

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2018.03.0012

双管反激辅助电源设计

彭 洵, 廖无限, 谌 军, 徐丽虹

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 针对三相交流输入的电动汽车充电器、变频器、光伏逆变器等变换器辅助电源的问题, 设计了一种基于双管反激结构的辅助电源, 采用 UC2844A 电流型 PWM 控制芯片, 实现了四路电压的隔离输出, 5 伏输出时通过 LDO 芯片进一步稳压。测试结果表明: 该辅助电源可以输出 80 W 额定设计功率, 效率高达 84%, 且纹波小; 在 100~800 V 宽范围电压的直流输入下, 能实现四路电压的稳定输出。可见, 该电源是一种结构可靠、成本较低、应用广泛的高性能辅助电源。

关键词: UC2844A; 开关电源; 双管反激; 脉冲宽度调制

中图分类号: TM919; TN86 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9833(2018)03-0065-06

Design of Dual Switch Flyback Auxiliary Power Supply

PENG Xun, LIAO Wuxian, CHEN Jun, XU Lihong

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In view of the flaws of the auxiliary power supply of the battery charger, frequency converter, and photovoltaic inverter of three-phase AC input electric vehicles, an auxiliary power supply based on dual switch flyback has thus been designed, which utilizes UC2844A current type PWM control chips to realize the isolated output of the four circuit voltages, further stabilizing the 5 volt output by LDO chips. The test results show that the auxiliary power supply can output 80 W rated design power with small ripple waves, with its efficiency up to 84%. A stable output of four circuit voltages can be realized via the DC input of 100~800 V wide range of voltage. It is a reliable, low-cost, and widely used high-performance auxiliary power supply.

Keywords: UC2844A; switching power supply; dual switch flyback; pulse width modulation (PWM)

0 引言

虽然辅助电源的功率一般较小, 并且在系统中只是起辅助供电作用, 但是辅助电源的可靠性会影响电动机整机的性能。因此, 设计一种可靠性较高、通用性较强、成本较低的辅助电源是近年来电源研究的热

点方向之一。

已有的辅助电源主要包括线性稳压式电源、电容降压式电源、自激式开关电源和单端反激式开关电源 4 种。

1) 线性稳压式电源。该电源可以先通过工频变压器实现降压和隔离, 然后通过整流、滤波、线性稳

收稿日期: 2017-06-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51607064), 湖南省自然科学基金资助项目(2016JJ5038), 湖南省教育厅优秀青年基金资助项目(17B072)

作者简介: 彭 洵(1993-), 男, 湖北武汉人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向电力电子及电力传动,
E-mail: pengxun92@163.com

通信作者: 廖无限(1969-), 男, 湖南攸县人, 湖南工业大学工程师, 硕士生导师, 主要从事电力电子的教学与研究,
E-mail: 380079548@qq.com

压器稳压, 最终得到稳定的直流电。该方案输出的电压稳定、纹波系数较小、噪声较低, 但是存在体积笨重、效率很低、功率受限等缺点。

2) 电容降压式电源。该电源适用于交流输入场合, 它首先利用串联电容实现降压, 然后通过整流、滤波、稳压得到稳定的直流电。该电源的电路结构较为简单、成本较低, 通常被应用在交流输入、小功率、电压要求不高的场合。

3) 自激式开关电源。自激式开关电源的工作原理, 是功率开关管和变压器辅助绕组组成了正反馈回路, 从而使电路产生振荡, 实现能量间的变换。同时, 利用反馈信号使输出电压稳定^[1]。自激式开关电源电路的元件较少、结构较为简单、成本较低, 但是存在纹波电流较大、功率较大时稳定性较差等缺点, 所以该类电源通常被用于 60 W 以下且对电压要求不高的场合。

4) 单端反激式开关电源。单端反激式开关电源不仅结构较为简单, 而且工作稳定、成本较低, 因而在低于 150 W 功率的场合中应用十分广泛。但是该电源有一较大缺点, 即当开关管关闭的时候功率管需要承受很高的电压应力, 包括直流母线电压、变压器副变反射电压、原边漏感电压等, 因此, 在输入电压较高时, 单端反激式开关电源对功率管的耐压要求很高^[2]。

针对以上各辅助供电电源存在的不足, 本文设计了一种双管反激辅助电源, 并且制作了样机验证了设计的有效性。样机测试结果表明, 相比传统的单端反激式辅助电源, 所设计的电源能够有效地嵌位漏感尖峰电压, 实现宽范围的电压输入, 同时提升了电源效率和可靠性。

1 双管反激辅助电源的工作原理

双管反激辅助电源同单端反激式开关电源一样, 工作在电流连续导通模式 (continuous conduction mode, CCM) 的情况下。因电流连续导通模式的传递函数右边平面存在零点, 该模式对系统的稳定性有较大影响, 所以实际应用中多采用电流断续模式 (即非连续导通模式 discontinuous conduction mode, DCM)^[3]。

双管反激开关电源的拓扑结构如图 1 所示, 其中 Q_1 、 Q_2 为主开关管, D_1 、 D_2 为原边续流二极管, D_3 为副边整流二极管, L_1 为漏感, L_p 为原边电感, V_{dc} 为电源输入电压, V_{out} 为电源输出电压, L_r 为励磁电感, N_p 为变压器原边匝数, N_s 为副边匝数, C_1 为电

源出滤波电容。

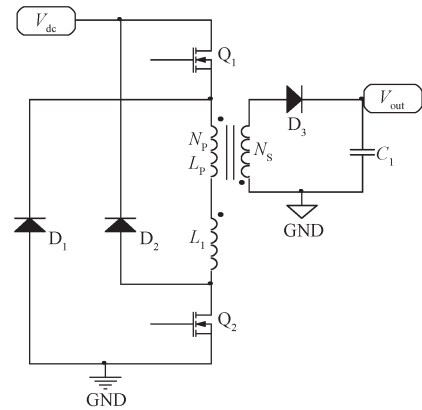


图 1 双管反激辅助电源的拓扑结构

Fig. 1 Topology structure of dual switch flyback auxiliary power supply

当开关管 Q_1 、 Q_2 同时导通时, 二极管 D_1 、 D_2 、 D_3 截止, 变压器的初级绕组承受电压 V_{dc} , 电流以斜率 $dI_1/dt=V_{dc}/(L_p+L_1)$ 线性上升到最大值 I_p , 变压器完成储能过程。

当 Q_1 和 Q_2 同时关断时, 变压器的初、次级电压均反向, 此时 D_1 、 D_2 、 D_3 均导通。由于 D_3 导通, 原边绕组存储的能量向负载转移, D_1 将 L_p 上端电位嵌位到 V_{dc} 的负端, D_2 将 L_1 下端电位嵌位到电源的正端。此时, 励磁电感 L_r 两端的电压等于次级折算电压 V_r , 即有 $V_r=(N_p/N_s)\cdot(V_{out}+V_{D_3})$ ^[4]。又因为输入电压等于励磁电感电压加漏感电压, 所以有漏感电压 $V_1=V_{dc}-V_r$ 。

图 2 所示是双管反激辅助电源的开关管关断时的等效电路图。

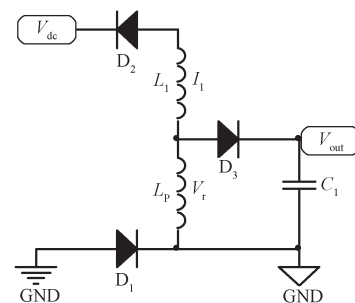


图 2 双管反激辅助电源开关管关断时的等效电路

Fig. 2 Equivalent circuit of dual switch flyback auxiliary power supply with switches off

图 2 所示等效电路中, 将副边电路等效到原边, 这有利于分析能量的流动。存储在励磁电感中的能量通过 D_3 直接供给负载, 漏感存储的能量 $1/(2L_1I_1^2)$ 通过二极管 D_1 、 D_2 流回电源, 该过程所消耗的时间等于漏感复位的时间。为了确保电路工作在 DCM 模

式,且使能量最大化流向负载,需要缩短漏感复位时间,可以通过减小漏感和 N_p/N_s 变比来实现。已有研究表明, N_p/N_s 越小, V_r 越小, V_1 越大,漏感复位时间越短。通常将 N_p/N_s 取值设为 $0.7V_1/V_0^{[5]}$,其中 V_1 、 V_0 分别为电源输入、输出电压。

2 双管反激辅助电源的电路设计

2.1 功率电路

本研究设计的双管反激辅助电源的功率电路如图3所示。其中,DCbus为直流输入母线,输入电压范围为100~800V; C_6 、 C_{12} 为串联的支撑电容。开关管 Q_1 、 Q_2 分别接在变压器原边和DCbus之间,且同时开关,其中 R_2 、 R_3 、 R_5 、 R_6 分别为 Q_1 、 Q_2 的开通

和关断电阻, C_2 、 C_{11} 为开关管的缓冲电容。 D_1 、 D_2 在开关管关断时起钳位电压和提供漏感电流续流的作用。 T_1 为高频变压器,起隔离和传输能量的作用, Q_1 、 Q_2 同时开通时1、2绕组储能, Q_1 、 Q_2 关断时1、2绕组释放能量到副变绕组, D_3 ~ D_6 导通时为负载提供通路, R_1 、 C_1 、 D_3 组成RCD(residual current device)吸收回路,以减小整流二极管的尖峰电压。由于电源输出的两路5V电压是给DSP和运放芯片供电,因此其电压精度要求较高,本设计采用加入一级线性稳压来提高其稳定性和减小纹波^[6]。绕组4、5的电压通过 D_7 整流、 C_{21} 、 C_{22} 滤波后给控制芯片的VCC供电。

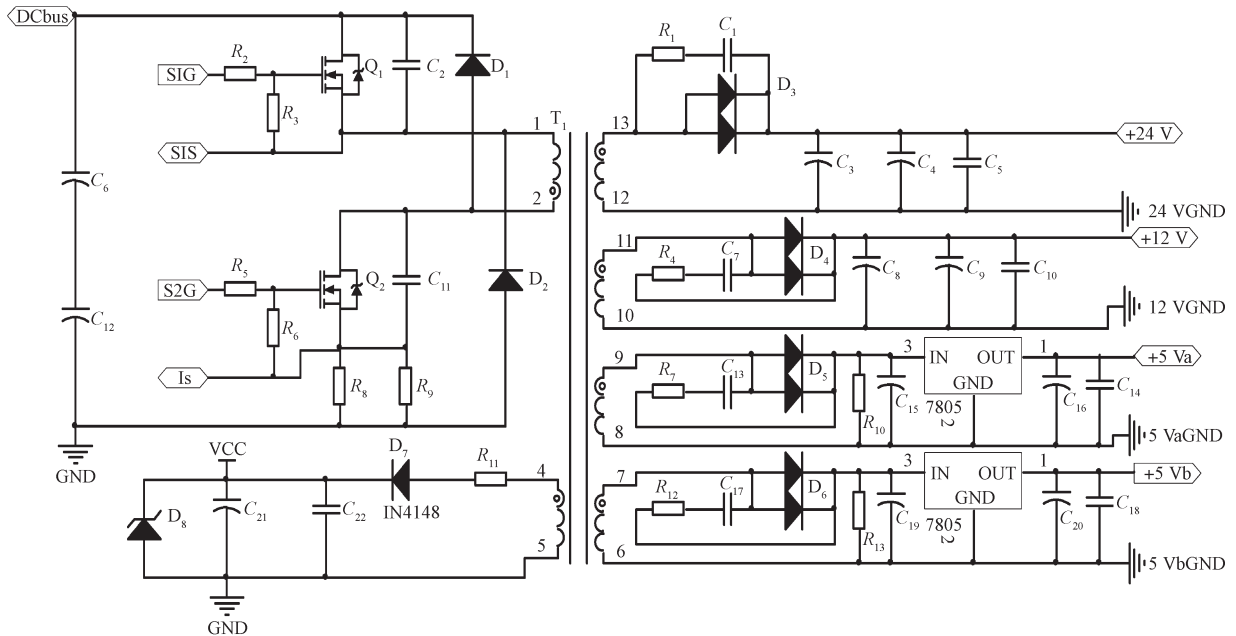


图3 双管反激辅助电源的功率电路图

Fig. 3 Power circuit of dual switch flyback auxiliary power supply

2.2 控制电路

由UC2844A组成的控制电路如图4所示。主要包括UC2844A控制芯片、电阻电容构成的启动电路、

脉冲变压器构成的驱动电路、PC123光耦和TL431构成的电压反馈电路以及由电阻采样构成的电流反馈电路。

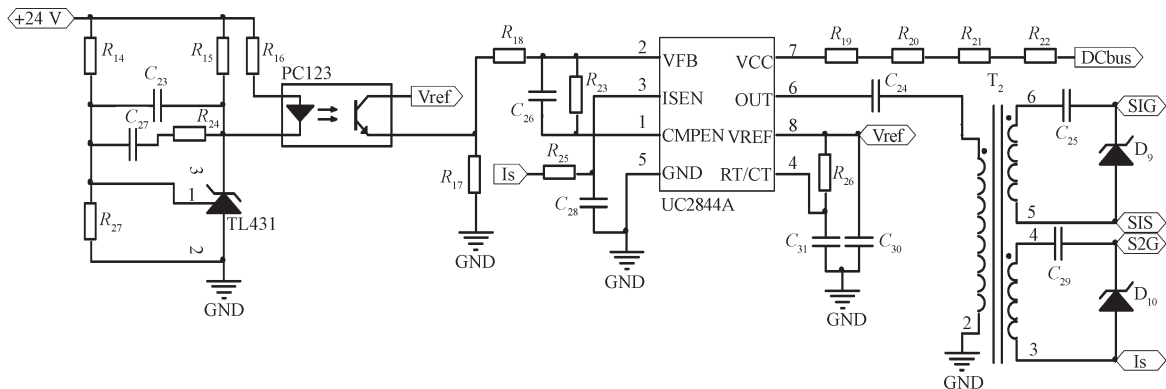


图4 双管反激辅助电源的控制电路图

Fig. 4 Control circuit of dual switch flyback auxiliary power supply

1) UC2844A 控制芯片。UC2844A 是一款固定频率的电流模式控制器,其内部结构如图 5 所示。

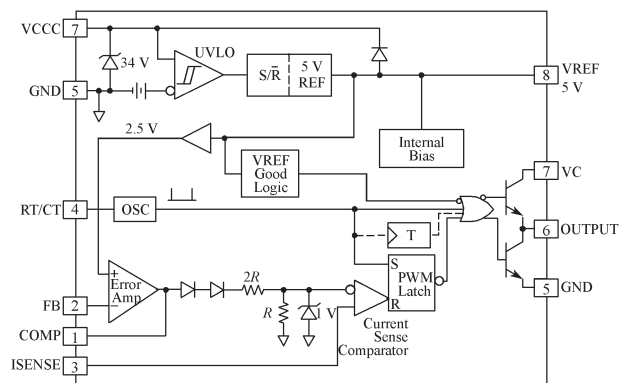


图 5 UC2844A 的结构框图

Fig. 5 Structure diagram of UC2844A

图 5 中,7 脚为芯片的电源引脚,其电压范围为 16~40 V;引脚 4 为振荡器的输入引脚,连接起振用的电阻和电容;引脚 2 为电压反馈端;引脚 3 为电流取样端;引脚 1 为补偿端,外接阻容元件以补偿误差放大器的频率特性;引脚 6 为图腾输出端,可直接驱动 Mosfet。

2) RC 启动电路。芯片的启动是直流母线通过 R_{19} ~ R_{22} 给电容 C_{21} 、 C_{22} 充电,当充电电压达到 16 V 时,芯片开始工作。芯片启动后,由辅助绕组 4、5 通过整流二极管 D_{10} 给芯片供电, D_{12} 为 16 V 的稳压管。

3) 驱动电路。以隔离脉冲变压器 T_2 实现两路隔离驱动信号,UC2844A 的 6 脚通过隔直电容 C_{24} 后直接驱动 T_2 原边;副边绕组经隔直电容 C_{25} 、 C_{29} 后,再经稳压管 D_{13} 、 D_{15} 直接驱动开关管 Q_1 、 Q_2 。

4) 电压电流反馈电路。由 PC123 和 TL431 组成了电压反馈电路,电阻 R_8 和 R_9 组成了电流反馈电路。当 24 V 输出电压因为负载减轻或者输入直流母线电压升高而升高时,经 R_{14} 、 R_{27} 两电阻分压后接至 TL431 的参考端,并与 TL431 内部反向输入端基准参考电压的 2.5 V 比较,得到输出高电平,使 TL431 阴阳极间电压 V_{ka} 降低。PC123 中二极管电流 $I_f = (V_{out} - V_{ka} - V_f) / R_{16}$,其中 V_{out} 为 24 V 输出电压, V_f 为光耦二极管压降。故 V_{ka} 变小时 I_f 变大,从而光耦集射极间电压降低,即 UC2844A 的脚 1 的电压变低。将该电压与采样电阻上的电压比较,输出高电平使 RS 锁存器复位,或非门输出变低,开关管关断,脉冲变窄,功率管的导通时间缩短,传输到次级线圈的能量减少,最终使输出电压 V_{out} 降低。反之亦然,反馈电路通过闭环调节,使输出电压不受电网或负载的波动,保证输出电压的恒定^[7]。

2.3 参数设计

1) 变压器磁芯功率。磁芯的功率容量 A_p ^[8] 为

$$A_p = A_e \times A_m = P_o / (2\eta f B_m \delta K_w K_m) \quad (1)$$

式中: A_m 为磁芯窗口面积; A_e 为磁芯有效截面积; P_o 是额定输出功率; f 为开关频率; B_m 为磁芯磁通变化量; δ 为线圈导线电流密度; η 为电源转换效率; K_w 为窗口填充系数; K_m 为磁芯填充系数。

2) 匝数比 n_o 。为减小漏感复位时间,通常根据下式选择匝数比:

$$n = N_p / N_s = 0.7 V_{min} / (V_o + V_d) \quad (2)$$

式中: V_{min} 为最低输入电压; V_o 为主输出电压; V_d 为整流二极管压降。

3) 占空比 D 。占空比 D 指开关管开通时间 T_{on} 与开关管开通周期 T 的比。由伏秒平衡可知:

$$V_i \cdot T_{on,max} = (N_p / N_s) V_o \cdot T_{off} \quad (3)$$

式中: $T_{on,max}$ 为开关管最大导通时间,出现在输入电压最低时刻; T_{off} 为开关管关断时间。

因为开关管存在开通和关断时间,且因受电路其他寄生参数的影响,故通常开通时间 T_{on} 和关断时间 T_{off} 的取值为

$$T_{on} + T_{off} = 0.97T \quad (4)$$

联立式 (2) ~ (4), 可知最大占空比 $D=0.37$ 。

4) 变压器原边绕组电流峰值。确定变压器原边绕组电流峰值 I_{pk} 的计算式如下:

$$I_{pk} = 2P_o / (\eta V_{min} D_{max}) \quad (5)$$

式中 D_{max} 为最大占空比。

5) 初级绕组电感量。初级绕组电感量 L_p 的确定采用如下公式计算:

$$L_p = (V_{min} T_{on}) / I_{pk} \quad (6)$$

6) 初次级绕组匝数。初级、次级绕组匝数的计算式如下:

$$N_p = (V_{min} T_{on}) / \Delta B A_e \quad (7)$$

$$N_s = N_p / n_o \quad (8)$$

式中 ΔB 为磁芯的磁通变化量。

7) 变压器气隙。变压器气隙 l_g 的计算式如下:

$$l_g = (4\pi L_p I_{pk}^2) / (A_e \Delta B^2) \quad (9)$$

8) 输出整流二极管反向电压。输出整流二极管反向电压 V_D 计算式如下:

$$V_D = (N_s / N_p) V_i + V_{out} \quad (10)$$

9) 输出整流二极管峰值电流。输出整流二极管峰值电流 I_{Dpk} 采用下式计算:

$$I_{Dpk} = (N_s / N_p) \cdot [2P_o / (V_{i,min} D_{max} \eta)] \quad (11)$$

设定电源的额定输出功率为 80 W,输入的直流电压为 100~800 V,输出电压分别为 24, 9, 5, 5 V,工作频率为 46 kHz。根据上述参数计算公式进行计算,

最终设定变压器 T_1 选用 EE36 磁芯^[9], 原副边匝数比为 150:20:8:4:4, 原边电感为 1.2 mH; 开关管 Q_1 、 Q_2 选用东芝 900 V/9 A 的 2SK2611 MOS 管, 嵌位二极管 D_1 、 D_2 选用 ST 1200 V/5 A 的 STTH512FP 快恢复二极管, 整流二极管 D_3 、 D_4 选用 150 V/20 A 的 MBRF20H150CTG 肖特基二极管, 驱动变压器 T_2 选用村田电源专用驱动变压器 7602/16C^[10], 原副边匝数比为 1:1:1。

3 样机测试和结果分析

根据前述设计方法及设计参数, 制作了一台双管反激辅助电源样机, 如图 6 所示。

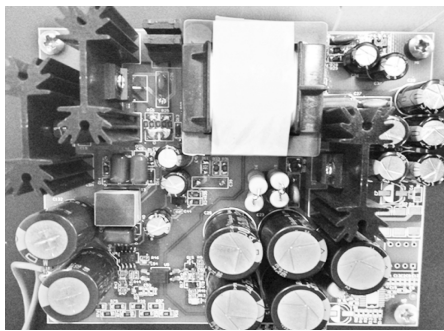


图 6 双管反激辅助电源样机

Fig. 6 A physical map of the dual switch flyback auxiliary power supply prototype

3.1 电源工作波形

为了验证设计的辅助电源的有效性, 对电源的工作波形进行了检测。在直流输入电压为 250 V 且电源输出空载时, 电源的各工作点的工作波形如图 7 所示。图中从上往下第 2 条曲线为 9 V 电压波形输出, 第 3 条曲线为一路 5 V 电压波形输出, 第 4 条曲线为 MOS 管 Q_1 的漏极电压 V_{ds} 波形曲线。

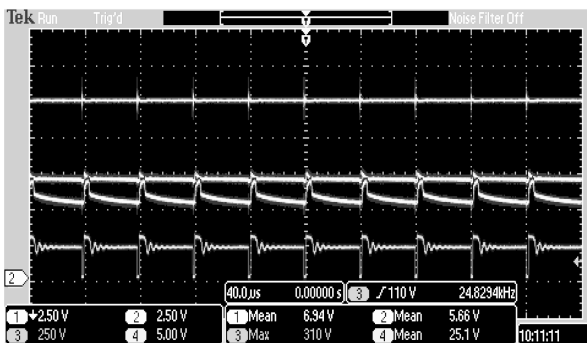


图 7 电源空载工作波形图

Fig. 7 Wave-forms of idling power supply at work

由图 7 可知, 电源空载时工作在 CCM 模式。双管反激辅助电源样机的开关电压应力较小, 三路电压输出稳定, 纹波较小, 电源能在较低输入电压情况下正常工作。

在直流输入电压为 500 V, 满载输出功率为 80 W 时, 电源的各工作点的工作波形如图 8 所示。

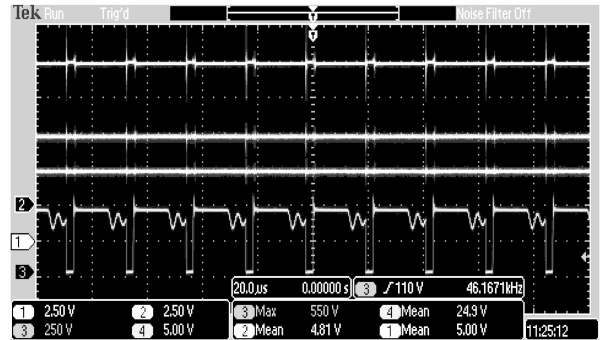


图 8 电源满载工作波形图

Fig. 8 Wave-forms of full-loaded power supply at work

由图 8 可知, 电源工作在 46 kHz 的开关频率, 电源满载时工作在 DCM 模式, 且断续时间较短有利于减小开关管的尖峰电压。尖峰电压在 550 V 以内, 开关管承受的电压应力较小, 保证了开关管的安全性, 同时有利于器件的选型和降低器件的成本。三路电压输出稳定, 纹波较小, 且无杂波干扰, 表明电源工作正常可靠。

通过对比图 7 和图 8 可知, 该电源能够在较宽输入电压, 且无论是有无负载的情况下达到输出电压纹波小、开关应力小的工作状态。

3.2 效率测试

为了验证辅助电源设计的有效性, 对不同输入电压和负载下的电源效率进行了检测。即分别在 440 V 输入电压和 650 V 输入电压下, 测试了 20, 40, 60, 80 W 负载下的效率, 所得不同输入电压、负载程度下的效率曲线如图 9 所示。

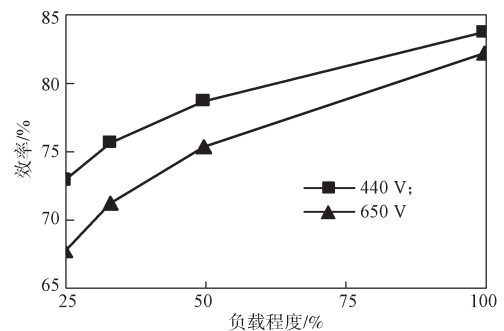


图 9 不同输入电压、负载程度下的效率曲线图

Fig. 9 Efficiency curves under different input voltages and load degrees

由图 9 可知, 无论是 440 V 电压输入还是 650 V 电压输入, 电源的效率都是随着负载的增加而增加, 因此使用该电源时应尽可能使电源工作在满负载的情况下。在 650 V 电压输入时, 电源的满载效率高达 83.8%, 表明该电源具有较高的工作效率。

4 结语

本文设计了一款双管反激开关结构的辅助电源。分析了其拓扑原理、电路设计原理,并给出了参数计算方法。样机测试结果表明,该电源具有很好的电压应力,输入电压范围较宽,效率相比单管反激电源得到了提升,输出电压稳定,电压纹波小。

本文设计的双管反激辅助电源具有很高的实用价值,适合应用于宽范围输入电压或者较高输入电压情况下的辅助电源供电。

参考文献:

- [1] PRESSMAN I A, BILLINGS K, MOREY T. 开关电源设计[M]. 王志强,肖文勋,虞龙,等译. 3版. 北京: 电子工业出版社, 2010: 97-98.
PRESSMAN I A, BILLINGS K, MOREY T. Switching Power Supply Design[M]. WANG Zhiqiang, XIAO Wenxun, YU Long, et al Translated. 3rd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010: 97-98.
- [2] 王健强. 精通开关电源设计[M]. 2版. 北京: 人民邮电出版社, 2015: 81-99.
WANG Jianqiang. Switching Power Supplies A to Z[M]. 2nd ed. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2015: 81-99.
- [3] 徐纪太, 黄传东, 夏东伟, 等. 宽输入范围大功率双管反激辅助电源设计[J]. 通信电源技术, 2015, 32(6): 117-119.
XU Jitai, HUANG Chuandong, XIA Dongwei, et al. Design of Wide Input Range and High Power Dual Switch Flyback Auxiliary Power Supply[J]. Telecom Power Technology, 2015, 32(6): 117-119.
- [4] 陈德鹏, 孙驰, 艾胜, 等. 一种宽范围双管反激DC/DC辅助电源设计[J]. 电源技术, 2014(11): 2125-2129.
CHEN Depeng, SUN Chi, AI Sheng, et al. Design of Wide Range Double Transistor Flyback DC/DC Auxiliary Power Supply[J]. Chinese Journal of Power Technology, 2014(11): 2125-2129.
- [5] 曹昕鸫, 王鹿军. 双管反激电源的分析与设计[J]. 机电工程, 2012, 29(11): 1337-1339, 1349.
CAO Xinzhi, WANG Lujun. Analysis and Design of Dual Switch Flyback[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2012, 29(11): 1337-1339, 1349.
- [6] 周志敏, 纪爱华. 零起点学开关电源设计: 基础篇[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013: 181-185.
ZHOU Zhimin, JI Aihua. Learning Switch Power Supply from the Zero Point: Foundation[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013: 181-185.
- [7] 刘鑫, 王卫国, 刘克承, 等. 星用基于UC1845多路输出双管反激开关电源设计[J]. 现代电子技术, 2014, 37(2): 159-162.
LIU Xin, WANG Weiguo, LIU Kecheng, et al. Design of Satellite Multi-Channel Output Dual Switch Flyback Power Supply Based on UC1845[J]. Modern Electronics Technique, 2014, 37(2): 159-162.
- [8] 张文鼎, 肖强晖, 廖无限. 用于EPS的12V/48V软开关电源变换器研究[J]. 湖南工业大学学报, 2015, 29(1): 70-75.
ZHANG Wending, XIAO Qianghui, LIAO Wuxian. Research of 12V/48V Soft Switching Power Converter for EPS[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2015, 29(1): 70-75.
- [9] 张阳, 肖强晖, 廖无限. 基于HV9910的LED驱动恒流源设计[J]. 湖南工业大学学报, 2012, 26(4): 56-58.
ZHANG Yang, XIAO Qianghui, LIAO Wuxian. Research on HV9910-Based LED Constant-Current Supply[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2012, 26(4): 56-58.
- [10] 文立群, 肖强晖. 基于UC3846的有源钳位单极PFC开关电源[J]. 湖南工业大学学报, 2014, 28(2): 52-55.
WEN Liqun, XIAO Qianghui. UC3846-Based Active Clamp and Single-Stage PFC Switched Power Supply[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2014, 28(2): 52-55.

(责任编辑: 廖友媛)