



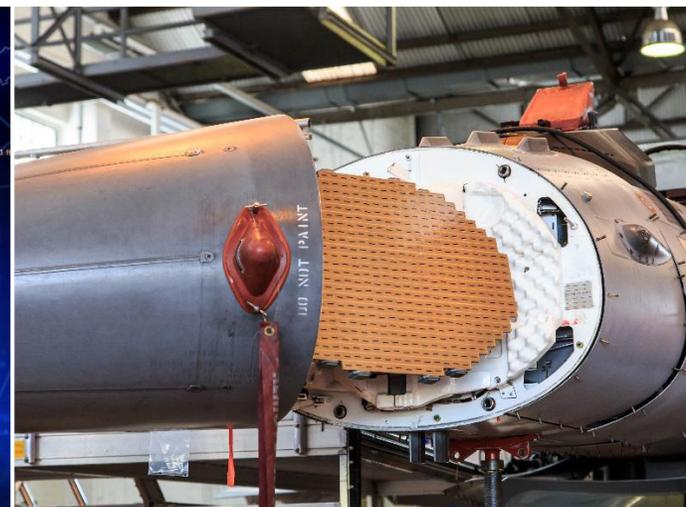
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

限幅放大器揭秘 应用与设计



议题

- ▶ 限幅放大器：概念
- ▶ 什么应用需要限幅放大器？
- ▶ 限幅放大器的设计和环境考虑
- ▶ ADI公司的微波模块产品解决方案



限幅放大器：概念

限幅放大器：概念

典型放大器概述

- ▶ 典型RF放大器增益和压缩
 - 增益在整个频段上是平坦的
 - P_{OUT} 与 P_{IN} 成线性比例关系
 - 输出功率仅在放大器处于压缩状态时受限

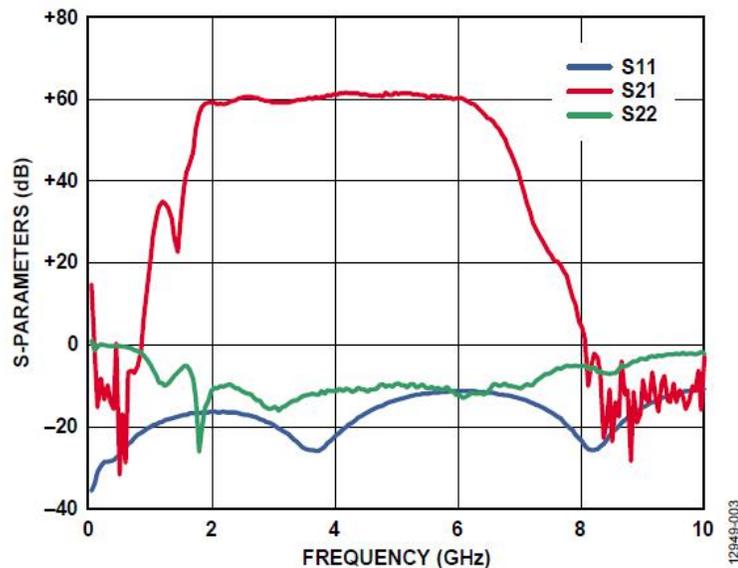


Figure 3. S-Parameters vs. Frequency at 25°C

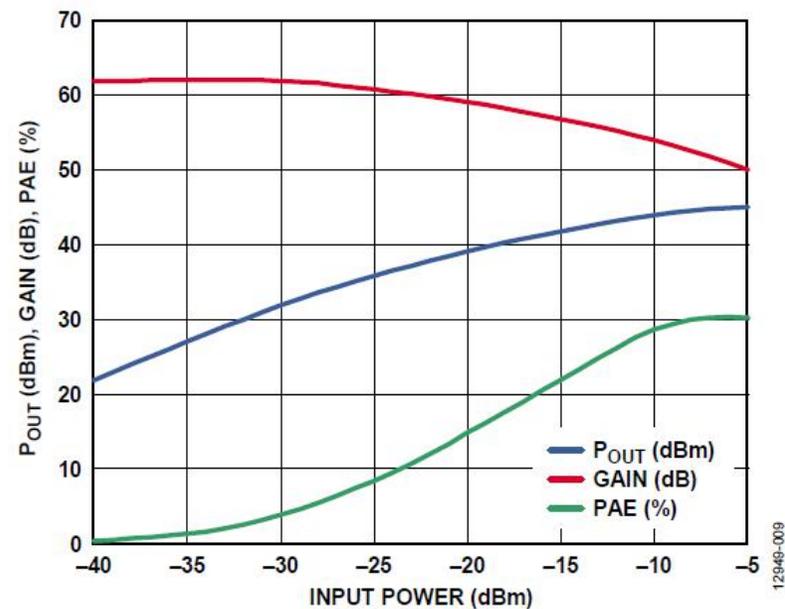
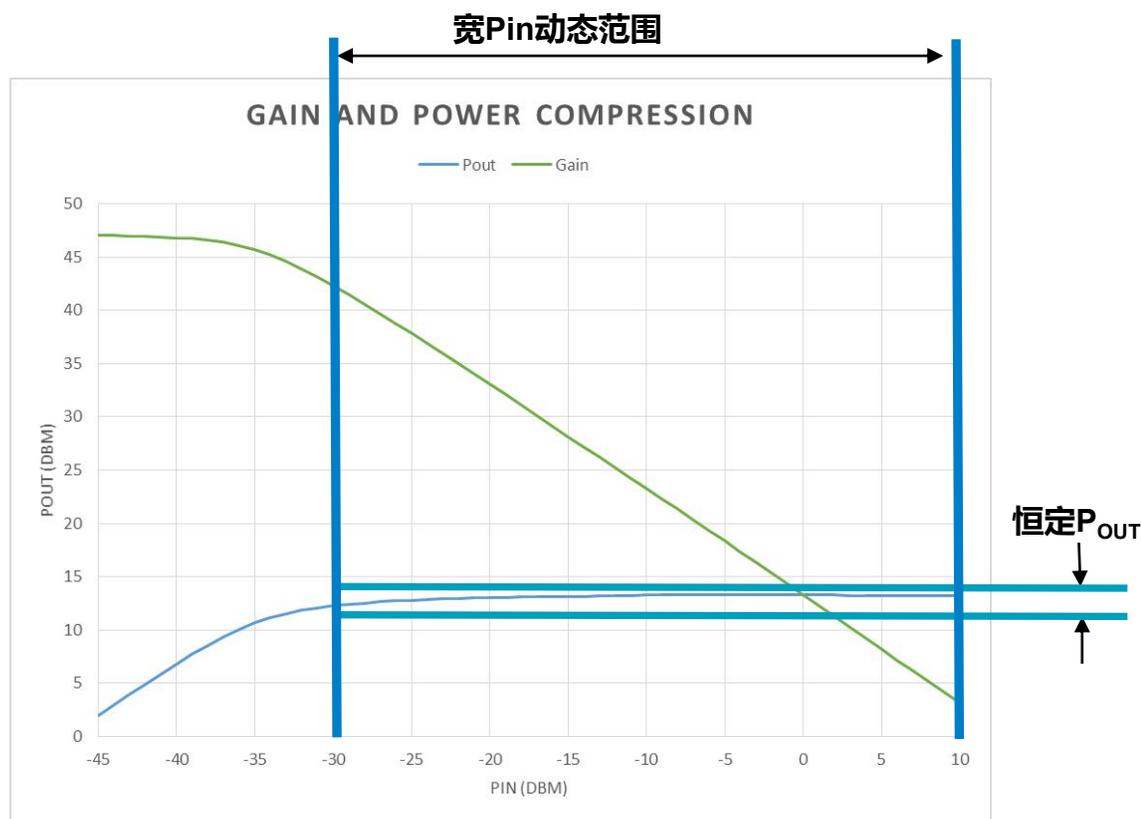


Figure 9. Power Compression at 4 GHz

HMC7748增益和压缩性能

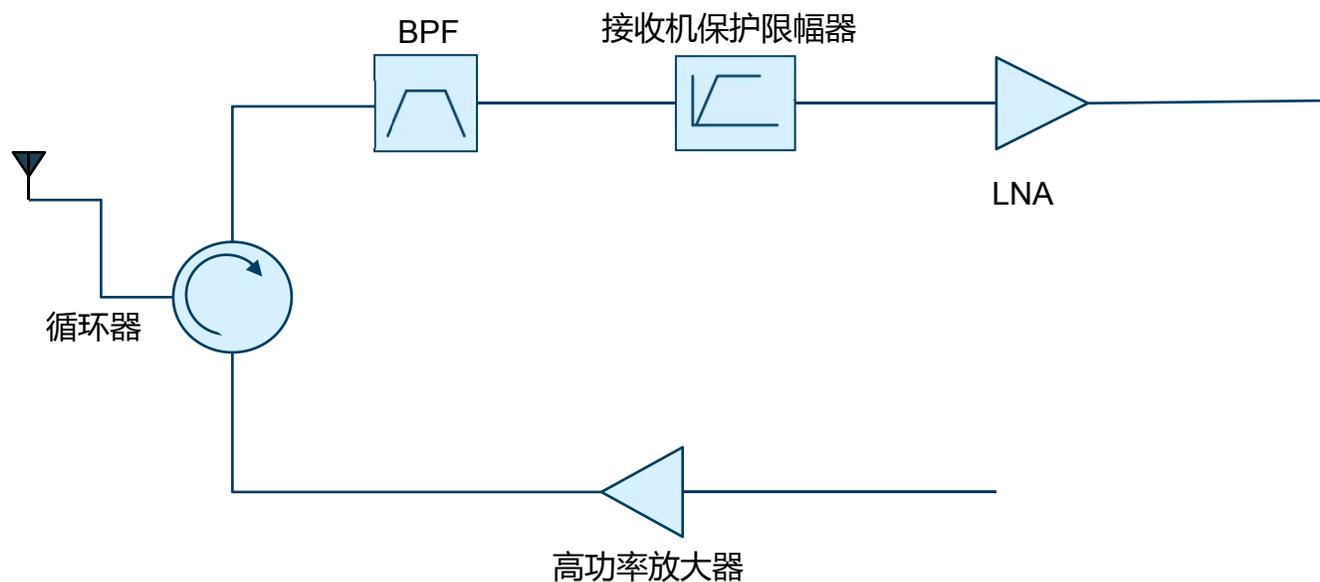
限幅放大器：概念

- ▶ 在一定输入功率范围内，限幅放大器提供恒定输出功率
 - 在很宽的输入功率范围内，输出功率被压缩——高动态范围
 - 需要多级设计



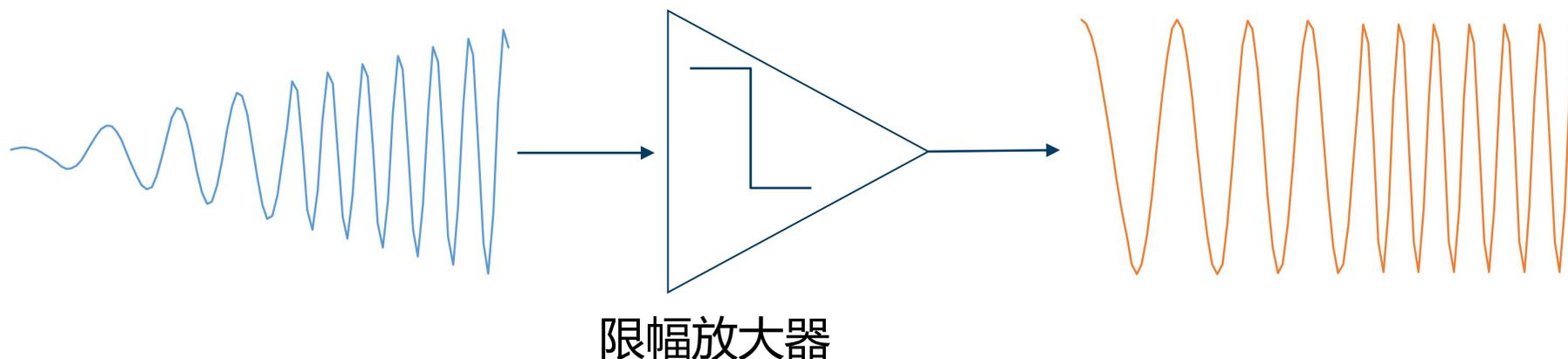
限幅放大器：概念

- ▶ 限幅放大器不是限幅器
 - 限幅器是一种用来保护器件免受高输入功率影响的二极管电路
 - 限幅器使用二极管通过反射输入信号来限制功率
 - RF功率正偏PIN二极管，造成匹配不良，会反射RF功率
 - 限幅器的典型功率范围是在线性区域，而非限幅区域
 - 限幅器会降低噪声系数性能，限幅放大器则不会



限幅放大器用途

- ▶ 保护敏感器件免受RF过驱影响
- ▶ 从接收信号中消除AM调制



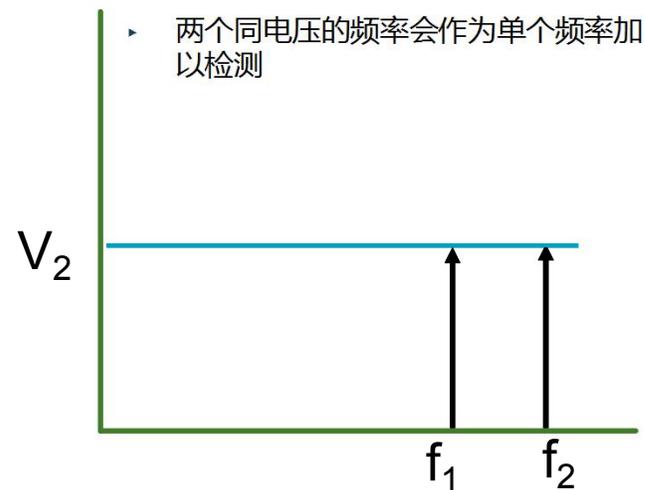
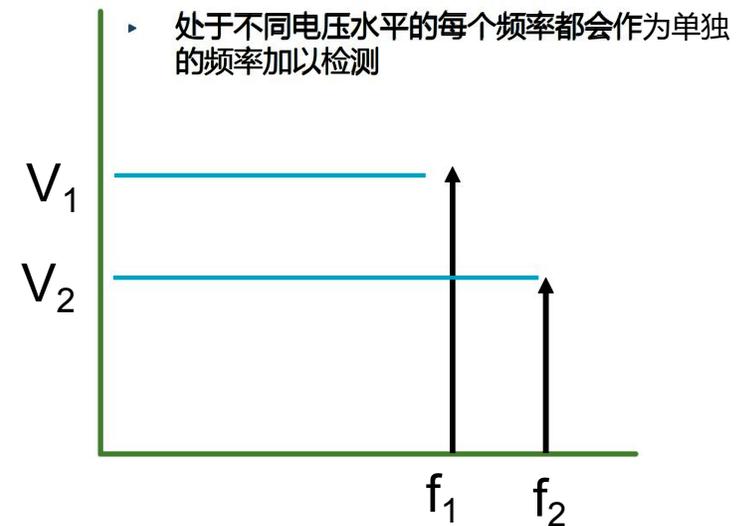
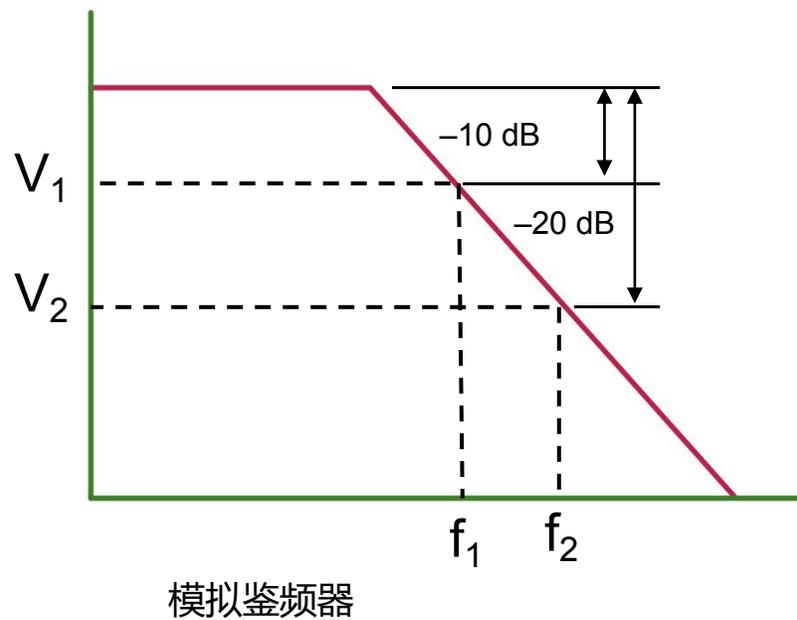
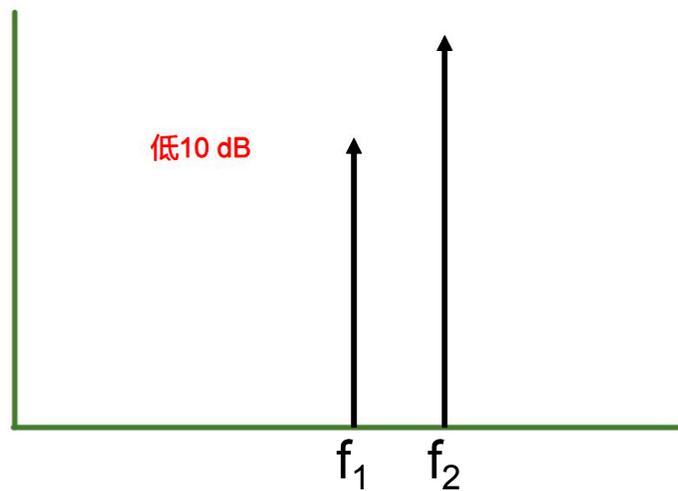
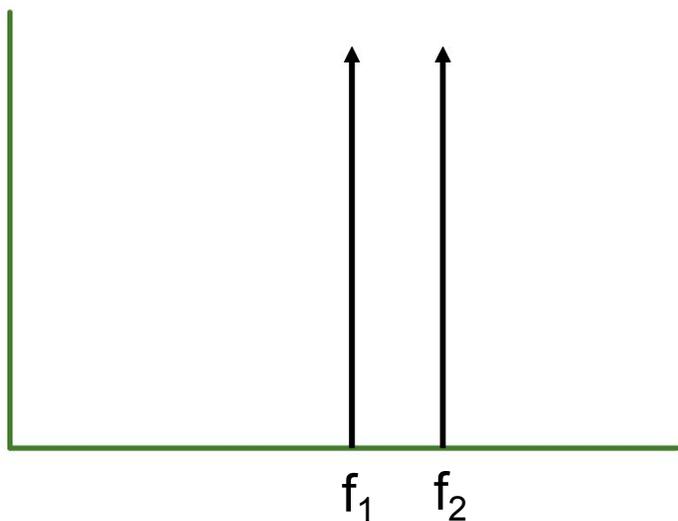
$$F(t) = A(t) \times \cos(2\pi \times f_c \times t + \Theta_m(t))$$

- ▶ $A(t)$: 随时间变化的幅度
- ▶ f_c : 载波频率
- ▶ Θ_m : 调制信号

$$F(t) = P_{OUT} \times \cos(2\pi \times f_c \times t + \theta_m(t))$$

- ▶ 幅度设置为 P_{OUT}
- ▶ 恒定输出功率 → 最少AM到FM转换

为什么恒定输出功率很重要？



什么应用需要限幅放大器？

限幅放大器应用

电子战系统

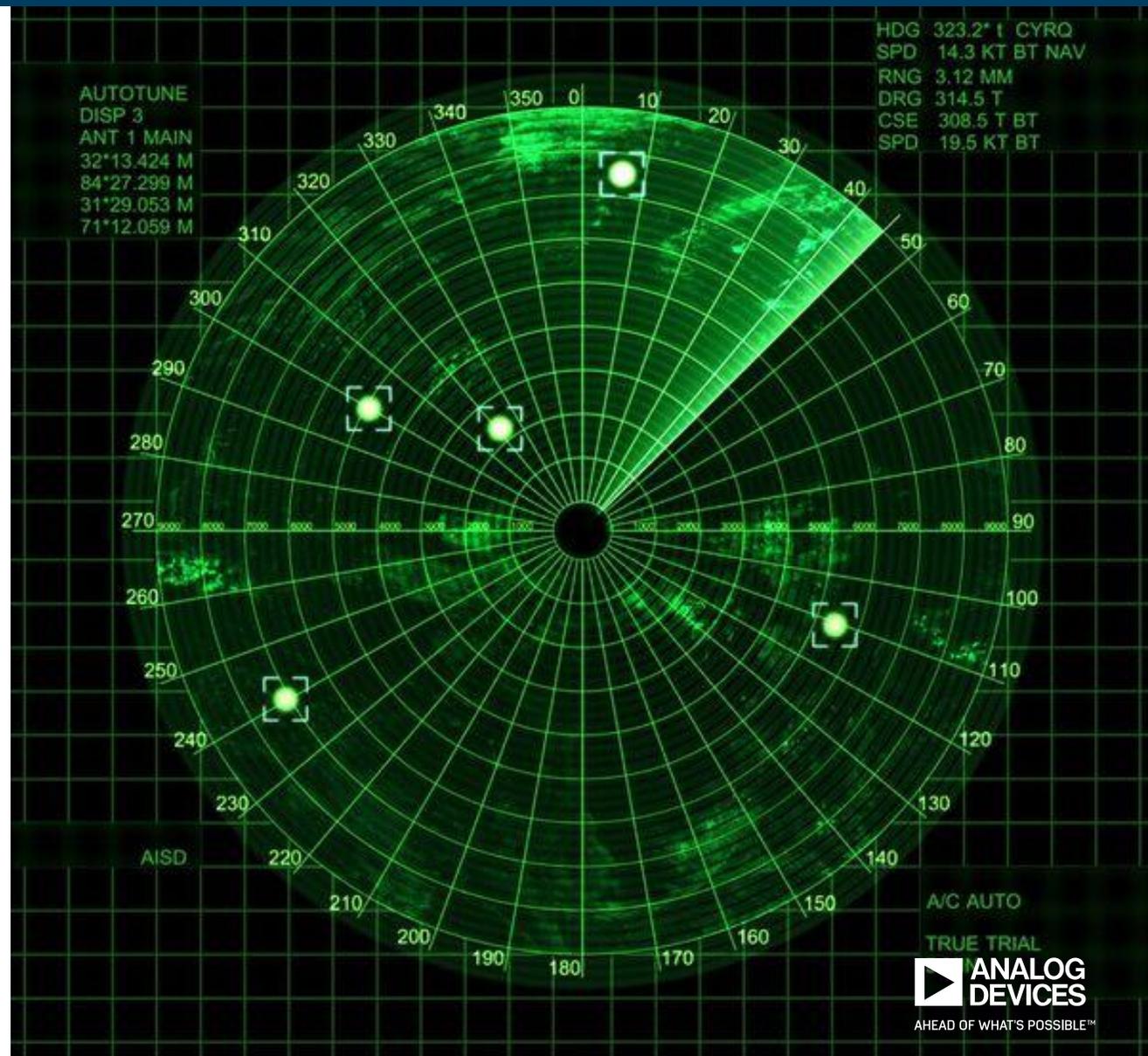
- ▶ 瞬时频率测量(IFM)
- ▶ 前端测向
- ▶ 数字RF模块(DRFM)
- ▶ 干扰器系统
- ▶ 雷达警报接收机



雷达警报接收机

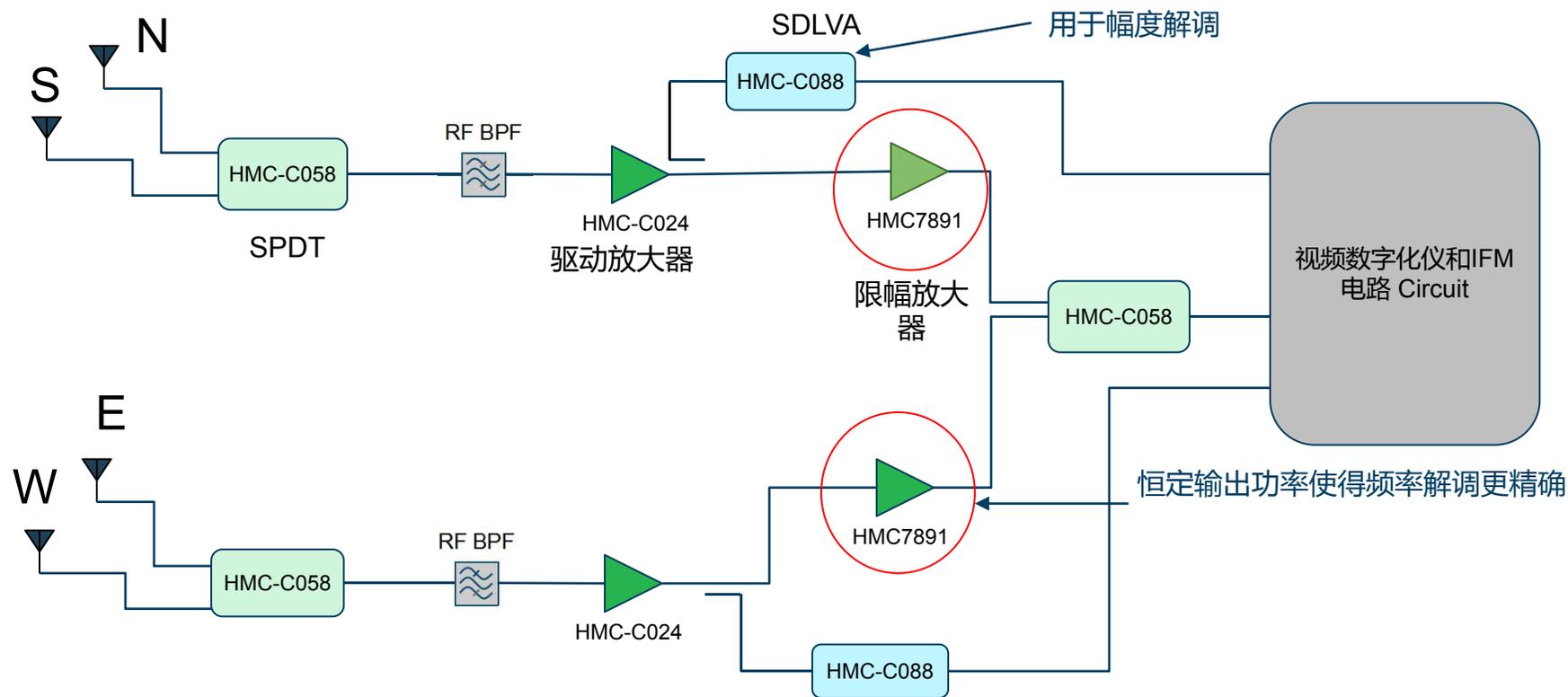
▶ 雷达警报接收机概述

- 车辆周围放置多根天线以接收威胁信号
 - 接收机扫描频谱以确定如下信息：
 - 频率
 - 信号形状
 - 抵达方向
 - 脉冲重复频率(PRF)
- 分析接收机数据以确定威胁优先级



限幅放大器应用

雷达警报接收机应用



- ▶ 宽带接收机；2 GHz至18 GHz
 - 视频数字化仪和IFM电路需要进行通道化以覆盖很宽的频率范围
 - 多个下变频通道

电子战接收机概述

接收机应用挑战

- 同时应对多个威胁需要多个接收机
 - 器件尺寸和功耗对增加接收机数量至关重要(SWaP)
- 需要更快速地检测威胁
 - 宽带宽
 - 宽动态范围
- 更精密复杂的反制技术正在实施当中
 - 接收机需要更好的信号保真度
- 需要支持机载系统
 - 恶劣环境条件
- 检测精度
 - 如何精准确定幅度和频率



限幅放大器设计考虑

宽带限幅放大器

基本原理

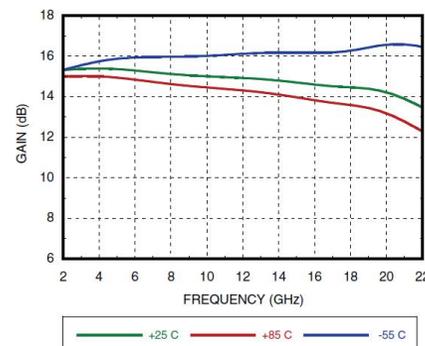
- ▶ 高增益多级放大器，随着输入功率增加而连续压缩内部增益级，从而“限制”输出功率。
- ▶ 随着RF驱动增强，增益级从输出级压向输入端。
 - 优化设计以便在所有工作条件下都不会过驱个别增益级。
- ▶ 在很宽的带宽和RF输入功率范围内提供稳定/压缩的输出功率。

- ▶ 主要挑战：
 - 功率限制和限幅动态范围要求
 - 热补偿
 - 频率均衡
 - 噪声系数
 - SWaP

宽带限幅放大器 增益级放大器考虑

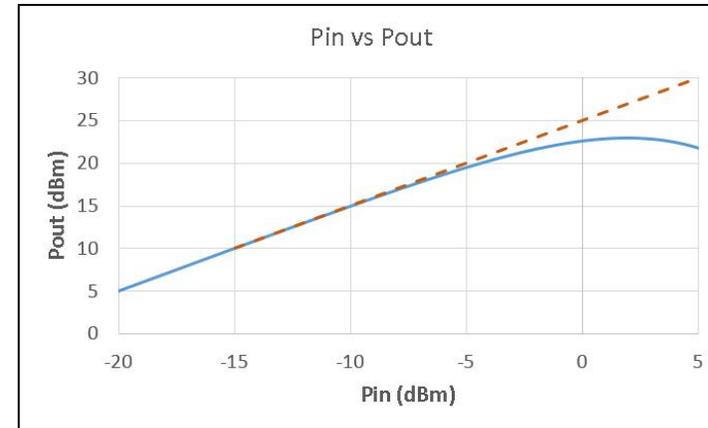
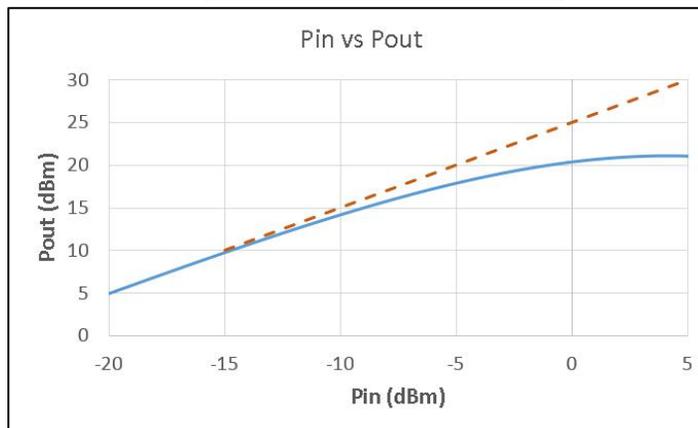
- ▶ 频率范围
- ▶ 增益、增益与温度、增益平坦度
- ▶ 非线性性能
- ▶ 功率额定值
- ▶ 饱和谐波成分
- ▶ 噪声系数
- ▶ 可靠性

Gain vs. Temperature



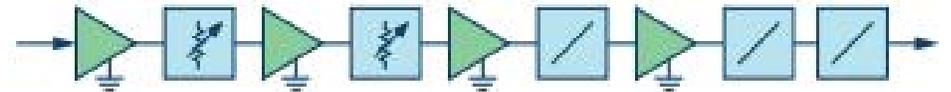
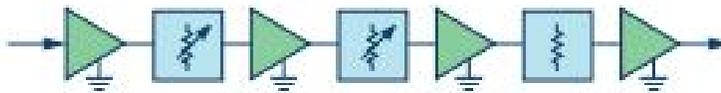
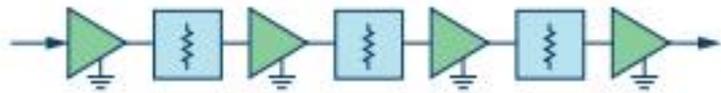
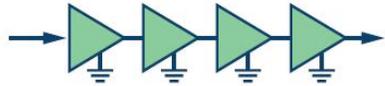
Absolute Maximum Ratings

Drain Bias Voltage (Vdd)	+9 Vdc
RF Input Power (RFIN)	+18 dBm
Channel Temperature	175 °C
Continuous P _{diss} (T= 85 °C) (derate 24.4 mW/°C above 85 °C)	2.2 W
Thermal Resistance (channel to die bottom)	41 °C/W
Storage Temperature	-65 to 150°C
Operating Temperature	-55 to 85 °C



- ▶ 目标：最大程度地减少增益级和专用器件数，以减少热补偿和平坦度问题。选择的放大器必须无条件地保持稳定，理想情况下无偏置序列要求，以简化设计。

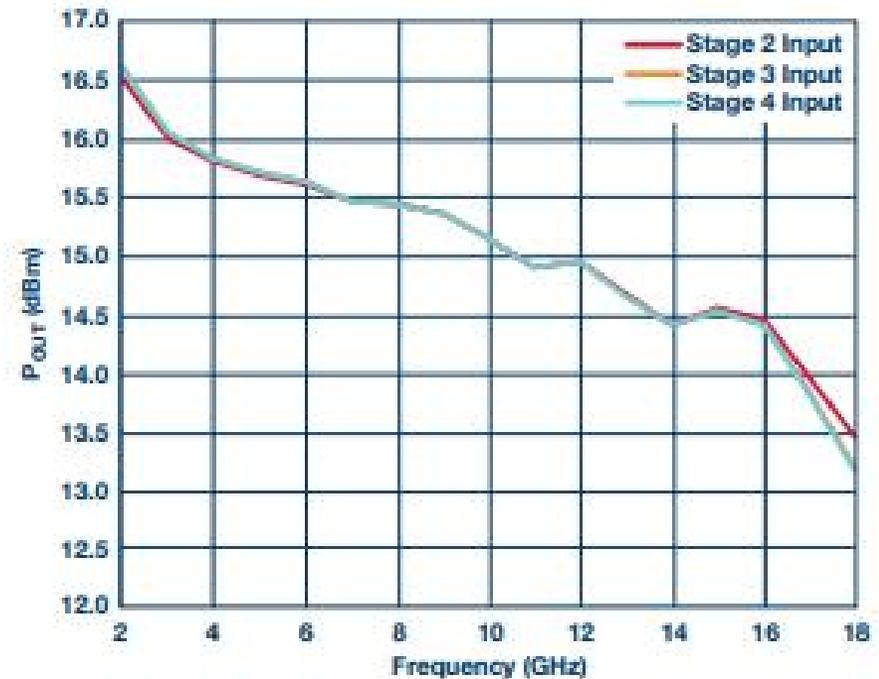
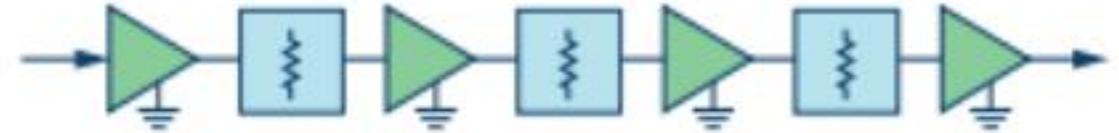
宽带限幅放大器 设计方法示例



设计和构建

功率限制

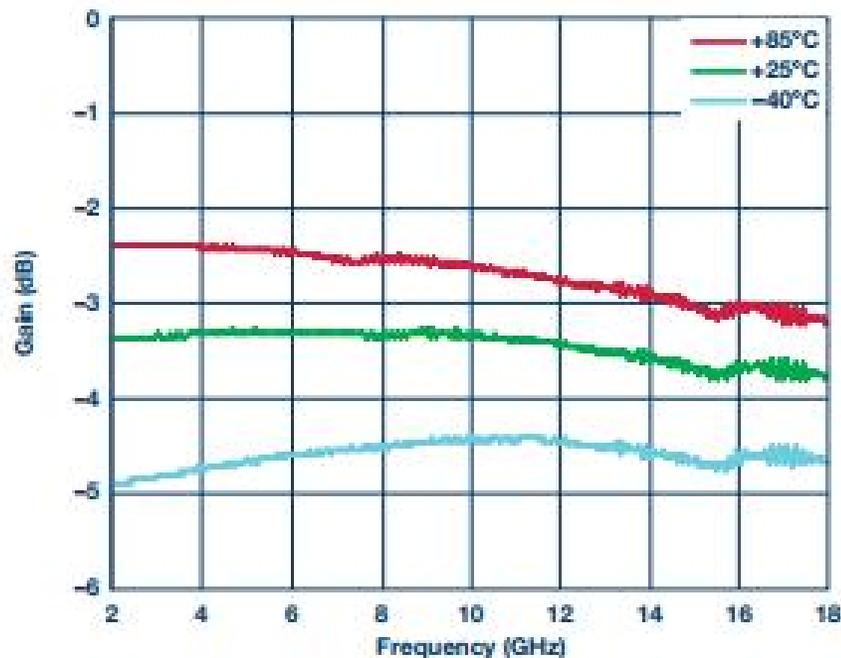
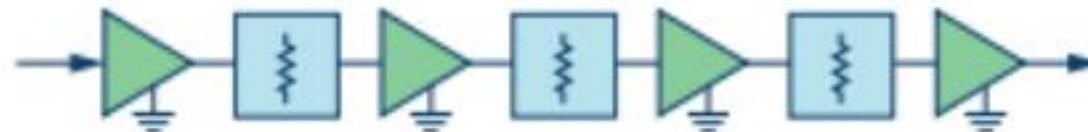
- ▶ 消除RF过驱
 - RF输入功率必须低于增益级额定输入功率水平
 - 增益级之间增加固定衰减
 - 减小VSWR引起的纹波，消除潜在振荡
- ▶ 确立各增益级的初始输出功率水平和RF压缩
- ▶ 考虑并优化最差情况输入功率、温度影响和器件间差异



设计和构建 热补偿

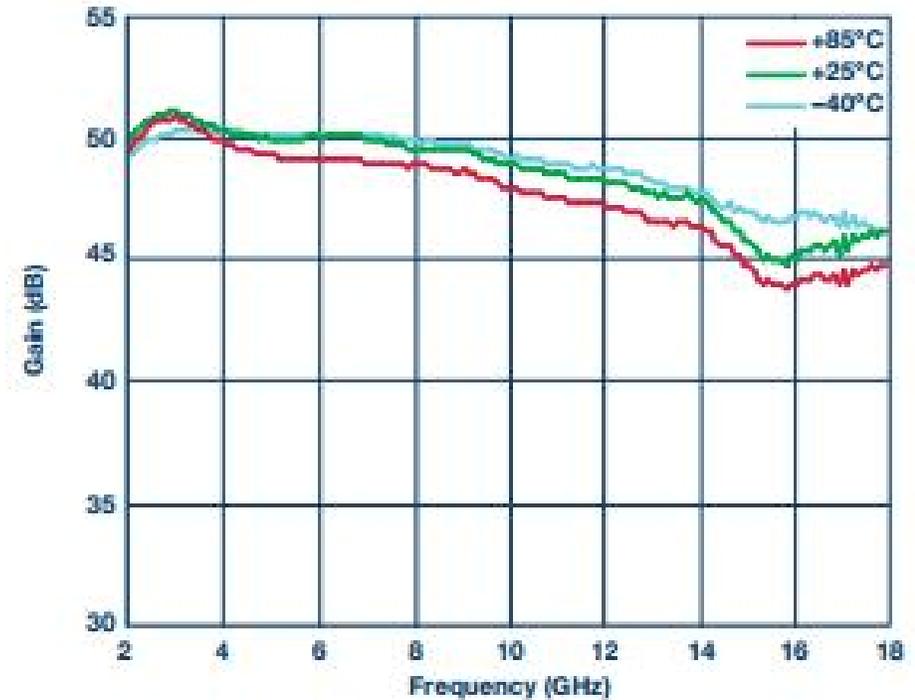
- ▶ 提高工作温度范围
 - 分析对各增益级的增益和输出功率的影响
- ▶ 存在多种温度补偿技术
 - Thermopad®衰减器
 - 栅极偏置调整
 - VVA衰减器
- ▶ 无需额外偏置或逻辑电路

Thermopad是EMC Technology, Inc.的注册商标



设计和构建 热补偿

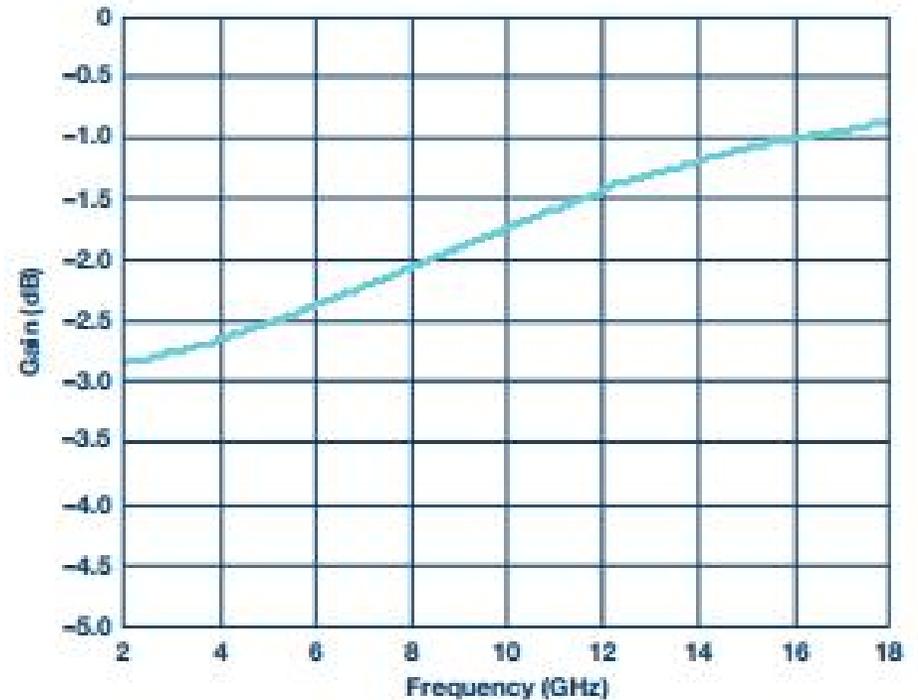
- ▶ 用温度补偿衰减代替固定衰减
- ▶ 位置很重要
 - 增益级之间保持足够衰减
 - 输出级上的衰减会降低最终RF输出功率
 - 最优位置是在RF级联开始处



设计和构建

频率均衡

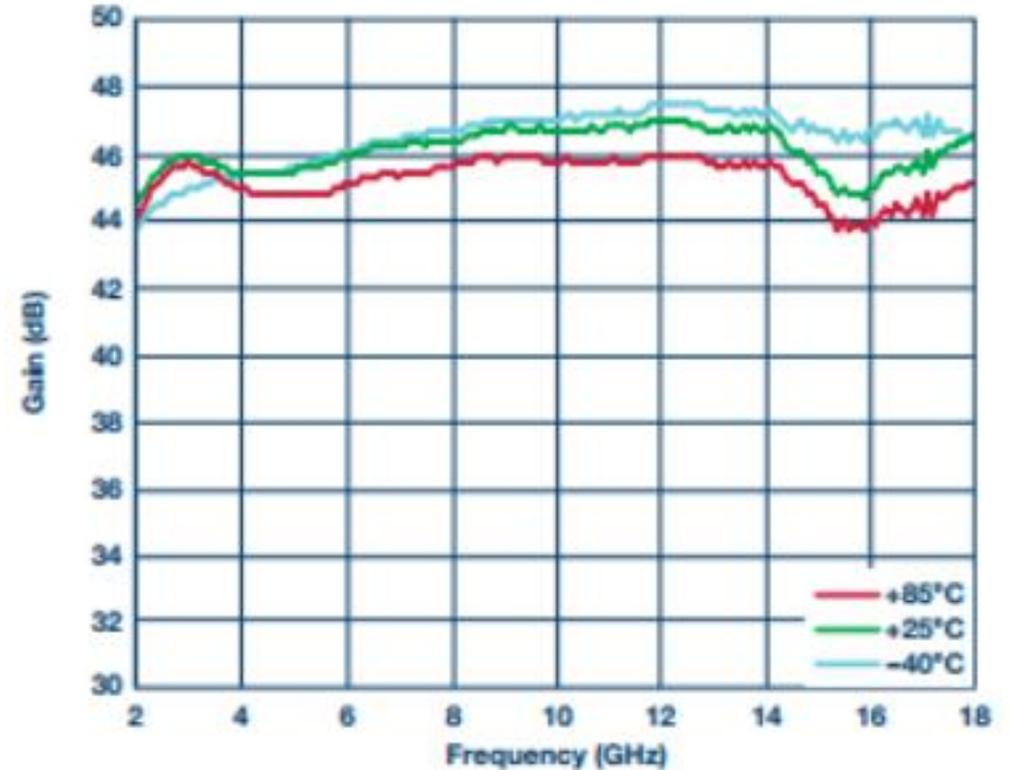
- ▶ 校正频率相关增益和功率滚降
- ▶ 改善小信号增益平坦度
- ▶ 频率均衡器会给系统引入正增益斜率；可能产生消极影响
- ▶ 需要的均衡器数量取决于限幅放大器的未补偿增益斜率，以及所选均衡器的响应



设计和构建

频率均衡

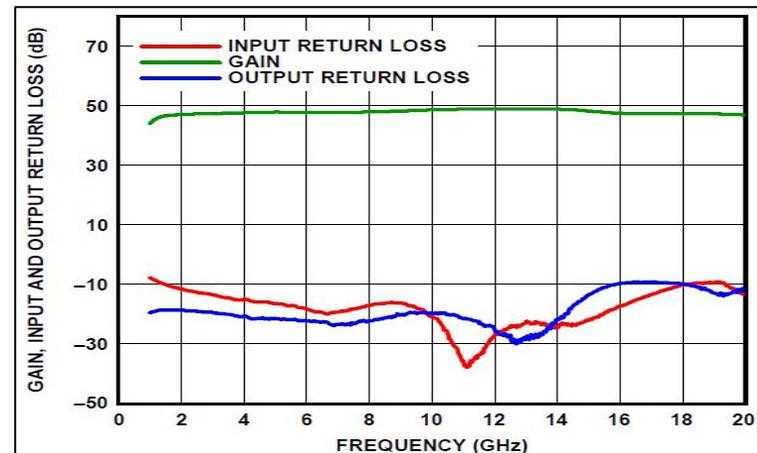
- ▶ 建议稍稍过度补偿以应对不同的封装损耗和寄生效应
- ▶ 位置很重要
 - 理想地替代任何剩余的固定衰减
 - 每个增益级都应在最大RF驱动下均等压缩
 - 最大程度减少限幅动态范围随频率的消散
 - 输出端的均衡器会降低最终RF输出功率，但不会增加消散



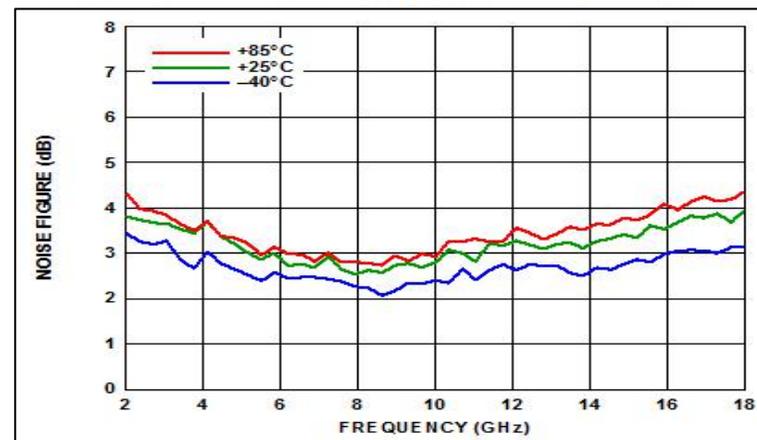
设计和构建 最终设计

▶ HMC7891测试结果

- 频率范围
 - 2 GHz至18 GHz设计
- 直流偏置
 - 8 V、300 mA
- 增益
 - 47 dB小信号增益
- RF输出功率
 - 14 dBm饱和输出功率
- 限幅动态范围：40 dB
 - -30 dBm至+10 dBm
- 噪声系数：4 dB
- 脉冲特性： t_{on}/t_{off} ：4 ns
- 工作温度范围：-40°C至+85°C

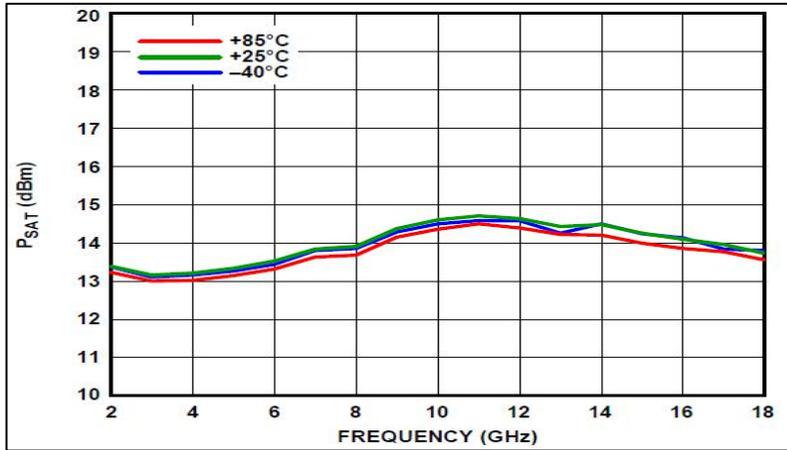


Gain, Input Return Loss, and Output Return Loss vs. Frequency at 25°C

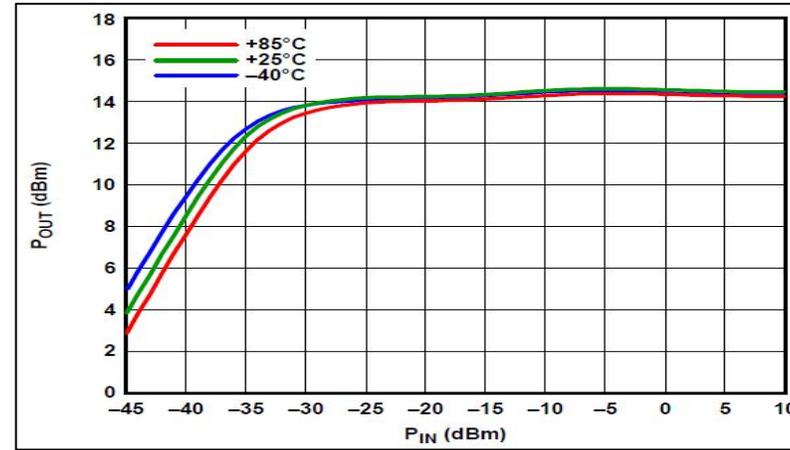


Noise Figure vs. Frequency for Various Temperatures

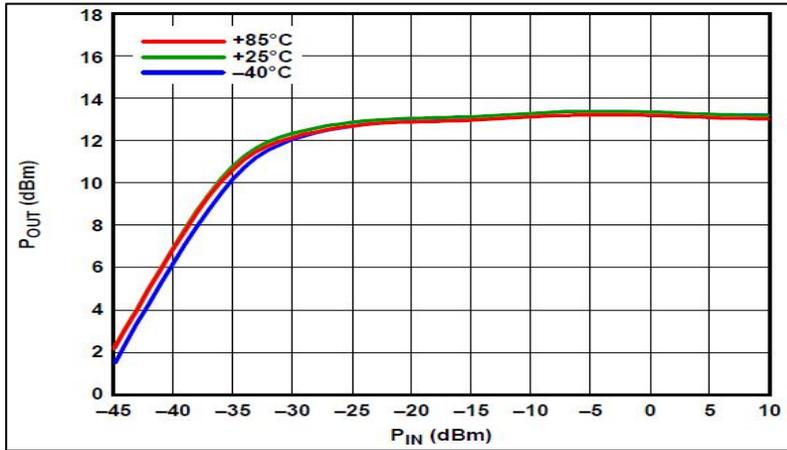
设计和构建 最终设计



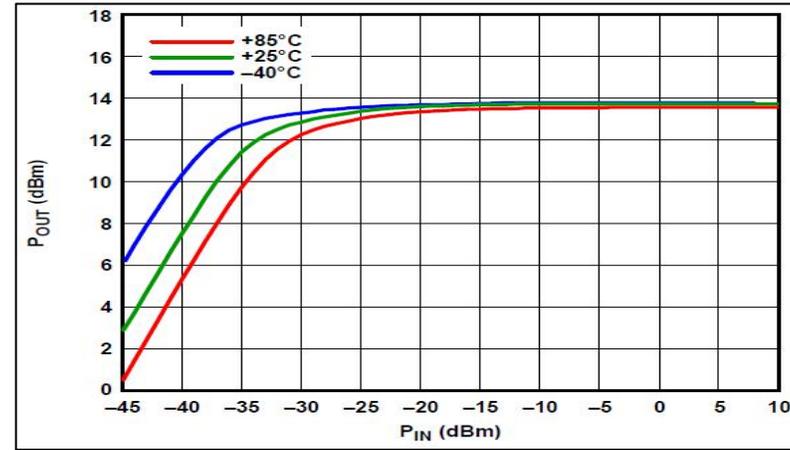
Saturated Power (P_{SAT}) vs. Frequency for Various Temperatures



Output Power (P_{OUT}) vs. Input Power (P_{IN}) at 10 GHz for Various Temperatures

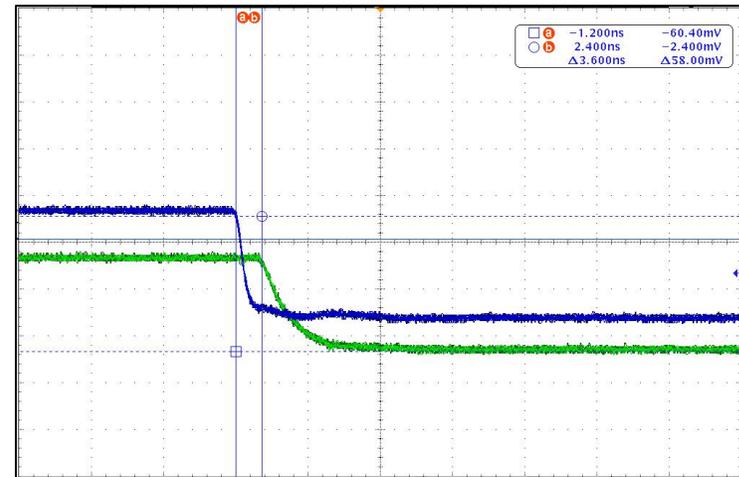
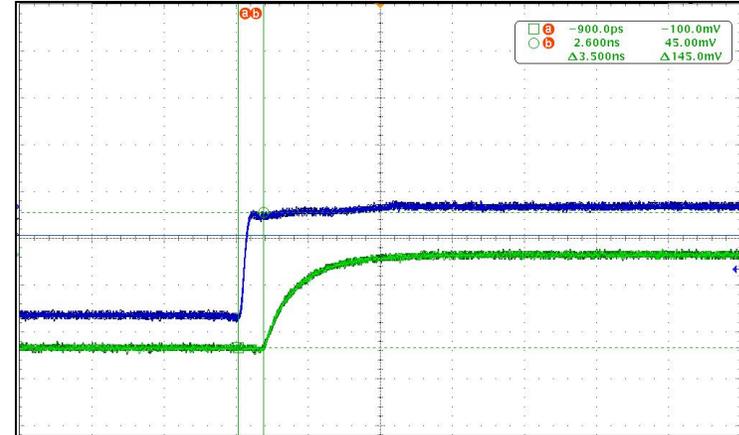
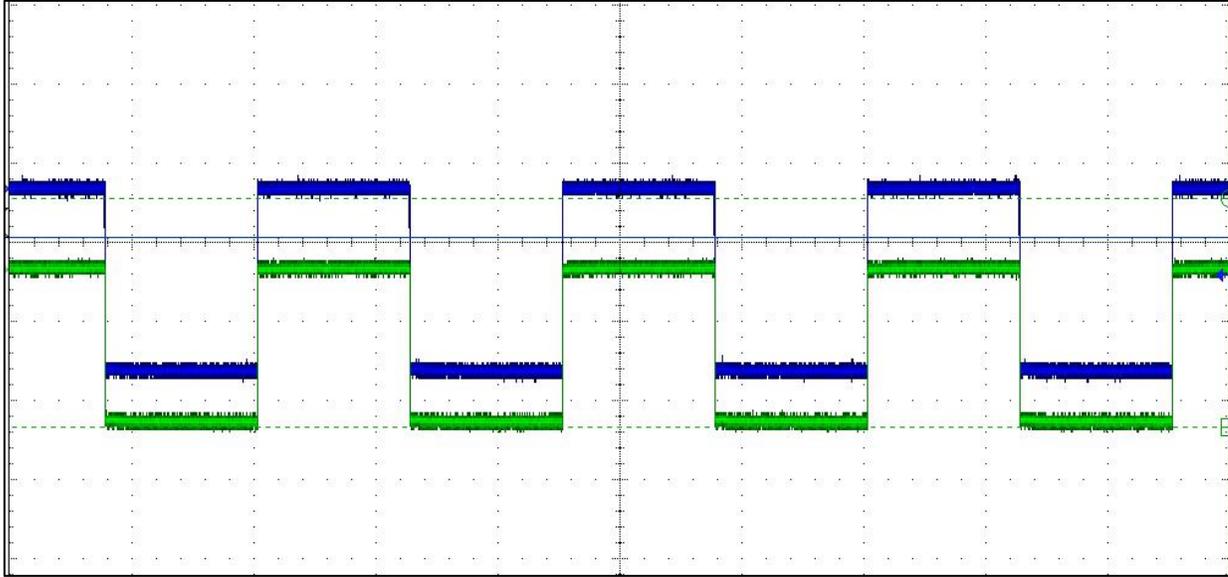


Output Power (P_{OUT}) vs. Input Power (P_{IN}) at 2 GHz for Various Temperatures



Output Power (P_{OUT}) vs. Input Power (P_{IN}) at 18 GHz for Various Temperatures

设计和构建 最终设计



ADI公司的微波模块解决方案

垂直集成模块开发

MMIC至模块

- ▶ 标准模块采用ADI开发的世界一流器件
 - 超过万种产品组合
 - 数字
 - RF/ μ W
 - 功率
 - GaN、GaAs、SiGe、RF CMOS
 - 访问裸片，商业产品可能不提供
 - 芯片和线路结构
- ▶ 所有设计和测试都在位于美国马萨诸塞州切姆斯福德的ADI公司基地完成
 - ISO9001/AS9001认证



ADI目录模块产品组合

放大器

- ▶ 24款器件可用
- ▶ 10 MHz至36 GHz解决方案
- ▶ 高达29.5 dBm P1dB

低相位噪声放大器

- ▶ 5款器件可用
- ▶ 1.5 GHz至18 GHz解决方案
- ▶ 高达-171 dBc/Hz PN

模拟和数字衰减器

- ▶ 4款器件可用
- ▶ DC至40 GHz解决方案
- ▶ 高达35 dB衰减

倍频器

- ▶ 5款器件可用
- ▶ 3 GHz至10.5 GHz输入选项
- ▶ 高达-142 dBc/Hz PN @ 100 kHz

GaN功率放大器

- ▶ 2款器件可用
- ▶ 2 GHz至6 GHz解决方案
- ▶ 高达32 W P_{SAT}

模块上变频器

- ▶ 2款器件可用
- ▶ 29 GHz至31 GHz输出
- ▶ L频段输入

电介质谐振器振荡器

- ▶ 1款器件可用
- ▶ 8 GHz至8.3 GHz
- ▶ 高达-140 dBc/Hz PN @ 100 kHz

分频器 (预分频器)

- ▶ 5款器件可用
- ▶ DC至18 GHz输入选项
- ▶ 高达-155 dBc/Hz PN @ 100 kHz

模拟和数字移相器

- ▶ 2款器件可用
- ▶ 6 GHz至15 GHz解决方案
- ▶ 360°全覆盖

限幅放大器

- ▶ 1款器件可用
- ▶ 2 GHz至18 GHz解决方案
- ▶ 40 dB动态范围

IQ混频器

- ▶ 7款器件可用
- ▶ 4 GHz至38 GHz LO选项
- ▶ 高达28 dB IIP3

频率合成器

- ▶ 2款器件可用
- ▶ 2 GHz至10.5 GHz解决方案
- ▶ 高达-93 dBc/Hz PN @ 100 kHz
- ▶ 17 dBm输出功率

混频器

- ▶ 5款器件可用
- ▶ 7 GHz至38 GHz RF频率
- ▶ 高达20 dB IIP3

RF和微波开关

- ▶ 5款器件可用
- ▶ 支持DC至40 GHz
- ▶ SPST、SPDT和SP4T选项

电压控制振荡器

- ▶ 4款器件可用
- ▶ 4 GHz至43 GHz选项
- ▶ 高达-98 dBc/Hz PN @ 100 kHz

行业领先的MMIC系列实现最齐全的连接模块

集成式解决方案 目录模块

特性

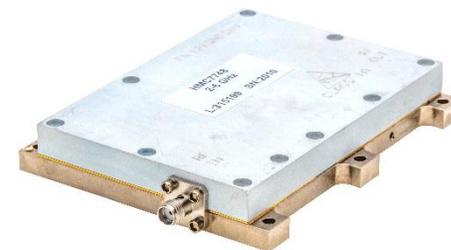
- ▶ 品种最丰富的RF/ μ W模块系列之一
- ▶ 全集成式、易于使用的模块
- ▶ 大多数是密封产品
- ▶ 芯片和线路结构
- ▶ 基于ADI MMIC技术

优势

- ▶ 客户可以轻松快捷地开发复杂信号链原型
- ▶ 模块内置稳压功能且匹配50 Ω 电阻
- ▶ 可拆除式RF连接器允许将模块安装到PCB上
- ▶ 适合高可靠性原型开发和设计
- ▶ 小尺寸、宽频率模块
- ▶ MMIC至模块——鲁棒的设计



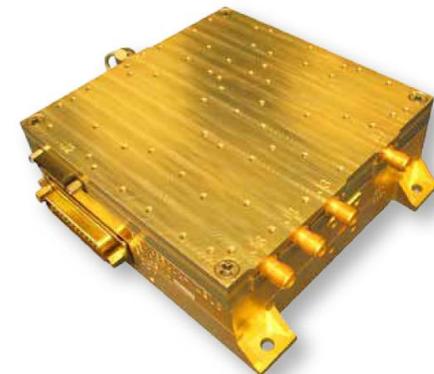
HMC7885FH18
2 GHz至6 GHz、32 W GaN
SSPA



HMC7748
2 GHz至6 GHz、25 W GaN SSPA



HMC-C584
40 GHz、5位数字衰减器



HMC7056
集成HPA的Ka频段模块上变频器

集成子系统和解决方案

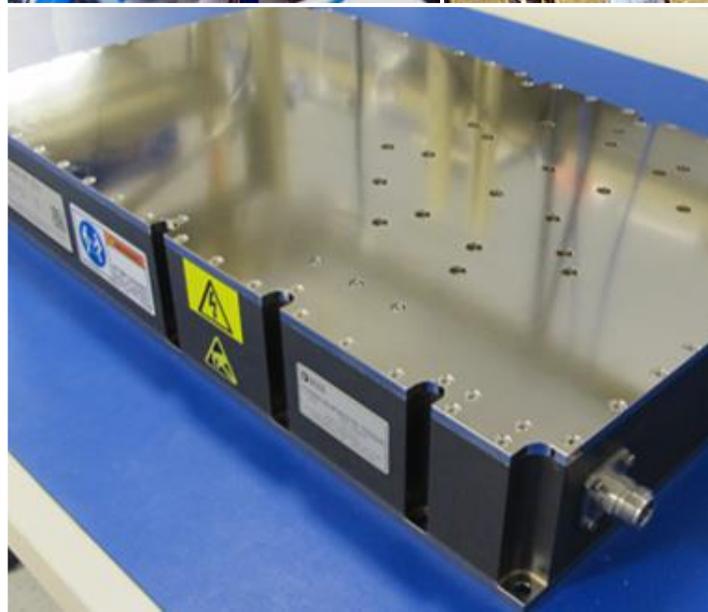
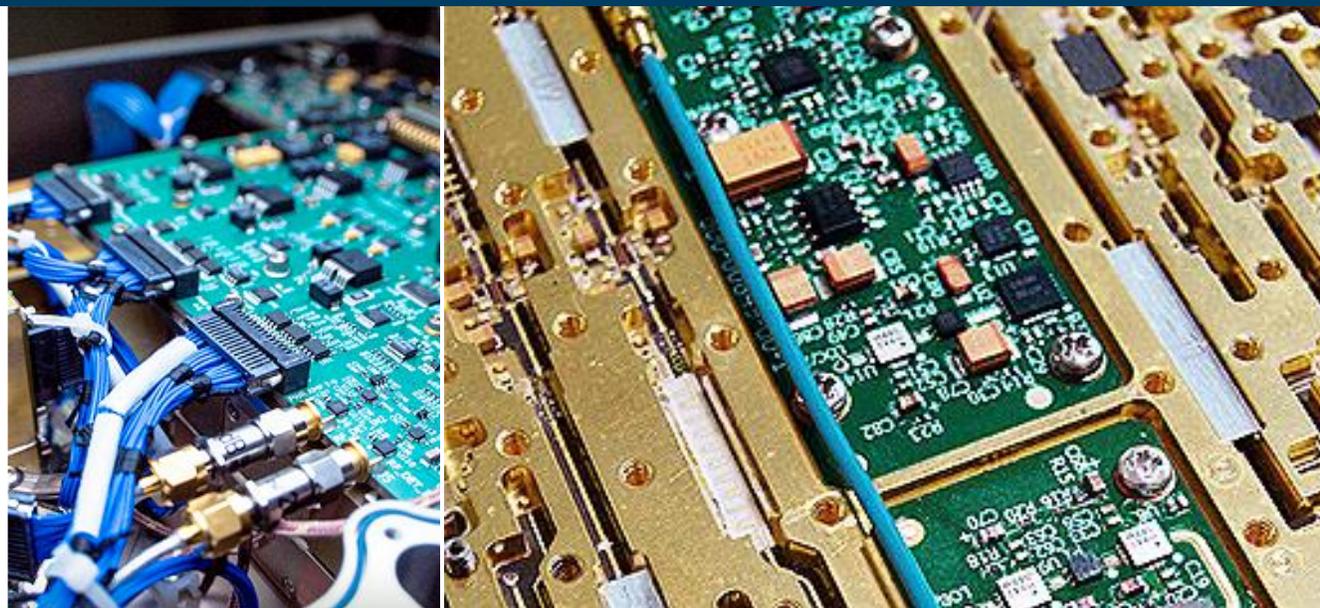
定制集成解决方案

特点

- ▶ 数十年的集成解决方案领导者
- ▶ 业界最广泛的器件组合
- ▶ 定制MMIC有利于实现高度优化的解决方案
- ▶ 从数字到毫米波的模块经验
- ▶ 从MMIC到制造垂直集成

优势

- ▶ 客户可以信赖的专业工程开发
- ▶ 获取众多技术以实现复杂的集成解决方案
- ▶ 品质独一无二，实现最佳性能、SWaP和可靠性
- ▶ 完整的过程控制，提供前所未有的停产信息管理和产品寿命周期支持

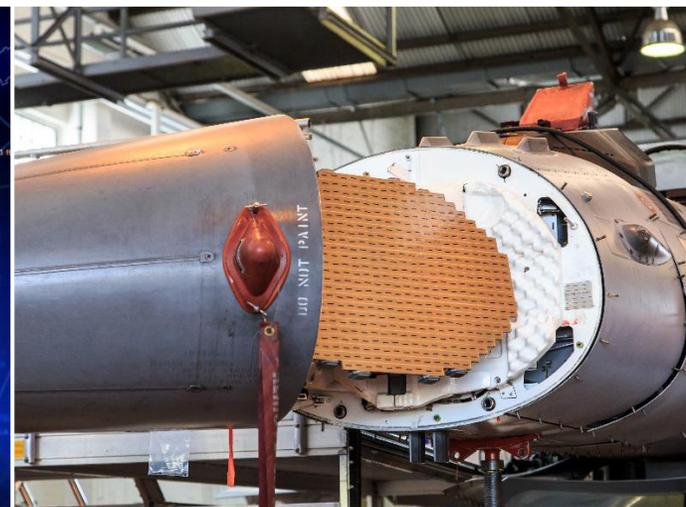


更多信息

- ▶ ADI公司连接模块和高功率放大器解决方案
 - <http://www.analog.com/media/en/news-marketing-collateral/solutions-bulletins-brochures/Connectorized-Solutions.pdf>
- ▶ ADI公司航空航天与防务能力手册
 - <http://www.analog.com/media/en/news-marketing-collateral/solutions-bulletins-brochures/Aerospace-and-Defense-brochure.pdf>
- ▶ 宽带高动态范围限幅放大器
 - <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/technical-articles/Wideband-High-Dynamic-Range-Limiting-Amplifier.pdf>
- ▶ ADI公司定制模块
 - <http://www.analog.com/en/landing-pages/001/custom-modules.html>
- ▶ ADI公司混合制造中心
 - <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/overviews/AWP-hybrid-module-manufacturing-center.pdf>
- ▶ HMC7891产品信息
 - <http://www.analog.com/HMC7891>

总结

- ▶ 限幅放大器：概念
- ▶ 什么应用需要限幅放大器？
- ▶ 限幅放大器的设计和环境考虑
- ▶ ADI公司的目录模块解决方案



谢谢观看！

- ▶ **ADI中国地区技术支持热线：4006 100 006**
- ▶ **ADI中国地区技术支持信箱：**
china.support@analog.com
- ▶ **ADI样片申请网址：**
<http://www.analog.com/zh/sample>