

对滤波器中片状电容的研究

彭龙新 (南京电子器件研究所, 210016)

摘要: 本文指出了滤波器的设计结果与测试结果之间产生很大频率偏差的原因。最主要的原因是学生们认为滤波器中所用的片状电容是理想电容。但事实是片状电容有寄生效应。我们通过一种新的方法建立了片状电容的等效电路, 确定了电路中的寄生参数, 然后采用此电容等效电路设计了一个新的滤波器(同时考虑了造成频率偏差的其他原因)来验证这种方法的正确性。新设计的滤波器的测试结果与模拟结果很好地吻合了。

关键词: 带通滤波器; 片状电容; 等效电路

1. 引言

学生们的课题如图 1 所示, 是一个使用了两个片状电容的带通滤波器, 不过测试结果与当初设计的相差甚远, 使得学生们不相信微波电路和老师了! 他们测试出来的中心频率与设计的相比偏移了 30%。这种情况并非只出现在滤波器中, 我们还发现, 用片状电容作输出端隔直和自偏旁路的压控振荡器的频率也漂移了大约 25% 之多。所以片状电容的使用可能有点问题, 但究竟是什么问题呢?

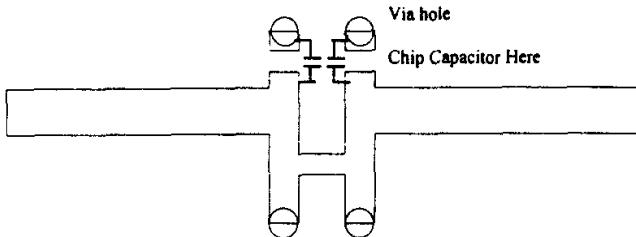


图 1. 带通滤波器的版图

通过研究, 我们已经发现了两个造成滤波器出现问题的原因: 1) 滤波器电路中使用了片状电容。在滤波器与压控振荡器的设计中, 片状电容被认为是理想的, 但实际上片状电容存在寄生参数, 比如串联电感, 电阻以及并联电容; 2) 微带线的耦合。我们发现中间连线较短(大约 200 密耳)的时, 必须考虑耦合。因为当电磁波频率为 1GHz 时它在空气中的波长只有 30 厘米。如果不考虑耦合, 实测的带宽要比设计的要大。通过数学曲线描述与实验相结合的方法问题已经得到解决。

2. 确定片状电容等效电路的新方法

要得到片状电容等效电路需经过如下步骤：第一次设计---测试---假设片状电容等效电路---曲线吻合---使用此片状电容等效电路设计一个使用不同电容值的新滤波器---通过测试新的滤波器验证等效电路是否正确。

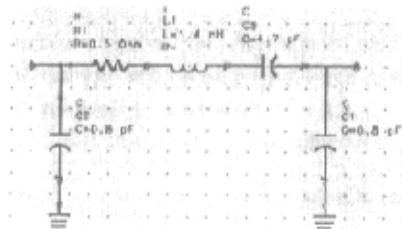


Fig. 3. 0805 片状电容等效电路

首先设计一个带通滤波器，滤波器中的两个 4.7pF 电容认为是理想的。和图 4 所示的测试结果相比，它的上限截止频率从 1.292GHz 移到 1.04GHz ，下限截止频率从 0.697GHz 移到 0.627GHz ，整个带宽缩小了 30.5% 。可以看出设计与测试之间存在着很大差异。随着频率的升高，这种差异会越来越大。这表明片状电容并非一个理想的电容，它包含寄生参数。因此我们假设片状电容的等效电路包含一个串联电感、一个小电阻、两个并联电容，如图 3 所示。接着用这个等效电路替换掉滤波器电路中的片状电容。我们可以变换寄生参数的值直到模拟出来的曲线与测试出来的曲线相吻合为止，如图 4 所示。最后片状电容等效电路就得到了。事实上得到的这个等效电路还包含焊点的不连续性。从这个等效电路中我们可以看到片状电容还包含一个 1.4nH 的串联电感，两个 0.8pF 的并联电容和一个小电阻。其中的电感使上限截止频率变小，使带宽变窄，并联电容在很大程度上影响较高频率处的结果，而串联电阻将增加一点损耗。

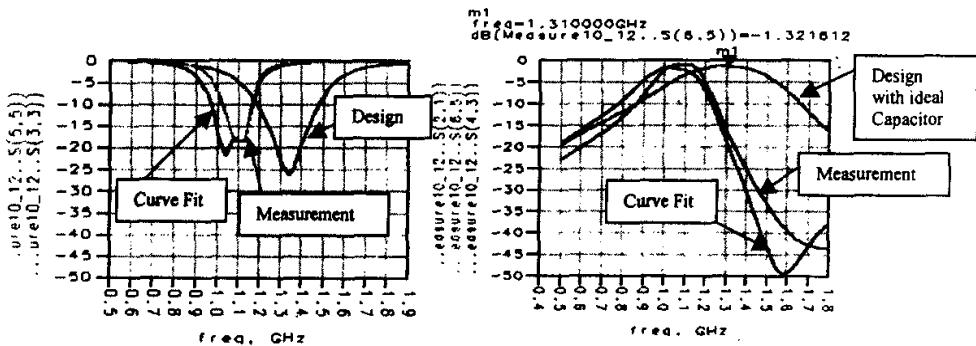


Fig. 4. 片状电容被认为是理想时的设计与测试之间的频率偏差
• 330 •

为了验证等效电路的正确性，我们采用得到的等效电路，设计电容值不同的滤波器。使用理想电容的设计结果、使用电容等效电路的设计结果和测试结果如图 5 所示。从图中可以看出采用理想电容设计的滤波器的频率与测试结果有很大差别，而采用等效电路设计的结果与测试结果很好的吻合了，表 1 列出了频率偏差和带宽误差。

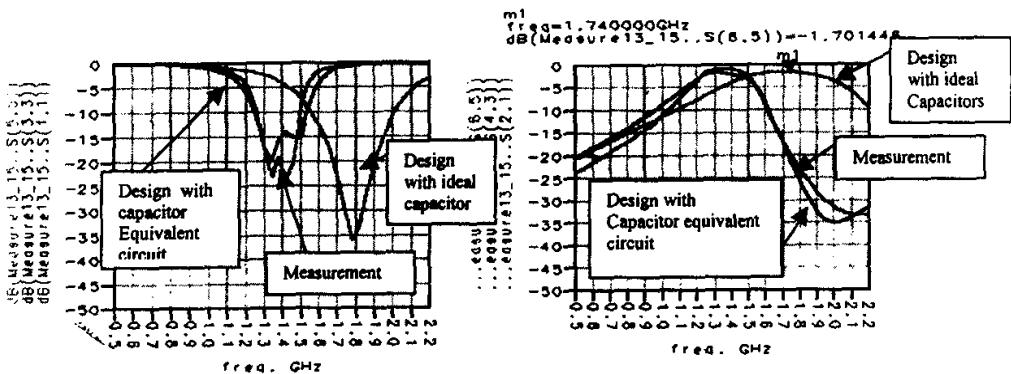


Fig. 5. 等效电路的验证

$$\text{中心频率偏移量: } S = \frac{D_2 + D_1}{2} - \frac{T_2 + T_1}{2}, \quad \text{式中 } D_2, D_1 \text{ 分别表示设计}$$

的上限频率和下限频率, T_2, T_1 分别表示测试的上限频率和下限频率,

$$\text{绝对频率偏移: } \frac{S}{(D_1 + D_2)/2} 100\%$$

$$\text{带宽误差: } BW = (D_2 - D_1) - (T_2 - T_1)$$

$$\text{绝对带宽误差: } \frac{BW}{D_2 - D_1} 100\%$$

表 1. 用片状电容等效电路设计的滤波器的频率偏差和带宽误差

滤波器 频率	中心频率偏移 (GHz)	绝对中心频率 偏移	带宽误差 (GHz)	绝对带宽 误差
1.0-1.2GHz	0.0257	2.3%	0.0116	5.96%
1.3-1.5GHz	0.0932	6.24%	0.0196	5.86%

从这些数据，可以看出设计结果与测试结果吻合得很好。第一个滤波器的频率偏移小于 2.5%，第二个滤波器小于 6.5%。两个滤波器的绝对带宽误差都小于 6%，所以说片状电容的等效电路起了很好的作用。值得指出的是，设计时同时考虑了微带线耦合的作用。

3. 结束语

我们研究了带通滤波器（大约 1GHz）的设计与测试之间产生频率偏移的问题。通过数学曲线吻合与实验相结合的新方法，我们发现了造成这一问题的两个原因，一个是片状电容的寄生效应，另一个是当两段微带线相距很近时所产生的耦合效应。现在问题得到了解决。我们很成功的建立了包含焊点间断性影响的片状电容模型，并且通过把模型用于设计其它滤波器，证实了建立模型的正确性。由此可想到，用这种方法来确定其它元件，如片状电阻的等效电路。等效电路的确立对 MIC 设计人员成功地设计电路来说是非常重要的。

微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题，有资深工程师领衔主讲，课程既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，设计原理和设计仿真实践相结合，向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频，专家授课，中文讲解，直观易学；既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

更多专业培训课程：

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>

专注于微波、射频、天线设计人才的培养

易迪拓培训

官方网址: <http://www.edatop.com>

淘宝网店: <http://shop36920890.taobao.com>