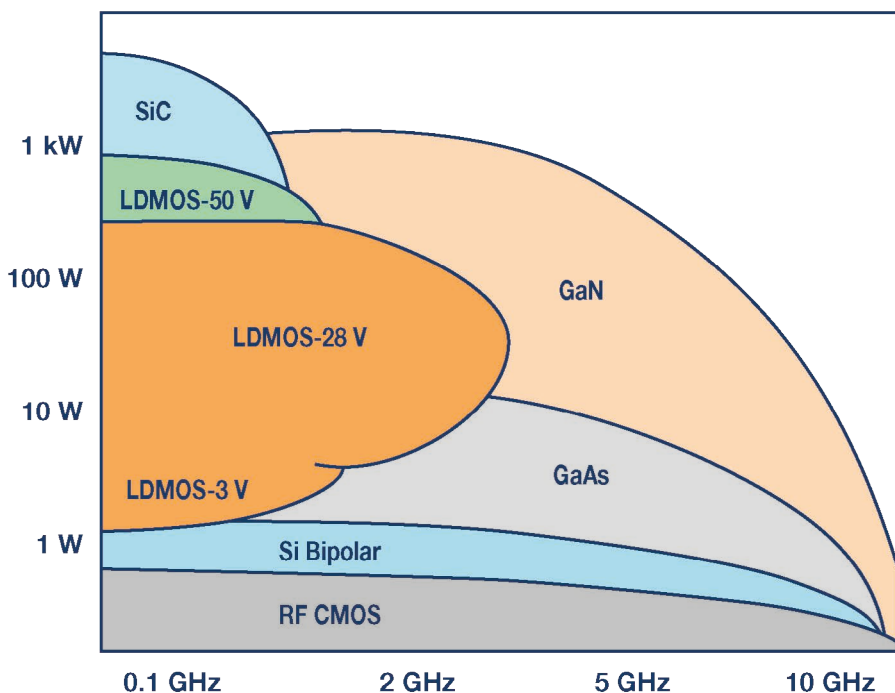


SWaP: Alles dreht sich um Size, Weight and Power

Größe (Size), Gewicht (Weight) und Leistung (Power) – dafür steht SWaP. Und bezieht sich auf die wohl wichtigsten Spezifikation bei der Definition neuer Produkte. Fortschritte in der HF-Technologie können hier für Verbesserungen sorgen.



Technologische Entwicklungen, ob an Bord eines Schiffes, in der Luft, zu Lande oder in der Hand getragen, haben eine gemeinsame Anforderung: Sie müssen kleiner sein, wenige der verfügbaren Ressourcen verbrauchen und einen größeren Beitrag zur Gesamtfunktionalität leisten.

Konkret festgemacht: Kommerzielle und militärische Luftfahrzeuge unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht. Verkehrsflugzeuge legen großen Wert auf Sicherheit und Systemredundanz, während Verteidigungsplattformen sich auf Multifunktionssysteme und Energie-Management konzentrieren. Ein gemeinsames Anliegen kommerzieller und militärischer Plattformen ist die Maximierung der Nutzlast-Effizienz. Jedes Kilogramm, jeder Kubikzentimeter und jede Wattstunde wird sorgfältig geplant mit dem Ziel einer Minimierung. Neue HF-Technologien versprechen dabei Vorteile für kommerzielle und militärische, bemannte und unbemannte Plattformen. Dieser Artikel zeigt diese Fortschritte in der HF-Technologie auf und gibt dem Leser einen Überblick über das SWaP-Problem, gefolgt von einem detaillierten Blick auf einige Lösungen. Einige der diskutierten Systeme sind Multifunktions-Radar, elektronische Kriegsführung und drahtlose Sensortechnik. Dem Leser sollte bewusst sein, dass die Problemstellungen und die dazugehörigen Lösungen für luft- und seegestützte Plattformen eng miteinander verbunden sind und es sich oft um Varianten desselben Systems handelt.

Blickpunkt Raumfahrt

Das Space Shuttle war das Arbeitspferd des amerikanischen Raumfahrtprogramms und, offen gesagt, des weltweiten Programms zur Erforschung des Weltraums und zur Einführung von Satelliten. Das Shuttle oder Orbitalfahrzeug (OV) wurde ab 1969 entwickelt und erreichte 1981 eine niedrige Umlaufbahn. Insbesondere dem elektrischen Energiesystem (EPS) wurde erhebliche Beachtung geschenkt. Es bestand aus verteilten Brennstoffzellen-Kraftwerken, Energiespeichern und Stromverteilung und -steuerung. Viel Zeit und Mühe wurde dem EPS gewidmet, das die 28-V-DC- und die 115-V-AC-Stromschienen für den OV bediente. Diese Systeme und Teilsysteme waren komplex, schwer und sehr ineffizient, und so war das elektrische System war ein wichtiger Teil der gesamten Nutzlast.

Heute befinden sich mehrere unbemannte Luftfahrzeuge (UAV) am Ende ihrer Entwicklungsphase, die in eine besondere Kategorie fallen: große Höhe und lange Betriebsdauer (high altitude long endurance, HALE). Solch ein Projekt hat beispielsweise das Ziel von fünf Jahren Flugzeit ohne Nachschub. Allein die Anforderungen an die Umgebung und an das Flug- und Triebwerkssystem sind hochgradig herausfordernd, aber hinzu kommen die Anforderungen an die Stromerzeugung, -abgabe und -rückgewinnung, und dies ist für den Erfolg dieser Programme entscheidend.

Auch bei der Entwicklung der Kommunikationssysteme werden Größe, Gewicht und Effizienz oberste Priorität haben. Analog Devices, Inc. spielt hier in seinem Bemühen, solche Komponenten zu liefern, nach eigener Ansicht eine proaktive Rolle. Ein hervorragendes Beispiel dafür ist das Transceiver-Portfolio von ADI, das sehr vielfältig ist bei Abdeckung des gesamten Spektrums mit hochintegrierten Lösungen für Komponenten mit geringem Stromverbrauch und Platzbedarf.

In der Praxis

Hier geht es beispielsweise um Phased-Array-Radar und ein aktives elektronisch abtastendes Array (active electronically scanning array, AESA), etwa von 50 bis 1000 Fuß Sichtweite, und darum, wie man mit sehr intelligente Ideen Systemgenauigkeit,

Quelle: "SWaP: The RF Solution that can mean the difference between flying high and being grounded"
Jarrett Liner
Anwendungsingenieur
Analog Devices
www.analog.com

übersetzt und leicht bearbeitet von FS

Reichweite und Datendurchsatz erhöhen kann. Die SWaP-Herausforderungen können hier alle davon isoliert durchgeführten Berechnungen zunichtemachen.

Verlangt wird ein schlankes System im derzeitigen sozialen, wirtschaftlichen, politischen und globalen Umfeld. Da scheint SWaP immer häufiger der treibender Faktor zu sein bei der schwierige Abwägungen zwischen Systemleistungs-Verbesserungen und Multifunktionsarchitekturen.

Wer verursacht das Problem?

Nun wird es etwas lyrisch. Bevor wir einige der Lösungen für SWaP-Probleme erörtern, wollen wir einige der Übeltäter, Skandal-täter und erheblich belastenden Figuren identifizieren.

Voran geht Kupfer! Kupfer ist der Leiter der Wahl für die elektrische Energieübertragung. 1000 Fuß Kupferdraht der Stärke AWG 5 ohne Isolierung wiegen fast 50 kg. Um hier noch eins draufzusetzen, führt der Widerstand von Draht dazu, dass elektrischer Strom in Form von Wärme verschwendet wird.

Das nächste Hemmnis ist die Größe der Komponenten. Betrachten wir zum Beispiel den lokalen Radar-Oszillators an Bord eines Schiffes. Der LO speist sowohl den Sender als auch den Empfänger. Er muss eine stabile Frequenz mit geringen Oberwellen erzeugen und die höchsten Stabilitäten müssen Temperatur, Spannung und mechanische Drift



aufweisen. Der Oszillator muss genügend Ausgangsleistung erzeugen, um nachfolgende Schaltungsstufen wie Mischer oder Frequenzvervielfacher effektiv anzusteuern. Er muss ein geringes Phasenrauschen aufweisen, wenn das Timing des Signals kritisch ist. In der Vergangenheit wurde der LO als separates und speziell entwickeltes Teilsystem angesehen: groß, stromhungrig und schwer durch seine Halbleiterkomponenten. Dies muss sich nun ändern.

Die klassische Komponente, die ein System mit Hochleistungs-HF versorgt hat, ist die Wanderfeldröhre (travel wave tube, TWT, Bild 1). Das ist eine spezielle Vakuumröhre, die in der Elektronik zur Verstärkung von Hochfrequenzsignalen im Mikrowellenbereich verwendet wird. Die Bandbreite einer

Breitband-TWT kann bis zu einer Oktave betragen. Abgestimmte (schmalbandige) Versionen sind üblicher; die Betriebsfrequenzen reichen von 300 MHz bis 50 GHz. Diese TWT-Systeme sind einigermaßen effizient, aber sie stellen eine Fehlerquelle dar: Die Zuverlässigkeit ist bei TWTs ein großes Problem. Die Zuverlässigkeit von Mikrowellenröhren ist stark von drei Faktoren abhängig: erstens von Fehlern während des Herstellungsprozesses, zweitens von Betriebsverfahren und Handhabung und schließlich müssen zwischen dem Arbeitspunkt und der endgültigen Auslegungsfähigkeit der Röhre angemessene Spielräume bestehen, um einen zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten. Dies sind nur die wichtigsten drei Beispiele für die Problematik von TWTs mit Blick auf SWaP.

Der nächste Punkt: LDMOS ermöglicht eine hohe Leistung, arbeitet aber nur unter 5 GHz optimal. GaAs-MESFETs arbeiten bei sehr hohen Frequenzen, aber die niedrige Durchbruchspannung beschränkt sie auf den Leistungsbereich von maximal 10 W.

SWaP liebt darum Galliumnitrid auf Siliziumkarbid (GaN on SiC). Sowohl GaN als auch SiC sind Breitbandlücken-Materialien, was bedeutet, dass die kombinierten Durchbruchspannungen bis zu 150 V betragen können. Dies ermöglicht eine höhere Leistungsdichte und eine niedrigere Lastleitung für eine einfachere Impedanzanpassung. GaN on SiC ermöglicht eine Leistungssteigerung bei Frequenzen im Millimeterbereich von 90 bis 200 GHz.

Die Marktakzeptanz von GaN-on-SiC-LEDs hat dazu beigetragen, die Wafer-Fabriken zu füllen und die Wafer-Kosten zu senken. Die Struktur der HF-Transistoren ist so beschaffen, dass Leistungsdichten von 5 W/mm erreicht werden können. GaN on SiC wird allgemein als bahnbrechende Technologie angesehen, und der Verteidigungs- und der kommerzielle Markt verlangen mehr davon.

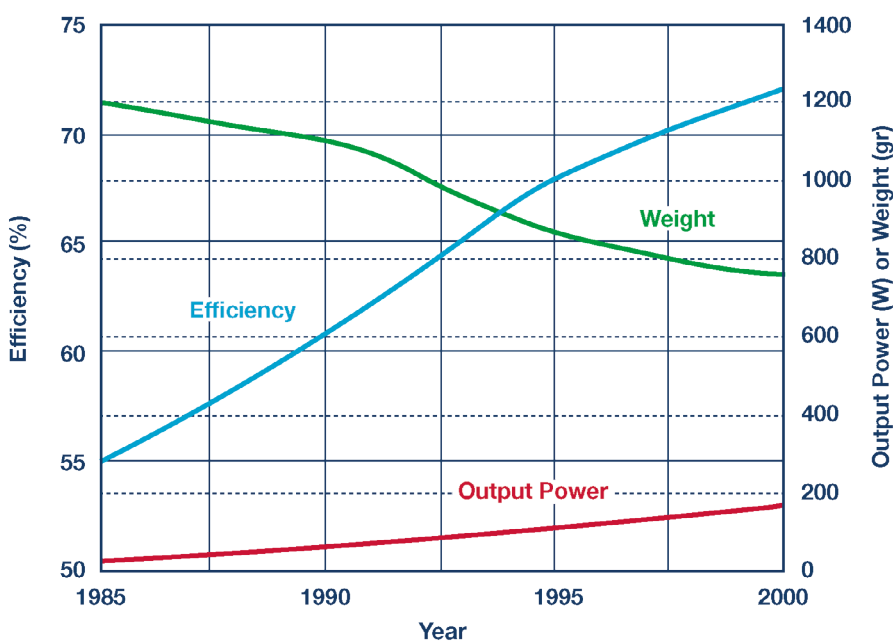
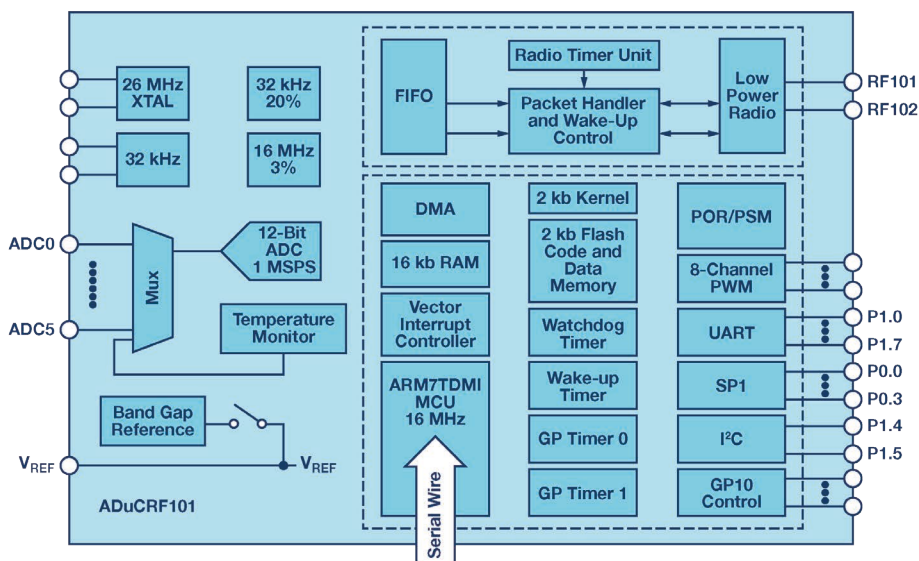


Bild 1: Diagramm zur Veranschaulichung der Vesserungen bei Wirkungsgrad, Ausgangsleistung und Gewicht im Zeitverlauf



Die Leistung von GaN on SiC wird vor allem durch den Wärmetransfer begrenzt; die Ableitung der Wärme aus dem Bauelement ist das letzte Problem, das es zu lösen gilt. Einige Erfolge wurden mit GaN on Silizium erzielt, aber die geringere Wärmeleitfähigkeit begrenzt die Ausgangsleistung.

Das Aufmacherbild zeigt die Bereiche, welche verschiedene Technologien bezüglich Leistung und Frequenz bedienen können.

Die SWaP-Superhelden

Jeder Bösewicht braucht einen dazugehörigen Superhelden. Fortschritte in der Halbleitertechnologie und der Komponentenintegration haben eine wichtige Rolle bei der Verringerung des SWaP-Problems gespielt. Dazu gehören drei Technologien: Halbleiter-Leistungsverstärker, Komponentenintegration und drahtlose Sensortechnik.

Etwa Festkörper-Leistungsverstärker (solid-state power amplifiers, SSPAs) sind keine neue Technologie. GaAs (Galliumarsenid) und LDMOS (lateral diffundierte Metalloxid-Halbleiter) werden seit vielen Jahren für Hochleistungsverstärker verwendet. LDMOS-FETs auf Siliziumbasis werden häufig in HF-Leistungsverstärkern für Basisstationen eingesetzt, da eine hohe Ausgangsleistung eine entsprechende Drain-Source-Durchbruchsspannung erforderlich macht, die in der Regel über 60 V liegt. Im Vergleich zu anderen Bauelementen, wie z.B. GaAs-FETs, weisen sie eine niedrigere maximale Leistungsgewinnfrequenz auf. LDMOS-FETs arbeiten mit den höchsten Wirkungsgraden unter 5 GHz. Ein Galliumarsenid-Feldeffekttransistor (GaAs-FET) ist ein spezieller FET-Typ, der in Festkörper-Verstärkerschaltungen bei Mikrowellen-Funkfrequenzen eingesetzt wird. Dies

umfasst das Spektrum von etwa 30 MHz bis zum Millimeterwellenbereich.

Der GaAs-FET ist bekannt für seine Empfindlichkeit und vor allem dafür, dass er sehr wenig internes Rauschen erzeugt. Die Leistungsdichte wird durch die Durchbruchspannung begrenzt. Unter guten Bedingungen kann man mit einem GaAs-MESFET 20 V Durchbruchspannung erreichen. Noch einmal: TWTs haben eine hohe Frequenz und eine hohe Leistung nahe 10 W. Die beste Leistung wird von GaN on Diamant erreicht. Wissenschaftliche Berechnungen deuten darauf hin, dass die Leistungsdichten bis zu zehnmal höher sind als bei GaN on SiC, wie es heute verfügbar ist

Obwohl das direkte Wachstum von GaN auf einkristallinem Diamant nachgewiesen wurde, sind die derzeit erhältlichen einkristallinen Diamantsubstrate nicht besonders klein. Regierungs- und Rüstungsunternehmen sind die einzigen frühen Anwender der GaN-Diamant-Allianz. Ähnlich wie bei GaAs in den 80er Jahren wird GaN auf Diamant akzeptiert, wenn die Zuverlässigkeit steigt und die verbundenen Kosten sinken.

Integration bringt Freiheitsgrade

Eine bemannte oder autonome Luftfahrzeug-Plattform verfügt über zahlreiche Kommunikationsmittel von Sprach-, Navigations- und Datenverbindungen bis hin zu Radar und Munitionsverfolgung, und die Liste wird immer länger, je dichter der Himmel und je komplexer die Kriegsführung wird. In der Vergangenheit erforderten diese Systeme viel Platz und Energie sowie unterstützende Subsysteme. Dass die luftgestützten Plattformen damit tatsächlich in der Luft waren, ist erstaunlich. Jedes Gramm wurde bertück-

sichtigt, jedes Milliwatt berechnet. Man suchte nach einem besseren Weg.

Fortschritte bei der Entwicklung integrierter Schaltkreise (ICs) sowie bei System-in-Package (SiP) und System-on-Chip (SoC) wiesen diesen. So erschien etwa ein Transceiver auf den Markt, der die Fähigkeiten einer massiven und energiehungrigen Kommunikationsverbindung in einem 10 × 10 mm großen Gehäuse vollbringt. Oder ein Transceiver, der auf niedrige Kosten, geringen Stromverbrauch und geringe Größe ausgelegt ist.

Bemannte und unbemannte Verkehrs- und Verteidigungsflugzeuge sind mit hunderten, wenn nicht tausenden von Sensoren ausgestattet, und viele davon verfügen über redundante und unterstützende Systeme. Diese Sensorpalette reicht von Klappen- und Querrudersensoren über Navigations- und Positionssensoren bis hin zu Motorvibrationen und Bremstemperaturen - die Liste wird immer länger. Jeder einzelne dieser Sensoren ist per Kabel aus Kupfer mit einem zentralen Prozessor verbunden. Das verbraucht erhebliche Plattformressourcen.

Fortschritte in der HF-Technologie können die Abhängigkeit von diesen Kabeln verringern. Viele große Flugzeughersteller arbeiten gemeinsam an der Qualifizierung kommerzieller Standardtechnologie (commercial off-the-shelf, COTS) als kostengünstigen und zuverlässigen Ersatz für Kupferverbindungen. Etwa ein IMU-Sensor (inertial measurement unit) ist eine vollintegrierte Datenerfassungslösung, konzipiert für drahtlose Anwendungen mit geringem Stromverbrauch. Bei der Entwicklung wurde besonderer Wert auf Flexibilität, Robustheit, Benutzerfreundlichkeit und geringen Stromverbrauch gelegt.

Schlussfolgerung

Das heutige soziale, politische und wirtschaftliche Umfeld verlangt von den Konstrukteuren luftgestützter Plattformen, dass sie sich verstärkt auf die Einsparung von Größe, Gewicht und Energie konzentrieren. Die geringere Belastung der Systemressourcen ermöglicht längere Flugzeiten, einen geringeren Treibstoffbedarf und eine effizientere Nutzlastzulassung. Die bedeutendsten und interessantesten Fortschritte bei der Einsparung von SWaP kommen direkt von den technologischen Fortschritten in der RF-Gemeinschaft. Die vorteilhaftesten Fortschritte betreffen die Verkleinerung von TWTs zu SSPAs, die Integration von Komponenten und die geringere Abhängigkeit von Kupferkabel. ◀