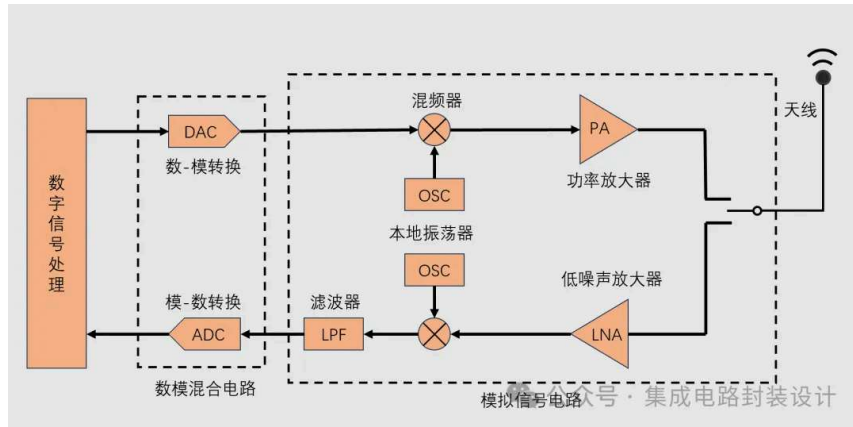


我们常说的PA、LNA 在射频系统中起什么作用？为什么封装时要控制线长？

原创 Old_Hao 集成电路封装设计 2025年09月16日 08:04

最近一个我比较尊重的深耕wire bond的老大哥突然问我："射频芯片的PA是什么意思？为什么一定要控制线长呢？"这个问题敷衍的回答就是射频芯片要进行阻抗匹配，线长会影响封装寄生参数，因此要精准控制其长度和形貌。这种敷衍的答案显然装X有余，诚意不足。我记得以前在做射频芯片封装的时候，IC设计工程师有给我讲过那么一嘴，当时感觉貌似理解了，今天就验证下这个牛X能吹成功不！各位轻喷！😏

首先看下我在网上搜集到的典型射频系统框图。



数字信号处理部分：数字信号处理层，相当于整个系统的大脑。可以简单理解为信号的编码和解码。

数模混合电路部分：数-模、模-数转化与处理。这个我们可以简单理解为信号的"翻译"工作。将CPU给的数字信号变成适合远距离传输的模拟信号(发射)，或者把收到的模拟信号变回适合逻辑处理的数字信号(接收)。是连接数字世界和模拟无线电世界的桥梁。

模拟信号电路：将模拟信号通过本地震荡期调制到载波上，再将其放大以便远距离传输，或将接收到的微弱信号进行放大后并过滤取得有效部分给到ADC进行模数转换。我们传统封装最常见的两种射频芯片PA(功率放大器)和LNA(低噪声放大器)就处在这个模块下。

而最后的天线，便是无线信号发射、接收的桥梁。说到天线，让我联想到了当时《信号完整性分析》那本书里的一段话：

自由空间的特性阻抗有特殊的重要含义。前面提到，传输线上传播的信号实际是光波，信号路径和返回路径约束并引导电磁波。电磁波传播场以光速在复合电介质中传播。

如果没有导线的引导，光就会以电磁波的形式在自由空间中传播。电磁波在空间传播时，电场和磁场就会受到一个阻抗，这个阻抗与两个基本常数有关：自由空间的磁导率和自由空间的介电常数，即

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi = 376.99 \approx 377 \Omega \quad (7.15)$$

代入这两个常数，所得的结果就是电磁波受到的阻抗，称为**自由空间的特性阻抗**，其值约为377 Ω。这个值很重要，当天线的阻抗与自由空间的特性阻抗(377 Ω)相匹配时，天线的辐射

量是最优的。只有自由空间这个377 Ω的特性阻抗值具有根本性的意义。其他阻抗都可以是任意的。互连的特性阻抗可以是任意值，它只受到可制造性的限制。

大致是说当信号没有导线引导的时候，就会以电磁波的形式在自由空间传播。在自由空间中受到的阻抗是377Ω，当天线阻抗与自由空间阻抗匹配时，天线的辐射量达到最优。

说回我们传统封装中PA、LNA芯片封装时线长的影响。

首先线长会影响封装的寄生电感和电容(由于键合金丝都比较细，因此寄生电感起主导作用)。寄生电感和电容，对于阻抗匹配至关重要，可以参考下早期文章《 案例分享：射频器件封装时，键合金丝间距为什么会对其性能产生影响》。

为什么要进行阻抗匹配呢？我们从字面意思理解下功率放大器和低噪声放大器，其本质就是将微弱的信号进行放大，使其便于远距离传输或者后级器件处理。记得以前设计工程师经常说的一个参数指标叫“增益”，其在PA、LNA中的意义也和它的名字一样：描述器件对信号放大的能力。用一种不严格的理解方式，可以认为是输出功率比输入功率。

其计算方式： $\text{Gain(dB)}=20\times\lg(|S_{21}|)$

可以看到，增益的大小与 $|S_{21}|$ 为成正比关系。 S_{21} 指的是输出信号与输入信号的比值，通常为电压或电流比。为什么用log函数表示？有一些资料上解释是log函数可以将很多复杂的数学运算简化为加减法，事情瞬间变得直观了许多。

因此 S_{21} 的幅度直接表征了器件的增益。而这个增益值能否达到设计目标，严重依赖于端口的阻抗匹配。只有当输入输出端口都良好匹配时，增益才能接近理论最大值，器件的性能才最优。

这块本想就此一笔带过，写完发现这玩意还是有些复杂，自己看得也有点不清不楚。今天先到这，后续抽时间问问专业的人，让他们给我讲讲S参数，写一篇封装工程师看得懂的各种损耗相关专题！

下钟！

个人观点，仅供参考