

动态光调节下的数字式LED驱动电源设计

为了提高数字式LED驱动电源的能量供给功率, 实现在动态光调节下的数字式LED驱动电源的优化控制, 进行动态光调节下的数字式LED驱动电源优化设计研究。传统的LED驱动电源设计采用自振荡功率放大控制输入调谐回路设计方法, 不适应于动态光调节系统, 导致电源的输出功率降低, 抗干扰性不好。提出一种基于无损二次衰减调制LED驱动电源能耗优化控制方法, 实现对动态光调节下的LED驱动电源设计。首先进行LED驱动电源供电系统的总体模型设计, 采用高通滤波器S3529设计LED宽频带大功率驱动电源, 用外部电源给整个系统供+5 V和±12 V的电压, 当LED驱动电源要求多个不同频率的时钟信号时, 选择有源的晶振作为时钟电路, 对LED驱动电源进行无损二次衰减调制。采用直线反馈线性化补偿方式对驱动电源能耗进行直接控制, 降低能量损耗, 提高发射功率。系统实验结果表明, 采用该LED驱动电源设计技术, 能对动态光调节下的数字LED进行超负荷状态评估, 提高控制效益, 降低能量耗散。

闫胜利/中山职业技术学院电子信息工程学院

孙敬贤/广东电网有限责任公司中山供电局



闫胜利/副教授

关键词/Keywords

LED驱动电源·

动态光调节·

能量·

设计·

随着光通信技术的发展进步, 对可见光通信(Visible Light Communication, VLC)的研究受到人们广泛关注, 可见光通信的基本原理是通过LED光线等光照设备, 采用数据终端进行IrDA红外通信、蓝牙通信等。目前, 可见光通信正在逐渐取代传统的通信网络, 实现光通信和数据传输, 这是因为采用可见光进行通信、数据传输, 实现高达1 Gbit/s的数据传输速率。在VLC系统中, 通过处于动态光调节下, 此时数字式LED系统非线性失真严重影响了可见光通信系统的整体性能和通信质量, 在动态光调节下的数字式LED系统非线性失真产生的根本原因, 是由于LED驱动电源的能

量供给不稳定, 控制准确度不高等。因此, 为了提高数字式LED驱动电源的能量供给功率, 实现在动态光调节下的数字式LED驱动电源的优化控制能力, 需要进行动态光调节下的数字式LED驱动电源优化设计研究。研究面向可见光通信的数字式LED系统驱动电源优化控制和设计技术具有重要的价值和意义, 得到了人们的广泛关注^[1]。

目前, 动态光调节下的数字式LED系统驱动电源灰色采用LED载波调制的方法进行失真抑制, 采用相干分布源模型进行线性动态补偿, 由于电源驱动系统设计是发散系统, 耗能高且信号不易采集, 导致驱动电源控制性能不稳定。对此, 人们进行了改进设计^[2], 其中文献[3]采用能量剩余度向量概率密度分配方法, 进行驱动电源控制和电路系统设计, 该设计方案受到电池发射功率的匹配衰减限制, 控制性能不好; 文献[4]研究了MIMO光通信的信道建模和检测方法, 在光电转换过程中出现过多的信号累计, 导致电源系统的能量耗散较大; 文献[5]提出一种基于虚拟阻抗的双馈控制的数字式LED驱动电源设计方案, 当电压骤升时控制性能明显下降, 电源能耗的能量约束性能不好。传统的LED驱动电源设计采用自振荡功率放大控制输入调谐回路设计方法, 不适应于动态光调节系统, 导致电源的输出功率降低, 抗干扰性不好^[6-11]。

针对传统的驱动电源设计方法出现的问题, 本文进行设计方案改进, 提出一种基于无损二次衰减调制LED驱动电

源能耗优化控制方法,实现对动态光调节下的LED驱动电源设计。首先进行LED驱动电源供电系统的总体模型设计,选择有源的晶振作为时钟电路,对驱动ID进行无损二次衰减调制,采用直线反馈线性化补偿方式对驱动电源能耗进行直接控制,通过电源的电路系统和控制算法设计,采用直线反馈线性化补偿方式对驱动电源能耗进行直接控制,降低能量损耗,提高发射功率。最后通过仿真实验进行了性能测试和验证,展示了本文设计的LED驱动电源的优越性能。

数字式LED驱动电源系统总体设计及控制策略

1. 动态光调节下的数字式LED驱动电源系统总体模型

首先进行系统总体设计,电源为整个硬件电路正常工作提供供电电压,因此电源设计的正确与否关系着电路能否正常工作。动态光调节下的数字式LED驱动电源根据调制解调的类别,可分为电源驱动电路单片功率放大器和电源驱动调幅功率放大器,采用高通滤波器S3529设计LED宽频带大功率驱动电源,用外部电源给整个系统提供+5 V和±12 V的电压。采用TPS767HD3XX系列电源芯片,为LED驱动电路提供1.5~1.6 V的可调电压和3.3 V的固定电压,得到LED驱动电源总体设计框图如图1所示。

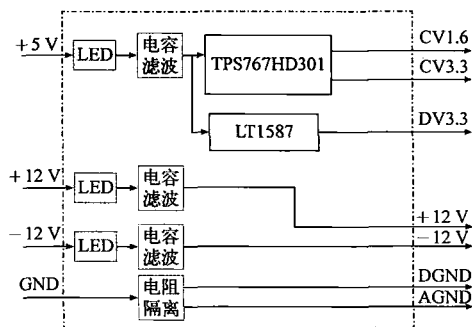


图1 LED驱动电源总体设计框图

为了保证得到稳定和干扰较小的电压,必须通过电容滤波网络来对电源进行滤波,在多个已知干扰中,为了使得电源驱动信号离散数据解析化,设计二阶格型陷波器结构,构建电容滤波网

络进行电源干扰数据滤波,首先得到了二阶格型陷波器结构如图2所示。

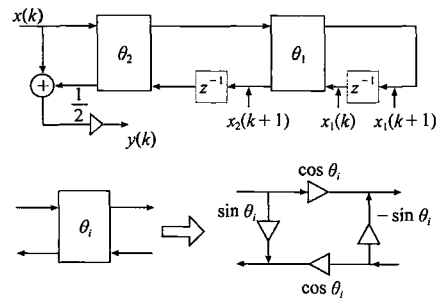


图2 二阶格型陷波器结构

结合图2,进行信号滤波,供电系统中除了DSP外,还有其他的器件需要供电,主要有CPLD、SRAM、Flash和SDRAM的3.3 V供电,构建LED驱动的供电信号解析模型

$$z(t) = x(t) + iy(t) = a(t)e^{j\theta(t)} \quad (1)$$

式中, $z(t)$ 为电源驱动信号; $x(t)$ 为电源驱动信号解析模型的实部; $y(t)$ 为电源驱动信号的固有模态函数,通过系统融合参量方法进行发射功率调度判决,采用求偏导数的方法求得,发射功率趋于恒定值时传输数据量最大,得到LED驱动电源的最优的发射功率为

$$\frac{\partial F}{\partial p_N} = \frac{-L_N}{2(1+p_N)} + \frac{L_N m_N}{E_0 + \dots + E_{N-1} - L_1 p_1 - \dots - L_N p_N} \quad (2)$$

式中, p_N 为数字式宽频最大功率; L_N 为传输数据的时间。

在驱动电源系统中,当载波幅值出现负信号失真时,实现失真动态补偿,则驱动补偿系数为

$$C_2 = \frac{v}{\beta} \quad (3)$$

式中, v 为驱动的速度; β 为传播常数。

利用已经定义的传播常数 β ,得到LED驱动电源特征参量 v 为

$$k = k_r u_r + k_\varphi u_\varphi + k_z u_z = f(r) u_r + \frac{v}{r} u_\varphi + \beta u_z \quad (4)$$

式中, $f(r)$ 是 k 沿 u_r 轴的分量,所以

$$f(r) = k_0 n(r) \frac{dr}{ds} = \beta \left(\frac{dr}{dz} \right) \quad (5)$$

式中, k_0 为沿 u_r 轴分量的初始值; n 为信号滤波的数量。

由上式可知

$$f^2(r) = k_0^2 n^2 - \left(\frac{v}{r}\right)^2 - \beta^2 \quad (6)$$

将接收到的输入时钟变换为CPU及其外设所需要的工作时钟,得到动态光调节下的数字式LED驱动电源系统总体模型和输出控制解析模型。

2. 动态光调节下的数字式LED控制算法设计

在上述LED驱动电源总体设计的基础上,研究电源的功耗控制算法,提高电源的供电控制和驱动性能。传统的控制方法采用自振荡功率放大控制输入调谐回路设计,导致电源的输出功率降低,抗干扰性不好。提出一种基于无损二次衰减调制LED驱动电源能耗优化控制方法,将LED驱动电源模型中的LED驱动电源储能容量的指向方向 θ_0 左右各旋转一个 $\Delta\theta$ 角度,得到驱动电源的无损二次衰减调制的最佳的分层电平发射功率为

$$\begin{aligned} & \max_{p(t) \geq 0} \sum_{i=1}^{N+1} \int_{S_{i-1}}^{S_i} \frac{1}{2} \log[1 + p(t)] \mathrm{d}(t) \\ & s.t. \quad \int_{i=1}^l \int_{S_{i-1}}^{S_i} p(t) \mathrm{d}(t) \leq \sum_{i=0}^{l-1} E_i, \quad l = 1, \dots, N+1 \quad (7) \end{aligned}$$

式中, t 为分层电平发射时间。

进一步进行电源控制器优化设计,在动态光调节下,得到LED驱动电源正常控制模式下的状态方程为

$$a(\theta_0 + \Delta\theta) = [1, \exp(-j\varphi_1), \dots, \exp(-j(M-1)\varphi_1)]^T \quad (8)$$

$$a(\theta_0 - \Delta\theta) = [1, \exp(-j\varphi_1), \dots, \exp(-j(M-1)\varphi_2)]^T \quad (9)$$

式中, T 为运算时间。

构建LED驱动电源能耗的能量约束模型,采用射线模型对LED光的驱动电源进行信号传播损失模型构建,得

$$TL = 10n \lg r + \alpha r \quad (10)$$

式中, TL 为LED光驱动信道传播损失, dB; n 为传播因子; r 为衰减光程, m; a 为吸收系数, dB/km。

通过上述分析,说明了驱动电路节点*i*在生存时间*T*内的能量消耗不大于其初始能量 E_i , LED驱动电源控制的优化问题转化为约束与能量守恒法则及总能量限制问题,此时每条链路的可达速率域与整个LED驱动电源能量供应网络有关。

通过上述处理, 实现了动态光调节下的数字式

LED控制算法设计，提高电源驱动系统的控制效益。

系统设计与实现

1. LED驱动电源能量供给系统

在上述设计的控制算法基础上进行硬件电路设计,实现动态光调节下的数字式LED系统的驱动电源设计,采用高通滤波器S3529设计LED宽频带大功率驱动电源,用外部电源给整个系统提供+5 V和 ± 12 V的电压,采用TPS767HD301芯片,构建LED驱动电源能量供给系统,得到系统的输出电压为3.3 V和1.6 V,1.6 V由外部电阻的比值来确定,根据输出电压方程为

$$V_o = V_{\text{ref}}(1 + \frac{R_2}{R_1}) \quad (11)$$

式中, $V_{ref}=1.183\ 4\text{ V}$, 计算出 R_1 和 R_2 的值分别为 $11\text{ k}\Omega$ 和 $30\text{ k}\Omega$, 电源滤波得到的 $+5\text{ V}$ 电压通过LT1587产生 3.3 V 的电压给电路中的其他器件供电, 得到电源芯片电路图如图3所示。

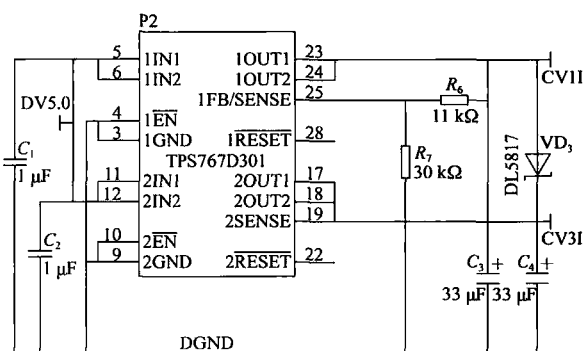


图3 电源芯片电路图

图3中，C55x芯片内的时钟发生器可从CLKIN引脚接入输入的时钟，将其变换为CPU及其外设所需要的工作时钟。工作时钟经过分频也能通过引脚CLKOUT输出，当LED驱动电源要求多个不同频率的时钟信号时，选择有源的晶振作为时钟电路，对LED驱动电源进行无损二次衰减调制。假设所有节点的物理特性和电气特性都是相同的，且信道衰落为参数 $\alpha=4$ 的指数平坦衰落。计算非相干LED驱动电源能量，由于其高度的汇聚性、高度的能耗性，是很难获得的。为了提高LED驱动电源寿命，需要进行LED驱动电源能量控制，采集LED驱动电源的输出电压、输出电流和环境温度等信

息并与上位机进行通信,然后当上位机下达查询命令后将所采集到的信息传送到上位机,数据采集板的检测系统软件流程如图4所示。

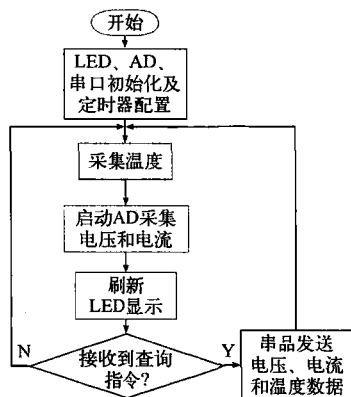


图4 LED驱动电源能量供给系统软件工作流程图

通过上述设计,构建LED驱动电源能量供给系统,其中,包括IO电源(3.3 V)、内核电源(0.8~1.2 V)以及实时时钟电源(3.3 V)。选用ADM706SAR DSP芯片,设计成4种复位方式:①上电复位;②看门狗复位;③供电电压过低复位;④手动复位。系统的输出 $y(k)$ 和梯度信号 $\varphi(k)$ 可以表示为

$$y(k) = s_1(k) + n_1(k); \quad \varphi(k) = s_2(k) + n_2(k) \quad (12)$$

$$s_1(k) = AA_H e^{j(\Omega k + \theta_H)}; \quad s_2(k) = AA_{H_b} e^{j(\Omega k + \theta_{H_b})} \quad (13)$$

式中, AA_H 、 AA_{H_b} 和 θ_H 、 θ_{H_b} 分别为LED驱动电源传输函数 $H(z)$ 和 $H_B(z)$ 的幅度响应和频率响应。

2. 数字式LED驱动电源系统实现

在上述LED驱动电源能量供给系统设计的基础上,通过采用直线反馈线性化补偿方式对驱动电源能耗进行直接控制,降低能量损耗,提高发射功率。根据实测的LED驱动电源阻抗值 G 、 B 和发射响应级SVL,假设电导 $G = 1/R_L$, 导纳 $B = j\omega C$, $B_L = -j \frac{1}{\omega L}$, 调谐电路的稳定点为

$$\varphi'_0 = \tan^{-1} \frac{B - B_{L_2}}{G}, \quad \varphi_X = \tan^{-1} \frac{Z_{LC} + Z_X}{R} \quad (14)$$

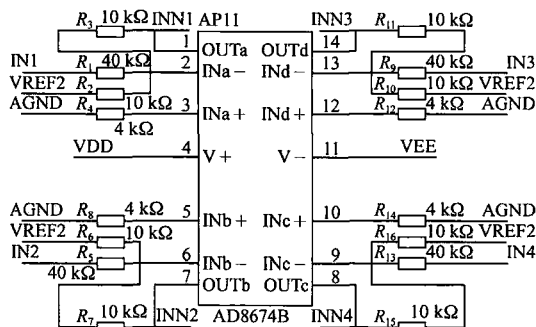
$$G_X = \frac{1}{R'(1 + \tan^2 \varphi_X)} = G \frac{1 + \tan^2 \varphi'_0}{1 + \tan^2 \varphi_X} \quad (15)$$

式中,当相位角 φ 趋于0,功放管的有用功率输出达到最大,通过引入阻抗匹配与功率激励方案,

提高电源功率信息的能量增益,得到LED驱动电路的HAVC系统LPNTI积分控制模型传递函数为

$$G(s) = \frac{k_1}{x(ts+1)} = \frac{k_1 w}{s(s+w)} e^{-Ls} \quad (16)$$

式中, w 为LED驱动电路的总功率; s 为LED驱动电路的总长。在电源设计中加入了LMN117对直流的电流进行转换,消除外部的干扰,输出3.3 V的固定电压和外接电阻分压产生1.6 V的电压,满足DSP正常工作的电压要求。在动态光调节下,通过二阶格型陷波器,实现电源滤波,得到的+5 V电压。通过LT1587产生3.3 V的电压给电路中的其他器件供电,实现LED驱动电源的优化控制和设计,电源电路如图5所示。



供电控制,在VHDL中建立仿真波形文件,验证程序运行的结果是否正确。发送的16位数据为0FAAh,锁存高8位的同时选中通道A,最高两位为“01”,通过仿真验证,程序运行的结果完全满足系统设计的要求,动态光调节下的数字式LED驱动电源DA转换软件仿真图如图6所示。

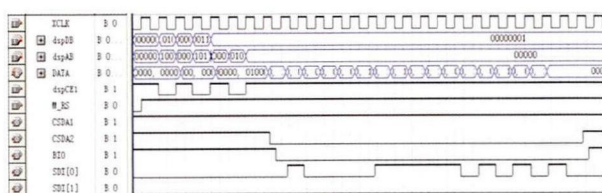


图6 动态光调节下的数字式LED驱动电源DA转换软件仿真图

分析上述结果可知,该LED驱动电源设计,能对动态光调节下的数字LED进行超负荷状态评估,提高控制准确度,降低能量耗散,提高供电系统的发射功率。

结束语

本文进行了动态光调节下的数字式LED驱动电源优化设计研究,以提高数字式LED驱动电源的能量供给功率,实现在动态光调节下的数字式LED驱动电源的优化控制,提出一种基于无损二次衰减调制LED驱动电源能耗优化控制方法,实现对动态光调节下的LED驱动电源设计。首先进行LED驱动电源供电系统的总体模型设计,采用高通滤波器S3529设计LED宽频带大功率驱动电源,选择有源的晶振作为时钟电路,对LED驱动电源进行无损二次衰减调制,采用直线反馈线性化补偿方式对驱动电源能耗进行直接控制,降低能量损耗,提高发射功率。实验结果表明,采用该系统能对动态光调节下的数字LED进行超负荷状态评估,提高控制准确度,降低能量耗散,在LED驱动电源设计领域具有较好的应用价值。

参考文献

- [1] 洪阳,陈健,王子雄.基于BD预编码的多用户MIMO内可见光通信系统[J].光子学报,2013,42(11):1277-1282.
- [2] 李鹏,马建军,李文强,等.一类不确定非线性系统的改进积分型滑模控制[J].控制与决策,2009(24):1463-1472.
- [3] 方支剑,段善旭,陈天锦,等.储能逆变器预测控制误差形成机理及其抑制策略[J].中国电机工程学报,2013,33(30):1-8.
- [4] Rong Yue. Joint source and relay optimization for two-way linear non-regenerative MIMO relay communications[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2012, 60(12): 6533-6546.
- [5] Jeong Cheol, Kim Hyung-Myung, Song Hyoung-Kyu, et al. Relay precoding for non-regenerative MIMO relay systems with partial CSI in the presence of interferers[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2012, 11(4): 1521-1531.
- [6] 李全忠,黄济宇,罗丽平,等.基于MMSE准则的MIMO多中继系统线性收发机设计[J].电子学报,2012,7(2):1323-1327.
- [7] 齐昕,周晓敏,马祥华,等.感应电机预测控制改进算法[J].电机与控制学报,2013,17(3):62-69.
- [8] 曹玉丽,史仪凯,袁小庆,等.自平衡机器人变论域模糊PID控制研究[J].计算机仿真,2013,30(2):347-350.
- [9] 陈家伟,陈杰,龚春英.变速风力发电机组恒带宽最大功率跟踪控制策略[J].中国电机工程学报,2012,32(27):32-38.
- [10] 许晓辉,李颖晖,陈亚滨.基于非线性状态观测器的永磁同步电机无位置传感器矢量控制[J].电工技术学报,2010,25(1):50-57.
- [11] 李鹏,孙未蒙,李文强,等.一种改进积分滑模面在飞控中的应用[J].控制工程,2010,17(3):269-289.

(收稿日期:2014-10-17) EA