

优化 RF3166 PA 效率之实例分析



目录

- 关键词
- 前言
- 实验前的准备工作
- 确认没有优化前的 PA 消耗电流
- 校准网络分析仪
- 测量 A 板上面的 PA 输出阻抗
- 使用 Smith Chart 进行元器件选择
- 将软件建议的值在 A 板上面作验证
- 将得到的器件值在 B 板上面作验证
- 优化 PA 效率的流程图
- 小结
- 设计参考小贴士
- 参考文档
- 版本管理

关键词

PA	Power Amplifier 功率放大器
Load Pull	PA 在不同负载情况下面的一些关键指标数据，比如线性，效率等等。
非信令模式	Non-signaling Mode 非呼叫模式，测试手机没有和基站同步。
天线开关	Diplexer ,GSM 手机上面使用的收发切换开关。 Antenna Switch Module
Vramp	控制 PA 输出功率的模拟电压。

前言

首先，非常感谢您选用 RFMD 公司性能优越的产品。

很多工程师在电路设计过程中，被如何减少 PA 工作电流的问题困扰。一些运营商在向设计公司定制手机的时候，他们往往在手机通话时间和消耗电流方面提出了很苛刻的要求。

虽然 RFMD 在 PA 设计上面已经保证了良好的工作效率，但是在我们做 application design 时候，适当的电路优化是很必要的。

如何优化 PA 的效率呢？本文介绍了一种比较简单易行的调整 PA 输出匹配的方法。

主要步骤就是根据 RFMD 提供的 Load Pull 数据和网络分析仪测试结果，然后借助于 Smith-Chart 软件进行匹配元器件选择。最后根据软件给出的参考器件进行验证，测试。

本文通过一个实例，在一个手机板上优化了 RF3166 的输出负载，匹配到最大效率点，减少了 RF3166 的工作电流。

需要说明的是，本文提供的方法，并不仅仅是用于减少 PA 的工作电流。在 PA 输出功率不足的时候，也可以使用这个方法。对于 CDMA 和 WCDMA 放大器调试也有一定的参考意义。

好，让我们开始。

实验前的准备工作

1. 被测电路板和线缆

电路板 2 个，要求同一批次，能够正常通话，能进入非信令模式。能够方便更换 PA 的输出器件。如果有屏蔽盖遮挡，请先去掉屏蔽盖。

去掉其中一个电路板上的 RF3166，我们假定称这个电路板为 A，用于网络分析仪使用。准备好很细的金属线，比如漆包线，焊接在该电路板 ASM 天线开关模块的控制脚上。



另外一个完整电路板我们称为 B。我们断开 B 的 PA 供电线 trace，焊接另外一个供电线，给 PA 单独供电。给 B 的电池连接器焊接好电源线，以备使用。如果可以方便使用钩子或者鳄鱼夹供电的话，也可以不用焊线。

为什么要准备 2 块电路板呢？这是因为我们用 A 电路板得到需要的匹配元器件，然后在 B 板上面进行验证测试。

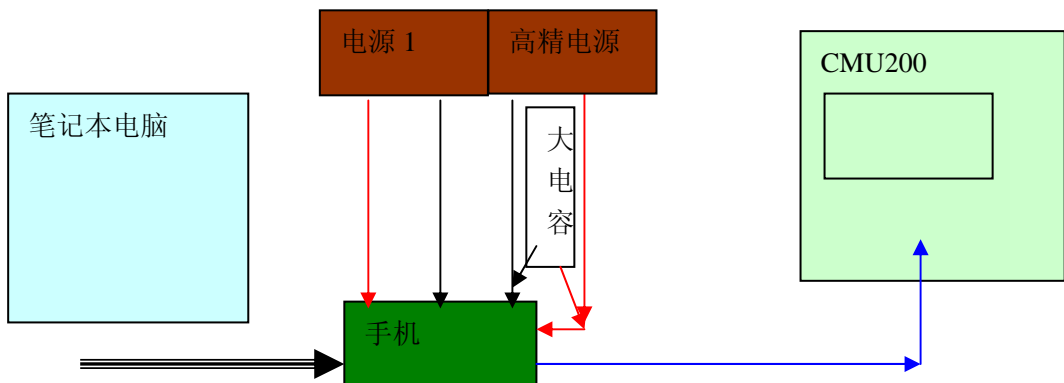


2. 电脑：笔记本 1 台，能通过串口线控制手机。
3. 串口线一条。
4. 射频线：SMA 头，另外一端剥开，露出里面的芯和屏蔽层，方便焊接到电路板上。长度为 10cm 左右。



5. RFMD 提供的 RF3166 Load pull 数据。
6. 测试用设备：
 - Agilent 电源 2 台。其中一台要求高精度，供电电流 2A 以上。当然也要准备相应电源线。
 - 大容量电解电容一只，放在主板 PA 供电线上，保证电源的稳定性。请一定注意电容的正负极。
 - 矢量网络分析仪一台和相关校准件。
 - 50 Ohm 负载一个，SMA 头。
 - CMU200 一台，或者 8960、功率计也可以。本实验采用 CMU200。

确认没有优化前的 PA 消耗电流。



1. 如上图联接电路板 B 和测量设备。
2. 使用 2 台电源给 B 供电。其中的高精度电源单独给 PA 供电。另外一路电源给整个主板供电。**

3. 使用软件控制手机处于非信令发射模式。
4. 电源供电 3.8V，调整 B 的发射功率，我们在 $V_{ramp} DAC = 670$ 的时候，得到发射功率为 32.2dBm。此时 PA 耗电平均电流为 180mA。

后面我们在优化电路后，再次测量电路的时候，也要在输出功率 32.2dBm 的情况下进行测量工作。

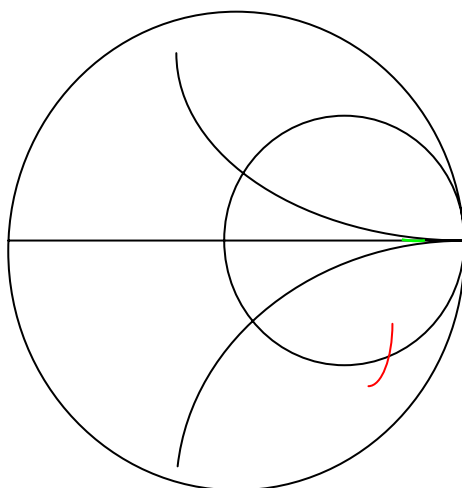
**也可以不需要单独给 PA。这里分成 2 台电源的目的是为了更加直观的看到 PA 工作电流的变化情况。

校准网络分析仪

网络分析仪的校准是这个实验比较关键的一部分。校准的好坏，直接关系到最终得到的匹配电路值的准确性。

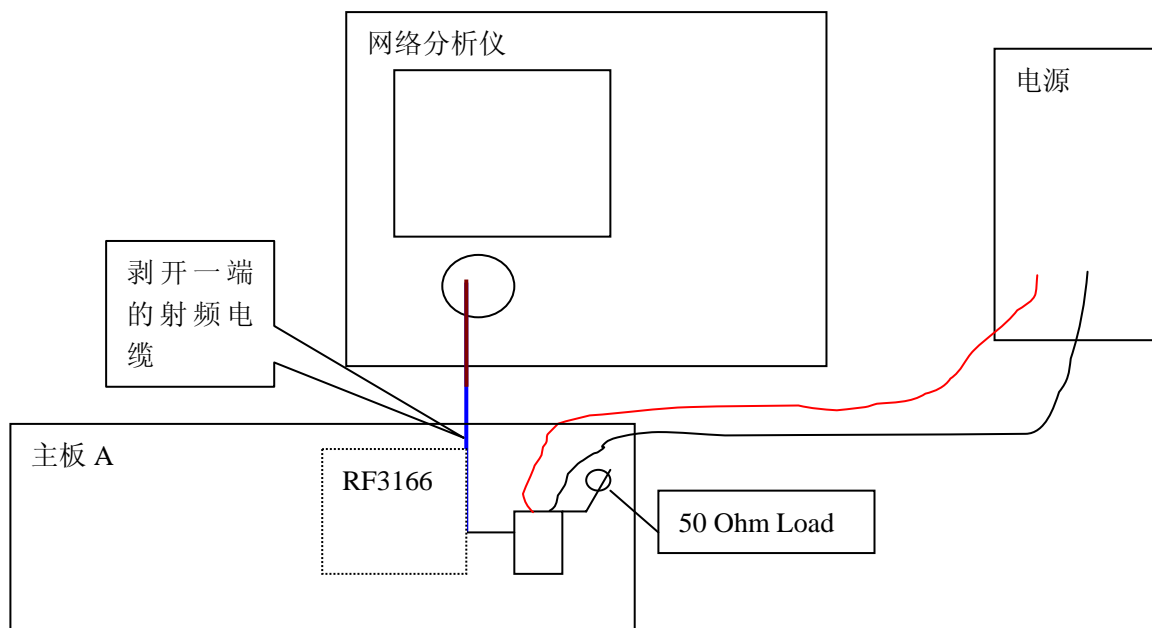
我们选用比较常见的 Agilent 8753ES 矢量网络分析仪。开始单端口校准。

1. 选用端口 1 进行校准。在端口 1 上连接一个 SMA 头的射频电缆。
2. 设置网络分析仪的 start 和 stop 频率为 880MHz 到 915MHz。
3. 在 calibration 菜单里面选择单端口校准。我们需要 open、short 和 load 三个校准件。
4. 校准完成后我们选择 done 菜单。然后将网络分析仪的 measure 设置为 S11，display 设置为 Smith Chart。
5. 我们在阻抗圆图上面看到在连接 load 负载的时候，所有的频率点阻抗都是 50Ohm，集中到圆图的中心。
6. 然后我们取下 load。会发现阻抗点到了仪表显示的最右端，无穷大。
7. 将前面我们准备好的剥开的 SMA 电缆连接到校准好的仪表上面。看到阻抗点向上或者向下偏移了。不再集中到无穷大的点了。并且整个频段内的阻抗变成了一个弧线。如下图所示的，阻抗点由集中到最右端的无穷大，偏移到了红色弧线的位置。



- 在 calibration 菜单里面，向下翻页，找到了 port extension 选项。设置 extension On。然后我们调整 extension 的大小。我们会看到上图中的红色圆弧也在不停的转动。一直将红色圆弧调整到了接近阻抗无穷大的点。如图中绿色线条显示的位置。
- 这样我们的校准就完成了。

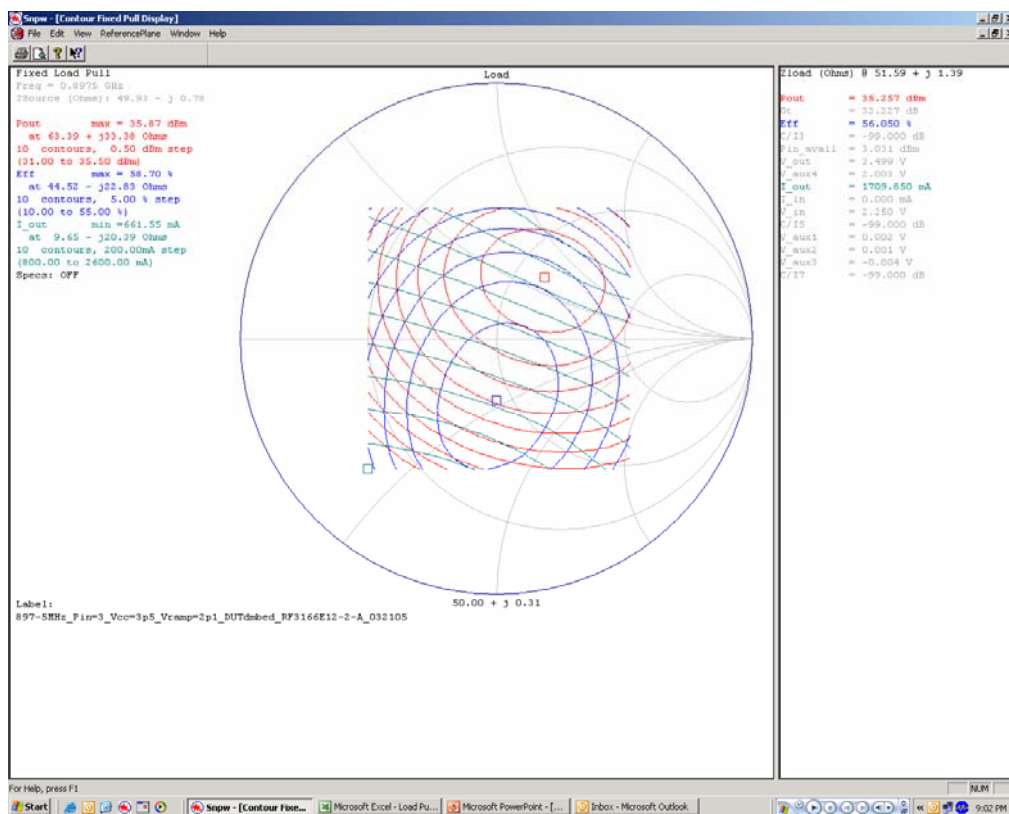
测量 A 板上面的 PA 输出阻抗



- 如上图我们连接好测量设备。电源供电为 **2.8V**。这个电源主要是为了控制天线开关。让天线开关处于 GSM900 打开状态。**
- 我们已经取下了 A 板上面的 RF3166。同时将 PA 到天线开关之间的匹配电路恢复到没有任何匹配状态下面。也就是说去掉所有并联器件，将所有串联器件更换为 0Ohm。在电路板 GSM PA out 的位置，我们将剥开的射频电缆焊接到了该位置。



3. 将电路板上面的射频连接器位置我们接上了 50 Ohm 的负载。
4. 找到天线开关 ASM 的真值表 (truth table)。我们打开电源，让天线开关处于常开状态。
5. 在网络分析仪上面观察 PA 的输出阻抗。根据下图中的 RF3166 的 Load Pull 数据。我们选择 897.5MHz 的阻抗进行观察。

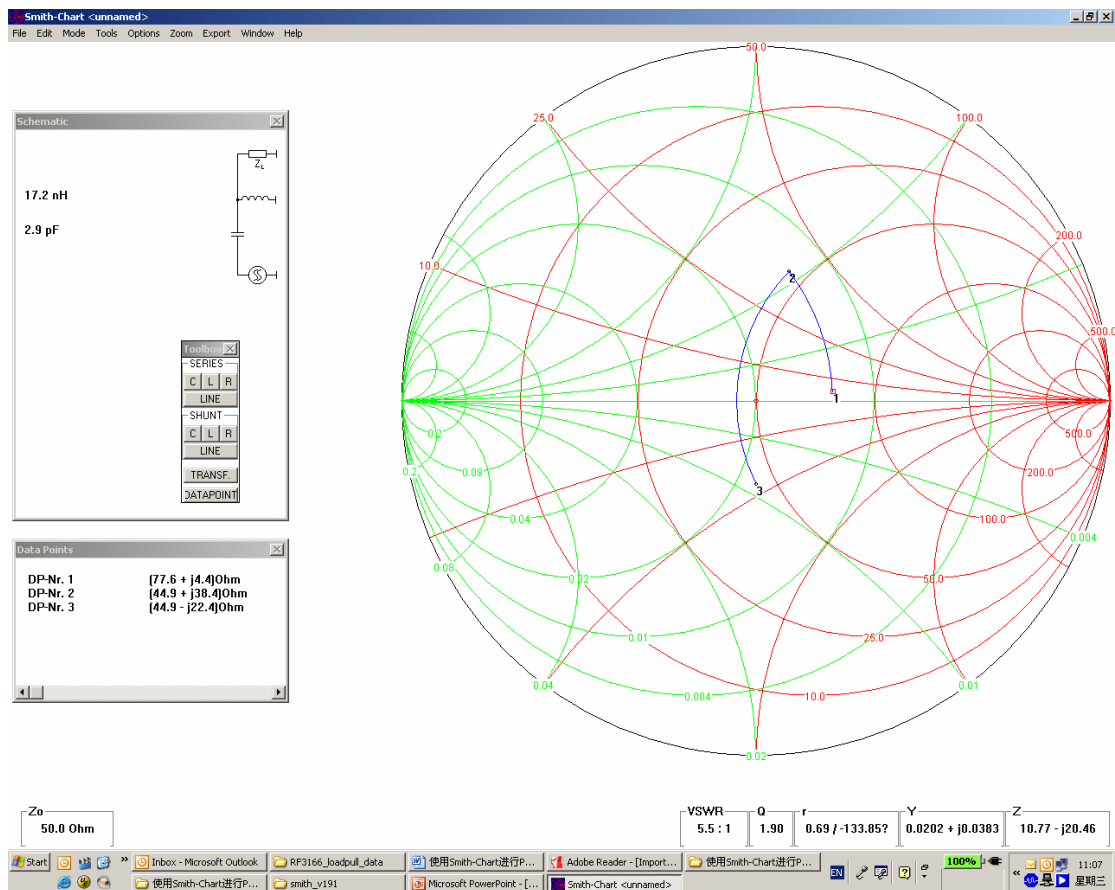


6. 打开网络分析仪的 Marker1, 调整频率到 897.5MHz。显示该点的阻抗为 77.1 + j4.2。这是我们要看到的实际的 PA 输出阻抗。
7. 根据上图, 我们知道要将 PA 的效率调到最好, 输出阻抗应该为 44.52 - j22.03。(请参考后文小贴士部分。)

后面我们的工作就是调整匹配电路，将目前测量的阻抗变换到最佳效率点。这里用的小工具是 Smith Chart。

**有工程师可能想到为什么不用控制软件控制 A 板直接处于发射模式呢？这样可以省掉在 PCB 上面焊接控制线的问题。需要考虑的是因为 GSM 是工作在 Burst 模式下面的，天线开关并不是一直打开。在这样情况下面测量，我们会在圆图上面看到不断抖动的阻抗线。

使用 Smith Chart 进行元器件选择



1. 如上图显示，我们打开 Smith Chart 软件。
2. 用鼠标选点，设置目前我们的实际阻抗 $77.1 + j4.2$ ，输入频率为 897.5MHz。
3. 点击小工具栏中的并联电感，移动鼠标，在圆图上面将阻抗的实部变换为 44.52。我们在软件的右下角应该能够看到鼠标指定点的阻抗。
4. 选择串联电容功能，移动鼠标将虚部变换为 -22。
5. 我们看到在浮动工具条里面，软件已经指示需要并联一个电感为 17.2nH，然后串联一个电容为 2.9pF，这样能完成阻抗变换。

将软件建议的值在 A 板上面作验证

1. 我们将软件给出的以上值在 A 板上面作验证。

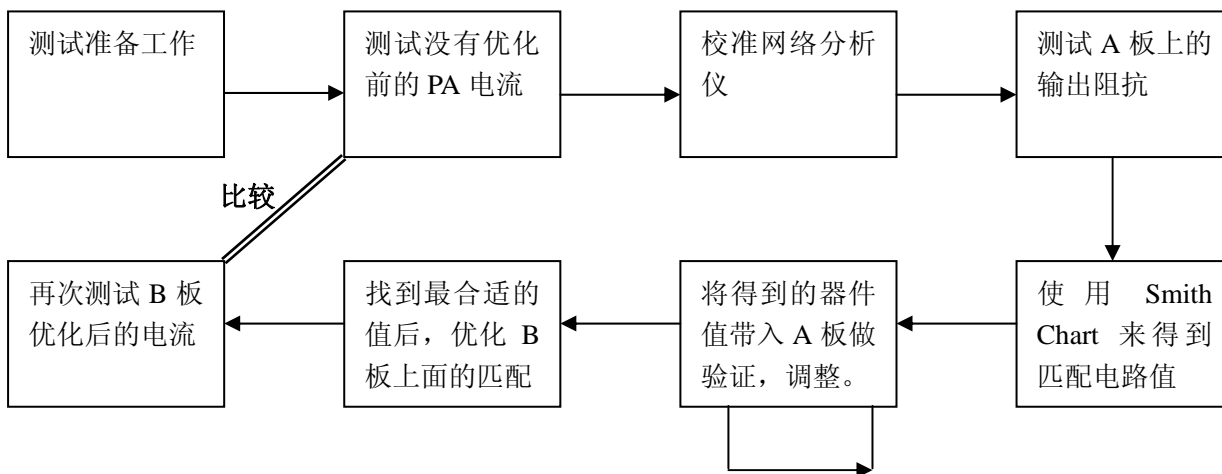
2. 选择电感为 18nH，电容为 3pF。从 PA 到天线开关的方向。先串联一个电容，然后并联一个电感。
3. 在网络分析仪上面观察现在 897.5MHz 的阻抗。发现实际测试值为 $42 - j25j$ 。就是并没有完全和我们软件给出的理想值相等。
4. 根据这次测量的结果，我们修改器件值为 3.3pF 电容和 15nH 的电感。用网络分析仪测试。
5. 重复这个过程，直到我们找到最接近最佳效率点的元器件值。我们假定最后得到了 3.3pF 和 15nH 为最佳。

将得到的器件值在 B 板上面作验证

这里我们需要重复在前面做过的测试电流的实验。将 3.3pF 15nH 放到 B 板上面，然后测试 PA 工作电流。

我们看到平均消耗电流现在是 150mA。大约比没有优化前，电流减少了 30mA。需要注意的是 $V_{ramp} DAC = 750$ ，此时输出功率达到 32.2dBm。DAC 相比以前有变化。我们需要相应的修改射频参数 Radio default table，以便适应这种变化。

优化 PA 效率的流程图



小结

以上我们用一个实例演示了如何优化 RF3166 的 GSM 频段工作效率，成功将平均电流从 180mA 降低到了 150mA**。其他频段的匹配可以参考相同的步骤。

小提示：在做实验的过程中，需要反复的实践才能慢慢体会一些细节的情况，迅速的解决问题。

这里的文档只是提供某一个解决问题的方法。在实践中，可以不断的拓宽自己的思路。

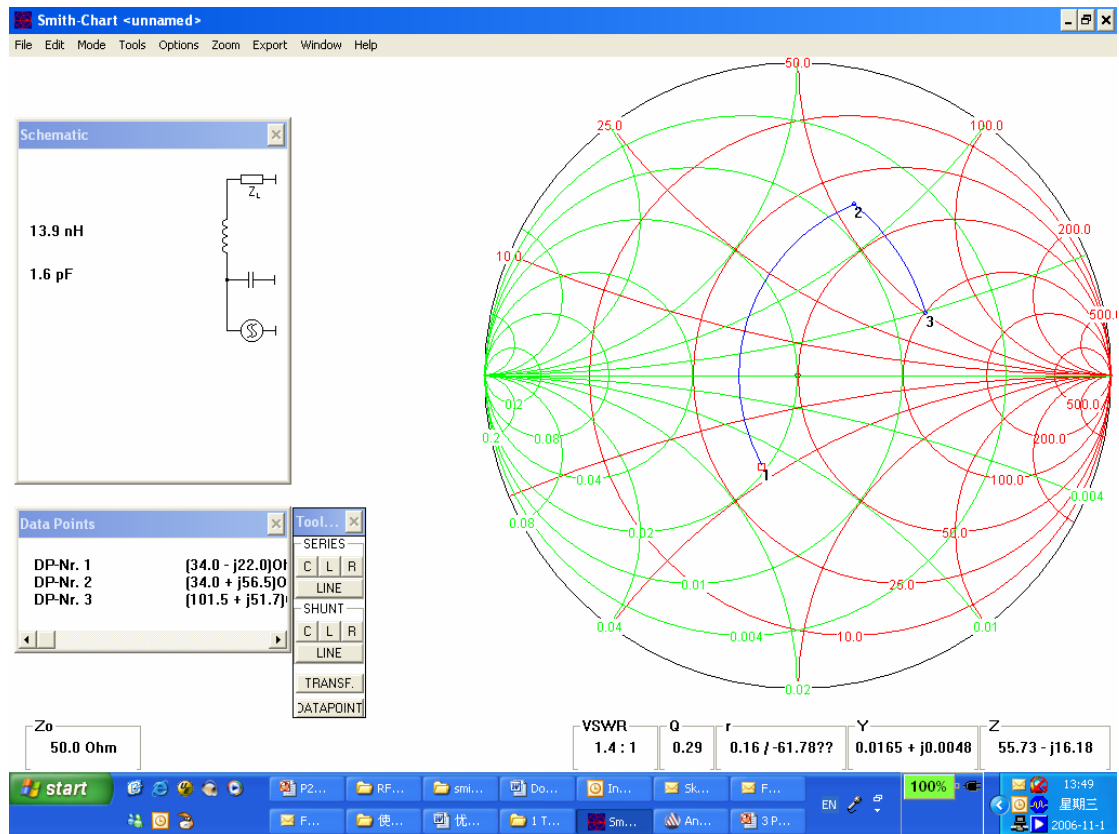
希望对大家有帮助。

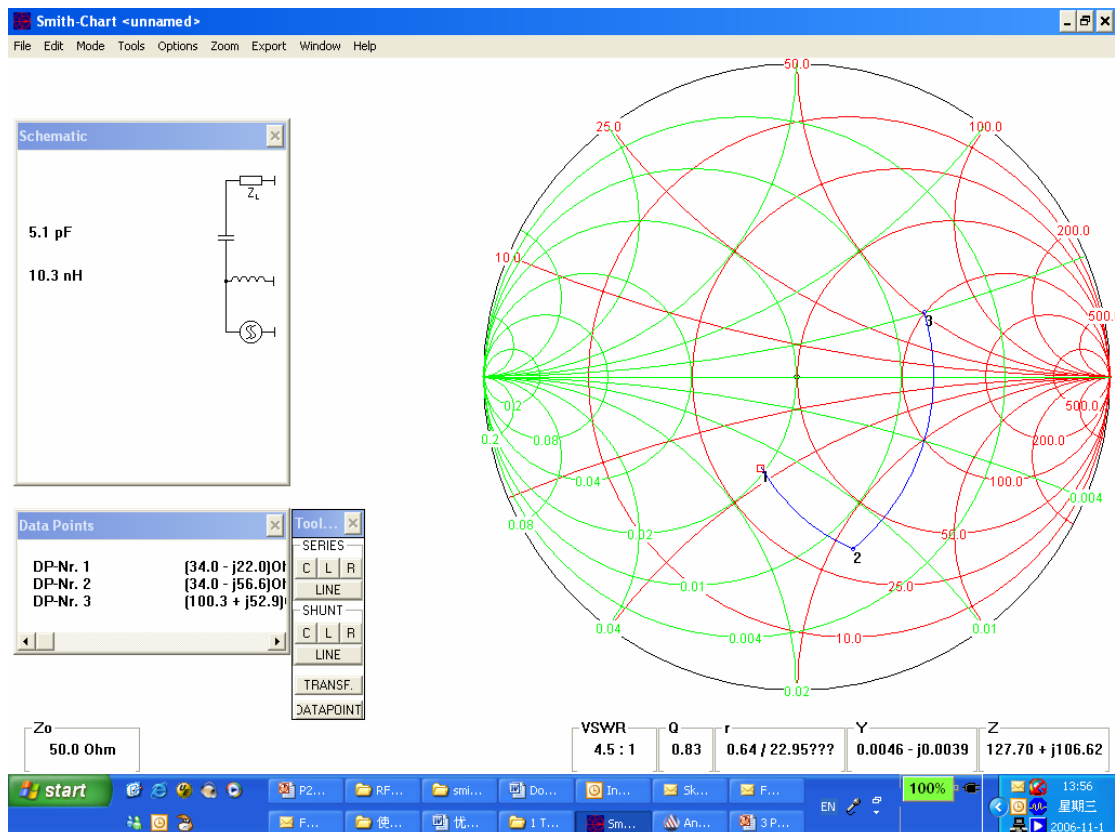
**这里有一个需要注意的地方。随着效率的提高，有些情况下，对应相同的输出功率，Vramp 的电压会增大。有时候会出现 PA 最大输出功率不足的情况，或者出现输出功率随供电电压波动稳定性变差。由此，我们在保证良好效率的同时，也要兼顾 PA 最大输出功率余量是否足够。

设计参考小贴士

小贴士之一：最佳路径的选择问题。

我们知道在 Smith 圆图上面，阻抗匹配是有很多的路径可以选择的。如下图：



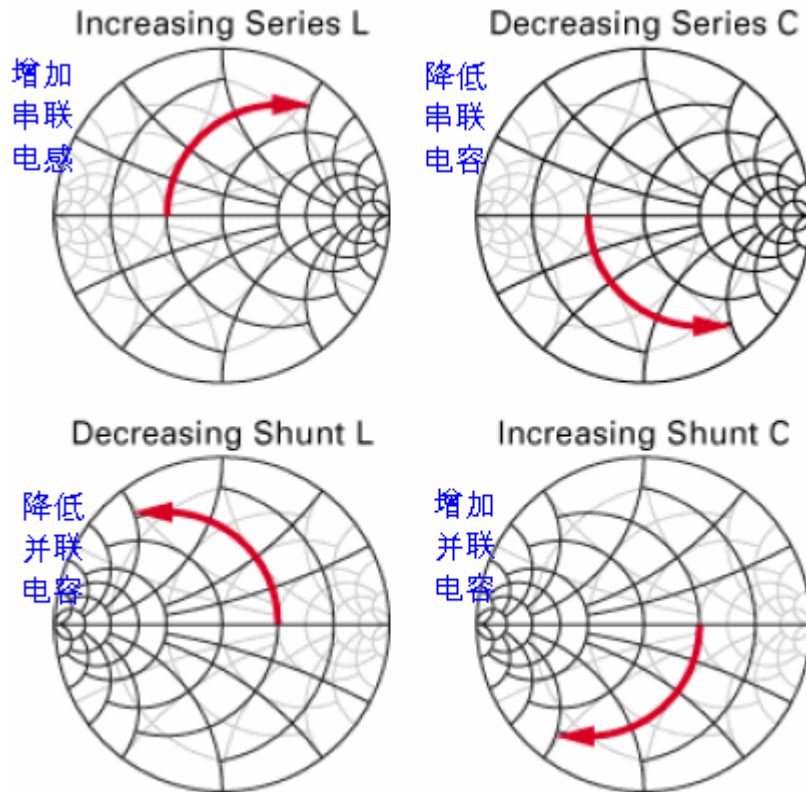


从上面的图片我们可以看出来，将 $34.0 - j22.0$ 变换为 $100 + j52.9$ ，我们走了 2 条不同的路径。当然，还有更多的路径可以选择。那么如何选择出最优化的路径呢？下面的意见供参考：

- 在校准网络分析仪的时候，可以采用双端口校准的方法。在手机板上射频连接器端口也可以连接到网络分析仪。这样，我们可以通过观察 S_{21} 或者 S_{12} 来考察插入损耗的变化。
- Smith Chart 给出了匹配的器件值，但是有时候，工程师无法在实际电路调试中找到这样的值，或者这样器件很少使用。比如 13.2nH 的电感。
- 尽量不要使用对精度要求太高的值。比如 0.3pF ， 0.4pF 等等。

经常多做实验，积累经验，有利于我们更快的解决问题。比如我们会很快发现上面的匹配路径中，第一幅图给出的值需要被舍弃。

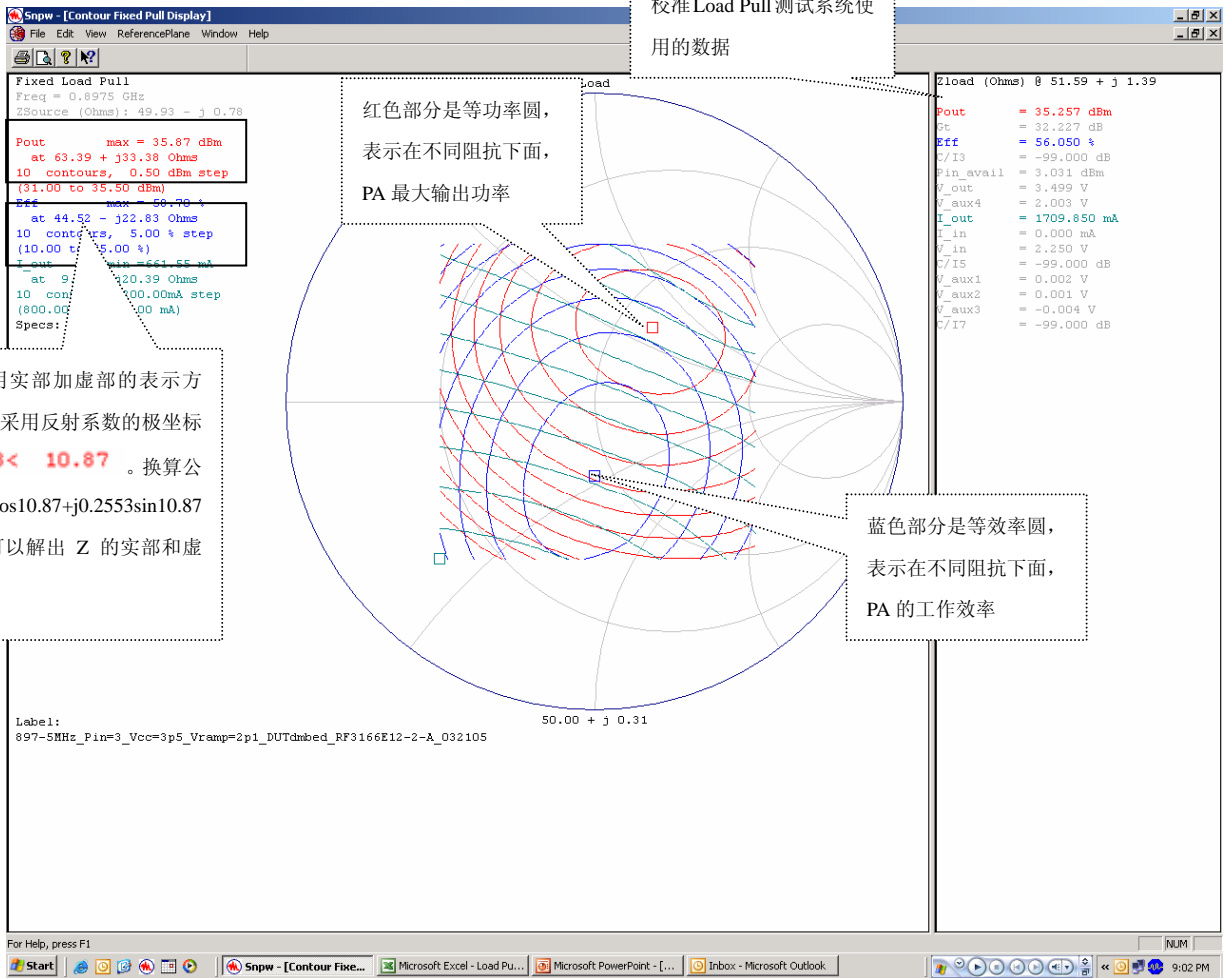
小贴士之二：Smith 圆图基础



在 Load Pull 上面选择输出阻抗点的注意事项。

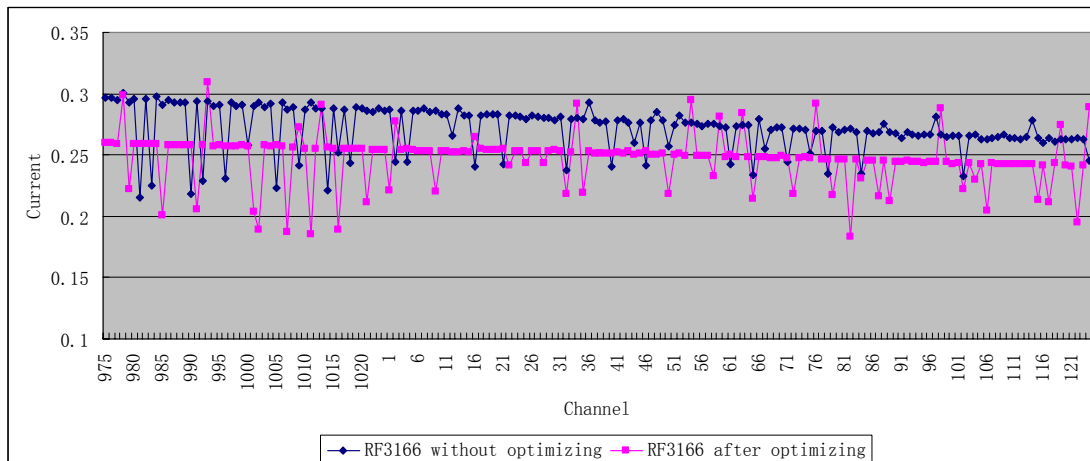
- 注意在效率和最大输出功率之间作平衡。有时候会出现这样的情况，效率非常好了，但是手机的输出功率不足，比如说只能够到 32dBm 左右。如果不断增加 V_{ramp} ，可能发现 $V_{ramp}=2.1V$ 时候，功率依然不足。切换谱 Switching Spectrum 超标。
- 注意功率随信道变化的平坦度。选点注意观察高中低信道的 Loadpull 数据，兼顾不同频率的阻抗匹配。

Load Pull 数据基础



附录

优化前后整机（包含 PA 、 BB）电流对照表（传导）



备注：上图中的电流剧烈的抖动是因为数据取样的时候，没有取多次平均值，导致测量不准确。

参考文档

1. 3166 Matching Tutorial (Ver3)
2. RF3166E12-2-A_032105

版本管理

2006-08-15	V1.0	初稿	
2006-08-31	V1.1	增加了电流对比图	
2006-10-17	V1.2	增加了部分注释	
2006-11-01	V1.3	增加了小贴士部分	

如果您对本文档有任何的想法和建议，欢迎反馈给我们。

射频和天线设计培训课程推荐

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,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、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。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



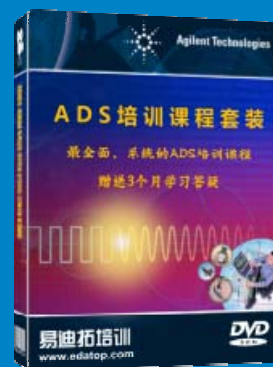
射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书,课程从基础讲起,内容由浅入深,理论介绍和实际操作讲解相结合,全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程,培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合,全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作,同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习,可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>