



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102033199 B

(45) 授权公告日 2013. 01. 23

(21) 申请号 201010595376. 3

CN 101813752 A, 2010. 08. 25, 全文.

(22) 申请日 2010. 12. 20

卢达等. 电子提花机电磁阀参数自动检测系统的开发. 《东南大学学报》. 2003, 183-186.

(73) 专利权人 常熟理工学院

尹英姬. 航天电磁继电器动态特性测试与可靠性评价方法的研究. 《中国优秀硕士学位论文全文数据库》. 2009, C042-154.

地址 215500 江苏省苏州市常熟市南三环路99号

(72) 发明人 华强 霍铨宇 卢达 范龙保 徐刚 李新

审查员 刘俊杰

(74) 专利代理机构 南京苏高专利商标事务所 (普通合伙) 32204

代理人 柏尚春

(51) Int. Cl.

G01R 31/327(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1614438 A, 2005. 05. 11, 全文.

JP 63318033 A, 1988. 12. 26, 全文.

US 5548210 A, 1996. 08. 20, 全文.

CN 201955448, 2011. 08. 31, 权利要求 1-3.

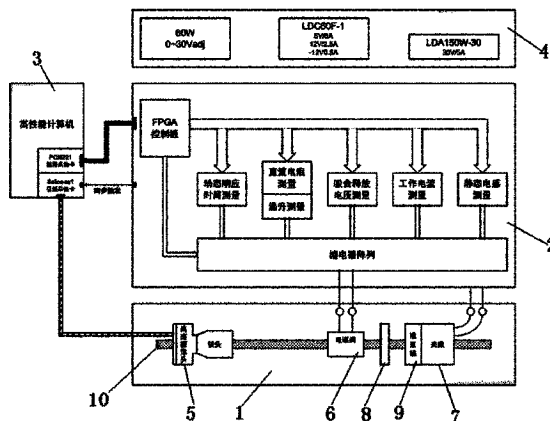
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 7 页

(54) 发明名称

针织机械用高速电磁阀动态参数测试系统

(57) 摘要

本发明公开了一种针织机械用高速电磁阀动态参数测试系统,其包括:测试台(1)、测控电路板(2)、上位机(3)和外部电源模块(4),上位机(3)包括用于实现与测控电路板(2)通信,并完成对测控电路板(2)输出的待测电压信号测量的数据采集卡和用于对高速线阵摄像头(5)的输出数据进行同步采集和存储、具有对测量接口电路板(12)同步触发功能的图像采集卡,本系统采用基于机器视觉的非接触式测量方法和采用虚拟仪器的设计方法,使用通用计算机和数据采集卡、结合自行研制的硬件测试平台对电磁阀的动态响应时间进行了精确测量,为电磁阀产品的设计和检验提供必需的测试数据。



1. 一种针织机械用高速电磁阀动态参数测试系统,其特征在于包括:

- 测试台 (1),所述测试台配置有高速线阵摄像头 (5)、待测电磁阀 (6) 和光源 (7),所述高速线阵摄像头 (5) 与待测电磁阀 (6) 阀芯、光源 (7) 共轴,待测电磁阀 (6) 配置在高速线阵摄像头 (5) 和光源 (7) 之间;

- 测控电路板 (2),所述测控电路板 (2) 包括:

(1) 控制电路板 (11),其包含有用于和上位机通信的并行数据接口和模拟量测量接口;

(2) 测量接口电路板 (12),包括根据控制信号将待测电磁阀 (6) 连接至电磁阀驱动电路板 (13) 或者电参数测量电路板 (14) 的继电器阵列及其驱动电路;

(3) 电磁阀驱动电路板 (13),提供动态响应特性测试时的电磁阀 (6) 驱动电路;

(4) 电参数测量电路板 (14),提供用于电磁阀 (6) 各参数测量的电路和接口;

- 上位机 (3),为一台高性能计算机,其包括用于实现与测控电路板 (2) 通信,并完成对测控电路板 (2) 输出的待测电压信号测量的数据采集卡和用于对高速线阵摄像头 (5) 的输出数据进行同步采集和存储、具有对测量接口电路板 (12) 同步触发功能的图像采集卡;

- 外部电源模块 (4),包括为测控电路板 (2) 和待测电磁阀 (6) 提供测试的电源。

2. 根据权利要求 1 所述的针织机械用高速电磁阀动态参数测试系统,其特征在于:所述控制电路板 (11) 为 FPGA 控制电路板。

3. 根据权利要求 1 所述的针织机械用高速电磁阀动态参数测试系统,其特征在于:所述测试台 (1) 上配置的高速线阵摄像头 (5)、待测电磁阀 (6) 和光源 (7) 活动安装在导轨 (10) 上,待测电磁阀 (6) 和光源 (7) 之间还设置有准直镜 (9) 和毛玻璃 (8),准直镜 (9) 位于靠近光源 (7) 的一侧。

## 针织机械用高速电磁阀动态参数测试系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种电磁阀动态参数测试系统,特别是一种针织机械用高速电磁阀动态参数测试系统。

### 背景技术

[0002] 针织机械是生产针织面料及羊毛衫等针织服装必要的生产设备,近年来,随着国际、国内市场对针织类面料及服装需求量的不断增大,国内针织机械制造业,特别是电脑横机生产得到迅速发展,但目前高性能针织机械还主要依赖进口。同时,国内目前还缺乏对针织机械的关键另部件作全面、系统的研究和开发,这也在一定程度上制约了针织机械整机性能的提高。

[0003] 电磁阀在针织机械中使用相当广泛,种类多,用量大,是直接影响针织机械整机性能的关键另部件,尤其是高速电磁阀的动态响应时间和工作可靠性决定了针织机械整机的编织速度和稳定性,电磁阀动态响应时间是指电磁阀开始通电到电磁阀动作部件(阀芯或与阀芯联动的机械部件)动作到位所需要的时间,该参数直观地反映了电磁阀的性能、直接决定着针织机械的最大编织速度,这就对针织机械用高速电磁阀的生产和检测提出了很高要求。

[0004] 目前生产针织机械用高速电磁阀的企业,检测手段相对滞后,大多只能完成电磁阀部分电磁参数的检测,目前无法对产品进行动态响应性能的检测。同时,国内外现有电磁阀动态参数检测设备主要针对汽车用电磁阀、液压控制系统用电磁阀等,目前市场上尚无面向针织机械用高速电磁阀动态参数的专用设备。

[0005] 国内已有的针织机械用电磁阀参数检测设备,其主要检测内容为电磁阀的电磁参数,例如电磁阀线圈的冷态直流电阻、线圈和铁芯之间的冷态绝缘电阻、电磁阀的直流励磁电压、直流励磁电流、定距离处的磁感应强度等,无法对电磁阀的吸合、释放等动态过程的时间参数进行精确测量和对电流、电压参数的实时测绘。

### 发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是提供一种可以测试针织机械用高速电磁阀动态参数的系统,其可以精确测量多种针织机械用电磁阀的动态响应时间(包含动作时间和释放时间)、励磁绕组直流电阻、励磁绕组静态电感、动作电压、释放电压、吸合电流和绕组温度等参数,从而为电磁阀产品的设计和检验提供必需的测试数据。

[0007] 为了解决上述的技术问题,本发明的一种针织机械用高速电磁阀动态参数测试系统包括:

[0008] - 测试台,所述测试台配置有高速线阵摄像头、待测电磁阀和光源,所述高速线阵摄像头与待测电磁阀阀芯、光源共轴,待测电磁阀配置在高速线阵摄像头和光源之间;

[0009] - 测控电路板,所述测控电路板包括:

[0010] (1) 控制电路板,其包含有用于和上位机通信的并行数据接口和模拟量测量接

口；

[0011] (2) 测量接口电路板,包括根据控制信号将待测电磁阀连接至电磁阀驱动电路板或者电参数测量电路板的继电器阵列及其驱动电路；

[0012] (3) 电磁阀驱动电路板,提供动态响应特性测试时的电磁阀驱动电路；

[0013] (4) 电参数测量电路板,提供用于电磁阀各参数测量的电路和接口；

[0014] - 上位机,为一台高性能计算机,其包括用于实现与测控电路板通信,并完成对测控电路板输出的待测电压信号测量的数据采集卡和用于对高速线阵摄像头的输出数据进行同步采集和存储、具有对测量接口电路板同步触发功能的图像采集卡；

[0015] - 外部电源模块,包括为测控电路板和待测电磁阀提供测试的电源。

[0016] 为了实现电磁阀的驱动控制并产生动态响应时间测量的同步信号,保证动态响应时间测量的准确性,所述控制电路板为 FPGA 控制电路板。

[0017] 所述测试台上配置的高速线阵摄像头、待测电磁阀和光源活动安装在导轨上,为了使测试光源变成均匀的面光源,待测电磁阀和光源之间还设置有准直镜和毛玻璃,准直镜位于靠近光源的一侧。

[0018] 本系统采用基于机器视觉的非接触式测量方法和采用虚拟仪器的设计方法,使用通用计算机和数据采集卡、结合自行研制的硬件测试平台对电磁阀的动态响应时间进行了精确测量,为电磁阀产品的设计和检验提供必需的测试数据。

[0019] 本发明系统的优点在于：

[0020] (1) 以高性能通用微型计算机 (PC) 为主控计算机, Spartan3 系列 FPGA 为下位控制机,配置自行设计的测试平台和测控电路板,构成一个电磁阀参数检测系统；

[0021] (2) 可以对待测电磁阀在指定驱动条件下的动态响应时间进行精确测定,驱动条件可在规定范围内任意设定；

[0022] (3) 可以对待测电磁阀励磁绕组直流电阻、励磁绕组静态电感、动作电压、释放电压、吸合电流和绕组温度等参数进行测量；

[0023] (4) 可适用于多种电磁阀的检测；

[0024] (5) 检测结果直观地以数据报表和曲线的方式进行显示,便于用户分析研究；

[0025] (6) 所有测得数据能迅速、可靠地保存在系统数据库中,可进行后期查询和分析；

[0026] (7) 系统软硬件运行可靠、使用方便。

#### 附图说明

[0027] 图 1 为本发明测试系统结构框图。

[0028] 图 2 为测控电路板结构框图。

[0029] 图 3 为簧片运动过程行扫描图。

[0030] 图 4 为处理后的簧片运动轨迹图。

[0031] 图 5 为电磁阀驱动电路。

[0032] 图 6 为冷态直流电阻测量原理图。

[0033] 图 7 为线圈等效电感测量原理图。

[0034] 图 8 为吸合 / 释放电压测量原理框图。

[0035] 图 9 为吸合电流测量原理图。

## 具体实施方式

[0036] 如图 1、2 所示,本发明测试系统由四部分组成:测试台 1、测控电路板 2、上位机 3 和外部电源模块 4。

[0037] 测试台 1 主体为一光具座,配置了可移动的夹持机构用于固定高速线阵摄像头 5、待测电磁阀 6 和光源 7 等相关设备。高速线阵摄像头 5 与待测电磁阀 6 阀芯、光源 7 共轴,摄像头 5 捕获待测电磁阀 6 阀芯的动作图像供上位机分析使用。测试台 1 提供测量接线端子以连接待测电磁阀 6 与测控电路板 2。

[0038] 测控电路板 2 以 FPGA 为控制核心,包含了测量所需接口电路、驱动电路和参数测量电路,可以在上位机 3 的控制下实现待测电磁阀 6 的电气接入和参数测量功能。

[0039] 上位机 3 为一台高性能计算机,安装有 NI PCI6221 数据采集卡和 Matrox Solios XCL-B 图像采集卡。NI PCI6221 数据采集卡具有 24 路数字 I/O 通道、8 路差分模拟量输入通道和 2 路模拟量输出通道,用于实现上位机 3 与测控电路板 2 的通信接口,并完成对测控电路板 2 输出的待测电压信号的测量功能。Matrox Solios XCL-B 图像采集卡具有 85MHz 的采样速率、65MB 的图像缓存,并具有功能完善的同步触发功能,用于对高速线阵摄像头 5 的输出数据进行同步采集和存储。

[0040] 外部电源模块 4,为测控电路板 2 和待测电磁阀 6 提供测试电源。测试系统所使用的电源由三部分组成:

[0041] 1、LDC60F-1,具有 +5V、±12V 输出,额定功率 60W,为测控电路板 2 提供工作电压;

[0042] 2、LDA150W-3,单路 30V,额定功率 150W,为电磁阀 6 动态特性测试提供驱动电压;

[0043] 3、GW PSS-3203,单路 0 ~ 32V 可调,额定功率 96W,为电磁阀 6 参数测试提供驱动电压。

[0044] 测控电路板 2 由四部分组成:

[0045] 1. 控制电路板 11,为 FPGA 控制电路板,包含一片 Spartan3 XC3S400FPGA,通过自定义并行数据接口与 PCI-6221 相连,用于实现 FPGA 与上位机 3 的通信,并提供模拟量测量接口。

[0046] 2. 测量接口电路板 12:主要由继电器阵列及其驱动电路组成,根据控制信号将待测电磁阀 6 连接至电磁阀驱动电路板 13 或者电参数测量电路板 14。

[0047] 3. 电磁阀驱动电路板 13:主要提供动态响应特性测试时的电磁阀 6 驱动电路。

[0048] 4. 电参数测量电路板 14:提供电磁阀励磁绕组直流电阻、电磁阀励磁绕组静态电感、电磁阀吸合电压、电磁阀释放电压、电磁阀绕组吸合电流等参数测量的电路和接口。

[0049] FPGA 控制电路板与上位机 3 经由 PCI6221 数据采集卡采用并行方式进行通信,通信总线采用自定义接口,使用 16 位数据总线、6 位地址总线,1 位读写方向控制,1 位为数据时钟。PCI6221 采集卡数据总线引脚具体定义如表 1 所示:

[0050] 表 1 PCI6221 采集卡数据总线引脚具体定义

[0051]

接口线功能	对应 PCI6221 引脚
数据线低 8 位 HPI_DATA<0> - HPI_DATA<7>	P0_0 - P0_7
数据线高 8 位 HPI_DATA<0> - HPI_DATA<7>	PFI00 - PFI07
地址线 6 位 HPI_ADDR<0> - HPI_ADDR<5>	PFI08 - PFI13
读写方向控制 HPI_RW	PFI14
数据时钟 CLK	PFI15

[0052] FPGA 控制电路板与上位机 3 的通信采用自定义通信协议,共 6 类、48 个控制字,通信协议具体内容如表 2 所示:

[0053] 表 2 通信协议

[0054]

编号	分类	地址范围	功能概述
0	主控制字	000000	全局控制
		000001	测量电磁阀类型选择
		000010	测量功能选择
		000011~000111	保留
1	动态测试	001000	驱动方式
		001001	PWM 周期
		001010	占空比控制 1
		001011	占空比控制 2
		001100	时间常数 1

[0055]		001101	时间常数 2	
		001110	特殊控制	
		001111	动作控制字	
	2	电阻测试	010000~010111	保留
	3	吸合、释放电压测量	011000~011111	保留
	4	吸合电流测试	100000	测试电压选择
			100001	通电时间设置
			100010~100110	保留
			100111	动作控制字
	5	电感测量	101000	测试信号频率
			101001	测试信号幅度
			101010	测量参数
101011~101110			保留	
101111			动作控制字	

[0056] 动态响应特性测量：

[0057] 在电磁阀 6 线圈上加吸合电压后，由于系统中存在着电磁惯性（来源于电感电路的过渡过程）和机械惯性（来源于簧片的质量），簧片不可能立即吸合，而是要有一个时间间隔，该时间间隔大小直接影响电磁阀的高速性能。而高速电磁阀的动态响应时间又直接影响到针织机械的编织速度、稳定性和产能的提高，因此，有必要对动态响应特性进行定量测量。

[0058] 电磁阀 6 线圈通电到电磁吸合使簧片开始运动，其对应时间定义为触动时间  $t_c$ ；簧片开始运动并到达吸合位置，其对应时间为运动时间  $t_d$ ，总的吸合时间为  $t_x = t_c + t_d$ ；从断电到簧片开始作释放运动这段时间称为触动时间  $t_{fc}$ ，而簧片从开始运动到回到释放位置，这段时间为运动时间  $t_{fd}$ ，总的释放时间  $t_f = t_{fc} + t_{fd}$ 。

[0059] 对动态响应特性的测量，主要内容即为在指定的驱动参数下测量上述的几个时间参数（吸合过程的  $t_x, t_c, t_d$  或释放过程的  $t_f, t_{fc}, t_{fd}$ ），采用的测量方法则是基于机器视

觉的非接触式测量。

[0060] 测试台 1 由导轨 10 以及可以在导轨 10 上移动的高速线阵摄像头 5、电磁阀夹具、光源 7、准直镜 9 和毛玻璃 8 组成。光源 7 发出光经过准直镜 9 和毛玻璃 8 后变成均匀的面光源作为待测电磁阀 6 的背景光源。高速线阵摄像头 5 捕获电磁阀 6 簧片的动作信息，由视频采集卡采集后交由上位机 3 进行处理。

[0061] 上位机 3 具有交互式界面，可以设置驱动参数，并发出测量开始指令；视频采集卡安装在上位机 3 中，在同步信号的触发下对高速线阵摄像头进行数据采集。

[0062] FPGA 控制电路板可以根据上位机 3 发送的配置参数设置测试回路，在上位机 3 指令下生成电磁阀 6 驱动信号，并同时产生同步信号供视频采集卡使用。

[0063] 电磁阀驱动电路板 13，包含 8 路电磁阀驱动电路和过流保护电路。允许同时驱动 8 路电磁阀，并对电磁阀驱动电流进行检测，并具有当出现过流现象时自动关闭驱动电路的功能。

[0064] 高速线阵摄像机 5：

[0065] 测试台 1 所使用的摄像头型号为 Basler L104K-1K，属于高速线阵摄像头。此类摄像头感光元件为一维型 CCD 阵列，只能进行 1 维成像，但具有极高的扫描速率，主要应用于要求高速、高精度的工业检测领域。Basler L104K-1K 的主要技术指标如表 3 所示。

[0066] 表 3 Basler L104K-1K 技术指标

[0067]

参数	技术指标
传感器	1024pixel
像素尺寸	10 μ m × 10 μ m
像素时钟	62.5MHz
最大线扫描速率	58.5KHz
最小线扫描速率	1KHz
像素深度	8bit 或 10bit
同步方式	外同步或 free-run

[0068] 在时间测量精度方面，该摄像头的线扫描速率最大为 58.5KHz，故最小时间分辨率为 0.017ms，因此在动态响应时间的测量上具有很高的测量精度，在实际使用过程中设置摄像头线扫描速率为 50KHz。

[0069] 在距离测量精度方面，该摄像头的像素大小为 10 μ m × 10 μ m，实际使用中配合 Pentax 专用线扫描镜头 YF5028A-035 (0.28 ~ 0.4X) 使用，在对焦准确的情况下距离测量分辨率小于  $10 \mu m / 0.28 = 35.7 \mu m$ ，测量范围大于  $10 \mu m \times 1024 / 0.4 = 25.6 \text{mm}$ ，已满足测量需求。

[0070] 动态响应特性测量过程：



[0071] 下面以电磁阀 6 吸合动作时间的测量为例,分析电磁阀 6 动态特性参数的测量过程。在测量开始时,上位机 3 控制 PCI-6221 数据采集卡经由控制总线对 FPGA 控制板设置驱动参数,并发出测量指令。FPGA 控制板在接受到测量指令后,即按指定参数产生驱动信号控制电磁阀驱动电路向待测电磁阀供电,同时产生同步信号触发 Solios-XCL 图像采集卡,开始驱动线阵摄像头进行图像采集,实现了电磁阀 6 通电和图像采集的同步进行,从而保证了时间测量的准确性。高速线阵摄像头 5 在恒定的行扫描速率下对电磁阀 6 簧片的动作状态进行图像采集并通过图像采集卡传输至上位机 3,再通过适当的图像处理算法可以准确地判断电磁阀 6 簧片动作到位的时间点,从而保证了时间测量的精确性。

[0072] 在电磁阀 6 簧片运动过程中,线阵摄像头 5 连续进行扫描,得到由一系列扫描行组成的扫描图像,如图 3 所示,图中黑色阴影代表扫描线上被簧片遮挡住的部分,白色部分则为未遮挡的光照部分。由图可见,随着扫描行数的增加,黑色遮挡部分位置自左向右逐渐移动,代表簧片自左向右逐渐移动,当到达一定位置时,黑色部分基本不再移动,代表簧片运动已到位。

[0073] 对扫描图像进行处理,以遮挡部分的中间线为基准,得到的一幅吸合过程运动轨迹图,如图 4 所示,图中横坐标为时间轴,其分辨率为相机的行扫描速率的倒数(本系统行扫描速率设置为 50KHz,故时间分辨率为  $1/50\text{KHz}=0.02\text{ms}$ );纵坐标为位移值,图中已经作了归一化处理,设定电磁阀 6 簧片在测量起始位置处的位移值为 0,动作到位后的终点位置位移值为 1。

[0074] 在运动轨迹图上,根据曲线斜率的变化,可以提取出曲线上的两个转折点 A、B,并计算出相应的时间参数。显然,从原点 O 至转折点 A 的时间即为前述的触动时间  $t_c$ ,从 A 点至 B 点的时间即为运动时间  $t_d$ ,吸合动作时间  $t_x=t_c+t_d$ 。此外,从轨迹图上还可以直观地看出簧片到位后的微小反弹过程,对于驱动参数的优化亦具有一定的参考作用。

[0075] 电磁阀驱动电路:

[0076] 在设计生产过程中,常常需要对电磁阀驱动电路设置不同的驱动参数或更换不同的驱动电路,以分别测量电磁阀 6 的动态响应特性以评价驱动电路的工作效果。因此,在测量系统中电磁阀驱动电路板 13 采用了分立式设计,可以通过更换电磁阀驱动电路板 13 在不同的驱动环境下对电磁阀 6 的动态特性进行测量,从而对电磁阀 6、电磁阀 6 驱动方式的设计和 optimization 提供参考数据。

[0077] 图 5 给出了测试平台目前针对电脑横机用选针电磁阀、纱嘴电磁阀、三角电磁阀、压块电磁阀和半弯纱电磁阀的动态响应特性测试所使用的驱动电路,电路采用 30V 单电压驱动,具有可选的双续流回路。线圈冷态直流电阻测量原理。

[0078] 线圈冷态直流电阻能反映线圈绕制及线圈与内引线焊接工艺的质量,能剔除因铆压、装配等操作工序不慎引起断线、假焊等不合格品,是直接反映电磁阀电磁性能的重要参数。

[0079] 测量电路原理如图 6,由于电压测量采用具有高输入阻抗和高共模抑制比 A/D 通道的数据采集卡完成,因此测量电路采用了简单的串联比较型电路。设环境温度  $25^\circ\text{C}$  时,待测电磁阀冷态直流电阻为  $R$ ,施加测试电压  $V_{\text{TEST\_R}}$  后,待测电磁阀两端压降为  $V_x$ ,参考电阻  $R_{\text{ref}}$  两端压降为  $V_{\text{ref}}$ ,则有:

$$[0080] \quad R = \frac{V_x}{V_{\text{ref}}} * R_{\text{ref}} \quad (1)$$

[0081] 线圈等效电感测量原理：

[0082] 励磁线圈等效电感也是反映电磁阀电磁性能的重要参数,对电磁阀生产工艺的改进有着重要的参考作用。

[0083] 测量电路原理如图 7 所示,采用 DDS 芯片产生频率为 1KHz,幅度为 0.25V 的正弦交流激励信号 VTEST\_L,经标准参考电阻 R2 和待测电磁阀(阻抗  $Z = R_2 + j\omega L_1$ ) 后输出信号为  $V_{out}$ 。则有：

$$[0084] \quad V_{out} = -\frac{R_3 + j\omega L_1}{R_2} * VTEST\_L = -|A|e^{-j\theta} * VTEST\_L \quad (2)$$

$$[0085] \quad \text{其中, } |A| = \frac{\sqrt{R_3^2 + 4\pi^2 f^2 L_1^2}}{R_2} \quad (3)$$

$$[0086] \quad \theta = \arctan \frac{2\pi f L_1}{R_3} \quad (4)$$

[0087] 通过模拟电压数据采集同时获取输入和输出正弦信号,并将输出  $V_{out}$  反相后,由式(2)可知,输出信号  $V_{out}$  与输入正弦交流激励信号 VTEST\_L 的幅度比值即为  $|A|$ ,相位差则为  $\theta$ 。

[0088] 通过数据采集卡 PCI6221 以 100KSPS 的采样率对输入和输出信号进行采集,每通道采集 4096 点,然后采用傅里叶频谱分析法求  $|A|$  和  $\theta$ 。具体方法为:对两路信号分别作 4096 点 FFT,计算两信号幅频特性中基频分量值之比,结果即为  $|A|$  的值;计算相频特性中基频分量的相位差,并调整至  $\pm 180^\circ$  范围内,即为相位差  $\theta$ 。将  $|A|$  和  $\theta$  的值代入式(3)和(4),可得待测电磁阀的等效电感：

$$[0089] \quad L = \frac{R_2 |A|}{2\pi f \sqrt{1 + \frac{1}{\tan^2 \theta}}} \quad (5)$$

[0090] 吸合 / 释放电压测量原理：

[0091] 参考部分继电器产品的测试方法,将电磁阀 6 的吸合、释放电压定义如下：

[0092] 吸合电压：在释放状态下能保证电磁阀 6 吸合的最小线圈电压；

[0093] 低于吸合电压,电磁阀 6 将无法产生吸合动作；

[0094] 释放电压：在吸合状态下保证电磁阀 6 释放的最大线圈电压；

[0095] 高于释放电压,电磁阀 6 将继续保持吸合状态。

[0096] 测量时所需的测试电压由数控直流电源 PSS-3203 供给,最小步进值可达 0.01V,输出电压范围 0-32V,电流 0-3A。在测试电压递增或递减的过程中,通过线阵摄像头的拍摄来实现电磁阀的动作检测,即判断电磁阀 6 簧片是否运动,从而获取待测的两个电压参数值。测量原理框图如图 8 所示。

[0097] 吸合电流测量原理：

[0098] 电磁阀 6 工作过程中的电流变化曲线可以反映电磁阀导电部分的制作工艺质量,也是分析其工作性能,改进制作工艺的重要参考。

[0099] 吸合电流测量采用的方法为测量直流驱动方式下待测电磁阀 6 线圈电流的 I-t 曲线。测量原理如图 9 所示,数控直流电源用来设定驱动电压,吸合电流由与待测电磁阀 6 串联的采样电阻  $R_s$  进行采样,通过测量采样电阻两端的压降  $V_s$  计算出电流大小。由于部分

待测电磁阀 6 不允许长时间直流通电,因此增加了功率 MOS 管 Q1 对待测电磁阀的通电状态进行控制,通过 FPGA 设置驱动信号的高电平持续时间可以对待测电磁阀的通电时间进行精确控制。

[0100] 温升测量原理:

[0101] 温升测量主要用于测定电磁阀 6 线圈在长时间工作后的温度变化情况。

[0102] 有绝缘层的电磁线圈温升,一般用电阻法测量,平均温升可按式 (6) 计算:

$$[0103] \quad \tau_{pj} = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \left( \frac{1}{\alpha} + Q_{01} \right) + (Q_{01} - Q_{02}) \quad (6)$$

[0104] 式 (6) 可改写成:

$$[0105] \quad \tau_{pj} = \left( \frac{R_2}{R_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{\alpha} + Q_{01} \right) + (Q_{01} - Q_{02}) \quad (7)$$

[0106] 式中  $\tau_{pj}$  为被测线圈的平均温升,  $Q_{01}$  和  $Q_{02}$  为被测线圈冷态电阻  $R_1$  和热态电阻  $R_2$  周围空气温度,  $\alpha$  为  $0^\circ\text{C}$  时被测电阻线圈导体材料的电阻温度系数 (对紫铜为  $1/234.5$ )。由公式 (7) 可见,只需测得热阻  $R_2$  和冷阻  $R_1$  的比值 (非绝对阻值)、环境温度  $Q_{01}$  和  $Q_{02}$ ,即可计算平均温升  $\tau_{pj}$ 。

[0107] 上述实施例不以任何方式限制本发明,凡是采用等同替换或等效变换的方式获得的技术方案均落在本发明的保护范围内。

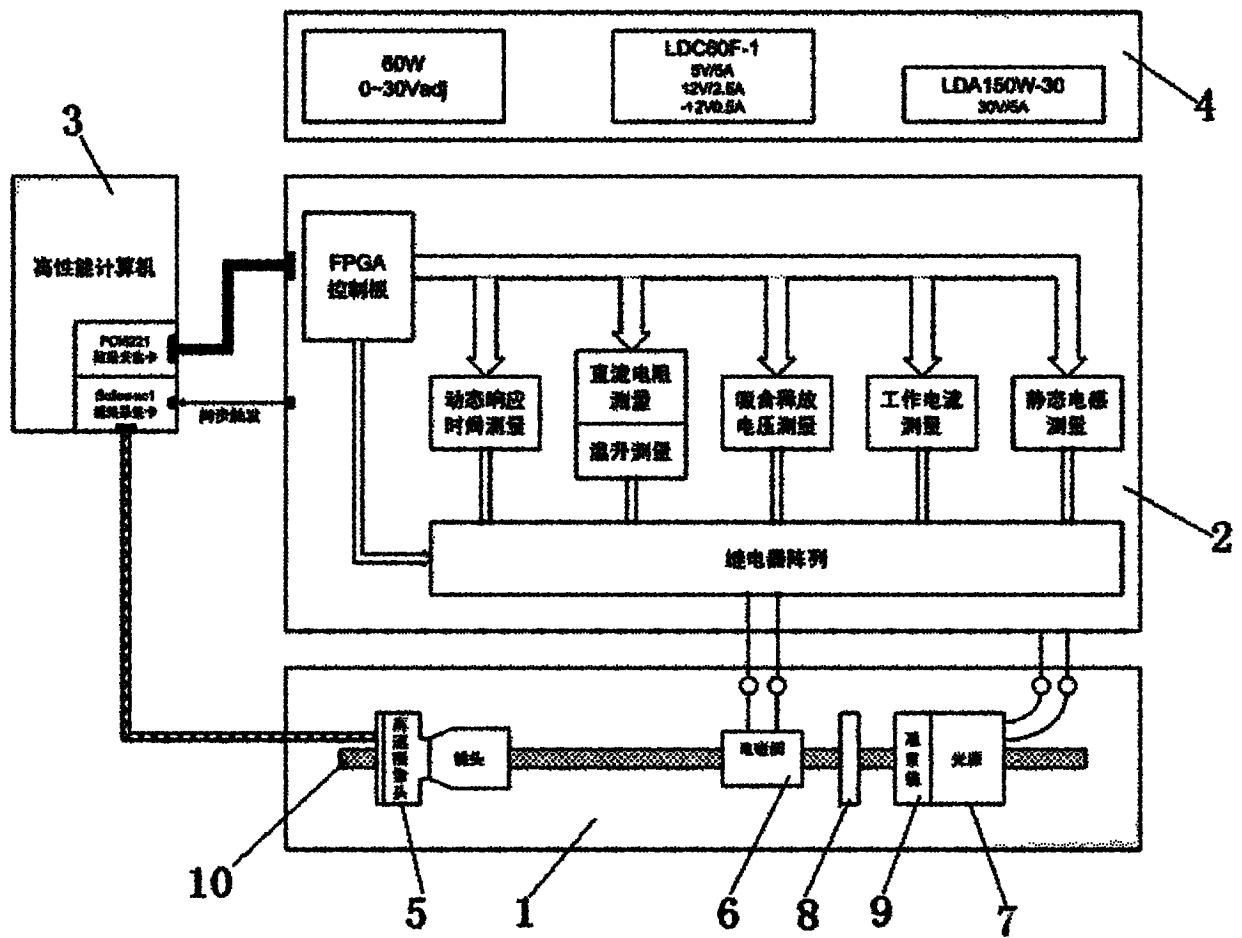


图 1

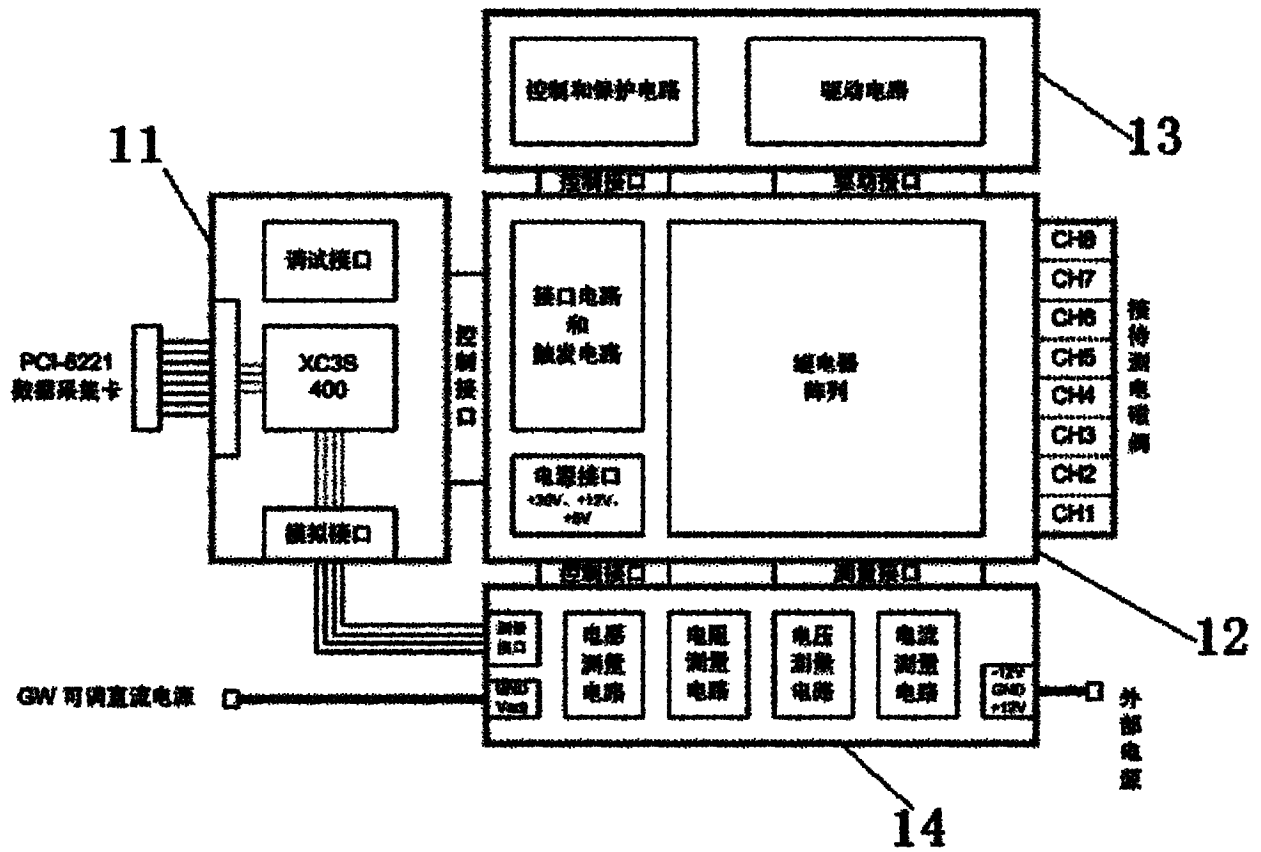


图 2

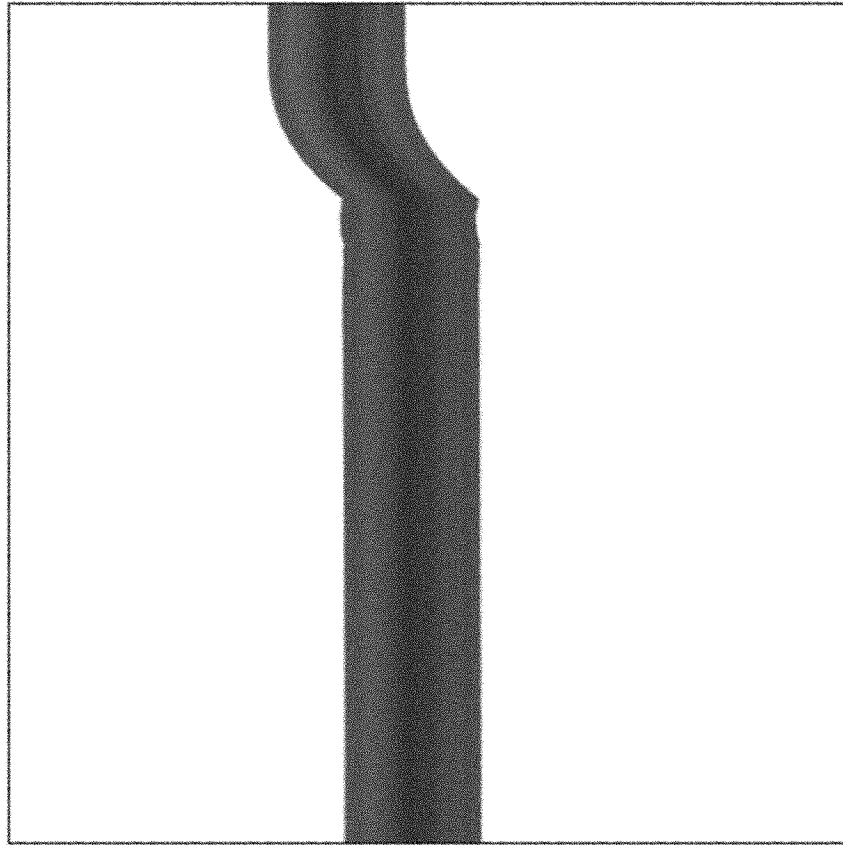


图 3

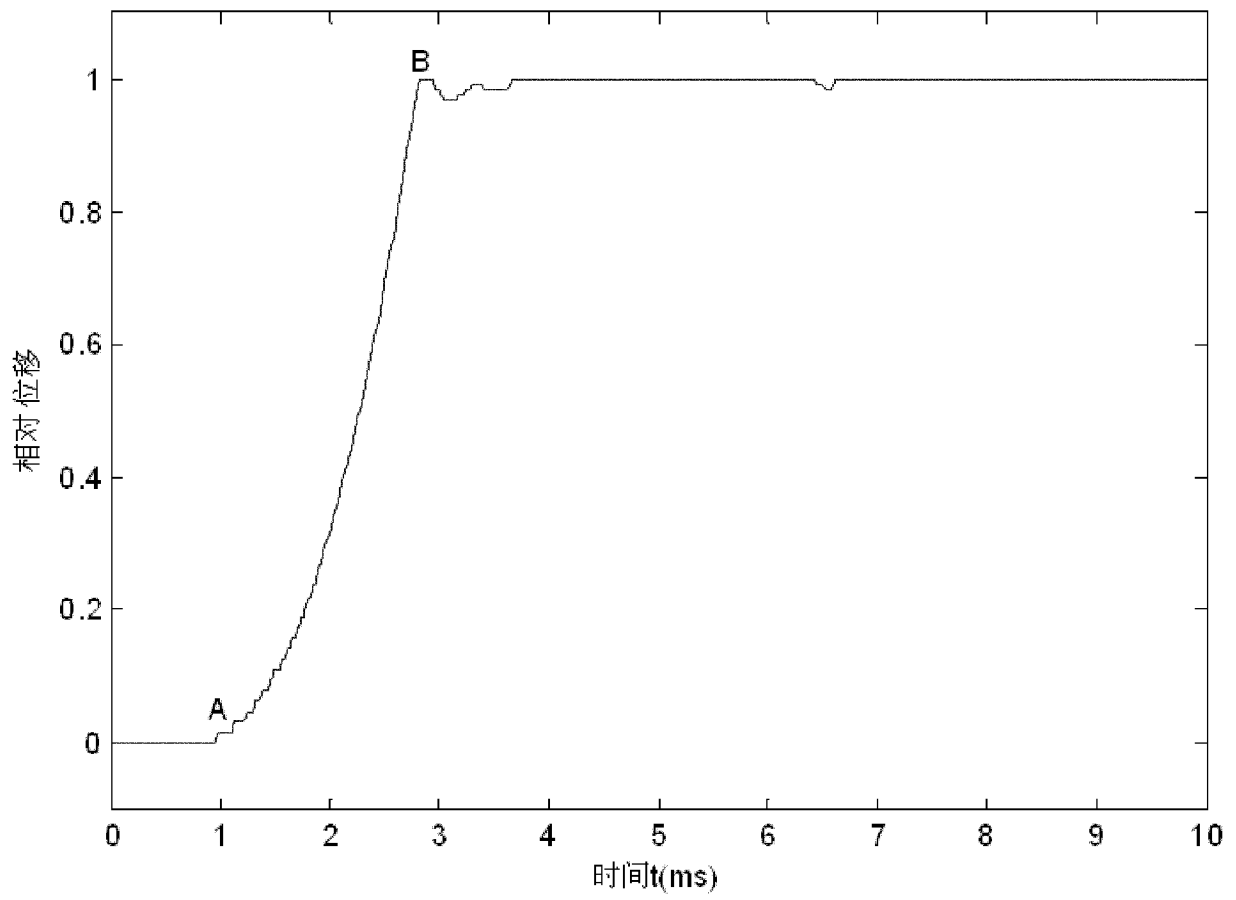


图 4

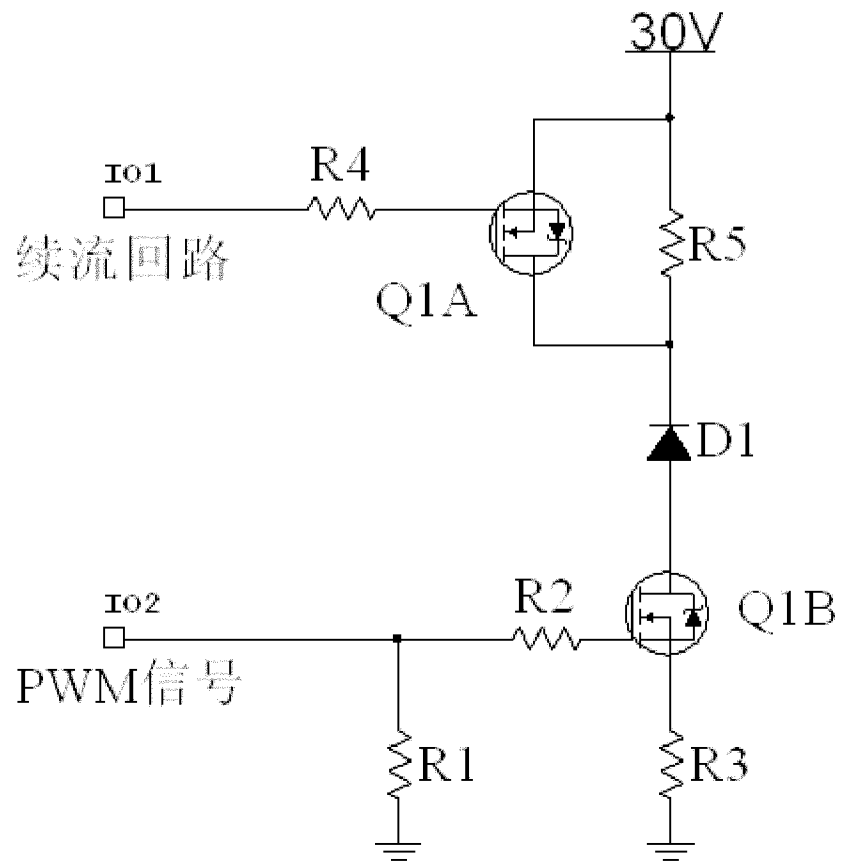


图 5



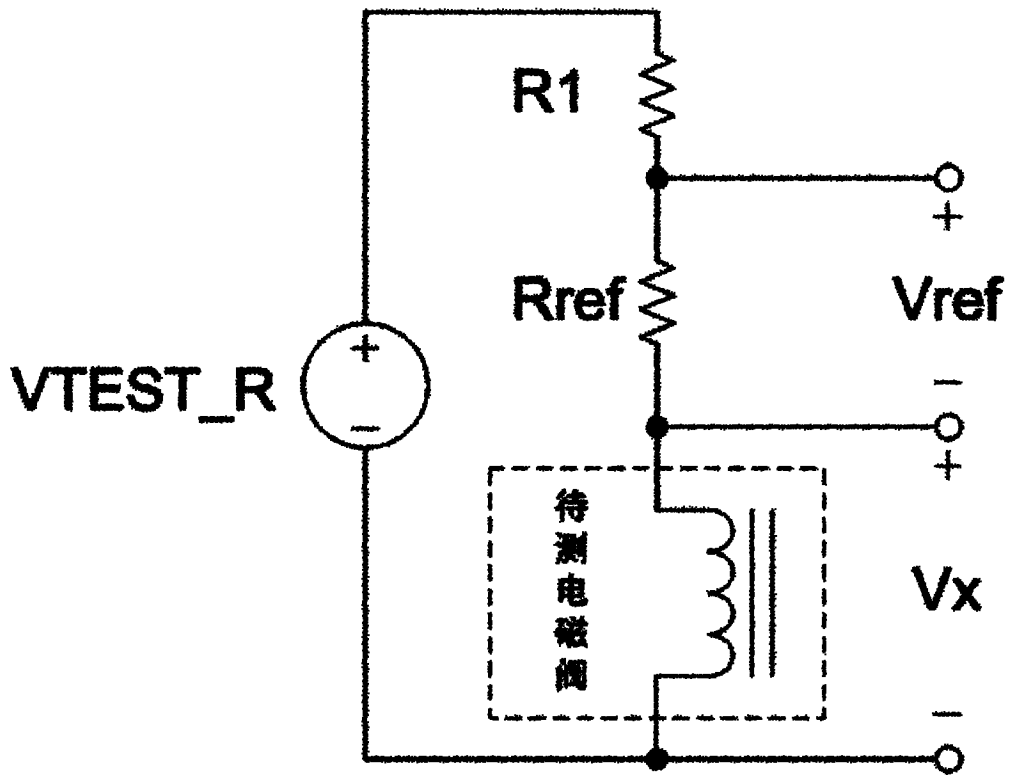


图 6

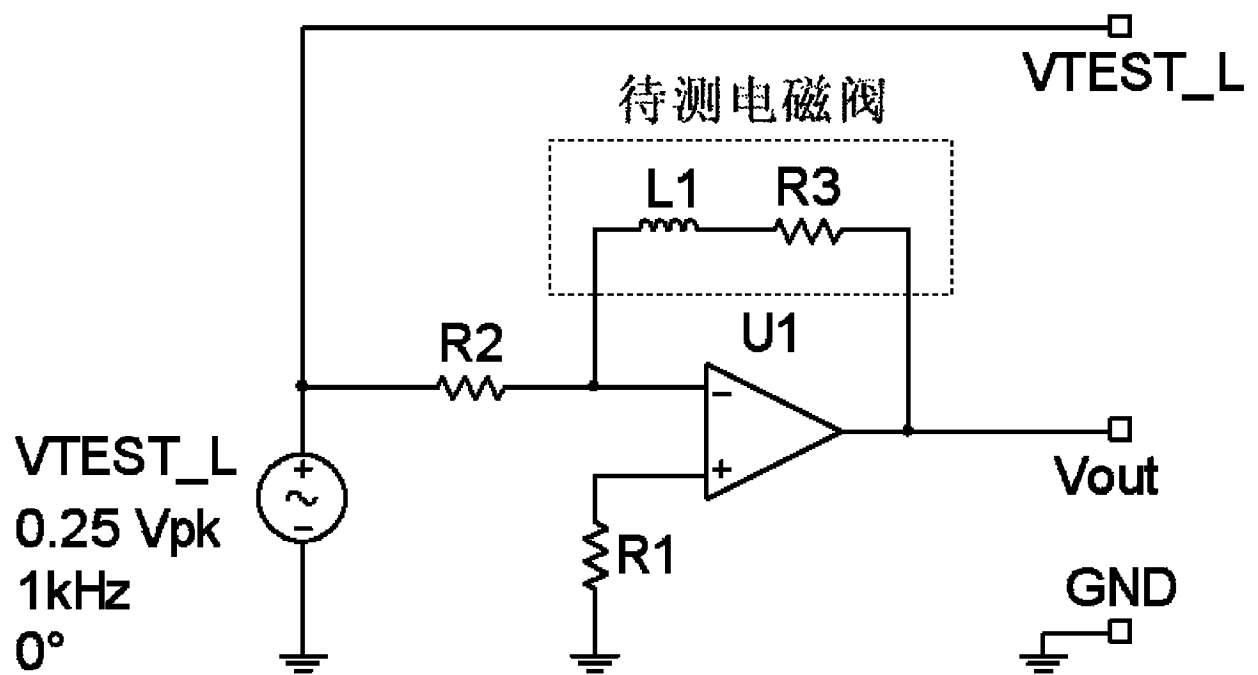


图 7

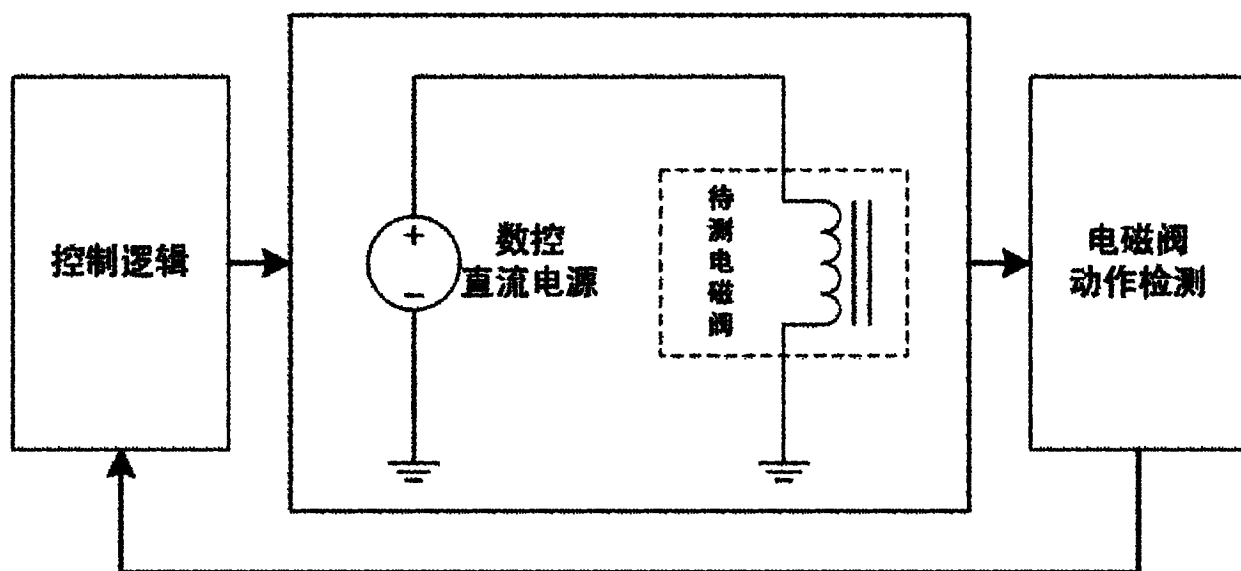


图 8

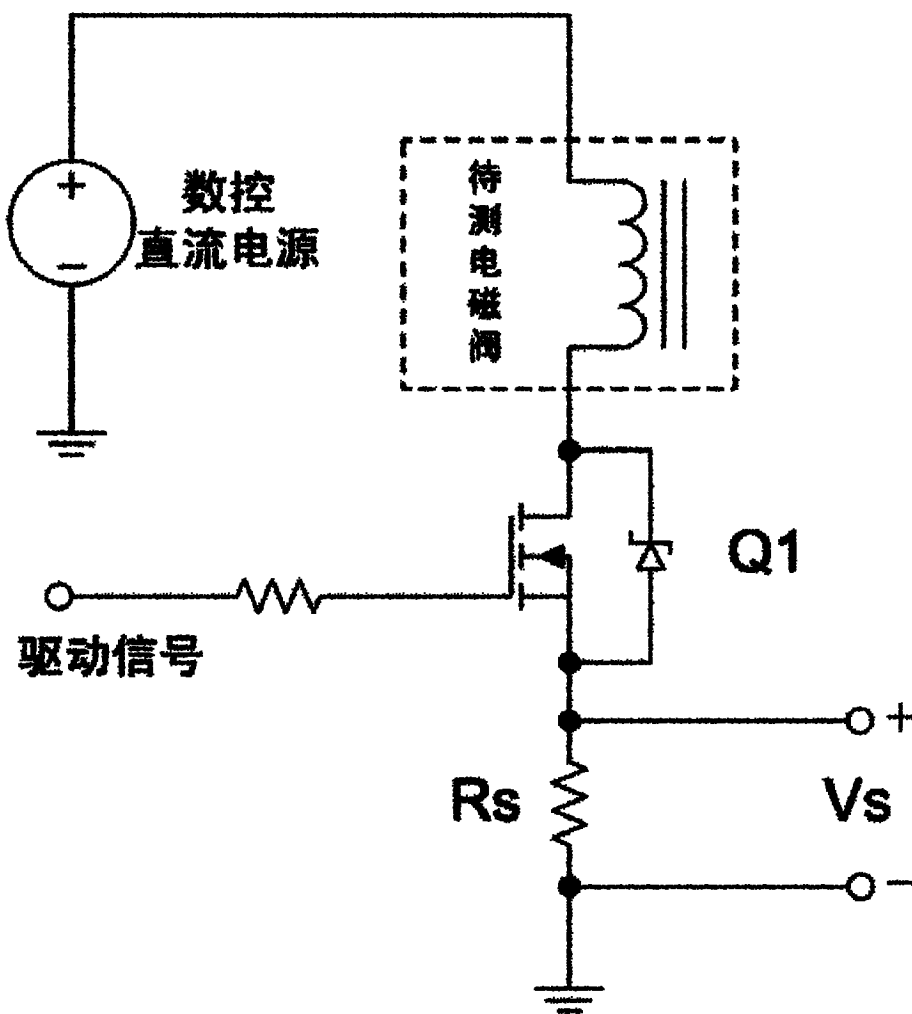


图 9