

理解基站应用中 RF 放大器的性能

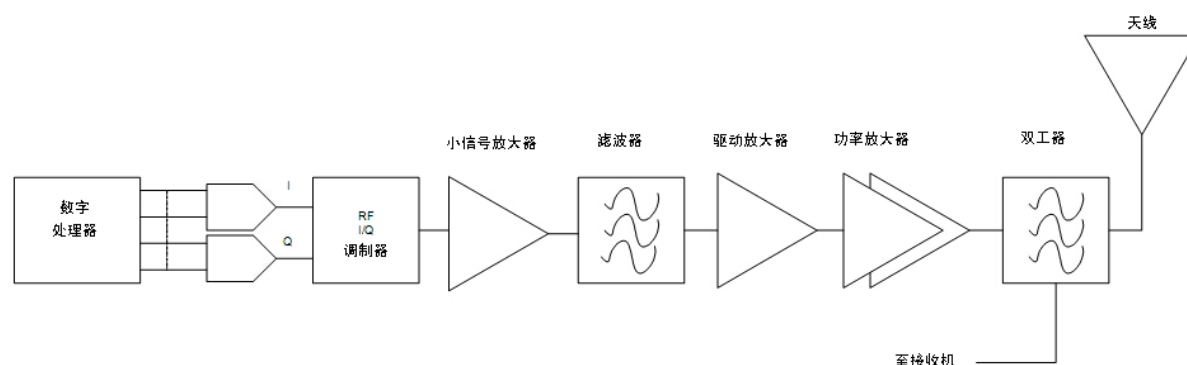
摘要

为了正确配置基站收发器，产品设计工程师必须理解使用的 RF 放大器的性能参数。这不仅包括增益、噪声系数、P1dB 和 IP3 等标准参数，还包括更为敏感的参数，例如频谱再增长和功率效率等。本文将分析各种放大器类型的性能以说明每种类型的优缺点。并且，还将在各种偏置条件下分析性能进而理解 ACPR/ACLR（相邻信道功率）和功率效率之间的权衡。本文将比较各种类型的 RF 放大器，包括 GaAs MESFET、InGaP HBT 和 GaAs HFET 放大器。

引言

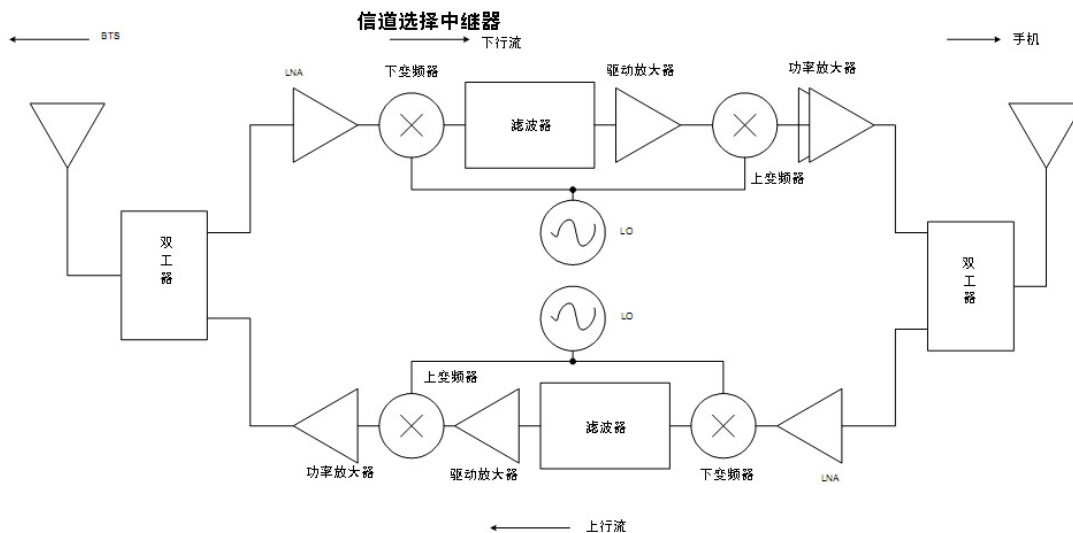
全球无线通信和增强业务的需求不断增长促使无线网络持续演进。今天，世界各地正在部署包括各种形式的 CDMA 和 UMTS（WCDMA）网络在内的第三代（3G）系统。每种协议都必须遵守特定标准以便运行无线网络。无线基站的杂散发射是受限制的，这取决于采用的特定协议。

基站发射器功能框图。



在今天大多数情况下，I 和 Q 信号在 I/Q RF 调制器中经上变频将基带信号转换至期望的 RF 频率上。然后，此信号被放大和滤波再经过天线发射。

或者，中继器也必须遵循 CDMA 和 UMTS（WCDMA）协议的要求。从基站输入至中继器的信号可能已含有杂散输出，所以中继器的设计必须考虑这一点以使中继器的输出不超过给定协议指定的电平。



协议要求

特定协议的杂散发射要求的定义很完善。让我们回顾靠近载波的基站 RF 输出要求，这通常决定了用于发射器的放大器的选择和工作。

CDMA (IS-95) 杂散要求 (相邻信道功率抑制=ACPR), 9 通道前向

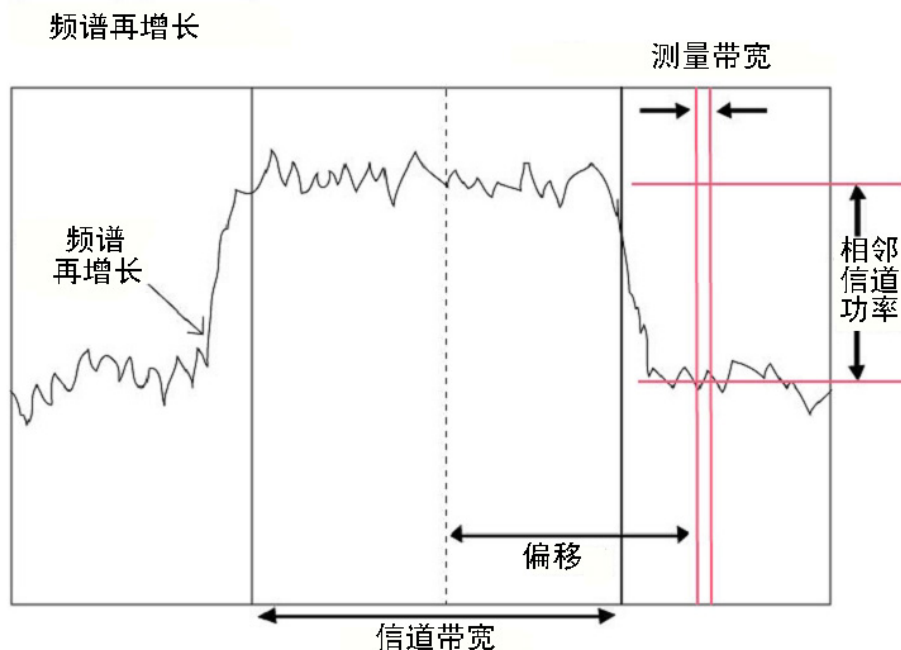
$ACPR = \text{dBm 功率}@ \pm 885 \text{ kHz (30 kHz 带宽)} - \text{dBm 主信号的功率 (1.23 MHz 带宽)} < -45 \text{ dBc}$

UMTS (WCDMA) 杂散发射 (相邻信道泄露功率比=ACLR), 3GPP

WCDMA, 测试模型 1 + 64 DPCH, 带宽 = 3.84 MHz

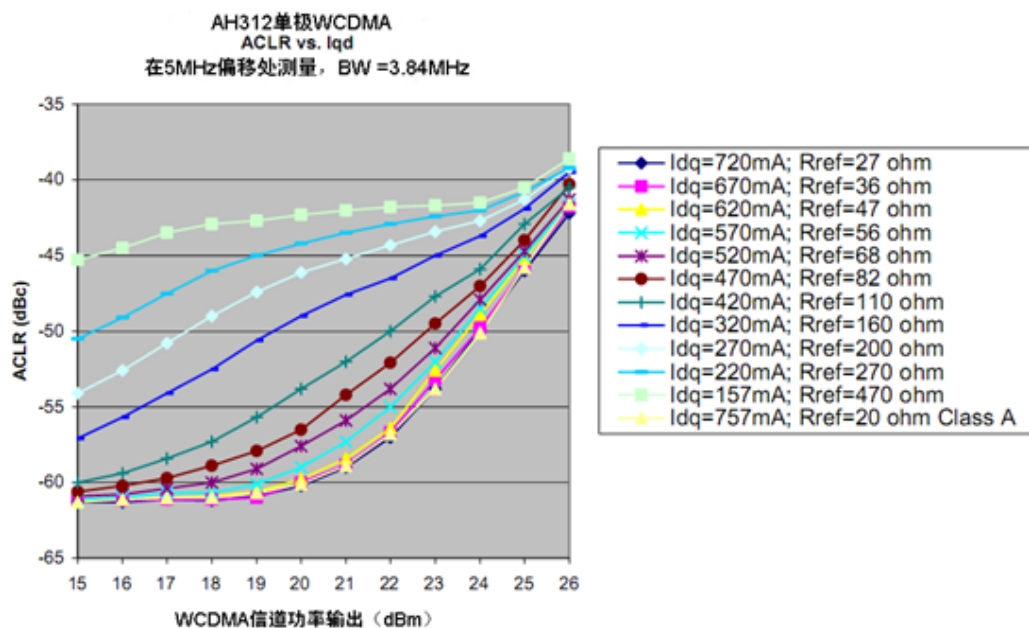
$ACLR = \text{dBm 功率}@ \pm 5 \text{ kHz} - \text{主信号的功率 dBm} < -45 \text{ dBc}$

当使用滤波器衰减“带外”杂散信号时，必须用正确的基带和 RF 电路设计来限制那些靠近 RF 的信号。尤其必须正确选择和偏置 RF 放大器以防发射器超出杂散发射的规定。随着放大器输出功率增大，输出信号的失真也在增加。虽然使用许多不同方法来描述此失真，对于 RF 放大器通常使用 P1dB 和 IP3 作为确定特定 RF 放大器能达到的输出功率水平的规定。但是，对于诸如 CDMA 和 UMTS (WCDMA) 的扩频信号，失真是指下图所示的频谱再增长。



正如特定协议中指出的，相邻信道功率通常用于描述 RF 放大器的频谱再增长。相邻信道功率使用频谱分析仪测量，以便观察在给定带宽内，距载波特定距离的信号的杂散水平。

选择适于特定应用 RF 放大器的另一个重要因素是功率效率。由于是扩频信号，CDMA 和 UMTS (WCDMA) 信号具有较高的峰值-平均值比。为了限制峰值信号的失真量，RF 放大器必须工作在 P1dB 以下，所以当放大器工作在 Class A 时功率效率相对较差（注意：在本文中不讨论预失真技术）。通过让放大器工作在 Class AB 或较高模式中，就能在提高功率效率的同时保持能接受的频谱再增长特点。参见下图，当 AH312 2W 放大器的工作从 Class A 被调整至 Class AB 时，相邻信道泄露功率比（ACLR）是很好的比较。



从上图能观察到，可以选择放大器工作点，它仍然满足 ACLR 要求并且相比 Class A 的工作功率效率提高了。

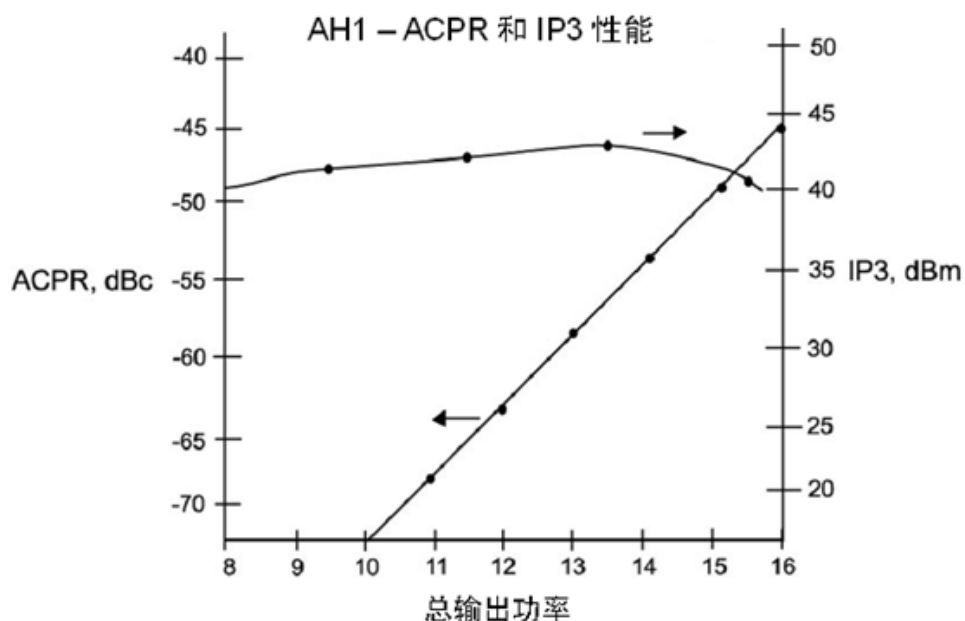
基站发射器设计

发射器或中继器的最终输出级消耗的功率最大，因此希望它们工作在 Class AB 上。通过小信号工作并且驱动放大器在 Class A 或接近 Class A 工作点以使频谱再增长被最小化，可将最多的频谱再增长分配给放大器输出级。一种典型的 IS95A 发射器配置如下表所示。

放大器	IS95A ACPR	PWR 效率	工作类别
小信号	>-60dBc	2%	A
驱动器	-55	3-7%	A 至 AB
输出	-50dBc	>10%	AB

放大器类型：

RF 放大器的相邻信道功率抑制 (ACPR, 对于 IS95A) 或者相邻信道泄漏功率比 (WCDMA 的 ACLR) 也随着放大器的设计、围绕放大器的实际电路以及采用的工艺处理技术而变化。



小信号和驱动放大器通常设计使 IP3 特性在选定的输出功率范围内达到最大值以提高 ACPR/ACLR，如下图所示：

通过配置实际 RF 电路优化 P1dB 和 IP3 就能提高放大器的 ACPR/ACLR，但是输入和输出驻波比（VSWR）可能会降低至某一点导致很难将此放大器与链路中的下一个器件集成。而且，器件阻抗也可能要求采用匹配电路，故会限制实际工作中的可用带宽。

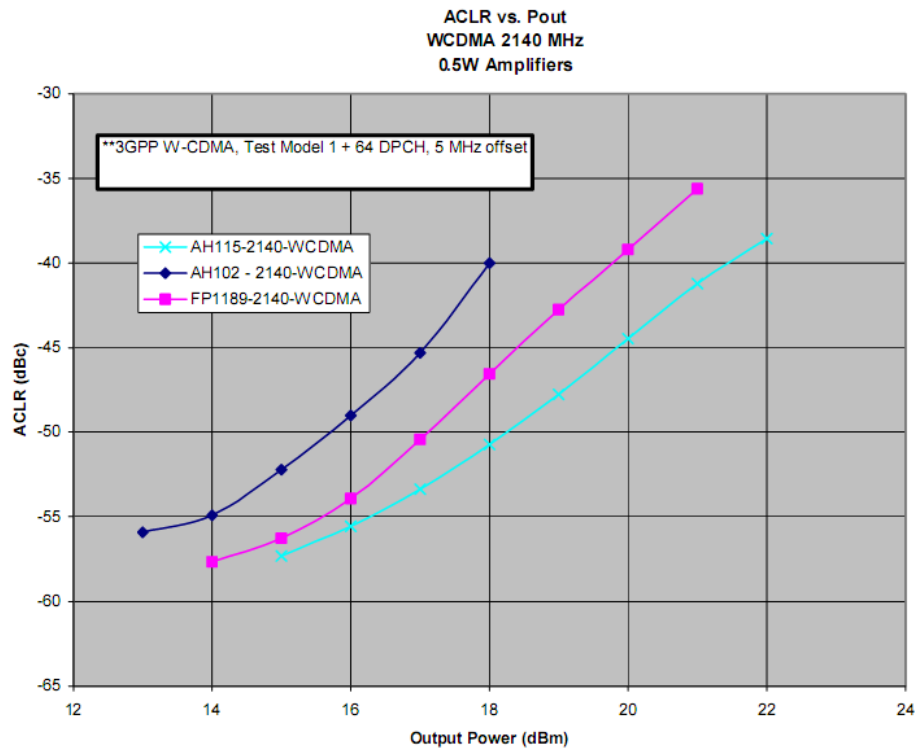
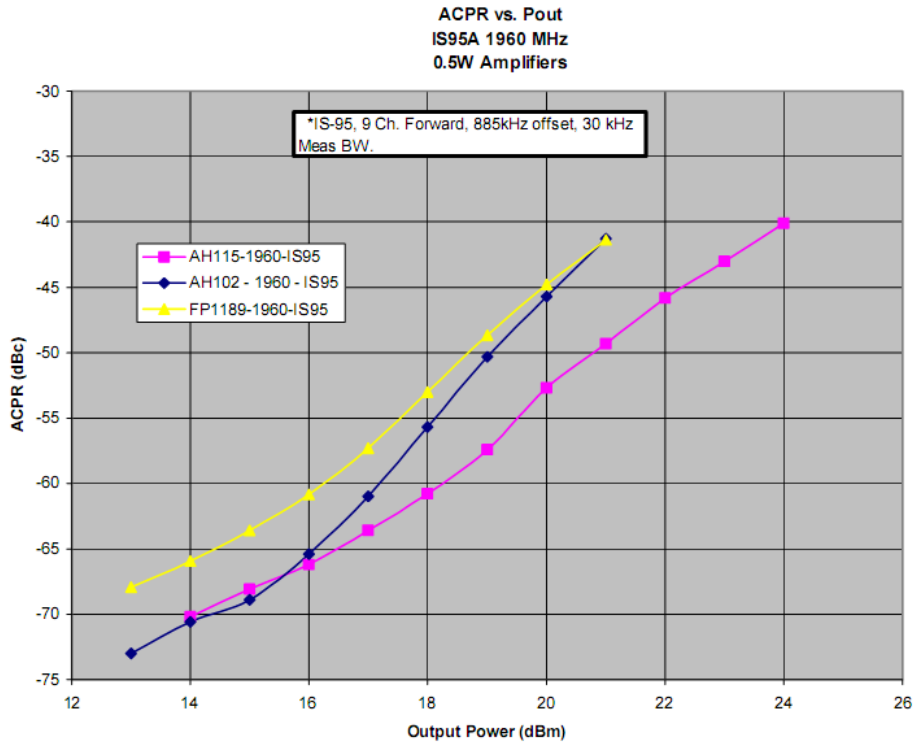
因此，在基站发射器或中继器的 RF 放大器选型上我们有很多考虑因素，包括：

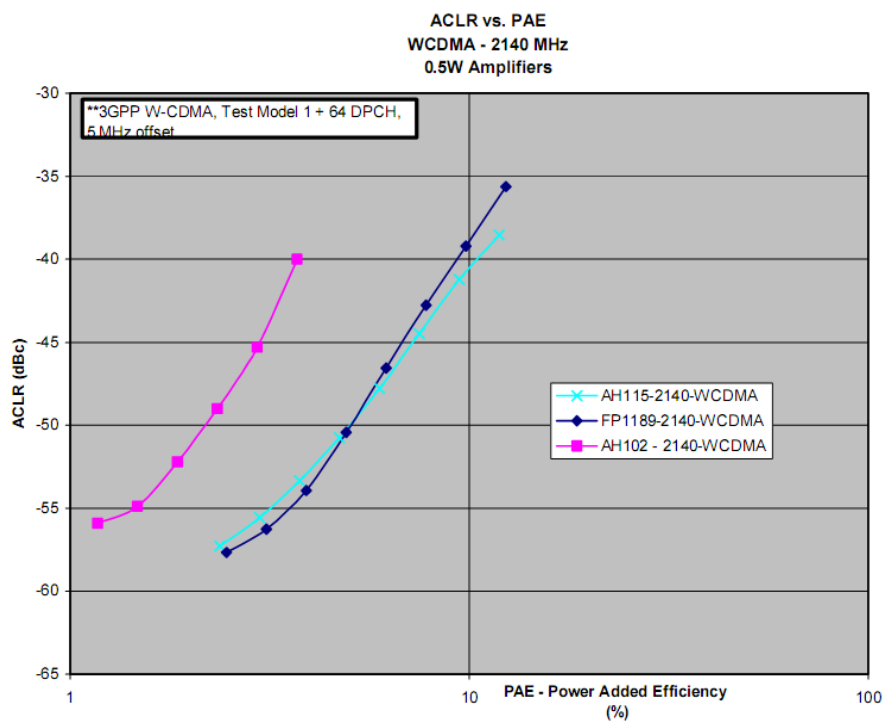
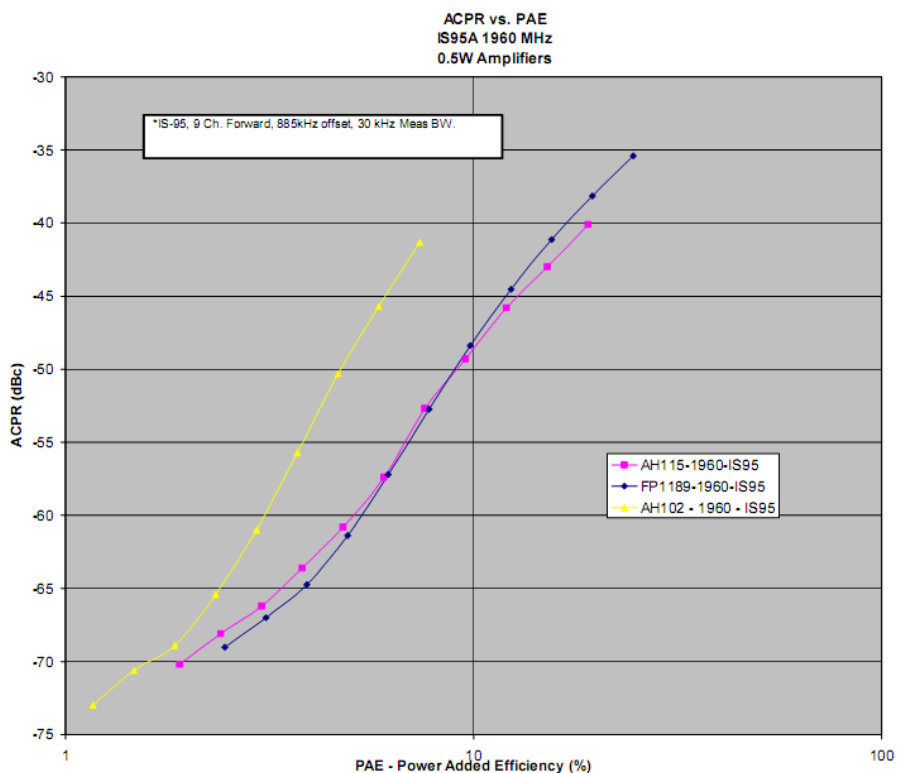
- 协议要求和峰值-平均值比例[CDMA、UMTS（WCDMA）或其它]
- 偏置（Class A 与 Class AB 和其它）
- 设计（使 IP3 最大以提高 ACPR/ACLR）
- 放大器电路设计

现在，让我们分析各种放大器类型的性能，包括 GaAs MESFET、GaAs HFET、InGaP HBT。为了便于比较，让我们研究 P1dB=0.5W 条件下的三种放大器。

型号	类型	增益，dB	IP3,dBm(12 dBm/tone)	偏置	Pdiss, W	放大器电路设计	
						放大器匹配	有效 RF 带宽 @2GHz
AH102	MESFET	13.9	44	+9V	1.8	宽带	>300MHz
EP1189	HFET	15.7	40.4	+8V, -Vg	1.1	窄带	60-100MHz
AH115	HBT	14.3	44	+5	1.25	窄带	60-100MHz

除非特别指出，所有数据都在 1960 MHz 条件下获得。



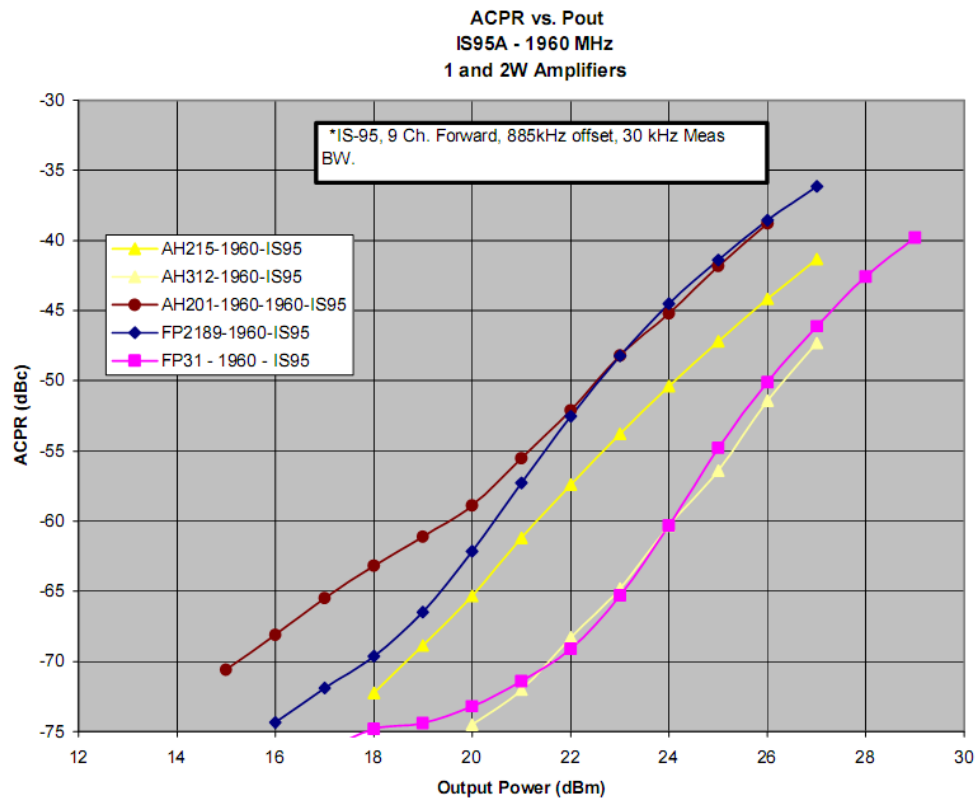


每款放大器都具有独特优点 AH102 MESFET 是宽带器件, 因此与 FP1189 HFET 和 AH115 HBT 相比, 它能用于多个不同频带, 但是其功率增加的效率不是很好。FP1189 和 AH115 的 ACPR/ACLR 性能相当, 但是 FP1189 工作电源是+8V 并且与+5V 电源工作的 AH115 相比 FP1189 还需要负栅极电压。

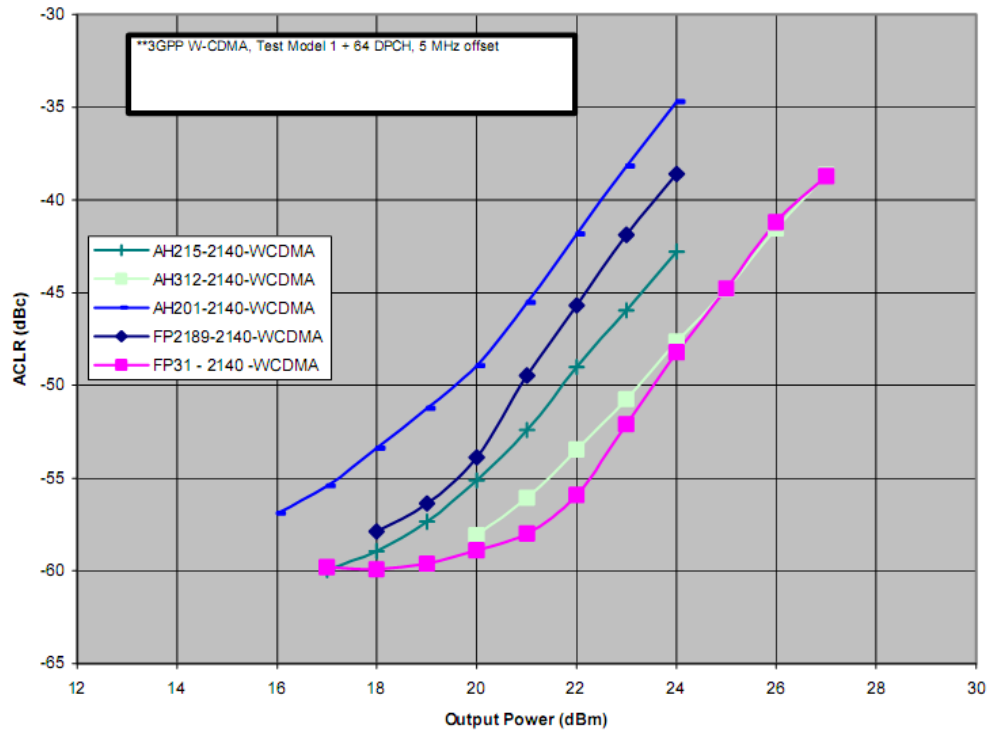
2W 放大器的比较

型号	类型	增益, dB	P1dB, dBm	IP3, dBm	偏置	P _{diss} , W	放大器电路设计	
							放大器 匹配	有效 RF 带宽 @2GHz
AH201	MESFET	15	30	46(10 dBm/tone)	11	3.9	宽带	>300MHz
EP2189	HFET	15.6	30.4	43.5(15 dBm/tone)	8	2	窄带	60-100MHz
AH215	HBT	12	32	46(15 dBm/tone)	5	2.25	窄带	60-100MHz
EP31	HFET	13.5	33.8	46.8(18 dBm/tone)	+8V,- V _g	4	窄带	60
AH312	HGT	11	33.4	51(17 dBm/tone)	+5	4	窄带	60

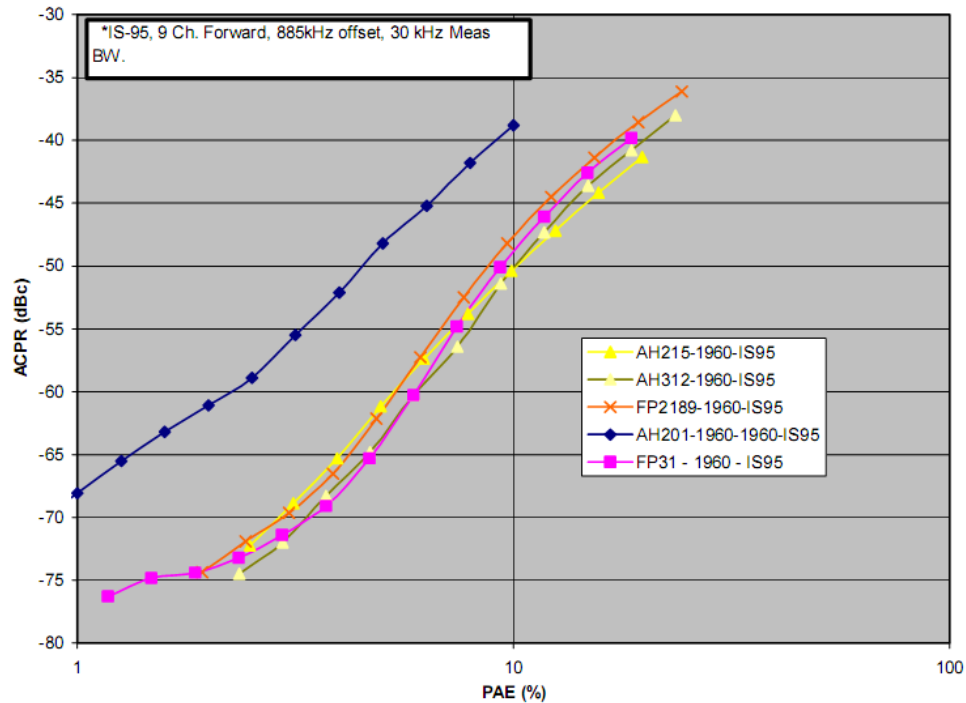
除非特别指出，所有数据都在 1960 MHz 条件下获得。

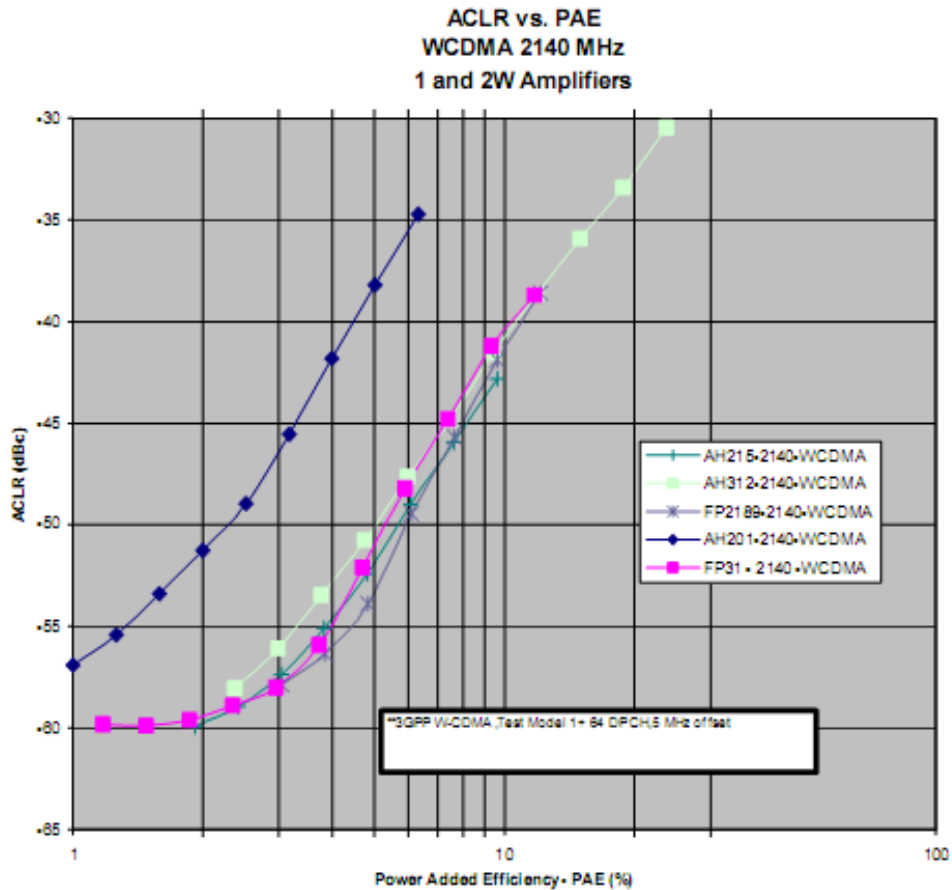


ACLR vs. Pout
WCDMA 2140 MHz
1 and 2 W Amplifiers



ACPR vs. PAE
IS95A 1960 MHz
1 and 2 W Amplifiers





正如在 0.5W 放大器的情况下,AH201 MESFET 具有较宽的带宽匹配度,但是 FP2189/FP31 HFET 和 AH215/AH312 HBT 的 ACPR/ACLR 和功率增加效率更优秀。

结论

选择 CDMA/UMTS 基站发射器的 RF 放大器时, 需要考虑许多因素。

传统因素(例如 P1dB 和 IP3)不再是主要区分因素。产品设计工程师还需要考虑放大器的 ACPR/ACLR、功率效率和要求的带宽/易于匹配性以确定特定应用的最佳放大器。本文阐释了这些性能的权衡并比较了各类器件的性能。

作者

Ron Buswell 是 WJ 通信公司的资深副总裁, WJ 通信公司专注于无线基础设施半导体产品和 CATV 产品。

致谢

作者感谢 WJ 通信公司的 Pat Clancy、Robert Ragle 和 Tuan Nguyen 对本文的贡献。