

10. EMV-Messtechnik
Störemissionen

Messung von Störemissionen

Störung auf fähig

Störspannungsmessung:

- Leitungsgebundene Störungen (Versorgungsnetze, Datennetze)
- Frequenzbereich: 9 kHz ... 30 MHz
- Messprinzip: Messung der Störströme in einer Netznachbildung

Störleistungsmessung:

- Störabstrahlung auf den ersten Metern der Netzanschlussleitung (Gerät klein gegenüber der Wellenlänge)
- Frequenzbereich: 30 MHz ... 300 MHz
- Messprinzip: Leistungseinkopplung in Absorptionswandler-Messzange

Funkstörfeldstärke:

- Störabstrahlung eines (größeren) Geräts
- Frequenzbereich: 150 MHz ... 1 GHz
- Messprinzip: Leistungseinkopplung in eine Antenne

Frequenzselektive Messung:

- Funkstörmessempfänger
- Spektrumanalysator

EISys Folie 1
Dr.-Ing. M. Sack

wie viel Störung wird emittiert

Bei der EMV-Messtechnik unterscheidet man die Messung der Störemission und die Prüfung auf Störfestigkeit. Bei der Prüfung auf Störfestigkeit werden auf verschiedenem Wege Störungen in den Prüfling eingekoppelt und der Prüfling darf - je nach Anforderung - in seiner Funktion nicht wesentlich gestört werden bzw. nicht beschädigt werden. Die Störeinkopplung kann entweder gestrahlt über Antenne oder per Kabel in Datenleitungen oder die Versorgungsleitung erfolgen. Zur Messung der Störfestigkeit gegenüber elektrostatischer Aufladung werden Kondensatorentladungen an verschiedenen zugänglichen Stellen des Prüflings galvanisch eingekoppelt.

wie viel Störung wird übertragen

- A Kabel
- B Funk
- C Galvanisch
- Elektrolyse*
- von Kondensator*
- Isolatoren*

Bei der Störemissionsmessung unterscheidet man ebenfalls nach der Kopplungsart leitungsgebundene Emission und gestrahlte Emission.

Die Störspannungsmessung erfasst leitungsgebundene Störungen, die vom Gerät in einem Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz in angeschlossene Daten- oder Versorgungsnetzte eingekoppelt werden. Die Messung erfolgt mit Hilfe einer sog. Netznachbildung. Die Netznachbildung bietet einen definierten Innenwiderstand des Netzes. Sie wird zwischen Prüfling und Netzeinspeisung geschaltet. Eine direkte Strommessung z.B. mittels breitbandigem Stromwandler wäre nicht sinnvoll, weil die Innenimpedanz des Versorgungsnetzes von Labor zu Labor unterschiedlich ist.

Die Störleistungsmessung erfasst bei kleinen Geräten (d.h. klein gegenüber der Wellenlänge) die Abstrahlung auf den ersten Metern der Netzanschlussleitung oder auch anderer Leitungen, die in das Gerät führen. Der Frequenzbereich der Messung umfasst 30 MHz bis 300 MHz. Die Messung erfolgt mittels Absorptionswandler-Messzange. Die Messung des Störstroms auf der Leitung ergibt mit der Leitungsimpedanz eine Störleistung, die in eine virtuelle Antenne eingekoppelt wird.

Die Messung der Funkstörfeldstärke umfasst die Messung der Störabstrahlung eines auch größeren Geräts. Die Messung erfolgt im Fernfeld in einem Frequenzbereich zwischen 150 kHz und 1 GHz oder auch darüber hinaus. Die Messung erfolgt durch Leistungseinkopplung in eine Antenne.

Die mittels Antenne, Absorptionswandler-Messzange oder Netznachbildung erfasste Signalenergie wird als Spannungssignal zur Messung entweder einem Funkstörmessempfänger oder einem Spektrumanalysator zugeführt.

Spannung
Einfluss auf fähig

Abgestrahlte Leistung
im fähig

Fern Störungen durch EM Wellen

Funkstörmessempfänger

Aufgabe:

- Bestimmung des Pegels und der Frequenz von HF-Signalen mit vorgegebener Bandbreite.
- Bewertung

Anzeigearten:

- Spitzenwertanzeige (Peak)
- Quasi-Spitzenwertanzeige (QPK, gewichtete Spitzenwertanzeige)
- Arithmetischer Mittelwert (AV, Average)
- Effektivwertanzeige (RMS, Root Mean Square)

Prinzipieller Aufbau:

- Superheterodyn-Empfänger (Überlagerungsempfänger):
 - Umsetzen der zu messenden Eingangsfrequenz auf eine feste Zwischenfrequenz

Mischendes Eingangssignals mit einer internen Oszillatorfrequenz

$$\cos(\omega_e \cdot t) \cdot \cos(\omega_o \cdot t) = \frac{1}{2} \cos((\omega_e + \omega_o) \cdot t) + \frac{1}{2} \cos((\omega_e - \omega_o) \cdot t)$$

-> Entstehung von Summen- und Differenzfrequenz

- Zwischenfrequenzfilter bestimmt Messbandbreite
- Selektive Verstärkung nur der Zwischenfrequenz: geringes Rauschen, hohe Empfindlichkeit
- Dem Zwischenfrequenzfilter nachgeschaltet:
 - Demodulation,
 - Bewertung,
 - Anzeige

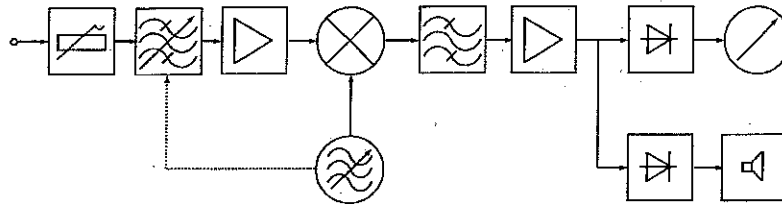
Der Funkstörmessempfänger misst den Pegel von HF-Signalen bei einer vorgegebenen Frequenz oder durchlaufend in einem Frequenzintervall bei vorgegebener Bandbreite. Zur Anzeige wird der erfasste Pegel einer Bewertung unterzogen. Folgende Bewertungsfunktionen sind üblich: Maximum (Peak): Messung des Scheitelwerts, Quasi-Peak: Messung des gewichteten Spitzenwerts, Mittelwert, Effektivwert.

Diese Anforderungen erfordern einen Empfänger mit einem schmalbandigen Filter mit hoher Trennschärfe (d.h. steiflankig), das über den zu messenden Frequenzbereich durchstimmbar ist, und bei dem die Filterbandbreite in Stufen einstellbar ist. Mit einem einfachen Bandpass hoher Ordnung ist dies nicht machbar, da der erforderliche Gleichlauf der Filterelemente der einzelnen Teilfilter nicht realisierbar ist und auch der erzielbare Stellbereich zu klein wäre.

Daher sind Funkstörmessempfänger nach dem Prinzip des Superheterodynempfängers aufgebaut: Das Empfangssignal wird mit einer im Gerät erzeugten Oszillatorfrequenz multipliziert. Dabei bildet sich die Summen- und die Differenzfrequenz von Oszillatorfrequenz und empfangenen Signal (vgl. auch mathematische Darstellung). Zum Empfang wird entweder die Summen- oder die Differenzfrequenz herausgefiltert und das Signal weiterverarbeitet. Das sog. Zwischenfrequenzfilter ist dabei auf eine feste Frequenz ausgelegt, durch geeignete Wahl der internen Oszillatorfrequenz wird das zu empfangende Frequenzband in den Durchlassbereich der Zwischenfrequenzfilters gelegt. Durch die selektive Verstärkung nur der Zwischenfrequenz erzielt man geringes Rauschen und eine hohe Empfindlichkeit. Das Filter bestimmt die Messbandbreite. Es kann durch eine hohe Ordnung sehr steiflankig sein.

Dem Zwischenfrequenzfilter und -verstärker nachgeschaltet sind die Bewertungsfunktion, Anzeige sowie Demodulation (AM/FM)

Funkstörmessempfänger - Prinzipschaltbild

*Baugruppen:*

- Eingangsabschwächer
- Vorfilterung (Spiegelfrequenzunterdrückung)
- Verstärker
- Mischer, Oszillator
- Zwischenfrequenzstufe: Bandpass, Zwischenfrequenzverstärker
- Bewertungsdetektor, Anzeige
- Demodulator, Lautsprecher

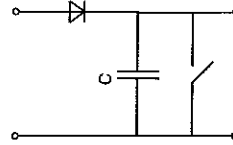
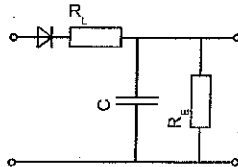
Diese Folie zeigt das prinzipielle Blockschaltbild eines Funkstörmessempfängers.

Ein eingangsseitiger Abschwächer passt die Empfindlichkeit der Schaltung an die Signalhöhe an. Nachgeschaltet ist ein Grobfilter zur Spiegelfrequenzunterdrückung. Unter Spiegelfrequenz versteht man ein weiteres Signal, das durch den Oszillator auf die Zwischenfrequenz umgesetzt wird. Die ist der Fall, wenn die Differenzfrequenz von einem empfangenen Signal und der Oszillatorfrequenz gleich ist zur Summenfrequenz von einem anderen Signal und der Oszillatorfrequenz und beide gemischten Signale die gleiche Frequenz wie der Zwischenkreis haben. Abhilfe schafft eine grobe Vorfilterung z.B. mittels eines Bandpasses niedriger Ordnung, und den unerwünschten Frequenzbereich auszublenden. Der Frequenzbereich der Vorfilterung wird zusammen mit der Frequenz des lokalen Oszillators verstellt.

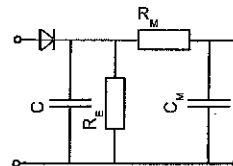
Nachgeschaltet ist ein Vorverstärker und der Mischer, der auch aus dem lokalen Oszillator gespeist wird. Dem Mischer nachgeschaltet ist das Zwischenfrequenzfilter und der Zwischenfrequenzverstärker. Es schließen sich der Bewertungsdetektor mit Anzeige und der Demodulator mit nachgeschaltetem Lautsprecher an.

Funktörmessempfänger - Bewertungsarten

Spitzenwertmessung (Peak)

Quasi-Spitzenwertmessung
(Quasi-Peak, Bewerteter Spitzenwert)

Mittelwert, Effektivwert



Die Folie zeigt die Funktionsprinzipien verschiedener Bewertungsarten. Selbstverständlich sind die Funktionen bei moderneren Geräten softwaremäßig implementiert.

Bei der Spitzenwertmessung wird über die Messdauer der Spitzenwert erfasst. Ein Kondensator wird über einen Gleichrichter auf den Spitzenwert aufgeladen und nach Messende nach der Ablesung bzw. Registrierung wieder entladen.

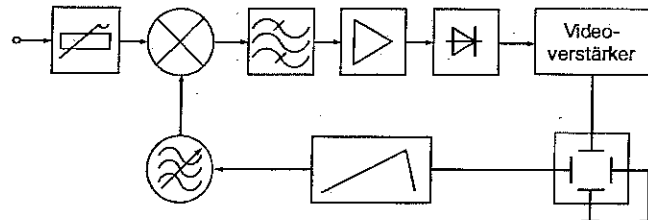
Der Quasi-Spitzenwert ist ein bewerteter Spitzenwert. Die Anzeige entspricht dem physiologischen Störeindruck des menschlichen Gehörs beim Radioempfang. Seltene Knackstörungen großer Amplitude werden als ähnlich störend empfunden wie viele Störungen kleinerer Amplitude.

Ein breitbandiger Impuls am Eingang des Empfängers regt den Bandpass zur Impulsantwort an, moduliert auf die Zwischenfrequenz. D.h. die Amplitude ist proportional zur Fläche unter dem Störimpuls. Bei der Bewertung erfolgt die Aufladung des Speicherkondensators über einen Ladewiderstand, die Entladung mittels Entladewiderstand. Beide Zeitkonstanten sind so gewählt, dass der Kondensator sich zwischen zwei Impulsen teilweise entladen kann und somit die Höhe der Ausgangsspannung von der Impulshäufigkeit abhängt. Da bei einem Eingangsimpuls nur der geringe Teil der Impulsenergie herausgefiltert wird, der der Zwischenfrequenzbandbreite entspricht, und bei der Quasi-Peak-Messung eine weitere Abschwächung erfolgt (z.B. 40 dB bei Einzelimpulsen) muss ein Messempfänger über einen weiten Dynamikbereich hinweg linear arbeiten.

Zur Mittelwertbildung wird das Signal zunächst gleichgerichtet. Der Kondensator C lädt sich auf den Momentanwert der Hüllkurve auf. Dazu ist der Entladewiderstand R_e so klein gewählt, dass sich C bei einem Pegelrückgang schnell genug entladen kann. Anschließend erfolgt die Integration mittels Tiefpass zwecks Mittelung. Die Mittelwertbildung ermöglicht eine ungestörte Messung bei diskreten Frequenzen, bei denen Modulationsprodukte unterdrückt werden.

Die Effektivwertmessung der einhüllenden oder der Zwischenfrequenz-Wechselspannung kann mittels quadrierendem Gleichrichter erfolgen (quadratische Kennlinie). Auch möglich ist ein thermischer Effektivwertmesser.

Spektrumanalysator



Baugruppen:

- Eingangsabschwächer
- Mischer, Oszillator (wobbelt durch vorgewähltes Frequenzband)
- Zwischenfrequenzstufe: Bandpass, Zwischenfrequenzverstärker
- Bewertungsdetektor (meist nur Spitzenwert oder Mittelwert)
- Anzeige: Amplitude über der Frequenz

Verwendung:

- Rasche, graphische Darstellung des Frequenzspektrums in einem Frequenzband

Nachteile gegenüber Funksstörmessempfänger:

- Keine mitlaufende Vorselektion, daher höheres Rauschen, geringerer intermodulationsfreier Dynamikbereich, geringere Messgenauigkeit

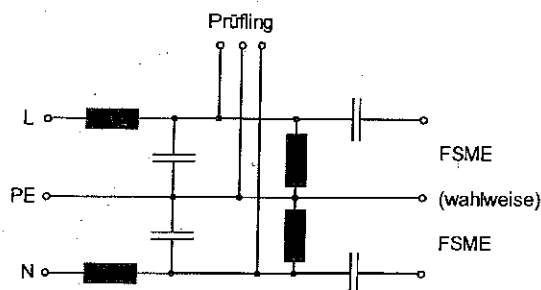
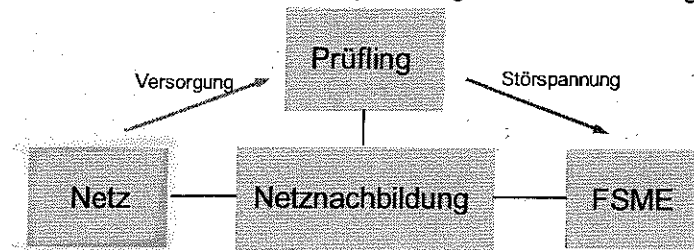
Der Funksstörmessempfänger vermisst einen gegebenen Frequenzbereich in kleinen Schritten. Die Schrittweite wählt man üblicherweise gleich der halben Zwischenfrequenzbandbreite, um keine schmalbandige Störung zu übersehen. So ist gewährleistet, dass jedes Signal mit dem Durchlassbereich des Zwischenfrequenzfilters erfasst wird (und nicht nur an seiner Flanke). An jeder eingestellten Frequenz muss eine bestimmte Zeit zur Bewertung verweilt werden (je nach Bewertungsart üblicherweise 0,1 .. 1 s). Bei einer Zwischenfrequenzbandbreite von 9 kHz für Messungen bis 30 MHz und 120 kHz für Messungen darüber dauert ein kompletter Durchlauf des Frequenzbandes mehrere 10 Minuten bis mehrere Stunden.

Der Spektrumanalysator dient dagegen für eine rasche graphische Darstellung des Frequenzspektrums in einem Frequenzband. Wie der Funksstörmessempfänger besitzt er einen Eingangsabschwächer, Mischer, Zwischenfrequenzfilter und Zwischenfrequenzverstärker mit nachgeschalteter Demodulation. Der Oszillator wird jedoch durch eine Sägezahnspannung schnell innerhalb des vorgegebenen Frequenzbereichs verstellt. Ähnlich wie bei einem Oszilloskopbildschirm wird die empfangene Amplitude über der Frequenz dargestellt.

Der Spektrumanalysator hat keine mitlaufende Vorselektion und daher ein höheres Rauschen. Es können Intermodulationen, d.h. Überlagerungen verschiedener Empfangsfrequenzen aufgrund der Summen- und Differenzbildung auftreten. Daher bietet er eine geringere Messgenauigkeit.

Aufgrund seiner Eigenschaften wird der Spektrumanalysator für schnelle Übersichtsmessungen eingesetzt.

Messung der Funkstörspannung: Netznachbildung



Aufgaben:

- Störsignalankopplung an FSME
- Definierte Netzimpedanz (Vergleichbarkeit der Messergebnisse)
- Netzimpedanz variiert abhängig vom nachgebildeten Netz:
 - Wechselstromversorgungsnetz
 - Kommunikationsnetze
 - Bordnetze (Flugzeuge, Boote)
- Abblockung leitungsgeführter Störungen aus dem Netz und in das Netz
- Spannungsversorgung des Prüflings

Warum?

Netznachbildung:

Störungen im Netz sind zunächst eingeprägte Ströme (vgl. z.B. Versorgungsstrom eines Schaltnetzteils mit seinen Oberschwingungen), die an der Innenimpedanz des Netzes einen Spannungsabfall hervorrufen. Das gleiche Gerät kann daher an unterschiedlichen Netzimpedanzen unterschiedliche Störspannungen hervorrufen. Eine genormte Netznachbildung sorgt für eine einheitliche Prüfimpedanz.

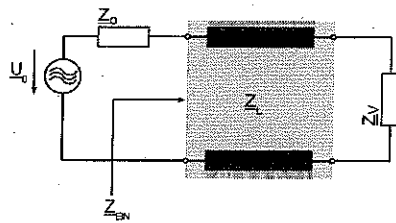
Mess
an
Kopplung

Zum funktörmessempfänger hin besitzt sie einen Hochpass zur Auskopplung der Störungen und zum Sperren der Netzfrequenz. Zum Netz hin ist ein Tiefpass eingebaut, um netzseitige Störungen zu sperren. Die Nachbildung ist in den Leitern L und N eingebaut, evtl. ergänzt um eine Drossel im PE-Leiter. Die Messung erfolgt wahlweise an L oder N gegenüber PE.

Anhängig von der Netzart sind unterschiedliche Netzimpedanzen schaltbar. Nachgebildet werden z.B. das Niederspannungsnetz, ein Industrienetz oder Bordnetze. Die Netznachbildung besteht aus der Serienschaltung einer Induktivität ($5\mu\text{H} \dots 50\mu\text{H}$) in Serie mit einem ohmschen Widerstand zwischen 0 und 5 Ohm, abhängig von den Kupferverlusten. 1 m Leitungslänge entspricht etwa einer Induktivität von $1\mu\text{H}$. Parallel liegt der 50-Ohm-Eingangswiderstand des Messempfängers.

Wie bildet
man das
Netz nach

Messung der Funkstörleistung: Absorptionsmesswandlerzange



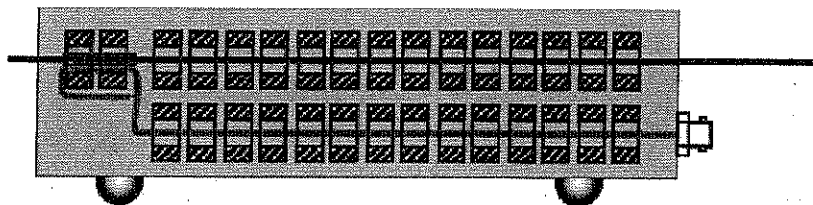
Vereinfachtes Ersatzschaltbild
des Messaufbaus

Anwendung:

- Bei kleinen Geräten: Abstrahlung hauptsächlich über Netzleitung
- Messung durch Verschieben der Absorptionsmesswandlerzange entlang eines 6m-Anschlusskabels
- Suche des absoluten Maximums der Messfrequenz

Aufbau:

- HF-Stromwandler zur Signalauskopplung
- Leistungsabsorber und Impedanz-Abschluss: Netzkabel umgeben von verlustbehafteten Ferritringen
- Messkabel-Absorber: Ferritringe zur Dämpfung von Kabelmantelströmen.



Die Absorptionswandler-Messzange erfasst die Abstrahlung über die Netzleitung bei kleinen Geräten.

Im Ersatzschaltbild liefert eine Störquelle im Gerät die Störspannung. Die Netzleitung ist als Übertragungsleitung mit dem Wellenwiderstand Z_c dargestellt. Die Leitung ist über Z_v in der Messzange abgeschlossen.

Zur Messung wird eine 6 m lange, gerade Anschlussleitung durch die Messzange gelegt. Dann wird die Zange verschoben, bis ein Maximum messbar ist.

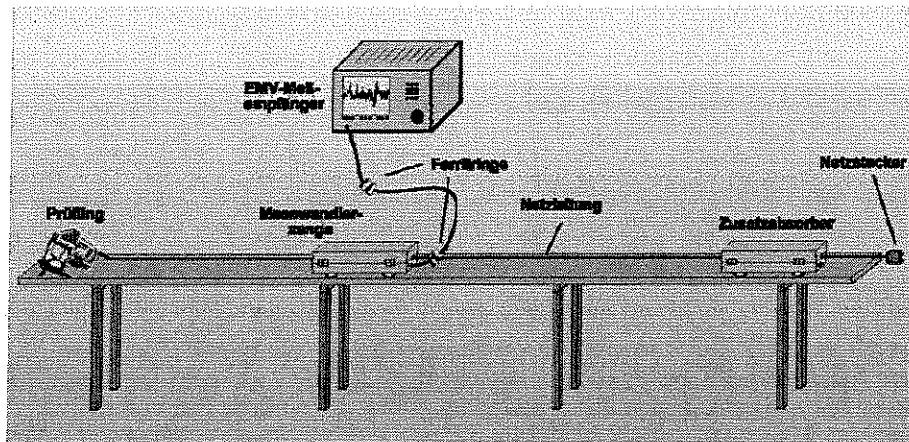
Die Absorptionswandler-Messzange enthält einen HF-Stromwandler zur Signalauskopplung. Eine Metallhülle im Innern des Wandlers dient der Schirmung gegenüber elektrischen Feldern, die von der Anschlussleitung in den Stromwandler einkoppeln könnten.

Es schließt sich der HF-Abschluss der Anschlussleitung an. Er besteht aus Leistungsabsorbern. Das sind verlustbehaftete Ferritkerne. Da sie einspeiseeitig angeordnet sind, dienen sie gleichzeitig dazu, netzseitige Störungen abzublocken.

Zusätzliche Absorber um das Messkabel dämpfen Kabelmantelströme.

Die Ferritkerne sind teilbar, um die Anschlussleitung leicht einlegen zu können.

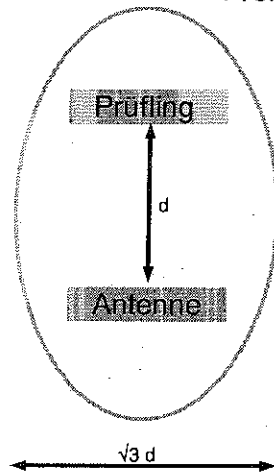
Funkstörleistung: Messung



das Bild zeigt den prinzipiellen Messaufbau zur Störleistungsmessung.

Nach Bedarf kann einseitig ein Zusatzabsorber angebracht werden.

Messung der Funkstörfeldstärke: Freigelände und geschirmter Messraum



Freigelände
Vorteile:
 - Keine reflektierenden Seitenflächen
 - Hohe Genauigkeit

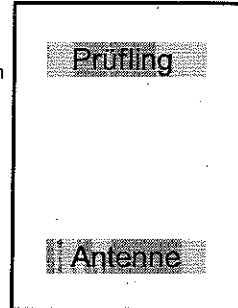
Nachteile:
 - Witterungsabhängig
 - Hohe Fremdstörmpegel

d: Messentfernung
 (Typisch: 3 m, 10 m, 30 m)

Geschirmter Messraum
Vorteile:
 - Witterungsunabhängig
 - Keine Fremdstörmpegel

Nachteile:
 - Feldverteilung inhomogen, ausgeprägte Minima und Maxima (Eigenresonanzen)

$$f_{\text{min}} = \frac{c_0}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{d}\right)^2}$$

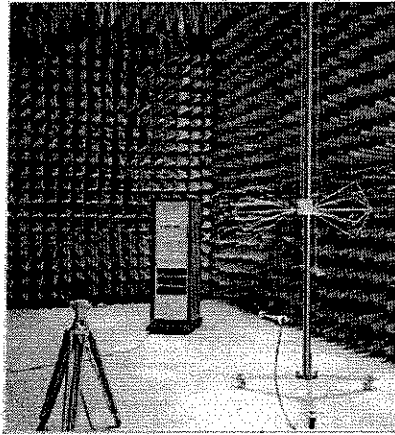


Messungen der Funkstörfeldstärke können im Freifeld oder in einem geschirmten Messraum durchgeführt werden.

Das Freifeld bietet eine hohe Messgenauigkeit, es besitzt keine reflektierenden Seitenflächen. Nachteilig ist die Witterungsabhängigkeit und ein hoher Fremdstörmpegel, z.B. durch Funkdienste. Typische genormte Messentfernungen zwischen Prüfling und Antenne sind 3 m, 10 m und 30 m. Die Feldgröße muss gewissen Mindestabmessungen entsprechen.

In einem geschirmten Messraum kann witterungsunabhängig gemessen werden. Durch eine gute Schirmung ist er frei von Fremdstörmpegeln. Nachteilig ist, dass die Feldverteilung durch Eigenresonanzen in einem solchen Maße inhomogen sein kann, dass er den Homogenitätsanforderungen an einen Messraum nicht genügt.

Messung der Funkstörfeldstärke: Absorber-Halle



Absorberhalle

Vorteile:

- Witterungsunabhängig
- Relativ homogene Feldverteilung
- Keine Fremdstörlpegel

Nachteile:

- Hohe Investitionskosten
- Großer umbauter Raum
- Teure Absorber

Messentfernung: Typisch: 3 m, 10 m

Messung:

- Messung über das gesamte Frequenzspektrum von 30 MHz bis 1 GHz in 1 %-Schritten
- Quasi-Peak-Messung: 45 min / Durchlauf
- Höhengscan mit Antenne
- Vermessung des Prüflings in verschiedenen Ausrichtungen
- ca. 6 Std. Messzeit

Die EMV-Halle am IEH ist als Absorberhalle aufgebaut (siehe Bild). Die Schirmwände sind mit pyramidenförmigen Absorbern aus leitfähigem Schaumstoff aufgebaut. Auftreffende Wellen werden teils absorbiert, teils an benachbarte Absorber zur Absorption weiterreflektiert.

Messentfernungen in Absorber-Hallen betragen typischerweise 3m oder 10m.

Für den Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz kommen Rahmenantennen zum Einsatz. Sie erfassen den B-Feld-Anteil. Eine bikonische Antenne (siehe Bild) oder eine logarithmisch-periodische Antenne erfassen den E-Feld-Anteil. Sie werden im Frequenzbereich von 30 MHz bis 1 GHz (und darüber hinaus) eingesetzt. Dem Funkstörmessempfänger zugeführt wird die Antennenspannung. Über die frequenzabhängigen Antennenfaktoren kann sie auf die Empfangsfeldstärke an der Antenne umgerechnet werden. Die Antennenfaktoren sind üblicherweise im Funkstörmessempfänger für jede Antenne hinterlegt, so dass der Messempfänger die Umrechnung vornehmen kann und direkt die Empfangsfeldstärke anzeigt.

Der Prüfling wird von verschiedenen Seiten und bei verschiedenen Antennenausrichtungen (verschiedene Antennenhöhen, horizontale und vertikale Polarisation) vermessen, um das Maximum der Störausstrahlung zu finden. Das Emissionsspektrum wird dann mit den Emissionsgrenzwerten laut Norm verglichen um zu entscheiden, ob der Prüfling die Prüfung bestanden hat.

Die vollständige Vermessung eines Prüflings aus unterschiedlichen Raumrichtungen und bei horizontaler und vertikaler Antennenpolarisation dauert ca. 6 Stunden. Daher ist der Messablauf üblicherweise automatisiert.

Statt in einer Absorber-Halle kann eine Messung auch in einer Modenverwirbelungskammer (mode stirred chamber) erfolgen. Hier werden die Wandreflexionen und Gehäuseresonanzen ausgenutzt, um die Störemissionen der Antenne zuzuleiten. Die Antenne wird nicht auf den Prüfling ausgerichtet. Durch drehen des sog. Modenrührers werden die Resonanzen so verändert, dass ein im Mittel gleichmäßiges Feld entsteht. Vorteil ist, dass weder die Prüflings- noch die Antennenposition verändert werden muss.

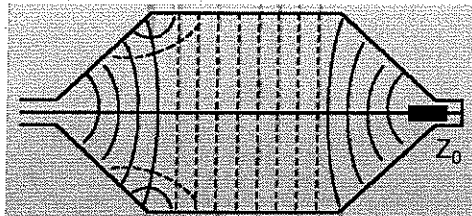
TEM-Messzelle

Anwendung:

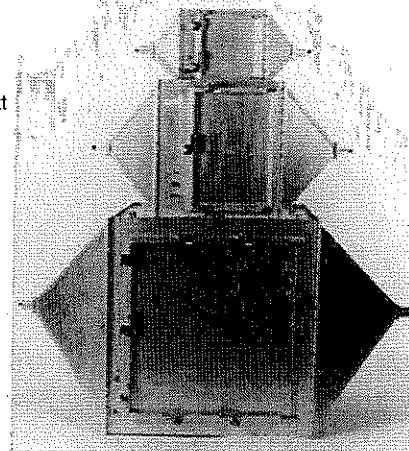
- Erzeugung quasistatischer elektrischer Felder
- Erzeugung gekoppelter transversaler E- und H-Felder
- Suszeptibilitäts- und Emissionsmessung (kleine Abmessungen)

Prinzip und Aufbau:

- Koaxialer Wellenleiter mit rechteckförmigem Querschnitt
- ein- oder beidseitiger Übergang auf Koaxialkabel
- kleiner Bereich mit homogener Feldverteilung
- auch außermittige Anordnung des Innenleiters möglich (vergrößertes Prüfvolumen)



Prinzipieller Aufbau und Feldverteilung



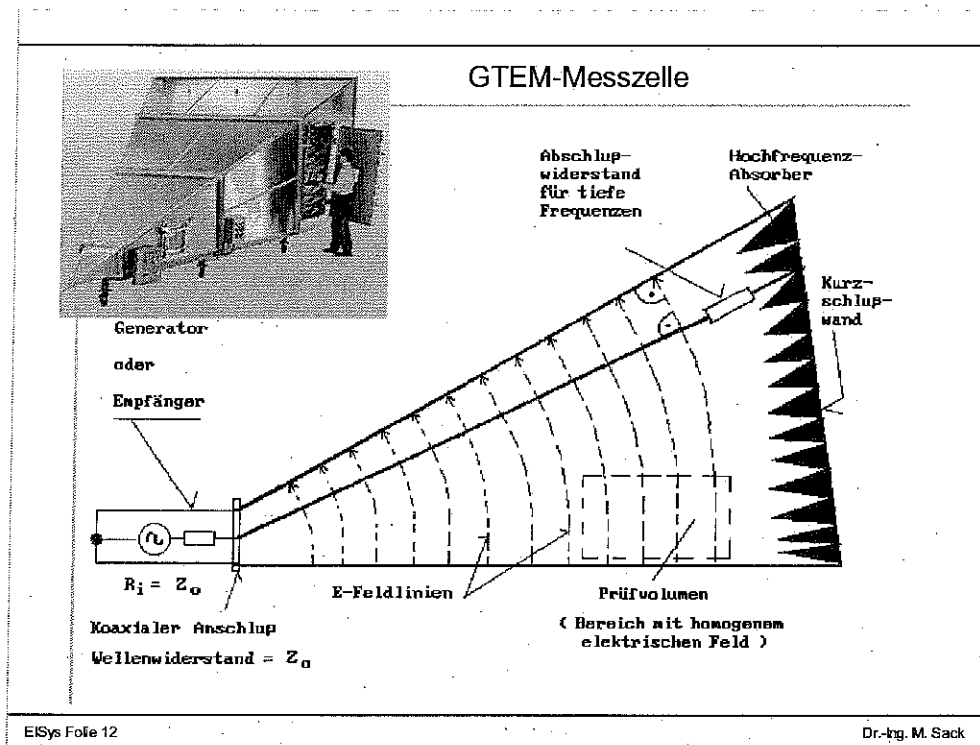
Verschiedene Messzellen

Eine TEM-Messzelle eignet sich zur Vermessung von kleineren Prüflingen.

Sie dient der Erzeugung quasistatischer elektrischer Felder sowie der Erzeugung gekoppelter transversaler E- und H-Felder. Sie kann sowohl für Suszeptibilitäts als auch für Emissionsmessungen eingesetzt werden.

Die TEM-Messzelle ist ein koaxialer Wellenleiter mit rechteckförmigem Querschnitt. Sie besitzt ein- oder beidseitig einen Übergang auf ein Koaxialkabel. Im Innern gibt es einen kleinen Bereich mit homogener Feldverteilung. Üblicherweise ist die Messzelle an einem Ende mit dem Wellenwiderstand abgeschlossen. Der andere Anschluss dient der Signalein- oder -auskopplung.

Um das Prüfvolumen zu vergrößern, kann der Innenleiter auch außermittig angeordnet werden.



Die GTEM-Messzelle umfasst nur den sich aufweitenden Teil einer TEM-Messzelle. An ihrem spitzen Ende liegt ein Koaxialanschluss zur Messsignalein- oder -auskopplung. Der Innenleiter ist außermittig im oberen Bereich der Zelle geführt. Damit ergibt sich im hinteren, unteren Teil ein Bereich mit nahezu homogenem elektrischen Feld, der für Messungen genutzt wird. Der Abschluss für hohe Frequenzen ist mit Hochfrequenzabsorbern ausgeführt. Als Abschluss für niedere Frequenzen dient ein Abschlusswiderstand zwischen Innenleiter und leitfähiger Rückwand. Die Wände der GTEM-Messzelle sind leitfähig und dienen der Wellenleitung (Masseleiter) sowie zur Abschirmung.