

高速开关阀驱动电路的仿真与试验研究^{*}

阮晓芳¹, 孔晓武², 尹学松¹

(1. 浙江广播电视大学 信息与工程学院, 浙江 杭州 310030; 2. 浙江大学 机械电子控制工程研究所, 浙江 杭州 310027)

摘要: 高速电磁开关阀与普通电磁阀相比具有较快的切换速度, 开关切换时间一般在 10 ms 以内, 其开关切换时间与其驱动电路有着密切关系。为了缩短高速电磁阀的切换时间, 根据高速开关阀的驱动需求, 基于通用集成电路及分立元件设计了一种新型的驱动电路。该电路能独立设置峰值电流、保持电流以及峰值电流持续时间等控制参数。仿真和试验结果表明, 该电路具有优越的动态性能指标, 对提高高速开关阀的动态性能具有参考价值。

关键词: 高速开关阀; 驱动电路; 仿真与试验

中图分类号: TH137.5; TP191

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)02-0209-03

Simulation and experimental research on high-speed switch valve drive circuit

RUAN Xiao-fang¹, KONG Xiao-wu², YIN Xue-song¹

(1. Information and Engineering Institute, Zhejiang Radio & TV University, Hangzhou 310030, China;

2. Institute of Mechanical and Electronic Control Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Speed solenoid valve compared with the ordinary solenoid valve has a fast switching speed, switching time is generally less than 10 ms, it is closely related to its drive circuit. In order to reduce the switching time, a new type of drive circuit was designed based on integrated circuits and discrete components, according to high-speed switch valve drive demand. The circuit can be independently set the peak current, holding current and peak current control parameters etc. . Simulation and test results show that the circuit has good dynamic performance, and it has a reference value to improve the dynamic performance of high-speed switch valve.

Key words: high-speed switch valve; drive circuit; simulation and experiment

0 引 言

高速电磁开关电磁阀的开关频率远远高于普通电磁阀, 一般在 200 ~ 1 000 Hz 之间。其开关频率取决于阀芯机械结构、电磁铁结构和驱动电路^[1-2]。文献[3]描述了一种基于球阀结构的螺纹插装式电磁阀, 与普通电磁法相比具有结构紧凑、便于加工的优点, 其开启时间和关闭时间分别为 3 ms 和 2 ms。文献[4-5]分别采用特殊形状的电磁铁, 克服了传统电磁开关阀增大电磁推力的同时加速度降低的矛盾, 获得了 1 ms 以内响应速度。在阀芯结构和电磁铁结构参数固定的情况下, 通过合理设计驱动电路, 可显著提高驱动力并缩短驱动力的建立时间, 从而获得更高的开关频率。

文献[6]采用 PWM 电路驱动高速开关阀, 一个脉冲周期的高电平时间内高速开关阀始终通以最大电流, 当 PWM 信号的占空比较大时会导致开关管和电磁阀过热的情况, 对高速开关阀长期稳定工作不利。为了解决高速开关所需要的大驱动电流和降低原件发热提高工作可靠性之间的矛盾, 一般采用如下驱动原理: 在电磁阀开启的瞬间提供一个较大的电流从而产生一个较大的推力, 使阀芯迅速克服液压和摩擦阻力完成开关动作, 在开关动作完成以后将电流降至一个较低的保持电流, 产生维持阀芯状态所需的推力, 从而降低稳态时的电磁阀发热量, 使电磁铁能够长期可靠工作, 峰值电流通常是保持电流的 4 倍左右。为实现上述控制策略一般采用专用的集成电路, 以美国国家半导体公司

收稿日期: 2010-08-19

基金项目: 浙江省教育厅科研计划资助项目(20071370); 浙江广播电视大学科学研究重点课题资助项目(XKT-09Z01)

作者简介: 阮晓芳(1975-), 女, 江西上饶人, 主要从事机电一体化方面的研究。E-mail: ruanxf@zjtvu.edu.cn

的 LM1949 为例^[7-9],其应用电路如图 1 所示。该专用集成电路输入信号为 0~5 V 的 TTL 逻辑电平信号,该电路将峰值电流与保持电流的比值固定为 4:1,无法独立设置保持电流和峰值电流。另外,由 R_T 和 C_T 所设定的峰值电流保持时间只有在峰值电流无法到达的时候才起作用,一旦在该时间范围内到达峰值电流,芯片将自动切换到保持电流控制模式。因此,采用专用的集成电路比较方便,但往往灵活性不高,有时无法与特定电磁铁实现最佳匹配。

本研究基于通用集成电路和分立器件设计高速开关阀的驱动电路,该电路可独立调整各种反馈参数和控制参数,从而使设计者能够最好地将控制电路与电磁阀及应用系统无缝地结合起来^[10]。

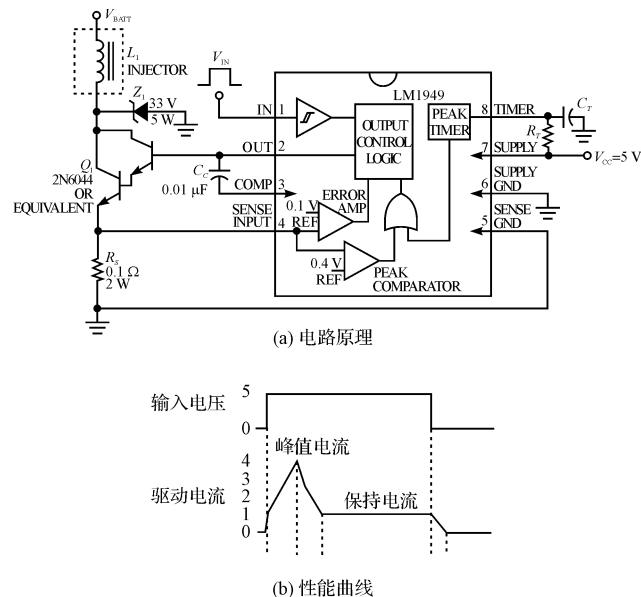


图 1 基于 LM1949 专用芯片的高速开关阀应用电路

1 工作原理

本研究采用通用集成电路和分立元件所设计的高速开关阀驱动电路如图 2(a) 所示,电路工作原理如下所述:

该电路为数模混合电路,其中逻辑门电路为通用数字集成电路,比较器为通用模拟集成电路,其他为电阻、电容、三极管等分立元件。

比较器 U1A 输出脉冲信号,经过 R_8 与 C_1 组成的 1 阶惯性滤波环节转变为模拟电压信号。电阻 R 和电感 L 组成模拟电磁铁线圈的等效电路。电阻 R_f 为反馈电阻,其两端电压正比于稳态工况下电磁铁线圈电流。 Q_2 、 RT 组成对电容 CT 的充、放电回路,决定了峰值电流的保持时间。 $VREFH$ 为对应峰值电流的电压设定值。 $VREFL$ 为对应保持电流的电压设定值。 VIN

输入控制信号。 U_2 、 U_3 、 U_4 、 U_5 、 U_6 所构成的逻辑电路决定了该电路的 3 种工作状态:失电状态、峰值电流驱动状态、保持电流驱动状态。下面分几种情况对其工作原理进行说明:

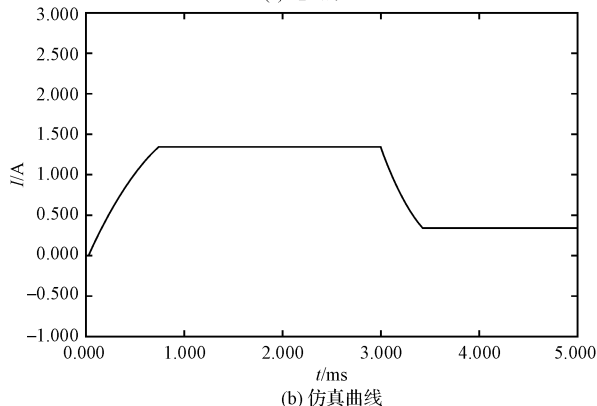
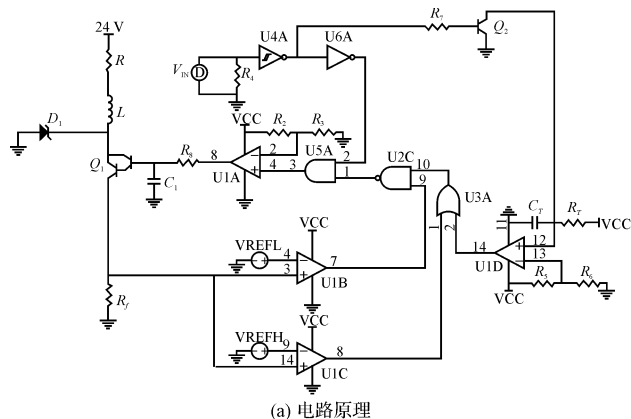


图 2 基于通用集成电路及分立元件的高速开关阀驱动电路

(1) 当输入信号 VIN 为低电平时,电磁铁处于失电状态。 U_4A 输出高电平→ U_6A 输出低电平→ U_5A 输出低电平→ U_1A 输出低电平→达林顿管基极电流为零处于关闭状态→电磁铁线圈电流为零。同时三极管 Q_2 导通, CT 放电。

(2) 当输入信号 VIN 由低电平转换为高电平,同时 CT 电压低于比较器 U_1D 的负相端电压时,电路处于峰值电流驱动状态。 U_4A 输出高电平→ Q_2 截止→ CT 通过 RT 充电,在 CT 电压超过 U_1D 反相端电压之前, U_1D 输出低电平。此时峰值电流反馈回路与保持电流反馈回路同时工作。当反馈电压大于 $VREFH$ 或小于 $VREFL$ 时, U_1B 与 U_1C 的输出逻辑相同。当反馈电压大于 $VREFL$ 并小于 $VREFH$ 时, (U_1B 输出高电平, U_1C 输出低电平)→ U_3A 输出低电平→ U_2C 输出高电平→ U_5A 输出高电平→ U_1A 输出高电平,使 Q_1 集电极电流继续上升,反馈电压逼近 $VREFH$ 。综上所述,此状态下峰值电流负反馈回路起作用,而保持电流负反馈信号在与非门 U_2C 作用下被峰值电流负反馈信号所屏蔽。

(3) 当输入信号 VIN 为高电平,同时 CT 电压高于比较器 U1D 的负相端电压时,电路处于保持电流驱动状态。此时 U1D 输出高电平,则无论峰值电流反馈信号 U1C 的输出信号为高电平或低电平,U3A 始终输出高电平,下降峰值电流反馈信号屏蔽。而保持电流反馈信号 U1B 的输出信号则可通过 U2C、U5A、U1A 和 Q₁ 形成负反馈回路,因而此时电路处于保持电流驱动状态。

基于 PROTEL 软件提供的电路仿真功能对上述电路进行建模并仿真所得的电磁铁线圈电流瞬态响应曲线如图 2(b)所示。由该仿真曲线可见该电路实现了如下的控制功能:在电磁阀得电的瞬间将电流迅速升至 1.33 A,上升时间 0.75 ms;峰值电流维持 3 ms 后将电流降至保持电流 0.33 A,下降时间 0.43 ms。峰值电流与保持电流的比值接近 4 : 1,与预设的 VREFH : VREFL 比值相同。电流响应曲线过渡过程无超调,稳态电流纹波小,说明该电路具有较好的动态性能和稳态控制精度。主要仿真参数取值如表 1 所示。

表 1 主要仿真参数表

元件符号	仿真参数	元件符号	仿真参数
R	$2.5\ \Omega$	VREFL	0.1 V
L	2.8 mH	VREFH	0.4 V
R_f	$0.2\ \Omega$	RT	1 k Ω
D_1	33 V/5 W	CT	1 μ F
R_8	1 k Ω	R_5	10 k Ω
C_1	0.1 μ F	R_6	10 k Ω

2 试验研究

按上述原理采用通用元件设计了高速开关阀控制电路,并采用该电路对高速开关阀进行控制,该高速开关阀线圈电感为 2.8 mH,电阻为 2.5 Ω 。高速开关阀的电流采用霍尔原件测量,霍尔元件与高速开关阀线圈串联,将通过高速开关阀的电流按比例转化为电压输出,然后采用示波器显示其波形,试验结果如图 3 所示。

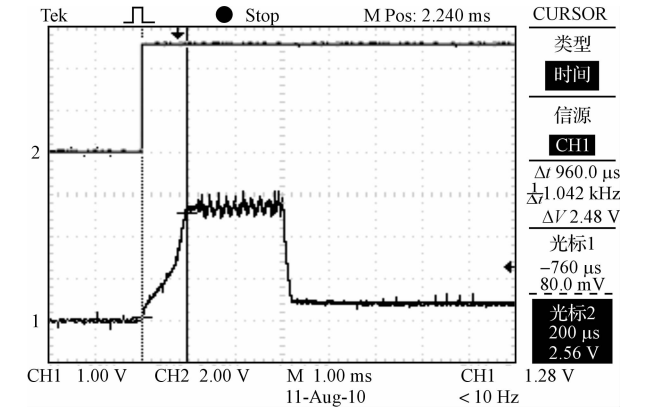


图 3 高速开关阀驱动电路试验曲线

图 3 中通道 2 为指令信号、通道 1 为霍尔元件输出的与高速开关阀驱动电流成比例的电压信号。从通道 1 的电流变化规律可以看出,该电路首先在 0.96 ms 内将驱动电流增加至较高的峰值电流,保持 5 ms 后将驱动电流降至较低的保持电流,较好地完成了预期的控制功能。

3 结束语

本研究按照高速开关阀电流驱动的技术要求采用通用元件设计了驱动电路,该电路与 LM1949 专用集成电路相比具有如下优点:

- (1) 峰值电流和保持电流能够独立设置;
- (2) 在到达峰值电流后可按要求保持一段时间。

上述特点使得该使用者能够根据实际需求将电流驱动参数与阀参数较好地匹配起来。为验证该电路的正确性,笔者采用仿真和试验的手段对该电路的驱动性能进行了研究,结果表明该电路较好地完成了预期的控制功能。

参考文献 (References):

[1] 刘新亮,张建武,陈兆能. 高速开关阀功率驱动特性研究及电路实现[J]. 液压气动与密封,1998,20(2):9-11.

[2] 吕红兵. 斩波恒流式高速开关阀驱动装置及其应用[J]. 机电工程,1994,15(4):37-38.

[3] 苗建中,郑云川. 螺纹插装式高速开关阀[J]. 液压与气动,1993,12(6):29-30.

[4] SEILLY A H. Helonoid Actuators: A New Concept in Extremely Fast Acting Solenoids[C]. SAE Congress and Exposition, Detroit, 1979.

[5] SEILLY A H. Actuators; Further Developments in Extremely Fast Acting Solenoids [C]. Society of Automotive Engineer's,1981.

[6] 田 静. 高速开关阀 PWM 控制电路的开发[J]. 中国民航学院学报,2003,21(6):26-30.

[7] National Semiconductor. Lm1949 Injector Drive Controller [M]. National Semiconductor,1995.

[8] 孔晓武. 高速开关阀动态性能试验装置及其应用研究[J]. 机电工程,2005,22(8):38-40.

[9] 佐 藤,田 中. 高速电磁阀制御比例 シへト 阀の特性に关于する研究[J]. 机论,1992(57-533B):178.

[10] 费重程,王钦若,曹国勇. 基于单片机的高速液压控制系统的设计[J]. 机床与液压,2009(8):163-164.

[编辑:张 翔]