

文章编号: 1004-4353(2017)04-0359-04

低频无极灯驱动电路特性研究

董雨龙¹, 刘嘉琪², 徐红梅^{2*}

(1. 吉林省安迅信息技术开发有限公司, 吉林 长春 130012;

2. 延边大学工学院 电子信息通信学科, 吉林 延吉 133002)

摘要: 基于 Simulink 建模, 分析了电压控制模式升压变换器的电感、电容和开关频率变化对无极灯升压电路性能的影响, 结果表明合理的参数选择是无极灯稳定工作的必要条件. 最后, 通过实验验证了理论分析和数值仿真的正确性.

关键词: 无极灯; Boost 变换器; 参数变化

中图分类号: TN914.42

文献标识码: A

Characteristics research of low frequency electrodeless lamp driver circuit

DONG Yulong¹, LIU Jiaqi², XU Hongmei^{2*}

(1. Jilin Anxun Information Technology Development Limited Company, Changchun 130012, China;

2. Department of Electronic and Communication Engineering,

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

Abstract: Based on the Simulink modeling, the influence of the inductance, capacitance and switching frequency of the voltage-controlled Boost converter on the performance of the electrodeless lamp was analyzed. The results show that the reasonable parameter selection is the necessary condition for the steady operation of the electrodeless lamp, and the correctness of the theoretical analysis and numerical simulation is verified.

Keywords: electrodeless lamp; Boost converter; parameter variation

0 引言

无极灯是一种高光效、高显色性、高稳定性的且具有较长寿命的光源^[1], 因此研究无极灯电路特性对发展绿色照明行业具有重要意义. 目前, 许多研究者已对无极灯进行了较为广泛的研究, 例如: 文献[2]研究表明电感值是影响无极灯升压电路到达稳态时间较为重要的参数; 文献[3]研究了电子镇流器的输出特性与发光泡体的阻抗特性间的关系, 并通过数值拟合与状态变量分析相结合的方法得到了电子镇流器输出电压和电流的解析

式; 文献[4]对电子镇流器进行了锁相控制, 使得电子镇流器谐振参数发生微小变化时无极灯仍能保持稳定工作状态; 文献[5]分析了温度对无极灯输出特性的影响, 为无极灯散热结构的设计提供了理论依据; 文献[6]研究表明, 低频无极灯电子镇流器的设计对无极灯整体性能具有很大影响. 在现有文献研究中, 未见对无极灯电子镇流器升压电路参数的变化区间进行研究的相关报道, 基于此本文通过对无极灯升压电路进行 Simulink 建模, 分析了电感、电容、开关频率改变时其对电路性能的影响, 并通过实验进一步验证了理论分

收稿日期: 2017-05-09

作者简介: 徐红梅(1975—), 女, 博士, 副教授, 研究方向为混沌动力学.

基金项目: 延边大学博士启动基金资助项目(602014093); 延边大学 2017 年度国家自然科学基金前期培育专项(413080016)

析和数值仿真的正确性。

1 无极灯电路模型简介

无极灯电子镇流器的电路原理图如图 1 所示。图中前级为升压型直流电路,后级为点亮无极灯电路,由半桥逆变电路和串联谐振电路构成。升压电路在功率因数校正电路中实现,它能够在较宽输入电压范围内工作,因此多用于电压变化范围较大的电路。当升压电路电流连续时,电路电压在任意时刻都可以被调制,因此电路可达到较高的功率因数。

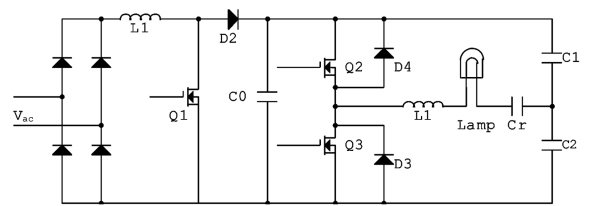


图 1 无极灯电子镇流器的电路原理图

2 无极灯升压电路的 Simulink 建模

升压式开关变换器可将低电压转换为高电压,其组成原理如图 2 所示。输出电压和参考电压 V_{ref} 为比较器的输入端,比较后的输出结果为 V_e ; V_e 与锯齿波信号 V_{ramp} 比较的结果用来控制开关管通断,锯齿波信号 V_{ramp} 的数学表达式为

$$V_{ramp} = V_L + (V_H - V_L)(t/T \bmod 1).$$
 (1)

其中: V_H 和 V_L 为锯齿波的上、下限,二者之差为电压峰-峰值; T 为锯齿波的周期。图 2 中,开关管 S 和二极管 D 共同控制电路工作状态,但在工作过程中这 2 个开关器件不能同时导通。

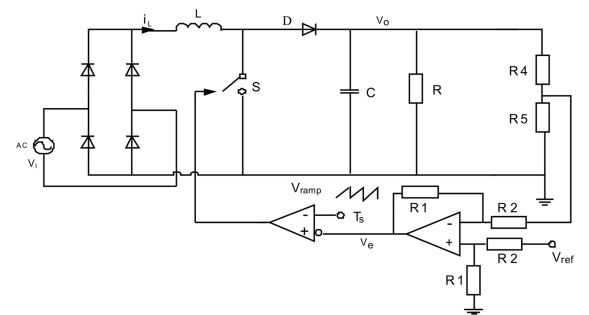


图 2 Boost 变换器的电路原理图

无极灯升压电路的 Simulink 仿真图形如图 3 所示。无极灯正常工作时,其升压电路需要工作在

CCM 状态。经实验验证,当参数取如下数值时,可以满足电感电流处于连续工作状态: $L=1\text{ mH}$, $C=168\text{ }\mu\text{F}$, $T_s=1/20\text{ 000 s}$, 输入电压 $V_i=220\text{ V}$, $f=100\text{ Hz}$, 输出电压 $V_o=400\text{ V}$, 其中 i_L 和 V_o 为输出变量。因电路中比较器的增益 $\text{Gain1}=0.01$, 因此参考电压 V_{ref} 不宜过大,文中令 $V_{ref}=1\text{ V}$ 。基于图 3 电路模型仿真得到的满足输出要求的直流电压如图 4(a) 所示,图 4(b) 为图 4(a) 的局部放大图。

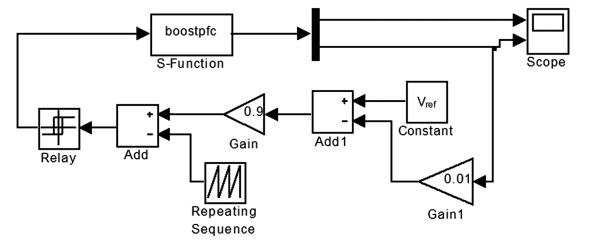
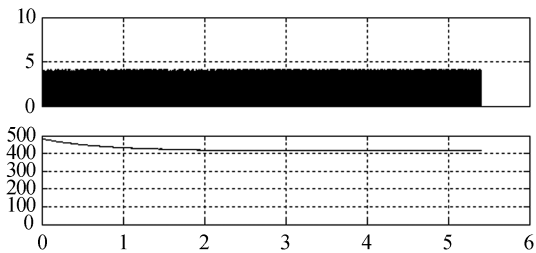
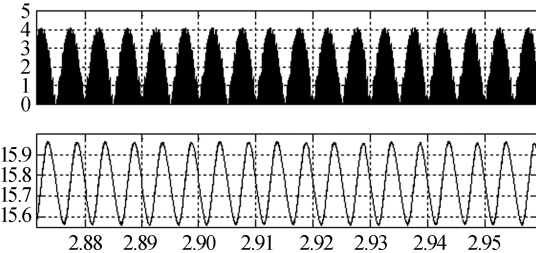


图 3 无极灯升压电路的 Simulink 仿真图



(a) 电感电流与输出电压图



(b) 局部放大图

图 4 Boost 变换器在特定参数下的电感电流与输出电压波形图

3 参数变化对无极灯升压电路性能的影响

在无极灯升压电路中,影响输出结果的因素较多,而且每个因素对电路的影响不同^[7]。本实验是在其他参数固定的前提下,讨论单一变量对电路性能的影响。

3.1 升压电感对无极灯升压电路性能的影响

固定其他参数,通过改变电感值观察其对电路性能的影响,结果如表 1 所示。由表 1 可知,在

保证电路不会进入 DCM 状态下,随着升压电感值的增大,输出电压和电感电流减小;但是当升压电感小于 0.1 mH 时,输出电流超过 40 A,电流过大会使线路过热而导致电路效率降低.

表 1 不同电感参数对 Boost 电路的影响

电感 L/mH	电感电流 i_L/A	输出电压 V_o/V	纹波电压 $\Delta u/\text{V}$	纹波系数 $(\Delta u/V_o)/\%$	到达稳态 时间 t/ms
0.1	40.05	990.70	10.00	10	0.4
0.5	15.75	521.50	0.63	1.21	2.15
1.0	8.00	513.80	0.50	0.97	1.50
1.5	5.44	455.95	0.41	0.90	0.68
2.0	4.08	414.90	0.40	0.96	2.58
2.5	3.30	389.50	0.38	0.98	2.60
3.0	2.74	369.95	0.36	0.97	2.34
3.5	2.36	354.40	0.34	0.96	3.15
4.0	2.37	349.42	0.35	1.00	2.60

3.2 电容对无极灯升压电路性能的影响

固定其他参数,通过改变电容值观察其对电路性能的影响,结果如表 2 所示. 由表 2 可知,储能电容值的改变不影响电感电流的大小,输出电压也未发生明显变化,但是随着储能电容值的增大,纹波电压和纹波系数随之明显减小,电路到达稳态的时间则随之增加.

表 2 电容值对 Boost 电路的影响

电容 $C/\mu\text{F}$	电感电流 i_L/A	输出电压 V_o/V	纹波电压 $\Delta u/\text{V}$	纹波系数 $(\Delta u/V_o)/\%$	到达稳态 时间 t/ms
47	4.0	416.50	23.0	5.50	0.001 8
94	4.0	413.80	7.5	1.80	0.16
141	4.0	414.50	5.0	1.20	0.25
188	4.0	414.40	3.8	0.91	0.32
235	4.0	413.20	2.6	0.63	0.40
282	4.0	413.60	2.3	0.54	0.70
329	4.0	413.35	2.1	0.51	0.85
376	4.0	413.88	1.8	0.42	0.90
423	4.0	413.85	1.5	0.36	1.03
470	4.0	413.80	1.4	0.34	1.10

3.3 开关频率对无极灯升压电路性能的影响

固定其他参数,通过改变开关管频率观察其对电路性能的影响,结果如表 3 所示. 由表 3 可知,当开关管频率在 2~10 kHz 时,电感电流断续;当频率在 10~40 kHz 时,电感电流连续,此时电感电流和输出电压均随频率的增大而减小,而到达稳定电压的时间则随之增加.

表 3 开关频率值对 Boost 电路的影响

频率 f/kHz	电感电流 i_L/A	输出电压 V_o/V	纹波电压 $\Delta u/\text{V}$	纹波系数 $(\Delta u/V_o)/\%$	到达稳态 时间 t/ms
2	37.40	939.30	1.50	1.60	4.70
5	15.70	646.80	0.80	1.24	3.40
10	8.00	513.80	0.50	0.97	1.50
15	5.35	452.80	0.44	0.97	1.96
20	4.10	415.80	0.40	0.96	2.39
25	3.31	388.90	0.35	0.90	3.20
30	2.75	368.60	0.32	0.87	3.55
35	2.37	354.50	0.30	0.85	4.23
36	2.45	353.30	0.30	0.85	2.80
40	2.60	351.60	0.35	0.99	2.05

图 5 为开关管频率变化对电路状态的影响 (i_L-t 图与 V_o-t 图). 由图 5 (a) 可知,当 $f_s=10$ kHz 时,电感电流处于断续状态,此时直流输出电

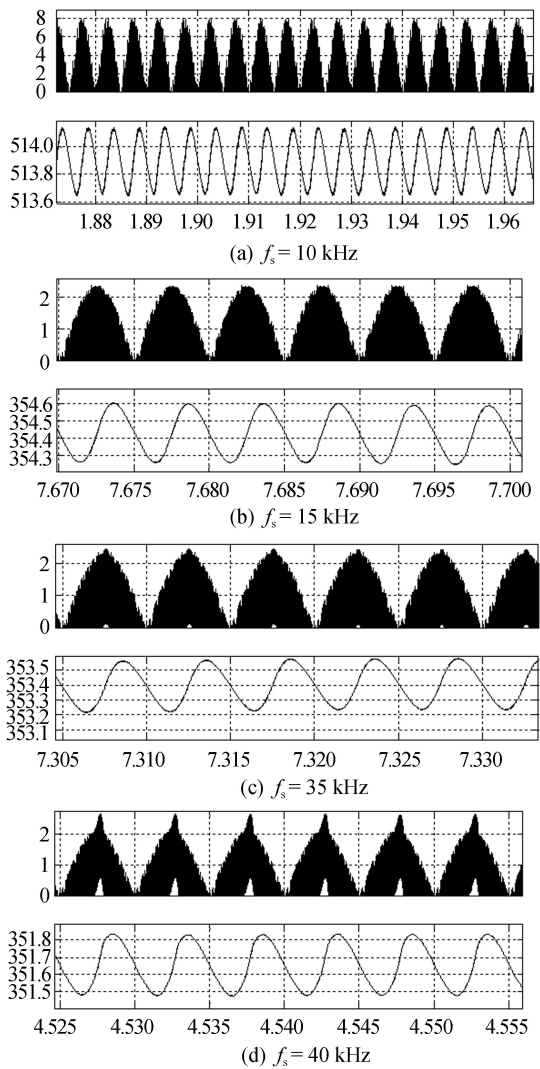


图 5 开关管频率变化对电路状态的影响 (i_L-t 图与 V_o-t 图)

压很大;由图 5 (b) 可知,当 $f_s = 15\text{ kHz}$ 时,其输出电压与 $f_s = 10\text{ kHz}$ 时的输出电压相比,纹波电压更大,无法满足无极灯稳定工作的要求;由图 5 (c) 可知,当 $f_s = 35\text{ kHz}$ 时,电感电流仍为正弦波,但电感电流发生轻微畸变;由图 5(d) 可知,电感电流畸变程度随着频率的增大而增大,而输出电压达到稳定的时间随之缩短. 由此可知,为保证无极灯稳定工作,应将开关管的频率限制在 $15 \sim 35\text{ kHz}$.

4 实验验证

为了验证本文理论分析和数值仿真的正确性,对 150 W 无极灯的性能进行了测试,测量结果如表 4 所示. 本实验中使用 MC33262 将升压后的直流电压锁死到需要的电压,以此达到不受输入电压的影响. 由表 4 可知,对于 $130 \sim 270\text{ V}$ 范围内的输入电压,使用 MC33262 对电路进行功率因数校正且对直流电压经升压电路进行升压后,可实现使输出电压稳定在 404 V ,且功率因数大于 0.99 ,输出功率恒定.

表 4 使用 MC3326 升压电路的无极灯实验数据

交流输入 电压/V	直流 电压/V	工作 电流/A	输出 功率/W	功率 因数
130	404	1.178	151.4	0.999
140	405	1.072	150.2	0.999
150	405	0.996	149.5	0.999
160	405	0.932	149.1	0.999
170	404	0.875	148.9	0.998
180	404	0.823	147.5	0.998
200	404	0.734	145.6	0.998
220	404	0.671	147.8	0.997
240	404	0.610	146.7	0.996
260	404	0.564	146.5	0.995
270	404	0.542	146.4	0.994

5 结束语

本文通过对电压控制模式升压变换器进行 Simulink 建模仿真,讨论了电路中电感、电容和开关频率等参数的改变对电路输出特性的影响,并对无极灯电子镇流器进行了实验测量. 实验中采用 MC33262 进行功率因数校正,不仅可以将 220 V 的电路电压稳定提升至 404 V 的直流电压,而且当输入电压发生较大范围的波动时仍可以保持输出电压稳定,且输出功率也可以保持在稳定范围内,从而避免无极灯频闪现象的发生. 本文研究中仅研究了单一参数变化对无极灯工作性能的影响,在后续工作中将探讨多个参数同时变化对无极灯电路性能的影响,以期得到更全面的分析结果.

参考文献:

[1] 孙逊,刘丽萍,赵林. 高频无极灯和低频无极灯的对比应用[J]. 企业科技与发展,2010(8):21-24.

[2] 闫民华,李鹏,刘继涛,等. 无极灯及其电子镇流器研究[J]. 电源世界,2010(12):33-36.

[3] 邵明松,黄松岭,赵伟. 无极灯系统的建模与分析[J]. 电工技术学报,2013,28(4):13-19.

[4] 杜志川,陈元熹,林国庆. 一种无极灯电子镇流器数字锁相控制技术[J]. 中国照明电器,2014(7):15-18.

[5] 王长全,张贵新,董晋阳,等. 无极灯的温度特性研究[J]. 中国照明电器,2010(7):1-4.

[6] Wang Xuemei, Zhang Bo, Qiu Dongyuan. The quantitative characterization of symbolic series of a Boost converter[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2011,26(8):2101-2105.

[7] 王长全,张贵新,董晋阳,等. 无极灯稳定性研究[J]. 照明工程学报,2010,21(6):81-83.