

大功率 LED 无源均流驱动电源的研究

黄辉腾 刘赢源 刘艳娟 陈浩

(深圳市华浩德电子有限公司 广东深圳 518000)

摘要:为了解决大功率 LED 的照明问题,设计了一种采用均流技术的无源均流驱动电源。分析了 LED 照明系统中存在的问题,并对大功率 LED 照明系统中的电流进行分析,针对功率器件的电流不均衡及输出电流有源滤波器(SPF)存在电压纹波大、效率低和易产生寄生效应等缺点,提出了一种无源均流驱动电源。最后对无源均流方案的应用进行了分析。

关键词:大功率;LED;无源均流技术;电源

随着 LED 技术的不断发展,其应用范围越来越广,对 LED 电源的需求也越来越大。目前市场上出现了多种大功率 LED 驱动方式,其中采用均流技术的方案较为常见,而无源均流技术由于存在着效率低、成本高、噪声大等缺点,已经很少应用于市场。均流驱动电路可以有效解决由于电流不均衡引起电源输出电压和频率不一致而引起的开关损耗。

本文根据深圳市华浩德电子有限公司对 LED 电源的实际研发生产经验,研究了一种采用无源均流技术结合开关电源技术实现对功率器件电流采样和电压采样、实现负载侧 SPF 滤波效果。分析了功率器件电流不均衡现象以及电源中输出不连续情况下输出电流有源滤波器带来的影响;并对均流驱动方法和 SPF 滤波器进行了对比分析。

1 LED 照明系统中存在的问题

LED 作为新一代光源,具有低功耗、高亮度、环保等优点,已经成为目前国内外的研究热点。但是近年来,LED 的光衰问题越来越严重。在照明系统中引入 SPF 滤波电路后,功率器件电流出现不均衡现象,导致了 LED 发光效率降低,甚至出现寿命缩短。同时,为解决功率器件的电流不均衡问题,通常采用 SPF (Sensor Particle Filter) 滤波电路作为均流电路(Regulator)。

SPF 主要由两个部分组成,一个是滤波电容的充放电过程;另一个是控制电容器组的电容值大小及输出电流大小的过程。由于输出电流具有电压纹波大、效率低、易产生寄生效应等缺点,因而需要采用均流技术来解决该问题^[1]。

1.1 均流效果不理想

由于功率器件的输出电流有电压纹波大、效率低的缺点,一般要求对功率器件的输出电压纹波要小,即要求输出电压纹波尽可能小。均流是通过功率器件(或其它有源器件)的输出电流进行调整使其处于正常工作状态,并将此调整后的电流输入到输出端进行稳压。

由于均流电路在工作时是在一个很宽的范围调整电流来保证功率器件的正常工作,因此对其要求较高。如果采用均流式电源进行驱动,其输出功率将会大幅下降,并会导致整个系统效率降低。采用均流技术时要解决两个问题:一是在功率因数很高时采用均流电源;二是要求输出电流能满足要求,即要求负载电阻较小(在相同条件下,输出电压与负载电阻成正比)。

1.2 输出电流不均匀

在照明系统中,输出电流的不均匀是影响 LED 寿命的一个重要因素。由于功率开关管存在寄生电容,其自身特性也会影响到输出电流。LED 工作在高电压、高电流下,会产生较高的热量。这些热量会对输出电流中的电容产生影响,导致均流电路中电容容量减小;还可能因发热导致器件失效或损坏^[2]。因此可以通过增加稳压装置和改进电路设计来解决上述问题。采

用无源均流电路可以有效地提高电源输出电流的均匀性和稳定性。

1.3 变压器漏电流大

变压器的漏电流大是一个重要问题。在大功率场合,如大型电机、整流器和变压器等,由于存在漏电流大、损耗及温度变化大等因素,使其漏电流远远大于一般交流电源的漏电流,所以造成了变压器在工作过程中出现效率降低现象,这就要求在电路设计时必须保证输出的高纹波水平。

2 均流驱动电源的设计方案

针对上述问题,设计了一种无源均流驱动电源,该驱动电源采用了 PWM 均流技术,可以使输出电流更加均衡,有效降低了谐波含量。为了解决 LED 灯所存在的问题,本文对电源进行了参数设计。

该方案以 12V4A 电流源为例进行分析。其中 VB 是功率器件驱动所需的驱动电压,而 BN 是由两个二极管串联而成的电压信号电平输出的电平值。其中 B 为输出功率器件(LED)所需要的驱动电平。该电源的工作频率为 30 Hz,功率器件为 12V4A、36V6A 和 60V7A。为了实现均流效果,需要在每个电容前加一个电压信号反馈电路。在每个电容前加一个电压信号反馈电路可以让控制系统产生相应的控制信号去驱动 LED 灯。在此基础上增加反馈电路后可以使整个驱动系统稳定工作。

2.1 实验所需器件

该系统所需的器件包括:

- 整流桥:12V4A 电流源、36V6A 电流源、60V7A 电流源;
- 电感:50/60 μ H;电容:200 \times 20 μ F;
- 隔离型开关电源控制器(CPCI-1240):CPCI-1240 具有输入输出过压保护、输入电压纹波抑制、软启动、过热保护等功能。

*CPCI-1240 可将输入电压范围从 4~50V 降至 0~5V,有效减少开关频率对控制器的影响。

- 高压滤波电容(CQ):80 μ F,具有低导通电压和低插入损耗等特点,使用时需采用大容量电解电容以保证驱动效果。
- 功率开关器件(GTD):GTD 的开关频率为 30 Hz,具有小开关损耗和高导通压降的特点,可应用于驱动高压整流电路中^[3]。

2.2 器件的选择

在本文中所使用的 LED 驱动电路是基于 PI 控制原理设计而成,电路中由一个开关管 PIC16F3844、一个二极管 LM324 和两个升压滤波电容组成,该开关管 PIC16F3844 是美国 Motorola 公司生产的,工作频率为 30 Hz,输出电压可以在 0~100V 范围内调节。电源使用两个单片机进行控制。电源的控制采用 STC 单片机控制板;为了降低系统成本,该系统

选用了 STC12C5A60S2 单片机。由于开关管 PIC16F3844 和一个电容 LM324 同时工作在高阻抗状态下会产生谐波电流,为了降低这种谐波电流对驱动电路造成的影响,需要在 LM324 前加一个升压滤波电容来抵消。

采用两个芯片组成 PWM 均流驱动电路:先对每个 PWM 均流电路分别进行仿真后得到相应的 PWM 均流效果。其次在每个 PWM 均流电路中分别加入一个稳压器作为降压电容。由于每个开关管只有半个截止值,所以需要选用一个降压稳压转换器来进行降压升压转换,该转换器可以用双极和四极方式制作,工作频率为 30 Hz,转换效率为 93%。

2.3 均流电路的设计与仿真验证

均流电路的设计主要是通过输入电压信号来实现。其中, T 为输出电压, B 为电容前的电压信号值, T 为输入电平, D 为电容后电压, M 为交流输入电阻。考虑到 LED 灯对输出功率器件的要求,其电流需要足够大才能使灯亮。T 的取值在 20~30 之间。根据上面分析可知:当 T 取值小于 20k Ω 时,LED 功率器件的输出电流将变得不平衡;而当 T 值小于 30k Ω 时,LED 功率器件的输出电流将变得不平衡。因此本文设计了均流电路来解决上述问题^[4]。

为了验证该均流电路可以解决 LED 灯驱动存在问题,本文通过搭建仿真模型进行验证。分别在负载电阻 C、负载电容 C 上加载了电压信号源 L 和电压信号反馈电路 L 来模拟 PWM 的均流过程。

3 输出电流采样装置

电流采样装置的主要作用是将 LED 驱动电源输出的电流值进行采样,并对其进行分析。在功率器件上施加电压信号即可得到电流值。输出负载上的电压、电流信号通过耦合到采样电路产生采集信号。采样电路采用两个光电二极管来采集功率器件输出的信号,并将采集到的电流值进行数字计算,得到功率器件和负载之间的电压关系。在实际应用中,可以选择一个固定的采样周期进行数据采集。对于每一次测量,要对所有测量值进行采样并存储到 DDADSMR 中。当电流采样完成后,要对这些数值进行运算分析和比较,以确定 LED 电源输出电流是否合格。

若不符合要求说明数据不准确,需对数据重新计算或校正;若符合要求证明数据精度较高,可将其作为最终计算结果。在计算 LED 电源输出电流时会遇到一系列问题,如在使用过程中出现输入电压过低、输入信号过大等情况影响着模拟结果。

4 控制模块设计及仿真分析

在开关管驱动电路的设计中,通过采用 Boost 升压电路的 Buck 变换器,将负载电流经过二极管整流后送入 LED 供电口,通过比较器采样电流与设定的输出电压进行比较计算,从而得到负载电流的采样值。

4.1 PI 闭环控制

PID 控制原理分析是利用 Matlab 软件对其进行数学分析,并对各个模块各功能进行设定,通过 MATLAB 软件进行功能模块的仿真分析。首先在 PI 控制器的输入端加入一反馈信号,同时设置两个参数:a、反馈值 a 的选择,b、PI 控制器输出值与反馈值之间的比值 b/A。利用数字积分(PI)闭环控制方法,在每一个工作周期中,通过调节 PI 控制器中各参数,使系统获得较好的稳定性、动态响应和稳态精度。其中 A、B 为输入

电流,C 为输出曲线。

经过仿真分析后得出:当系统输入额定电流和输出额定电压达到一定值时,系统中各开关管在不同频率下工作时有一次冲击电流。

4.2 控制电路仿真

在系统中,通过对各模块的控制使系统能正常工作。采用 MATLAB 进行系统仿真,利用 Matlab/Simulink 进行分析,可以看出系统的各个功能正常。在输出端电压为 0V 时,控制电路将输出电压为 4.45V,此时输入电流为 3.35A,输出电流可以达到 1A/ μ s;当输入电流增加到 4.35A 时,输出电压降至 0.67V 不变。

当输入电流增大到 3.35A 时,系统稳定正常后输出的电压降至 4.15V。在输出电压达到 3.35/4.45*100/ μ s 时系统稳定工作在 PWM 波的占空比为 50%时工作最稳定。利用仿真软件对电路进行功能测试后发现电路可以正常工作且运行可靠,符合设计要求。当采用 PWM 波时,虽然输出电压达到了 3.35V 且占空比为 50%情况下,但是在 PWM 波占空比增加到 100%的情况下出现了不稳定。利用仿真软件对电路进行功能测试后发现当 PWM 波占空比为 100%情况下出现了不稳定现象;利用硬件软件相结合的方式对电路进行功能测试后发现在 PWM 波占空比上升到 100%后出现了不稳定现象^[5]。

4.3 PWM 占空比信号的检测

在系统控制设计中,PWM 信号的检测一般是通过单片机中的定时器芯片 TMS320F2812 来实现。TMS320F2812 主要是用来控制 PWM 信号产生电路。在程序设计过程中采用中断服务的方式,中断服务程序分为主程序、启动中断服务程序及定时中断等几部分,其中主程序功能是实现 PWM 信号检测、PWM 信号波形显示等。PID 控制器中各参数的设置主要是通过改变各 PID 参数来实现的,同时也可以通过改变 PID 控制器参数,从而调节 PWM 信号检测电路中 PWM 信号的大小来进行控制。

5 实验结果及分析

在本系统中,大功率 LED 无源均流驱动电源由主开关管和升压变压器组成。其中的电流采样电路采用了电流采样模块,用来采集 LED 灯所需电流,并在单片机的控制下,通过调节电压和采样频率等来调节输出电路的电流幅值,实现了开关管到升压变压器之间的电流采样。

为了验证均流驱动电源工作是否稳定可靠,本系统中采用了四种不同的实验方案对 LED 灯所需的总输出电流进行采样,并对所有实验方案下 LED 灯所需总输出电流进行波形分析。

(1)输出电压纹波及谐波分析:在输出电压纹波上和谐波含量上都满足要求。

(2)LED 所需总输出电流计算:为了更好分析电压和电流不平衡及滤波电容等对 LED 灯所需总输出电流可能产生的影响,将所需总输出电流与计算结果进行对比。

(3)效率及纹波分析:为验证本文提出的均流驱动电源的工作性能是否可靠。将 LED 灯在负载两端并联一个小电阻和一个小电感后测试其效率数据,可以看出当电源工作时,电压纹波基本稳定在 $\pm 0.02\%$ 左右。

(4)均流方案实验测试:在对 LED 灯均流驱动电源进行相关实验测试之前,先对功率器件及输出滤波电容等做了测量

(下转第 106 页)

(上接第 91 页)

和测试,可看出各器件均工作正常。

本文设计的均流方案具有良好的负载适应性和调节性能、较好的均流效果。

6 结语

本文设计了一种采用均流技术的无源均流驱动电源,并对电源电路中的电流采样电路、滤波电容和滤波电感进行了设计。为了提高均流驱动电源的效率,本文采用 PID 控制,在 PIC16F877-D 中加入了电流采样、滤波电容电感补偿电路。

通过对电路仿真,可以得到所设计方案的输出功率,在此基础上建立了负载电流回路模型,通过仿真分析可以得到无源均流驱动电源的输出功率、负载电流波形以及电流不平衡程度等参数。

为了验证本文提出的电源设计方案是否可行,采用实验样机对所设计的无源均流驱动电源进行实验。根据实验结果分析出无源均流驱动电源中的主要问题为:1)由于所用滤波电容较大而不平衡导致输出电压波动较大,从而影响了系统整体性能;2)输出电压波形中存在锯齿波噪声。针对上述问题本文提出了

一种新型均流方案:首先使用 PIC16F877-D 对输入电流采样获得输入电流信号并进行计算;然后采用基于 SPWM 调制的均流驱动方案对信号进行整形,并将功率器件的电流不平衡问题转换为均流问题以解决均流驱动电源的设计问题。

参考文献:

- [1]张晓蕾.基于无源均流的多路 LED 驱动器设计与研究[D].河北科技大学,2022.DOI:10.27107/d.cnki.ghbku.2022.000315.
- [2]童正军,高崑.大功率 LED 驱动电源研究[J].船电技术,2020,40(05):43-46.DOI:10.13632/j.meee.2020.05.013.
- [3]赵祥瑞.谐振式多通道均流 LED 驱动器设计与研究[D].河北科技大学,2021.DOI:10.27107/d.cnki.ghbku.2021.000717.
- [4]肖瑞,周群,刘雪山,李学文.基于无源均流的单开关多输出 LED 驱动器[J].电力电子技术,2019,53(08):56-58+62.
- [5]吴思远,林国庆,俞炜平.LED 驱动电路及多路均流技术探讨[J].中国照明电器,2012(06):9-12.

作者简介:黄辉腾(1985年10月)男,汉族,江西上饶,技术总监,研究方向:开关电源、LED电源。