

【高速先生原创|学习笔记系列】飘忽不定的介电常数

作者：陈亮 一博科技高速先生团队队员

今天我们来了解一番电容中绝缘介质的相对介电常数，可能有的小伙伴就要问了：“电容器生产出来之后，介质都固定了，我们了解电容介质的介电常数的影响又有什么作用呢？”请大家稍安勿躁，且听我慢慢道来。作为攻城狮不仅仅需要关注实际电容器，更需要关注信号传输路径中的电容。例如信号线对地平面构成的电容大小会直接影响传输线阻抗、信号线对周围信号线的电容大小会直接影响串扰等。

在影响电容量的 3 个主要因素中，极板面积和极板间距是很直观的。然而相对介电常数看似是固定的材料属性，但在实际场景中就比较复杂了。举个栗子：同一块使用 FR4 做为介质的 PCB，内层的带状线上下两端介质的相对介电常数都是 4，信号线感受到的相对介电常数就是材料的相对介电常数（4）。那表层的微带线呢？一面是相对介电常数是 1 的空气，一面是相对介电常数是 4 的 FR4。那么表层微带线感受的有效介电常数是 多少呢？这里先容我卖个关子。

首先我们得知道什么是相对介电常数：介电常数是导体间的绝缘材料增加它们之间电容量的特性。而相对介电常数就是导体被绝缘材料包围时的电容量与导体被空气包围时的电容量的比值。

相对介电常数公式如下。

ϵ_r : 材料相对介电常数

C: 导体被绝缘材料包围时的电容量

C_0 : 导体被空气包围时的电容量 (0.22pf/in)

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0}$$

当导体周围填充的是均匀介质时，导体感受到的介电常数是介质的相对介电常数，如果周围填充的是非均匀介质的时候，那么导体感受到的介电常数和两种介质的相对介电常数有关。这时电力线通过不同介电常数的介质材料时所感受到的介电常数就称为有效介电常数。

这次我们就不举栗子了，今天举大米。。。



以一块水稻田为例，当稻田不施肥（介质是空气），秋天能收获稻谷 200 斤（使用空气做介质的电容量），当使用化肥 A（介质是 FR4），秋天能收获稻谷 800 斤（使用 FR4 做介质

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



的容量)。那么化肥 A 的增产常数 (相对介电常数) 是施肥产量和不施肥产量的比值, 即 800 斤/200 斤=4。这样大家是不是都明白了相对介电常数是怎么来的? 使用一种化肥, 田的实际增产常数等于化肥的相对增产常数。

那假如这块田一部分不施肥 (介质是空气), 一部分使用化肥 A (介质是 FR4), 那么怎么计算这块田实际增产常数 (有效介电常数) 呢? 计算方法如下公式。

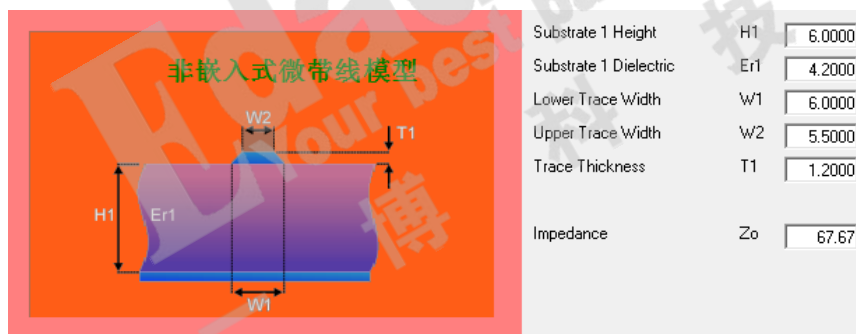
$$\epsilon_{eff} = \frac{C_{filled}}{C_0}$$

C_0 是导体周围是空气时的电容
 C_{filled} 是导体是实际介质分布时的电容

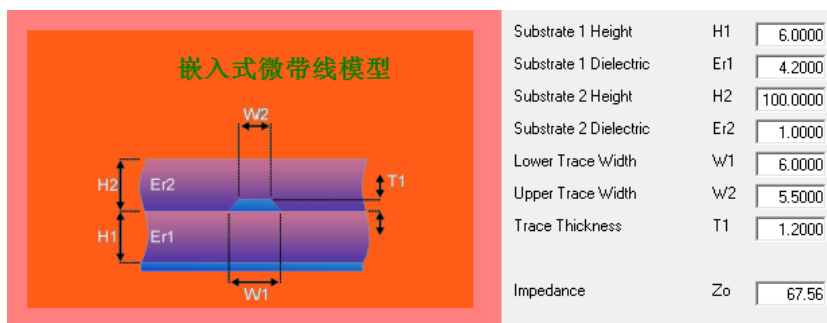
通常有效介电常数的精确数值需要用仿真器模拟才能得出, 下面提供一种使用阻抗计算软件拟合微带线感受到的有效介电常数的方法:

PCB 表层的微带线, 电力线会穿过空气和 FR4, 感受到的介电常数会不同。由于介电常数会影响电容的增幅, 所以介电常数的波动也直接影响电容量。因为电感则不受介质属性影响, 所以介电常数的波动的变化会直接导致阻抗的变化, 根据阻抗公式 $Z_0 = \sqrt{L/C}$, 可以通过下面的方法来得到。

1: 使用非嵌入式微带线模型, 一面接触空气, 一面接触 FR4 时的线路阻抗 (猜想: 此微带线模型内部算法是考虑了空气的, 因为空气的参数固定所以没有设置选项)。



2: 使用嵌入式微带线模型, 用 H2 模拟空气, 介电常数为 1, 厚度尽量大, 尽量包裹所有的电力线。猜想用嵌入式微带线的 H2 模拟空气参数得到的阻抗与非嵌入式微带线获得的阻抗一致。



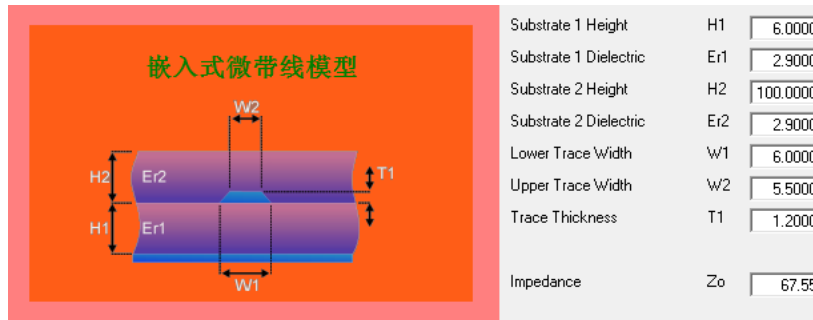
如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码, 开始学习



根据软件计算的结果，两组模型获得的结果非常接近，证实了猜想，非嵌入微带线模型是考虑了空气影响的，实际上是一种特殊的嵌入式微带线。

3: 在验证了非嵌入式微带线模型实际是一种特殊的嵌入式微带线后，我们用嵌入式微带线模型进行有效介电常数的拟合。



根据拟合结果：微带线一面接触空气，一面接触 FR4 时，铜厚厚度 1.2MIL，如将空气和 FR4 看成一个整体（一块田），走线感受到的有效相对介电常数约是 2.9（实际增产常数）。此方法获得的拟合结果是近似值，带状线也可以用相同方式拟合。

了解了相对介电常数对电容的影响，以及多种不同相对介电常数介质对电容的影响，有助于分析因介电常数变化引起的反射、串扰、延时等问题。其中典型就是板材的玻纤效应：PCB 常用介质 FR4 是玻璃纤维布与环氧树脂混合成的，电力线穿过这两种介电常数不同的介质，感受到的有效介电常数就是 FR4 的相对介电常数。而常用的 1080、106 等型号的玻璃布是网格状，网格内和网格外的玻璃纤维布与环氧树脂的比例不同，且玻璃纤维布的相对介电常数高于环氧树脂的相对介电常数，导致网格内和网格外的有效介电常数不同。所以走在网格内的信号线比走在网格外的信号线感受的有效介电常数更低；同时走在网格中的信号比玻纤布上的信号更快到达，两信号线虽然等长但是并不等时。有效介电常数直接影响电容量，进而影响阻抗，阻抗的突变将引起反射，这就是我们常说的玻纤效应。

【关于一博】

深圳市一博科技股份有限公司（简称一博科技）成立于 2003 年 3 月，专注于高速 PCB 设计、PCB 制板、SMT 焊接加工和供应链服务。我司在中国、美国、日本设立研发机构，全球研发工程师 600 余人。

一博旗下 PCB 板厂位于深圳松岗，采用来自日本、德国等一流加工设备，TPS 精益生产管理以及品质管控体系的引入，致力为广大客户提供高品质、高多层的制板服务。

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



一博旗下 PCBA 总厂位于深圳，并在上海、成都、长沙设立分厂，厂房面积 23000 平米，现有 30 条 SMT 产线，配备全新进口富士 XPF、NXT3、AIMEX III、全自动锡膏印刷机、十温区回流炉、波峰焊等高端设备，并配有 AOI、XRAY、SPI、智能首件测试仪、全自动分板机、BGA 返修台、三防漆等设备，专注研发打样、中小批量的 SMT 贴片、组装等服务。作为国内 SMT 快件厂商，48 小时准交率超过 95%。常备一万余种 YAGEO、MURATA、AVX、KEMET 等全系列阻容以及常用电感、磁珠、连接器、晶振、二三极管，并提供全 BOM 元器件服务。

PCB 设计、制板、贴片、物料一站式硬件创新平台，缩短客户研发周期，方便省心。

EDADOC, Your Best Partner.

【关于高速先生】

高速先生由深圳市一博科技有限公司 R&D 技术研究部创办，用浅显易懂的方式讲述高速设计，成立至今保持每周发布两篇原创技术文章，已和大家分享了百余篇呕心沥血之作，深受业内专业人士欢迎，是中国高速电路第一自媒体品牌。



扫一扫，即可关注

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习

