

文章编号:1671-251X(2017)08-0025-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017.08.006

矿用人员定位系统电磁兼容辐射发射整改方案

王树强^{1,2}

(1. 中煤科工集团常州研究院有限公司, 江苏 常州 213015;

2. 天地(常州)自动化股份有限公司, 江苏 常州 213015)

摘要:按照欧洲标准 EN 301 489-1 中的电磁兼容性要求,矿用人员定位系统在国外应用必须通过辐射发射测试。针对该要求,对矿用人员定位系统进行了辐射发射测试,分析了辐射噪声的形成原因,并提出了整改方案:对于时钟信号引起的辐射发射超标,在 PCB 布线时缩短时钟信号走线长度,减少过孔,加大走线宽度和线间距,同时两边铺设接地线进行屏蔽,减小时钟线的回流面积;针对不同时钟电路,采取低通滤波、共模抑制等措施降低辐射信号发射。测试结果表明,整改后的人员定位系统最大峰值频点功率比 EN 55032 标准 CLASS A 要求值低 13.086 dB,比 CLASS B 要求值低 3.086 dB,满足出口要求。

关键词:矿用人员定位系统;电磁兼容;辐射发射;低通滤波;共模抑制

中图分类号:TD655.3

文献标志码:A

网络出版时间:2017-07-27 09:42

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20170727.0942.006.html>

Rectification scheme of electromagnetic compatibility radiation emission for
mine-used personnel location system

WANG Shuqiang^{1,2}

(1. CCTEG Changzhou Research Institute, Changzhou 213015, China;

2. Tiandi(Changzhou) Automation Co., Ltd., Changzhou 213015, China)

Abstract: According to requirement of electromagnetic compatibility in European Norm EN 301 489-1, mine-used personnel location system must pass radiation emission test when it is applied in foreign countries. For the requirement, radiation emission test for mine-used personnel location system was carried out, and causes of radiation noise was analyzed. The following rectification scheme was put forward: for the radiation emission caused by the clock signal, shorten the length of clock signal line during PCB routing, reduce the number of vias, increase the alignment width and line spacing, and laying ground wire on both sides to shield, so as to reduce return area of clock line; for different clock circuits, low-pass filter, common mode suppression and other measures were adopted to reduce radiation signal transmission. Tests results show that the maximum peak frequency power of the personnel location system after the rectification is 13.086 dB lower than requirement of EN 55032 standard CLASS A and 3.086 dB lower than the requirement of EN 55032 standard CLASS B, which can meet the export requirements.

Key words: mine-used personnel location system; electromagnetic compatibility; radiation emission; low-pass filtering; common mode rejection

收稿日期:2017-06-07;修回日期:2017-06-29;责任编辑:胡娴。

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2016YFC0801405);天地(常州)自动化股份有限公司研发项目(2017GY001)。

作者简介:王树强(1980—),男,江苏沛县人,工程师,现主要从事煤矿通信和定位技术方面的研究工作,E-mail:cariwsq@126.com。

引用格式:王树强.矿用人员定位系统电磁兼容辐射发射整改方案[J].工矿自动化,2017,43(8):25-30.

WANG Shuqiang. Rectification scheme of electromagnetic compatibility radiation emission for mine-used personnel location system [J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(8): 25-30.

0 引言

矿用人员定位系统是中国煤矿建设的“六大系统”之一,在遏制超定员生产、事故应急救援等方面发挥了重要作用^[1]。南非煤矿引进中国矿用人员定位系统时,在功能、安全防爆等方面与中国的要求基本一致^[2],但在电磁兼容方面,要求系统的抗干扰性能和对外电磁干扰等必须通过欧洲标准的相关认证。矿用人员定位系统包含无线通信模块,按照欧洲标准 EN 301 489-1^[3]中的电磁兼容性要求,系统必须通过辐射发射测试。鉴于,本文进行了辐射发射测试,并根据测试结果设计了系统的整改方案,测试依据的标准为 EN 55032《多媒体设备的电磁兼容性发射要求》^[4]。

1 辐射发射测试

1.1 测试系统构成

辐射发射测试系统由测试仪器、接收天线、实验台(转台)、天线、人员定位受试系统(Equipment Under Test,EUT)等组成,测试在 3 m 半波暗室进行,如图 1 所示。

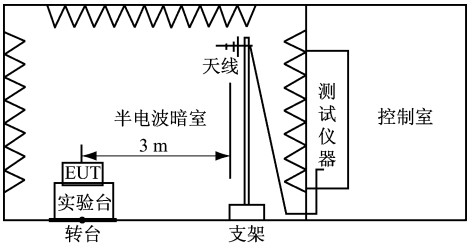


图 1 辐射骚扰测试设备布局

Fig. 1 Layout of Radiation harassment test equipment

测试时,根据设置的脚本,被测设备在转台上 360°旋转,同时天线在支架上上下移动并且改变方向。测试脚本能够找出并记录被测设备的最大辐射状态,包括天线高度、极化方式、转台角度等,然后用测试仪器测试出各点在所要求的频率范围内的最大发射值。

1.2 测试结果

图 2、图 3 是依据 EN 55032 的要求测试的系统水平/垂直极化初次辐射发射 3 米法测试波形,可见,系统整体噪声值较低,但是在部分频点出现超标,峰值频点见表 1 和表 2。图中 50~57 dB μ V/m 折线代表 CLASS A 标准限定值,40~47 dB μ V/m 折线代表 CLASS B 标准限定值;表 1 和表 2 中,序号分别对应图 2、图 3 中的各点,超限值代表测量值超出 CLASS A 标准限定值的部分,“—”表示低于

该标准的数值。

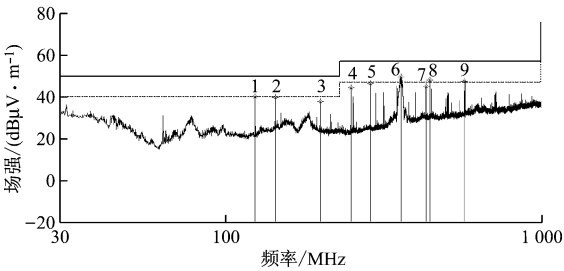


图 2 水平方向第 1 次测试结果

Fig. 2 Result of the first test in horizontal direction

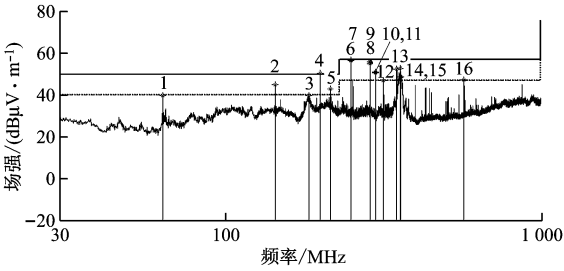


图 3 垂直方向第 1 次测试结果

Fig. 3 Result of the first test in vertical direction

1.3 峰值频点分析

矿用人员定位系统分站等设备主要由高速数字系统构成,系统中固定频率的时钟信号是主要电磁干扰源之一,电路接地不良、信号大环路、串扰、传输线缆、阻抗失配等问题容易导致辐射噪声^[5-6]。分析表 1 和表 2 的数据,发现峰值频点主要出现在 12 MHz 时钟信号、50 MHz 时钟信号和 LVDS(Low Voltage Differential Signaling, 低压差分信号)时钟信号的高频分量处,具体见表 3—表 5。由表 3—表 5 可知,按照 CLASS A 测试标准,明显超出标准要求的 199.992 频点,超出 0.460 dB。按照 CLASS B 测试标准,多个频点峰值超出要求,最高超出 10.460 dB。

2 整改措施

2.1 总体方案

骚扰源、耦合路径、敏感设备是电磁干扰形成的三要素,在特定产品的电磁兼容整改中常采用屏蔽、滤波和接地等措施^[7-10]。针对本系统,对于时钟信号引起的辐射发射超标,在 PCB 布线时必须缩短时钟信号走线长度,减少过孔,加大走线宽度和线间距,同时两边铺设接地线进行屏蔽,减小时钟线的回流面积,并针对不同时钟电路采取低通滤波、共模抑制等措施降低辐射信号发射。

2.2 12 MHz 时钟信号方案

低通滤波、扩频技术是常用的抑制时钟信号辐

表 1 水平方向第 1 次测试峰值频点
Table 1 Peak frequency of the first test in horizontal direction

序号	频率/MHz	测量值/ (dB μ V $\cdot$ m $^{-1}$)	读出值/dB μ V	超限值/dB	限定值/ (dB μ V $\cdot$ m $^{-1}$)	天线系数/ (dB $\cdot$ m $^{-1}$)	链路线损/dB
1	124.090	39.859	23.521	−10.141	50.000	9.377	6.961
2	143.975	39.708	22.202	−10.292	50.000	10.454	7.052
3	199.992	37.680	19.912	−12.320	50.000	10.482	7.286
4	249.947	44.221	25.901	−12.779	57.000	10.869	7.450
5	288.020	46.368	25.547	−10.632	57.000	13.245	7.576
6	359.679	49.529	25.659	−7.471	57.000	16.076	7.794
7	432.065	44.915	18.372	−12.085	57.000	18.554	7.989
8	444.432	48.046	21.509	−8.954	57.000	18.514	8.022
9	571.503	47.603	20.305	−9.397	57.000	18.936	8.362

表 2 垂直方向第 1 次测试峰值频点
Table 2 Peak frequency of the first test in vertical direction

序号	频率/MHz	测量值/ (dB μ V $\cdot$ m $^{-1}$)	读出值/dB μ V	超限值/dB	天线系数/ (dB $\cdot$ m $^{-1}$)	链路线损/dB
1	63.465	39.659	23.772	−10.341	9.218	6.669
2	143.975	44.976	25.875	−5.024	12.049	7.052
3	184.351	39.775	19.449	−10.225	13.105	7.221
4	199.992	50.460	28.004	0.460	15.170	7.286
5	215.997	42.848	20.080	−7.152	15.429	7.338
6	249.947	56.540	33.104	−0.460	15.986	7.450
9	288.020	55.062	30.404	−1.938	17.082	7.576
11	300.024	50.617	27.832	−6.383	15.170	7.615
12	317.484	46.863	22.972	−10.137	16.225	7.666
13	349.979	52.585	27.909	−4.415	16.909	7.766
14	358.587	52.627	28.315	−4.373	16.521	7.791
16	571.503	47.264	20.863	−9.736	18.039	8.362

表 3 12 MHz 时钟信号高频分量分析
Table 3 High component analysis of 12 MHz clock signal

峰值频率/ MHz	基频倍量	超标量/dB	
		CLASS A 标准	CLASS B 标准
143.975	12	−5.024	4.976
215.997	18	−7.152	2.848
288.020	24	−1.938	8.062
358.587	30	−4.373	5.627
359.679	30	−7.471	2.529
432.065	36	−12.085	−2.085
444.432	37	−8.954	1.046

表 4 50 MHz 时钟信号高频分量分析
Table 4 High component analysis of 50 MHz clock signal

峰值频率/ MHz	基频倍量	超标量/dB	
		CLASS A 标准	CLASS B 标准
199.992	4	0.460	10.460
249.947	5	−0.460	9.540
300.024	6	−6.383	3.617
349.979	7	−4.415	5.585

电路,增加电阻 R_{70} , R_{70} 与电容 C_{24} 构成 RC 低通滤波电路,以滤除时钟信号的高频分量,如图 4 所示。电阻 R_{70} 的选择需要考虑 2 个方面因素的影响:
① 构成的低通滤波器的截止频率, R_{70} 的阻值越大,射的方案^[11-12]。在本系统中,对于 12 MHz 时钟

表 5 LVDS 时钟信号高频分量分析

Table 5 High component analysis of LVDS clock signal

峰值频率/ MHz	基频倍量	超标量/dB	
		CLASS A 标准	CLASS B 标准
63.465	1	-10.341	-0.341
124.090	2	-10.141	-0.141
184.351	3	-10.225	-0.225
317.484	5	-10.137	-0.137
571.503	9	-9.736	0.264

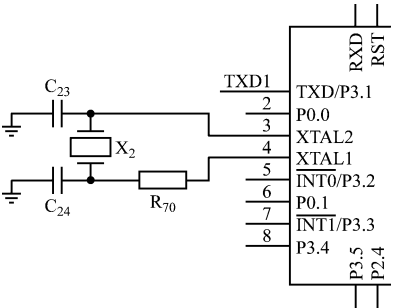


图 4 12 MHz 时钟电路

Fig. 4 12 MHz clock circuit

对高频信号的衰减效果越好。② R_{70} 的存在有可能影响振荡器的起振条件,因而 R_{70} 的阻值不宜过大。

推荐使用下面的方法确定电阻 R_{70} 的阻值。在 R_{70} 的位置放置一个值等于 C_{24} 的容抗的分压电阻,然后不断微调这个分压电阻的值,使之满足如下条件:① 时钟晶体上的功率耗散小于制造商的指定值,以避免晶体被过驱动。② 计算增益裕量,以确保增加的电阻不会影响振荡器的起振条件。

2.3 50 MHz 时钟信号方案

50 MHz 时钟信号对外影响主要有供电电路和时钟信号电路 2 个部分。对于供电电路,通过增加磁珠 FB_5 和滤波电容 C_{91} 、 C_{92} 来衰减时钟高频信号对电源电路的影响^[13],如图 5 所示。

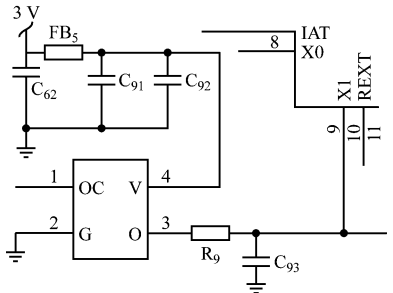


图 5 50 MHz 时钟电路

Fig. 5 50 MHz clock circuit

对于时钟信号电路,采用 R_9 和 C_{93} 构成无源低通滤波电路,实现高频信号的衰减^[14]。无源滤波电路虽然通带放大倍数及其截止频率都随负载而变化,但是结构简单,易设计,适合时钟电路高频谐波的滤波应用,典型的低通滤波电路幅频特性曲线如图 6 所示,其中 $|\dot{A}_u|$ 为输出电压与输入电压之比的幅值。在本方案中,通过改变电阻 R_9 和电容 C_{93} 的取值调整低通滤波器的截止频率 f_c ,对于工作频率等于 f_c 的信号,信号幅度衰减至 0.707,当频率大于 f_c 时,信号幅度以 -20 dB/10 倍频斜率衰减。截止频率 f_c 的计算公式为

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_9 C_{93}} \tag{1}$$

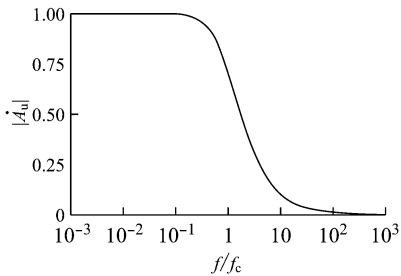


图 6 低通滤波电路幅频特性

Fig. 6 Amplitude-frequency characteristics of low-pass filter circuit

2.4 LVDS 信号方案

由表 5 可知,LVDS 信号影响的峰值频点超标量较小,通过在 LVDS 时钟、数据信号链路中串入共模电感,可以有效抑制高频信号发射^[15]。电感选择主要考虑 2 个方面的因素:① 能够对峰值频点信号造成一定的衰减,使之满足测试标准的要求,电感量应越大越好。② 串入的电感将影响 LVDS 信号的传输速率,因而电感量不宜过大。整改后的电路如图 7 所示,所选用的电感的阻抗特性曲线如图 8 所示。

3 整改后效果

整改后,样机的最终测试结果如图 9、图 10 所示,峰值点见表 6、表 7,可见系统最大峰值频点功率比 EN55032 标准 CLASS A 要求值低 13.086 dB,比 CLASS B 要求值低 13.086 - 10 = 3.086 dB,满足标准要求。

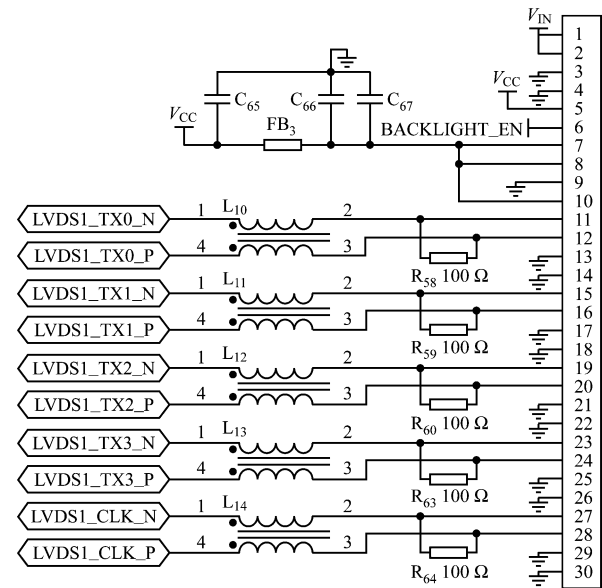


图7 LVDS接口电路

Fig. 7 LVDS interface circuit

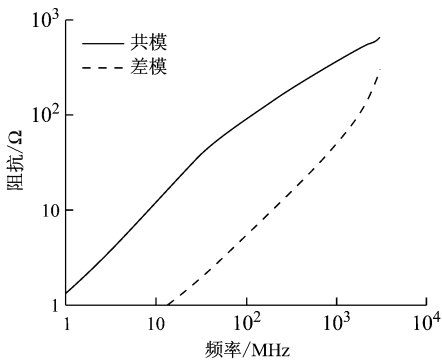


图8 LVDS滤波电感阻抗特性曲线

Fig. 8 Impedance characteristic curve of LVDS filter inductance

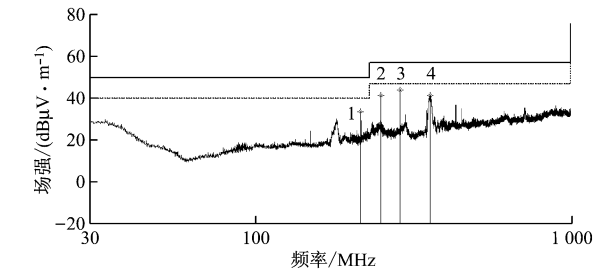


图9 水平方向第2次测试结果

Fig. 9 Result of the second test in horizontal direction

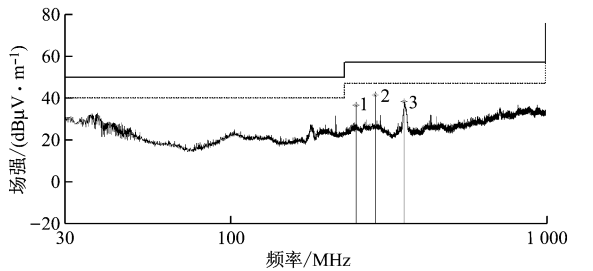


图10 垂直方向第2次测试结果

Fig. 10 Result of the second test in vertical direction

表6 水平方向第2次测试峰值频点

Table 6 Peak frequency of the second test in horizontal direction

序号	频率/MHz	测量值/ (dBμV·m ⁻¹)	读出值/dBμV	超限值/dB	限定值/ (dBμV·m ⁻¹)	天线系数/ (dB·m ⁻¹)	链路线损/dB
1	215.997	33.482	16.283	-16.518	50.000	9.785	7.414
2	249.947	41.567	23.394	-15.433	57.000	10.604	7.569
3	288.020	43.914	23.277	-13.086	57.000	13.029	7.608
4	358.951	41.456	17.174	-15.544	57.000	16.467	7.814

表7 垂直方向第2次测试峰值频点

Table 7 Peak frequency of the second test in vertical direction

序号	频率/MHz	测量值/ (dBμV·m ⁻¹)	读出值/dBμV	超限值/dB	限定值/ (dBμV·m ⁻¹)	天线系数/ (dB·m ⁻¹)	链路线损/dB
1	249.947	36.481	11.830	-20.519	57.000	17.082	7.569
2	288.020	41.551	16.569	-15.449	57.000	17.374	7.608
3	356.163	38.283	13.199	-18.717	57.000	17.279	7.805

4 结论

(1) 介绍了矿用人员定位系统电磁兼容辐射发射测试,得出系统水平/垂直极化初次辐射发射3米法测试波形,发现峰值频点主要出现在12 MHz时钟信号、50 MHz时钟信号和LVDS时钟信号的高频分量处。根据测试结果,针对不同时钟电路采取低通滤波、共模抑制等措施降低辐射信号发射。矿用人员定位系统时钟信号是产品辐射发射超标的重点部位,在产品设计时应引起足够的重视。

(2) 除了上述整改措施,在设计前期一定要进行充分考虑,时钟信号PCB设计要优先布局和布线,把时钟信号对辐射发射的影响降到最小。

参考文献(References):

[1] 孙继平. 煤矿井下安全避险“六大系统”的作用和配置方案[J]. 工矿自动化, 2010, 36(11): 1-4.
SUN Jiping. Effect and configuration of "six systems" for safe act of rescue of coal mine underground[J]. Industry and Mine Automation, 2010, 36(11): 1-4.

[2] AQ 6210—2007 煤矿井下作业人员管理系统通用技术条件[S].

[3] ETSI EN 301 489-1 (2008) Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 1: Common technical requirements[S].

[4] CSN EN 55032 ed. 2-Electromagnetic compatibility of multimedia equipment-Emission requirements[S].

[5] 颜伟, 赵阳, 王恩荣, 等. 射频识别系统电磁辐射干扰特征快速分析与抑制[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(9): 161-166.
YAN Wei, ZHAO Yang, WANG Enrong, et al. Analysis and suppression on radiated EMI noise for radio frequency identification systems[J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering, 2012, 32(9): 161-166.

[6] 颜伟, 赵阳, 王恩荣, 等. 复杂电子系统辐射EMI噪声机理分析与抑制[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(15): 173-180.
YAN Wei, ZHAO Yang, WANG Enrong, et al. Noise mechanism analysis and suppression for radiated electromagnetic interference noise[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(15): 173-180.

[7] 李燕, 焦美. 针对电子电气设备辐射发射的电磁兼容设计方法[J]. 微波学报, 2014, 30(增刊2): 68-73.
LI Yan, JIAO Mei. EMC design methods of electronic equipments' radiated emission [J]. Journal of Microwaves, 2014, 30(S2): 68-73.

[8] 侯宇, 刘蒙, 张成刚. 电子设备抑制电场辐射发射工程设计及改进[J]. 光电技术应用, 2014, 29(3): 48-51.
HOU Yu, LIU Meng, ZHANG Chenggang. Design and improvement engineering of suppressing electric field radiation from electronic equipment[J]. Electro-Optic Technology Application, 2014, 29(3): 48-51.

[9] 孙红艳, 赵阳, 张杨. 高速数字PCB辐射电磁干扰噪声机理分析与抑制方法研究[J]. 电气技术, 2015, 16(12): 61-66.
SUN Hongyan, ZHAO Yang, ZHANG Yang. Noise mechanism analysis and suppression for high-speed digital PCB radiated electromagnetic interference[J]. Electrical Engineering, 2015, 16(12): 61-66.

[10] 汤晓伟. 电子数码相框的辐射发射抑制[J]. 安全与电磁兼容, 2013(2): 40-42.
TANG Xiaowei. Suppression of radiated emission from digital photo frame [J]. Safety & EMC, 2013(2): 40-42.

[11] 张小林, 侯捷, 康亚强. RGB显示屏的辐射超标解决方案[J]. 安全与电磁兼容, 2017(2): 65-67.
ZHANG Xiaolin, HOU Jie, KANG Yaqiang. Radiation problem and solution of RGB display screen [J]. Safety & EMC, 2017(2): 65-67.

[12] 许立, 龙在云. 基于医疗设备的辐射EMI噪声诊断与抑制技术研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2017(1): 113-115.
XU Li, LONG Zaiyun. Research on noise diagnosis and suppression technology of radiation EMI based on medical equipment [J]. Automation & Instrumentation, 2017(1): 113-115.

[13] 黎己林. 高精度仪表的电磁兼容设计中磁珠应用浅析[J]. 机电工程技术, 2016(增刊2): 258-261.

[14] 苏宏锋, 张丽霞, 张强, 等. 基于FPGA核心控制板的PCB抗电磁干扰设计[J]. 数字技术与应用, 2016(4): 146-147.
SU Hongfeng, ZHANG Lixia, ZHANG Qiang, et al. Anti EMI design of PCB based on FPGA core control board [J]. Digital Technology and Application, 2016(4): 146-147.

[15] 王风清. 笔记本电脑的EMC方案设计与优化[D]. 苏州: 苏州大学, 2016.