DOI:10.13890/j.issn.1000-128x.2011.06.003

试验检测

LKJ2000 型监控装置电磁辐射骚扰抑制方法的研究

杨天矾[1]，殷　源[2]

（1．株洲南车时代电气股份有限公司 检测试验中心，湖南 株洲 412001；
2．株洲南车时代电气股份有限公司 安全装备事业部，湖南 株洲 412007）

作者简介：杨天矾（1984-），男，质控师，从事电磁兼容测试与整改工作。

摘　要：LKJ2000型监控装置是以保障列车运行安全为主要目的的列车速度控制装置。为了使设备具有良好的电磁兼容性，从设备设计到生产再到现场安装等各个阶段都需要进行电磁兼容方面的考虑。以电磁辐射骚扰的抑制方法为例，从屏蔽、接地、滤波 3 个方面对 LKJ2000 型监控装置进行了分析，并提出合理解决办法。

关键词：电磁兼容；电磁辐射骚扰；干扰源；孤立导体；LKJ2000 型监控装置

中图分类号：TN03；U260.4+2　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1000-128X(2011)06-0045-03

Research on EMR Interference Suppression for LKJ 2000 Monitor Device

YANG Tian-fan, YIN Yuan

(1.Detection and Test Center, Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001,China;

2. Safety Equipment Business Unit, Zhuzhou CSR Times Electric Co.,Ltd., Zhuzhou, Hunan 412007, China)

Abstract: LKJ2000 monitor device was a train speed control device for maintaining train operation security. To obtain the good EMC performance for the device, EMC must be considered in each stage including design, producing and field installation etc. In this paper, EMR interference suppression for LKJ monitor device was analyzed as instance on shielding, grounding and filtering, and proper settled schemes were carried out.

Key words: EMC; EMR interference; interference source; isolated conductor; LKJ2000 monitor device

0　引言

我国列车超速防护控制技术开发是从上世纪90年代初开始的，其中经历了JK-2H型和LKJ-93型监控装置2次发展过渡。目前在全路内电力机车上安装使用的监控装置（LKJ2000型）为第三代产品，运行范围遍及所有国铁运营线路。本文主要介绍LKJ2000型的电磁辐射骚扰试验要求以及应对措施。

1　LKJ2000 型监控装置系统构成及技术特点

1.1　LKJ2000型监控装置系统构成

LKJ2000型监控装置主要由LKJ2000型监控装置主机和显示器构成，主机与显示器之间采用CAN总线通信方式。LKJ2000型监控装置主机采用热备冗余的系统架构，包括监控记录插件、信息处理插件、通信插件、模拟量处理插件、数字量输入/输出插件和电源插件。LKJ2000型监控装置通过采集机车速度信息、压力信息、乘务员操作信息等，根据车载数据对列车运行进行监控。

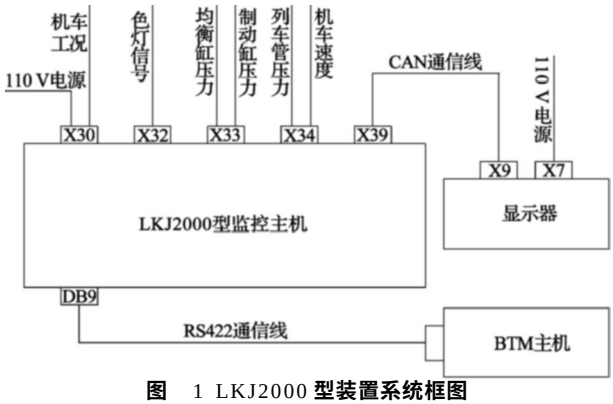

图　1 LKJ2000 型装置系统框图

1.2　LKJ2000型监控装置技术特点

①LKJ2000型监控装置采用MOTOROLA生产的32位处理器MC68322，运算速度快，寻址能力强（16 MB寻址空间）。

收稿日期：2011-07-12

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

②为了提高工作可靠性，系统采用双机主从热备冗余方式，系统主机由A、B 2组完全独立的控制单元组成。

③系统控制器局域网（CAN）作为系统内部通信网络，并通过双CAN总线进行数据交换。

④采用车载计算机预先存储地面线路数据的控制方式（即车载控制模式）。设备投入成本非常低。

2　LKJ2000型监控装置电磁辐射骚扰的试验标准与要求

2.1　LKJ2000型监控装置试验标准

LKJ2000型监控装置电磁兼容试验参照国家标准GB/T 24338.5—2009《轨道交通　电磁兼容　第4部分：信号和通信设备的发射与抗扰度》进行，考虑到机车车辆的内部环境和外部环境，根据相关试验标准要求，采用10 m法进行测量。限制线要求：30～230 MHz间为40 dBμV/m，230～1 000 MHz间为47 dBμV/m。

2.2　电磁辐射骚扰的测试方法

本试验在电波暗室中进行，试验时将LKJ2000型监控装置放在距参考接地平面高0.8 m的绝缘木桌上，并良好接地，如图2。

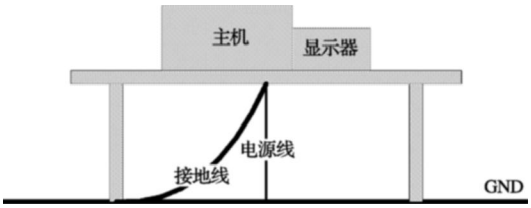

图2　辐射骚扰试验时设备布置简图

30～200 MHz间采用双锥天线接收，200～1 000 MHz间采用对数周期天线接收，同时天线又分垂直和水平极化。试验中首先使用峰值检波器在30～1 000 MHz频率范围内进行扫描，并对高于L-6 dB（L为标准要求的发射限值）危险点进行准峰值测量。

设备初始状态下测试结果见图3。

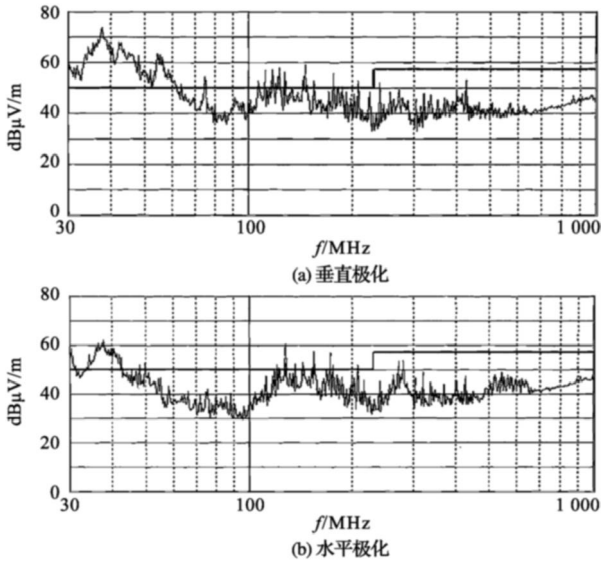

图3　初始状态下辐射骚扰场强峰值扫描结果

3　电磁辐射骚扰机理分析

被试设备采用机箱结构，包含众多插件，辐射骚扰测试是这类机箱结构设备最难通过的试验项目。设备的机箱结构、电缆布置、内部设计、试验时设备布置等都会对试验结果产生很大影响。

由图3可以看出天线在垂直方向低频阶段（≤60 MHz）超标比较严重，峰值曲线整个落在限制线以上。根据测试结果，结合电磁辐射的机理，从骚扰源以及耦合途径2个方面着手对被试产品超标的原因进行分析。

3.1　骚扰源

通过对LKJ2000型监控装置系统结构和技术特点进行分析，发现骚扰源主要来自以下2部分。

3.1.1　晶振电路

LKJ2000型监控装置主机带有晶振电路的插件包括：监控记录插件、信息处理插件、通信插件。晶振作为高频器件，在防御措施没有做好的情况下，有可能成为辐射源。

根据傅里叶变换在其倍频处的辐射能量会出现峰值。这是扫描曲线高频部分毛刺众多的原因。

3.1.2　开关电源

LKJ2000型监控装置控制电源采用开关电源。在开关频率的倍频上会出现峰值，成为辐射源，通过电缆及机箱缝隙对外产生辐射。

3.2　耦合途径

耦合途径即传输电磁骚扰的通路或媒介。在电磁辐射骚扰中，一般是通过器件、外壳、连接线、电缆或天线传播。通过检查发现，被试产品存在以下几个问题。

3.2.1　孤立导体

电磁兼容试验中的孤立导体通常是指：闲置的插座、电缆以及悬空金属。

形成辐射发射最基本的条件是信号源与天线。被试设备内部噪声通过耦合方式耦合到悬空金属上，使得悬空金属成为辐射天线，成为设备对外辐射的桥梁。见图4。

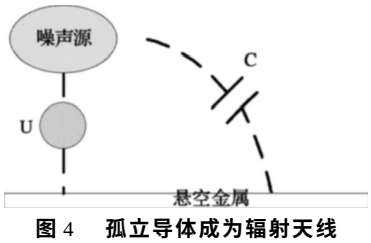

图4　孤立导体成为辐射天线

3.2.2　线缆屏蔽层不良搭接

线缆屏蔽层不良搭接是指线缆在靠近连接器这一端，将屏蔽层剥开，拧成一股绳，并通过它与连接器外壳相连。图5为进行辐射发射试验时的等效模型。

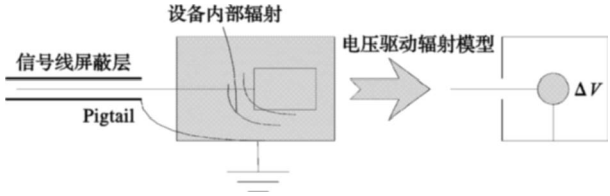

图5　线缆屏蔽层不良搭接辐射模型

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

线缆屏蔽层在不良搭接处，受内部辐射信号的影响，表现出不同的阻抗，通过耦合的方式，在屏蔽层上产生了一个辐射信号源，使设备屏蔽性能大幅降低。

线缆屏蔽层应当与连接器、机壳360°搭接，才能具有良好的屏蔽性。严禁屏蔽电缆直穿屏蔽体，屏蔽层的关键是电连续性。

3.2.3　机箱

机箱是电磁辐射骚扰防护的最后防线，机箱设计的好坏往往决定了设备是否满足试验标准要求。机箱的屏蔽性能不仅仅取决于屏蔽体材料性质，更重要的是取决于机箱结构的电气连续性。接缝的不平整，机箱上操作、显示、入出电缆及通风等必要开孔都将大大影响机箱的屏蔽性能。

缝隙对机箱屏蔽性能的影响取决于缝隙的尺寸及通过缝隙的电磁波波长。实践证明，当孔、缝尺寸等于半波长的整数倍时，电磁泄漏最大。一般要求缝隙长度或孔径小于$\lambda/10$～$\lambda/100$（λ为通过缝隙的电磁波波长）。实际的屏蔽机箱都有这种或那种必须的开孔、缝隙，如此可能引起导电的连续性不佳，从而产生电磁辐射。所以机箱的屏蔽完整性设计是关键。

3.2.4　通信线

试验中发现被试设备主机辐射发射达标，被试设备显示器辐射发射达标，但是主机和显示器连接在一起正常工作时，辐射发射却超标严重。主机与显示器之间只有1根CAN总线通信线相连。

CAN总线采用差分信号作为传输方式，具体传输波形见图6。

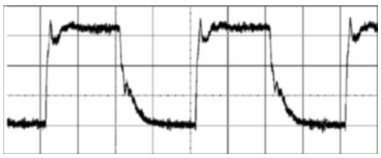

图 6　CAN 总线传输波形图

如图6所示，CAN总线信号传输信号为方波信号。方波信号边沿越陡峭，蕴含的多次谐波越丰富，包含的能量也越大。方波的傅里叶变换公式如下：

$$f(t)=\frac{4}{\pi}\left(\sin 2\pi ft+\frac{1}{3}\sin 6\pi ft+\frac{1}{5}\sin 10\pi ft\ldots+\frac{1}{n}\sin 2\pi nft\right)$$

通信线长度约为2 m，根据射频信号的有效被动天线长度（射频信号波长的1/4）理论，CAN总线方波信号影响的频率范围为35 MHz左右，与试验结果相符。确定低频超标部分为通信线辐射。

根据CAN总线接口芯片PCA82C250T技术手册，当芯片第8脚外接接地电阻小于10 Ω时，该CAN总线节点进入CAN高速模式，信号边沿陡峭，需要改善通信线的射频防护能力。被试设备所有CAN总线节点均小于或者等于10 kΩ，CAN总线将处于高速模式，对通信线的防护要求提高。

3.2.5　滤波器接地

从图7可以看出，被试产品滤波器是通过一根细且长的电缆线接地，此种接法在高频条件下往往效果不明显甚至没有效果。

3.3　应对措施及测试结果验证

3.3.1　应对措施

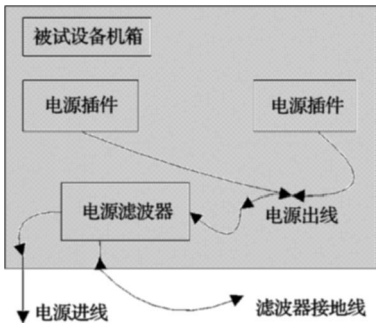

图 7　被试设备电源滤波器安装示意图

根据以上分析与判断，对LKJ2000型监控装置采取了如下措施：

①对于晶振电路，在晶振滤波电路中串入一个小磁珠或者在主芯片前串入一个高频滤波电容，这样能大幅度消除高频段的尖峰毛刺。

②对于开关电源，在变压器二次侧负线与一次侧地之间加1个小电容，并且在变压器二次侧二极管上并1个RC吸收电路以有效抑制骚扰源。

③将悬空金属、孤立导体在保证绝缘的前提条件下良好接地。

④优化机箱结构设计，增加机箱的屏蔽性能，确保机箱整体的导电连续性。

⑤针对机箱内部电源滤波器的安装，充分考虑了滤波器与机壳之间的导电性，缩短滤波器输入电缆的长度。改动后电源滤波器的安装方式见图8。将滤波器直接安装在机壳上，且用金属屏蔽网将滤波器罩住，避免了内部电磁骚扰通过电源线向外发射。

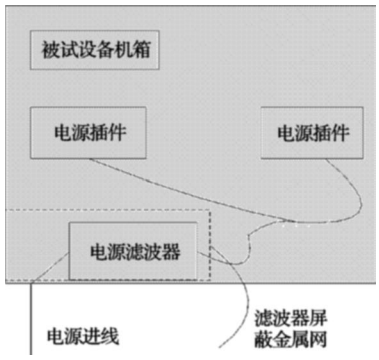

图 8　电源滤波器安装示意图

3.3.2　验证测试结果

通过采取以上措施后，再次对LKJ2000型监控装置进行了测试，结果发现产品辐射对外发射值低于标准规定的限值线，并且有3 dB的裕量。测试数据见图9。

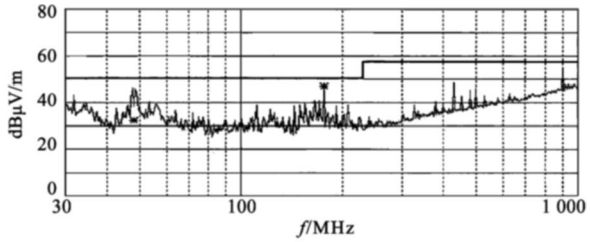

图 9　采取应对措施后的测试数据

4　辐射骚扰试验总结

辐射骚扰的形成需要2个方面的因素：骚扰源和耦合途径。虽然辐射骚扰发射问题错综复杂，但只要把握住这两方面的因素，就能很好地解决辐射骚扰问

（下转第51页）

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

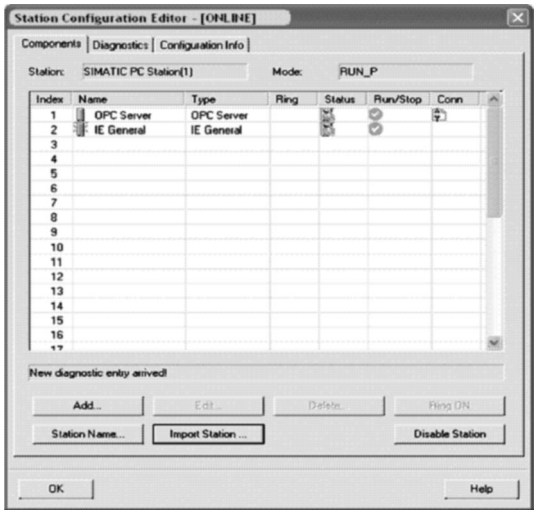

图 9　“Configuration Console”设置

4.6　第六步：创建变量

完成正确的硬件下载后，使用“OPC Scout”(“OPC Scout”是“SIMATIC net”自带一个变量调试监测工具) 添加所需变量进行调试。创建需要读写的变量连接组，进入状态表，连接成功后变量状态表“Quality”栏显示“good”。上位机界面组态软件根据其底层“OPC Client”与“SIMATIC net”OPC Server 进行通信，实现上位机与PLC的数据交互。

4.7　第七步：创建人机操作界面

测试系统操作流程如图 10，试验人员通过上位机人机操作界面向机车集控器发出“供电申请”信号，机车“允许供电”后，集控器返回“允许供电”信号，在操作界面上监视列车供电柜已输出DC 600 V电源。启动主电源，调节试验参数。完成试验后，分断主电源，取消“供电申请”信号，打印报表。

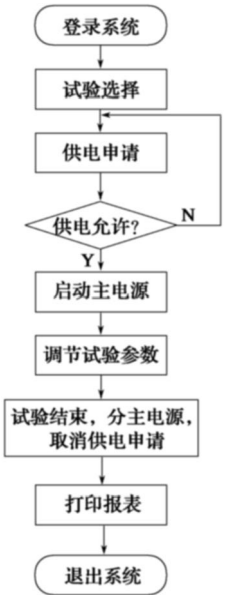

图 10　试验操作流程图

5　结语

S7-1200系列PLC设计紧凑、成本低、编程方便，但是，S7-1200作为一款全新的PLC有其不足：该PLC中DB 块的变量信息暂不为大多数组态软件兼容（如Labview2009）。本文所述方法，只需普通网卡就完成了S7-1200 PLC与SIMATIC net OPC之间的数据读写，实现了对电力机车列车供电柜性能的测试。该方法应用于“电力机车列车供电柜集控器和负载性能测试系统”项目中效果良好，简单实用，可靠性高，值得其他系统借鉴。

参考文献：

[1] 西门子（中国）有限公司. S7-1200可编程序控制器. 产品样本 [M]. 北京：西门子（中国）有限公司，2010.
[2] 西门子（中国）有限公司. S7-1200可编程序控制器. 系统手册 [M]. 北京：西门子（中国）有限公司，2009.
[3] 阳宪惠. 工业数据通信与控制网络 [M]. 北京：清华大学出版社，2003.
[4] 王永华. 现代电气控制及PLC应用技术 [M]. 北京：北京航空航天大学出版社，2003.
[5] Sander Rotmensen. OPC with a S7-1200 [EB/OL]. www.siemens.com. [2010-03-18].

（上接第47页）

题。首先辐射骚扰源通常为被试设备内部的数字集成电路、晶振、微处理器、开关电源，运行时会产生很大的辐射。因此对于骚扰源，必须采取必要措施，消除或减少辐射量，往往可以取得事半功倍的效果；其次是切断耦合途径，PCB板的布线以及整个产品的结构设计至关重要，必须引起足够的重视与考虑。

在产品设计中需注意以下几点：

①设备外部连接的电缆可能成为辐射天线。

通过电缆辐射的噪声的频率与电缆的长度、位置有关，当电缆的长度接近噪声的半波长时，辐射最大。辐射信号源来自设备内部，经电磁耦合后进入外部电缆，使电缆成为辐射天线。电缆摆放位置、长度的变化，造成了耦合电容发生变化，辐射骚扰的强度与超标频点会随之发生偏移。

②设备内部滤波器前后走线问题。

设备内部的滤波器、共模电感等共模抑制器件（滤波电路）的输入、输出信号不能相互平行、交叉走线，以避免滤波前后的走线造成初次级噪声耦合。

③印制板走线要注意环路尽量小。

在单层板中，电源走线附近必须有地线与其紧邻、平行走线以减小电源电流回路的面积，减小差模环路辐射。

参考文献：

[1] 周立功. PCA82C250 CAN收发器应用指南 [M]. 北京：北京邮电大学出版社，2009.
[2] 郑军奇. 电子产品设计EMC风险评估 [M]. 北京：电子工业出版社，2008.
[3] GB/T 24338.5—2009，轨道交通 电磁兼容 第4部分：信号和通信设备的发射与抗扰度 [S].
[4] 白周云，吕晓德. 电磁兼容设计 [M]. 北京：北京邮电大学出版社，2008.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net