



Quiet please!

Ohne gezielte Kondensatorbeschaltung ist Ärger programmiert

Ruhe bitte! So dürfte wohl der Wunsch eines jeden Entwicklers in Bezug auf die Störpegel innerhalb der Powersysteme seiner Leiterplatte lauten. Der bewährte Ansatz breitbandiger Kondensatorgruppen – erweitert um die präzise Berücksichtigung der Flächeneigenschaften – führt zu optimalen EMV-Ergebnissen bei hoher Systemstabilität. Am Beispiel des 1V2-FPGA-Core-Powersystems im meltemi-economic-Board verdeutlicht EMV-Experte Nils Dirks die Eigenschaften korrekt ausgelegter flächiger Stromversorgungssysteme und wie diese durch geeignete Beschaltung zu ergänzen sind.

Nils Dirks*

Die Vorteile der korrekten Staffe- lung verschiedener Kapazitäts- werte zu einer sog. „breitbandigen Kon- densatorgruppe“ haben EMV-Experten bereits Anfang der 90er-Jahre erläutert. Die Notwendigkeit, Powersysteme zu konstruieren, die breitbandig äußerst niederohmig und damit sowohl in puncto EMV als auch in puncto Stützung be- sonders leistungsfähig sind, stand seiner- zeit jedoch noch kaum im Fokus der Ent- wicklung. In der jüngeren Vergangenheit hingegen sieht sich der Entwickler immer öfter mit zwei typischen Problemen kon- frontiert:

1. Die zulässigen Einbrüche der Versor- gungsspannungen an den zu verwen- denden ICs (RAM, CPU, ASIC, FPGA etc.) sind äußerst gering spezifiziert und ver- langen zum Teil Powersysteme, die Impe- danzwerte im $m\Omega$ -Bereich haben müs- sen. Wie soll das gehen?
2. Moderne Digitalssysteme konsumieren heutzutage bereits Betriebsströme im zweistelligen Ampere-Bereich, die inner- halb der Powersysteme als Strompulse wieder zu finden sind; dabei können die Spitzenwerte deutlich über der durch- schnittlichen Stromaufnahme liegen und für erhebliche EMV-Probleme sorgen. Die Vorteile korrekt ausgelegter flächiger Stromversorgungssysteme umfassen die Lösung der beiden vorgenannten Pro- bleme, bieten aber darüber hinaus noch

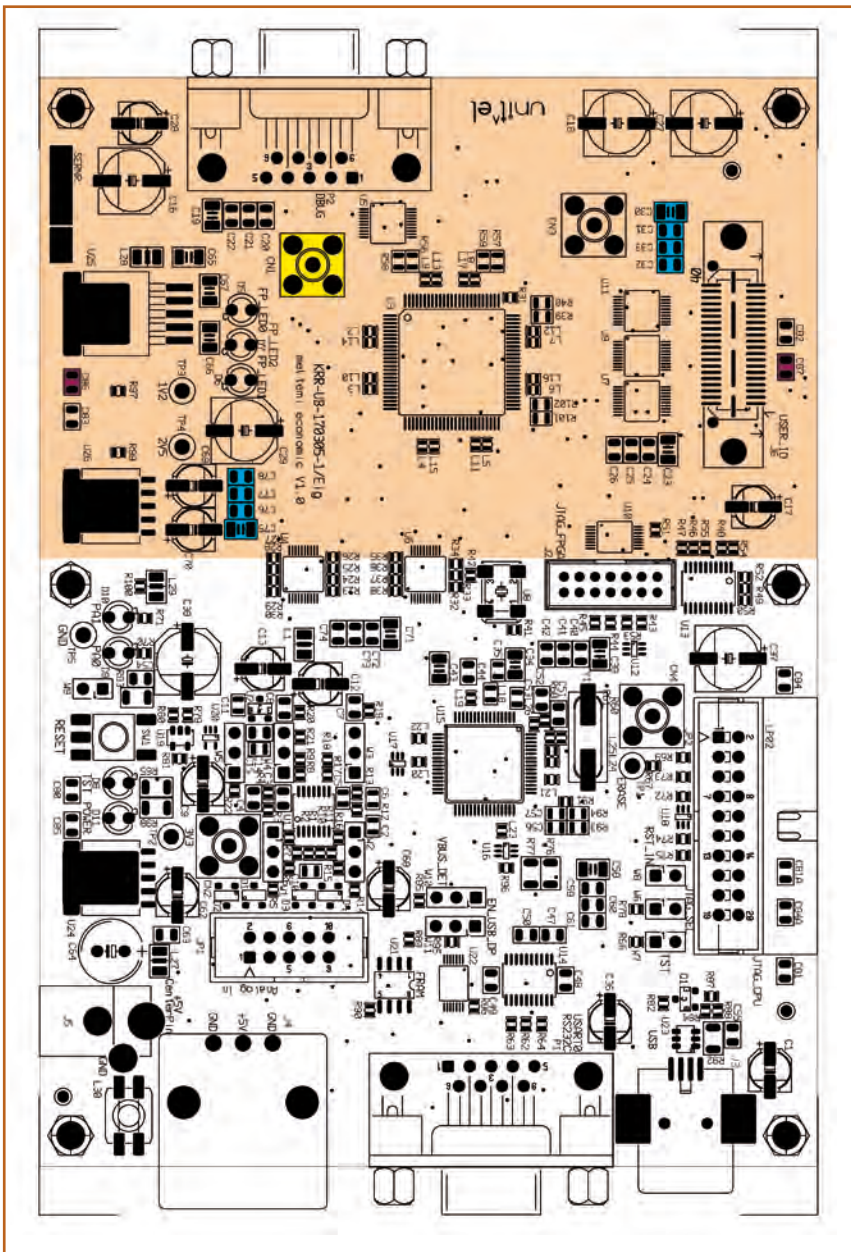
eine Vielzahl weiterer Vorzüge. Um den Rahmen dieses Artikels nicht zu spre- gen, beschränken wir uns auf die Be- trachtung dieser beiden Aspekte, die als Motivation für die korrekte Auslegung der Powersysteme bereits mehr als aus- reichend sein sollten.

Nachfolgend wird am Beispiel des 1V2- FPGA-Core-Powersystems im meltemi- economic-Board gezeigt, welche Auswir- kungen die Eigenschaften solcher Power- Planes haben, und wie diese durch ge- eignete Beschaltung zu ergänzen sind. Zunächst soll daher geklärt werden, wie sich ein Powersystem, das aus einer Power- und einer GND-Plane besteht, tatsächlich verhält. Das schematische Layout der Power- bzw. GND-Plane ist in Bild 1 dargestellt.

Struktur aus Power- und Ground-Plane

In Bild 2 ist der Impedanzverlauf des völ- lig unbestückten 1V2-FPGA-Core-Power- systems in einem meltemi-economic- Board V.1.0 zu sehen (grüne Kurve); gemessen wurde an der Position CN1 (35 mm, 24 mm). Hierzu wurde eine SMA- Buchse vorgesehen, an der im einfachsten Falle mithilfe eines Netzwerkanaly- zers die Impedanz gemessen werden kann. Auch die Details eines geeigneten Messaufbaus bzw. Messverfahrens wür- den hier den Rahmen sprengen. Die Messung zeigt im unteren Frequenz- bereich sehr deutlich den kapazitiven

*Nils Dirks, Inhaber von Dirks Corporate Consulting in München, ist in den Bereichen EMV-Schulung, Beratung und Software tätig.

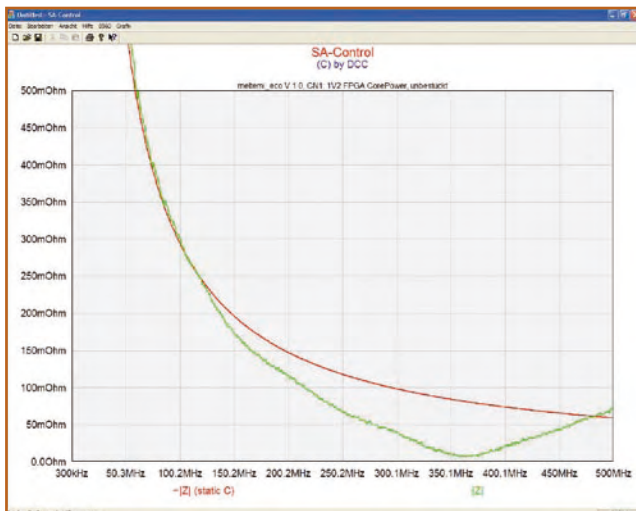


■ Messbuchse ■ Kondensatorgruppe ■ Kantenkondensator ■ Power-Plane

■ Bild 1: 1V2-FPGA-Core-Powersystem: Messbuchse und Kondensatorbestückung, rechteckige, homogene Vcc- und GND-Plane

Charakter der Struktur bestehend aus Power- und GND-Plane und einem 50 μm dicken FR4-Substrat dazwischen. Zum Vergleich zeigt die rote Kurve den Impedanzverlauf einer idealen Kapazität von 5,5 nF, was genau der bei NF gemessenen Kapazität des unbestückten Powersystems entspricht. Bis zu einer Frequenz von ca. 130 MHz verlaufen die beiden Kurven praktisch deckungsgleich. Unser Powersystem verhält sich bei Frequenzen unterhalb von 130 MHz scheinbar wie eine ideale Kapazität, d.h. keine parasitären Komponenten, keine räumliche Ausdehnung etc. Oberhalb

dieser Frequenz nähert sich die ideale Kapazität asymptotisch der 0- Ω -Linie an, während das Powersystem bei ca. 360 MHz ein extrem niederohmiges Minimum zeigt, um dann eine steigende(!) Impedanz aufzuweisen. Die Ursachen hierfür wurden im Beitrag „Die Mär vom Plattenkondensator“ (siehe InfoClick) bereits ausführlich erklärt. In einem ersten Ansatz könnte man den Standpunkt vertreten, das Modell der idealen Kapazität sei auch bis 500 MHz verwendbar, da ja die tatsächlich gemessenen Werte noch besser (kleiner) als die der idealen Kapazität sind. Es sei an dieser Stelle daran er-

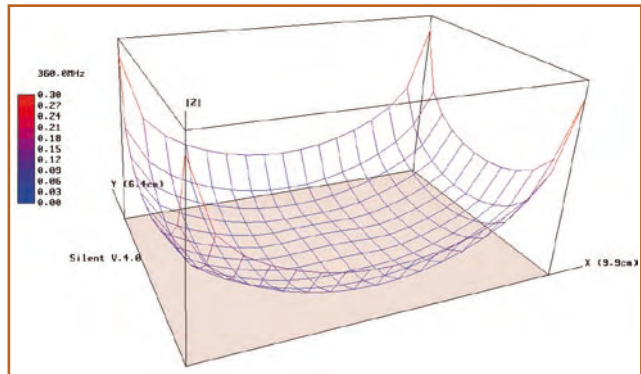


■ Bild 2: Impedanzverlauf des unbestückten 1V2-Power-Plane-Systems im Vergleich zu einer idealen Kapazität

innert, dass der Betrag der Impedanz in flächigen Powersystemen nicht nur eine Funktion der Frequenz, sondern auch des Ortes ist. Betrachtet man die Impedanz bei 360 MHz, behauptet das Modell der idealen Kapazität eine Impedanz von ca. 80 mΩ, die Messung ergibt weniger als 10 mΩ, jeweils am Ort des Messports CN1 betrachtet.

Mittels Simulation lässt sich die Impedanz an allen Orten des Systems bei der Frequenz 360 MHz sichtbar machen (Bild 3). Wie schon die Messung, ergibt auch die Simulation am Ort des Ports CN1 eine Impedanz von knapp unter 10 mΩ.

Viel augenfälliger ist jedoch die Tatsache, dass an anderen Orten – beispielsweise den Ecken – des Powersystems ganz andere Verhältnisse herrschen: Hier werden rund 30-mal höhere Werte erreicht! In diesem speziellen Fall wären die Werte möglicherweise dennoch brauchbar, da für die Powersysteme des meltemi-Boards durchgängig homogene Flächen, d.h. keine großen Aussparungen, keine ‚Flaschenhälse‘ etc. und sehr dünne Substrate verwendet wurden. Bei anderen Geometrien und/oder Substratdicken werden aber sehr leicht Werte von mehreren 10 Ω erreicht, die völlig inakzeptabel sind



■ Bild 3: Betrag der Impedanz an den verschiedenen Positionen des 1V2-Systems bei 360 MHz

und später zu schwer durchschaubaren Problemen führen können. Gegenüber den 80 mΩ, die unsere ideale Kapazität anbietet, sind die realen 300 mΩ in den Ecken des Systems bereits rund viermal mehr als vorhergesagt und bestätigen die Untauglichkeit dieses Modells in Frequenzbereichen, wo Laufzeiteffekte bereits eine Rolle spielen; in unserem Beispiel also bereits ab etwa 100 MHz. Dies ist einer der Gründe, warum sich geeignete Simulations-Tools heute deutlich komplexerer Modelle für die Beschreibung von Power-Planes bedienen, der ‚klassische‘ Field-Solver sei nur als Beispiel genannt. Kommt ein geeignetes Modell zum Einsatz, lässt sich mithilfe von Simulationen sehr genau vorhersagen, welche Eigenschaften von einem bestimmten Power-

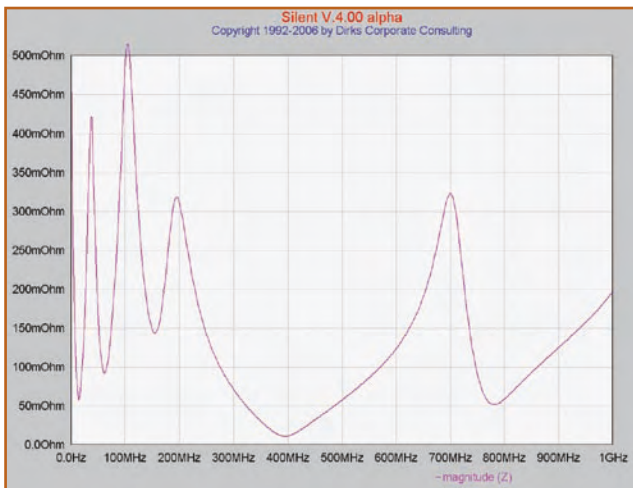


Bild 4:
Simulierter Impedanzverlauf von Flächensystem und Kondensatorgruppe an Position CN1

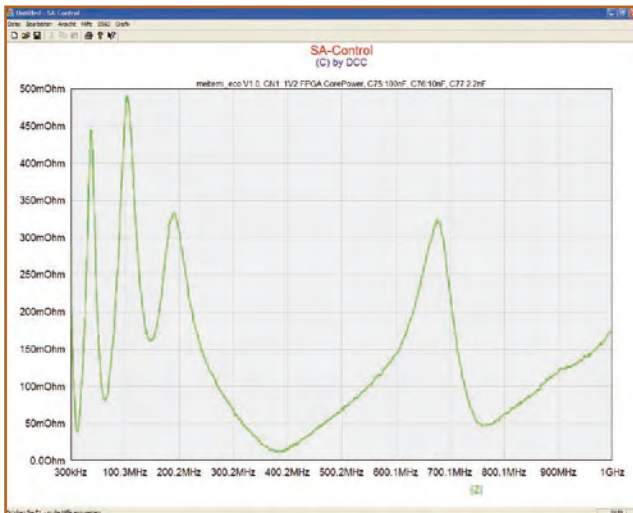


Bild 5:
Gemessener Impedanzverlauf von Flächensystem und Kondensatorgruppe an Position CN1

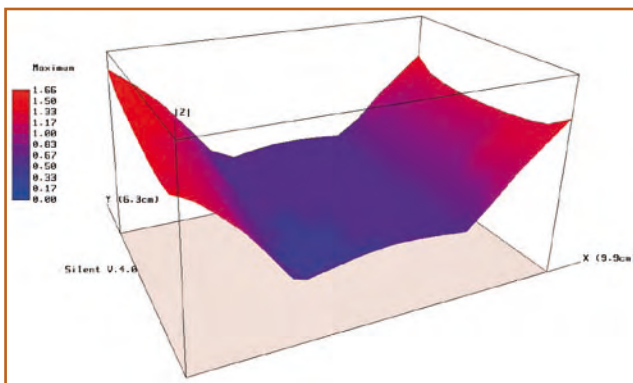
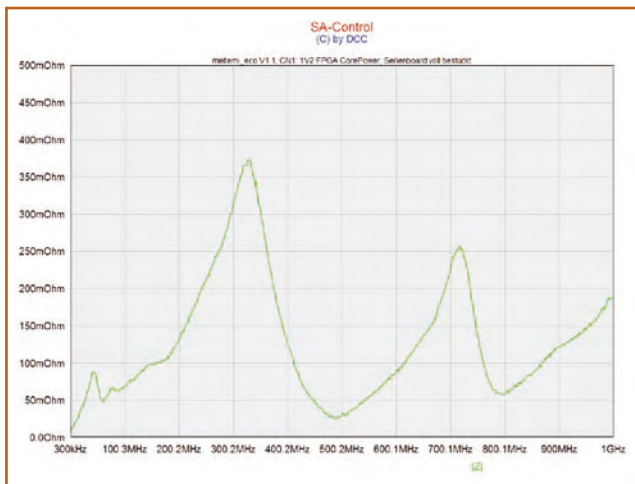


Bild 6:
Maximaler Betrag der Impedanz bis 1000 MHz an allen Positionen des Systems

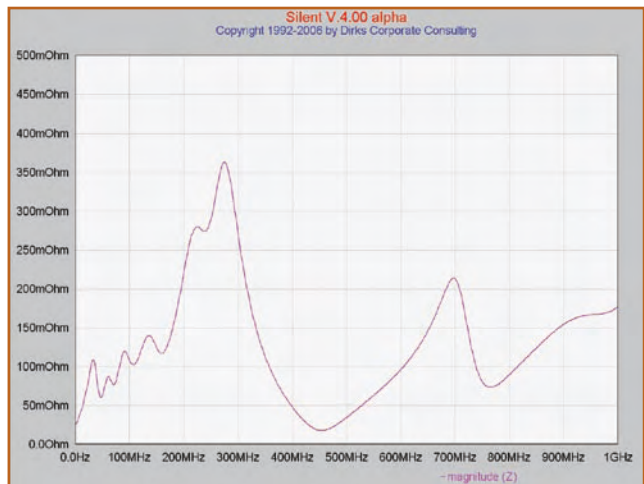
system zu erwarten sind. Dies wiederum ermöglicht, die korrekte Beschaltung im Voraus festzulegen und mögliche Probleme frühzeitig auszuschalten.

Mit dem Wissen um die realen Eigenschaften der Flächenstrukturen wird nun das Verfahren zur Entwicklung einer breitbandigen Kondensatorgruppe angewandt, um im unteren Frequenzbereich niederohmige Verhältnisse zu schaffen. Das Ergebnis der Simulation/Opti-

mierung ist in Bild 4 zu sehen: Im kHz-Bereich sorgen Spannungsregler und Elkos für niedrige Impedanzwerte, weshalb dieser Bereich hier nicht detaillierter betrachtet wird. Im darüberliegenden Frequenzbereich bis ca. 300 MHz sorgt die optimierte Kondensatorgruppe (100 nF, 1206, 10 nF, 0805, 2,2 nF, 0805) für niederohmige Verhältnisse, um zu noch höheren Frequenzen an das niederohmige Flächensystem „zu übergeben“. Dieses zeigt um



■ Bild 7: Messung der Impedanz an CN1: Bestücktes Serien-Board



■ Bild 8: Simulation der Impedanz an CN1: Bestücktes Serien-Board

700 MHz eine erste Strukturresonanz, die von stehenden Wellen innerhalb der Fläche hervorgerufen wird. Dank des guten Lagenaufbaus und der günstigen Geometrien bleibt aber auch diese Resonanz mit ca. 300 mΩ in einem gut zu ver-

schmerzenden Bereich und macht zusätzliche Beschaltungen nicht zwingend erforderlich.

Die Übereinstimmung von Messung (Bild 5) und Simulation ist verblüffend: Nicht nur das ‚Resonanzgebaren‘ der Kon-

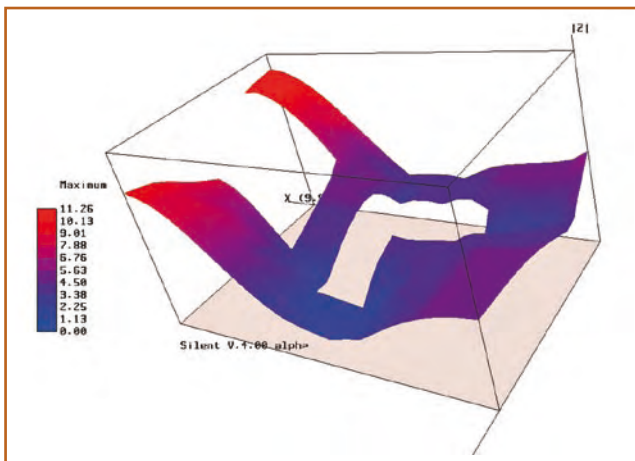
densatorgruppe lässt sich präzise vorher-sagen, sondern auch die Struktureigen-schaften werden korrekt abgebildet. Ein leichter Versatz bei den Frequenzen der Strukturresonanzen deutet auf ein nicht ganz exakt bekanntes εR des Substrat-materials hin; hier wirkt sich bereits die zweite Stelle hinter dem Komma der Dielektrizitätszahl aus.

Bis 1000 MHz unter 500 mΩ: Ein sehr gutes Ergebnis! Heile Welt! An der Posi-tion CN1! Und der Rest des Systems? Die Messung macht naturgemäß nur eine Aussage über die Verhältnisse an der Position der Messbuchse, nicht aber über den Rest des Powersystems. Da Simulati-on und Messung an dieser Stelle eine na-hezu perfekte Übereinstimmung zeigen, liegt es nahe, den Rest des Systems nur per Simulation zu überprüfen. Selbst die Überprüfung mittels Simulation könnte durchaus etwas aufwändiger sein, denn um sich ein umfassendes Bild zu ver-schaffen, müsste die Impedanzverteilung

Die Leiterplatte 2010

Die Applikationsplattformen „meltemi“, eine Baugruppe mit 20-lagigem Multilayer ausgelegt für High-Speed-Anforderung mit einem Datendurchsatz im GBit-Bereich und das 6-Lagen-Board „meltemi economic“ stehen im Mittelpunkt der Serie „Die Leiterplatte 2010“. Das Ziel der Beitragsreihe ist, die gesamte Entwicklung vom Layout bis zum EMV-Test aufzuzeigen, Entscheidungshilfen zu geben und Alternativen zu beschreiben, die bei einer so komplexen Herausforderung eine Erfolg versprechende Lösung für eine stabile Board-Hardware darstellen. Zudem werden Konstruktionsregeln und Handlungsstrategien für künftige Schaltungen abgeleitet, um diese mit mehr funktionaler Sicherheit und Stabilität auszurüsten.

Gerne stellen wir Ihnen die bislang erschienenen Teile der Serie kostenlos zur Verfügung. Schicken Sie uns hierfür bitte eine E-Mail mit Ihrer vollständigen Adresse an Petra Bauer: redaktion@elektronikpraxis.de



■ Bild 9:
Maximaler Betrag der Impedanz
bis 1000 MHz bei ungünstiger
Geometrie

für jede einzelne Frequenz (vgl. auch Bild 3) betrachtet werden. Eine Erleichterung ist hier die so genannte „Maximum-Darstellung“, worin an jeder Position des Systems der im betrachteten Frequenzbereich maximal auftretende Betrag von Z dargestellt wird. Vereinfacht ausgedrückt ist dies der ‚worst-case‘, zu sehen in Bild 6.

Das gesamte Powersystem bewerten

Sofort zu erkennen ist der maximal erreichte Wert von $1,66 \Omega$ in der oberen linken Ecke. Er lässt sich beim ‚Durchblättern‘ der einzelnen Frequenzen eindeutig der Strukturresonanz bei 700 MHz zuordnen. Hier wird besonders deutlich, wie wichtig es ist, das gesamte Powersystem zu bewerten: Dieselbe Resonanz zeigte sich an der Messbuchse lediglich mit einer Amplitude von gut $300 \text{ m}\Omega$ (vgl. Bild 5). Im mittleren Bereich des Powersystems liegen die Maximalwerte relativ gleichmäßig um $0,5 \Omega$, während in der Nähe der kurzen Kanten ansteigende Werte bis rund $1,6 \Omega$ anzutreffen sind. Um das System weiter zu verbessern wurde eine weitere (versetzte) Kondensatorgruppe an der Position (81 mm, 21 mm) sowie Kantenkondensatoren (vgl. Teil 12, „Der Kantenkondensator“) im Bereich der kurzen Kanten des Systems eingefügt. Dadurch wird der sehr niederohmige Bereich des Powersystems (etwa die blauen Bereiche in Bild 6) größer und erreicht noch kleinere Impedanzwerte ($< 300 \text{ m}\Omega$), die Maximalwerte in den Ecken sinken auf ca. $1,2 \Omega$.

In einem Serienstück wurde an Port CN1 die Impedanz gemessen (Bild 7) und mit der Simulation (Bild 8) verglichen. Qualitativ ist eine sehr gute Übereinstimmung zu sehen, auch wenn in manchen Bereichen quantitative Abweichungen vorliegen: Im Frequenzbereich bis ca. 200 MHz ist die Simulation offenbar von etwas zu geringen Verlusten innerhalb der verwendeten Kondensatoren ausgegangen, weshalb die Realität etwa $40 \text{ m}\Omega$ besser als die Si-

mulation ist. Das erste Maximum, das aus dem Zusammenspiel der bereits induktiv gewordenen Kondensatoren mit dem Flächensystem resultiert, wird amplitudenmäßig präzise simuliert, während die Resonanzfrequenz in der Simulation etwas zu niedrig ausfällt. Diese Abweichung ist auf die verwendeten Modelle zurückzuführen und stellt in der praktischen Anwendung kein Problem dar.

Insgesamt kann gesagt werden, dass sich das reale Verhalten flächiger Powersysteme in Leiterplatten inklusive ihrer Kondensatorbestückung mithilfe geeigneter Simulations-Tools sehr gut vorhersagen und optimieren lässt. Dies ermöglicht dem Entwickler das Design sehr zuverlässiger und EMV-günstiger Spannungsebenen in Leiterplatten.

Bei einer weniger günstigen Auslegung des gesamten Boards können übrigens die gezeigten Effekte dramatische Ausmaße annehmen und ihre Vernachlässigung zu sehr lästigen Symptomen führen: frequenzselektiv sehr hohe Störpegel, verstärkte Abstrahlung, unzuverlässige Funktion etc. In Bild 9 ist die „Maximum-Impedanz“ bis 1 GHz eines mit einer C-Gruppe bestückten Powersystems ($120 \mu\text{m}$ Substratdicke) gezeigt, das z.B. aufgrund von konstruktiven Anforderungen verschiedene Aussparungen aufweist. Ohne eine gezielte Kondensatorbeschaltung ist hier Ärger programmiert.

Die gezeigten Simulationen wurden durchgeführt auf Silent V.4.0.

Kontakt zum Autor, E-Mail: nd@emv.biz

www.elektronikpraxis.de

■ Überblick über die Serie „Die Leiterplatte 2010“

■ Die Firma unit[^]el und das Projekt meltemi

■ Beitrag „Die Mär vom Plattenkondensator“

■ EMV-Bibliothek von DCC mit Fachbeiträgen

■ DCC: Schulungen und die Software Silent

InfoClick

179560