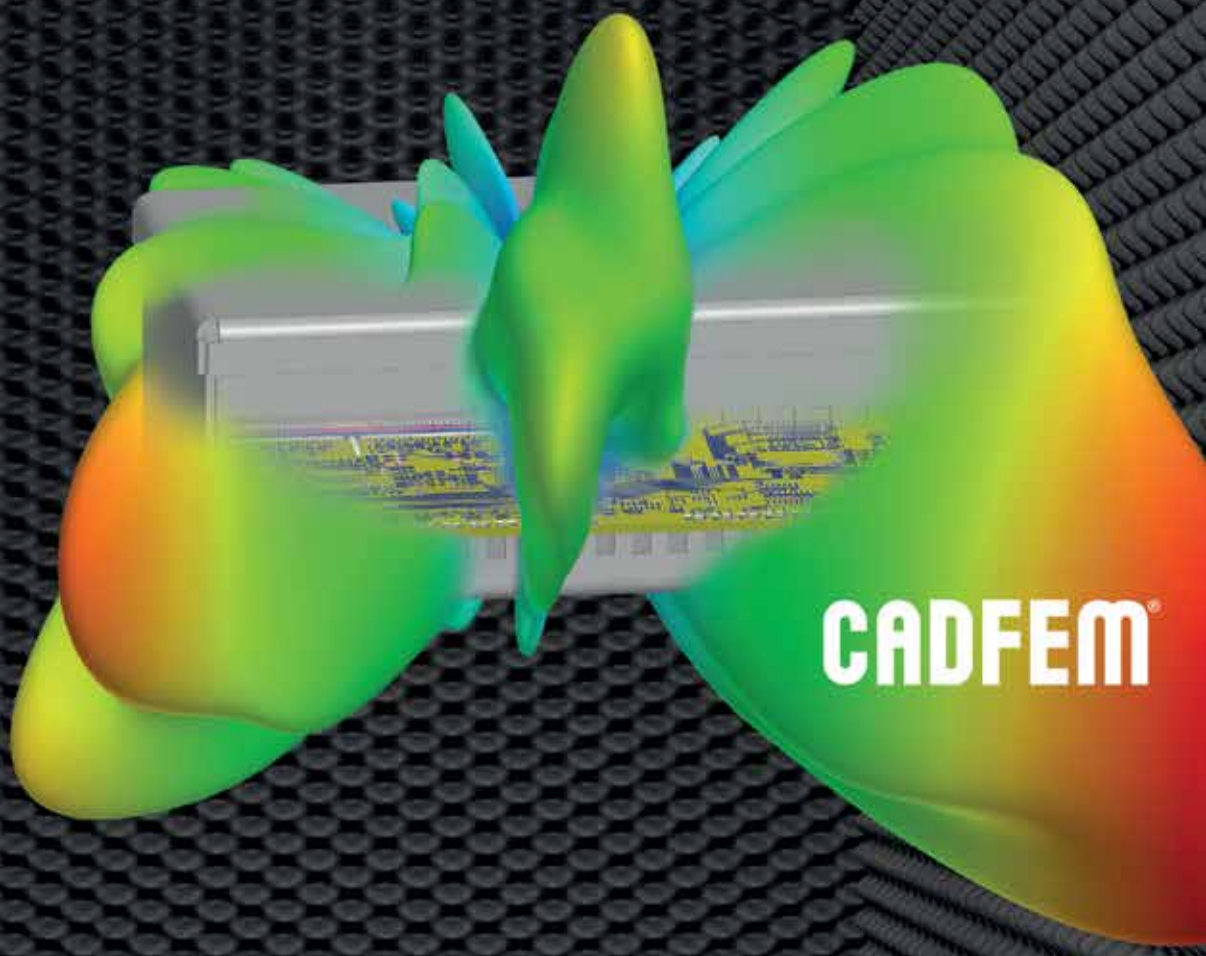
need power? think GlobTek.de
www.GlobTek.de

ELEKTRONIK PRAXIS
www.elektronikpraxis.de
Wissen. Impulse. Kontakte.
3
B19126
4. Februar 2016
€ 12,00



Verbessertes EMV-Verständnis durch Simulation

Durch ausgefeilte Simulation von elektromagnetischer Verträglichkeit ergeben sich neue Möglichkeiten in der Produktentwicklung. Teil 1 einer dreiteiligen Artikelserie.

Meilensteine der Elektronik

„Distribution war gestern, heute ist EBV“ – die Historie des Halbleiter-Spezialisten und Distributors Seite 26

Takt-ICs mit integriertem Quarz

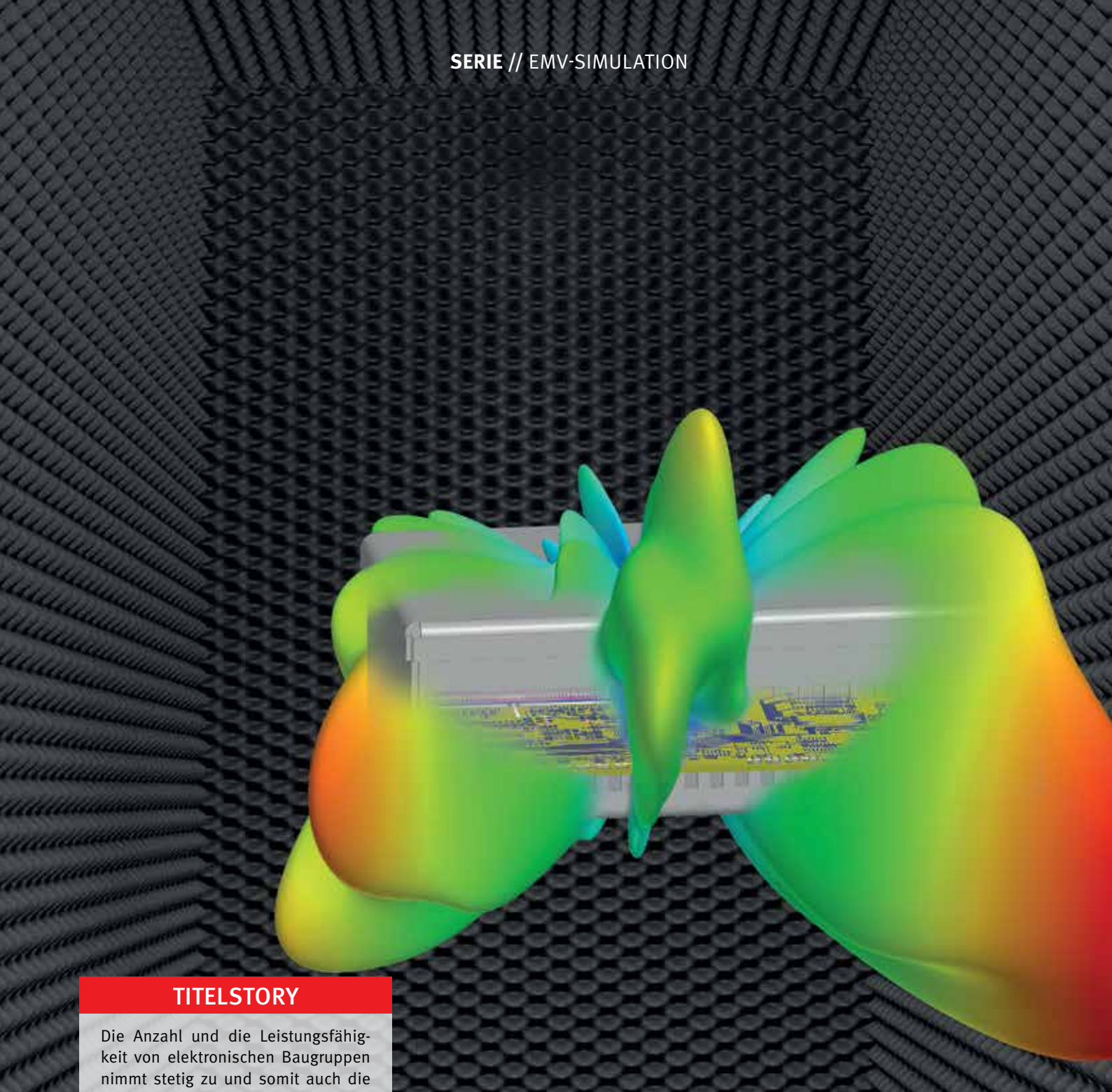
Wie Sie mit nur einem Baustein platzsparend unterschiedliche Taktsignale bereitstellen Seite 52

Stromversorgungen von Land zu Land

So stellen Sie sicher, überall die jeweiligen Sicherheitsanforderungen von Batterien zu erfüllen Seite 74

KOSTENLOSER VERSAND
FÜR BESTELLUNGEN ÜBER 65 €!
DIGIKEY.DE
Digi-Key ELECTRONICS

Vogel Business Media



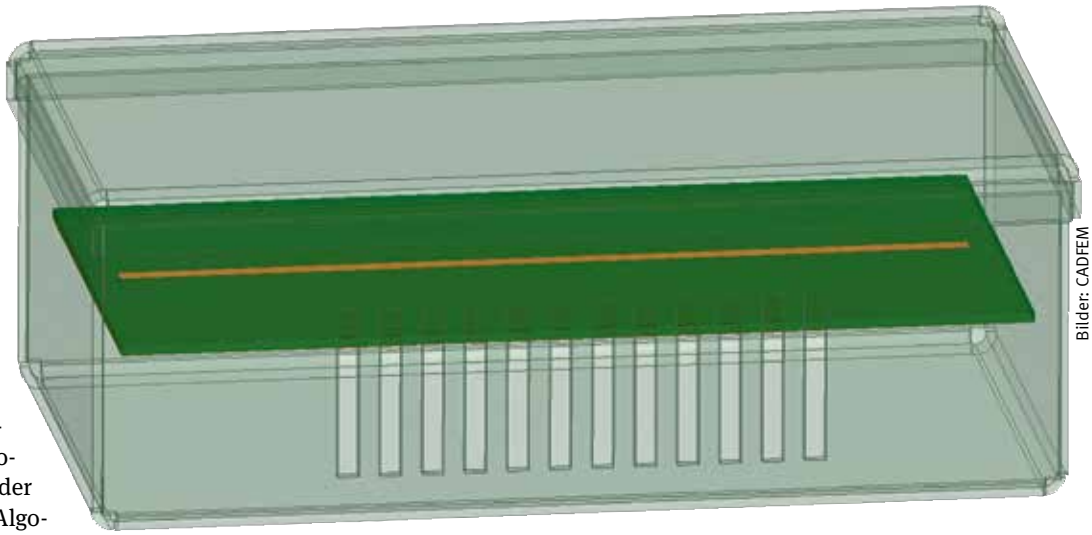
TITELSTORY

Die Anzahl und die Leistungsfähigkeit von elektronischen Baugruppen nimmt stetig zu und somit auch die ingenieurstechnischen Herausforderungen. Neue Funktionalität wird integriert. Packungsdichten werden erhöht und Leistungspegel auf Datenleitungen gesenkt. Ein prominentes Thema, das immer wieder im Fokus steht, ist deshalb die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV), die mit Hilfe von Simulationslösungen besser verständlich und somit beherrschbar wird. In unserer dreiteiligen Artikelserie widmet sich CADFEM dem Thema und vermittelt Grundlagen und tieferes Sachverständnis für das Feld der hochfrequenten elektromagnetischen Simulation.

Verbessertes EMV-Verständnis durch Simulation

Was gibt es bei der Simulation von elektromagnetischer Verträglichkeit zu beachten? Im ersten Teil unserer Serie zeigen wir, wie sich durch Simulation neue Möglichkeiten in der Produktentwicklung ergeben.

CHRISTIAN RÖMELSBERGER *



Bilder: CADFEM

Bild 1: *Testaufbau für einen Schirmungstest, im Schirmgehäuse befindet sich eine Platine mit einer nicht terminierten 50 Ω Mikrostreifenleitung.*

In der technologischen Entwicklung spielen nachhaltige Energieversorgung und Vernetzung eine zentrale Rolle. Um diese beiden Themen zu meistern nimmt die Bedeutung der Elektronik zu:

- Moderne Leistungselektronik ist ein wichtiger Faktor für effiziente Energieumwandlung in elektrischen Maschinen und zur Energieübertragung und Speicherung.
- Hochgeschwindigkeits-Digitalelektronik dient zur schnellen, robusten Kommunikation umfassender Daten, zur Umsetzung komplexer Algorithmen und zur Regelung.
- In der Sensorik spielt die analoge Elektronik eine wichtige Rolle. Hohe Empfindlichkeiten und interdisziplinäre Lösungsansätze sind genauso gefragt wie die Anbindung an die Software zur Auswertung einer Vielzahl hochvernetzter Sensoren.
- Zur drahtlosen Datenübertragung sind Frequenzen im Radiowellenbereich (Kilohertz bis Gigahertz) nötig. Hier werden Signale auf eine Trägerwelle auf- bzw. von einer Trägerwelle abmoduliert. Diese Trägerwellen werden verstärkt, gefiltert, getrennt und an die Antennen angepasst.

In diesem Zusammenhang ist EMV ein sehr breites Themengebiet unter dem die verschiedenen Elektronikentwickler aus den unterschiedlichsten Bereichen ihre speziellen Problematiken berücksichtigen müssen. Dazu zählen eine Vielzahl von Normen, die es einzuhalten gilt und die je nach Industrie die Anforderungen regeln. Diese sind kritisch für den Erfolg eines Produktes, da die Zulassung davon abhängt und die Funktionalität des Produktes im realen Einsatz beeinträchtigt werden kann.

*** Christian Römelsberger**
... ist Experte im Bereich der hochfrequenten elektromagnetischen Simulation bei CADFEM.

Ungewollte elektromagnetische Interferenzen minimieren

Die ungewollten elektromagnetischen Interferenzen (EMI) können einerseits innerhalb eines Gerätes zwischen verschiedenen Komponenten stattfinden, z.B. zwischen dem digitalen und dem analogen Teil einer Schaltung. Dabei kann der hohe Frequenzgehalt von Schaltflanken digitaler Signale analoge Sensoren in der Nachbarschaft sehr stark stören. Andererseits können aber auch Störsignale aus der Umgebung ein Gerät beeinflussen, das nennt sich elektromagnetische Suszeptibilität (Störanfälligkeit). Oder das Gerät sendet selbst Störungen aus, die die Umgebung beeinflussen.

Kosten, die mit Entwicklungstätigkeiten rund um EMV entstehen, bilden heute einen der größten Posten in der Gesamtentwicklung eines Gerätes. Für Geräte im medizinischen und militärischen Einsatz sind die EMV-betreffenden Kosten besonders hoch. Um die festgelegten Normen zu erfüllen, sind viele Entwicklungszyklen nötig, um Prototypen zu bauen und in genormten EMV-Messeinrichtungen zu prüfen sowie zertifizieren. Aufgrund der Komplexität vieler elektronischer Geräte ist es dabei oft schwierig, möglichen Störungsursachen auf die Spur zu kommen, um auftretende Probleme zu lösen.

In dieser Artikelserie soll aufgezeigt werden, wie man mit Hilfe numerischer Simulation ein besseres Verständnis über das Systemverhalten und potentieller Störmechanismen erlangen kann, um bessere Produkte in kürzeren Zyklen zu entwickeln. Eine Stärke der Simulation liegt darin, dass sich einzelne kritische Untersysteme isolieren lassen, um sie näher untersuchen zu können. Hierbei werden Ergebnisgrößen bestimmt und dargestellt, die durch Messung kaum oder nur mit erheblichem Aufwand zu handhaben sind.

Die Ausbreitung und Einkopplung von Störungen folgt den üblichen Gesetzmäßigkeiten der Elektromagnetik, d.h. den Maxwellgleichungen. Dies ist der Ansatzpunkt der numerischen Simulation. Hier bietet ANSYS den Aufgabenstellungen angepasste

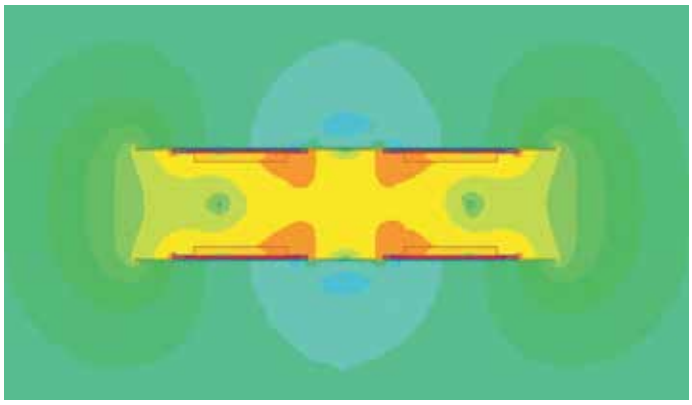


Bild 2: *Induktives Magnetisches Feld. Um den Effekt einer Schirmung zu bestimmen muss untersucht werden, wie viel Magnetfeld den Schirm durchdringt und wie das Feld um den Schirm herumgreift.*

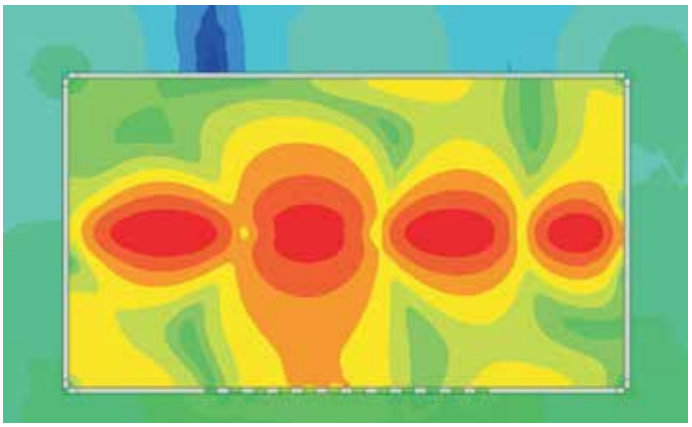


Bild 4: *Elektromagnetische Feldverteilung in und um der Umgebung des Gehäuses.*

Simulationssoftware zur Feld-, Schaltungs- und Systemsimulation.

Koppelpfade mit Hilfe von Feldsimulatoren beschreiben

Hier im ersten Teil der Serie soll gezeigt werden, wie sich Koppelpfade mit Hilfe von Feldsimulatoren beschreiben lassen, ohne auf die genaue Form der elektronischen Signale einzugehen.

Für feldgebundene Störungen werden oft Schirmungen als Gegenmaßnahme verwendet. Die Schirmungen basieren meist auf dem Wirbelstromverdrängungseffekt. Dabei werden in einem Metall (Schirmung) durch ein externes Magnetfeld Wirbelströme induziert, die wiederum ein weiteres Magnetfeld aufbauen, das dem ersten entgegenwirkt. Die charakteristische Eindringtiefe der Felder in den Leiter ist von der Frequenz, den magnetischen Materialeigenschaften und der Leitfähigkeit des Metalls abhängig. Bei einer induktiven Ladestation, die bei einer Frequenz von 20 kHz arbeitet, ist die Eindringtiefe in eine Schirmplatte aus Aluminium 0,6 mm. Das Schirmblech muss also die entsprechende Dicke aufweisen, damit die gewünschte Schirmwirkung erzielt werden kann. Um jedoch den Effekt einer solchen Schirmung genau zu bestimmen, muss nicht nur untersucht werden, wie viel Magnetfeld den Schirm durchdringt, sondern auch, wie das Feld um den Schirm herumgreift (Bild 2).

Die ANSYS-Feldsimulatoren erlauben, die genaue Magnetfeldverteilung zu berechnen, die sich aus der Konstellation des Spulensystems, der Schirmbleche, Ferriten und auch angrenzender Bauteile ergeben. Anhand der Magnetfeldverteilung lassen sich nicht nur Grenzwerte der Feldstärken direkt überprüfen, sondern auch die Ausbreitungspfade der Felder besser verstehen und vergleichen:

- Welche Rolle spielt die Positionierung der Schirmung bzgl. des Spulensystems?
- Greift mehr Feld ums Blech herum oder diffundiert mehr durchs Blech hindurch?
- Wo lässt sich Material einsparen? In der Dicke oder in der Breite?

Aufgrund dieser Erkenntnisse können schnell Designvariationen vorgenommen werden, um so eine optimale Geometrie des Schirms zu finden beziehungsweise die Grenzen des Umsetzbaren auszuloten.

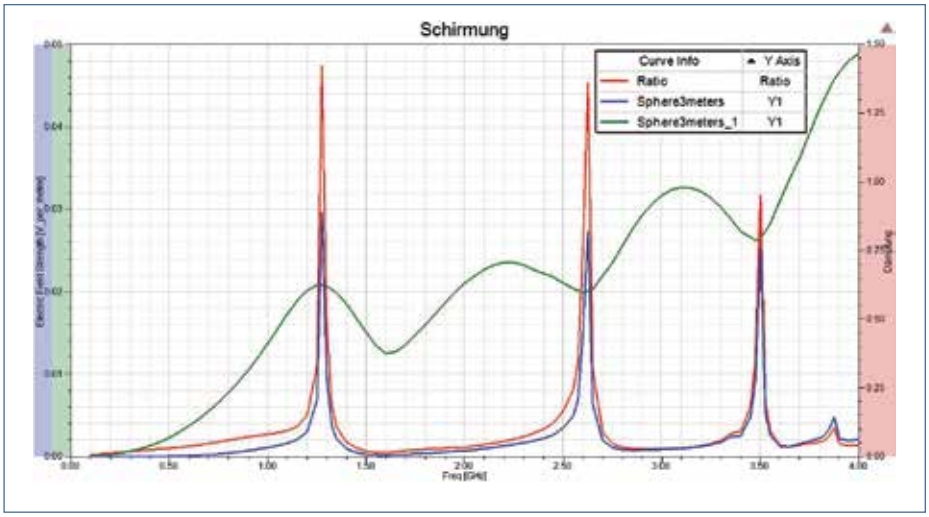


Bild 3: *Vergleich des abgestrahltes Feld einer Antenne mit und ohne Gehäuse.*

Schirmgehäuse für elektronische Baugruppen analysieren

Dieses Themengebiet kann natürlich auch im hochfrequenten Bereich untersucht werden, beispielsweise bei Schirmgehäusen für elektronische Kontrolleinheiten (ECUs). Hierbei bedeutet hochfrequent, dass Welleneffekte berücksichtigt werden müssen. Wenn die Schaltflanken der digitalen Elektronik einer solchen ECU bei einer Nanosekunde Anstiegszeit liegen, bedeutet das einen Frequenzgehalt von bis zu einigen Gigahertz. Bei diesen Frequenzen sind die Wellenlängen zum Teil unter 10 cm und damit vergleichbar mit der Baugröße der ECU sowie des Schirmgehäuses. Bei den hier untersuchten Frequenzen ist die Wirbelstromeindringtiefe in Metalle im Bereich einiger Mikrometer oder sogar unter einem Mikrometer. Folglich wird das Feld über die Dicke eines metallischen Schirmgehäuses vollständig abfallen. Jedoch enthält das Gehäuse aus fertigungstechnischen Gründen bzw. für die Entwärmung der Elektronik meist kleine Ritzen oder Öffnungen, aus denen elektromagnetische Felder ausdringen können.

Die Untersuchung der Schirmwirkung des Gehäuses kann mit Hilfe eines standardisierten Strahlers erfolgen, indem das abgestrahlte Feld der Antenne mit und ohne Gehäuse verglichen wird (Bilder 1 und 3). Dieser Aufbau lässt sich sehr gut mit ANSYS HFSS nachstellen und simulieren. Hierdurch sind etwa die maximalen elektrischen Felder in einer gegebenen Entfernung vom Strahler ver-

„HFSS bietet die Möglichkeit, auch Gehäuse aus unterschiedlichen Materialien zu verwenden, um wirkungsvolle Gehäusekonzepte zu entwickeln."

Christian Römelsberger, Cadfem

gleichbar. Da es zwischen Wellen, die an verschiedenen Öffnungen des Gehäuses austreten, zu Interferenzen kommen kann, hat die Abstrahlcharakteristik oft eine komplexe Struktur aus Haupt- und Nebenzipfeln. Dies macht es in realen Messungen schwierig, die maximalen, abgestrahlten Felder zu bestimmen. Mit einer Simulation ist es hingegen sehr leicht, die gesamte Abstrahlcharakteristik darzustellen und die Maxima in Abhängigkeit von der Frequenz zu bestimmen. Des Weiteren erlaubt die Simulation, die Feldverteilungen im und in der Umgebung des Gehäuses zu zu veranschaulichen, um zu sehen, wie stark die Abstrahlung aus welchen Öffnungen ausdringt (Bild 4).

Das breite Portfolio von ANSYS bietet hierbei auch die Möglichkeit, in einer strukturmechanischen Analyse die Deformation des Gehäuses und des Deckels durch den Verschlussmechanismus oder Verschraubungen und dadurch entstehende Spalte zu berechnen. Diese Spalte können dann in der elektromagnetischen Analyse berücksichtigt werden, um eine realistische Modellierung der Schirmwirkung des Gehäuses zu erreichen. So lassen sich verschiedene Verschlussmechanismen bezüglich ihrer EMV-Dichtigkeit beurteilen.

Gehäuse aus unterschiedlichen Materialien berücksichtigen

Oft werden aufgrund der Kosten oder aus anderen Gründen auch Gehäuse aus unterschiedlichen Materialien verwendet, beispielsweise aus beschichteten Kunststoffen. HFSS bietet die Möglichkeit, auch solche Gehäuse zu untersuchen und zu bewerten, um mit diesen Materialien wirkungsvolle Gehäusekonzepte zu entwickeln.

Bei metallischen Gehäusen können Resonanzen der Schirmung auch entgegenwirken, was bis zur Verstärkung von Störsignalen führen kann (Bilder 3 und 4). Simulation und Feldbilder erlauben es, diese Resonanzen zu verstehen und Gegenmaßnahmen zu untersuchen und zu bewerten. Dazu gehören veränderte Kontaktierungen zwischen Deckel und Gehäuse oder eine bezüglich des Gehäuses veränderte Platzierung von strahlenden Leiterbahnen.

Die Schirmwirkung eines Gehäuses gegenüber eingestrahlten Störungen ist ebenfalls ein wichtiges Thema. Dies lässt sich sowohl durch eine direkte Simulation mit einfallenden Wellen als auch aufgrund des Prinzips der Reziprokalität durch die Schirmung gegen Abstrahlung untersuchen.

Simulation schon in frühen Designphasen

Im ersten Teil der Serie über EMV-Simulation wurde gezeigt, wie ANSYS Simulationswerkzeuge schon in einer frühen Designphase der Elektronikentwicklung verwendet werden können, um EMV-Problemen vorzubeugen. Hierbei wurde spezielles Augenmerk auf die Schirmung von feldgebundenen Störungen gelegt. Den zweiten Teil finden Sie in Ausgabe 04 am 15. Februar. Dort wird dargestellt, wie auch realistische elektronische Signale simuliert werden können. So lässt sich das Verhalten von Systemen wie Schaltnetzteile, Wechselrichter oder digitale Hochgeschwindigkeitsdatenbusse besser verstehen und damit auch optimieren. // **SG**

CADFEM
+49(0)8092 70050

Webinar zum Thema

Um durch Simulation ein besseres Verständnis des EMV-Verhaltens in Elektronikbaugruppen zu vermitteln bieten die Experten von CADFEM am **23. Februar 2016, um 10 Uhr**, auf **www.elektronikpraxis.de/cadfem/** ein zugehöriges Webinar an. Darin wird Schritt für Schritt und anhand verschiedener Modelle gezeigt, wie die systematische Analyse auf Basis moderner Simulationswerkzeuge hilft, Koppelpfade zu verstehen und Maßnahmen zu bewerten. Unter anderem wird auf Schirmungsmaßnahmen für Elektronikbaugruppen, Sicherstellung von EMV-Zuverlässigkeit, Power- und Signalintegrität bei digitalen Hochgeschindigkeitsanwendungen und die Untersuchung der leitungsgebundenen Störungen eines DC-DC-Wandlers eingegangen.

Farnell element14

SETZEN SIE IHR DESIGN IN DIE TAT UM

- Über 650.000 Produkte auf Lager
- Unschlagbare Preise bei Volumenaufträgen
- Vertriebsteam, technischer Support und Angebotsteam ganz in Ihrer Nähe

de.farnell.com

Simulation leitungsgebundener Störungen in Leistungselektronik

Teil 2 der Serie zu besserem EMV-Verständnis durch Simulation: Um Emissionen elektronischer Baugruppen näher bestimmen zu können, bietet die ANSYS Electromagnetics Suite einige Möglichkeiten.

CHRISTIAN RÖMELSBERGER *

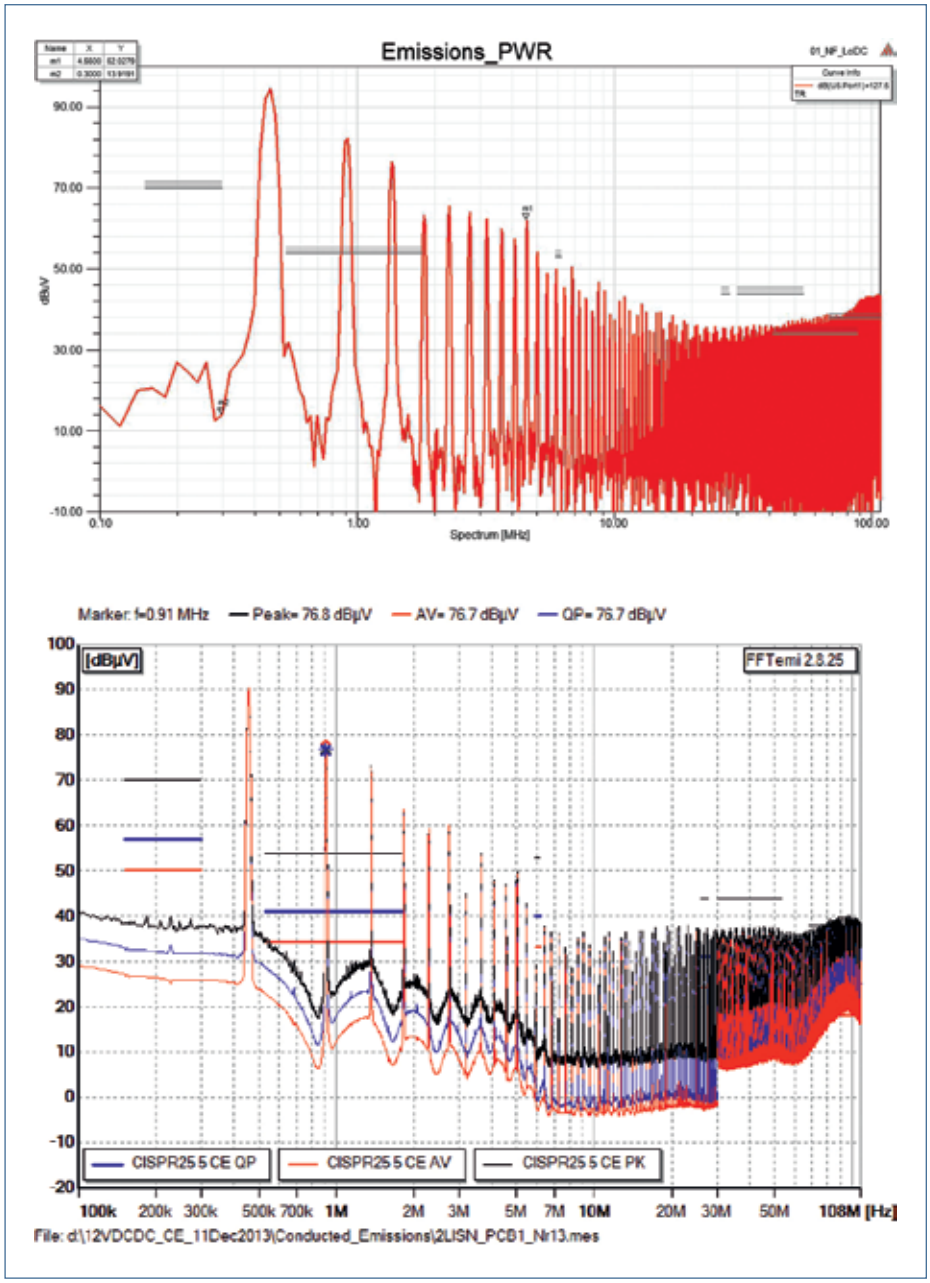


Bild 1: *Das simulierte und das gemessene Emissionsspektrum eines SEPIC-Wandlers.*

Bilder: CADFEM

In Teil 1 der Serie wurde gezeigt, wie elektromagnetische Feldsimulation behilflich ist, EMV-Schirmmaßnahmen schon in einer frühen Designphase zu testen, ihre Einschränkungen zu verstehen und optimale Schirmkonzepte zu finden. In diesem zweiten Artikel soll nun darauf eingegangen werden, welche Möglichkeiten die ANSYS Electromagnetics Suite bietet, um Emissionen elektronischer Baugruppen zu bestimmen.

Damit können zuverlässige Vorhersagen über das Verhalten eines realen Schaltungsaufbaus gemacht werden, die weit über Leiterplatten-Design-Rules hinausgehen. Somit lassen sich Tests durchführen und Schwächen des Layouts erkennen und beseitigen. Zudem kann abgeschätzt werden, welche Schirmmaßnahmen notwendig sind. Zusätzlich lassen sich mit Simulationen auch schwer bzw. praktisch gar nicht messbare Größen darstellen, um ein tiefer gehendes Verständnis zu erlangen, das für Designverbesserungen oft benötigt wird.

Elektromagnetische Störungen werden durch mehrere Effekte und deren Wechselspiel hervorgerufen. Um dies zu illustrieren, sollen die Emissionen eines DC-DC-Wandlers (Schaltnetzteil) betrachtet werden (Bild 1). DC-DC-Wandler finden in der Elektronikentwicklung vielseitige Anwendung. Sie dienen zum effizienten Wandeln von Gleichspannungen und Gleichströmen und werden in vielen elektronischen Baugruppen zur lokalen Stromversorgung verwendet. Auch in Fahrzeugen finden Sie Einsatz, um etwa Energie zwischen Batterie und Boardnetz zu transportieren.

Je nach Verwendungszweck gibt es Schaltnetzteile mit verschiedenen Topologien, unter anderem Step-up, Step-down, SEPIC

*** Christian Römelsberger**
... ist Experte im Bereich der hochfrequenten elektromagnetischen Simulation bei CADFEM.

(Single Ended Primary Inductor Converter), Ćuk oder Flyback. Die Funktionsweise eines Schaltnetzteils basiert wie viele leistungselektronische Schaltungen auf Schaltern (Leistungstransistoren wie MOSFETS oder IGBTs), die schnell getaktet ein- und ausgeschaltet werden, Dioden als Ventile und Kapazitäten und Induktivitäten als Energiespeichern. Im einfachsten Fall eines Step-Up- beziehungsweise eines Step-Down-Wandlers wird, wenn der Schalter geschlossen ist, eine Induktivität mit magnetischer Energie geladen. Wenn der Schalter dann geöffnet wird, treibt die Induktivität Strom durch eine Diode, die als Ventil dient. Bei anderen Topologien wie SEPIC, Ćuk oder Flyback sind oft mehrere Energiespeicher beteiligt. Das Funktionsprinzip ist aber sehr ähnlich. Die Ausgangsspannung kann über die Pulsweite des Schalters geregelt werden.

Schaltvorgänge führen zu Störungen

Das Schalten führt zu Signalen bei dieser Schaltfrequenz, die als Störungen wahrgenommen werden. Natürlich gibt es weitere Störungen bei Vielfachen (Harmonischen) dieser Grundfrequenz. Die Störungen bei höheren Frequenzen resultieren zum einen aus den harmonischen Anteilen der Darstellung von Rechtecksignalen zum anderen aus parasitären (ungewollten, realen) Eigenschaften der Bauteile und des Schaltungsaufbaus: Alle Strompfade, auch die Zuleitungen der Schalter und der Kondensatoren, haben parasitäre Induktivitäten, in denen durch die steilen Schaltflanken für den Strom beim Öffnen des Schalters große Spannungen induziert werden. Dies führt wiederum dazu, dass zum Beispiel parasitäre Kapazitäten im Schalter geladen werden. Auf diese Weise werden parasitäre Schwingkreise angeregt, die bei hohen Frequenzen schwingen, da die parasitären Induktivitäten und Kapazitäten typischerweise klein sind.

Um all diese Effekte und deren Wechselwirkung abzubilden, bietet die ANSYS Electromagnetics Suite den Aufgabenstellungen angepasste Feld- und Schaltungssimulatoren. Hierbei wird mit Hilfe eines Feldsimulators wie ANSYS Q3D Extractor das das Übertragungsverhalten des realen Schaltungsaufbaus berechnet. Dies enthält parasitäre Induktivitäten, Kapazitäten und Widerstandsbeläge im Schaltungslayout, aber auch Kopplungen an die Umgebung, beispielsweise eine kapazitive Kopplung an eine Fahrzeugkarosserie oder die Kupferoberfläche des Experimentiertisches für EMV-Messungen.

Feldsimulation als virtuelle Messung

Die Feldsimulation des Layouts kann als virtuelle Messung mit einem Vektor-Netzwerkanalysator angesehen werden. Dieses n-Tor-Netzwerk zwischen externen Terminals und den einzelnen Bauteilen soll in einem Analogsimulator (Schaltungs-/Systemsimulation) mit den Bauteilen und den externen Quellen und Lasten verknüpft werden, um in einer transienten Simulation die Signale (Strom- und Spannungsverläufe) an verschiedenen Bauteilen zu ermitteln. Die Verdrahtung in der Systemsimulation kann mit der Bestückung der leeren Platine verglichen werden. ANSYS Q3D Extractor bietet die Möglichkeit, sowohl DC-Widerstände und -Induktivitäten zu berechnen als auch Wirbelstromverdrängungseffekte und so erhöhte Widerstandsbeläge und induktive Kopplungen im AC-Fall zu berücksichtigen. Die Berücksichtigung dieser beiden Regimes ist notwendig, um das reale Verhalten leistungselektronischer Schaltungen gut abzubilden. Denn einerseits liegt der Arbeitspunkt für Schaltnetzteile typischerweise bei DC oder geht für Wechselrichter nicht über den Kilohertzbereich hinaus und andererseits ist das EMV-Verhalten bei hohen Frequenzen stark durch induktive Kopplungen und Wirbelstromverdrängungseffekte geprägt.

Für die Bestimmung des Verhaltens von passiven Bauteilen – wie Kondensatoren und Induktivitäten, die meist Zukaufbauteile sind – erweist es sich als nützlich, Impedanzmessungen durchzuführen, zum Beispiel mit Hilfe eines Netzwerkanalysators, und daraus Verhaltensmodelle zu extrahieren. Für Kondensatoren besteht ein einfaches Verhaltensmodell aus der Reihenschaltung einer idealen Kapazität, einer idealen Induktivität (ESL) und eines Widerstandes (ESR). Hier können, wie im ersten Teil der Artikelserie beschrieben, die parasitäre Induktivität und Widerstand als der Induktivitäts- und Widerstandsbelag der Zuleitung des Kondensators angesehen werden. Die kapazitive Kopplung zwischen den Spulenwindungen einer Induktivität führt entsprechend zum parasitären Verhalten dieses Bauteils.

Bauteilbibliothek für EMV-Simulationen

Die ANSYS EM Suite bietet sowohl die Möglichkeit, mit Hilfe eines Tuning-Werkzeugs per Hand diese Schaltkreisparameter zu extrahieren, als auch eine automatisierte Verhaltensmodellgenerierung auf Basis von Touchstone-Files der Messdaten durchzuführen. Auf diese Weise kann der Anwender eine Bibliothek von häufig verwendeten Bauteilen aufbauen, die in EMV-Simulationen schnell nutzbar sind.

Um das dynamische Verhalten der Halbleiterelemente zu beschreiben, werden so-

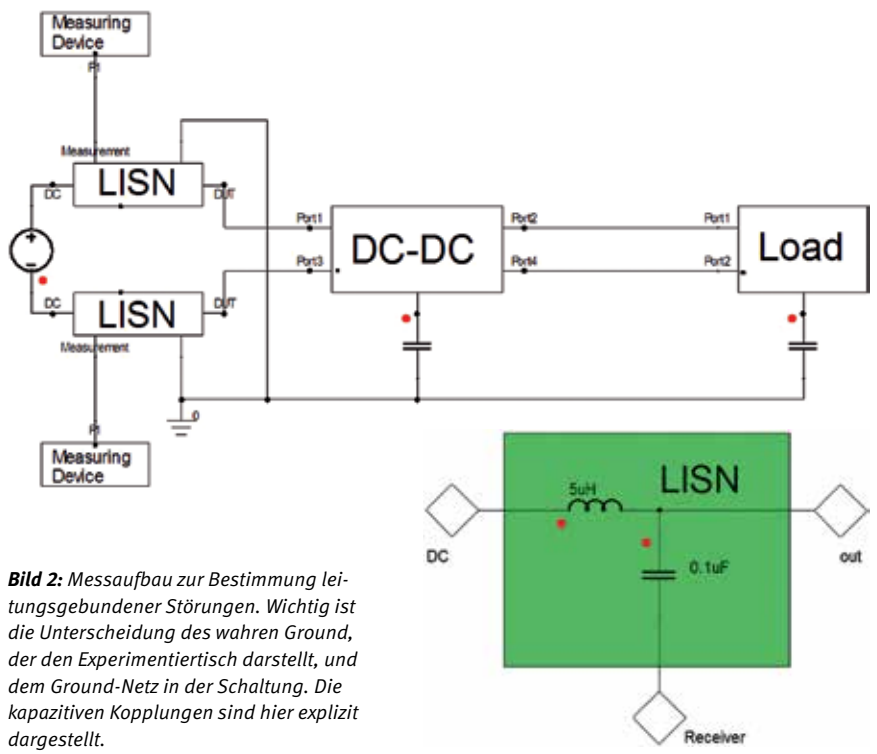


Bild 2: *Messaufbau zur Bestimmung leitungsgebundener Störungen. Wichtig ist die Unterscheidung des wahren Ground, der den Experimentiertisch darstellt, und dem Ground-Netz in der Schaltung. Die kapazitiven Kopplungen sind hier explizit dargestellt.*

wohl die nichtlinearen Kennlinien, beispielsweise die Transfer-Charakteristik von MOSFETs, benötigt als auch Kapazitäten zwischen den verschiedenen Anschlüssen der Halbleiter, zum Beispiel die Gate-Source-Kapazität von MOSFETs.

Erst diese Kenndaten erlauben es, dynamische Effekte wie das Miller-Plateau beim Schalten eines MOSFETs darzustellen. Der ANSYS Simplorer kann einerseits Verhaltensmodelle von den Herstellern dieser Komponenten im Spice- oder PSpice-Format lesen und andererseits eigene Verhaltensmodelle mit dem Device Characterisation Tool generieren. Mit den eben beschriebenen Methoden lassen sich gute dynamische Verhaltensmodelle für alle Teile des Wandlers von den Einzelkomponenten bis zum Layout erzeugen.

Nahtloser Simulations-Workflow realisierbar

Mit der Analogsimulation des gesamten Schaltungsaufbaus sind alle relevanten Signale und somit auch leitungsgebundene Störungen bestimmbar. Die ANSYS Electromagnetics Suite bietet dafür den Simplorer als Systemsimulator, der mit den Feldsimulatoren im ANSYS Electronics Desktop als einheitliche Simulationsumgebung integriert ist. Dies erlaubt den nahtlosen Simulations-Workflow vom Layoutimport bis zur Feld- und Systemsimulation. Hier wird es wichtig über Messvorschriften aus Normen zu reden.

Ein Beispiel ist die CISPR 25 Norm in der Automobilbranche: Dabei wird der Prüfling in einer EMV-Messkammer mit absorbierenden Wänden aufgebaut, um äußere Einflüsse abzuschirmen und Reflexionen der eigenen Emissionen zu vermeiden. Des Weiteren wird der Prüfling mit Last über einer leitenden, geerdeten Fläche (Experimentiertisch mit Kupferoberfläche) platziert und durch ein künstliches Netzwerk (LISN) versorgt (Bild 2). Dieser Messaufbau trennt die ‚wahre' Erde von der Erde im Schaltungsaufbau und erlaubt auf diese Weise das Entstehen von Gleichtaktstörungen. Zudem können genormte leitungsgebundene Störungen am LISN abgegriffen und über einen 50 Ω Messempfänger gemessen werden. In der Analogsimulation mit ANSYS Simplorer werden die künstlichen Netzwerke und Messempfänger nachgebildet, wie dies im Bild 2 zu sehen ist. Die Emissionsspektren werden durch eine automatisierte Fouriertransformation mit entsprechender Fensterfunktion im Postprozessing dargestellt.

Die Simulation erlaubt es, bei EMV-Untersuchungen einzelne Details genauer zu untersuchen, diese von anderen Phänomenen zu isolieren und auch schwer messbare Größen zu veranschaulichen. Darauf basierend entsteht ein umfassenderes Verständnis des Systemverhaltens, sodass zur Optimierung gezielte Designvariationen an virtuellen Prototypen vorgenommen werden können. Auf diese Weise lässt sich Zeit bei der Prototypenfertigung und teuren EMV-Messungen einsparen, um im Idealfall nur die Endabnahme in der EMV-Messkammer durchzuführen.

EMV-Messkammer nur für die Endabnahme

Zum Beispiel ist mit der Simulation leicht erkennbar, dass in dem betrachteten SEPIC-Wandler die Störungen bis circa 10 MHz durch Gegentaktmoden bestimmt sind. Dagegen dominiert bei höheren Frequenzen die Gleichtaktmode, was wiederum impliziert, dass bei den höheren Frequenzen der ganze DC-DC-Wandler zusammen mit der Last als Monopolantenne gegenüber dem Experimentiertisch wirkt und abstrahlt. Dieses wird speziell dann ein wichtiges Thema, wenn Kabelbäume ins Spiel kommen, da die Resonanzfrequenzen der ‚Antenne' dann leicht in den Zig-Megahertz-Bereich kommen.

Die Abstrahlung dieser Anordnung lässt sich in einer Feldsimulation mit ANSYS HFSS bestimmen, in der die Signale aus der Analogsimulation als Anregungen verwendet werden. Des weiteren können Gegenmaßnahmen wie Layoutveränderungen, andere Bestückungen, veränderte Ansteuerungen mit flacheren Schaltflanken oder Filtermassnahmen schnell in der Simulation untersucht und miteinander verglichen werden.

Der ANSYS Simplorer bietet des Weiteren die Möglichkeit, in einer Analogsimulation die Schaltungen zusammen mit Reglern zu simulieren, die die Pulsweite regulieren. Dies ist speziell in der Leistungselektronik sehr nützlich, da auf diese Weise schnell verschiedene Lasten untersucht werden können oder bei Wechselrichtern dies auch ein bestimmender Faktor für die Emissionen ist.

In diesem Teil der Artikelserie wurden die Möglichkeiten der ANSYS Electromagnetics Suite zur Untersuchung von Störsignalen leitungsgebundener Störungen in leistungselektronischen Schaltungen aufgezeigt. Diese Methodik beschränkt sich nicht nur auf die Leistungselektronik und ist auch die Grundlage zur Berechnung von abgestrahlten Emissionen.

Im dritten und letzten Teil dieser Artikelserie, in Ausgabe 05 am 03. März, wird auf die ANSYS-Lösungen für die Bewertung von Digitalelektronik mit Hilfe von SIwave eingegangen und ein Ausblick auf die Bewertung der Störempfindlichkeit gegenüber Einstrahlung gegeben. // **SG**

CADFEM
+49(0)8092 70050

Ein Wechselspiel aus Analog- und Feldsimulation

Dritter und letzter Teil der Serie zu besserem EMV-Verständnis durch Simulation: So lernen Sie, unter Anwendung effizienter Berechnungs-Workflows abgestrahlte Emissionen korrekt zu berechnen.

CHRISTIAN RÖMELSBERGER *

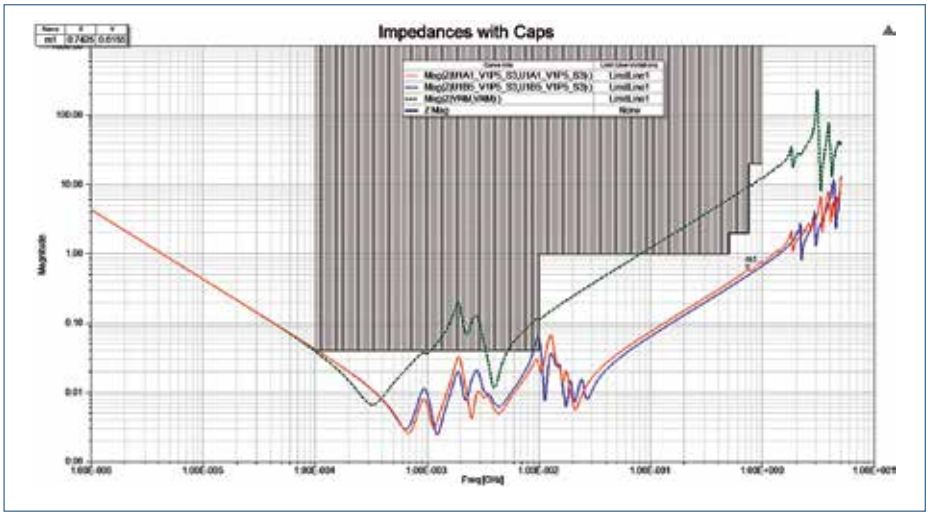
Im zweiten Teil dieser Artikelserie wurde am Beispiel der leitungsgebundenen Emissionen eines DC-DC-Wandlers gezeigt, wie Störsignale durch ein Wechselspiel von Feld- und Systemsimulation berechnet werden können. Außerdem wurden die effizienten Berechnungs-Workflows beschrieben, die in der integrierten Elektronik-Simulationsumgebung des ANSYS Electronics Desktop dazu bereitstehen. In diesem abschließenden letzten Teil der Artikelserie über EMV-Simulation werden diese Ideen noch weiter entwickelt, um abgestrahlte Emissionen zu berechnen. Dies soll anhand des automatisierten Berechnungs-Workflows für digitale Elektronik mit Hilfe von ANSYS SIwave illustriert werden.

In der Digitalelektronik besteht der Schaltungsaufbau meist aus einem Versorgungssystem, in dem oft zwei Lagen der Leiterplatte mit dem(/n) Versorgungsnetz(en) beziehungsweise dem Massenetz durchmetallisiert sind, und den Signalnetzen, auf denen die digitalen Signale zwischen ICs (integrierte Schaltkreise/Chips) beziehungsweise auch Ausgängen kommuniziert werden. Diese beiden Systeme haben jeweils ihre eigenen Herausforderungen bezüglich ihrer Funktionalität und der elektromagnetischen Verträglichkeit. In diesem Artikel soll allerdings auch gezeigt werden, wie das Wechselspiel dieser beiden Systeme zu neuen Herausforderungen führt.

*** Christian Römelsberger**
... ist Experte im Bereich der hochfrequenten elektromagnetischen Simulation bei CADFEM.

Untersuchung des Versorgungssystems

Eine Untersuchung des Versorgungssystems beinhaltet die Betrachtung der DC-Spannungsversorgung. Hierbei wird analysiert, ob der Spannungsabfall durch Ohm'sche Verluste in den Versorgungsnetzen von VRMs (Voltage Regulator Modules) bis zu den ICs, die versorgt werden müssen, klein genug ist, damit die ICs noch genügend Spannung zur Verfügung haben. ANSYS SIwave bietet die Möglichkeit, solche Simulationen schnell durchzuführen, indem das Layout von gängigen Layout-Systemen zusammen mit der Bestückung importiert wird. Die Spannungs- beziehungsweise Stromquellen oder zusätzliche Bauteile können auf verschiedene Weisen definiert werden, entweder durch Positionierung in der Geometrie oder über Netze und Reference Designators. Dies erlaubt eine zügige Definition des Simulations-Setups, die speziell auf Leiterplatten zugeschnitten ist. Als Ergebnisse werden sowohl verteilte Größen – wie Spannungs-, Stromprofile und Verlustleistungsdichten – als auch konzentrierte Größen – wie die Spannungen an den Verbrauchern oder die Via-Belastungen. Die Verlustleistungen können auch automatisiert an thermische Simulationen in ANSYS Icepak weitergeleitet werden, um das thermische Management zu untersuchen. Die Temperaturverteilung lässt sich dann wiederum automatisch in einer weiteren DC-Drop-Analyse verwenden, da die elektrischen Leitfähigkeiten natürlich auch temperaturabhängig sind.



Bilder: CADFEM

Bild 1: *Impedanzfrequenzgang des Versorgungsnetzwerks mit Limit Lines.*

Analyse der dynamischen Effekte

Nach diesem kurzen Exkurs zur Simulation des DC-Drops sollen nun die dynamischen Effekte der Versorgungsintegrität, der Signalintegrität und deren Auswirkungen auf das Emissionsverhalten genauer beleuchtet werden. Das Versorgungssystem einer digitalen Schaltung kann als Plattenkondensator angesehen werden. Bei entsprechend hohen Frequenzen bilden sich elektromagnetische Wellen zwischen diesen Ebenen aus, die sich parallel dazu ausbreiten und an den Rändern der Power- und Ground-Netze reflektiert werden. Dies kann zu stehenden Wellen und somit Resonanzen führen, die, falls sie angeregt werden, eventuell unerwünschte Effekte hervorrufen. Zum einen kann die Funktionalität, zum Beispiel eine gesicherte Versorgung der ICs, beeinträchtigt sein und zum anderen besteht die Möglichkeit, dass Lei-

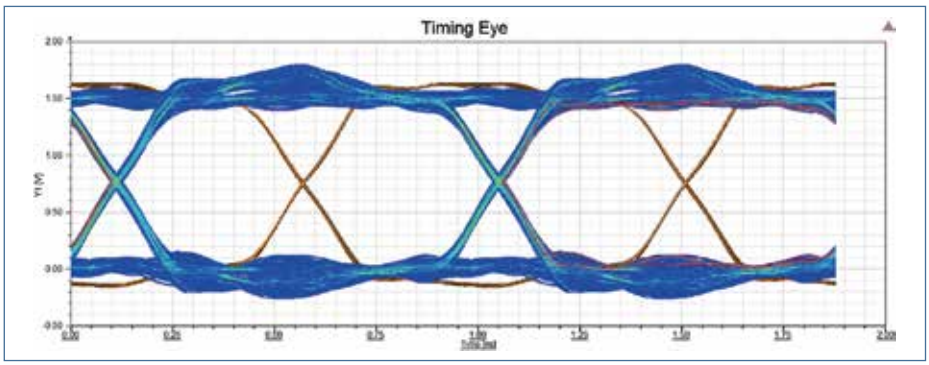


Bild 2: *Datenauge, welches das Timing der Daten eines DDR3 Buses bezüglich der Strobe beschreibt.*

terbahnen auch als Antennen wirken, was zu abgestrahlten Emissionen beziehungsweise einer erhöhten Empfindlichkeit gegenüber eingestrahlter Störungen führt.

Optimierung der Versorgungsintegrität

Die ICs beziehen ihren Strom meist nicht gleichmäßig aus dem Versorgungsnetz, sondern arbeiten vorwiegend getaktet. Diese Taktung kann Resonanzen anregen, die möglicherweise dazu führen, dass sich das IC an einer Stelle des Versorgungsnetzwerks befindet, an der zu manchen Zeiten die Versorgungsspannung unter die notwendigen Werte fällt und das IC somit ausfällt.

ANSYS SIwave bietet viele Möglichkeiten, ein Leiterplattendesign auf die Versorgungsintegrität zu untersuchen und das Verhalten durch gezieltes Platzieren von Stützkondensatoren zu verbessern. In einem ersten Schritt wird untersucht, welche Resonanzen des Versorgungsnetzwerkes sich bei welchen Frequenzen ausbilden. Hierbei werden natürlich die schon platzierten passiven Bauelemente berücksichtigt.

Dies erlaubt es, kritische Frequenzen zu identifizieren und auch günstige Positionen für Stützkondensatoren an den Maxima der stehenden Wellen zu bestimmen. Damit diese Stützkondensatoren die Resonanzen unterbinden können, müssen deren parasitäre Induktivitäten so gering sein, dass die Kondensatoren bei den gegebenen Frequenzen noch ein kapazitives Verhalten aufweisen und entsprechend die Maxima der stehenden Wellen reduzieren.

In einer komplementären Analyse werden die Frequenzgänge der Impedanzen der Versorgungswege bestimmt (Bild 1). Dies gibt Aufschluss darüber, welche Resonanzen tatsächlich durch den getakteten Stromverbrauch bei entsprechenden Taktraten und Schaltflanken angeregt werden können und welche Auswirkungen diese auf die Versorgung der ICs haben: Hohe Impedanzwerte bei einer Frequenz bedeuten, dass kleine Stromschwankungen mit dieser Frequenz große Spannungsschwankungen hervorrufen. Für diese Impedanzen bestehen Limit-Lines, die für ein Leiterplattendesign eingehalten werden müssen. ANSYS SIwave bietet auch die Möglichkeit, die Auswahl von Stützkondensatoren zu optimieren. Hierbei werden aus einer vorgegebenen Liste von Kondensatoren die besten Kombinationen ausgewählt, beispielsweise hinsichtlich Preis oder Anzahl, sodass die Grenzwerte an die Impedanzen möglichst erfüllt sind. Diese Analysen erlauben es, Gewissheit über die geeignete Wahl von Stützkondensatoren zu erlangen und „Angstkondensatoren“ zu vermeiden.

Wie zuvor schon erwähnt, ist die Versorgungsintegrität mit den Themen der Signalintegrität und der elektromagnetischen Verträglichkeit eng verwoben. Denn das Versorgungssystem beinhaltet die größten Netze, die Störungen gut weiterleiten und als effiziente Antennen wirken können, speziell bei Resonanzen. Folglich ist eine gute Auslegung des Versorgungssystems eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg in der Elektronikentwicklung.

Schnelle und fehlerfreie Datenübertragung

Die Hauptaufgabe von digitaler Elektronik ist natürlich die schnelle und fehlerfreie Datenverarbeitung, was die fehlerfreie Übertragung von Daten zwischen verschiedenen ICs erfordert. Hierfür sind je nach Anwendung verschiedene Technologien und Protokolle verfügbar, zum Beispiel die DDR3/4 (Double Data Rate), PCI Express und USB 3.0. Bei all diesen Technologien werden die Daten als Bit-Folgen in Form von transienten Spannungsverläufen über die Signalleitungen übertragen. Hierbei gelten Spannungssignale, die größer als eine gegebene Spannung sind, als 1 und Spannungen, die kleiner als eine andere, kleinere Spannung sind, als 0.

DIGITAL-KOMPENDIUM

Messtechnik-Grundlagen

- Grundlagenbeiträge
- Fachartikel
- Applikationsbeispiele
- Referenzdesigns
- Design-Tipps
- weiterführende Informationen als Online-Verlinkung

Lesen Sie das gesammelte ELEKTRONIKPRAXIS-Wissen auf Ihrem PC, Laptop oder iPad und sichern Sie sich kostenlos Ihr gedrucktes Kompendium* unter

--> www.elektronikpraxis.de/messtechnik-kompendium

ELEKTRONIK PRAXIS

*limitierte Auflage

Vogel Business Media www.vogel.de

09861

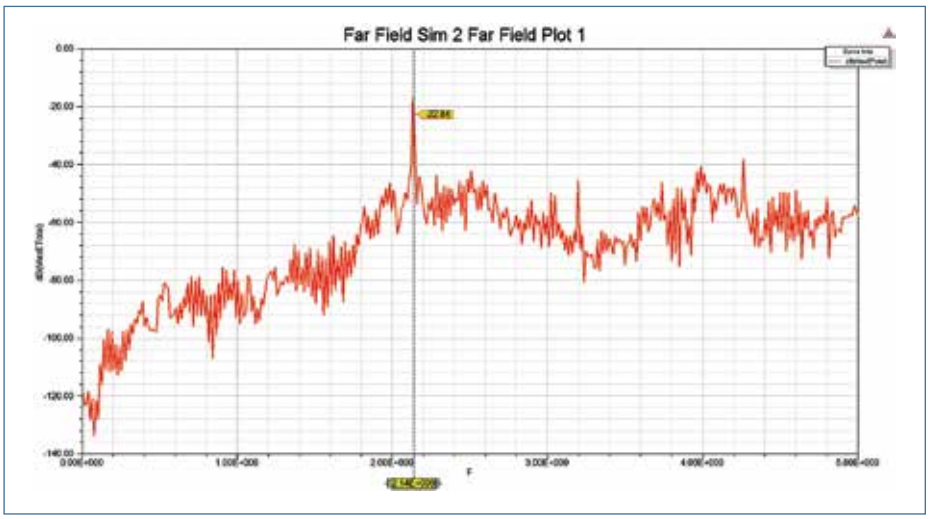


Bild 3: *Spektrum der abgestrahlten Emissionen. Im Maximum gibt es eine Koinzidenz einer Resonanz des Versorgungssystems und der doppelten Datenrate.*

Bei sehr hohen Datenraten beeinflussen die Übertragungswege die Signalqualität sehr stark und die idealerweise trapezförmigen Signale degenerieren zu runderen Spannungsverläufen. Die Signalqualität kann hier zum Beispiel mit Hilfe von Datenaugen (Bild 2), die eine Überlagerung sehr vieler Intervalle von einer Bit-Länge eines digitalen Signals darstellen, beziehungsweise mit Hilfe von Bit-Fehler-Raten (BER).

Mittels ANSYS SIwave lassen sich äußerst effizient Simulationen durchführen, um die Signalintegrität zu bewerten. Hierbei werden automatisiert sowohl die benötigten S-Parameter des Schaltungslayouts berechnet als auch ein Schematic für eine Systemsimulation aufgebaut. Die Systemsimulation berücksichtigt das Übertragungsverhalten der Leiterplatte. Sender und Empfänger können in Form von IBIS-AMI-Modellen, SPICE-Modellen oder als idealisierte generische Modelle integriert werden. Außerdem wird mit einer realistischen Spannungsversorgung gearbeitet.

Einfluss von parasitären Effekten

Diese Bestandteile sind wichtig für eine realistische Bewertung der Signalintegrität und der Emissionen: Gute Treibermodelle stellen dar, wie beim Schalten eines digitalen Signals die aktuellen Spannungen der Power- und Ground-Netze verwendet werden, um entsprechende physikalische Signale zu generieren. Damit lassen sich auch die parasitären Eigenschaften des Package und die Rückwirkungen auf das Versorgungsnetz berücksichtigen. Hier kommen die Themen der Versorgungsintegrität wieder ins Spiel, da Resonanzen des Versorgungssystems angeregt werden können, die wiederum Signale und Emissionen beeinflussen (Bild 3 / 4).

Weitere Effekte entstehen etwa dadurch, dass Signalleitungen über einen Schlitz in den Power- oder Ground-Netzen geführt werden oder durch Via-Durchführungen. Hier ergeben sich Unstetigkeiten in der Impedanz der Übertragungsstrecke, die zu Reflexionen, Übersprechen und Abstrahlung führen. Das kann auch mit der Antennentheorie erklärt werden, etwa als Schlitzantenne oder Apertur-Kopplung im Fall von geschlitzten Ebenen oder als $\lambda/4$ Resonator bei Via-Stubs.

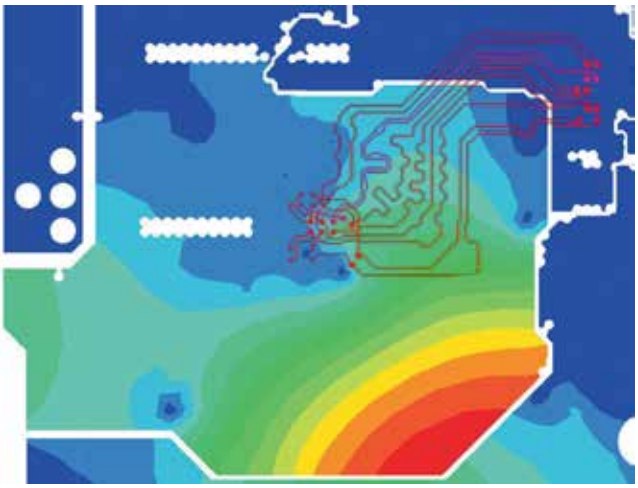


Bild 4: *Feldverteilung in der Nähe von kritischen Signalleitungen: Eine Resonanz im Versorgungssystem wird angeregt.*

Umfassende und effiziente Simulationslösung

Wie hier dargestellt, besteht ein enges Zusammenspiel zwischen Versorgungsintegrität, Signalintegrität und elektromagnetischer Verträglichkeit. Die ANSYS Electromagnetics Suite bietet mit SIwave und dem ANSYS Electronics Desktop eine umfassende und effiziente Simulationslösung, um diese Fragestellungen unter Berücksichtigung aller wichtigen Einflüsse und Koppelmechanismen zu untersuchen. Auf diese Weise lässt sich schon mit virtuellen Prototypen eine sehr hohe Sicherheit bezüglich des Produktverhaltens erlangen.

In dieser Artikelserie wurde dies anhand vielfältiger Beispiele illustriert, von Schirmmaßnahmen, die feldgebundene Koppelwege unterbinden, über die leitungsgebundene Störungen bis hin zur Abstrahlung in der Digitalelektronik. Hier konnte keine umfassende Darstellung der Möglichkeiten zur EMV-Berechnung gegeben werden, es wurden nur einige Aspekte beispielhaft näher beleuchtet. Das ANSYS Portfolio erlaubt zudem auch effiziente Berechnungen der:

- Störempfindlichkeit gegenüber leitungsgebundenen und eingestrahlten Störungen, dies ist zum Beispiel in der Analogelektronik sehr wichtig, da Sensoren nicht durch andere elektronische Baugruppen beeinflusst werden sollen,
- Interferenzen verschiedener Antennen, die in einer gemeinsamen Umgebung platziert sind (Cosite-Interferenzen),
- schnellen transienten Störungen wie elektrostatische Entladungen (ESD), Burst und Surge Pulse und deren Ausbreitung in elektronischen Baugruppen.

Bei all diesen EMV-Themen liefert die Simulation ein tiefergehendes Verständnis für die jeweiligen Koppelmechanismen und erlaubt somit, gezielte Gegenmaßnahmen zu treffen. Dies erspart langwierige Entwicklungsschleifen mit schwieriger Spurensuche aufgrund von Messergebnissen aus der Messkammer oder die Durchführung überdimensionierter Gegenmaßnamen. // **SG**

CADFEM
+49(0)8092 70050