

文章编号 1004-924X(2014)12-3160-07

瞬变电磁场辐照下液晶显示模块的电磁兼容预测

孙守红^{1,2}, 郭立红^{1*}, 葛欣宏¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 由于大功率 TEA CO₂ 激光器系统中的液晶显示模块易于耦合电磁干扰, 从而影响激光器的正常工作, 本文研究了在瞬变电磁场辐照下预测液晶显示模块电磁兼容 (EMC) 能力的方法。分析了液晶显示模块集成于激光器系统时受干扰耦合的机理; 从场线耦合干扰的角度, 采用 Taylor 形式的 BLT 方程对液晶显示模块耦合的场线电磁干扰进行了分析计算, 并采用实验手段对预测结果进行了验证。计算结果显示: 连接线缆耦合电磁场在液晶显示模块数据线上产生的干扰电压为 1 V, 超出了电路的噪声容限, 需要采取 EMC 控制措施保证液晶显示模块的工作性能。验证实验结果表明: 得到的 EMC 预测的结果能够正确反映液晶显示模块的实际 EMC 性能。该方法对大功率 TEA CO₂ 激光器电磁辐射近场区内电气设备的电磁兼容预测与设计具有指导意义。

关键词: 液晶显示模块; 电磁兼容; TEA CO₂ 激光器; 瞬变电磁场; 场线耦合

中图分类号: TN248.2; TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20142212.3160

EMC prediction of liquid crystal display module under transient irradiation in electromagnetic field

SUN Shou-hong^{1,2}, GUO Li-hong^{1*}, GE Xin-hong¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

* Corresponding author, E-mail: guolh@ciomp.ac.cn

Abstract: The Liquid Crystal Display (LCD) module in a high power TEA CO₂ laser is easy to couple with electromagnetic interference, so as to affect the normal work of the laser. Therefore, this paper explores the prediction method of Electromagnetic Compatibility (EMC) for the LCD module under transient irradiation in an electromagnetic field. The coupling mechanism of electromagnetic interference received by the LCD module integrated in the laser system was analyzed. On the basis of the coupling of field and line, the field line electromagnetic interference of the LCD module was analyzed and calculated by using the BLT equation in the Taylor form, then, the prediction results were verified by several experimentally. The experimental results show that the interference voltage produced by connect cables coupled with electromagnetic fields on the data lines of LCD display module is 1 V, and exceeds the noise margin of the circuit. So the EMC control measures must be taken to ensure the per-

收稿日期: 2013-11-05; 修订日期: 2014-01-04.

基金项目: 吉林省科技厅科技发展计划资助项目 (No. 20120331)

formance of the LCD module. Moreover, the verification experiments indicate that prediction results for the EMC has correctly reflected the actual EMC performance of LCD module. The method has a guiding significance for prediction and design of EMC of electrical equipment in high-power TEA CO₂ lasers.

Key words: Liquid Crystal Display (LCD) module; Electromagnetic Compatibility (EMC); TEA CO₂ laser; transient electromagnetic field; field line coupling

1 引言

大功率 TEA CO₂ 激光器属于高功率脉冲激励型气体激光器。在工作过程中,它采用快速激励技术对储能电容器组反复进行充放电,在短于激发能级寿命时间内不断向激光气体中注入能量,此过程称为高电压、大电流的脉冲放电过程。在脉冲放电过程中,激光器的火花开关、主回路和出光口处向空间辐射强烈的电磁场,致使激光器系统内部的电磁环境十分恶劣。因此,预测与设计激光器电磁辐射近场区内设备的电磁兼容性 (Electromagnetic Compatibility, EMC)^[1-4] 就非常重要。在激光器控制系统中,液晶显示模块是激光器系统的人机交互界面,其核心器件是液晶显示器 (Liquid Crystal Display, LCD)。LCD 是测量结果显示和人机对话的重要工具,但 LCD 的工作电流和电压都为弱信号,属于易受干扰的电磁敏感设备,尤其当液晶显示模块集成于大功率 TEA CO₂ 激光器系统时,激光器系统中的强电磁辐射对液晶显示模块具有很大的干扰和破坏作用。

目前,相关激光器系统的 EMC 研究方面的文献主要基于工程和实验。在国外,文献[5]讨论了高功率固体激光器电磁干扰形成的原因与抑制方法。文献[6]研究了高功率激光器的 EMC 防护技术。文献[7]研究了铜蒸汽激光器的辐射电磁干扰情况,并进行了激光器的屏蔽设计。上述文献侧重于激光器主机系统的 EMC 问题,而激光器控制系统的 EMC 问题则未见报道。国内在大功率 TEA CO₂ 激光器的 EMC 研究方面亦有进展:文献[1]分析了大功率 TEA CO₂ 激光器系统的电磁干扰源。文献[2]对大功率 TEA CO₂ 激光系统的电磁干扰进行了分析计算及 EMC 设计。文献[8]研究了车载高功率激光器系统的 EMC 设计。文献[9]从工程实践角度分析了激光器控制系统中液晶显示模块的电磁不兼容现象,

采用 EMC 控制手段进行了 EMC 设计。

EMC 预测和分析是合理进行 EMC 设计的基础,能够对可能存在的干扰进行定量的估计和模拟,一方面避免采取过高的防护措施造成浪费;另一方面避免在系统后期修改设计、重新调整布局。因此,在通过测试等手段获得激光器内电磁分布的前提下,有必要对液晶显示模块的场线耦合干扰进行分析预测。在电路设计良好,能够有效地抑制传导干扰的前提下,场线耦合效应产生的干扰电压是液晶显示模块不能正常工作的主要原因。本文从 EMC 预测的角度,采用 BLT 方程分析计算了大功率 TEA CO₂ 放电过程中液晶显示模块的场线耦合,该项工作对于大功率 TEA CO₂ 激光器电磁辐射近场区内电气设备的 EMC 预测与设计具有指导性的意义。

2 液晶显示模块的电磁敏感现象及传导干扰分析

当激光器处于工作状态时,集成于激光器系统中的 LCD 模块将受到强烈的电磁干扰,会出现显示字符移位、屏幕抖动、气压/风速等传感器项的数值跳动过大、乱码、整个屏无字显示等现象;极端情况下还会发生触摸键盘输入指令无响应, LCD 模块无法工作等状况。作为典型的电磁敏感设备, LCD 模块主要通过两种途径耦合电磁干扰,即传导干扰和辐射干扰。传导干扰是指沿着导体传输的电磁干扰,电源线上的振荡瞬变和脉冲干扰及长时间的电压过低是产生传导干扰的主要原因。经实验验证,在印刷电路板 (Printed Circuit Board, PCB) 设计中,对 LCD 模块的供电系统施加宽带滤波器、DC/DC 变换,以及在 LCD 模块接口的 V_{SS} 和 V_{DD} 之间接一支 0.1 μF 的去耦电容,并接 100 μF 电容滤波,可消除 LCD 模块的传导干扰耦合。因此,辐射干扰为 LCD 模块重要的电磁干扰耦合途径。

3 液晶显示模块的场线耦合干扰预测

在大功率 TEA CO₂ 控制系统的设计中,采用 TMS320F2812DSP 来控制 YM320240LCD 模块电路,如图 1 所示。TMS320F2812 有 2 种访问 LCD 模块的方式:总线方式和 I/O 接口方式。总线方式即采用 DSP 的数据总线直接与 LCD 模块的数据口连接;I/O 接口方式则是通过 DSP 的 I/O 接口与 LCD 模块的数据口相连,由程序控制接口产生相应的控制时序,实现对 LCD 模块的控制^[10]。在系统实际结构中,LCD 模块通过线缆与 DSP 控制系统相连,线缆包括电源线和数据线。瞬变电磁场辐照至电源线和数据线上,连接在

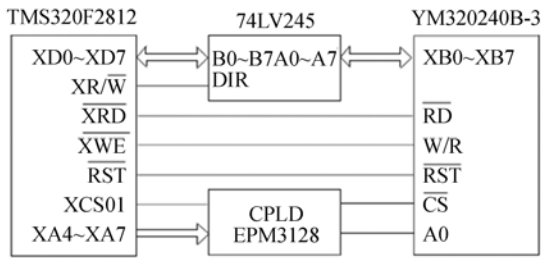


图 1 TMS320F2812 与 YM320240B 接口电路

Fig. 1 Interface circuit between TMS320F2812 and YM320240B

电磁场理论中等效为天线结构,依据天线理论,等效天线结构耦合电磁波将在结构终端产生干扰电压、电流,即场线耦合效应。当干扰电压、电流超过 LCD 模块的敏感度阈值时,LCD 模块将出现各种受干扰现象。

基于传输线理论发展而来的 BLT 方程是场线耦合干扰预测的主要方法^[11-14]。考虑一个有限长的传输线两端接负载,在 $x = x_s$ 处接电压和电流激励源,如图 2 所示。

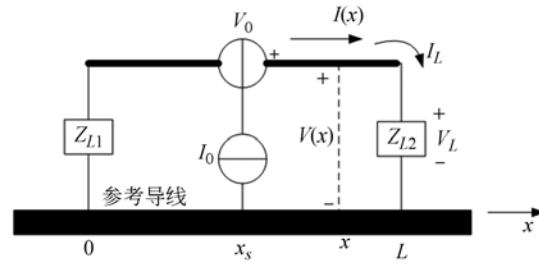


图 2 双端接负载的传输线

Fig. 2 Double end loaded transmission line

在这种情况下,对每个负载分别定义电压反射系数,有: $\rho_i = \frac{Z_{Li} - Z_c}{Z_{Li} + Z_c}$ 。

依据传输线理论,对于在 $x = x_s$ 处有串联电压源和并联电流源的情形,推导出任意点的电流和电压的一般解,将任意点的电流和电压的一般解写成负载电流和电压的矩阵形式,有:

$$\begin{pmatrix} V(0) \\ V(L) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 + \rho_1 & 0 \\ 0 & 1 + \rho_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\rho_1 & e^{\gamma L} \\ e^{\gamma L} & -\rho_2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} e^{\gamma x_s} (V_0 + Z_c I_0) / 2 \\ -e^{\gamma(L-x_s)} (V_0 - Z_c I_0) / 2 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} I(0) \\ I(L) \end{pmatrix} = \frac{1}{Z_c} \begin{pmatrix} 1 - \rho_1 & 0 \\ 0 & 1 - \rho_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\rho_1 & e^{\gamma L} \\ e^{\gamma L} & -\rho_2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} e^{\gamma x_s} (V_0 + Z_c I_0) / 2 \\ -e^{\gamma(L-x_s)} (V_0 - Z_c I_0) / 2 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

这个矩阵方程称为 BLT 方程。

在电磁场入射到传输线的情况下,传输线的激励源需要采用分布激励源。图 3 为场线耦合的示意图,由图 3 推导出 Taylor 形式的分布电压源和分布电流源分别为^[15]:

$$V_{si}'(x) = -j\omega\mu_0 \int_0^d H_y^{inc}(x, z) dz, \quad (3)$$

$$i_{sc}'(x) = -jaC' \int_0^d E_z^{inc}(x, z) dz. \quad (4)$$

因此, Taylor 形式求解场线耦合的 BLT

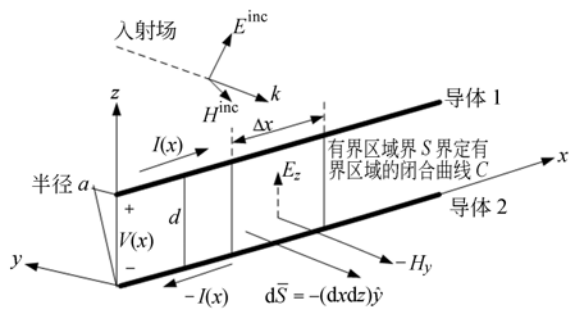


图 3 场线耦合示意图

Fig. 3 Schematic diagram of field line coupling

方程为:

$$\begin{pmatrix} I(0) \\ I(L) \end{pmatrix} = \frac{1}{Z_c} \begin{pmatrix} 1-\rho_1 & 0 \\ 0 & 1-\rho_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\rho_1 & e^{\gamma L} \\ e^{\gamma L} & -\rho_2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} V(0) \\ V(L) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1+\rho_1 & 0 \\ 0 & 1+\rho_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\rho_1 & e^{\gamma L} \\ e^{\gamma L} & -\rho_2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

其中,分布激励源矢量为:

$$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \int_0^L e^{\gamma x_s} [V_{si}'(x_s) + Z_c I_{si}'(x_s)] dx_s \\ -\frac{1}{2} \int_0^L e^{\gamma(L-x_s)} [V_{si}'(x_s) - Z_c I_{si}'(x_s)] dx_s \end{pmatrix}, \quad (7)$$

其中:参数 γ 是沿着传输线的传输常数,有 $\gamma = \sqrt{Z'Y'}$;特征阻抗 Z_c 是正向传输的电压和电流之比, $Z_c = \frac{V^+(x)}{I^+(x)} = \sqrt{\frac{Z'}{Y'}}$;相应特性导纳 $Y_c, Y_c = 1/Z_c$ 。

文献[16]中给出了入射到 LCD 模块与 DSP 控制系统连接线缆的电场辐射和磁场辐射,分别如图 4、图 5 所示。

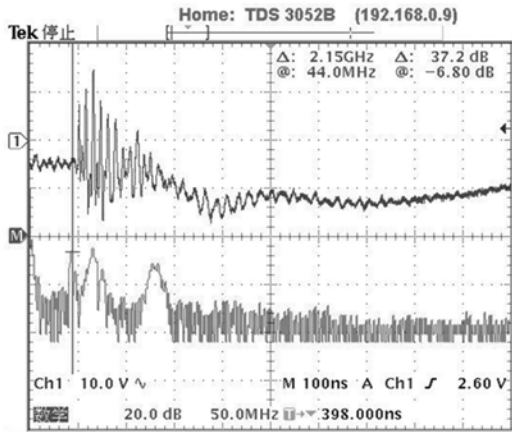


图 4 示波器测试电场辐射波形图(主回路侧 30 cm)
Fig. 4 Radiation waveform of electric field on side of main loop by 30 cm

在 BLT 方程中,分布激励源矢量需要依据电场辐射值及磁场辐射值计算,而测量结果在示波器上的示值为电压值,需要依据测量探头的天线因子,采用文献[16]的方法将示波器示值转换为电场辐射与磁场辐射,如图 6 所示。

在 BLT 方程中,求解分布激励源矢量的前提是求得沿着传输线的传输常数 γ 及特征阻抗 Z_c ,

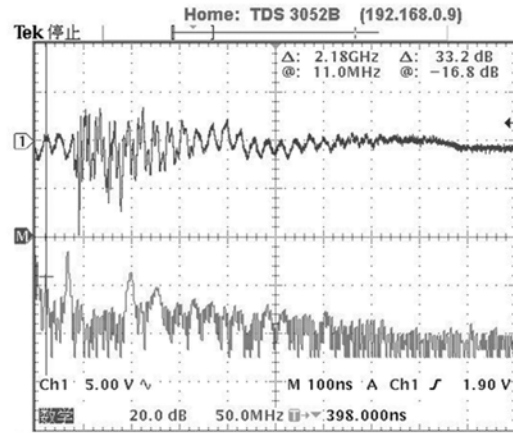


图 5 示波器测试磁场辐射波形图(主回路侧 30 cm)
Fig. 5 Radiation waveform of magnetic field on side of main loop by 30 cm

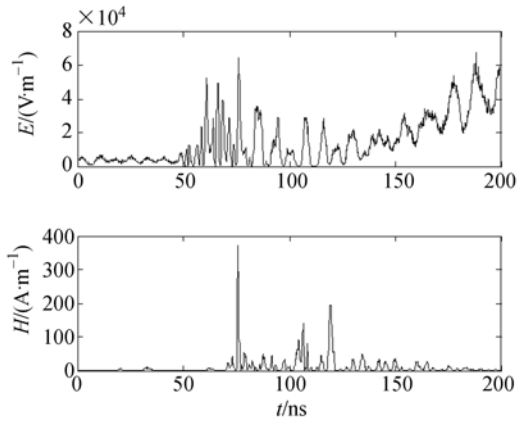


图 6 电场及磁场辐射波形图

Fig. 6 Radiation waveforms of electric and magnetic fields

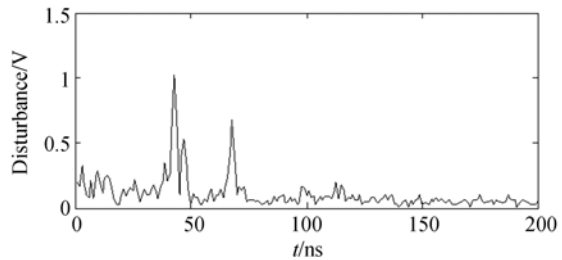


图 7 MATLAB 计算干扰耦合电压波形图(主回路侧 30 cm)

Fig. 7 Waveform of interference coupling voltage calculated by MATLAB (on side of main loop by 30 cm)

而由 $Z' = R' + j\omega L', Y' = G' + j\omega C'$ 可以求出传输线的传输常数 $\gamma = \sqrt{Z'Y'}$ 及特征阻抗 $Z_c = \frac{V^+(x)}{I^+(x)} = \sqrt{\frac{Z'}{Y'}}$ 。

依据工程实际,传输线的分布参数为: $R'=0.05 \Omega/\text{m}$, $L'=0.2 \mu\text{H}/\text{m}$, $G'=15 \text{ nS}/\text{m}$, $C'=33 \text{ pF}/\text{m}$ 。相应地,有 $Z'=0.05+45.2\text{j}$, $Y'=1.5\times 10^{-8}+7.5794\times 10^{-3}\text{j}$,在设备的等效阻抗为 150Ω 的情况下,将已求得的参数代入 BLT 方程中,利用 MATLAB 进行干扰耦合电压计算,计算结果如图 7 所示。

4 实验

由仿真结果可知,干扰耦合电压的峰值约为 1 V , 1 V 的电压与信号线自身的电压叠加会对 LCD 模块产生干扰。叠加有两种方式,都产生于在信号线上的干扰耦合电压达到峰值的时刻,一种为信号线内的正常信号为高电平,此时高电平将有较大的震荡,影响 LCD 模块的工作状态;另一种为信号线内的正常信号为低电平,此时叠加信号会超过噪声容限,引起电路的误动作。

采用 TDS3052B 示波器测试 LCD 数据线波形,测试结果为第二种叠加方式,如图 8 所示。波线不仅在高电平时有震荡,在低电平时也出现了较大的振幅,最高约为 1 V 。TTL 电路输出低电平的电压上限通常为 0.8 V ,噪声容限通常为 0.4 V ,测试结果中低电平的振幅显然超过了噪声容限,此时 LCD 侧低电平只要有 0.5 V 的干扰,信号的叠加电路就会有反应。因此,LCD 模块在激光器工作时,将会出现显示混乱的现象。

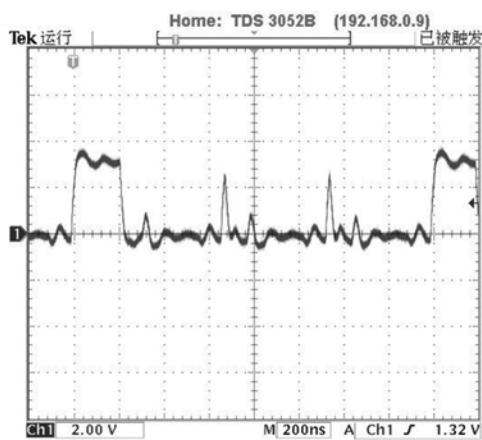


图 8 示波器测试 LCD 数据线波形图

Fig. 8 LCD data line waveform

实验结果表明,在系统设计阶段,采用 BLT 方程预测激光器系统中 LCD 模块的场线耦合干扰是可行的,而且依据预测结果能够进行相应的 EMC 设计。

5 屏蔽设计

文献[9]提出了 LCD 模块的 EMC 设计方法,较详细地阐述了 PCB 层的 EMC 设计方法。在 PCB 层进行了 EMC 加固后,LCD 模块的屏蔽设计就显得尤为重要。

屏蔽壳体采用单层金属屏蔽,屏蔽效能为:

$$SE=A+R+B.$$

其中:A 为吸收损耗,

$$A=8.686 T \sqrt{\frac{2\pi f \mu_r \mu_0 \sigma_r \sigma_{Cu}}{2}} \approx 131 T \sqrt{\mu_r \sigma_r f}.$$

式中: μ_r 为材料的相对磁导率, σ_r 为相对于铜的材料相对电导率,T 为金属板的厚度,f 为频率。

R 为反射损耗:

近场区电场:

$$R_E=20 \lg \left[\frac{0.01169}{r} \sqrt{\frac{\mu_r}{f \sigma_r}} + 5.3 r \sqrt{\frac{f \sigma_r}{\mu_r}} + 0.5 \right].$$

近场区磁场:

$$R_H=322-20 \lg \sqrt{\frac{f^3 r^2 \mu_r}{\sigma_r}}.$$

B 为多次反射损耗,可以忽略不计。在屏蔽设计中,主要依据 A 和 R 的计算结果。

冷轧钢的相对磁导率 $\mu_r=180$,相对电导率 $\sigma_r=0.17$ 。经计算,当单层厚度 $T=0.4 \text{ mm}$,频率为 $0.15 \text{ MHz} \sim 10 \text{ GHz}$ 时,吸收损耗即可达到 60 dB 以上;进一步考虑刚度,屏蔽体采用了厚度为 1.0 mm 的冷轧钢板。

在工程中,屏蔽体是不连续的,存在孔、缝结构,缝隙采用搭接材料进行处理,孔结构需要依据模块本身的功能定义处理。LCD 模块中,显示屏是主要的孔结构,其显示功能是 LCD 模块本身的重要功能,因此在屏蔽设计时施加的 EMC 整改措施不能影响显示屏的显示功能。最终,采用导电薄膜和金属丝网为显示区域进行双重屏蔽。采用屏蔽措施后,LCD 模块的干扰现象完全消失,依据 EMC 的场线耦合计算方法,干扰耦合电压的幅值为 mV 级,远低于噪声容限。

6 结 论

本文系统地提出了瞬变电磁场辐照下 LCD 模块的 EMC 预测方法。该方法可以在激光器系统的设计阶段进行 EMC 预测,进而依据相应的

预测结果修改 EMC 设计方案。在大功率 TEA CO₂ 激光器系统的工程样机研制阶段,开展了 LCD 模块的 EMC 实验,实验结果表明 EMC 预测的结果能够正确反映 LCD 模块的实际 EMC 性能。本文的研究思路和研究手段对光电系统中同类问题的研究具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 孟范江,郭立红,杨贵龙,等. 大功率 TEA CO₂ 激光器系统中电磁干扰的抑制[J]. 强激光与粒子束, 2008,20(2):177-182.
MENG F J, GUO L H, YANG G L, *et al.*. Suppression of electromagnetic interference in high power TEA CO₂ laser system[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2008, 20(2): 177-182. (in Chinese)
- [2] 孟范江,杨贵龙,李殿军. 大功率 TEA CO₂ 激光系统的电磁兼容设计[J]. 中国光学与应用光学, 2009, 2(3):236-241.
MENG F J, YANG G L, LI D J. EMC design of high-power TEA CO₂ laser system [J]. *Chinese Journal of Optics and Applied Optics*, 2009, 2(3): 236-241. (in Chinese)
- [3] 孟范江,杨贵龙,李殿军,等. 大功率脉冲 TEA CO₂ 激光器控制系统设计[J]. 激光与红外, 2010, 40(8): 843-846.
MENG F J, YANG G L, LI D J, *et al.*. Design of control system for high power pulsed TEA CO₂ laser[J]. *Laser & Infrared*, 2010, 40(8): 843-846. (in Chinese)
- [4] 张兴亮,郭立红,张传胜,等. CO₂ 激光器高压脉冲触发系统的设计[J]. 中国光学, 2012, 5(4): 416-422.
ZHANG X L, GUO L H, ZHANG CH SH, *et al.*. Design of high-voltage pulse trigger system for CO₂ laser[J]. *Chinese Optics*, 2012, 5(4): 416-422. (in Chinese)
- [5] KRISHNAN S, SINGH A, CHARI R, *et al.*. EMI reduction in a laser pulse switch out system[C]. *Proceedings of INCEMIC*, 2001-2002:23-28.
- [6] de CERVENS D R, GOMME J C, RAIMBOURG J, *et al.*. EMC protections for high voltage and high power on a wide facility-the Mégajoule laser[C]. *Electromagnetic Compatibility, IEEE International Symposium on*, 2009: 109-114.
- [7] BHATIA M S, MADAN V K, DONGARE A S, *et al.*. Mapping of radiation field from a discharge laser head[C]. *Proceedings of INCEMIC*, 2001-2002:6-11.
- [8] 李念峰,郭立红,罗艳春. 车载高功率激光器系统的 EMC 设计[J]. 武汉理工大学学报, 2008, 30(4): 149-152.
LI N F, GUO L H, LUO Y CH. EMC Design of vehicular high power laser system[J]. *Journal of Wuhan University of Technology*, 2008, 30(4): 149-152. (in Chinese)
- [9] 孟范江,邵春雷. TEA CO₂ 激光器系统中液晶显示模块的电磁兼容性研究[J]. 液晶与显示, 2010, 25(6):798-802.
MENG F J, SHAO CH L. Electromagnetic compatibility of LCD module in TEA CO₂ Laser[J]. *Chinese Journal of Liquid and Crystal*, 2010, 25(6): 798-802. (in Chinese)
- [10] 王鹤淇,孟范江,郭立红,等. 基于 DSP 的高功率 TEACO₂ 激光器控制系统的高精度数据采集[J]. 中国光学, 2011, 4(4):411-417.
WANG H Q, MENG F J, GUO L H, *et al.*. High precision data acquisition of control system for high-power TEA CO₂ laser based on DSP[J]. *Chinese Optics*, 2011, 4(4): 411-417. (in Chinese)
- [11] TESCHE F M. Development and use of the BLT equation in the time domain as applied to a coaxial cable[J]. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 2007, 49(1): 3-11.
- [12] PARMANTIER J P. Numerical coupling models for complex systems and results[J]. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 2004, 46(3):359-367.
- [13] 贾锐,王庆国,程二威. 混响室散射场条件下的场线耦合数值计算[J]. 高电压技术, 2012, 38(11): 高电压技术, 2012, 38(11):2823-2827.
JIA R, WANG Q G, CHENG E W. Numerical calculation for field-line coupling of diffuse fields in reverberation chamber [J]. *High Voltage Engi-*

- neering, 2012, 38(11):2823-2827. (in Chinese)
- [14] 王川川, 朱长青, 周星. 有限长度埋地多导体电缆对外界电磁场响应特性分析[J]. 高电压技术, 2012, 38(11):2836-2842.
- WANG CH CH, ZHU CH Q, ZHOU X. Response analysis on buried multiconductor cable with finite length to external electromagnetic field[J]. *High Voltage Engineering*, 2012, 38 (11): 2836-2842. (in Chinese)
- [15] 覃宇建. 复杂系统电磁兼容性分析方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学研究生院, 2009.
- QIN Y J. *Studies on Electromagnetic Compatibility Analyzing Techniques for Complex Systems* [D]. Changsha: Graduate School of National University of Defense Technology, 2009. (in Chinese)
- [16] 葛欣宏, 郭立红, 孟范江, 等. 大功率 TEA CO₂ 激光器的电磁辐射测试及屏蔽方舱设计[J]. 光学精密工程, 2011, 19(5):983-991.
- GE X H, GUO L H, MENG F J, *et al.*. Electromagnetic radiation test of high-power TEA CO₂ laser and its shielding cabin design[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(5):983-991. (in Chinese)

作者简介:



孙守红(1978—),男,辽宁盖州人,博士研究生,高级工程级,2001年于吉林大学获得学士学位,2008年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要从事产品电子装联工艺、电磁兼容测试与防护方面的技术研究。E-mail: sunsh@ciomp.ac.cn

导师简介:



郭立红(1964—),女,吉林舒兰人,博士,研究员,博士生导师,1986年于长春理工大学获得学士学位,1998年,2003年于中科院长春光学精密机械与物理研究所分别获得硕士、博士学位,主要从事计算机应用、天文惯导和星体自动化标校等方面的研究。E-mail: guolh@ciomp.ac.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)