

Active Electronically Scanned Arrays und deren Sende-/Empfangsmodule

Dieser Artikel befasst sich mit der Entwicklung und Prüfung von Active Electronically Scanned Arrays (AESAs) und deren Sende-/Empfangsmodulen (TRMs).

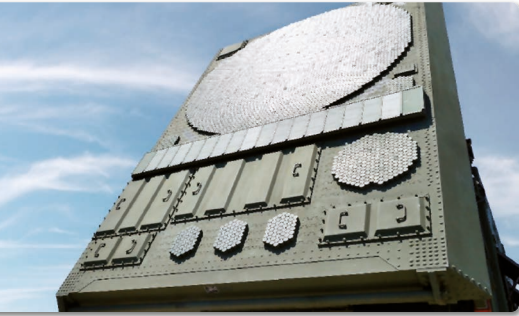


Bild 1: AESA-Antenne mit sichtbaren TRM-Antennen

Untersucht wird der Übergang von analogen TRMs zu digitalen TRMs (DTRMs), und beleuchtet werden die Herausforderungen und Fortschritte bei der Prüfung dieser Komponenten. Betont die entscheidende Rolle der PXI-Hardware von NI bei der Bereitstellung einer umfassenden und skalierbaren Testlösung, die die besonderen Anforderungen von Mixed-Signal-DTRMs erfüllt. Dies verdeutlicht, wie moderne Radartechnologie eine hohe Leistung erzielt und welche anspruchsvollen Tests erforderlich sind, um Zuverlässigkeit und Effizienz zu gewährleisten.

AESAs und TRMs

Die ersten gescannten Phased-Array-Antennen verwendeten einen einzigen Sender und Empfänger, die über Phasenschieber mit allen Antennenelementen verbunden waren. Die heutigen aktiven elektronisch gescannten Arrays (AESAs) verwenden viele Halbleiter-Sende-/Empfangsmodule (TRMs), die jeweils mit einem Antennenelement verbunden sind. Bild 1 zeigt ein Beispiel für eine eingesetzte AESA mit TRM-Antennen, die auf der Vorderseite der Antenne sichtbar sind.

Quelle:

*„From RF to Bits: Evolving Testing Needs for Next-Generation Active Electronically Scanned Arrays“
Mike Barrick
Business Dev Manager
National Instruments
www.ni.com*

übersetzt von FS

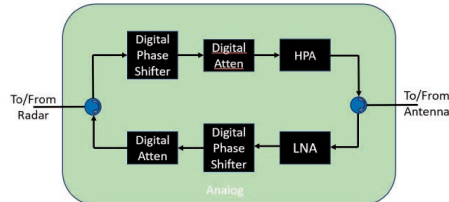


Bild 2: Blockdiagramm eines analogen TRMs

Die Neugestaltung des AESA mit TRMs wurde durch Fortschritte in der Halbleitertechnologie in den 80er Jahren ermöglicht, darunter MES-FETs und JFETs für die Sendeleistungsverstärkung und GaAs für die rauscharme Empfangsverstärkung. Im Laufe der Zeit wurden Größe, Kosten und Stromverbrauch von TRMs reduziert, was das Potenzial für zukünftige kommerzielle Anwendungen eröffnet.

Zusammenhang zwischen Radarstrahlbreite, Arraygröße und Anzahl der TRMs

Einer der wichtigsten Faktoren, die die Leistung eines Radarsystems beeinflussen, ist die Strahlbreite der Antenne. Angenommen, das mit einem TRM verwendete Antennenelement ist ein Halbwellendipol, würde dies die gesendete Energie über eine Strahlbreite von 78° verteilen, mit ähnlicher Leistung beim Empfang. Dies mag für die grobe Erkennung von Flugzeugen oder anderen Objekten akzeptabel sein, jedoch würde diese breite Strahlbreite bedeuten, dass Radarechos von einer Vielzahl von „Zielen“ und „Störsignalen“ innerhalb der Strahlbreite empfangen werden, darunter unerwünschte Flugzeuge, Laub und andere Elemente. Eine schmalere Strahlbreite wäre für eine höhere Leistung vorteilhafter. Durch die Erhöhung der AESA-Größe unter Verwendung von mehr TRMs werden gleichzeitig eine schmalere Strahlbreite und eine höhere Verstärkung erreicht. Die Strahlbreite ist umgekehrt proportional zur Arraygröße, während die Verstärkung direkt proportional zur Arraygröße ist. Infolgedessen würden größere Arrays mit einer steigenden Anzahl von TRMs eine höhere Leistung bieten, mit der Möglichkeit, einzelne Ziele in größerer Entfernung zu erkennen und die Auswirkungen von Störsignalen zu unterdrücken. Obwohl große Arrays für eine höhere Radarleistung wünschenswert sein mögen, ist es offensichtlich, dass es aufgrund der begrenzten verfügbaren Fläche

sowie der Gesamtkosten für mehrere TRMs (einschließlich Tests) Einschränkungen hinsichtlich der Größe gibt.

Definition und Arten von TRMs

Ein TRM bietet eine Reihe von Funktionen in einem Radarsystem, darunter:

- Hochleistungsverstärkung (HPA) für den Sender
- rauscharme Verstärkung (LNA) für den Empfänger
- digital gesteuerte Phasenverschiebung zur Steuerung der gesamten AESA
- digital gesteuerte Dämpfungsglieder zur Einstellung der Leistungspegel im TRM

Bild 2 zeigt ein hochauflösendes Blockdiagramm eines analogen TRMs.

Neuere digitale TRMs (DTRMs) empfangen digitale Daten vom Radarsystem und wandeln sie auf der Empfangsseite wieder in digitale Daten um. Oftmals werden dabei neuere „Direct-Sampling“-Techniken eingesetzt, um empfangene HF-Signale so nah wie möglich an der Antenne in digitale Signale umzuwandeln, wodurch die Radarverarbeitung im DTRM ermöglicht wird. Bild 3 zeigt ein Blockdiagramm auf hoher Ebene von zwei DTRMs mit Antennen.

Mit DTRMs konfigurierte AESAs bieten Vorteile, wie eine Reduzierung des Modulgewichts und der Modulgröße aufgrund des höheren Anteils an digitalen gegenüber analogen Komponenten. Die Weiterentwicklung der DTRMs bringt jedoch auch neue Herausforderungen mit sich. Die wichtigste davon ist die Frage, wie DTRMs in den Entwicklungs-, Verifizierungs- und Produktionstestphasen von „HF bis Bit“ getestet werden können.

Was ist zum Testen eines TRMs erforderlich?

Analoge TRMs werden seit ihrer Einführung mit Systemen aus Vektor-Netzwerkanalysatoren (VNAs), Signalgeneratoren (VSGs) und Signalanalysatoren (VSAs) getestet. Je nach Phase im Entwicklungs-/Verifizierungs-/Produktionszyklus von DTRMs können diese Instrumente verwendet werden, um unterschiedliche und variierende Ebenen von Messdaten zu extrahieren, um die Testziele zu unterstützen.

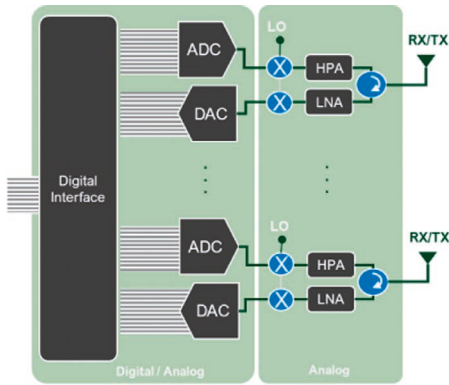


Bild 3: Blockdiagramm von zwei DTRMs in einem AESA

VNAs liefern grundsätzlich S-Parameter-Messungen für kleine Signale wie Verstärkung, Eingangsanpassung und Ausgangsanpassung und ermöglichen die Kalibrierung des TRMs unter Verwendung einer Reihe von Send- und Empfangsverstärkungs- und Phaseneinstellungen. Zusätzlich zu CW-Messungen können einige VNAs auch für Impulsmessungen nützlich sein, wodurch die Messung von Halbleiterbauelementen im PA ermöglicht wird, die nicht mit einem Arbeitszyklus von 100% betrieben werden können.

Die Kombination von VSG und VNA bietet zusätzliche Messfunktionen, die für einige Testphasen erforderlich sind. Mit diesen Instrumenten kann der Testingenieur den TRM mit einer anpassbaren Wellenform anregen und das Signal am Ausgang messen. Mit diesen Instrumenten ist eine Vielzahl potenzieller Messungen möglich, darunter Rauschzahl (NF), Nachbarkanalleistung (ACP), Fehlervektorgroße (EVM), Intercept Third Order (TOI), Power Added Efficiency (PAE) und andere.

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, verfügen DTRMs nicht mehr über analoge Ein-/Ausgänge für Testzwecke, sodass herkömmliche Instrumente nur noch begrenzt einsetzbar sind. Es sind neue Lösungen erforderlich, die der gemischten Signalnatur von DTRMs entsprechen und neue Messungen ermöglichen, die denen von VNAs, VSGs und VSAs entsprechen.

Neue Messungen für DTRMs

Die wichtigste Änderung beim Übergang von analogen TRMs zu DTRMs ist der Ersatz des HF-Anschlusses des Radars durch einen digitalen seriellen und/oder parallelen Anschluss. Messungen, die den herkömmlichen Messungen ähneln, sind weiterhin erforderlich, aber es werden neue Mittel zur Emulation digitaler Signale vom Radar benötigt.

Während herkömmliche VNA-HF-Eingang-/HF-Ausgangs-Messungen für DTRMs nicht mehr verfügbar sind, sind nun

analoge Messungen mit digitalem Eingang/HF-Ausgang und HF-Eingang/digitalem Ausgang möglich. Unter der Annahme, dass digitale Daten an das DTRM geliefert werden, um eine bestimmte HF-Frequenz/Phase/Amplitudenausgabe zu aktivieren und zum nächsten HF-Zustand zu sequenzieren, können Sweep-Messungen ähnlich wie VNA-S21-Messungen erstellt werden. Ebenso sind unter der Annahme, dass HF in einem bestimmten HF-Zustand an das DTRM geliefert und zum nächsten HF-Zustand sequenziert wird, Sweep-Messungen ähnlich wie VNA S12-Messungen möglich. Falls gewünscht, könnte die Ausgangsübereinstimmung (S22) auch mit herkömmlichen HF-Techniken gemessen werden.

Herkömmliche VSG/VSA-Messungen könnten mit ähnlichen Techniken emuliert werden. Analoge Messungen zu herkömmlichen TX-Messungen wie Leistung, ACP, EVM, TOI, PAE und anderen könnten unter Verwendung der entsprechenden digitalen Daten im DTRM und der Messung von HF mit einem VSA erstellt werden. Ebenso könnten analoge Messungen zu herkömmlichen RX-Messungen wie BER/BLER und NF unter Verwendung des entsprechenden HF-Zustands und Datenstroms im DTRM und der Messung von Daten auf der digitalen Seite erstellt werden.

Der Wert von PXI für den DTRM-Test

Mit den heutigen modularen Messlösungen kann der Anwender Multifunktionsinstrumente in einem einzigen Chassis konfigurieren, das den Anforderungen von DTRMs an gemischte Signale (Digital+HF) entspricht. Eine Kombination aus seriellen und parallelen Datenmodulen zusammen

mit HF-Modulen erfüllt die besonderen Testanforderungen für die gemischte Signalart (Digital/HF) des DTRM. In Verbindung mit CW- und gepulsten Stromversorgungsmodulen ergibt sich eine kompakte Lösung, die eine einzigartige Reihe von Messungen bietet, die den DTRM-Testanforderungen entsprechen.

PCI eXtensions for Instrumentation (PXI) ist die führende modulare Messlösung auf dem Markt mit einer großen Auswahl an Modulen, die den DTRM-Testanforderungen entsprechen.

Fazit

Moderne AESA-basierte Radarsysteme verwenden eine große Anzahl von TRMs, um eine hohe Leistung mit schmalen Strahlbreiten und hoher Verstärkung zu erzielen. Jedes der TRMs im AESA muss in der Entwicklung, Verifizierung und Produktion getestet werden, um die Leistung im Design zu überprüfen und die Leistung auf dem Schlachtfeld zu gewährleisten.

Testlösungen für ältere analoge TRMs bestanden aus VNAs, VSGs und VSAs, aber neuere DTRMs erfordern erweiterte Fähigkeiten, um gleichzeitig mit den HF-Messungen digitale Daten zu senden und zu empfangen. Das PXI-Instrumentenportfolio von NI verfügt über die einzigartige Fähigkeit, die Messanforderungen von DTRMs zu erfüllen, sodass der Benutzer ein benutzerdefiniertes Mixed-Signal-Instrument unter Verwendung verfügbarer modularer VST- und HSS-Instrumente mit Stromversorgungen und VNAs zusammenstellen kann, um den gesamten Testanforderungen gerecht zu werden. ◀

Das Active Electronically Scanned Array (AESA)

ist ein Phased-Array-System, bei dem der Signalstrahl elektronisch in jede Richtung gelenkt werden kann, ohne dass die Antenne physisch bewegt werden muss. Die Antenne besteht aus einer Anordnung kleiner Antennen, die jeweils über eine separate Speisung verfügen. Der Strahl wird elektronisch gesteuert, indem die Phase der von jedem der mehreren Strahlungselemente in der Antenne gesendeten und empfangenen Funkwellen geregelt wird. Diese digital gesteuerte Abtastung der AESA ermöglicht es ihr, im Vergleich zu einem mechanisch abgetasteten Radar, dessen Reichweite durch die Ausrichtung und die Drehgeschwindigkeit seiner Motoren begrenzt ist, schnell jede Richtung abzutasten.

AESAs werden hauptsächlich in Radargeräten eingesetzt, die unvergleichliche Fähigkeiten in den Bereichen Erkennung, Zielerfassung, Verfolgung und Selbstschutz bieten. Bei AESA verfügt jedes Element über ein eigenes Send-/Empfangsmodul (TRM), was dieses System zuverlässiger macht, da der Ausfall eines einzelnen Elements die Funktion des Systems nicht beeinträchtigt.

Dies ist ein Bild einer AESA von MACOM. Jedes Antennenelement verfügt über eine separate Speiseleitung, einen Verstärker und einen Kühlkörper.

Zwei Hauptanwendungsbereiche von aktiven elektronisch gesteuerten Antennenarrays sind 5G und Radarsysteme.