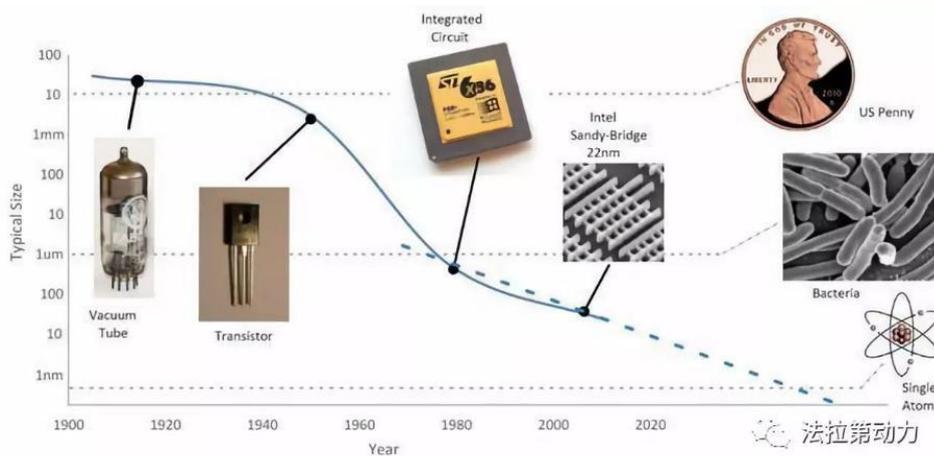


## 射频模拟电路 EDA 设计的那些事儿

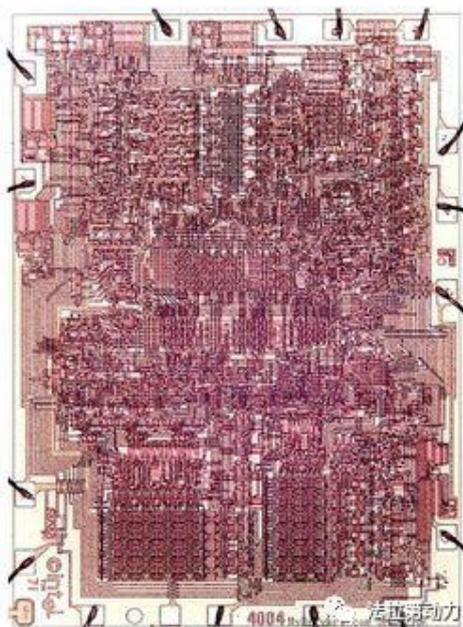
集成电路自 1958 年问世以来至现在，其工艺节点已经从 10 微米发展到 3 纳米。其中，台积电、三星等先进的半导体制造厂商已经开始研发 2nm 工艺。集成电路又可分为数字集成电路、模拟集成电路和数/模混合集成电路。因为设计流程，生产工艺的不同，数字集成电路和模拟集成电路呈现了两种截然不同的发展情况。

这几十年来，数字集成电路的集成化程度越来越高。以英特尔为例，自从 1975 年，其创始人戈登摩尔发表了摩尔定律以后的几十年里，英特尔的研究人员一直以来都根据摩尔定律设定目标和指标。在摩尔定律的指导下，计算机集成电路芯片变得越来越小，运算速度却越来越快。



摩尔定律

英特尔在 1971 年开发了第一个商用处理器 Intel 4004，片内集成了 2300 个晶体管，采用五层设计、10 微米制程，能够处理 4bit 的数据，每秒运算 6 万次。经历了几十年的发展，如今的处理器已经到达 10nm 制程工艺，最高可配置 48 颗核心，以英特尔在 2019 年最新发布的 i9-9980HK 为例，能够处理 64bit 的数据，CPU 主频可高达 5GHz。



Intel 4004

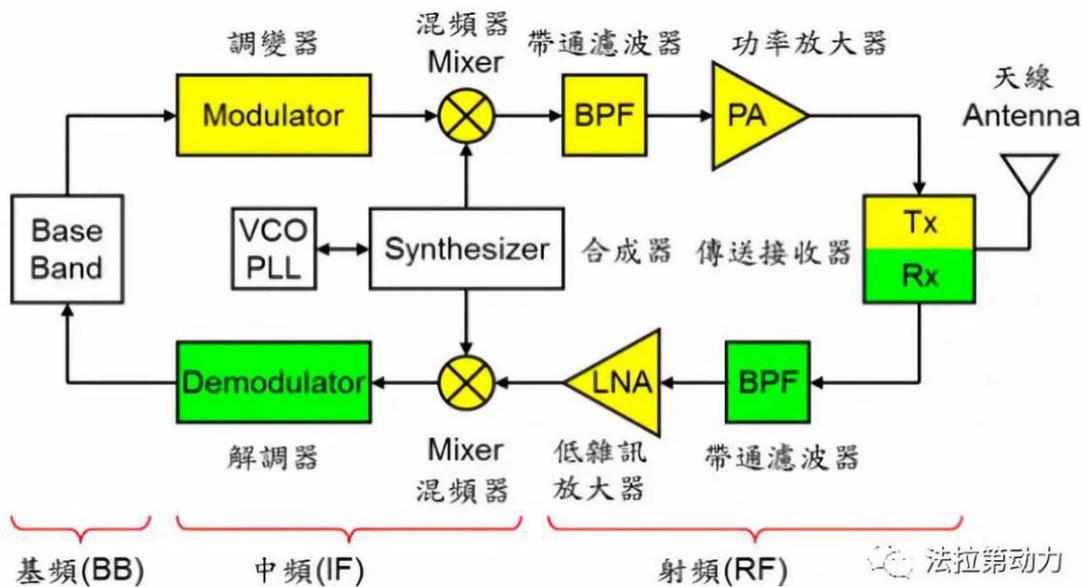
数字集成电路的迅速发展推动了 EDA 工具的自动化发展历史。EDA (Electronic Design Automation) 工具从 20 世纪 60 年代出现，一直到 20 世纪 80 年代，设计方法发生了很大的变化。

CAD (Computer-aided Design) 是 20 世纪 70 年代的技术，可以称作是第一代 EDA 工具，其主要功能是交互图形编辑，设计规则检查，解决晶体管级版图设计、PCB 布局布线、门级电路模拟和测试；

20 世纪 80 年代进入到 CAE (Computer-aided Engineering) 阶段，由于集成电路规模的逐步扩大和电子系统的日趋复杂，人们进一步开发设计软件，将各个 CAD 工具集成为系统，从而加强了电路功能设计和结构设计功能。

20 世纪 90 年代以后微电子技术突飞猛进，一个芯片上可以集成几百万、几千万乃至上亿个晶体管，这给 EDA 技术提出了更高的要求，也促进了 EDA 技术的大发展。各公司相继开发出了大规模的 EDA 软件系统，这时就出现了以高级语言描述、系统级仿真和综合技术为特征的 EDA 技术。

随着近年来智能手机、5G、物联网等技术的发展，模拟集成电路，尤其是射频集成电路越来越被大家重视。但是，相比于数字集成电路的迅猛发展，模拟射频集成电路的技术进步较为缓慢，其设计设计难度也非常高。



无线通信系统框架

这主要是因为高频电路中存在大量的寄生效应、串扰等因素。模拟集成电路从平面图纸变成实际电路的过程中，需要严格依靠设计师的丰富经验。如何布局、如何消除元件之间的各种负面的影响，兼容不理想的元件，都需要依靠设计师手工来解决。造成此现象的重要原因之一，就是缺乏很好的 EDA 工具作为支撑。

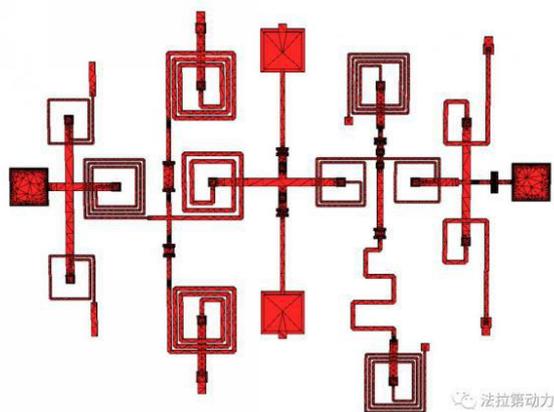
那么，在没有好的 EDA 工具支持的情况下，设计工程师是如何来解决这些问题呢？通常的做法是在设计时将设计余量留大，比如本来可以靠得很近的两条走线拉得比较远，这样就能使芯片工作，但会增加芯片的面积；或者使用降频的方式，比如本来在 2GHz 工作的芯片，降到 1GHz 看看是否工作，如果 1GHz 还是不工作，那再降到 500MHz 可能就工作了，但这样芯片的实际工作频率只有 500MHz，就会损失了芯片的性能。

总的来说，随着各种通信制式的迅猛发展，无线设备工作频率不断提升，高频芯片设计的难度也不断增大。

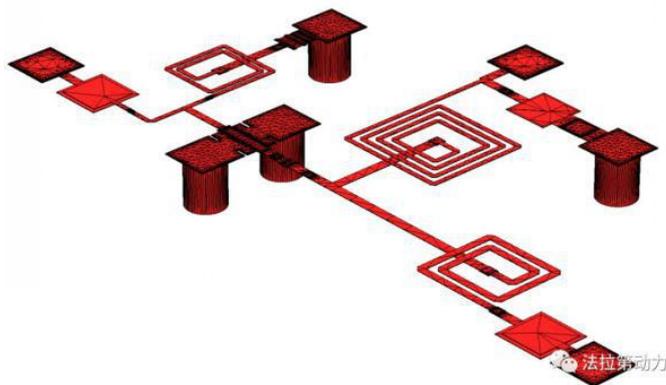
现阶段，一般的电路级仿真已经无法准确表述芯片内部真实的场分布情况，为了得到准确的仿真结果，使用全波三维电磁场算法对芯片进行仿真是一种非常有效的手段。但是，目前市面上存在的普通仿真软件无法完成高复杂度版图的仿真任务。常用的射频仿真工具要求使用者必须具备坚实的电磁场理论基础，否则无法进行准确的建模和设置正确的边界条件，上述技术要求让大部分电路设计师望而却步。另外，在高频时或者处理多层电路版图时，常用的射频仿真工具的计算复杂度很高，这导致运算速度非常慢。

在这方面，杭州法动科技的三维全波电磁仿真工具 UltraEM 具有很大的优势。该软件不仅使用了全波电磁场分析来保证计算精度，而且解决了全波分析致命的计算复杂度高的缺陷。另外，UltraEM 结合另外一款系统级自动优化工具 Circuit Compiler，可以极大地提高射频芯片设计领域的自动化程度，增加流片成功率。

**UltraEM:** 三维全波电磁仿真软件，用于仿真射频芯片中的无源器件，如下图显示的低通滤波器和低噪声放大器。



LOW PASS FILTER



LOW NOISE AMPLIFIER

**Circuit Compiler:** 用于系统级的电路自动优化平台，可以支持三种类型的器件模型输入，分别是 S 参数模型、AI 模型、集总元件模型（如下图）。由这些器件连接成的电路系统，可以进行目标优化，并给出最终优化完的电路。

