

# 大功率 LED 灯阵能耗测量系统构建

周 明

(桂林海威科技股份有限公司, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 对大功率 LED 灯阵能耗测量系统进行研究, 能够有效解决传统能耗测量系统存在的测量精度低、运行能耗高等问题; 依据灯阵能耗测量需求, 对大功率 LED 灯阵能耗测量系统的总体框架进行设计, 改进照明管理、通信、随机存储 SRAM、Flash 闪存、TFT-LCD 液晶显示、电源电路和驱动电路等硬件模块, 优化开发软件部分的能耗测量功能, 完成大功率 LED 灯阵能耗测量系统的构建; 实验结果表明, 该系统具有测量精度高、运行能耗低等优点, 满足灯阵能耗测量需求。

**关键词:** 大功率; LED 灯阵; 能耗测量; 系统构建

## Construction of Energy Consumption Measurement System for High Power LED Lamp Array

Zhou Ming

(Guilin Hivision Technology Co., Ltd., Guilin 541004, China)

**Abstract:** Study on the system of high power LED lamp array energy consumption measurement, can effectively solve the problem of high precision existing in the traditional energy consumption measurement system, low energy consumption. On the basis of the lamp array measurement of consumption demand, the overall framework of the system of high power LED lamp array energy measurement design, improved lighting management, communication, random storage SRAM, flash memory, TFT-LCD display, power supply circuit and drive circuit and other hardware module, optimization of energy consumption measurement function development of software, to complete the construction of the system of high power LED the lamp array energy consumption measurement. The experimental results show that the system has the advantages of high measurement accuracy and low energy consumption, and meets the requirements of energy consumption measurement of the lamp array.

**Keywords:** high power; LED lamp array; energy consumption measurement; system construction

## 0 引言

LED 灯阵作为信息时代的优秀产物, 具有方便、安全等特点。通过太阳能、风能等能源进行发电, 并与 LED 灯阵照明技术结合来代替传统 LED 照明, 该技术对于节能环保具有深远意义<sup>[1]</sup>。大功率 LED 灯阵往往因电源电压的多次转换、电源电压时间过长, 导致使用能耗较高<sup>[2]</sup>。为了充分掌握大功率 LED 灯阵的照明能耗, 相关专家和学者对大功率 LED 灯阵的能耗测量问题进行研究, 并已经取得了一些成就<sup>[3]</sup>。传统的大功率 LED 灯阵能耗测量系统存在测量精度较低、自身运行能耗较高的缺点, 不能满足能耗测量系统的设计需求<sup>[4]</sup>。为解决以上问题, 提出大功率 LED 灯阵能耗测量系统的改进设计。以灯阵能耗测量系统的总体架构为依据, 对系统硬件的照明管理系统模块、通信模块、电源电路和驱动电路等组件进行改进, 开发软件部分的能耗测量程序, 完成大功率 LED 灯阵能耗测量系统的设计。实验证明, 该系统测量精度高, 运行能耗低。

## 1 系统总体设计

要对大功率 LED 灯阵能耗测量系统进行构建, 需先对系统的总体架构进行设计。将大功率 LED 灯阵能耗测量系统大

体分为: 灯阵照明管理系统模块、RS232 通信、主控制器、RS485 通信、总线接口、SRAM 随机存储、TFT-LCD 液晶显示、电源供电电路和外围辅助电路等, 给出大功率 LED 灯阵能耗测量系统整体架构如图 1 所示。

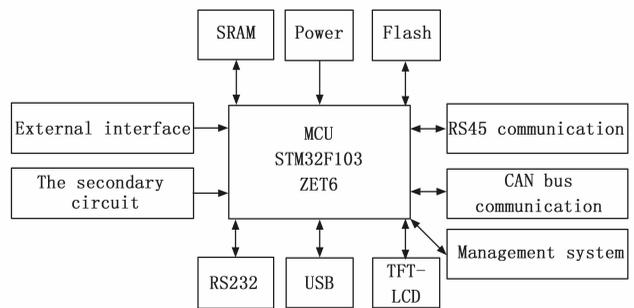


图 1 系统整体架构图

图 1 中的 MCU 主控单元设计采用的是 STM32F103, 其作为意法半导体所推出的以 ARM-Cortex-M3 当作核心, 有高性能、低成本、低功耗的特点<sup>[5]</sup>, 可大大提高 LED 灯阵照明的能耗控制效果。芯片的内部集成了多种高性能的标准接口, 能够很好地适应各种不同的应用。依据 LED 灯阵照明节能控制系统设计的需求, 选取该系列中大容量增强型的产品, 芯片的型号是 STM32F103ZET6, 该芯片中有 144 引脚, 工作的频率最高能够达到 72 MHz, 内部具有大容量存储空间,

收稿日期: 2017-11-21; 修回日期: 2017-12-09。

作者简介: 周 明 (1966-), 男, 黑龙江鸡西人, 硕士, 高级工程师, 主要从事半导体及电气技术方向的研究。

512K 字节 Flash 以及 64K 字节 SRAM, 这些数据能够让使用者不需要添加外部的存储, 仅需芯片自身就能够应用至多个场合。另外芯片引脚利用 2.0~3.6 V 供电, 通过 VBAT 给 RTC 与后备寄存器提供电量, 为了保障功耗的高效控制, 该芯片有睡眠和待机与待机控制模式。控制器不需运行时, 使用者能够根据情况选择最佳低功耗模式。

在 STM32F103ZET6 中嵌入 3 个 13 位的模数转换器, 和 12 位 D/A 转换器与 12 通道 DMA 控制器。能够充分地利用芯片的内部资源, 最大化地简化外电路。芯片中含有 112 个双向的 I/O 端口, 这些端口基本具有 5 V 的容忍能力。

以系统整体架构为理论依据, 对大功率 LED 灯阵能耗测量系统进行设计, 使改进设计的能耗测量系统具有一定的合理性和可行性。

## 2 系统硬件设计

大功率 LED 灯阵能耗测量系统的硬件结构主要由照明管理系统模块、通信模块、随机存储 SRAM、Flash 闪存模块、TFT-LCD 液晶显示模块、电源电路和驱动电路组成。对各模块进行改进设计, 提高系统硬件性能。具体改进过程描述如下:

### 2.1 照明管理系统模块

LED 的灯阵能量测量系统利用了集散控制的思想, 即管理和控制分开, 上位机用来集中监视管理, 若干台下位机分散至现场完成分布式控制, 上位机和下位机间利用控制网络连接实现信息的互传。该模块的主要组成部分为: 控制中心、区域控制模块、测控模块。控制中心的责任是对整个系统进行集中管理, 其中远程实时控制和运行信息的采集与监测。区域控制模块的责任是对管辖区域内的照明进行控制、将管理中心的指令进行解析以及状态检测。区域控制模块与管理中心间通过 GPRS 实现数据传输, 测控模块与区域控制模块间采用无线通信的方式实现数据的传输。

### 2.2 通信模块

通信模块主要包括 RS232 通信模块和 RS485 通信模块。RS232 是根据 EIA 制定的标准接口, 主控制器利用 RS232 和无线通信模块进行连接, 能够方便地实现远程通信监测。而系统中 RS485 接口是用来连接 LED 灯阵亮度检测器的, 传输周围环境的信息。SP3485 为低功耗 RS485 收发器, 其工作电压为 3.3 V, 数据的传输速率带负载能够达到 10 Mbps, 还能够实现功耗关断。另外 SP3485 的驱动器是差分输出, 所输出的  $I_{sc}$  最大为 250 mA, 在其模范围内该芯片能承受  $-7.0 \sim +12$  V 的任何短路。

系统中的总线通信模块用来完成主控制器和调光器之间的调光信息传递, CAN 总线通信模块电路图如图 2 所示。

图 2 中显示的 CAN 总线电路中的 TJA1050 为高速 CAN 收发器。在 PCA82C250 基础上进行了改造, 不仅降低了电磁的辐射, 而且还提高了自身性能, 为节能控制系统的通信提供了便利。

### 2.3 随机存储 SRAM

LED 灯阵能耗测量系统控制器的外扩型号是 IS61LV51216 的 SRAM 芯片。其结构是 512K \* 16 位字长, 且容量为 8 M<sup>[6]</sup>。此芯片连接于 STM32 的 FSMC 上, 能够满足

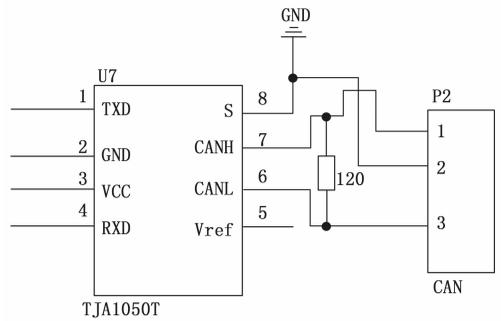


图 2 CAN 总线通信模块

控制系统大功率和大存储空间的需要。给出随机存储 SRAM 电路图如图 3 所示。

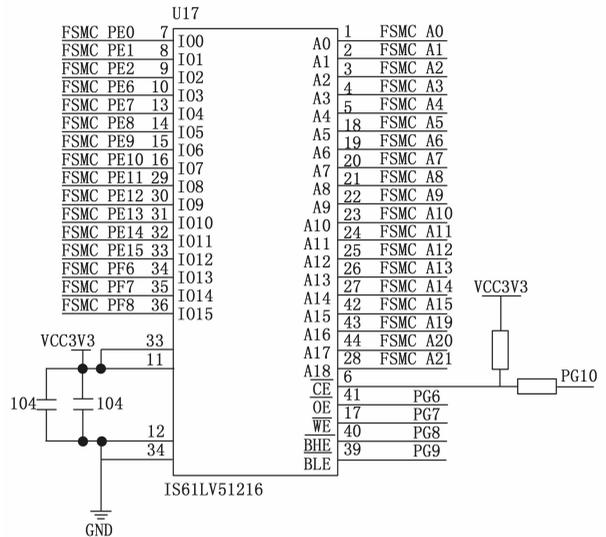


图 3 SRAM 随机存储电路

图 3 中如果  $\overline{CE}$  处于高电平没有被选中, 那么 IS61LV51216 处于待机模式, 其功耗能够降至 2 mA。当使用  $\overline{CE}$  与  $\overline{OE}$  就能够使存储得以扩展。 $\overline{WE}$  用来对存储器的写入以及读取进行控制, 同一字节高位存取及低位存取都是被允许的。

### 2.4 Flash 闪存模块

对于 LED 灯阵能耗测量系统的主控制器的闪存选取的是 SPI Flash, 其型号为 W25Q64 芯片, 用于系统数据长期存储。芯片的容量为 64 Mb, 字节为 8M<sup>[7]</sup>。Flash 闪存电路图如图 4 所示。

图 4 中芯片的启动和关闭选取引脚为  $\overline{CS}$ , 如果  $\overline{CS}$  是高电平, 则芯片关闭, 串行数据发送引脚  $\overline{SO}$  处于一种高阻抗的状态。当  $\overline{CS}$  被拉低, 设备被选定时, 控制器能够写入或者读出数据。此芯片支持标准 SPI, 双 SPI 与四路 SPI 操作, 另外, 标准 SPI 指令利用单向  $\overline{SI}$  引脚来串行写指令, 采用单向  $\overline{SO}$ ,  $\overline{CLK}$  下降沿获得设备数据和运行状态。保护  $\overline{WP}$  以防状态寄存器写入, 芯片开始工作时,  $\overline{HOLD}$  的作用为暂停, 以降低系统能耗。

### 2.5 TFT-LCD 液晶显示模块

该模块中的晶体管, 液晶显示器上每一点像素均是由薄膜

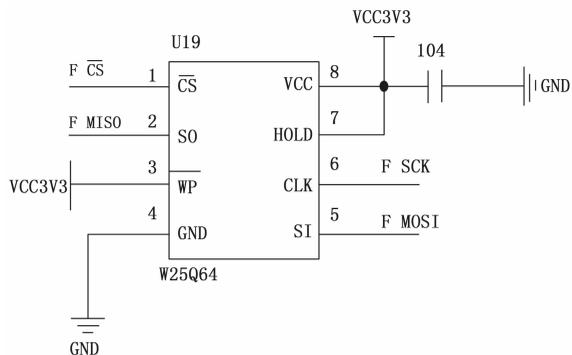


图 4 Flash 闪存电路

晶体管驱动的。该种屏显有高速度和高亮度以及高对比度等优点<sup>[8]</sup>。该控制器中使用 2.8 寸显示屏完成系统 LED 灯阵能耗测量状态以及相关的操作。XP2046 为触摸屏控制器。它具有 4 线制的触摸屏接口，同时还有随时触摸压力测量的功能。它通过 SPI3 线对通信接口进行控制，支持 I/O 接口的变压变化 1.5 V 至 5.25 V。

2.6 电源电路

系统的电源电路为整个硬件电路供给电源，其中包含主控芯片以及各个模块的供电，电源电路如图 5 所示。

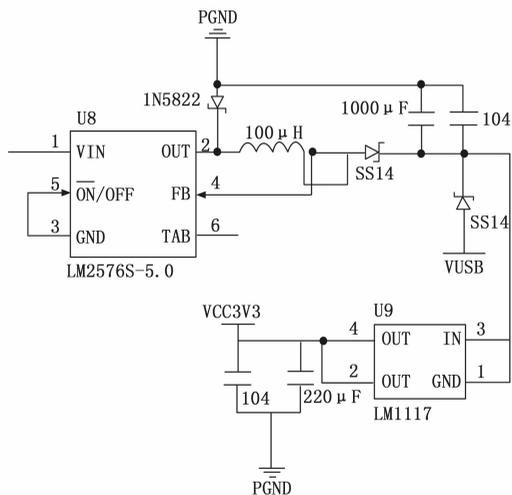


图 5 系统电源电路

图 5 中 LM2576 系列稳压器为单片集成的电路，可以提供稳压器中的各种性能，还能够驱动 3 A 负载，输出 3.3 V、5 V 和 12 V 以及 15 V 的电压。LM2576S-5.0 能够将 24 V 电压转化成 5 V，图中的 LM1117 再把 5 V 输入电压转化成 3.3 V。三种电压一起为各电路供应电量。SS14 二极管的主要作用是对电路进行保护，二极管 1N5822 的作用就是对 LED 灯阵电流传输的保护以及控制电压转换次数和转换的时间，以降低 LED 灯阵的照明能耗。

2.7 驱动电路

对于 LED 的调光，当前主要的方式有：模拟调光和可控硅斩波以及 PWM 调光。其中模拟调光利用调节电阻的阻值来控制电流的大小实现调光，该方法虽然可避免噪声，不过增大了系统的能耗。其次可控硅采用调节开放角大小的形式调节电

压和功率，实现调光，但因为非线性元件会导致谐波污染<sup>[9]</sup>。而 PWM，也就是脉宽调制，它是一种通过简约的数字脉冲，采用控制脉宽就能对平均输出的电流进行控制，实现调光。另外其电流的调节能在零至最大间反复地切换，调光效果很好，非常适用在无级调光中。由此本文采用 PWM 控制 LED 调光的方式完成调光，执行 PWM 所控制的 LED 灯阵功率开关的元件，选取驱动电流小，且开关变换速度快的 MOS 器件，以降压型的电流调节器 LM3409HV 当作驱动电路的控制器。控制器的电路输入电压为 48 V 时，能够驱动 10 个 LED 灯阵，其中，LED 灯阵最大的平均电流为 2 A。电压的输入范围在 6 至 75 V 间，开关频率 400 kHz。LM3409HV 能通过 EN 口将 PWM 信号接入，控制 MOS 器件的开关频率，以控制输入 LED 灯阵的平均电流，以达到调光的目的。

综上所述，完善以上通信模块、随机存储 SRAM、Flash 闪存模块、电源电路等系统主要硬件模块，完成对大功率 LED 灯阵能耗测量系统硬件部分的设计，为系统软件设计提供最优的硬件环境。

3 系统软件设计

LED 灯阵能耗测量系统的软件能耗测量流程图如图 6 所示，系统先对各模块初始化，再读取 LED 灯阵周围的光亮度以及环境信息等数据。

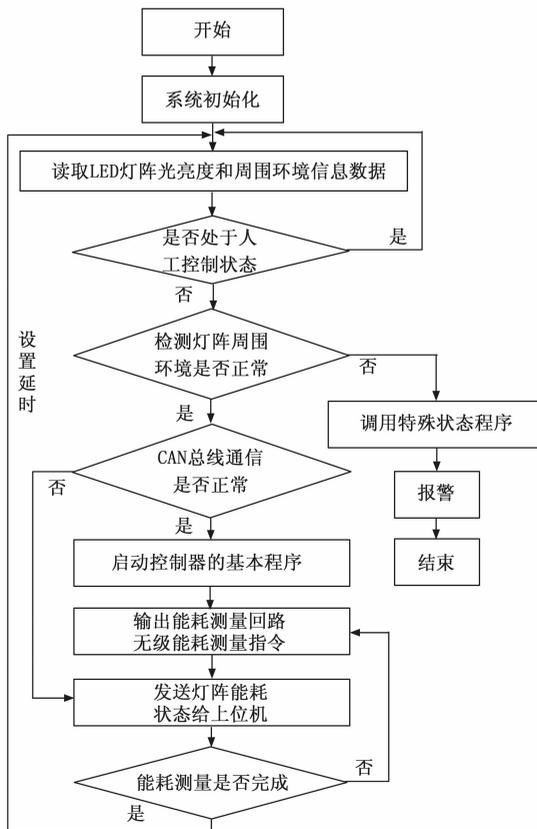


图 6 系统软件能耗测量流程图

图 6 中，当控制系统检测出没有人工手动进行操作时，则进一步对 LED 灯阵周围环境的状态进行检测，也就是能耗测量是否正常，当控制异常时，则按照异常的处理程序报警。如

果周围环境正常，LED 灯阵能花测量系统则开始对 CAN 总线通信进行检测，假设一些正常，那么将智能控制系统的主程序开启，对各个子控制器传输无级调光指令，将调光状态传送至上位机进行随时监测。当调光控制结束之后，系统的延时将时间设定后，循环上述流程。

根据以上步骤，通过完善系统硬件的通信、随机存储 SRAM、Flash 闪存、电源等模块，优化能耗测量功能，完成大功率 LED 灯阵能耗测量系统的设计。

#### 4 实验结果与分析

为验证改进设计的大功率 LED 灯阵能耗测量系统的整体性能，需采用改进的大功率 LED 灯阵能耗测量系统进行实验。将实验平台搭建在 Simulink 上，实验数据取自于某大型商场的 LED 灯阵大屏。分别在以下方面进行实验：

1) 将改进设计的大功率 LED 灯阵照能耗测量系统和传统系统分别应用在实验对象上，在相同的单位时间内，观察两种不同系统对 LED 灯阵能耗测量精度。

2) 电源电压的转换次数和转换时间作为大功率 LED 灯阵能耗测量系统性能的验证指标之一，电压转换的次数多会增加能耗，转换时间过长会大大消耗 LED 能量，为此对不同系统在这两方面进行实验，观察不同系统的运行能耗情况。

能耗测量精度是检验改进设计的大功率 LED 灯阵能耗测量系统性能的最关键指标，分别采用传统系统和改进系统进行能耗测量精度测试，对两种不同系统的能耗测量精度进行记录，测得两种不同系统的能耗测量精度对比结果如图 7 所示。

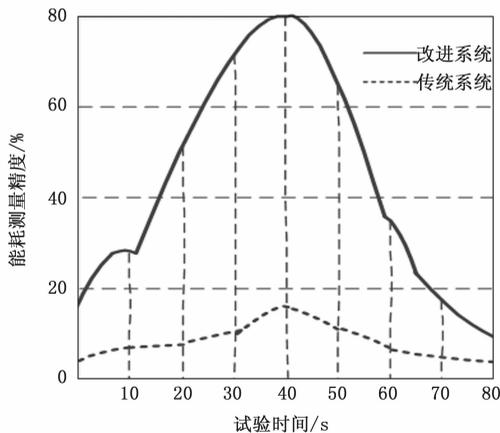


图 7 两种不同系统能耗测量精度对比结果

由图 7 看出，采用传统系统对大功率 LED 灯阵进行能耗测量，其测量精度在 0~40 s 的过程中呈上升趋势，但上升幅度较小，当实验时间为 40 s 时，能耗测量精度最大为 18%，在 40~80 s 时能耗测量精度呈下降趋势，平均能耗测量精度约为 15%。采用改进系统对大功率 LED 灯阵进行能耗测量，其测量精度在 0~40 s 的过程中呈大幅度上升趋势，当试验时间为 40 s 时，能耗测量精度达到最大，为 80%。随后能耗测量精度会随着时间的增加而下降，平均能耗测量精度约为 60%。对比传统系统和改进系统的能耗测量精度可得，改进系统的起始能耗测量精度大于传统系统的能耗测量精度，且改进系统的平均能耗测量精度远远大于传统系统的平均能耗测量精

度。充分说明改进系统的能耗测量精度更高，验证了改进系统的有效性。

为了检测所设计的大功率 LED 灯阵能耗测量系统的运行能耗情况，分别采用传统系统和改进系统对大功率 LED 灯阵的能耗进行电源电压转换次数的测量，电源电压转换次数的增加会使系统运行能耗增加，测得两种不同系统电源电压转换次数对比结果如表 1 所示。

表 1 两种不同系统电源电压转换次数对比结果

时间/s	传统系统电源电压转换数/次	改进系统电源电压转换数/次
5	3	1
10	5	3
15	9	4
20	16	5
25	21	7

分析表 1 可知，采用传统系统对大功率 LED 灯阵的能耗进行测量，其电源电压转换次数随着时间的增加，大幅度增加，平均电源电压转换次数为 10 次。采用改进系统对大功率 LED 灯阵的能耗进行测量，其电源电压转换次数随着时间的增加上升幅度极小，平均电源电压转换次数为 4 次。对比传统系统和改进系统的电源电压转化次数可得，改进系统的平均电源电压转换次数远远小于传统系统的平均电源电压转换次数，且小于传统系统平均电源电压转换次数的一般，说明改进系统的运行能耗更低，验证了改进系统的实用性。

电源电压的转换时间是影响运行能耗的另一关键因素。因此分别对传统系统和改进系统的电源电压转换时间进行测试，测得两种不同系统的电源电压转换时间对比结果如表 2 所示。

表 2 两种不同系统电源电压转换时间对比结果

频率/MHz	传统系统电源电压转换时间/s	改进系统电源电压转换时间/s
300	9	3
500	12	4
700	16	6
900	20	7
1100	25	8

分析表 2 可得，采用传统系统对大功率 LED 灯阵的能耗进行测试，其电源电压的转换时间随着频率的增大而大幅度增加，平均电源电压转换时间为 17 s。采用改进系统对大功率 LED 灯阵的能耗进行测试，其电源电压的转换时间随着频率的增加，上升幅度很小，平均电源电压转换时间为 5 s。对比传统系统和改进系统的电源电压转换时间可知，改进系统的平均电源电压转换时间远远小于传统系统的平均电源电压转化时间，仅是传统系统平均电源电压转换时间的三分之一，充分说明改进系统的运行能耗更低，验证了改进系统的实用性。

综合以上实验结果可得，改进设计的大功率 LED 灯阵能耗测量系统测量精度高，运行能耗低，具有一定的有效性和实用性。

#### 5 结束语

为满足我国 LED 灯阵节能设计的需求，提出改进设计大