

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit



Dr. Heinz Zenkner

1. EINLEITUNG

Die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ist ein entscheidendes Merkmal moderner elektronischer Geräte, da sie die störungsfreie Funktion sicherstellt und Emissionen minimiert. Die Gehäuseschirmung ist dabei ein zentrales Element, das nicht nur die eigenen Emissionen eines Geräts nach außen abschirmt, sondern auch externe elektromagnetische Einflüsse dämpft. Die folgende Application Note gibt einen detaillierten Überblick über die wichtigsten Aspekte der Gehäuseschirmung im Zusammenhang mit der EMV, darunter HF-Emission, ESD-Schutz, Filter- und Schirmdämpfung, Gehäuseöffnungen, Kabelschirmanschlüsse und die Einflüsse von Massepotenzial und Wirbelströmen. Maßnahmen zur Verbesserung der Schirmdämpfung werden besprochen und messtechnisch erfasst.

2. GRUNDLAGEN DER EMV UND DIE ROLLE DER GEHÄUSESCHIRMUNG

Elektronische Geräte emittieren elektromagnetische Wellen, die benachbarte Systeme stören können. Dies gilt insbesondere für Bereiche wie Medizin-, Automobil- und Militärtechnik, in denen Fehlfunktionen schwerwiegende Folgen haben können. Ein optimal geschirmtes Gehäuse reduziert solche elektromagnetischen Emissionen und schützt die internen Komponenten vor äußeren Störquellen. Zudem verhindert die Gehäuseschirmung eine elektrostatische Entladung (ESD), die durch plötzliche Spannungsüberschläge die Elektronik beschädigen kann. Eine hohe Schirmdämpfung des Gehäuses verbessert zudem die Abschirmwirkung der angeschlossenen, geschirmten Peripheriekabel. Weiterhin wird durch die erhöhte Schirmdämpfung des Gehäuses das Massesystem stabiler, was die Begrenzung transientser Überspannungen an den Peripheriefiltern des Geräts optimiert und die Filterdämpfung im Allgemeinen, insbesondere bei hohen Frequenzen (typ. > 300 MHz) erhöht. Die Schirmdämpfung beschreibt die Fähigkeit des Gehäuses, elektromagnetische Felder zu reduzieren. Diese Dämpfung wird durch das Gehäusematerial, seine Dicke und Bauweise bestimmt. Eine hohe Schirmdämpfung sorgt dafür, dass weniger elektromagnetische Strahlung nach außen dringt und die internen Komponenten besser vor äußeren Feldern geschützt sind. Zusätzlich erhöht eine starke Schirmdämpfung die Immunität des Geräts gegen externe elektromagnetische Störungen und verringert die Wahrscheinlichkeit, dass die internen Schaltungen durch äußere Felder beeinflusst werden oder Fehlfunktionen auftreten. Die Filterung und die Begrenzung von transienten Überspannungen ist eine ergänzende Maßnahme, die zur gezielten Dämpfung bzw. Reduzierung bestimmter Störpegel in Frequenzbereichen an Anschlusskabeln dient, die den geschirmten Raum verlassen. In Kombination mit der Gehäuseschirmung reduziert sie die Gesamtemission und erhöht die Störfestigkeit des Systems.

2.1 Gehäuseöffnungen und ihre Auswirkungen auf die Schirmdämpfung

Gehäuseöffnungen, wie etwa Lüftungsschlitze, Steckverbindungszugänge oder Bedienöffnungen, stellen potenzielle Schwachstellen für die elektromagnetische Schirmung dar. Da elektromagnetische Wellen durch diese Öffnungen austreten oder eindringen können, kann die Gesamtdämpfung eines Gehäuses erheblich beeinträchtigt werden. Der Grad dieser Beeinträchtigung hängt von verschiedenen Faktoren ab, einschließlich der Wellenlänge der Störstrahlung, der Größe und Form der Öffnungen sowie der Leitfähigkeit des Gehäusematerials. Im Folgenden werden diese Aspekte detaillierter erläutert.

2.2 Abhängigkeit der Leakage von der Wellenlänge und der Größe der Öffnung

Eine Öffnung im Gehäuse lässt elektromagnetische Strahlung vor allem dann durch, wenn deren Größe mit der Wellenlänge λ der einfallenden Strahlung vergleichbar ist oder größer. Der Zusammenhang zwischen der Größe der Öffnung d und der Wellenlänge λ wird durch die Formel:

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

$$d \geq \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

beschrieben. Öffnungen, deren Dimensionen d (m) kleiner als die halbe Wellenlänge $\lambda/2$ (m) der einfallenden Welle sind, lassen deutlich weniger Strahlung durch, da sie im Vergleich zur Wellenlänge relativ klein sind und die Felder dadurch effektiv abgeschwächt werden. Bei Öffnungen, die größer als die halbe Wellenlänge sind, nimmt die Dämpfung jedoch rapide ab, und die Öffnung wird zu einer bedeutenden Leckstelle. Für hohe Frequenzen (kleine Wellenlängen) sind daher selbst kleine Öffnungen problematisch, während bei niedrigeren Frequenzen (größere Wellenlängen) größere Öffnungen tolerierbar sind. Im ungünstigsten Fall beträgt bei einer Öffnung mit der Dimension $d = \lambda/2$ die Dämpfung 0 dB.

2.3 Einfluss der Leitfähigkeit und Wirbelströme im Material

Die Leitfähigkeit σ des Gehäusematerials spielt eine wichtige Rolle bei der Schirmdämpfung. Ein gut leitendes Material wie Kupfer oder Aluminium kann elektromagnetische Wellen wirksam reflektieren und absorbieren, was die Schirmwirkung des Gehäuses verbessert. Die Schirmdämpfung S eines Materials gegenüber elektromagnetischen Feldern ist unter anderem durch die Leitfähigkeit des Materials und die Eindringtiefe δ gegeben, die für das Material und die Frequenz spezifisch ist:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu \cdot \sigma}} \quad (2)$$

wobei:

- δ ist die Eindringtiefe des Wechselstroms im leitenden Material, (m);
- $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ ist die Kreisfrequenz, $\left(\frac{1}{s}\right)$;
- μ ist die magnetische Permeabilität des Materials, $\left(\frac{V \cdot s}{A \cdot m}\right)$;
- σ ist die elektrische Leitfähigkeit des Materials, $\left(\frac{1}{\Omega \cdot m}\right)$.

Je niedriger die Eindringtiefe δ , desto weniger elektromagnetische Strahlung dringt in das Material ein und desto besser ist die Schirmwirkung. Ein hoher Leitwert des Materials σ reduziert also die Eindringtiefe der Ladungsträger und erhöht damit die Reflexion elektromagnetischer Wellen an der Materialoberfläche, wodurch die Dämpfung verbessert wird.

2.4 Wirbelströme und deren Effekt auf die Schirmwirkung

Wenn elektromagnetische Wellen auf das leitende Material des Gehäuses treffen, werden Wirbelströme in der Oberfläche induziert. Diese Wirbelströme erzeugen magnetische Felder, die den einfallenden Feldern entgegenwirken und so eine zusätzliche Dämpfungswirkung bieten. Der Effekt der Wirbelströme ist frequenzabhängig: Bei höheren Frequenzen (kleinere Wellenlängen) werden stärkere Wirbelströme induziert, die stärker dämpfen. Die Gesamtdämpfung S_{WIRBEL} durch Wirbelströme lässt sich durch die Materialparameter wie Leitfähigkeit und Permeabilität berechnen. Für die induzierten Wirbelströme gilt:

$$S_{\text{WIRBEL}} = \alpha \cdot \frac{f \cdot d}{\sigma} \quad (3)$$

wobei:

- α ist ein Proportionalitätsfaktor, (einheitenlos);
- f ist die Frequenz der einfallenden Welle $\left(\frac{1}{s}\right)$;
- d ist die Dicke des Materials, (m);
- σ ist die elektrische Leitfähigkeit des Materials, $\left(\frac{1}{\Omega \cdot m}\right)$;

Je höher die Frequenz und die Materialleitfähigkeit sind, desto wirksamer ist die Dämpfung durch die induzierten Wirbelströme.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

2.5 Grundsätzliche Maßnahmen zur Reduktion der Emission durch Gehäuseöffnungen

Um die Leckage durch Öffnungen zu reduzieren, können leitfähige Dichtungen und Gittereinsätze verwendet werden. Diese Maßnahmen ermöglichen die notwendige Luft- und Signalübertragung, ohne die Schirmdämpfung stark zu beeinträchtigen:

- Leitfähige Dichtungen (z. B. aus metallisiertem Gewebe) schließen kleine Spalten und sorgen für einen kontinuierlichen elektrischen Kontakt zwischen den Gehäuseteilen. Dies minimiert die Feldkopplung an den Übergängen und reduziert die Abstrahlung.
- Gittereinsätze werden häufig für Lüftungsschlitze verwendet. Solche Gitter haben typischerweise eine Maschenweite, die deutlich kleiner als die halbe Wellenlänge der störenden Strahlung ist, und bieten daher eine elektromagnetische Barriere für elektromagnetische Wellen.

Durch eine sorgfältige Gestaltung und Auswahl der Materialien sowie eine Berücksichtigung der Frequenzen bzw. Wellenlängen der störenden Strahlung können die Leckage und damit die Gesamtschirmdämpfung des Gehäuses signifikant verbessert werden.

2.6 Der Zusammenhang zwischen Gehäuseschirmdämpfung und Kabelschirmdämpfung

Die Gehäuseschirmdämpfung und die Kabelschirmdämpfung wirken gemeinsam, um elektromagnetische Störungen zu minimieren. Dabei muss der Kabelschirm eines geschirmten Kabels an seinen beiden Enden niederimpedant an die Gehäusemasse angeschlossen werden, um eine wirksame Schirmdämpfung sowohl gegen elektrische als auch gegen magnetische Felder zu haben. Eine schlechte Gehäuseschirmung beeinflusst die Wirksamkeit der Kabelschirmung, da:

- Wirbelströme im Gehäuseschirmmaterial nicht vollständig kompensiert werden können;
- elektromagnetische Felder in das Gehäuse eindringen;
- das Gehäuse als Massebezug ein Störpotenzial aufweist;

und so der Kabelschirmanschluss keinen potenzialfreien Massebezug hat.

So kann sich bei unzureichender Schirmdämpfung des Gehäuses die effektive Kabelschirmdämpfung deutlich verschlechtern, da Störfelder entlang des Kabels ausgekoppelt werden.

Die Gesamtdämpfung S_{GESAMT} lässt sich mit dem Prinzip der Superposition abschätzen:

$$S_{\text{GESAMT}} = -10 \cdot \log_{10} (10^{-S_{\text{GEHÄUSE}}/10} + 10^{-S_{\text{KABEL}}/10}) \quad (4)$$

Durch diese Formel wird deutlich, dass die Gesamtdämpfung bei schlechter Gehäusedämpfung erheblich sinkt, da die Wirksamkeit der Kabelschirmdämpfung nicht voll zur Geltung kommen kann. Ein Gehäuse mit hoher Schirmdämpfung hat im Allgemeinen auch ein stabiles Massepotential. Ein stabiles Massepotential zwischen Gehäuse und Kabelschirm ist entscheidend für eine kontinuierliche Abschirmwirkung. Wenn das Gehäuse und der Kabelschirm auf unterschiedlichen Potenzialen liegen, können Gleichtaktstörungen entstehen, die als unerwünschte Störströme entlang des Kabels wirken. Diese Störungen mindern die Kabelschirmdämpfung und verstärken die Kopplung von Störsignalen. Ein sauberer, niederimpedanter Massekontakt an der Übergangsstelle von Gehäuse zu Kabelschirm ist entscheidend, um eine konstante Abschirmwirkung zu gewährleisten.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

2.7 Kabelschirmanschlüsse und ihre Rolle für die Gesamtschirmung

Ein weiterer kritischer Punkt für die Gehäuseschirmung sind die Kabelschirmanschlüsse. Da Kabel das Gehäuse durchbrechen, können sie als Antennen für elektromagnetische Störungen fungieren. Eine robuste, niederimpedante Verbindung des Kabelschirms mit dem Gehäuse ist notwendig, um Störsignale wirksam abzuleiten. Diese Maßnahme reduziert die Kopplung von Störungen über das Kabel in das Gehäuse oder umgekehrt und stellt eine wichtige Ergänzung zur Gehäuseschirmung dar, d. h. der Qualität des Steckverbinders und dessen Kontakt zum Gehäuse kommt hier eine entscheidende Rolle zu. Zudem werden häufig an Schnittstellen Filter vorgesehen, die hochfrequente Störanteile dämpfen und/oder die Signalintegrität verbessern sollen. Diese Filter benötigen eine Bezugsmasse, die kein Störpotenzial aufweisen darf. Häufig entstehen Störpotenziale wegen unzureichender Verbindungen einzelner Gehäusekomponenten- oder durch Wirbelströme in zu dünnen Schirmmaterialien. Wirbelströme sind induzierte Ströme, die entstehen, wenn elektromagnetische Felder auf leitende Materialien treffen. Sie bilden kreisende Ströme, die ihrerseits magnetische Felder erzeugen und die Schirmdämpfung sowohl des Gehäuses als auch des Kabelschirms beeinträchtigen können. Wenn sich diese Wirbelströme unkontrolliert über das Gehäuse verteilen, können sie bei unsachgemäßem Kabelanschluss Störungen entlang des Kabels verursachen. Eine hochwertige Materialauswahl und eine gute Masseverbindung sind erforderlich, um die Auswirkungen von Wirbelströmen zu minimieren und eine durchgängige Abschirmung sicherzustellen. Das Verhindern von unkontrollierten Wirbelströmen kann eine zusätzliche Dämpfungswirkung bieten, wodurch die Schirmdämpfung im Gesamtsystem gesteigert wird.

3. EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DER GEHÄUSESCHIRMUNG UND ABHILFEMAßNAHMEN

Im folgenden Abschnitt werden die zuvor erläuterten Parameter und Zusammenhänge durch einfache Laborexperimente anschaulich demonstriert. Dabei wird der Einsatz von mechanischen Abhilfemaßnahmen zur Reduktion von Störemissionen aufgezeigt, die keine Eingriffe in die Elektronik erfordern. Die Wirksamkeit dieser Maßnahmen wird experimentell mittels Feldsonden und Antennen überprüft.

3.1 Evaluierung von Gehäuseschwächen und der Zusammenhang mit der Kabelschirmdämpfung

Systemvorbereitungen, Prüfaufbau

Die Versuchsschritte zeigen, welche Maßnahmen notwendig sind, um ein Gehäuse mit einem über Sub-D-Steckverbinder angeschlossenen Peripheriekabel elektromagnetisch verträglich (EMV-gerecht) zu gestalten. Zusätzlich wird die Schirmungsqualität verschiedener Kabel, insbesondere [RS232](#)-Kabel, betrachtet und bewertet. Den Versuchsaufbau zur Bewertung von Gehäuseschirmdämpfung und Kabelschirmdämpfung zeigt Abbildung 1.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

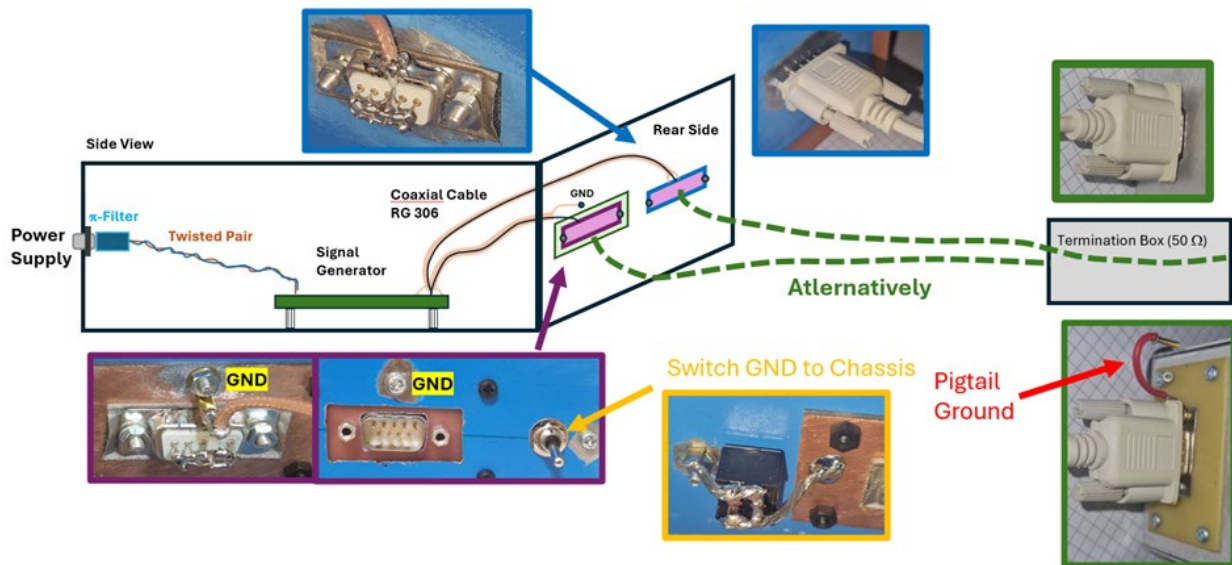


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Bewertung der Gehäuseschirmdämpfung zusammen mit der Kabelschirmdämpfung.

Das Gehäuse enthält einen Signalgenerator, der ein Kammspektrum im Frequenzbereich zwischen 10 MHz und ca. 500 MHz erzeugt. Das Signal wird über eine 50-Ω-Impedanz auf beide D-Sub-Steckverbinder (WR-DSUB, Nr. [61800925023](#)) auf alle 9 Pins gelegt. Der Sub-D-Steckverbinder auf der linken Seite des Gehäuses ist mit seiner Masse isoliert befestigt und kann mittels eines Kippschalters „niederimpedant“ mit der Gehäusemasse verbunden werden. Der rechte Steckverbinder ist „ideal“ an das Gehäuse angeschlossen. Um eine Rundumkontaktierung zu gewährleisten, wurde zwischen Steckverbinder und Gehäuse eine leitende Dichtung (WE-LTS, Nr. [34150209](#)) verwendet. Der Abschluss des geschirmten 9-poligen Kabels erfolgt an einer Abschlussbox, im Bild rechts dargestellt, die wiederum einen an das Gehäuse „ideal“ kontaktierten Steckverbinder und einen isolierten umfasst. Der isolierte Steckverbinder kann mit seiner Masse über einen ca. 30 mm langen Draht (Pigtail) am Gehäuse geerdet werden.

Um Schirmdämpfungseffekte und -einflüsse darstellen zu können, ist es notwendig, dass das Basisgehäuse, das den Signalgenerator enthält eine hohe Schirmdämpfung aufweist. Für eine hohe Schirmdämpfung des Gehäuses müssen die einzelnen lackierten Gehäusekomponenten miteinander verbunden werden. Diese Maßnahme ist in Abbildung 2 gezeigt.

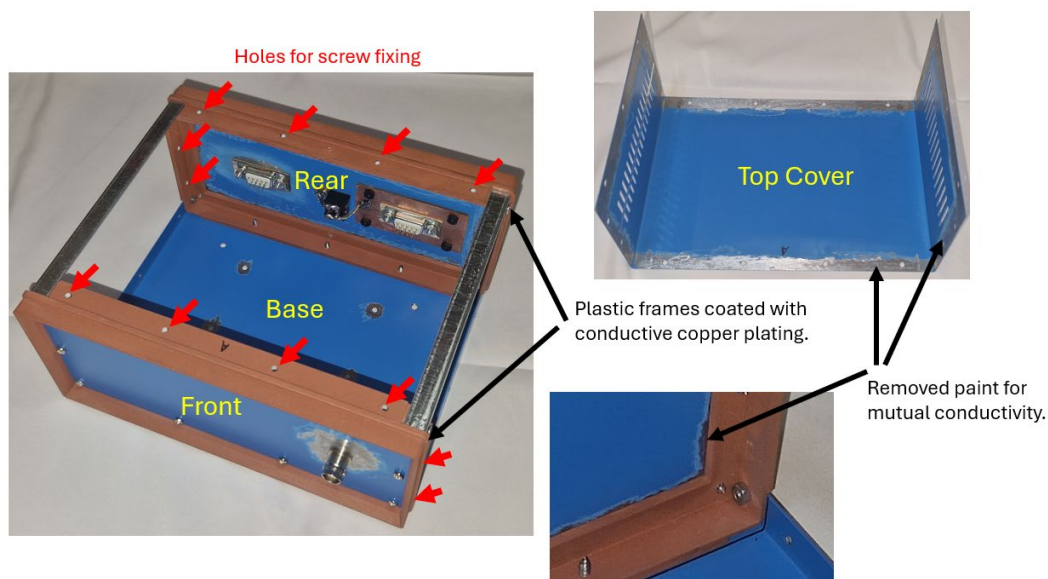


Abbildung 2: Erhöhen der Schirmdämpfung des Gehäuses durch das Verbinden der im ursprünglichen Gehäuse isolierten Einzelkomponenten.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

Die Kunststoffrahmen wurden mit Kupferleitlack beschichtet, die Oberflächen an den Rändern der Blechteile abgeschliffen und zur Reduzierung der Spaltlängen wurden zusätzliche Schraublöcher vorgesehen, die die Gehäusewanne mit dem Deckel alle 50 mm verbinden.

Messungen zur Schirmdämpfung

Der Aufbau zur Messung ist in Abbildung 3 gezeigt.

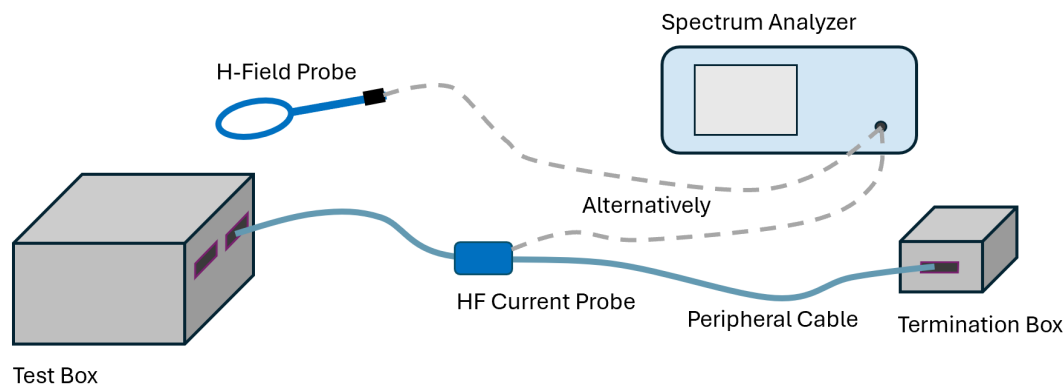


Abbildung 3: Aufbau zur Messung der Schirmdämpfung des Gehäuses und des Kabels.

Zur Beurteilung von Maßnahmen und Effekten, wie Schirmdämpfung des Gehäuses und der Kabel wurden zwei Messverfahren angewendet.

- Messung mit einer H-Feldsonde und einem Spektrumanalysator.
- Messung mit Stromzange über dem Peripheriekabel und einem Spektrumanalysator.

Um die Einflüsse auf die Schirmdämpfung des Systems darzustellen, wurde ein geschirmtes, einadriges Kabel verwendet. Als Vergleich wurden Messungen unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt, deren Ergebnisse in den folgenden Abbildungen dargestellt sind.

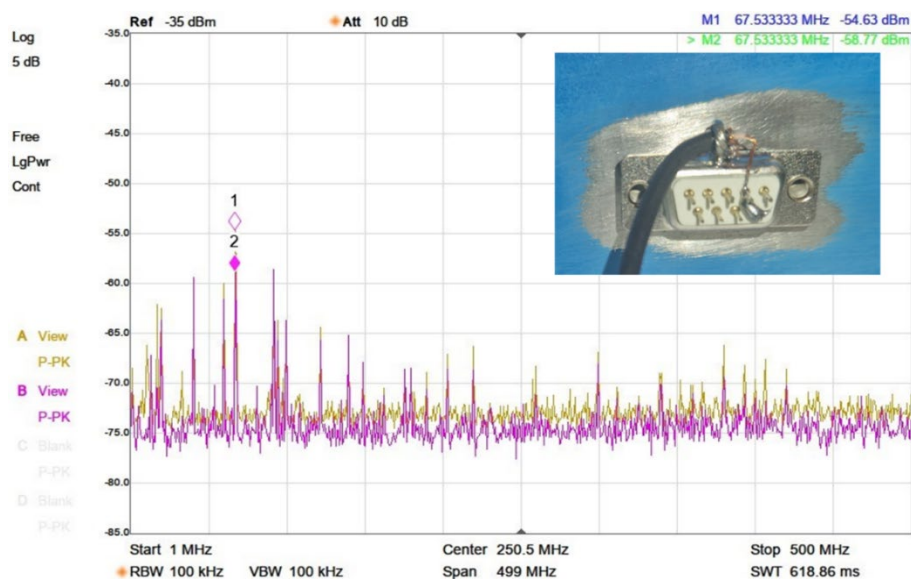


Abbildung 4: Emission des einadrigen geschirmten Kabels. Steckverbinder (SUB-D) beider Gehäuse direkt am Gehäuse kontaktiert, gelbe Kurve: Gehäuse offen, lila Kurve: Gehäuse geschlossen.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

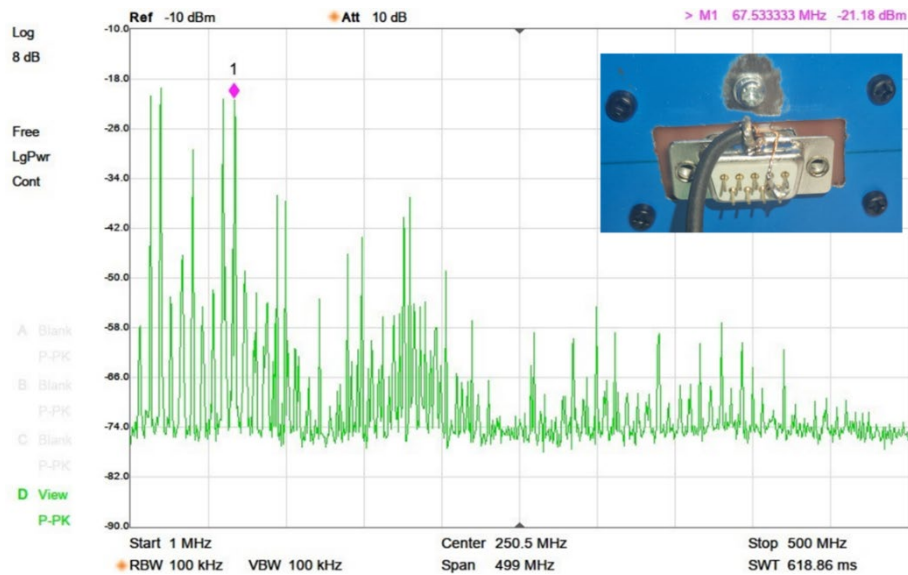


Abbildung 5: Emission des einadrigen geschirmten Kabels. Schirm des Sub-D-Steckverbinders an der Test-Box nicht am Gehäuse kontaktiert. Gehäuse geschlossen.

Die Messergebnisse zeigen, dass bei beidseitig HF-gerecht angeschlossenen Kabelschirm die höchste Schirmdämpfung erreicht wird. Wird das Gehäuse rundumkontaktierend geschlossen, wird eine um ca. 4 – 7 dB höhere Kabel-Schirmdämpfung erreicht (Abbildung 4). Wenn die Masse des Steckverbinders an der Test-Box vom Gehäuse isoliert wird, erhöht sich der Störpegel um bis zu 40 dB (Abbildung 5). Bei isoliertem Steckverbinder, was auch einem nicht angeschlossenen Kabelschirm entspricht, ist es für die Emission der Störungen über das Kabel unwesentlich, ob das Gehäuse geöffnet, oder geschlossen ist (Abbildung 6). Es zeigt sich, dass die Summe der Maßnahmen notwendig ist, um die elektromagnetische Verträglichkeit zu gewährleisten. Es ist „sinnlos“, ein perfekt geschirmtes Kabel an ein Gehäuse anzuschließen, dessen Schirmdämpfung gering ist, genauso wie es sinnlos ist, ein ungenügend geschirmtes Kabel mit einem Gehäuse mit hoher Schirmdämpfung zu kombinieren.

Um eine hohe Schirmdämpfung eines Gehäuses zu erreichen und es wirksam gegen elektromagnetische Störungen abzuschirmen, ist eine Kombination aus verschiedenen Maßnahmen erforderlich. Materialien wie Stahl oder Aluminium bieten eine hohe Schirmdämpfung. Dickere Wände erhöhen die Dämpfung. Alle Gehäusekanten, Öffnungen und Verbindungen sollten nahtlos gut überlappt sein, um Leckstellen zu vermeiden, durch die elektromagnetische Wellen austreten oder eintreten könnten und um durch elektromagnetische Felder induzierte Wirbelströme zu kompensieren. An Übergängen zweier Blechteile sollten leitfähige Dichtungen (z. B. mit leitfähigem Gewebe beschichtete Dichtungen, [WE-LT Conductive Shielding Gasket](#)) verwendet werden, um Spalte abzudichten und die Schirmdämpfung zu erhöhen. Beschichtungen wie leitfähige Lacke, Galvanik oder Plattierungen auf Kunststoffteilen des Gehäuses können die Abschirmung erheblich verbessern.

Eine hohe Schirmdämpfung eines Peripheriekabels, die für eine wirksame Abschirmung gegen elektromagnetische Störungen notwendig ist, lässt sich durch die Kombination verschiedener Maßnahmen erzielen. Ein engmaschiges Kupfer- oder Aluminiumschirmgeflecht bietet eine hohe Schirmdämpfung, da es eine gute Abdeckung und Leitfähigkeit bietet. Eine zusätzliche Schirmung aus Aluminium- oder Kupferfolie kann elektromagnetische Störungen im höheren Frequenzbereich effizienter abschirmen und verbessert die Gesamtabschirmung; Voraussetzung ist jedoch, dass die Folie aus elektrisch leitfähigem Material besteht. Ein niederimpedanter Übergang von der Kabelschirmung über den Steckverbinder zum Gehäuse ist wichtig, um die Schirmdämpfung überhaupt zu gewährleisten. Steckverbinder sollten sorgfältig mit dem Schirm verbunden werden und eine lückenlose Verbindung sicherstellen, um Leckstellen für elektromagnetische Strahlung zu vermeiden. Ein einseitig an Masse angeschlossener Kabelschirm dämpft nur elektrische Felder, nicht jedoch die magnetische Feldkomponente.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

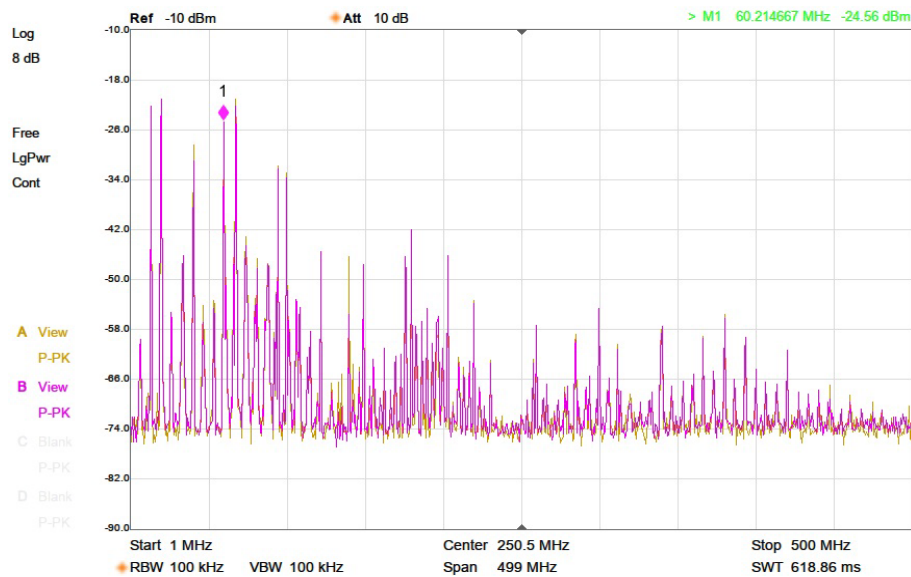


Abbildung 6: Emission des einadrigen geschirmten Kabels. Schirm des Sub-D Steckverbinders an der Test-Box nicht am Gehäuse kontaktiert. Gelb: Gehäuse geschlossen, pink: Gehäuse offen.

Im Folgenden werden verschiedene am Markt erhältliche Kabel miteinander verglichen. Die nachstehenden Abbildungen bieten eine nahezu selbsterklärende Übersicht.

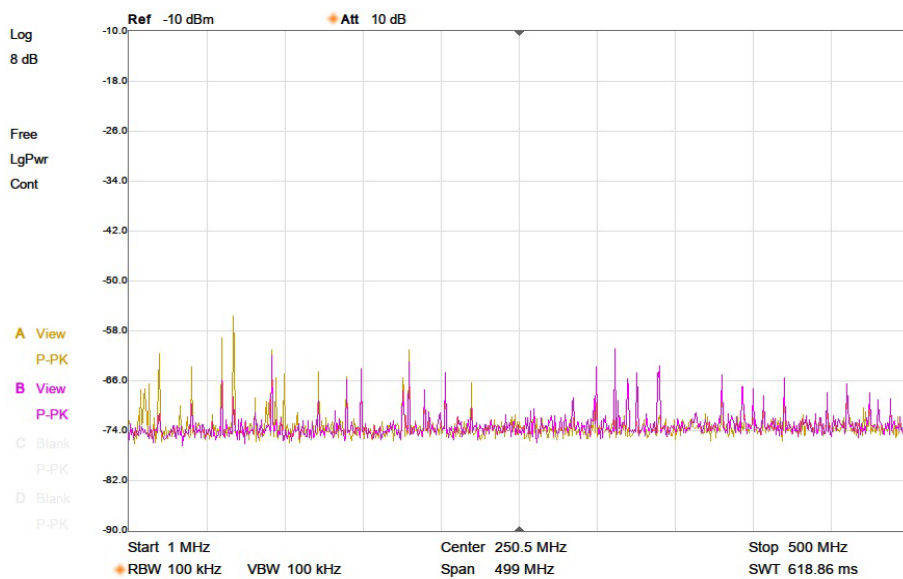


Abbildung 7: Schirmdämpfung, gelb: Einadriges, geschirmtes Kabel, pink: doppelt geschirmtes Signalkabel.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

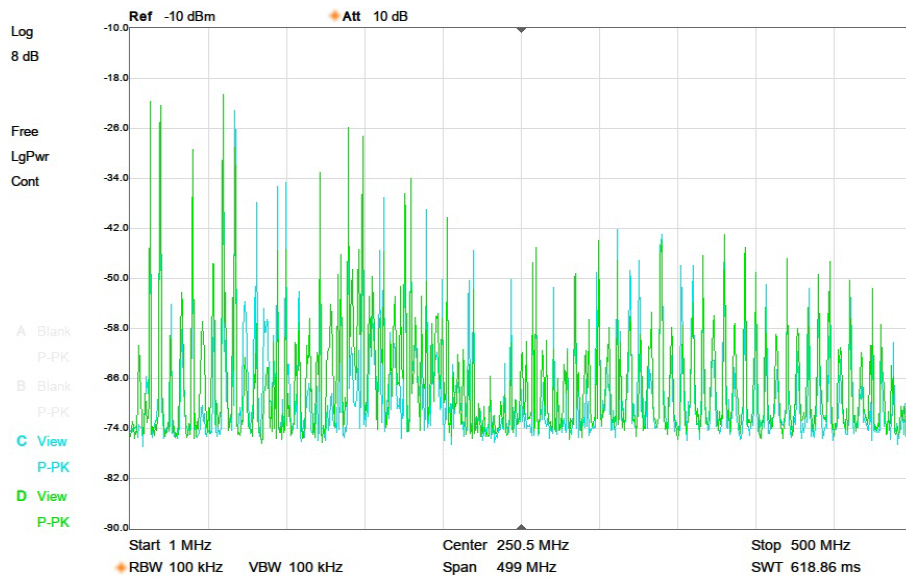
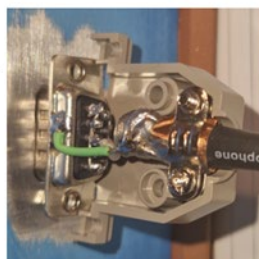


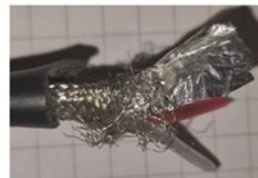
Abbildung 8: Schirmdämpfung, blau: Namhafter, in Elektromärkten verfügbarer Hersteller, grün: Asiatischer Online-Handel.



Single-wire,
shielded signal
cable



Two-wire, double-shielded
signal cable



Cable, well-known manufacturer available in
electrical markets, non-conductive foil screen



Asian online shop, cable unshielded

Abbildung 9: Kabel, die für die Messungen in Abbildung 7 und Abbildung 8 verwendet wurden.

Es sollte nicht unerwähnt bleiben: natürlich können die entsprechenden Kabel-Schnittstellen mit Filtern versehen werden, die jedoch wiederum eine störfreie Referenzmasse benötigen, um die notwendige Dämpfung zu erreichen. Die nächsten Messungen zeigen diese Tatsache deutlich. In Abbildung 10 wurde das ungeschirmte Kabel an einen Steckverbinder angeschlossen, dessen Masse mit dem Gehäuse HF-gerecht verbunden ist.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

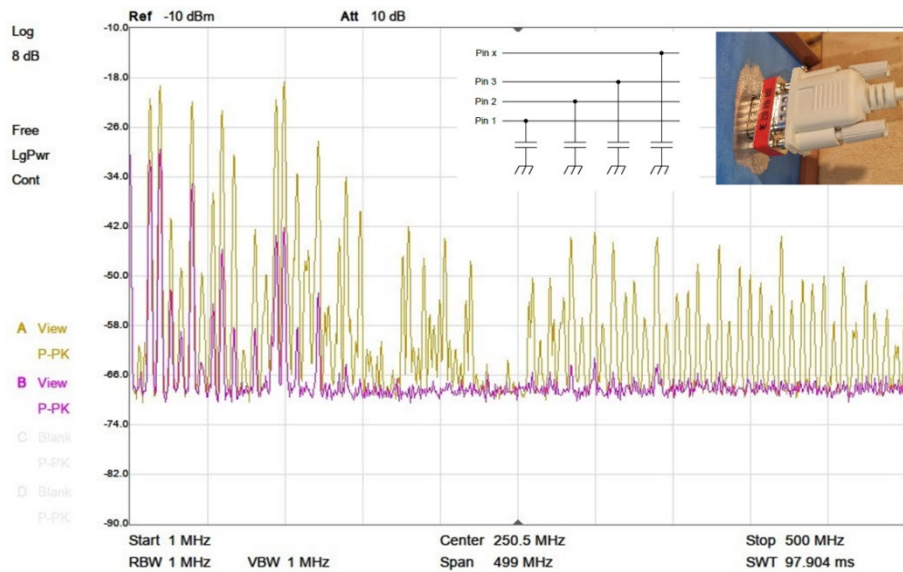


Abbildung 10: Emission des einadrigen geschirmten Kabels. Steckverbinder (SUB-D) beider Gehäuse direkt am Gehäuse kontaktiert, gelbe Kurve: Gehäuse offen, lila Kurve: Gehäuse geschlossen.

Um die Notwendigkeit einer niederimpedanten Bezugsmasse zu zeigen, wurde ein Aufsteckfilter WE [230016003](#) zwischen Schnittstelle und Kabel geschaltet. Im Aufsteckfilter ist je PIN ein Kondensator ($C_x = 1 \text{ nF}$) gegen Masse geschaltet, die Schaltung des Filters ist in Abbildung 10 gezeigt. Der Filter dämpft die Störamplituden um bis zu 25 dB.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

Wird der Filter hingegen an einem Steckverbinder verwendet, dessen Masse nicht an das Gehäuse angeschlossen ist, ergibt sich das Resultat nach Abbildung 11.

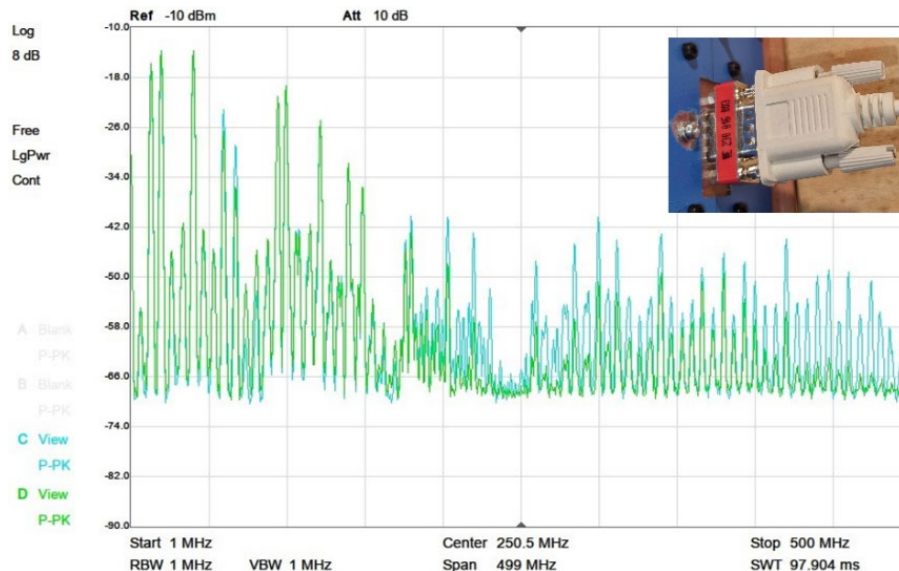
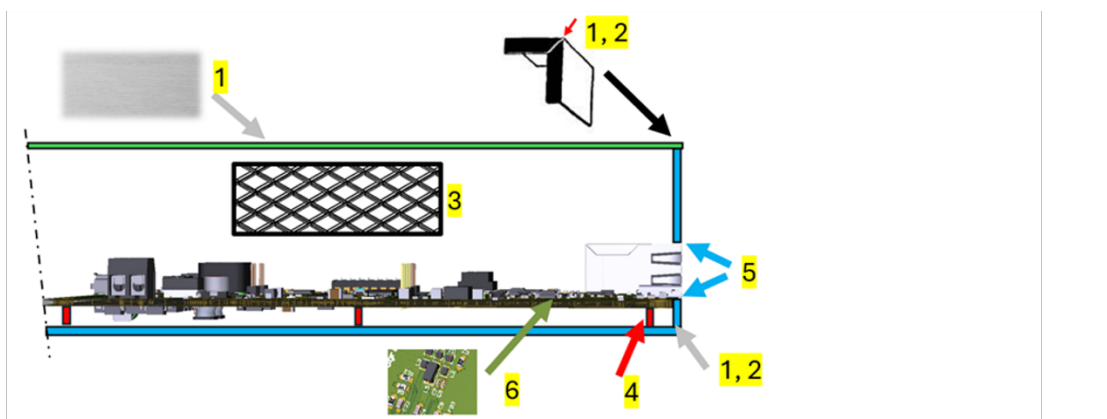


Abbildung 11: Emission des einadrigen geschirmten Kabels. Schirm des Sub-D-Steckverbinders an der Test-Box nicht am Gehäuse kontaktiert. Gehäuse geschlossen.



- 1. Metalloberfläche:** Muss an allen Kontaktpunkten gut leiten, ohne Oxidation.
- 2. Gehäuseteile, Abdeckung:** Nahtlos, gute Leitfähigkeit, allseitiger Kontakt.
- 3. Lüftungsgitter:** Metall, kleine Öffnungen, Oberfläche so klein wie möglich, nahtlos mit dem Gehäuse verbunden.
- 4. Metallschrauben:** Hochleitfähige Verbindung der Elektronikmasse mit dem Gehäuse.
- 5. Allseitiger Kontakt** zwischen der Masse des Steckverbinders und dem Gehäuse.
- 6. Filter der Schnittstelle:** Die primäre Bezugsmasse ist die Masse des Steckverbinders.
- 4. + 5. + 6.:** Direkte, niederohmige, galvanische Verbindung miteinander.

Abbildung 12: Zusammenfassung der Punkte, die für ein EMV-gerechtes Gehäuse-, bzw. Systemdesign notwendig sind.

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Aufsteckfilter nahezu keine Wirkung zeigt. Die Dämpfung im höheren Frequenzbereich ist auf zufällige Resonanzerscheinungen und kapazitiven Effekte zurückzuführen, die sich je nach Kabel ändern können.

Ein weiterer Punkt, der erwähnt werden sollte: Es macht Sinn Kabelschnittstellen mit Filtern zu versehen, die zusätzlich einen Schutz gegen transiente Überspannung bieten. Hierzu können Vielschichtvaristoren oder TVS-Dioden mit, oder anstelle der

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

Kondensatoren mit einem in Serie geschalteten SMD-Varistor, oder einer Induktivität verwendet werden. Mehr Informationen hierzu bieten zahlreiche Applikationsschriften auf der WE-Internetseite.

Abbildung 12 zeigt zum Abschluss dieses Kapitels eine Zusammenfassung der Punkte, die für ein EMV-gerechtes Gehäuse-, bzw. Systemdesign notwendig sind.

3.2 Dämpfung einer Emissionsquelle auf der elektronischen Leiterplatte durch Absorberfolie (EMI-Patch)

EMI-Absorberfolie, auch EMI-Patch genannt, wird verwendet, um lokale hochfrequente elektromagnetische Emissionsherde zu dämpfen, oder sensible Schaltkreise vor elektromagnetischen Störungen zu schützen, die zu Fehlfunktionen führen könnten. Diese Patches bestehen in der Regel aus zwei Schichten, einer elektrisch leitenden wie einer Metallfolie und einer weiteren Schicht aus HF-absorbierendem Material wie Ferrit. EMI-Patches bieten eine flexible und wirksame Lösung für die Bewältigung elektromagnetischer Störungen, insbesondere in Situationen, in denen schnelle Abhilfe oder Änderungen ohne größere Umgestaltungen erforderlich sind. In folgenden Fällen ist die Verwendung einer Absorberfolie eine schnelle und elegante Lösung:

- Abschirmung empfindlicher Komponenten: Wenn bestimmte Komponenten in einem Schaltkreis besonders empfindlich auf elektromagnetische Umgebungsstörungen reagieren und einen lokalen Schutz benötigen. Beispiele sind hier die Abschirmung von Schnittstellen, Drähten auf Baugruppen, Leiterbahnen und Filter.
- Behebung von EMV-Problemen in bereits bestehenden Designs: Wenn ein elektronisches Gerät bereits entwickelt wurde und bei Tests EMV-Probleme entdeckt werden, können EMI-Patches angewendet werden, um diese Probleme zu entschärfen, ohne dass das gesamte System neu entwickelt werden muss.
- Verbesserung der Abschirmung von Gehäusen: Wenn die bestehende Abschirmung eines elektronischen Gehäuses (z. B. eines Metallgehäuses) unzureichend ist, können EMI-Patches zur Abdeckung von Nähten, Fugen oder anderen Schwachstellen, an denen elektromagnetische Energie ein- oder austreten könnte, angebracht werden.
- Reparaturen und Nachrüstungen vor Ort: In Situationen, in denen Geräte im Einsatz sind und EMV-Probleme entdeckt werden, können EMI-Patches als schnelle Lösung verwendet werden, um die Abschirmung zu verbessern, ohne dass eine umfangreiche Demontage oder Modifikation erforderlich ist.
- Vorübergehende Abschirmung bei der Prototypenerstellung: Während der Entwicklungs- und Prototypen-Phase können EMI-Patches vorübergehend verwendet werden, um die Wirksamkeit der Abschirmung zu testen, bevor ein endgültiges Design festgelegt wird.

Das Funktionsprinzip des EMI-Patches beruht auf der Tatsache, dass eine Leiterbahn, oder ein elektronischer Baustein (IC), die von AC-Strömen durchflossen wird, ein magnetisches Streufeld erzeugt, wie es in Abbildung 13 für ein IC dargestellt ist.

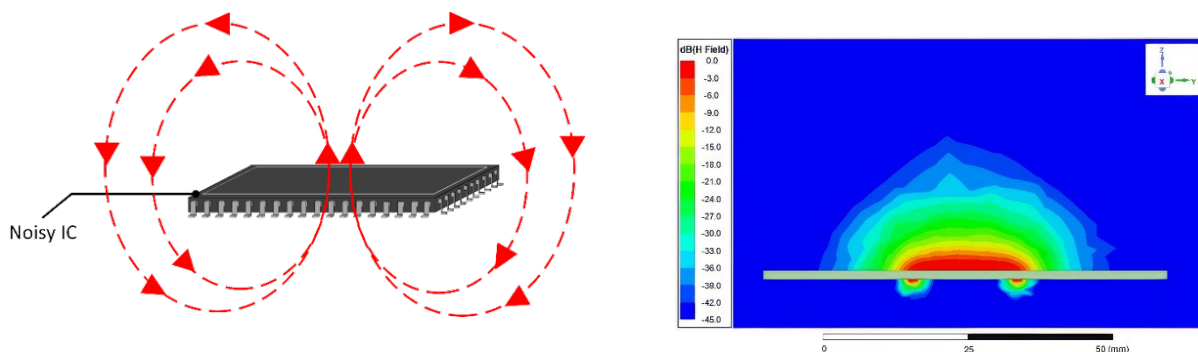


Abbildung 13: IC mit umgebendem magnetischen Streufeld (links schematisch, rechts auf einer Leiterplatte).

Das den Chip umgebende magnetische Feld kann leicht in benachbarte Stromkreise, oder andere ICs einkoppeln, aber auch in Schnittstellenbereiche, Filter, Massezuführungen und so vom Gerät als Gleichtaktstörung abstrahlen. Dieser Mechanismus ist umkehrbar, d.h. Fremdstörer können so auch in den Schaltkreis gelangen und dort zu Fehlfunktionen führen.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

Durch eine mechanische Abschirmung, die eine elektromagnetische Barriere bildet, kann das Feld in seiner Ausbreitung reduziert werden. Eine Möglichkeit bietet eine hybride Absorberfolie, wie in Abbildung 14 gezeigt.

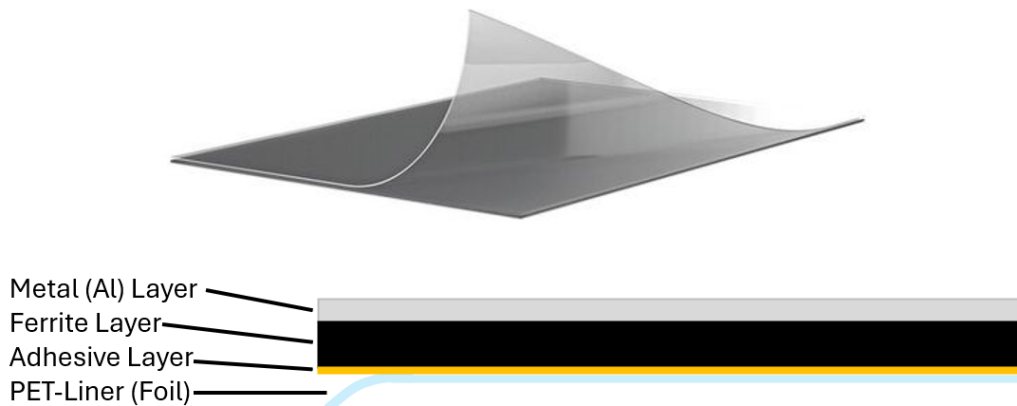
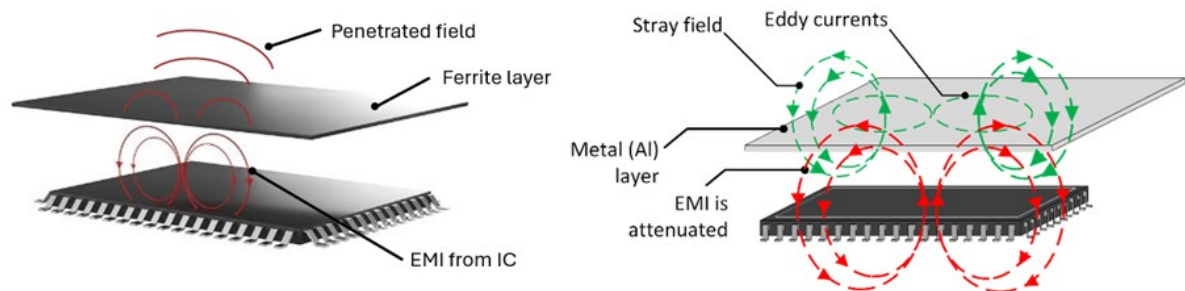
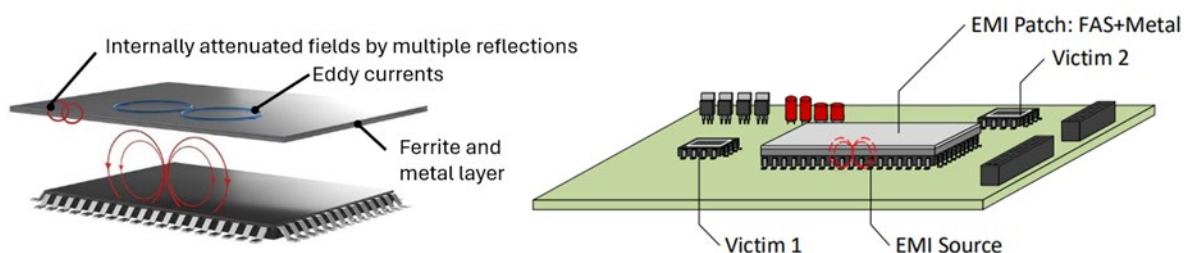


Abbildung 14: Hybride Absorberfolie, (EMI-Patch: WE-EMIP [371100](#), WE-EMIP [371000](#)).

Die hybride Absorberfolie kombiniert Absorbermaterial mit einer Aluminiumschicht (Abbildung 14) und lässt sich dank einer Klebeschicht leicht aufbringen. Diese Kombination ermöglicht durch Mehrfachreflexionen eine höhere Dämpfung der Streufelder im Vergleich zu reiner Ferritfolie. Wird die Folie allein mit einer magnetischen Permeabilität im Bereich von $\mu_r = 100$ eingesetzt, dämpft sie elektromagnetische Störungen effektiv. Die Metallschicht trägt zusätzlich zur Dämpfung bei, indem sie Wirbelströme erzeugt, die durch die Ferritfolie dringen und magnetische Streufelder verursachen könnten. Ein Großteil dieser Felder wird durch die Folie zurück in das Absorbermaterial reflektiert und dort gedämpft. Wird die Metallschicht mit GND verbunden, fungiert sie als Abschirmung gegen elektrische Felder. Die Folie ist sowohl in isolierter als auch nicht isolierter Version erhältlich, wobei die nicht isolierte Version die erwähnte GND-Verbindung ermöglicht. Die Funktion des Abschirmmechanismus ist in Abbildung 15 dargestellt.



Wird die Absorberschicht allein verwendet (links), dämpft sie die elektromagnetischen Störungen, ein Teil durchdringt jedoch die Absorberschicht. Wird eine Metallfolie allein verwendet (rechts), entstehen Wirbelströme (Eddy currents), die ein Streufeld generieren.



Durch die Kombination von Ferritfolie und Metallfolie wird durch Absorption und interne Reflexion die elektromagnetische Strahlung der Quelle stark reduziert.

Abbildung 15: Darstellung der Funktion eines EMI-Patches.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

3.3 Aufbau zur Evaluierung der Wirksamkeit des EMI-Patches

Zur Evaluierung der Wirksamkeit des EMI-Patches wurden Experimente durchgeführt. Hierzu wurde ein breitbandiges Signal in eine Prüfliterplatte eingespeist, die zum Aufzeigen der Wirksamkeit der Patches ein T-Filter und verschiedene gekoppelte und offene Leiterbahnstrukturen hat. Den Messaufbau zeigt Abbildung 16.

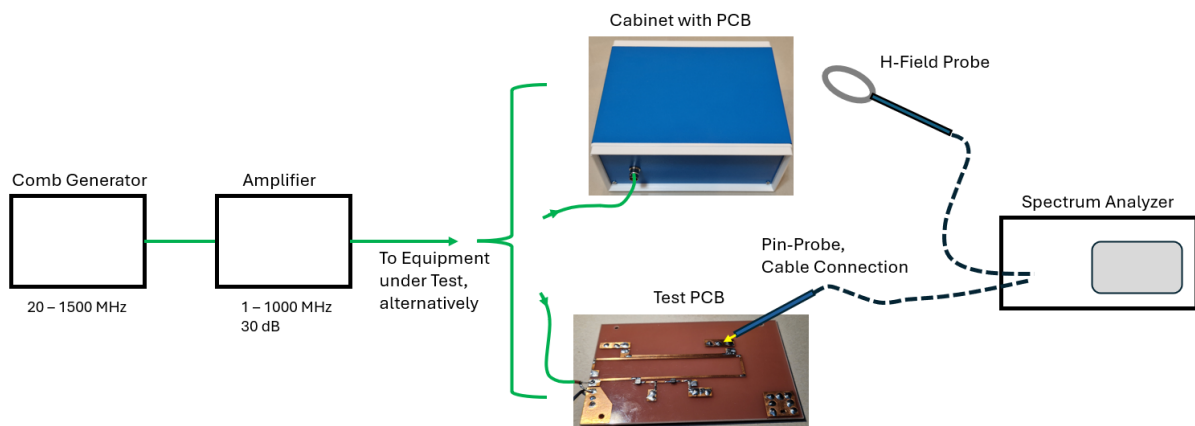


Abbildung 16: Messaufbau mit Kammgenerator, Verstärker und Spektrumanalysator.

Ein Kammgenerator erzeugt ein Spektrum von diskreten Amplituden im Frequenzbereich zwischen 20 und 1500 MHz, ein nachfolgender Verstärker hebt den Pegel des Signals bis 1000 MHz um 30 dB an, sodass der Pegel stark genug ist, um bei den Prüfungen eindeutige Ergebnisse zu erhalten. Das verstärkte Kammspektrum ist in Abbildung 17 dargestellt.

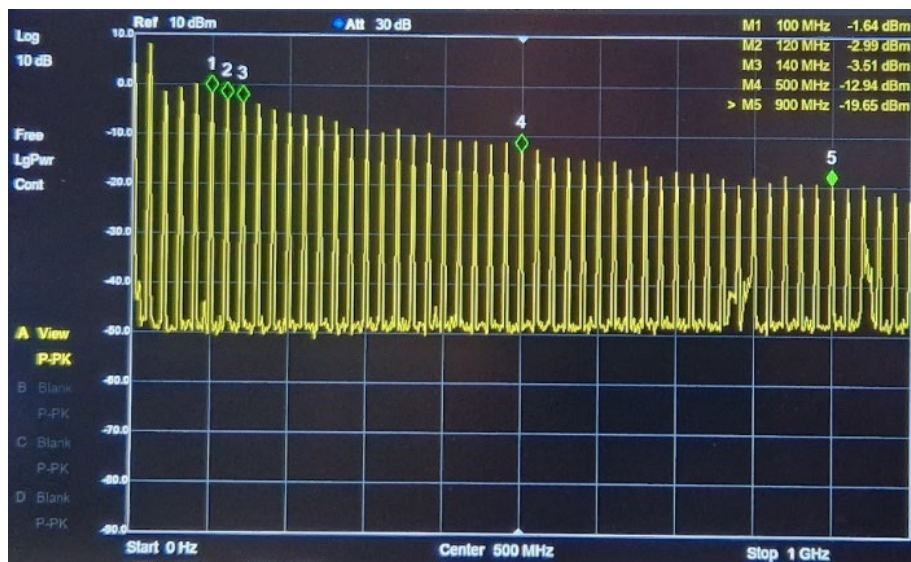


Abbildung 17: Spektrum der Signalquelle (Kammgenerator und Verstärker).

Bei dem Gehäuse handelt es sich um ein „online“ erworbenes Stahlblechgehäuse, bestehend aus einer Bodenwanne und einer U-förmigen Abdeckung; beide rundum mit blauer Kunstharzfarbe lackiert. Die Vorder- und die Rückseite sind in weiße Kunststoffrahmen eingelegt, sodass alle Komponenten voneinander elektrisch isoliert sind und eine HF-taugliche Schirmung nicht erwartet werden kann.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

Mit einem Spektrumanalysator, einer PIN-Probe und einer H-Feldsonde können die HF-Pegel auf der Leiterplatte und am Gehäuse gemessen werden. Die experimentell aufgebaute Leiterplatte zeigt Abbildung 18.

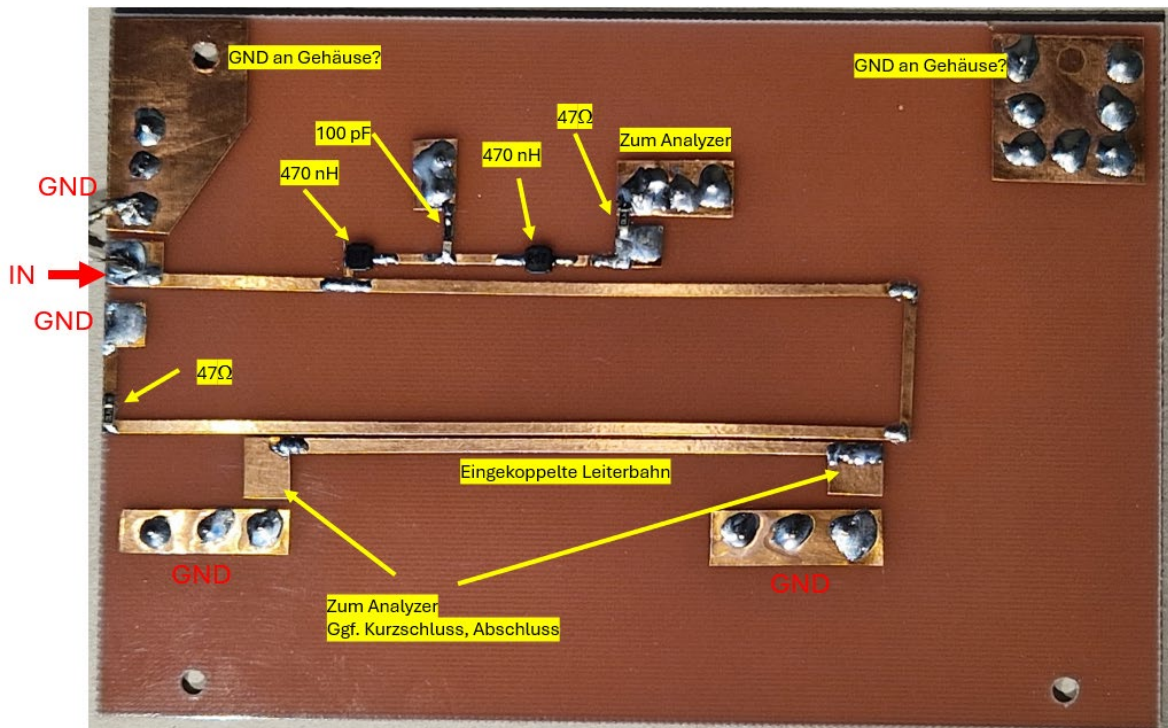


Abbildung 18: Testleiterplatte, T-Filter: L_1, L_2 : 470 nH, WE-LQS, Nr. 744040410047, C_1 : 100 pF, WCAP-CSGP, Nr. 885012007082.

Im oberen Bereich der Baugruppe ist ein T-Tiefpass-Filter mit einer Grenzfrequenz bei ca. 36 MHz aufgebaut. Der mittlere Bereich enthält eine Leiterschleife, die mit einem 47- Ω -Widerstand abgeschlossen ist, und im unteren Bereich ist eine beidseitig offene Leiterbahn im Abstand von 0,4 mm zur Leiterschleife angeordnet. In Abbildung 19 ist zur Verdeutlichung der Schaltplan der Testleiterplatte gezeigt.

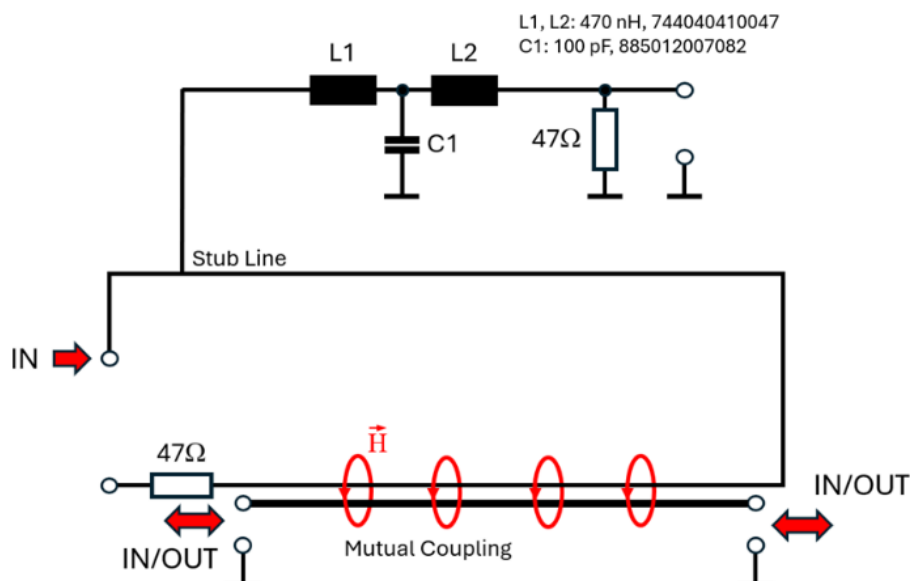


Abbildung 19: Schaltplan, Funktionsplan der Testleiterplatte nach Abbildung 18.

Die Einfügedämpfung im Frequenzbereich zwischen 20 MHz und 100 MHz zeigt Abbildung 20, in Abbildung 21 ist die Dämpfung bis 1 GHz dargestellt. Die Einfügedämpfung wurde mit einem Netzwerkanalysator im 50- Ω -System gemessen.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

Es zeigt sich im Filterbereich ab ca. 400 MHz eine starke Abnahme der Filterdämpfung, der Unterschied zwischen der Dämpfung bei ca. 100 MHz und 1 GHz beträgt über 18 dB. Ein Teil der Dämpfungsverluste ist auf parasitäre Effekte der Bauelemente zurückzuführen. Ein weiterer Anteil entsteht jedoch durch die direkte „Überkopplung“ zwischen Ein- und Ausgang, die durch die hohe Impedanz des T-Filters sowie die räumliche Nähe der Leiterbahnschleifen auf der Ein- und Ausgangsseite begünstigt wird.

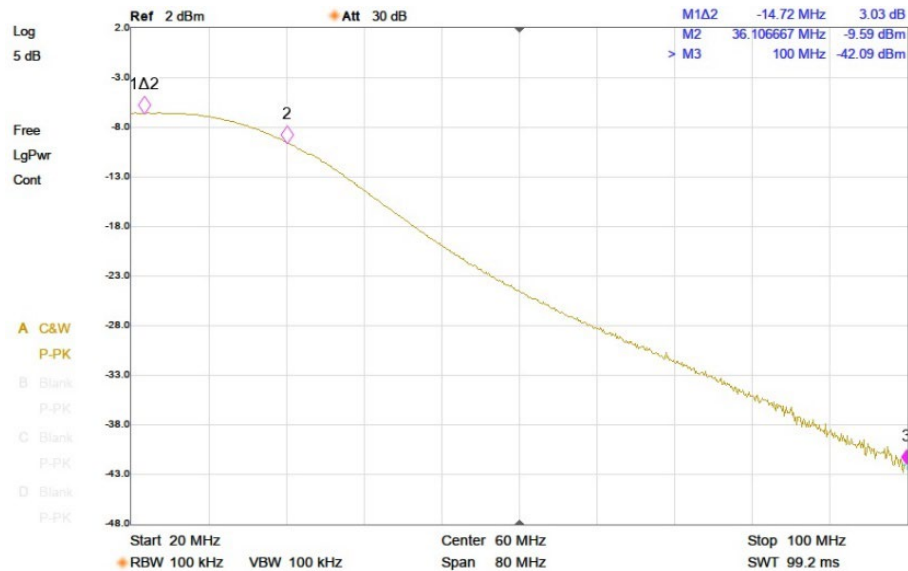


Abbildung 20: Einfügedämpfung des T-Filters nach Abbildung 19 bis 100 MHz.

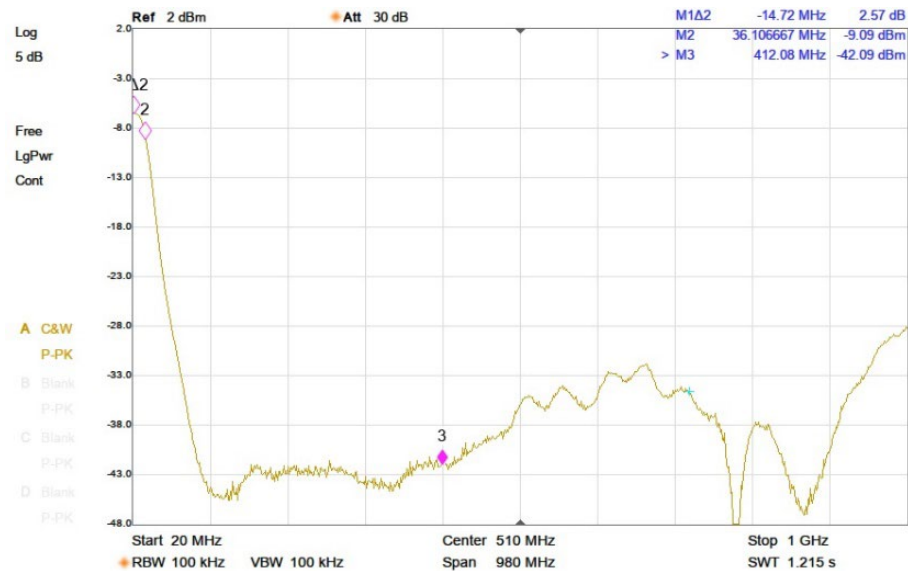


Abbildung 21: Einfügedämpfung des T-Filters nach Abbildung 19 bis 1000 MHz.

3.4 Messungen der Wirksamkeit der EMI-Patches

Die erste Maßnahme, dargestellt in Abbildung 22, besteht in der Verwendung eines isolierten EMI-Patches. Die Einfügedämpfung des T-Filters wurde durch das Aufbringen von 3 Patches erhöht. Die Messungen auf der Leiterplatte wurden direkt mit einer Pin-Probe durchgeführt, wie Abbildung 22 zeigt.

Die Einfügedämpfung des Filters verbessert sich durch das Aufbringen der EMI-Patches durch folgende zwei Effekte:

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

- Reduktion von Reflexionen, die durch Fehlanpassung entstehen. Jeder Tiefpass hat im Sperrbereich eine hohe Impedanz, die zwar das zu dämpfende Signal blockt, dadurch aber Reflexionen erzeugt.
- Reduktion von Übersprechen, das durch kapazitive und induktive Kopplung zwischen Leiterbahnen entsteht. Hochimpedante Bereiche, z. B. Ein- und Ausgang des T-Filters, bedingt durch die hohe Impedanz der Induktivitäten bei hohen Frequenzen, neigen zu kapazitiven Kopplungen. Niederimpedante Strompfade, z. B. die Stromschleife in Abbildung 22 erzeugen magnetische Felder, die in benachbarte Leitungen Ströme induzieren.

Der Frequenzbereich über 800 MHz in Abbildung 22 zwischen Marker 5 und 6 wird hauptsächlich durch die Dämpfung der beiden Pads zwischen den Induktivitäten verbessert, der Bereich darunter, bis zum Marker 5, wird durch die Dämpfung des langen Pads verbessert, das die induktive Kopplung reduziert.

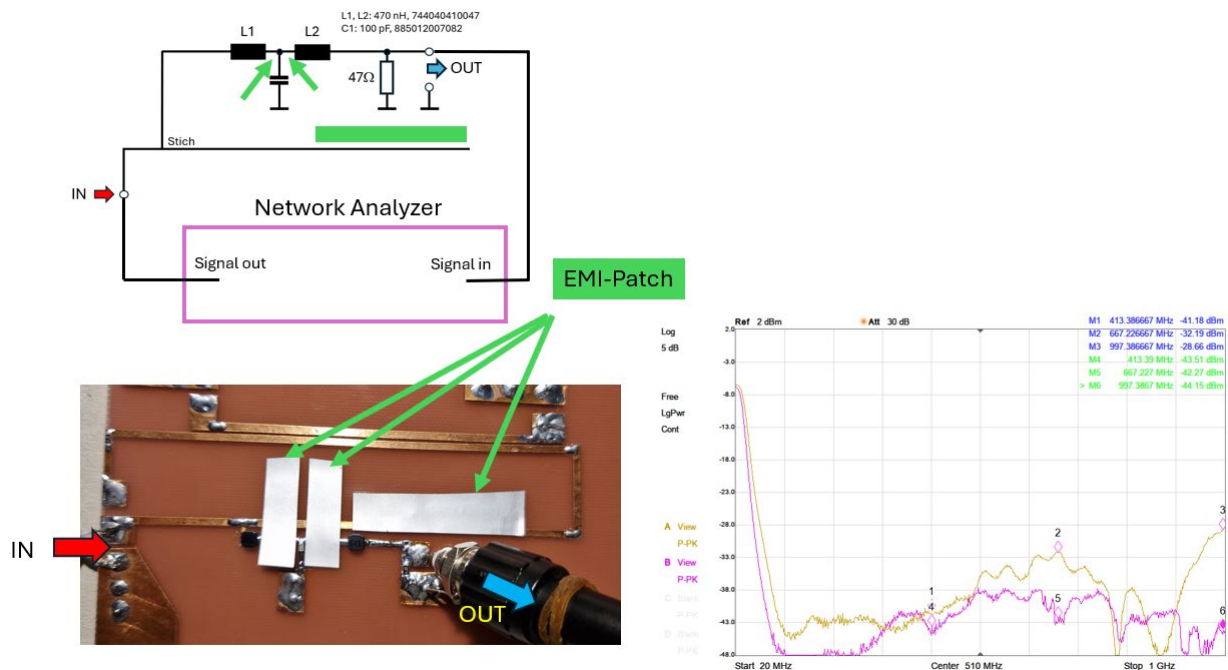


Abbildung 22: Verbesserung der Einfügedämpfung des T-Filters mit EMI Patch WE-EMIP [371100](#).

Der Effekt der induktiven Kopplung kann durch einen weiteren Versuch nach Abbildung 23 verdeutlicht werden.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

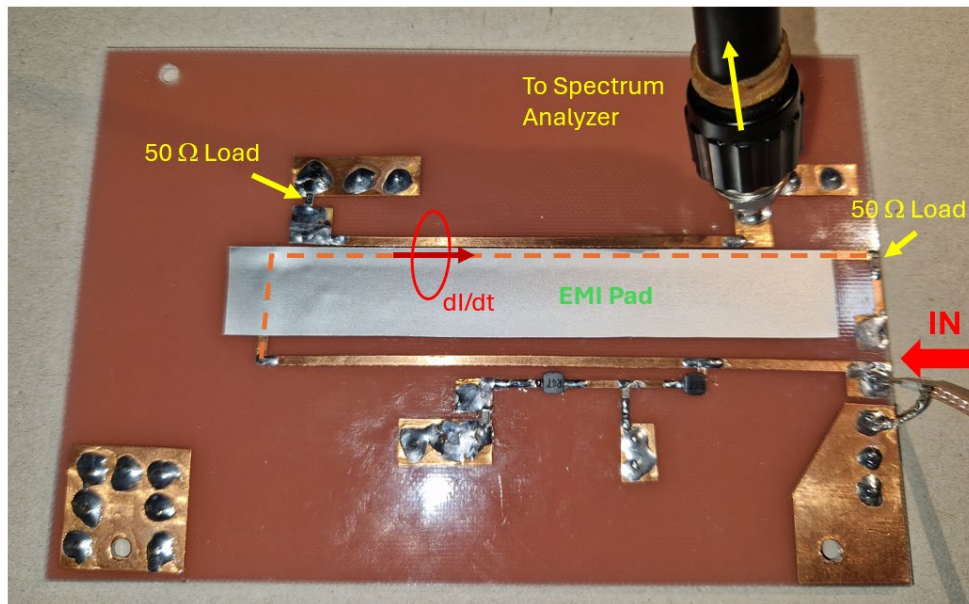


Abbildung 23: Aufbau zum Versuch der magnetischen Kopplung zweier benachbarter Leiterbahnen und die Dämpfung der Kopplung mit dem EMI Patch WE-EMIP 371100.

Das Signal fließt durch die mit 50 Ω abgeschlossene Stromschleife und erzeugt durch den Strom di/dt ein magnetisches Feld, das in die benachbarte Leiterbahn koppelt. Diese Leiterbahn ist an einem Ende mit 50 Ω abgeschlossen, am anderen Ende wird das eingekoppelte Signal zum Spektrumanalysator geführt.

Das Ergebnis der Messungen mit und ohne EMI-Patch zeigt Abbildung 24. Im Bereich um 300 MHz bewirkt das EMI-Patch eine Dämpfung des eingekoppelten Signals um bis zu 15 dB.

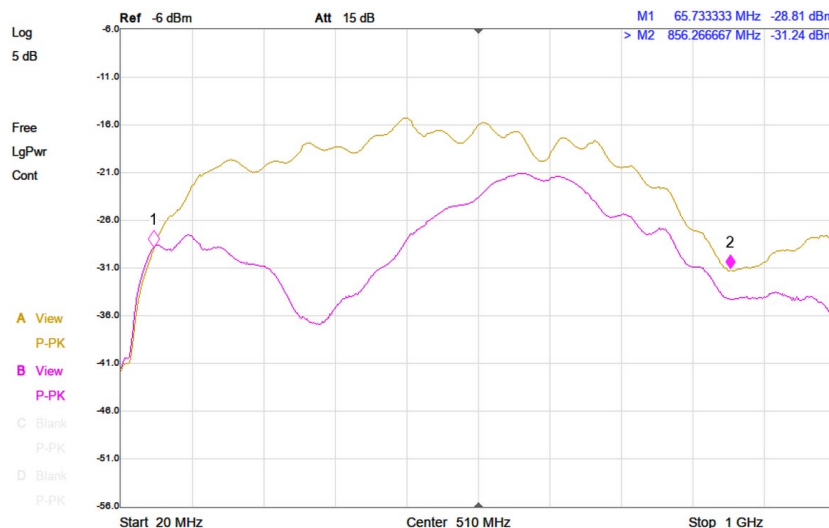


Abbildung 24: Spektrum des eingekoppelten Pegels, gelb: ohne EMI-Patch, lila: Mit EMI-Patch nach Abbildung 23.

Im Bereich darüber wird die Wirksamkeit geringer, jedoch ist die induktive Einkopplung ohne EMI-Patch auch geringer. Ab ca. 850 MHz (Marker M2) zeigt sich die gute Wirksamkeit des EMI-Patch bei höheren Frequenzen bis 1 GHz. Dazu muss das EMI-Patch nicht auf beide Leiterbahnen geklebt werden, es genügt, das Material auf die signalführende Leiterschleife zu kleben, so bleibt die Signalintegrität der eingekoppelten Leiterbahn weitestgehend erhalten.

Die bisherige Betrachtung der Reduzierung der Störemission bezog sich auf die Kopplung zwischen Leiterbahnen und Komponenten auf der elektronischen Baugruppe. Im Folgenden soll betrachtet werden, wie sich solche Maßnahmen auswirken,

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

wenn die Baugruppe in ein Gehäuse eingebaut wird. Abbildung 25 zeigt die in das Gehäuse eingebaute Baugruppe, die Masseebene der Baugruppe wurde nicht mit dem Gehäuse geerdet.

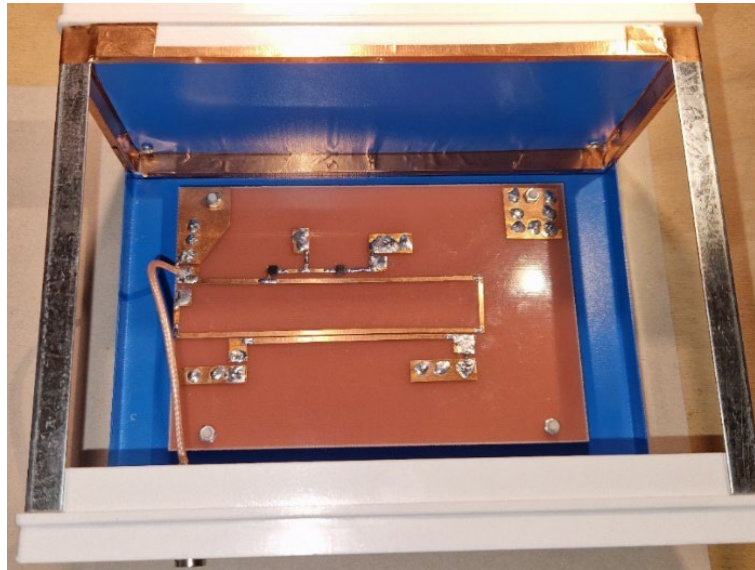


Abbildung 25: In das Gehäuse eingebaute Baugruppe, Signaleinspeisung über Koaxialkabel in die Leiterschleife.

Um die Wirksamkeit der folgenden Maßnahmen mit dem EMI-Patch darstellen zu können, wurden die rundum lackierten Blechteile und die mit Kunststoffrahmen isolierte Front- und Rückseite des Gehäuses EMV-tauglich gemacht. Dazu wurden die Kunststoffrahmen mit Kupferleitband überzogen und die Gehäuseteile an den Kontaktflächen von der blauen Lackschicht befreit.

Abbildung 26 zeigt die Emission des offenen Geräts, gemessen mit einer H-Feld-Sonde am oberen Gehäuserand. Der Aufbau entspricht Abbildung 16.

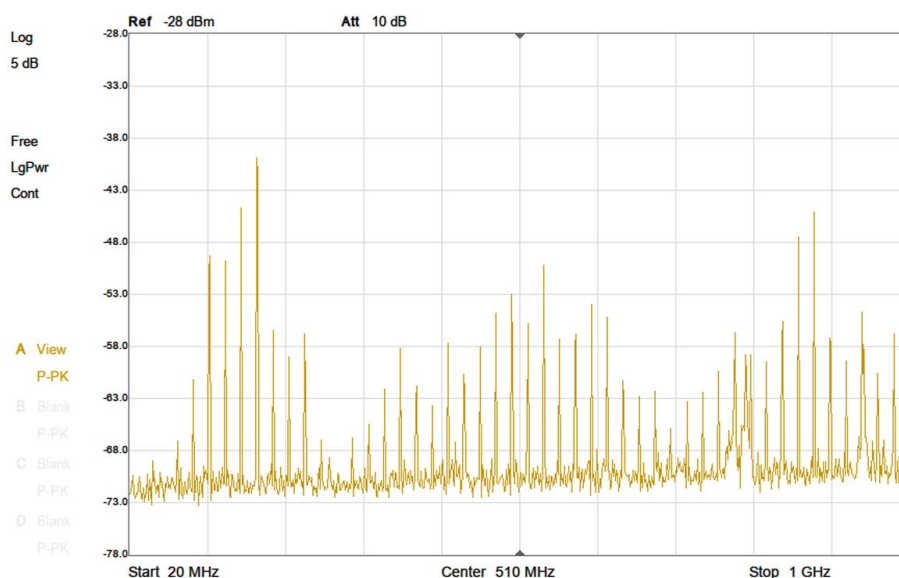


Abbildung 26: Emissionsspektrum der Leiterschleife, Baugruppe befestigt im Gerät, Messung mit H-Feld-Sonde am offenen Gerät, oberer Gehäuserand.

Auch wenn das Gehäuse als solches HF-dicht ist, ergibt sich häufig die Problematik, dass Lüftungsschlitze benötigt werden, über die hochfrequente Abstrahlung stattfinden kann. Diese Situation zeigt Abbildung 27.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

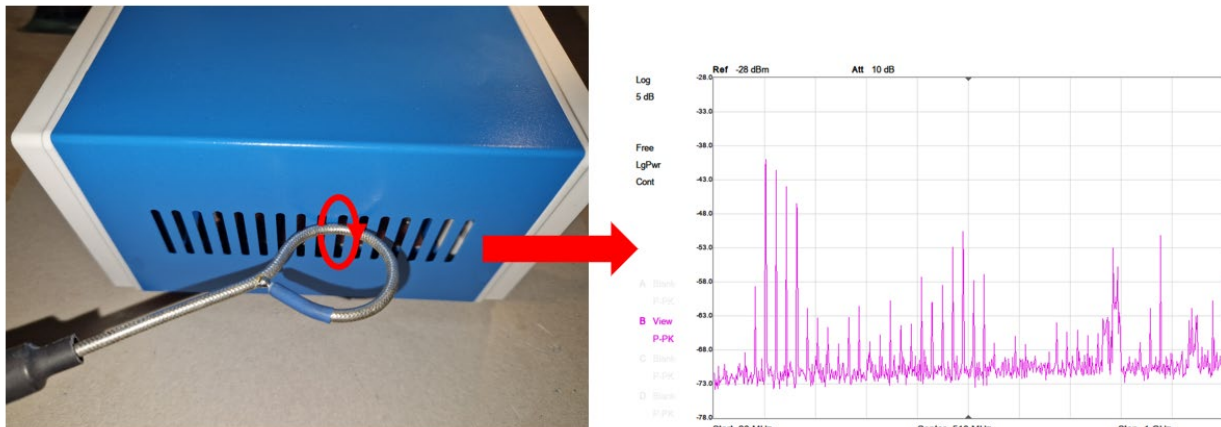


Abbildung 27: Hochfrequente Emission über Gehäuseschlitz, gemessen mit einer H-Feld-Sonde.

Die Gruppe von Schlitzen wurde mit einem ca. 4 mm breiten Streifen des EMI Patch WE-EMIP 371000 halbiert, um so die Emission zu verringern, trotzdem aber den Luftdurchlass nicht zu stark zu beeinträchtigen.

Die Maßnahme mit dem zugehörigen Emissionsergebnis ist in Abbildung 28 gezeigt.

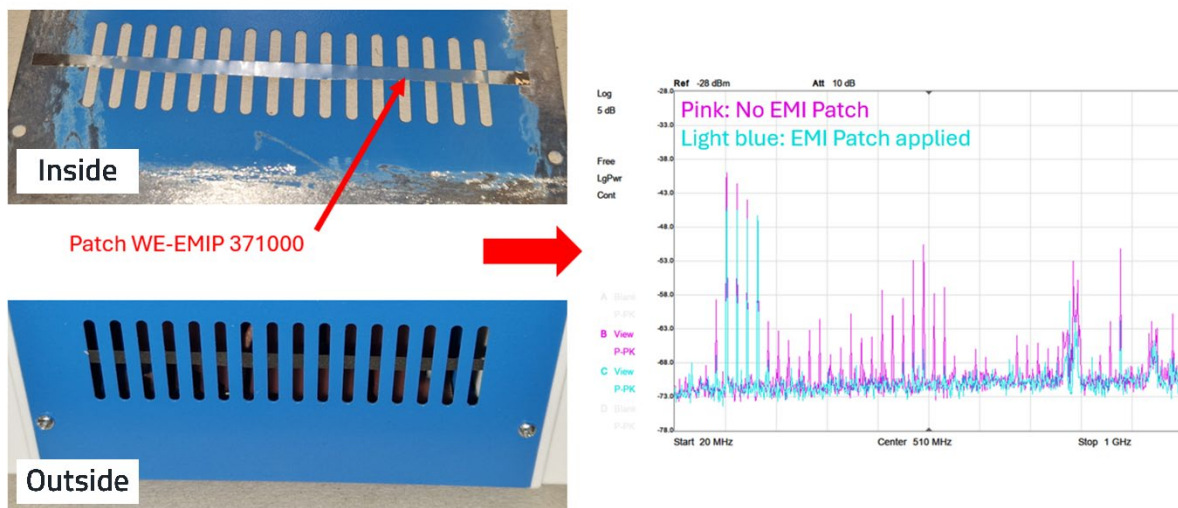


Abbildung 28: Wirkung des EMI-Patch auf die Verringerung der HF-Emission über Gehäuseschlitz.

Es zeigt sich, dass im Bereich bis ca. 200 MHz die Reduktion der HF-Emission ca. 3 – 5 dB beträgt, da hier die Emission auch über die Unterkante des Gehäuses erfolgt. Mit höher werdender Frequenz jedoch ist die Reduktion der Emission durch die Halbierung der Schlitzlängen hoch und erreicht bis zu 15 dB. Da das EMI-Patch selbstklebend ist, kann diese Maßnahme sowohl zu kurzfristigen Versuchen im EMV-Labor als auch in der Produktion durchgeführt werden. Das EMI-Patch muss, um eine hohe Dämpfung der Abstrahlung über die Schlitze zu erreichen, an jedem der Stege galvanisch kontaktieren.

Das Kammspektrum der Amplituden zwischen 200 und 300 MHz wird durch eine Resonanz der Leiterplatte verursacht und kann durch eine Kontaktierung der Masselage am Gehäuse stark reduziert werden. Jedoch steigt dadurch breitbandig der Pegel derer Frequenzanteile an, die ohne Massekontaktierung geringer sind, da über die Massekontaktierung Ströme fließen, die durch die Potenzialunterschiede auf der Leiterplatte erzeugt werden (Abbildung 29).

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

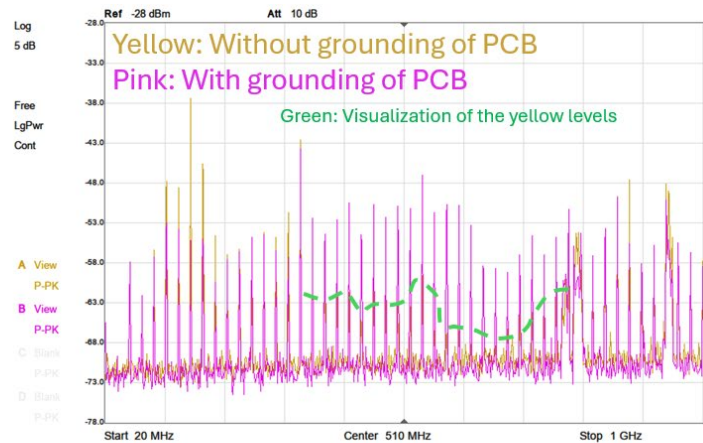
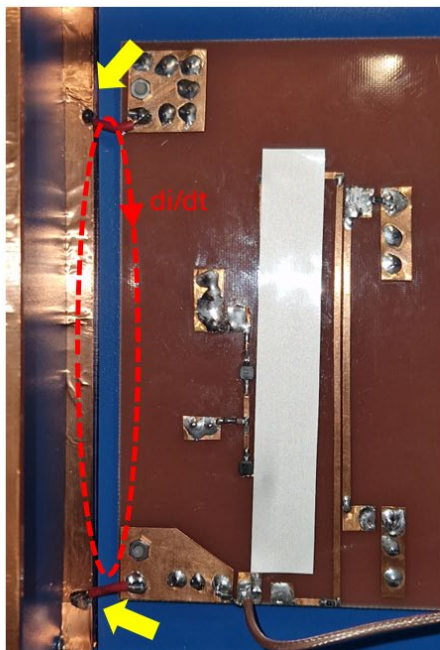


Abbildung 29: Reduzierung der Resonanz zwischen 200 und 300 MHz und breitbandiges Anheben des Pegels durch Masseanschluss.

3.5 Wirkung der EMI-Patches bei der Feldstärke-Messung mit Antenne

Bisher wurde die Wirksamkeit der Maßnahmen im Nahfeld mit einer H-Feld-Sonde gemessen. Im Folgenden wurde der tatsächliche Wert der Wirksamkeit durch eine Feldstärkemessung (Precompliance Set-Up) in einer Distanz von 3 m überprüft. Den Aufbau zeigt schematisch Abbildung 30.

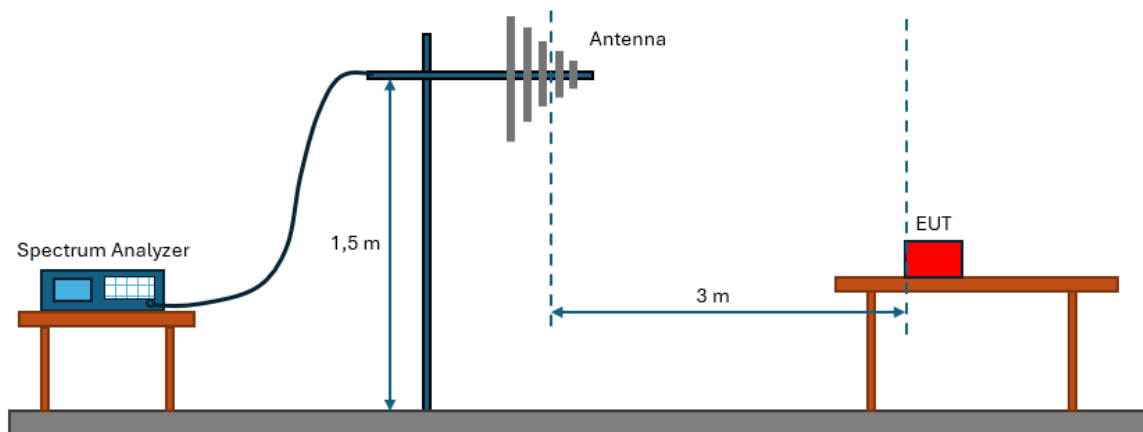


Abbildung 30: Systemanordnung zur Feldstärkemessung (Precompliance Set-Up).

Überprüft wurde die Maßnahme mit und ohne EMI-Patch auf der mit 50 Ω abgeschlossenen Leiterbahn. In Abbildung 31 ist das Ergebnis zu sehen, als Vergleich dient hier ein hoher Emissionspegel bei 360 MHz.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

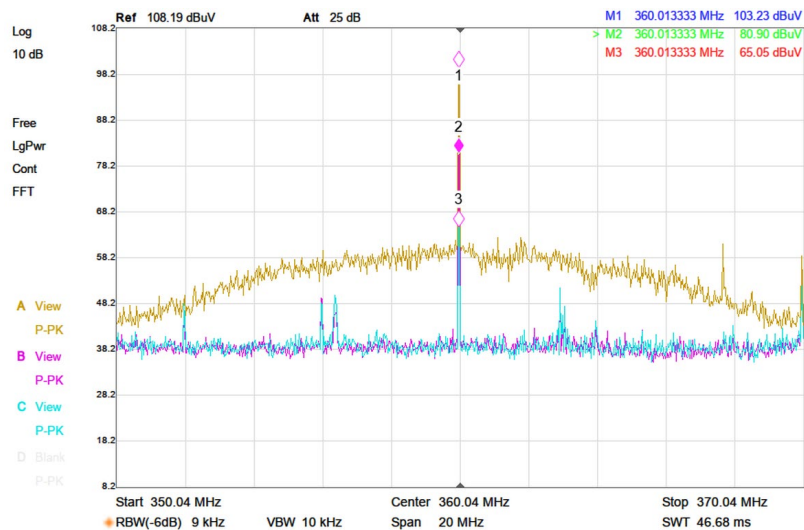


Abbildung 31: Vergleich der Störpegel bei offenem Gehäuse (gelb), geschlossenem Gehäuse (lila) und geschlossenem Gehäuse mit EMI-Patch (blau).

Der hohe Pegel bei offenem Gehäuse von ca. 103 dBμV/m reduziert sich auf ca. 81 dBμV/m durch Schließen des Gehäuses. Das Anbringen des EMI Patches reduziert den Pegel um weitere 16 dB auf 65 dBμV/m. Die Maßnahme zeigt somit beim Reduzieren der Feldstärke eine hohe Wirkung. Eine Voraussetzung für die Anwendung in der elektronischen Schaltung ist, dass die Signalintegrität das Aufbringen eines EMI Patch zulässt.

EMI-Patches bieten eine effektive und flexible Lösung zur Dämpfung elektromagnetischer Störungen in elektronischen Schaltkreisen und Geräten. Es zeigt sich ihre Wirksamkeit durch Absorption und Reflexion elektromagnetischer Störungen, insbesondere bei hohen Frequenzen. Die Experimente bestätigen ihre Effektivität, indem sie sowohl Störreflexionen als auch Induktionsübersprechen signifikant reduzieren. Die Patches sind eine schnelle Lösung, die sich sowohl für Prototypen als auch für bestehende Geräte eignet, um die EMV-Leistung zu optimieren.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

A. Anhang

A.1 Literatur

- [1] Advanced Characterization of a Hybrid Shielding Solution for Reducing Electromagnetic Interferences at Board Level; Jorge Victoria, Adrian Suarez, Pedro A. Martinez , Andrea Amaro, Antonio Alcarria, Jose Torres, Roberto Herraiz, Victor Solera, Víctor Martinez and Raimundo Garcia-Olcina; <https://doi.org/10.3390/electronics13030598>
- [2] ABC of Shielding, Grundprinzipien, Bauelemente, Applikationen, 1. Auflage, Art. Nr. 744021, Würth Elektronik, ISBN-10: 3899294521, https://www.we-online.com/de/components/products/ABC_OF_SHIELDING_ENGLISH
- [3] Trilogy of Connectors, Robert S. Mroczkowski, Romain Jugy, 4. Auflage, Art. Nr. 699004, Würth Elektronik, ISBN-10: 3899292006, https://www.we-online.com/de/components/products/TRILOGY_OF_CONNECTORS_ENGLISH
- [4] WE-EMIP EMI Patch 371000, Data sheet, Würth Elektronik, https://www.we-online.com/en/components/products/WE-EMIP_EMI_PATCH
- [5] WE-EMIP EMI Patch 371100, Data sheet, Würth Elektronik, https://www.we-online.com/en/components/products/WE-EMIP_EMI_PATCH.

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

WICHTIGER HINWEIS

Der Anwendungshinweis basiert auf unserem aktuellen Wissens- und Erfahrungsstand, dient als allgemeine Information und ist keine Zusicherung der Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG zur Eignung des Produktes für Kundenanwendungen. Der Anwendungshinweis kann ohne Bekanntgabe verändert werden. Dieses Dokument und Teile hiervon dürfen nicht ohne schriftliche Genehmigung vervielfältigt oder kopiert werden. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG und seine Partner- und Tochtergesellschaften (nachfolgend gemeinsam als „WE“ genannt) sind für eine anwendungsbezogene Unterstützung jeglicher Art nicht haftbar. Kunden sind berechtigt, die Unterstützung und Produktempfehlungen von WE für eigene Anwendungen und Entwürfe zu nutzen. Die Verantwortung für die Anwendbarkeit und die Verwendung von WE-Produkten in einem bestimmten Entwurf trägt in jedem Fall ausschließlich der Kunde. Aufgrund dieser Tatsache ist es Aufgabe des Kunden, erforderlichenfalls Untersuchungen anzustellen und zu entscheiden, ob das Gerät mit den in der Produktspezifikation beschriebenen spezifischen Produktmerkmalen für die jeweilige Kundenanwendung zulässig und geeignet ist oder nicht.

Die technischen Daten sind im aktuellen Datenblatt zum Produkt angegeben. Aus diesem Grund muss der Kunde die Datenblätter verwenden und wird ausdrücklich auf die Tatsache hingewiesen, dass er dafür Sorge zu tragen hat, die Datenblätter auf Aktualität zu prüfen. Die aktuellen Datenblätter können von www.we-online.com heruntergeladen werden. Der Kunde muss produktspezifische Anmerkungen und Warnhinweise strikt beachten. WE behält sich das Recht vor, an seinen Produkten und Dienstleistungen Korrekturen, Modifikationen, Erweiterungen, Verbesserungen und sonstige Änderungen vorzunehmen. Lizenzen oder sonstige Rechte, gleich welcher Art, insbesondere an Patenten, Gebrauchsmustern, Marken, Urheber- oder sonstigen gewerblichen Schutzrechten werden

hierdurch weder eingeräumt noch ergibt sich hieraus eine entsprechende Pflicht, derartige Rechte einzuräumen. Durch Veröffentlichung von Informationen zu Produkten oder Dienstleistungen Dritter gewährt WE weder eine Lizenz zur Verwendung solcher Produkte oder Dienstleistungen noch eine Garantie oder Billigung derselben.

Die Verwendung von WE-Produkten in sicherheitskritischen oder solchen Anwendungen, bei denen aufgrund eines Produktausfalls sich schwere Personenschäden oder Todesfälle ergeben können, sind unzulässig. Des Weiteren sind WE-Produkte für den Einsatz in Bereichen wie Militärtechnik, Luft- und Raumfahrt, Nuklearsteuerung, Marine, Verkehrswesen (Steuerung von Kfz, Zügen oder Schiffen), Verkehrssignalanlagen, Katastrophenschutz, Medizintechnik, öffentlichen Informationsnetzwerken usw. weder ausgelegt noch vorgesehen. Der Kunde muss WE über die Absicht eines solchen Einsatzes vor Beginn der Planungsphase (Design-In-Phase) informieren. Bei Kundenanwendungen, die ein Höchstmaß an Sicherheit erfordern und die bei Fehlfunktionen oder Ausfall eines elektronischen Bauteils Leib und Leben gefährden können, muss der Kunde sicherstellen, dass er über das erforderliche Fachwissen zu sicherheitstechnischen und rechtlichen Auswirkungen seiner Anwendungen verfügt. Der Kunde bestätigt und erklärt sich damit einverstanden, dass er ungeachtet aller anwendungsbezogenen Informationen und Unterstützung, die ihm durch WE gewährt wird, die Gesamtverantwortung für alle rechtlichen, gesetzlichen und sicherheitsbezogenen Anforderungen im Zusammenhang mit seinen Produkten und der Verwendung von WE-Produkten in solchen sicherheitskritischen Anwendungen trägt.

Der Kunde hält WE schad- und klaglos bei allen Schadensansprüchen, die durch derartige sicherheitskritische Kundenanwendungen entstanden sind.

NÜTZLICHE LINKS



Application Notes
www.we-online.com/appnotes



REDEXPERT Design Platform
www.we-online.com/redexpert



Toolbox
www.we-online.com/toolbox



Produkt Katalog
www.we-online.com/products

KONTAKT INFORMATION



appnotes@we-online.com
Tel. +49 7942 945 - 0



Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG
Max-Eyth-Str. 1 74638 Waldenburg Germany
www.we-online.com

APPLICATION NOTE

ANP139 | Gehäuseschirmung und EMV: Ein umfassender Leitfaden zur elektromagnetischen Verträglichkeit

REVISIONSHISTORIE

Dokument Version	Veröffentlichungsdatum	Änderungen
ANP139a	2026/08/26	Ursprüngliche Version der Application Note

Hinweis: Die aktuelle Version des Dokuments und das Veröffentlichungsdatum sind in der Fußzeile jeder Seite dieses Dokuments angegeben.