

Elektro- Magnetische Verträglichkeit (EMV)

Diese Unterlage führt in die EMV- Probleme ein soweit diese für Automatisierungssysteme relevant sind und zeigt nötige Gegenmaßnahmen auf. Die Unterlage basiert teilweise auf einem gleichnamigen Skript von H. Heckmann. Detailliertere Angaben sowie die quantitative Behandlung finden sich in der Literatur, z.B. [1, 2].

Inhalt:

	Seite:
1. Begriffe, Vorgänge	
1.1 Allgemeine Begriffe, Modelle	1
1.2 Pegel / Pegeldifferenzen	2
1.3 Elektromagnetische Vorgänge	3
2. EMV- Analyse, Immunitätszonen	3
3. Kopplung	
3.1 Kopplungswege (galvanisch, kap., ind.)	5
3.2 Kopplungsarten (Gegentakt / Gleichtakt)	6
4. Maßnahmen an Niederspann.- Störquellen	
4.1 Beschaltung von geschalteten Induktivitäten	7
4.2 Beschaltung von Universalmotoren	8
5. Maßnahmen in elektronischen Einrichtungen	
5.1 Leiterbahnen auf Baugruppen	9
5.2 Erdung des Bezugsleiters	10
5.3 Eingänge (Filter, Überspannungsableiter)	11
5.4 Geräte, Schränke (Kapselung, Erdung)	11
6. Maßnahmen an Signalleitungen	
6.1 Niederspannungsanlagen- Einflüsse	12
6.2 Verdrillung	12
6.3 Schirmung	13
6.4 Erdschleifentrennung	14
7. Beeinflussungsdarstellung, Klassifizierung	
7.1 Amplitudendichte- Spektrum (EMV- Tafel)	14
7.2 Störbelag und Verträglichkeit	15
8. EMV- Normung	
8.1 Gremien, Gesetze	17
8.2 Normen- Nummern (Auszug DIN VDE EN)	18
8.3 EMV- Anforderungen an die Leittechnik (Störfestigkeitsklassen)	19
8.4 EMV- Betriebsklassen	20
8.5 Störfestigkeitsanforderungen, genormte Testsignale	22
Literaturhinweise	22

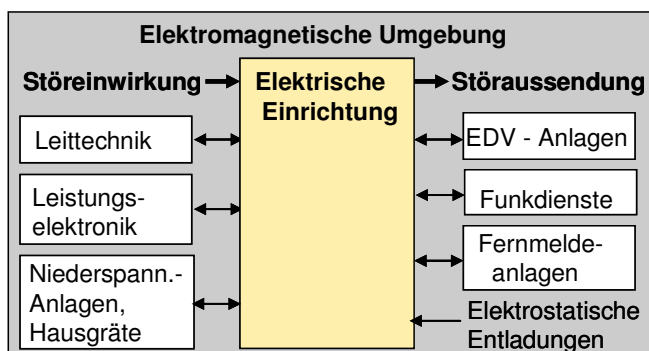


Bild 1.1: „Elektro- Magnetische Verträglichkeit“

1. Begriffe, Vorgänge

1.1 Allgemeine Begriffe

Miniaturisierung in der Elektronik mit dem Ziel steigender Funktionskomplexität auf immer kleinerem Raum führt zu immer kleineren Signalleistungen und Reaktionszeiten. Zudem werden die Abstände zwischen Leittechnik und Leistungssystemen immer geringer, Einrichtungen der Leittechnik werden in Leistungssysteme einbezogen. Diese Entwicklung begünstigt die gegenseitige Beeinflussung von Systemen, und man spricht von „Elektromagnetischer Umgebung“ (Bild 1.1). Hierin kann jede Elektrische Einrichtung sowohl als „**Störsenke**“ Störeinwirkungen anderer Einrichtungen ausgesetzt sein als auch selbst als „**Störquelle**“ andere Einrichtungen stören (Bild 1.2).

Beeinflussungsmodell:

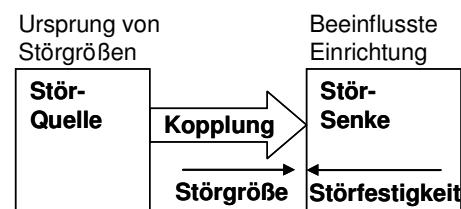


Bild 1.2: Allgemeines Beeinflussungsmodell

Mit „Elektro- Magnetische Verträglichkeit“ (EMV) wird die Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung (vom einzelnen Gerät bis zur komplexen Anlage) ausgedrückt, in ihrer elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu funktionieren ohne diese Umgebung unzulässig zu beeinflussen.

Dabei ist die „**Störgröße**“ die elektromagnetische Größe, die über eine Kopplung eine Einrichtung stört. Die „**Störfestigkeit**“ ist eine qualitative Aussage, dass die gestörte Einrichtung trotzdem funktioniert.

„Elektro- Magnetische Beeinflussung“ (EMB) meint die „Einwirkung elektromagnetischer Größen auf Stromkreise, Geräte, Systeme oder Lebewesen“.

Im Englischen entspricht

EMV: „Electro **M**agnetical **C**ompatibility“ (EMC) und ENB: „Electro **M**agnetical **I**nterference“ (EMI).

Bild 1.3 zeigt in einem vereinfachten Modell über welche Schnittstellen eine Leiteinrichtung elektromagnetisch beeinflusst werden kann.

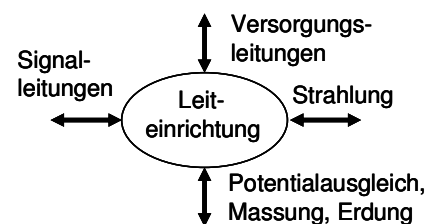


Bild 1.3: Vereinfachtes Schnittstellenmodell

Die wachsende Bedeutung der EMV - Betrachtung zeigt Bild 1.4 durch den Vergleich der Störfestigkeit zwischen Relais- und Elektroniksteuerungen besonders deutlich. Hier ist die erforderliche Energie zum Ansteuern verschiedener Komponenten angegeben. Bei Relaissteuerungen führen Störgrößen wegen des hohen Leistungsniveaus und der mechanischen Trägheit im Allgemeinen nicht zur Funktionsstörung. Die Empfindlichkeit elektronischer Schaltungen ist aber um den Faktor 10^3 bis 10^{12} höher.

Man unterscheidet **Intrasystem-** und **Intersystem-**Beeinflussung (Bild 1.4) zwischen Geräten / Syst.

EMV- Maßnahmen sollen Beeinflussungen zwischen Störquelle und -Senke verringern (Bild 1.2):

- Unterdrückung der Entstehung von Störgrößen durch Vorkehrungen direkt an der Störquelle,
- Unterdrückung / Abschwächung der Störgrößen-Ausbreitung durch Maßnahmen am Übertr.-Weg,
- Erhöhg. der Stör- und Zerstörfestigkeit der Senke,
- Entkopplung zwischen Quell- und Senkensystem.

1.2 Pegel / Pegeldifferenzen

Für quantitative Aussagen benutzt man in der EMV:

- „**Pegel**“: beziehen Systemgrößen wie. Spannung- en, Ströme usw. auf einen festen Bezugswert, zB:

$$u_{dB} = 20 \lg \frac{U_x}{U_0} \text{ dB } \mu\text{V} \quad \text{Bezug: } U_0 = 1 \mu\text{V}$$

- „**Übertragungsmaße**“: setzen Ein- und Ausgangsgrößen eines Systems ins Verhältnis, sind also logarithmierte Kehrwerte von Übertragungsfaktoren.

Die ins Verhältnis gesetzten Größen müssen dabei Frequenzbereichsgrößen sein. Es werden nur die Beträge ins Verhältnis gesetzt. (Mehr: [2])

Bild 1.5 zeigt die Definition der hier relevanten absoluten Pegel in dB: „**Nutzpegel**“, „**Störschwellenpegel**“ und „**Störpegel**“, sowie der relativen Pegel (Pegeldifferenzen) „**Störabstand**“ und „**Störsicherheitsabstand**“ als Beispiele logarithmischer Verhältnisse.

Als Kompromiss zwischen der Summenwirkung der oft gleichzeitig wirkenden verschiedenen Störpegel und der wirtschaftlich durchführbaren Maßnahmen wird oft ein „**Verträglichkeitspegel**“ festgelegt, der mit z.B. 95% Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird. Die „**Störfestigkeit**“ (statischer bzw. dynamischer Störabstand, Kap. 3.1) liegt darüber.

Bild 1.6 zeigt die prinzipielle Störungseinwirkung auf einen Signalstromkreis: sie verfälscht das am Eingang ankommende Signal.

Legt man für eine analoge Signalübertragung (Bild 1.7) mit 0..10V z.B. 1% (hier 0,1V) als tolerierbaren Fehler fest, so ergibt sich ein Störabstand von 40dB.

Bei digitalen Schaltungen sind die erlaubten Verfälschungen durch die Bauelemente- Technologie festgelegt. Bild 1.8 zeigt die Verhältnisse bei der 5V TTL- Technik statisch. Tatsächlich ist „dynamisch“ auch die Dauer der Einwirkung zu betrachten, da z.B. eine digitale Schaltung eine Ansprechzeit hat.

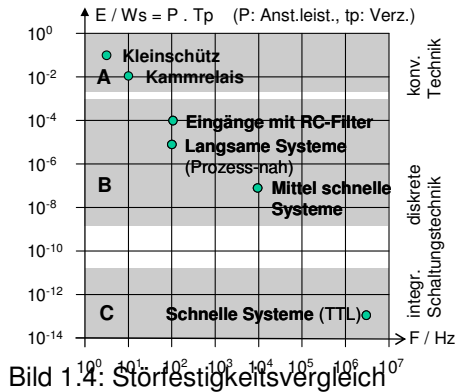


Bild 1.4: Störfestigkeitsvergleich

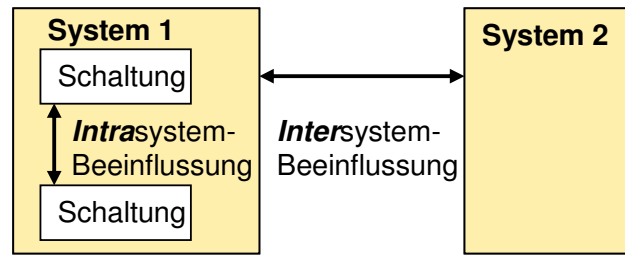


Bild 1.4: Beeinflussungsarten

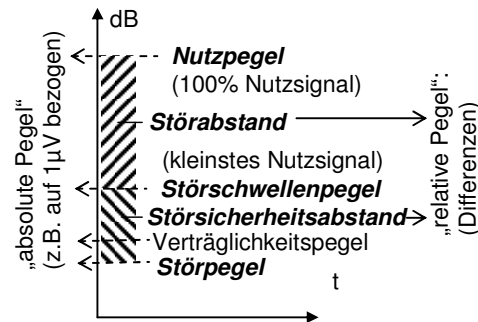


Bild 1.5: Pegel und Pegeldifferenzen, Definitionen

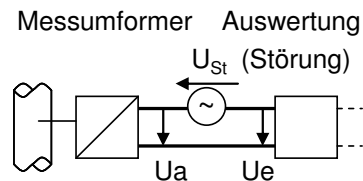


Bild 1.6: Störungseinwirkung auf Signalstromkreis

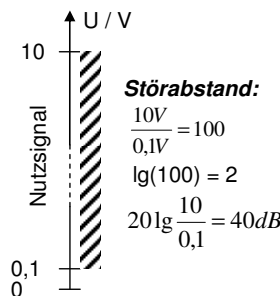


Bild 1.7: Störabstand In der Analogtechnik

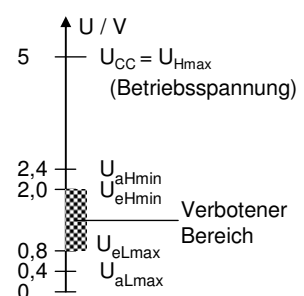


Bild 1.8: Grenzen In der 5V TTL- Technik

1.3 Elektromagnetische Vorgänge

Störgrößen sind zeitlich veränderliche elektrische Größen, in erster Linie Spannungen und Ströme. Die zeitliche Veränderung kann eine Periodizität aufweisen oder in ihrer Art einmalig sein. Periodische Vorgänge sind Wechselspannungen der Stromversorgungsnetze, Rundsteuersignale und Trägersignale in der Datenfernübertragung wie in der gesamten Rundfunktechnik. Hinzuzurechnen sind auch die Oberschwingungen, die durch Zünd-einsatz (Leuchtstofflampen, Netzteile, Leistungselektronik) entstehen, und Vorgänge, die z.B. durch Kollektormotoren asynchron zur Netzfrequenz erzeugt werden.

Schaltvorgänge mit mehr oder weniger steilem Übergang von einem in den anderen Schaltzustand entstehen in Lichtbogenschmelzöfen, von Hand oder elektrisch betätigten mechanischen Schaltern unterschiedlichster Leistungen und in den Halbleitern leistungselektronischer und informationstechnischer Einrichtungen (s. Bild 1.3.1).

Eine einheitliche und zusammenhängende Darstellung von periodischen Vorgängen und Schaltvorgängen einschließlich ihrer Teilphänomene ist im Amplitudendichtespektrum möglich, das sich aus der Fourier - Transformation des Zeitverlaufes ergibt und das auch messtechnisch erfasst werden kann (siehe Kap. 7)

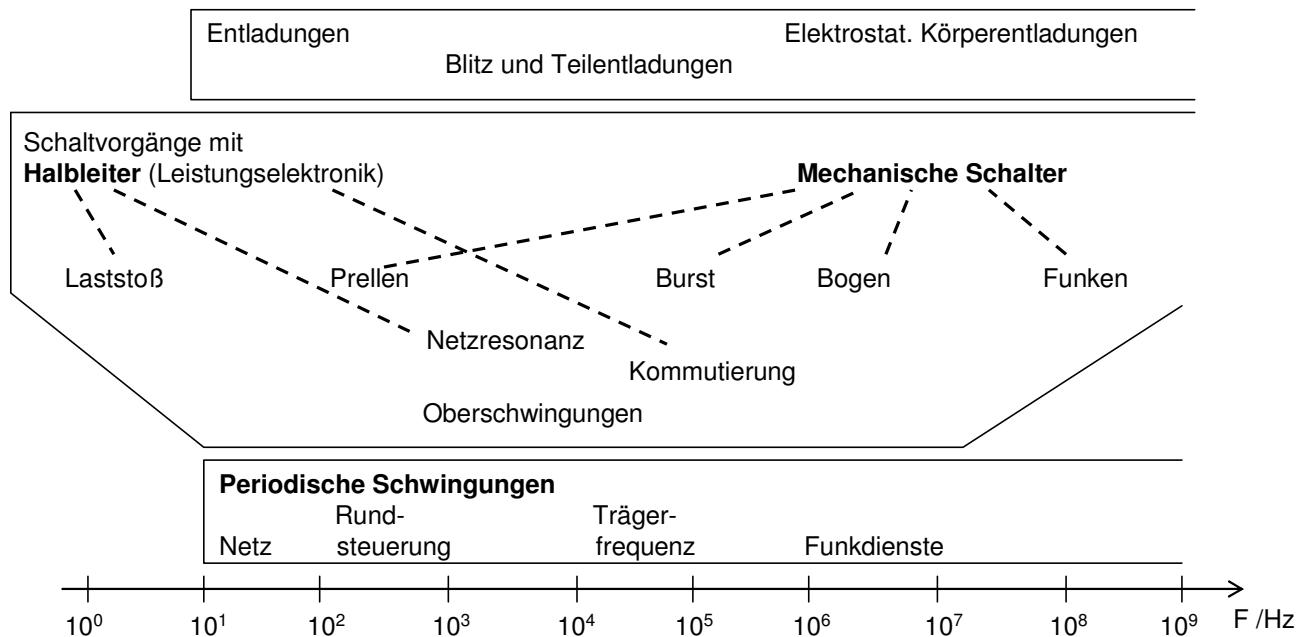


Bild 1.3.1: Elektromagnetische Vorgänge und ihre Phänomene in Wirkungs - bedeutsamen Frequenzbereichen

2. EMV- Analyse

Um sicher zu stellen, dass eine elektrische Einrichtung unter allen relevanten Störeinflüssen ausreichend funktioniert sind im Prinzip nötig:

- **Theoretische EMV- Analyse** mit Berechnung der möglichen Störeinflüsse und Vergleich mit den Störfestigkeiten, ggf. Festlegung von Maßnahmen
 - zur Unterdrückung der Kopplungen bzw.
 - zur Erhöhung der Störfestigkeit
- **EMV- Test** durch Simulation von Störungen und Beobachtung der Funktionsfähigkeit.

Meist sind viele Störquellen und –Senken mit verschieden verknüpften Kopplungen zu betrachten (Bild 2.1), so dass eine klare Systematik nötig ist. Dazu sind folgende Schritte nötig:

a) Strukturierung in Zonen

Das System wird in Bereiche gleicher Störpegel eingeteilt, die ineinander geschachtelt sind. In der jeweils inneren Zone ist der Störpegel um typisch 20 bis 40 dB geringer (Bild 2.2).

Signalübergänge zwischen den Zonen müssen durch besondere Maßnahmen geschützt werden.

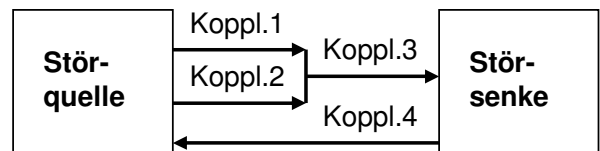
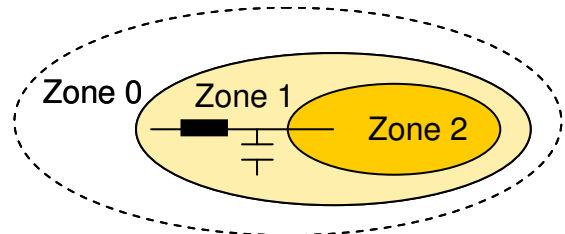


Bild 2.1: Komplexität der Zusammenhänge



Zone	Abschwächung	um typisch
0	nicht abgeschwächt	
1	gegenüber Zone 0	-20 .. -40 dB
2	gegenüber Zone 1	-20 .. -40 dB

Bild 2.2: Strukturierung in Zonen

- b) **Auflistungen** möglicher Störquellen, Störsenken und Kopplungspunkte,
- c) **Eintrag in Kopplungsmatrizen**, das sind Tabellen mit der Möglichkeit der Zuordnung von Störsenken und Störquellen zur Darstellung der Kopplungspunkte (Bild 2.4), wobei für jede Senke die Störfestigkeit angegeben ist,
- d) **Ermittlung der Gesamtstörungen** durch Addition in den Zeilen,
- e) **Festlegung von Maßnahmen** wo die Störfestigkeit überschritten wird, und dann
- f) **nochmalige Durchrechnung** mit neuen Werten.

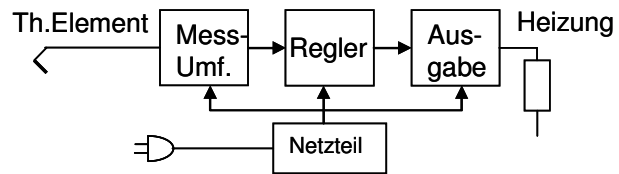


Bild 2.3: Beispiel als Blockschaltbild

Quellen / Senken (Störfestig.)	Netz	Netzteil	Ausgabe
Therm. Elem. (10 µV)	magnetisch <u>0,1 mV</u>	galvanisch 5 µV	galvanisch <u>15 µV</u>
Messumf. (10 µV)	galvanisch <u>12 µV</u>	galvanisch 8 µV	magn.+galv. 5 µV
Regler (10 mV)	galvanisch 30 µV	magnetisch 50 µV	galv.+kap. 1 mV

Bild 2.4: Beispiel in der Kopplungsmatrix

Bild 2.3 zeigt dazu ein Beispiel einer elektrischen Heizung als Blockschaltbild zur Klärung der Beeinflussungen (nach [2])
In Bild 2.4 sind Störsenken und –Quellen in eine Kopplungsmatrix eingetragen. Überschreitungen der Störfestigkeiten sind unterstrichen.

Für die Beeinflussung von Industrieanlagen sind in den Normen Immunitätszonen definiert, zwischen denen die in der Spannungsversorgung enthaltenen Transformatoren und Schaltungen die Störungen mindern. Meist befinden sich Leitanlagen in Zone A, innerhalb der ein ausreichender Schutz besteht. Für Verbindungen aus einer Zone in eine andere mit höherer Gefährdung sind Schutzmaßnahmen vorzusehen. (DIN EN 61131 auf Basis von DIN EN 50081-2 und DIN EN 55011)

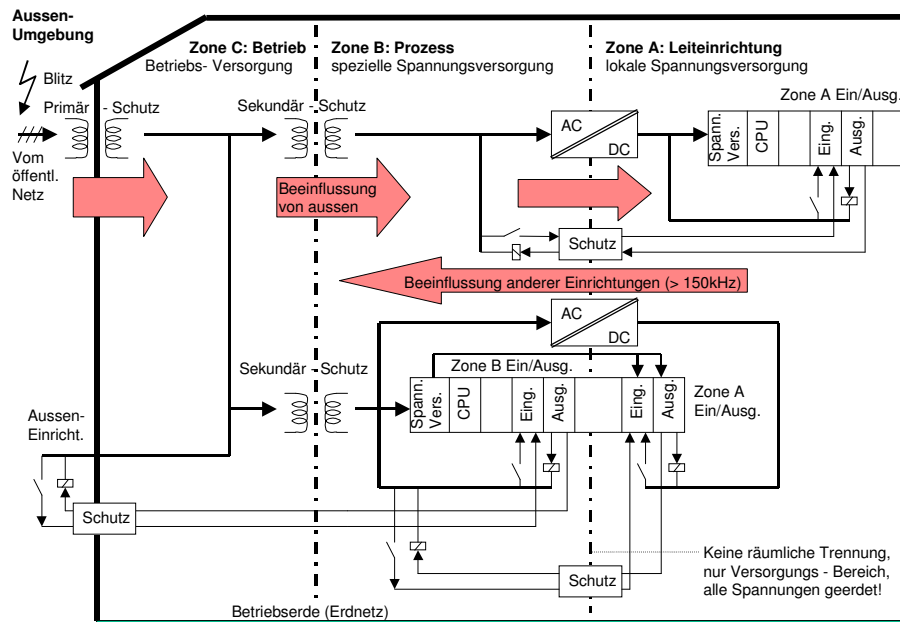


Bild 2.5: Immunitätszonen

Tabelle 2.1 gibt Daten der Beeinflussung von außen und Gegenmaßnahmen an.

EMV - Zone	EMC - Aspekte für die Beeinflussung von aussen:		zu berücksichtigende Störung
	Versorgungs - Spannung	Massnahme	
C	Betriebs - Hauptverteilung Mittelspannung	Primäre Trennung	starke Beeinflussung: 4000 V
B	Unterverteilung für Leiteinrichtung ≤ 300 V	Sekundäre Trennung, E/A - Impedanzbegrenzung	typische Beeinflussung: 2000 V
A	Lokale (interne) Spann.versorgung ≤ 120 V ≤ 100 V ≤ 50 V	E/A - Impedanzbegrenzung	niedrige Beeinflussung: 1000 V 800 V 500 V

Tabelle 2.2 nennt Prüfdaten für die Beeinflussung anderer Betriebsmittel.

Verbindung	Frequenz-Bereich	Strenge der Prüfung über die Störung anderer Betriebsmittel		
		Standard: gemessen in 10 m Abstand	Optional: gemessen in 30 m Abstand	Betriebsklasse (-> nächste Tab.)
Insgesamt (durch Strahlung)	30 - 230 MHz 230 - 1000 Mhz	40 dB(uV/m) quasi-peak 47 dB(uV/m) quasi-peak	30 dB(uV/m) quasi-peak 37 dB(uV/m) quasi-peak	A A
AC Spannungsversorgung (verbunden)	0,15 - 0,5 MHz	79 dB(uV/m) quasi-peak 66 dB(uV/m) average		A A
	0,5 - 30 Mhz	73 dB(uV/m) quasi-peak 60 dB(uV/m) average		A A

3. Kopplungen

3.1 Kopplungswege

Beeinflussungen finden auf folgenden Wegen statt:

Leitungsgeführt:

- **galvanisch** über Leitungen und Impedanzen,

Leitungslos:

- **induktiv** zwischen Stör- und Signalleitung,
- **kapazitiv** zwischen Stör- und Signalleitung,
- **als gemeinsame Welle** zweier Leitungssysteme,
- **als freie Raumwelle** (z.B. Funkdienste), die nach Einkopplung in einen Signalstromkreis leitungsgeführt wird.

Dabei ist zwischen statischem und dynamischen Störabstand zu unterscheiden. Bild 3.1 a) zeigt die statischen Werte für H- und L- Signalbereiche bei TTL- Schaltungen. Dazwischen liegt ein nicht definierter Bereich, da die tatsächliche Schaltschwelle wegen Toleranzen und Temperatur streut. b) zeigt, dass ein Störimpuls nur mit der Spannungs-Zeitfläche ein H- Signal erzeugen kann, die mindestens im undefinierten Bereich liegt. Außerdem muss der Puls lange genug wirken (Bild 3c), da die Schaltkreise eine Ansprechzeit brauchen, die jedoch bei steigender Spannung sinkt. Bei 3V z.B. muss ein Puls mindestens 1,5 ns lang sein.

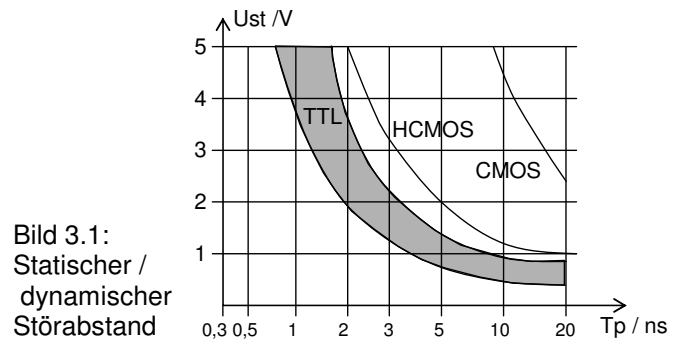
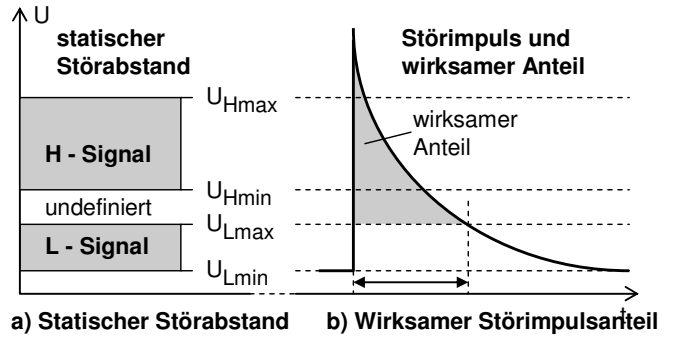


Bild 3.1: Statischer / dynamischer Störabstand

3.1.1 Galvanische Kopplung

Von galvanischer Kopplung spricht man, wenn zwei Stromkreise eine gemeinsame Impedanz enthalten (Bild 3.1.1.1).

Praktische Beispiele finden sich in der Spannungsversorgung. Bild 3.1.1.2 zeigt links die Abhängigkeit der Eingangsspannung des Gerätes 2 vom Strom am Nulleiter. Gerät 2 hebt sich sein Nullpotential an beim Einschalten einer Last, z.B. eines Ausgangssignals.

In Bild 3.1.1.2 beeinflussen die Geräte die Speisespannung beim Schalten von Lasten.

Durch **Erdschleifen** werden die meisten EMV- Probleme verursacht. Bild 3.1.1.3 zeigt das Prinzip am Beispiel einer galvanischen Erdschleife durch Mehrfacherdung, bei der unterschiedliche Potenziale der beiden Erdpunkte eine Störspannung darstellen. Da beide Signalleitungen Impedanzen besitzen fließt auch im oberen Zweig ein Störstrom, der das Eingangssignal verfälscht.

3.1.2 Kapazitive Kopplung

Eine Signalleitung liegt in einem kapazitiven Spannungsteiler zwischen einer Störleitung und Masse. Das gilt, je höhere Frequenzen auf dieser auftreten, da für diese die kleinen Kopplungskapazitäten (Abstand, Fläche) kleine Impedanzen darstellen. Bild 3.1.2.2 zeigt das Prinzip, 3.1.2.2 ein praktisches Beispiel: Bei Abschaltung von Induktivitäten steigen Selbstinduktionsspannungen steil an, d.h. auf der 230V- Leitung entsteht ein el. Feld hoher Frequenz.

Bild 3.1.1.1: Prinzip der Galvanischen Kopplung

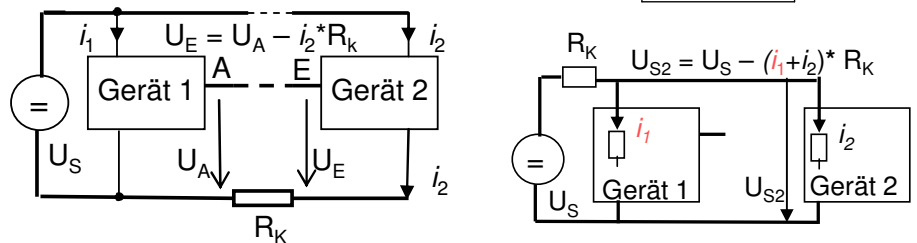


Bild 3.1.1.2: Galvanische Kopplung über Nulleiter und Speiseleitung

Bild 3.1.1.3: Galv. Erdschleife durch Mehrfacherdung

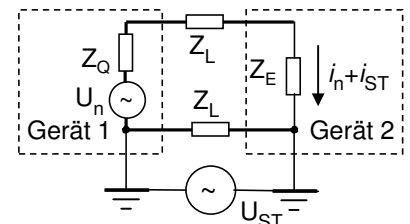


Bild 3.1.2.1

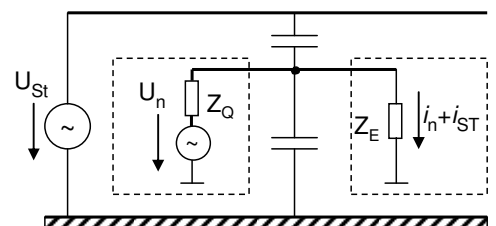
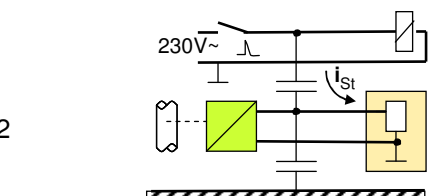


Bild 3.1.2.2



3.1.3: Induktive Kopplung

Ein Signalstromkreis kann als eine Windung eines Transformators wirken, dessen andere Wicklung ein Störstromkreis ist. Bild 3.1.3.1 zeigt das Prinzip, Bild 3.1.3.2 ein praktisches Beispiel. Im Falle großer, schneller Stromänderungen können Magnetfelder entstehen, die im Signalkreis einen Störstrom hervorrufen, der sich dem Nutzsignalstrom überlagert.

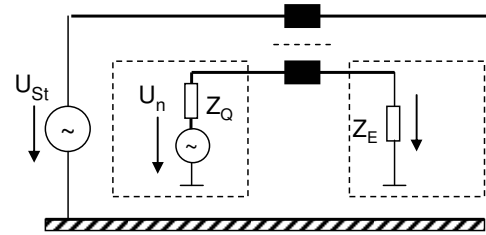


Bild 3.1.3.1: Prinzip der induktiven Kopplung

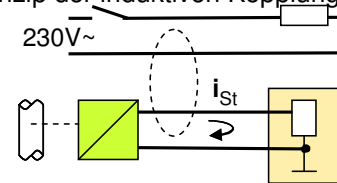


Bild 3.1.3.2: Beispiel induktive Kopplung

3.2 Kopplungsarten

Je nach dem, wo eine Störung angreift und wie der gestörte Signalstromkreis aufgebaut ist, sind Gegentakt- und Gleichtaktstörungen zu unterscheiden. Beim gestörten Kreis kommt es hauptsächlich darauf an, ob er symmetrisch oder unsymmetrisch sowie geerdet oder gegen Masse / Erde isoliert ist

Von **Gegentaktstörung** spricht man (Bild 3.2.1), wenn die Störung in den beiden Leitern eines gestörten Signalkreises *entgegengesetzt* wirkt (i_{St}), sich dem Nutzsignal also überlagert und es verfälscht. Im Modell (Bild 3.2.1) liegt die Störquelle u_{St} im Signalstromkreis mit der Nutzsignalquelle u_n in Reihe. Hier beschreiben:

- u_n / i_n : Nutzsignal, Z_Q seine Quellimpedanz,
- u_{St} : Störspannung, Z_L : Leitungsimpedanzen
- u_G : erzeugte Gegentaktspannung

Bild 3.2.2 zeigt als praktisches Beispiel die induktive Kopplung zwischen einem 230 V- Kreis und einem Eingangskreis.

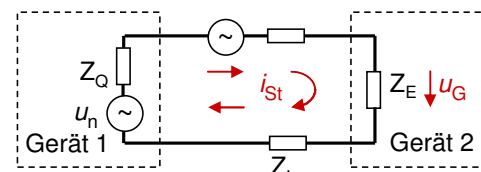


Bild 3.2.1:Gegentakt-Störung (Modell)

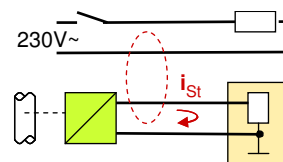


Bild 3.2.2:Gegentakt-Störung (Beispiel)

Von **Gleichtaktstörung** spricht man (Bild 3.2.3), wenn die Störung in den beiden Leitern eines gestörten Signalstromkreises in *gleicher* Richtung wirkt. Im Modell (Bild 3.2.3) beeinflusst die Störspannung das Potenzial des gesamten Signalstromkreises gegen Erde. Wenn der Signalstromkreis symmetrisch aufgebaut ist (gleiche Leitungsimpedanzen, symmetrischer Eingang) kann sich kein Störstrom ausbilden.

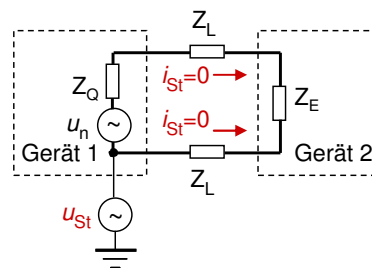


Bild 3.2.3: Gleichtakt- Störung, ideales Modell

Bild 3.2.4 zeigt als Beispiel dazu eine kapazitive Einkopplung in einen Eingangskreis, der durch den Differenzverstärker symmetrisch ist und daher nicht gestört wird. Allerdings könnte die eingestreuete Spannung so hoch werden, dass sie die Isolationsfestigkeit überschreitet und Schaden anrichtet.

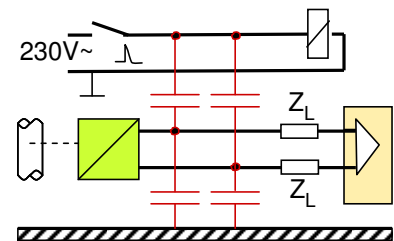


Bild 3.2.4: Gleichtakt- Störung, Beispiel: symmetrischer Kreis

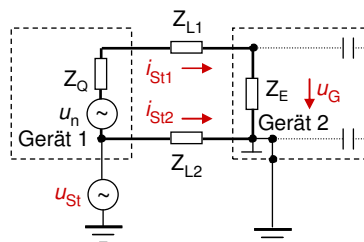


Bild 3.2.5: Gleichtakt- Störung, reales Modell

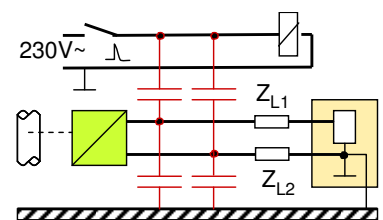


Bild 3.2.6: Gleichtakt- Störung, Beispiel: unsymm. Binäreingang

Bild 3.2.5 zeigt ein reales Modell mit ungleichen Leitungsimpedanzen, Streukapazitäten gegen das geerdete Gehäuse und einen auf Masse bezogenen Eingang. Hier sind die Störströme i_{St1} und i_{St2} verschieden, so dass am Eingang eine Störspannung u_G wirksam wird. Der unsymmetrische Aufbau des Signalkreises bewirkt also eine teilweise Störung als Gegentaktstörung, dies wird als eine

„**Gleichtakt / Gegentakt- Konversion**“ bezeichnet. (Anteil: „Gleichtakt / Gegentakt- Konversionsfaktor“) Bild 3.2.6 zeigt als Beispiel einen typischen unsymmetrischen Binäreingang, der von einer kapazitiven Einstreuung gestört wird.

4. Maßnahmen an Niederspannungs-Störquellen

Die meisten EMV- Einflüsse auf Automatisierungssysteme gehen von Einrichtungen der Niederspannungsanlagen aus.. Soweit möglich ist es daher besonders sinnvoll, diese Einflüsse zu verringern.

4.1 Beschaltung geschalteter Induktivitäten

Beim Abschalten, genau: beim Abreißen des Schaltfunken, bewirkt die in einer Induktivität gespeicherte Energie die Selbstinduktionsspannung U_L (Bild 4.1.1). Der vorher geflossene Strom will sozusagen weiter fließen (die Induktivität lässt keine sprunghafte Stromänderung zu), daher liegt U_L mit U_B in Reihe.

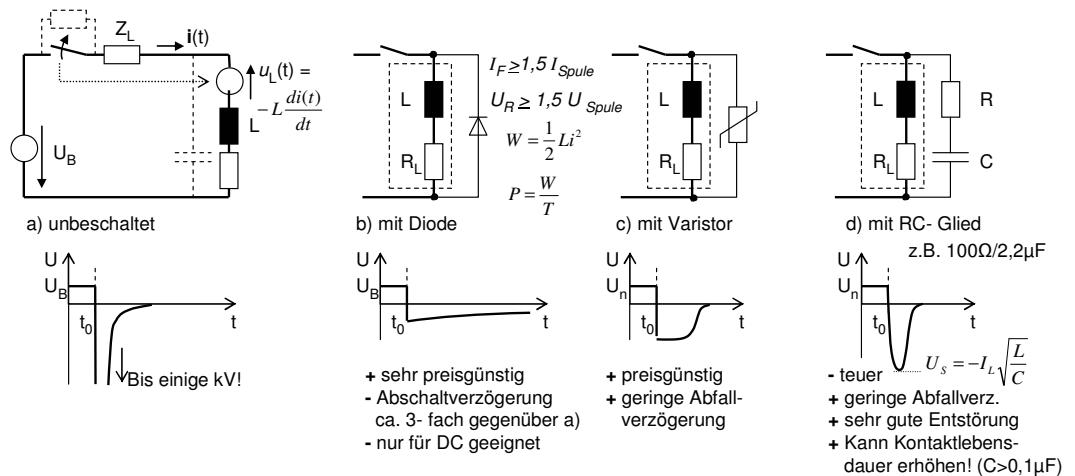


Bild 4.1.1: Beschaltung von Spulen (z.B. Relais, Schütz, Magnetventile)

Bild 4.1.1a zeigt oben die Entstehung von U_L und unten deren Verlauf. Schon bei einem 24 V- Relais beträgt sie einige kV und der Anstieg ist so steil, dass er Frequenzanteile im MHz- Bereich enthält. Dadurch können Störspannungen in Signalleitungen eingekoppelt werden, die Funktionen stören oder sogar Bauelemente zerstören.

Kontakte in Elektronik- Ausgabegeräten sind zu deren Schutz oft beschaltet (zumindest mit einer Diode). Dann treibt U_L einen Strom $i(t)$ über die Leitungsimpedanzen und die Beschaltung. Dabei können durch Kopplung noch erhebliche störende Wirkungen auftreten. Daher ist es besser – wenn von der Anordnung her möglich – direkt an der Induktivität zu beschalten.

Bild 4.1.1b zeigt eine Beschaltung mit einer **Diode**.

Diese preiswerteste Methode hat aber Nachteile:

- Wegen der kleinen Durchlassspannung der Diode wird die Spulenenergie hauptsächlich in der Spule abgebaut, was zu einer ca. 3 mal längeren Abfallzeit z.B. eines Relais führt.
- Die Diode ist nur bei Gleichspannungsbetrieb einsetzbar.

Für Relais ist der Diodentyp 1N4007 gut geeignet. Ansonsten sind im Bild Hinweise auf die Dimensionierung enthalten. Für größere Leistungen dürfen keine normalen Flächendioden eingesetzt werden, da diese langsamer durchschalten und sich vorher mit Hilfe ihrer Kapazität eine Schwingung aufbaut, welche die Diode in Sperrrichtung zerstört. Hier sind Lawinendioden (**Controlled Avalanche**) vorzuziehen, die einen großen Sperrstrom erlauben.

Manchmal werden auch **Zenerdioden** eingesetzt (AC zwei in Anti- Reihenschaltung), um in der Spule.

weniger Energie abzubauen und dadurch die Abfallzeit zu verringern. Dafür gibt es spezielle schnelle Lawinendioden, die „**Supressordioden**“. Bei HF ist wegen ihrer großen Kapazität eine kapazitätsarme Diode in Reihe zu schalten.

Bild 4.1.1c: Beschaltung mit einem **Varistor**.

Das ist eine preisgünstige Lösung für DC und AC mit geringer Abfallverzögerung. Allerdings entsteht eine merkliche, steil ansteigende Selbstinduktionsspannung in Höhe der gewählten Nennspannung.

Bild 4.1.2 zeigt die Zusammenhänge von Spannung, Strom und widerstand beim Varistor.

Dimensionierung: nach den gleichen Faustregeln wie bei der Diode (Bild 4.1.1), genau: [2].

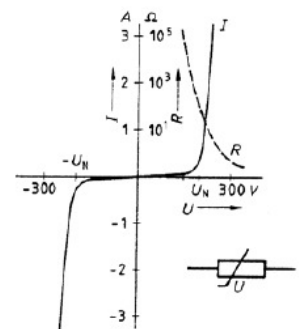
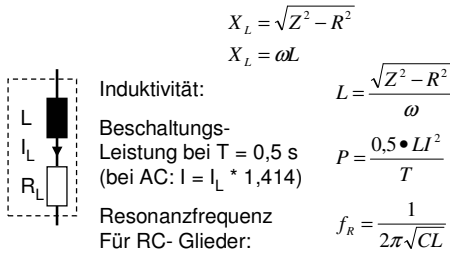


Bild 4.1.1d zeigt schließlich die Beschaltung mit einem **RC- Glied**. Das ist die einzige Methode, den Anstieg der Selbstinduktionsspannung zu verlangsamen. Es bleibt eine sehr Sinus- ähnliche Schwingung mit tiefer Frequenz, so dass trotz relativ hoher Spannung die Kopplung stark verringert wird. Die Frequenz sollte aber nicht in den Bereich der Betriebsfrequenz gelegt werden, da ein Relais sonst „brummt“ oder durch Einstreuung eingeschaltet werden kann.

Bei genügend großem C kann diese Beschaltung auch die Lebensdauer des Kontaktes verlängern. Niemals aber C ohne R verwenden!

Bild 4.1.3 zeigt Formeln über die Zusammenhänge und Berechnungsbeispiele.

Zusammenhänge:



Berechnungsbeispiele:

a) Industrirelais AC 230 V

I_L bei 230 V /50 Hz: 7,1 mA
 R_L : 7,4 kΩ
 L : 100,4 H

P : 5 mW

f_R bei 10 nF: 159 Hz
 f_R bei 100 nF: 50,25 Hz

a) Industrirelais DC 24 V

I_L bei AC 30 V /50 Hz: 12,5 mA
 I_L bei DC 24 V: 57 mA
 R_L : 419 Ω
 L : 7,5 H
 P : 24 mW

f_R bei 10 nF: 580 Hz
 f_R bei 100 nF: 184 Hz

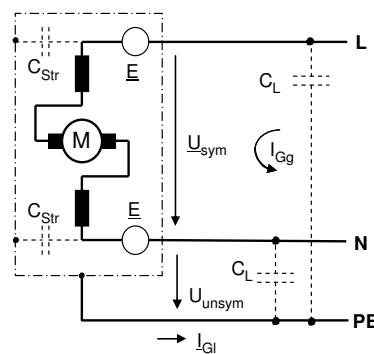
Bild 4.1.3: rechnerische Zusammenhänge und Berechnungsbeispiele

4.2 Beschaltung von Universalmotoren

Bild 4.2.1 zeigt links die Verhältnisse an einem Universalmotor. Die durch die Kommutierung erzwungenen Stromänderungen erzeugen in den Feldwicklungen Selbstinduktionsspannungen („E“ im Bild), und damit eine Gegentakstörung U_{sym} . Über Streukapazitäten zum Gehäuse entsteht aber auch eine Gleichtaktstörung U_{unsym} , deren Stromkreis über die Leitungskapazitäten C_L geschlossen ist.

Rechts im Bild 4.2.1 ist die übliche Beschaltung mit Kondensatoren dargestellt, deren Wirkung durch Drosseln in den Leitungen P und N noch verstärkt werden kann. Das reicht hier aus, da diese Motoren kleinere Induktivitäten haben als die Relais in Kap. 10.1. Rechnerisch sind die nötigen Werte wegen den unbekanntem Streukapazitäten fast nicht ermittelbar, daher ungefähre Werte im Bild.

Störungs- Quellen



Beschaltung

mit 2 Kondensatoren

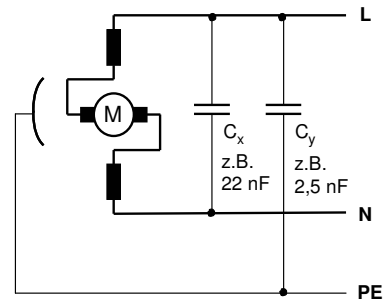


Bild 4.2.1: Störquellen und Beschaltung bei Universalmotoren

Bild 4.2.2: Beschaltung eines Kleinspannungs-Stellmotors

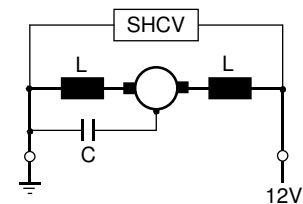


Bild 4.2.3: Abschaltimpuls ohne Entstör-Maßnahmen

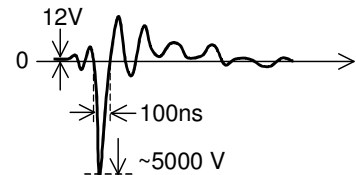


Bild 4.2.4: Abschaltimpuls mit Funkenlösch-Kondensator

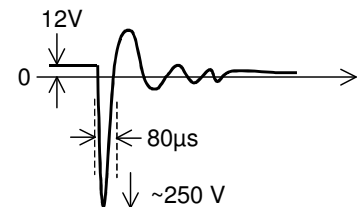
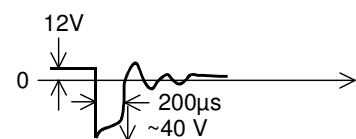


Bild 4.2.5: Abschaltimpuls mit SHCV



Die gesetzlich vorgeschriebene Funkentstörung realisiert man bei Kleinspannungsmotoren heute mit einem **SHCV** (**S**uper **H**igh **C**apacitive **V**aristor), der Parallelschaltung eines Varistors mit einem Vielschicht- Kondensator. Im Anwendungsbeispiel in Bild 4.2.2 (Motor: UN = 12 V, IN = 1,8) ist zusätzlich ein Kondensator gegen Gehäuse (C_Y) vorhanden.

Bild 4.2.3 zeigt, dass der Abschaltimpuls des blockierten Stellantriebs ohne Beschaltung bis 5 kV hoch sein kann.

Die herkömmliche Gegenmaßnahme besteht aus einem Funkenlöschkondensator, der den Impuls etwa um den Faktor 1000 verlängert und dabei auf etwa 250V absenkt (s. Bild 4.2.4)

Ein SHCV begrenzt die Abschaltspannung auf etwa 40V (s. Bild 4.2.5). Die Höhe der Restspannung hängt dabei von der Spannungsklasse des Varistors und von den Wickeldaten des Motors ab. Varistoren haben in dieser Anwendung gegenüber Zener - Dioden den Vorteil einer von der Polarität der angelegten Spannung unabhängigen Kennlinie. So erfüllen sie ihre Aufgabe deshalb auch unabhängig von der Laufrichtung des Motors gleich gut. Um den gleichen Effekt zu erzielen bräuchte man zwei Zener- Dioden.

Die geforderte Spannungsbegrenzung lässt sich natürlich auch dann bewirken, wenn man einen Varistor allein, d.h. ohne Kondensator, parallel zum Motor schaltet. Allerdings hat ein parallel geschalteter Kondensator den Vorteil, quasi wie ein Entstörfilter die bei Kollektormotoren im Betrieb immer auftretenden Rundfunkempfangsstörungen zu unterdrücken. Mit nur einem zusätzlichen kleinen Keramikkondensator von etwa 10 nF erhält man über das gesamte Rundfunkempfangsband eine ausreichende Entstörcharakteristik.

Bild 10.2.5 zeigt die Funk- Entstörung des Beispielmotors mit zwei unterschiedlichen SHCV. Für die gezeigte sehr große Störabsenkung von mehr als 60 dB im UKW- Band muss man noch UKW- Drosseln in die Zuleitung der Bürsten Einfügen.

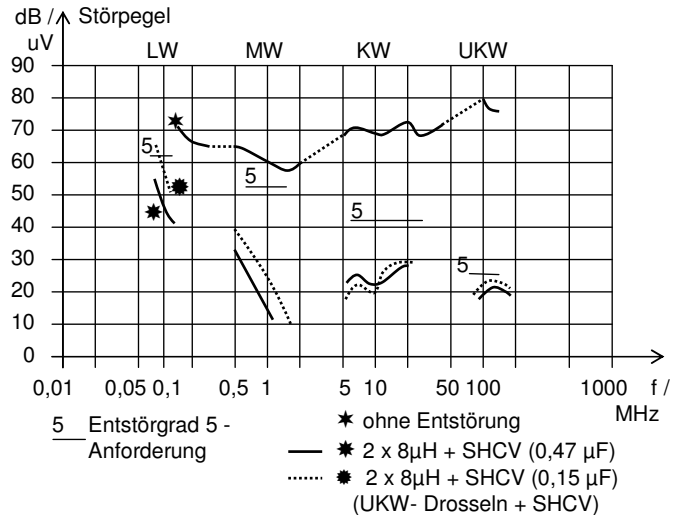


Bild 4.2.6: Funkentstörung mit versch. Maßnahmen

5. Maßnahmen in elektron. Einrichtungen

Bereits bei der Entwicklung und Konstruktion von Elektronikgeräten sowie der Planung von Anlagen müssen EMV- Gesichtspunkte beachtet werden. Später nötige „Nachbesserungen“ können sehr teuer werden. Nachfolgend dazu einige Hinweise.

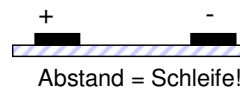
5.1 Leiterbahnen auf Baugruppen

Bei der **Spannungsversorgung** sollten Spannung und Masse- Leiterbahnen möglichst eng beieinander liegen (Gefahr von Schleifen), bei zweiseitig kaschierten Leiterplatten oder mehreren Layern übereinander (Bild 5.1.1). Die Kapazität ist erwünscht, meist sind Stützkondensatoren pro IC vorgesehen, die aber induktionsarm angeschlossen werden müssen, z.B. als SMD- Bauelement direkt über den parallelen Leiterbahnen (Bild 5.1.2).

Induktivitäten durch schmale Leiterbahnen sind zu vermeiden, besser Flächen einsetzen, bei mehreren Layern z.B. eine Fläche (oder ein Gitter) als Masse.

Bei **Signalleitungen** kommt es auf möglichst wenig Kopplung an, d.h. möglichst große Abstände und möglichst kurze Parallelführung. Notfalls ist eine beidseitig mit Masse verbundene Schirm- Leiterbahn vorzusehen (Bild 5.1.3). Bei zweiseitig kaschierten Leiterplatten und mehreren Layern sind die unteren Signalleiterbahnen möglichst orthogonal zu den oberen zu verlegen. Empfindliche bzw. störende Leiterbahnen sollten möglichst von Masse- Flächen umgeben sein.

ungünstig::



besser:

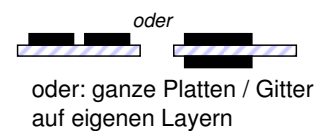


Bild 5.1.1: Spannungsversorgungs- Leiterbahnen

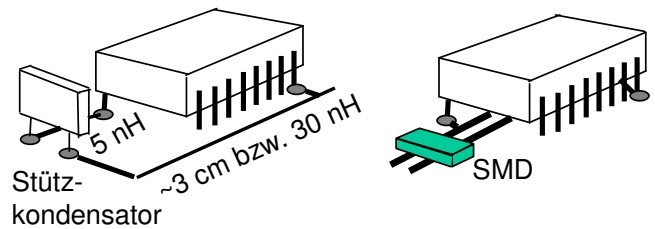


Bild 5.1.2: Stützkondensatoren

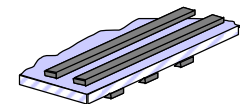
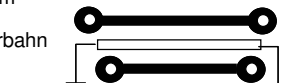
Kopplung verringern durch

- möglichst großen Abstand,
 - möglichst kurze Parallelführung
- TTL: < 15 cm, schnellere: < 6 cm

- beidseitig geerdete Schirmleiterbahn



Empfindliche / störende Leitungen mit Masse- Flächen umgeben



Bei mehreren Layern untere Lage orthogonal zu oberer Lage führen

Bild 5.1.3: Signalleiterbahnen

5.2: Erdung des Bezugsleiters („Masse“)

Der Null- oder Bezugsleiter der Spannungsversorgung einer elektronischen Schaltung müsste eigentlich nicht mit Erde verbunden werden, da im Idealfall gegen Erde keine Spannung besteht. Tatsächlich treten aber Streukapazitäten in der Spannungsversorgung sowie relativ große Kapazitäten zwischen Signalleitungen und Gehäuse bzw. Erde auf (Bild 5.2.1). Dadurch werden die Signalleitungen „festgehalten“ und der Z bewegt sich gegen sie, wodurch Störungen eingekoppelt werden.

Ein anderer Grund für die Erdung des Elektronik-Bezugspotenzials ist die Möglichkeit von Fehlsignalen bei Erdschlüssen (Bild 5.2.2). Tritt ein Erdschluss an einer Eingangsleitung (a) auf, so ist dieser zwar durch empfindliche Überwachungsgeräte feststellbar aber wegen der meist einigermaßen hohen Eingangswiderstände schwer ortbar. Kommt dann ein Erdschluss der Spannungsversorgung hinzu (b), so führt „Erde“ Spannung gegen Z und erzeugt an a) ein Fehlsignal.

Bild 5.2.3 zeigt das Prinzip der Erdung von Elektronikgeräten in Automatisierungssystemen. Hierbei kommt es auf folgende Punkte an:

- Bezugsleiter Z möglichst sternförmig zu einem „Zentralen Erdpunkt“ pro Schrank / Gehäuse führen, Erdschleifen vermeiden!
- kurze Leitungen (Induktivität!), großen Querschnitt (kleiner Widerstand!) verwenden.
- Zentralen Erdpunkt zwischen Schränken niederohmig verbinden, nur einmal getrennt vom Schutzleiter mit der Anlagenerde verbinden.
- An diese Erdverbindung nichts anderes anschließen um Spannungsabfälle zu vermeiden.

Grundgedanke des Erdungskonzeptes ist es, mit abgestuften Maßnahmen Äquipotentialräume zu schaffen, innerhalb derer die elektromagnetische Beeinflussung minimal ist. Diese Äquipotentialräume lassen sich nur bedingt realisieren.

So gibt es z.B. keine gemeinsame Masseplatte und Ummantelung für mehrere Gebäude (hier bleibt nur ein Zentraler der möglich), und ein Flächenleiter kann im Großen nicht homogen, sondern nur in Form von Maschen realisiert werden.

Trotzdem sollte für die Elektronik - Erdung immer die Anlagen - Erde (z.B. Erd - Netz) verwendet werden. Eigene Erden können durch örtliche Potenzialunterschiede Störspannungen bewirken. Eine gemeinsame "Plattform" ist besser.

Das Massungssystem dient in erster Linie der EMV, während das **Schutzleitersystem** dem Massungssystem überlagert ist.

Das im Hinblick auf die EMV errichtete Massungssystem ist zu beurteilen nach den Vorschriften:

- VDE 0160 für Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln,

Störeinkopplung bei ungeerdetem Z

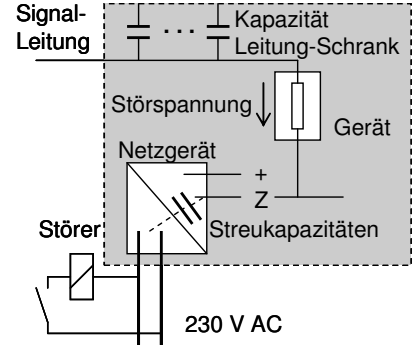


Bild 5.2.1: Streukapazitäten

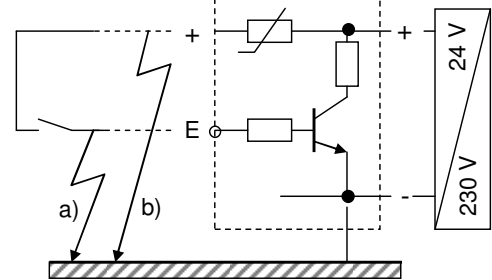


Bild 5.2.2: Fehlsignal ohne Erdung

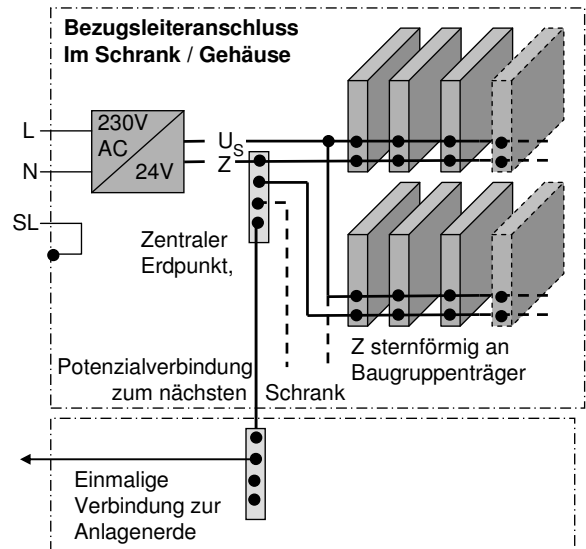


Bild 5.2.3: Bezugsleiteranschluss

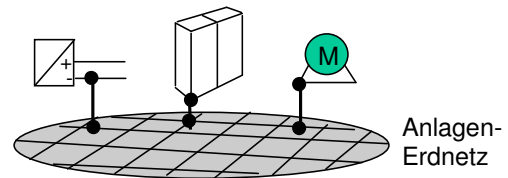


Bild 5.2.4: Potenzialplattform

- VDE 0800 für Errichtung und Betrieb von Fernmeldeanlagen einschließlich Informationsverarbeitungsanlagen,
- VDE 0804 für Fernmeldegeräte einschließlich informationsverarbeitende Geräte.

5.3 Maßnahmen an Geräteeingängen

Binäreingänge können durch **EingangsfILTER** als Tiefpass gegen Störspitzen geschützt werden, soweit nicht eine hohe zeitliche Auflösung für zeitfolgerichtige Meldungen benötigt wird. Bei den meist einfachen RC- Filtern gehen die Bauelement- Toleranzen als Zeittoleranzen ein (Bild 5.3.1).

Viele Binäreingaben benutzen **Potenzialtrennung** z.B. durch Optokoppler zur Auftrennung von Erdschleifen (Bild 5.3.2).

Bei der Gefahr hoher Überspannungen werden auch **Funkenstrecken** eingesetzt, die als Bauelemente zur Verfügung stehen (Bild 5.3.3).

Analogeingänge sollten soweit möglich (Preis!) **symmetrisch** ausgeführt sein als Schutz gegen Gleichtaktstörungen (Bild 5.3.4).

Eine zusätzliche **Potentialtrennung** ist insbesondere bei kleinen Eingangsspannungen nötig (aber teuer), z.B. bei Thermospannungen, da hier Störspannungen leicht in die Größe der Nutzspannung kommen (Bild 5.3.5).

Eine sehr gute aber aufwendige und daher selten eingesetzte Lösung ist der „**Flying Capacitor**“, an dem sich ein Mittelwert einstellt, der von einem Multiplexer getrennt von den Eingangsleitungen ausgewertet wird (Bild 5.3.6).

5.4 Maßnahmen an Geräten, in Schränken

Elektronikgeräte können in geerdete **Stahlblechgehäuse** gekapselt eingebaut werden um gegenseitige Beeinflussung und Beeinflussung von außen zu verringern. Zumindest ist eine mit Masse verbundene Abschirmfläche gegen gegenseitige Beeinflussung vorzusehen, wenn diese Gefahr besteht (Bild 5.3.7).

Schränke werden als Stahlblech - Gehäuse gebaut, sind also auch **metallisch gekapselt**. Sie werden untereinander elektrisch verbunden und einmal pro Reihe mit dem örtlichen Schutzleiter verbunden (Bild 5.3.8). Ausgleichsströme durch die Gehäuse sind zu vermeiden.

Bei der **Schrank- internen Verdrahtung** ist auf **räumliche Trennung** zwischen störenden Leitungen (z.B. Ansteuerung von Schützen) und Eingängen (z.B. von Kontakten) zu achten (Bild 5.3.9), was durch getrennte Kabelkanäle bzw. Bündel oder / und räumlich getrennte Anschluss-Steckerelemente erreicht werden kann.

Die **Backplane** mit dem Stations- internen Bus bei speicherprogrammierter Elektronik ist immer abgeschirmt und / oder mit Abstand zu Signalleitungen anzuordnen

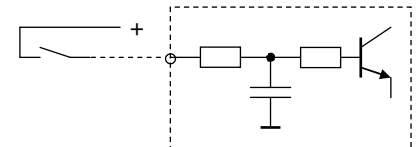


Bild 5.3.1:
Filter

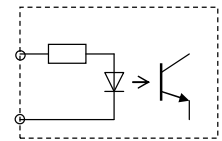


Bild 5.3.2:
Optokoppler

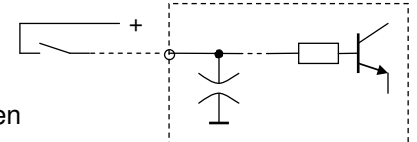


Bild 5.3.3:
Funkenstrecken

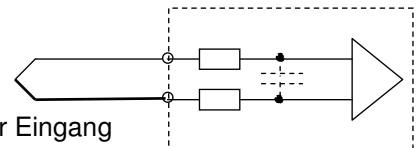


Bild 5.3.4:
Symmetrischer Eingang

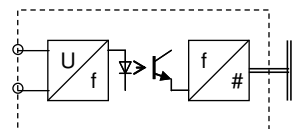


Bild 5.3.5
Potentialtrennung

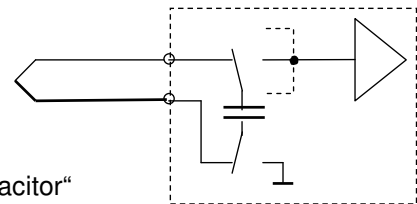


Bild 5.3.6:
„Flying Capacitor“

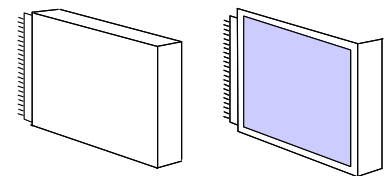


Bild 5.3.7: gekapseltes Gerät, Abschirmplatte

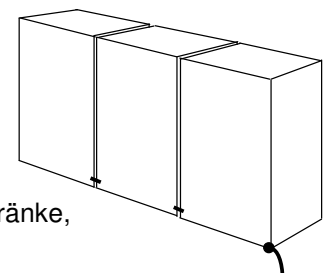


Bild 5.3.8:
Gekapselte Schränke,
einmal geerdet

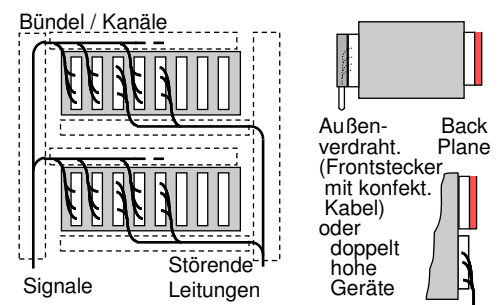


Bild 5.3.9: Schrankinterne Verkabelung

6. Maßnahmen an Signalleitungen

6.1 Niederspannungsanlagen- Einflüsse

Die in Industrieanlagen eingesetzte Leittechnik wird hauptsächlich durch die sie umgebenden Nieder- und Mittelspannungsanlagen gestört. Das Beeinflussungsschema in Bild 6.1.1 zeigt, dass es auf die Länge der Parallelführung zwischen störenden und gestörten Leitungen sowie auf den Abstand zwischen ihnen ankommt. Die charakteristischen Störungen entstehen beim Schalten induktiver Lasten. Die Betriebsspannung ist wegen ihrer niedrigen Frequenz weniger wichtig.

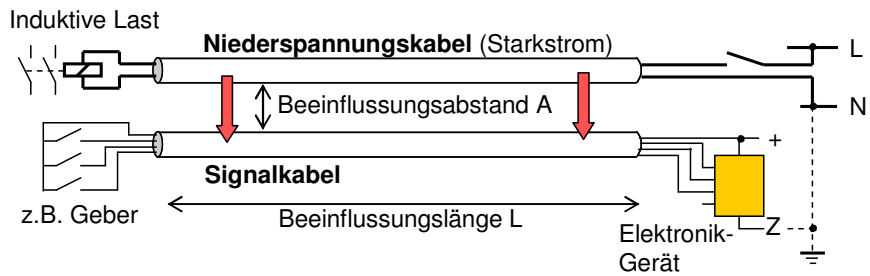


Bild 6.1.1: Beeinflussungsschema der Niederspannungsanlageneinflüsse

Bild 6.1.2 zeigt einen typischen Störspannungsverlauf beim Abschalten einer Induktivität (ohne Beschaltung) auf einem Starkstromkabel.

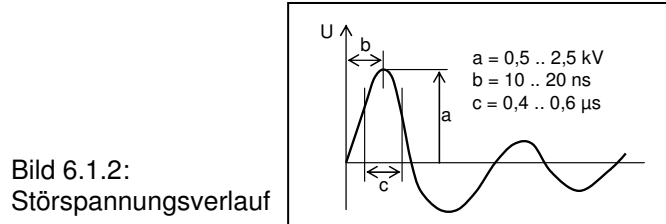


Bild 6.1.2: Störspannungsverlauf

Aus umfangreichen Messungen in ausgeführten Anlagen und Modellen ergaben sich die in Bild 6.1.3 angegebenen Störspannungen auf Signalleitungen. Da diese von den Eigenarten des verwendeten Systems abhängen (z.B. Eingangswiderstand, hier 15 kΩ), können die Werte für die allgemeine Verwendung nur eine Tendenz aufzeigen.

Störungsauslösung war die Abschaltung einer unbeschalteten Induktivität durch Kontakt (A – D) und einen Halbleiterschalter (E)), angeschlossen über ein nicht abgeschirmtes Kabel.

Die gestörten Kabel waren verdreht und:

- A nicht abgeschirmt, unmittelbar benachbart,
- B nicht abgeschirmt, 25 cm Abstand,
- C abgeschirmt, unmittelbar benachbart,
- D abgeschirmt, 25 cm Abstand,
- E wie A (aber Halbleiterschalter).

Fazit:

- Um sicher auf eine Störspannung unterhalb der Zerstörspannung von Elektronik- Bauelementen zu kommen (allgemein ca. 60 V) sind also **Verdrillung, Abschirmung und Abstand** notwendig.
- Schon bei wenigen Metern Parallelführung können Störspannungen in der Größenordnung der Signalspannung entstehen.

6.2 Verdrillung

Durch Verdrillung der gestörten Leitung entstehen in dieser kleine Leiterschleifen, in denen eine magnetische Störung entgegengesetzte Ströme induziert (Bild 6.2.1). Die Gegentakstörung wird also unterdrückt, solange die Ströme gleich sind, also das störende Feld homogen ist, was meist jedoch nur über kurze Strecken der Fall ist.

Voraussetzungen:

- enge Verdrillung (homogenes Feld),
- Hin- und Rückleiter verdrillt im gleichen Kabel (ist bei Zweileitertechnik leicht zu realisieren).

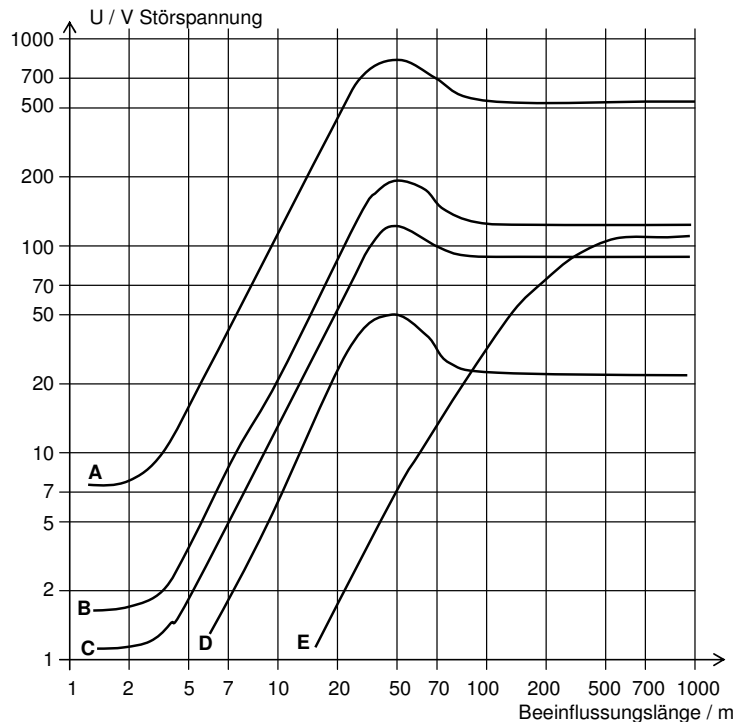


Bild 6.1.3: Störspannungsamplituden im beeinflussten Kabel

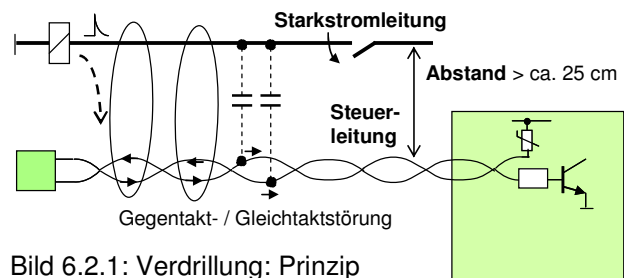


Bild 6.2.1: Verdrillung: Prinzip

Gegen die Gleichtaktstörung durch kapazitive Einstreuung ist die Verdrillung wirkungslos.

Mit der nebenstehend angegebenen Formel lässt sich die ind. Einstreuung ungefähr berechnen, mit:

- U_K : eingekoppelte Spannung in V,
- M_K : Magnetische Kopplung, d.h. geometrische Leiter- Anordnung: Induktivität * Länge
- I : Strom in der störenden Leitung

Beispiel:

- Beeinflussungslänge: 20 m
- Magnetische Kopplung: 500 nH / m
- Stromänderung: 100 A in 1 μ s

$$U_K = M_K \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$U_K = 500 \text{ nHm}^{-1} \cdot 20 \text{ m} \cdot \frac{100 \text{ A}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 1000 \text{ V}$$

Tabelle 6.2.1: Stromänderungen

Störquelle:	Niederspn.Anl.	Elektronik
dI	100 A	1 A
dt	1 μ s	10 ns
dI / dt	10^8 A/s	10^8 A/s

= gleiche Störungsausendung!

Die Formel zeigt, dass es auf die Stromänderungsgeschwindigkeit ankommt. Tabelle 6.2 belegt, dass nicht nur hohe Stromänderungen eine große Wirkung hervorrufen sondern auch kleine wie sie in Elektronikschaltungen vorkommen, wenn sie nur schnell genug erfolgen.

6.3 Schirmung

Eine Signalleitung liegt oft in einem kapazitiven Spannungsteiler zwischen einer störenden Leitung und Erde, so dass Gleichtaktstörungen wirken (Bild 6.3.1). Durch eine geerdete Abschirmung wird der untere Kondensator kurzgeschlossen, so dass die Störspannung theoretisch 0 ist. Tatsächlich hat die Abschirmung aber eine Längsimpedanz, Störspannung bleibt, die kapazitiv und induktiv Gleich- und Gegentaktstörungen verursacht. Daher ist auch hier ein ausreichender Abstand zur störenden Leitung notwendig. Außerdem ist darauf zu achten, dass der Schirm an einer besonderen Schirmerde A angeschlossen wird, die nur am zentralen Erdpunkt des Schrankes mit dem Bezugsleiter Z und von dort mit Erde verbunden ist, damit über den Schirm abgeleitete Ströme nicht den Z beeinflussen.

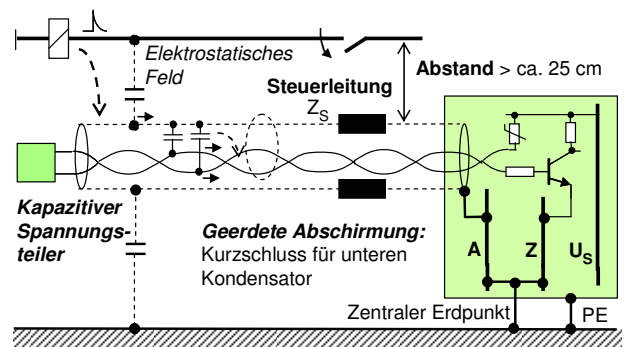


Bild 6.3.1: Schirmung: Prinzip

Bei der praktischen Anwendung der Schirmung sind zwei Fälle zu unterscheiden:

Kabel nach vor- Ort (Sensorkabel, Bild 6.3.2) können in Industrieanlagen nur **einseitig am Schrank** geerdet werden, da die „draußen“ möglichen Erdpunkte mit Sicherheit Störspannungen gegen den Zentralen Erdpunkt aufweisen, die bei zweiseitiger Erdung in die Signalstromkreise eingekoppelt würden. Der Schirm kann dabei nur kapazitive Einstreuungen unterdrücken.

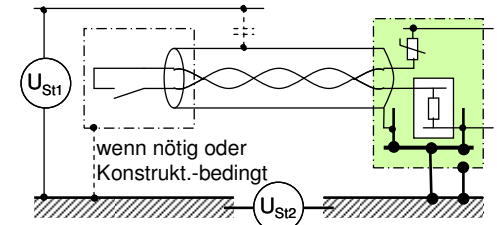


Bild 6.3.2: Sensor- Verkabelung: Einseitige Schirmung

Kabel zwischen Schränken (z.B. Busleitungen, Bild 6.3.3) werden beidseitig geerdet, weil hier durch Potenzialverbindungen keine Störspannungen auftreten und der Schirm gleichzeitig als niederohmiger „Reduktionsleiter“ induktive Einstreuungen reduziert, für die er eine Art Kurzschluss darstellt.

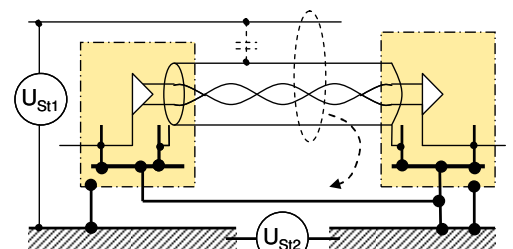


Bild 6.3.3: Schrank- Schrank- Verkabelung: Beidseitige Schirmung

Ideal (aber teuer) sind doppelte Schirme (Bild 6.3.4), bei denen beide Methoden kombiniert werden können.

Für Busverbindungen gelten meist spezielle, von den Herstellern entwickelte Vorschriften, z.B. eine nur HF- mäßige Erdung des Schirms per Kondensator auf einer Seite.

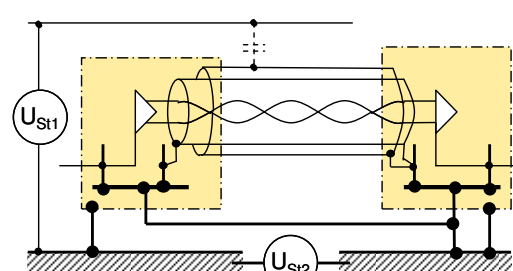


Bild 6.3.4: Doppelte Schirmung

6.4 Erdschleifen- Auftrennung

Die häufigsten Störungen werden durch Erdschleifen hervorgerufen, die durch mehrfache Erdung an unterschiedlichen Potenzialen oder Einstreuungen auftreten. Dagegen hilft nur eine Auftrennung der Erdschleife.

In Bild 6.4.1 wird der Stromkreis der Erdschleife durch eine **Potenzialtrennung** am Eingang des ein Signal empfangenden Schrankes erreicht. Hier ist ein Transformator eingesetzt, der eine Schirmwicklung haben sollte. Für Binärsignale empfehlen sich Optokoppler.

In Bild 6.4.2 wird die **Längsinduktivität** durch Wicklungen auf einem Ferritkern erhöht. Dadurch werden hochfrequente Einstreuungen reduziert.

Eine **Wicklung** des gesamten Kabels um einen **Ferritkern** (Bild 6.4.3) dient dem gleichen Zweck bei hohen Frequenzen.

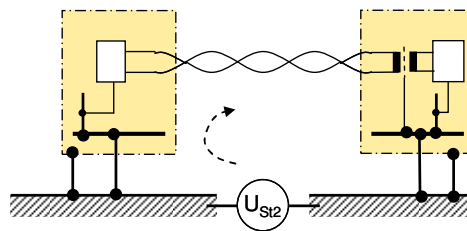


Bild 6.4.1: Potenzialtrennung

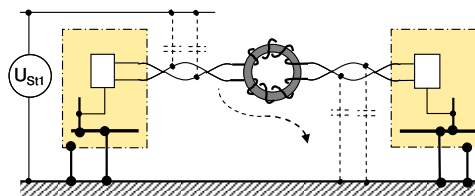


Bild 6.4.2: Erhöhung der Längsimpedanz

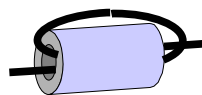


Bild 6.4.3: Eine Windung um Ferritkern

7 Beeinflussungsdarstellung und Klassifizierung

Zur übersichtlichen Darstellung und Klassifizierung von EMV- Verhältnissen wird das Amplitudendichtespektrum verwendet, das auf der Fourier- Analyse und einer doppelt logarithmischen Darstellung besteht.

7.1 Amplitudendichte- Spektrum, Prinzip

Gemäß Fourier- Analyse lassen sich Werteverläufe durch die Addition verschiedener Frequenzen darstellen. In Bild 7.1.1 ist das annähernd (gestrichelt) durch nur 4 Frequenzen für einen Rechteckimpuls (gepunktet) durchgeführt. Dabei fällt auf, dass die höheren Frequenzen kleinere Amplituden haben.

Zur Vermeidung großen Rechenaufwandes wird hier eine **grafische Transformation** angewandt. Bild 7.1.2 zeigt diese für zwei Vorgänge (Sprung a und Rampe b), die dazu doppelt logarithmisch dargestellt werden. In der Ordinate ist die Amplitudenzeitfläche (Vs) als Pegel logarithmisch aufgetragen, in der Abzisse die Frequenz ebenfalls logarithmisch. Die beiden Vorgänge ergeben um 20 bzw. 40 dB abfallende Linien im doppelt logarithmischen Maßstab.

Für die EMV- Darstellung wird „EMV- Papier“ (EMV- Tafel) mit eingezeichneten um 20 und 40 dB abfallenden Linien verwendet.

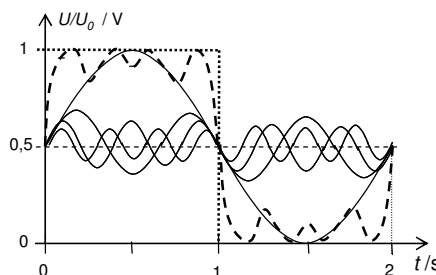
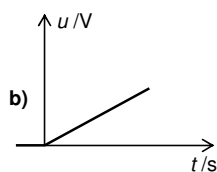
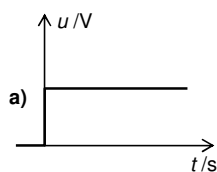


Bild 7.1.1: Fourier- Analyse, vereinfacht

Vorgang



Doppelt logarithm. Darstellung

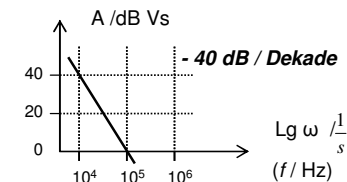
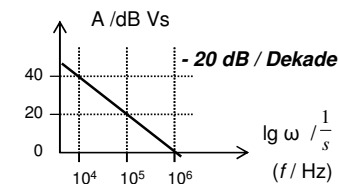
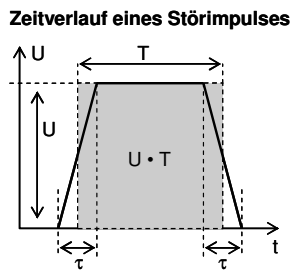


Bild 7.1.2: grafische Transformation

Zur Klassifizierung wird ein trapezförmiger Störimpuls angenommen, der in der doppelt logarithmischen Darstellung den in Bild 7.1.3 gezeigten Verlauf ergibt.



ergibt aus
Fourier - Analyse:

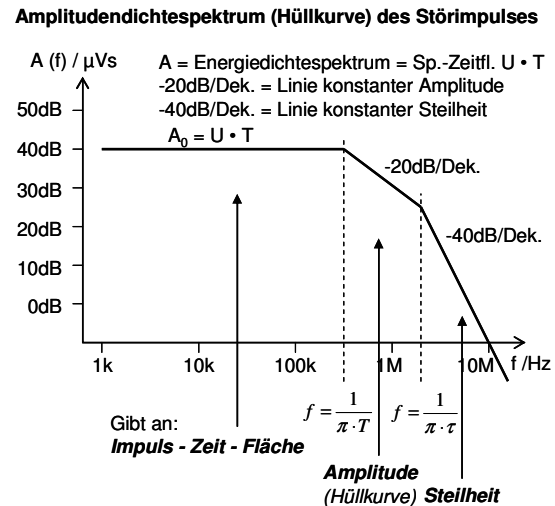


Bild 7.1.3: Grafische Analyse eines Trapezimpulses

Mit den folgenden Aussagen können Rückschlüsse auf die abgebildete Störung gezogen werden:

Steiler Abfall bei hohen Frequenzen:

-> begrenzte Steilheit, abgerundete Ecken

Überhöhung, Resonanzstelle:

-> Schwingverhalten, Überlagerung

Abfall nach niedrigen Frequenzen:

-> induktiv / kapazitiv gekoppelte Störgröße

Die Amplitudendichte eines Rechteck - (Trapez -) Impulses mit der (mittleren) Breite T verläuft (Bild 7.1.3):

- im Frequenzbereich $f \ll 1/(\pi \cdot T)$ parallel zur Abszisse und gibt die Zeitfläche des Impulses an.
- Oberhalb der Frequenz $f = 1/(\pi \cdot T)$ wird nur die Hüllkurve des Spektrums betrachtet. Sie verläuft im ersten Teil mit $1/f$ (-20 dB/Dek.). Dieser Teil beschreibt die Amplitude.

7.2 Störbelag und Verträglichkeit (Beispiele)

Bild 7.2.1 vergleicht in einem Amplitudendichtespektrum den „Störbelag“ in einem Niederspannungsnetz (a) mit der Störverträglichkeit von Schaltungen der „Prozessnahen“ Steuerung, z.B. einer SPS (b) und integrierter Schaltungstechnik (c) ohne Schutzmaßnahmen.

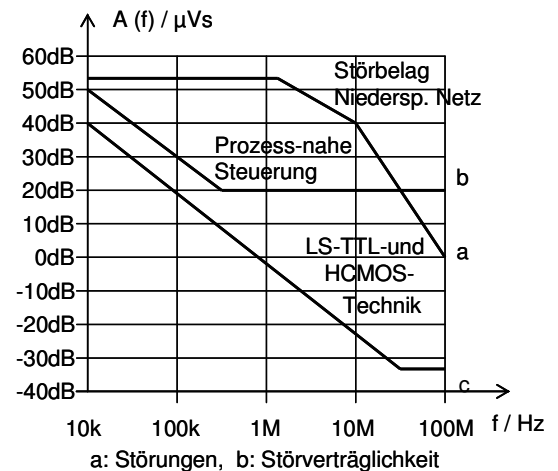


Bild 7.2.1: Störbelag und Verträglichkeit

Ordnet man Frequenzen Wellenlängen und diesen eben noch elektrisch kurze ($L < \lambda / 10$) Leiterlängen zu, erkennt man die Änderungen kritischer Leiterlängen von 100 m auf 1 m. Liegen bei kleineren Baugrößen der Geräte die Kopplungsresonanzen bis in den Bereich der Bauelement - Grenzfrequenz, so kann die eingekoppelte Störgröße in diesem Vergleich 100 mal so hoch werden.

Im Frequenzbereich bis 100 MHz sind Leitungen mit Längen von mehr als 30 cm nicht mehr elektrisch „kurz“, d.h. sie bilden keinen Kurzschluss zwischen zwei Punkten, sondern wirken als Antennen mit Dipol - Eigenschaften.

Die Konsequenzen aus dieser technischen Entwicklung sind erheblich: Der Anlagen- und Systemplaner muss seine Installationen den Anforderungen der Entkopplung auch im Bereich der hohen Frequenzen entstörgerecht ausführen. Fragen der Schirmbehandlung (einseitige oder beidseitige Verbindung mit Masse, Anschlusstechnik) müssen nach dreißig Jahren Industrielektronik neu gestellt werden.

Der Geräte - Entwickler kann seinen Schaltplan nicht mehr in die Konstruktionsabteilung geben, ohne für ein EMV - gerechtes Layout zu sorgen. Der Leiterplatten - Entwurf ist ein Teil der Schaltungsentwicklung, denn jedes Stück Leitung ist eine Induktivität, ggf. auch eine Antenne. Zwei Leiterschleifen bilden einen HF - Übertrager. Ein Auto - Router, der diese Regeln berücksichtigt, existiert noch nicht

Als Beispiel diene hier die Störfestigkeitsklasse NSN 2. Sie umfasst alle Schnittstellen von elektronischen Geräten, die entweder mit dem Niederspannungsnetz über einen Stromversorgungsteil mit mindestens 20 dB asymmetrischem Dämpfungsmaß im Bereich von 100 kHz bis 50 MHz verbunden sind oder mit Prozessen des Niederspannungsnetzes über folgende Verkabelungsvarianten korrespondieren (Bild 7.2.2)

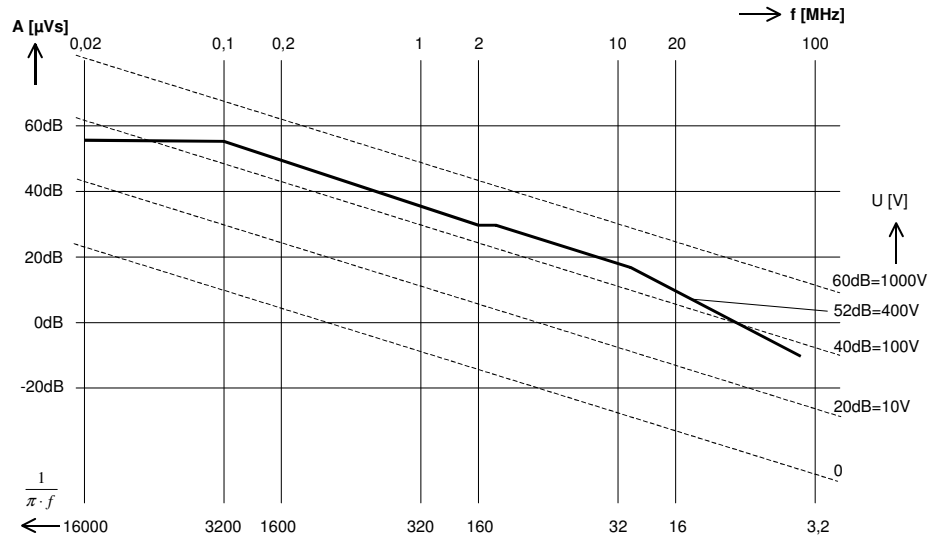


Bild 7.2.2: Störimmission für Geräte mit Verkabelung in Niederspannungsnetzen (Störfestigkeitsklasse 2)

Das Amplitudendichtespektrum für NS2 zeigt Bild 7.2.3 Die Störfestigkeit einer elektronischen Schaltung lässt sich mittels eines Störimpulsgenerators, der Amplitude und Breite eines Impulses variiert, ermitteln. In Bild 7.2 ist die Störfestigkeit eines Gerätes angegeben. Ein Vergleich mit dem in Bild 7.1 dargestellten zu erwartenden Störspektrum zeigt, dass die Störfestigkeit über dem gesamten Frequenzbereich um den Faktor 2 besser ist. Das Gerät ist damit für den definierten Einsatzbereich geeignet.

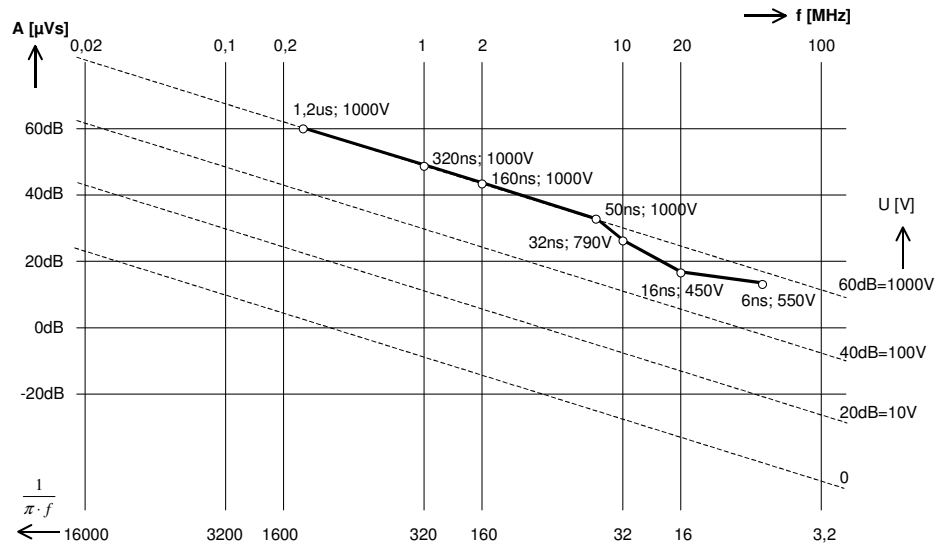


Bild 7.2.3: Beispiel für die Störfestigkeit eines Gerätes

In Bild 7.2.4 sind die beiden oberen Bilder übereinandergelegt. Es ist zu sehen, dass die Störimmission über den gesamten Verlauf unter der Störfestigkeit bleibt, und das ist die wesentliche Aussage.

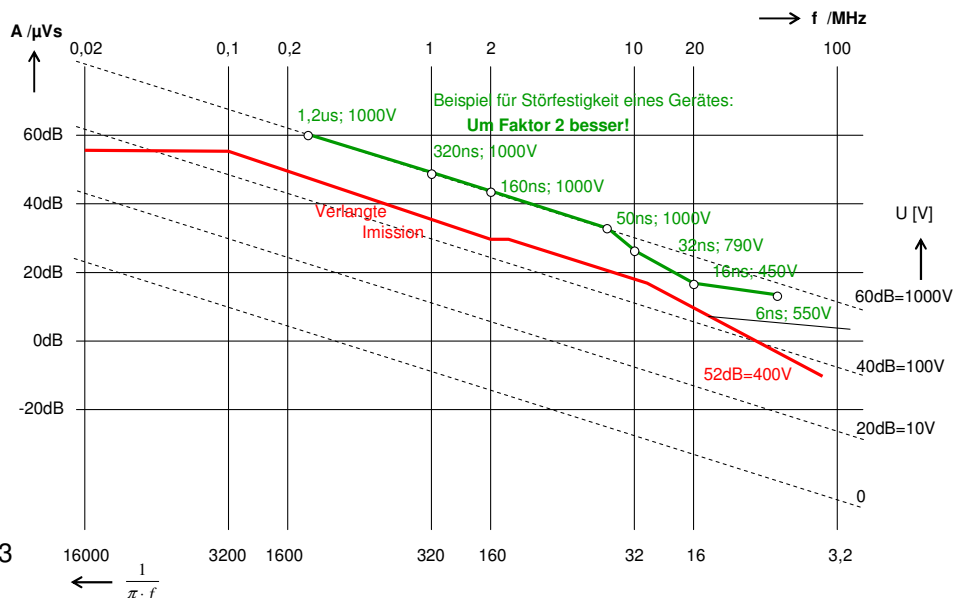


Bild 7.2.4: 7.2.2 + 7.2.3

8. Normung

8.1 Grundlagen

Da EMV- Probleme auf vielen Gebieten eine immer größer gewordene Rolle spielen wurden von verschiedenen Gremien auf verschiedenen Ebenen Normung betrieben. Tabelle 8.1 gibt einen Überblick dazu.

International werden in der **IEC** und darin speziell im **CISPR** unter internationaler Beteiligung Empfehlungen und Bestimmungen als Grundlage für die nationalen Bestimmungen der Mitglied-länder erarbeitet.

Tabelle 8.1: Normungsgremien und Normen

	Normungs- Gremien	Normen	Politische Gremien → Vorschriften
international	IEC (International Electrical Commission) ↳ CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) TC 41 Measuring Relay and Protection Equipment TC 77 TC 65 TC 45 TC57	IEC Standards and Publications CISPR Publikationen und Empfehlungen	
regional	CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) ETSI (European Telecommunication Standards Institute)	EN (Europäische Normen): - Generic Standards: Minimalanforderungen Störaussendung u. -Festigkeit - Basic Standards: phänomenbezogene Mess- und Prüfverfahren - Product Standards: detaillierte Prüf- und Messaufbauten, Grenzwerte	EG- Kommission → EG- Richtlinien des Rates v. 3.5.1989
national	DKE (Deutsche Kommission Elektrotechnik)	DIN- VDE- Normen, DIN- Normen	BMPT Bundesminist. Post- u. Telekomm. PAPT Bundesanstalt Post- u. Telekomm BZT Bundesamt Zulassungen Telekomm. → Verfügungen

Für Europa- weite Normung sind im **CENELEC** das Technische Committee 110 sowie **ETSI** für EMV- Normen zuständig, die in drei Klassen eingeteilt sind:

- **Generic Standars** sind Minimalforderungen für Störaussendung und Störfestigkeit,
 - **Basic Standards** beschreiben phänomenbezogene Mess- und Prüfverfahren zum Nachweis der EMV sowie die geforderten Grenzwerte,
 - **Product Standards** enthalten detaillierte Angaben über Mess- und Prüfaufbauten sowie Grenzwerte.
- Über die EU- Kommission sind die Europäischen Normen als in der EU verbindlich erklärt worden.

In der Bundesrepublik regeln DIN VDE- Normen die EMV. Während früher nur die maximal zulässige Emission festgelegt war sind das heute auch Mindestforderungen an die Störfestigkeit. Dazu gibt es zwei Gesetze:

- **EMV- Gesetz** (EMVG): betrifft alle Geräte, die elektrische oder elektronische Bauteile enthalten, setzt europäisches in deutsches Recht um, gilt für „Inverkehrbringer“ und Betreiber,
- **Telekommunikationsgesetz:** betrifft die Erteilung von Genehmigungen zum Errichten und Betreiben von Anlagen und Geräten der Nachrichtenübermittlung.

Mit der "EMV - Richtlinie des EG-Rates" wurde 1989 eine einheitliche Basis für die Rechtsvorschriften aller EG-Staaten erlassen. Für die Harmonisierung der nationalen Normen und Richtlinien wurde eine Übergangszeit bis Ende 1995 vorgesehen. Durch das "Deutsche EMV - Gesetz" von 1992 und vom 18.9.1988 (EMVG) ist die Einhaltung der EMV - Normen gesetzlich vorgeschrieben. Die Nichtbefolgung rechtlich abgedeckter EMV- Normen stellt eine Regelwidrigkeit dar (bis 50.000 € Strafe)

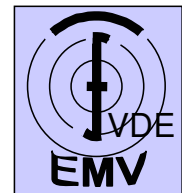


Bild 8.1: CE- Zeichen

Bild 8.2: VDE- Zeichen

Als Kennzeichen für die Konformität mit den EMV-Bestimmungen gibt es das **CE – Zeichen** (Bild 8.1). Für seine Erlangung gibt es drei Fälle:

- Für ein Gerät gibt es im Amtsblatt der EU gelistete Europannormen bzw. nationale Normen:
 - Hersteller oder Dienstleister (privat, TÜV, VDE-Institut) macht Typenprüfung, wenn erfolgreich:
 - Hersteller stellt formlose **Konformitätsbescheinigung** aus, die für alle baugleichen Geräte gilt.
- Für ein Gerät bestehen noch keine Europannormen (oder das Gerät erfüllt nicht alle Normen):
 - **Konformitätsbescheinigung** durch „**Zuständige Stelle**“ (besondere Akkreditierungen), mit Prüfung durch akkreditiertes Prüflabor
- Bei „Sendefunkgerät“ (Mobilfunk, drahtlose Einbruchsicherung, ..):
 - „**Benannte Stelle**“ (BRD: BZT in Saarbrücken) stellt **Baumusterbescheinigung** aus, mit der der Hersteller die Konformitätsbescheinigung ausstellen kann.

In den Fällen a) und b) darf jedermann das Gerät benutzen. Im Fall c) kann eine zusätzliche „besondere Genehmigung“ durch das BAPT in Mainz bzw. einer seiner Außenstellen notwendig sein.

Das CE- Zeichen ist ein „hoheitliches“ Zeichen: es bestätigt die Konformität mit Gesetzen, wobei nicht alle Normen vollständig eingehalten sein müssen. Zur Kennzeichnung der Einhaltung aller Normen hat die VDE- Prüfstelle in Offenbach ein neues Prüf- und Zertifizierungszeichen geschaffen (Bild 8.2)

Aus der Vielzahl der EMV- Normen sind im Kap. 8.2 die wichtigsten deutschen und europäischen Normen für die Industrieelektronik angegeben.

8.2 Relevante Normen (Auszug)

Deutsche Normen für Industrieelektronik

Störaussendung:

- DIN VDE 0848 Gefährdung durch elektromagnetische Felder
Teil 1 Mess- und Berechnungsverfahren
Teil 2 Schutz von Personen im Frequenzbereich von 0 Hz bis 3000 GHz
Teil 3 Explosionsschutz
- DIN VDE 0871 Funk-Entstörung von Hochfrequenzgeräten
Teil 1 für industrielle, wissenschaftliche, medizinische (ISM) und ähnliche Zwecke
- DIN VDE 0875 Funk-Entstörung von elektrischen Betriebsmitteln und Anlagen
Teil 3 Funk-Entstörung von besonderen elektrischen Betriebsmitteln und von elektr. Anlagen

Störfestigkeit:

- DIN VDE 0843 Elektromagnetische Verträglichkeit von Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen in der industriellen Prozesstechnik
- IEC 801
Teil 1 Allgemeine Einführung
Teil 2 Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität Anforderungen und Messverfahren
Teil 3 Störfestigkeit gegen elektromagnetische Felder Anforderungen und Messverfahren
Teil 4 Störfestigkeit gegen schnelle transiente Störgrößen (Burst)
Teil 5 Surge voltage immunity requirements
- DIN VDE 0846 Messgeräte zur Beurteilung der elektromagnetischen Verträglichkeit
Teil 1 Messung der den Netzspannungen und -strömen überlagerten Anteile bis 2500 Hz
Teil 11 Prüfgeneratoren
Teil 12 Kopplungseinrichtungen
Teil 13 Messhilfsmittel
Teil 14 Leistungsverstärker
- DIN VDE 0847 Messverfahren zur Beurteilung der elektromagnetischen Verträglichkeit
Teil 1 Messen leitungsgeführter Störgrößen
Teil 2 Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störgrößen
Teil 3 Störfestigkeit gegen gestrahlte Störgrößen

Relevante europäische Normen

- EN 50081 Fachgrundnorm Störaussendung DIN VDE 0839 Teil 81/2
Teil 2 Industriebereich
- EN 50082 Fachgrundnorm Störfestigkeit DIN VDE 0839 Teil 81/1
Teil 1 Wohn-, Geschäfts- und Gewerbebetriebe, Kleinbetriebe
Teil 2 Industriebereich
- EN 60801 EMV von Betriebsmitteln in der industriellen Prozessautomatisierung DIN VDE 0843 Teil 2
Teil 2 Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität
- EN 61000 EMV DIN VDE 0838, 0839, 0847
Teil 2-4 Umgebungsbedingungen; Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen
Teil 4 Prüf- und Messverfahren

Bei den Normen ist zu unterscheiden zwischen

a) Anwendungsspezifischen Normen für z.B. „Rundfunk- und Fernsehgeräte“, „Leuchtmittel“, und

b) Fachgrundnormen für nicht in a) erfasste Einrichtungen, z.B. Spielzeug, unterteilt für

- Wohn-, Geschäfts- und Gewerbebereich (VDE 0839 Teil 82-1 = EN 50 082-1)

- Industriebereich (VDE 0839 Teil 82-2 = EN 50 082-2)

8.3 EMV- Anforderungen an die Leittechnik

Zur Klassifizierung der Störungswirkung sind drei Arten des Störverhaltens festgelegt, die als Störfestigkeitsklassen oder Bewertungskriterien bezeichnet werden. Solche Klassen kommen in verschiedenen Normen mit verschiedener Beschreibung vor. Für Betriebsmittel der Leittechnik ist z.B. in der NAMUR- Empfehlung „Elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln der Prozess- und Laborleittechnik“ festgelegt (Bild 8.3.1):

a) Keine Beeinflussung der Funktionsfähigkeit:

Die Auswirkungen von Störungen sind so gering, dass in digital arbeitenden Geräten keine Signalpegel verfälscht werden bzw. in analog arbeitenden Störungen nur im erlaubten Fehlerbereich auftreten. Dabei ist zu beachten, dass sich EMV- Störungen und andere Einflüsse wie z.B. Temperaturänderungen überlagern.

b) Funktionsminderung: Signale werden stärker als durch Fehlergrenzen erlaubt verfälscht. Hierdurch können Grenzwerte über- / unterschritten werden, was zu ungewollten Abschaltungen führen kann, es liegt kein „störfestes“ Verhalten vor.

c) Funktionsverlust: Hier muss das Wiederanlaufverhalten nach Ende der Störbeeinflussung bekannt sein.

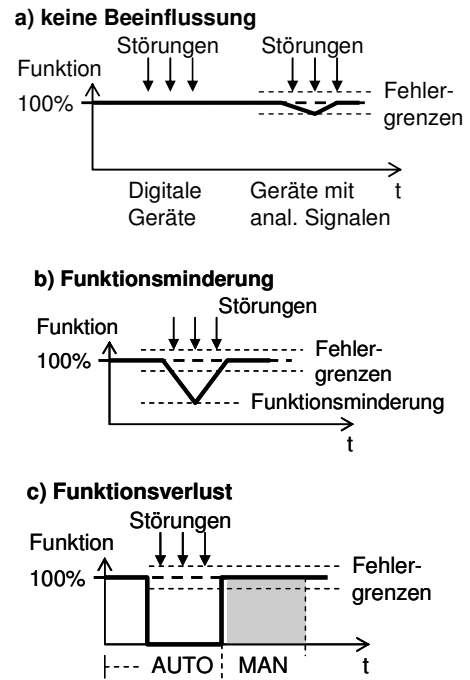


Bild 8.3.1: Störverhalten

Tabelle 8.3.1:

Die Tabelle 8.3.1 ist ein Auszug aus der EN 50370. Es werden drei Störfestigkeitsklassen (auch irritierenderweise „Betriebsklassen“ genannt) festgelegt mit Angaben zu den jeweiligen Auswirkungen einer gegebenen Störung.

Kriterien zur Bewertung der Auswirkungen einer gegebenen Störung auf den Betrieb eines Systems (nach EN 50370-2)

Betriebsverhalten (Auszug)	Störfestigkeitsklasse* A	Störfestigkeitsklasse* B	Störfestigkeitsklasse* C
	- keine erkennbare Betriebsbeeinflussung (- Störung), <u>- keine Systemveränderung</u>	- erkennbare Betriebsbeeinflussung, <u>- automatischer Neustart</u>	- Prozess - Stillstand, - Auslösung von Schutzeinrichtungen <u>- kein automatischer Neustart</u>
Allgemeines Verhalten bezüglich Datenverlust	- Kein Datenverlust, - Einrichtung bleibt in Betrieb	- Kein Datenverlust - Programm kann stoppen, - Daten und Ausgangswerte bleiben erhalten, - Programm startet wieder nach autom. Initialisierung	- Datenverlust - Programm wieder startbar durch Befehl „Neustart“ oder neues Set-up
Stabilität der Betriebsart	- keine Beeinflussung	- nicht anwendbar	- Verlust oder Änderung der gewählten Betriebsart, - Neustart durch Bediener erlaubt
Verhalten der Aktoren	- bleiben innerhalb der programmierten Grenzen, - Keine Fehlermeldungen	- Kurzzeitig ausserhalb der programmierten Grenzen, - Fehlermeldungen	- Prozes - Abschaltung durch Schutz- oder Sicherheitseinrichtungen.

Die Tabelle 8.3.2 zeigt die Anforderungen an die Versorgung von leittechnischen Einrichtungen.

Daneben gibt es noch Tabellen über die zu verkräftenden statischen Entladungen.

Tabelle 8.3.2: Anforderungen an die Versorgung

Netztoleranzen (DIN VDE 0160)			
AC statischer Betrieb: $U_N +10\% -15\%$			
Frequenztoleranz: $f_N \pm 2\%$			
DC statischer Betrieb: $U_N +20\% -15\%$, $R_{if}=5\%$			
Netzunterbrechung	Unterbrech.-Zeit	Wiederholrate	Reaktion der Leiteinrichtung
$U_N \cdot 0,85$	0 .. 20 ms	1s	gefordertes Störverhalten
	> 20ms	>1s	- automatischer Wiederanlauf - funktionsbereit, def. Sich.Stellg.
Einschaltstrombegrenzung (DIN VDE 0838 Teil 3)			
Maximaler Einschaltstrom-Scheitelwert $I_{max} \leq 15 I_N$			

8.4 EMV- Betriebsklassen

Tabelle 8.3.3 zeigt die festgelegten „EMV-Betriebsklassen“ mit den zugehörigen Normen.

Klasse 1: Allgemein, für industrielle Umgebung

EMV-Größe	Norm	Stufe
<i>Störungsemission:</i>		
Abgestrahlte Störung	EN 55011	Stufe A1 *
<i>Störfestigkeit:</i>		
Elektrostatische Entladungen	EN 61000-4-2	8 kV Luftentladung
Büschelstörung	IEC 801-4	2 kV Leistungskabel, 1 kV Steuerleitungen
Elektromagnetische Hochfrequenz-Feldstärke	IEC 1000-4-3	26-1000 MHz, 10 V/m

Klasse 2: Entstört, für industrielle Umgebung

EMV-Größe	Norm	Stufe
<i>Störungsemission:</i>		
Abgestrahlte Störung	EN 55011	Stufe A1 *
Leitergebundene Störung	EN 55011	Stufe A1 *
<i>Störfestigkeit:</i>		
Betriebsspannungs verzerrung	IEC 1000-2-4 (1993)	
Spannungsschwankungen, Spannungsabfall, Unsymmetrie, Frequenzänderungen	IEC 1000-2-1	
Magnetische Felder	EN 61000-4-8	50 Hz, 30 A/m
Elektrostatische Entladungen	EN 61000-4-2	8 kV Luftentladung
Büschelstörungen	EN 61000-4-4	2 kV Leistungskabel, 2 kV Steuerleitungen
Elektromagnetische Hochfrequenz-Feldstärke, Amplitudenmodulation	ENV 50 140	80-1000 MHz, 10 V/m, 80% AM, Leistungs- und Signalleitungen
Elektromagnetische Hochfrequenz-Feldstärke, Pulsmodulation	ENV 50 204	900 MHz, 10 V/m 50% Tastverhältnis, 200 Hz Folgefrequenz

Klasse 2: Entstört, für Wohngebiete, gewerbliche und Leichtindustrialumgebung

EMV-Größe	Norm	Stufe
<i>Störungsemission:</i>		
Abgestrahlte Störung	EN 55022	Stufe B1
Leitergebundene Störung	EN 55022	Stufe B1
<i>Störfestigkeit:</i>		
Elektrostatische Entladungen	IEC 801-2:1984	8 kV Luftentladung
Büschelstörung	IEC 801-4:1988	2 kV Leistungskabel, 0,5 kV Steuerleitungen

8.5 Störfestigkeitsanforderungen

Tabelle 8.5: Störfestigkeitsanforderungen

Als Beispiele für Art und Umfang der anzuwendenden Normen für Geräte bei industriellem Einsatz (Industrieelektronik) wird der Bereich der Störfestigkeit detaillierter angegeben. In Tabelle 8.5 Teil 1 und 2 sind Anforderungen für diesen Bereich aufgelistet. Jedes der in der ersten Spalte angesprochenen Phänomene tritt in der Praxis des industriellen Einsatzes der Leittechnik auf und muss daher überprüft werden, um einen problemlosen Einsatz zu gewährleisten. Diese Prüfungen sind sehr umfangreich und setzen genau festgelegte Mess- und Prüfeinrichtungen voraus. Auch diese sind in den Normen genau definiert. Die relativ hohen Prüfkosten, vor allem aber der Zeitverlust und die daraus entstehenden Kosten bei nicht bestandener EMV - Prüfung eines Produktes, verlangen eine enge Zusammenarbeit zwischen Prüfstelle, elektrischer Entwicklung und Konstruktion. Dabei spielt das Erstellen und Pflegen entsprechender Richtlinien und deren Einhaltung bei Entwicklung und Konstruktion eine entscheidende Rolle.

Umgebungs-Phänomen	Schnittstelle	Klasse	Prüfschärfe	Bemerkungen
Entladung statischer Elektrizität E DIN EN 61000-4-2	berührbare isolierte Teile berührbare Metallteile	3	8 kV 6 kV	Luftentladung, Kontaktentladung
Elektromagn. HF-Feld, Amplituden - moduliert ENV 50140 (EN 61000-4-3)	System mit Verkabelung	3	10 V/m	
schnelle Transienten (Burst) E DIN EN 61000-4-4	Stromversorgungs- Leitungen, Prozess- und Signalleitungen, Busleitungen	3 3 3	2 kV 2 / 1 kV 1 kV	direkte Kopplung dir. / indirekte Koppl. indirekte Kopplung
Transienten, unsymmetrisch, symmetrisch E DIN/VDE 0843-5 (EN 61000-4, -5)	Stromversorgungs- Leitungen, Prozess- und Signalleitungen, Busleitungen	3 3 3	2 / 1 kV 2 / 1 kV 2 kV	Längs / Querspannung Prüfung auf Leitungsschirm
Hochfrequenz unsymm. Amplituden-moduliert E DIN/VDE 0843-6 (EN 61000-4-6)	Stromversorgungsleitungen Prozess- und Signalleitungen, Busleitungen	3 3 3	10 V 10 V 10 V	} 0,15 ... 80 MHz } Modulation 1 kHz; 80% } AM
Magnetfeld mit Energie-technischer Frequenz DIN EN 61000-4-9	Gehäuse	4	30 A/m	
Impulsförmige Magnetfelder DIN EN 61000-4-9	Gehäuse	4	300 A/m	
gedämpft schwingende Magnetfelder DIN EN 61000-4-10	Gehäuse	4	30 A/m	

Umgebungs-Phänomen	Schnittstelle	Klasse	Prüfschärfe	Bemerkungen
Spannungsschwankungen E DIN EN 50093	Gleichstrom-Netzeingänge Wechselstrom-Netzeingänge		+/- 20% +/- 10%	
Spannungsänderung E DIN EN 50093	Gleichstrom-Netzeingänge		-100%, 50ms -50%, 100ms	
Spannungseinbrüche E DIN EN 50093	Wechselstrom-Netzeingänge		-30%, 10ms -60%, 100ms	
Spannungsunterbrechungen E DIN EN 50093	Wechselstrom-Netzeingänge		>95%, 5s	
Spannungsprüfung E DIN EN 50093	Relaisanschlüsse		2 kV	im ausgeschalteten Zustand Längs/Querspannung
Stoßspannungsprüfung E DIN VDE 0435	alle Anschlüsse	3	5 kV	
HF- Störprüfung E DIN VDE 0435	alle Anschlüsse	3	2,5/1 kV	
Netzfrequenz unsymmetrisch SS* 4361503	Signalleitungen	PL3	250 V	*Beispiel für spezielle Landesnorm (hier Schweden),
Spark Test SS 4361503	alle Anschlüsse	PL2	2-4kV	bei Export zu berücksichtigen

Nebenstehend sind beispielhaft genormte Testsignale zur Prüfung der Störfestigkeit von Leitungen von und zu Geräten der Industrie-elektronik dargestellt.

Bild 8.5.1 zeigt das einzelne Testsignal und seine Wiederholfrequenz zur Prüfung der Störfestigkeit gegen schnelle transiente Störgrößen (Bursts).

Bild 8.5.2 zeigt die beiden Testsignale zur Prüfung der Störfestigkeit gegen Stoßspannungen (Surge).

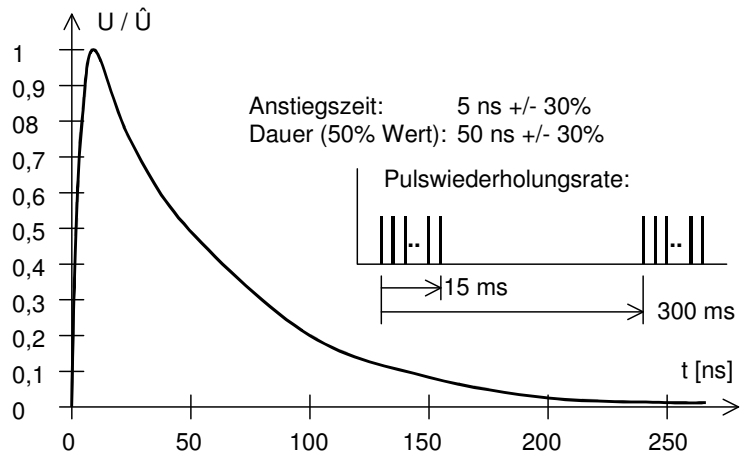


Bild 8.5.1: Schnelle Übergänge bei Pulsen (Bursts) EN 61000-4-4

Neben den Testsignalen sind bei den einzelnen Anforderungen auch der Testgenerator, die Anpassung an das zu prüfende Objekt, die Art der Messung und der Messaufbau standardisiert. So sind eine eindeutige Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse und damit auch die geforderten Qualitätsmerkmale für die Produkte gegeben.

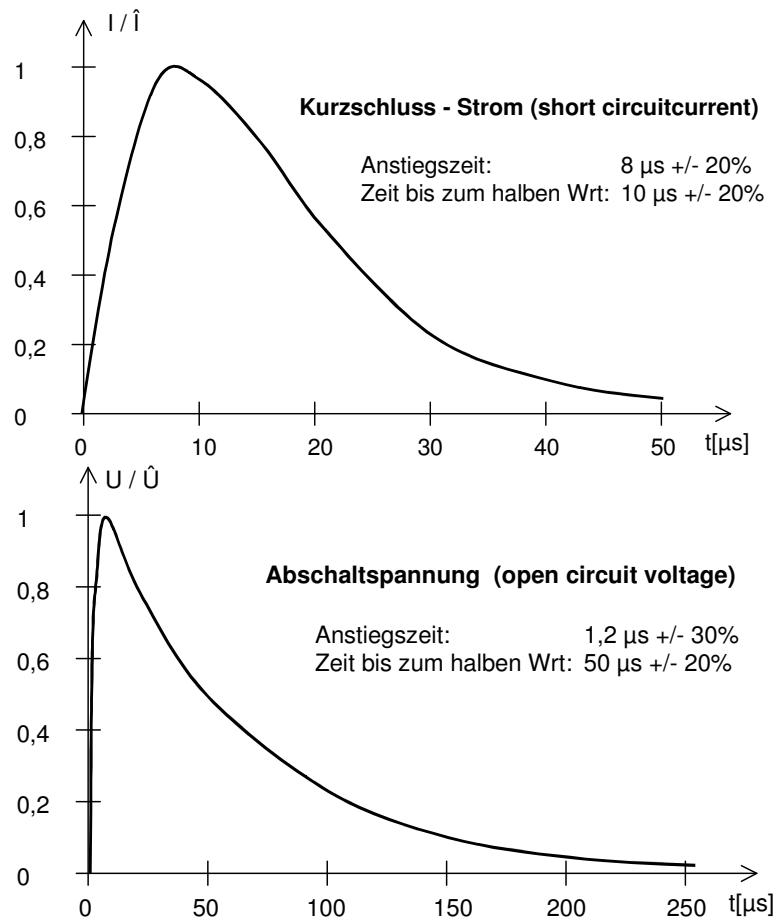


Bild 8.5.2: Stoßspannungen (Surge) EN 61000-4-5

Literatur:

- [1] EMV- gerechtes Gerätedesign, Georg Durcansky, Franzis- Verlag (1995)
- [2] Elektromagnetische Verträglichkeit, Adolf J. Schwab, Springer- Verlag (1996)
- [3] Elektromagnetische Verträglichkeit, Ernst Habinger, Hüthig- Verlag HD (1998)
(Grundzüge ihrer Sicherstellung in der Geräte- und Anlagentechnik)
- [4] CE- Kennzeichnung nach EMV- und Niederspannungsrichtlinie, Jo Horstkotte, Franzis- Verlag (1996)