

反激开关电源在洗衣机控制系统的应用

高利敏 周杰

(惠而浦(中国)股份有限公司技术研究院 合肥 230088)

摘要:为了解决洗衣机控制器反激开关电源的两路输出电压带载差别较大时电压输出不稳的问题,采用负载端使用假负载、用 PC817 和 TL431 组成反馈回路并采用主极点补偿方式进行动态补偿,仿真及实测结果表明,当 5 V 输出满载 12 V 输出空载时,可以将 12 V 电压波动控制在 10% 范围内;当 12 V 满载 5 V 空载时,可以将 5 V 电压波动控制在 2% 范围内;两路带载情况下,双路输出电压波动可控制在 2% 范围内,实际应用表明,该方案可行有效。

关键词:洗衣机; 控制器; 反激开关电源; 主极点补偿; 反馈回路

中图分类号: TN108.7 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8020

Application of flyback switching power in washing machine control system

Gao Limin Zhou Jie

(Engineering Research Center for Whirlpool China co., ltd. Hefei 230088, China)

Abstract: In order to solve the output unbalance of the flyback switching power supply of the washing machine controller, through using the false load, and the feedback loop with PC817 and TL431 by main-pole compensation. Simulation and measurement results show that 12 V fluctuation can be controlled within 10%, When 12 V empty-load and 5 V full-load; 5V fluctuation can be controlled within 2% range, When 12 V full-load and 5 V empty-load; The two-way output voltage fluctuation can be controlled within 2% range, the practical application shows that the flyback switching power supply is feasible and effective.

Keywords: washing machine; controller; flyback switching power; main-pole compensation; feedback Loop

0 引言

反激式开关电源由于其效率高、成本低、易于控制等特点^[1-2],近年来在洗衣机控制系统中得到越来越多的应用。关于开关电源,目前已有大量的研究成果,文献[3]详细介绍了多路输出反激式开关电源的反馈环路设计,文献[4]就反激式开关电源控制系统的小信号模型进行了分析研究,文献[5]也针对 PC817A 与 TL431 配合的环路的动态补偿进行设计,文献[6]设计一款多输出 DC-DC 控制电路。但目前反激式开关电源的负载调节研究都是针对有反馈回路的一路输出电压波动进行研究,针对有多路输出的反激开关电源,被反馈回路调节的输出电压在额定负载下工作,其他间接被调节的输出电压在空载或较小负载下工作时出现的电压波动较大的问题的相关研究,还未曾见。

本文针对上述问题,设计一款两路输出的反激式开关电源,如图 1 所示,该洗衣机控制器电源具有两路输出,

5 V 输出作为控制芯片的供电,使用 PC817C 和 TL431 进行直接反馈;12 V 通过变压器次级的匝比进行间接调节,当 5 V 满负荷工作时,电流增大,通过反馈电路反馈给控制芯片 TNY277 使能引脚调节占空比增加,负载电压升高,此时若 12 V 没有负载,会导致 12 V 电压波动较大。为解决此问题,在 12 V 和 5 V 之间设计一个假性负载,并使用 PC817A 与 TL431 配合的反馈环路,采用主极点补偿方式进行动态补偿,仿真和实际应用表明,当 5 V 满载工作且 12 V 空载时,12 V 电压波动可控制在 10% 以内,当 12 V 满载 5 V 空载时,5 V 电压波动可控制在 2% 以内。可以有效的应用在洗衣机控制系统中。

1 反激式开关电源回路设计

1.1 反激式开关电源电路

该洗衣机控制开关电源输入电源为 AC85~265 V,额定输出为 5 V/2 A、12 V/0.25 A,初级匝数为 85 匝,12 V

输出匝数为 14 匝, 5 V 输出匝数为 6 匝, 最大占空比为 0.47, 最小占空比为 0.25, 初级电感量为 1 mH, 其中控制芯片采用 PI 公司生产的 TNY277 置于开关电源的初级, 控制功率开关, 在次级电路中, 稳压器 TL431 作为电压基准源和高增益误差放大器, 采集 5 V 的输出信号, 并产生相应的误差电压, 该误差电压经过光耦输出到 TNY277 的 EN 脚, 当 EN 脚输入电流大于 $49 \mu\text{A}$ 时, 开关电源芯片 TNY277 在下个时钟周期的下降沿产生使能, 关断 MOS 管, 直至 EN 脚输入电流小于 $49 \mu\text{A}$ 时, EN 脚在下个时钟周期的下降沿按照一定占空比打开 MOS 管进行输出调节, 该电源管理芯片通过丢周期的方式逐步调节输出。在采样电路中运行 TL431 三端可调电压基准, 可以使得输出电压在负载变化较大时, 输出电压基本上保持稳定, 而且利用 TL431 内部的高增益误差放大器, 可以更好的控制精度。反激开关电源电路如图 1 所示。

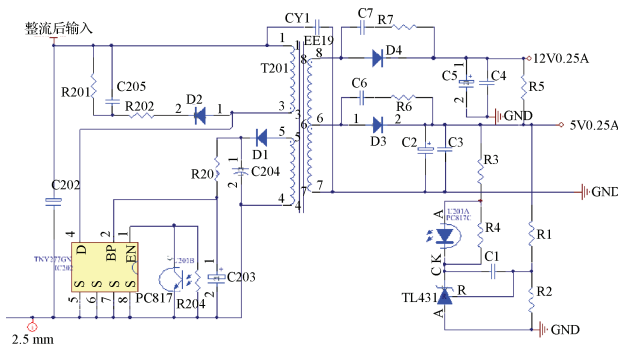


图 1 反激开关电源电路

1.2 反馈回路中的参数设计

开关电源的反馈电路有 4 种类型^[7-8], 本设计采用可调精密并联稳压器 TL431 加线性光耦 PC817 构成反馈回路, 已知 TL431 的参考电压为 $V_{REF} = 2.5 \text{ V}$, 参考端的电流参考值为 $1.8 \mu\text{A}$, 根据经验, TL431 的限流电阻 R_1 在参考电流 100 倍以上时取得^[9-10], 根据公式(1) R_1 取值为 $10 \text{ k}\Omega$ 。

$$R_1 \leq \frac{2.5 \text{ V}}{180 \mu\text{A}} = 13.9 \text{ K} \quad (1)$$

根据 TL431 的特性, 由式(2) R_2 取值为 $10 \text{ k}\Omega$ 。

$$R_2 = (V_o - V_{REF}) \frac{R_1}{V_{REF}} = 10 \text{ k}\Omega \quad (2)$$

根据 TL431 的电流 I_K 范围 $1 \sim 100 \text{ mA}$, 当光耦正向电流 I_F 为 0 时, R_3, R_4 上流过的电流应大于 1 mA ; 根据 PC817C 的曲线描述, 光耦正向导通电流在 I_F 取 5 mA 时, 输出曲线线性范围宽, 能较好满足开关电源芯片 TNY277 的控制要求。PC817C 的 CTR 为 $200\% \sim 400\%$, 导通压降 $V_F = 1.2 \text{ V}$, 根据式(3)(4), R_3 取值 220Ω , R_4 取值 $1 \text{ k}\Omega$ 。

$$R_3 + R_4 \leq \frac{(V_o - V_{REF})}{1 \text{ mA}} \quad (3)$$

$$R_3 = \frac{(V_o - V_{REF} - V_F)}{5 \text{ mA}} \quad (4)$$

1.3 12 V 负载调节电路设计

洗衣机的电子负载通常使用 5 V 和 12 V 两路, 在某些极端情况下, 可能会出现 12 V 和 5 V 负载差异较大的情况, 此时反馈回路对 5 V 进行调节, 若 5 V 电子负载驱动电流满载工作, 5 V 电压会降低, 该电压施加在反馈回路上, 通过 TL431 反馈回路作用于开关电源管理芯片的使能端, 开关电源管理芯使能端使能, 开关 MOS 管在下个时钟周期的下降沿开始导通, 导通周期逐渐增多, 以调节 5 V 输出增加, 由于 12 V 没有负载且不能直接反馈, 可能出现电压偏高的情况, 若电压超出额定输出的 20% 以上, 将影响 12 V 为电源的电子负载的可靠性。解决此问题可以有两种方案: 1) 采用两路反馈; 2) 采用一路反馈, 一路间接反馈调节。方案 1) 调节效果好, 且精度高, 但这势必增加成本和控制难度, 这在低收益的家电行业不是优选方案, 方案 2) 虽然 12 V 反馈精度稍差, 但成本低, 且使用元器件较少, 易于控制, 故本文采用方案 2) 进行设计。经过反复测试和验证, 提出在 12 V 和 5 V 之间增加一个 $10 \text{ k}\Omega$ 的假性负载, 12 V 电压升高时, 部分电流流过该电阻, 流入反馈回路进行调节, 从而对 12 V 的电压进行动态补偿。补偿回路如图 2 所示, 当 12 V 电压升高时, R_6 上电压增加, 电流加大, 此部分电流叠加在反馈回路, 调节 12 V 的电压值。

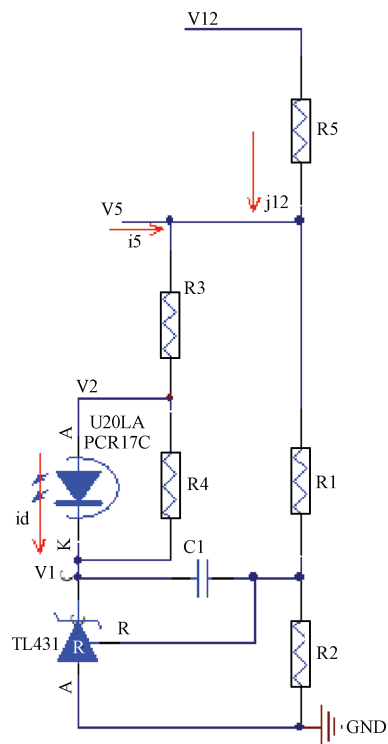


图 2 反馈补偿回路

1.4 反馈回路的补偿设计

不考虑开关电源的各种损耗, 反激式开关电源电路的传递函数为式(5)^[11-12]。

$$\hat{v}(s) = G_{Vd}(s)\hat{d}(s) + G_{Vg}(s)\hat{V}g(s) \quad (5)$$

忽略输入变化对输出变化的影响,令 $Vg(s)=0$ 可计算得到 CCM 情况下控制(占空比 d)到输出(电压 V)的小信号传递函数。

$$G_{Vd}(s) = G_{d0} \times \frac{1 - \frac{s}{\omega_z}}{1 + \frac{s}{Q\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2} \quad (6)$$

式中: $G_{d0} = \frac{D}{1-D}$; $\omega_0 = \frac{D'}{n\sqrt{LC}}$; $Q = \frac{D'^2 R}{\omega_0 n L}$; $\omega_z = \frac{D'^2 R}{D n^2 L}$,

以上公式的详细推导过程可以参看相关资料^[13-15],在此不再赘述。

设定各参数值: D 为 0.42, D' 为 0.58, R 为 $1\ \Omega$, C 为 $1\ 000\ \mu\text{F}$, L 为 $1\ \text{mH}$, n 为 $6/85$ 。则可由 MATLAB 绘出 $G_{Vd}(s)$ 波特图如图 3 所示。从波特图可以看出,系统不稳定,需要对系统进行补偿设计。

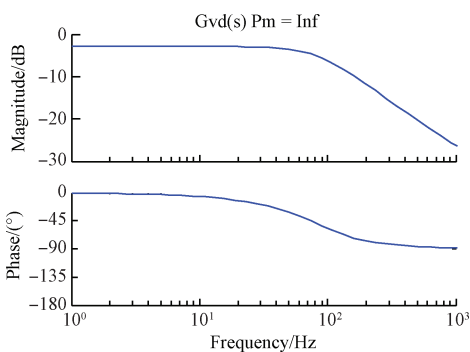


图 3 $G_{Vd}(s)$ 波特图

TL431 补偿电路的传递函数如式(7)所示:

$$G_1(s) = \frac{1}{sR_1C_1} \quad (7)$$

光耦的传递函数:

$$G_2(s) = \frac{CTR}{R_3} \quad (8)$$

分压控制器的传递函数:

$$H(s) = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (9)$$

反馈回路的传递函数:

$$G(s) = G_1(s) \times G_2(s) \times H(s) \quad (10)$$

由式(7)~(10)可以看出,反馈回路的动态性能有 $C1$ 决定。将补偿 $G_1(s)$ 加入到 $G_{Vd}(s)$, 设定 $C1$ 的值为 $47\ \text{nF}$, R_1 为 $10\ \text{k}\Omega$, 并使用 MATLAB 的伯德图工具箱对 $G_{Vd}(s) \times G_1(s)$ 进行仿真, 仿真结果如图 4 所示, 相位裕量 90 , 满足要求。

2 实验分析

将设计的电路, 应用在洗衣机的控制系统中, 该开关电源方案在额定电压和额定负载的应用环境下, $5\ \text{V}$ 输出精度可控制在 2% , $12\ \text{V}$ 输出精度可控制在 5% 范围内整

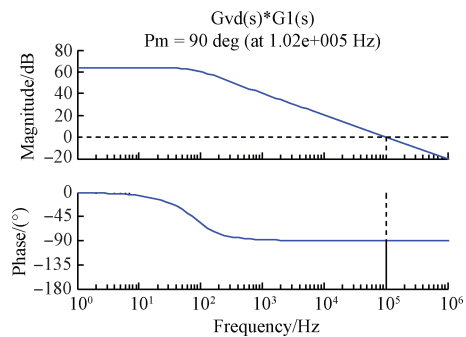


图 4 $G_{Vd}(s) \times G_1(s)$ 波特图

个系统的工作效率为 78% , 并在 $AC85\sim 265\ \text{V}$ 输入电压时分别在 $12\ \text{V}$ 满载、 $5\ \text{V}$ 空载、 $12\ \text{V}$ 空载、 $5\ \text{V}$ 满载等极限条件下进行测试, $12\ \text{V}$ 的测试数据如表 1 所示, $5\ \text{V}$ 的测试数据如表 2 所示。测试结果表明极限条件下, $12\ \text{V}$ 的电压可以控制在 10% 范围内, $5\ \text{V}$ 的电压波动可以控制在 2% 范围内。

表 1 $12\ \text{V}$ 的测试结果

测试条件	12 V/0.25 A	12 V/20 mA
85 V/5 V/2 A	12.34	13.27
85 V/5 V/10 mA	11.7	12.43
265 V/5 V/2 A	12.41	13.27
265 V/5 V/10 mA	11.7	12.41

表 2 $5\ \text{V}$ 的测试结果

测试条件	5 V/2 A	5 V/10 mA
85 V/12 V/0.25 A	5.006	5.1
85 V/12 V/1 mA	4.99	5.088
265 V/12 V/0.25 A	5.006	5.05
265 V/12 V/1 mA	5.06	5.03

3 结论

本文针对洗衣机控制器的特点, 使用 TL431 和 PC817C 光耦相互配合作为反馈回路, 使用主极点补偿方式对反馈回路进行动态补偿, 并针对输入电压大及输出负载差异大的问题, 通过动态反馈及假性负载进行调整, 设计出一款系统稳定、成本低、带载宽的双路输出的反激式开关电源, 根据 MATLAB 仿真结果及实验室测试数据, 洗衣机在极限环境下, $5\ \text{V}$ 波动可控制在 2% 范围内, $12\ \text{V}$ 纹波输出可以控制在 10% 范围内, 符合洗衣机控制器的负载使用电源环境, 根据 EMC 测试及可靠性测试, 该电源能平稳有效运行, 满足洗衣机所有负载的运行情况。

参考文献

- [1] 董海鹰, 李晓青, 李坦. 单端反激式开关电源反馈回路的补偿控制[J]. 电源技术, 2013, 37(4): 624-627.
- [2] 赵亚范, 刘佳琪, 王坤. 基于 AT89S52 单片机的开关电源设计[J]. 电子测量技术, 2012, 35(10): 77-79, 87.
- [3] 徐勇, 金辛海. 多路输出反激式开关电源的反馈环路设计[J]. 电源技术应用, 2009, 12(1): 23-27.
- [4] 李葳, 扈国华. 基于 MULTISIM 的反激式开关电源的仿真[J]. 电气自动化, 2010, 32(2): 26-28, 45.
- [5] 韩林华, 吴迺陵, 史小军, 等. 反激开关电源中基于 PC817A 与 TL431 配合的环路动态补偿设计[J]. 电子工程师, 2005, 31(11): 29-32.
- [6] 郑晓庆, 杨日杰, 杨立永, 等. 多路输出 DC-DC 电路设计[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(9): 31-33.
- [7] 龙伟华, 徐军, 张俊伟, 等. 基于 TOP245Y 芯片的反激式多路开关电源设计[J]. 电测与仪表, 2014, 51(18): 80-84, 91.
- [8] 邵利艳. 印制板用小型开关电源的设计[J]. 国外电子测量技术, 2008, 27(8): 61-63, 68.
- [9] 华晓辉. 带光耦双闭环反激式开关电源小信号模型分

析[J]. 通信电源技术, 2008, 25(3): 30-32.

- [10] 杜永, 傅仲文. 一种高效复合式开关电源的设计[J]. 国外电子测量技术, 2006, 25(6): 35-38.
- [11] 陈涛, 彭政达. 高性能升压型 DC-DC 电源变换器的设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(6): 55-58.
- [12] 张振国, 王敏华, 曲菲, 等. TL431 在开关电源反馈回路中的应用[J]. 信息技术, 2014(2): 73-76.
- [13] 郭红霞, 刘磊. 基于 PID 控制算法的自动取暖控制器的设计[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(2): 29-32.
- [14] 韩星, 景占荣, 段芳芳, 等. 改善开关电源输出特性方法的研究[J]. 电子测量技术, 2006, 29(2): 29-31.
- [15] PANOV Y, JOVANOVIĆ M. Small-signal analysis and control design of isolated power supplies with optocoupler feedback[C]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2005, 20(4): 823-832.

作者简介

高利敏, 1985 年出生, 工学硕士, 主要研究方向为电机控制、开关电源设计。
E-mail: 1009258570@qq.com

罗德与施瓦茨公司推出全新高端 GNSS 模拟器, 高度还原现实测试场景

R&S SMW200A 高端 GNSS 模拟器是罗德与施瓦茨公司卫星导航系统模拟器产品家族的一颗耀眼的新成员。它可以扩展至多达 4 个 RF 输出, 可同时模拟多天线和多频段环境下的 GNSS 信号, 是一款能够内部并行模拟 GNSS 信号和复杂干扰环境的仪器。R&S SMW200A 的问世为罗德与施瓦茨公司开启了 GNSS 模拟的革新时代。

2017 年 9 月 26 日, 越来越多的 GNSS 接收机需要处理来自多个卫星导航系统不同频段的信号, 例如 GPS、Glonass、Galileo 或者 BeiDou, 有时甚至使用多根天线并行处理以提高定位精度, 此外差分 GNSS(DGNSS)定位技术也可以进一步提高定位精度。这些技术主要应用于自动驾驶以及飞机着陆等场景, 定位的精确性和可靠性是不可或缺的。应用于这类场景的 GNSS 接收机必须经过大量的测试才能部署在车辆或飞机上。

借助复杂干扰功能, 高度还原现实测试场景

R&S SMW200A GNSS 模拟器提供了一个革新的测试解决方案, 可轻松仿真复杂且高度现实的测试场景, 满足了

多种多样的 GNSS 应用。为了测试多频段和多天线系统, 用户可将 72 个 GNSS 信道分配多达 4 个 RF 输出。R&S SMW200A 不仅可以产生 GPS、Glonass、Galileo 和 BeiDou 信号, 也可产生 QZSS 和 SBAS 信号。该解决方案使用户能够轻松快速地验证真实条件下接收机的定位精度。

R&S SMW200A 高端 GNSS 模拟器, 是市场上第一个也是唯一一个具有内部噪声发生器同时可以产生具有多个干扰源的复杂干扰场景。所有信号(GNSS, 噪声和干扰)都直接在仪器中生成, 无需额外的干扰源, 极大地简化了测试设置。

用户友好, 面向未来

R&S SMW200A 内部集成直观的 GUI 人机交互界面, 用户可快速轻松地生成各种 GNSS 场景, 无需外部计算机进行配置和操作。得益于多种仪器选件, 该方案可以根据用户需求进行最佳配置。R&S SMW200A 是一个可扩展的、面向未来的平台, 可满足未来的各种测试要求, 如测试新的 GNSS 信号。