

HF- und Mikrowellen-Leistungsverstärker – die Hochleistungsantriebe im Signalpfad

## Verstärker kennt doch jeder...



**Familie AM4: UHF/VHF-Multifunktionsverstärker**

**In diesem Artikel möchten wir keine neuen Verstärker mit technisch interessanten Eigenschaften vorstellen, sondern grundsätzliche Kriterien bei der Auswahl des Verstärkers für „meine Anwendung“ näher betrachten.**



*Autor:  
Wolfgang Uhlig  
Industrial Electronics/  
Microwave Amplifiers  
w.uhlig@ie4u.de*

Kleinsignal- und Leistungsverstärker sind in vielfältigsten Ausführungen im Markt zu finden. Wir betrachten hier vorrangig gehäuste Verstärker höherer Leistungen mit Schraub- oder Hohlwellenleiter-Anschlüssen – Verstärker in modularer Bauweise oder in 19-Zoll-Rack-Gehäusen, wie sie in vielfältigsten Anwendung zu finden sind, etwa in Einrichtungen der Kommunikationstechnik, in Systemen der Forschung und Entwicklung, in zivilen und militärischen Radaranwendungen, der Luftfahrt, Partikelbeschleunigern... die Liste könnte weiter fortgeschrieben werden.

Für zahlreiche Anwendungen genügen „Standardverstärker“, Produkte, die einmal entwickelt wurden und fortan als „Katalogware“ für Jedermann verfügbar sind. Für höhere Anforderungen jedoch, welche die Spezifikationen eines Standardprodukts nicht mehr abdecken, werden sehr komplexe kundenspezifische Verstärker-Designs entwickelt, die manchmal an die gerade geltenden Grenzen des physikalisch Machbaren gehen.

### **Ich benötige einen Verstärker – wie finde ich den richtigen?**

Analytisch erfahrene Anwender haben sich angewöhnt, bei der



**Familie AM5: Breitband-50-W-Multifunktionsverstärker**

Auswahl möglicher Aufgabenlösungen einen „Entscheidungsbaum“ aufzustellen und diesen systematisch abzuarbeiten. Für welche Arbeitsbedingungen muss mein Verstärker ausgelegt sein? Schauen wir uns den Baumstamm und seine Äste an:

#### **Signalarten:**

- CW
- moduliert
- Pulsapplikationen mit Duty Cycle x%

#### **Frequenz:**

- Frequenzbereich
- Bandbreite

#### **Leistung, Verstärkung und mehr:**

- Ausgangsleistung
- Verstärkung
- Noise

- Harmonics
- Einfügedämpfung
- sonstige elektrische Spezifikationen für die Anwendung

#### **HF-Sicherheitseigenschaften:**

- Beschädigungsfreiheit bei Open- und Short-Circuit-Betrieb, bedingungslose Stabilität
- Gleichspannung am Eingang

#### **Anschlussstechnik:**

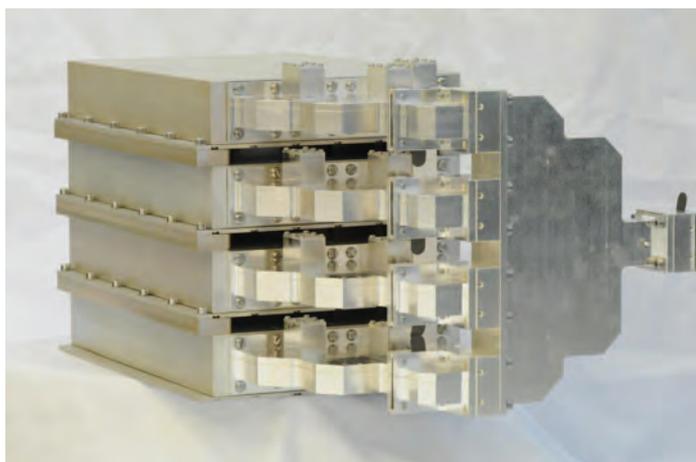
- HF-Anschlussstyp
- DC-Anschlüsse
- Netzanschluss

#### **Spannungsversorgung:**

- Netz/Spannungstoleranz
- interne Versorgung (Batterie/Akku)
- externe DC-Versorgung (Buchsentyp)



**Familie AM43: modularer Verstärker für Schmalbandanwendungen im Frequenzbereich 3...15 GHz**



**Familie AM61: 1,4-kW-X-Band-Treiberverstärker**



**Familie AM61: 800-W-X-Band-Klystron-Treiberverstärker**

**Mechanische Spezifikationen:**

- Gewicht
- Abmessungen
- Robustheit
- Modulbauweise mit oder ohne Kühlkörper
- 19-Zoll-Rack-Version inkl. Stromversorgung/Netzteil zum Einbau in Elektronikschränke

**Kühlkonzept und thermisches Management:**

- Welche Maßnahmen für gutes Thermo-Management muss ich vorsehen?

- Kühlkonzept: natürliche Konvektion, Luft- oder Flüssigkeitskühlung

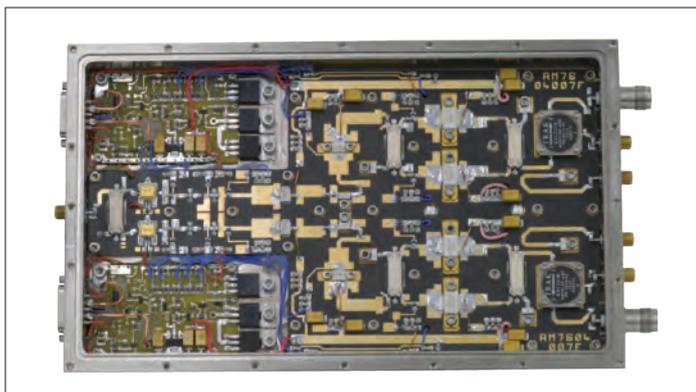
**Besondere Umweltspezifikationen:**

- Umgebungstemperatur
- Luftfeuchte
- Flughöhe

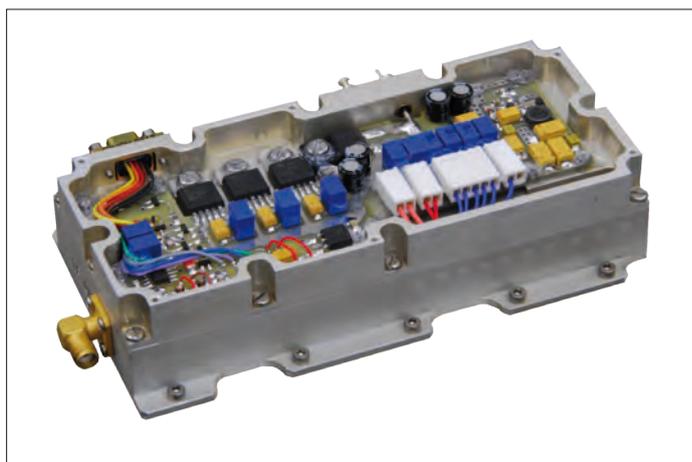
**Besondere Gehäusespezifikationen:**

- IP-Anforderungen
- Druckstabilität

**Besondere Testerfordernisse/Zulassungskriterien:**



**Familie AM76: SAR-Transmitter-Verstärker zum Einsatz im erdnahen Orbit**



**Familie AM75: Videoüberwachungs-Transmitter-Verstärker im Luftfahrteinsatz**

- MIL-Standards
- Raumfahrt-Qualifizierung

Vorgenannte Punkte sind grundsätzliche Kriterien für die Entscheidung, welcher Verstärker für mein Projekt in Frage kommt. Eine nachfolgende detailliertere Spezifikation ist für eine Entscheidung meistens zusätzlich nötig oder sinnvoll.

**Was bietet der Markt?**

Schaut man nun auf das große Marktangebot im Bereich der Leistungsverstärker, hat man die Auswahl zwischen:

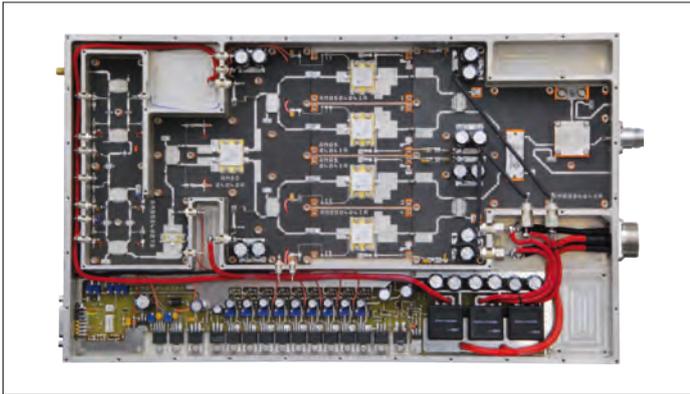
- Standard-Designs „off-the-shelf“ sowohl in schmal- wie auch breitbandigen Ausführungen

Bei diesen Verstärkern stößt man bei der Auswahl jedoch auf Leistungsgrenzen, wenn Werte von mehreren 100 W gefordert sind. In der Regel handelt es sich um Verstärker, die nicht auf spezielle Anwendungen hin entwickelt wurden. Das Preisniveau liegt üblicherweise im Durchschnitt und im „unteren Bereich“.

- hochspezialisierte kundenspezifische Designs, exakt auf die



**Familie AM81: IMD-Testsystemverstärker für mobile Kommunikation**



**Familie AM85: L-Band-1-kW-Pulsverstärker**

spezifischen Anforderungen hin entwickelt

Diese erfüllen alle für die spezifische Anwendung geforderten Bedingungen hinsichtlich Signalart, Verstärkung, Leistung mit den damit verbundenen elektrischen Parametern, Bauform,

Baugröße, Anschlusstechnik etc. Diese Sonderanfertigungen sind naturgemäß hochpreisig angesiedelt.

### Welche Alternativen gibt es?

Gibt es den „genau passenden“ Verstärker zum erschwinglichen Preis? Hier steigen wir etwas weiter in das Konzept der Design-Familien ein. Microwave Amplifiers Ltd. in Bristol, U.K. begann bereits vor 25 Jahren das Konzept der „Design-Familien“ zu entwickeln mit der Idee, weder auf Flexibilität im technischen Angebot durch die Festlegung auf „Standardprodukte“ verzichten zu müssen noch bei neuen Kundenanforderungen jedesmal ein Design von Grund auf neu beginnen zu müssen.

Derzeit decken die Verstärkerfamilien einen Frequenzbereich



**Familie AM87: Wassergekühlter 500-W-CW-S-Band-Leistungsverstärker**

von 400 bis 20.000 MHz ab bei Leistungen von 2 bis 20.000 W.

Der Gedanke war: Der Kunde soll „seinen Verstärker“ erhalten, ein technisch hochwertiges Produkt und dies zu einem Preis der nicht durch hohe, immer wiederkehrende Basisentwicklungskosten belastet wird.

Mit dem „Familienmodell“ lässt sich das Durchlaufen des gesamten Entwicklungszyklus elegant vermeiden. Die „Familien“ sind die Basis, die technischen Anforderungen definieren das „Familienmitglied“. Das ausgewählte „Familienmitglied“ wird bei der Herstellung mit den speziellen Eigenschaften versehen. Vor allem bei der Anfertigung eines kundenspezifischen Einzelstücks wirkt sich dies auf die Kosten (NRE) positiv aus.

### Die Verstärkerfamilien

Seit Firmengründung wurden kontinuierlich neue Verstärkerplattformen, initiiert durch Kundenanforderungen, entwickelt. Derzeit stehen 30 Hauptfamilien mit diversen Unterfamilien, speziell ausgerichtet auf die spezifische Signalart (CW, Pulse, mixed signal) oder Leistungs-



**Familie AM96: Holographischer Radar-Transmitter-Verstärker (rückseitige Ansicht)**



**Familie AM51: modularer 100-W-Verstärker für allgemeine Anwendungen**



**Familie AM96: Holographischer Radar-Transmitter-Verstärker zum Schrankeinbau**



*Blick ins Innere des Instrumentenchassis'*

## Familie AM61: 12-GHz-Module, eingebaut in 19-Zoll-Instrumentenchassis

klasse für die exakte Anpassung an die Kundenanforderungen im Portfolio.

Aus diesen skalierbaren Design-Plattformen (Familien) entstanden im Laufe der Jahre mehrere tausend völlig individuelle kundenspezifische Verstärkermodelle. Doch nicht nur das: Hervorgerufen durch interessante Kundenwünsche, entstanden in den letzten Jahren neue Design-Plattformen für hohe Leistungsbereiche bis in den kW-Bereich wie auch für Applikationen, die hohe Leistung bei hohen Frequenzen verlangen.

## Entwicklungsschritte von Familien-Design-Plattformen

Jeder Entwicklung einer neuen Plattform gehen Grundsatzüberlegungen voraus mit Abwägung der möglichen Verstärkermodifikationsmöglichkeiten unter den Aspekten:

- aktuellste Bauteile mit höchster Energiedichte
- Einsatz der optimalen FET-Technologie für die neue Plattform: GaN, GaAs, LDMOS...
- verfügbares Bauteilspektrum in Frequenz und Leistung
- Roadmap
- Design-Variationsmöglichkeiten für verschiedene Signalarten
- Effizienz

- Formfaktor der Neuentwicklung
- thermische Belastungsgrenzen bei variablen Bauformen
- und diverse sonstige Kriterien

Im nachfolgenden Schritt werden State-of-the-Art-Designtools für die Simulation des Design-Konzepts eingesetzt. Nach ent-

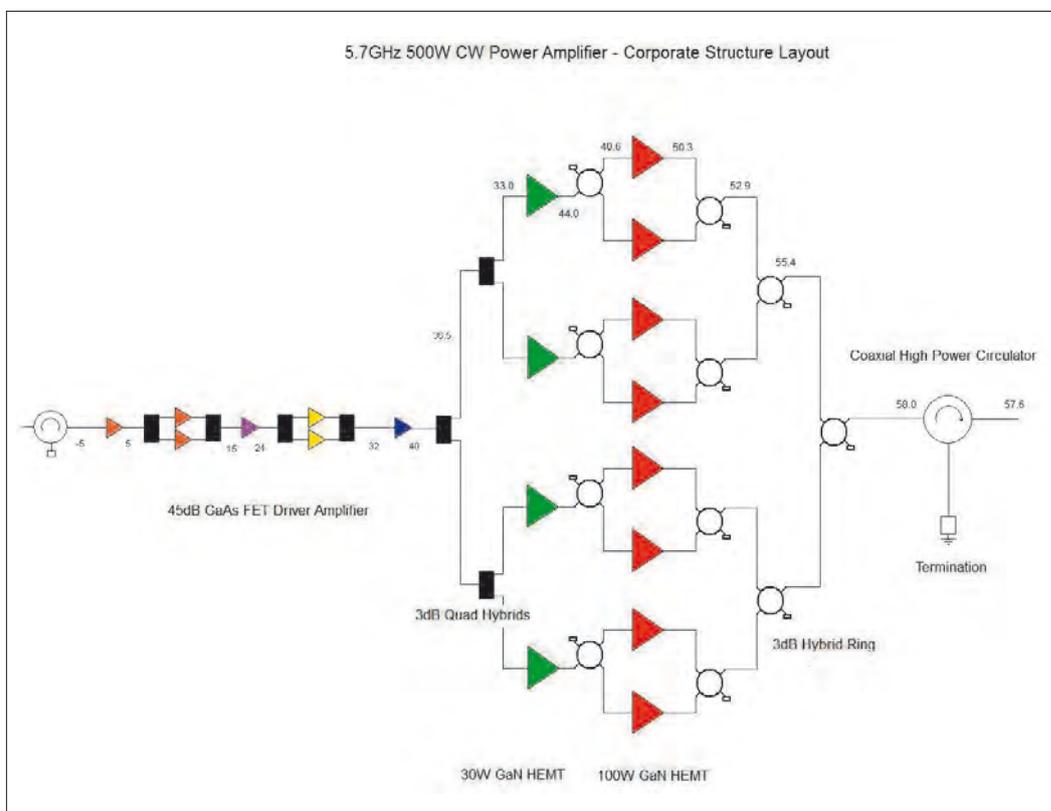
sprechenden Iterationsschritten entsteht ein belastbares Design.

Kritische Einzelkomponenten werden nach klassischem Verfahren auf Evaluationboards aufgebaut und einzeln vermessen und getestet.

Die ersten, teils konkurrierenden Basicboard-Designs werden realisiert, hardware-technisch ausgerüstet und ausführlichen Tests unter Einsatz diverser alterna-

tiver Komponenten im Labor unterzogen. Es folgen mit den Prototypen Stresstests unter verschiedensten Kriterien.

Das Ziel ist eine Familienplattform von höchster Robustheit und Zuverlässigkeit für die zukünftige Gestaltung vielfacher und anspruchsvoller kundenspezifischer Varianten. Der Einsatz der jeweils modernsten Design- und Simulationssoftware sowie ein entsprechender



*Familie AM89: Blockdiagramm einer 5,7-GHz/500-W-Struktur*

