

文章编号: 1004-4353(2022)01-0086-04

# 基于锯齿波电源的低辐射教室照明系统

李龙华, 熊丽, 常宇辰, 金永镐

( 延边大学 工学院, 吉林 延吉 133002 )

**摘要:** 针对目前教室照明系统(DC-DC 变换器驱动不同功率的 LED 灯组)易产生电磁干扰,影响其他电器设备工作及学生身心健康等问题,提出一种基于锯齿波电源且结构简单的低辐射教室照明系统,该系统由主机和分机组成.实验表明,该系统能够实现多地、分区控制教室内的  $N$  个 LED 灯,并能够达到有效节能和降低电磁辐射的目的.因此,该系统在教室照明方面有望得到良好应用.

**关键词:** 教室照明; 高频谐波; 低频锯齿波; 斩波; 电磁辐射

**中图分类号:** TM923

**文献标识码:** A

## Research on low-radiation classroom lighting system based on sawtooth wave power supply

LI Longhua, XIONG Li, CHANG Yuchen, JIN Yonggao

( College of Engineering, Yanbian University, Yanji 133002, China )

**Abstract:** Aiming at the current classroom lighting system (DC-DC converter drives LED lights with different powers) prone to electromagnetic interference, which affects the work of other electrical equipment and the physical and mental health of students, a low-radiation classroom based on sawtooth power supply and simple structure is proposed. Illumination system, the system is composed of host and extension. Experiments have shown that the system can control  $N$  LED lights in a classroom in multiple locations and partitions, and can achieve the purpose of effective energy saving and reduction of electromagnetic radiation. Therefore, the system is expected to be well applied in classroom lighting.

**Keywords:** classroom lighting; frequency harmonic; low frequency sawtooth wave; chopping wave; electromagnetic radiation

现有的教室照明系统通常是首先通过整流滤波将 220 V 的交流电压变为 310 V 的直流电压,然后再经过 DC-DC 高频变换器驱动不同功率的 LED 灯组<sup>[1-2]</sup>.这种驱动方式会产生大量的 50~100 kHz 高频、高压脉冲,且这种脉冲很容易辐射到空间并产生大量的电磁干扰,进而影响其他电器设备的工作和师生的身心健康<sup>[3-4]</sup>.目前,未见对低辐射教室照明系统进行研究的相关文献,为

此本文提出了一种基于锯齿波电源的低辐射教室照明系统,并通过实验证明了该系统的有效性.

### 1 非正弦波的组成及谐波分析

#### 1.1 非正弦波的组成

图 1 为非正弦波的组成图,该非正弦波由主机产生,并将其提供给  $N$  个分机.在时间  $0 \sim t_1$  内,锯齿波的电压幅值在  $U_L \sim U_H$  内线性变化,

收稿日期: 2021-09-28

基金项目: 国家自然科学基金(61763047)

第一作者: 李龙华(1997—),男(朝鲜族),硕士研究生,研究方向为智能开关技术及智能变换.

通信作者: 金永镐(1964—),男(朝鲜族),博士,教授,研究方向为智能开关技术及智能变换.

该时间区为高压斩波区;  $t_1 \sim t_2$  时间区为逻辑 0 的同步脉冲区;  $t_3 \sim t_4$  时间区为逻辑 1 的同步脉冲区。

主机工作时,其首先利用高压电容对波形进行微分,由此在高压斩波区得到 10 V 左右的低压工作电压,并将该电压提供给分机的控制器,进而在同步脉冲区得到宽度分别为 0.56 ms 和 0.28 ms 的负脉冲(分别定义为逻辑 0 和 1);然后主机将该负脉冲作为同步信号,以此对高压斩波区进行同步斩波,以获得驱动 LED 灯组的不同电压。

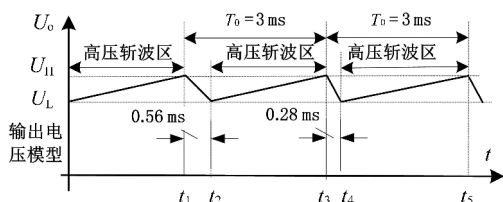


图 1 非正弦波的组成图

## 1.2 谐波分析

图 2 为波形幅度为  $U_M$ 、占空比为  $D$ 、周期为  $T$  的脉冲波示意图。由图 2 可知,傅里叶变换时该脉冲波的幅频特性由下式决定:

$$f(x) = DU_M + \frac{2U_M}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(Dn\pi)}{n} \cos(n\omega t), (1)$$

式中  $n$  取 1、2、3。当对开关电源取脉冲幅度  $U_M = 300$  V、 $D = 30\%$ 、 $f = 50$  kHz、 $n = 30$  时,其幅频特性如图 3 所示。由图 3 可以看出,图中存在大量幅值较高的高次谐波。由频谱理论可知,除了正弦波以外的任何波形都能够产生谐波(谐波可分解为基频和高次谐波),且谐波的幅度随谐波的次数衰减<sup>[5-6]</sup>;因此,图 3 中的高次谐波会产生电磁辐射。

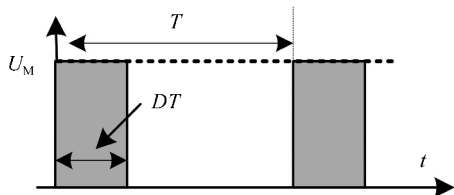


图 2 周期性的脉冲波

在非正弦波组成的系统中,当取  $U_L$  与  $U_H$  之间的差值为 50 V 时,其斩波脉冲的最大幅度为 50 V。图 4 为  $U_M = 50$  V、 $D = 30\%$ 、 $T_0 = 3$  ms、 $n = 30$  时非正弦波系统的幅频特性。由图 4 可以看出,非正弦波展开 30 次后其谐波仍然处于音频范围内,

且幅值很小。由辐射理论可知,0.02 ~ 20 kHz 的音频范围属于低辐射音频范围<sup>[7]</sup>;因此,图 4 中的谐波电磁辐射很小。

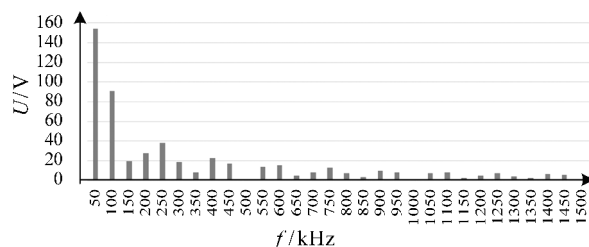


图 3 开关电源的幅频特性

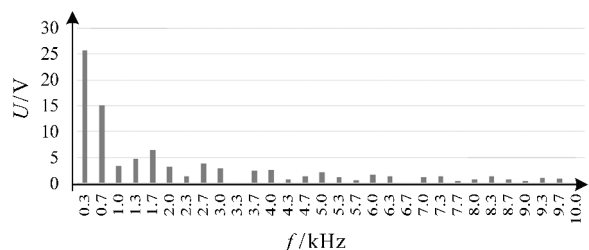


图 4 非正弦波系统的幅频特性

## 2 基于锯齿波电源的低辐射教室照明系统

### 2.1 照明系统

照明系统由主机(为系统提供电能)和分机(N 个 LED 灯组)组成,如图 5 所示。

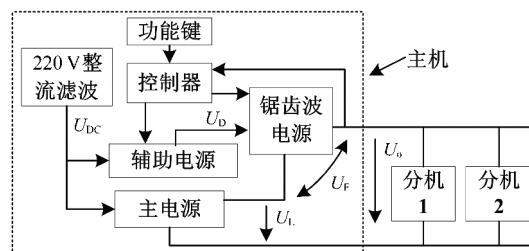


图 5 照明系统框图

为了减轻锯齿波电源的功率负担,本文采用直流电源 + 锯齿波电源的方案。主机工作时首先对 220 V 交流电压进行整流滤波,以此得到  $U_{DC}$  的直流电压;直流电压  $U_{DC}$  经过主电源后变为直流电压  $U_L$ ,并与锯齿波电源的输出电压  $U_F$  叠加输出,即  $U_O = U_L + U_F$ 。

主电源提供驱动 LED 灯组的大部分电能,其中  $U_L$  值可根据 LED 灯组所需的驱动电压在 100 ~ 250 V 范围内设定某一个值。由于锯齿波电源只起到电压补偿的作用,因此其所需要的功率较少,从而可减轻锯齿波电源的功率负担。另

外,  $U_{DC}$  经过辅助电源后, 可为锯齿波电源提供隔离的直流电压  $U_D$ , 锯齿波电源利用  $U_D$  产生幅值在  $0 \sim (U_H - U_L)$  范围内变化的锯齿波电压  $U_F$ .

图 6 为分机框图, 图 7 为工作时序图. 微分器对低频锯齿波电压进行微分后, 在锯齿波的高压斩波区可获得约为 10 V 的低压, 并供给分机控制器使用; 同时在下降部分的同步脉冲区可获得同步脉冲和逻辑 1 或 0, 从而实现主机和分机的通信.

由控制器控制每个同步脉冲点的斩波开关的导通, 并检测 LED 灯组的电流. 当灯组电流达到设定值时, 斩波开关断开, 由此灯组可获得不同的驱动电压.

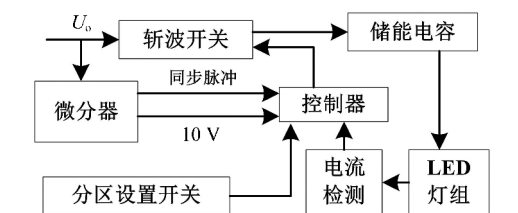


图 6 分机框图

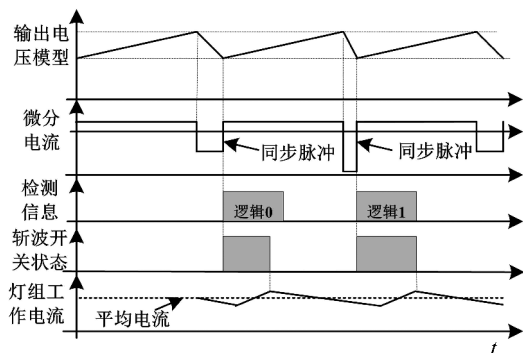


图 7 工作时序图

## 2.2 锯齿波电源的设计

图 8 为锯齿波电源的电路图. 本文使用的是 STC15W402AS 型高速单片机, 该单片机内含 1 路 10 位的 ADC 转换器、3 路 16 位的 CCP 模块、2 路 8 位的 PWM 模块, 且单片机工作频率可调整(最高工作频率可达 33 MHz). 在推挽输出模式下, 该单片机的 I/O 口可提供 20 mA 的驱动电流<sup>[8-9]</sup>. 图 8 中的 L6384 为 PWM 信号用场效应管驱动器, 其不仅结构简单, 而且工作频率可达 400 kHz, 能够驱动 600 V 高压侧的场效应管.

锯齿波电源由单片机中的 8 位 PWM 模块和高速 ADC 转换器组成<sup>[10]</sup>. 当工作频率  $f_s = 33$  MHz 时, 8 位 PWM 的工作频率约为 129 kHz, 周

期  $T$  为  $7.8 \mu s$ . 当锯齿波电源工作时, 其首先用  $T(7.8 \mu s)$  对 3 ms 的锯齿波进行采样, 由此得到 384 个数据; 然后利用示波器对含有逻辑 1 或 0 的锯齿波进行采样, 并建立逻辑 1 或 0 的数据表; 最后利用查询方法将查到的数据送入 PWM 模块中<sup>[11]</sup>. 输出电压  $U_F$  与数据  $N$  之间的关系为:

$$U_F = NU_D / 256.$$

输出电压  $U_F$  利用高速 ADC 采样, 如果样值比设定值小, 则利用控制辅助电源提高  $U_D$ . 高速 ADC 转换器的转换速度与转换时间的关系如表 1 所示.

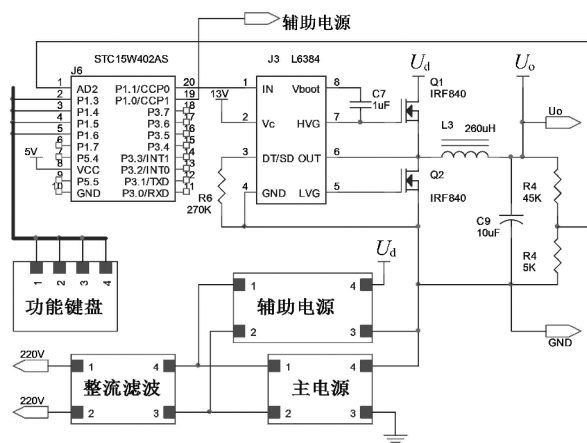


图 8 锯齿波电源的电路图

表 1 高速 ADC 转换器的转换速度与转换时间关系

速度	SPEED1	SPEED0	转换需要周期/个	转换需要时间/ $\mu s$
速度 1	1	1	90	2.7
速度 2	1	0	180	5.5
速度 3	0	1	360	10.9

## 2.3 斩波型 LED 驱动电源的设计

图 9 为分机的电路图, 该电路用低功耗单片机 MK6A12 进行控制. MK6A12 型单片机是一种价格低廉且功耗较低的单片机, 目前被广泛应用在各种工业控制器中. 该单片机内含 4 MHz 的 RC 振荡器(可通过外部电阻设定频率)、WDT 及复位电路, 工作电压为  $2.5 \sim 5 V$ <sup>[12]</sup>.

锯齿波电压  $U_O$  上升时, 电流经过 C3、D2、R6 给 C5 充电并建立一个 5 V 的工作电压;  $U_O$  下降时, 电流经过 C3、D3、R8, C3 放电, 并在 A 点产生负电压, Q5 导通 B 点(此时 B 点为低电平), 由此可检测出下降沿处的脉冲宽度, 同时将其作为同步脉冲. 由于每次同步脉冲结束时单片机 PB0 输

出的是高电平,因此 Q4 导通,进而可使 C4 利用高压斩波区对 LED 灯充电.当灯组的电流在 R4 两端的压降超过 0.6 V 时, Q3 导通, PB1 的输入电压超过 1.5 V,由此使 PB0 输出变为低电平,并使 Q4 截止. R9 的作用是防止刚接通电源时电路中出现过大的电流脉冲.

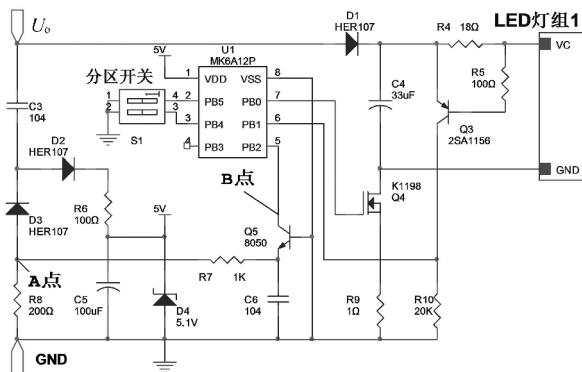


图9 分机电路图

### 3 实验结果与分析

图 10 为在高压波形中检测出的逻辑 0 和 1 的波形图. 实验中取  $U_L = 200\text{ V}$ ,  $U_H = 240\text{ V}$ . 图 11 为主机发送 F0H 和 55H 时, 由示波器检测出的逻辑 0 和 1 的波形图.

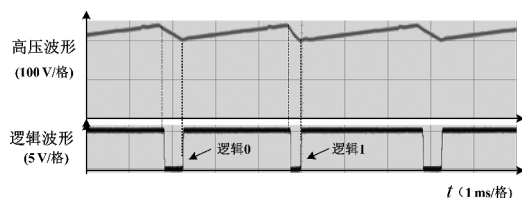


图10 在高压波形中检测出的逻辑波形图

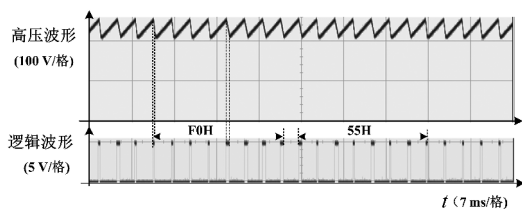


图11 主机发送 F0H 和 55H 时的波形图

图 12 为分机以斩波方式工作时各点的波形图. 由图可以看出, LED 灯组驱动电压约为 220 V, 平均工作电流为 50 mA, 由此可得 LED 灯组的输出功率为 11 W. 由图还可看出, 输入端电流呈缓慢上升趋势, 且峰值电流约为 190 mA, 由此说明控制器可以稳定控制斩波开关, 进而使 LED 灯组稳定工作.

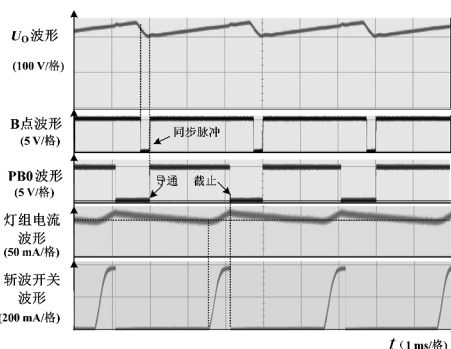


图12 分机斩波方式工作时各点的波形图

### 4 结论

研究表明, 本文提出的基于锯齿波电源的低辐射教室照明系统能够实现多地、分区控制教室内的  $N$  个 LED 灯, 并能够达到有效节能和降低电磁辐射的目的. 另外, 该系统电路结构简单, 因此其在照明系统中具有良好的应用价值.

### 参考文献:

- [1] 朱奔腾. 基于 DC/DC 开关稳压器下大功率 LED 恒流驱动设计的分析[J]. 电子世界, 2018(16): 205.
- [2] 张烨. 基于视觉识别的教室智能节能控制系统研究[J]. 现代电子技术, 2019, 42(14): 87-90.
- [3] 彭瑞云, 赵黎, 张静, 等. 电磁辐射的健康危害与防护[C]//中国毒理学会第九次全国毒理学会论文集. 太原: 中国毒理学会, 2019: 273.
- [4] 陆杰. 照明设备的检测距离对人体电磁辐射评价的影响[J]. 光源与照明, 2017(3): 25-29.
- [5] 陈卫国. 高次谐波产生的原因及防范问题研究[J]. 民营科技, 2018(11): 98.
- [6] 万子逸, 赵威, 杨进, 等. 高频谐波下应力控制型电缆终端的电-热特性[J]. 云南电力技术, 2019, 47(1): 77-79.
- [7] 王剑超. 通信电缆屏蔽层损坏导致设备辐射发射超限的分析与完善[J]. 电气技术, 2020, 21(7): 120-124.
- [8] XIONG L, JIN X L, LI Z R, et al. Research design of three-in-one universal industrial alarm based on STC15W402AS[C]//2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC). Chengdu: IEEE, 2019: 1052-1055.
- [9] 张金兰, 张泽礼. 基于 STC15W402AS 单片机的汽车电笛设计[J]. 汽车实用技术, 2018(3): 98-100.
- [10] 魏荷坪, 孙江, 陈向东. 一种基于迟滞比较器的锯齿波产生电路[J]. 现代电子技术, 2018, 41(4): 70-74.
- [11] 杨佳祥, 龙涛, 邱春玲, 等. 基于高速 ADC 的 TOF-SIMS 数据采集系统[J]. 电子技术应用, 2018, 44(8): 82-85.
- [12] 尹靖雯, 林靖虎, 金永镐. 防火节能型手机充电器[J]. 电子技术应用, 2019, 45(4): 131-134.