

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.05.016

LED 助航灯的光强控制系统

张兆阳, 赵金, 李志斌

(华中科技大学控制科学与工程系, 武汉 430074)

摘要: 为实现机场中单个 LED 助航灯的光强控制, 提出一种基于普通调光器的 LED 灯光控制解决方案。分析比较 LED 灯与普通灯的优势, 详细介绍 LED 助航灯光强控制系统的软、硬件设计, 并以实例进行验证。实验结果表明: 该设计正确、有效, 能实现单灯的控制, 大大提高助航灯的效率和使用寿命。

关键词: LED; 机场助航灯; 光强控制系统

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

Light Intensity Control System of LED Airfield Dimmer

Zhang Zhaoyang, Zhao Jin, Li Zhibin

(Dept. of Control Science & Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to realize the light intensity control for a single LED airfield dimmer, it proposes a control solution based on the common airfield dimmer. It analyzes and compares LED light with the normal light, and then describes the software and hardware design of LED airfield dimmer control system in detail and verifies it with experiment. Experimental results show that the design is correct and effective, the design can realize single LED control and improve the efficiency and prolong life span.

Key words: LED; airfield dimmer; light intensity control system

0 引言

机场助航灯光强控制系统用来控制机场助航灯光的亮度, 在夜间或能见度受到限制的情况下, 为飞机驾驶员提供准确的跑道位置、方向和对正引导, 以便驾驶员在目视可达的情况下安全着陆^[1]。随着节能环保口号的提出、LED(light emitting diode)灯光研制技术的成熟、发光效率的不断提高, 在越来越多的领域中已开始使用 LED 灯光来取代普通光源。通过研制 LED 助航灯光强控制系统, 可大幅度提高机场助航灯光系统的技术水平, 增强市场竞争力, 具有良好的发展前景和广阔的市场空间, 可创造显著的社会和经济效益。因此, 笔者在普通调光器的基础上, 提出一种 LED 灯光控制解决方案。

1 普通灯光和 LED 灯光的比较

1.1 国内机场助航灯灯具使用的现状和缺点

目前机场助航灯光设备的灯具主要有白炽灯和澳钨灯(一种气体放电灯), 光源颜色为近似白光, 在光源外部加有色玻璃滤光罩来得到不同颜色的光, 用以标志机场及跑道的方位。它具有以下缺点^[2]:

1) 光效低, 耗能大。一个普通白炽灯光效为 7.3~18.6 lm/W, 澳钨灯的光效为 18~21 lm/W, 在经过滤光罩滤光后光效会进一步降低。为了达到足够的光通量, 单只灯具功率通常为 50 W 和 100 W,

以一般机场跑道 2 500 m 计算, 共有各类标志灯 350 只左右, 加上电路损耗整套系统的功率, 会高达到 30~60 kW。

2) 使用寿命短。目前, 白炽灯和澳钨灯的寿命不超过 1 000 h, 以机场现在使用的灯具为例, PD24-100 型白炽灯使用寿命只有 200h, JF6. 6A65 W 型澳钨灯使用寿命只有 500 h。使用寿命短致使整个机场助航灯光系统可靠性降低, 同时也加大了日常维护的工作量。

3) 结构复杂, 强度低, 易受损。白炽灯和澳钨灯都采用玻璃泡封装, 玻璃泡和里面的灯丝在受到振动和碰撞时很容易造成损坏甚至破碎。

1.2 LED 灯光的发展及优点

LED 是一种场致发光光源, 是将电能直接转化为光能的半导体器件, 属于固态光源。其电特性和普通的二极管是一致的, 而其发光原理是在 P-N 结两端加上正向电压, 则 P 区中空穴会流向 N 区, 而 N 区中的电子会流向 P 区。然后, 随少数载流子和多数载流子的重合放出能量。其中, 一部分能量转化为热, 另一部分转化为光。

相比目前使用的白炽灯和澳钨灯, LED 具有以下优点^[3]:

1) 光效高, 节能。目前的红色光效已可达到

收稿日期: 2011-12-01; 修回日期: 2011-12-22

作者简介: 张兆阳(1986—), 男, 湖北人, 硕士, 从事控制理论与控制工程、电力电子与电气传动研究。

100 lm/W, 绿色 LED 可达到 50 lm/W, 白光 LED 的光效可以达到 50 lm/W, 大大超过了普通白炽灯和溴钨灯 7.3~18.6 lm/W 的水平, 远远超过了现在所有照明光源的光效。

2) 使用寿命长。普通白炽灯和溴钨灯的寿命不超过 1 000 h, 有的只有 200 h, 而 LED 的使用寿命可长达数万小时, 使用寿命的提高必然大大提高 LED 机场助航灯光设备的可靠性, 减少维护时间。

2 普通机场调光器控制系统总体方案设计

普通机场的恒流调光器由功率电路和弱电回路组成。其中功率电路是引接强电, 然后将电路通过整流、逆变, 最后经过滤波。弱电回路则主要是通过芯片控制电路, 并且经过电压/电流的采样和反馈, 最后由液晶显示器显示出来。普通的调光器控制系统框图如图 1 所示。

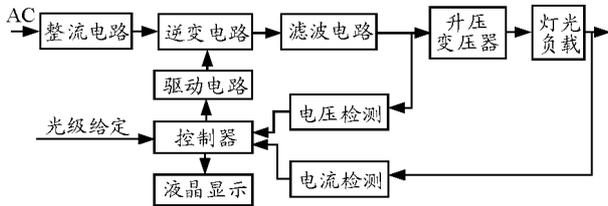


图 1 调光器整体结构

功率电路采用 AC-DC-AC 的方案, 由整流和逆变 2 部分组成。整流部分采用二极管全桥不控整流^[4], 将三相交流电变为直流。逆变部分采用智能功率模块 IPM, 其内部不仅封装了门极驱动控制电路, 而且还有故障检测电路和各种保护电路缩小了调光器体积, 提高了系统的安全性和可靠性。逆变后经过 LC 滤波, 升压、最后经隔离变压器处理后与机场的灯光回路相连接。强电回路如图 2。

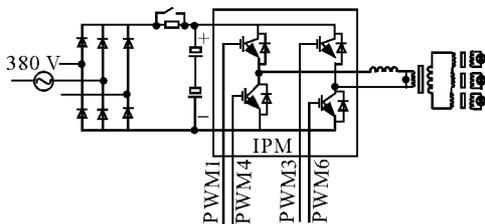


图 2 强电回路

目前的方法是通过恒流调光器改变隔离变压器初级回路的电流进而引起次级电流的变化, 次级电流的变化引起卤钨灯电流的变化, 从而达到调整光强的目的。但是这种设计方法的缺点是: 副边使用的是普通电灯而不是 LED 灯, 在光的强度上明显不够, 只能通过增加灯的个数来达到光亮强度, 这样大大提高了能耗。同时不能对每盏灯的亮度分别进行控制, 为机场的调节带来了一定程度的不便。

3 LED 光强控制系统的设计

整个 LED 光强系统是在普通调光器的基础上, 在其副边引入了微控制器, 对每一盏 LED 进行细致的控制。由微控制器接收调光器光级指令并搜集 LED 回路中的指令最终形成一个闭环反馈控制。

3.1 微控制器的发展及 ATmega88 现状

对于光强控制系统的微控制器, 笔者选择 ATMEL 公司的 ATmega88 作为核心芯片。ATmega88 是高性能、低功耗的 8 位 AVR 微处理器, 其主要优势特征为:

1) 高速嵌入式单片机。AVR 单片机具有预取指令功能, 即在执行一条指令时, 预先把下一条指令取进来, 同时拥有多个累加器, 对于中断也可以快速响应。

2) 耗能低, 保密性能好。工作电压: 2.7~5.5 V, 工作温度范围: -40~85 °C, 工作速度等级: 0~8 MHz 时 2.7~5.5 V, 0~16 MHz 时 4.5~5.5 V。

3) I/O 口功能强, 具有定时器、A/D 转换等电路。AVR 单片机内带模拟比较器, I/O 口可用作 A/D 转换, 可组成廉价的 A/D 转换器。定时/计数器 T/C 有 8 位和 16 位, 可用作比较器。计数器外部中断和 PWM(也可用作 D/A)用于控制输出。

系统中用到 ATmega88 的主要功能模块是 16 位定时器, 6 路 10 位 A/D 转换器, 及普通数字 I/O 口。

3.2 软硬件设计

LED 光强控制系统的控制结构如图 3。输入为隔离变压器副边交流电, 经 AC/DC 变换得直流电源, 然后供给 DC/DC 变换器, 最后输出至 LED 灯。

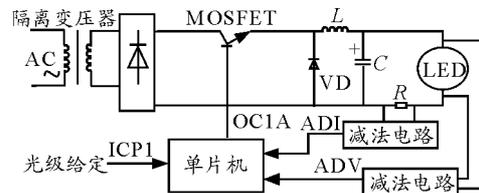


图 3 LED 光强控制系统的控制结构

DC/DC 恒流模块实质是 Buck 变换器, 该电路使用一个全控型器件 MOSFET, 在实际电路设计中采用的是 IFR2907。当开关 V 导通时, 电源 E 向负载供电, 负载电压 $U=E$, 负载电流 i 按指数曲线上上升。当 V 关断时, 二极管续流导通, 负载电流呈指数曲线下降。为了不使电流在下一个周期 V 导通之前下降到零, 产生断续现象, 通常要求电感的值比较大。这样从平均值的角度讲, 调节开通关断的时间比率就能调节输送电能的大小。电感的使用是用

来储存能量, 为了使输送到负载的电流平滑不断。负载电压的平均值为:

$$U = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} E = \frac{t_{on}}{T} E = \alpha E$$

负载为一只 LED, 输出电流通过在回路串接小电阻检测得到并反馈至单片机处理器, 同时输出电压处理后也反馈至单片机处理器, 根据调光指令及电流的反馈信号, 采用智能控制算法计算出 PWM 占空比, 然后输出控制 Buck 变换器。图 3 中, ADV 为 LED 端的电压采样信号, ADI 为小电阻的电压采样信号, OC1A 为驱动 MOSFET 的 PWM 信号。

1) 定时器设置及任务分配

笔者采用一个 16 位的定时器, 选取它的快速 PWM 模式, 具体工作系统时钟频率为 f , 不采用任何预分频方案, 则定时周期为:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \text{ MHz}} = 0.1 \mu\text{s}$$

此时采取定时器溢出中断, 分配任务。当计数器最大值 TOP=256 时, 定时器计数一周用时大约 25.6 μs 。定时器总管任务的分配, 以合理利用单片机的有限资源, 使任务间不冲突, 有条不紊地运行。经过反复试验, 采用 32 个定时器周期作为最合理的一个循环, 在此循环中系统的各项性能最好, 并将完成 6 路 A/D 采样, 数字滤波, PI 调节, 数字限幅, 液晶显示及计算采样反馈值。

定时器的初始化时要选择工作模式为快速 PWM 模式, 即单斜边的工作方式。在此基础上可以选择 PWM 的输出方式为“比较匹配时置位, 计数最大时清零”, 这样选择的目的是配合光电隔离器的反逻辑输出, 使得单片机内部的数字量和斩波电路功能管门极的 PWM 波占空比成正逻辑关系。

2) A/D 采样及数字滤波

A/D 采样的时间与系统时钟有关, 经过试验测得, 完成一次 A/D 转换的时间小于一个定时器溢出周期时间。ATmega88 虽只有一个逐次比较式的 ADC, 但其内部集成了一个多路开关, 可通过选择通道完成 6 路 A/D 采样。经实验分析, 频繁的通道转换会对控制质量产生不利的影

响。所以要控制通道转换的时机, 在每次需要采样之前完成通道转换, 同样, 也可在采样结束后转换到下次要使用的通道。读取采样结果和数字滤波都在 A/D 转换结束中断中进行, 加上 A/D 转换的时间不会超过一个定时器周期。考虑到采样的数量与干扰的情况, 笔者采用中值平均滤波算法, 即去掉最大值和最小值, 然后把剩下的数据取平均值。这样既能消除偶然型

干扰又能平滑滤波, 又对算法进行改进, 取消了排序过程, 减小了运算的复杂程度, 程序也较简单。

3) PI 调节及数字限幅

PI 调节在整个闭环控制系统中占有重要地位。它接收偏差信号, 通过自身运算, 直接反馈控制 PWM 的输出。由于光隔是反逻辑的, 所以要求 PWM 也是反逻辑输出, 这样就能实现单片机内部数字量和斩波开关之间是正逻辑关系。由于偏差信号是双极型的, 有正有负, 输出的数字量是单极型的, 只能为正值, 所以在普通限幅模块之后还要加上一个漂移量, 使其变成正数, 把双极型的限幅转换为单极型的限幅。但是最终输入输出的对应关系不会改变, 即给定为最小时占空比最小, 给定为最大时占空比最大, 其他情况一一线性对应, 这样才能正常输出。本设计的 PI 调节器采用增量公式, 所以不需要积分限幅。增量公式具体如下:

$$P(k) = P(k-1) + k_p[E(k) - E(k-1)] + k_i E(k)$$

其中: k_p 是调节器比例系数; k_i 是积分系数。上式是通过模拟系统 PI 调节器离散化后得到的差分方程, 就是数字化后的结果。

4) 液晶显示

液晶显示设计采用的 12864 汉字模块, 可通过显示器直接显示出汉字, 且拥有内置汉字的功能。

笔者采用的是串行接口的方式进行单片机和液晶的通讯。除去电源与复位, 通讯只需要 2 根总线, 一根传递时钟, 一根传递数据, 其中时钟可以利用单片机的普通 I/O 口通过编程模拟。

为了使程序更简约, 思路更清晰, 编写更简单, 可以先编写一些基本功能函数, 如发送一个字节, 接收一个字节, 查询工作状态, 读数据, 写数据, 初始化等, 然后在利用这些编好的功能函数实现显示功能。串行传输方式的时序如图 4。

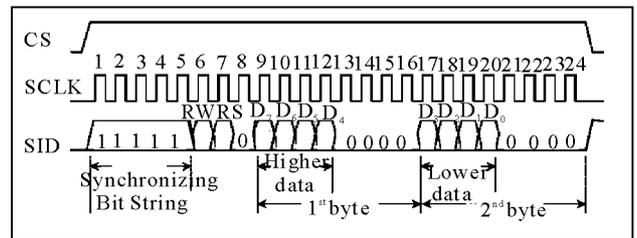


图 4 串行连接时序图

串行数据传送共分 3 个字节完成, 并需根据数据手册说明的要求完成对字节的设定和编写。

按照字节格式说明就可编写功能函数模块和应用程序了。需要注意由于显示的内容较多, 不能一

次全部显示，所以需要设计滚动显示的流程。将显示的内容拆分开看就是 3 屏，每屏 4 行，共 12 行，所以滚动起来就有 12 个状态，将这 12 个状态循环输出并延时清屏就能实现滚动。此外，单片机内的电压、电流值都以数字量的形式储存，不能直接显示，所以需转换把数字量按位转换为对应的实际值。

4 实验结果

基于以上功能设计，依据 ATmega88 芯片的数据手册和液晶屏的通讯说明书，完成基于单个 LED 光强控制系统硬件、软件的总体设计并实现了所要求的功能。

实验采用自制研发的机场调光器作为上位机发出光强指令，LED 光强控制系统接收到光强等级后对于 LED 灯光进行闭环的自动控制，使 LED 灯光达到稳定的要求值。稳定后，对其电路的电压、电流进行采样，在通过液晶屏将其显示出来，发现与预定值基本吻合，符合要求。

(上接第 54 页)

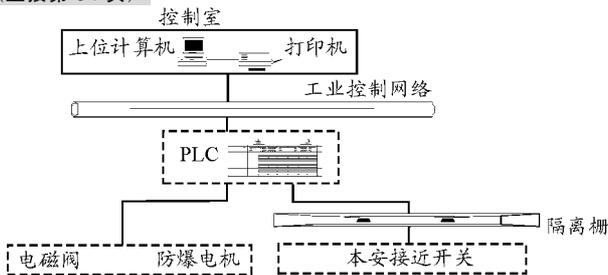


图 3 控制系统原理图

根据生产工艺，单质起爆药生产线场所分类情况规定，化合间、水洗间为 II 类危险场所，在保证安全生产和产品质量前提下，单质起爆药生产线中的化合、水洗、烘干、倒药、筛选装盒、装箱等实现自动化隔离操作，以实现全线安全自动化生产。

生产线选用西门子 S7-300 PLC 作为整条生产线实现自动化生产的控制系统。由于 STEP 7 和 WINCC 的完美集合，使设计、组态、监视和控制生产过程极为灵活可靠。

WINCC 监控软件运行在 Windows 2000 网络操作系统环境下，可非常方便地通过视窗化的人机界面来监控当前的生产过程，并可采集历史数据，打印数据报表。

4 可靠性设计

水洗及化合系统中的化合器搅拌电机及冲洗水水泵电机选用防爆电机，摄像机防爆壳、防爆按钮等严格执行防爆标准，抽滤泵选用气动真空泵。

5 结束语

与之前的助航灯控制相比，LED 助航灯光强控制系统更为直接、准确，能够实现单灯的控制。同时，由于使用了 LED 灯，大大提高了助航灯的效率和使用寿命，但主要缺点是系统的结构比较复杂，使用的芯片较多，成本较高。

如果将 LED 技术用于机场助航灯，以取代目前的卤钨灯泡，虽然前期投资会很大，通过若干年的运行，维护费用的降低和电费的大幅减少能抵消前期的投资。因此，该方案更适用于新机场的建设。

参考文献:

[1] 赵金, 王芳, 廖金焰. 全数字式机场助航灯调光器的研制[J]. 兵工自动化, 2007, 26(2): 76-77.
 [2] 苗卫国, 衣龙腾, 刘国栋. LED 在机场中的应用[J]. 机械制造与自动化, 2007, 36(3): 128-129.
 [3] 王占庆, 毛兴武. 交流电源供电的大电流 LED 驱动电路[J]. 中国照明电器, 2006(5): 4-7.
 [4] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统—运动控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.

由于本质安全法是最安全可靠的防爆方法，可大大满足起爆药生产线危险场所的要求，因此，现场电气元件大部分采用本安元件。此外，选用隔离栅将整个生产线危险区需要检测的数字量信号以及模拟量信号输入到安全栅，再经安全栅输出到 PLC 模块，可有效地起到防爆作用。

在关键部位设计上采用了双保险措施，以提高可靠性。在软件设计中，加入了手动调整程序和自动运行程序，设计中除充分考虑各种互锁、连锁关系外，在危险工位还设置了自诊断功能，用于判断危险工位设备运行状态的正确与否。这种自诊断功能提高了控制系统的可靠性，又有利于及时查找控制系统故障点和原因。

5 结语

通过该生产线的实际运行，实现了起爆药的全自动化生产的工艺要求，保证了自动化的安全与生产，对我国起爆药的本质安全生产起到了积极的推动作用，可为我国安改项目提供参考。

参考文献:

[1] 王儒策, 等. 弹药工程[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.
 [2] 陈国光, 等. 弹药制造工艺学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004.
 [3] 陈熙蓉, 许丽云, 陈书言, 等. 炸药性能与装药工艺[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.