

浅析仿真时如何设置“正确的”介电常数值

高频电路的设计通常是在选择印刷电路板（PCB）材料之后，就会将所选材料参数导入计算机辅助工程（CAE）的模型中进行电路仿真。线路层压板的特性是由材料自身多个参数决定，对于CAE的电路模型中，更为重要的一个参数是介电常数，或者称其为Dk。正是因为介电常数这一材料参数在电路建模中非常重要，罗杰斯公司针对其线路层压板在实际电路仿真设计中的应用中的Dk值，提出了名为“设计Dk值”（Design Dk）的概念。

然而，对相同的电路材料，这些“设计Dk值”与其它形式的Dk（例如：标称Dk值或过程Dk值）可能相同，也可能不相同。测试线路层压板Dk的方法有很多，同一材料不同的测试方法Dk值可能不同。那么问题就来了：电路建模仿真时应该使用哪个Dk？“设计Dk值”是进行电路仿真时最合适的Dk吗？或者说对于同一材料而言是否存在其它某一Dk更适合于某一特定模型中呢？

可以用来确定线路层压板Dk的测试方法有很多，其中IPC标准定义了13种不同的方法，而美国材料与试验协会（ASTM）则定义了更多的方法。部分Dk测试方法基于特定的高频传输线结构，例如：微带线与带状线谐振器；最精确的Dk测试方法工程上实现起来也是最复杂的。设计Dk值就是为了在CAE建模或仿真软件中提供精确的电路性能计算而引入的。罗杰斯公司正在试图尽可能精确地描述材料特性，并提供可达到这种精度的线路层压板Dk值，同时CAE软件供应商也同时尝试在他们的软件工具中提供修正功能，用以补偿Dk测量方法中可能出现的任何误差。

许多CAE仿真软件工具都在试图解决由于材料效应或Dk测试方法差异所导致的电路材料Dk值的差异。正如上文所述，没有哪个测试Dk值的方法是完美的，高精度的测试需要耗费更多的精力和成本。例如，由于线路板材料各向异性，其平面方向（X方向与Y方向）与厚度方向（Z方向）可能存在不同的Dk值。另外，厚度也会影响Dk测量结果的准确性。理想情况下，对于线路板材料的每个厚度都要进行测量并得到相应的Dk值，但实现起来昂贵并且耗时。

罗杰斯公司提供的许多线路板材料的“设计DK”值用于电路的设计仿真，它是基于微带差分相位长度法来进行测量的。这种测试方法是在待测线路板材料上寻找微带传输线中信号的相位变化而得到电路的等效Dk值。这些相位的变化是由传输线中的特性不一致引起，它可能是由层压板的加固材料（如玻璃、玻璃纤维和陶瓷材料的）等造成。

线路层压板的铜箔部分也会对Dk测量的准确性造成影响，即铜箔表面粗糙度对Dk的测量会有显著影响。例如，测试相同的线路板材料，铜表面粗糙的电路材料比铜表面光滑的电路材料明显的表现出更高的Dk。特别需要关注的是，铜表面粗糙度不是指线路板材料的空气侧，而是在介质/铜箔交界面的粗糙度。

因为在介质/铜箔交界面上，表面较为粗糙的铜箔会使传输线中传播的电磁波的相速减慢，所以任何基于相位检测的Dk测试方法都会受到粗糙铜表面线路板材料的影响。相速减慢会使材料表现出更高的Dk。除了减慢相速之外，铜箔表面粗糙度也会对其导体损耗造成影响。导体损耗是电路总损耗的组成部分，而电路总损耗同时还包括介质损耗，泄漏损耗和辐射损耗。

罗杰斯公司所提供的不同线路板材料的设计Dk值，是通过实际的射频/微波电路测试得到的Dk值，这里的电路采用的是微带传输线。因此，这些设计Dk值是实际电路的等效Dk值，同时还考虑了该材料铜表面粗糙度的影响。

这些设计Dk值十分适合大部分射频/微波工业领域所用到的CAE仿真软件。因为大多数此类软件不会根据铜表面粗糙度对传输线相速的影响，来修正射频/微波电路的性能。一些仿真软件考虑了铜表面粗糙度对线路板材料导体损耗或插入损耗的影响，但没有考虑相速的影响（相速可以改变电路材料的有效Dk值）。因此，罗杰斯公司针对其线路板材料提出的设计Dk值是大多数软件工具可使用的最精确的Dk值。

任何已经考虑材料铜表面粗糙度对相速影响的仿真软件，在电路仿真设计时都不应使用罗杰斯公司提供的设计Dk值，因为这样会使利用这种材料的电路的相位被重复计算。常见的一些商业仿真软件考虑了铜表面粗糙度对相速的影响的有，如CST(www.cst.com)推出的CST工作室套件®中的电磁模拟器，Sonnet®软件公司(www.sonnetsoftare.com)推出的平面电磁模拟器。但是，像Ansys (www.ansys.com) 推出的被广泛使用的高频结构模拟器 (HFSS) 电磁仿真软件也只考虑了线路板材料的铜表面粗糙度对衰减/损耗的影响，而没有到考虑相位的响应（根据作者目前所知的情况）。

罗杰斯公司还提供了较厚材料的“设计 DK”值以及铜箔表面粗糙度值，这些数值适用于任何没有考虑铜箔表面粗糙度对相位影响的射频/微波仿真软件。较厚的材料所受到的铜箔表面粗糙度对Dk的影响很小，因此这些所谓较厚材料的“设计 DK”值是在厚度较厚的材料上测得的

Dk值，在罗杰斯公司的线路板材料数据表中作为每种材料的典型“设计DK”值公布。为了确保任何仿真工具得出“正确”的结果，电路设计人员可以随时联系CAE软件供应商，以确认特定的软件是否考虑了线路板材料表面粗糙度对基于该材料上的电路的相位的影响。