

Die Prüfung der Elektromagnetischen Verträglichkeit EMV von Hochspannungsmessgeräten.

M. Lutz

1. Einführung.

Die Entwicklungsingenieure und Betreiber von Mess- und Steuergeräten in Hochspannungslabor wurden von Anbeginn mit der EMV-Problematik konfrontiert, da mit dem Vorhandensein der grössten Störlevel, erzeugt durch die Stossgeneratoren oder durch Isolationsdurchschläge in den Prüflingen, gleichzeitig auch die Messung und Steuerung durchgeführt werden muss. Die Mess- und Steuergeräte in Hochspannungsprüffeldern werden im Normalbetrieb immer wieder Störungen ausgesetzt, was als direkte Prüfung bezeichnet werden kann. Zusätzlich zu dieser direkten Prüfmethode wird heute vermehrt die indirekte Prüfmethode eingesetzt. In der IEC TC42 werden Vorschriften erarbeitet, in denen auch die EMV - Prüfungen vorgeschrieben sein werden. Mit der indirekten Prüfmethode ist die Möglichkeit gegeben, Teilsysteme wie z.B. Stossvoltmeter, Oszillographen oder Steuerungen im Entwicklungslabor zu überprüfen und Störfestigkeitswerte zu protokollieren. Damit eröffnet sich auch die Möglichkeit zu einem späteren Zeitpunkt die Störfestigkeitswerte von Teilsystemen zu überprüfen und eventuelle Störfestigkeitsabnahmen zu ermitteln. Der folgende Vortrag gibt eine Übersicht über die verschiedenen indirekten Prüfmethoden.

1.1 EMV elektromagnetische Verträglichkeit

Die Schlagworte "EMV" Elektro-Magnetische-Verträglichkeit und "EMP" Elektro-Magnetischer-Puls erscheinen heute sowohl in technischen Zeitschriften als auch in Tageszeitungen. Auf Grund einiger spektakulärer Unfälle in jüngster Vergangenheit, werden diese Ausdrücke auch immer mehr in der Öffentlichkeit diskutiert. Für den Laien beinhalten diese Schlagworte etwas Geheimnisvolles, für den Elektroingenieur sollten diese Schlagworte kein Buch mit sieben Siegeln sein. Betrachtet man die anhaltende Konjunktur von EMV-Tagungen, EMV-Seminare und EMV-Veröffentlichungen, so wird schnell klar, dass die EMV eine eigene umfassende Disziplin für die Elektro- Ingenieure geworden ist.

Die Umweltverschmutzung mit elektromagnetischen Wellen nimmt laufend zu, wobei die Leistungselektronik und die Halbleiterelektronik auch ihren Anteil beitragen. Wesentliche EMP Phänomene bleiben aber wegen ihres grossen Wirkungsbereiches die Blitzentladungen, die Entladung von statischer Energie und der Nuklear elektromagnetische Puls. Diese Phänomene sind einmalige Transienten, im Gegensatz zur Leistungselektronik, sowie den leistungsstarken Sender und Funkgeräten. Man kann heute schon erkennen, dass die Vorteile der Mikroelektronik z.B. in Hochspannungsprüffeldern nur zum Fortschritt beitragen können, wenn bei den Entwicklungen der Steuer- und Messsystemen von Beginn

weg die EMV, entsprechend dem Umfeld im HS-Labor, miteingeplant und konstruiert wird. Eine nachträgliche Lösung ist meistens mit sehr grossen Kosten verbunden und meist nur mit Kompromissen erreichbar. Richtige Planung sucht das wirtschaftliche Optimum, wobei EMV-Massnahmen sowohl im Hardwarebereich als auch im Softwarebereich entwickelt und eingebaut werden.

1.1 Einteilung der EMP Phänomene

Die auf elektrischen Einrichtungen einwirkende elektromagnetische Umwelt können wir entsprechend dem Verhalten der EMP-Phänomene in zwei charakteristische Gruppen einteilen:

-**die impulsförmigen, einmaligen Signale**, auch Transiente genannt ausgehend von z.B. Blitzentladungen, Entladungen statischer Energie, Schaltvorgängen oder Spannungszusammenbrüchen bei Isolationsdurchschlägen.

In der Figur 1. finden Sie eine Übersicht über die Störquellen, die einmalige transiente Störungen erzeugen.

-**die sinusförmigen Dauersignale**, hervorgerufen durch z.B. Sender, Funk oder elektrische Energieübertragungsanlagen, sowie die impulsförmigen Dauersignale, erzeugt durch z.B. Stromrichter, Schaltnetzteile, Korona auf Hochspannungsleitungen, Radareinrichtungen oder Zündvorgänge in Kraftfahrzeugen.

In der Figur 2. sind die Störquellen zusammengefasst, die eine kontinuierliche Störung erzeugen können.

DIE VERSCHIEDENEN STÖRQUELLEN

1. SCHALTHANDLUNGEN IN NETZEN [LOKAL]



2. ENTLADUNG STATISCHER ENERGIE [LOKAL]



3. BLITZE [AUSWIRKUNGEN LOKAL CA. 10KM]



4. NUKLEAR-ELEKTRO-MAGNETISCHER-PULS

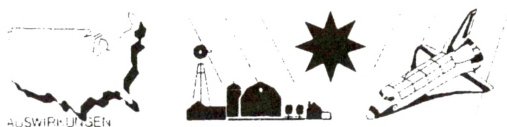
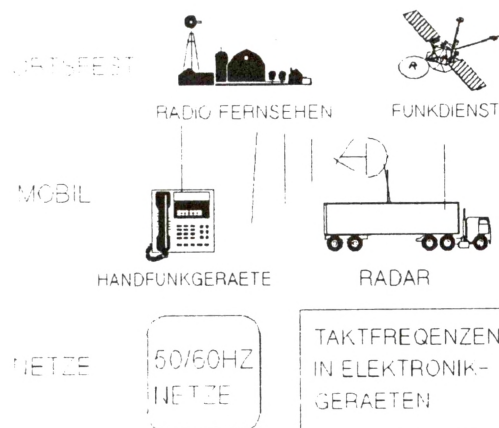


Fig.1

DIE VERSCHIEDENEN STÖRQUELLEN

5. KONTINUIERLICHE STÖRER



6. ATMOSPHAERISCHES RAUSCHEN



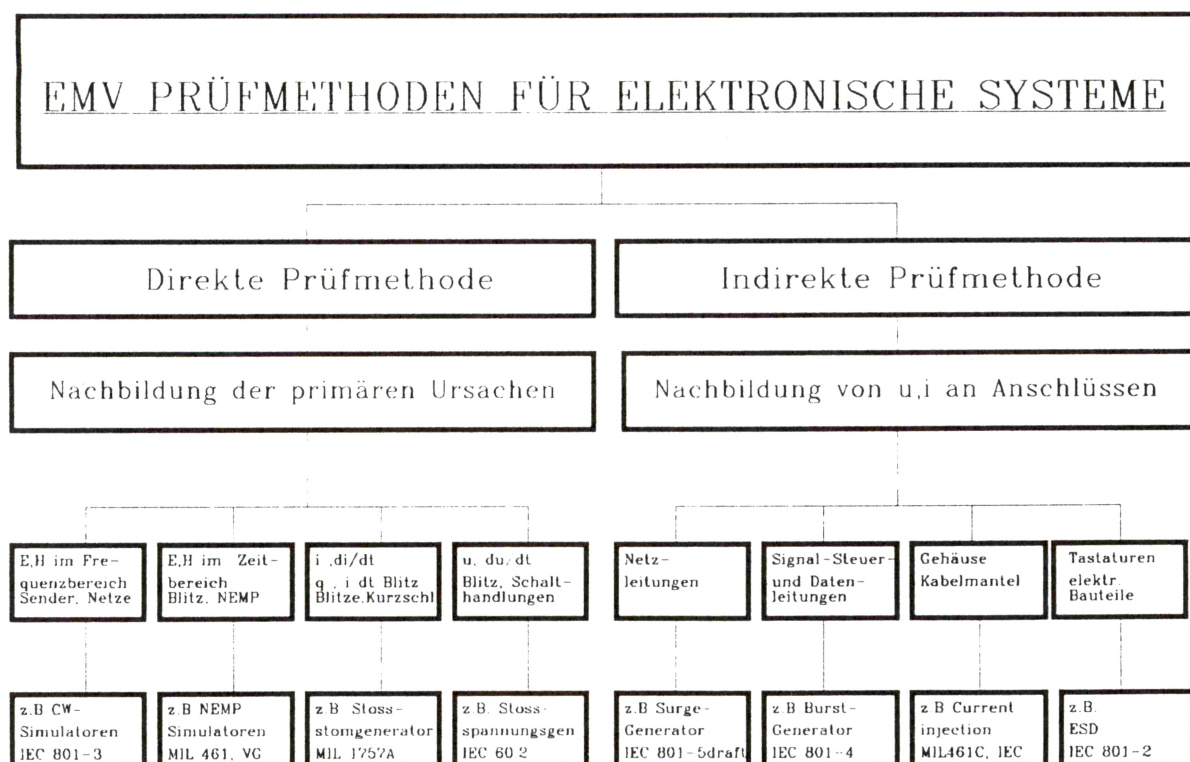
Fig.2

Grob können aus der Einteilung der EMP-Phänomene die Basisprüfmethode abgeleitet werden.

2. EMV-Prüfmethode

Ein technisches System wird bei der Entwicklung und bei der Inbetriebnahme EMV-Prüfungen unterzogen, welche die Funktionsfähigkeit des Systems zeigen sollen. Für komplexe Systeme wie z.B. die Elektronik eines Flugzeuges, Elektronik in einem HS-Labors usw., hat sich dabei die Vorprüfung der Teilsysteme, beispielsweise Baugruppen und Einzeleinschübe, als notwendig durchgesetzt. Diese Einzelgeräteprüfung kann nur Teilaspekte eines Gesamtsystems überprüfen. In der folgenden Figur 3 sind die EMV-Prüfungen prinzipiell zusammengestellt. Zu jedem einzelnen Feld gibt es Normen, welche die Störgrößen im zeitlichen Verlauf, in der Anzahl von Impulsen und den Prüfaufbau festlegen. Für verschiedene Anwendungsgebiete, z.B. Auto, Flugzeuge, Schiffe, Computer, Nachrichtentechnische Einrichtungen, Hochspannungsprüflabor, Militär, werden oder sind schon verschiedene EMV-Normen herausgegeben worden, die den spezifischen Eigenarten der Prüflinge in den verschiedenen Gebieten Rechnung tragen.

2.1 Übersicht über die Prüfmethode.



Figur 3. Übersicht über die Prüfmethode

Grundsätzlich bestehen zwei Prüfmethoden, wobei unter der direkten Prüfmethode die Simulation der Störquelle mit den wesentlichen, primären Ursachen angestrebt wird. Bei der direkten Prüfmethode wird zudem versucht, das zu prüfende System als Ganzes zu erfassen z.B. komplette Flugzeuge, Automobil, Steuer- und Messeinrichtungen im Hochspannungslabor usw. Hier seien ein paar Nachteile aufgeführt, die die direkte Prüfungsart beinhaltet:

- Blockierung eines Hochspannungslabors durch die EMV Messungen.

- Die Reproduzierbarkeit der Prüfungen ist fragwürdig, da die Umgebung des Prüfaufbaues (Erdverhältnisse, Richtung der Feldeinwirkung, Zusammenbruch im Generator oder Abschneidefunkenstrecken usw.) die Prüfergebnisse beeinflusst.

- Im Hochspannungsprüffeld werden vermehrt digitalisierte Geräte eingesetzt, die während einer Störeinwirkung viele unterschiedliche innere Zustände haben können, die überprüft werden müssen, wenn eine Störfestigkeit garantiert werden soll. Bei Einzelimpulsen von Stossgeneratoren im Hochspannungsprüffeld ergibt dies sehr lange Prüfzeiten.

- Der Entwicklungsingenieur der elektronischen Mess- und Steuergeräten stört den HS-Prüffeldablauf, oder ist dem Goodwill des Prüffeldchefs ausgeliefert, was öfters zu unseriösen EMV-Prüfungen geführt hat.

Bei der indirekten Prüfmethode werden nur noch Teilsysteme geprüft. An den Teilsystemen werden die eingekoppelten Ströme und Spannungen simuliert, die durch Messungen bei der direkten Prüfmethode oder durch Berechnungen ermittelt wurden. Mit der indirekten Prüfmethode können Hersteller von Teilsystemen, Unterlieferanten, Teilzulieferer ihre Systeme auf EMV prüfen.

Will man sicher sein, dass ein neuentwickeltes Produkt mit oder ohne EMV-Planung an seinem Betriebsort störungsfrei funktioniert, so muss eine EMV-Prüfung im Labor und gegebenenfalls auch am Einsatzort durchgeführt werden. Bei diesen Prüfungen ist das wirtschaftliche Optimum ein wichtiger Faktor, darum wurde in den Normengremien versucht, nur die wirklich notwendigen Prüfungen vorzuschreiben. Nachstehend wird ein Überblick über die indirekten Prüfmethoden gegeben, die auch für die Elektronikgeräte im HS-Labor zur Anwendung gelangen.

2.2 Normen zu den indirekten Prüfmethoden

Zum heutigen Zeitpunkt kann mit Sicherheit gesagt werden, dass die indirekten Prüfmethoden von den Institutionen, wie:

IEC, CENELEC, CEPT, VDE, SEV, FTZ, PTT usw.

für die meisten Elektronikgeräte vorgeschrieben sind oder noch vorgeschrieben werden:

Prüfungen/ Simulation Basisdokumente Bemerkung

Bearbeitet in TC 65 WG4

Entladung statischer Energie	IEC 801-2	wird überarbeitet
Field Test	IEC 801-3	wird überarbeitet mit der Neugestaltung IEC 801-6 (MIL 461 C Veröffentlicht 88)
Schaltvorgänge" Burst"	IEC 801-4	Veröffentlicht 88
Blitz " Surge"	IEC801-5	in Arbeit
Current injection	IEC 801-6	in Arbeit

Bearbeitet in TC77 WG3 (Sec 71)

Netzsimulation	Unterbrüche, Harmonische, Frequenz- und Spannungsvariation.
----------------	---

3. Die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale der indirekten Prüfmethode.

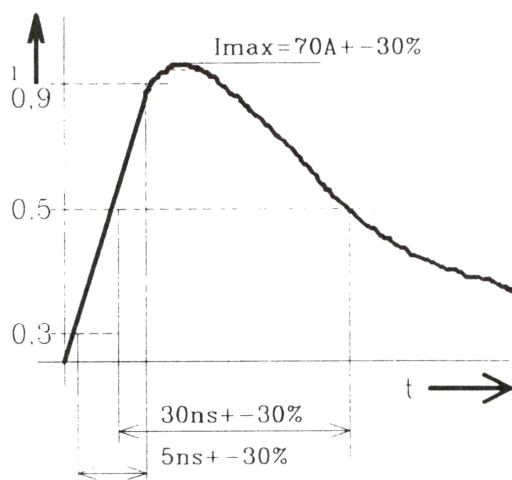
Merkmale	statische Entladung	Schaltvorgänge	Blitz
	"ESD"	"Burst"	"Surge"
Spannung U	bis 15kV	bis 4kV	bis 6kV
Energie bei U	kleiner 10mJ	300mJ	300J
Wiederhol-frequenz	Einzelstösse	Mehrfach-impulse 5kHz	max 6Stösse/Min
Anwendung Prüfobjekte	von Personen berührbare Metallteile	Netz-, Signal-, Mess- und Datenleitungen.	Netz-Mess-, Signal-leitungen
Frequenzinhalt fmax	ca. 600MHz	ca. 100MHz	ca. 350kHz

Die Unterscheidung der Prüfungen sei hier auch bildhaft gegeben mit den in den Normen festgelegten Impulsformen sowie einigen Photos der Prüfeinrichtungen.

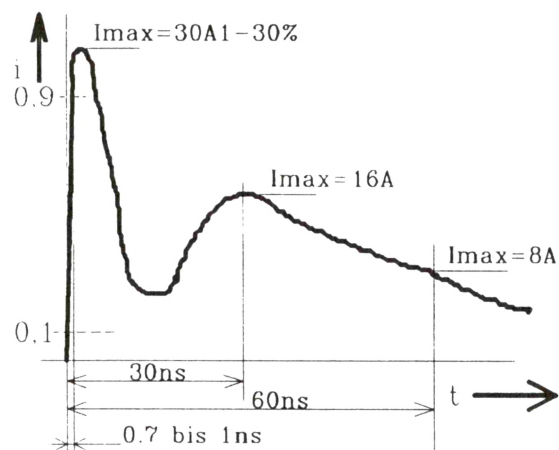
3.1 Statische Entladung ESD IEC 801-2

IEC 801-2 Ausgabe 1984

IEC 801-2 Draft 4 1988



a) Typischer Kurvenverlauf an einem Shunt von 2 Ohm



a) Typischer Kurvenverlauf an einem Shunt von 2 Ohm

Figur 4. Impulsformen ESD

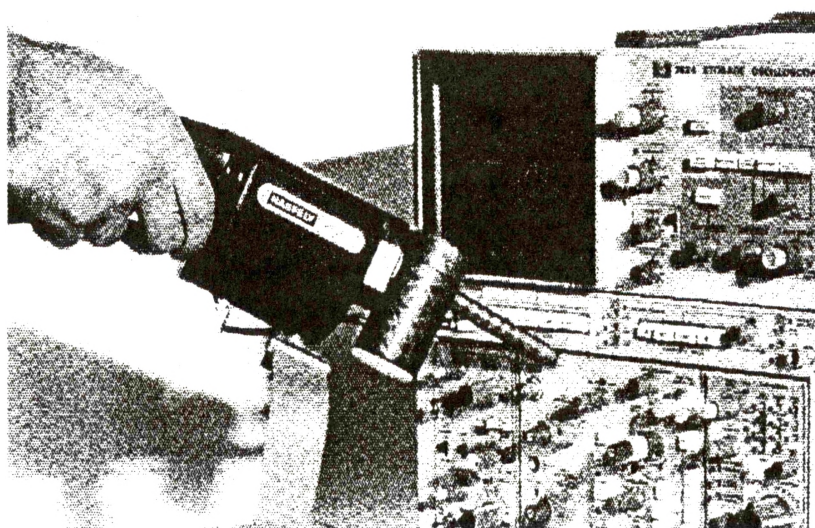
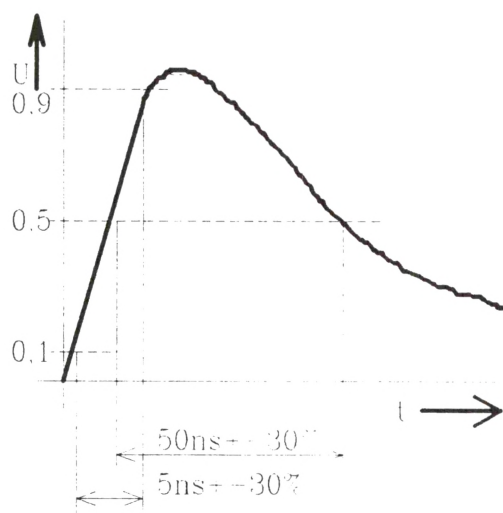


Bild 1. Beispiel eines ESD-Prüfplatzes

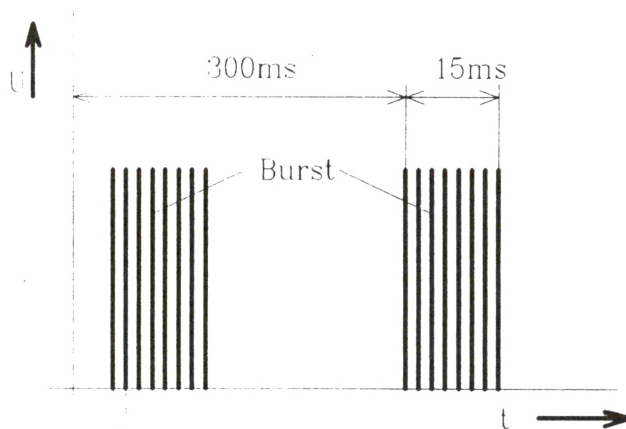
3.2 Schaltvorgänge "Burst" IEC 801-4

Einzelimpuls Spike



a) Typischer Kurvenverlauf an einer Last von 50 Ohm.

Gesamtverlauf eines Bursts



Abhängig von der Prüfspannung.

b) Gesamtverlauf eines Burst Prüfimpulses

Figur 5. Burst Impulsform

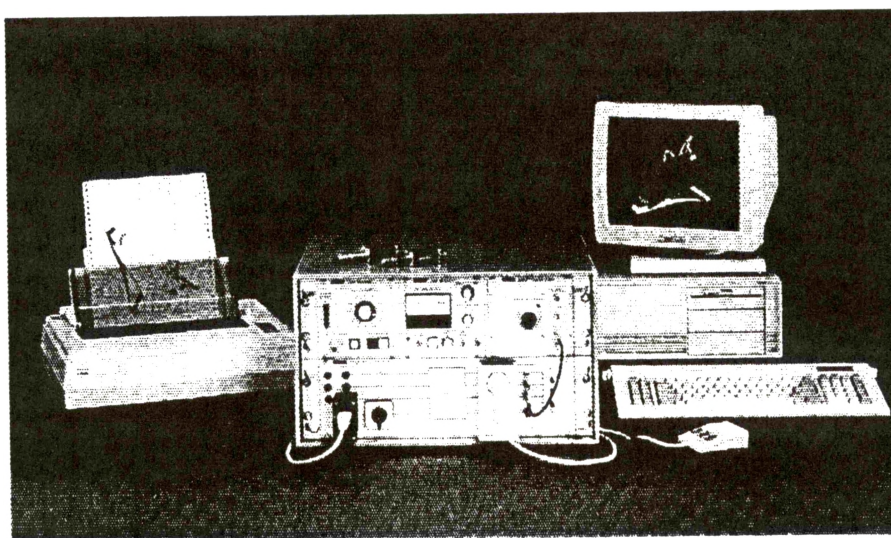
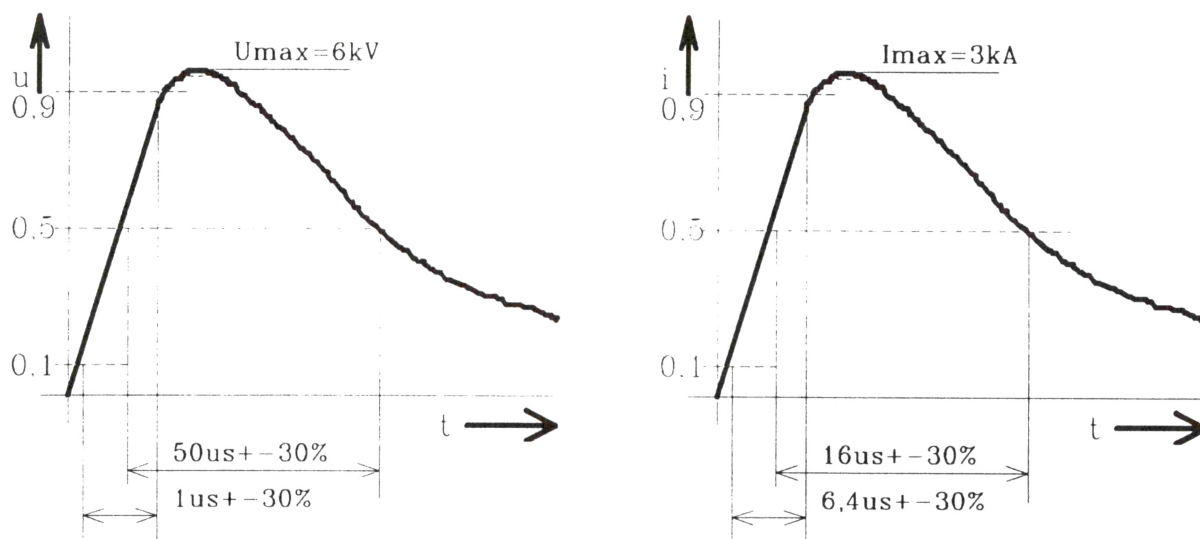


Bild 2. Beispiel eines Burst-Prüfplatzes

3.3 Blitz "Surge" IEC 801-5

Spannungsverlauf im Leerlauf 1,2/50us
Stromverlauf im Kurzschluss 8/20us



Figur 6. Surge Impulsform

Infolge der neuen Definition der Anstiegs- und Rückenzeit nach IEC 469-1 ergeben sich für die bekannten Impulsformen nach IEC 60.2, die in der Figur 4 angegebenen Zeiten.

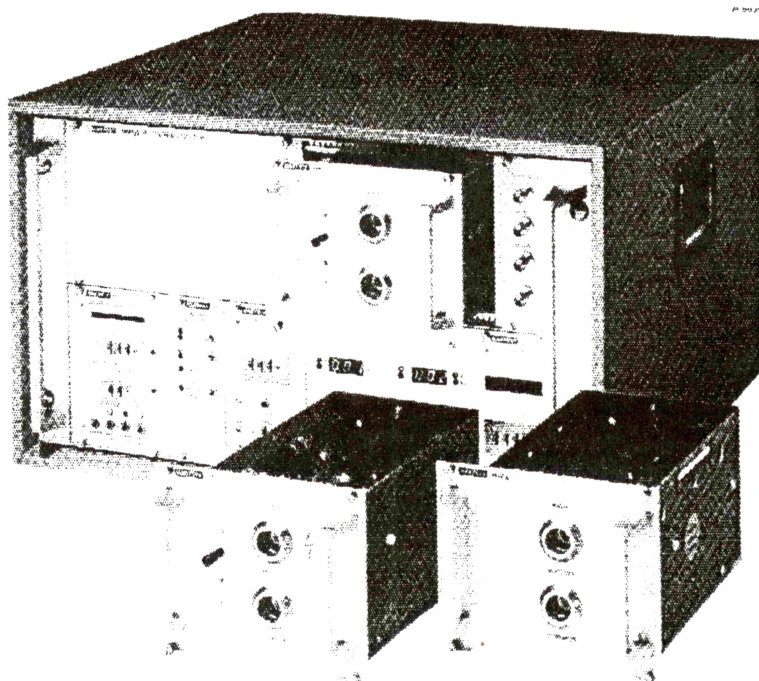
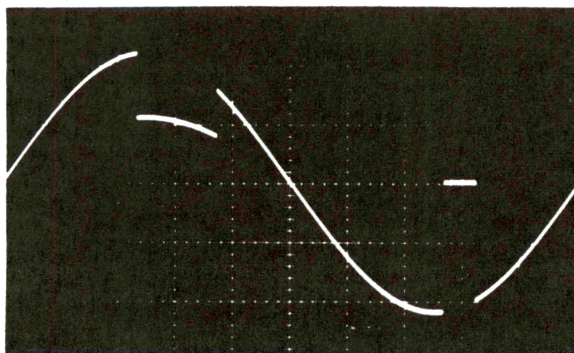


Bild 3. Beispiel Surge Generator

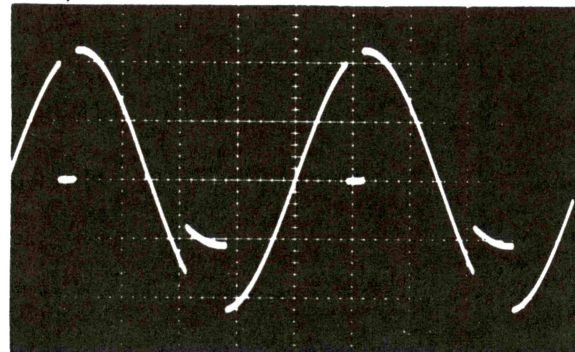
3.4 Netzsimulation

Unterbrüche
2ms/div



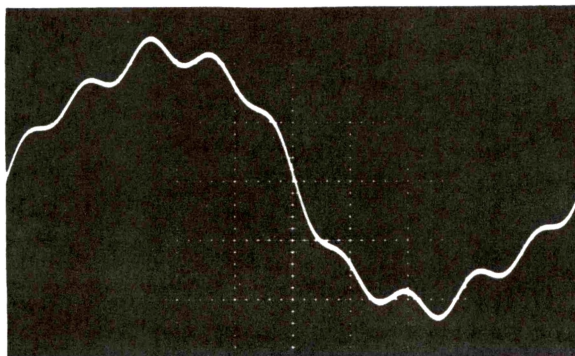
U1 85° bis 135°
U2 275° bis 295°

Ueberlagerte Harmonische
2ms/div

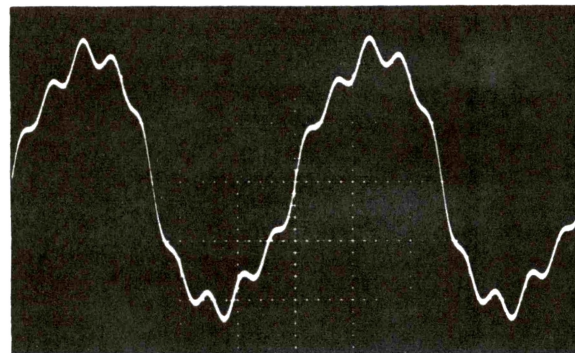


2te 10%
3te 7%
5te 5%
9te 9%

0,5ms/div



0,5ms/div



Figur 7. Beispiele von Netzstörungen

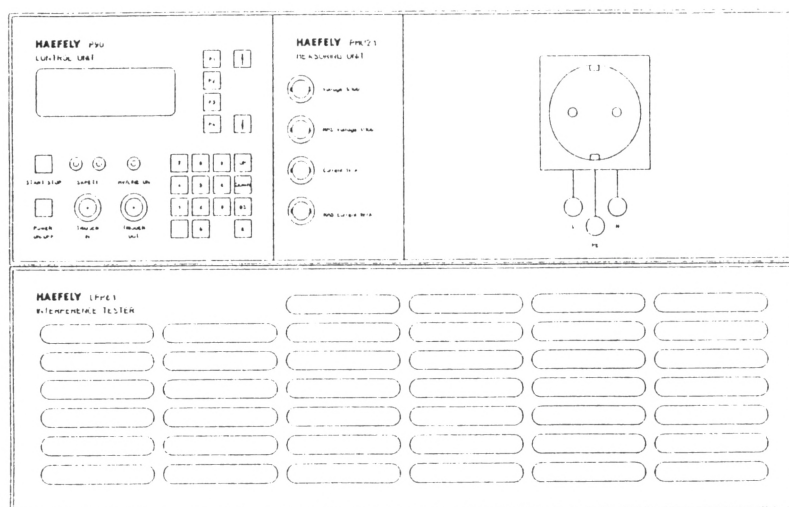
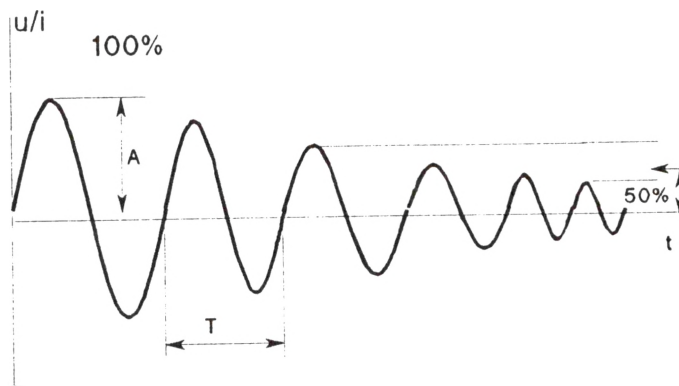


Bild 4. Beispiel eines Netzsimulators

3.5 Current injection MIL 461C

Spannungsverlauf
auf 50 Ohm Last

Stromverlauf
im Kurzschluss



Figur 8. Typischer Impulsverlauf für $f = 10\text{kHz}$ bis 100MHz

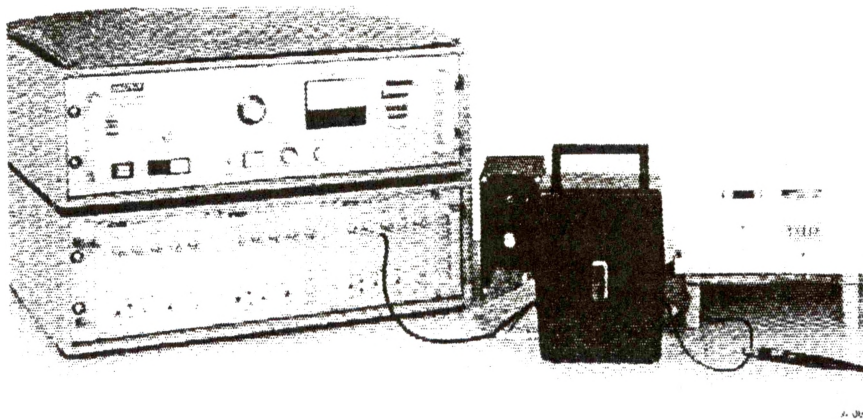


Bild 5. Beispiel eines Current-Injection Prüfplatzes.

4. Die Reihenfolge der Prüfungen bei der praktischen Durchführung.

In der Praxis hat sich folgende Reihenfolge der Prüfungen und Prüflevel bewährt:

4.1 Burst-Prüfung:

- I. **Burst-Prüfung** des Netzeinganges bis zu einer Prüfspannung von 4kV
 - II. **Burst-Prüfung** der Signal- und Datenleitungen bis 4kV
- Beginnt man mit der Burst-Prüfung, so besteht die kleinste Gefahr, dass der Prüfling zerstört wird, da der Energieinhalt eines Impulses beim Burst am kleinsten ist. Durch die hohe Repetitionsfrequenz treten eventuelle Schwachstellen am schnellsten zu Tage.

4.2 ESD-Prüfung:

Mit dieser Prüfung werden zusätzlich die Einwirkungen über die Tastaturen und das Gehäuse simuliert.

- I. Metallische Teile Kontaktmethode 8kV
 - II. Isolierte Teile Funkenmethode 16kV
- In der Praxis wurde festgestellt, dass bei bestandener Burst-Prüfung die Immunität gegen ESD wesentlich höher liegt, als ohne vorangegangene Burst-Prüfung. Ebenfalls wird bei bestandener Burstprüfung der Prüfling eine höhere Störfestigkeit gegen die Feld- oder Stromeinspeiseprüfung aufweisen.

4.3 Surge-Prüfung:

- I. **Surge Prüfung** Netz
- Mit dieser Prüfung soll in erster Linie die Störwirkung des Eingangsschutzes beim Ansprechen der Schutzelemente beurteilt werden.
- II. **Surge Prüfung** Externe Datenleitungen (Post)

4.4 Netzsimulation:

Je nach Prüfling sind Netunterbruch, Netzschwankungen, Frequenzschwankungen und überlagerten Harmonischen anzuwenden.

4.4 Current-Injection-Prüfung oder Feldprüfung:

In vielen Fällen sind die vier obgenannten Prüfungen voll ausreichend um die Störfestigkeit zu garantieren. Bei speziellen Anforderungen an die Abschirmungen. B. niederfrequente Magnetfelder muss die Feld- oder Stromeinspeiseprüfung noch zusätzlich durchgeführt werden.

5. Schlussbetrachtung.

Wie die verschiedenen indirekten Prüfungen im Detail durchzuführen sind, muss den einzelnen Normen und Empfehlungen entnommen werden. Eine Erfahrung sei hier aufgeführt, die Durchführung von EMV-Prüfungen kann nur von geschultem Personal erfolgreich durchgeführt werden. Der Prüfer braucht Kenntnisse über die Funktionsweise der Prüflinge, Messerfahrungen bei einmaligen Transienten und EMV-Grundkenntnisse der möglichen Koppelarten. Ob die genannten Prüfungen ausreichen, um die ganzen Gruppen der Störphänomene in Fig 1 und 2 zu simulieren, wird deren Anwendung und Durchführung zeigen. Sind nach bestandenen EMV-Prüfungen bei den elektronischen Geräten und Systemen im praktischen Betrieb keine Ausfälle mehr zu verzeichnen, die auf EMP-Phänomene zurückzuführen sind, so wäre es nicht sinnvoll, weitere EMV-Prüfungen vorzuschreiben, obwohl andere Störquellen sicher vorhanden sind.

6. Literatur

- K.Feser Mikroelektronik, EMP-Phänomene und EMV-
Probleme in unserer Technischen Gesellschaft.
Beitrag am EMV Symposium UNI Stuttgart 1988.
- A.Rodewald Interference generated by switching operation
M. Lutz and simulation.
EMC Symposium Tokio 1984
- M.Lutz Störungen müssen gemessen werden.
Markt und Technik 1982
- M.Lutz Ermittlung der Störfestigkeit gegen
energiearme, steile Impulse.
Technische Akademie Esslingen EMV
Prüfpraktikum.
- Normen IEC 801-2 , IEC 801-3, IEC 801-4 und 801-5 draft.
IEC 801-6 draft
Mil 461 und 462C