

# 车载终端的辐射杂散整改分析

彭华睿, 招泽添, 丁娟

广电计量检测(深圳)有限公司, 广东 深圳

收稿日期: 2024年1月15日; 录用日期: 2024年2月23日; 发布日期: 2024年2月29日

## 摘要

随着电子无线通信飞速发展, 无线通信模块不仅限于手机与平板电脑, 很多生活中常用的设备也都集成了无线通讯模块, 例如手表、家用电器、车载设备终端。在认证检测中发现射频频的辐射杂散指标很容易超标, 本文将重点围绕车载终端产品产生的辐射杂散原因及整改方案进行分析。

## 关键词

辐射杂散, 传导杂散, 最大发射功率, 信道带宽

# Rectification and Analysis of Radiation Spurious Emissions in Vehicle Terminals

Huarui Peng, Zetian Zhao, Juan Ding

GRG Metrology & Test (Shenzhen) Co., Ltd., Shenzhen Guangdong

Received: Jan. 15<sup>th</sup>, 2024; accepted: Feb. 23<sup>rd</sup>, 2024; published: Feb. 29<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

With the rapid development of electronic wireless communication, wireless communication modules are not only limited to mobile phones and tablets, but also integrated into many commonly used devices in daily life, such as watches, household appliances, and car equipment terminals. During certification testing, it was found that the radiation spurious emissions indicators of radio frequency are easily exceeding the standard. This article will focus on analyzing the causes of radiation stray generated by vehicle terminal products and the corrective measures.

## Keywords

Radiated Spurious Emissions, Conducted Spurious Emissions, Maximum Transmission Power,

## Channel Bandwidth

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

### 1. 引言

发射机的重点检测目标就是辐射杂散 RSE (Radiated spurious emissions), 这一部分是决定终端好坏的主要一环, 特别是车载终端。因为测试车载终端产品是比较特殊的, 使用的集成通信模块一般都过了官方认证, 对于传导部分(包括传导功率、传导杂散等射频性能)是可以免除检测的, 只有辐射杂散需要强制检测。目前车载终端最容易出问题的就是辐射杂散检测。因此有必要对车载终端辐射杂散进行举例分析。

### 2. 辐射杂散的定义与测试目的

RSE 辐射杂散定义: 是指无线设备除开天线发射机的主频信号(工作频率信号)外, 由主频影响落在其他频率的信号为辐射杂散, 这种信号属于无用信号。进入欧洲市场的车载终端产品必须要取得 CE RED 指令证书, 在欧洲 RED 指令的测试标准中 RSE 有着非常严格的限制, 其中 2G 部分测试的频率要求从 30 MHz 到 4 GHz, 其他通信的模式测试的频率都要求从 30 MHz 到 12.75 GHz; 测试杂散功率限值 30 MHz 到 1 GHz 为 $-36$  dBm, 1 GHz 以后到 12.75 GHz (包含 2G 部分 1 GHz 到 4 GHz)限值为 $-30$  dBm [1]。

检测目的: 验证车载终端发射机天线端由于主频震荡(傅里叶变换出来的信号)的谐波信号, 以及与其他模块交调出来的信号能量, 不能影响到其他工作频率的正常运行, 这种无用发射信号对于其他频率来讲就是干扰信号, 因此, 这种干扰信号需要进行非常细致的测试, 并严格按照标准来进行判定是否符合要求。

### 3. 车载终端辐射杂散测试与结果分析

在欧洲标准测试中 RSE 问题很常见, 但很多人把 RE (Radiated Emission)与 RSE 容易混淆, RE 是电源端口或者是其他端口连接线辐射出来杂波信号; 而 RSE 是终端样机天线辐射出来的杂波信号, 那么车载终端的 RSE 问题大多都出现在 2G GSM 模式下[2] [3]。

下面以 GSM 900MHz 为例, RSE 具体测试按照如下设置进行操作。

1) 首先将 EUT(被测终端)按照下图 1, 根据 3GPP 51.010-1 国际标准要求搭建测试环境(必须在全电波暗室搭建测试环境)。

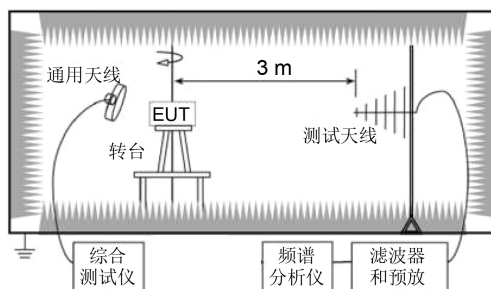


Figure 1. Test photo  
图 1. 测试布置图

- 2) 将 EUT(被测物)放置测试转台上, 并调整测试高度为 1.5 米, 确定测试天线与 EUT 距离为 3 米距离。
- 3) 通过综合测试仪(BS)与 EUT 进行连接, 在连接完成后, 将 BS 的功率控制等级调到最大, GSM 900MHz 等级为 5, 控制被测 EUT 功率最大发射。
- 4) 在测试软件中导入需要测试的限值, 将测试天线端的路径损耗加入到测试系统中, 旋转 EUT 一周, 调整天线垂直于水平极化的方向。
- 5) 在频谱分析仪中观察所有的杂散点信号, 记录下最大的杂散信号的值, 超出限值的信号点需要重点记录。

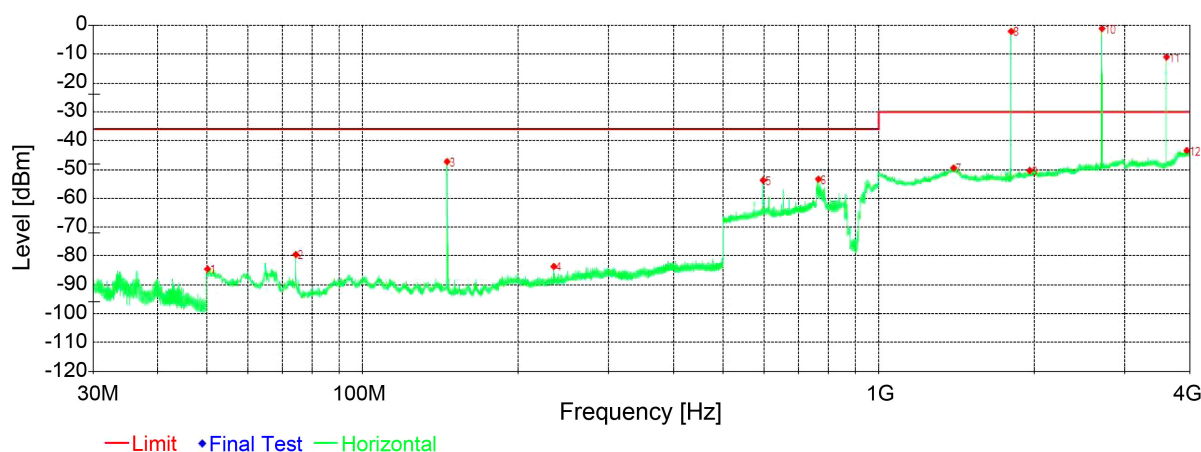


Figure 2. Test results for GSM  
图 2. GSM RSE 测试结果

测试结果分析:

上图 2 的测试结果为车载 T-box 2G GSM 的测试结果, 被测样品的主频为 900 MHz, 可以看出 30 MHz 到 1 GHz 并没有的杂散信号超出标准限值, 而最后面三个杂散信号都严重超出标准限值, 这三个杂散信号依次是二次(1804.7 MHz)、三次(2707.3 MHz)、四次(3609.3 MHz)谐波。二次谐波(1804.7 MHz)功率为-2.04 dBm, 三次谐波(2707.3 MHz)功率为-1.05 dBm, 四次谐波(3609.3 MHz)功率为-10.94 dBm, 比标准限值-30 dBm 分别高了 27.96 dB, 28.95 dB 和 19.06 dB。

其中三次谐波信号的值达到了-1.05 dBm, 这个测试值是非常恐怖的结果, 在同频干扰的条件下一般干扰信号达到-10 dBm, 就可以使工作在此频率的终端完全停止通信, 也就是说谐波这么高, 相同频率的周边通信设备根本无法正常通信。

#### 4. RSE 产生的原因以及推理分析

车载通信系统中 RSE 杂散信号产生的原因有很多, 比如说射频模块之间的互调、PA 非线性信号、天线布局、PCB 布局、排线和元器件干扰都会产生杂散, 由于辐射杂散是由天线通过无线空间传播出去的, 因此可能辐射杂散干扰的点是多种多样的。但主要可归纳为: 天线端口, 射频模块, 电源线, 射频模块附近元器件等[4]。

其中杂散信号最主要的为谐波信号, 谐波产生的根本原因是由于非线性负载所致。谐波频率是基波(调制波)频率的整数倍, 任何重复的波形都可以分解为含有基波频率和一系列为基波倍数的谐波的正弦波分量。谐波为正弦波, 每个谐波都具有不同的频率, 幅度与相位角。

特别是 GSM 900MHz 的通信模块, 最大的功率可以达到 38 dBm, 单个信道的占用带宽在 200 kHz 到 250 kHz 之间, 这种模式功率大而带宽窄的条件下, 谐波本来就难以控制, 在加上车载终端内部布局的复杂, 谐波就更是难以处理[5]。

为什么要去除掉 RSE 呢? 其实 RSE 最直接的影响就是干扰在其他信道工作的通信终端, 因为在其他任何信道上如果有一个非常大的非法信号, 附近的通信终端刚好工作在相邻信道上, 那么这种信号的干扰将会使正在工作的通信终端停滞, 使其无法工作, 经过试验得出同频干扰的信号一旦达到-10 dBm, 那么就会导致通信中断连接。

另一方面, 根据功率守恒定理, 如果在相邻信道上比较大的泄露功率, 那么主信道的功率就会减小, 通信系统的效率就会比较低, 从而造成自身比较大的功耗问题。

## 5. 车载终端 RSE 的整改案例

从上面的车载终端 RSE 产生的原因分析, 通过试验排除法查找原因, 具体方法分四部分情况:

第一、射频模块之间天线的互调产生的谐波: 本车载终端产品的天线采用的 2G、3G、4G 天线和 GNSS (全球定位系统) 天线是一体化设计, 天线之间靠得比较近, 很容易产生 2G、3G、4G 天线与 GNSS 天线产生互调。图 3 我们在车载终端拆除 GNSS 天线后再次复测 GSM 900MHz 频段的二次、三次和四次谐波分别为-4.37 dBm, -3.08 dBm 和-11.79 dBm。拆除 GNSS 天线后, GSM 900MHz 的杂散只有 1 到 2 db 的改善, 说明射频模块之间天线的互调产生的谐波不是 GSM 900MHz 频段产生杂波信号的主要原因。

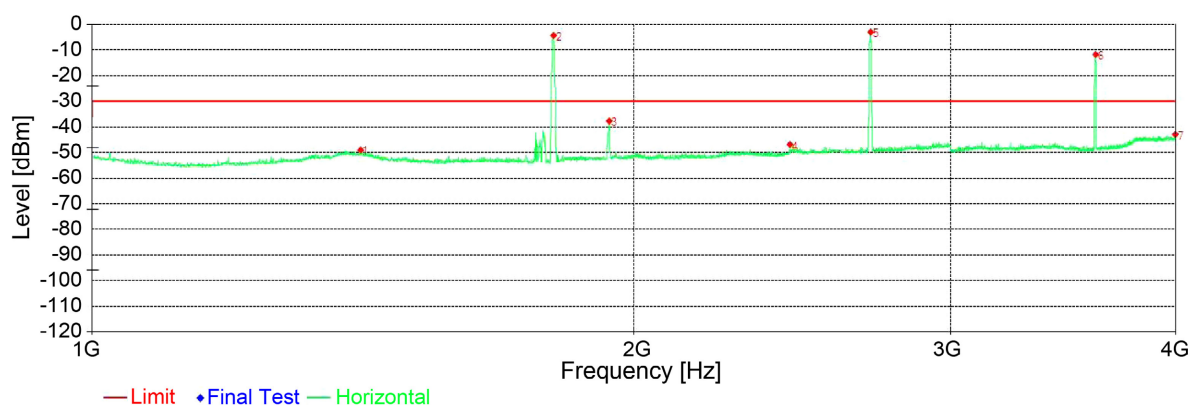
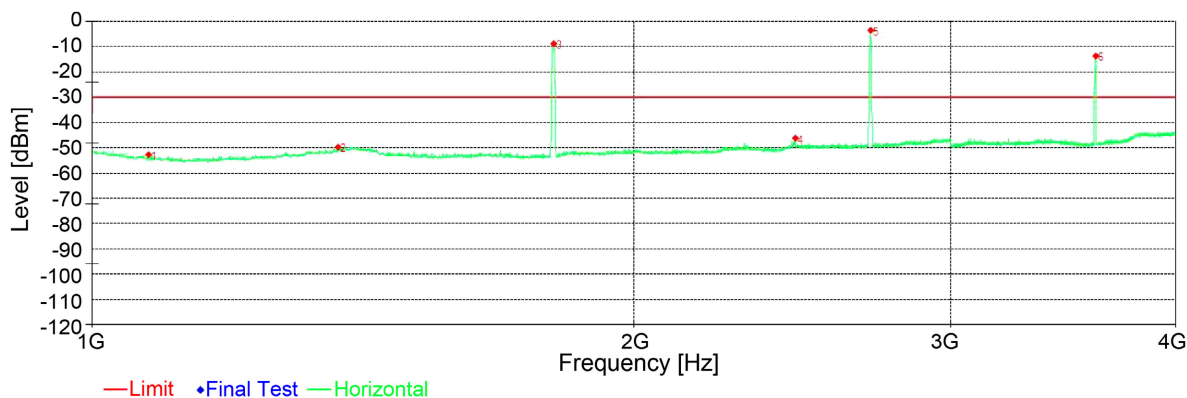


Figure 3. Test GSM 900MHz RSE results after removing GNSS antenna  
图 3. 拆除 GNSS 天线后测试 GSM 900MHz RSE 结果

第二、射频 PA 非线性信号产生谐波信号: 本车载终端采用装配 234G 模组来实现 234G 网络功能的, 有可能由于 GSM 900MHz 频段的 PA 没有校准功率过大, 导致 PA 产生非线性信号从而产生谐波信号, 或者 PA 的其他参数没有经过校准而产生的谐波信号。我们要通过测试 GSM 900MHz 的传导功率和传导杂散是否正常来查找车载终端的 RSE 产生的原因。经常过测试 GSM 900MHz 的传导功率为 32.62 dBm, GSM 900MHz 的功率是正常的; 测试 GSM 900MHz 频段的传导杂散二次、三次、四次谐波都有 25 db 以上的余量, 说明 234G 模组的 GSM 900MHz 频段 PA 是正常的, 没有产生非线性信号的谐波信号。

第三、PCB 布局、排线和元器件干扰都会产生杂散与天线耦合产生的谐波信号: 我们整改方式是用铜箔包裹主板的关键的电源、IC 器件, 屏蔽掉主板上发的干扰信号。并且让车载终端主机部分远离终端的天线, 再一步降低车载终端主板上的元器件与天线产生耦合的可能性。图 4 测试 GSM 900MHz 频段的 RSE 二次、三次和四次谐波分别为-8.87 dBm, -3.58 dBm 和-13.79 dBm, 距离标准限值-30 dBm 还有一大段距离。说明 PCB 布局、排线和元器件干扰都会产生杂散与天线耦合产生的谐波信号的原因是不成立的。



**Figure 4.** Test GSM 900MHz RSE results after wrapped the motherboard with copper foil and placing the host part away from the antenna

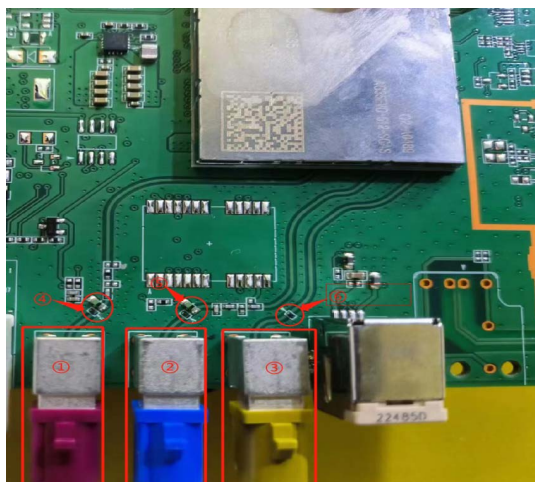
**图 4.** 用铜箔包裹主板将主机部分远离天线后测试 GSM 900MHz RSE 结果

第四、由于 234G 模块已经做过 CE 认证检测的，说明了 234G 模块是 RSE 是没有问题，但是 234G 和 GNSS 模组与天线端口之间增加了防静电电路和 ESD(静电释放)器件如图 5，有可能防静电电路和 ESD 器件会影响到天线的阻抗特性，从而导致天线会产生谐波信号。我们采用排除法拆除①2、3、4G 主集天线端口射频线路上的④防静电电路的电感，测试 GSM 900MHz 频段 RSE 的谐波信号，如图 6 所示，GSM 900MHz 的二次谐波和四次谐波都下降到-30 dBm 以下且余量充足，三次谐波的功率值为-4.17 dBm，还是需要进一步整改。

在除去④防静电电路的电感的基本上再去除④处的 ESD 器件，复测测试 GSM 900MHz 频段 RSE 的谐波信号，如图 7 所示，三次谐波信号也有明显的下降，其功率值为-30.99 dBm，余量不足 1 dB，所以还需要进一步的整改。

在除去②GNSS 天线端口处的⑤防静电电路的电感、ESD 器件和③234G 分集的天线端口处的⑥ESD 器件，再次复测 GSM 900MHz RSE 的谐波杂散，如图 8 所示 GSM 900MHz 频段的三次谐波“消失”了，功率为-45.18 dBm，余量有 15.18 dB。

从以上整改及测试的过程中看，GSM 900MHz 频段 RSE 的谐波信号产生的原因是 2、3、4G 与 GNSS 模组的天线匹配电路上加入了防静电电路和 ESD 器件，导致了天线的匹配阻抗与模组射频阻抗失配。



**Figure 5.** RF circuit of the EUT Mainboard

**图 5.** EUT 主板的射频线路

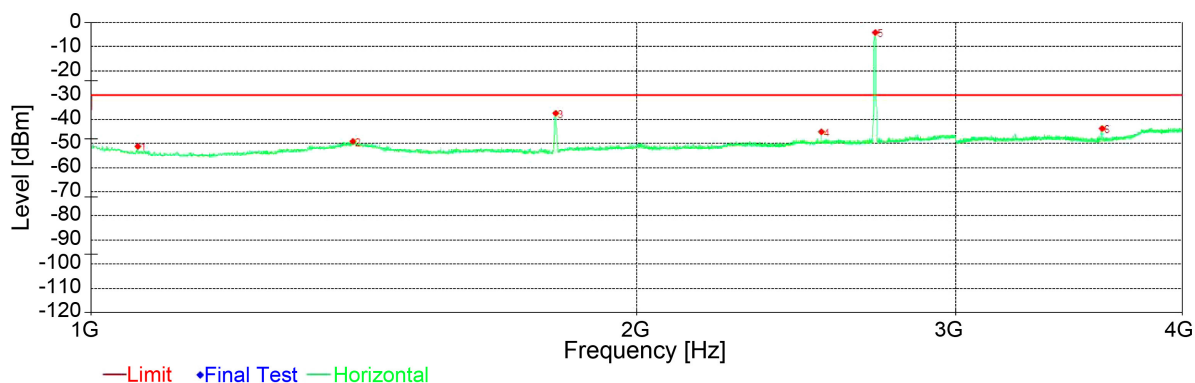


Figure 6. RSE result after removing antistatic inductors  
图 6. 拆除防静电电感整改 RSE 结果

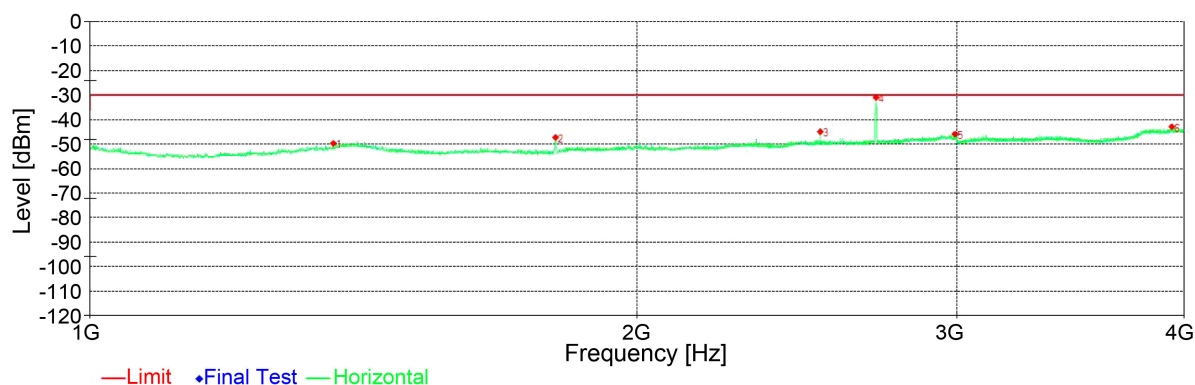


Figure 7. RSE rectification results after removing ESD components from the ESD circuit  
图 7. 防静电电路中拆除 ESD 元器件整改 RSE 结果

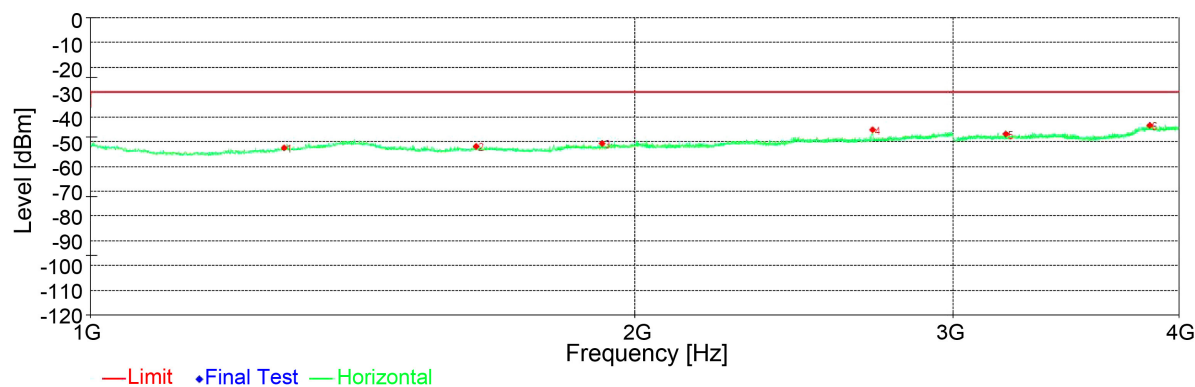


Figure 8. RSE rectification results of removing inductors and ESD components at the main and diversity sets and GNSS antennas  
图 8. 拆除主集、分集以及 GNSS 天线处的电感与 ESD 元器件整改 RSE 结果

在只去除天线端口与模组间的防静电电路和 ESD 器件后，重新测试 GSM 900MHz 频段的 RSE，如图 9 所示，GSM 900MHz 频段 30 MHz 到 4 GHz 的 RSE 已经可以满足 3GPP 51.010-1 章节 12.2.1 的要求，并且 RSE 杂散信号的余量也非常完美。我们也验证了去该防静电电路和 ESD 器件是否导致 EMC 的静电放电测试会不通过，我们按照 EN 301 489-1 标准测试接触放电 $\pm 2$  kV、 $\pm 4$  kV 和空气放电 $\pm 2$  kV、 $\pm 4$  kV、 $\pm 8$  kV 都可以顺利通过。

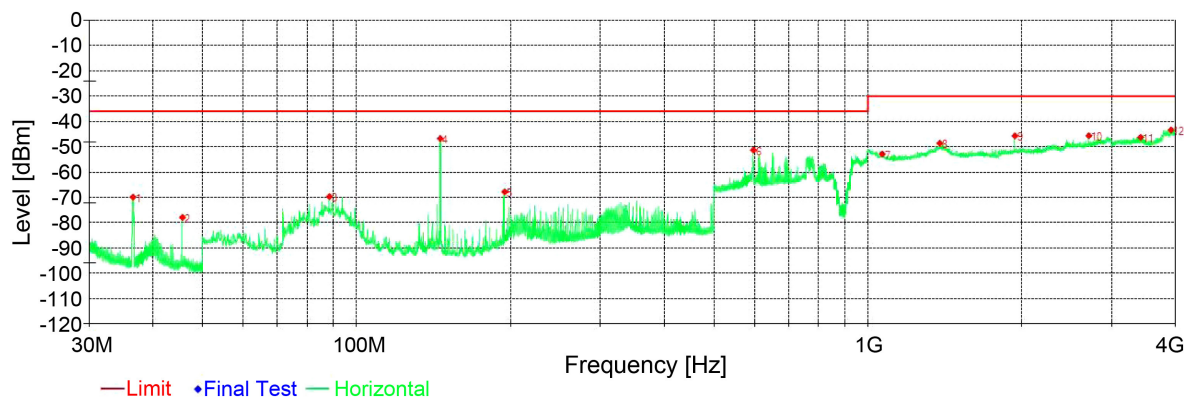


Figure 9. RSE results of the whole frequency band retested after rectification

图 9. 整改后复测整个频段的 RSE 结果

## 6. 结语

从车载终端 RSE 测试结果以及整改的过程来看, 谐波信号是最容易出问题的地方。整改谐波信号前要先分析其产生的原因, 再根据其可能产生的原因进行整改, 验证整改的方法是否有效。其次是分析查验整改后是否会产生其他副作用, 如果整改没有产生副作用才能完成整改。这样才能保证车载终端的信号在各种环境下处于正常状态的传输。

从上述测试结果以及分析来看, 防静电元器件应该远离射频天线端匹配电路, 若是在天线中一个干净的匹配电路中间加上其它元器件一定会将 RSE 的谐波增大, 谐波信号过大势必会导致其他通信终端的运行中断, 如果被干扰的这种通信终端是航天、船舶等公共设备那么会有很大的事故发生, 这种事故是无法预估的, 所以终端的杂波信号必须得到严格的控制, 也只有这样才能预防由于通信杂波信号带来的危害[6]。

## 参考文献

- [1] ETSI (2020) Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+) (GSM); Mobile Station (MS) Conformance Specification; Part 1: Conformance Specification (3GPP TS 51.010-1 version 13.11.0 Release 13). [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/151000\\_151099/15101001/13.11.00\\_60/ts\\_15101001v131100p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/151000_151099/15101001/13.11.00_60/ts_15101001v131100p.pdf)
- [2] ETSI (2023) IMT Cellular Networks; Harmonised Standard for Access to Radio Spectrum; Part 1: Introduction and Common Requirements; Release 15. [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/301900\\_301999/30190801/15.02.01\\_60/en\\_30190801v150201p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301900_301999/30190801/15.02.01_60/en_30190801v150201p.pdf)
- [3] 艾伦·V.奥本海姆, 艾伦·S.威尔斯基, S.哈密得·纳瓦卜. 信号与系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 2020.
- [4] 啜钢, 王文博, 常永宇, 全庆一, 高伟东. 移动通信原理与系统[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2019.
- [5] 程佩青. 数字信号处理教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.
- [6] ETSI (2022) ETSI TS 138.521-1: 5G; NR; User Equipment (UE) Conformance Specification; Radio Transmission and Reception; Part 1: Range 1 Standalone (3GPP TS 38.521-1 version 17.4.1 Release 17). [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/138500\\_138599/13852101/17.04.01\\_60/ts\\_13852101v170401p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138500_138599/13852101/17.04.01_60/ts_13852101v170401p.pdf)