

Praktische EMV-Tests

mit Normenübersicht

Die Prüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) eines Gerätes mit dem Ziel der Einhaltung von geforderten Grenzwerten setzt die Kenntnis der entsprechenden Bestimmungen und Normen voraus. Der vorliegende Artikel beschreibt theoretische Grundlagen zur Durchführung praktischer EMV-Tests und gibt eine Übersicht über die wesentlichen zur Anwendung kommenden Normen.

Allgemeines

Das Phänomen der elektromagnetischen Verträglichkeit schließt alle Störungen ein, die durch die Erzeugung, Verteilung und den Anschluß von elektrischen und magnetischen Energien entstehen.

Durch die immer geringeren Steuerspannungen für elektronische Bauelemente sowie die zusätzliche elektrische Umweltverschmutzung, hervorgerufen durch vermehrte, stärkere Radio- und Fernsehsender sowie eine steigende Gerätedichte in Verbindung mit höheren Taktfrequenzen, wächst auch der Einfluß der EMV auf diese elektrischen Geräte. Abbildung 1 vermittelt einen Einblick unterschiedliche Störeinflüsse.

Man teilt das recht umfangreiche Gebiet der EMV in die beiden Hauptbereiche „strahlende“ und „netzgebundene Störphänomene“ auf.

Der vorliegende Artikel beschäftigt sich ausschließlich mit dem Phänomen der netzgebundenen Störungen.

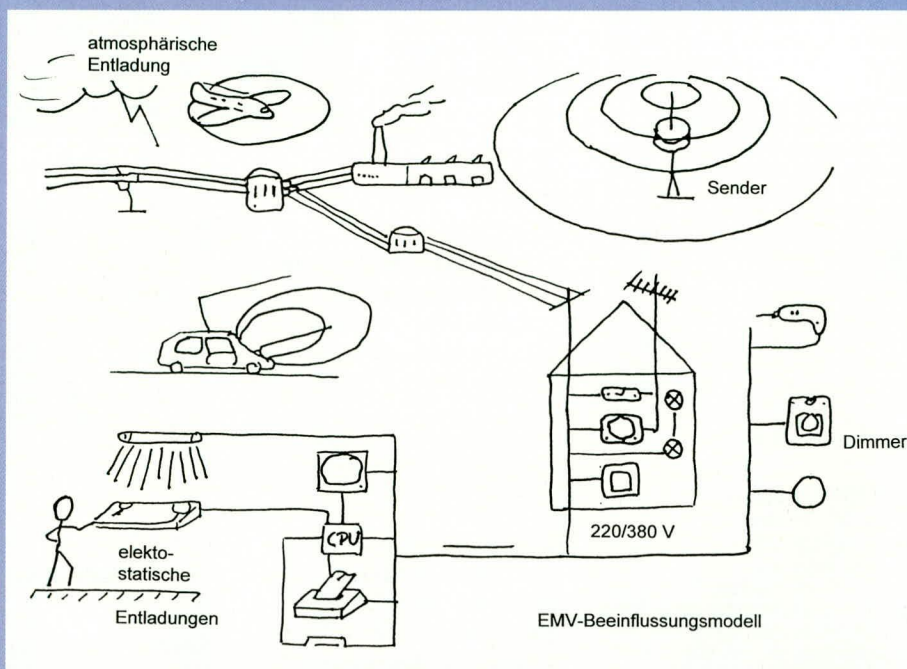


Bild 1 (oben) Darstellung der unterschiedlichen Störeinflüsse.
Bild 2 (unten) Aktuelle Normenübersicht.

Bis heute bekannte Basis-norm (Messen, Steuern, Regeln)	Phänomen Allgemeines Allgemeine Betrachtungen (Einleitung, Grundprinzipien) Definitionen, Begriffe	"Grund" Nachfolgende Norm	derzeitiger Normenstand	ENV-Standard (Grundnorm)	Telekom CISPR	andere Euronormen (Messen, Steuern, Regeln)
IEC 801-2 (Ausgabe '91)	Störfestigkeit gegen Entladung statischer Elektrizität	IEC 10004-2		EN 1000-4-2	CISPR 24-2	EN 60801-2
IEC 801-3 (Ausgabe '84)	Störfestigkeit gegen Felder	IEC 10004-3	Stellungnahme erwartet	EN 61000-4-3	CISPR 24-3	EN 608013 pr. EN 50140
IEC 801-4 (Ausgabe '88)	Störfestigkeit gegen schnelle transiente Störgrößen (Burst)	IEC 10004-4	soll '94 noch als Weißdruck erscheinen	EN 61000-4-4	CISPR 24-4	EN 60801-4
IEC 801-5 (Draft)	Störfestigkeit gegen Stoßspannungen Surge	IEC 10004-5	neuer Draft Dok. 65A/77B 136/101	EN 61000-4-5	CISPR 24-5	EN 60801-5 pr. EN 50142
IEC 801-6 (Draft)	Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störgrößen, induziert durch hochfrequente Felder	IEC 10004-6	neuer Draft Dok. 65A/77B 145/110	EN 61000-4-6	CISPR 24-6	EN 60801-6 pr. EN 50141
	Allgemeiner Leitfaden für Verfahren und Geräte zur Messung von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen in Stromversorgungsnetzen und angeschlossenen Einrichtungen	IEC 10004-7		EN 61000-4-7	CISPR 24-7	EN 60801-7
	Störfestigkeit gegen 50-Hz-Magnetfelder	IEC 10004-8		EN 61000-4-8		
	Störfestigkeit gegen impulsförmige Magnetfelder	IEC 10004-9		EN 61000-4-9		
	Störfestigkeit gegen gedämpft schwingende Magnetfelder	IEC 10004-10		EN 61000-4-10		
	Netzspannungsvariation und Unterbrüche	IEC 1000-4-11				

Die in Bild 2 dargestellte Tabelle gibt einen Überblick der gebräuchlichsten EMV-Normen. Diese Normen gelten als Grundnormen und sind für fast alle Hersteller von elektrischen und elektronischen Geräten oder Systemen bindend.

Die IEC801-2 beschreibt das Phänomen der elektrostatischen Entladung (Körperaufladung), die IEC801-3 den Einfluß bzw. die Beeinflussung durch elektromagnetische Felder. Der Teil 4 beschäftigt sich mit den Schalttransienten (Burstimpulse) und

Reihe 10003 - ... zulässige Netzzrückwirkungen

Reihe 10002 - ... Netzqualität (Forderung für die EVUs).

Normen und ihre Bedeutung

Um den Anwendern bzw. Prüfingenieuren die tägliche Arbeit zu erleichtern, und sie mit Grenzwerten, Grenzwertklassen, Arten der Einkopplungen und den beschriebenen Naturphänomen vertraut zu machen,

bietet die EMV-Normung eine große Hilfestellung.

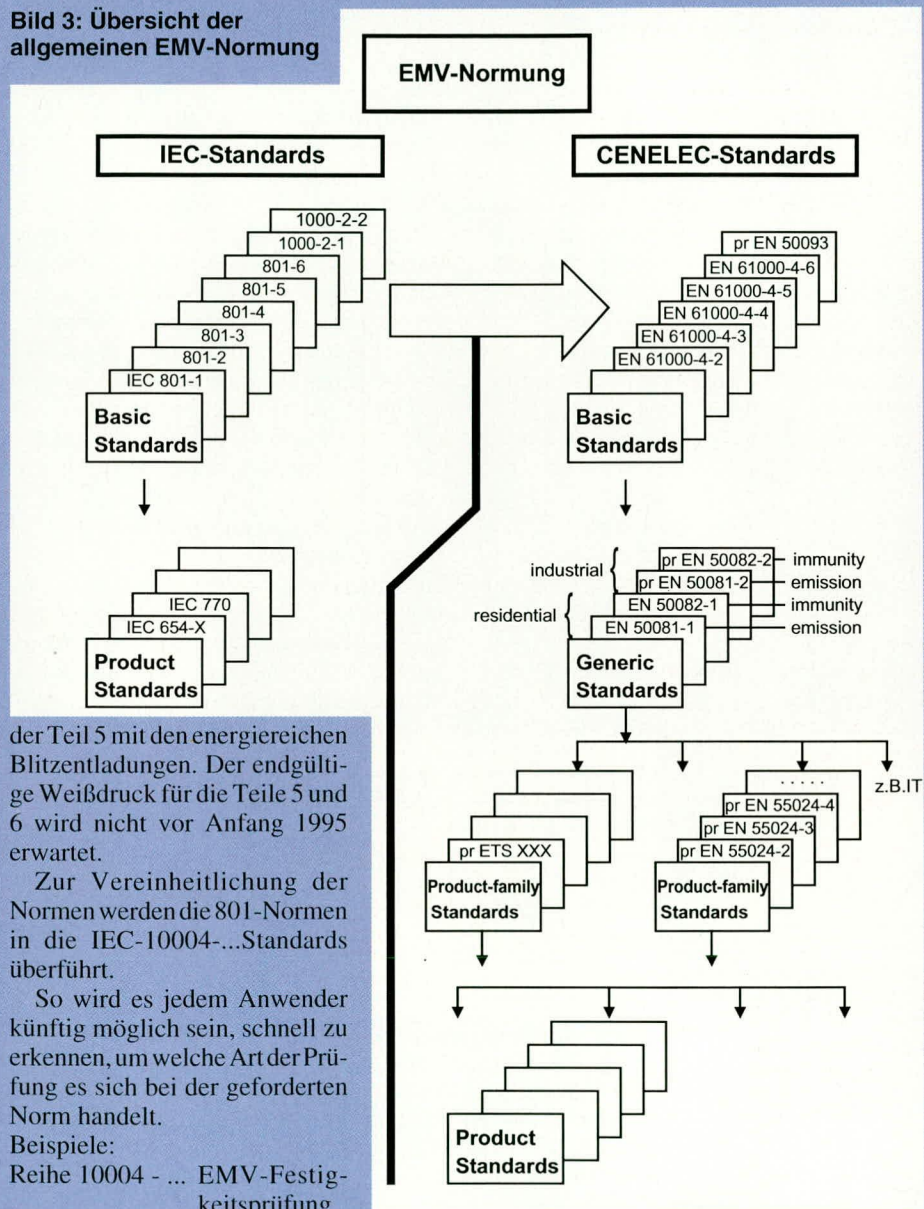
Weiterhin werden auch die zur Prüfung notwendigen Generatoren genau technisch spezifiziert und ermöglichen so annähernd gleiche Prüfergebnisse mit Generatoren unterschiedlicher Hersteller. Als Beispiel sei hier die Basic-Norm der Reihe IEC 801 ff. genannt, die für den Bereich „Messen, Steuern, Regeln“ gilt.

Erst der in der Norm beschriebene Prüfaufbau ermöglicht eine für den Anwender reproduzierbare Prüfung. Eventuelle Verbesserungen durch EMV-gerechtes Gestalten des Leiterplattendesigns, Trennung von Leistungs- und Steuerleitungen oder auch nur eine Verbesserung der Erdung sind so direkt ermittelbar.

- Die Basic-Standards (IEC 801 ff.) gelten für alle Produkte für den Bereich „Messen, Steuern, Regeln“ und sind anzuwenden, sofern es keine product-family oder product-standards als veröffentlichte Norm gibt.
- Weltweit gelten die IEC-Standards, während europaweit die Cenelec-Standards zur Anwendung kommen.
- Die EN-Normen 50081-2 und 50082-2 legen die Prüfschärfgrade für die immunity (Verträglichkeit) und emission (Störaussendung) für den industriellen Einsatz fest.
- Die EN-Normen 50081-1 und 50082-1 legen die Prüfschärfgrade für den Einsatz im Haushalt fest.

Abbildung 3 bietet dem Lesereine Übersicht der allgemeinen EMV-Normung.

Bild 3: Übersicht der allgemeinen EMV-Normung



der Teil 5 mit den energiereichen Blitzentladungen. Der endgültige Weißdruck für die Teile 5 und 6 wird nicht vor Anfang 1995 erwartet.

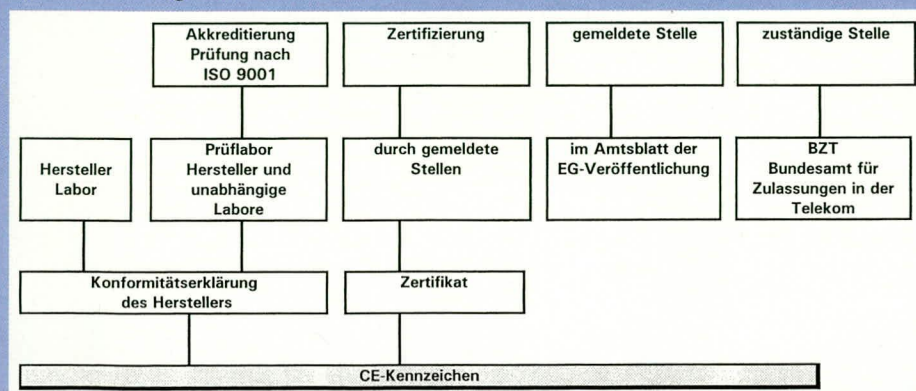
Zur Vereinheitlichung der Normen werden die 801-Normen in die IEC-10004-...Standards überführt.

So wird es jedem Anwender künftig möglich sein, schnell zu erkennen, um welche Art der Prüfung es sich bei der geforderten Norm handelt.

Beispiele:

Reihe 10004 - ... EMV-Festigkeitsprüfung

Bild 4: Der Weg zum CE-Zeichen



CE-Kennzeichnung

Durch das Inkrafttreten der EN-Normung ab 01.01.96 wird jeder Hersteller verpflichtet, seine Produkte innerhalb des europäischen Binnenmarktes mit einem **CE-Kennzeichen** zu versehen.

Das CE-Zeichen versteht sich als Reisepaß innerhalb Europas und ermöglicht dem Hersteller so, seine Produkte grenzüberschreitend zu verkaufen. Die in den EN-Normen geforderten Prüflevel verstehen sich als Mindestmaß und bieten dem Kunden eine gewisse technische Sicherheit vor elektromagnetischen Einflüssen.

Prüfmethoden

Zur Prüfung der in diesem Artikel behandelten Störungen sind verschiedene Methoden entwickelt worden, die nachfolgend kurz beschrieben werden sollen:

ESD-Prüfungen (electrostatic discharge) bilden das Phänomen der Körperentladung nach, wie sie durch Potentialtrennung hervorgerufen wird.

Burst-Prüfungen bilden das Phänomen von Schaltstörungen nach, wie sie zum

Beispiel durch mechanisches Schalten von Schützen und Relais, aber auch von Phasenanschnittsteuerungen (Dimmer), hervorgerufen werden können.

Surge-Prüfungen bilden das Phänomen der atmosphärischen Entladung nach, wie sie durch Blitzentladungen entstehen.

Durch die Ströme in leitenden Strukturen werden elektrische und magnetische Felder erzeugt. Die dadurch entstehenden elektromagnetischen Beeinflussungen hängen von der Änderungsgeschwindigkeit des Stromes ab. Diese induktive Einkopplung durch das Magnetfeld kann zu Störungen bzw. Fehlfunktionen benachbarter Baugruppen bzw. Geräte führen.

Durch das Öffnen und Schließen von mechanischen Schaltern, Schützen und Relais werden sehr flankensteile, aber energiearme Impulse erzeugt. Diese Störungen entstehen durch die schnelle Änderung von Strom und Spannung, hervorgerufen durch den Übergang eines Schalters oder Relaiskontaktes vom isolierenden zum leitenden Zustand (Abbildung 5).

Die Schaltzeit wird ausschließlich von der Feldstärke, die im Moment des Schaltvorganges vorherrscht, bestimmt.

Entstehung von Schalttransienten (Burst)

Zum besseren Verständnis der Anforderungen im Bereich der EMV sollen an dieser Stelle zunächst einige Grundlagen der Entstehung von Störungen, hervorgerufen durch Schaltvorgänge, beschrieben werden.

Das Schließen oder Öffnen eines mechanischen Schalters stellt einen komplexen Vorgang dar, der zum besseren Verständnis in Abbildung 6 dargestellt ist.

Die so entstandenen Störimpulse sind in der IEC-Norm 801-4, mit einem Anstieg von 5 ns und einer Rückenhalfwertszeit (d. h. die Zeit, in der die Stör-Amplitude vom Maximum auf 50 % ihres Wertes abfällt), nachempfunden.

Aus den Beispielen A,B und C (Abbildung 7) geht hervor, daß die Impulsform unabhängig davon ist, ob es sich um ein Niederspannungsrelais von nur 220 V (wie es in jedem Steuerungsbau eingesetzt wird) oder um einen Freiluftschalter mit hoher Schaltspannung handelt. Das heißt, wir können bei den Schaltstörungen von einem einheitlichen Störphänomen sprechen.

Das daraus resultierende Ersatzschaltbild für einen Kreis, in dem induktive Lasten wie Relaispulen, Motoren und Schützen geschaltet werden, kann wie in Abbildung 8 dargestellt werden.

Das Auftreten des Stromkreises erzeugt in den beiden Restkreisen oszillierende abklingende Transienten mit den Eigenresonanzfrequenzen f1 und f2. Da im allgemeinen L1 sehr viel kleiner als L2 ist, wird ebenfalls die Resonanzfrequenz f1 auf der Speiseseite wesentlich größer als f2 auf der Verbraucherseite. Durch die vektorielle Überlagerung der Spannungspegel über den Schaltkontakten kann die Spannung wesentlich höher werden als die Spannung der Einzelkomponenten auf der Quelle oder Lastseite.

Solange die resultierende Spannung über den Kontakten größer ist als die Spannungsfestigkeit zwischen den Elektroden des Schalters, führt dies zu einem Zusammenbruch der Spannung. Dieses intermittierende Löschen und Rückzünden des Funkenstreckenkanals führt zu einer Schaltfrequenz, die sich im Verlauf des Schaltvorganges ändert. Der intermittierende Vorgang ist erst beendet, wenn die Spannungsbeanspruchung der Schaltkontakte kleiner ist als die elektrische und thermische Festigkeit des Funkenstreckenkanals.

Jedes Funkenlöschen nach einem Spannungszusammenbruch verursacht Oszillationen im Speiseteil. Durch die relativ niedrigen Kreisparameter erreicht man hier Frequenzen im Bereich von 10 bis 100 MHz. Die Scheitelwerte können einige 1000 V erreichen, liegen jedoch meistens bei ca. 100 V. Entsprechend der Ausbreitungscharakteristik der Leitung (Leitungslänge, parasitäre Komponenten) nimmt dieser Spannungspegel jedoch rasch ab.

Zusammenfassend kann man sagen: Die beschriebenen Schalthandlungen produzieren Störungen mit einem breiten Angebot an Frequenzen und Amplituden, die zu den schwierigst erfassbaren Störgrößen gehören.

Im spektralen Bereich enthalten diese breitbandigen Störungen Frequenzen bis in den Bereich von mehreren 100 MHz. Die bei den einzelnen Spannungszusammenbrüchen entstehenden Strom- und Spannungsimpulse haben Anstiegszeiten im Nanosekundenbereich. Die Störungen treten deshalb nicht nur an der Störquelle

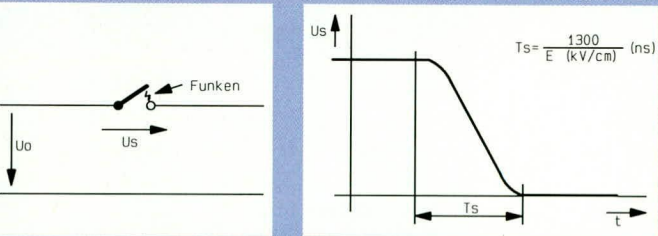


Bild 5 (oben): Störungen durch den Übergang eines Schalters vom isolierenden zum leitenden Zustand (Ts = Schaltzeit, E = Feldstärke im Moment des Schaltens Bild 6 (unten): Darstellung des Naturphänomens „Burst“

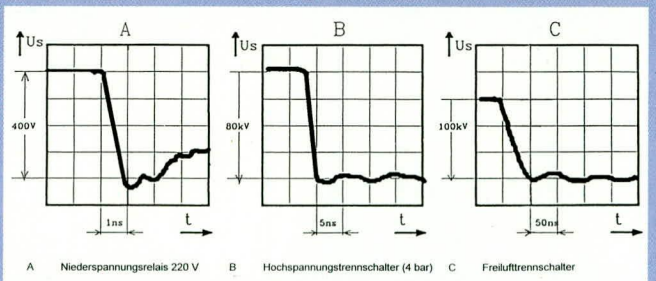
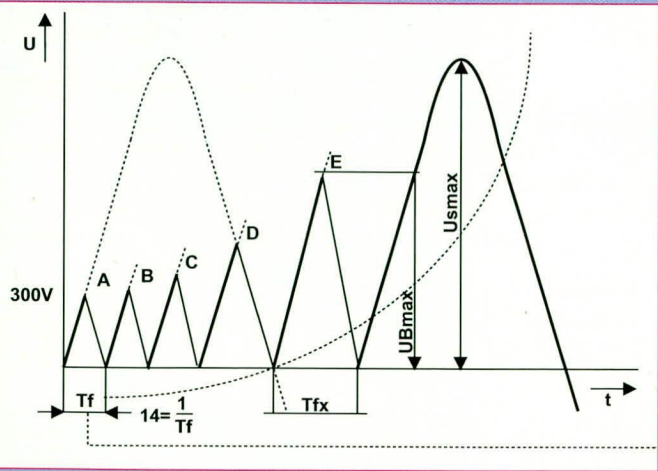
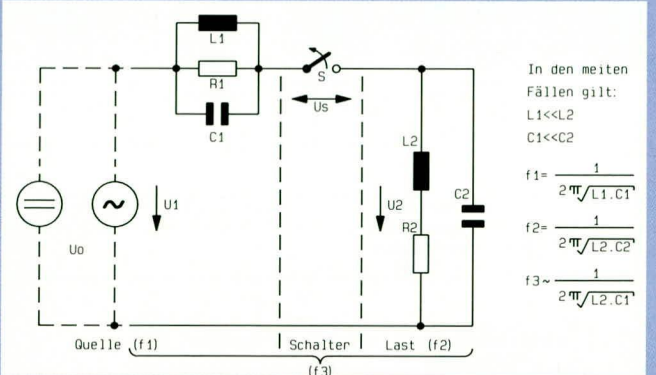


Bild 7 (oben): Impulsformen beim Schalten von unterschiedlichen Relais und Schaltern.

Bild 8: Durch das Zu- oder Abschalten von induktiven Lasten entstehen Funken zwischen den Kontakten der Schalter. Ein möglicher Kreis dieser Störquellen ist unten dargestellt.



selbst auf, sondern können abgestrahlt oder leitungsgelassen weitergegeben werden.

Störquellen

Die Kenntnis der möglichen Störquellen spielt im Bereich der EMV eine besonders wichtige Rolle, da aufgrund der bestehenden Anforderungen entwicklungsbegleitend potentielle Störer von vornherein hohe Aufmerksamkeit erfordern.

Nachstehend ist eine Auswahl von möglichen Burstquellen aufgeführt:

- Elektromechanische Schalter
z. B. Relais, Netzschalter, Schütze, Vakuumrelais, Quecksilberrelais
- Motoren mit Schleifer
z. B. Motoren in Haushaltgeräten, Antriebe in der Industrie
- Schalter in Energieverteilungsanlagen
z. B. Lastschalter, Trennschalter, SF6-Schalter, Überschlüge
- Schutzelemente
z. B. Gasableiter, Schutzfunkenstrecken, Sicherungen
- Luftdurchschläge
z. B. Blitzentladungen, Entladung von statischer Energie bei großen Geräten (Flugzeuge, Helikopter)

Neben den Störquellen selbst spielen deren mögliche Auswirkungen auf benachbarte Schaltungsteile oder andere Geräte eine wesentliche Rolle, wobei hier den Kopplungsmechanismen zwischen 2 Stromkreisen besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist. Abbildung 9 zeigt 5 typische Kopplungsarten.

Des weiteren ist die Einkopplung von Burst-Impulsen in das Stromversorgungsnetz zu beachten. Bild 10 zeigt die Kopplung der Burst-Impulse im 230 V-Netz.

In den überwiegenden Fällen von Burst-Störungen kann die Kopplung über abgestrahlte Felder vernachlässigt werden, da die abgestrahlten Felder, in Funktion des Abstandes zur Störquelle, sehr rasch gedämpft werden.

Damit die Störfestigkeit eines Gerätes unter reproduzierbaren Bedingungen getestet werden kann, müssen die Burst-Prüfimpulse genau definiert werden. In Abbildung 11 ist der Kurvenverlauf von Burst-Prüfimpulsen gezeigt.

Die mit dem Generator zu erzeugenden Impulsformen sind entsprechend dem Bild festgelegt.

- Ausgangsspannung U im Leerlauf: 250 V bis 4 kV

- Innenwiderstand des Generators ist 50 Ω
- Daten beim Betreiben mit einem 50 Ω - Abschlußwiderstand (zukünftig auch zusätzlich an 1000 Ω - siehe Arbeitspapier IEC 10004-4):

- Anstiegszeit: $T_s = 5 \text{ ns } (+/-30 \%)$
- Halbwertszeit: $T_s = 50 \text{ ns } (+/-30 \%)$

- Der Abschlußwiderstand inkl. Teiler muß mit CW von 100 kHz bis 100 MHz auf 50 Ω überprüft worden sein.
- Frontzeit muß zwischen 3,5 und 6,5 ns liegen.
- Rückenhalbwertszeit 50 % muß zwischen 35 und 65 ns liegen.
- Der Quellenwiderstand des Generators beträgt 50 Ω, wenn $U_L/U_{out} = 2$ ist.

Kopplung und Prüfaufbau

Die Normen versuchen, die Prüfanordnung und die Einkopplung der Störsignale möglichst exakt zu beschreiben, um eine große Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse zu erzielen. Generell wird unterschieden zwischen

1. Einkopplung in Netzleitungen (Bild 13)
2. Einkopplung in Signalleitungen (Bild 14)

In Abbildung 13 ist das Beispiel eines Meßaufbaus zur direkten Einkopplung in Speiseleitungen dargestellt.

Die Kopplungseinrichtung enthält für jede Leitung einen Koppelkondensator C_k (33 nF) und zur Entkopplung gegen das Versorgungsnetz einen Filter.

In Abbildung 14 ist ein Beispiel eines Meßaufbaus mit kapazitiver Koppelstrecke dargestellt.

Die kapazitive Koppelstrecke (Länge 1 m) hat für die im Burst enthaltenen Frequenzen eine ausreichende Koppelkapazität von ca. 100 pF und bildet eine parallel-liegende, störbehaftete Leitung nach.

Tabelle 1 zeigt eine Aufstellung wichtiger Prüfklassen und Fehlerkriterien.

Bewertung der Prüfergebnisse

Die Vielfalt und Unterschiedlichkeit der zu prüfenden Betriebsmittel und Anlagen macht die Festlegung von allgemeinen Bewertungskriterien über den Einfluß von Impulsstörgrößen auf Betriebsmittel und Anlagen schwierig.

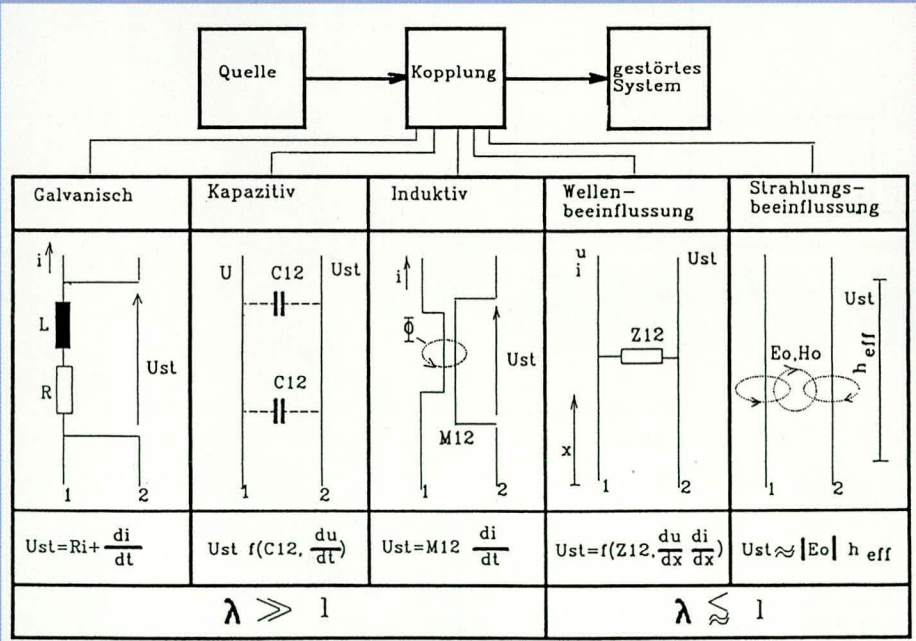


Bild 9: Kopplungsmechanismen zwischen 2 Stromkreisen

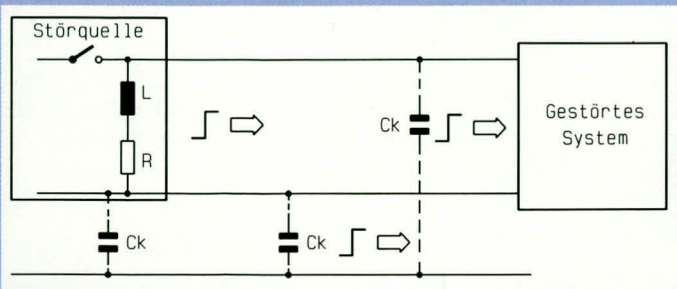


Bild 10: Kopplung der Burst-Impulse im Netz

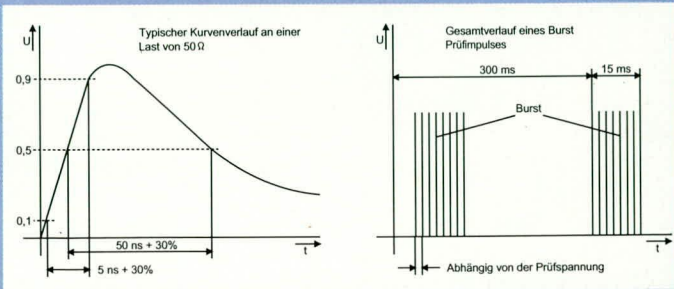


Bild 11: Definition des Burst-Prüfimpulses

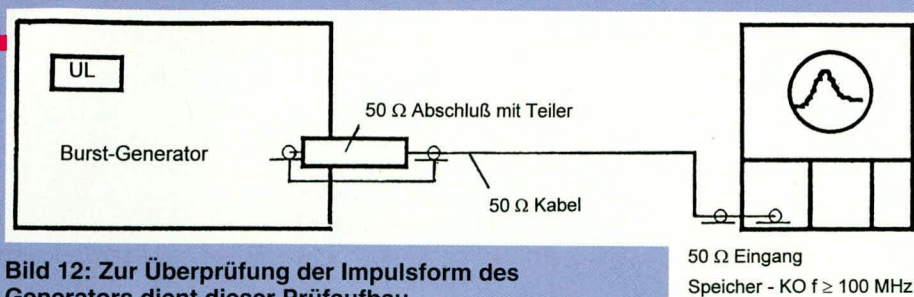


Bild 12: Zur Überprüfung der Impulsform des Generators dient dieser Prüfaufbau

50 Ω Eingang
Speicher - KO $f \geq 100$ MHz

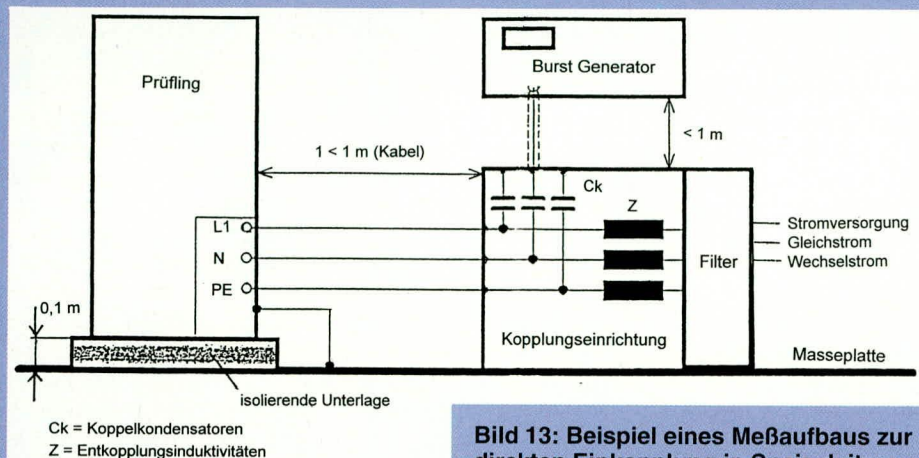


Bild 13: Beispiel eines Meßaufbaus zur direkten Einkopplung in Speiseleitungen

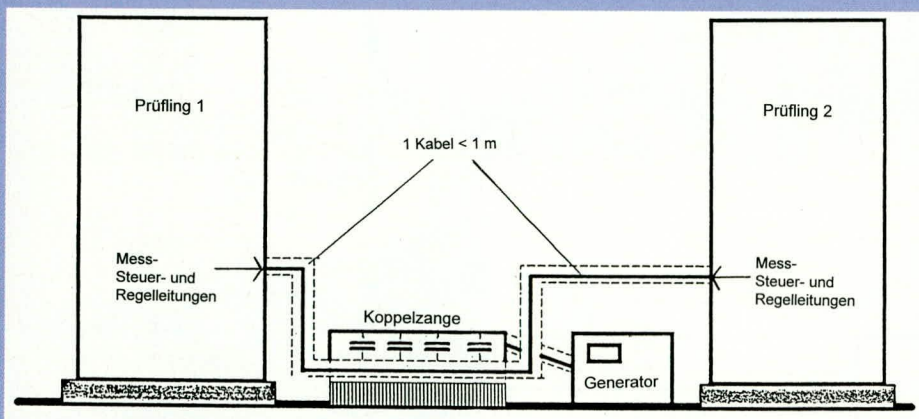


Bild 14: Beispiel eines Meßaufbaus mit kapazitiver Koppelstrecke

Prüfspannungen $\pm 10\%$			Wiederholfrequenz der Impulse
Schärfegrad	auf Stromversorgung	auf E/A-, Signal-, Daten-, und Steuerleitungen,	
1	0,5 kV	0,25 kV	5 kHz
2	1 kV	0,5 kV	5 kHz
3	2 kV	1 kV	5 kHz
4	4 kV	2 kV	2,5 kHz
x	Spezial	Spezial	Spezial

Tabelle 1: Prüfklassen

Die Prüfergebnisse können auf der Grundlage der Einsatzbedingungen und der Festlegung über die Funktion des Prüflings nach folgenden Merkmalen festgelegt werden:

- A. Keine Einschränkung des Betriebes oder der Funktion.
- B. Fehlverhalten innerhalb der zulässigen Toleranzen mit automatischer Wiederherstellung des fehlerfreien Betriebes nach der Störung.

C. Fehlverhalten mit automatischer Wiederherstellung des fehlerfreien Betriebes nach der Störung.

D. Zeitweilige Einschränkung des Betriebes oder der Funktion, wobei zur Wiederherstellung des Betriebes oder der Funktion ein Wiedereinschalten oder Eingreifen des Bedienerpersonals erforderlich ist.

E. Bleibender Verlust der Funktion aufgrund von Zerstörungen des Betriebs-

mittels oder seiner Komponenten.

Anhand der vorstehenden Ausführungen wird die Komplexität der Thematik „EMV“ deutlich. Für weitergehende Informationen sei auf die einschlägige Literatur verwiesen (z. B. ELV-Katalog Seite 309).

Klassifizierung der Installationsarten

Klasse 0

Gut geschützte elektrische Umgebung, oft ein besonderer Raum

Alle Eingangskabel sind mit einem Überspannungsschutz (Primär-/Sekundär-schutz) versehen. Die elektronischen Betriebsmittel sind über ein gut konzipiertes Erdungssystem miteinander verbunden, das weder durch die Stromversorgung noch durch Blitze wesentlich beeinflusst wird. Die elektronischen Betriebsmittel haben eine eigene Stromversorgung.

Die Stoßspannung überschreitet nicht 25 V.

Klasse 1

Teilweise geschützte elektrische Umgebung.

Klasse 2

Elektrische Umgebung, in der Kabel gut voneinander getrennt sind, auch auf kurze Entfernungen.

Die Installation ist mit dem Erdungssystem der Stromversorgung verbunden, die wesentlich von Störspannungen beeinflusst werden kann, die von der Installation selbst oder durch Blitze entstehen. Die Stromversorgung der elektronischen Betriebsmittel ist von anderen Stromkreisen getrennt, meistens durch einen besonderen Transformator. Die Installation hat eine begrenzte Anzahl von nicht geschützten Stromkreisen, die aber getrennt angeordnet sind.

Die Stoßspannung überschreitet normalerweise nicht 1 kV.

Klasse 3

Elektrische Umgebung, in der Kabel parallel verlaufen.

Klasse 4

Elektrische Umgebung, in der mehradrige Kabel, sowohl für elektronische als auch elektrische Stromkreise verwendet werden.

Klasse 5

Elektrische Umgebung, in der elektronische Betriebsmittel an das Fernmeldenetz oder an das Freileitungsnetz der Stromversorgung in wenig besiedelten Gebieten angeschlossen sind.

Klasse X

Besondere Bedingungen werden in den Produktspezifikationen festgelegt. **ELV**