

船载雷达设备电磁兼容研究与设计

孙永江 邢云龙 于建成 吴昊 蔡浩
(中国卫星海上测控部 江阴 214431)

摘要:航天测量船作为天地测量通信的纽带,安装了多种大量的微波测量通信设备,电磁环境较陆地环境相对复杂。船载雷达设备作为测量船的关键组成部分,高低频设备、高低压设备同处在密闭狭小的空间中。电磁兼容性问题的解决需求则更为突出。在船载雷达设备设计之初就必须严格考虑到电磁兼容问题,结合电磁兼容预测设计方法,尽量从源头上降低各分系统设备干扰及受干扰的风险。从产品出厂验证到后续的设备装船改进,需要针对不同的电磁兼容问题,采取不同的解决方案,使系统内各设备协调工作。

关键词:电磁兼容;电磁干扰;滤波器

中图分类号: TN952 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8020

Research and design of electromagnetic compatibility for shipborne radar equipment

Sun Yongjiang Xing Yunlong Yu Jiancheng Wu Hao Cai Hao
(China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangsu 21431, China)

Abstract: Space measurement ship is a link between heaven and earth, which install a wide range of microwave communications equipment, Electromagnetic environment than the land environment is relatively complex. Shipborne radar equipment is a key component of the space measurement ship, high and low frequency, high and low voltage equipment in the same confined space. Electromagnetic compatibility issues are more prominent. At the beginning of the product design we must strictly consider the electromagnetic compatibility problem, combined with electromagnetic compatibility prediction design method, as far as possible from the source to reduce the interference of subsystems equipment and the risk of interference. From the equipment development to the follow-up equipment shipment, different solutions are taken for different electromagnetic compatibility problems, so that all devices within the system work coordinately.

Keywords: electromagnetic compatibility; electromagnetic interference; filtering backlash

1 引言

船载雷达设备的电磁兼容设计,不仅要考虑设备自身的电磁兼容性,还要考虑系统之间的电磁兼容设计,涉及到的因素和要点比较多。本文着重讨论解决雷达系统自身的电磁兼容性^[1]。系统间的电磁兼容性解决方案则在此基础上辅以结构布局设计以及使用时的时空分割来实现。

2 船载雷达系统电磁兼容设计

2.1 船载雷达系统概述

雷达系统主要有3大分系统,分别为接收分系统,发射分系统和线控制分系统。其中接收分系统将天线馈源

传送下来的射频信号通过高频接收机变频为中频信号,中频接收机再经过一系列处理,将较低频的信号送信号处理分机和终端设备。发射分系统将激励信号进行放大,并以射频信号通过天线发射出去。天线控制分系统是控制天线的转动,它是电力传动系统,信号一般以工频信号(50 Hz)存在,信号分为大功率的动力信号和小功率的控制信号。从上面的分析可以得知,一部雷达天线涉及到信号种类繁多,从低频小信号到射频信号均有分布。雷达系统如图1所示。

本文讨论的雷达电磁兼容设计主要从电磁干扰的预测,以及电磁兼容性EMC具体实施(主要分为接地、屏蔽和滤波)两个步骤展开^[2]。

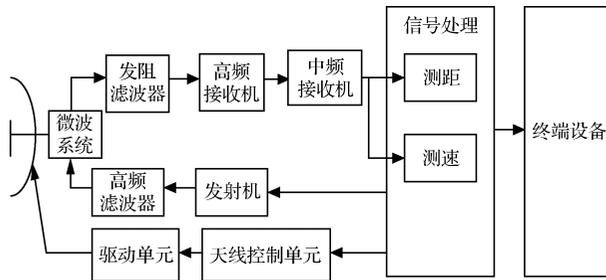


图1 雷达系统

2.2 电磁兼容预测设计

根据电磁干扰的复杂程度将雷达系统电磁兼容设计分为6个等级^[3]。分别为系统级(雷达系统)、分系统级(接收、发射、终端、伺服)、单元级(插箱);母版级(电源分配器、转接板等)、电路板级;元器件级。具体预测设计的流程如图2所示。

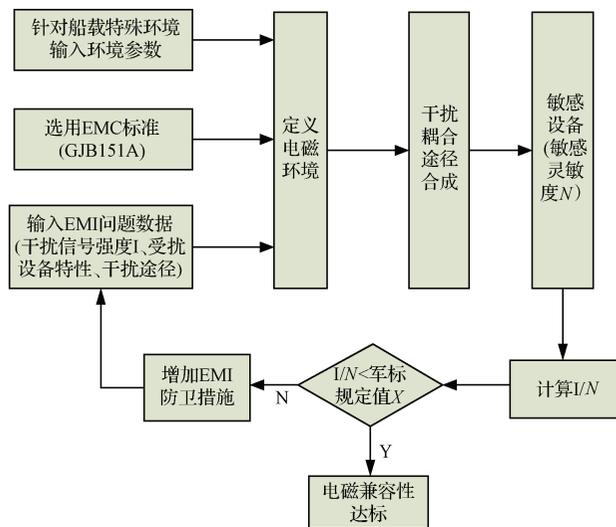


图2 雷达系统电磁兼容预测流程

2.3 电磁兼容性具体实施

2.3.1 接地^[4]

采用保护接地和数字接地相结合的方式。保护接地是接船体的。大型设备如机电设备都是保护接地的方式。这种方式受船体的干扰严重,不是很干净,可能有残留电压。强电残留电压大约有2~3V。接地后必须确认与船体接触电阻小。接地点要用沙子打磨,如图3所示。

信号接地一般采用数字接地的方式。机房内设置接地汇流紫铜条,汇流紫铜条采用浮地与船体单点式连接。

数字地和保护地之间应该至少间隔3m。全机设备船底一点接地,接地电阻<1Ω。

2.3.2 屏蔽

在三相动力电源与整流装置之间采用变压器隔离。在变压器的设计上采取一次绕组和二次绕组之间加一层

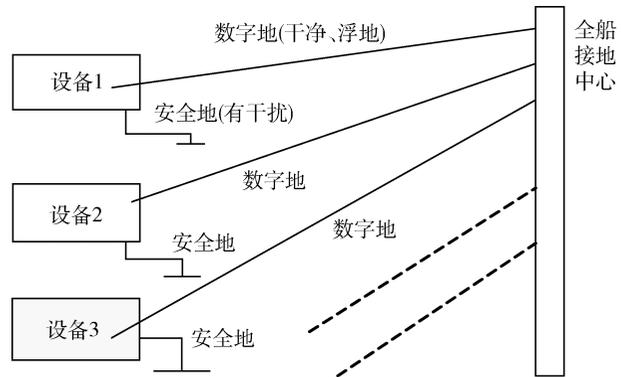


图3 船舶设备接地示意

铜膜板屏蔽,可直接消除一次绕组和二次绕组之间的静电耦合。另外,电缆采用组合电缆,将每根信号线由芯线和皮线组成,再用大的金属编织套套住,形成双层屏蔽,如图4所示^[5]。

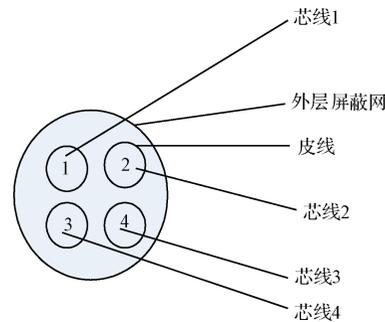


图4 船舶设备屏蔽示意

2.3.3 滤波

滤波主要用于消除传导干扰和辐射干扰。分为电源滤波和高频信号滤波^[6]。电源滤波是为了防止供电系统的传导干扰,一般采用低通滤波器,在供电系统的输出端,在分配电板上安装电容滤波器,在各用户终端的分配电箱安装LC滤波器。高频信号滤波是为了防止高频电波辐射干扰,一般采用带通滤波器,如在接收端安装发阻滤波器,阻止发频对收频的干扰;在发射端安装滤波器抑制带外杂波和噪声,消除对其接收的干扰。如图1所示。

3 产品电磁兼容测试项目中遇到的问题

3.1 硬件测试出现的问题

系统的出所测试严格参照GJB 151A-1997《军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求》、GJB 152A-1997《军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量》的有关条款要求进行,以满足最基本的电磁兼容性要求,即系统与同一站内的其他电子设备之间相互无“有害”干扰。某发射机组件按表1所示的相应项目测试^[7]。

表 1 某组件电磁兼容测试项目

序号	项目	名称
1	CE102	10 kHz~10 MHz 电源线传导发射
2	CS101	25 Hz~50 kHz 电源线传导敏感度
3	CS106	电源线尖峰信号传导敏感度
4	CS116	10 kHz~100 MHz 电缆和电源线阻尼正弦瞬变传导敏感度
5	RS103	10 kHz~40 GHz

在对钛泵电弧保护分机测试时发现,CE102 项不满足指标要求,300 kHz 向后有超标。测试框图如图 4 所示。

3.2 解决措施

反复试验不能达标,通过多次试验,在火线和零线加装谐波 LC 滤波器滤除电网谐波分量,在空气开关后增加电源 EMI 滤波器,该滤波器能通过电源频率,对 0.1 MHz~

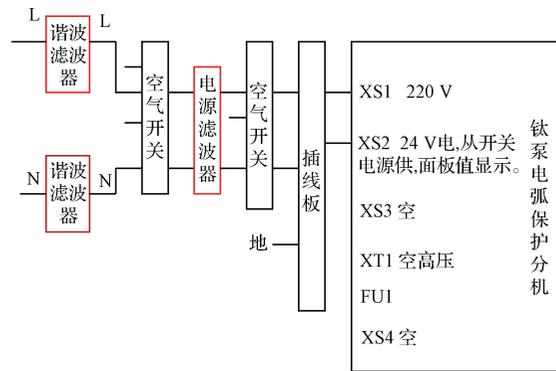


图 5 发射机组件 CE102 测试框图

10 GHz 的干扰,衰减大于 100 dB^[8]。器件参数如表 2 所示。通过滤波器的组合设计,问题得以解决,如图 5 所示,标红的部分是后续增加的滤波器。

表 2 滤波器件特征表

序号	类别	器件型号	生产厂家	数量
1	谐波滤波器	TYPE9331-50-TS-200N	SOLAR ELECTRONICES COMPANY	2(火线、零线各 1 个)
2	电源滤波器	PNF-GS-5A(J)EMI 滤波器	上海埃德电磁技术有限公司。	1 个

最终 CE102 测试的结果如图 6 所示。

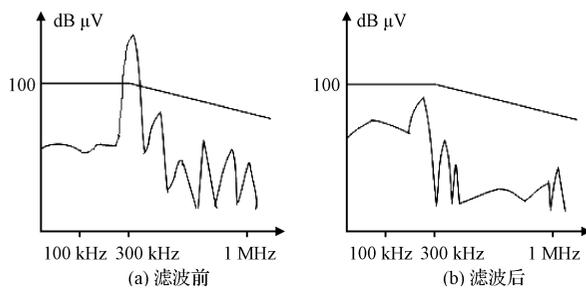


图 6 发射机组件 CE102 测试结果

从图中可以看出,滤波前在 300 kHz 附近,测试结果超出标准要求,在增加滤波器后,测试结果满足指标要求。

4 联试过程中伺服驱动系统电磁兼容问题及解决方案^[4]

4.1 伺服电机运行中异常保护

在实际运行过程中,系统可能会受到各种各样的干扰,若系统抵御不了干扰的冲击和影响,将不能正常工作。如某电机制动器在合闸过程中出现保护芯片烧毁,保护电路如图 7 所示,保护核心芯片为图 7 虚线框的 4 个运算放大器组成的集成运放 LM324^[9]。驱动控制保护电路系统采集伺服电机测速反馈信号,采集信号通过 a、b 点送往控制保护芯片 LM324。和基准信号比较。产生的结果通过 c 点送往逻辑判断电路。如果测速信号异常则控保逻辑起作用,雷达伺服系统无法加电。该保护的主要作用是为了防止测速机极性接反出现正反馈而使得天线“飞车”(失

控)。检查线路正常,在排除电源线传导干扰后,将问题定位到伺服电机自身。通过分析,问题可以归结到在合闸的瞬间和运行过程中产生火花未能及时得到抑制。制动器的磁场对电机磁场产生影响,如果制动器自身防护做得不好,则导致加电瞬间产生火花,影响其他设备工作。另外电机工作时,电枢绕组切割磁感线运动,换向过程中都会产生火花,电机在生产过程中的各种不良工艺都会加剧运行中的火花干扰。

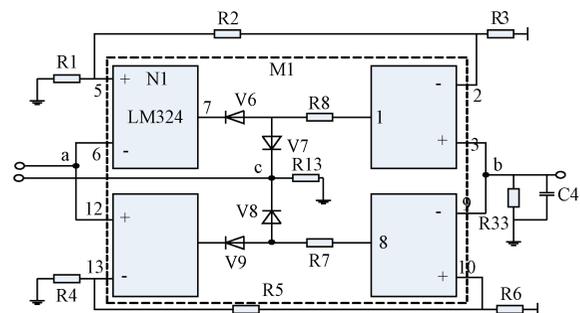


图 7 驱动保护系统原理

为了防止再次击穿控制保护芯片,跳过该保护多次松制动器试验统计,统计测速信号电压,最大可达 258 V,远远超过控制保护芯片 M1 所能承受的极限。

4.2 解决方案

检查制动器,型号为 BFK457,该制动器为厂家配套电机选用的 Introq 公司的弹簧加压制动器,具体性能参数为额定转速 2 500 r/min,额定功率 0.4 kW,额定转矩 1.5 N·m,输入电压 24 V。

分析其工作原理,制动器的吸合是在通 24 V 直流电后,制动线圈通过电流,产生的磁场电磁力在极短的时间内克服弹簧的势能将压力盘完全回吸(此时制动器打开)^[10]。由此可见,制动器的工作是磁场和电场的相互转化。由于伺服电机、测速机以及制动器是一体化安装的,如果由于电机装配或其他原因导致电磁能量泄露,就需要改善这一现象。

由于该公司同类产品亦出现过此类问题,考虑对制动器信号进行合适滤波。加装 Introq 公司配套制动器的火花抑制器 WIMA MKP10,(其实质为一个 470 nf 的滤波器)。滤波方案采用两种方案进行比较,第一种方案是每个制动器都加装一个火花抑制器,如表 3 所示。第二种方案是两个电机制动器共用一个火花抑制器。如表 4 所示。

表 3 滤波方案 1

测试点 测试次数	P11(测速机直接 反馈信号) 峰峰值/V	P21(简单滤波 后送往保护电路的 测速信号)峰峰值/V
2	6.9	4.2
3	7.7	7.2
4	7.3(2.5 Hz)	4.8(2.5 Hz)
5	6.8(558 Hz)	5.8(498 Hz)
6	3.4(4.9 Hz)	6.1(4.9 Hz)

表 4 滤波方案 2

测试点 测试次数	P11(测速机直接 反馈信号) 峰峰值/V	P21(简单滤波后送往 保护电路的测速信号) 峰峰值/V
1	6.6(2.14 Hz)	13.3(2.14 Hz)
3	13.6 Hz	22.8 Hz
4	13.8(852 MHz)	17.3(852 MHz)
5	13.3(5 Hz)	21.3(5 Hz)
6	31.3	21.3

从测试的结果看,第一种的效果要明显好于第二种。采用第一种滤波方案,经过一段时间的观察,系统工作稳定,可以初步将问题定位为制动器性能下降或者由于装配原因低导致其在吸合过程中产生电磁干扰,影响测速电机的反馈信号。

5 结 论

船载雷达系统电磁兼容问题是一个复杂的工程,从雷达系统电磁兼容分析、设计、试验等过程来看,采取的措施基本解决了船载雷达系统的电磁兼容(EMC)问题。从整个过程可以看出,电磁兼容(EMC)问题必须在设计阶段重视,也就是说 EMC 重在设计。尽管个别设备初次电磁兼容试验不符合相关测试要求,而且后续由于环境的变化出现了新的情况,但是通过针对性采取补救措施,从电磁兼容三要素(干扰源、耦合途径和敏感设备)着手发现问题并解决问题,有效地抑制了传导和辐射干扰。

参 考 文 献

- [1] 李广建. 测量系统的装船建造工程[C]. 海洋测绘综合性学术研讨会, 2009.
- [2] 赵先龙, 张雅争. 综合测量船电磁兼容技术研究[J]. 海洋测绘, 2011, 31(4):50-52.
- [3] 姜兴杰. 电磁兼容设计及其应用[J]. 现代电子技术, 2011, 34(9):164-167.
- [4] 周淑蓉, 冯刚英, 张一帆, 等. 航天测量船测控系统结构总体设计[J]. 电讯技术, 2007, 47(2):185-188.
- [5] 白运芳. 电磁兼容与电磁兼容设计[J]. 无线电工程, 2008, 38(11):34-36.
- [6] 李海星, 惠守, 丁亚林. 国外航空光学测绘装备发展及关键技术[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(5):469-470.
- [7] 杨晓霞, 孟浩然, 张斌, 等. 大型光电系统精跟踪带宽设计方法研究[J]. 电子测量与仪器仪表学报, 2014(12):1382-1385.
- [8] 张晨亮, 王红星, 张榛, 等. 基于 FPGA 的 PSWF 脉冲信号发生器设计[J]. 电子测量技术, 2014, 37(1):76-80.
- [9] 严雪飞, 朱长青, 赵月飞, 等. 电子负载直流侧电压分析及滤波技术研究[J]. 国外电子测量技术, 2014(11):21-24.
- [10] 张菁雯, 秦攀, 陈丽, 等. 非平稳随机系统的建模与预测控制[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(S1):262-263.

作 者 简 介

孙永江, 1980 年出生, 本科, 工程师, 主要研究方向为自动化控制与测试。
E-mail:sun_yong_jiang05@sina.com