

指标从设计到落地——功放

原创 皮诺曹 射频通信链 2025年09月23日 11:09 江苏



射频通信链

让射频学习不再困难，学射频，学通信，就看射频通信链。

375篇原创内容

公众号

指标从设计到落地——功放

**核心思想：**设计不是凭空想象，而是将抽象的“要求”层层分解、匹配、计算、验证，最终变成具体的电路和零件。

1 频率 Frequency

为什么重要：决定用什么工艺、什么管子、什么PCB材料。……怎么定

≤ 2 GHz、成本敏感、小带宽、不怕大驻波 → 闭眼 LDMOS。

≥ 3 GHz、宽带、高效率、小尺寸、能接受单价高 → 直接 GaN。

2-3 GHz 重叠区：看预算、看散热、看交期，谁便宜用谁。

留 margin：……如果客户说“2.4-2.5 GHz”，你就按2.3-2.6 GHz设计，防止高低温漂出去。

怎么实现（给小白）

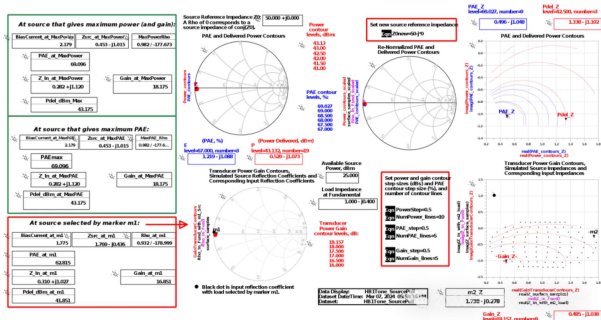
打开Qorvo/NXP/ADI官网 → 把S参数下载下来。

在ADS里建个模板，把管子放上去，跑一下Stability+Gain，看管子够不够。

验证方法

VNA扫S21，看-3 dB带宽是否覆盖2.3-2.6 GHz。

记录“增益下降1 dB”对应的频率点，写进报告。



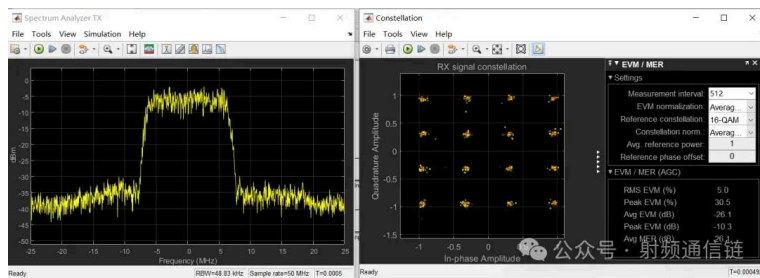
2 输出功率 Pout

为什么重要：直接决定散热片尺寸、电源电压、价格。……怎么定

客户说“我要2 W”，你就问“是P-1 dB还是饱和功率？”“有没有峰均比要求”……小白记住：

P-1 dB：线性还能看，EVM不爆炸。

Psat：最大能打出去，但信号已经“糊”了。



留1 dB margin: 要2 W→设计2.5 W, 防止批量掉链子。

验证方法

信号源+频谱仪: .....

连续波扫功率, 看P-1 dB压缩点是否 $\geq 2.5$  W。

记录增益压缩曲线, 拍照贴报告。

### 3 谐波 Harmonics

谐波决定了功放后级需要搭配什么样的滤波器, 什么阶数的滤波器。

怎么定

内部再严5 dB: .....

法规-45 dBc → 设计-50 dBc, 给高低温留余量

怎么实现

输出加低通滤波器(切比雪夫/椭圆), 把2f<sub>0</sub>、3f<sub>0</sub>打掉。

如果还不够, 就:

提高偏置点→减少过驱动;

选GaN管子→本身谐波低。

验证方法

信号源打单载波, 频谱仪看2f<sub>0</sub>、3f<sub>0</sub>功率, 直接读dBc。

把高低温(-40 °C/+85 °C)都扫一遍, 写“最差值”进报告。

### 4 增益平坦度 Gain Flatness

为什么重要: 宽带信号(802.11ac 160 MHz)如果带内波动大, EVM直接炸。.....

怎么定

带宽 $\leq 10$  MHz:  $\pm 0.5$  dB

带宽 100 MHz:  $\pm 1$  dB

带宽 500 MHz:  $\pm 2$  dB (再严就加EQ)

怎么实现

先做S参数匹配, 看管子本身波动。

如果波动大:

加负反馈(小电感+电阻);

或者做两级增益均衡器(ADS有模板)。

验证方法

VNA扫S21, 保存CSV → Excel画“增益-频率”曲线 → 用“MAX-MIN”算峰峰值。

把最差值写进报告，附曲线截图。

---

## 5 输入信号幅度（驱动功率）

为什么重要：决定了设计用多少级放大器驱动 .....  
怎么定

看管子Gain那一行： .....  
如果Gain=30 dB，Pout=34 dBm（2.5 W），则 .....  
 $P_{in} = 34 - 30 = 4 \text{ dBm}$ （约2.5 mW）。

问基带同事：“你们DAC能出0 dBm吗？” .....  
如果只能出-10 dBm，就再加驱动级，把增益补到40 dB。

验证方法

信号源从-20 dBm扫到+10 dBm，看Pout什么时候达到目标。

记录“最小驱动功率”，写进接口文档。

---

## 6 输入驻波 VSWR\_in

为什么重要：驻波高，信号反射回去，DAC会报警、EVM差。 .....  
怎么定

基站：  $\leq 1.5:1$ （-14 dB回损）

消费级：  $\leq 2:1$ （-10 dB回损）

怎么实现

用Smith圆图做共轭匹配，先管噪声就低噪模式，不管噪声就最大功率模式。

如果板子小，加 $\pi$ 型衰减器（3 dB）换带宽，也能把驻波压下去。

验证方法

VNA打S11，看最差频点是否满足。

把Smith图截图贴报告，标出“目标区”和“实测点”。

---

## 7 工作电压 Vcc

为什么重要：决定用什么电源芯片、管子的选型。 .....  
怎么定

客户给“28 V系统”，优选\*\*28 V $\pm$ 5%\*\*的管子。

怎么实现

打开管子datasheet，看Recommended Vds/Vcc。

用LDO还是DC-DC？

电流 $\leq 0.5 \text{ A}$ ：LDO省事儿；

电流 $\geq 1 \text{ A}$ ：DC-DC，效率 $\geq 90\%$ ，散热小。

---

## 8 峰均比 PAPR

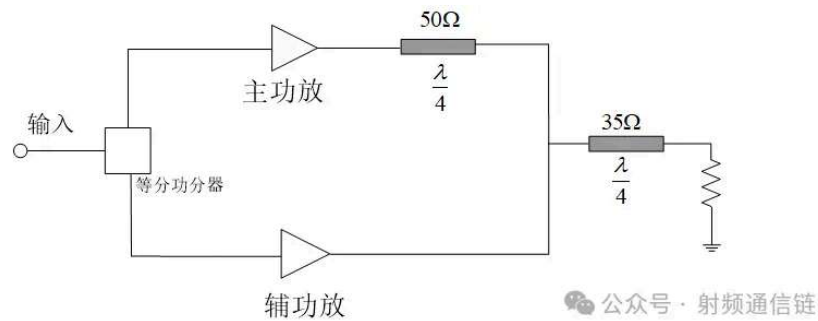
为什么重要：LTE 100 RB信号PAPR $\approx 8 \text{ dB}$ ，如果按连续波算功率，EVM一定很差。

设计规则： .....  
 $P_{-1 \text{ dB}} \geq \text{平均功率} + \text{PAPR} + 2 \text{ dB margin}$  .....  
例：平均功率33 dBm，PAPR 8 dB  $\rightarrow P_{-1 \text{ dB}} \geq 33+8+2 = 43 \text{ dBm}$ （20 W）！

怎么实现

选更大功率管子；

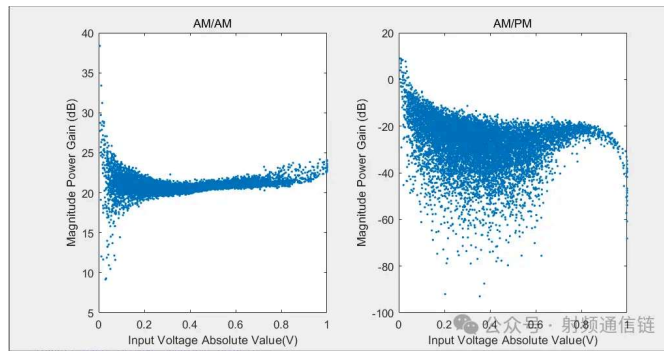
或者Doherty/包络跟踪，降功耗。



验证方法

信号源打LTE 100 RB，频谱仪看ACLR/EVM。

$EVM \leq 3\%$  算过关。



## 驻波告警 VSWR Alarm

为什么重要：天线口坏了/被雷劈，机器要能自我保护。.....

怎么定

内部阈值：.....

$VSWR \geq 3:1$  (-6 dB回损) → 降功率3 dB .....

$VSWR \geq 5:1$  (-3.5 dB回损) → 直接关功放

怎么实现

定向耦合器+检波管→输出前向/反向功率。

MCU采样算VSWR，超阈值就拉低使能。

验证方法

接滑动变阻器当假负载，把VSWR调到3:1、5:1，看是否降功率/关机。

## 最后的话

射频的学习不再是孤立的器件调试，而是从整体的角度去理解系统，理解器件，理解指标。**射频收发系统的指标设计与分解**已经400人加入了，如果你想提升射频能力，系统的学习射频，学习射频通信，课程介绍 [戳链接](#) ，除了课程视频，还有课件PPT，一群一起学习的人，遇到问题解决不了，需要咨询，可以和群友一起讨论，也可以咨询我。

**相信能帮助你走的更快、更稳、更远！**

感兴趣扫码咨询。



皮诺曹

“ 射频工程师加油 ”

喜欢作者