

高频响双向开关式恒流源设计

袁月峰, 郭 斌

(中国计量学院 质量与安全工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对“现有模拟式恒流源只能单向输出且效率低,而已有的数控式恒流源系统复杂、成本高、响应速度又比较慢”的普遍不足,提出了一种新颖的基于模拟PWM控制器的双向高频响开关式恒流源电路。该方案采用了脉宽调制控制器芯片MCP1630和集成功率H-桥L6201P作为核心,由设定输入电压和高边电流采样反馈所形成误差通过MCP1630内PI闭环实现了电流可控调节。实验测试结果表明,该电流源满载输出范围达 ± 2 A,电流调节精度 $\pm 5\%$ F.S,响应频宽超过700 Hz;该电流源响应快,功耗和成本低,适应于高速双向比例电磁铁驱动要求。

关键词: 高频响; 双向恒流源; 动态响应; 脉宽调制; 闭环控制

中图分类号: TH137.52; TM932 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2012)09-1104-04

Design of high frequency response bi-directional switch type constant current source

YUAN Yue-feng, GUO Bin

(College of Quality & Safety Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the common drawbacks of present available current sources, such as analog types were only usable for unidirection and low power efficiency, and digital types had both complicated and cost expensive structures but relatively lower response speed, a novel analog PWM control chip based bi-directional high frequency response switching-type current source was proposed. A pulse width modulation control chip MCP1630 and an integrated power H-bridge L6201P were taken as the controller core in the scheme. By precise high side current sampling, error voltage between reference voltage and feedback was generated and sent to MCP1630 inner amplifier to form current PI closed control loop. Experiment results indicate that this current source has a full load output span up to ± 2 A with an accuracy of $\pm 5\%$ F.S. The -3 dB bandwidth is over 700 Hz. With fast response performance, low power dissipation and very low cost, it is very suitable for driving high speed bi-directional proportional solenoids.

Key words: high frequency response; bi-directional constant current source; dynamic response; pulse width modulation; closed-loop control

0 引 言

直流比例电磁铁是各类气动/液压比例阀广泛使用的电-机械转换器,直接影响比例阀的各项关键性能。在比例减压阀上应用的比例电磁铁一般都要求具有水平的力-位移特性和良好的力-电流线性特性^[1]。比例方向阀上往往使用双向带位移电反馈的比例电磁铁,除要求铁心位移连续可控外,还特别注重高频响应特性,才能保证阀有较高的频响带宽。对于比例电磁铁驱动一般都要求采用恒流方式,因此控制器所采用

的恒流源的静、动态特性对整个比例阀性能高低有显著影响。目前,比较常见的恒流源电路实现方案是采用运算放大器和功率调整管组成的线性负反馈电路^[2-5]。这种电路结构的优点是调节精度高、纹波低,但调整管和采样电阻上功耗高、发热量很大、电源效率低,且只能实现单向电流调节。文献[6-7]采用单片机或DSP构成的全数字PWM开关式恒流源,虽然其效率较高,精度也较高,但由于单片机和DSP需要执行A/D采样和数字PID控制算法,程序执行周期时间长而造成控制响应速度比较慢,系统频响较低,且难于与压力反

收稿日期: 2012-03-29

作者简介: 袁月峰(1977-),男,河北徐水人,讲师,主要从事气动电子控制技术、汽车电子技术等方面的研究。E-mail: yyfliu@163.com

馈或阀芯位移反馈结合实现双闭环控制回路,不能满足比例电磁铁驱动的宽频响要求。

本研究首先分析电磁铁模型,进而根据比例方向阀用双向电磁铁既需要线性恒流输出又有高频响应特性需求的特点,提出一种以PWM开关电源控制芯片MCP1630为核心,结合功率H-桥L6201P和数字开关ADG787,结合功率H-桥L6201P和数字开关实现的新型双向高频响恒流电源。

1 比例电磁铁动态模型

通常比例电磁铁的基本工作特性应具有线性的电流-力增益特性和水平力-位移特性,即在某恒定电流激励下,输出力在行程范围内保持基本恒定,与位移无关,而且输出力大小应与电流成线性正比关系。本研究以气动比例减压阀来说明,比例电磁铁在激励电流下产生电磁力,使推杆推动阀芯开起。在外部弹簧和出口气体压力反馈作用下使阀芯处于某一稳定位置,保持出口压力稳定。若在阀芯开起后的动态过程和阀芯稳定后,由于线圈温升或某种扰动造成激励电流的改变,将直接影响减压阀动态过程调节特性以及稳态压力调节稳定性。本研究针对电磁铁线圈建立如下数学模型:

$$u_s(t) = Ri(t) + L_d \frac{di}{dt} + K_v \frac{dx(t)}{dt} \quad (1)$$

$$F_m = k_m i \quad (2)$$

式中: $u_s(t)$ —线圈供电电压, R —线圈直流内阻, $i(t)$ —线圈电流, L_d —线圈动态电感, K_v —线圈反电动势系数, $x(t)$ —铁芯位移, k_m —电流表-力增益。

若以电压源激励,则在动铁芯移动过程中, L_d 、 K_v 都是变量,则 i 也是变量,电磁铁输出力 F_m 不是定值。另外,电磁铁线圈随通电时间增加而温升,电阻会增大,电流和输出力会逐渐减小而不能使阀芯处于某一稳定位置。由此可得出结论:比例电磁铁需要由恒流源激励才能获得应有的控制特性。对于高速动作的比例电磁铁而言,则要求建立线圈电流和稳定时间足够短,如要求比例方向阀工作频宽在 100 Hz 以上,则其线圈激励恒流源的频宽至少应为 400 Hz 以上。由于比例方向阀通常由双向比例电磁铁驱动,有必要设计一种高频响双向恒流源电路。

2 双向恒流源电路原理

双向恒流源部分的电路原理如图1所示。

图1中: ISET是设定电流输入信号,0~3.3 V模拟电压。OSC_IN是MCP1630需要的基准方波信号,其频率即是电流源的开关频率。PWM管脚为MCP1630输出的脉宽调制信号,可以控制外接低边NMOS管,这里输出

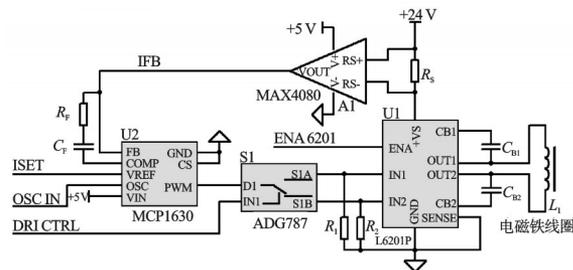


图1 双向恒流源电路结构原理

U2—Microchip公司新型PWM开关电源控制芯片MCP1630; U1—集成功率H桥L6201P; S1—数字选择开关ADG787; A1—高边电流采样放大器MAX4080; R_s —主回路精密采样电阻; L_1 —负载电磁铁线圈

给L6201P用于改变输出占空比。DIR_CTRL信号输入给数字开关ADG787,用于切换L6201P控制信号IN1、IN2的选择,可以改变OUT1、OUT2的输出电流方向。两个下拉电阻 R_1 、 R_2 用于保证在PWM信号切换输入管脚时,一个半桥由PWM控制接通,另一半桥能处于可靠的关断状态。线圈负载电流 I 通过精密电阻 R_s 采样,并经由高边电流放大器MAX4080反馈至MCP1630反馈端FB,与COMP端组成闭环电流调节回路。

因此,该电路方案是一种模拟PI闭环电流调节器,不仅能方便切换电流方向,还能实现电流的快速响应输出。

3 元件选型

MCP1630是Microchip公司的新型PWM开关电源芯片^[8],其简化的内部结构如图2所示。图2中: V_{in} 是芯片电源供应端,额定范围3.0 V~5.5 V,适用于单片机数字电源方案。 V_{EXT} 是驱动输出级,可以直接驱动低门限电压的功率NMOS管。OSC_IN是作为基准的PWM频率信号输入,可由单片机或专门的时基电路产生,允许频率范围0~1 MHz。该频率即为电源的开关频率,其占空比的补数(1-duty)则是 V_{EXT} 脚输出PWM

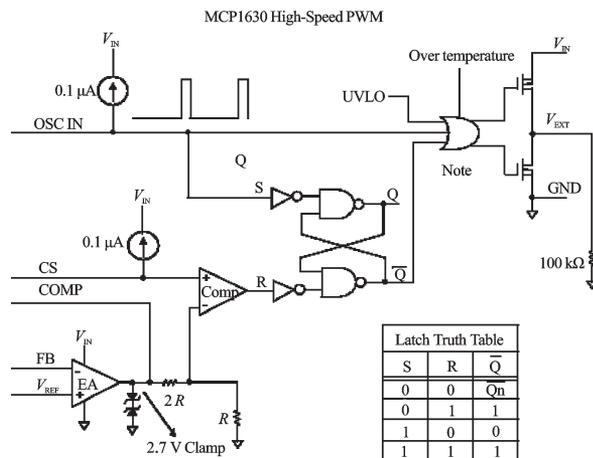


图2 MCP1630内部简化结构

信号的占空比最大值,可以避免输出功率管饱和。 V_{ref} 是设定信号输入,由外部电位器或D/A控制。FB接反馈回路,可以是输出电压反馈或电流反馈。COMP是内部开环运放输出端,通过内部二极管钳位在2.7 V最大值。COMP和FB通过RC回路构成闭环补偿回路。CS是外部NMOS管电流采样反馈引脚,通过和误差放大器EA输出电压后接的2R/R电阻分压进行比较,实现过流输出关断,故CS门限电压上限0.9 V。本研究通过外部采样电阻反馈可以实现电源过载保护。

L6201P是ST意发半导体集成DMOS管功率H桥芯片,用于小功率直流有刷电机驱动。它采用PowerSO20贴片封装,满载输出电流可达4 A,工作电压范围12 V~48 V,具备输出短路和过热自关断保护功能。其突出优点是开关频率可高达100 kHz。

为了实现闭环电流调节,本研究必须对负载上的通过电流进行采样。一般开关电源回路中通常采用NMOS管低边电流采样,该方式电路简单、成本低,仅需一个低阻值采样电阻;其缺点主要是受地回路阻抗的影响而使得电流采样不准确,非线性显著,难以得到精确的电流反馈,一般只作为过流过载保护之用。通过高边电流采样则可以避免地回路阻抗影响,精确测定流过的负载电流,但是需要有很高共模耐压输入的放大器。而MAX4080是一款性能优异的单向高边电流采样放大器,具有F、T、S 3种不同后缀,增益分别为5 V/V、20 V/V和60 V/V,共模电压输入范围4.5 V~76 V,且可由高边电压直接给芯片供电,满量程精度 $\pm 0.1\%$ 。

该电路中选用60 V/V增益的MAX4080S,选择VI-SHAY公司的2 W精密采样电阻WSL2816系列作为采样电阻,阻值15 m Ω ,精度0.1%。因此,电流采样反馈电路的增益为0.9 V/A,考虑到MCP1630 COMP端最大输出2.7 V,故该电源最大输出电流约为3 A。

4 实验测试

本研究用如图3所示的实验测试装置对该开关式恒流源进行实验测试,测试装置采用实验室24 V直流稳压电源供电。信号发生器分别产生基准频率信号

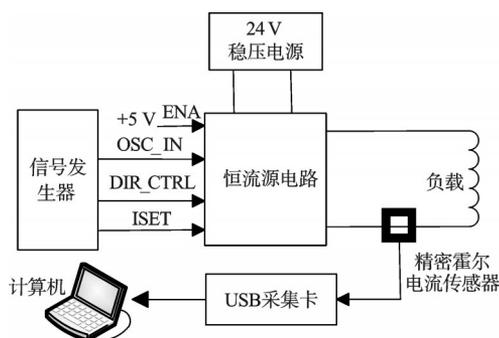


图3 恒流源实验装置

OSC_IN、电流设定信号ISET和方向控制信号DIR_CTRL。其中,基准频率为30 kHz,占空比5%。输出负载分别选用10 Ω /50 W功率电阻和一个20.8 Ω /2.2 mH电磁铁线圈进行测试。负载电流由精密霍尔电流传感器反馈至USB数据采集卡,再采集到计算机中进行显示和分析。实验测试内容包括:

(1) 本研究选用10 Ω /50 W功率电阻对该恒流源进行了输出电流和输入电压关系的静态特性测试,实验结果如图4所示。实测输入电压范围0~2.0 V,输出电流0~1.96 A。经过最小二乘线性回归得出该电源非线性度约为 $\pm 5\%$ F.S。由于实验过程中随输出电流加大,L6201P发热也较明显,为防止其出现过热保护关断,输出电流限制在了2 A以内。

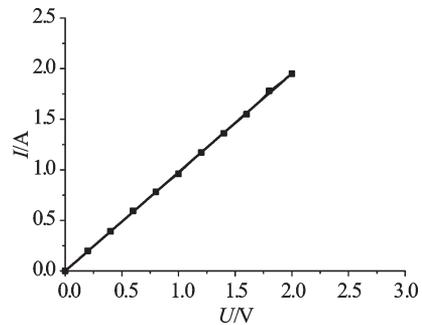


图4 静态输出电流-输入电压关系

(2) 本研究选用20.8 Ω /2.2 mH电磁铁线圈分别进行了正弦频率响应和阶跃响应两种动态特性实验。频响实验中由信号发生器产生幅值为1 V的正弦电压信号作为恒流源设定输入ISET,频率从准静态至1 000 Hz,间隔100 Hz进行。本研究在正弦信号过零点时由信号调理电路切换DIR_CTRL电平,切换电流方向。该实验结果如图5所示。

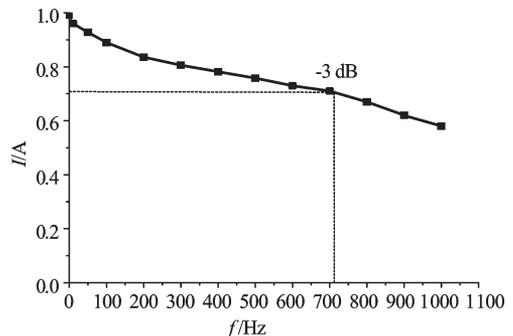


图5 幅值频率响应特性

实验数据表明,该恒流源-3 dB响应频宽超过700 Hz。然后本研究用频率20 Hz,幅值 ± 1 V的方波对该电源进行了双向阶跃响应测试,实验曲线如图6所示。

实验结果显示,阶跃响应的建立时间 t_s (5%稳态范围)约为1.4 ms。由于电流传感器后级所接低通滤波作用,第一次上升曲线的响应显得略慢一些。曲线上能

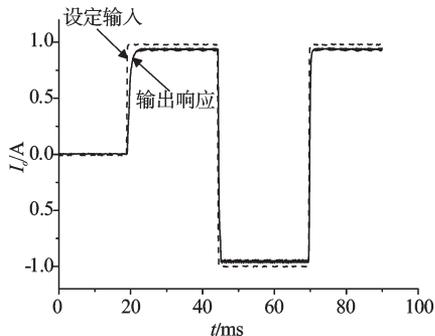


图6 20 Hz方波激励阶跃响应特性

够看到一些较明显的纹波,电流纹波值约为20 mA,这是开关电源所不可避免的现象。不过较小的纹波对比例电磁铁驱动一般不会产生不利影响,有时还会对消除阀芯的卡紧现象有益。

5 结束语

在分析了比例电磁铁需要恒流驱动基本原理的基础上,针对高频响双向比例电磁铁激励需求,本研究提出了一种基于脉宽调制PWM方式的双向高频响开关式恒流源电路。该电路方案由模拟PI闭环调节器实现,输出采用H-桥改变电流方向。

样机试验表明,该电路在±2 A输出范围内线性度约±5% F.S,-3 dB频宽超过700 Hz。虽然电路线性度

略低并有一定纹波,但该电路结构简单,具有独立模块化、成本低廉和响应快速的优点,可以方便地与电液/电气比例方向阀控制器集成起来,构成内环电流控制器,从而使电磁铁输出具有很高的速度和良好的刚性,具有一定的实际应用价值。

参考文献(References):

- [1] 吴根茂,邱敏秀,王庆丰,等. 新编实用电液比例技术[M]. 杭州:浙江大学出版社,2006.
- [2] 吴茂成. 高精度宽范围恒流源设计[J]. 电测与仪表, 2011,48(1):64-66
- [3] 吉慧芳,王菊叶,王浩,等. 基于OPA549的多路电流恒流源设计[J]. 测控技术,2011,30(9):4-7.
- [4] 陶林伟,王英民,雷开卓. 基于微处理器的精密数控恒流源[J]. 电子技术应用,2007(7):138-140.
- [5] 花汉兵. 基于MSP430F169的数控直流电流源设计[J]. 仪表技术与传感器,2007(8):48-50.
- [6] 胡庆波,张晓峰,吕征宇. 一种新颖的全数字式双向恒流源电路的设计[J]. 电力电子技术,2006,40(3):1-3.
- [7] 刘仕钊,李声晋,卢刚. 基于dsPIC30F2020的全数字式恒流源研制[J]. 测控技术,2009,28(8):65-68.
- [8] Microchip Technology. MCP1630 Datasheet [EB/OL]. [2005-07-17]. http://www.microchip.com/downloads/cn/DeviceDoc/21896B_CN.pdf.

[编辑:李辉]



机械制造[®]

MACHINERY 月刊



创刊于

1950年

主要栏目

慧眼聚焦、专题报导、研究·开发、制造·材料、现状·趋势·战略、试验·检测、工艺·装备、维修·改装、经验交流、机电信息、质量·成本·管理、企业·产品·市场、技术讲座等。

读者对象

面向全国机电行业及相关配套行业的生产企业、设计研究院所、各院校从事机电产品研究、开发、设计、制造、设备应用等工程技术人员,以及企业规划、管理、营销等专业人士。

中国标准连续出版物号: ISSN1000-4998
CN31-1378/TH

发行: 公开发行, 全国各地邮局征订
邮发代号: 4-18 国外发行代号: M5562
刊期: 月刊(每月20日出刊) 幅面: 大16开
定价: 12元/期
地址: 上海中兴路960号2号楼415室 邮编: 200070
电话: 021-63292023 63217621 56902460
传真: 56902460
E-mail: jixiezhizao@126.com
网址: www.jxzzzz.com

- 国家百种重点科技期刊
- 中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)
- 中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊

★ 欢迎订阅 ★ 欢迎赐稿 ★ 欢迎刊登广告

本刊已加入中国学术期刊综合评价数据库、中国核心期刊(遴选)数据库、中国期刊全文数据库、中国期刊网、中文科技期刊数据库、万方数据库资源系统等。