### Kompetente Antworten auf aktuelle Fragen

# Reduzierungsstrategien für EMI im FM-Band

*Dieser Artikel untersucht mehrere einfache und kostengünstige Wege, die leitungsgeführte EMI im FM-Band auf einer Baugruppe zu reduzieren – ohne dazu Ferritklammern und Abschirmungen einzusetzen.*

### Wie kann man komplexe leitungsgebundene EMI im FM-Band in Schaltnetzteilen unterdrücken?

Obwohl Abschirmungen und Ferritklammern häufig eine gefragte Lösung für EMI-Probleme sind, können sie voluminös, teuer und manchmal auch auf die Wirkung bezogen, ineffizient sein. EMI-Rauschen im FM-Band kann reduziert werden, wenn man versteht, woher es kommt und Schaltungs- und Leiterplatten-Entwicklungstechniken einsetzt, die es bereits an der Quelle unterdrücken. Das EMI-Verhalten von Stromversorgungsnetzwerken ist besonders kritisch in rauschempfindlichen Systemen wie Automobilschaltungen, besonders wenn Schaltnetzteile (SMPS) daran beteiligt sind. Entwicklungsingenieure müssen oft viel Zeit damit verbringen, sowohl leitungsgebundene (CE = conducted emission) wie auch abgestrahlte Emissionen (RE = radiated emission) zu reduzieren. Insbesondere bei der Messung der CE kann das FM-Band (76 MHz bis 108 MHz) die schwierigste Region sein, um ein gutes Ergebnis zu liefern. Die Entwickler sind oft gezwungen, signifikant viel Zeit aufzuwenden, um dies zu erreichen.

### Warum aber ist das CE-Rauschen im FM-Band so schwierig zu unterdrücken?

Eine CE mit niedriger Frequenz im AM-Band wird vom Gegentaktrauschen dominiert. Hochfrequenz-CE im FM-Band hingegen vom Gleichtaktrauschen.1 Gleichtakt-Stromrauschen wird von Knoten mit wechselnden Spannungen auf der Leiterplatte erzeugt. Dieser generierte Strom fließt durch Streukapazitäten in die Referenzmasse und zurück in die Plus- und Minus-Kabel des Eingangs (Bild 1). Wegen der Komplexität der Streukapazität auf der Leiterplatte ist es nicht praktikabel sie zu simulieren und die im FM-Band geführte EMI zu bestimmen. Es ist deshalb am besten, die Baugruppe in einer EMV-Testkammer zu evaluieren.

### Welche Methoden bieten sich an?

Es gibt im Labor bewährte Methoden, die die FM-Band-EMI effektiv reduzieren, wie das Ändern der Schaltfrequenz, der Schaltflankensteilheit, des Layouts der Schaltknoten und der „heißen Schleife", der Spulen und sogar des Ortes der Eingangskabel sowie der Last. Die Wirksamkeit jeder dieser Methoden kann von Baugruppe zu Baugruppe variieren. Die Ergebnisse wurden mit Tests mit einer Stromsonde in einer zertifizierten EMV-Kammer verifiziert. Prüfling war eine Baugruppe, die den LT3922-1 in einer HUD-LED-Treiberschaltung, wie in Bild 2 dargestellt, enthielt. In diesem Test wird die CE mit einer Stromsonde in einem EMI-Aufbau gemäß CISPR-25, wie in Bild 3 zu sehen, gemessen. Die CE kann sowohl mit einer Stromsonde als auch einer Spannungstastspitze geprüft werden, wobei die Standardmethode mit der Stromsonde allgemein als die genauere der beiden Methoden betrachtet wird. Anstatt den Spannungsausgang von den LISNs zu messen, nutzt die CE-Strommessmethode eine Stromsonde mit hoher Bandbreite, um die CM-Rauschsignale im Abstand von 50 und 750 mm vom Prüfling zu erfassen, die sich über die Versorgungsleitung oder den Kabelbaum ausbreiten. Die Spitzen- und Durchschnittswerte der CE werden bei jedem Frequenzdurchlauf gesammelt und mit im Standard definierten Grenzwerten verglichen.

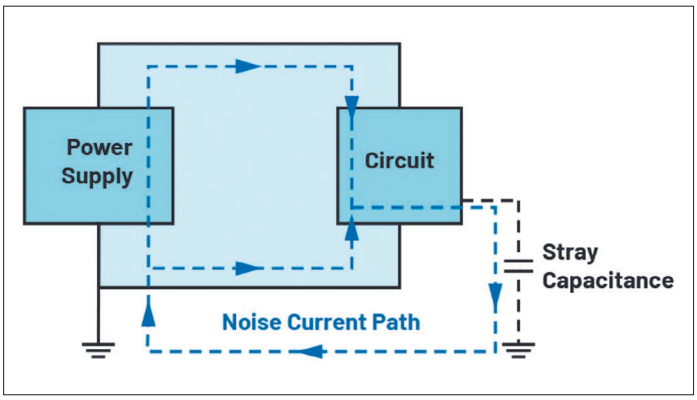


***Bild 1: Eine leitungsgeführte Emission mit dem Pfad des Gleichtakt-Stromrauschens***

*Analog Devices Inc.*
*www.analog.com/*

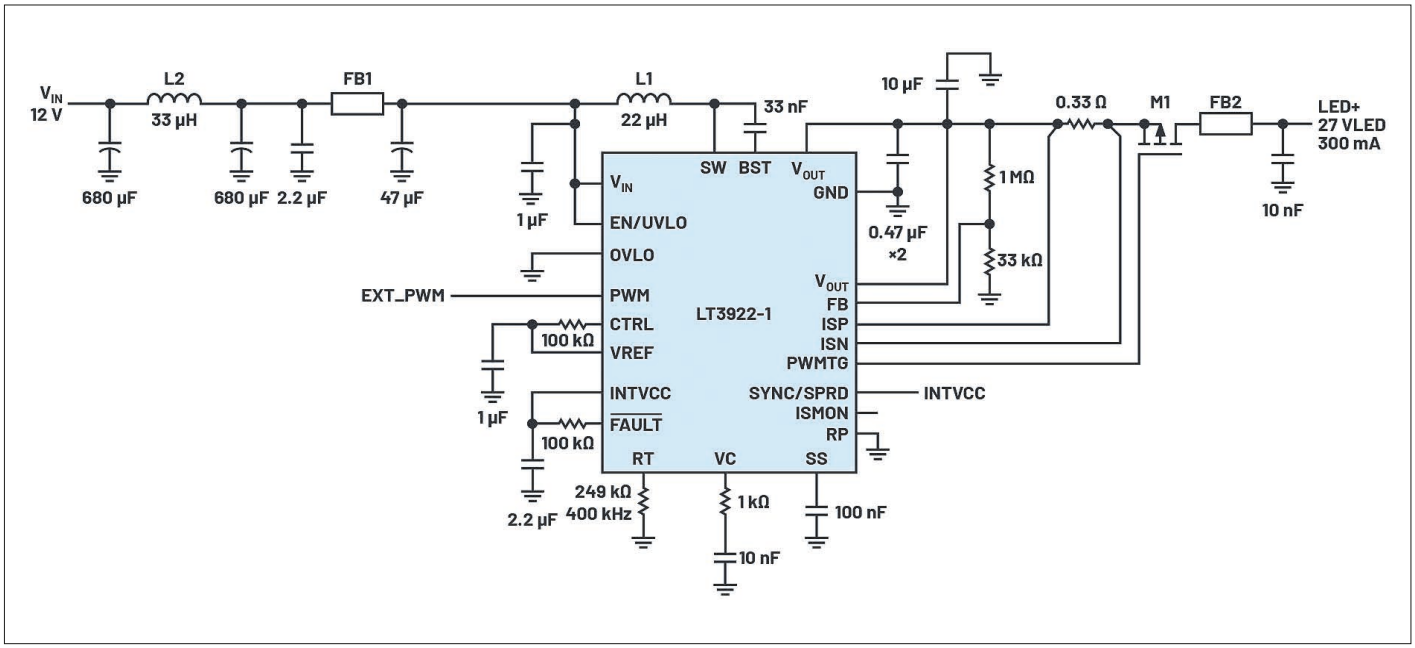


*Bild 2: Vereinfachtes Schaltbild des Automobil-HUD-LED-Treibers LT3922-1*

### Auf welche Grenzwerte ist zu achten?

Für das Messverfahren mit Stromsonde reichen die in der CISPR-25-Klasse-5 aufgeführten Durchschnitts-CE-Grenzwerte bis hinunter zu -16 dBµA. Hier präsentieren wir einige effektive Methoden die Ergebnisse beim Test der CE im FM-Band mit einer Stromsonde zu verbessern. Viele dieser Verfahren können aber auch eingesetzt werden, um die Ergebnisse der CE-Spannungsprüfmethode zu verbessern.

### Welche Modulationsart wurde verwendet?

Alle Prüfungen in dieser Studie sind, wenn nicht anders spezifiziert, mit aktiver Spreizspektrum-Frequenzmodulation (SSFM) durchgeführt. Mit der SSFM werden EMI-Spitzen bei der Schaltfrequenz und ihren Harmonischen reduziert.

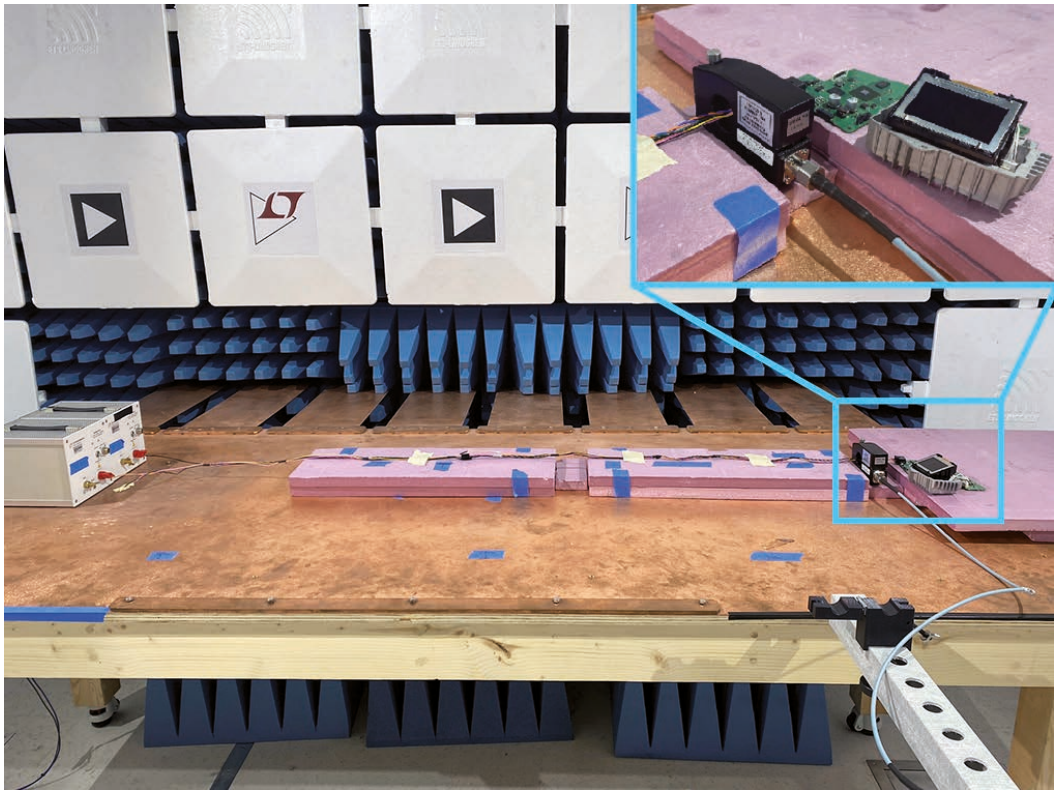

*Bild 3: Messaufbau nach CISPR-25 für die leitungsgeführten Emissionen (CE) in der EMV-Testkammer (50 mm)*

### Welche Funktion hat eine stromkompensierte Drosselspule?

Die stromkompensierte Drosselspule unterdrückt das EMI-Rauschen im FM-Band

Das CM-Stromrauschen, das beim Schalten generiert wird, fließt über die Streukapazität in die Referenzmasse und kommt über die Eingangsstromversorgung und die Rückleitungen in gleicher Richtung zurück. Durch Erhöhen der Gleichtakt-Impedanz dieser Schleife mit einer CM-Drosselspule kann unerwünschtes CM-Rauschen unterdrückt werden. Bild 4 zeigt die Durchschnitts-CE-Ergebnisse mit der Stromsonde im Abstand von 50 mm und 750 mm, einmal mit denen der Originalschaltung ohne Drosselspule und einmal mit der vor der LED-Treiberschaltung installierten Drossel. Das Umgebungs-Grundrauschen ist als Referenz ebenfalls dargestellt. Die CE im FM-Band (76 MHz bis 108 MHz) wurde um mehr als 8 dB reduziert.

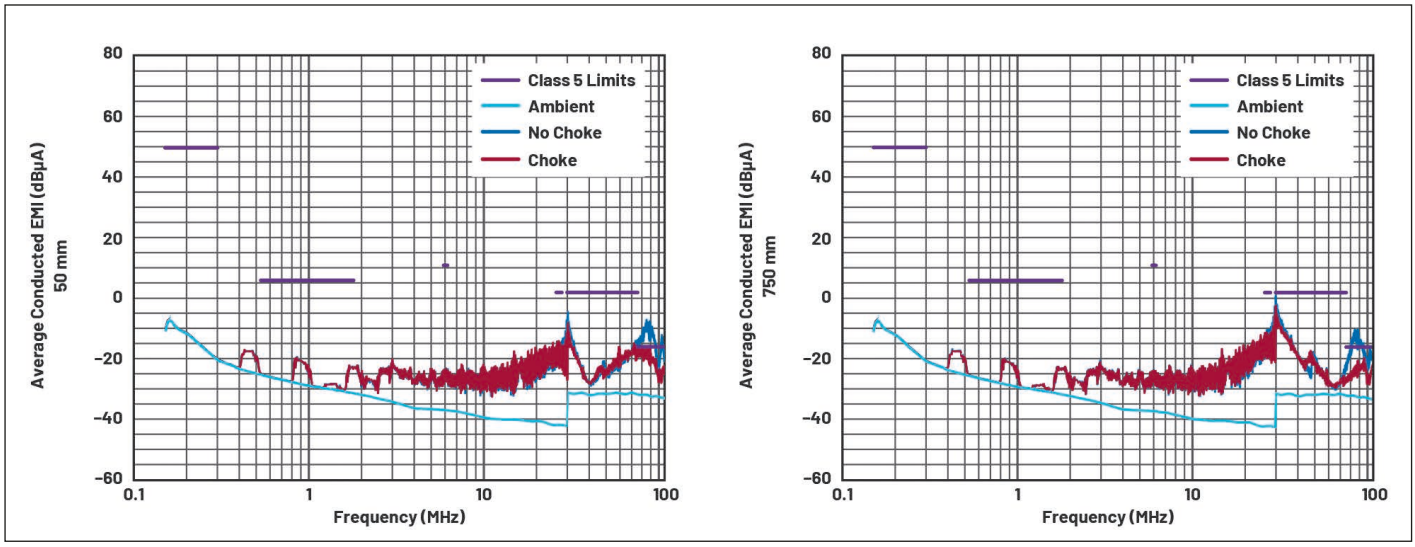


*Bild 4: Durchschnitts-CE-Ergebnisse mit Stromsonde*

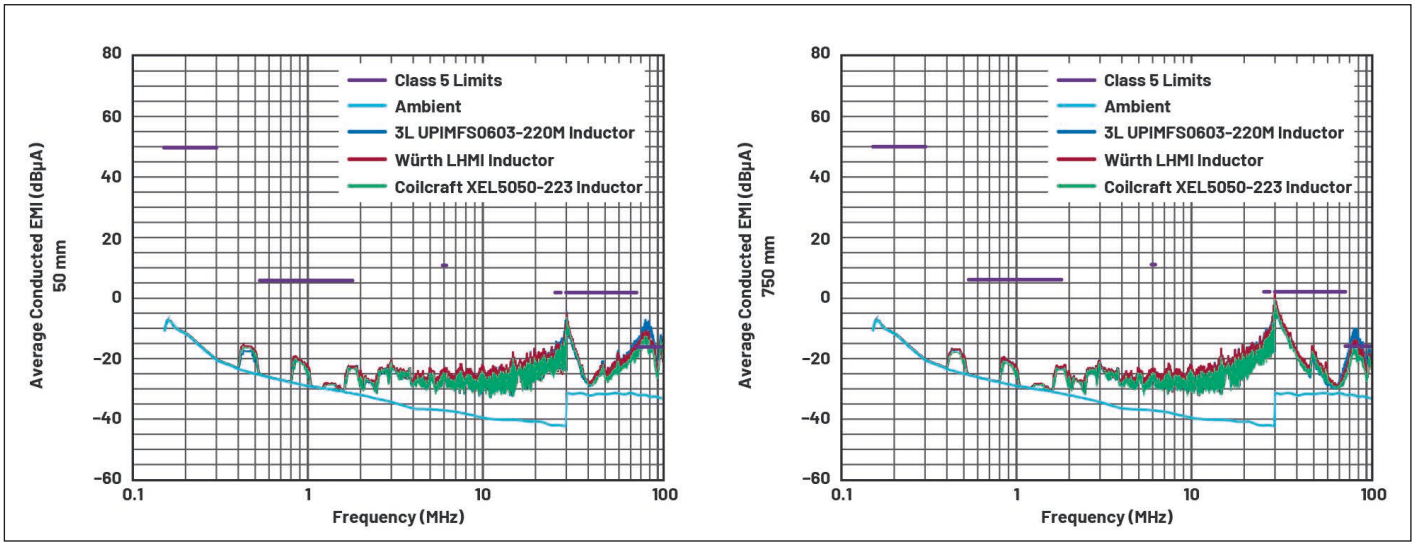


*Bild 5: Vergleich verschiedener Spulen bei der CE-Messung mit Stromsonde*

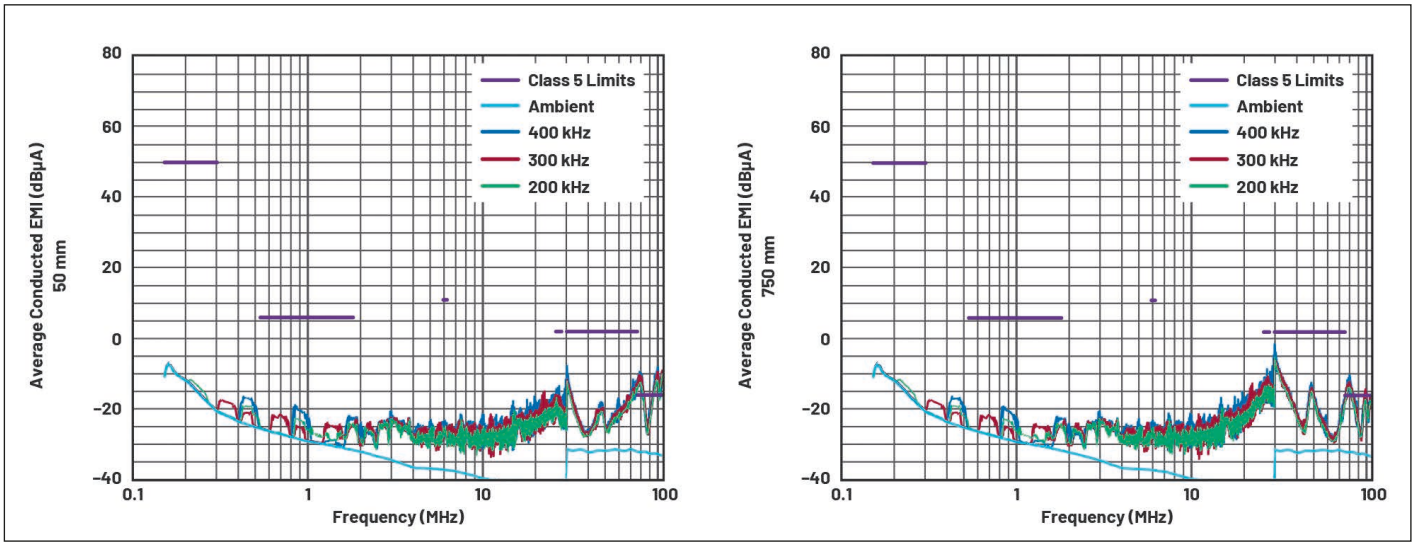


*Bild 6: Vergleich verschiedener Schaltfrequenzen bei der CE-Messung mit Stromsonde*

| Teilenummer: | 3L UPIMFS0603-220M | Würth 74437346220 | Coilcraft XEL5050-223 |
|---|---|---|---|
| magnetisch geschirmt? | ja | ja | ja |
| Pad-Ausführung: | herausgeführt | herausgeführt | bedeckt |
| Kernmaterial: | Metallstaub | Eisenpulver | Composite |

*Tabelle 1: Vergleich der Spezifikationen der getesteten Spulen*

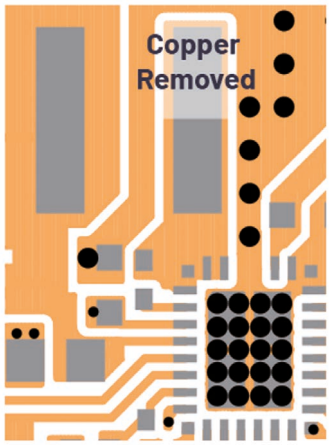


*Bild 7: Entfernter Kupferbereich des Schaltknotens*

## Warum machen die Spulen den Unterschied?

An der Hauptspule gibt es sich schnell ändernde Spannungen und Ströme, was diese zu einer elektromagnetischen Antenne macht. Deshalb können Spulen zu einer Quelle für das CE-Rauschen im FM-Band werden. Die Ergebnisse des EMI-Tests können mit einer Reihe von spulenbezogenen Methoden verbessert werden. Bereits die Anordnung der Spule kann dabei z.B. einen Unterschied ausmachen. Geschirmte Spulen haben üblicherweise weniger Emissionen als ungeschirmte und einige Kernmaterialien begrenzen die Abstrahlungen im H-Feld und E-Feld mehr als andere. Eisenpulver und Pulver aus Metalllegierungen haben im Frequenzbereich über 1 MHz eine geringere Abschirmwirkung im E-Feld. MnZN und NiZn zeigen eine bessere Abschirmwirkung bei höheren Schaltfrequenzen. Spulen mit herausgeführten Anschlüssen wirken schlechter als solche mit abgedeckten Anschlüssen. Das Verbinden der langen Leitung der inneren Spulenwicklung mit dem Schaltknoten mit schneller Spannungsänderung kann die E-Feld-Abstrahlung drastisch erhöhen.

Drei geschirmte 22-µH-Spulen wurden getestet, wie in Tabelle 1 aufgelistet. Die EMI wurde in der gleichen Schaltung ohne eine CM-Drossel evaluiert, wobei jede Spule in der optimal arbeitenden Orientierung eingebaut wurde. Die Testergebnisse sind in Bild 5 zum Vergleich dargestellt. In dieser Studie zeigt die XEL-Spule von Coilcraft die beste Leistung im FM-Band und reduzierte die EMI im FM-Band um 5,1 dB, verglichen mit einer 3L-Spule.

## Was spricht für geringe Schaltfrequenzen?

Geringere Schaltfrequenzen ergeben ein ruhigeres FM-Band: Das Reduzieren der Schaltfrequenz verringert die Emissionsenergie bei einer gegebenen Hochfrequenz. In Bild 6 sind die Ergebnisse des CE-Tests mit Stromsonde ohne CM-Drossel bei den Schaltfrequenzen 200, 300 und 400 kHz zu sehen. Alle Komponenten außer RT blieben dabei gleich. Der 200-kHz-Test zeigt die geringste EMI im FM-Band, die Emissionen liegen im Vergleich zum 400-kHz-Test um 3,2 dB niedriger.

## Was bringt das Verkleinern der Rauschantenne?

Diese Maßnahme erfolgt durch Reduzieren der Fläche des Schaltknotens. Der Schaltknoten mit schneller dV/dt ist eine Rauschquelle, die sowohl kapazitive Kopplungen als auch das CM-EMI-Rauschen in CE steigert. Er arbeitet auch als eine Antenne, die elektromagnetisches Rauschen in den Raum abstrahlt, was auch die abgestrahlte EMI beeinflusst. Deshalb verbessert eine minimierte Fläche dieses Schaltknotens im Leiterplattenlayout das EMI-Verhalten.

Um dies auf einer Leiterplatten-Baugruppe zu testen, wurde die Fläche des Schaltknotens reduziert, indem etwas von den Kupferleiterbahnen abgeschnitten wurde und die Spule näher am IC platziert wurde, wie in Bild 7 gezeigt. Die EMI wurde vor und nach der Entfernung des Kupfers gemessen und die Ergebnisse sind in Bild 8 zu sehen.

Das Rauschen im CE-Test mit Stromsonde und 50 mm Abstand sank bei 105 MHz um 1 dB, während der Test bei 750 mm Abstand keine deutliche Verbesserung zeigte. Dieses Ergebnis belegt, dass die Kupferfläche nicht der Hauptfaktor für die EMI im FM-Band für diese Anwendung ist. Dennoch ist es wert zu versuchen, die Fläche

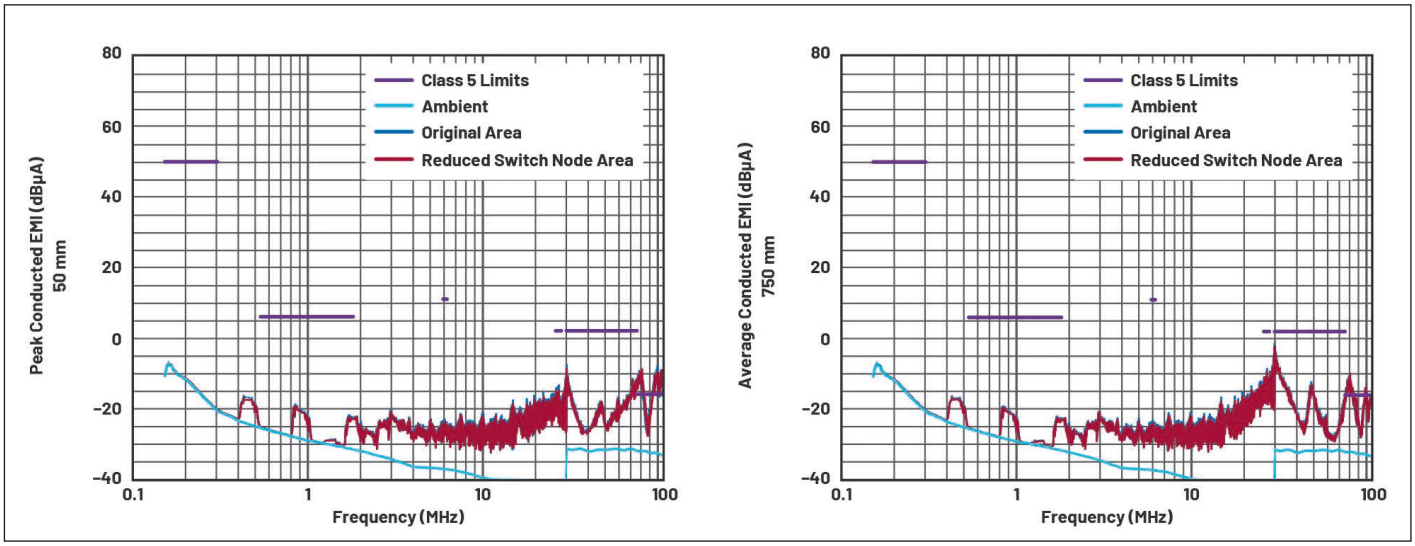


*Bild 8: Vergleich der mit Stromsonde gemessenen CE bei unterschiedlichen Schaltknotenflächen*

des Schaltknotens so weit wie möglich zu verkleinern, um ein Leiterplattenlayout mit geringer EMI zu erzielen.

### Wie lässt sich das Ganze zusammenfassen?

Das EMI-Verhalten einer Stromversorgung hängt in erster Linie vom eingesetzten Stromversorgungs-IC ab, aber selbst ein Hochleistungs-IC kann nur bei einer gezielten Auswahl der Komponenten und einem optimierten Leiterplattenlayout geringe EMI aussenden. In diesem Artikel wurden einige Methoden untersucht, um die leitungsgeführten Emissionen (CE) im FM-Band zu minimieren. Dazu wurde eine Baugruppe eingesetzt, die um den Automobil-HUD-LED-Treiber LT3922-1 aufgebaut wurde.

Das Anlegen einer CM-Drosselspule an die positiven und negativen Eingangsleitungen steigerte die Impedanz in der Schleife mit Gleichtakt-Stromrauschen. Unterschiedliche Spulen mit verschiedenen Kernmaterialien, Kernaufbauten und Wicklungskonstruktionen ergaben ein unterschiedliches EMI-Verhalten. Es ist schwierig zu bestimmen, welches die geeignetste Spule ist, wenn man nur auf die Spezifikationen schaut – man sollte sie deshalb in einem EMV-Labor untersuchen und miteinander vergleichen. Die Anordnung der Spulen auf der Baugruppe ist ebenfalls wichtig. Eine reduzierte Schaltgeschwindigkeit und verkleinerte Kupferfläche des Schaltknotens können auch dabei helfen, die FM-Band-CE zu verringern. Wenn der Prüfling ein Schaltregler ist, der einen Controller-Teil (externe MOSFETs) nutzt, kann die FM-Band-EMI durch Verlangsamen der Schaltflanken und minimieren der Fläche der „heißen Schleife“ weiter reduziert werden.

### Referenzen


Ling Jiang, Frank Wang, Keith Szolusha, und Kurk Mathews. “A Practical Method for Separating Common-Mode and Differential-Mode Emissions in Conducted Emissions Testing.” Analog Dialogue, Vol. 55, No. 1, Januar 2021

Keith Szolusha und Gengyao Li. “Does the Assembly Orientation of an SMPS Inductor Affect Emissions?” emiTime, August 2020

Ranjith Bramanpalli. “ANP047: The Behavior of Electro-Magnetic Radiation of Power Inductors in Power Management.” Würth Elektronik, März 2018 ◄


## Das Autoren-Team

Gengyao Li ist Applications Engineer in der Power Products Group von ADI in Santa Clara, Kalifornien. Sie ist verantwortlich für die Entwicklung und Evaluierung von DC/DC-Wandlern einschließlich Aufwärts- und Ab-/Aufwärtswandler sowie LED-Treiber. Gengyao erhielt ihren M.S.-Titel in Electrical Engineering 2017 von der Ohio State University. Man erreicht sie unter gengyao.li@analog.com.

Dongwon Kwon ist Staff Design Engineer in der Power Products Group von Analog Devices. Er entwickelt seit 2012, als er zu Linear Technology (heute ein Geschäftsbereich von ADI) kam, analoge und Leistungs-ICs für Abwärts-, Aufwärts und Ab-/Aufwärts-Spannungsregler und LED-Treiber. Dongwon besitzt einen PH.D.- und M.S.-Titel vom Georgia Institute of Technology und einen B.S.-Titel von der Seoul National University (Korea). Man erreicht ihn unter dongwon.kwon@analog.com

Keith Szolusha ist Applications Director bei Analog Devices in Santa Clara, Kalifornien. Keith arbeitet in der BBI Power Products Group, die sich auf Aufwärts- und Ab-/Aufwärtswandler sowie LED-Treiber-Produkte fokussiert und betreut auch die EMI-Testkammern für diese Leistungsprodukte. Er erwarb 1997 einen Titel als B.S.E.E. und 1998 einen als M.S.E.E. vom MIT in Cambridge, Massachusetts, mit dem Schwerpunkt auf technische Dokumentation. Man erreicht ihn unter keith.szolusha@analog.com.