



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106645910 B

(45)授权公告日 2019.03.29

(21)申请号 201611192341.9

审查员 罗敏

(22)申请日 2016.12.21

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106645910 A

(43)申请公布日 2017.05.10

(73)专利权人 中国电子科技集团公司第三十二研究所

地址 200233 上海市嘉定区嘉罗路1485号

(72)发明人 郭利民 张利芬 施华君 徐标

(74)专利代理机构 上海汉声知识产权代理有限公司 31236

代理人 郭国中

(51)Int.Cl.

G01R 19/25(2006.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图2页

## (54)发明名称

适用于运载火箭电子设备  $\mu$ A级微小电流测试方法

## (57)摘要

本发明公开了一种适用于运载火箭电子设备UA级微小电流测试系统及方法,该系统包括电流积分转换电路、信号隔离放大电路、ADC采样电路、控制检测电路,其中:电流积分转换电路,通过积分电路把电流信号转换为可积分的电压信号;信号隔离放大电路,通过第二电压把经过积分后的电压信号与后级采样和运算线路隔离开,同时又等比例放大作用;ADC采样电路,把经过隔离放大电路的输出信号进行采样,采样后的数据送到FPGA芯片进行控制等。本发明能够提供UA级电流测试精度和准确度,以达到运载火箭电爆管控制电路的定性测量的目的,同时进行多路测试,以提高测试效率。



1. 一种适用于运载火箭电子设备 $\mu\text{A}$ 级微小电流测试方法,其特征在于,使用适用于运载火箭电子设备 $\mu\text{A}$ 级微小电流测试系统实现,

所述适用于运载火箭电子设备 $\mu\text{A}$ 级微小电流测试系统,包括电流积分转换电路、信号隔离放大电路、ADC采样电路、控制检测电路,其中:

电流积分转换电路,通过积分电路把电流信号转换为积分的电压信号;

信号隔离放大电路,通过U2把经过积分后的电压信号与后级采样和运算线路隔离开,同时又起等比例放大作用,其中U2为第二电压比较器;

ADC采样电路,把经过隔离放大电路的输出信号进行采样,采样后的数据送到FPGA芯片进行控制;

控制检测电路,对ADC芯片采集的信号进行处理和运算,并产生T0和T1,其中T0为第一时序信号,T1为第二时序信号;

所述电流积分转换电路的计算公式如下式 $U_{\text{out}} = \frac{1}{C} \int I_{\text{in}} dt$ 所示;

适用于运载火箭电子设备 $\mu\text{A}$ 级微小电流测试方法包括以下步骤:

步骤一,当第一时序信号到来之前,引脚P1为低电平,开关P1闭合,积分电容被短路,此时电压输出为0V,引脚P2为高电平,ADC芯片处于非采样状态;

步骤二,当 $t_0 \leq t \leq 1\text{ms}$ 时,引脚P1由低电平转换到高电平,开关P1打开,积分电路开始积分,同时 $U_{\text{out}}$ 的电压值的计算公式如下式 $U_{\text{out}} = \frac{I_{\text{in}}}{C} \left[ 1 + \frac{R_2}{R_1} \right] (t - t_0)$ 所示, $U_{\text{out}}$ 的电压值随时间的增加而线性增加;

步骤三,当 $t = t_1 \leq 1\text{ms}$ 时,由FPGA芯片的引脚P2产生一个低电平脉冲,ADC芯片进行采样,同时FPGA芯片接收ADC芯片采样的数据;

步骤四,判断 $U_{\text{out}}$ 值是否大于3.5V; $U_{\text{out}}$ 值不大于3.5V,记录 $t_1 = 1\text{ms}$ 的次数,并进行积分,直到 $U_{\text{out}}$ 值大于3.5V; $U_{\text{out}}$ 值大于3.5V时,存储电平值和 $t = 1\text{ms}$ 的次数;

步骤五,根据如上式 $U_{\text{out}} = \frac{I_{\text{in}}}{C} \left[ 1 + \frac{R_2}{R_1} \right] (t - t_0)$ 计算公式所示,计算出 $I_{\text{in}}$ 的值;

其中: $t_0$ 为第一时序信号到来时间;

$t$ 为所用时间;

$U_{\text{out}}$ 为电压的输出值;

$C$ 为电容的容值;

$I_{\text{in}}$ 为电流的输入值;

$t_1$ 为引脚P2产生低电平脉冲时间;

$R_1$ 、 $R_2$ :均是U2反馈网络的电阻值。

## 适用于运载火箭电子设备 $\mu$ A级微小电流测试方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种电流测试系统及方法,特别是涉及一种适用于运载火箭电子设备 $\mu$ A级微小电流测试系统及方法。

### 背景技术

[0002] 目前,国内运载火箭出厂前和装箭前地面测试系统中较多地使用了传统定量测试技术,用于判断电爆管控制设备的功能和性能测试。

[0003] 传统定量测试技术是指判断电爆管控制设备的功能和性能测试是否正常,主要是通过判定控制电路是否大于某个设定的电流值,如果大于则判断为控制电路不合格,不能够装箭。如果小于设定值,则为合格。但是有些器件的漏电流已经接近于不合格,但是不能进行有效的筛选出来,会导致运载火箭在飞行时电子管不该引爆时引爆,导致火箭发射失败,所以现在产品必须对功率管的漏电流进行测试。引申到电子测试时,需要对电子产品的漏电流进行测试。本技术测试主要测试多路 $\mu$ A级的电流。

[0004] 现有精确测试微小电流的技术:微小电流测试的方法有:I/V放大器法、I/F放大器法、积分放大器法,其中:

[0005] I/V转换放大器具有响应速度快,量程范围宽(可调)等特点,只要慎重选择运算放大器,且在工艺上严格制作,其零点漂移、输入阻抗均能满足一般的要求;

[0006] VF放大器虽然较积分放大器响应速度快一些,零点漂移也比较小,但测量范围窄,且电路设计复杂,调试麻烦;

[0007] 积分放大器是在一定时间内放大器的输出电压反映出积分电容两极板积累电荷的多少,只要积分电容介质稳定,漏电足够小,所选用的运算放大器的输入偏置电流小于被测电流所要求的精度,那么放大器就有足够的测量精度。所以,此种放大器具有测量精度高,零点漂移小等优点。但该放大器响应时间长,不宜动态在线测量。

[0008] 专利号为“CN201480038714.X”、专利名称为“电流测量装置”,针对一种能够在短时间内精确地测量大范围的微小电流的电流测量装置,电流测量装置包括:对被测量电流进行积分并输出积分信号的积分电路;低区侧电流测量部,从该积分电路输出的积分信号输入到该低区侧电流测量部,计算与该积分信号的变化率成比例的低区侧电流测量值;高区侧电流测量部,其基于与从积分电路输出的积分信号的周期对应的脉冲信号,计算高区侧电流测量值;根据脉冲信号对存储在积分电路中的电荷进行放电的电荷泵电路;和测量值决定部,其基于由低区侧电流测量部计算出的低区侧电流测量值和由高区侧电流测量部计算出的高区侧电流测量值,来决定被测量电流的测量值。

[0009] 专利号为“CN201310743456.2”、专利名称为“微小电流信号检测装置”,针对一种微小电流信号检测装置,包括电流频率转换电路和核心运算电路,电流信号输入电流频率转换电路,电流频率转换电路转换为频率信号输入核心运算电路,再由核心运算电路将电流值输出,其特征在于:所述电流频率转换电路包括电流积分电路、门限控制及电容充电保护电路、程序控制电路和恒流源电路。

[0010] 专利号为“CN201510843763.7”、专利名称为“一种高电位脉冲微小电流信号测量系统”，针对一种高电位脉冲微小电流信号测量系统，其特征在于，包括依次电连接的罗氏线圈、光纤传输系统和信号还原显示系统，其中：光纤传输系统包括光纤、高压侧电路和低压侧电路，所述光纤的两端分别连接高压侧电路和低压侧电路，所述高压侧电路和所述罗氏线圈电连接，所述低压侧电路和所述信号还原显示系统电连接。

## 发明内容

[0011] 本发明所要解决的技术问题是提供一种适用于运载火箭电子设备 $\mu\text{A}$ 级微小电流测试系统及方法，其能够提供 $\mu\text{A}$ 级电流测试精度和准确度，以达到运载火箭电爆管控制电路的定性测量的目的，同时进行多路测试，以提高测试效率。

[0012] 本发明是通过下述技术方案来解决上述技术问题的：一种适用于运载火箭电子设备 $\mu\text{A}$ 级微小电流测试系统，其包括电流积分转换电路、信号隔离放大电路、ADC采样电路、控制检测电路，其中：

[0013] 电流积分转换电路，通过积分电路把电流信号转换为可积分的电压信号；

[0014] 信号隔离放大电路，通过U2把经过积分后的电压信号与后级采样和运算线路隔离开，同时又等比例放大作用，其中U2为第二电压比较器；

[0015] ADC采样电路，把经过隔离放大电路的输出信号进行采样，采样后的数据送到FPGA芯片进行控制；

[0016] 控制检测电路，对ADC芯片采集的信号进行处理和运算，并产生T0和T1，其中T0为第一时序信号，T1为第二时序信号。

[0017] 优选地，所述电流积分转换电路的计算公式如下式

$$[0018] \quad U_{\text{out}} = \frac{1}{C} \int I_{\text{in}} dt \text{ 所示。}$$

[0019] 本发明还提供一种适用于运载火箭电子设备 $\mu\text{A}$ 级微小电流测试方法，其包括以下步骤：

[0020] 步骤一，当第一时序信号(T0)到来之前( $t < t_0$ )，引脚P1为低电平，开关P1闭合，积分电容被短路，此时电压输出为0V ( $U_{\text{out}} = 0\text{V}$ )，引脚P2为高电平，ADC芯片处于非采样状态；

[0021] 步骤二，当 $t_0 \leq t \leq 1\text{ms}$ 时，引脚P1由低电平转换到高电平，开关P1打开，积分电路

开始积分，同时 $U_{\text{out}}$ 的电压值的计算公式如下式 $U_{\text{out}} = \frac{I_{\text{in}}}{C} \left[ 1 + \frac{R_2}{R_1} \right] (t - t_0)$ 所示， $U_{\text{out}}$ 的电

压值随时间的增加而线性增加；

[0022] 步骤三，当 $t = t_1 \leq 1\text{ms}$ 时，由FPGA芯片的引脚P2产生一个低电平脉冲，ADC芯片进行采样，同时FPGA芯片接收ADC芯片采样的数据；

[0023] 步骤四，判断 $U_{\text{out}}$ 值是否大于3.5V； $U_{\text{out}}$ 值不大于3.5V，记录 $t_1 = 1\text{ms}$ 的次数，并进行积分，直到 $U_{\text{out}}$ 值大于3.5V； $U_{\text{out}}$ 值大于3.5V时，存储电平值和 $t = 1\text{ms}$ 的次数；

[0024] 步骤五，根据如上式 $U_{\text{out}} = \frac{I_{\text{in}}}{C} \left[ 1 + \frac{R_2}{R_1} \right] (t - t_0)$ 计算公式所示，计算出 $I_{\text{in}}$ 的值。

[0025] 本发明的积极进步效果在于：本发明能够提供 $\mu\text{A}$ 级电流测试精度和准确度，以达

到运载火箭电爆管控制电路的定性测量的目的,同时进行多路测试(最多进行128路),以提高测试效率,提高了测试灵敏度和分辨率。

### 附图说明

[0026] 图1为本发明的结构示意图。

[0027] 图2为本发明的流程图。

### 具体实施方式

[0028] 下面结合附图给出本发明较佳实施例,以详细说明本发明的技术方案。

[0029] 如图1所示,本发明适用于运载火箭电子设备 $\mu\text{A}$ (微安)级微小电流测试系统包括电流积分转换电路、信号隔离放大电路、ADC(Analog to Digital Converter,模拟数字转换器)采样电路、控制检测电路,其中:

[0030] 电流积分转换电路,通过积分电路把电流信号转换为可积分的电压信号;

[0031] 信号隔离放大电路,通过U2把经过积分后的电压信号与后级采样和运算线路隔离开,同时又等比例放大作用,其中U2为第二电压比较器;

[0032] ADC采样电路,把经过隔离放大电路的输出信号进行采样,采样后的数据送到FPGA(Field Programmable Gate Array,现场可编程门阵列)芯片进行控制;

[0033] 控制检测电路,对ADC芯片采集的信号进行处理和运算,并产生T0和T1,其中T0为第一时序信号,T1为第二时序信号。

[0034] 所述电流积分转换电路的计算公式如下式(1)所示。

$$[0035] \quad U_{\text{out}} = \frac{1}{C} \int I_{\text{in}} dt \quad (1)$$

[0036]  $U_{\text{out}}$ :电压的输出值,单位:V(伏特)。

[0037] C:电容的容值,单位:F(法拉)。

[0038]  $I_{\text{in}}$ :电流的输入值,单位:A(安培)。

[0039]  $\int I_{\text{in}} dt$ :电流对时间进行积分。

[0040] 如图2所示,本发明适用于运载火箭电子设备 $\mu\text{A}$ 级微小电流测试方法包括以下步骤:

[0041] 步骤一,当第一时序信号(T0)到来之前( $t < t_0$ ),引脚P1为低电平,开关P1闭合,积分电容被短路,此时电压输出为0V( $U_{\text{out}} = 0\text{V}$ ),引脚P2为高电平,ADC芯片处于非采样状态;

[0042] 步骤二,当 $t_0 \leq t \leq 1\text{ms}$ 时,引脚P1由低电平转换到高电平,开关P1打开,积分电路开始积分,同时 $U_{\text{out}}$ 的电压值的计算公式如下式(2)所示, $U_{\text{out}}$ 的电压值随时间的增加而线性增加;

$$[0043] \quad U_{\text{out}} = \frac{I_{\text{in}}}{C} \left[ 1 + \frac{R_2}{R_1} \right] (t - t_0) \quad (2)$$

[0044]  $U_{\text{out}}$ :电压的输出值,单位:V(伏特)。

[0045] C:电容的容值,单位:F(法拉)。

[0046]  $I_{\text{in}}$ :电流的输入值,单位:A(安培)。

[0047]  $R_1, R_2$ :是U2反馈网络的电阻值,单位: $\Omega$ (欧姆)。

[0048] 步骤三,当 $t=t_1 \leq 1\text{ms}$ 时,由FPGA芯片的引脚P2产生一个低电平脉冲,ADC芯片进行采样,同时FPGA芯片接收ADC芯片采样的数据;

[0049] 步骤四,判断 $U_{\text{out}}$ 值是否大于3.5V;如果 $U_{\text{out}}$ 值不大于3.5V,记录  $t_1=1\text{ms}$ 的次数,并进行积分,直到 $U_{\text{out}}$ 值大于3.5V;如果 $U_{\text{out}}$ 值大于3.5V 时,存储电平值和 $t=1\text{ms}$ 的次数(即所用时间);

[0050] 步骤五,根据如上式(2)计算公式所示,计算出 $I_{\text{in}}$ 的值。

[0051] 以上所述的具体实施例,对本发明的解决的技术问题、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

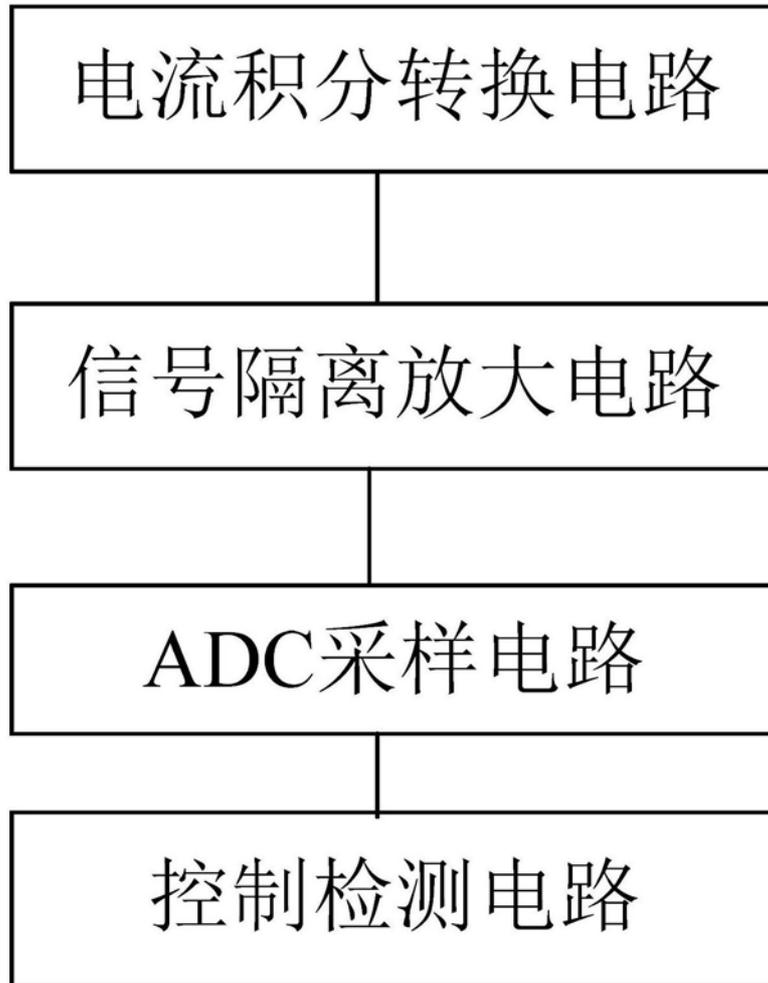


图1

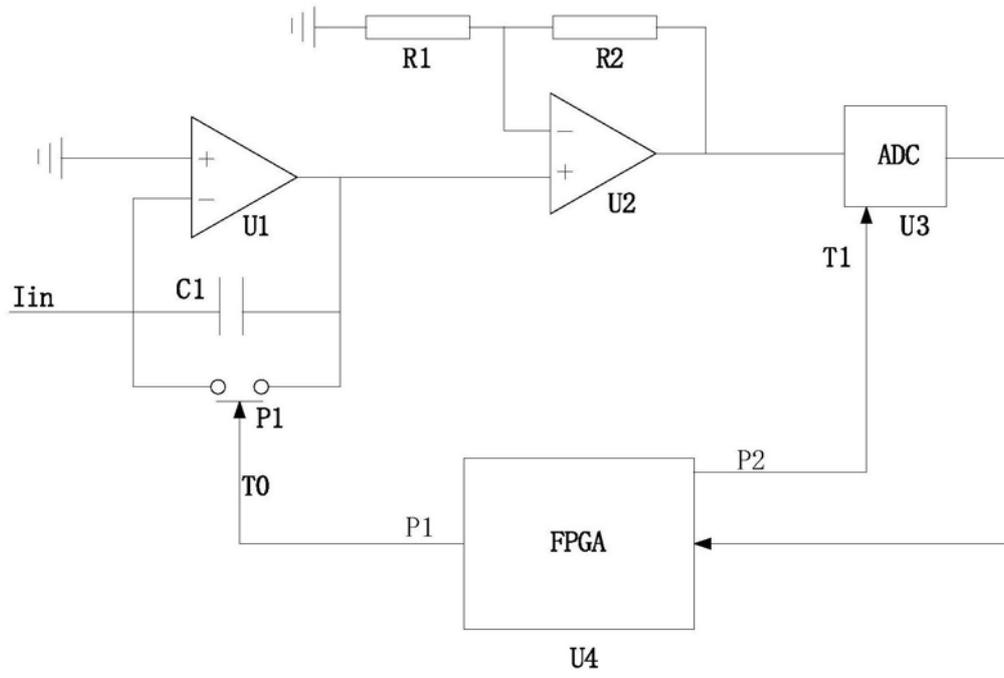


图2