um die Leistung zweier Stromquellen zu überprüfen**
- **um Kontaktprobleme zu entfernen (bei der Messung werden hohe Stromstärkenimpulse verwendet)**

Warum wird die Impedanz anstelle des Gleichstrom-Widerstandes geprüft?

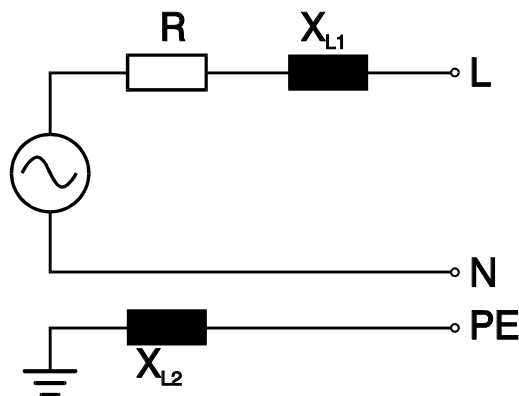


Abb.28. Installation

Erfolgt die Messung in der Nähe des Netztransformators oder entsteht Induktivität in Reihe mit dem Netztransformator, so hat die Induktionskomponente der Impedanz bereits einen wesentlichen Einfluss auf den Kurzschlussstrom, auch bereits bei 50 Hz..

Zuleitungen von der Niederspannungs-Hauptverteilung zu den Unterverteilungen dämpfen den Kurzschlussstrom. Auch die Art des Kabels und seine Verlegung spielen eine mitwirkende Rolle.

Daher ist die Impedanz der für die Berechnung des Kurzschlussstromes der ausschlaggebende Parameter.

Der Kurzschlussstrom berechnet sich aus der gemessenen Nennspannung des Netzes oder auf einen manuell eingegebenen Spannungswert.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Präzisionsimpedanzmessung Z

Wird ein präziser Impedanzwert benötigt oder ist einer der Werte sehr gering, so ist ein hoher Prüfstrom erforderlich, damit ein spürbarer Spannungsabfall während des Tests erzeugt werden kann.

Wie ist die Messung durchzuführen?

- Der Funktionswahlschalter wird in die **Z2Ω Im=280A max** Position gestellt.
- Die Prüfleiter werden entsprechend der untenstehenden Abbildung angeschlossen:
 - Wählen Sie den entsprechenden Anschluss (L-L, L-N oder L-PE) über die **F1** Taste.

Präzisionsmessung der Schleifen- bzw. Netzzinnen- Impedanz

Z, R, X_L* (Z2Ω Im=280A max.)

Messbereich (mΩ)	Auflösung (mΩ)	Messgenauigkeit
0 ÷ 199.9	0.1	± (2 % der Anzeige + 2 mΩ)
200 ÷ 1999	1	± 2 % der Anzeige

* Zusätzlicher Fehlerwert für X_L: 0,001·(1,5 Ω+R)

Nennspannung: 100 ÷ 440 V

Nenn-Frequenz: 45 ÷ 65 Hz

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

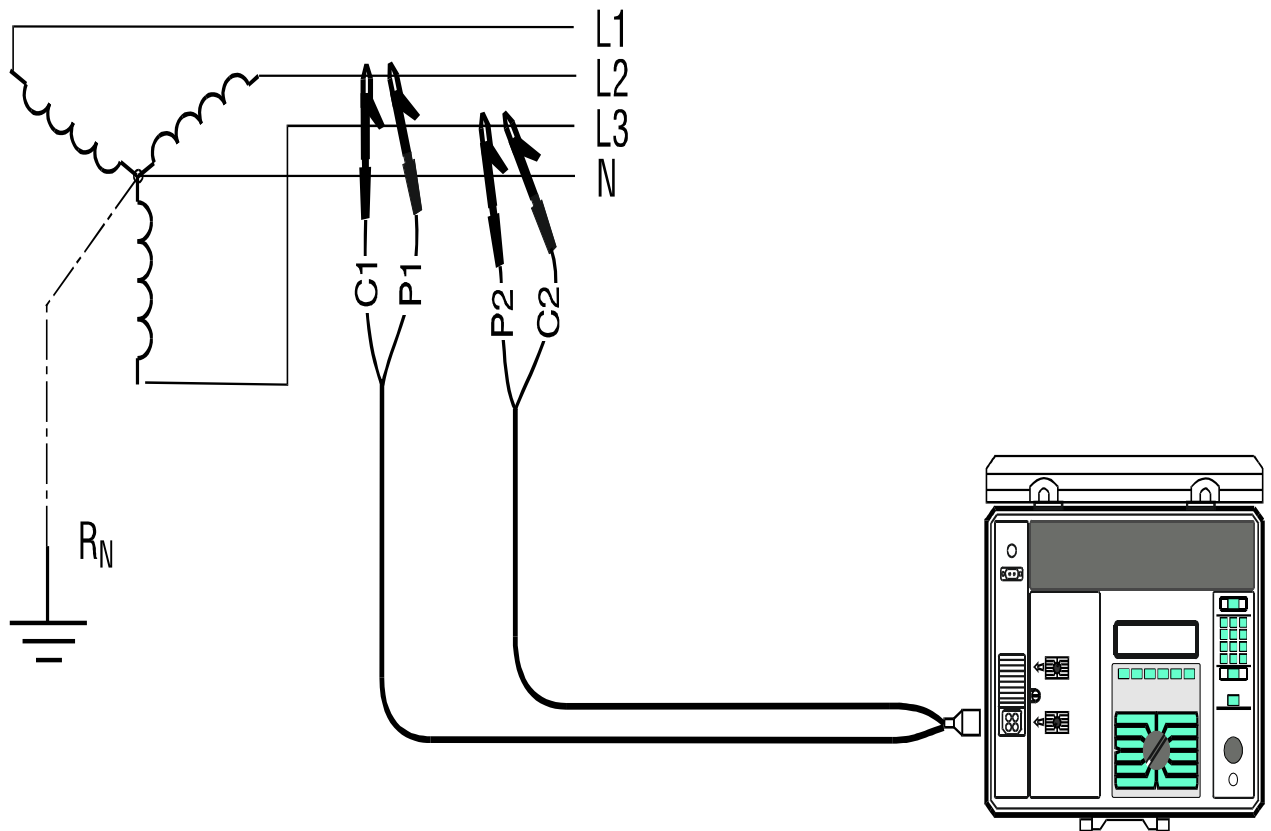


Abb. 45. Anschluß der Prüfleiter

Darstellung des Meßergebnisses:

Z LINE	L-N	STAND	11:57:39		
0.99	Ω	i_p 334 A	U_m 217 V		
		i_k 231 A			
		R 0.99 Ω		f 50.0 Hz	
		X_L 0.10 Ω			
CONN.	STAND	MAX	MIN		

Abb.32 Darstellung des Meßergebnisses der Z LINE Messung

Grundlagenkript zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

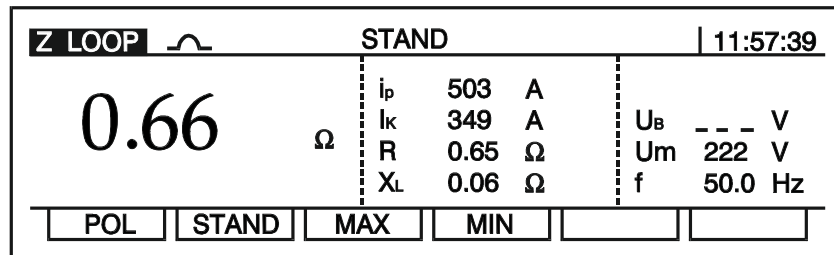


Abb.33. Darstellung des Meßergebnisses der Z LOOP Messung

- IK..... Zu erwartender Kurzschlußstrom (Standard, Maximal oder Minimal)
 i_p Spitzenwert des zu erwartenden Kurzschlußstromes (nur angezeigt, wenn "maximal zu erwartender Kurzschlußstrom" gewählt wurde)
R..... Widerstandskomponente der angezeigten Impedanz
 X_L Induktionskomponente der angezeigten Impedanz
 U_B^* Berührungsspannung bei maximal zu erwartendem Kurzschlußstrom - nur angezeigt,
 U_m Netzspannung
f Frequenz der Netzspannung
* Die Messung von U_B wird automatisch durchgeführt und auf den angezeigten Kurzschlußstrom berechnet, vorausgesetzt das Prüfkabel ist ordnungsgemäß an den PROBE Anschluß angeschlossen.

Der entsprechende Kurzschlußstrom wird über die Funktionstasten F2 bis F6 ausgewählt. Die Abkürzungen im Display bedeuten das Folgende:

- STAND Zu erwartender Standardkurzschlußstrom
MAX..... Maximal zu erwartender 1-Phasen-Kurzschlußstrom
MIN Minimal zu erwartender 1-Phasen-Kurzschlußstrom
MAX-3ph..... Maximal zu erwartender 3-Phasen-Kurzschlußstrom
MAX-2ph..... Maximal zu erwartender 2-Phasen-Kurzschlußstrom
MIN-3ph..... Minimal zu erwartender 3-Phasen-Kurzschlußstrom
MIN-2ph..... Minimal zu erwartender 2-Phasen-Kurzschlußstrom

◆ **Kurzschlußstrom I_K - Standardwert**
($Z_{2\Omega} I_m=280A \text{ max.}$)

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Berechnung des Kurzschlußstromes:

$$I_K = \frac{400V}{Z} \text{-----} 400V \pm 15\%$$

$$I_K = \frac{230V}{Z} \text{-----} 230V \pm 15\%$$

$$I_K = \frac{U_N}{Z} \text{-----}$$

Meßgenauigkeit bei I_K : Berücksichtigen Sie die Meßgenauigkeit bei $Z=2\Omega$

I_K Meßbereich (400 V): 200 A ÷ 50 kA

I_K Meßbereich (230 V): 115 A ÷ 29 kA

Auflösung I_K :

63 ÷ 1999 A.....1 A

2.00 ÷ 19.99 A.....10 A

20.0 ÷ 50.0 kA.....100 A

- Kurzschlußstromes I_K - Nicht-Standardwerte**
($Z=2\Omega$ $I_m=280A$ max.)

Siehe I_K Nicht-Standardwerte für Z LEITUNG und Z SCHLEIFE Funktionen.

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

FI Prüfung und Analyse

Theoretische Grundlagen des FI Betriebs

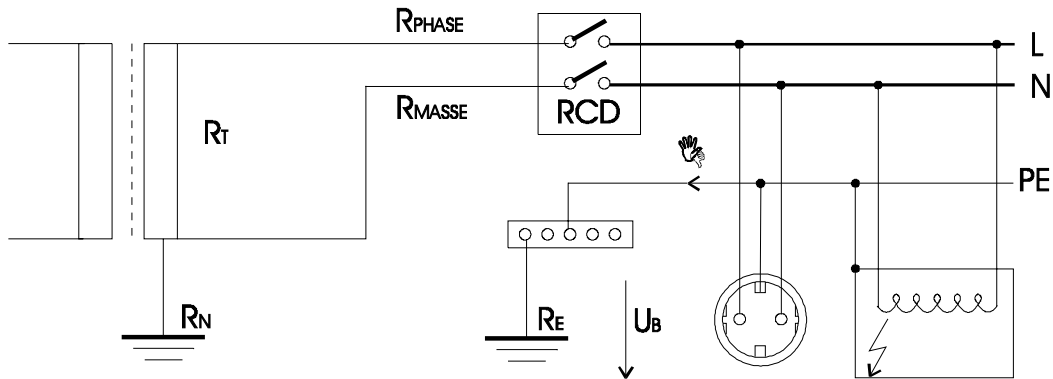


Abb. 34. TT System Anschluß

R_N Erdungswiderstand des Wandlers
R_T..... Widerstand der Sekundärwicklung

Tritt ein Teil des Phasenstromes aufgrund schlechter Isolierung in das Gehäuse eines Gerätes und damit an die Erdung aus, kann über den Erdungswiderstand R_E eine gefährliche Berührungsspannung U_B auftreten.

Da die Formen des Leckstromes vielfältig sind, z.B. wechselnd, pulsierend (mit halbwellen- und vollwellenrektifizierter Spannung), gleichgerichtet (mit 3-phasenrektifizierter Spannung) etc., bietet der MAXTEST die Möglichkeit die verschiedenen Stromformen sowie auch eine negative oder positive Polarität des Startfehlerstromes zu messen.

6.8.2. Messung der Berührungsspannung U_B

Um den Sicherheitsvorschriften zu entsprechen, sind Berührungsspannungsmessungen (U_B) als eigenständige Messungen oder als Hilfsfunktionen vor der Messung der Auslösezeit oder des Auslösestromes vorzunehmen. Es sind zwei U_B Werte als Sicherheitsgrenzwerte zulässig:

- 50 V ... bei allgemeiner Betriebsumgebung
- 25 V ... in Krankenhäusern, etc.

Deshalb werden die Messergebnisse der U_B Messung stets auf den zuvor eingerichteten Referenzwert bezogen (25 oder 50 V).

Die Messungen erfolgen entsprechend den VDE 0413 Teil 6 Vorschriften. Das FI Gerät löst während dieses Tests nicht aus, da bei der Messung nur 1/3 des Nennfehlerstromes verwendet wird, wobei das angezeigte Ergebnis auf den Nennfehlerstrom (Standard FI Typen), oder den doppelten Nennwert (selektive FI Typen) berechnet wird. Der angezeigte Wert wird gegen die Wandlererde gemessen,

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

wenn der Anschluss „PROBE“ nicht verwendet wird oder gegen den Anschluss „PROBE“, falls dieser nicht wie in Abbildung 35 gezeigt angeschlossen wurde.

Wie ist die Messung durchzuführen?

- Drehen Sie den Funktionswahlschalter in die **FI (RCD) Voltage U_B /Time t** Position.
- Schließen Sie die Prüfkabel wie unten gezeigt an. Wurde der PROBE Anschluß mittels
- eines Erdungsspießes an die Erde des Gerätes angeschlossen, so wird U_B gegen diese
- Spitze gemessen und eine höhere Meßgenauigkeit erzielt. Ist dies nicht der Fall, so erfolgt
- die Messung mittels des Phasenanschlusses gegen die Wandlererde.

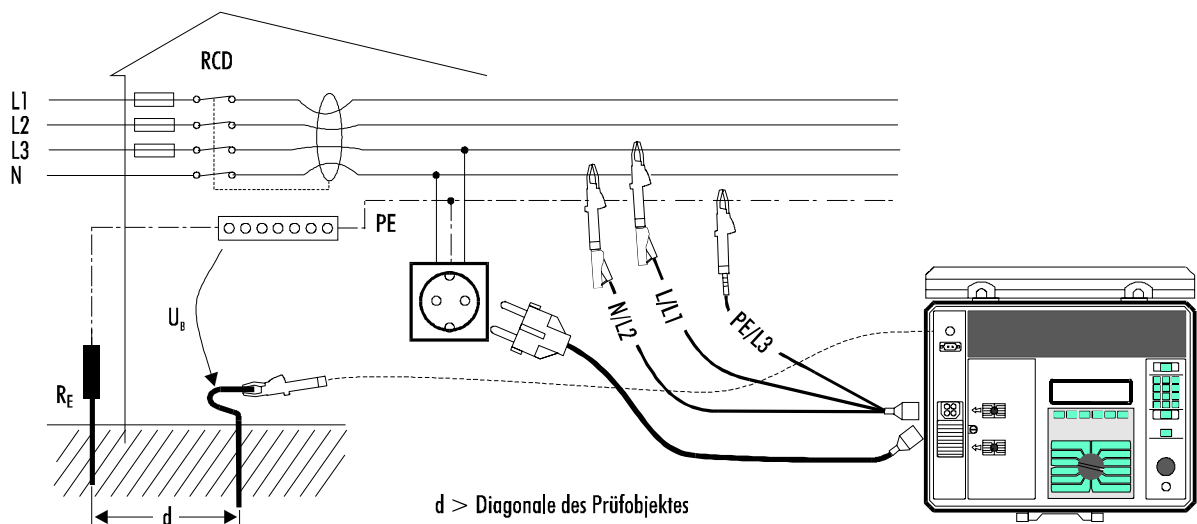


Abb.35. Testleiteranschluß

- Wählen Sie die FI U_B Funktion über die **F1** Taste.
- Wählen Sie die entsprechende Nennfehlerstromstärke über die **F2** Taste.
- Wählen Sie über die **F3** Taste den FI Typ (standard oder selective).
- Wählen Sie den Wert für $U_B I_{lim}$ über die **F4** Taste.
- Drücken Sie die **START** Taste und lesen Sie das Meßergebnis ab.
- Speichern Sie das Meßergebnis zu Dokumentationszwecken ab (siehe Abschnitt 6.13).

Darstellung der Meßergebnisse:

Grundlagenkript zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

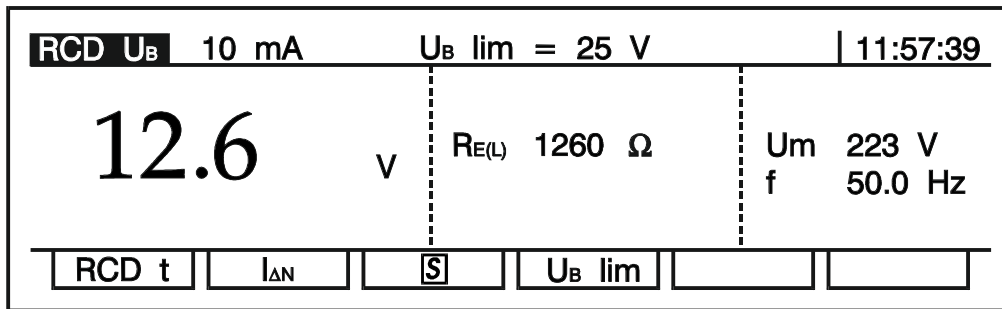


Abb.36. Darstellung der Ergebnisse der FI UB Messung

R_E Erdwiderstand (PROBE Anschluß verwendet)

$$R_E \text{ (TT System)} = R_E$$

$$R_L \text{ (TN System)} = R_{NEUTRAL}$$

R_L Schleifenwiderstand (PROBE Anschluß nicht verwendet)

$$R_L \text{ (TT System)} = R_N + R_T + R_{PHASE} + R_E$$

$$R_N + R_T + R_{PHASE} \ll R_E \Rightarrow R_L \cong R_E$$

$$R_L \text{ (TN System)} = R_T + R_{PHASE} + R_{NEUTRAL}$$

R_N Erdwiderstand des Wandlers

R_T Widerstand der Sekundärwicklung

R_{PHASE} .. Widerstand des Phasenleiters

R_E Erdwiderstand des Prüfobjektes

U_m Netzspannung

f Frequenz der Netzspannung

HINWEIS!

- Die eingerichteten Parameter werden gespeichert und stehen auch für andere FI Meßfunktionen zur Verfügung.
- Falls die Netzspannungen L-N und L-PE nicht innerhalb der erforderlichen Toleranzen liegen (100 ÷ 250V) oder die Netzfrequenz außerhalb des 45 ÷ 65Hz Bereiches liegt, so erscheint das "⚠" Symbol auf dem Display.
- Wurde der PE Anschluß nicht angeschlossen, wird nach Betätigung der START Taste "PE" nicht angezeigt.

6.8.3. Messung der Auslösezeit t_A

Die Messung ist bei halbem Nennstrom, Nennstrom, doppeltem Nennstrom und fünffachem Nennstrom durchführbar. Die Auslösezeiten müssen der untenstehenden Tabelle entsprechen, um die IEC 1009-1 Vorschriften zu erfüllen.

Wie ist die Messung durchzuführen?

- Drehen Sie den Funktionswahlschalter in die **FI (RCD) Voltage UB /Time t** Position.

- Wählen Sie über die **F1** Taste die FI t Messfunktion.

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

- Wählen Sie den entsprechenden Nennfehlerstrom über **F2** aus.
- Wählen Sie den entsprechenden Multiplikator für den Nennfehlerstrom über die **F3** Taste.
- Wählen Sie die entsprechende Form des Fehlerstromes über die **F4** Taste, siehe Abb.38 - Unterschiedliche Formen des Fehlerstromes.
- Wählen Sie über die **F5** Taste den RCD Typ aus (standard oder selektiv).
- Überprüfen Sie über die **F6** Taste den Wert für $U_B \text{ lim}$ und ändern Sie ihn gegebenenfalls.
- Schließen Sie die Prüfleiter entsprechend Abbildung35 an.
- Drücken Sie die **START** Taste und lesen Sie das Messergebnis ab.
- Speichern Sie das Messergebnis zu Dokumentationszwecken (siehe Abschnitt 6.13).

Tabelle der gemäß IEC 1009-1 zulässigen Auslösezeiten

FI Typ	$I_{\Delta N}$	$2I_{\Delta N}$	$5I_{\Delta N}^*$	Anmerkung
Standard	0,3	0,15	0,04	max. Unterbrechungszeit
selective	0,5	0,2	0,15	max. Unterbrechungszeit
	0,13	0,06	0,05	min. Verzögerung der Unterbrechungszeit

* Für $I_{\Delta N}$ Nennwerte $\leq 30\text{mA}$ beträgt der fünffache Prüfstrom $0.25A$.

Darstellung der Messergebnisse:

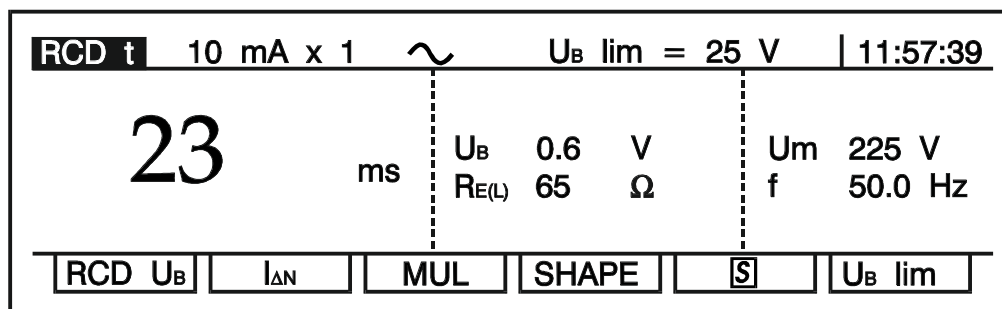


Abb.37. Darstellung der Auslösezeit bei der FI t Messung

- U_B Berührungsspannung gegen Erde gemessen,
- R_E Erdwiderstand (siehe Erklärung unter Abbildung 36.)
- R_L Schleifenwiderstand (siehe Erklärung unter Abbildung 36.)
- U_m Netzspannung
- f Frequenz der Netzspannung

Grundlagenkript zum Seminar:

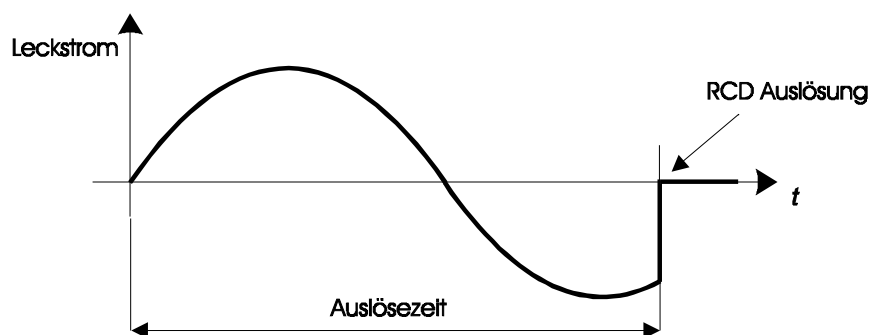
Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

HINWEIS!

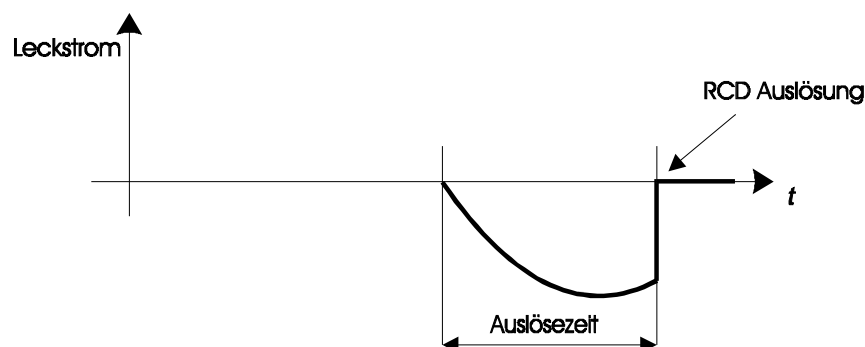
- Um den Fehlerstrom bei negativer Polarität zu starten, ist die START Taste zweimal hintereinander zu drücken.
- Ein selektiver FI enthält naturgemäß eine Integrationsfunktion des Leckstromes aufgrund der erforderlichen Verzögerung des Auslösestromes. Daher muß der Benutzer 30 s warten, bevor das endgültige Ergebnis der Berührungsspannungsmessung erzielt wird, welches dann den Einfluß des Prüfstromes ausschließt.
- Wurde der PE Anschluß nicht verwendet, so erscheint nach Betätigen der START Taste die "PE" Meldung nicht.

Verschiedene Formen des Fehlerstromes.

a) Wechselnd (Startphase 0°)



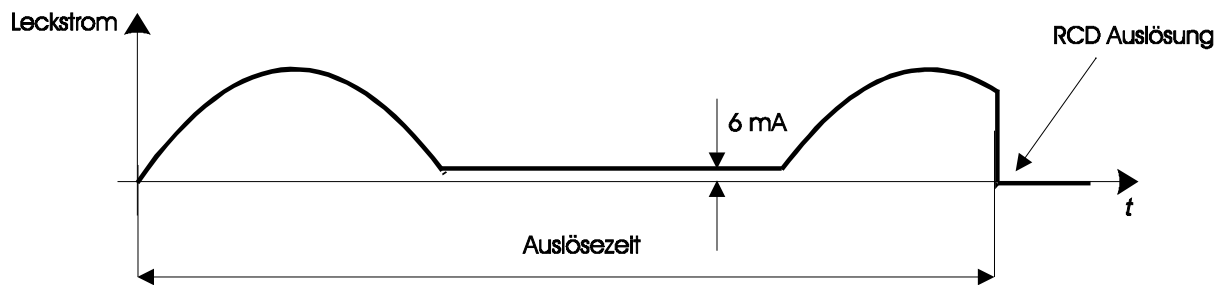
b) Wechselnd (Startphase 180°)



Wechselnder Leckstrom

Grundlagentext zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

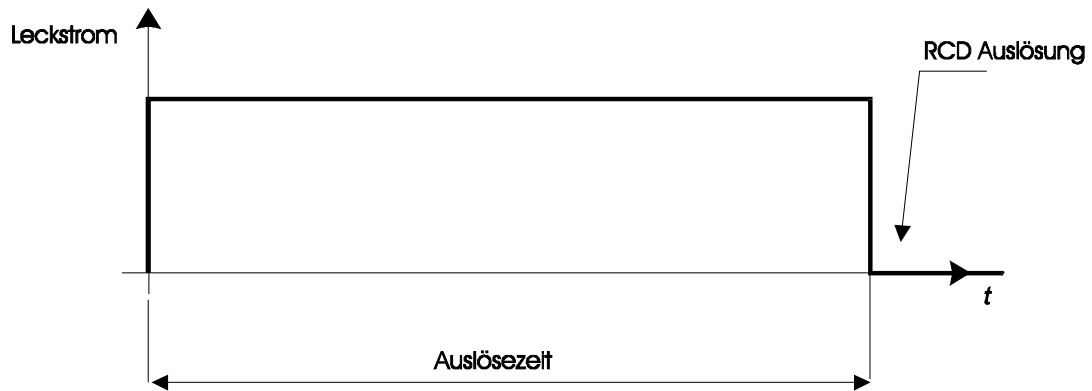
c) Pulsierend (Startphase 0°)



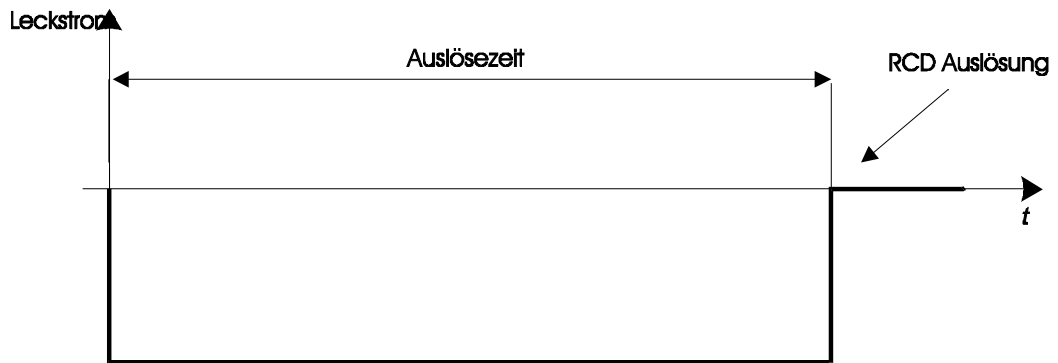
d) Pulsierend (Startphase 180°)

e) Reine Gleichstromform (Startphase 0°)

Grundlagentext zum Seminar: Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden



f) Reine Gleichstromform (Startphase 180°)



Gleichgerichteter Leckstrom

Abb. 38. Verschiedene Formen des Fehlerstromes

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

6.8.4. Messung des Auslösestromes I_{Δ} .

Es können nur Standard-FI-Typen hinsichtlich des Auslösestromes getestet werden.

Wie ist die Messung durchzuführen?

- Drehen Sie den Funktionswahlschalter in die **FI (RCD) Current I_{Δ}** Position.
- Wählen Sie den entsprechenden Fehlerstrom über die **F1** Taste aus.
- Wählen Sie die entsprechende Form des Fehlerstromes (siehe Abb. 38) über die **F2** Taste.
- Wählen Sie den Wert für $U_{B \text{ lim}}$ über die **F3** Taste aus.
- Schließen Sie die Prüfleiter entsprechend Abbildung 35 an.
- Drücken Sie die **START** Taste und lesen Sie das Meßergebnis ab.
- Speichern Sie das Meßergebnis zu Dokumentationszwecken ab (Siehe Abschnitt 6.13).

Darstellung des Meßergebnisses:

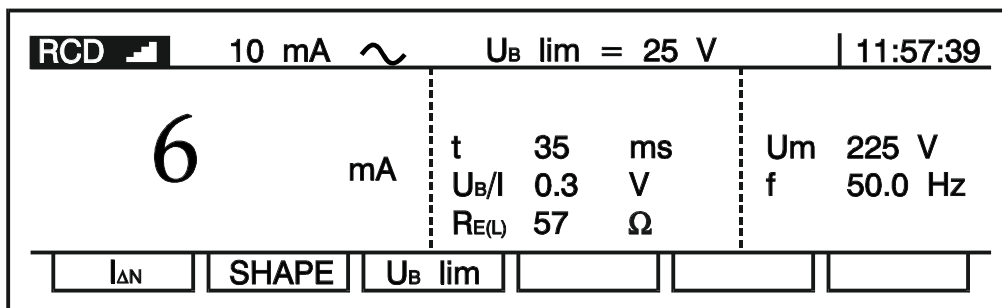


Abb.39. Darstellung des Auslösestromes I_{Δ} .

- t Auslösezeit bei angezeigtem Auslösestrom
- U_B/I Berührungsspannung bei angezeigtem Auslösestrom (siehe Erklärung in Abb.37)
- R_E Erdwiderstand (siehe Erklärung in Abb. 36.)
- R_L..... Schleifenwiderstand (siehe Abbildung in Abb.36)

HINWEIS!

- Um den Fehlerstrom bei negativer Polarität zu starten, ist die **START** Taste zweimal hintereinander zu betätigen (siehe Abb. 38, Unterschiedliche Formen und Polaritäten des Fehlerstromes).
- Wurde der PE Anschluß nicht verwendet, so erscheint nach Betätigung der **START** Taste die PE Meldung nicht.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

FI Analyse

Um alle wichtigen FI Parameter automatisch zu prüfen (z. B. zu offiziellen Prüfzwecken) ist die FI Analyse wie folgt zu wählen.

Wie ist die Prüfung durchzuführen?

- Drehen Sie den Funktionswahlschalter in die **FI (RCD) Analysis** Position.
- Wählen Sie den entsprechenden Nennfehlerstrom über die **F1** Taste.
- Wählen Sie die entsprechende Form des Fehlerstromes über die **F2** Taste, siehe Abb. 38
- hinsichtlich der unterschiedlichen Formen des Fehlerstromes.
- Wählen Sie über die **F3** Taste den FI Typ (standard oder selektiv) aus.
- Überprüfen Sie den Wert für $U_{B \text{ lim}}$ und ändern Sie ihn gegebenenfalls über die

F4 Taste.

- Schließen Sie die Prüfkabel entsprechend Abbildung 35 an.
- Drücken Sie die **START** Taste und befolgend Sie die angezeigten

Bedienungsanweisungen

d.h.. "reswitch RCD", wenn erforderlich (FI wieder einschalten).

- Lesen Sie das Meßergebnis nach Beendigung der Messung ab und speichern

Sie es zu

Dokumentationszwecken ab (siehe Abschnitt 6.13).

Darstellung des Meßergebnisses:

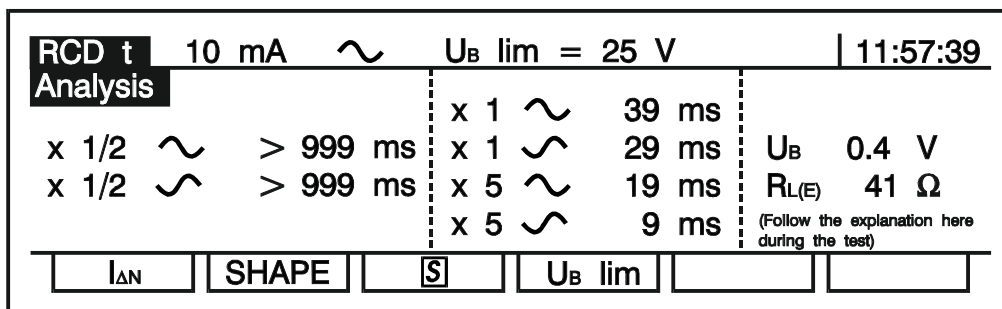


Abb.40. Darstellung des Ergebnisses der FI Analyse

U_B/I Berührungsspannung (siehe Erklärung unter Abb.37)

R_E Erdwiderstand (siehe Erklärung unter Abb. 36.)

R_L Schleifenwiderstand

x 1/2, 1, 5..... Multiplikatoren des Nennstromes

\sim, \sim Form und Startphase des Fehlerstromes

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

HINWEIS!

- **Wurde ein schwacher DC Strom gewählt so kann nur ein Wert von 10mA und 30mA für $I_{\Delta N}$ eingerichtet werden.**
- **Wurde der PE Anschluß nicht verwendet, so erscheint nach Betätigung der START Taste die PE Meldung nicht.**

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Die wichtigsten Grundregeln zum Aufbau bzw. Erhalt einer EMV-gerechten Elektroanlage

Ströme und Motivation

Der Umgang mit Strommesszangen muss an Modellen trainiert werden, bevor man in der Praxis beim Kunden die Fehlersuche anstrebt.

Man muss sich mit der Arbeit und der Anlage identifizieren. Ohne Strom läuft heute nichts. Das muss auch dem Kunden klar gemacht werden.

Geschlossene Elektro- Systeme mit Feldern bis 30 kHz.

Das Prinzip des geschlossenen Stromkreises nach Herrn Kirchhoff muss eingehalten werden.

Hin- und Rückleiter, auch in Verteilungen, müssen nahe beieinander angeordnet werden, damit magnetische Felder minimiert werden. An jedem Knotenpunkt eines Stromkreises muss die Summe der Ströme gleich Null sein.

Elektrische Felder müssen beachtet werden, damit genügend Isolationsfestigkeit gegen ungewollte Überschläge und Lichtbögen vorhanden ist.

Der vergessene Rückleiter N und das PE System in Verbindung mit dem ZEP

Der N-Leiter (Rückleiter) ist heute der wichtigste Leiter geworden. Dieser muss als solcher (wie ein Außenleiter) akzeptiert und behandelt werden.

Der strombelastete N muss fern vom "PE" gehalten werden, da der PE bzw. die Erde "sauber" bleiben muss.

Es dürfen keine galvanischen Arbeitsströme über das Erdungssystem fließen. Die induktive Einkopplung muss durch geeignete Leiterbahnführung reduziert werden.

Im TN- S System darf der N-Leiter nur einmal am ZEP (zentraler Erdungspunkt) an geeigneter Stelle mit dem Erdungssystem verbunden werden - und dies möglichst nah an der speisenden Quelle.

Auslegung der Elektrosysteme

Die Leitungsquerschnitte müssen mindestens für den Scheitelwert (1ms) der Betriebsströme ausgelegt werden, also nicht nur für den Effektivwert. Damit erhalten auch "Nicht Lineare Verbraucher" angemessene Leitungsquerschnitte und geringere Spannungsfälle.

Kapazitive Netze müssen vermieden werden.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Verluste

Die Temperatur der Leitungen und Installationen muss so niedrig wie möglich gehalten werden, damit Verluste minimiert und Isolationen vor Alterung geschont werden.

Brandgefahr durch Materialien

Es müssen schwer entflammbare und selbstverlöschende Installationsmaterialien verwendet werden. Diese müssen mit Bedacht ausgewählt und bzgl. ihrer Entflammbarkeit mit einem „Streichholztest“ getestet werden.

Es müssen die besseren Produkte ausgewählt werden, welche eine hohe Verfügbarkeit erwarten lassen.

Platzbedarf

In den Kabelanschlussräumen muss ausreichend Platz belassen werden, damit Messungen an allen Adern mit Strommesszangen ohne Personengefährdung und ohne mögliche Fehl-messungen erfolgen können.

Zu kleine Verteilungen kosten später doppelt.

Dokumentation

Es müssen Prüfpunkte und Beschriftungen an Kabeln, Klemmen und Anlageteilen so ausgebildet werden, dass auch andere sich in einer Anlage zurechtfinden.

Fehlende Dokumentationen vor Ort kosten Image und viel Geld.

Sicherheit und Zuverlässigkeit

Sicherheit für Personen und Material ist sehr wichtig, aber eine funktionsuntüchtige oder unzuverlässige Anlage bringt Ärger und Regresskosten in zum Teil nicht kalkulierbarer Höhe. Es muss bedacht werden, dass heute auch unter Spannung gemessen werden muss, um Fehler zu finden.

Automatische Überwachung

Eine Anlage lebt und verändert sich durch neue Anforderungen.

Zusätzlich sollten der ZEP und alle Parameter auf ein geeignetes Monitoring- System gelegt werden, welches alle Parameter von Strom und Spannung überwacht und wie in einem Flugschreiber im Fehlerfall nachvollziehbar aufzeichnen kann.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Bezugsquellen für vorgestellte Messgeräte und Komponenten

Es sind von uns eine Reihe von Messeinrichtungen unterschiedlicher Fabrikate und Preisklassen ausprobiert worden.

Mittelfristig machten sich die „besseren“ Messgeräte schnell bezahlt, da sie bedienungsfreundlicher, robust und zuverlässiger waren.

Der Bezugsquellennachweis ist nicht von den Firmen „gekauft“ worden, sondern stellt eine Auswahl von unserer Meinung nach brauchbaren und bewährten Messgeräten und Komponenten für die Fehlersuche dar.

Teilweise werden gleiche Messgeräte / Hilfsmittel unter anderen Bezeichnungen, Preisen und leicht veränderten Aussehen angeboten.

Grundausrüstung zum Feststellen von Fehlern:

Universal-Schalterschrankschlüssel aus Metall.

Das wichtigste Werkzeug, um überhaupt einen gängigen Schaltschrank öffnen zu können.

Hersteller : Cimco
Typ : Universalschlüssel mit Adapter
Artikel Nr. : 11 2894
Preis : ca. 15 €, plus MwSt.

Fa. Tatje, Großer Stein 77, 32657 Lemgo, Herr Henjes
Tel: 05261-601 41 Fax - 601-60

Sicherheitshandschuhe

Die zugelassenen Elektrikerfingerhandschuhe bis 1000 V aus 1 mm Latex sind in der Messpraxis nicht zu gebrauchen. Die Hände „schwitzen“ darin sehr schnell und schon leichte mechanische Beschädigungen führen zum Aufreißen.

Typ : Fingerhandschuhe nach VDE 0680/1
Artikel Nr. : 1701778
Preis : ca. 85 €, plus MwSt.

Fa. Tatje, Großer Stein 77, 32657 Lemgo, Herr Henjes
Tel: 05261-601 41 Fax - 601-60

Besser haben sich „Schweisserhandschuhe“ aus dem Arbeitssicherheitshandel bewährt.

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Diese Handschuhe sind bis 600 V von uns ausgetestet worden. Solange die Handschuhe trocken und mechanisch nicht beschädigt sind, setzen wir diese auf eigene Gefahr ein.

Hersteller : Fernost
Preis : 15,-€

Kleine Meßzange Meßbereich 0-10/ 100A 1mA=1mV AC (Wäscheklammer)

Die Meßzange hat eine Empfindlichkeit von 1 mA = 1 mV. Damit können Differenzströme über Datenleitungen und Gerätezuleitungen mit einem Echteffektiv-Vielfachmultimeter gemessen werden. Gleichzeitig kann die Frequenz festgestellt werden.

Zwei gleiche Zangen lassen sich über einen kleinen Adapter auch an ein 2-Kanal Oszilloskop anschließen. Damit läßt sich dann auch die Richtung des Stromes ermitteln. Achtung der Umschalter 10A /100 A verstellt sich sehr leicht!

Hersteller : Chauvin Arnoux
Typ : Minclamp 1 Messbereich 1V pro 1A
Artikel Nr. : 1050-01
Preis : ca. 125,-€, plus MwSt.
Baugleich GMC Metrawatt Typ WZ 12C

Firma CHAUVIN ARNOUX GmbH, Straßburger Str. 34,
77694 Kehl, Rhein, Tel: 07851-5052 Fax -75290

Fa. PEWA GmbH, Weidenweg 21, 58239 Schwerte Herr Brinkschmidt/ Herr Wendel
Tel: 02304-6927 Fax -6920 info @ pewa.de

Digital – Multimeter RMS Fluke 187 und 189

Ein gutes Multimeter sollte in der Ausrüstung eines Fehlersuchenden nicht fehlen.

Das vorgeschlagene Multimeter ist als echt Effektivwert-Multimeter mit einem Meßbereich von 400 mV bis 600 V ausgelegt. Die Peak-(Spitzen 100 ms und 250µs), Average-(Durchschnitt) und Vally-(Min) Werte und die Frequenz können ebenfalls direkt über Tastendruck abgerufen werden.

Es handelt sich um ein robustes und zuverlässiges RMS- Universalmeßgerät, welches zur Grundausstattung eines Elektrotechnikers gehören sollte und über eine „Lebenslange Garantie“ verfügt.

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Hersteller : Fluke
Typ : 187 und 189
Preis : ca. 430,- bis 450,-€, plus MwSt.

Fa. PEWA GmbH, Weidenweg 21, 58239 Schwerte Herr Brinkschmidt
Tel: 02304-6927 Fax –6920

Fa. Conrad Electronic GmbH, Klaus-Conrad-Str.1, 92240 Hirschau
Tel. 0180-5312111 Fax. 0180-5312110
www.business.conrad.de

Fa. RS Components GmbH, Hessenring 13b, 64546 Mörfelden-Walldorf
Tel: 06105 – 401 234 Fax: 06105 - 401 100

Andere Multimeter mit true RMS evtl. mit RS 232 für PC-Anschluss sind gegebenenfalls geeignet. Auf einfache und sichere Handhabung sollte geachtet werden. Die Cat III für Arbeiten an Verteilungen muss vom Messgerätehersteller sichergestellt werden.

Gleichaussehende, vermeintlich preisgünstigere Messgeräte zeigten bei Anwendungen im Grenzbereich höherer Spannungen, gefährliche Folgeschäden

Meßzange und Anzeige Meßbereich 0,03-1000A AC

Die Meßzange ist als echt Effektivwert-Multimeter mit einem Meßbereich von 30 mA - 1000 A ausgelegt. Damit können Differenzströme über Datenleitungen und Gerätezuleitungen ab 30 mA gemessen werden. Messungen in Verteilungen lassen sich durch die günstige Zangenführung /Größe gut durchführen. Gleichzeitig kann die Frequenz festgestellt werden. Die Peak-(Spitzen), Average-(Durchschnitt) und Vally-(Min) Werte können ebenfalls direkt über Tastendruck abgerufen werden. Außerdem kann das Gerät auch als Multimeter genutzt werden.

Hersteller : Hioki
Typ : KDZ 3262
Fa. Helmut TATJE, Großer Stein 77, 32657 Lemgo
Herr Guido Luettemann, Tel.:05261 – 601 41 Fax: 05261 – 60160

alternativ
Hersteller : LEM
Typ : LH 240
Preis : ca. 448,-€, plus MwSt.

Hersteller : Chauvin Arnoux
Typ : CAF21
Preis : ca. 357,-€, plus MwSt.
Fa. PEWA GmbH, Weidenweg 21, 58239 Schwerte Herr Brinkschmidt
Tel: 02304-6927 Fax –6920

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Preiswerteres Alternativ-Gerät

Stromzange Kriechstromzange AC-DC Kriechstromzange 157

Die Stromzange ist ab 1mA bereits verwendbar. Achtung k e i n True RMS.
Für Fehlersuche durchaus verwendbar, da relativ kleines Maul und empfindlich genug um in Elektroverteilungen und Datenleitungen zu messen.

Hersteller : Voltcraft
Typ : Kriechstromzange 157
Preis : ca. 176,09 €, plus MwSt.

Fa. Conrad Electronic GmbH, Klaus-Conrad-Str.1, 92240 Hirschau
Tel. 0180-5312111 Fax. 0180-5312110

Stromzange F100

Die Stromzange ist ab 30mA bereits verwendbar. Achtung k e i n True RMS.
Für Fehlersuche durchaus verwendbar, da relativ kleines Maul und empfindlich genug um in Elektroverteilungen zu messen.

Hersteller : Voltcraft
Typ : Stromzange F 100
Preis : ca. 35,24 €, plus MwSt.

Fa. Conrad Electronic GmbH, Klaus-Conrad-Str.1, 92240 Hirschau
Tel. 0180-5312111 Fax. 0180-5312110

Netztrafo mit 5/10 A und zwei Halogenleuchten als Strombegrenzung

Ein Netztrafo 200VA wird mit zwei auswechselbaren Lampen als Strombegrenzung ausgerüstet. Die zweite auswechselbare Leuchte ist zu schalten. Mit empfindlichen Strommeßzangen und RMS Meßmitteln können die Tragfähigkeit der Erdungssysteme ermittelt und die Verzweigung sowie die Durchgängigkeit der Schutzleiterverbindungen geprüft werden.

Typ: Prüftrafo für Erder
Artikel-Nr. **0701-260**
Preis: € 150,- netto plus Verpackungs- und Versandkosten (ca. € 12,- DPD)

Fa. Jung, Rathausstraße 38-40 57234 Wilnsdorf, Frau Jung
Tel: 02739-2324, Fax -4269

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Teslameter

Elektrische und magnetische Felder werden von einer eingebauten Spule mit ca. 6 cm Durchmesser erfaßt und in einem einfachen umschaltbaren Meßgerät bis 50µT direkt angezeigt.

Typ : Digitaler E-Smog Analyser ME 3830B und ME 3851 A
Preis : ca. 135,- bis 308,08 €

Fa. Conrad Electronic GmbH, Klaus-Conrad-Str.1, 92240 Hirschau
Tel. 0180-5312111 Fax. 0180-5312110

Teslaspule (Luftpumpe)

Meßspule in Anlehnung an VDE 0107 mit Haltegriff und verkleinerte, umgerechneter Spule.

Der Meßausgang von 1mV pro 1µT für 50Hz ist auf eine BNC Buchse gelegt und kann auf einem Oszilloskop, Spektrumanalyser oder Systemmultimeter weiter verarbeitet werden.

Für höhere Frequenzen nutzbar, aber nicht kalibriert.

Die Teslaspule hilft auch bei der Ermittlung magnetischer Beeinflussung an EEG- und EKG-Meßplätzen gemäß der Vorschrift VDE 0107 A1/11.82;

neu: mit 60cm langer Kelle

Typ: Teslaspule
Artikel-Nr.: µT VDE 0107
Preis: € 96,- netto plus Verpackungs- und Versandkosten (ca. € 8,50 DPD)

Hersteller : Fa.Jung Elektrogerätebau

Fa. Jung Rathausstraße 38-40 57234 Wilnsdorf, Herr Jung
Tel: 02739-2324 Fax -4269

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Spannungstester Volt Stick

Mittels eines Hall-Generators kann der batteriebetriebene Prüfstift berührungslos elektrische Felder 240-1500 V aufspüren und läßt die Nylonspitze rot aufleuchten. Mit dem Stift lassen sich auch E-Felder an Bildschirmen nachweisen. Wichtig ist damit die Phasenlage an Kaltgerätesteckern kontaktfrei festzustellen

Hersteller : Fa. Fluke
Artikel Nr. : 120160-94
Preis : ca. 19,95 € MwSt.

Fa. Conrad Electronic GmbH, Klaus-Conrad-Str.1, 92240 Hirschau

Volt Sensor P-90 Buzzer (Quieki)

Mittels eines Hall-Generators kann der batteriebetriebene Prüfstift berührungslos elektrische Felder 70-440 V aufspüren und läßt eine LED rot aufleuchten und einen Summer ertönen. Ein preiswertes und effektives Hilfsmittel. Mit dem Stift lassen sich auch E-Felder an Bildschirmen nachweisen.

Hersteller : Fa. PAMA, Israel
Typ : P 90
Artikel Nr. : 120222-94
Preis : ca.6,15 € plus. MwSt.

Fa. Conrad Electronic GmbH, Klaus-Conrad-Str.1, 92240 Hirschau
Tel. 0180-5312111 Fax. 0180-5312110

Messmittel für den Profi

Oberschwingungsmeßgerät Fluke 43

Handliches einphasiges Meßgerät zur kompletten Leistungs- und Oberwellen Diagnostik.

Der Typ 43 hat die Möglichkeit, die Meßwerte auf einem Drucker oder PC auszugeben.

Hersteller : Fluke
Typ : 43
Preis : ca. 2480,-€, plus MwSt.

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Fa. PEWA GmbH, Weidenweg 21, 58239 Schwerte, Herr Brinkschmidt, Tel: 02304-6927, Fax -6920

Leistungs Stromzange VC 609 True RMS

Die Stromzange ist zur schnellen Feststellung kapazitiver Netze verwendbar.

Hersteller : Voltcraft
Typ : Stromzange VC 609
Preis : ca. 176 €, plus MwSt.

Fa. Conrad Electronic GmbH, Klaus-Conrad-Str.1, 92240 Hirschau
Tel. 0180-5312111 Fax. 0180-5312110

Digitales Speicheroszilloskop PCS 500

Ein preisgünstiger Spektrumanalyser, 2-Kanal-Speicher-Oszilloskop und Transientenrecorder aus Belgien, der direkt an einen PC angeschlossen werden kann.

Hersteller : Velleman BV
Typ : Speicheroszilloskop PCS 500
Preis : ca. 440,33 €, plus MwSt.

Fa. Conrad Electronic GmbH, Klaus-Conrad-Str.1, 92240 Hirschau
Tel. 0180-5312111 Fax. 0180-5312110

www.business.conrad.de

Meßzange 0,1A und 10-1000A AC

Die Meßzange hat eine Empfindlichkeit von 1A = 1 mV, 10mV, 100mV, trotz einer relativ großen Zangenöffnung. Der Ausgang ist auf BNC-Buchsen gelegt und läßt sich durch einen Rastschalter um die Faktoren 10 und 100 abschwächen. Damit können Differenzströme über Datenleitungen und Geräteleitungen auf einem 2-Kanal Oszilloskop Fluke 123 dargestellt werden. Gleichzeitig können die Frequenz und die Richtung des Stromes gemessen werden. Die gleiche Zange läßt sich über einen kleinen Adapter auch an ein RMS Multimeter anschließen.

Hersteller : Chauvin Arnoux
Typ : CAC 160
Artikel Nr. :
Preis : ca. 351,-€, plus MwSt. :

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Die Meßzange CAC 173 hat eine Empfindlichkeit von $1A = 1V$, trotz einer relativ großen Zangenöffnung. Der Ausgang ist auf 4mm-Buchsen gelegt und läßt sich durch einen Rastschalter um 4 Faktoren abschwächen

Hersteller : Chauvin Arnoux
Typ : CAC 173
Artikel Nr. :
Preis : ca. 337,-€, plus MwSt. :

Sehr große Meßzange B2

Die Meßzange hat eine Empfindlichkeit von $1A = 1\text{ mV} / 1000\text{mV}$ trotz einer sehr großen Zangenöffnung.

Hersteller : Chauvin Arnoux
Typ : B 2
Artikel Nr. : 1200-33
Preis : ca. 900,- € plus MwSt.

Fa. PEWA GmbH, Weidenweg 21, 58239 Schwerte, Herr Brinkschmidt, Tel: 02304-6927, Fax -6920

Flexible Meßzange RR 3020-SD

Diese flexible Meßzange ist in der Lage einen Meßbereich von 0 bis 300 bzw. 3000 A abzudecken. Sie läßt sich wie ein Fahrradschloß öffnen und einen Durchmesser von 150 mm umschließen. Der Meßwert in mV-Ausgang muß mit einem Multimeter oder Oszilloskop weiter verarbeitet werden.

Hersteller : LEM U.S.A
Typ : RR 3020-SD
Preis : ca. 195,-€ plus MwSt.

Fa. PEWA GmbH, Weidenweg 21, 58239 Schwerte,
Herr Brinkschmidt, Tel: 02304-6927, Fax -6920

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Flexible Messzange AmpFLEX Stromwandler Serie A100

Diese flexible Spule ist in der Lage einen Meßbereich von 0 bis 3kA abzudecken. Sie ist an einer Stelle zu öffnen, und läßt sich so um die zu messende Leitung legen. Die Schleifenlänge kann je nach Ausführung von 45cm bis 1,5m bestellt werden .
(empfindliche Ausführung wie für Otto und IBM)

Der Messwert in mV-Ausgang 100mV/A kann mit einem Multimeter oder Oszilloskop weiter verarbeitet werden.

Hersteller : Chauvin Arnoux
Typ : AmpFLEX A100
Preis : ca. 450,-€, plus MwSt.

Fa. Chauvin Arnoux GmbH, Honselstraße 8, 77694 Kehl/Rhein
Tel: 07851-5052, Fax: 07851-75290

Infrarot Thermometer mit Laser

Diese Geräte eignen sich zum aufspüren von Wärmenestern und Temperaturerhöhungen in Schaltanlagen und sollten im Betriebszustand leicht ablesbar sein.

Hersteller : Raytec, Testo
Typ : RAYMT 4U
Artikel Nr. : diverse
Preis : ab 125,- € plus MwSt.

Fa. PEWA GmbH, Weidenweg 21, 58239 Schwerte, Herr Brinkschmidt, Tel: 02304-6927, Fax -6920

Fa. Conrad Electronic GmbH, Klaus-Conrad-Str.1, 92240 Hirschau
Tel. 0180-5312111 Fax. 0180-5312110

Oszilloskop Fluke 123

Handliches, zweikanaliges Meßgerät bis 20 MHz zur kompletten Störungs-Diagnostik.
Die Möglichkeit, die Meßwerte auf einem Drucker oder PC auszugeben, ist gegeben.

Hersteller : Fluke
Typ : 123
Preis : ca. 1240,-€, plus MwSt.

Fa. PEWA GmbH, Weidenweg 21, 58239 Schwerte, Herr Brinkschmidt,

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Tel: 02304-6927, Fax –6920

Fa. RS Components GmbH, Hessenring 13b, 64546 Mörfelden-Walldorf
Tel: 06105 – 401 234, Fax: 06105 - 401 100

Conrad Graphical-Display-Meter 705

True RMS Multimeter, welches über eine einfache Graphische Anzeige verfügt und schon besser als keine Signalformerkennung ist.

Typ : Graphical-Display-Meter 705
Preis : ca. 176,-€

Fa. Conrad Electronic GmbH, Klaus-Conrad-Str.1, 92240 Hirschau
Tel. 0180-5312111 Fax. 0180-5312110

Oszilloskop Fluke 192 bis 199

Handliches, zweikanaliges Meßgerät bis 200 MHz zur kompletten Störungs-Diagnostik.

Hersteller : Fluke
Typ : 192 bis 199
Preis : ca. 2690,- bis 4675,-DM, plus MwSt.
je nach Typ und Zubehör

Fa. PEWA GmbH, Weidenweg 21, 58239 Schwerte, Herr Peter, Tel: 02304-6927,
Fax –6920

Fa. RS Components GmbH, Hessenring 13b, 64546 Mörfelden-Walldorf
Tel: 06105 – 401 234, Fax: 06105 - 401 100

Allpoliges RMS Leistungsmeßgerät/ Netzanalysator 7500 ION und 7600 ION

Das Meßsystem ist eigentlich für eine feste Installation konzipiert und kann gleichzeitig alle drei Phasen und den N-Leiter/PE überwachen. Es können bis zu 350 Messwerte sehr präzise gemessen werden.

Als mobiles Instrument in Verbindung mit einem PC ist es in Leistung und Preis unschlagbar.

Hersteller : Power Measurement, Canada
Typ : 7500 ION und 7600 ION
Preis : ca. 4000,-€, und ca 5000,-€ plus MwSt.

Grundlagenkript zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Power Measurement Hauptstr. 48, 32791 Lage-Heiden,
Herr Wiens Tel: 05232-68412, Fax –18650
Web Adresse: www.pwrm.com
Mail :nilolai.wiens@pwrm.com

Netztrenntrafo 200 VA für Messzwecke

Ein Netztrenntrafo mit ausgetrennten PE- Messpunkten ermöglicht eine Vielzahl von Prüfungen nach dem Stromdifferenzverfahren.

Typ: Netztrenntrafo für Messzwecke
Artikel-Nr.: 0100-0551
Preis: € 159,- netto plus Verpackungs- und Versandkosten
(ca. € 15,- DPD)

Fa. Jung, Rathausstraße 38-40 57234 Wilnsdorf,
Herr Jung Tel: 02739-2324, Fax -4269

Netztrafo mit 1,4/25 A und fünf Halogenleuchten als Strombegrenzung

Ein Netztrafo 300 VA wird mit 5 auswechselbaren Lampen als Strombegrenzung ausgerüstet. Die Leuchten sind schaltbar. Die Ausgangsspannung ist mit 10 / 12/ 14 V einstellbar. Zwei Erdungsleitungen können über Erder angeschlossen werden. Mit drei solcher Einrichtungen lassen sich neue EDV-Installationen von der Einspeise/Anschlußstelle bis zur letzten Steckdose ungefährlich auf volle Belastung bis ca. 25 A testen, ohne Netzennspannung anlegen zu müssen oder zu haben.

An der EDV-Verteilung werden drei Prüfströme L1, L2, L3 gegen N eingespeist. Mit Strommeßzangen kann die Tragfähigkeit der gesamten Leiterverbindung, einschließlich aller Klemmstellen, ungefährlich erprobt werden. Erdschleifen zwischen N und PE können ermittelt und die Verzweigung und die Durchgängigkeit der Schutzleiterverbindungen unter Echtbedingungen geprüft werden. Es ist ein hervorragendes Testverfahren um lockere Verbindungen zu finden.

Hersteller : Fa. Jung Elektrogerätebau
Typ : Prüftrafo für Belastungsprüfung
Artikel Nr. : 0100-0800
Preis : € 385,- netto plus Verpackungs- und Versandkosten (ca. € 20,- DPD)

Fa. Jung, Rathausstraße 38-40 57234 Wilnsdorf, Herr Jung
Tel: 02739-2324, Fax -4269

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Isolationstester

Mit diesem Isolationstester können bis zu 1000 V Gleichspannung erzeugt werden, die exakt bei 1 mA begrenzt werden. Dadurch eignet sich dieses Gerät in Verbindung mit einem Fluke 87 Multimeter zur exakten Ausmessung von überspannungsbegrenzenden Bauelementen, wie Ableiter, Varistoren, TransZorb-Dioden.

Hersteller : Fa. Megger, England
Typ : BMM 2000
Artikel Nr. :
Preis : ca. 625,-€, plus. MwSt.

Fa. RS Components GmbH, Hessenring 13b,
64546 Mörfelden-Walldorf, Tel: 06105 – 401 234, Fax: 06105 - 401 100

Universalprüfgerät für Installationen Maxtest

Mit diesem Testgerät können bis zu 1000 V Gleichspannung und Prüfströme bis 280 A erzeugt werden

Hersteller : Fa. Amprobe
Typ : Maxtest
Artikel Nr. :
Preis : ca 4,050,-€, plus. MwSt.

Fa. Amprobe , Herr Schomberg
41065 Mönchengladbach
Lürriper Str.62
Tel 02161 59906-0 , Fax 02161 59906- 16

Differenzstromüberwachungsgerät RCM

Unterschiedlicher Art und Ausführung als selektiver Fehlerstromschutzschalter zur Meldung von Erdschleifen oder Fehlerströmen.

Hersteller : Fa. Bender
Typ : RCM 470LY / RCM 475LY
Artikel Nr. : im Katalog
Preis : ca. 250,-€ plus MwSt

Fa. Bender, Londorfer Str. 65, 35301 Grünberg, Herr Lange,
Tel: 06401-807260, Fax: 807259

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Procera III für Windows

Mit diesem Programm lassen sich Netze analysieren, planen und dokumentieren.

Hersteller : Fa. General Electric AEGNiederspannungstechnik
Typ : Procera III
Version : 1.0 API
Preis : ca.30,-€, plus. MwSt.

Fa. AEG Niederspannungstechnik GmbH & CO KG,
Ernst-Weyden-Straße 7,
Tel: 0221 – 839040, Fax: 0221 - 8390484

Grundlagentext zum Seminar:

Schirmung, Erdung, Potenzialausgleich, EMV in Gebäuden

Quellenverzeichnis:

- [1] Der Weg zur modernen Physik 1989, Verlag Diesterweg
 - [2] Die Technik im Leben von Heute 1986, Meyers Lexikonverlag
 - [3] VDE 0100, Teil 482, Aug 1997 VDE-Verlag, Berlin
 - [4] Hendel, Siemens, Aufbau EMV-verträglicher Energieversorgungssysteme 2001
 - [5] VDE 0800 Teil 174-2, Sept. 2001 VDE-Verlag, Berlin
 - [6] VDE 0100, Teil 540, Nov. 1991, VDE-Verlag, Berlin
 - [7] Oliver Thur, Diplomarbeit Berlin 2000
 - [8] VDE Beiblatt zu 0855 Januar 2002
 - [9] Jürgen Siegbert, Diplomarbeit 1999
 - [10] VDE 0800 T 2-310, Sep 2001 VDE-Verlag, Berlin
 - [11] Handbuch EMV, VEB Verlag Technik 1987
 - [12] Handbuch Maxtest Amprobe 2002
 - [13] EMV durch Einsatz von Entstörfiltern, Siemens 1984
 - [14] VDE 0800, Teil 10, März 1991, VDE-Verlag, Berlin
 - [15] VDE 0100, Teil 444, Oktober 1999, VDE-Verlag, Berlin
 - [16] VDE V 0800, Teil 2-548, Oktober 1999 VDE-Verlag, Berlin
 - [17] Guideline on electr. Power for ADP Installation FIPS PUB 94
 - [18] VDE 0160, Teil A 1, April 1989, VDE-Verlag, Berlin
 - [19] VDE 0800, Teil 10, März 1991, VDE-Verlag, Berlin
 - [20] Technische Anschlussbedingungen TAB 2000
 - [21] VDE Schriftenreihe FI-Überwachung, VDE-Verlag, Berlin 1998
 - [22] Fa. Rohde & Schwarz Messtechnik für Nutz- und Störsignale 1984
 - [24] EMV-Fibel für Elektroinstallateure und Planer VDE Verlag 2001
- u.a.