

摘要：现有电子产品越来越重视电磁兼容性设计。由于设计复杂，多数产品不能一次性通过电磁兼容测试，需要经优化设计后才能通过。针对北斗船载终端按 GB/T10250-2007 进行电磁兼容性测试时，在 156MHz ~ 165MHz 频率范围内出现电磁辐射电平超标问题，本文通过对辐射信号产生机理进行分析，确定电磁辐射源和辐射传导路径，并根据不同辐射源采取相对应的整改措施，保证终端的电磁兼容性能。试验结果表明，采取的电磁整改措施很好解决了该终端电磁辐射电平超标问题。

关键词：北斗船载终端；电磁兼容性；电磁辐射

中图分类号：TN962

文献标识码：A

文章编号：1006-883X(2018)10-0031-05

收稿日期：2018-09-03

北斗船载终端的电磁兼容优化设计

刘开进

福建星海通信科技有限公司，福建福州 350008

一、引言

现代舰船装备了大量电子设备，使得船载平台上的电磁环境越来越复杂。因此，船载平台的电磁兼容问题越来越受到关注，为了使各类船用电子产品在船载平台能互相之间没有影响地工作，GB/T10250-2007《船舶电气与电子设备的电磁兼容性》对船用电子产品的电磁兼容性（Electromagnetic Compatibility—EMC）的要求做了统一规定。

现代电子产品越来越重视电磁兼容性设计，而电磁兼容性设计是个复杂的技术工作，多数产品都不能一次性通过电磁兼容性的相关项目测试^[1]，均需要根据测试结果对电路或结构进行整改和优化设计，然后才能通过全部项目的电磁兼容性测试。北斗船载终端是我司研制的国内首款集北斗^[2]和海事卫星^[3]于一体的北斗海事双模一体机，它集成了海事卫星电话和北斗卫星定位导航等，实现语音通信、北斗短信、导航定位、电子海图等功能。它主要由显控单元、北斗通信单元、海事卫星单元、线缆等组成。在北斗船载终端研制过程中就充分考虑到渔船的电磁环境复杂性和 GB/T10250-2007 的相关要求，开展了产品电磁兼容性设计。虽然北斗船载终端在电路设计、PCB 设计、结

构设计过程中都进行了电磁兼容性设计，但由于电磁干扰问题的复杂性，在样机第一次进行电磁兼容性测试时还是出现了电磁辐射电平超标问题。

本文针对北斗船载终端存在的电磁兼容超标问题，通过对电磁辐射产生原因进行分析，确定了电磁辐射源和辐射传导路径，并根据不同的辐射源采取了相对应的整改措施，保证了北斗船载终端最终的电磁兼容性能。

二、北斗船载终端原理简介

北斗船载终端由显控单元、北斗通信单元、海事单元和各连接电缆组成，如图 1 所示。

北斗通信单元把接收到的北斗和 GPS 位置信息、北斗短报文信息通过北斗电缆传送给显控单元进行显示，同时北斗通信单元也接受显控单元送来的北斗一代的短报文信息并完成发射。海事单元把接收到的海事卫星信号并解调出语音信号，然后通过海事电缆送入显控单元，同时海事单元把显控单元送来的语音信号进行调制放大后发送给海事卫星，实现语音通信功能。显控单元通过按键和显示屏实现人机交互功能，通过与北斗通信单元、海事单元相连接，完成位置显示、

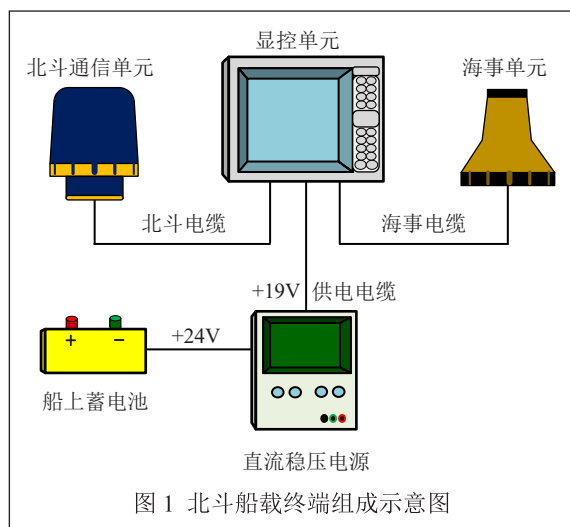


图 1 北斗船载终端组成示意图

短报文通信、海事卫星电话通信等功能。

北斗通信单元由天线、射频模块、基带板、电源电路等组成，它的主要作用是接收北斗定位信号和 GPS 的信号并解析出位置信息，以及接收和发射北斗一代的短报文信息。

海事单元由天线、海事核心模块、电源电路、语音转换电路、控制电路及以太网控制电路等组成，主要实现 Inmarsat 系统海事卫星信号的收发和语音处理。

显控单元主要由显控板（包括电源电路、语音电路、ARM 电路、音频功放电路等）、按键板、接口板、显示屏等组成。显控单元通过接口板上与北斗通信单元、海事接发单元相连，完成位置显示、短报文的发送和接收、语音通信等功能。电源电路是把输入供电电源转换^[4]成显控单元各电路所需的电源，以及海事单元和北斗通信单元所需的供电电源。ARM 电路主要完成人机交互功能（包括按键输入、各类信息显示等）、各类信息处理等功能，通过 USB 接口可实现下载地图以及程序下载等操作。语音电路主要是将海事单元送来的模拟语音进行二线转四线^[5]处理，然后送入话柄播放，并把话柄拾取的话音发送给海事单元。

三、电磁辐射分析与对策

北斗船载舰载终端研制样机在某产品质量检验研究院按照 GB/T10250-2007 进行了电磁兼容性检测，测试频率范围为 30MHz~300MHz。检测结果发现电磁辐

射电平超标，实际测试曲线如图 2 所示。

GB/T10250-2007 对船用电子产品辐射电平规定限值是在 30MHz~300MHz 频率范围内，辐射电平应不超过 54dB 内，156MHz~165MHz 频率范围内，辐射电平应不超过 24dB 内^[6]。从图 2 可以看出，北斗舰载终端在 30MHz~156MHz 频率范围内的最大辐射电平值为 49dB（如图 2 中的①所指的尖峰值），在 156MHz~165MHz 频率范围内的最大辐射电平值为 40dB（如图 2 中的②所指的峰值），在 165MHz~300MHz 频率范围内的最大辐射电平值为 47dB（如图 2 中的③所指的尖峰值）。对照标准要求可知，北斗舰载终端在 156MHz~165MHz 频率范围的辐射电平比标准要求要高出 16dB μ V/m，该辐射电平将对船舶自动识别系统（AIS）造成干扰。

1、确定干扰源

众所周知，解决电磁辐射问题的手段一般有两种，一是消除或抑制辐射源，也就是对电路进行优化设计，减少辐射源的对外辐射能量；二是阻断干扰途径，也就是从结构上进行改进设计，加强电磁屏蔽，抑制辐射。因此解决辐射电平超标问题，首先要找到辐射干扰源，理清辐射干扰途径，然后采取措施消除或抑制辐射源和阻断干扰途径。

根据电磁辐射原理，产生辐射干扰源的电路多是一些振荡电路和数字电路。对应图 1 所示的北斗船载终端构成，海事单元内部有海事卫星专用的射频发射电路、接收电路以及电源电路等；北斗通信单元内部有北斗卫星发射模块、接收电路、定位信息处理电路以及电源电路等；显控单元内部有电源电路、数字信

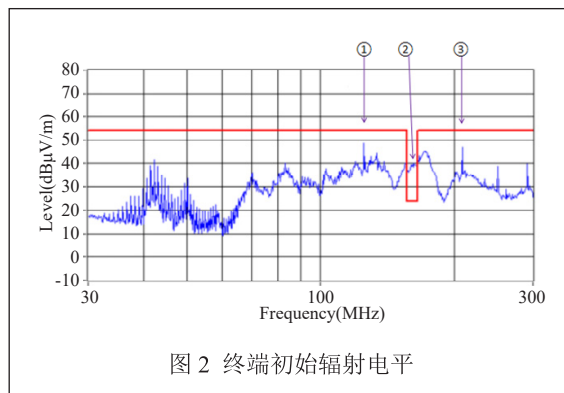


图 2 终端初始辐射电平

号处理电路等。这些电路都不可避免地产生电磁辐射。换言之,显控单元、北斗通信单元、海事单元都可能存在电磁辐射超标的隐患。在北斗终端方案设计时,确定显控单元、北斗通信单元、海事单元等采用压铸铝结构,提高设备的屏蔽效能。显控单元由于要安装显示屏和按键,需在铝壳上开窗口,因此将出现电磁缝隙泄漏;而北斗通信单元、海事单元的所有电路均安装在密封的铝壳中,内部电路产生的辐射也将被抑制在铝壳内,对外辐射较小,因此把辐射电平超标的整改方向确定在显控单元上。

2、电源电路分析

显控单元的电源电路主要是将输入电源转换成显控单元各电路所需的电源,以及海事单元和北斗通信单元所需的供电电源,主要有+56V、+12V、+5V和+3.3V等。北斗船载终端外部输入的供电电源为+12V~+32V,它通过各种单片集成开关转换芯片,变换为所需的各种电源。这些芯片内部都集成了振荡器和开关功率转换电路,它们产生的能量与显控单元内部其他电路相比较更大,因此,电源电路作为重点辐射干扰源也需要进行电磁兼容性整改。

北斗船载终端设备是在156MHz~165MHz频率范围内出现辐射电平超标的,因此需要针对各电源芯片工作频率的谐波进行分析。

(1) LT3758 芯片

海事单元的供电电源要求为+56V/500mA,要将输入电源(+12V~+32V)升压至+56V,并能提供500mA以上的带载能力。这里选用凌特公司的LT3758芯片实现电源转换,选取的芯片工作开关频率为300kHz,可以计算出它的开关频率的520~550次谐波频率为156MHz~165MHz,即LT3758芯片工作时,它的高次谐波会落在156MHz~165MHz频率范围内。

(2) TPS5420 芯片

显控内部电路所需的+12V电源采用TPS54系列芯片TPS5420实现。设计时选取的芯片工作开关频率为500kHz,其工作频率的312~330次谐波频率为156MHz~165MHz,也会落在156MHz~165MHz频率范围内。

(3) LT3508 芯片

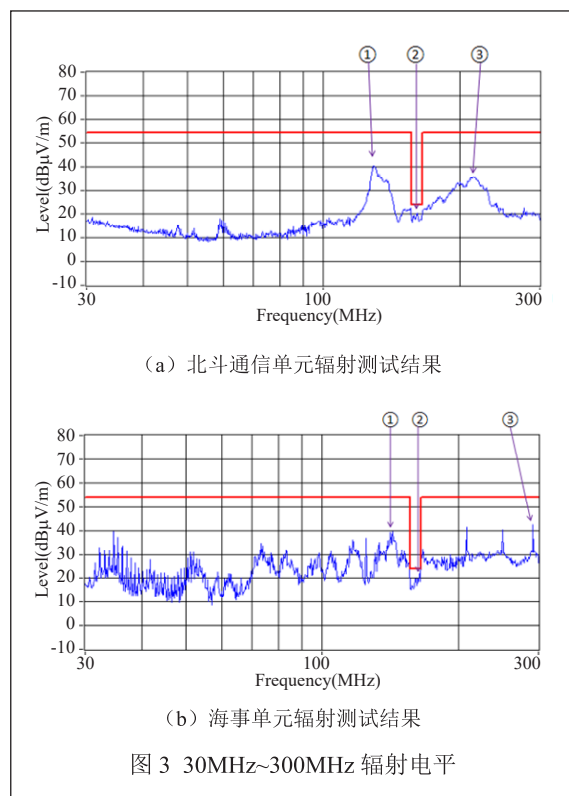
北斗船载终端选择凌特公司的LT3508芯片来实现显控内部电路所需的+5V和+3.3V电源。选取的芯片工作开关频率为320kHz,由计算可知,该芯片工作开关频率的488~515次谐波频率为156.16MHz~164.8MHz,落在156MHz~165MHz频率范围内。

(4) 整改措施

通过上面分析可知,显控单元的各电源电路的工作开关频率的谐波均会落在156MHz~165MHz频率范围内。为了减少开关电源谐波辐射信号,采取以下整改措施:

① 对电源电路进行优化设计,把显控单元的各电源电路集中布置,并优化PCB地层设计及层叠设计,使得地线尽量粗短,且围成的回路面积最小,减少了辐射能量;

② 加强屏蔽,各电源电路集中布置后,就可以对电源电路部分采取加屏蔽罩方式,把电源电路产生的辐射能量抑制在屏蔽体内,减少了对外辐射,从而减小电源辐射与其他电路串扰的机会。



3、信号输出端

显控单元与北斗通信单元之间存在数字通信接口，数据信号都是由各种脉冲序列构成，且脉冲序列随数据不同而不断变化。根据傅里叶变换可知，数据脉冲的上升沿越陡，谐波分量就越丰富。为了减少数据脉冲信号产生的辐射能量，在信号线的输出端均增加 RC 滤波电路^[7]，使其上升沿变缓，致使其高频分量急剧减少，从而达到消除信号的辐射干扰。增加 RC 滤波电路会影响到数据信号的速率，因此，RC 滤波电路的参数选择需考虑数据信号在最高速率下能正常工作。

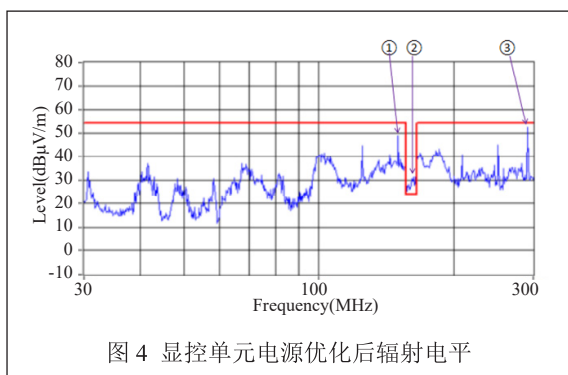


图 4 显控单元电源优化后辐射电平

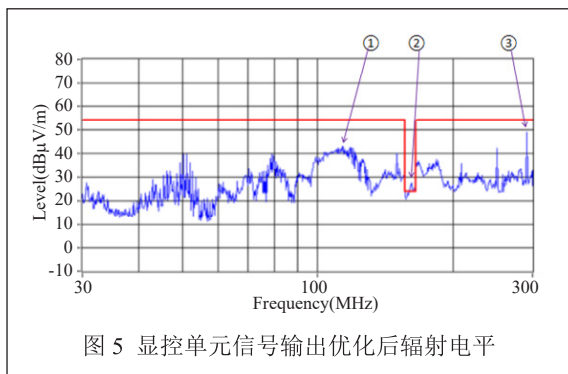


图 5 显控单元信号输出优化后辐射电平

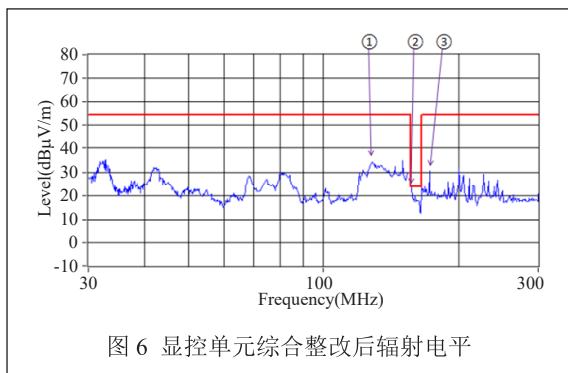


图 6 显控单元综合整改后辐射电平

这里在综合考虑各种因素后选取 RC 滤波电路的参数为： $R=22\Omega$ ， $C=15\text{pF}$ 。

四、试验验证

为了验证以上分析的正确性和采取改进措施的有效性，先对每种分析和措施进行单独的电磁辐射项目测试，然后再对最终优化整改后的样机进行测试。

1、北斗通信单元和海事单元验证

根据北斗通信单元、海事单元这两个部件接通电源即可单独工作的特性，分别对北斗通信单元、海事单元进行了单独的电磁辐射项目测试，测试结果如图 3 所示，北斗通信单元和海事单元在 156MHz~165MHz 频率范围内的辐射电平分别为 20dB 的辐射电和 23dB 的辐射电，满足标准要求。

2、电源整改

根据上文，对显控单元仅进行电源方面的优化整改，然后对北斗船载终端设备进行电磁辐射项目测试，测试结果如图 4 所示。从图 4 可以看出，终端对外辐射信号降低了很多，与图 2 测试结果相比约降低了 10dB，但比标准限值高约 6dB，还是存在辐射电平超标。

3、信号输出端整改

根据上文，对显控单元仅进行信号输出方面的优化整改，整改后的辐射电平测试结果如图 5 所示。与图 2 测试结果相比约降低了 12dB，但还是超出标准限值约 4dB，该整改措施也未能使辐射电平达标。

4、综合整改

对显控单元的电源电路和信号输出端同时进行优化整改，整改后的辐射电平测试结果如图 6 所示。从图 6 可以看出，北斗船载终端的辐射电平达到 GB/T10250-2007 规定的要求。

五、结束语

本文通过对北斗终端的各部分单元模块辐射信号产生机理进行分析的方法，确定了电磁辐射源和辐射传导路径，并根据不同辐射源的特点采取屏蔽以及滤波等整改措施，最终保证了北斗终端的电磁兼容性能够满足 GB/T10250-2007 规定的要求。本文所述的方法可以作为其他产品电磁兼容设计的参考。

参考文献

- [1] 汤恒, 易艳春. 舰船电子设备结构电磁兼容性设计要点 [J]. 舰船电子工程, 2017(08):16-19.
- [2] 李博, 袁永卫. 基于北斗和移动通信的应急通信保障系统设计 [J]. 无线电工程, 2018, 48(4): 293-297.
- [3] 邹榕洁. 第四代国际海事卫星技术的特点研究 [J]. 中国海事, 2012(11): 53-56.
- [4] 张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理与设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1998: 1.
- [5] 王巍, 顾贵芬. 语音接口话路特性分析 [J]. 无线电工程, 2008, 38(5): 53-55.
- [6] GB/T10250-2007. 船舶电气与电子设备的电磁兼容性 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [7] 朱克佳. 浅析无源 RC 滤波电路在常用电子系统中的应用 [J]. 电子制作, 2013(10): 199.

Electromagnetic Compatibility Optimization Design of Beidou Shipborne Terminals

LIU Kai-jin

(Fujian Xinghai Communication Technology Co., LTD., Fuzhou 350008, China)

Abstract: More and more attention is focused on the electromagnetic compatibility design in electronic product design available. Due to the complexity of the design, most products cannot pass the electromagnetic compatibility tests at one time and need more optimization.

The electromagnetic compatibility tests of the Beidou carrier terminals are carried out according to GB/T10250-2007, the electromagnetic radiation level exceeds the standard in the frequency range of 156MHz~165MHz. The generation mechanism of the radiation signals is analyzed to determine the electromagnetic radiation sources and radiation paths. The corresponding rectification plans are adopted according to different radiation sources to ensure the electromagnetic compatibility of the terminals. The experimental results show that the electromagnetic rectification plans can solve the problem of excessive electromagnetic radiation level.

Key words: Beidou shipborne terminal; electromagnetic compatibility; electromagnetic radiation

作者简介

刘开进, 福建星海通信科技有限公司, 高级工程师, 主要研究方向为无线电通信与导航。

通讯地址: 福建省福州市仓山区洋洽半道福建星海通信科技有限公司

邮编: 350008

邮箱: lkj8400@sina.com