

## 锂电池保护系统电磁仿真 EMC 优化

### Electromagnetiv simulation EMC optimization of lithium battery protection system

马卉妍 刘捷 熊恒

天津力神特种电源科技股份有限公司

**摘要:** 随着锂电池及其相关行业的不断完善, 整机厂对电池系统的要求逐步提升, 现有某项目要求通过 GJB151B-2013 EMC 测试 RE101、RE102、RS101、RS103 标准。在多次改板未能通过 EMC 测试, 且无法定位 EMC 不通过的根因前提下, 寻求通过电磁场仿真手段, 采用 Ansys SIwave 软件, 对锂电池保护系统进行数值模拟, 得到电磁干扰频段和位置, 最终重新布线整改, 解决该项目问题, 通过 EMC 测试。

**关键词:** EMC、ANSYS SIwave、锂电池保护系统、仿真、优化整改、RS103

**Abstract:** With the continuous improvement of the battery and related industries, the requirements of the factory on the battery system are gradually improved. The existing project is required to pass the GJB151B-2013 EMC RE101, RE102, RS101 and RS103 standards. Based on the fact that multiple failures and the inability to find the cause of the EMC test failure, Ansys SIwave was used to conduct numerical simulation of lithium battery protection system through electromagnetic field simulation method, so as to obtain electromagnetic interference frequency band and position. Finally, the wiring was rearranged to solve the problem of the project and passed EMC test.

**Key words:** EMC、ANSYS SIwave、Lithium battery protection system、Simulation、Optimization、RS103

# 1 电磁仿真简介

## 1.1 需求分析

该项目为天津力神锂电池产品，其电池防护系统电路板多次改板未能通过 EMC 测试，测试也没法定位 EMC 问题的根因，故寻求通过电磁场仿真手段解决该项目问题。

## 1.2 电磁仿真分析意义

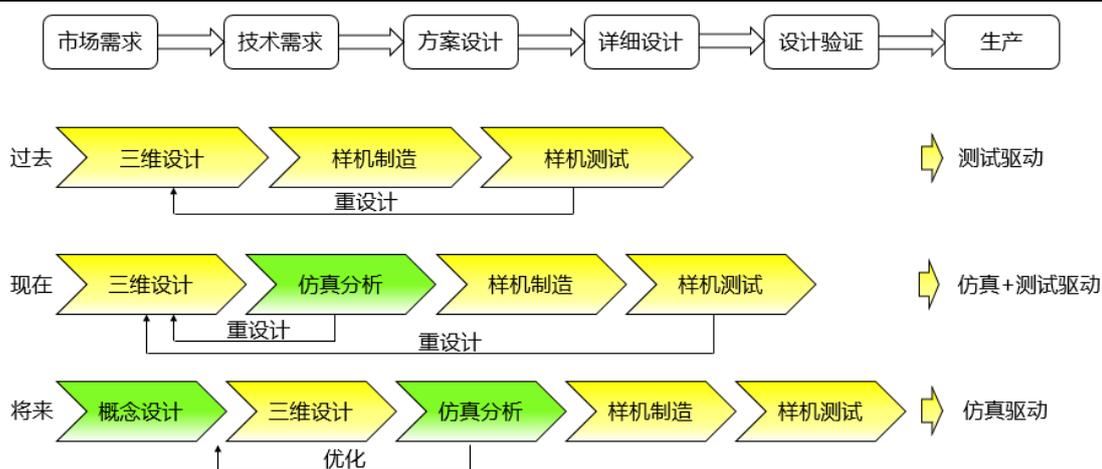
满足电磁兼容性标准已经成为现代电子设备开发过程中必不可少的一个环节。物理上进行电磁兼容性测试会占用大量时间，也需要使用昂贵的测试设施；同时，在电磁兼容性问题定位方面，测试并不能很快找到根因，需要做大量实验进行推理，这使得工程师们疲于应付庞大的工作量，也大大影响了整个产品研发的效率和质量。数值仿真法能提供低成本的替代方案，缩短设计时间，增强产品设计鲁棒性，协助快速定位问题根因和优化措施，降低相关研发成本。

所以仿真分析的价值在于：降低产品研发的成本；缩短产品研发的时间；提高产品的可靠性；增强市场竞争力。

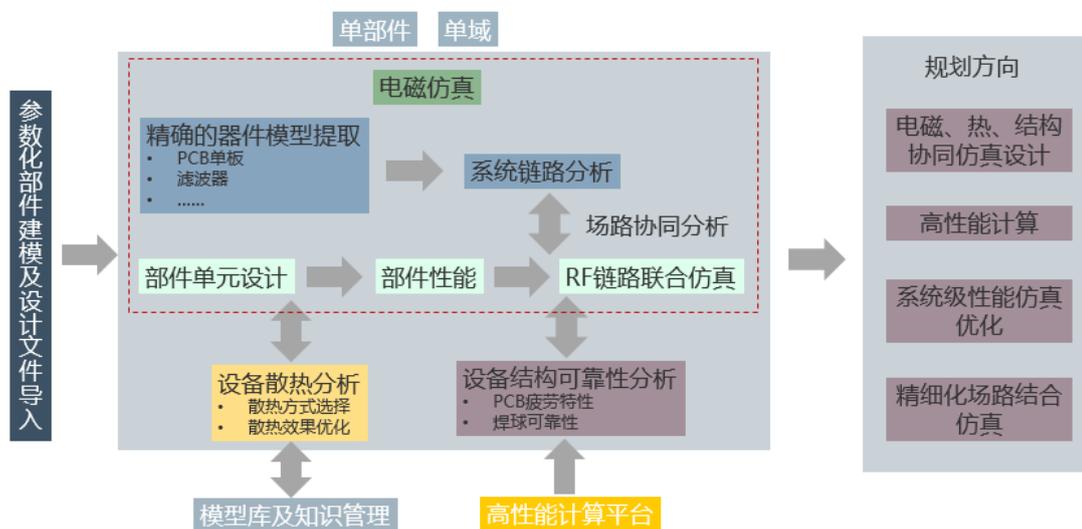


仿真已经无处不在，覆盖所有产品并贯穿全生命周期。

研发流程将由传统的测试驱动型向仿真加测试驱动转变，最终走向仿真驱动型研发新流程。



完备的仿真体系搭建，从各类电磁场仿真，到电磁场-电路联合仿真，到电-热-结构的多物理场仿真，都可以利用 ANSYS 平台完成仿真模拟及优化。



### 1.3 软件简介

ANSYS SIwave 是一个专业化的设计平台，可实现 IC 封装和 PCB 的电源完整性、信号完整性和 EMC 分析。

SIwave 可帮助您建模、仿真和验证现代高性能电子产品中的高速通道和完整电力传输系统。它精确地提取千兆位 SERDES 和存储器总线，为各种设计提供产品最后签证合规性。SIwave 对完整配电网络 (PDN) 的全波提取使您能够验证噪声容限，并通过在低电压设计中的自动去耦分析确保满足阻抗分布。PCB EMI 设计检查功能 EMI Scanner 可快速扫描整个 PCB 设计，对可能导致 EMI/EMC 问题的常见布局违规行为进行全板分析，寻找可能导致 EMI 问题的违反规则的行为，在 PCB 设计阶段就采取措施规避可能的 EMI/EMC 问题风险。通过在设计过程的早期提供洞察力，显著地减少对 EMI 遵从性的验证。

应用领域：集成电路 (IC) 封装、PCB 直流分布、SI、PI、去耦电容自动优化、高速通道设计、近远场辐射、EMI/EMC。帮助工程师深刻洞察电路器件与电磁场器件的相互作用，自动考虑 PCB 板上所有

互连结构，如走线、过孔和焊盘等。

表 1: 电磁仿真功能表

SIwave 电磁场仿真解决问题		仿真效益
SI/PI 分析	Substrate noise	<p>优化 PCB Layout 结构，提高无源传输性能，并与芯片模型协同分析，提前预估 PCB 性能并改进。</p> <p>优化 PCB 的电源供电能力，去除电源传输瓶颈，降低电源阻抗，以提高电源性能及可靠性。</p> <p>对系统链路中的各种关键部性能，并提前搭建系统链路，评估并优化系统链路性能。</p> <p>对芯片封装等精细结构进行多物理分析，优化系统指标，提高封装性能。</p> <p>优化芯片的整体布局，并评估各模块之间的干扰风险，通过隔离、接地等措施提高芯片 EMC 性能。</p>
	IR/DVD Signoff	
	Signal EM Signoff	
	CPM model extraction	
	CSM model extraction	
	封装/PCB 整板 TDR 阻抗检查	
	封装/PCB 整板 Crosstalk 检查	
	复杂结构寄生参数抽取	
	基板信号及电源寄生参数抽取	
	高速信号无源 S 参数抽取	
	系统链路眼图及误码率分析	
	电源 DC 直流分析	
	电源 AC 阻抗分析	
	去耦电容自动优化	
	系统级电源纹波噪声优化	
EMC	高速总线（并行/串行）	
	通信系统链路分析	
	通信系统指标分配	
	系统模块布局分析	
	系统接地优化	
	虚拟 CE/RE/RS 等 EMC 测试	
	RFI 射频干扰分析	
数模干扰分析优化		
机箱屏蔽效能分析		
高压环境模拟及抗干扰分析		

## 2 标准和设计难点

### 2.1 项目标准

该项目需通过 GJB151B-2013 EMC 测试 RE101、RE102、RS101、RS103 标准。

### 2.2 项目难点

产品在 1GHz 以下, 1GHz-2GHz, 2GHz-3.6GHz 有多个频点不满足 RS103 标准。该项目组已经过数次改版和 EMC 测试, 但都未通过 RS103 全频带测试。

如下表所示, RS103 标准要求测试频带范围非常宽(10KHz-40GHz), 要全频带通过 RS103 标准测试, 设计难度较大。

表 2 RS103 技术要求

EUT 适用平台	频率范围	电场强度极限值 (V/m)
陆军地面	10KHz~40GHz	200
备注: 1. 电池通过负载处于放电状态中, 放电电流为 2A 2. 依据 GJB151B-2013 标准要求, 对于水平极化, 10KHz~30MHz 不适用		

## 3 解决方案

### 3.1 项目分析

整改前多次改版的 RS103 200 伏米测试情况: 209MHz-270MHz 测试不过; 1.2GHz 以上多个频段测试不过。问题反复出现, 改版效果不明显, 始终无法通过 RS103 全频段测试。

分析干扰原理: 根据保护系统原理, 检测和控制保护电路开启和关断的开关信号 WDI 电路, 及其相关的电源供电、参考地最容易受到干扰, 且是电池输出保护电路的关键电路。其他的功率回路上大电流电平信号不易受到干扰。

故重点分析对象锁定 WDI 开关信号相关电路。

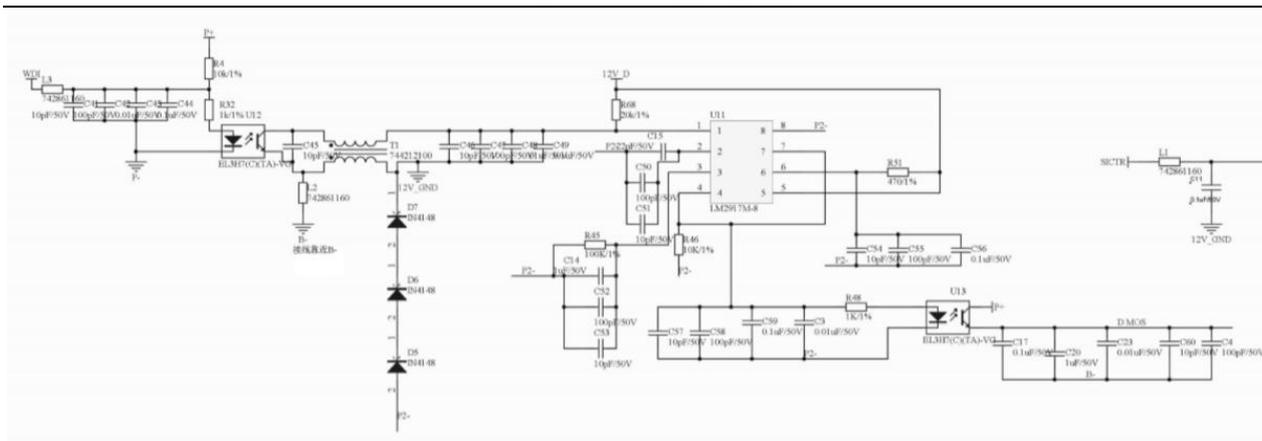


图 1 WDI 开关信号原理图

### 3.2 仿真优化

#### 3.2.1 仿真流程

结合原理分析、测试结果分析,通过仿真分析及优化,在仿真软件中模拟对比优化前后的测试结果,达到定位根因及优化措施的目的。

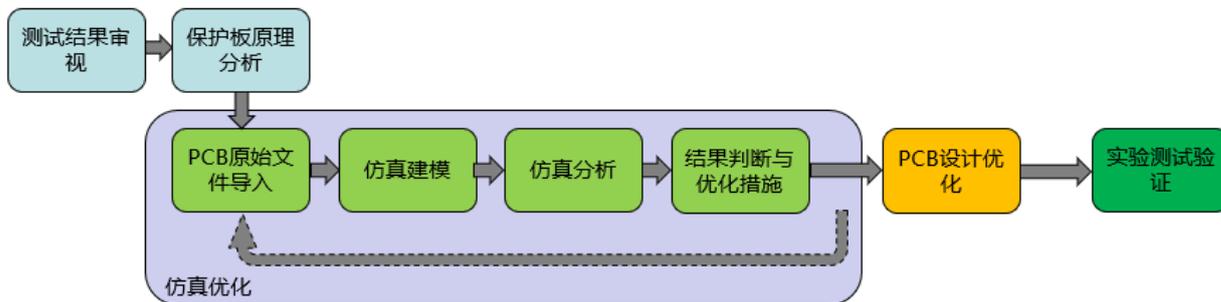


图 2 仿真流程

#### 3.2.2 仿真分析

本次整改采用 ANSYS 公司专门针对电路板电磁场分析工具 SIwave 仿真软件,该软件具有仿真精度高、与第三方 PCB 设计工具结合好、分析速度快等特点,非常适合该项目 EMC 问题的改进优化分析。

SIwave 导入整改前的保护系统 PCB,首先利用 SIwave 内置的 EMC 规则管理器对该 PCB 布局布线进行仿真扫描,得到该 PCB 布局布线上关于信号完整性/电源完整性/电磁兼容方面的风险点。

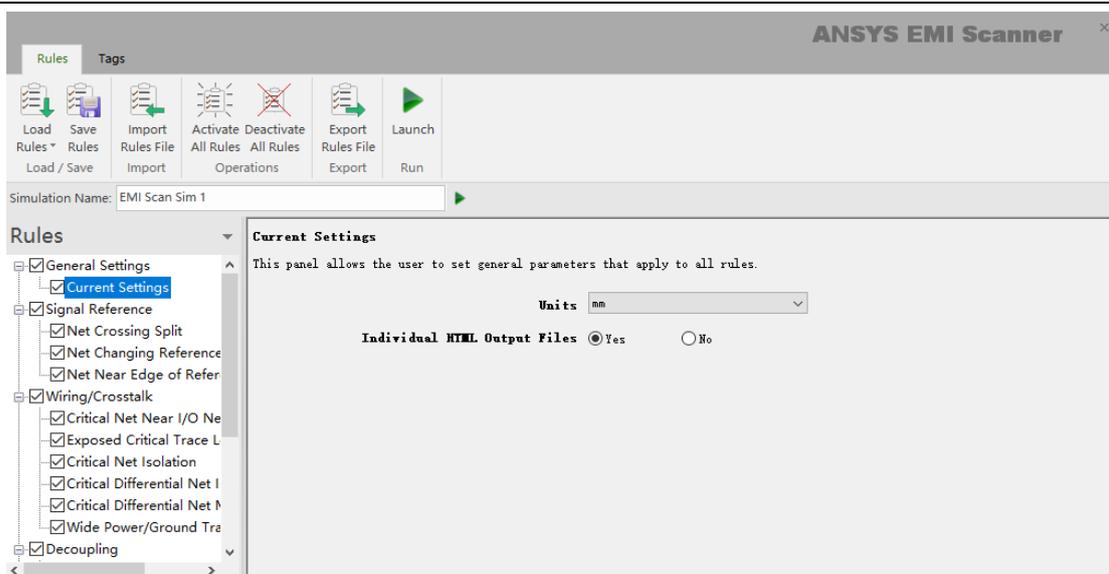


图 3 SIwave 软件内置 EMC 设计规则管理器

根据信号完整性/电源完整性/EMC 通用规则，对仿真得到的风险清单逐个进行排查标记，做好优化前准备工作。

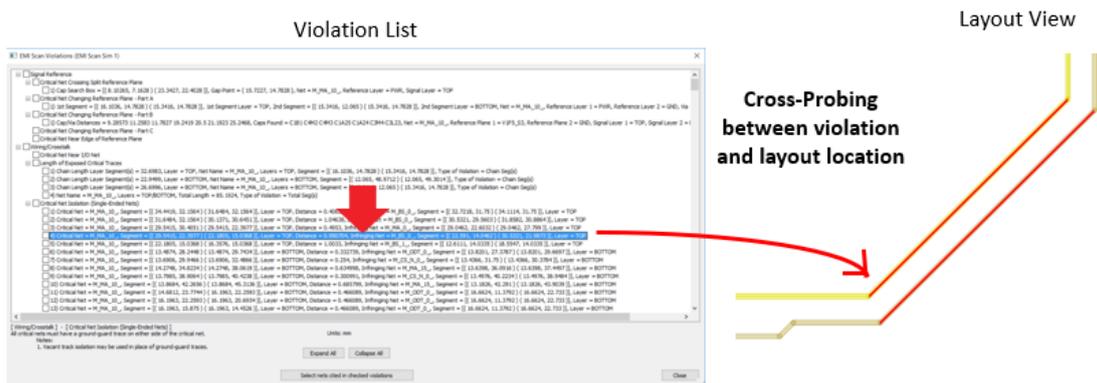


图 4 平行走线不满足 EMC 规则

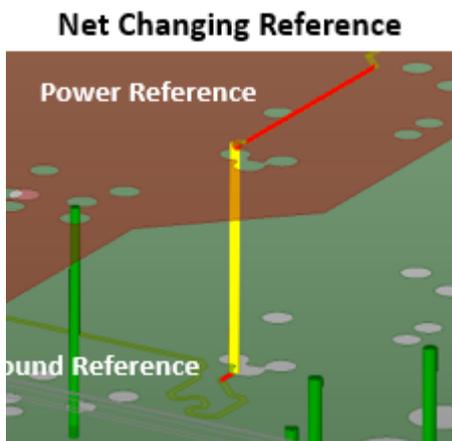


图 5 参考地改变

### Wide Power/Ground Trace Check

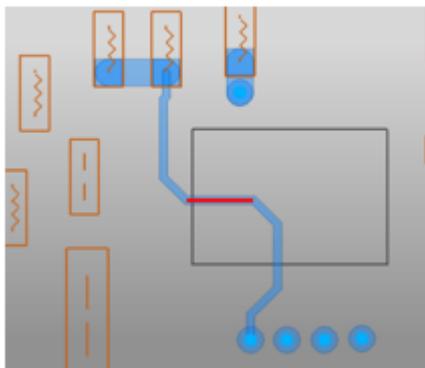


图 6 电源地走线太细

### Net to Net Coupling

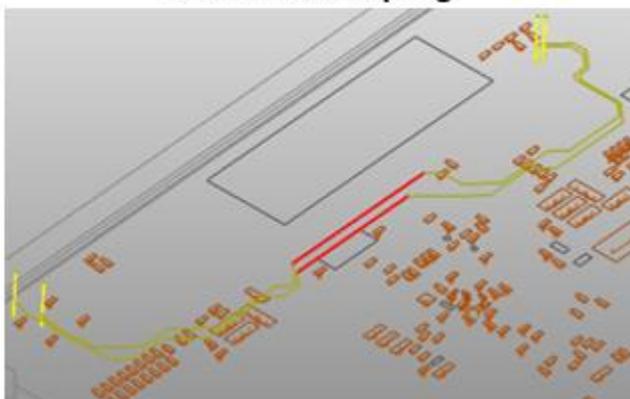


图 7 网络走线串扰

然后对 WDI 信号敏感电路进行电磁敏感度分析，选中 WDI 信号敏感电路网络，并对相应网络设置仿真端口进行仿真。仿真得到分析频谱图，从频谱图中可以看到，在某些频点上，受干扰幅值较大出现尖峰，说明在该频点保护板易受到干扰攻击（以下展示了 RS103 测试不过频点最多的一段，横轴为频率，纵轴为受干扰幅度值）。

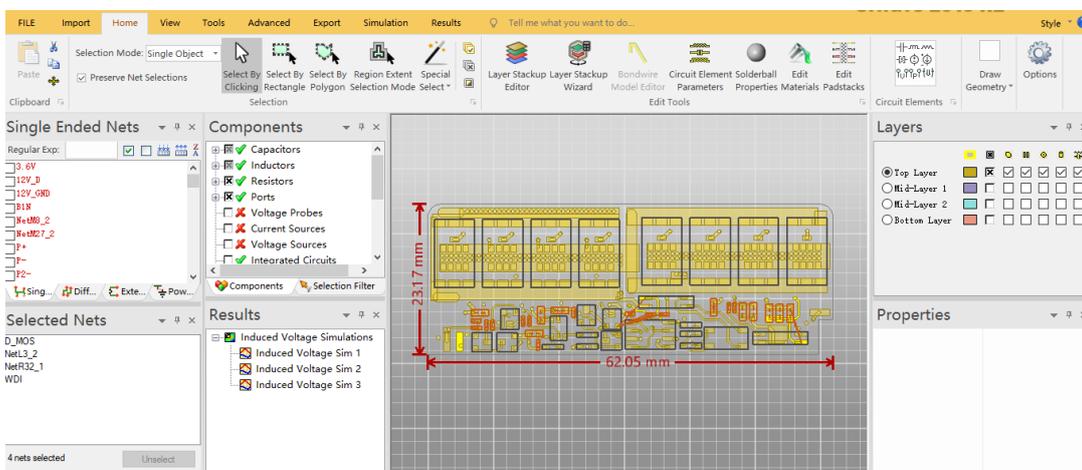


图 8 保护板 PCB 导入 SIwave 软件

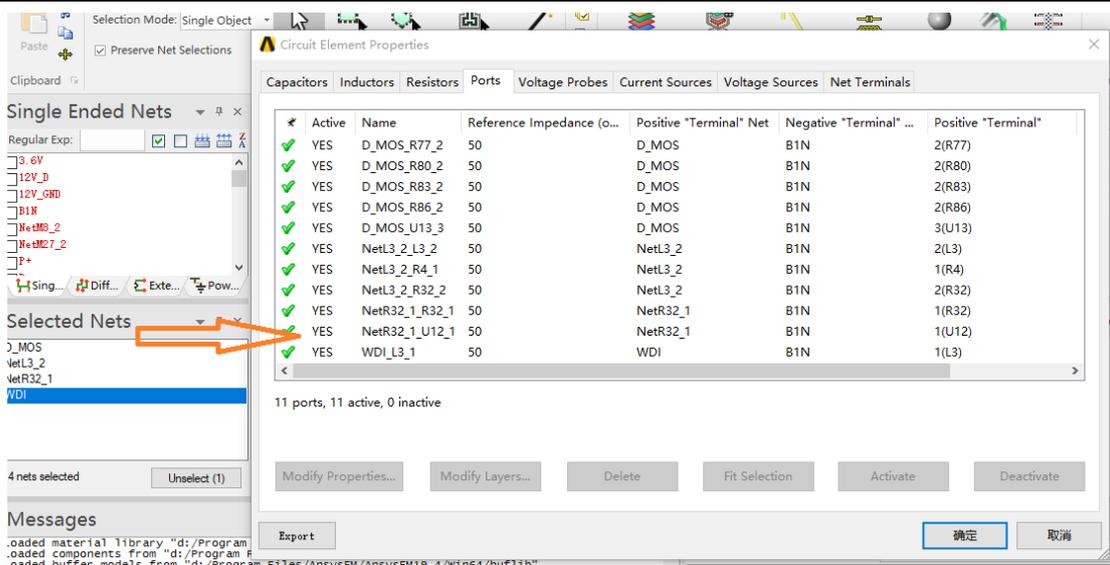


图 9 选择 WDI 相关网络进行仿真分析

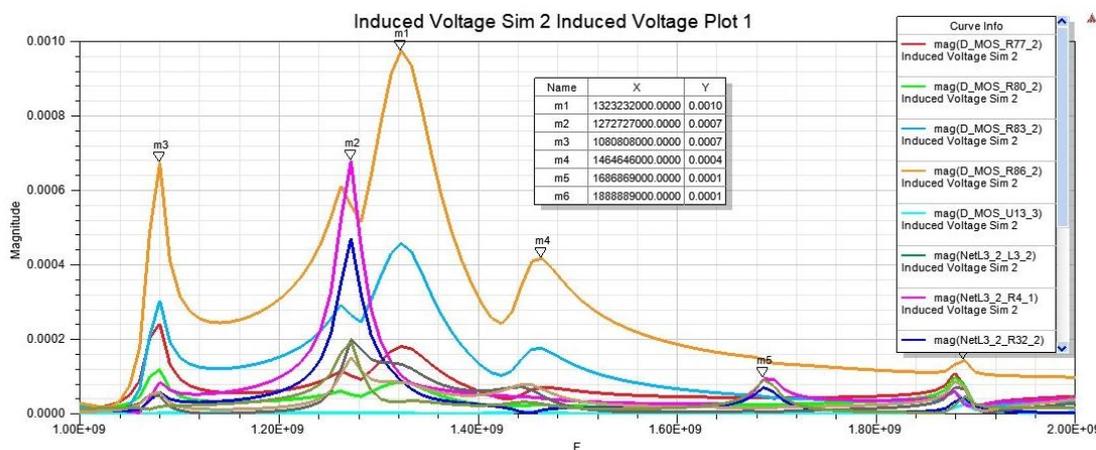


图 10 1MHz-2MHz 电磁干扰

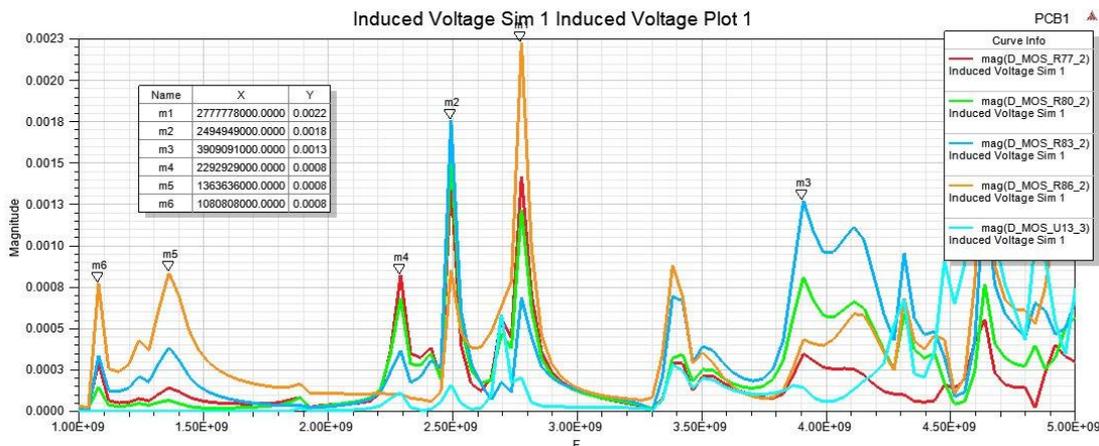


图 11 1MHz-5MHz 电磁干扰

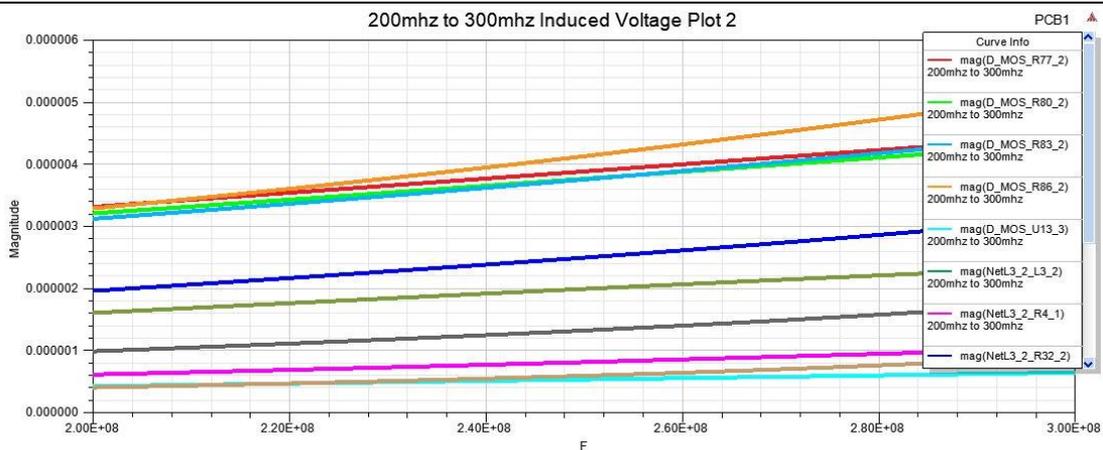


图 12 1MHz 以下频段电磁干扰

### 3.2.3 系统电路板改板

经过仿真分析，得出保护系统电路板的 EMC 风险点如下。

- 1、关键信号参考地不完整；
- 2、关键信号走线阻抗一致性不好；
- 3、关键信号电源滤波措施不够好；
- 4、关键信号走线太长，容易受到干扰；
- 5、其他无关网络信号与关键信号太近，相互干扰；
- 6、关键信号暴露在 EMC 测试敏感面；

经过多次设计优化，反复调整设计，及优化前后仿真结果对比，最终确定 PCB 改板关键优化点如下。

- 1、层数增加到 6 层，关键信号保障完整参考地，对关键信号进行隔离；
- 2、WDI、DMOS 关键链路布局到 B 面，朝内，进一步减少外界干扰；
- 3、关键信号网络滤波电容主路布局布线，就近接地，靠近输出端，保证滤波效果，增强抗干扰能力；
- 4、依电路相关性紧凑布局，信号走线最短，环路最小化，接地良好保证；

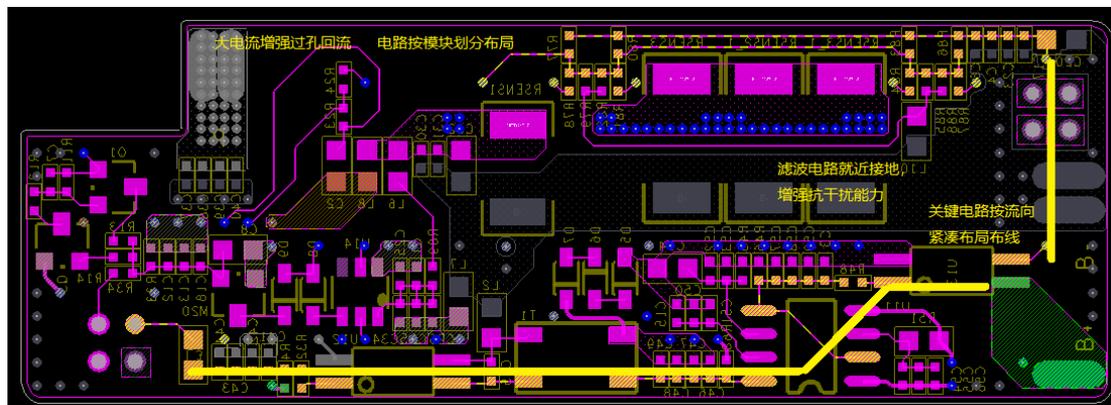


图 13 改板优化后 PCB 背面信号流向图

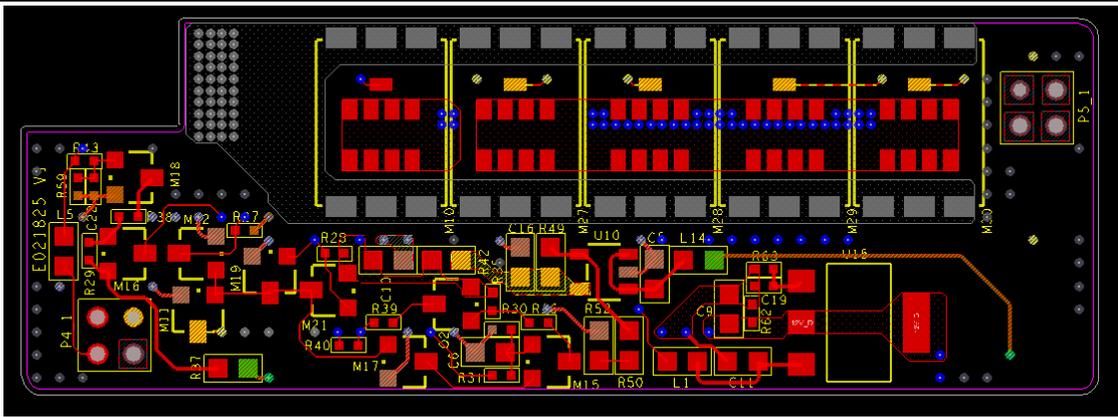


图 14 改板优化后 PCB 正面布局布线图

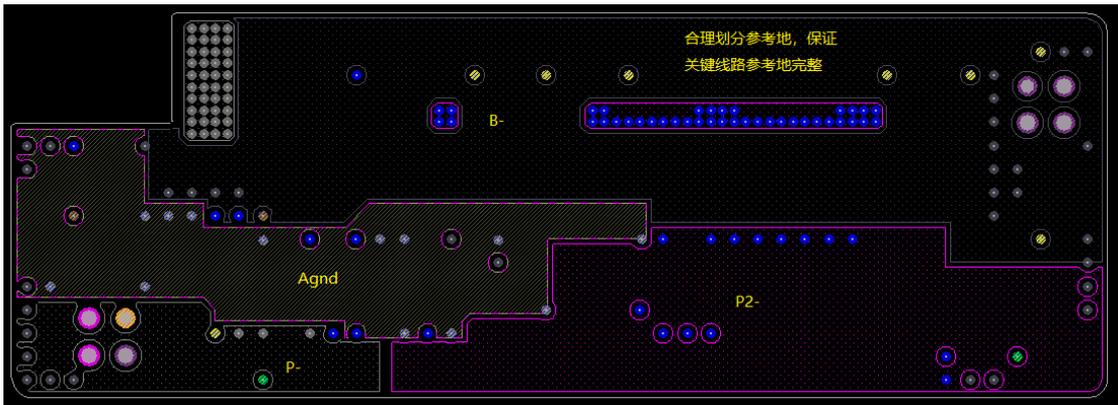


图 15 改板优化后内层电源地平面图

NOTES:

1 BASE MATERIAL: FR-4	合理增加层数, 关键
2 PLATING FINSH: HASL	信号保障完整参考
3 GREEN OIL AND WHITE WORDS	地, 对关键信号进行
4 BOARD THICKNESS: 1.2MM	隔离

LAYER STACK UP

TOP	=====	20Z+Plating
	PP 8.00 MIL	
ART02	=====	HOZ
	CORE 6.00 MIL	
ART03	=====	HOZ
	PP 10.00 MIL	
ART04	=====	HOZ
	CORE 6.00 MIL	
ART05	=====	HOZ
	PP 8.00 MIL	
BOTTOM	=====	20Z+Plating

图 16 改板优化后层叠图

### 3.2.4 整改后仿真

通过对保护板层叠、关键电路布局及布线的 EMC 优化，改板后干扰仿真结果如下图，对比改板前仿真结果幅度值可以发现抗干扰能力有较大程度提升，各频点受干扰幅值明显降低（最高点幅值降低约 3 倍）。保护板 EMC 符合度大大改善，该优化 PCB 可用于 EMC 测试。

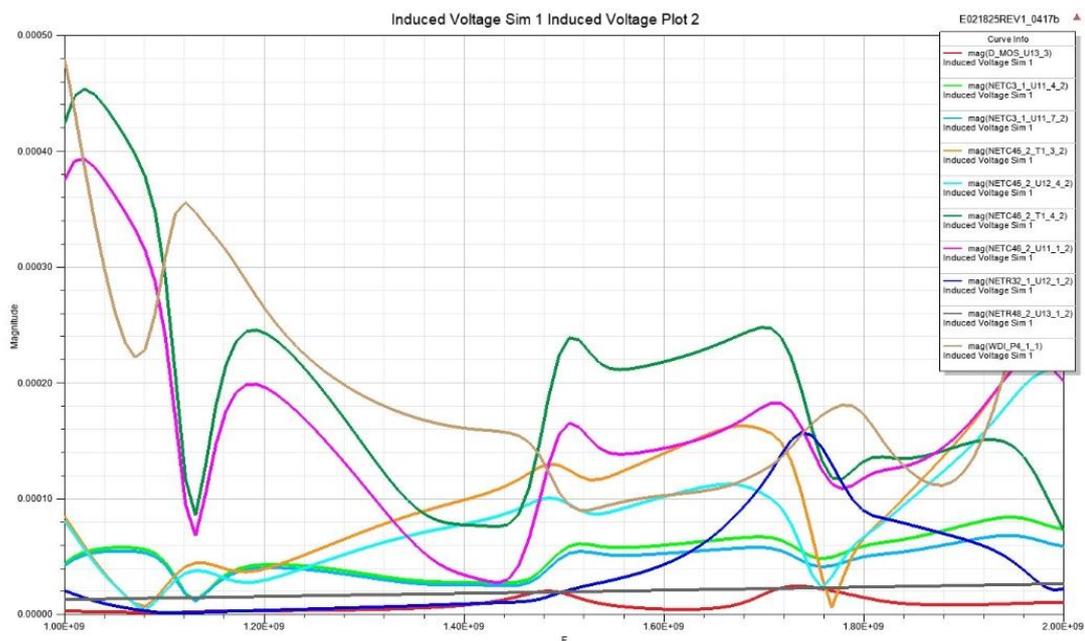


图 17 改板优化后仿真 1MHz-2MHz

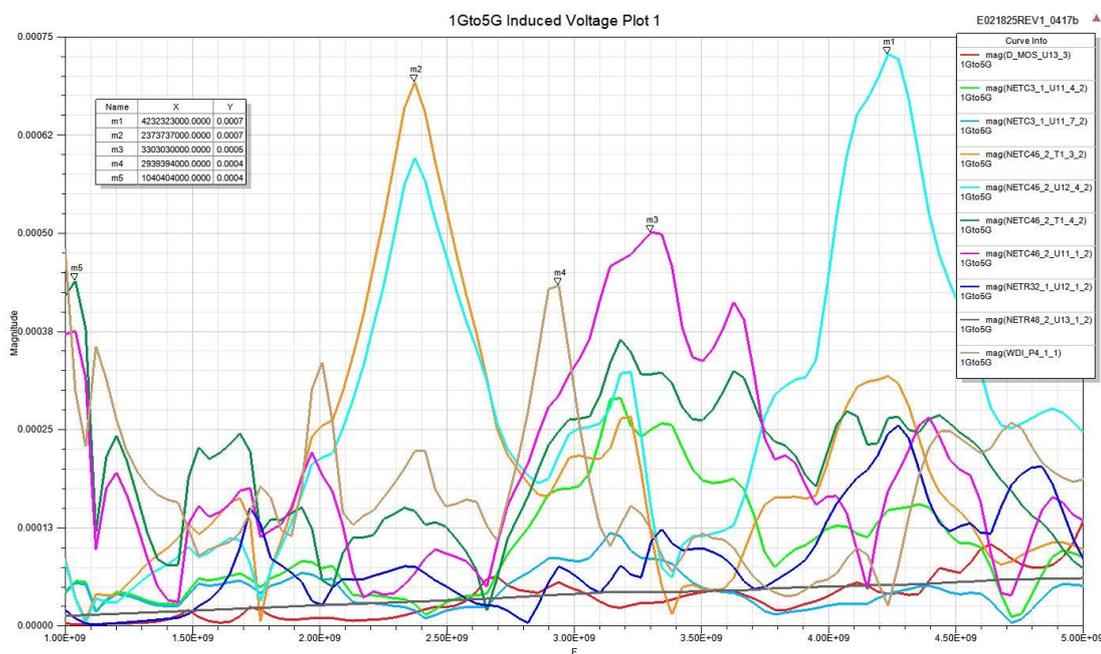


图 18 改板优化后仿真 1MHz-5MHz

## 4 测试验证

对整改后锂电池保护系统进行 EMC 测试，顺利通过 RS103 全频段标准测试，并且也通过了 RE101、RE102、RS101 测试，该项目 EMC 整改通过。

### 北京市产品质量监督检验院 检 验 检 测 报 告

No. 020-WDC190591

共 11 页 第 2 页

序号	检验项目	技 术 要 求	实测结果	单项判定
1	RE101	应满足 GJB 151B-2013 标准中图 51 对陆军飞机(内部)规定的限值要求。	通过 见附件 1	合格
2	RS101	在施加 GJB 151B-2013 标准中图 66 对陆军飞机(内部)规定的干扰时, 应满足敏感度判据要求。	通过 见附件 2	合格
3	RS103	在施加 GJB 151B-2013 标准中表 17 对陆军飞机(内部)规定的干扰时, 应满足敏感度判据要求。	通过 见附件 3	合格

图 19 测试通过报告

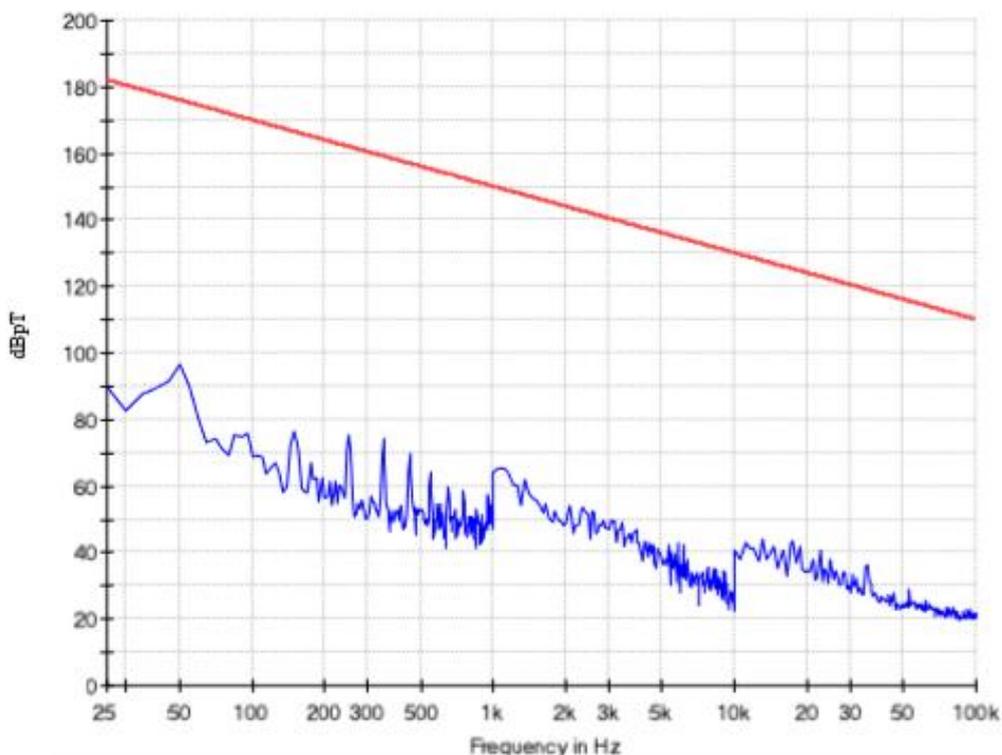


图 20 RE101 测试结果

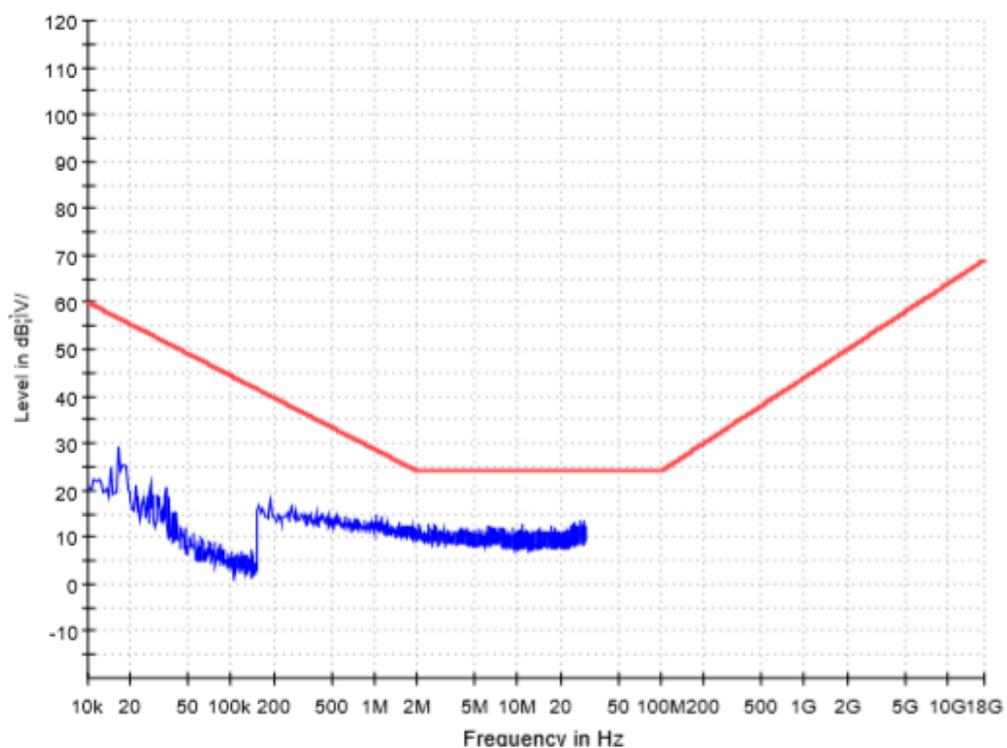


图 21 RE102 测试 10kHz-20MHz

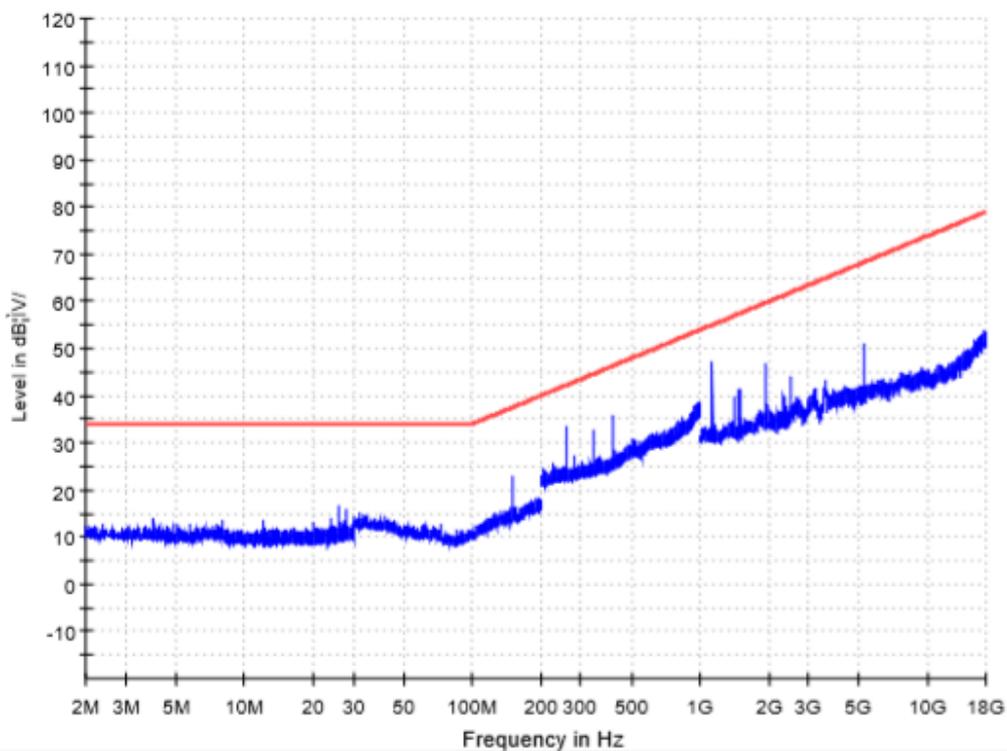


图 21 RE102 测试 2MHz-18GHz

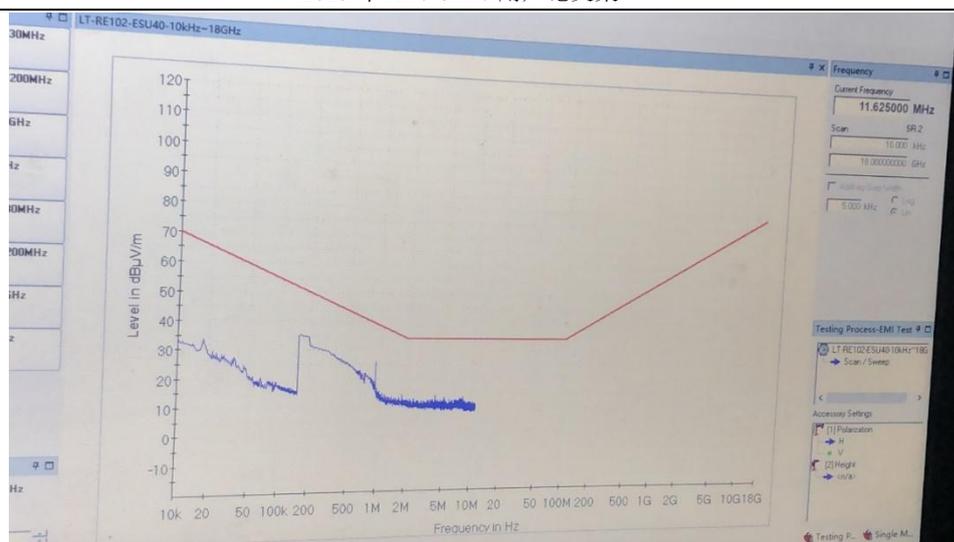


图 22 RS103 测试 10kHz-10MHz

## 5 参考文献

- [1] 林汉年编著 书名[电磁兼容原理分析与设计技术] 中国水利水电出版社 2016.8