

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103257277 A

(43) 申请公布日 2013. 08. 21

(21) 申请号 201310205020. 8

G06F 9/455(2006. 01)

(22) 申请日 2013. 05. 28

(71) 申请人 天津天狮学院

地址 301700 天津市武清区武清开发区源泉路

(72) 发明人 戴冬冰 王雅君 孙业萍 姜亚萍 刘正光

(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代理事务所 12201

代理人 杜文茹

(51) Int. Cl.

G01R 27/08(2006. 01)

G01R 31/36(2006. 01)

G01R 31/40(2006. 01)

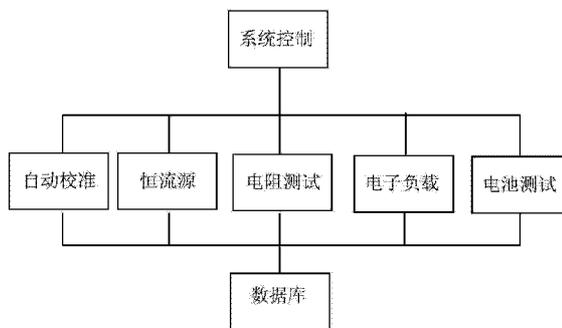
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

基于恒流源的多功能虚拟仪器及控制方法

(57) 摘要

一种基于恒流源的多功能虚拟仪器及控制方法,虚拟仪器有计算机,与计算机通过通信接口相连的恒流源,恒流源连接被测部件。通信接口是采用多功能卡或嵌入式装置。嵌入式装置是通过RS232 串口与计算机相连的 ARM 功能板,或是通过RS232 串口与计算机相连的单片机功能板。方法是主控制程序根据使用者的选择,控制仪器进行恒流源功能的设定,或进行电阻测试,或进行电子负载功能的测试,或进行蓄电池性能测试,或进行自动校准。本发明将恒流源功能、测试电阻、电子负载和测试蓄电池性能四种功能集成在一个虚拟仪器中,集成度高使用方便,适合在实验室电气测试,工厂产品检验,以及高校虚拟仪器实验室用,克服了应用场合需要配备多台仪器,使用不方便的问题。



1. 一种基于恒流源的多功能虚拟仪器,包括有计算机(1),其特征在于,还设置有与计算机(1)通过通信接口(2)相连的恒流源(3),所述的恒流源(3)连接被测部件(4)。

2. 根据权利要求1所述的基于恒流源的多功能虚拟仪器,其特征在于,所述的通信接口(2)是采用多功能卡(21)或嵌入式装置(22)。

3. 根据权利要求2所述的基于恒流源的多功能虚拟仪器,其特征在于,所述的嵌入式装置(22)是通过 RS232 串口与计算机(1)相连的 ARM 功能板,或是通过 RS232 串口与计算机(1)相连的单片机功能板。

4. 根据权利要求1所述的基于恒流源的多功能虚拟仪器,其特征在于,所述的恒流源(3)包括有积分器 U2、比例放大器 U1 和场效应管 T1,其中,所述的积分器 U2 的输入端通过电阻 R3 连接通信接口(2),由通信接口输出恒流源的设定值,积分器 U2 的该端还通过电阻 R4 连接所述比例放大器 U1 的输出端,所述积分器 U2 的输出端通过电阻 R1 连接场效应管 T1 的栅极,所述比例放大器 U1 的输入端连接电阻 R2 的两端,通过 R2 采样输出电流,所述场效应管 T1 的漏极连接电源 V,恒流源(3)的输出通过接线端子 J1 连接被测部件(4)。

5. 一种用于权利要求1所述的基于恒流源的多功能虚拟仪器的控制方法,其特征在于,是主控制程序根据使用者的选择,控制仪器进行恒流源功能的设定,或进行电阻测试,或进行电子负载功能的测试,或进行蓄电池性能测试,或进行自动校准,具体包括如下步骤:

1) 通过虚拟仪器的一级窗口,选择自动校准,或恒流源,或电阻测试,或电子负载功能测试,

2) 判断是否建立数据库,若不建立直接进入下一步骤,建立则先建立数据库后再进入下一步骤;

3) 判断是否进行自动校准,是则进入自动校准程序,否则进入下一步骤;

4) 判断是否进行恒流源功能的设定,是则进入恒流源程序,否则进入下一步骤;

5) 判断是否进行电阻测试,是则进入电阻测试程序,否则进入下一步骤;

6) 判断是否进行电子负载功能测试,是则进入电子负载功能测试程序,否则进入下一步骤;

7) 判断是否进行蓄电池性能测试,是则进入蓄电池性能测试程序,否则返回步骤1)继续循环。

6. 根据权利要求5所述的用于基于恒流源的多功能虚拟仪器的控制方法,其特征在于,所述的自动校准程序包括如下步骤:

1) 自动校准界面初始化;

2) 设定校准电流;

3) 输出校准电流,采样电流和电压;

4) 输入基准电流和电压;

5) 判断是否还继续校准,是则返回步骤2)继续进行,否则进入下一步骤;

6) 进行曲线拟合计算校准参数并存入数据库;

所述曲线拟合计算校准参数的方法:取设定电流值3—5个点,采样对应的输出电流值,再输入对应的基准电流值,应用数学中的曲线拟合理论计算校准参数。

7) 返回主控制程序。

7. 根据权利要求 5 所述的用于基于恒流源的多功能虚拟仪器的控制方法,其特征在于,所述的恒流源程序包括如下步骤:

- 1) 恒流源界面初始化;
- 2) 设定电流和采样周期;
- 3) 输出电流,定时采样电流和电压;
- 4) 存储并显示更新输出电流,以及采样电流和电压;
- 5) 判断是否结束恒流源程序,是则返回主控制程序,否则返回步骤 3) 继续。

8. 根据权利要求 5 所述的用于基于恒流源的多功能虚拟仪器的控制方法,其特征在于,所述的电阻测试程序包括如下步骤:

- 1) 对电阻测试界面进行初始化;
- 2) 设定恒流源电流;
- 3) 输出电流,采样电流和电压;
- 4) 计算被测电阻值;
- 5) 显示更新后的输出电流、采样电流、采样电压和被测电阻值;
- 6) 判断是否继续进行电阻测试,是则返回步骤 2), 否则返回主控制程序。

9. 根据权利要求 5 所述的用于基于恒流源的多功能虚拟仪器的控制方法,其特征在于,所述的电子负载功能测试程序包括如下步骤:

- 1) 对电子负载界面进行初始化;
- 2) 设定恒流源电流值和采样周期;
- 3) 输出电流,并定时采样电流和电压;
- 4) 计算被测电源精度;
- 5) 显示更新的输出电流、采样电流、采样电压和被测电源精度;
- 6) 将输出电流、采样电流、采样电压和被测电源精度存入数据库;
- 7) 判断是否继续进行电子负载功能测试,是则返回步骤 2) 继续进行,否则返回主控制程序。

10. 根据权利要求 5 所述的用于基于恒流源的多功能虚拟仪器的控制方法,其特征在于,所述的蓄电池性能测试程序包括如下步骤:

- 1) 电池测试界面初始化;
- 2) 设定充电或放电;
- 3) 设定恒流源电流和采样周期;
- 4) 输出电流,并定时采样电流和电压;
- 5) 计算被测电池容量;
- 6) 显示更新输出电流、采样电流、采样电压和被测电池容量;
- 7) 将输出电流、采样电流、电压和被测电池容量存入数据库;
- 8) 判断是否继续进行测试,是则返回步骤 2) 继续,否则返回主控制程序。

基于恒流源的多功能虚拟仪器及控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种检测仪器。特别是涉及一种用于常见电气参数测量的基于恒流源的多功能虚拟仪器及控制方法。

背景技术

[0002] 虚拟仪器技术是在计算机技术的基础上发展起来的,它利用高性能的模块化硬件,结合高效灵活的软件来完成各种测试、测量和自动化应用。

[0003] 在电气领域,对恒流源、测试电阻、电子负载和蓄电池性能的测试是最常用最普遍的测试,通常我们所见到的测量仪器都是单一功能,即测试恒流源,只能用测试恒流源的仪器,测试电阻,只能用测试电阻的仪器,测试电子负载,只能用测试电子负载的仪器,测试蓄电池性能,只能用测试蓄电池性能的仪器,并且四种功能单一的测试仪器结构复杂,成本高。

[0004] 虚拟仪器具有性能高、扩展性强、开发时间少,以及出色的集成等优势。虚拟仪器是仪器计算机化的产物,是集成化仪器的基础,是仪器领域的一场革命,是多学科交叉的结果。虚拟仪器技术的快速发展,使得可以在一台虚拟仪器中同时集成多种测试功能。

[0005] 如图 1 所示,通常虚拟仪器的结构包括有依次连接的:计算机 A、通信接口 B 和测控电路 C,所述的测控电路 C 连接测控对象 D。这种结构的虚拟仪器通常仅具有单一的测控功能。

发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是,提供一种将恒流源功能、测试电阻、电子负载和测试蓄电池性能集成在一个仪器中的基于恒流源的多功能虚拟仪器及控制方法。

[0007] 本发明所采用的技术方案是:一种基于恒流源的多功能虚拟仪器,包括有计算机,还设置有与计算机通过通信接口相连的恒流源,所述的恒流源连接被测部件。

[0008] 所述的通信接口是采用多功能卡或嵌入式装置。

[0009] 所述的嵌入式装置是通过 RS232 串口与计算机相连的 ARM 功能板,或是通过 RS232 串口与计算机相连的单片机功能板。

[0010] 所述的恒流源包括有积分器 U2、比例放大器 U1 和场效应管 T1,其中,所述的积分器 U2 的输入端通过电阻 R3 连接通信接口,由通信接口输出恒流源的设定值,积分器 U2 的该端还通过电阻 R4 连接所述比例放大器 U1 的输出端,所述积分器 U2 的输出端通过电阻 R1 连接场效应管 T1 的栅极,所述比例放大器 U1 的输入端连接电阻 R2 的两端,通过 R2 采样输出电流,所述场效应管 T1 的漏极连接电源 V,恒流源的输出通过接线端子 J1 连接被测部件。

[0011] 一种用于基于恒流源的多功能虚拟仪器的控制方法,是主控制程序根据使用者的选择,控制仪器进行恒流源功能的设定,或进行电阻测试,或进行电子负载功能的测试,或进行蓄电池性能测试,或进行自动校准,具体包括如下步骤:

[0012] 1) 通过虚拟仪器的一级窗口,选择自动校准,或恒流源,或电阻测试,或电子负载

功能测试，

[0013] 2) 判断是否建立数据库，若不建立直接进入下一步骤，建立则先建立数据库后再进入一一步骤；

[0014] 3) 判断是否进行自动校准，是则进入自动校准程序，否则进入下一步骤；

[0015] 4) 判断是否进行恒流源功能的设定，是则进入恒流源程序，否则进入下一步骤；

[0016] 5) 判断是否进行电阻测试，是则进入电阻测试程序，否则进入下一步骤；

[0017] 6) 判断是否进行电子负载功能测试，是进入电子负载功能测试程序，否则进入下一步骤；

[0018] 7) 判断是否进行蓄电池性能测试，是则进入蓄电池性能测试程序，否则返回步骤 1) 继续循环。

[0019] 所述的自动校准程序包括如下步骤：

[0020] 1) 自动校准界面初始化；

[0021] 2) 设定校准电流；

[0022] 3) 输出校准电流，采样电流和电压；

[0023] 4) 输入基准电流和电压；

[0024] 5) 判断是否还继续校准，是则返回步骤 2) 继续进行，否则进入下一步骤；

[0025] 6) 进行曲线拟合计算校准参数并存入数据库；

[0026] 所述曲线拟合计算校准参数的方法：取设定电流值 3—5 个点，采样对应的输出电流值，再输入对应的基准电流值，应用数学中的曲线拟合理论计算校准参数。

[0027] 7) 返回主控制程序。

[0028] 所述的恒流源程序包括如下步骤：

[0029] 1) 恒流源界面初始化；

[0030] 2) 设定电流和采样周期；

[0031] 3) 输出电流，定时采样电流和电压；

[0032] 4) 存储并显示更新输出电流，以及采样电流和电压；

[0033] 5) 判断是否结束恒流源程序，是则返回主控制程序，否则返回步骤 3) 继续。

[0034] 所述的电阻测试程序包括如下步骤：

[0035] 1) 对电阻测试界面进行初始化；

[0036] 2) 设定恒流源电流；

[0037] 3) 输出电流，采样电流和电压；

[0038] 4) 计算被测电阻值；

[0039] 5) 显示更新后的输出电流、采样电流、采样电压和被测电阻值；

[0040] 6) 判断是否继续进行电阻测试，是则返回步骤 2)，否则返回主控制程序。

[0041] 所述的电子负载功能测试程序包括如下步骤：

[0042] 1) 对电子负载界面进行初始化；

[0043] 2) 设定恒流源电流值和采样周期；

[0044] 3) 输出电流，并定时采样电流和电压；

[0045] 4) 计算被测电源精度；

[0046] 5) 显示更新的输出电流、采样电流、采样电压和被测电源精度；

- [0047] 6) 将输出电流、采样电流、采样电压和被测电源精度存入数据库；
- [0048] 7) 判断是否继续进行电子负载功能测试，是则返回步骤 2) 继续进行，否则返回主控制程序。
- [0049] 所述的蓄电池性能测试程序包括如下步骤：
- [0050] 1) 电池测试界面初始化；
- [0051] 2) 设定充电或放电；
- [0052] 3) 设定恒流源电流和采样周期；
- [0053] 4) 输出电流，并定时采样电流和电压；
- [0054] 5) 计算被测电池容量；
- [0055] 6) 显示更新输出电流、采样电流、采样电压和被测电池容量；
- [0056] 7) 将输出电流、采样电流、电压和被测电池容量存入数据库；
- [0057] 8) 判断是否继续进行测试，是则返回步骤 2) 继续，否则返回主控制程序。
- [0058] 本发明的基于恒流源的多功能虚拟仪器及控制方法，在一台仪器中同时具备恒流源功能、测试电阻、电子负载和测试蓄电池性能四种测试功能，将四种测试功能集成在一个虚拟仪器系统中，集成度高使用方便，特别适合在实验室电气测试，工厂产品检验，以及高校虚拟仪器实验室用，克服了应用场合需要配备多台仪器，使用不方便的问题。

附图说明

- [0059] 图 1 是现有技术的虚拟仪器的构成框图；
- [0060] 图 2 是本发明的构成框图；
- [0061] 图 3 是本发明第一实施例的构成框图；
- [0062] 图 4 是本发明第二实施例的构成框图；
- [0063] 图 5 是本发明中恒流源的电路原理图；
- [0064] 图 6 是本发明计算机中的软件框图；
- [0065] 图 7 是本发明系统控制流程图；
- [0066] 图 8 是本发明自动校准流程图；
- [0067] 图 9 是本发明恒流源流程图；
- [0068] 图 10 是本发明电阻测试流程图；
- [0069] 图 11 是本发明电子负载功能测试；
- [0070] 图 12 是本发明蓄电池测试流程图。
- [0071] 图中
- | | |
|------------------|------------|
| [0072] 1 : 计算机 | 2 : 通信接口 |
| [0073] 3 : 恒流源 | 4 : 被测部件 |
| [0074] 21 : 多功能卡 | 22 : 嵌入式装置 |

具体实施方式

[0075] 下面结合实施例和附图对本发明的基于恒流源的多功能虚拟仪器及控制方法做出详细说明。

[0076] 如图 2 所示，本发明的基于恒流源的多功能虚拟仪器，包括有计算机 1，还设置有

与计算机 1 通过通信接口 2 相连的恒流源 3,所述的恒流源 3 连接被测部件 4。

[0077] 通信接口 2 的功能是用于完成计算机 1 与恒流源 3 之间的数据通信。恒流源 3 是本发明采用的高精度大功率恒流源部件,用于现有技术中的测控电路。

[0078] 如图 3 所示,所述的通信接口 2 是采用多功能卡 21。即通信接口采用 USB 多功能卡完成计算机与测控电路之间的数据通信。

[0079] 采用多功能卡的特点是,各种功能主要由计算机中的虚拟仪器软件实现,更适合高校虚拟仪器实验室建设,用于电气类大学生的虚拟仪器课程实验。

[0080] 本实施例的多功能卡是采用北京阿尔泰公司的 USB2833 多功能卡,经 USB 接口与计算机连接,多功能卡输出与恒流源输入经扁平电缆连接,恒流源的输出通过接线端子连接被测部件。

[0081] 如图 4 所示,所述的通信接口 2 还可以是采用嵌入式装置 22。即通信接口采用 ARM 或单片机完成计算机与测控电路之间的数据通信。

[0082] 所述的嵌入式装置 22 是通过 RS232 串口与计算机 1 相连的 ARM 功能板,或是通过 RS232 串口与计算机 1 相连的单片机功能板。可以采用成品 ARM 功能板或单片机功能板,如 ARM9 系列开发板,或 51 系列单片机开发板。

[0083] 计算机经 RS232 串口连接 ARM 功能板或单片机功能板,ARM 功能板或单片机功能板输出与恒流源输入经扁平电缆连接,恒流源的输出接线端子连接被测部件。

[0084] 采用 ARM 或单片机的特点是,各种功能主要由计算机中的虚拟仪器软件和嵌入式系统软件联合实现,系统软硬件复杂,但可以二次开发出更复杂的功能。

[0085] 如图 5 所示,所述的恒流源 3 包括有积分器 U2、比例放大器 U1 和场效应管 T1,其中,所述的积分器 U2 的输入端通过电阻 R3 连接通信接口 2,由通信接口输出恒流源的设定值,积分器 U2 的该端还通过电阻 R4 连接所述比例放大器 U1 的输出端,所述积分器 U2 的输出端通过电阻 R1 连接场效应管 T1 的栅极,所述比例放大器 U1 的输入端连接电阻 R2 的两端,通过 R2 采样输出电流,形成 PI 控制,达到恒定输出电流的目的,所述场效应管 T1 的漏极连接电源 V,恒流源 3 的输出通过接线端子 J1 连接被测部件 4。

[0086] 本发明由于采用恒流源 3,所以具有以下四种测试功能:

[0087] 1、恒流源功能:高精度大功率恒流源可用于测试和电子实验。

[0088] 2、电阻测试:高精度大功率恒流源流过被测电阻,采用被测电阻两端电压,即可计算出被测电阻,测试精度取决于恒流源的精度,电阻量程取决于恒流源的量程。

[0089] 3、电子负载功能:能够准确检测出负载电压,精确调整负载电流,可以模拟负载实际工作情况,和模拟一些特殊的负载要求,主要用于电源调试检测。

[0090] 4、蓄电池性能测试:主要包括检测电流、电压、容量和寿命等,蓄电池性能测试仪器是电化学领域生产与科研的必备仪器。

[0091] 本发明的基于恒流源的多功能虚拟仪器的硬件核心部件是恒流源 3,系统的核心是基于 LabView 的虚拟仪器系统软件,将四种测试功能集成在同一个虚拟仪器测试平台内,调用不同的测试软件即实现不同的测试功能。虚拟仪器软件采用 LabView 语言编制,多功能虚拟仪器系统软件框图如图 6 所示。

[0092] 系统控制软件:友好的人机界面,可选择不同的测试功能。

[0093] 自动校准软件:按自动校准理论校准恒流源量程和精度。

[0094] 恒流源软件：设定恒流源参数，采样恒流源输出电压和电流。

[0095] 电阻测试软件：按恒流源法测试微小电阻参数。

[0096] 电子负载软件：模拟负载实际工作情况，调试检测电源特性。

[0097] 蓄电池性能测试软件：按照电化学理论检测蓄电池性能。

[0098] 数据库：所有测试数据存在数据库中，具有数据库管理功能。

[0099] 本发明的用于基于恒流源的多功能虚拟仪器的控制方法，是主控制程序根据使用者的选择，控制仪器进行恒流源功能的设定，或进行电阻测试，或进行电子负载功能的测试，或进行蓄电池性能测试，或进行自动校准。

[0100] 如图 7 所示，主控制程序具体包括如下步骤：

[0101] 1) 通过虚拟仪器的一级窗口，选择自动校准，或恒流源，或电阻测试，或电子负载功能测试，或蓄电池性能测试；

[0102] 2) 判断是否建立数据库，若不建立直接进入下一步骤，建立则先建立数据库后再进入一一步骤；

[0103] 3) 判断是否进行自动校准，是则进入自动校准程序，否则进入下一步骤；

[0104] 4) 判断是否进行恒流源功能的设定，是则进入恒流源程序，否则进入下一步骤；

[0105] 5) 判断是否进行电阻测试，是则进入电阻测试程序，否则进入下一步骤；

[0106] 6) 判断是否进行电子负载功能测试，是则进入电子负载功能测试程序，否则进入下一步骤；

[0107] 7) 判断是否进行蓄电池性能测试，是则进入蓄电池性能测试程序，否则返回步骤 1) 继续循环。

[0108] 本发明的自动校准功能能够校准恒流源精度、电流采样精度和电压采样精度。如图 8 所示，所述的自动校准程序包括如下步骤：

[0109] 1) 自动校准界面初始化；

[0110] 2) 设定校准电流；

[0111] 3) 输出校准电流，采样电流和电压；

[0112] 4) 输入基准电流和电压；

[0113] 5) 判断是否还继续校准，是则返回步骤 2) 继续进行，否则进入下一步骤；

[0114] 6) 进行曲线拟合计算校准参数并存入数据库；

[0115] 所述曲线拟合计算校准参数的方法：取设定电流值 3—5 个点，采样对应的输出电流值，再输入对应的基准电流值，应用数学中的曲线拟合理论计算校准参数。

[0116] 7) 返回主控制程序。

[0117] 本发明的恒流源功能可以设定恒流源的量程，电流大小。如图 9 所示，所述的恒流源程序包括如下步骤：

[0118] 1) 恒流源界面初始化；

[0119] 2) 设定电流和采样周期；

[0120] 3) 输出电流，定时采样电流和电压；

[0121] 4) 存储并显示更新输出电流，以及采样电流和电压；

[0122] 5) 判断是否结束恒流源程序，是则返回主控制程序，否则返回步骤 3) 继续。

[0123] 本发明的电阻测试是根据电阻大小设定恒流源的值，输出恒流源设定值，采样流

过电阻两端的电流和电压,求出电阻值,并在窗口中显示设定电流、采样电流、电压和被测电阻值。如图 10 所示,所述的电阻测试程序包括如下步骤:

- [0124] 1) 对电阻测试界面进行初始化;
- [0125] 2) 设定恒流源电流;
- [0126] 3) 输出电流,采样电流和电压;
- [0127] 4) 计算被测电阻值,即用采样电压除以电流;
- [0128] 5) 显示更新后的输出电流、采样电流、采样电压和被测电阻值;
- [0129] 6) 判断是否继续进行电阻测试,是则返回步骤 2), 否则返回主控制程序。

[0130] 本发明的电子负载功能测试可以设定采样周期,恒流源的值,输出恒流源设定值,定时采样电子负载两端的电压和电流,显示并存储采样值,计算出被测电源的精度,功率。如图 11 所示,所述的电子负载功能测试程序包括如下步骤:

- [0131] 1) 对电子负载界面进行初始化;
- [0132] 2) 设定恒流源电流值和采样周期;
- [0133] 3) 输出电流,并定时采样电流和电压;
- [0134] 4) 计算被测电源精度,即用被测电源的输出电压与标准输出电压进行比较,得出被测电源精度;
- [0135] 5) 显示更新的输出电流、采样电流、采样电压和被测电源精度;
- [0136] 6) 将输出电流、采样电流、采样电压和被测电源精度存入数据库;
- [0137] 7) 判断是否继续进行电子负载功能测试,是则返回步骤 2) 继续进行,否则返回主控制程序。

[0138] 本发明的蓄电池性能测试能够设定恒流充电和恒流放电,设定采样周期,设定充电和放电的电流,输出设定值,采样被测电池的电流和电压,显示并存储,计算出被测电池的容量等。如图 12 所示,所述的蓄电池性能测试程序包括如下步骤:

- [0139] 1) 电池测试界面初始化;
- [0140] 2) 设定充电或放电;
- [0141] 3) 设定恒流源电流和采样周期;
- [0142] 4) 输出电流,并定时采样电流和电压;
- [0143] 5) 计算被测电池容量,即用电流乘以时间得到电池容量;
- [0144] 6) 显示更新输出电流、采样电流、采样电压和被测电池容量;
- [0145] 7) 将输出电流、采样电流、电压和被测电池容量存入数据库;
- [0146] 8) 判断是否继续进行测试,是则返回步骤 2) 继续,否则返回主控制程序。

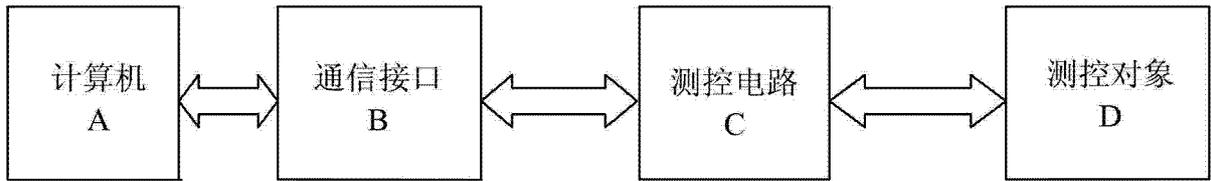


图 1

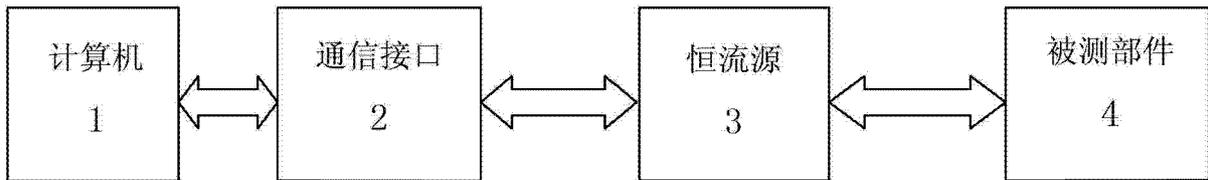


图 2

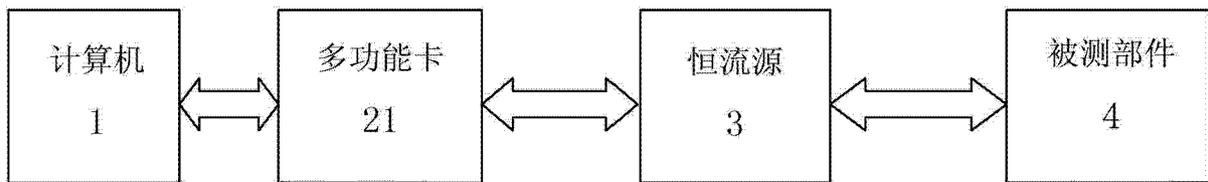


图 3

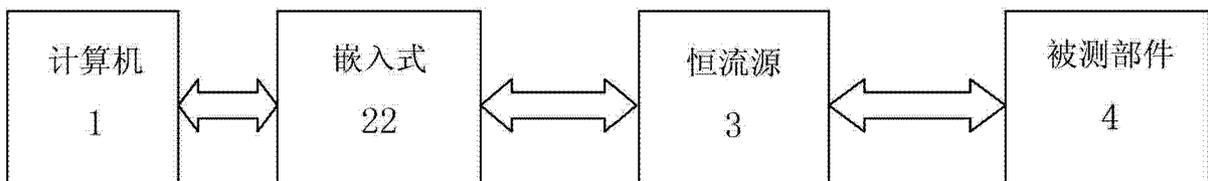


图 4

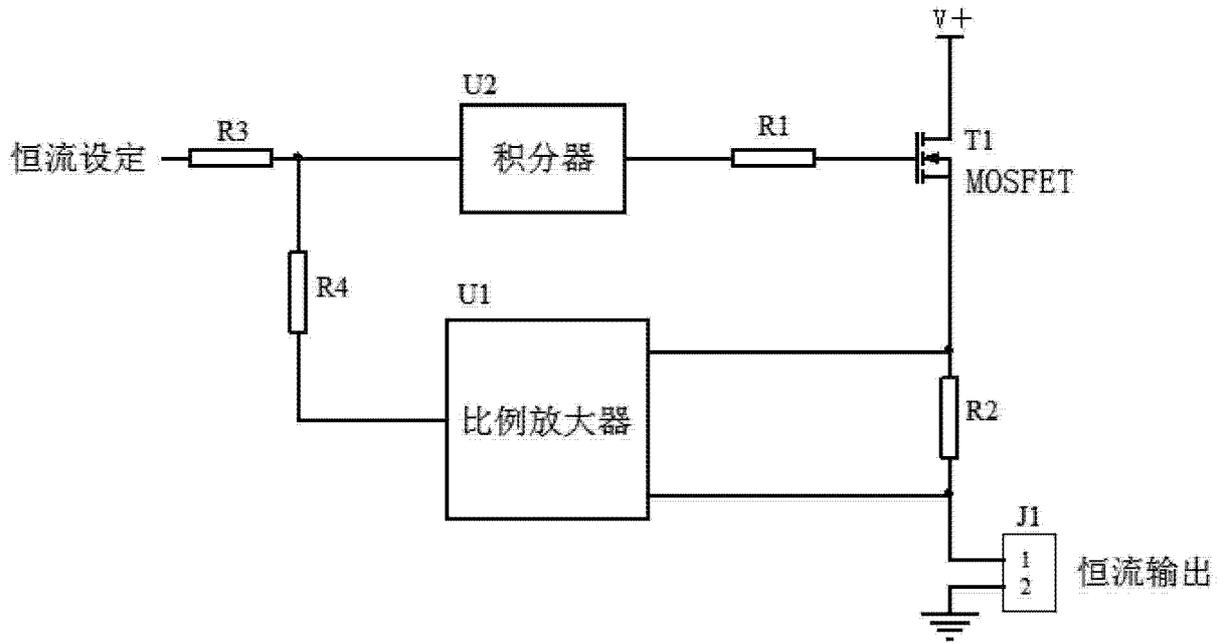


图 5

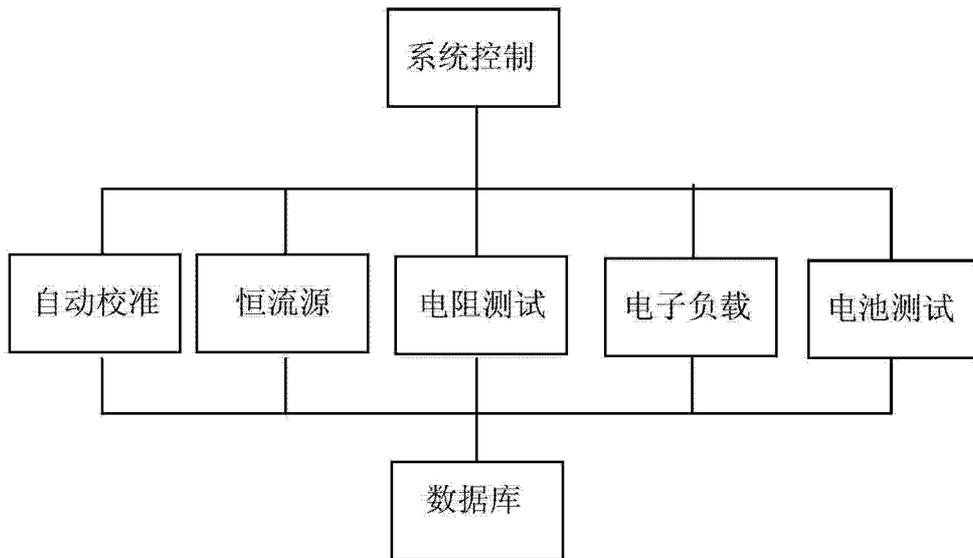


图 6

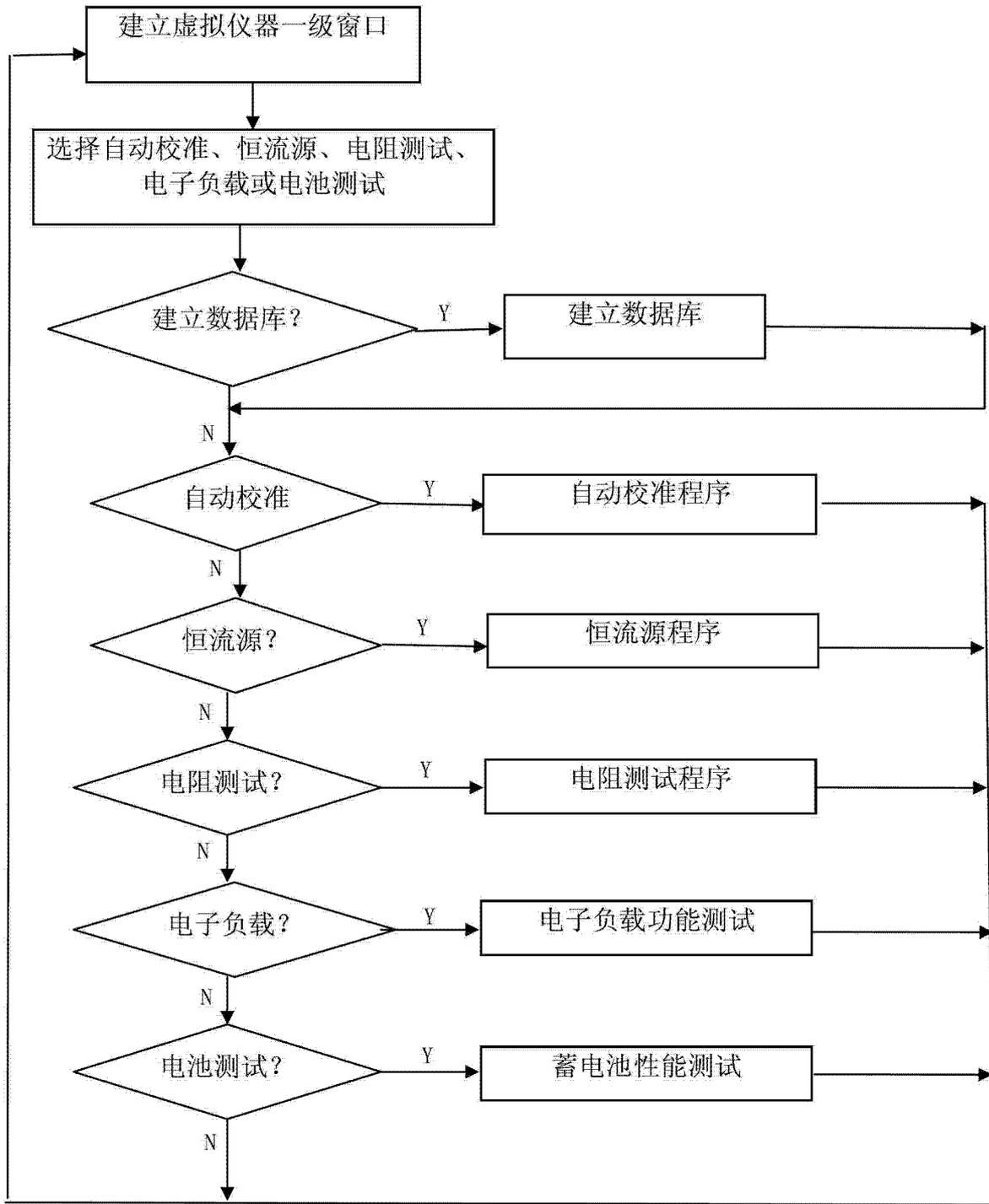


图 7

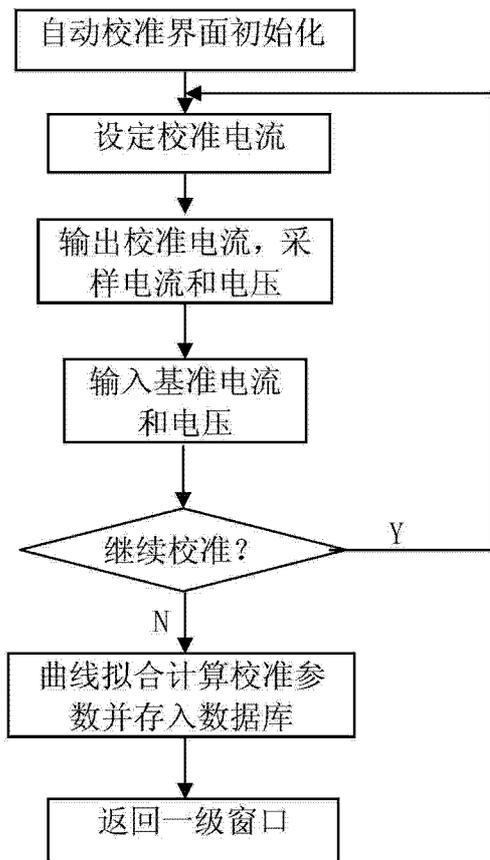


图 8

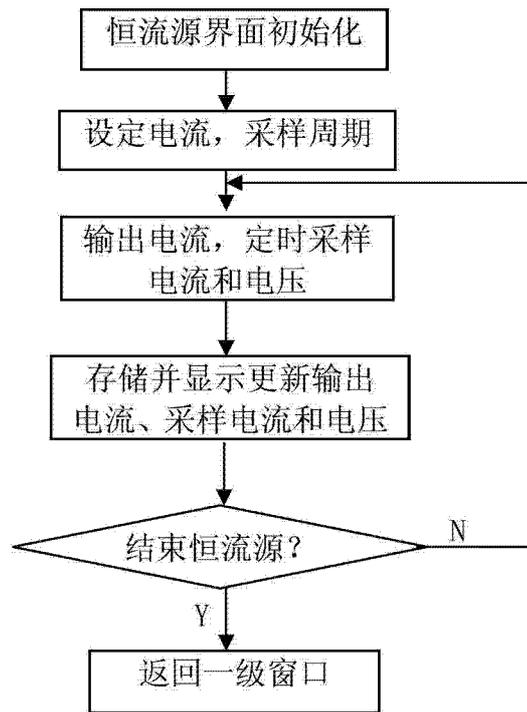


图 9

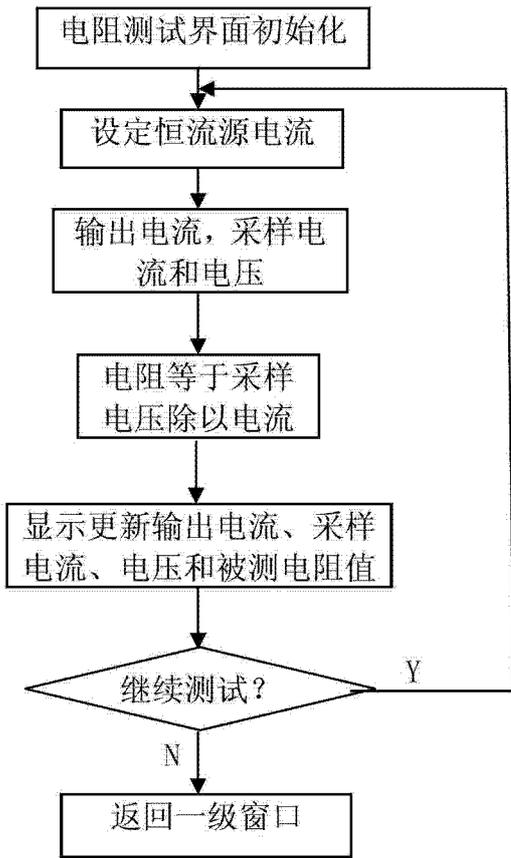


图 10

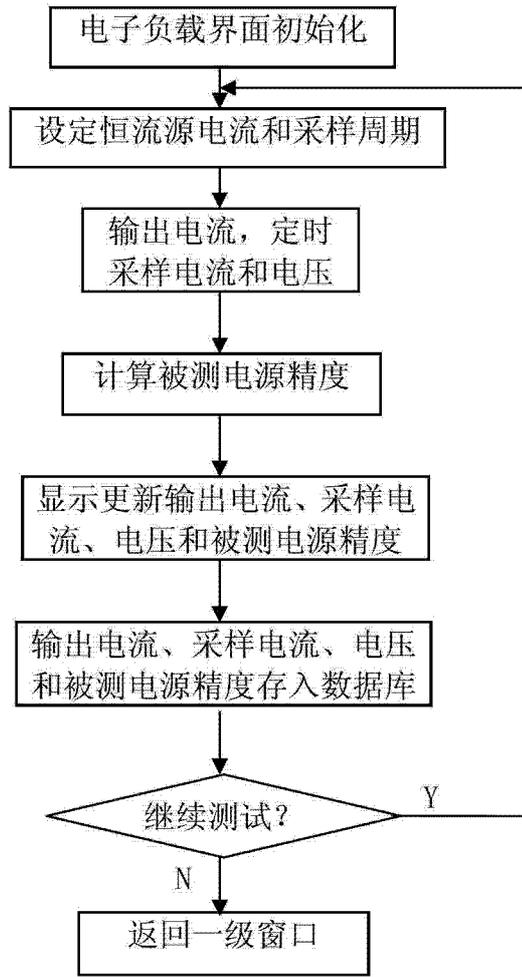


图 11

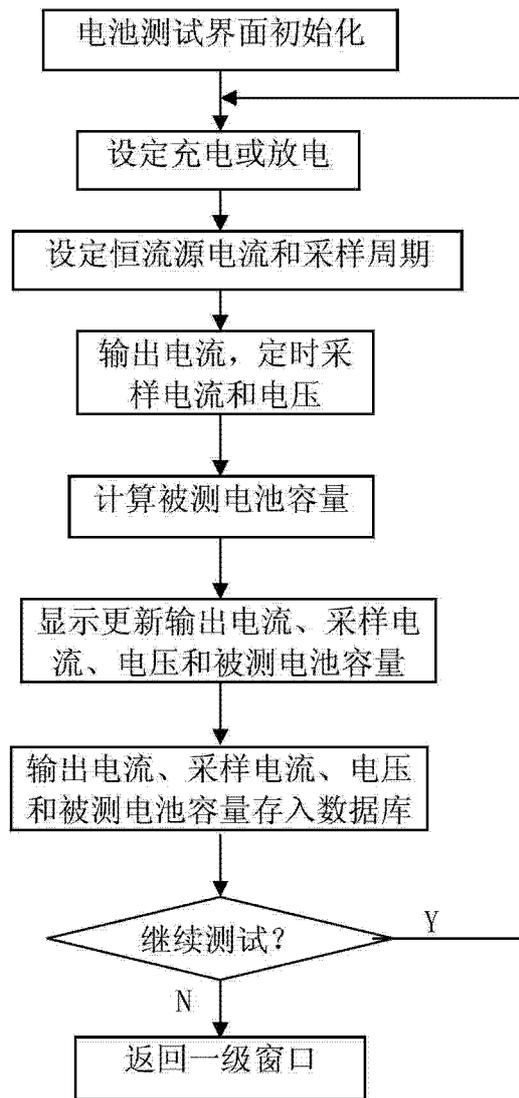


图 12