

文章编号: 0427-7104(2005)04-0588-05

感应无极光源调频调光性能的研究

龙奇¹, 陈大华¹, 陈育明¹, 李维德², 汪宝彤², 张立诚²

(1. 复旦大学电光源研究所, 上海 200433; 2. 上海宏源照明电器有限公司, 上海 210802)

摘要: 分析了调频调光法的工作原理, 并采用自行设计的电子线路实现了 LVD 感应无极光源的调频调光. 测试了在这种调光方法下工作的光源的光电特性, 分析了调频调光的稳定性和可靠性. 作为对比, 对调压调光法下灯的性能也进行了测试. 实验表明, LVD 感应无极光源采用调频调光法时, 调光范围为 100% 到 35.5%, 在整个调光范围内色温和显色指数分别有 3.8% 和 4.7% 的改变.

关键词: 感应无极光源; 调频调光; 调压调光

中图分类号: 0482.31 **文献标识码:** A

感应无极光源由于突破了传统的白炽灯、气体放电灯的工作模式, 其不需要电极的放电工作方式使传统的气体放电光源由于电极溅射而引起灯管发黑或电极发射材料耗尽而导致灯管寿命终止等问题得到避免和克服¹. 其高光效、长寿命、高显色性、光线稳定等特点, 使它成为理想的绿色照明光源之一.

感应无极光源是由电子镇流器、功率耦合线圈、无极荧光灯管组合而成的. 其灯管是一个真空放电腔体, 形成连续的闭合放电环路, 放电腔通过绕以功率耦合线圈的环形铁氧体磁芯的中心轴线, 电子镇流器产生的高频电磁能量通过功率耦合线圈耦合进入放电的等离子体中. 功率耦合线圈和放电腔体可以视为一个变压器的初级和次级, 通过线圈的电流产生交变的磁通量, 进而又沿放电腔产生感应电场来维持等离子体发光.

光源调光运行即达到照明节能的目的, 又避免了有害的眩光, 它是实现绿色照明的重要指标之一.

目前对感应无极光源实际应用的调光主要有两种方法: 调频法和调压法.

调频法通过提高镇流器内开关器件的通断频率来降低灯的输入功率, 从而达到调光的目的². 当镇流器的工作频率提高的时候, 与灯串联的镇流电感感抗增大, 而灯并联的谐振电容容抗变小, 这两点使得流过灯管的电流减小, 灯消耗的功率随之下降.

采用调压法时, 开关器件的工作频率恒定, 通过改变镇流器中整流后的直流电压的幅值来调节灯的输入功率, 从而达到调光的目的. 整流后的直流电压通过 BOOST 电路, 使用 PWM 方法来调节 BOOST 电路的输出直流电压的幅值, 进而改变灯的输入功率³.

本文研究了 130W LVD 感应无极光源的调光性能, 通过对此光源镇流器的电路改进, 分别实现调频和调压两种调光方法, 并对它们的调光性能进行了测量、分析和比较.

1 实验部分

1.1 调光电路的实现

我们自行设计的调频和调压调光电路分别如图 1. 图 1(a) 中, 改变可变电阻 R2 的数值来调节电子镇流器逆变控制芯片 HY4501 引脚 6 上的电压信号, 就能实现芯片 HY4501 对 MOSFET 的驱动信号频率即系统工作频率的改变; 在图 1(b) 中, 改变电阻 R1 的阻值就能改变电子镇流器功率因素校正芯片 HY4502 引脚 1 的电压反馈信号, 进而能改变直流电压的幅值.

收稿日期: 2005-03-15

基金项目: 上海市科技发展基金资助项目 (001511085)

作者简介: 龙奇 (1981—), 男, 博士研究生; 通讯联系人陈大华教授, 博士生导师.

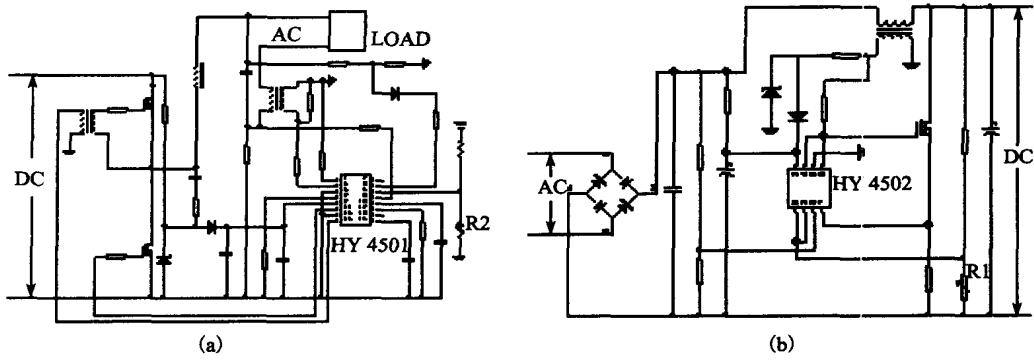


图 1 (a) 调频调光电路图; (b) 调压调光电路图

Fig. 1 (a) The circuit for frequency-controlled dimming; (b) The circuit for voltage-controlled dimming

1.2 实验装置

如图 2 所示,测试的 LVD 感应无极光源放置在直径为 1.5 m 的光球内,光通量由 PHOTO-2000Z 测量,光源的相对能量光谱由 OCEANOPTICS-USB2000 记录;电子镇流器的输入特性由 HB-5A 电子镇流器分析仪记录,电子镇流器的输出特性由 PF4000 高频功率分析仪测定;灯管的电流和电压由 TDS3054 示波器, YOKOHAMA CTL-75-S1000 电流探头和 TEK P6139A 电压探头测定.

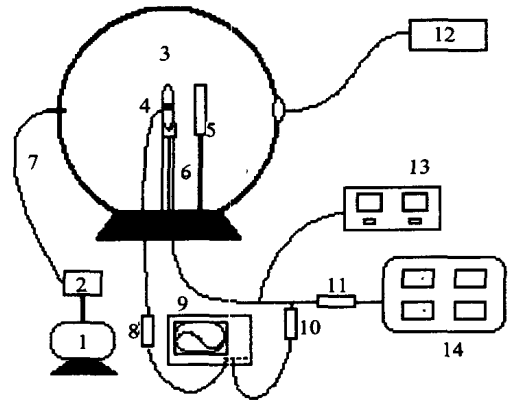


图 2 实验测试装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram for experimental measurement

- 1. 电脑; 2. 光谱仪; 3. 光球球;
- 4. 光源; 5. 挡板; 6. 支架; 7. 光纤;
- 8. 电流探头; 9. 示波器; 10. 电压探头;
- 11. 电子镇流器; 12. 光度计;
- 13. 功率分析仪; 14. 电子镇器分析仪

2 实验结果与讨论

2.1 调频法结果分析

采用图 1(a) 电路实现调频调光,可使镇流器的工作频率从 150 变化到 290 kHz,相应的系统输入功率从 130 下降到了 46.2 W,调光范围为 100 %到 35.5 %。下文进一步阐述和讨论调频法对系统电特性,光特性和稳定性的影响.

2.1.1 调频法对系统电特性的影响

a. 系统工作频率 f , 灯电流 I 与输入功率 P 的关系. 采用调频法时,输入功率的下降与系统的工作频率是近似线形的变化,灯电流随输入功率的下降而下降,随如图 3 所示. 通常放电灯在不同功率下管压基本恒定,灯消耗的功率主要是取决于灯电流,而灯电流和系统工作频率近似成反比³,如式(1)所示. 因而灯的功率与工作频率近似成反比,这就是调频法的原理.

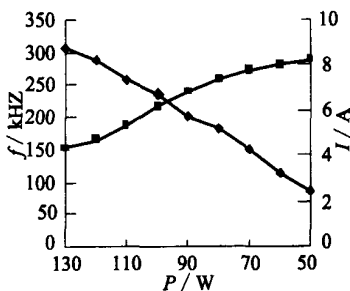


图 3 工作频率 f , 灯电流 I 与输入功率 P 的关系
Fig. 3 Relationship between operational frequency f , lamp current I and input power P
■ 工作频率; ◆ 灯电流

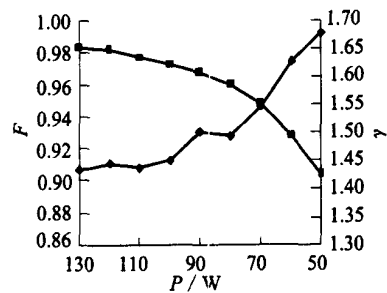


图 4 功率因素 F , 电流波峰系数 γ 与输入功率 P 的关系
Fig. 4 Relationship between power factor F , current crest γ and input power P
■ 功率因素; ◆ 电流波峰系数

$$I = \frac{1}{\dots} \tag{1}$$

式中 ω 为系统工作圆频率, n 正常数.

b. 功率因素 F 、电流波峰系数 K 与输入功率 P 的关系. 采用调频调光后的,系统的功率因素随输入功率的降低而下降,从 130 W 时的 0.983 下降到 50 W 时的 0.903,见图 4 所示. 其原因是功率下降时,灯电流的基波成分相对高次谐波的比例不断减小. 同样的理由也能用来解释系统输入电流的波峰系数随着输入功率的减少而增大,在图 4 中,波峰系数从 130 W 时的 1.43 增大到 50 W 时的 1.67.

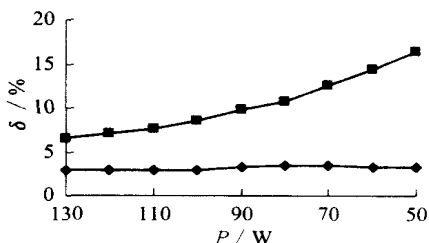


图 5 电流电压谐波与输入功率的关系
Fig. 5 Relationship between current and voltage harmonic and input power
电流谐波: 电压谐波

c. 电流、电压的谐波分析. 图 5 是输入电流电压的高次谐波总量 δ 与输入功率 P 的关系,可以看到随着输入功率的下降,电压谐波含量基本不变,而电流谐波从 130 W 时的 6.6 % 增加到了 50 W 时的 16.4 % . 图 6 给出了功率为 130 和 50 W 时的输入电流频谱,可以看到当输入功率为 50 W 时候,电流的 3, 5 和 9 次谐波含量显著增大了.

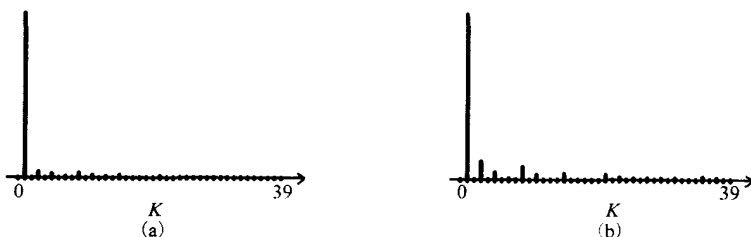


图 6 输入功率为 130(a)和 50 W(b)时的电流频谱
Fig. 6 Current frequency spectrum with 130(a) and 50 W(b) input power

d. 镇流器效率、线圈耦合效率与输入功率的关系. 镇流器效率和线圈耦合效率分别定义为(2)式和(3)式:

$$\eta_1 = \frac{P_{Bt}}{P_{Bt} + P_{Bd}} \tag{2}$$

$$\eta_2 = \frac{P_{Ls}}{P_{Bt}} \tag{3}$$

式中 P_{Bt} 为镇流器的输出功率, P_{Bd} 为镇流器的损耗功率, P_{Ls} 灯管的消耗功率.

镇流器效率是节能的重要指标,而线圈耦合效率反映了镇流器产生的能量通过电感线圈向等离子体耦合的能力.

实验发现,随着输入功率的下降,镇流器效率急剧下降,从 130 W 的 0.913 下降到 50 W 时的 0.606,镇流器在调光运行过程中损耗的功率逐渐增大,见图 7 所示,其原因是因为随着工作频率的增加,镇流器内部的开关器件以及电感线圈所损耗的功率增大,因此镇流器的效率下降.

随着输入功率的下降,线圈耦合效率变化不大,当输入功率为 50 W 时,仍能达到 0.89.

e. 灯管系统的等效阻抗与输入功率的关系. 如图 8 所示,采用调频法时,随着输入功率的下降,灯管系统(包括灯管与能量耦合线圈)的等效阻抗随之增大,同时灯管系统的等效电抗由频率低时的电容性转变成频率高时的电感性(电抗的正负发生变化),而在输入功率为 85 W 左右时灯管系统的等效电抗为 0,这一点正好是灯管系统的谐振点,从外部看灯管系统可以视为纯电阻.

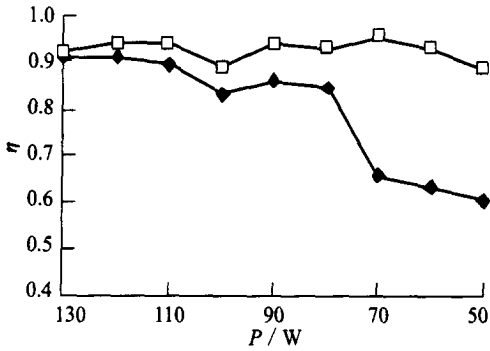


图 7 镇流器效率、线圈耦合效率与输入功率的关系

Fig.7 Relationship between ballast efficacy, coil efficacy and input power
◆ 为镇流器效率; □ 为线圈耦合效率

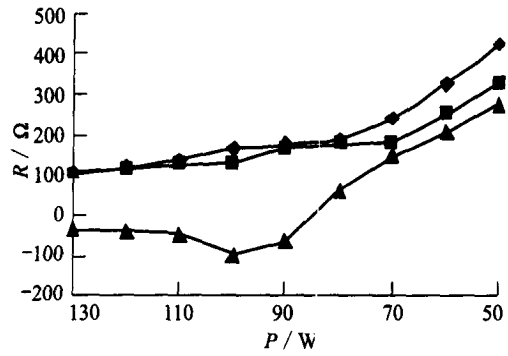


图 8 灯管系统等效阻抗与输入功率的关系

Fig.8 Relationship between lamp system's impedance and input power
◆, ■, ▲ 分别为灯管系统总阻抗,电阻和电抗

2.1.2 调频法对系统光特性的影响

a. 光源光通量 ϕ 、光效 η 与输入功率的关系. 光源的系统光效定义为(4)式:

$$\eta = \frac{\phi}{P} \tag{4}$$

式中 ϕ 为光源发出的总光通量, P 为系统输入功率. 图 9 给出了光源的光通量和光效随输入功率的变化. 从图中可以看到随着输入功率的降低,光源光通量和光效都随之下降.

b. 光源色温 T 、显色指数 R_a 与输入功率的关系

图 10 给出了光源色温和显色指数随输入功率的关系,可以看到在整个调光范围内色温和显色指数分别只有 3.8%和 4.7%的改变,这一点比起 HID 光源的调光来是一个非常显著的优势.

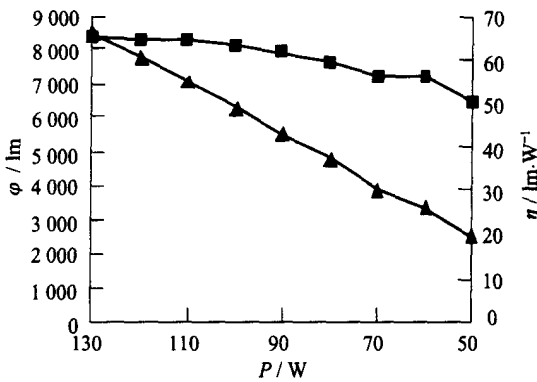


图 9 光源光通量,光效与输入功率的关系

Fig.9 Relationship between luminous flux, efficacy and input power
▲ 为光通量; ■ 为光效

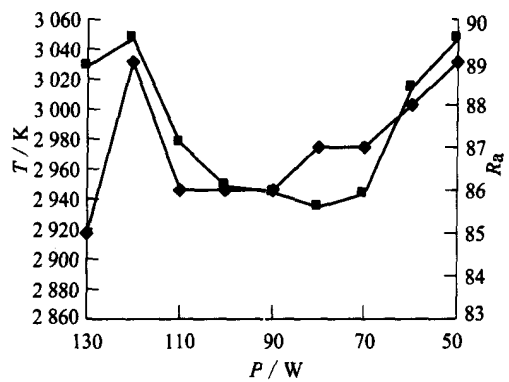


图 10 色温 T 、显色指数 R_a 与输入功率的关系

Fig.10 Relationship between color temperature, color rendering index and input power
■ 为色温; ◆ 为显色指数

2.1.3 调光运行的稳定性

调光运行的稳定性可以用稳定系数 f 来表示^[4], 定义为:

$$f = \frac{\Delta P}{\Delta f} \tag{5}$$

ΔP 为调光时功率的微小变化量, Δf 为功率变化对应的频率变化量. 图 11(见第 592 页)给出了调频法调光的稳定性关系. 可以看到当输入功率低于 70 W 时,调光稳定性急剧降低,单位频率改变造成的功率改变量变大.

2.2 调压法结果分析

为了与调频法比较,我们对同一电子镇流器的调压调光进行了实验,发现直流电压的改变范围受到了功率校正芯片 HY4502 的限制,稳定工作的直流电压只能在 320 到 402 V 变化,对应的功率变化范围为 106 到 130 W. 当调节直流电压低于 310 V 时,系统的电流谐波急剧增加,芯片 HY4502 功率因素校正功能丧失,功率因素降到 0.7 以下,系统也变的不稳定. 这反应了在这种工作电路中,调压法的性能不如调频法,要想得到稳定的调压调光,需要重新设计电子镇流器. 图 12 给出了当直流电压为 310 V 时电流谐波,此时电流总谐波含量达到了 67.0 %.

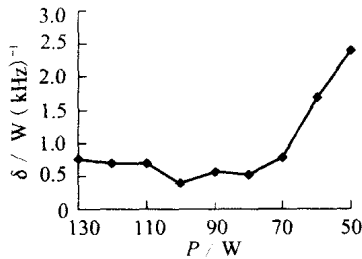


图 11 调光运行的稳定性 δ 与输入功率关系
Fig. 11 Relationship between dimming stability and the input power

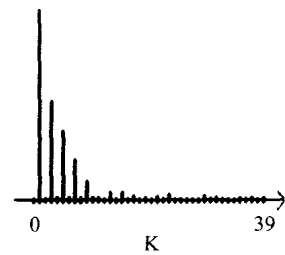


图 12 直流电压为 310 V 时的电流频谱
Fig. 12 Current frequency spectrum with 310 V DC

参考文献:

- 1 Wharmby D. Electrodeless lamps for lighting: a review J. *IEE PROCEEDINGS-A*, 1993, **140**(6): 465-473.
- 2 Statnic E. Dimming high power electrodeless fluorescent lamps J. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 2002: 158-168.
- 3 Tam P, Lee T, Hui S, et al. Practical evaluation of dimming control methods for electronic ballast J. *Conference Record of IEEE*, 2003, **2**: 799-804.
- 4 Alexandrovich B. Simulation tool for analysis of the inductive lamp driven by a half bridge inverter J. *Conference Record of the 2000 IEEE*, **5**: 3441-3444.

The Study to the Frequency-control Dimming Performance for Induction Electrodeless Lamp

LONG Qi¹, CHEN Da-hua¹, CHEN Yu-ming¹, LI Wei-de², WANG Bao-tong², ZHANG Li-cheng²

(1. Institute for Electric Light Source, Fudan University, Shanghai 200433, China;

2. Hongyuan Lighting & Electric Equipment Co., Ltd, Shanghai 201802, China)

Abstract: The principle of the frequency-control dimming is analyzed and the dimming of the LVD induction Electrodeless Lamp is achieved by the circuit designed by ourselves with this principle. The electrical and photometric performances of the light source during dimming with this method are measured as well as the stability and reliability. With the purpose of comparison, lamp's performances are measured when the voltage-control dimming is used. Experimental results show that, the dimming range is from 100% to 35.5% when frequency-control dimming is used in the LVD induction Electrodeless Lamp and the color temperature and the color rendering index change by 3.8% and 4.7% respectively when dimming.

Keywords: induction electrodeless lamp; frequency-control dimming; voltage-control dimming