

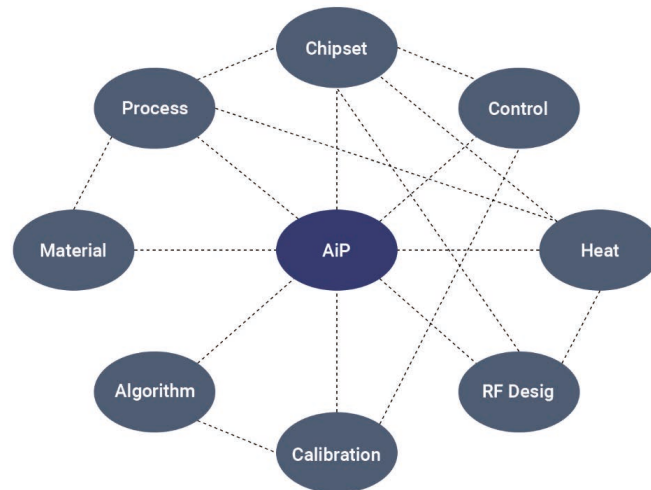
Was ist Antenna-in-Package-Technologie?

Antenna-in-Package (AiP) ist eine Technologie, bei der eine oder mehrere Antennen zusammen mit Transceiver-Chips in ein standardmäßiges oberflächenmontiertes Bauteil integriert werden.

Sie wird häufig in 60-GHz-Gestensensoren, 77-GHz-Automobilradare, 94-GHz-Phased Arrays und sogar für Frequenzen von bis zu 122 GHz für Bildsensoren und 300 GHz für drahtlose Verbindungen eingesetzt.

Hintergrund

Das 5G-mmWave-Spektrum verspricht ausreichende Bandbreite, um die nächste Generation von Benutzererlebnissen und Industrieanwendungen zu ermöglichen, indem Millimeterwellen (mmWave) als Trägerfrequenzen verwendet werden. Im Sub-6-GHz-Bereich wird die Sub-6-GHz-Technologie bereits seit Jahrzehnten eingesetzt, und Verluste durch lange Kabel waren nie ein Problem. Am Beispiel des iPhone 8 Plus lässt sich der Verlust durch lange Kabel mit Steckverbindern zwischen dem WiFi- und dem Mobilfunk-Modul leicht vernachlässigen, sodass Smartphone-ID-Designer das Modul fast überall im Design-Raum platzieren können. Dadurch ist die Reparatur der Hauptplatine und des Antennenmoduls einfach und unkompliziert. Andererseits kann die mmWave-Antenne nicht weit von den Hauptschaltkreisen, wie z.B. Verstärkern, platziert werden, sodass die Integration der Antenne in das SiP-Modul natürlich der einzige Weg ist.



Chancen und Herausforderungen

Um die steigenden Anforderungen an mmWave-Frontend-Module (FEM) zu erfüllen, wird AiP zur vielversprechendsten und geeignetsten Technologie, um Phased Arrays kostengünstig zu realisieren. Gleichzeitig müssen auch Material- und Prozessentscheidungen berücksichtigt werden, die Kompromisse zwischen technischen Einschränkungen erfordern, wie z.B. Wärme-Management, Steuerungs-Design, HF-Leistung, Kalibrierungen und vieles mehr.

Die Lösung mehrdimensionaler technischer Probleme ist nicht einfach und erfordert viel Erfahrung und Kreativität, um die Produkte zu realisieren. Neben dem Design ist auch die Massenproduktion eine große Herausforderung, insbesondere bei Over-the-Air-Tests (OTA). Kurz gesagt ist AiP eine vielversprechende Technologie für 5G-mmWave und sogar für die 6G-LEO-Industrie.

Vom Entwurf bis zur Produktion

Um ein AiP-Produkt erfolgreich zu machen, müssen viele Details berücksichtigt werden. In der Entwurfsphase müssen wir sicherstellen, dass die Entwurfsregeln mit der verwendeten

Fertigungstechnologie übereinstimmen. Während der Fertigung ist eine schnelle und genaue Bewertung der Leistung eines Moduls von entscheidender Bedeutung und wirkt sich direkt auf die Kosten und die Produktionsrate aus. Die Architektur von mmWave-FEMs ähnelt der von Sub-6-GHz-Funksystemen und umfasst Antennen, Verstärker, Duplexer und Schalter. Wesentliche Unterschiede bei mmWave-FEMs sind die Antennenanordnung und der Beamformer. Das Antennenarray ist erforderlich, um den geringen Antennengewinn aufgrund der kurzen Wellenlänge der Millimeterwellen zu überwinden. Das Antennenarraysystem ermöglicht die Strahlformung. Der Strahlformer wird eingesetzt, um die Phase und Amplitude jedes Elements des Arrays zu steuern.

5G mmWave FEM Architectures

In der Abbildung sind drei verschiedene Architekturen für das 5G-Phased-Array-System dargestellt. In der Antennen- und Beamformer-Architektur zeigt der Block eine RF-FEM mit analogem Beamformer, der eine Antennenanordnung, einen Duplexer und einen Beamformer umfasst. Mittlerweile liefern mehrere Hersteller von

Beamformer-Chips solche, die für 5G-Millimeterwellenbänder optimiert sind. Die zweite Architektur integriert die IF-RF-Umwandlung in das Modul, wie in dem rechteckigen Block mit der Bezeichnung „Up & Down Conversion“ dargestellt. Da Frequenzwandler die Kommunikationsqualität erheblich beeinflussen, erhöht ihre Einbettung in das System die Systemleistung und reduziert die Komplexität der Integration. Die Integration von Mischern und Filtern in das Gehäuse ist keine triviale Aufgabe, und die LO-Signalverteilung ist ein weiteres Problem, insbesondere bei großen und gekachelten Arrays. Die dritte Architektur basiert auf der Split-Option 7.2 von ORAN (Open RAN), um die Low-Physical-Schicht (Low PHY) in das Modul zu integrieren und so das Front-Haul-Netzwerk im Funkzugangnetzwerk (RAN) zu entlasten. In dieser Architektur sind digitale Komponenten enthalten, die die Herausforderungen auf eine neue Ebene heben.

MMIC: Beamformer-IC und Aufwärts-/Abwärtswandler-Chips

Ein moderner Beamformer-Chip integriert Leistungsverstärker (PAs), rauscharme Verstärker (LNAs), Phasenschieber (PSs), variable Dämpfungsglieder und T/R-Schalter. CMOS- oder BiCMOS-Technologien werden aufgrund der Vorteile der digitalen Schaltungsintegration bevorzugt, auch wenn die Ausgangsleistung nicht so gut ist wie bei GaAs- und GaN-III-V-Verbindungsprozessen. Die Chipsätze sind einer der wichtigsten Aspekte bei multidimensionalen technischen Überlegungen. In einem 5G-mmWave-Phased-Array ist die Ausgangsleistung nicht das einzige Kriterium. Aufgrund der Eigenschaft der orthogonalen Frequenzmultiplexierung (OFDM) in 5G ist

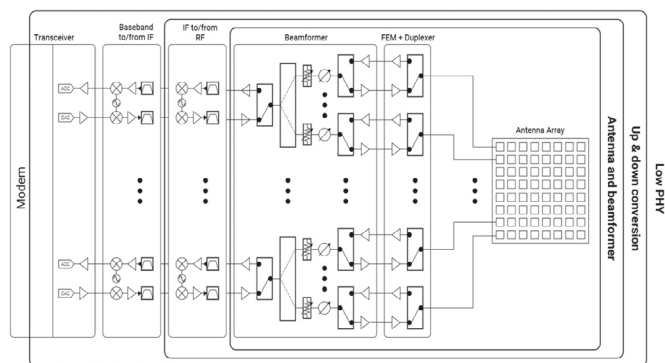
Quelle:

Whitepaper „Antenna-in-Package AiP Technology“

TMYTEK

www.tmytek.com

übersetzt und gekürzt von FS



Verschiedene Architekturen für das 5G-Phased-Array-System

ein PA-Backoff-Betrieb erforderlich. Dieser wird zusammen mit der Antennenarray-Verstärkung berücksichtigt, um ein System mit der angestrebten äquivalenten isotropen Strahlungsleistung (EIRP) und einer angemessenen Energieeffizienz zu bilden.

Antennen-Designs

Die Basisantenne ist für AiP nicht ausreichend. Auch paket-spezifische Eigenschaften sollten berücksichtigt werden. Die wichtigsten Leistungsmerkmale sind Bandbreite, Polarisationen und Boresight-Strahlbreite bei 3 dB und 10 dB, Steuerungsabdeckung in X- und Y-Richtung, Isolation, Rückflussdämpfung, einfache Implementierung usw. Spezifische Überlegungen für AiP umfassen den Dk-Wert, die Gleichmäßigkeit und die Dicke des Materials usw.

Übergangs- und Verbindungs-Design

AiP hat den Vorteil, dass das gesamte drahtlose System auf Kosten einer größeren vertikalen Abmessung minimiert werden kann, da es als MMIC verpackt ist. Dies kann jedoch durch die Verwendung von Dies anstelle von ICs verbessert werden. Der Abstand zwischen der Antenne und dem RFIC ist beim AiP-Ansatz viel kürzer als bei einer herkömmlichen diskreten Antenne. Dies bedeutet geringere Pfadverluste, sodass die Effizienz des Senders und die Rauschzahl des Empfängers gleichzeitig verbessert werden können. Übergänge in 16 PCB-Lagen und 26 Lagen LTCC-Verbindungen mit hervorragenden Ergebnissen wurden realisiert.

Filter und Speisernetzwerke

Das BPF-Design ist auf die für passive Komponenten verfügbare

Platinenfläche beschränkt. Je größer der Platz für Filter ist, desto besser kann die Unterdrückungsleistung erreicht werden. Gleichzeitig stellen die thermische Stabilität und Wiederholbarkeit eine Herausforderung für die Entwickler dar, um den Abstimmungsaufwand für ein SMT-fähiges Gerät zu reduzieren. Als Beispiel für die Mikrostreifenstruktur sollten die Toleranz der Substratdicke, die Ätzgröße und sogar die Dielektrizitätskonstante sorgfältig berücksichtigt und berechnet werden, um die beste Leistung bei 28/39 GHz zu erzielen. Ein diskreter Filter auf einer anderen Platine (z.B. der Hauptplatine von SMT-fähigen AiP-Modulen) ist eine alternative Architektur, die jedoch hohe Verluste mit sich bringt.

Eine weitere Herausforderung ist die thermische Stabilität. Die Leistung der Filter sollte über den gesamten Betriebstemperaturbereich hinweg gleichbleibend hoch sein, um eine ähnliche spektrale Effizienz zu gewährleisten.

Der Aufbau eines Feed-Netzwerks ist für AiP-Module von entscheidender Bedeutung, da die Komponenten nicht außerhalb der Platine platziert werden können. Größe und Komplexität sind wichtige Kenngrößen für die Bewertung der Leistung eines Feed-Netzwerks. In der Regel gibt es zwei Strategien, um dieses Design-Problem zu lösen. Der erste Ansatz besteht darin, das Feed-Netzwerk in der Leiterplatte oder in LTCC-Schichten (Low Temperature Cofiring Ceramic) zu implementieren, um Platz zu sparen. Dieser Ansatz erhöht jedoch die Herausforderungen hinsichtlich der Verarbeitung und der thermischen Komplexität. Eine andere Methode

besteht darin, ein Netzwerk zwischen den Beamformer-ICs aufzubauen, wobei in diesem Fall jedoch größere Platzprobleme auftreten. Um die beste EIRP zu erzielen, ist es wichtig, das Design des Feed-Netzwerks sorgfältig zu planen.

Herstellung und Fertigung

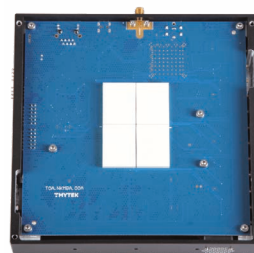
Wie erwähnt, beeinflussen Material- und Verarbeitungstechnologien die Leistung, die Kosten und die Größe von AiP-Modulen. Eine populäre Technologie umfasst Hochfrequenz-Leiterplatten und Niedertemperatur-Cofiring-Keramik (LTCC). Architekturen mit und ohne Frequenzwandler sind möglich. LTCC gilt als eine für mmWave-AiP-Designs sehr gut geeignete Verarbeitungstechnik. Die hervorragenden elektrischen und Verpackungseigenschaften machen diese Technologie für Hochfrequenzanwendungen sehr attraktiv. Mit dieser Technologie können bis zu einem Dutzend Schichten gestapelt werden, um zahlreiche Komponenten unterzubringen und so ein sehr kompaktes Design zu erzielen. Der niedrige Verlustfaktor von LTCC-Bändern sorgt für geringe Verluste selbst bei sehr hohen Frequenzen. Die Dielektrizitätskonstante von LTCC-Bändern kann dazu beitragen, die Größe passiver Komponenten zu reduzieren.

OTA-Prüfung

Leitfähigkeitstests sind für mmWave-Module mit AiP-Technologie keine Option mehr. Es stehen keine Anschlüsse oder Testpunkte für diesen Zweck zur Verfügung.

Die einzige Möglichkeit, das Modul zu charakterisieren, ist die Over-The-Air-Methode (OTA). Geschichtete Traditionell ist eine sperrige Kammer mit einem oder mehreren mechanischen Positionierern erforderlich, um sicherzustellen, dass das Strahlungsmuster des Prüflings korrekt und präzise gemessen wird. In jüngerer Zeit hat die CATR-Technologie (Compact Antenna Test Ranges) die Größe der Kammer reduziert, aber das Konzept der mechanischen Teile und Testelemente auf der Grundlage von Strahlungsmustern beibehalten. Der seit Jahrzehnten verwendete Ansatz wurde zum Industriestandard für Forschung und Entwicklung. In der 5G- und LEO-Ära wird die Anzahl der zu testenden Geräte in der Produktionslinie diese alte Technologie jedoch überfordern. Probleme beim herkömmlichen Ansatz Eine große Kammer oder CATR ist ein hervorragendes Werkzeug für Forschungs- und Entwicklungszwecke, aber für Produktionslinien zu langsam und zu sperrig. Mit der neuesten Technologie der Branche lässt sich beispielsweise ein Muster in wenigen Minuten erfassen, was im Vergleich zu unseren Vorgängern mit einem Testzyklus von einer halben Stunde oder mehr bereits beeindruckend ist.

XBeam ist eine OTA-Testlösung für Produktionslinien, die für 5G-mmWave-Hersteller entwickelt wurde. Sie verfolgt verschiedene Ansätze, um den Produktionsanforderungen von mmWave-Geräten gerecht zu werden. ◀



AiP FEM mit Motherboard und 8x8 Phased Array; der Local Oscillator ist nicht eingebettet.

