

# 光电跟踪设备 EMC 滤波技术研究

胡钦涛 周国忠

(1. 中国科学院光电技术研究所 成都 610209; 2. 中国科学院光束控制重点实验室 成都 610209; 3. 中国科学院大学 北京 100039)

**摘要:**电磁兼容是电子、电气设备或系统的重要技术要求,其要求直接影响了产品的性能。介绍了光电跟踪设备电磁兼容问题产生的原因以及对其进行电磁兼容处理的必要性。并针对性阐述了电源和通信信号滤波技术的原理,以及对该问题提出了解决方法,通过电源滤波技术和信号滤波技术、结合某光电跟踪设备,系统分析了设备所存在的电磁兼容问题并进行技术验证,达到 GJB151A 的电磁兼容要求,给出的滤波方法可以给光电跟踪设备的电磁兼容工程实践提供参考。

**关键词:**光电跟踪设备;电磁兼容;滤波

**中图分类号:** TN2      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 520.604

## Research on EMC filtering technology for electro-optics tracking equipment

Hu Qintao Zhou Guozhong

(1. The Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Science, Chengdu 610209, China; 2. The Key Lab of Beam Control, Chinese Academy of Science, Chengdu 610209, China; 3. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Electromagnetic compatibility is an important technical index of electrical equipment or system, and its requirements directly affect the performance of the product. In this paper, the reason of electromagnetic compatibility of electro-optics tracking equipment and the necessity of electromagnetic compatibility processing are introduced. And then expounds the principle of power supply and communication signal filtering technology, and on the issue of the solution, through a combination of power filter and signal filtering technology, a photoelectric tracking equipment, system analysis of electromagnetic compatibility problems existing in equipment and technical verification, electromagnetic compatibility requirements to GJB151A, filtering method can provide a reference for electromagnetic compatibility engineering practice of optoelectronic tracking equipment.

**Keywords:** electro-optics tracking devices; electromagnetic compatibility; filtering

### 1 引言

光电跟踪设备,装载有电机、CCD、高速数字电路处理模块、开关电源模块等,这些模块工作于不同频段内,向外发射不同频段的电磁波,同时也受到外界电磁波干扰,电磁环境复杂,为了满足相应性能指标及 GJB151A-1997 电磁兼容测试要求,需要有针对性的对设备采取有效的电磁兼容措施,保障设备的正常运行。

传统电磁兼容方法是在设备完成后进行电磁兼容整改,所耗时间较长并且可能会导致对设备重新设计。在设备研制初期对系统进行 EMC 设计,通过电子模块、电源、信号的分析,确定容易造成电磁兼容超标的地方,结合滤波器技术,可以避免设备在设计完成后对设备进行二次修

改以满足电磁兼容要求<sup>[1-7]</sup>。

### 2 滤波技术

滤波是一种只允许某一频带信号通过或者阻止某一频带信号通过的抑制干扰措施之一。一般,常用滤波器有高通滤波器、低通滤波器、带通滤波器和带阻滤波器。顾名思义,高通滤波器只允许超过截止频率的高频信号通过,低通滤波器只允许低于截止频率的低频信号通过,带通滤波器只允许在相应通带内频率的信号通过,带阻滤波器则正好相反,阻止相应频率带的信号。

在电磁兼容设计中,应根据设备需求需要,选择相应合适的滤波器。由于通常设备的干扰信号大多是高频噪

收稿日期:2016-11

音,故通常采用低通滤波器。电子设备的滤波技术主要集中于信号滤波和电源滤波<sup>[8]</sup>。

光电跟踪设备的组成及信号关系如图1所示,有图像传输信号和供电信号与外界设备连接,内部有电源模块、图像处理模块、控制电路、CCD模块等。电源模块采用开关电源,会有大量的谐波产生,图像处理模块采用高速数字电路,控制电路和传感器之间也具有高速采样信号,电机驱动信号采用PWM信号同样也具有大量的谐波。所以需要在图1所示的②处添加电源滤波器,在图1所示的①、③、④、⑤处使用信号滤波器。

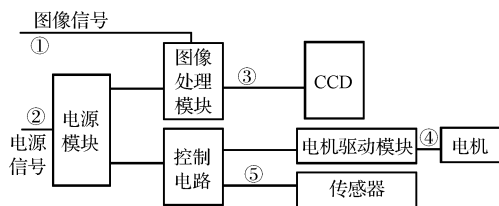


图1 设备组成及信号关系

原机设备的原始 CE102 测试如图2所示,设备在 CE102 测试中裕量较小,有个别单点已经超标。其中,在 0.2~6 kHz 的许多“尖峰”,每个“尖峰”大概是相差 300 kHz,分析为开关电源谐波所造成。而在 10 MHz 处,整体有向上的趋势,分析是由于信号耦合到电源线上所造成的。为减小传导,可以根据电磁 3 要素,减小其中一环节,通过采用电源滤波和信号滤波技术,是实现设备 EMC 完善和有效的方法。

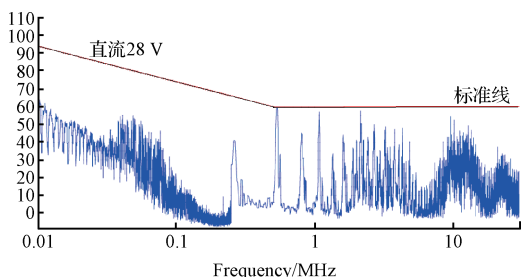


图2 CE102 整改前测试图

### 3 电源滤波器技术

#### 3.1 常见电源干扰

电源线是 EMI 问题传入电气和传出电气的主要路径,是电磁兼容问题的源头,电网上的干扰或者外界的电磁场可以通过电源线传入设备,使设备不能够很好地工作。同样,设备也可以通过电源线将各种设备自身产生的干扰传到电网上,或者充当天线辐射到外界中,对其他设备的正常工作造成干扰。电源干扰通常存在两种干扰,

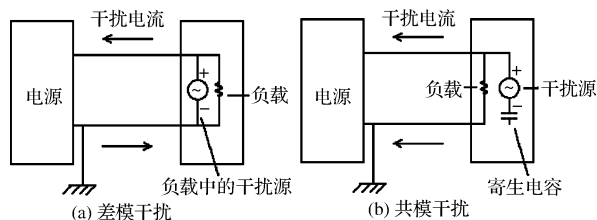


图3 差模干扰与共模干扰

共模干扰和差模干扰,如图3所示。抑制电源干扰主要通过滤波技术<sup>[9]</sup>。

由于采用了开关电源,其开关功率管不断地高速切换状态,会产生脉冲电流,导致谐波发生,其频率从数十 kHz 到几百 MHz,影响设备的传导及辐射。因而电源滤波器主要是针对开关电源做设计。

#### 3.2 电源滤波器设计

常用的开关电源 EMI 滤波器如图4所示。

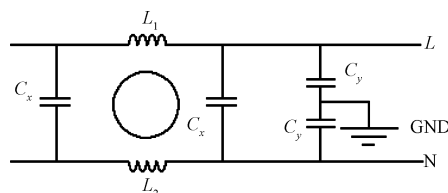


图4 开关电源滤波器

对滤波器分析,其中电感  $L_1$  和  $L_2$  是绕在同一个铁氧体磁环上的两个独立线圈,即为共模扼流圈,这两个线圈的圈数相同,绕线方向相反,在接入电路后正常电流在磁环上产生的磁通大小相等方向相反正好抵消,使磁环不会达到饱和状态,从而让两电感  $L_1$  和  $L_2$  保持大小不变。而对于共模电流则产生同向的磁场从而增大线圈感抗,使线圈为高阻抗,阻止共模电流的流过。有较强的共模衰减能力。在实际上,由于两线圈的绕制不可能完全一样,从而两电感形成差模漏电感,一般用  $L_e$  表示,可以用来对差模信号滤波。

将该滤波器简化,分为差模电流滤波器和共模电流滤波器,对于差模等效,  $L$  和  $N$  线上电流方向相反,可以通过电容对差模干扰形成回路,让  $L$  上的干扰通过电容回流回  $N$  线上,同时,电感也可以通过感抗“阻止”干扰的通过,对于共模干扰,则需要通过共模电容,使共模电流直接流入地以及共模电感的阻止其流过。等效电路如图5所示。

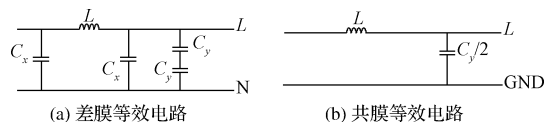


图5 差模等效图和共模等效电路

## 4 信号滤波技术

### 4.1 常见信号干扰

对于光电跟踪设备,对外呈现干扰源的主要是数字设备,现在高速数字电路的使用,使系统中有许多时钟信号和数字信息信号,其上升沿越来越陡峭,经过傅里叶变换后的频谱也就越宽,时钟信号为周期信号,而数字信号为非周期信号,故傅里叶变换后时钟信号的谐波主要是以基频为倍频,电磁辐射则主要是以谐波倍频发射,而数字信号辐射则是宽带的连续谱,在实际电路中,两种电路相互存在,故电路中的辐射也是相互叠加,引发一系列电磁兼容问题,故滤波主要指数字电路部分。如图6所示为数字信号的傅里叶变换,其在高频拥有大量谐波。

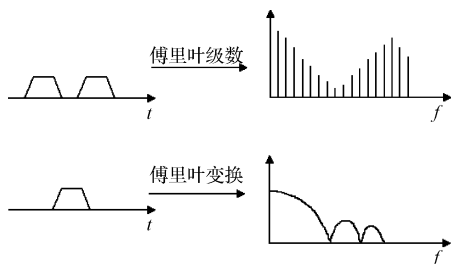


图6 数字信号频谱

为了减少高次谐波,需要采取一定措施,如下公式, $C_n$ 为 $n$ 次高次谐波的幅度, $T$ 为脉冲周期, $A$ 为脉冲幅度, $t_r$ 为脉冲上升时间, $\tau$ 为脉冲宽度。具体波形如图7所示。

$$C_n = 2A \frac{(\tau + t_r)}{T} \cdot \frac{\sin\left[\frac{\pi n(\tau + t_r)}{T}\right]}{\frac{\pi n(\tau + t_r)}{T}} \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi n t_r}{T}\right)}{\frac{\pi n t_r}{T}} \quad (1)$$

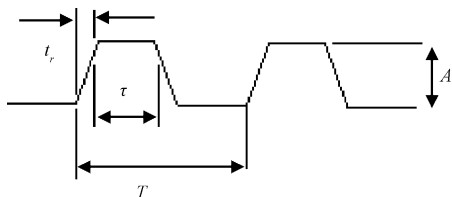


图7 数字信号频谱

### 4.2 信号滤波器设计

滤波是信号线抗干扰的一项重要措施,包括了数字信号的数字线和模拟信号的模拟线。信号滤波器包括板上安装和连接器内藏两种方式。信号滤波技术最有效的一种方式隔离,有光电耦合隔离和电磁隔离。和电源滤波器不同,为了保证信号滤波器的传输信号不失真,通常更多选用负载阻抗、电源阻抗和滤波器阻抗都相匹配的型号。而电源滤波器一般则会负载阻抗、电源阻抗和滤波器阻抗不匹配,以抑制干扰传输。

其中,滤波器的重要指标是插入损耗(insertion loss, IL),单位为分贝(dB),需要选择合适插入损耗的滤波器在设备上使用。则:

$$IL = 20 \log_{10} \frac{V_1}{V_2} \quad (2)$$

式中: $V_1$ 、 $V_2$ 分别为插入滤波器前后的测得接口电压值,同时也可以功率表示,

$$IL = 20 \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \quad (3)$$

式中: $P_1$ 、 $P_2$ 插入滤波器前后的测得接口功率值。

由式(1),可知对于数字信号,需要增大上升时间,使上升变得平滑,即减小 $dv/dt$ ,可以减小脉冲信号的高频谐波,但是,对于数字信号,考虑到接收机的存在,若是对信号过滤,容易导致信号失真,又会造成接收信号的错误,设备工作不正常。在工程当中,常常根据传输信号的频率,再以该频率乘以十作为该信号的截止频率进行滤波,可保证在满足相应辐射标准的情况下,不影响信号接收机的接收。通常,采用穿心电容或者磁环(铁氧体)对通信导线直接滤波。不过穿心电容会引入一定的延迟,对于高速数字电路有可能会造成新的干扰错误,故通常会采用磁环滤波。

铁氧体滤波器主要采用软磁材料制作,软磁材料相比其他磁性材料具有更稳定的高频特性。通常需要关心铁氧体的磁导率 $\mu$ ,其频率特性,饱和特性和材料的居里温度等。将铁氧体材料做成磁环绕指成线圈接入电路中时,其等效电路相当于一个电感和电阻的串联接入。

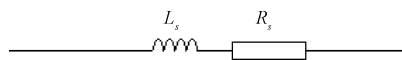


图8 铁氧体接入电路等效

$$L_s = \frac{4\pi N^2 A_c \hat{\mu}'}{l_e} \times 10^{-9} \quad (\text{H}) \quad (4)$$

$$R_s = \frac{4\pi N^2 A_c \omega \hat{\mu}''}{l_e} \times 10^{-9} \quad (\Omega) \quad (5)$$

式中: $N$ 为线圈的匝数, $A_c$ 为环形磁芯的有效横截面积, $\text{cm}^2$ ; $l_e$ 为环形磁芯的有效磁路长度, $\text{cm}$ ; $\omega$ 为工作角频率, $\text{rad/s}$ ; $\hat{\mu}'$ 与 $\hat{\mu}''$ 分别为复磁导率 $\mu$ 的实部和虚部,即 $\mu = \hat{\mu}' + j\hat{\mu}''$ 。

软磁材料的插入损耗值:

$$IL = 20 \log_{10} \frac{|Z_s + Z_L + Z|}{|Z_s + Z_L|} \quad (\text{dB}) \quad (6)$$

式中: $Z_s$ 为源端阻抗, $Z_L$ 为负载端阻抗, $Z$ 为铁氧体磁芯的等效阻抗。

$$Z = j\omega L_s + R_s \quad (7)$$

可见铁氧体滤波器为低通滤波器,在实际中应根据具体截止频率选择合适的铁氧体滤波器。

## 5 EMC完善及验证

针对如图1所示的光电跟踪设备及图2所示的原始CE102测试状态,对于图像信号,由于图像信号的敏感性,采用单级滤波,只用单电感,并对传输线上采用夹式磁环,将其套在传输线上,图像信号在6 MHz左右,磁环截止频

率 7 MHz, 不对图像信号造成干扰。对于电机 PWM 信号以及传感器采样信号和 CCD 信号, 也均采用磁环滤波。

对于电源信号, 在电源模块前加电源滤波器, 因需要在 250 kHz 时能够有效抑制噪声, 故选用 100 kHz 时共模插入损耗 60 dB, 差模插入损耗 60 dB, 的滤波器。能为设备提供较好的噪音抑制效果。

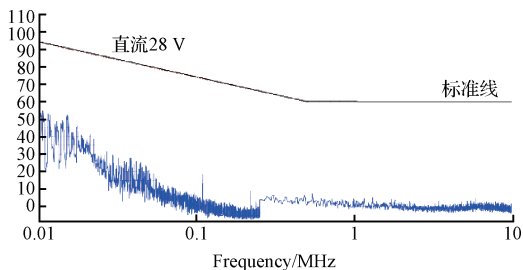


图9 CE102 整改后测试图

经过滤波措施处理后, 设备保持测试条件与图 2 相同, 电磁兼容测试 GJB151A<sup>[10]</sup> 的 CE102 测试如图 9 所示, 图 9 表明, 施加滤波技术后, 检测设备的 CE102 测试符合 GJB151A-1997<sup>[10]</sup> 标准, 整体曲线在标准线下 60 dB, 满足设计要求。

## 6 结 论

介绍了给予电磁兼容系统法设计思想的光电跟踪设备的滤波器技术。通过对光电跟踪设备的各电子模块和信号电源分析, 确定电磁滤波技术的技术指标, 再结合滤波器原理进行滤波器设计和选型; 在施加了必要的滤波措施后, CE102 测试曲线最高点大概下降 60 dB, 均值下降 30 dB, 整体曲线比较平滑, 由开关电源引起的“尖峰”以及信号噪声引起的“凸起”已经消失。测试验证了电源及信号滤波技术的有效性, 满足设计要求。对光电跟踪设备运

用电磁兼容滤波技术, 解决相关 CE102 超标问题具有较大参考价值。

## 参 考 文 献

- [1] 王超, 唐浩, 黄林. 基于 PT100 型铂热电阻的温度测量和控制系统[J]. 仪表技术, 2013(2):28-34.
- [2] 谭林. 基于单片机的温度监控系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2009, 28(4):50-52.
- [3] 谭长森. 基于 PT100 型铂热电阻的测温装置设计[J]. 工矿自动化, 2012(3):89-91.
- [4] 兰羽, 白洁. 基于 Pt100 传感器的温度测量系统设计[J]. 机械与电子, 2013(10):44-46.
- [5] 隋洪岗. PT100 温度传感器在温度数据实时监测系统中的应用[J]. 电脑开发与应用, 2011(4):64-65.
- [6] 王延珩, 李阳, 马德才, 等. 快速高精度电子元件温度特性测量仪的研制[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(3):285-288.
- [7] 樊友明, 都基丰. PT100 传感器测量铁心温度分析[J]. 变压器, 2013, 50(1):56-57.
- [8] 吕方瑶, 张池军, 闫勇, 等. 一类高精度温度测量技术研究[J]. 电子测量技术, 2011, 34(8):88-90.
- [9] 王延年. 基于单片机的铂电阻高精度温度测控系统[J]. 电子测量技术, 2006, 29(4):51-54.
- [10] 张瑜, 张升伟. 基于铂电阻传感器的高精度温度检测系统设计[J]. 传感技术学报, 2010, 23(3):311-314.

## 作 者 简 介

胡钦涛, 1993 年出生, 在读研究生, 主要研究方向为电磁兼容、检测与自动化。

E-mail: hqt0099@mail.ustc.edu.cn