

文章编号:1674-8190(2015)02-195-06

# 民用飞机导光板自适应调光控制系统设计

李倩

(中国商用飞机有限责任公司 上海飞机设计研究院,上海 201210)

**摘要:** 目前,民用飞机驾驶舱内导光板照明采用手动亮度调节的方式,既增加了驾驶员的负担,又不易根据驾驶舱光环境精准控制导光板的亮度。提出一种新颖的数字式导光板自适应调光控制系统,该系统通过光照传感器准确检测环境光照度,并利用自适应调光控制器根据亮度曲线模型计算驾驶舱内各路导光板的亮度,结合手动补偿及 PWM 调光控制技术,最终实现导光板亮度的自适应调节。基于上述方案,完成系统架构设计和主要部件的方案设计,并通过仿真,验证所设计的自适应调光控制系统可实现预期目标,能够精准地自适应调整导光板亮度,为改善飞机导光板照明系统人机工效提供有效途径。

**关键词:** 照明;导光板;自适应调光;民用飞机

中图分类号: V242.6

文献标识码: A

## Design of Self-adjusting Dimming Control System for Light-plate of Civil Aircraft

Li Qian

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd., Shanghai 201210, China)

**Abstract:** At present the light-plate brightness in civil aircraft cockpit is controlled by manual dimming control system, which increases the pilot's work loading, and is not easy to precisely control the brightness of light-plate according to cockpit luminous environment. To solve the problem, a digital self-adjusting dimming control system of light-plate has been proposed. The background luminance is accurately measured with ambient light sensors, and based on luminance curve model, each light-plate illumination is computed, to realize self-adjusting of light-plate luminance combined with manual compensation and pulse width modulation(PWM) dimming control technology, self-adjusting dimming effects of light-plate brightness is realized finally. Based on above solution, the design of system architecture and scheme design of main system components are completed. By simulation, it shows that self-adjusting dimming control system can realize the expected objective. It can adjust the luminance of the light-plates precisely, and provide an effective way to improve the human ergonomics of aircraft light-plate lighting system.

**Key words:** lighting; lightplate; self-adjusting dimming; civil aircraft

## 0 引言

导光板照明是飞机驾驶舱照明的一部分。导光板是一种有机玻璃板,安装在驾驶舱控制板上,

其表面涂有漫反射涂层,光源嵌在有机玻璃板内,通过光线在有机玻璃内传递照亮导光板上的标记。使用这种照明方式,无论是在白天还是黑夜,导光板上的标记都是清晰可见的,可将驾驶舱控制板上的标识信息准确显示给飞行员,增加飞机夜航的安全性。同时根据运输类飞机适航标准 CCAR25.1381 条款的要求,导光板需要进行亮度调节,以保证在每一预期的飞行条件下,导光板上的字符均易

收稿日期:2014-11-18; 修回日期:2015-01-06

通信作者:李倩, liqian@comac.cc

于判读。

目前飞机采用手动调光形式实现对导光板亮度的调节,在飞机飞行过程中,驾驶舱内环境光不断变化,直接影响飞行员观察各类仪表。人眼在从亮到暗的光环境中存在一个暗适应过程,在从暗到亮的光环境中存在一个明适应过程。LED 导光板的设计特性与环境光变化使得飞行员频繁调节眼睛,致使信息认知不良和当环境光连续不断变化导光板字符过亮或过暗时,飞行员只能频繁手动调节调光旋钮的问题<sup>[1]</sup>,且导光板设置有若干个调光控制旋钮,手动调光设置相对复杂。如果人工调节的光环境较差,还可能导致眩光、驾驶员误操作等问题,进而对飞行安全造成不利影响,导致“人为差错率”的上升。

民用飞机驾驶舱显示器率先实现了自适应调光控制技术<sup>[2-4]</sup>,国外先进的飞机制造商也在此基础上开展了驾驶舱照明自适应调光技术研究,并将该技术应用到驾驶舱指示灯亮度调节,但对于在飞机导光板照明上应用该技术还处于研究阶段。目前,飞机导光板的调光控制形式为基于 PWM 的数字调光方式<sup>[5]</sup>,由于采用了数字总线和应用软件,系统具有较大的扩展余地,可以较方便地发展到自适应调光控制阶段。

本文针对当前导光板调光控制系统采用人工调节亮度带来的问题,提出采用自适应调光控制技术的解决方案,建立自适应调光控制系统架构。完成环境光照度检测电路、自适应调光控制器及 PWM 驱动电路的硬件设计,并对导光板照明自适应调光控制系统进行软件设计,描述软件设计的整体思路和算法,完成自适应调光控制系统及关键模块的仿真分析。

## 1 导光板照明自适应调光控制系统设计

自适应调光方式是以自适应调光控制器和用于检测环境光的光照传感器为核心,通过分布在驾驶舱内的多个光照传感器检测飞机驾驶舱内环境光照度的变化,将光信号转化为电信号,由控制器经过逻辑处理后,根据设定的调光曲线输出相应的 PWM 波形,驱动导光板照明回路,实现自动调节导光板亮度的目的<sup>[6]</sup>。

导光板照明自适应调光控制系统采用模块化设计,系统由环境光照度检测模块、自适应调光控制器、PWM 驱动模块及手动补偿模块组成。导光板照明自适应调光控制系统架构如图 1 所示。

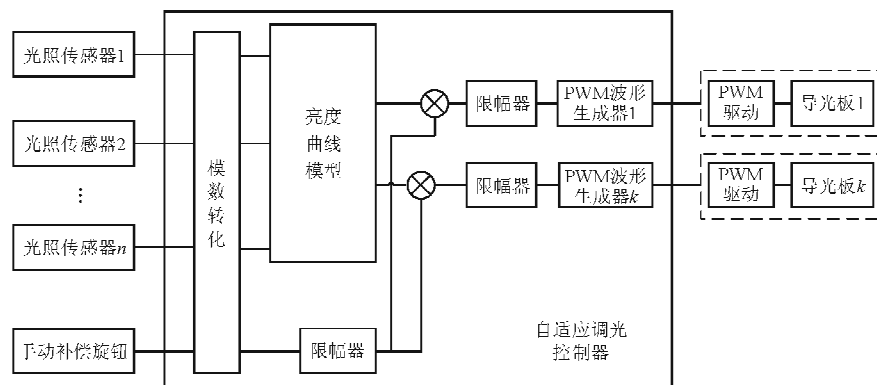


图 1 自适应调光控制系统架构

Fig. 1 Self-adjusting dimming control system architecture

该系统在驾驶舱导光板布置区域设置一定数量的光照传感器,用于检测环境光照度;通过自适应调光控制器采集处理后,计算出相应的环境光照度;通过查表的形式,根据预设的亮度曲线模型,得出对应环境光照度下的导光板亮度值;输出该亮度值下的 PWM 波形,驱动各 LED 导光板,实现对导

光板亮度的自动调节。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 环境光照度检测电路设计

环境光照度检测模块为光照传感器,其用于检

测环境光的照度。光照传感器的核心器件是光敏电阻,其阻值随入射光强度的变化而变化。当入射光强时,其电阻值减小,电路的电流随之增加;当入射光弱时,电阻值增大,电路的电流随之减小。光照传感器需布置在导光板周围,其安装位置与数量主要根据导光板分布及驾驶舱内环境光的分布情况而定<sup>[7]</sup>。为了使检测的环境光照度更为合理,建议采用分布式布局 and “照度最大值”的原则布置传感器和选取照度数据,一般可在导光板所在区域的对角线位置和中央位置分别布置一个光照传感器,取三个光照传感器的最大值作为所测导光板区域的照度值,以保证光照传感器采集的环境光照度为导光板区域及其周围的最大值,便于使处于最亮区域的导光板字符具有足够的对比度,保证其可读性。最后通过光学仿真软件分析驾驶舱各区域环境光的可能分布情况,确定光照传感器的具体安装位置。

本文选用的光照传感器,用于检测 0~200 lx 范围内的环境光照度,其输出电压范围为 0~5 VDC,精度要求不低于±3%。

### 2.2 手动补偿模块设计

为了适应飞行员的个性化需求,在自动调光基础上增加手动补偿功能。该功能通过设置一个调光旋钮实现。当飞行员操作调光旋钮时,将在自动调光输出的 PWM 占空比的基础上叠加一个人工输入增量。根据工程经验,设置导光板手动补偿的亮度公差带在±20%范围内,飞行员可在自适应调光所设置的亮度基础上进行有限范围内的微调。

### 2.3 自适应调光控制器设计

自适应调光控制器的硬件设计如图 2 所示。调光控制器的硬件接口包括 ADCs、PWM 输出、调光曲线加载接口、EEPROM 接口等。光照传感器的模拟量输入信号经过滤波、放大及过压保护等处理后进入 DSP 的 ADC 采样通道。DSP 采样、处理光照传感器输出信号后得到光照传感器上的环境光照度。根据亮度曲线模型通过查表得出每路导光板的亮度,通过亮度与 PWM 占空比曲线计算输出每路导光板对应的 PWM 占空比信号,驱动导光板 LED,用于调节导光板亮度。

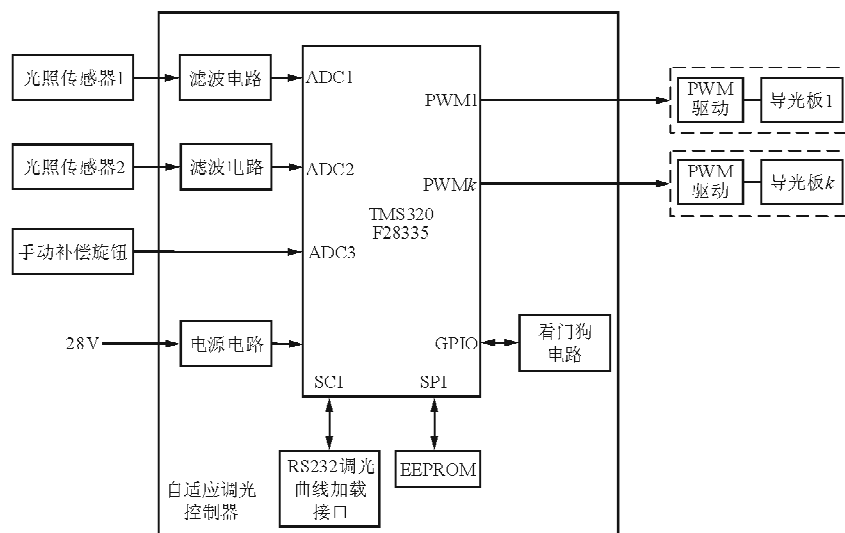


图 2 自适应调光控制器的硬件设计

Fig. 2 Hardware design of self-adjusting dimming control system

自适应调光控制器系统采用的 TMS320F28335 具有 18 路 PWM 输出通道,可满足各区域导光板的调光需求。TMS320F28335 的 SPI 接口

扩展了一个 EEPROM,用来保存预设的环境光照度与亮度对应关系的亮度曲线模型调光数据,自适应调光控制器在接收到光照传感器检测到的环境

光照度数据时,通过读取 EEPROM 中存储的调光数据,计算得到相应的占空比控制信号。

导光板因受光源、喷漆、制造加工过程等诸多因素的影响,在相同占空比的情况下对应的各块导光板的亮度可能会不同。为了保证驾驶舱导光板照明的均匀性,可利用预先测得的各块导光板的 PWM 占空比和亮度数据,通过 RS232 外部加载接口上传到 TMS320F28335 的 EEPROM 中,以实现导光板的个性化设置。

## 2.4 PWM 驱动电路设计

为了保证发光亮度的一致性和系统的安全性,选用串联 LED 布局和恒流 LED 驱动方式。

对于飞机导光板 LED 采用全部串联的结构方式,当某一只 LED 短路时,若采用稳压式驱动,由于驱动器输出电压不变,则分配在剩余的 LED 两端的电压将升高,驱动器的输出电流将增大,这会导致剩余的 LED 损坏;若采用恒流式驱动 LED,当某一只 LED 短路时,由于驱动器输出电流保持不变,则不影响其余 LED 的正常工作,其缺点是当任意一只 LED 出现断路故障时,会导致该支路串联上所有的 LED 都不发光。恒流驱动方式增加了单块导光板整体照明失效的概率。飞机上单块导光板照明功能失效的安全性影响为:不会明显降低飞机的安全,轻微增加机组工作负担。按照运输类飞机适航标准(CCAR-25 部) 25.1309 条款<sup>[8]</sup>和 AC 25.1309-1A<sup>[9]</sup>的要求,这类安全性影响是“较小的”,对应的失效概率要求仅为低于千分之一,故从安全性角度考虑,驱动电路失效概率的适当增大是可以接受的。另外,恒流驱动可以保护剩余 LED 不会进一步损坏,更加适合飞机导光板 LED 驱动电路。

本文采用恒流 PWM 开关型驱动器。采用 MOSFET 管作为 LED 的驱动元件,MOSFET 管具有驱动电路简单、驱动功率小、开关速度快、工作频率高的特点。通过设置周期和占空比来控制开关管的通断,改变输出电流平均值,实现对 LED 的 PWM 调光控制。考虑到来自控制器的 PWM 驱动信号一般驱动能力较差,为了进一步改善 MOSFET 管的导通过程,降低对控制器驱动信号接口

电路的驱动功率的要求,在 MOSFET 前级增加一个三极管电路<sup>[10]</sup>。PWM 驱动电路如图 3 所示。

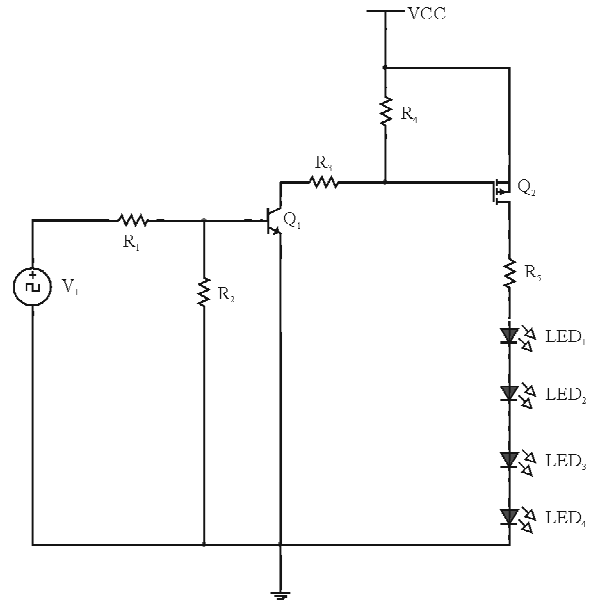


图 3 PWM 驱动电路

Fig. 3 PWM drive circuit

PWM 驱动电路通过简单的 NPN 三极管驱动放大电路用于驱动 MOSFET 的栅极,PWM 信号经过三极管  $Q_1$  的基极连接到 P 沟道场效应管 MOSFET 的栅极进行驱动,采用三极管驱动放大电路,可以改善 MOSFET 管的导通过程,减少驱动电源的功率。

## 3 系统软件设计

软件的设计应与硬件电路相结合,以实现系统的自动控制功能。软件亦采用模块化设计,分为初始化模块、数据采集模块、数据处理模块、手动补偿模块和加载模块五部分。

(1) 初始化模块。完成系统的自检,进行故障诊断并获得结果数据。

(2) 数据采集模块。其功能主要包括两方面:一是用于采集光照传感器采集到的导光板及其周围的环境光照度,采集光照传感器输出的模拟量信号;二是用于采集手动补偿旋钮的位置信息。

(3) 数据处理模块。主要完成对采集到的数据进行处理和分析。通过比较,取得三个光照传感器检测的照度最大值,并将该值作为最终所在导光板区域的照度值。在此基础上,根据环境光照度和

导光板亮度的亮度曲线模型,通过查表得出每路导光板的亮度。解析亮度数据,通过亮度与 PWM 的曲线关系计算输出每路导光板对应的 PWM 控制信号。

(4) 手动补偿模块。根据采集到的手动补偿旋钮的位置信息,在输出的 PWM 占空比的基础上,叠加一个人工补偿值。当顺时针调节补偿旋钮时,输出一个正的 PWM 补偿值;当逆时针调节补偿旋钮时,输出一个负的 PWM 补偿值。

(5) 加载模块。主要用于实现调光曲线的加载和软件的加载更新。

导光板自适应调光控制系统的软件流程图如图 4 所示。由初始化模块、看门狗程序、数据采集模块、数据处理模块等构成。电路上电后,DSP 进行初始化操作,自适应控制系统进入工作状态。

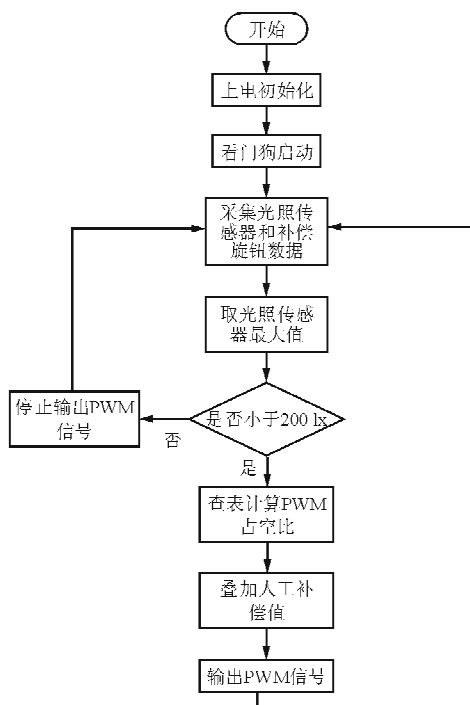


图 4 软件流程图

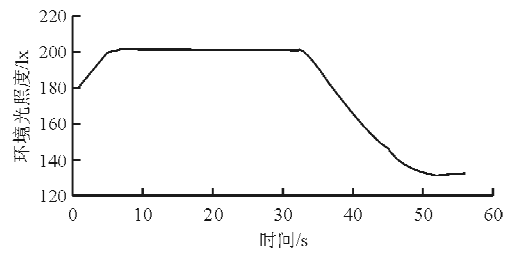
Fig. 4 Flow diagram of software

### 4 系统仿真分析

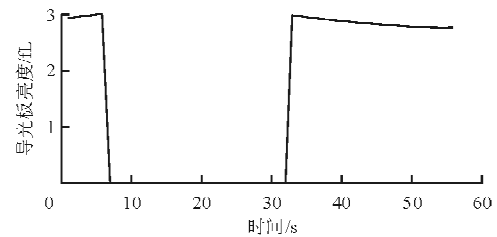
采用 Matlab 的 Simulink 仿真环境建立系统的仿真模型,对系统功能和性能参数进行评估。

在 Simulink 仿真环境下建立导光板自适应调光控制算法模型。首先,选取三路光照传感器输出

的最大值作为控制系统的输入。然后,判断当前环境光照度是否超过 200 lx,若超过 200 lx,则设置占空比为 0,关闭导光板 LED 照明;当环境光照度在 200 lx 以内时,输入至亮度曲线模型中,查表来确定导光板亮度值,通过亮度与占空比曲线计算控制导光板照明所需要的占空比数值。仿真曲线如图 5 所示。



(a) 环境光照度随时间的变化曲线



(b) 导光板亮度随时间的变化曲线

图 5 自适应调光控制系统仿真结果

Fig. 5 Simulation results of self-adjusting dimming control system

从图 5 可以看出,所设计的自适应调光控制系统可实现自适应调光的功能,满足自适应调光的需求。

### 5 结论

本文针对当前导光板调光控制系统采用人工调节亮度带来的问题,提出了一种新颖的数字式导光板自适应调光控制系统,完成了该系统的硬件及软件设计,并通过仿真验证了所设计的自适应调光控制系统可实现预期的目标,能够精准地自适应调整导光板亮度,为改善飞机导光板照明系统人机工效提供了有效途径,可大大减轻飞行员的操纵负担,保证飞行安全。

率先开展飞机导光板自适应调光技术的研究

工作,可以验证该设计理念和思路的可行性,为该技术在飞机设计领域的应用提供理论依据,也为飞机总体设计、系统设计和成品设计提供借鉴和参考。

### 参考文献

- [1] 熊端琴,郭小朝,叶佳波,等. 夜视兼容绿光LED导光板自动亮度曲线的研究[J]. 航天医学与医学工程, 2013, 26(2): 92-95.  
Xiong Duanqin, Guo Xiaochao, Ye Jiabo, et al. Study on auto brightness curve of night vision imaging system compatible green LED integrally illuminated information panels [J]. Space Medicine & Medical Engineering, 2013, 26(2): 92-95. (in Chinese)
- [2] Lee K C, Moon S II, Berkeley B, et al. Optical feedback system with integrated color sensor on LCD[J]. Sensors and Actuators A: Physical, 2006, 130/131: 214-219.
- [3] Ottenstein J. Arrangement for automatically controlling brightness of cockpit displays; United States Patent, US5270818[P], 1993-12-14.
- [4] Mamata Tohru. Information processing device and display brightness control method; United States Patent, US7567245[P]. 2009-07-28.
- [5] 罗燕,刘晓羽. 数字调光技术在驾驶舱照明系统中应用分析[J]. 电子测试, 2013(22): 134-135.  
Luo Yan, Liu Xiaoyu. Digital dimming technology apply and analysis in cockpit lighting system[J]. Electronic Test, 2013(22): 134-135. (in Chinese)
- [6] 曾庆兵,冉剑,徐捷. 飞机导光板照明亮度自动调节系统设计[J]. 照明工程学报, 2013, 24(1): 106-110.  
Zeng Qingbing, Ran Jian, Xu Jie. Design on auto-dimming system of light plate illumination for aircraft cockpit[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2013, 24(1): 106-110. (in Chinese)
- [7] 徐刚,曹永刚,王伟龙. 飞机驾驶舱自动调光系统中光照传感器布局设计[J]. 飞机设计, 2013, 33(2): 59-63.  
Xu Gang, Cao Yonggang, Wang Weilong. Design of ambient light sensor arrangement of auto-dimming system for aircraft cockpit[J]. Aircraft Design, 2013, 33(2): 59-63. (in Chinese)
- [8] 中国民用航空局. CCAR-25-R3 运输类飞机适航标准[S]. 北京: 中国民用航空局, 2001.  
Civil Aviation Administration of China. CCAR-25-R3 Airworthiness standards of transport category aircraft[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2001. (in Chinese)
- [9] FAA. AC 25. 1309-1A System design and analysis[S]. USA: FAA, 1988.
- [10] 田立东,周继军,秦会斌. PWM调光LED驱动器设计[J]. 机电工程, 2012, 29(4): 465-468.  
Tian Lidong, Zhou Jijun, Qin Huibin. Design of PWM dimming LED driver[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2012, 29(4): 465-468. (in Chinese)

### 作者简介:

李倩(1983-),女,硕士,工程师。主要研究方向:民用飞机照明系统设计。

(编辑:马文静)