

文章编号:1007-2780(2010)01-0068-07

# 大功率背光源用 LED 驱动电路的研究现状与进展

张普雷, 史永胜, 史耀华, 尹向雷

(陕西科技大学 电气与信息工程学院, 陕西 西安 710021, E-mail: 419821674@qq.com)

**摘 要:** 结合具体的 LED 驱动电路控制芯片, 对峰值电流控制型、平均电流控制型、单级单开关非隔离型 LED 驱动电路的原理、优缺点和性能改进措施做了论述。给出了采用频率抖动技术的 LED 驱动电路的传导 EMI 峰值及平均值测量结果和基于 IR2540 的平均电流控制型 LED 驱动电路的工作波形及效率测量结果, 并对脉冲恒流源型 LED 驱动电路的原理做了简要的介绍, 最后从恒流精度、效率、成本 3 个方面综合分析了 LED 驱动电路的发展趋势。

**关 键 词:** 大功率; 背光源; LED; 驱动电路

**中图分类号:** TN86

**文献标识码:** A

## Research Status and Progress of High Power Backlight LED Driving Circuit

ZHANG Pu-lei, SHI Yong-sheng, SHI Yao-hua, YIN Xiang-lei

(College of Electric and Information Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China, E-mail: 419821674@qq.com)

**Abstract:** Taking specific LED driving IC for example, the principle, advantages, disadvantages and performance improvement measures of peak current control, average current control and single-stage single-switch no-isolated LED driving circuit are discussed. The conduction EMI peak and the average test results of LED driving circuit using the jitter frequency technology is given. The work waveform and efficiency test results of LED driving circuit of average current control based on IR2540 are also given. The principle of the pulsed constant current supply LED driving circuit is briefly introduced. At last the meta-analysis about the development trend of LED driving circuit is done from the three aspects of constant current precision, efficiency and cost.

**Key words:** high power; backlight; LED; driving circuit

## 1 引 言

作为 LCD 的背光源, LED 现在已显露出取代 CCFL 的趋势。与传统的 CCFL 相比, LED 背光源具有色域宽、色彩还原性好、可控性强、寿命长、不含汞蒸气和其他有害气体等优点。LED 背光源还能实现 CCFL 无法相比的分区域色彩和

亮度调节功能, 从而更加精确地实现色彩还原和画面的动态调整, 在显示不同画面时, 可以使亮度与对比度进行动态修正, 以实现更好的画质<sup>[1]</sup>。据预测, 到 2013 年, 将有 90% 的笔记本电脑和 40% 的液晶电视使用 LED 背光源<sup>[2]</sup>。由于 LED 是一个低压非线性半导体器件, LED 的正向电压会随着电流和温度的变化而变化, 需要有驱动电

收稿日期: 2009-06-03; 修订日期: 2009-07-09

基金项目: 陕西省教育厅专项研究计划(No. 07JK188)

作者简介: 张普雷(1984—), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要从事开关电源和 LED 驱动电路的研究。

路才能保证其稳定可靠地工作<sup>[3]</sup>,因此,研究大功率背光源用 LED 驱动电路的解决方案,是一项具有前沿性和现实性的工作。

目前,大功率背光源用 LED 驱动电路有峰值电流控制型、平均电流控制型、单级单开光型 3 种类型,这 3 种 LED 驱动电路各有特点。本文结合具体的 LED 驱动电路控制芯片,从原理、优缺点、性能改进措施等方面对这 3 种类型的 LED 驱动电路进行了分析,并对正处于研发阶段的高性能脉冲恒流源型 LED 驱动电路的原理做了简要的介绍,最后分析了大功率背光源用 LED 驱动电路的发展趋势。

## 2 峰值电流控制型 LED 驱动电路

峰值电流控制型 LED 驱动电路目前应用最为广泛,这种电路的效率可达 90% 以上,而且具有电路简单、成本低的特点。HV9982 是这种电路的典型控制芯片。HV9982 有三路输出,R、G、B 各一路,最高输入电压为 40 V,最多可以同时驱动 54 颗 LED,具有输出短路保护、输出过压保护、Hiccup 模式保护功能。图 1 是 HV9982 的应用电路。图中只画出了一路输出,其余两路输出与这一路相同。

HV9982 的工作原理为: $L_1$ 、 $D_2$ 、 $Q_1$ 、 $C_{14}$  组成 Boost 升压变换器电路,CS 引脚检测流过  $Q_1$  的电流,当流过  $Q_1$  的电流超过一定值时, $Q_1$  关断,从而实现恒流输出。 $Q_2$  起输出过压保护和调光

的作用,OVP 引脚用来检测过电压,当此引脚的电压超过 5 V 时, $Q_2$  关断,同时 HV9982 内部的计时器开始计时,当计时完成后,再次检测 OVP 引脚上的电压是否超过 5 V,不超过则  $Q_2$  导通,超过则  $Q_2$  继续关断,如此重复。调光时,当 PWM 引脚为高电平时, $Q_2$  导通;当 PWM 引脚为低电平时, $Q_2$  关断,将 LED 从电路中断开,防止输出电容通过 LED 放电<sup>[4]</sup>。改变 PWM 引脚调光信号的占空比,就可调节 LED 的亮度。

峰值电流控制型 LED 驱动电路虽然具有电路简单、成本低等优点,但也存在一定的缺点,具体表现在:

(1) 电路可能会因次谐波振荡存在运行不稳定的风险,采用斜坡补偿可以解决这个问题,但是如果某些 LED 驱动芯片不支持振荡器电容连接,斜坡补偿会很难实施。另外,斜坡补偿也会引起被检测电流与实际 LED 电流之间的误差。有的学者试图采用固定关断时间(而不是固定频率)的工作方式来解决这一问题,这样虽然可以解决次谐波振荡问题,且占空比也大于 50%,但是为了增加占空比就必须降低频率,从而导致频率在占空比范围内的大幅波动<sup>[5]</sup>。

(2) 对噪声敏感,抗噪声性能差。因为电感处于连续储能电流状态,与控制电压编程决定的电流、电平相比较,开关器件的电流信号的上升斜坡通常较小,电流信号上的较小噪声就很容易使开关器件改变关断时刻,使系统进入次谐波振荡<sup>[6]</sup>。

(3) 峰值电感电流的大小不能与平均电感电流的大小一一对应,在占空比不同的情况下,相同的峰值电感电流可以对应不同的平均电感电流,在输入电压变动的情况下,流过 LED 的平均电流发生改变,恒流精度不高<sup>[7]</sup>。

为了进一步提高峰值电流控制型 LED 驱动电路的性能,目前,研究人员主要在以下几个方面对其进行改进:

(1) 采用频率抖动技术改善 EMI 特性。未采用频率抖动技术时,各次谐波较窄而且离散,幅值在谐波频率处较高。图 2 是采用了频率抖动技术的 LED 驱动电路的传导 EMI 峰值和平均值测试结果。采用该技术可使谐波幅值降低并且变的平滑,高次谐波接近连续响应,减少 EMI 的效果十分显著。

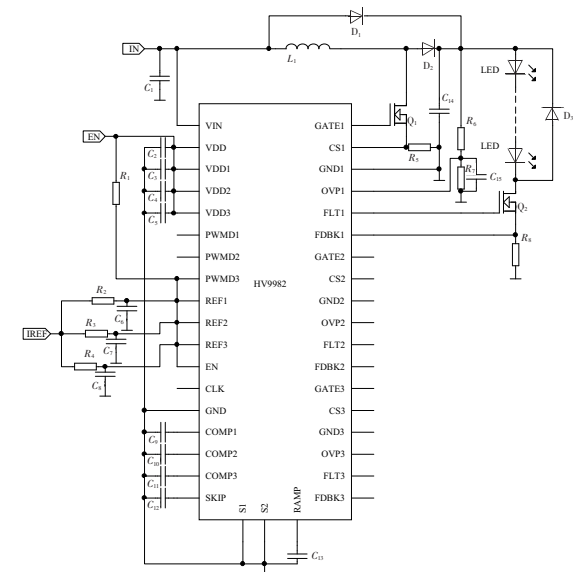


图 1 HV9982 应用电路

Fig. 1 HV9982 application circuit

(2)采用补偿峰值电流控制技术提高 LED 驱动电路的恒流性能,解决在输入电压变动的情况下流过 LED 的平均电流发生改变的问题。国内华润矽微科技有限公司推出的 PT4107LED 驱动电

路控制芯片就采用了该技术。图 3 是补偿峰值电流控制技术原理图。

3 平均电流控制型 LED 驱动电路

平均电流控制型 LED 驱动电路克服了峰值电流控制型 LED 驱动电路可能会出现次谐波振荡等不足,具有以下优点:

- (1)平均电感电流能够高精度地跟踪电流编程信号;
- (2)不需要斜坡补偿;
- (3)抗噪声性能优越。

美国国际整流器公司 (IR) 推出的 IRS2540 是一种平均电流控制型 LED 驱动芯片,可驱动 200 V 的 MOSFET。该 LED 驱动芯片采用独有的高侧驱动器,可连续监控负载电流,并通过时间延迟滞后控制法,精确调节电流,从而提供优势明显的平均电流控制功能;内置短路保护功能,可以通过简单的外部电路实现开路保护功能,同时为同步整流设计提供一个低压侧驱动。IRS2540 的应用电路如图 4 所示。

IR2540 的工作原理为:当 IR2540 的 HO 引脚输出高电平时, $Q_1$  导通,负载从电源吸收电流,并在输出电感  $L_2$  和输出电容  $C_{OUT}$  上储存能量,同时 IR2540 第三引脚上的反馈电压  $V_{IFB}$  逐渐增加,当  $V_{IFB}$  高于 0.5 V 时,控制环在延迟一段时间

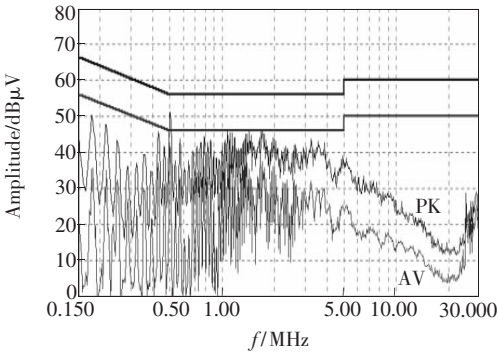


图 2 传导 EMI 峰值和平均值测试结果  
Fig. 2 Conduction EMI peak and average test results

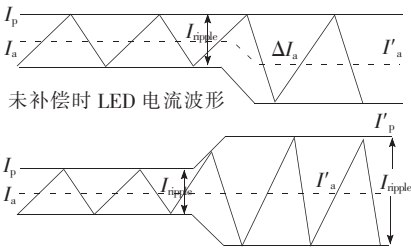


图 3 峰值补偿电流控制技术原理  
Fig. 3 Technical principle of peak compensation current controlling

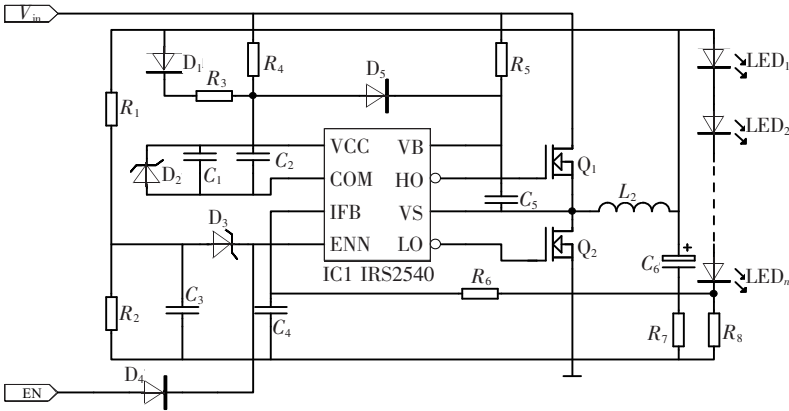


图 4 IR2540 应用电路  
Fig. 4 IR2540 application circuit

后关断 HO 端的输出。HO 关断后,LO 将在经过死区时间后开通,电感  $L_2$  和输出电容  $C_{OUT}$  向负载释放储存的能量。 $V_{IFB}$  开始下降,当  $V_{IFB}$  低

于 0.5 V 时,控制环在延迟一段时间后,HO 引脚输出高电平,LO 关断。从而达到稳定平均电流的目的。ENN 引脚为禁用输出,起开路保护和调

光的作用,当输入该引脚的电压超过 2.5 V 时,IRS2540 处于禁用状态。当需要调光时,将一个固定频率、变占空比的信号加到 ENN 引脚上,平均负载电流与占空比有直接线性关系。如果占空比是 50%,可以实现最大 50%的输出;如果占空比是 30%,可以实现最大 70%的输出<sup>[8]</sup>。

与峰值电流控制型 LED 驱动芯片不同,IRS2540 的频率自由运行并可以通过快速响应输入和输出电压的变化维持电流调节,该芯片不需要外部器件来设置频率,频率是由输出电感  $L_2$  和输出电容  $C_{OUT}$  以及输入输出电压和负载电流决定。图 5 和图 6 分别是负载 6 只 LED 和 12 只 LED 时 IRS2540 的工作波形,图中的 4 个波形由上到下分别为 LED 的电压波形、输入电压波形、LED 的电流波形、LO 引脚的电压波形。这种电路的缺点表现在其效率较低,并且输出电流和效率随负载的变化较大。表 1 为 IRS2540 应用电路在不同负载情况下的测试结果。由表 1 可见,当负载为 10 只 LED 时,电路的效率只有 68.2%,与峰值电流控制型 LED 驱动电路 90% 以上的效率还有一定的差距。

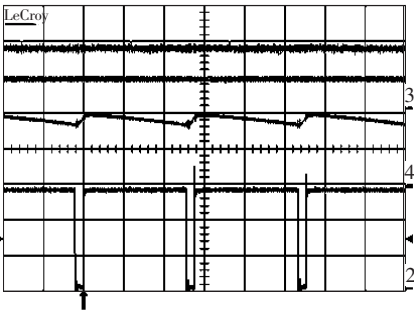


图 5 IRS2540 驱动 6 个 LED 的波形  
Fig. 5 Waveform of IRS2540 driving 6 LED

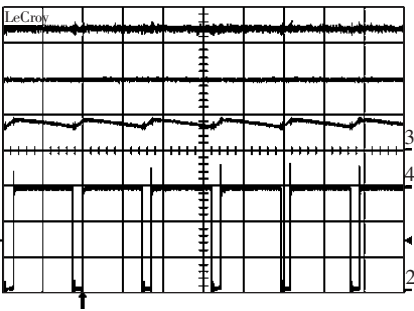


图 6 IRS2540 驱动 12 个 LED 的波形  
Fig. 6 Waveform of IRS2540 driving 12 LED

表 1 IRS2540 应用电路在不同负载下的效率

Table 1 IRS2540 application circuit efficiency of different loads

|    | 输出电压(V) | 输出电流(mA) | 效率(%) |
|----|---------|----------|-------|
| 1  | 3.28    | 412      | 29.2  |
| 2  | 6.46    | 401      | 38.1  |
| 3  | 9.62    | 398      | 43.8  |
| 4  | 12.83   | 388      | 48.5  |
| 5  | 15.94   | 380      | 53.2  |
| 6  | 19.52   | 374      | 57.2  |
| 7  | 22.20   | 372      | 60.2  |
| 8  | 25.60   | 368      | 62.8  |
| 9  | 28.80   | 366      | 64.9  |
| 10 | 31.82   | 363      | 68.2  |

4 单级单开关型 LED 驱动电路

在大屏幕液晶电视和液晶显示器中,背光源耗电量所占的比重是最大的,如果 LED 驱动电路采用直流供电,就要求液晶电视和液晶显示器内功率因数校正(PFC)电路和开关电源的输出功率足够大,导致成本增加。单级单开关型 LED 驱动电路直接采用 220 V 市电,不需要开关电源,而且电路简单、成本也比较低<sup>[9]</sup>,应用单级单开关型 LED 驱动电路可以显著降低液晶电视和液晶显示器的成本。

美国超科公司推出的 HV9931 是一种具有有源功率因数校正功能的单级单开关非隔离型 LED 驱动电路控制芯片,采用该芯片的 LED 驱动电路无需变压器。图 7 是基于 HV9931 的单级单开关型 LED 驱动电路,输出功率为 18 W,效率可达 78%。由图 7 可见,采用 HV9931 的 LED 驱动电路具有电路简单、成本低的优点。图 7 中,  $L_1$ 、 $C_3$ 、 $D_5$ 、 $D_6$  组成输入 Buck-boost 级,它与  $L_2$ 、 $D_7$ 、 $D_8$  组成的输出 Buck 级相级连,两个变换器共用一个功率管  $Q_1$ ,输入 Buck-boost 工作在不连续导电模式(DCM),输出级则工作在连续导电模式(CCM),电路降压比为两个变换器降压比的乘积。这样,不用变压器就可获得高降压比。

HV9931 的工作原理为:当  $Q_1$  导通时,  $L_1$  中的电流线性增加,同时,电容  $C_3$  为输出 Buck 级供电,流过  $L_2$  的电流也线性增加。 $i_{L_1}$  的电流通路为: $D_5 \rightarrow L_1 \rightarrow Q_1 \rightarrow R_6$ ;  $i_{L_2}$  的电流路径为: $C_3$  正端  $\rightarrow Q_1 \rightarrow R_7 \rightarrow LED \rightarrow L_2 \rightarrow D_7 \rightarrow C_3$  负端。当  $Q_1$  关

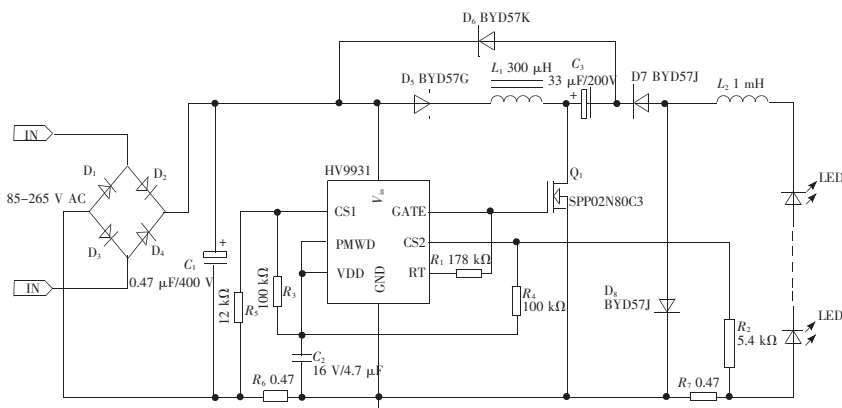


图 7 基于 HV9931 的 18 W LED 驱动电路

Fig. 7 18 W LED driving circuit based on HV9931

断时,  $D_6$  正向偏置, 输入电感电流  $i_{L_1}$  转入到  $C_3$ , 电流流向为:  $D_5 \rightarrow L_1 \rightarrow C_3 \rightarrow D_6$ ; 同时, 流过  $L_2$  的电流流过  $D_8$ ,  $i_{L_2}$  流向为:  $L_2 \rightarrow D_8 \rightarrow R_7 \rightarrow \text{LED}$ 。  $L_1$  中的电流线性下降, 只要降为零,  $D_6$  则反向偏置, 阻止  $i_{L_1}$  流动。在  $Q_1$  再次导通之前,  $i_{L_1} = 0$  的时间为  $L_1$  的死区时间, 此时,  $i_{L_2}$  继续流动, 直到新的开关周期开始,  $Q_1$  导通。在 AC 线路周期之内, 可以认为开关占空比  $D$  和开关频率  $f_s$  不变, 于是,  $L_1$  的峰值电流  $i_{L_1(\text{pk})}$  和平均输入电流直接与输入电压成正比:

$$i_{L_1(\text{pk})} = \frac{D}{L_1 f_s} \quad (1)$$

$$I_{\text{in}} = \frac{1}{2} D i_{L_1(\text{pk})} = \frac{D^2}{2 L_1 f_s} \cdot V_{\text{in}} = \frac{V_{\text{in}}}{R_{\text{eff}}} \quad (2)$$

式中:  $I_{\text{in}}$  为输入电流,  $V_{\text{in}}$  为输入电压,  $R_{\text{eff}}$  为有效输入电阻。

$L_1$  中的峰值电流  $i_{L_1(\text{pk})}$  正比于输入电压, 平均输入电流呈正弦波形。因此可获得单位功率因数和低输入电流谐波失真。图 8 是输入电压和电流波形。

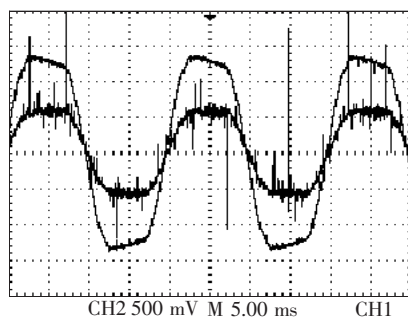


图 8 输入电压和电流波形

Fig. 8 Waveform of input voltage and current

HV9931 的 PWM 引脚连接到 VDD, HV9931 正常工作。若 PWM 引脚接地或开路, 则 HV9931 停止工作。若在 PWM 引脚施加一个 TTL 兼容方波信号, 则可以获得 PWM 调光。在额定输出电流下, 当 PWM 占空比为 5% 时, LED 的亮度降低 50%。PWM 频率应高于 100 Hz, 以使人眼看不到频闪。通过施加 5% 的 LED 电流, 采用模拟(线性)调光, 也可获得 50% 的亮度<sup>[10]</sup>。

单级单开关型 LED 驱动电路是目前的研究热点, 但是还存在一些不足, 主要体现在以下 5 个方面:

(1) 输出功率较小, 目前只在中小功率场合获得了一定的应用;

(2) 为了实现自动输入电流整形, 输入 PFC 电感需工作在恒占空比的 DCM 模式, 且 PFC 级和 DC/DC 级共用一个开关管, 因此开关管的电流应力大<sup>[11]</sup>;

(3) 输入 PFC 电感需工作在恒占空比的 DCM 模式, 整流输入端的高频电流纹波大, 需要的 EMI 滤波器体积大<sup>[12]</sup>;

(4) 为了提高功率转换效率, DC/DC 级一般都工作在 CCM 状态, 高输入电压和轻载时, 由于输入能量和输出能量瞬间不平衡而导致储能电容电压应力过高<sup>[13]</sup>;

(5) 功率转换效率较低。

为了改善单级单开关型 LED 驱动电路的上述不足, 国内外的学者提出和尝试了多种方法和电路拓扑:

(1)采用输入 PFC 电感交错并联、输入 PFC 电感工作在 CCM 模式等方法减少输入电流纹波;

(2)采用 DC/DC 级工作在 DCM 模式、变频控制、母线电压反馈、串联充电并联放电拓扑等方法减少储能电容电压应力;

(3)采用软开关、直接功率转换等方法提高功率转换效率。

虽然单级单开关型 LED 驱动电路还存在一些不足,但是其电路简单、体积小、成本低等优点亦非常引人关注,随着研究的不断深入,单级单开关型 LED 驱动电路将会有广阔的发展空间。

## 5 脉冲恒流源型 LED 驱动电路

与上述 3 种 LED 驱动电路不同,脉冲恒流源型 LED 驱动电路供给 LED 的是脉冲电流,电流脉冲频率和占空比可以调整,为 LED 提供充分可控的恒定电流。由于采用脉冲供电,LED 处于间歇工作状态,LED 的发热量大幅减少,从而使 LED 的光衰减少,延长了 LED 的寿命。另外,脉冲恒流源充分利用了 LED 内荧光粉的余辉效应,不但不会有光的闪烁现象,还会进一步提高 LED 的发光效率。与上述 3 种 LED 驱动电路相比,脉冲恒流源型 LED 驱动电路具有显著的性能优势,但是,脉冲恒流源的电路比较复杂,成本较高,只在小功率的 LED 驱动电路中获得了一定的应用,大功率的脉冲恒流源型 LED 驱动电路还处在研发阶段,还没有商品化。

## 6 大功率背光源用 LED 驱动电路的发展趋势

目前 LED 的效率还比较低,而大功率 LED 背光源的功率可达 100 W 以上,所以大功率 LED 背光源的散热是一个非常重要和具有挑战性的问题。如果 LED 驱动电路的效率也比较低,那么不但会多消耗电能,而且会加重液晶电视和液晶显示器的整机散热负担。恒流精度直接影响液晶电视和液晶显示器画面的亮度和均匀性,恒流精度

当然越高越好。与 CCFL 背光源相比,LED 背光源的成本还比较高,这是影响 LED 背光源推广应用的一个关键因素。低成本的 LED 驱动电路,有助于降低 LED 背光源的成本,因此,高效率、高恒流精度、低成本是大功率背光源用 LED 驱动电路今后的发展趋势。峰值电流控制型 LED 驱动电路虽然效率高,但是存在电路有可能发生次谐波振荡、恒流精度不高、抗噪声性能差的缺点。平均电流控制型 LED 驱动电路虽然恒流精度高,但是效率低。脉冲恒流源型 LED 驱动电路虽然在效率和恒流精度两个方面具有一定的优势,特别是脉冲恒流源型 LED 驱动电路能使 LED 的发热量大幅减少,这对简化大功率 LED 背光源的热设计是非常有用的,但是由于其电路复杂、成本高,目前还没有大功率的脉冲恒流源型 LED 驱动芯片问世,其发展前景目前还很难判断。单级单开关型 LED 驱动电路具有成本低、电路简单的优点,而且恒流性能也比较好。应当指出的是,虽然单级单开关型 LED 驱动电路的效率还比较低,但它是直接使用 220 V 市电,其他类型的 LED 驱动电路还需要开关电源供电,如果把 PFC 电路和开关电源的效率计算进去,电路的总效率几乎与单级单开关型 LED 驱动电路的效率相当,甚至还比单级单开关 LED 驱动电路的效率还要低。虽然单级单开关 LED 驱动电路还存在一些不足,随着研究的深入,其性能会不断提高。综上所述,目前单级单开关型 LED 驱动电路是最具有发展前景的,是当今大功率背光源用 LED 驱动电路的发展趋势。

## 7 结 论

由于 LED 背光源的诸多优点,LED 背光源正在进入高速发展时期。LED 驱动电路作为 LED 背光源中不可缺少的一部分,其重要性是不言而喻的。本文对大功率背光源用 LED 驱动电路进行了分析,探讨了大功率背光源用 LED 驱动电路的发展趋势,对大功率背光源用 LED 驱动电路的研究与设计具有一定参考应用价值。

## 参 考 文 献:

[1] 汪敏,夏咸军. 新型 LED 背光源技术及应用 [J]. 光电子技术,2005,25(4):267-270.

[2] 刘向阳. 发光二极管和背光源发展透视 [J]. 光源与照明,2008,31(4):14-17.

[ 3 ] Suzanne Thomas,Stephen Soos. 关于 LED 背光源及其驱动方法的研究 [J]. 现代显示,2008,15(11):11-17.

[ 4 ] 张成功,刘卫东. 动态控制的 LED 背光源设计 [J]. 现代显示,2008,15(7):51-54.

[ 5 ] Gree Peter B. 高亮度 LED 驱动器的设计优化 [J]. 电子产品世界,2007,15(12):126-128.

[ 6 ] 周志敏,周纪海,纪爱华. LED 驱动电路设计与应用 [M]. 北京:电子工业出版社,2006.

[ 7 ] Pressman Abraham I. 开关电源设计 [M]. 北京:电子工业出版社,2006.

[ 8 ] 李寅涛,牛萍娟. 基于 IRS2541 控制器的大功率 LED 电源 [J]. 光机电信息,2008,51(10):35-40.

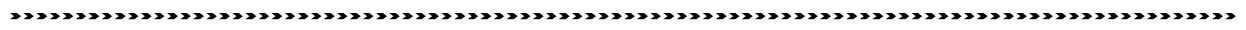
[ 9 ] Chen Xikun, Li Lijuan, Shan Hongtao, *et al.* Research on the topology and the control strategy of digital double Boost-PFC based on DSP [J]. *Proceedings of CSEE*, 2006, 26(9): 76-81.

[10] 余永林,姚启仓. 基于 HV9931 的单位功率因数 LED 驱动器设计 [J]. 国外电子元器件,2007,14(4):38-41.

[11] Choi W Y, Kwon J M, Do H L H, *et al.* Single-stage half-bridge converter with high power factor [J]. *IEEE Trans. on Electric Power Applications*, 2005, 152(3): 634-642.

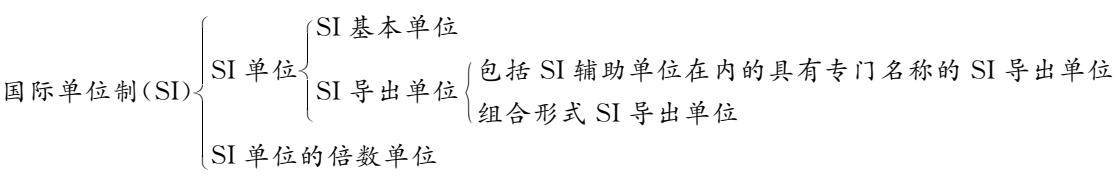
[12] Liu Xuechao, Zhang Bo, Yu Jiansheng. A novel AC/DC converter with charge pump single stage PFC [J]. *Transactions of China Electro Technical Society*, 2004, 19(11): 46-49.

[13] Ren Haipeng, Liu Ding. Simulation on power factor correction boost converter based on matlab and its experimental verification [J]. *Transactions of China Electro Technical Society*, 2006, 21(5): 29-35.



## 国际单位制(SI)

在科技期刊和科技论文中,要求物理量和单位使用国际单位制(SI)和法定计量单位。国际单位制的构成是:



## 公差表示法

- 参量与其公差的单位相同时,单位可以只写 1 次。例如:“12.5 mm±0.2 mm”可写为“(12.5±0.2)mm”,但不得写作“12.5±0.2 mm”。公差用百分数表示时,例如:“λ=550 nm±2 %”这种表示是错误的,应为“λ=550×(1±0.02)nm”。
- 参量的上、下公差相等但单位相同时,公差分别写在参量的右上、右下角,且单位只写一次,例如:10<sup>+0.1</sup><sub>-0.2</sub>g;当参量与公差的单位不同时要分别写出,例:30 cm<sup>+5</sup><sub>-3</sub> mm。
- 参量上、下公差的有效数字应全部写出。例如:18<sup>+0.200</sup><sub>-0.255</sub> mg。
- 参量的上或下公差为“0”时,“0”前面的符号应省略。例如:273<sub>0</sub><sup>+1</sup> K。
- 表示 2 个绝对值相等、公差相同的量值范围时,范围号不能省略。例如:(-7.0±0.5)~(7.0±0.5)℃。
- 表示带百分数公差的中心值时,百分号只需写 1 次,且“%”前的中心值与公差应用括号括起来。例如:(65±0.5)%。