

Schnelle Transienten - Ursachen, Auswirkungen und Abhilfen

1 Ursache und Beschreibung der Transienten

In der Praxis entstehen die Störimpulse, die bei der Burst-Prüfung nachgebildet werden, beim Abschalten induktiver Lasten.

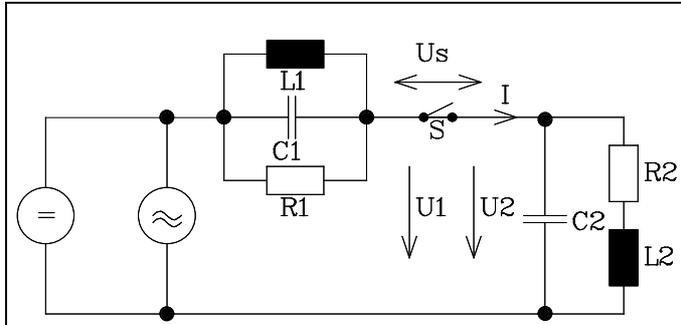


Bild 1: Ersatzschaltbild eines Schaltkreises mit induktiver Last
 $L1 \ll L2$ $C1 \ll C2$

Hier in Bild 1 stellen $R2$, $L2$ und $C2$ die Last dar, die in der Praxis aus einer Motorwicklung oder einem Magnetventil bestehen kann. $L1$, $C1$ und $R1$ bilden die Zuleitungsimpedanzen. Der Schalter S kann z. B. aus einem Relais- oder Schützkontakt bestehen.

Wird der Schalter S geöffnet, induziert $L2$ eine Spannung über dem nun geöffneten Schaltkontakt.

Da sich der Schaltkontakt nur endlich schnell öffnen kann, erzeugt die von $L2$ induzierte Spannung einen Funkenüberschlag über dem zunächst nur wenig geöffneten Schaltkontakt. Dadurch baut sich die Spannung über dem Kontakt kurzzeitig ab, während sich der Schaltkontakt weiter öffnet. Nachdem der Stromfluß durch Erlöschen des Funkens zusammengebrochen ist, bildet sich über dem Kontakt wiederum eine Spannung, die erneut zu einem Funkenüberschlag führt, diesmal jedoch erst bei einer höheren Spannung, da der zu überbrückende Luftspalt größer geworden ist. Dieser Vorgang wiederholt sich solange, bis die Energie der Induktivität $L2$ nicht mehr ausreicht, um eine ausreichende Spannung über S zu induzieren, welche den Luftspalt des

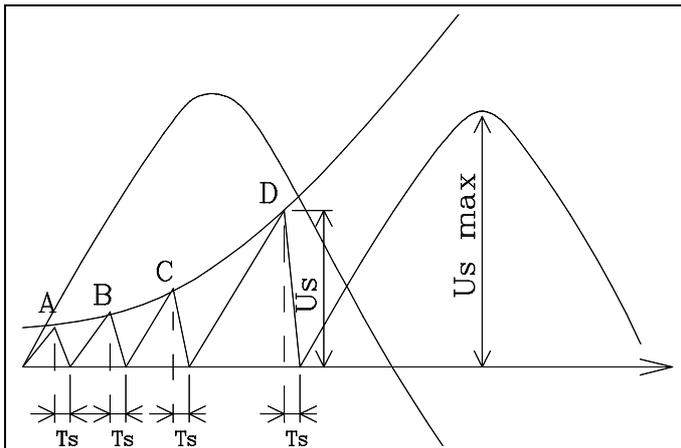


Bild 2: Öffnen eines Schaltkontaktes

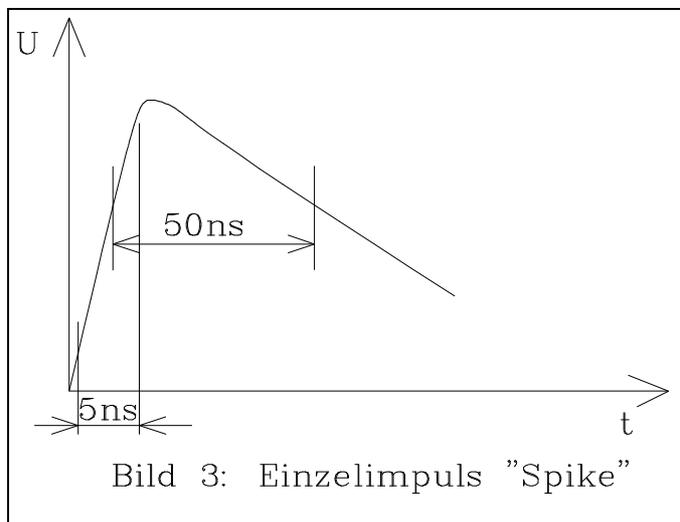
Schaltkontaktes mit einem Funkenüberschlag überbrückt.

Wie oft und mit welcher Intensität sich dieser Vorgang wiederholt, hängt im wesentlichen davon ab, wie groß die Induktivität der Last ist und wie schnell sich der Schalter öffnet.

Es entsteht also beim Abschalten einer Induktivität über einen Kontakt eine Störung, die aus einem Paket vieler einzelner Nadelimpulse besteht. Diese Nadelimpulse haben eine sehr kurze Anstiegszeit, die im Nanosekunden-Bereich liegt, die Spannungshöhe über dem Kontakt kann mehrere Kilovolt betragen. Dies bedeutet, daß das Frequenzspektrum dieser impulsförmigen Störung weit über 100 MHz hinausreicht und die Ursache dafür ist, daß diese Störungen sehr leicht abstrahlen und in andere Leitungen in der Nähe einkoppeln.

2 Nachbildung der Transienten durch den Burst-Generator

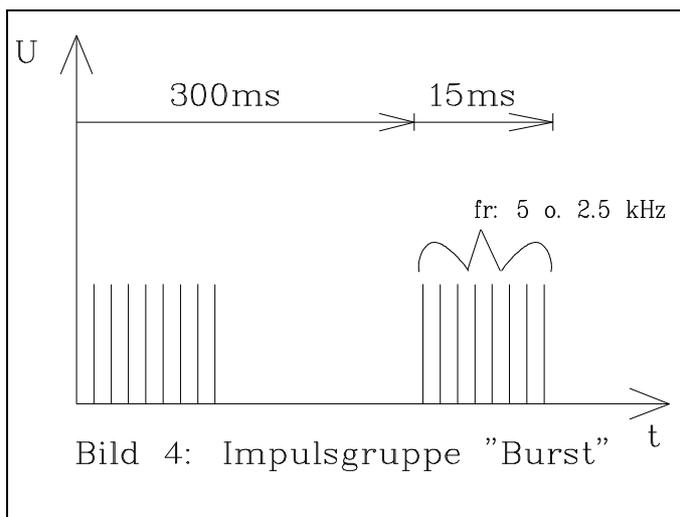
Zur Simulation dieser Störung wurde der sogenannte "Burst-Generator" entwickelt. Dieser erzeugt Nadelimpulspakete mit einstellbarer Spannungshöhe, Dauer, Folgefrequenz der Nadeln und Abstand der Pakete.



Genormt sind zur Zeit die Nadelimpulse selbst mit Anstiegs- und Halbwertszeit (Bild 3), sowie die Dauer der Pakete mit 15 ms , der Abstand der Pakete mit 300 ms und die Folgefrequenz der Nadeln im Paket mit 5 kHz bzw. $2,5\text{ kHz}$. (Bild 4). Diese Parameter sind für eine ohmsche Last von 50 Ohm definiert.

Als Leerlauf-Spannungspegel sind je nach Prüfschärfegrad $0,5\text{ kV}$, 1 kV , 2 kV oder 4 kV vorgesehen.

Eingekoppelt wird:



1. Auf Versorgungsleitungen, die direkt mit einem Kontakt und einer induktiven Last verbunden sein können, mit 33 nF Koppelkapazität.

2. Auf Signal- und Datenleitungen, die normalerweise nur durch kapazitive Verkopplung, z. B. durch Verlegung im Kabelkanal neben Versorgungsleitungen, beeinflusst werden, mit einer kapazitiven Koppelzange, welche ca. 100 pF Koppelkapazität hat.

Im Gegensatz zu den "echten" Nadelimpulsen sind die Burst-Impulse aus einem Burst-Generator aus Gründen der Reproduzierbarkeit alle gleich hoch

und in der Polarität gezielt umschaltbar.

3 Auswirkungen der Transienten in der Praxis auf die Elektronik

Charakteristisch für die Burst-Störungen in der Praxis ist das nur sporadische Auftreten, d. h. wenn ein bestimmter induktiver Verbraucher zu- oder abgeschaltet wird. Daher ist es oft schwierig, an einer komplexen Maschine oder Anlage ein Burst-Problem ohne die entsprechende Simulationsmöglichkeit festzustellen, zumal sporadische Fehlfunktionen auch durch andere Effekte verursacht werden, die mit EMV gar nichts zu tun haben müssen, bis hin zu fehlerhafter Software.

Dies hat aber für den Entwickler durchaus auch einen Vorteil: Alle Europa-Normen für die Störfestigkeit fordern für die Störfestigkeit gegen Burst unabhängig von der geforderten Prüfspannung die Einhaltung des Bewertungskriteriums "B". Dieses besagt kurz zusammengefaßt, daß das Gerät während der Burst-Prüfung in seiner Funktion beeinträchtigt werden darf, es muß allerdings nach der Prüfung von alleine wieder in dem Betriebszustand

weiterarbeiten, in dem es sich vor der Burst-Prüfung befand. Es darf jedoch keine Änderung des Betriebszustandes oder ein Verlust gespeicherter Daten auftreten.

Als übergeordnete Regel gilt aber immer, daß das Gerät keinen unsicheren oder gefährlichen Zustand annehmen darf ! Deshalb sollten Geräte, von denen ein Gefährdung im sicherheitstechnischen Sinne ausgehen könnte, immer so konstruiert sein, daß auch bei einer Fehlfunktion der Elektronik durch andere Maßnahmen (Schmelz- oder Thermosicherungen, mechanische Endschalter etc.) eine Gefährdung ausgeschlossen ist.

Dies bedeutet in der Praxis, daß hauptsächlich digital gesteuerte (Mikroprozessor) Geräte bei dieser Prüfung Probleme bereiten können. Ein rein analoges Gerät, z. B. ein Differenzspannungsverstärker für Temperatur-Sensoren, wird zwar während der Prüfung vorübergehend einen falschen Meßwert ausgeben, aber nach Abschalten der Störpulse wieder in den normalen Betriebszustand zurückgehen, sofern keine dauerhafte Beschädigung der Elektronik eingetreten ist. Diese muß natürlich auf jeden Fall verhindert werden.

Praxis-Beispiel: Bewertung eines Backofens

Der Benutzer gibt über eine Tastatur der Mikroprozessorsteuerung eine bestimmte Soll-Temperatur vor, z. B. 200 °C. Der Ofen befindet sich in der Aufheizphase und zeigt die momentane Temperatur auf einer Digitalanzeige an.

Nun wird der Burst-Generator eingeschaltet. Die Temperaturanzeige beginnt um bis zu +/- 10 °C zu schwanken, die Mikroprozessorsteuerung arbeitet aber weiterhin einwandfrei, und die Heizung arbeitet ebenfalls weiter. Dies wäre zulässig, wenn sich die Temperaturanzeige nach Abschalten des Burst-Generators wieder auf dem richtigen Wert stabilisiert und die Steuerung weiter arbeitet.

Nachdem die Anzeige die Soll-Temperatur erreicht hat (evtl. um die +/- 10 °C zu früh oder zu spät), geht die Steuerung in den Haltezustand, um die Temperatur auf dem Sollwert zu halten. Die angezeigte Haltetemperatur schwankt dann ebenfalls um die +/- 10 °C. Dies wäre ebenfalls zulässig, wenn sich die Temperatur nach Abschalten des Burst-Generators wieder auf den Sollwert einpendelt.

Nach Abschalten der Heizung befindet sich der Ofen im Bereitschaftszustand. Wieder wird der Burst-Generator angestellt. Der Ofen bleibt weiterhin im Bereitschaftszustand.

Nicht zulässig wären jedoch:

Absturz der Mikroprozessorsteuerung oder Veränderung der vom Kunden vorgegebenen Soll-Temperatur. (Änderung des Betriebszustandes bzw. Verlust der gespeicherten Daten)

Abschalten während der Aufheizphase (außer etwas zu früh durch die Temperaturschwankungen).

Einschalten der Heizung, obwohl der Kunde den Ofen gar nicht eingeschaltet hat (unsicherer Betriebszustand und Änderung der Betriebsart!).

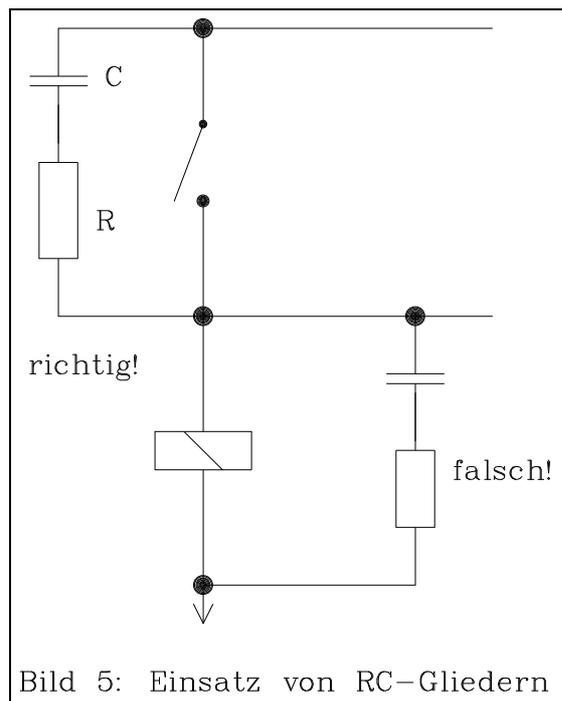
Temperaturschwankungen, die so stark sind, daß der Ofen überhitzen könnte (unsicherer Betriebszustand!) oder eine Thermosicherung anspricht, die sich nicht automatisch wieder regeneriert.

4 Abhilfemaßnahmen bei Burst-Problemen

4.1 Verhindern der Entstehung des Kontaktfunkens

Diese Maßnahme ist die zunächst naheliegendste, denn sie beseitigt die Ursache der Störung.

Die Abhilfemaßnahme gegen den Kontaktfunken wäre ein Funkenlöschglied über dem Kontakt, üblicherweise ein RC-Glied, wobei der Widerstand etwa dem Gleichstrom-Lastwiderstand entsprechen und die Kapazität so gewählt werden sollte, daß bei Wechselstrom durch den Leckstrom über das RC-Glied weder das Relais noch das Magnet-Ventil hängen bleibt.



In der Praxis sieht man allerdings häufig RC-Glieder über der induktiven Last, z. B. über der Wicklung eines Magnetventils.

Dies ist nicht sinnvoll, denn die hochfrequente Störung wird nicht durch die Spannungsspitze über der Wicklung erzeugt, sondern durch den Kontaktfunken!

Gegen die Spannungsspitze über der Wicklung sollte eine Freilaufdiode oder ein Varistor verwendet werden, nicht ein RC-Glied!

Über der Wicklung kann sich ein RC-Glied sogar negativ auswirken, denn es erhöht die Lastkapazität. Dies kann dazu führen, daß sich nicht nur beim Öffnen des Kontakts eine Störung bildet, sondern auch beim Schließen, da die Lastkapazität zuerst mit einem nur durch den ohmschen Widerstand begrenzten Stromstoß aufgeladen wird, der ebenfalls Störungen verursachen kann.

Diese Maßnahmen sind vor allem für den Geräte- und Anlagenbauer interessant, weniger für den Schaltungsentwickler selbst, denn der hat normalerweise wenig Einfluß darauf, wieviele Schütze und Relais in der Nähe seines Gerätes installiert und ob diese entstört sind.

Es gibt jedoch gelegentlich Schaltungsentwickler, die sich die Störquelle unbewußt selbst in ihre Schaltung holen:

Beispiel aus der Praxis: Ein Hersteller von Getränkeautomaten hatte das Problem, daß es nach Auslieferung der Automaten bei den Kunden zu Überschwemmungen mit Limonade und entsprechenden Schadenersatzforderungen an ihn kam, obwohl der komplette Getränkeautomat in einem EMV-Messlabor auf Einhaltung der (äußeren) EMV geprüft worden war und alle Forderungen bei weitem übertraf.

Als Ursache stellte sich dann heraus, daß der Entwickler der Mikroprozessorsteuerung das Relais zum Schalten des Kühl-Kompressors mitten auf die Platine gesetzt hatte, direkt neben den Mikroprozessor-Teil. Sobald der Kontakt dieses Relais öffnete, entstand ein Funke, der seine hochfrequente Störenergie in die Steuerleitungen des Mikroprozessors einkoppelte. Dies führte dann zu gelegentlichen Störungen der Art, daß der Automat beim Abschalten des Kühl-Kompressors Limonade ausschenkte, obwohl weder Geld eingeworfen wurde noch ein Becher im Schacht war.

Als Sofortmaßnahme wurde ein RC-Glied über den Relais-Kontakt vorgeschlagen, langfristig dann eine Überarbeitung der Steuerungsplatine, bei der das Relais mit den Kontakten dann an den Rand der Platine, vom Mikroprozessorteil räumlich getrennt, versetzt wurde.

4.2 Verhindern der Einkopplung der Störung auf die Elektronik

Diese Maßnahme ist für den Schaltungsentwickler zunächst am wichtigsten.

Da die Burst-Impulse üblicherweise über die ins Gerät bzw. auf die Schaltung führenden Leitungen von außen eingekoppelt werden, müssen **alle** diese Leitungen entweder geschirmt oder abgeblockt werden.

4.2.1 Schirmung

Die Schirmung der Schaltung und aller anzuschließenden Leitungen ist eine Möglichkeit, zu verhindern, daß die Störung überhaupt wirksam eingekoppelt werden kann. Diese Maßnahme alleine ist jedoch nur in wenigen Fällen ausreichend, z. B. bei tragbaren Meßgeräten, die über eingebaute Batterien oder Akkus versorgt werden und nur eine ohnehin geschirmte Meßleitung zu einem empfindlichen Fühler besitzen. Sobald die Schirmung nicht durchgehend ausgeführt wird, sind zusätzliche Maßnahmen unumgänglich.

4.2.1.1 Schirmung von Leitungen

Geschirmte Leitungen sollten nur dann verwendet werden, wenn man die Signale nicht abblocken kann, z. B. bei unsymmetrisch betriebenen Schnittstellenleitungen.

Der Grund dafür ist, daß gerade bei der Schirmung in der Praxis sehr oft Fehler gemacht werden. Häufig werden Leitungen von Mitarbeitern verlegt und angeschlossen, die wenig Kenntnisse von EMV bzw. HF haben (Schaltschrankbauer, Betriebselektriker, etc.). Oft wird dann der Schirm über 50 cm mit 1.5 qmm Schutzleiter irgendwo an einen Erdpunkt gelegt, ohne zu bedenken, daß diese Verbindung HF-mäßig völlig wirkungslos ist. Ein anderes Problem ist die Qualität der angeschlossenen Kabel und Steckverbindungen, die von Laien nicht beurteilt werden kann sowie die beliebten Erdschleifen, die vor allem bei analogen Signalen für Verwirrung sorgen können. Gerade bei Geräten, die als Komponenten in Anlagen und komplexen Systemen eingesetzt und erst vom oft nicht EMV-fachkundigen Anwender zusammengebaut werden, ist es besser, die EMV soweit wie möglich in das Gerät selbst einzubauen und nicht dem Anwender zu überlassen.

Wichtig bei der Schirmung ist, daß der ankommende Schirm sofort **flächig** mit dem (geerdeten) Metall- oder metallisierten Gehäuse verbunden ist, nie **direkt** mit der Elektronik-Masse! Ist an anderer Stelle im Gerät die Masse galvanisch mit Schutzerde verbunden (z. B. bei PC's), ist dies alleine zunächst noch kein Problem.

Ist kein Metall- oder metallisiertes Gehäuse vorhanden, sollte der Schirm auf eine separate Massefläche aufgelegt werden, die dann kapazitiv mit der Elektronik-Masse verbunden wird. Diese Massefläche kann auch aus einer ohnehin vorhandenen Gehäusefläche, z. B. einer Metallrückwand bestehen, die dann als hochfrequente Bezugsfläche genutzt wird.

Negatives Musterbeispiel: Folien-Schirm einer Schnittstellenleitung über einen Pin der Sub-D-Steckverbindung auf Elektronik-Masse gelegt, die wiederum galvanisch mit Erde verbunden ist. Durch die HF-mäßig schlechte Verbindung über den Pin ist der Schirm als Schutz wirkungslos. Stattdessen wirkt er als Empfangsantenne für Störungen von außen, die dann direkt über die Elektronik-Masse gegen Erde abfließen und dabei die Elektronik stören können. Umgekehrt werden hochfrequente Signale, die auf der Masse vorhanden sind, z. B. Taktfrequenzen von Mikroprozessoren, über den Schirm nach außen abgestrahlt.

Vorsicht bei billigen Computer-Leitungen mit Folien-Schirm: Dieser reißt bei Biegung der Leitungen radial ein und ist dann so gut wie unwirksam. Deshalb nur Leitungen mit Schirmgeflecht oder einer Kombination aus Geflecht- und Folienschirm verwenden.

Weiter ist darauf zu achten, daß der Schirm flächig über den Stecker mit dem Gehäuse verbunden ist, nicht wie in der PC-Technik üblich über einen Pig-Tail an den Sub-D-Stecker angelötet. **Richtig:** Schirm unter die Zugentlastung des Metall- oder metallisierten Steckers geklemmt. Auch die Buchse muß flächig mit dem Gehäuse oder der Bezugsmassefläche verbunden sein, am besten direkt eingeschraubt (evtl. Eloxalschicht vorher entfernen) oder über Sub-D-Steckerdichtungen, wenn die Buchse auf der Platine befestigt und nicht sicher mit dem Gehäuse verbunden ist, z. B. bei Slotblechen an PC-Einsteckkarten.

Ein beliebter Diskussionspunkt ist auch, ob der Schirm einseitig, beidseitig, galvanisch oder kapazitiv aufgelegt werden soll. In der Praxis hat sich folgendes bewährt:

Bei allen Leitungen, auf denen schnelle, impulsförmige Signale (Datenleitungen, Steuerkabel für schnelle digitale Eingänge, Motorleitungen von Frequenzumrichtern) fließen: Schirm beidseitig galvanisch auflegen. Bei dieser Art von Signalen wirken sich die durch den 50 Hz Wechselstrom erzeugten Brummspannungen kaum aus, dafür haben diese Leitungen selbst ein hohes Störpotential. Sollte es doch einmal Probleme mit Erd- oder Brummschleifen geben, sollten die Schirme an einem möglichst zentralen Punkt (Steuerung, Schaltschrank) zusammengefaßt und galvanisch aufgelegt werden, an den verteilten Komponenten dagegen kapazitiv über einen keramischen Kondensator von 1..100 nF.

Bei analogen Signalen, z. B. von Temperaturfühlern, die im Millivolt-Bereich liegen, können sich dagegen auch kleine Brummspannungen stark auf die Meßgenauigkeit auswirken. Deshalb dürfen die Schirme hier generell nur einseitig aufgelegt werden, und zwar auf der Empfänger-Seite, auf der die Auswerte-Elektronik sitzt. Eventuell muß bei EMV-Problemen (v. a. HF-Ein- u. Abstrahlung) der Schirm auf der Sensor-Seite zusätzlich kapazitiv aufgelegt werden.

4.2.1.2 Geschirmte Gehäuse

Auch bei Elektronik für den Industriebereich sind komplett geschirmte Metallgehäuse nicht unbedingt notwendig, um eine störsichere Schaltung zu erreichen. Insbesondere bei relativ kleinen Geräten kann es völlig ausreichen, wenn eine Metallfläche als Bezugsfläche für die Elektronik und **alle** ankommenden und abgehenden Leitungen benutzt wird, z. B. in Form einer Metall-Rückwand, in die alle Steckverbindungen eingebaut sind und die kapazitiv mit der Elektronik-Masse verbunden ist (siehe Bild 8).

Wenn schon ein Metallgehäuse, dann bitte richtig: Alle Metallteile des Gehäuses müssen **flächig** miteinander verbunden sein, die üblichen 20 cm Schutzleiter kann man HF-mäßig getrost vergessen! Also: Die beliebten Eloxalschichten müssen an den Verbindungsstellen der Gehäuseteile entfernt werden, unter Befestigungsschrauben gehören bei Blechgehäusen Zahnscheiben oder zusätzliche Madenschrauben.

Bei schlechter Verbindung der Gehäuseteile bilden sich zwischen diesen hochfrequente Störfelder, die dann in die Elektronik einkoppeln. Hier kann ein Kunststoffgehäuse besser sein als ein schlechtes Metallgehäuse!

Alle ungeschirmten Leitungen müssen möglichst direkt am Übergang zum Gehäuse gefiltert oder abgeblockt werden. Das gesamte teure Metallgehäuse nützt nichts, wenn auch nur eine Leitung ungefiltert mit der Elektronik verbunden wird!

Ein Wort zum ankommenden Schutzleiter (sofern vorhanden) am Netzeingang: Dieser muß auf dem kürzesten Weg mit dem Metallgehäuse oder der Bezugsfläche verbunden werden,

denn alle Störungen von außen werden HF-mäßig zunächst gegen das Metallgehäuse bzw. die HF-Bezugsfläche abgeleitet und von dort u. a. über den Schutzleiter zurück zur Erde. Dadurch führt der Schutzleiter Störpotential und sollte deshalb innerhalb des Gehäuses so kurz wie möglich sein.

Hinweis für die Praxis:

Hat ein Gerät mit Metallgehäuse beim Burst-Test vorwiegend Probleme bei der Einkopplung auf den Schutzleiter, deutet dies mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit auf ein Gehäuseproblem hin!

4.3 Abblocken der Leitungen

Zum Abblocken der Leitungen gegen hochfrequente Ein- und Abstrahlung gibt es drei Bauelemente: Den Widerstand, den Kondensator und die Spule. In der Praxis verwendet man häufig eine Kombination dieser Bauelemente.

Für die Wirksamkeit einer Abblockung gibt es zwei wichtige **Grundregeln**:

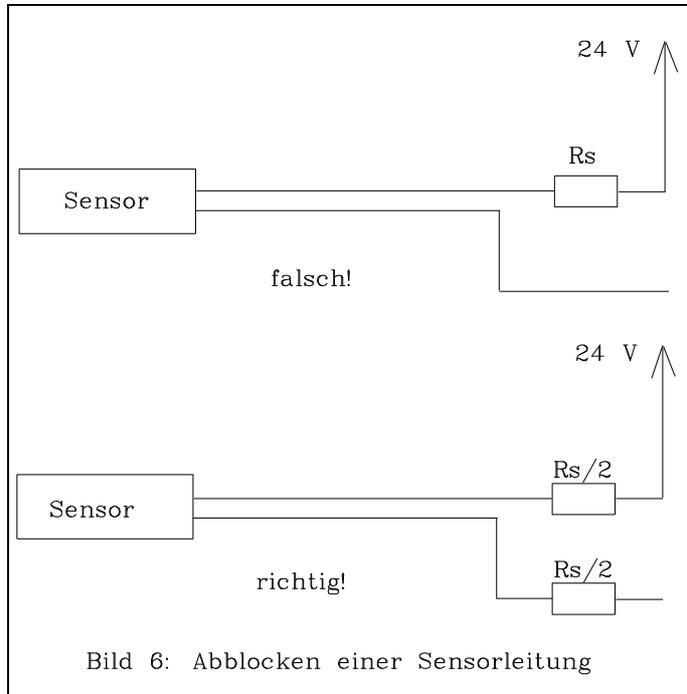
1. Eine Abblockmaßnahme kann nur wirken, wenn diese am unmittelbaren Rand der Platine vorgenommen wird, dort wo die störbehafteten Leitungen auf die Platine kommen, so daß die Störungen sich gar nicht erst in der restlichen Schaltung austoben können.

2. Außerdem sollten **alle** ankommenden und abgehenden **Leitungen** auf der Platine **nahe beieinander** liegen, denn alle Leitungen können unterschiedliche Störpotentiale führen, die die Möglichkeit haben sollten, sich auszugleichen, ohne über die eigentliche Elektronik zu fließen. Am besten die Abblockmaßnahmen alle in einer Reihe anordnen, sodaß man eine durchgehende Barriere zwischen den störbehafteten Leitungen und der restlichen Elektronik bekommt.

Typischer Fehler in der Praxis: Der stolze Entwickler präsentiert seine Platine: Auf der einen Seite alle Eingangsleitungen, auf der anderen Seite alle Ausgänge und dazwischen der Mikroprozessor. Dies ergibt dann eine wunderschöne Störsenke, denn alle hochfrequenten Störsignale, die über die Leitungen ein- oder ausgekoppelt werden, müssen sich nun zwangsläufig über die Platine ausgleichen und können dadurch die Elektronik stören.

4.3.1 Widerstand

Die einfachste Möglichkeit, um eine Leitung gegen HF abzublocken, ist der Widerstand. Typische Anwendungsfälle sind hochohmige Sensoren, die ohnehin einen Serienwiderstand benötigen.



Teilt man diesen Serienwiderstand zu gleichen Teilen auf beide Leitungen auf, erhält man bei Widerstandswerten ab ca. 1 k Ω eine wirksame Abblockung gegen HF.

Wichtig ist, daß diese Widerstände direkt **nebeneinander** am Rand der Platine so angeordnet werden, daß die HF direkt am Rand der Platine schon abgeblockt wird und gar nicht erst weiter in die Schaltung vordringen kann.

4.3.2 Kondensator

Durch einen Kondensator versucht man die Störungen von außen zuerst gegen ein Bezugs-potential oder direkt gegen eine hochfrequenzmäßig gute Erde

abzuleiten, bevor sie weiter in die Schaltung eindringen können. Es handelt sich also strenggenommen nicht um eine Abblockung, sondern um eine gezielte Ableitung der Störungen.

Wichtig bei Kondensatoren ist, daß möglichst keramische Typen verwendet werden, da sich dieser Typ am besten dafür eignet, um hochfrequente Störungen wirksam abzuleiten.

Die Kapazität sollte nicht zu groß gewählt werden, da auch bei keramischen Kondensatoren die obere Grenzfrequenz mit steigender Kapazität abnimmt. Typische Werte für Signal- und Datenleitungen sind 100 pF bis max. 10 nF. Auf Versorgungsleitungen, auf die mit dem Koppelnetzwerk eingekoppelt werden muß, liegt die Obergrenze bei 100 nF. Die obere Grenzfrequenz der Kondensatoren ist deshalb so entscheidend, weil das Frequenzspektrum des Burst bis weit über 100 MHz reicht. Es nützt also nichts, einen 1 μ F Kondensator einzusetzen, da dieser nur die Störungen bis max. 5 MHz ableitet. Der Großteil des Störspektrums gelangt dann trotzdem nahezu ungebremst in die Schaltung!

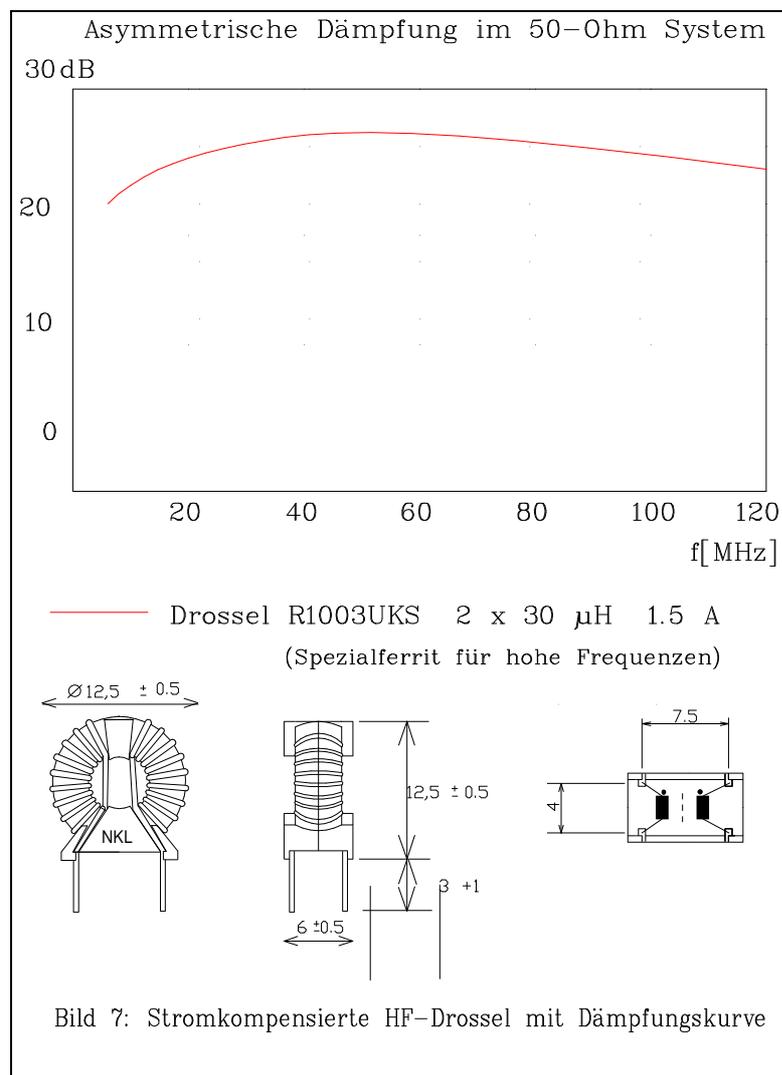
Der beste keramische Abblock-Kondensator ist aber nur so gut wie seine hochfrequenzmäßige Anbindung an das Bezugspotential, gegen das er ableiten soll. Hier gilt: So kurz wie möglich und keine Durchkontaktierung!

4.3.3 HF-Drosseln

Für Zwecke der Hochfrequenz-Abblockung kommen praktisch nur einlagig gewickelte stromkompensierte Drosseln auf Nickel-Zink-Ferriten in Frage. Eine mögliche, aber deutlich schlechtere Alternative sind noch Stabkerndrosseln.

Für die Wirksamkeit einer Drossel gegen HF-Einkopplung ist der Nenn-Induktivitätswert erst von zweitrangiger Bedeutung. So reichen bei einer stromkompensierten Drossel $2 \times 30 \mu\text{H}$ normalerweise völlig aus. Der Grund dafür ist, daß die Nenn-Induktivität von Drosseln bei Frequenzen ermittelt wird, die um Größenordnungen unter dem eigentlichen Einsatzbereich der Drosseln liegen und daher für die HF-mäßige Wirksamkeit der Spule keine Aussagekraft besitzen!

Wichtiger sind das Kernmaterial und die Art der Wicklung:



Als Kernmaterial sollte unbedingt Nickel-Zink-Ferrit benutzt werden:

Im Gegensatz zum Mangan-Zink-Ferrit hat dieses zwar eine viel kleinere Permeabilität, d. h. bei gleichen Abmessungen und Windungszahl erhält man eine kleinere Nenninduktivität, dafür liegt hier die obere Grenzfrequenz jedoch um ein vielfaches höher.

Typische Permeabilitäten für Mangan-Zink-Ferrite sind: $\mu_r = 4000..10000$, für Nickel-Zink-Ferrite: $\mu_r = 250..1200$.

Auch bei Nickel-Zink-Ferriten gilt wieder: Je höher die Permeabilität, desto niedriger die obere Grenzfrequenz.

Meist liegt man mit Kernmaterial mit $\mu_r = 700..1200$ richtig.

Die Wicklung sollte unbedingt einlagig sein, damit die Störungen nicht kapazitiv über die Wicklung übertragen werden.

Bild 7 zeigt ein Beispiel für eine solche Drossel.

Das Prinzip der Dämpfung der asymmetrischen Störe- und Störabstrahlung durch stromkompensierte HF-Drosseln läßt sich sowohl auf Netz- bzw. Versorgungs- als auch auf Datenleitungen anwenden. Wichtig ist nur, daß die Ströme auf diesen Leitungen sich auch tatsächlich kompensieren, sonst wird das Kernmaterial magnetisch gesättigt und die Drossel damit unwirksam.

Eine andere Möglichkeit sind Stabkerndrosseln. Diese dämpfen dann sowohl die unerwünschte asymmetrische Komponente als auch die symmetrische, d. h. das Nutzsignal. Da hier keine Stromkompensation vorhanden ist, wird die Drossel schon durch das Nutzsignal zumindest teilweise gesättigt und ist daher in der Praxis bei vergleichbarer Induktivität deutlich weniger wirksam als eine stromkompensierte Drossel.

4.4 Maßnahmen innerhalb der Schaltung

Auch bei Beachtung der vorher besprochenen Maßnahmen kann es zu Beeinträchtigungen der Elektronik kommen. Erstens lassen sich diese Maßnahmen in der Praxis nicht immer konsequent umsetzen, weil sie mit den vorgegebenen Rahmenbedingungen (Bauform, genormte Steckverbinder etc.) kollidieren und zweitens ist keine Abblockung 100 % wirksam.

Deshalb einige Tips, wie sich die Störsicherheit innerhalb der Elektronik erhöhen läßt:

Masse-Schleifen und Schleifen in den Versorgungsspannungen möglichst vermeiden (Ideal: Bifilare Leitungsführung!)

Die Masse sollte als Bezugspotential möglichst nicht durchkontaktiert sein, da gegen sie alle Störungen kapazitiv abgeleitet werden. Die Versorgungsspannung kann dagegen durchkontaktiert werden, wenn nach jeder Durchkontaktierung ein Abblockkondensator gegen Masse vorgesehen wird.

Bei mehrlagigen Platinen sollten die Versorgungsspannungen (Plus und Masse) als Außenlayer angeordnet werden. Auf der Platine sollten keine größeren Masseflächen angelegt werden, die nicht großflächig mit der Bezugsmasse verbunden sind ("Masse-Inseln"). Zwischen diesen Masse-Inseln können sich nämlich hochfrequente Potentialdifferenzen bilden, die sich negativ auf die Störfestigkeit auswirken.

An jedem IC einen keramischen Abblockkondensator in der Betriebsspannungsversorgung vorsehen, zwischen Abblockkondensator und IC keine Durchkontaktierungen mehr anbringen! Chips mit hohem Störpotential (Treiber, Multivibratoren, Generatoren) sollten gesondert mit Plus und Masse angefahren werden.

Metallgehäuse von Quarzen und die Ziehkondensatoren müssen mit einer separaten Stichleitung mit der Masse des Mikroprozessors verbunden werden. Unter den Quarzen Masseflächen anlegen, damit keine anderen Leiterbahnen unter dem Quarz durch oder nahe vorbeilaufen, und diese Masseflächen ebenfalls als Stichleitung mit der Mikroprozessor-Masse verbinden.

Systemtakte immer so langsam wie möglich wählen, Datensignale sollten keine Überschwinger aufweisen

Alle Eingänge von Logik- und μ P-Bausteinen mit Abblockkondensatoren so langsam wie möglich machen (vor allem Reset- und Interrupt-Eingänge), unbenutzte Eingänge so niederohmig wie möglich auf Masse oder Versorgungsspannung legen.

Watch-Dog-Timer verwenden und unbenutzte ROM-Bereiche mit Restart- oder NOP-Kommandos belegen.

Zustandsgetriggerte Logik ist unempfindlicher als flankengetriggerte.

4.5 Software und EMV

Auch durch optimierte Software läßt sich die Störfestigkeit einer Schaltung erhöhen, wie durch folgende Beispiele gezeigt wird:

Datenübertragung über Schnittstellenleitungen: Wichtig ist wiederum das Bewertungskriterium "B": Während der Prüfung darf die Datenübertragung durchaus gestört werden, diese muß jedoch nach der Prüfung selbsttätig wiederaufgenommen werden, ohne daß Daten verlorengegangen sind oder sich der Betriebszustand des Prüflings geändert hat. Dies läßt sich durch entsprechende Wiederholungsalgorithmen bzw. Abbruchkriterien erreichen.

Typische Fehler hier: Abbruch z. B. nach drei erfolglosen Übertragungsversuchen innerhalb 15 ms: Dann kann ein einzelnes Burst-Paket alle drei Datenpakete zerstören. Oder Wiederholung der Pakete nach erfolglosem Übertragungsversuch nach 300 +/- 15 ms: Dann kann die Wiederholung der Datenübertragung genau mit der Wiederholzeit der Burst-Pakete zusammenfallen. In vielen Fällen wird dann die Datenübertragung mit einer Fehlermeldung abgebrochen und die Prüfung ist nicht bestanden.

Auswertung von Analog-Signalen: Empfindliche Analog-Signale im Millivolt-Bereich werden auch bei Beachtung der üblichen EMV-Maßnahmen durch den Burst fast immer erheblich beeinflusst. Aber auch hier kann die Software helfen, z. B. durch eine Mehrfach- abfrage eines Sensoreingangs mit Plausibilitätskontrolle: Trifft die Abfrage eines AD-Umsetzers zufällig zeitlich mit einem Burstpaket zusammen, ist der Meßwert oft stark verfälscht und führt evtl. zu einer Änderung des Betriebszustands des Prüflings. Diese Änderung muß verhindert werden, indem die Abfrage mehrfach durchgeführt wird, bis z. B. drei Meßwerte innerhalb eines üblichen Toleranzbereichs liegen. Auch hier wieder die zeitlichen Zusammenhänge beim Burst beachten!

4.6 Vergießen der Schaltung

Wird die Elektronik im Gehäuse vergossen, z. B. zum Schutz vor Umwelteinflüssen, ist Vorsicht geboten, üblicherweise verschlechtert sich die Störfestigkeit erheblich im Vergleich zur identischen Schaltung im unvergossenen Zustand.

Die Ursache ist die durch die als Dielektrikum wirkende Vergußmasse erhöhte kapazitive Verkopplung innerhalb der Schaltung. In jedem Fall sollte nochmals eine Kontrollmessung im vergossenen Zustand erfolgen, um unangenehme Überraschungen zu vermeiden!

4.7 Mikrocontroller

Vorsicht bei der Entwicklung von Schaltungen mit Mikrocontrollern: Erfahrungsgemäß verschlechtert sich die Störfestigkeit beim Übergang von der OTP-Version des Prototyps zur maskenprogrammierten Serienversion drastisch. Deshalb unbedingt die maskenprogrammierte Version nochmals auf die Störfestigkeit hin überprüfen!

5 Beispiel eines EMV-gerechten Gerätes

Dieses Gerät ist eine kleine, mikroprozessorgesteuerte Steuerung zum Schaltschrankeinbau in einem Kunststoffgehäuse mit einer Metall-Rückwand. Es mußten die Anforderungen der Störfestigkeit für den Industriebereich nach EN 50082-2 erfüllt werden und die Störaussendung nach EN 55011 Klasse B. Nach Beachtung der geschilderten Maßnahmen wurden diese Forderungen erfüllt.

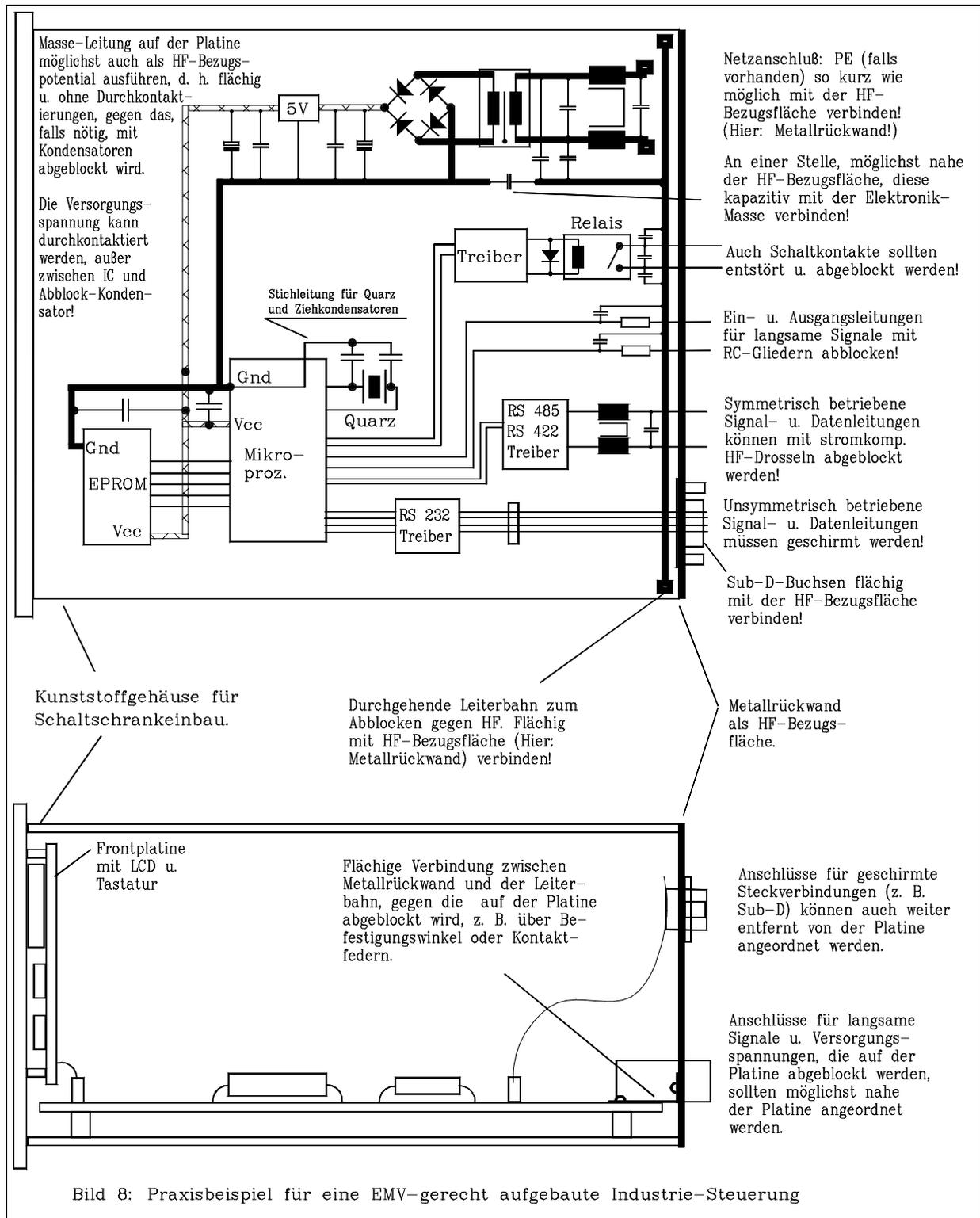


Bild 8: Praxisbeispiel für eine EMV-gerecht aufgebaute Industrie-Steuerung

6 Wichtige Tips zur Burst-Prüfung

6.1 Generator

Um reproduzierbare Messergebnisse zu erhalten, sollte möglichst immer derselbe Generator verwendet werden. Auch Generatoren desselben Typs und Herstellers können sich innerhalb der von der Norm vorgegebenen Toleranzen unterscheiden.

Vorsicht bei alten Generatoren mit Funkenstrecke: Hier sind die Burst-Pakete vom mechanischen Zustand der Funkenstrecke abhängig und nicht so gut reproduzierbar, daher möglichst einen Generator mit Halbleiterschalter verwenden.

6.2 Prüfaufbau

Wichtig für eine korrekte Messung ist, den Generator so gut wie möglich mit der Masse-Bezugsfläche zu verbinden. Am besten über ein kurzes (wenige cm) und breites Masseband. Auch eine definierte Lage des Prüflings auf bzw. über der Masse-Bezugsfläche ist von entscheidender Bedeutung.

Die Anschlußleitungen, auf die eingekoppelt wird, sollten zur Vermeidung von Resonanz- und Transformationseffekten so kurz wie möglich sein (< 0.5 m). Die Höhe der Anschlußleitungen über der Masse spielt ebenfalls eine wichtige Rolle: Liegt die Leitung auf der Bezugsfläche, werden die Prüfimpulse kapazitiv gegen Masse abgeleitet, bevor sie den Prüfling erreichen. Andererseits ist der Wellenwiderstand der Leitung dann relativ niedrig. Dadurch kann die Impedanz-Anpassung zwischen Generator und Prüfling verbessert werden, sodaß trotz der kapazitiven Ableitung am Prüfling ein mehrfaches der Störenergie ankommt als bei höher (10 cm) über der Massefläche verlegter Leitung.

Alle anderen Leitungen sollten so gut wie möglich von der geprüften entkoppelt werden, z. B. durch räumlich getrennte Verlegung oder Ferritkerne als Absorber. Dies gilt besonders bei der Einkopplung mit der kapazitiven Koppelzange auf Signal- und Datenleitungen, da die 1 m lange Koppelzange ein entsprechend großes Streufeld hat.

Bei Beachtung dieser Punkte ist eine reproduzierbare Genauigkeit von ± 10 % (am selben Meßplatz und Prüfling!) erreichbar.

Der Burst-Generator, die Kopplungsarten und die verschiedenen Meßaufbauten sind in der Europa-Norm EN 61000-4-4 bzw. der internationalen Norm IEC 1000-4-4 festgelegt.

6.3 Methodisches Vorgehen

Zunächst wird der Ist-Zustand protokolliert. Wird die geforderte Störfestigkeit nicht erreicht, werden entsprechende Maßnahmen ausgetestet: Filterung, Schirmung oder Verbesserung der Schaltung intern (z. B. Masseführung, abblocken der Schaltkreise etc.). Nach und nach wird dann eine Maßnahme nach der anderen getroffen, bis die gewünschte Störfestigkeit erreicht ist. Erst dann wird wieder rückwärts gearbeitet: Eine Maßnahme nach der anderen wird wieder rückgängig gemacht (üblicherweise die aufwendigste zuerst), dazwischen wird jeweils mit Kontrollmessungen überprüft, ob sich die Störfestigkeit wieder verschlechtert hat. Es empfiehlt sich jedoch aufgrund der relativ schlechten Reproduzierbarkeit der Burst-Messung, einen ausreichenden Sicherheitsabstand zu den geforderten Normwerten einzuhalten (mindestens $+ 25$ %), um bei einer Nachmessung (Konkurrenz!) keinen Schiffbruch zu erleiden.

Hochfrequenz-Einkopplung - Ursachen, Auswirkungen, Abhilfen

1 Ursachen der HF-Einkopplung

Die typischen Quellen, die absichtlich schmalbandige Hochfrequenz erzeugen sind z.B. Rundfunk- und Fernsehsender, Sender für Behörden-, Mobil- und Flugfunk sowie Geräte und Anlagen, die Hochfrequenz zu anderen Zwecken erzeugen, z. B. HF-Trocknungsanlagen oder Mikrowellen-Herde.

Obwohl gerade Rundfunk- und Fernsehsender häufig mit sehr großen Leistungen arbeiten (z. T. mehrere hundert kW), sind diese normalerweise nicht die Ursache für Störungen. Der Grund dafür ist, daß die Feldstärke mit zunehmender Entfernung vom Sender, bzw. dessen Antenne, sehr schnell in der Intensität abnimmt. Außerdem wird schon beim Errichten derart starker Sendeanlagen darauf geachtet, daß sich in unmittelbarer Nähe keine Wohn- oder Industrieanlagen befinden. Die typischen Feldstärken liegen, z. B. im UKW-Rundfunkband, im Freien gemessen, in der Größenordnung von 10..100 mV/m.

In der EMV-Praxis sind bei HF-Einstrahlungsproblemen die **Störquellen** daher meist in **unmittelbarer Nähe** der gestörten Anlage zu suchen. Zum Vergleich: Ein 2 W Handfunkgerät mit Gummiwendel-Antenne für das 2 m- (150 MHz) oder 70 cm-Band (450 MHz), wie es häufig als Betriebsfunkgerät eingesetzt wird, erzeugt im Abstand von 30 cm eine Feldstärke von ca. 10 V/m, die dem Schärfegrad für den Industriebereich entspricht.

Auch Geräte, die pulsformig arbeiten, z. B. Schaltnetzteile oder Frequenzumrichter, können ein sehr breitbandiges Störspektrum mit Harmonischen der Schaltfrequenz erzeugen. Die Amplitude der einzelnen Harmonischen ist zwar relativ niedrig im Vergleich zur Amplitude der zum Zweck der EMV-Prüfung eingekoppelten HF bei einer einzelnen Frequenz. Durch die Vielzahl der Harmonischen kann es aber trotzdem zu Störungen kommen, die denselben Effekt haben, wie die schmalbandige HF-Einkopplung.

2 Simulation der HF-Einkopplung

Um den Effekt der HF-Einstrahlung zu simulieren, werden zwei Verfahren angewandt: Im Frequenzbereich von 150 kHz bis 80 bzw. 230 MHz wird die HF leitungsgebunden mit Hilfe von Kopplungseinrichtungen auf die an ein Gerät angeschlossenen oder anschließbaren Leitungen eingekoppelt ("HF-Stromeinspeisung"). Ab 80 MHz aufwärts wird dann das gesamte Gerät mit Antennen bestrahlt ("HF-Einstrahlung").

Für diese Aufteilung in zwei Einkopplungsarten gibt es drei Gründe: Erstens müssen die geometrischen Strukturen, die für HF-Einstrahlung empfindlich sein sollen, mindestens die Größenordnung ($> 1/10$) der Wellenlänge besitzen. Dies bedeutet aber, daß in ein Gerät mit den Abmessungen z. B. einer Europakarte erst ab ca. 180 MHz aufwärts wirksam eingestrahlt werden kann. Das Hauptproblem sind daher, insbesondere bei Frequenzen unterhalb dieses Wertes, fast immer die an das System angeschlossenen Leitungen, deren Längen üblicherweise die Außen-Abmessungen des Geräts bei weitem übertreffen, bei bestimmten Frequenzen als Empfangsantennen wirken und die HF in die Elektronik leiten können.

Der zweite Grund ist, daß zur HF-Einstrahlung ein möglichst homogenes elektromagnetisches Feld erzeugt werden muß. Da diese Einstrahlung aus Gründen des Funkenschutzes nur in einem geschirmten Raum durchgeführt werden kann, muß dieser mit Absorbieren ausgekleidet werden, die die von der Sendeantenne abgestrahlte HF möglichst vollständig absorbieren sollten, um Reflexionen, die starke Inhomogenitäten des Feldes bewirken können, zu vermeiden. Leider ist die Wirksamkeit dieser Absorber bei Frequenzen unterhalb von 80 MHz

noch sehr gering, sodaß die Einhaltung der erforderlichen Feldhomogenität bei tiefen Frequenzen schwierig ist.

Drittens werden die Sende-Antennen mit abnehmender Frequenz immer größer, bzw. der Wirkungsgrad bei konstanter Größe nimmt stark ab, was den Einsatz entsprechend starker und teurer HF-Leistungsverstärker notwendig machen würde.

3 Auswirkungen der HF-Einkopplung auf die Elektronik

Im Gegensatz zu pulsformigen Störquellen, wie z. B. Spannungsspitzen durch das Abschalten induktiver Lasten oder durch indirekte Blitzeinschläge, die durchaus eine Mikroprozessorsteuerung zum Absturz bringen oder sogar elektronische Bauelemente zerstören können, ist die Wirkung der HF-Einstrahlung meist nicht so offensichtlich.

Die Erfahrung zeigt, daß vor allem **analoge Baugruppen**, die empfindliche Messsignale verarbeiten, für HF **empfindlich** sind. Typisches Beispiel ist eine Industrie-Steuerung, die analoge und digitale Eingänge hat. Die digitalen Eingänge bzw. die digitale Steuerung als Ganzes, ist empfindlich gegen pulsformige Störungen, die ab einer relativ scharf begrenzten Störschwelle zu Fehlfunktionen führen. Bei analogen Eingängen dagegen führt die HF-Einkopplung zu einer mit steigender Intensität zunehmenden **Abweichung des Messwertes**. Der Grund dafür ist meistens, daß die HF in das Gerät eingekoppelt wird, dort auf ein Halbleiter-Bauelement trifft, daß sie gleichrichtet zu einer, im Rhythmus einer evtl. Modulation schwankenden, Gleichspannung. Diese unerwünschte gleichgerichtete Spannung bewirkt dann ohne Gegenmaßnahmen eine Verschiebung der Arbeitspunkte der Schaltung, die ab einer gewissen Größe Fehlfunktionen auslösen kann.

Das Problem für den Entwickler ist hier, daß die Europa-Normen bei der HF-Beeinflussung das strengste Bewertungskriterium "A" anlegen. Dies bedeutet, daß das Gerät auch **während** der Störbeeinflussung innerhalb der vom Hersteller gegebenen Toleranzen weiterarbeiten muß.

Beispiel: Ein Analogeingang für einen Temperaturfühler wird vom Hersteller mit einer max. Abweichung von z. B. +/- 10 % vom Istwert spezifiziert. Dann darf der Messwert auch während der HF-Beeinflussung um nicht mehr als +/- 10 % abweichen.

Deshalb ist es zunächst wichtig, die Toleranzgrenzen zu überprüfen, ob diese sinnvoll gewählt sind, denn je kleiner die Toleranzgrenze gewählt wird, desto größer ist der Aufwand, um das Gerät gegen HF störfest zu machen.

Gelegentlich kann es auch vorkommen, daß ein nicht genügend abgeblockter Spannungsregler die Spannung so weit herunterregelt, so daß die Schaltung z. B. einen Power-Down-Reset macht. Dies entspricht dann einer Änderung des Betriebszustands und evtl. dem Verlust gespeicherter Daten, was natürlich erst recht nicht zulässig ist.

Neben analogen Baugruppen sind auch Signalanschlüsse kritisch, die digitale Eingangs-Signale im NF-Bereich auswerten, z. B. von induktiven Durchflußmengen-Messern, Sensoren mit Gabellichtschranken oder PWM-Signalen. Da bei der HF-Störfestigkeitsprüfung mit 1 kHz AM getestet wird, besteht hier die Gefahr, daß die Elektronik das demodulierte HF-Störsignal fälschlicherweise direkt als Nutzsignal auswertet.

Hinweise für die Praxis:

Zeigt z. B. ein analoger Messfühler eine **zeitlich konstante** Abweichung, die sonst nicht erklärbar ist, könnte der Effekt dahinter stecken, daß auf die Leitung ein zeitlich konstanter HF-Störpegel einwirkt, z. B. durch Verlegung der Fühlerleitung parallel zu einer Versorgungsleitung für eine getaktete Stromversorgung, deren Harmonische der Taktfrequenz in die Leitung einkoppeln, gleichgerichtet werden und dadurch den Messwert verfälschen.

Treten dagegen Ausfälle nur **gelegentlich** auf, müssen nicht unbedingt transiente Störungen die Ursache sein. Es kann auch vorkommen, daß die HF-Störquelle nur sporadisch in der Nähe des gestörten Geräts auftritt. Typisches Beispiel ist der Monteur, der mit einem Betriebsfunkgerät zufällig in der Nähe arbeitet und mit einem kurzen Funkspruch eine Fehlfunktion auslöst, ohne dies zu bemerken.

Dann wird der Service des Geräteherstellers gerufen, der andere Monteur ist jedoch schon weg wenn dieser eintrifft, und alle rätseln, warum bei der Anlage wieder einmal die Temperaturüberwachung scheinbar grundlos angesprochen hat, obwohl doch in der Nähe keine Störquelle zu entdecken ist. Deshalb sollte man bei sporadischen Ausfällen, die auf die Fehlfunktion analoger Messgeräte zurückgeführt werden können, auch an eine HF-Störquelle denken, die sich nur kurzzeitig in der Nähe befunden haben kann (Betriebsfunkgerät, Mobiltelefon).

4 Abhilfe gegen HF-Einkopplung

4.1 Verhindern oder Reduzieren der HF-Störeinkopplung

Ein Rundfunk- oder Fernseh-Sender in der Nähe läßt sich nicht abschalten, aber während des Betriebs können Mitarbeiter durchaus darauf achten, ob sich durch evtl. vorhandene Funkgeräte oder Mobiltelefone ein Gerät oder eine Anlage beeinflussen läßt.

Auch durch sinnvolle, d. h. räumlich getrennte Leitungsverlegung läßt sich eine unnötige Verkopplung zwischen störbehafteten Leitungen, z. B. Versorgungs- oder Motorleitungen von getakteten Stromversorgungen bzw. Motorantrieben und empfindlichen Sensorleitungen verringern.

4.2 Schirmung, Abblockung der Leitungen

Siehe entsprechende Kapitel im Vortrag über "Schnelle Transienten". Nochmals sei hier auf saubere, flächige Kontaktierung aller Metallteile, Schirme und Stecker hingewiesen!

4.3 Maßnahmen innerhalb der Schaltung

Zusätzlich zu den im "Schnelle Transienten"-Vortrag genannten Maßnahmen haben sich folgende Tips bewährt: Abblocken analoger Verstärkerstufen mit Kondensatoren, in Bild 1 anhand eines Temperaturfühler-Eingangs erläutert: Die beiden Kondensatoren C_G bewirken,

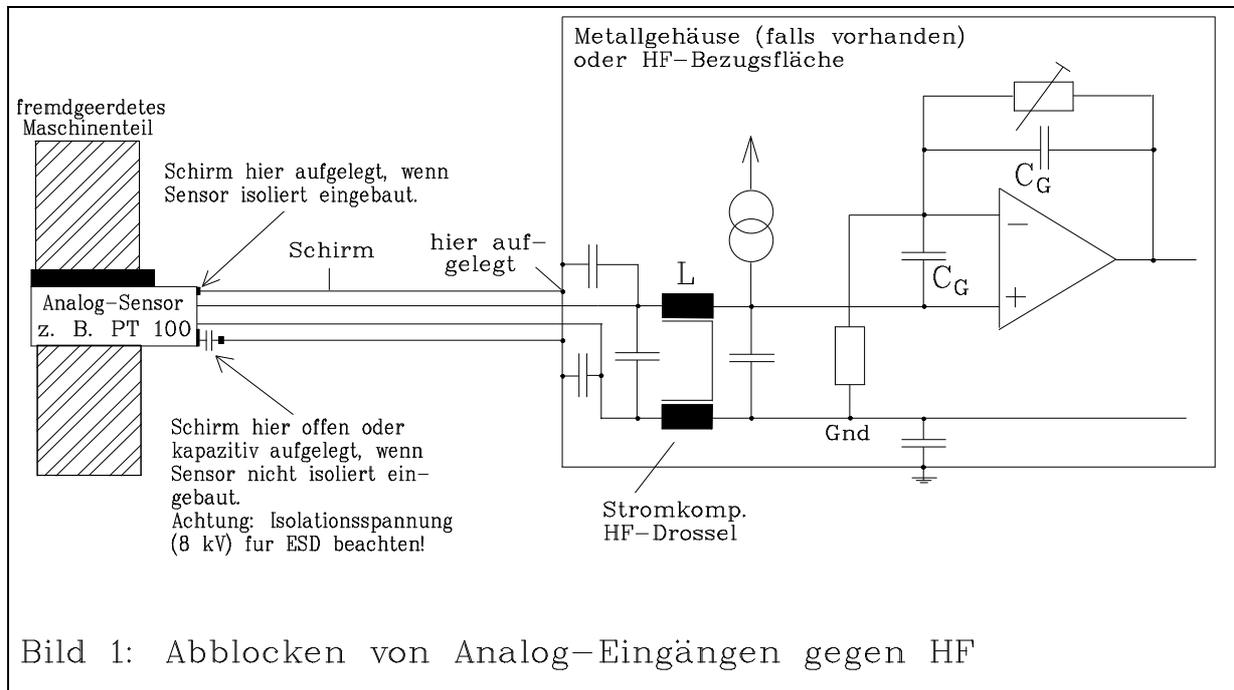


Bild 1: Abblocken von Analog-Eingängen gegen HF

daß ein sich zwischen den beiden Eingängen des Differenzspannungsverstärkers noch befindender hochfrequenter Störsignalanteil kurzgeschlossen und die Gegenkopplung mit zunehmender Frequenz stärker wird. Wichtig ist hier, daß keramische Kondensatoren verwendet werden, als typische Kapazitäts-Werte haben sich in der Praxis 100 pF .. 10 nF bewährt, und diese Kondensatoren direkt an den Anschlüssen des Bauelements angeordnet werden. Gerade bei der HF-Entkopplung zählt jeder Millimeter Leitungslänge!

Eventuell müssen mehrere Kondensatoren unterschiedlicher Kapazität parallel geschaltet werden, um eine genügend breitbandige HF-Entkopplung sicherzustellen. Dann sollte der Kondensator mit der kleinsten Kapazität am nächsten zum Bauelement angeordnet werden.

Auch die Schirmanbindung sei hier nochmals erläutert: Im Normalfall ist bei käuflichen Sensoren mit geschirmter Anschlußleitung der Schirm am Sensor selbst nicht mit dem meist elektrisch leitfähigen Gehäuse des Sensors verbunden. Dadurch sollen Verfälschungen des Meßsignals durch Ausgleichsströme vermieden werden, die sonst entstehen würden, wenn der Sensor mit seinem Metallgehäuse elektrisch leitend z. B. in eine Maschine eingebaut wird und zwischen der Maschine und der Auswerte-Elektronik Potentialunterschiede bestehen.

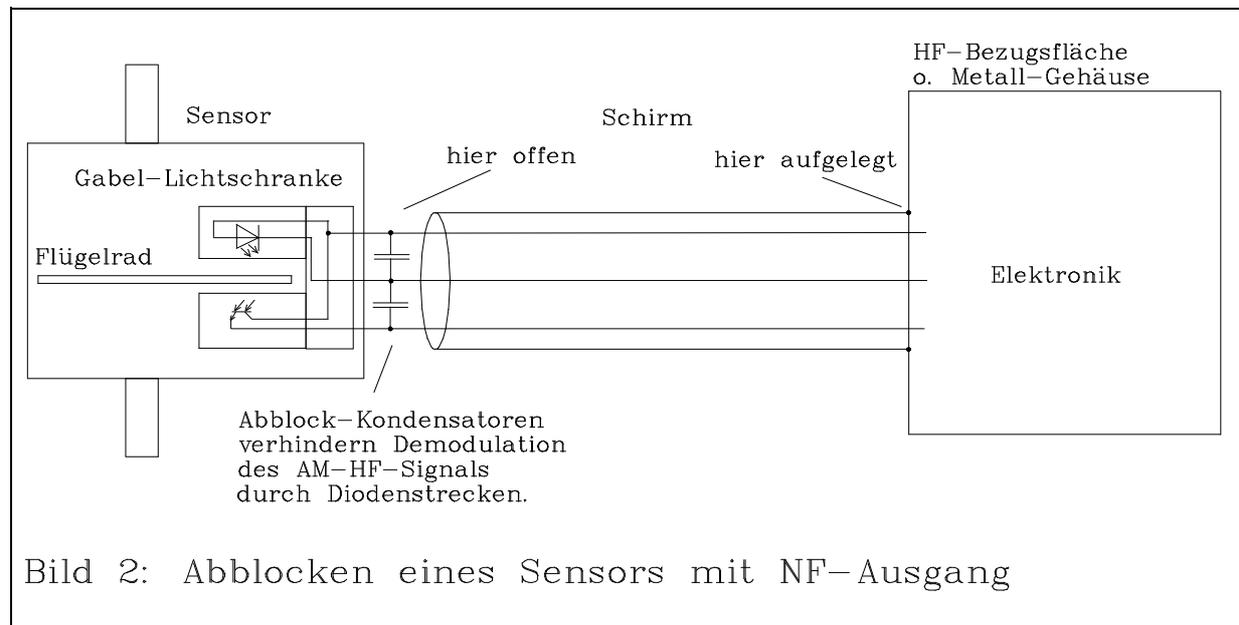
In seltenen Fällen kann es dann jedoch Probleme bei der HF-Einstrahlung geben, wenn die Störung in der Nähe des Sensors eingekoppelt wird. Dann sollte der Schirm auf der Sensorseite mit einem keramischen Kondensator von 1..10 nF kapazitiv mit dem Sensorgehäuse oder dem Gerät verbunden werden, in das der Sensor eingebaut ist.

Auf der Seite der Auswerte-Elektronik muß der Schirm, sofern vorhanden, mit der HF-Bezugsfläche, d.h. dem Metallgehäuse, oder einer leitenden Bezugsfläche verbunden werden, die dann kapazitiv mit der Elektronik-Masse verbunden wird. Keinesfalls sollte der Schirm jedoch direkt auf Elektronik-Masse gelegt werden.

Ist kein Schirm vorhanden oder reicht die Schirmung alleine nicht aus, sollte durch Abblockung mit einer stromkompensierten HF-Drossel und Kondensatoren die asymmetrische Störein- und Abstrahlung reduziert werden.

Außerdem sollten alle empfindlichen Diodenstrecken innerhalb der Schaltung mit keramischen Kondensatoren abgeblockt werden, z.B. Spannungsregler, Optokoppler etc., um eine Beeinflussung durch gleichgerichtete bzw. demodulierte HF zu vermeiden.

Ein besonderes Problem sind die schon im Abschnitt 3 angesprochenen Sensoreingänge mit Signalen im NF-Bereich. Als Beispiel sei hier ein Durchflußmengen-Messer mit Flügelrad und Gabellichtschranke erläutert (Bild 2).



Der Sensor selbst sitzt in einem Kunststoff-Gehäuse und wird über eine geschirmte Leitung mit der Elektronik verbunden, wobei der Schirm allerdings nur auf der Seite der Empfangs-Elektronik aufgelegt ist.

Je nach Länge der Anschlußleitung ist diese bei bestimmten Frequenzen in Resonanz. Das eingekoppelte Gleichtakt-HF-Störsignal wird dann an der Gabellichtschranke im Fühler zu einer mit der Modulationsfrequenz von 1 kHz schwankenden Gegentakt-NF-Spannung, die dem Nutzsignal überlagert ist, demoduliert. Da die Frequenz von 1 kHz innerhalb des normalen Auswertebereichs der Eingangsschaltung liegt, wird das Signal zwangsläufig falsch ausgewertet, insbesondere wenn der Sensor kein Nutzsignal liefert, weil der Durchfluß gestoppt ist.

Ist das HF-Störsignal erst einmal an den Diodenstrecken der Gabellichtschranke demoduliert, nützt auch die Abblockung der Sensorleitungen, z. B. mit stromkompensierten HF-Drosseln nichts mehr, denn dann ist aus dem hochfrequenten Gleichtakt-Signal ein niederfrequentes Gegentakt-Signal geworden, daß sich mit den oben beschriebenen Maßnahmen nicht mehr ausfiltern läßt, und jede wirksame Ausfilterung des Störsignals würde dann auch zwangsläufig das Nutzsignal unterdrücken!

Hier gibt es nur zwei Auswege:

Erstens kann der Sensor mit Flügelrad und Gabellichtschranke komplett geschirmt werden, um zu verhindern, daß die HF überhaupt über diese Leitung in die Sensorelektronik eingekoppelt werden kann. Dies wäre aber konstruktiv sehr aufwendig und bei Fremderdung mit der Gefahr von Brummschleifen verbunden.

Die zweite Möglichkeit ist, die Gabellichtschranke im Sensor selbst, so nahe wie möglich an deren Anschlüssen, gegen die HF mit keramischen Kondensatoren abzublocken. Damit wird die AM-Demodulation der HF schon im Ansatz weitgehend verhindert. Natürlich müssen darüber hinaus auf der Elektronik die anderen, vorher beschriebenen Maßnahmen getroffen werden.

5. Praktische Tips zur HF-Störfestigkeitsprüfung

5.1 HF-Stromeinspeisung

Diese Prüfung sollte zunächst als erste durchgeführt werden, da diese Prüfung noch am ehesten reproduzierbar durchzuführen ist. Außerdem hat es sich gezeigt, daß ein Gerät, daß diese Prüfung besteht, auch bei der Bestrahlung mit der Antenne normalerweise weniger Probleme bereitet.

Wichtig ist hier, daß zur Einkopplung möglichst immer dieselbe Koppelinrichtung, d. h. entweder ein Koppelnetzwerk oder die Einkoppelzange verwendet wird. Weiterhin ist darauf zu achten, daß die freie Länge der Leitung, die geprüft wird, vom Gerät bis zum Koppelnetzwerk nicht größer als die vorgeschriebenen 30 cm ist und eventuell vorhandene andere Leitungen von der zu Prüfenden ausreichend entkoppelt sind.

Bei einem System, daß aus mehreren voneinander unabhängig zu prüfenden, aber miteinander verbundenen Geräten besteht, z. B. ein Industrie-Bussystem mit mehreren Komponenten, die miteinander kommunizieren, ist unbedingt darauf zu achten, die Geräte für die HF untereinander entkoppelt sind, z. B. durch räumliche Trennung, Ferrite oder Entkoppelkondensatoren. Sonst besteht die Gefahr, daß eine Störung fälschlicherweise dem Prüfling untergeschoben wird, die in Wirklichkeit von einer anderen Komponente des Systems herrührt.

Diese leitungsgeführte Prüfung ist auch die HF-Störfestigkeitsprüfung, die für den "Hausgebrauch" in der Entwicklung am ehesten geeignet ist. Dafür spricht der relativ geringe Aufwand an Prüfgeräten, die gute Reproduzierbarkeit und die hohe Wahrscheinlichkeit, daß das so geprüfte Gerät dann auch bei der feldgebundenen HF-Einstrahlung, die dann bei einem externen Dienstleister durchgeführt werden kann, keine Probleme macht.

An Geräten werden benötigt: Ein Signalgenerator, der im benötigten Frequenzbereich ein amplitudenmoduliertes Signal erzeugen und über eine Schnittstelle von einem PC ferngesteuert werden kann, ein breitbandiger Leistungsverstärker, wobei für die Einkopplung mit dem Koppelnetzwerk 7 W ausreichend sind, und natürlich das Koppelnetzwerk oder die Einkoppelzange.

Dann wird der Prüfaufbau einmal mit Hilfe eines HF-Voltmeters oder eines Oszilloskops mit entsprechenden Kalibrierwiderständen anstelle des Prüflings kalibriert und diese Daten als Datei abgespeichert. Diese Daten werden dann zusammen mit den Frequenzschritten über die Schnittstelle zum Generator gesendet. So läßt sich ein normkonformes Messsystem für weniger als € 10.000 aufbauen.

Sinnvollerweise werden zuerst einige Prüflinge in einem EMV-Labor mit einschlägiger Erfahrung auf diesem Gebiet geprüft und dann diese Ergebnisse mit den eigenen Messungen verglichen.

Der Generator, die Koppel/Entkoppelinrichtungen und der Prüfaufbau für die HF-Stromeinspeisung sind in der Europa-Norm EN 61000-4-6 (entspricht IEC 1000-4-6) beschrieben.

5.2 HF-Einstrahlung

Diese Prüfung sollte nur von einem EMV-Prüflabor durchgeführt werden, das über entsprechende Erfahrung auf diesem Gebiet und die nötige Ausrüstung verfügt. Trotzdem kommt es auch hier immer wieder zu erheblichen Differenzen bei den Messergebnissen verschiedener Messlabors, insbesondere bei Prüflingen mit vielen Anschlußleitungen und unterschiedlichen Messverfahren (z. B. TEM-Zelle anstatt Absorberhalle).

Falls also eine "Endmessung" in einem bestimmten Prüflabor angestrebt wird, z. B. um zusätzlich zum obligatorischen CE-Zeichen, das der Hersteller selbst verantwortet, ein freiwilliges Prüfzeichen zu erlangen, sollten die vorbereitenden Messungen entweder im gleichen Messlabor durchgeführt werden, oder zumindest dasselbe Messverfahren angewendet werden, da es sonst zu unliebsamen Überraschungen kommen kann.

Die Prüfung der HF-Einstrahlungsfestigkeit ist in der Europa-Norm EN 61000-4-3 bzw. der internationalen Norm IEC 1000-4-3 beschrieben.