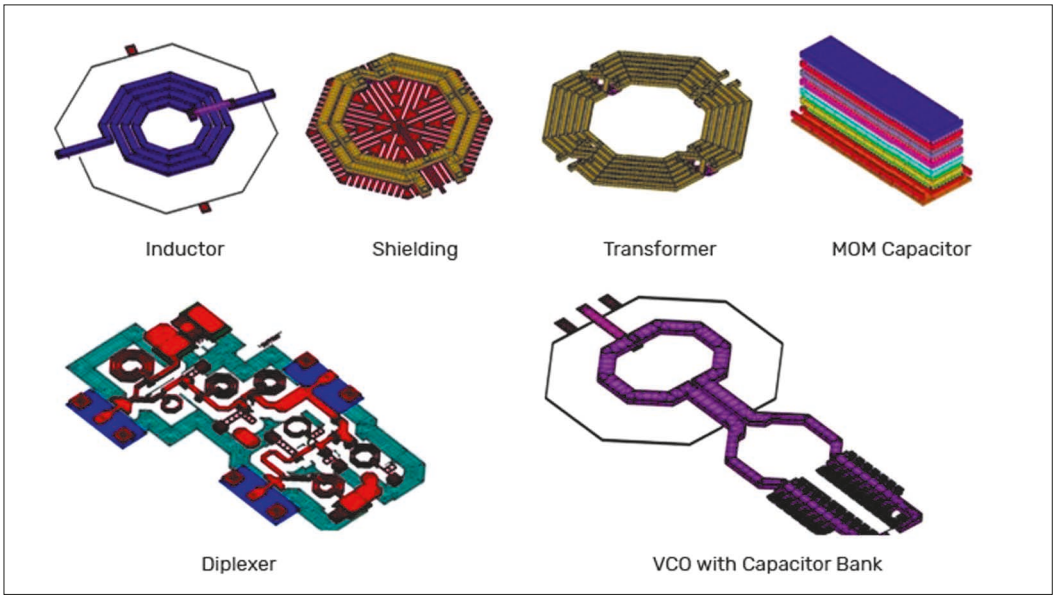
Ohne Kompromisse bei der Genauigkeit

Beschleunigte EM-Simulation

Mit wachsenden Anteilen von HF-Segmenten in Chips nimmt die Bedeutung der EM-Simulation aus mehreren Gründen zu. Wie eine beschleunigte Simulation auch für Großserien möglich ist, wird hier gezeigt.



Einführung

Digitale Taktraten erreichen heute Frequenzen im Mikrowellenbereich. Wenn Sie also ein 112-Gb/s-SerDes entwerfen, haben Sie es mit den gleichen Frequenzen zu tun wie bei 5G mmWave. Tatsächlich werden serielle Schnittstellen in Zukunft wahrscheinlich eher wie HF-Baugruppen betrachtet, etwa deswegen, weil Schnittstellen der nächsten Generation Quadraturamplitudenmodulation (QAM) anstelle von PAM8 verwenden werden, wodurch sowohl Phase als auch Amplitude eine Rolle spielen. QAM wird von allen Mobilfunk-Schnittstellen verwendet.

Sobald CMOS-Prozesse schnell genug waren, dass Designer sogar daran denken konnten, einen Großteil einer HF-Schaltung auf dem Chip zu entwerfen, verblieben passive Komponenten auf der Platine (oder im Gehäuse). Aber moderne Verfahren ermöglichen es, diese Komponenten on-chip zu bringen mit äquivalenter Einfügedämpfung wie bei externen Komponenten

Die EM-Simulation spielt in Gebiete von der Auswahl der richtigen HF-Design-Kandidaten bis hin zum Erkennen von parasitärer Kopplung, die sich direkt auf die Leistung auswirkt, hinein. Das Thema „On-Chip und genaue EM-Analyse“ bedeutet auch eine Anbindung an die Prozesstechnik in Form von Process Design Kits als zertifiziert EM-Simulationstechnik. Der Cadence EMX Planar 3D Solver ist der schnellste EMV-Simulator für das IC-Design. Basierend auf schnellen Multipolmethoden (FMMS), bietet er die höchste Genauigkeit in dieser Klasse. Damit beschleunigen Anwender die groß angelegte EM-Simulation von ICs ohne Kompromisse bei der Genauigkeit.

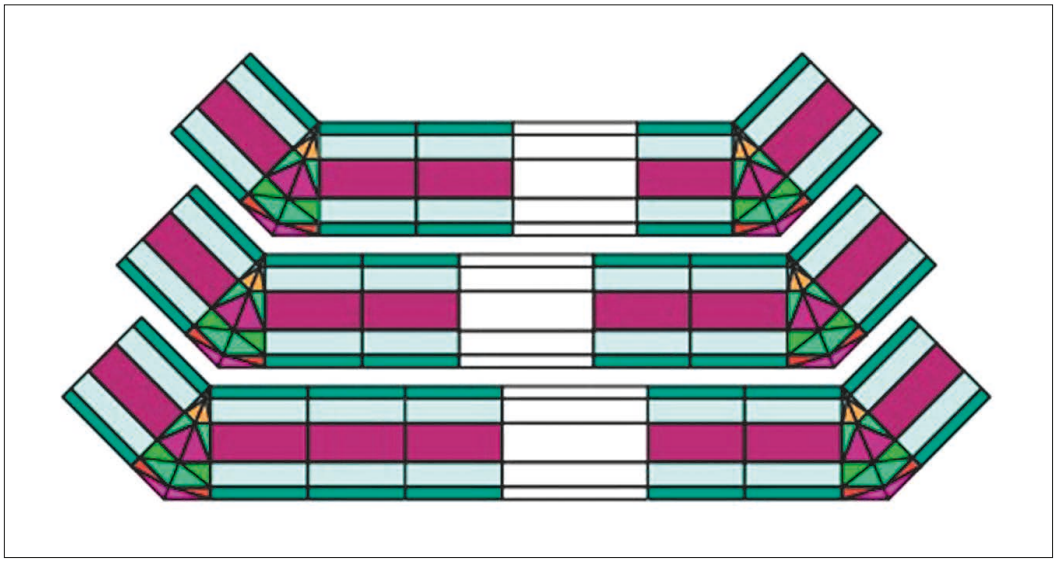


Bild 1: Drahtgewebe mit farbigen isomorphen Formen

Quelle:
How to Speed Up Large-Scale EM Simulation of ICs Without Compromising Accuracy, 2020 Cadence Design Systems, Inc., www.cadence.com

übersetzt und leicht gekürzt von FS

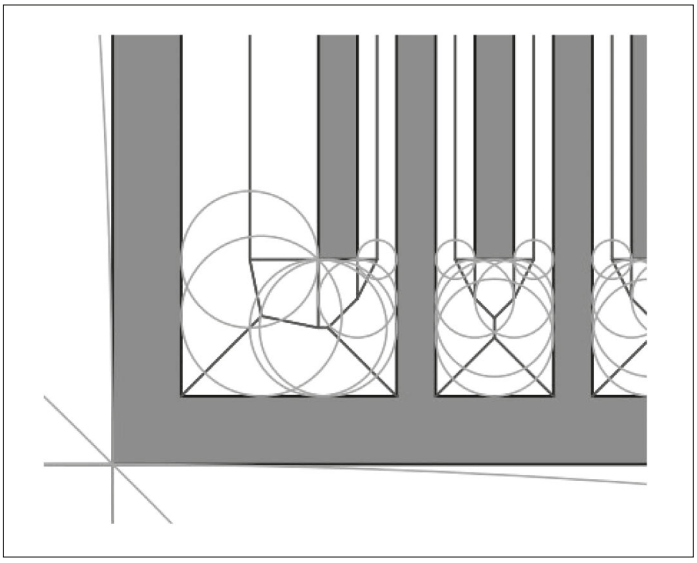


Bild 2: Voroni-Diagramm zur Analyse und Aufteilung des Layouts

für viele Frequenzen und zu geringeren Kosten. Auch die für den Zugriff erforderlichen I/Os werden mit erfasst. Darüber hinaus ermöglichen moderne Prozesse mit großer Anzahl der Metallschichten die Herstellung von hochdichten Metall-auf-Metall-Kondensatoren im Verbindungsstapel. Die Aufmachergrafik zeigt die Arten von passiven Komponenten, die analysiert werden können, von einfacheren in der oberen Reihe bis zu komplexeren in der unteren Reihe.

EM-Simulation

Offensichtlich ist eine schnelle und genaue Modellierung dieser integrierten passiven Elemente wichtig. Dabei gibt es drei Hauptaspekte:

- EM-Simulation für den HF-Designer, um mögliche Designs zu bewerten und das physische Design zu optimieren
- Umwandlung der Ergebnisse in Modelle, die zur Simulation des restlichen Chips verwendet werden können
- Verwenden der EM-Simulation, um parasitäre Kopplungen zwischen Komponenten oder zwischen Komponenten und Verbindungen zu erkennen (Wenn Frequenzen höher werden, kann diese unbeabsichtigte Kopplung die Leistung einer Schaltung stark beeinträchtigen.)

Alle Analysen folgen ungefähr dem gleichen Schema. Ein EM-Solver nimmt zuerst eine physikalische Beschreibung der Leiter vor, typischerweise vom Layout, obwohl es für so etwas wie einen Stecker eigentlich ein mechanisches Modell ist. Der EM-Solver berechnet die S-Parameter für die Geometrie durch numerisches Lösen der Maxwell-Gleichungen. S-Parameter sind die gängige Methode zur Beschreibung des Verhaltens der EM-Leistung von HF-Komponenten.

Die Maxwell-Gleichungen sind die zugrundeliegenden physikalischen Gleichungen für elektrische und magnetische Felder. Da ihre Lösung numerisch ist, muss das Problem in kleine Volumina und/oder Flächen zerlegt werden, sodass es endlich viele Unbekannte gibt. Der allgemeinste Weg, dies zu erreichen, besteht darin, eine Finite-Elemente-Methode (FEM) zu verwenden. Die Methode vermascht den gesamten Raum in 3D-Tetraedern einschließlich der Dielektrika und Luftbereiche darüber.

Boundary wird gewissermaßen am Rand des Problems verwendet, da die Geometrie an einer Stelle abgeschnitten werden muss. Wenn die Geometrie jedoch planar ist (die Dielektrika der Metallleitungen sind auf flachen und homogenen Schichten platziert), dann verwenden die Maxwell-Gleichungen die Momentum-Methoden. Diese Verfahren nutzen das Konzept einer Greenschen Funktion, um die Wirkung der verschiedenen Dielektrika vorab zu berechnen. Das Metall wird vernetzt (im Gegensatz zum gesamten Raum), und die Wechselwirkung zwischen allen Strömen auf den Zellen wird berechnet. Dies führt zu einer enormen Beschleunigung der Lösung und zu einer Reduzierung des Speicherverbrauchs im Vergleich zu FEM-Methoden. Der Designer nutzt die Vorteile der planaren Geometrie des Silizium-Chips.

Der EMX Planar 3D Solver beschleunigt den Prozess weiter, indem er die Matrixgleichung mithilfe von FMMs löst. Diese Methoden beschleunigen die Lösung des Problems durch Ausnutzen der einzigartigen Eigenschaften von Matrizen, die sich aus den Maxwell-Gleichungen ergeben. Darüber hinaus nutzt der EMX Planar 3D Solver alle Symmetrien in der Geometrie, was dazu führt, dass identische Wechselwirkungen zwischen ähnlichen Netzen nicht neu berechnet werden müssen.

In der nächsten Detailebene sind Halbleiterschichten fast planar, mit Durchkontaktierungen zwischen den Ebenen. Der EMX Planar 3D Solver verwendet eine FMM-Algorithmus-Berechnungs-Software, die sowohl schneller als auch genauer ist als eine vollständig allgemeine 3D-Analyse.

Um die Analyse von On-Chip-HF-Komponenten durchzuführen, sind Process Design Kits erforderlich. Der EMX Planar 3D Solver nutzt Process Design Kits von fast allen Prozessen, die zum Bau solcher Komponenten verwendet werden.

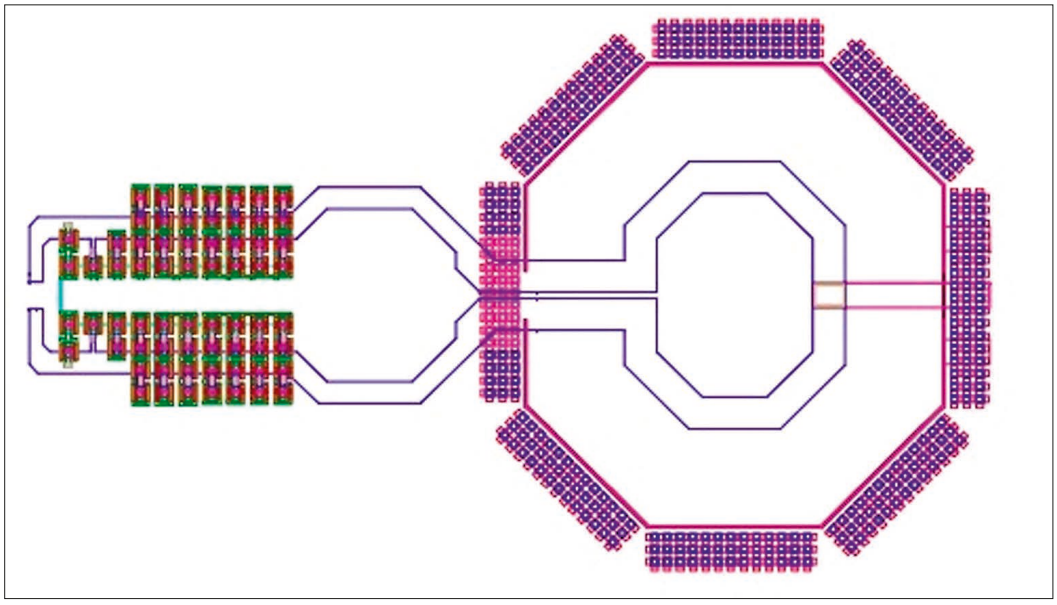


Bild 3: VCO, hergestellt in einer 6-Schicht-90-nm-CMOS-Technologie

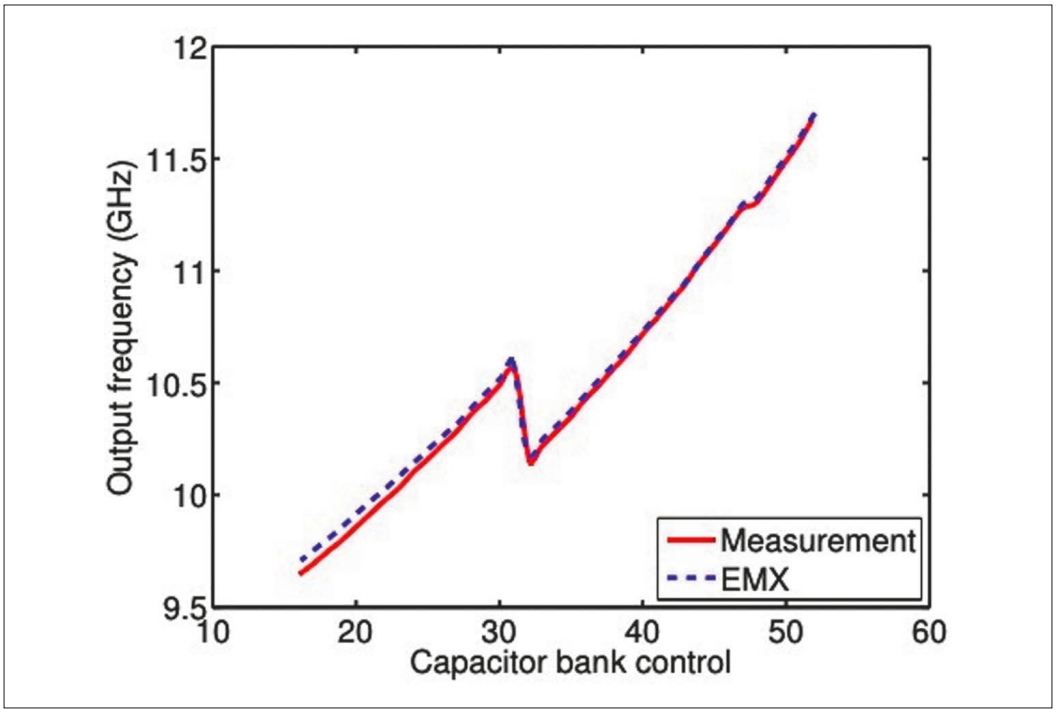


Bild 4: Simulierte und gemessene Abstimmkurve des VCOs

Indem ICs mehr als nur planar sind, haben sie andere Vorteile, die zur Optimierung der Berechnung genutzt werden können:

- Layouts sind sehr regelmäßig und Teile werden oft wiederholt (z.B. über Arrays)
- mit konstanter Breite zu sein, und der Abstand zwischen benachbarten Leitern ist oft konstant.
- Das Routing erfolgt fast immer entweder horizontal, vertikal oder bei 45°

Als Beispiel für die Regelmäßigkeit, die der EMX Planar 3D Solver ausnutzt, zeigt Bild 1 ein Drahtgitter mit isomorphen Formen (farbig). Der EMX Planar 3D Solver nutzt diese Regelmäßigkeit, um wiederholte Berechnungen zu vermeiden und die Laufzeit und den Speicherbedarf zu reduzieren. So beschleunigt sich die großangelegte EMV-Simulation von ICs ohne Kompromisse bei der Genauigkeit.

Auf einem IC ist jedoch nicht alles perfekt. Das größte Problem ist die Variabilität während der Herstellung. Auch in einigen anderen schwierigen Bereichen ist Aufmerksamkeit geboten:

- Um IC Layouts genau zu modellieren, ist es wichtig, den Skin-Effekt und die Seitenwandkapazitäten korrekt zu simulieren.
- Für MoM-Kondensatoren ist eine 2,5D-Approximation mit dünnen Leitern nicht ausreichend, so dass der EMX Planar 3D Solver hier ein Volumenintegral, das Leiterbahnen und Durchkontaktierungen als 3D-Objekte behandelt, verwendet.
- Der EMX Planar 3D Solver verwendet eine spezielle Darstellung der Vektorpotential-Wechselwirkungen (normalerweise der rechenintensivste Teil der Simulation), und diese Darstellung ermöglicht die Berechnung der Vektorpotential-Wechselwirkungen zu ungefähr den gleichen Kosten wie die skalaren Wechselwirkungen.

Abweichungen in den Griff bekommen

Fortschrittliche Halbleiterprozesse sind nicht ganz perfekt, da es von Wafer zu Wafer und sogar von Chip zu Chip Unterschiede gibt. Breite, Dicke und Widerstand einer Leitung variieren statistisch und können auch durch die umgebende Verdrahtung beeinflusst werden. Dies gilt insbesondere unterhalb von etwa 28 nm, wo eine optische Proximity-Korrektur (OPC) erforderlich ist, da die Merkmalsgrößen kleiner als das 193-nm-Licht ist, das für die Lithographie verwendet wird. Dies gilt noch mehr bei 16 nm und darunter, wo Mehrfachmusterung auf einigen Schichten erforderlich wird. Einige Faktoren, wie z.B. der Schichtwiderstand, können erheblich von ihrem Nennwert abweichen. Diese großen Variationen können die EM-Leistung beeinflussen, und daher ist es wichtig, sie bei der Simulation und Modellierung zu berücksichtigen.

Informationen über Musterabhängigkeiten, normalerweise in Form von tabellarischen Daten, modifizieren im EMX Planar 3D Solver das eingegebene gezeichnete Layout automatisch. So lassen sich die Strukturen, die tatsächlich hergestellt werden, genau modellieren. Für einfache Layouts, wie z.B. mehrere parallele Leiter, haben Begriffe wie Breite und Abstand eine offensichtliche Bedeutung. Aber der EMX Planar 3D Solver muss komplexere Layouts mit ungleichmäßigen Strukturen bewältigen; dabei werden nur Tabellen verwendet, die nach Breite und Abstand indiziert sind. Daher verwendet der EMX Planar 3D Solver Voroni-Diagramme zur Analyse und Aufteilung des Layouts in nicht überlappende Bereiche. Dann können beliebig große Kreise eingefügt werden, und diese können als lokale Annäherungen an den Abstand herangezogen werden. Die lokale Breite wird auf ähnliche Weise mit Kreisen im Leiter berechnet. Bild 2 zeigt ein Beispiel (nur die Abstandskreise).

Ein Beispiel

Lassen Sie uns als Beispiel den spannungsgesteuerten Oszillator (VCO), der gleich zu Beginn dieses Beitrags als Beispiel erschien, heranziehen, um die Art von Struktur, die der EMX Planar 3D Solver analysieren kann, aufzuzeigen. Bild 3 zeigt den VCO, der in einem sechsschichtigen 90-nm-CMOS-Prozess hergestellt wurde. Es besteht aus einer Induktivität und einer Bank von 66 MoM-Kondensatoren, die zum Abstimmen schaltbar sind. Die Induktivität ist klein genug, um parasitäre Kopplung zwischen der Induktivität und der Verbindung und die Details, wie die Kondensatoren eingebracht sind, zu berücksichtigen. Tatsächlich konnte ein Block-für-Block-Modell das Verhalten des VCO nicht vorhersagen.

Die gleichzeitige Simulation der gesamten Struktur mit dem EMX Planar 3D Solver lieferte jedoch genaue Ergebnisse. Die simulierten und gemessenen Abstimmkurven sind in Bild 4 dargestellt, wobei die rote Linie Werte zeigt, die gemessen wurden; die blaue Linie zeigt Werte, die vom EMX Planar 3D Solver berechnet wurden.

Fazit

Der EMX Planar 3D Solver ist mehr als zehnmal schneller als andere kommerzielle EM-Tools und der schnellste EM-Simulator für das IC-Design, basierend auf dem FMM, und bietet aufgrund der Volumenmaschenformulierung für Leiter die höchste Genauigkeit in seiner Klasse. ◄