



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109324231 A

(43)申请公布日 2019.02.12

(21)申请号 201811462470.4

(22)申请日 2018.12.03

(71)申请人 苏州共元自控技术有限公司

地址 215500 江苏省苏州市常熟高新技术  
产业开发区湖山路333号同济科技广  
场1幢401

(72)发明人 赵红雁 于彬 郑琼林 杜吉飞

(51)Int.Cl.

G01R 27/18(2006.01)

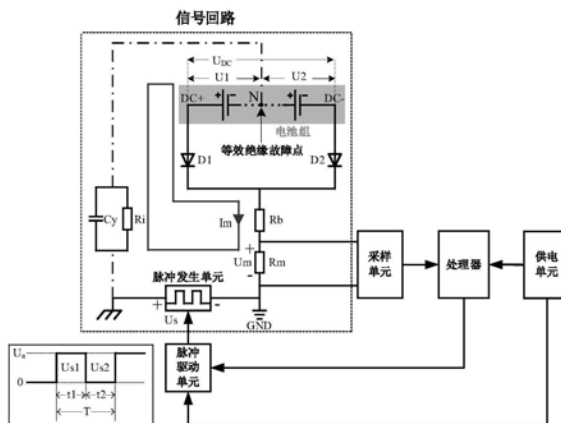
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法

(57)摘要

本发明公开一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法,用于检测电动汽车高压系统的对地绝缘电阻值,该装置及方法包括信号回路、脉冲发生单元、驱动单元、采样单元和处理器等,脉冲发生单元产生电流经由所测量的绝缘电阻流入电池组,再经过二极管、限流电阻以及采样电阻回流至脉冲发生单元,构成电流回路。采样单元采集采样电阻上的电压值,进行信号处理。处理器输出脉冲驱动信号,将驱动电源斩波成为脉冲信号;同时处理器接收采样单元的电压信号进行模拟/数字转换,最后通过采样的电压值计算出电池组对大地的等效电阻。本发明可实现检测电池组内部任何位置的对地绝缘电阻值并将故障位置锁定,对车身系统无影响。



1. 一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法,包括信号回路、脉冲发生单元、驱动单元、采样单元和处理器,所述信号回路中设有电池组,所述信号回路中电池组通过串联二极管D1、D2与限流电阻Rb和采样电阻Rm连接,所述采样电阻Rm连接脉冲发生单元Us,所述脉冲发生单元Us正极与汽车底盘连接,然后经过等效对地绝缘电阻Ri及其并联电容Cy串联至电池组的等效绝缘故障点N,所述采样单元和脉冲驱动单元分别与处理器相连接,所述供电单元分别为脉冲驱动单元和处理器等提供电源输出。

2. 根据权利要求1所述的一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法,其特征在于:所述信号回路中二极管D1、D2的串接方向以及脉冲发生单元电压极性的差异,提供两种绝缘检测方案,所述信号回路起自电池组正极DC+和负极DC-,电池组正极DC+和负极DC-分别连接二极管D1和D2的阳极,二极管D1和D2的阴极并接在一起,后经由限流电阻Rb、采样电阻Rm、脉冲发生单元Us以及电池组对地等效绝缘电阻Ri及其并联电容Cy后回到电池组等效绝缘故障点N,进而构成整个信号回路。

3. 根据权利要求1所述的一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法,其特征在于:所述脉冲发生单元包括脉冲驱动单元和输出耦合,作为信号回路的激励源,脉冲驱动单元产生周期为T的低频脉冲激励信号, $T=t_1+t_2$ ,其中 $t_1$ 半周期输出为 $U_{s1}$ ,其值为 $U_a$ , $t_2$ 半周期输出为 $U_{s2}$ ,其值为0,周期可达秒级,脉冲发生单元采用双电力电子开关管推挽输出方式,实现信号的周期脉冲输出,脉冲发生单元所输出电源由供电单元提供,输出耦合将脉冲输出信号经过RLC电路耦合至信号回路。

4. 根据权利要求1所述的一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法,其特征在于:所述采样单元包括隔离单元、信号滤波单元和信号叠加单元,采样单元分别在 $t_1$ 半周期和 $t_2$ 半周期采集电阻Rm上的电压信号 $U_{m1}$ 和 $U_{m2}$ ,通过隔离方式,保证采样单元对前级电路输出高阻抗,对后级电路输出低阻抗,信号滤波单元将该信号经过多阶滤波进行信号处理,最终的采样信号经过信号叠加单元,无论前级输入信号为正或为负,均可调理成为处理器能够接受的信号范围,交由处理器进行模拟/数字转换。

5. 根据权利要求1所述的一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法,其特征在于:所述处理器用于实现采样信号模拟/数字转换、算法计算、脉冲驱动信号输出以及与整车网络的通讯功能。

6. 根据权利要求1所述的一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法,其特征在于:所述供电单元采用反激隔离式多路输出DC/DC转换模式,输入直流电压范围9~36V,第一路输出12V,用于系统供电;第二路输出40V,用于提供激励源正电压;第三路输出5V,用于为处理器供电;第四路输出1.8V~2.5V,用于为装置中具有特殊电压输入要求的芯片供电;第五路输出10V,用于为供电单元自身控制芯片供电。

7. 根据权利要求1所述的一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法,其特征在于:求得等效绝缘电阻Ri,绝缘电阻Ri为多点绝缘电阻并联的等效值,即电池组内部任何一点或多点对地绝缘电阻值的并联值,绝缘电阻Ri的计算公式如下:

$$R_i = \frac{R_m \times U_a}{U_{m1} - U_{m2}} - R_b - R_m \quad (1)$$

根据式(1)所得等效绝缘电阻Ri,可以计算出等效绝缘故障点N处的电压值,从而锁定等效绝缘故障所在的位置,即:

$$U_{DCE} = U_{DC} - \frac{U_a \times U_{m2}}{U_{m1} - U_{m2}} \quad (2)$$

式(2)所得出的 $U_{DCE}$ 即为等效绝缘故障点N至电池组负极DC-的电压值,从而可以根据 $U_{DCE}$ 的值判定等效绝缘故障点N在电池组中的位置。

所得等效绝缘电阻 $R_i$ 的计算公式为:

$$R_i = \frac{R_m \times U_a}{U_{m2} - U_{m1}} - R_b - R_m \quad (3)$$

得到的等效绝缘故障点N至电池组负极DC-的电压值为:

$$U_{DCE} = \frac{U_a \times U_{m1}}{U_{m2} - U_{m1}} \quad (4)$$

其中:

$R_i$ 代表电池组对地绝缘电阻并联等效值;

$U_a$ 代表脉冲发生器输出的正脉冲电压值;

$R_m$ 代表采样电阻阻值;

$R_b$ 代表直流限流电阻阻值;

$U_{m1}$ 代表脉冲发生器 $t_1$ 半周期内采样电阻上的电压采样值;

$U_{m2}$ 代表脉冲发生器 $t_2$ 半周期内采样电阻上的电压采样值;

$U_{DCE}$ 代表等效绝缘故障点N至电池组负极DC-的电压值;

$U_{DC}$ 代表电池组正极DC+与负极DC-之间电压值,即电池组电压。

## 一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电动汽车电池组技术领域,具体为一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法。

### 背景技术

[0002] 随着能源危机和环境污染与日俱增,发展高效、节能、零排放的清洁型电动汽车成为国内外汽车工业发展的必然趋势。随着国家标准GB/T18384.3-2015中对于人员触电防护的要求,所有电动汽车生产商已将高压动力电池组的绝缘安全性能视为重中之重。

[0003] 传统针对纯电动汽车高压动力电池组绝缘电阻的偏置电阻切换检测方法的工作过程具有不可靠性,不能响应动力电池组内部发生的对地绝缘故障,同时对电池组的直流高压具有很强依赖性,无法实现零电压或低电压检测。

### 发明内容

[0004] (一)解决的技术问题

[0005] 针对现有技术的不足,本发明提供了一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法,解决了目前纯电动汽车高压动力电池组绝缘电阻的偏置电阻切换检测方法的工作过程具有不可靠性,不能响应动力电池组内部发生的对地绝缘故障,同时对电池组的直流高压具有很强依赖性,无法实现零电压或低电压检测的问题。

[0006] (二)技术方案

[0007] 为实现以上目的,本发明通过以下技术方案予以实现:一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法,包括信号回路、脉冲发生单元、驱动单元、采样单元和处理器,所述信号回路中设有电池组,所述信号回路中电池组通过串联二极管D1、D2与限流电阻Rb和采样电阻Rm连接,所述采样电阻Rm连接脉冲发生单元Us,所述脉冲发生单元Us正极与汽车底盘连接,然后经过等效对地绝缘电阻Ri及其并联电容Cy串联至电池组的等效绝缘故障点N,所述采样单元和脉冲驱动单元分别与处理器相连接,所述供电单元分别为脉冲驱动单元和处理器等提供电源输出。

[0008] 作为本发明的进一步优选方式,所述信号回路中二极管D1、D2的串接方向以及脉冲发生单元电压极性的差异,提供两种绝缘检测方案,所述信号回路起自电池组正极DC+和负极DC-,电池组正极DC+和负极DC-分别连接二极管D1和D2的阳极,二极管D1和D2的阳极并接在一起,后经由限流电阻Rb、采样电阻Rm、脉冲发生单元Us以及电池组对地等效绝缘电阻Ri及其并联电容Cy后回到电池组等效绝缘故障点N,进而构成整个信号回路。经由电池组正极DC+和负极DC-分别串接二极管。在保证两个二极管方向一致的前提下,其连接方向并无严格要求。作为负载并联在电动汽车电池组的正负极两端,任何一种连接方式,都可保证二极管D1和D2中的其中一支恒工作于截止状态,因此装置自身对于电池组无回路,理想状态下漏电流趋近于零。在于在信号回路中,经由电池组正极DC+和负极DC-分别串接二极管。在保证两个二极管方向一致的前提下,其连接方向并无严格要求。根据图1的二极管接法,由

于电池组直流电压 $U_{dc}$ 恒为非负值,根据信号回路的电流流向和基尔霍夫定律分析,二极管D1阳极连接电池组正极DC+进而使得D1承受正向电压而恒导通,二极管D2承受反向电压而恒截止。同理,根据图2的二极管接法,D2承受正向电压而恒导通,D1承受反向电压而恒截止。本装置优势在于,作为负载并联在电动汽车电池组的正负极两端,此种情况下,采取图1或图2的任何一种接法,都可保证二极管D1和D2中的其中一支恒工作于截止状态,因此装置自身对于电池组无回路,理想状态下漏电流趋近于零。

[0009] 作为本发明的进一步优选方式,所述脉冲发生单元包括脉冲驱动单元和输出耦合,作为信号回路的激励源,脉冲驱动单元产生周期为 $T$ 的低频脉冲激励信号, $T=t_1+t_2$ ,其中 $t_1$ 半周期输出为 $U_{s1}$ ,其值为 $U_a$ , $t_2$ 半周期输出为 $U_{s2}$ ,其值为0,周期可达秒级,其中脉冲发生单元的电压正负极方向与所采用的二极管D1和D2连接方向有关,即必须适应二极管恒导通之电流流向,保证信号回路的电流正常流通,脉冲发生单元采用双电力电子开关管推挽输出方式,实现信号的周期脉冲输出,脉冲发生单元所输出电源由供电单元提供,输出耦合将脉冲输出信号经过RLC电路耦合至信号回路。

[0010] 作为本发明的进一步优选方式,所述采样单元包括隔离单元、信号滤波单元和信号叠加单元,采样单元分别在 $t_1$ 半周期和 $t_2$ 半周期采集电阻 $R_m$ 上的电压信号 $U_{m1}$ 和 $U_{m2}$ ,通过隔离方式,保证采样单元对前级电路输出高阻抗,对后级电路输出低阻抗,信号滤波单元将该信号经过多阶滤波进行信号处理。信号回路中二极管D1、D2以及脉冲发生单元电压正负极方向的不同,其信号回路的电流方向截然相反,从而导致采样电阻 $R_m$ 上的电压也会有正电压和负电压之区别。因此为保证处理器适应宽范围采样信号的输入,最终的采样信号需要经过信号叠加单元,无论前级输入信号为正或为负,均可调理成为处理器能够接受的信号范围,交由处理器进行模拟/数字转换。

[0011] 作为本发明的进一步优选方式,所述处理器用于实现采样信号模拟/数字转换、算法计算、脉冲驱动信号输出以及与整车网络的通讯功能。

[0012] 作为本发明的进一步优选方式,所述供电单元采用反激隔离式多路输出DC/DC转换模式,输入直流电压范围9~36V,第一路输出12V,用于系统供电;第二路输出40V,用于提供激励源正电压;第三路输出5V,用于为处理器供电;第四路输出1.8V~2.5V,用于为装置中具有特殊电压输入要求的芯片供电;第五路输出10V,用于为供电单元自身控制芯片供电。

[0013] 作为本发明的进一步优选方式,所述根据图1可求得等效绝缘电阻 $R_i$ 。绝缘电阻 $R_i$ 为多点绝缘电阻并联的等效值,即电池组内部任何一点或多点对地绝缘电阻值的并联值。绝缘电阻 $R_i$ 的计算公式如下:

$$[0014] \quad R_i = \frac{R_m \times U_a}{U_{m1} - U_{m2}} - R_b - R_m \quad (1)$$

[0015] 根据式(1)所得等效绝缘电阻 $R_i$ ,可以计算出等效绝缘故障点N处的电压值,从而锁定等效绝缘故障所在的位置,即:

$$[0016] \quad U_{DCE} = U_{DC} - \frac{U_a \times U_{m2}}{U_{m1} - U_{m2}} \quad (2)$$

[0017] 式(2)所得出的 $U_{DCE}$ 即为等效绝缘故障点N至电池组负极DC-的电压值,从而可以根据 $U_{DCE}$ 的值判定等效绝缘故障点N在电池组中的位置。

[0018] 根据图2所得等效绝缘电阻 $R_i$ 的计算公式为:

$$[0019] \quad R_i = \frac{R_m \times U_a}{U_{m2} - U_{m1}} - R_b - R_m \quad (3)$$

[0020] 根据图2得到的等效绝缘故障点N至电池组负极DC-的电压值为:

$$[0021] \quad U_{DCE} = \frac{U_a \times U_{m1}}{U_{m2} - U_{m1}} \quad (4)$$

[0022] 其中:

[0023]  $R_i$ 代表电池组对地绝缘电阻并联等效值;

[0024]  $U_a$ 代表脉冲发生器输出的正脉冲电压值;

[0025]  $R_m$ 代表采样电阻阻值;

[0026]  $R_b$ 代表直流限流电阻阻值;

[0027]  $U_{m1}$ 代表脉冲发生器 $t_1$ 半周期内采样电阻上的电压采样值;

[0028]  $U_{m2}$ 代表脉冲发生器 $t_2$ 半周期内采样电阻上的电压采样值;

[0029]  $U_{DCE}$ 代表等效绝缘故障点N至电池组负极DC-的电压值;

[0030]  $U_{DC}$ 代表电池组正极DC+与负极DC-之间电压值,即电池组电压。

[0031] (三)有益效果

[0032] 本发明提供了一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法,具备以下有益效果:

[0033] 采用低频信号注入方式实现,具有检测精度高、反应速度快等优点,同时该测量方法可实现零电压监测,能实现与高压动力电池组的有效隔断,保证电动汽车的安全运行。

### 附图说明

[0034] 图1为本发明一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法的方案一系统原理示意图;

[0035] 图2为本发明一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法的方案二系统原理示意图;

[0036] 图3为本发明一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法的采样单元示意图。

[0037] 图4为本发明一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法的脉冲输出单元示意图。

[0038] 图5为本发明一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法的供电单元示意图。

[0039] 图6为本发明一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法的信号回路示意图。

[0040] 图7为本发明一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法的等效信号回路A示意图。

[0041] 图8为本发明一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法的等效信号回路B示意图。

## 具体实施方式

[0042] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0043] 请参阅图1-8,本发明实施例提供一种技术方案:一种电动汽车电池组直流对地绝缘电阻检测装置及方法,包括信号回路、脉冲发生单元、驱动单元、采样单元和处理器,所述信号回路中设有电池组,所述信号回路中电池组通过串联二极管D1、D2与限流电阻Rb和采样电阻Rm连接,所述采样电阻Rm连接脉冲发生单元Us,所述脉冲发生单元Us正极与汽车底盘连接,然后经过等效对地绝缘电阻Ri及其并联电容Cy串联至电池组的等效绝缘故障点N,所述采样单元和脉冲驱动单元分别与处理器相连接,所述供电单元分别为脉冲驱动单元和处理器等提供电源输出。

[0044] 信号回路:连接方式如下:电池组正极DC+与二极管D1阳极(或阴极)连接,电池组负极DC-与二极管D2阳极(或阴极)连接;二极管D1与D2共阴极(或共阳极)共同连接至限流电阻Rb一端,Rb二端连接采样电阻Rm一端;采样电阻Rm二端连接脉冲发生单元负极(或正极),同时将脉冲发生单元负极(或正极)设定为系统数字地;脉冲发生单元正极(或负极)连接大地;大地与对地等效绝缘电阻Ri及其并联电容Cy一端连接;等效绝缘电阻Ri及其并联电容Cy二端连接电池组内部的等效绝缘故障点N。

[0045] 采样单元:采样单元分为三部分。根据图3,由运算放大器U1组成隔离单元,实现采样电压输入高阻抗,输出低阻抗。由运算放大器U2组成信号滤波单元,实现采样信号滤波整合。由运算放大器U3组成信号叠加单元,由于二极管D1、D2与脉冲信号发生单元Us连接方向有两种不同方式,导致采样电阻上的采样电压也会有正和负电压区别,为了适应宽范围输入的采样信号,需要信号叠加单元将信号调理成为处理器能够接受的信号范围,最后输出信号进入处理器。

[0046] 脉冲输出单元:包括脉冲驱动单元和输出耦合单元。根据图4,脉冲驱动单元采用电力电子开关器件组成推挽输出,驱动信号采取光耦隔离方式,将开关器件与处理器实现电气隔离。组成推挽桥臂的上下两个电力电子开关器件Q1、Q2选择压控型有源功率开关管,因为其压控特性,所以对前级电路输出电流要求很小。同时为避免推挽桥臂上下开关管Q1和Q2同时导通导致直通或短路情况,驱动信号Driver1和Driver2之间添加死区处理。脉冲驱动单元以时间T为周期循环输出脉冲信号, $T=t_1+t_2$ , $t_1$ 半周期输出电压为Us1,其值为Ua, $t_2$ 半周期输出电压为Us2,其值为0。输出耦合单元采取RLC耦合方式,可有效针对高频谐波实现去耦合处理。

[0047] 供电单元:采用反激隔离式DC/DC多路输出电源,通过变压器实现输入与输出隔离。隔离耐压可达2500Vac/min。输入侧为9~36V宽范围输入,输出共有12V,5V,40V,1.8V~2.5V,10V等五路输出。第一路输出12V,用于系统供电,同时,以12V所在输出支路作为驱动闭环反馈回路,实现开关管占空比的自适应调整。第二路输出40V,用于提供激励源正电压;第三路输出5V,用于为处理器供电;第四路输出1.8V~2.5V,用于为装置中具有特殊电压输入要求的芯片供电;第五路输出10V,用于为供电单元自身控制芯片供电。

[0048] 图1中信号回路中,所述信号回路中二极管D1、D2的串接方向以及脉冲发生单元电

压极性的差异,提供两种绝缘检测方案,所述信号回路起自电池组正极DC+和负极DC-,电池组正极DC+和负极DC-分别连接二极管D1和D2的阳极,二极管D1和D2的阳极并接在一起,后经由限流电阻R<sub>b</sub>、采样电阻R<sub>m</sub>、脉冲发生单元U<sub>s</sub>以及电池组对地等效绝缘电阻R<sub>i</sub>及其并联电容C<sub>y</sub>后回到电池组等效绝缘故障点N,进而构成整个信号回路。等效绝缘电阻R<sub>i</sub>的计算方法和推导方式相同,此处根据图1进行推导分析,以下为该装置系统原理上推导电池组直流对地等效绝缘电阻R<sub>i</sub>的过程:

[0049] 首先说明信号回路中二极管D1、D2的工作方式:由于电池组直流电压U<sub>DC</sub>恒为正值,可以得到如下关系式:

$$[0050] \quad U_1 + U_2 = U_{DC} \geq 0 \quad (5)$$

[0051] 由不等式(5)可推导出:

$$[0052] \quad U_1 \geq -U_2 \quad (6)$$

[0053] 其中:

[0054] U<sub>1</sub>代表电池组正极DC+至等效绝缘故障点N的电压;

[0055] U<sub>2</sub>代表等效绝缘故障点N至电池组负极DC-的电压。

[0056] 根据电流流向和基尔霍夫定律,忽略二极管导通压降情况下,可推导出:

$$[0057] \quad U_{D2+} = U_s - I_m \times R_i - U_2 \quad (7)$$

$$[0058] \quad U_{D2-} = U_s - I_m \times R_i + U_1 \quad (8)$$

[0059] 其中:

[0060] U<sub>s</sub>代表脉冲源电压;

[0061] I<sub>m</sub>代表回路电流;

[0062] R<sub>i</sub>代表等效绝缘电阻;

[0063] U<sub>D2+</sub>代表二极管D2阳极至控制地GND的电压;

[0064] U<sub>D2-</sub>代表二极管D2阴极至控制地GND的电压。

[0065] 由不等式(6)和式(7)及式(8)可得:U<sub>D2-</sub> ≥ U<sub>D2+</sub>恒成立,可知二极管D2恒处于反压状态,故而恒为截止状态。

[0066] 下面分析计算绝缘电阻R<sub>i</sub>:

[0067] 将图1中的信号回路中所有电源等效为理想电压源,可得简化后的信号回路如图6所示。在简化后的信号回路中电源有U<sub>1</sub>、U<sub>2</sub>及U<sub>s</sub>,将U<sub>1</sub>和U<sub>2</sub>作为一个整体考虑,U<sub>s</sub>单独作为一个整体考虑。则根据叠加原理,整个信号回路的工作效应是由U<sub>1</sub>、U<sub>2</sub>单独作用(U<sub>s</sub>视为短路状态)时与U<sub>s</sub>单独作用(U<sub>1</sub>和U<sub>2</sub>视为短路状态)时的作用的叠加。因此,当U<sub>1</sub>、U<sub>2</sub>单独作用,U<sub>s</sub>视为短路时,图6中的信号回路可等效为图7所示结构,而当U<sub>s</sub>单独作用,U<sub>1</sub>、U<sub>2</sub>视为短路时,图6中的信号回路可等效为图8所示结构。

[0068] 由图7,当U<sub>1</sub>、U<sub>2</sub>单独作用,U<sub>s</sub>视为短路时,根据基尔霍夫定律可得:

$$[0069] \quad I_{ma} = \frac{U_1}{R_b + R_m + R_i} \quad (9)$$

$$[0070] \quad I_{mb} = 0 \quad (10)$$

[0071] 由图8,当U<sub>s</sub>单独作用,U<sub>1</sub>、U<sub>2</sub>视为短路时,可得:

$$[0072] \quad I_{mc} = \frac{U_s}{R_b + R_m + R_i} \quad (11)$$



[0073] 将式(9)、(10)和(11)联立叠加,可得到采样电阻 $R_m$ 上的总电流 $I_m$ 为:

$$[0074] \quad I_m = \frac{U_1 + U_s}{R_b + R_m + R_i} \quad (12)$$

[0075] 当脉冲发生单元 $U_s$ 工作在 $t_1$ 半周期时,脉冲电压视为 $U_{s1}$ ;当 $U_s$ 工作在 $t_2$ 半周期时,脉冲电压视为 $U_{s2}$ ,则结合式(12)可得在脉冲发生单元 $U_s$ 的前后半周期下电流 $I_m$ 的值分别为:

$$[0076] \quad I_{m1} = \frac{U_1 + U_{s1}}{R_b + R_m + R_i} \quad (13)$$

$$[0077] \quad I_{m2} = \frac{U_1 + U_{s2}}{R_b + R_m + R_i} \quad (14)$$

[0078] 将式(13)与式(14)联立相减并化简可得等效绝缘电阻 $R_i$ 为:

$$[0079] \quad R_i = \frac{U_{s1} - U_{s2}}{I_{m1} - I_{m2}} - R_b - R_m \quad (15)$$

[0080] 对式(15)中各个中间量分别进行标定,其中:

[0081] 脉冲发生单元 $U_s$ 的 $t_1$ 半周期电压值确定为:

$$[0082] \quad U_{s1} = U_a \quad (16)$$

[0083] 脉冲发生单元 $U_s$ 的 $t_2$ 半周期电压值确定为:

$$[0084] \quad U_{s2} = 0 \quad (17)$$

[0085] 根据欧姆定律,在脉冲发生单元 $U_s$ 的 $t_1$ 半周期内采样电阻 $R_m$ 上的电压和电流关系:

$$[0086] \quad \frac{U_{m1}}{R_m} = I_{m1} \quad (18)$$

[0087] 脉冲发生器 $t_2$ 半周期采样电阻的电压和电流关系:

$$[0088] \quad \frac{U_{m2}}{R_m} = I_{m2} \quad (19)$$

[0089] 将式(16)、(17)、(18)、(19)带入式(15)可得:

$$[0090] \quad R_i = \frac{R_m \times U_a}{U_{m1} - U_{m2}} - R_b - R_m \quad (20)$$

[0091] 公式(20)即为最终计算得出电池组对地等效并联电阻值 $R_i$ 。

[0092] 下面分析计算绝缘故障点N至电池组负极DC-的直流电压值,将式(13)、(14)联立相加可得:

$$[0093] \quad I_{m1} + I_{m2} = \frac{2U_1 + U_{s1} + U_{s2}}{R_b + R_m + R_i} \quad (21)$$

[0094] 将式(16)、(17)代入式(21)并化简可得电池组正极DC+至等效绝缘故障点N的电压 $U_1$ 为:

$$[0095] \quad U_1 = \frac{U_a \times U_{m2}}{U_{m1} - U_{m2}} \quad (22)$$

[0096] 根据式(22),可以推导出绝缘故障点N至电池组负极DC-的直流电压值:

$$[0097] \quad U_{DCE} = U_{DC} - U_1 = U_{DC} - \frac{U_a \times U_{m2}}{U_{m1} - U_{m2}} \quad (23)$$

[0098] 根据式(23)所得出的UDCE即为绝缘故障点N至电池组负极DC-的电压值,从而可以判定绝缘故障点N在电池组中的位置。

[0099] 结论:按照图1连接方式,所得出的绝缘电阻Ri的计算公式为式(20),绝缘故障点N至电池组负极DC-的电压值UDCE的计算公式为式(23)。

[0100] 同理,若按照图2连接方式,Ri及UDCE的推导原理与方法和方案一相同,所得结果分别为:

$$[0101] \quad R_i = \frac{R_m \times U_a}{U_{m2} - U_{m1}} - R_b - R_m \quad (24)$$

$$[0102] \quad U_{DCE} = U_2 = \frac{U_a \times U_{m1}}{U_{m2} - U_{m1}} \quad (25)$$

[0103] 其中:

[0104] Ri代表电池组对地绝缘电阻并联等效值;

[0105] Ua代表脉冲发生单元输出的正脉冲电压值;

[0106] Rm代表采样电阻阻值;

[0107] Rb代表直流限流电阻阻值;

[0108] Um1代表脉冲发生单元在t1半周期内采样电阻上的电压采样值;

[0109] Um2代表脉冲发生单元在t2半周期内采样电阻上的电压采样值;

[0110] UDCE代表等效绝缘故障点N至电池组负极DC-的电压值;

[0111] UDC代表电池组正极DC+至负极DC-电压值;

[0112] Us1代表脉冲发生单元在t1半周期的输出电压;

[0113] Us2代表脉冲发生单元在t2半周期的输出电压;

[0114] Im1代表脉冲发生单元在t1半周期内采样电阻上的电流;

[0115] Im2代表脉冲发生单元在t2半周期内采样电阻上的电流。

[0116] 以上显示和描述了本发明的基本原理和主要特征和本发明的优点,对于本领域技术人员而言,显然本发明不限于上述示范性实施例的细节,而且在不背离本发明的精神或基本特征的情况下,能够以其他的具体形式实现本发明。因此,无论从哪一点来看,均应将实施例看作是示范性的,而且是非限制性的,本发明的范围由所附权利要求而不是上述说明限定,因此旨在将落在权利要求的等同要件的含义和范围内的所有变化囊括在本发明内。不应将权利要求中的任何附图标记视为限制所涉及的权利要求。

[0117] 此外,应当理解,虽然本说明书按照实施方式加以描述,但并非每个实施方式仅包含一个独立的技术方案,说明书的这种叙述方式仅仅是为清楚起见,本领域技术人员应当将说明书作为一个整体,各实施例中的技术方案也可以经适当组合,形成本领域技术人员可以理解的其他实施方式。

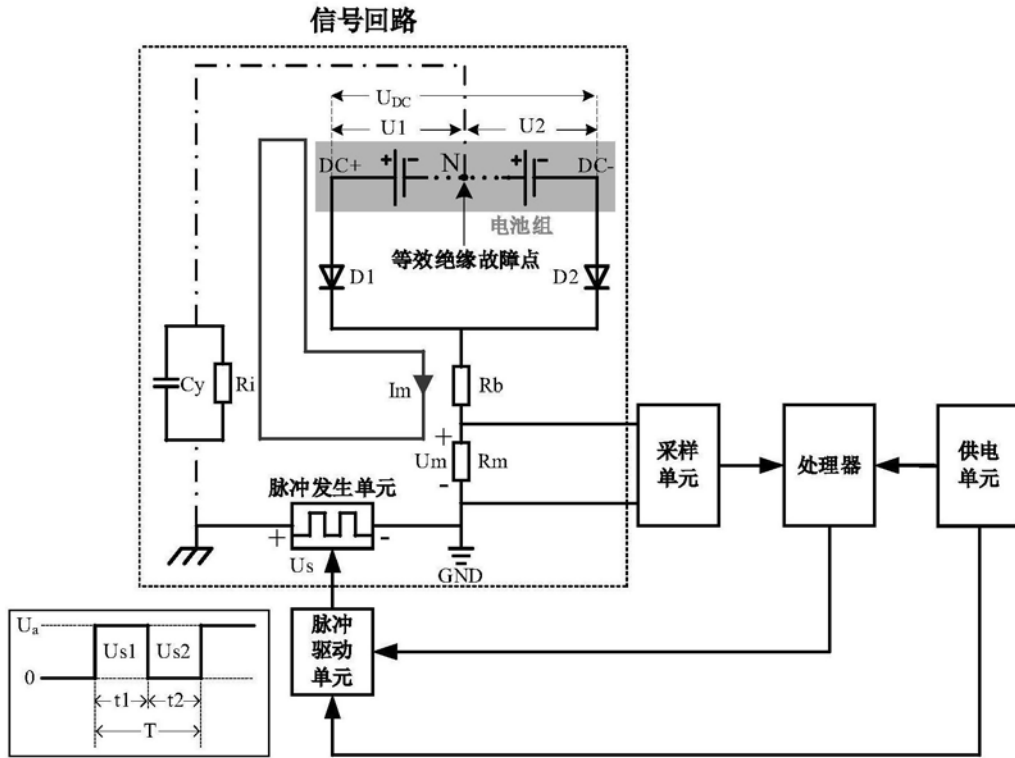


图1

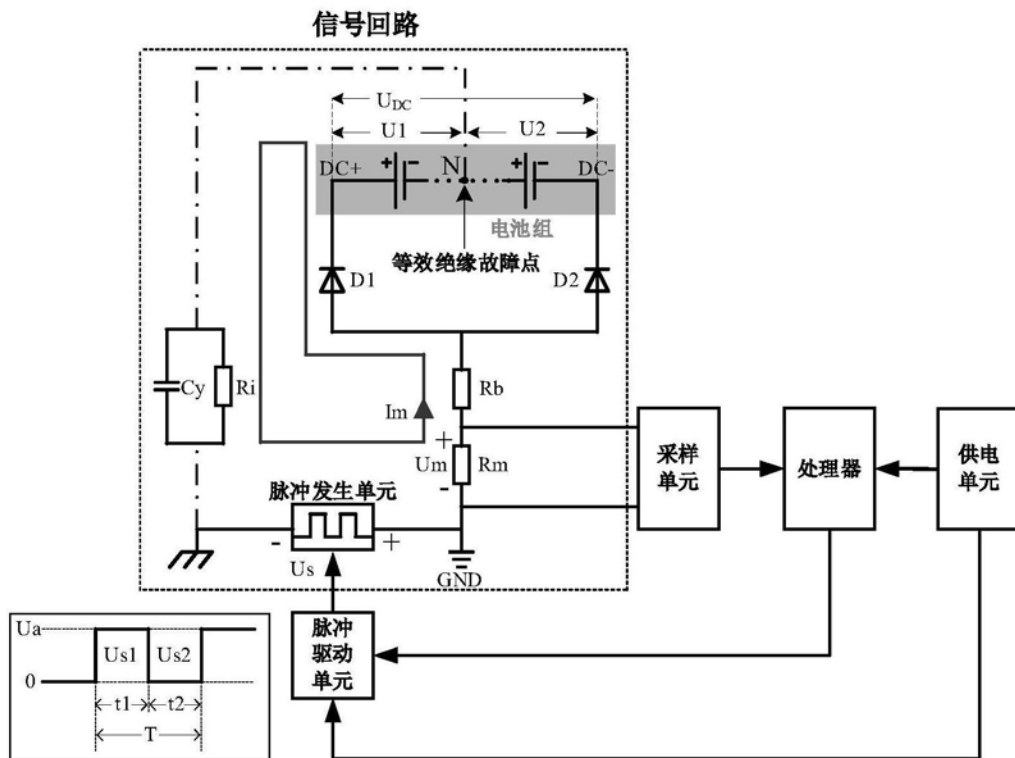


图2

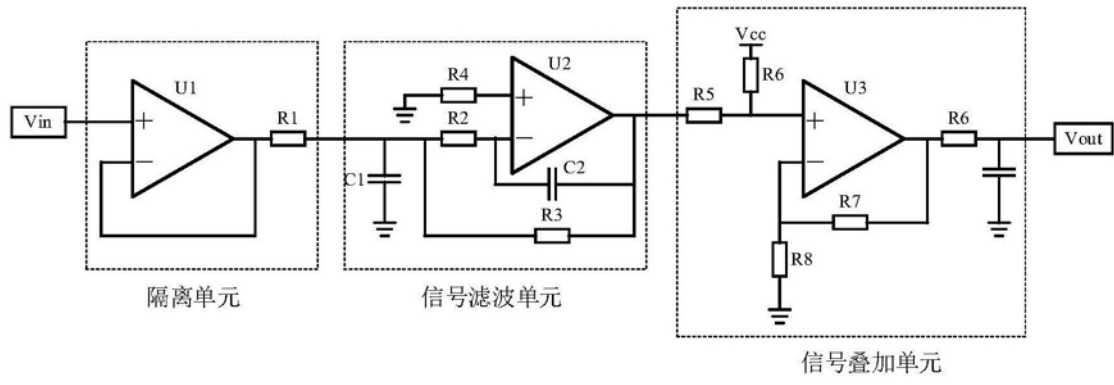


图3

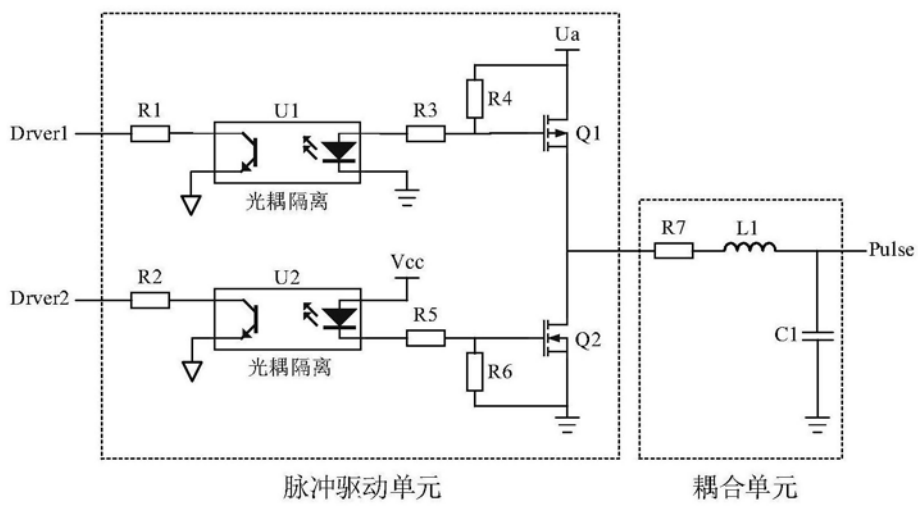


图4

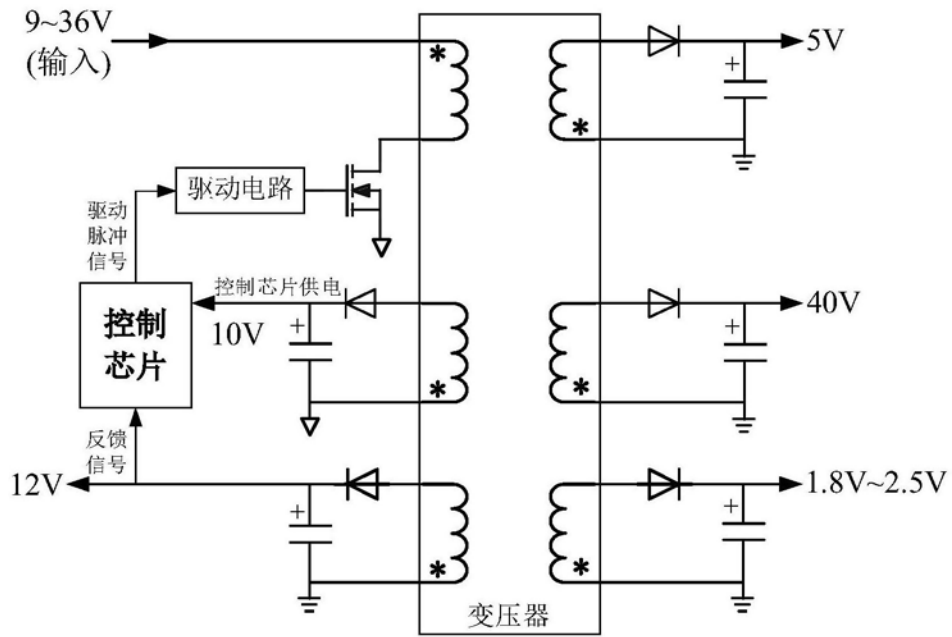


图5

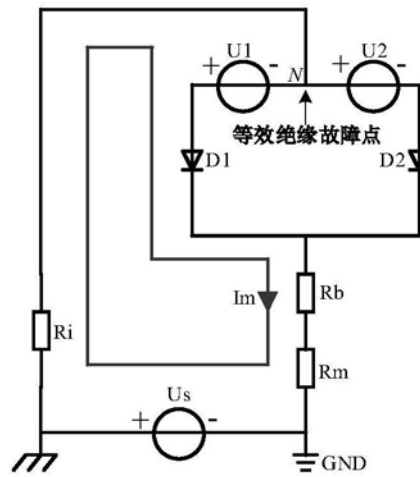


图6

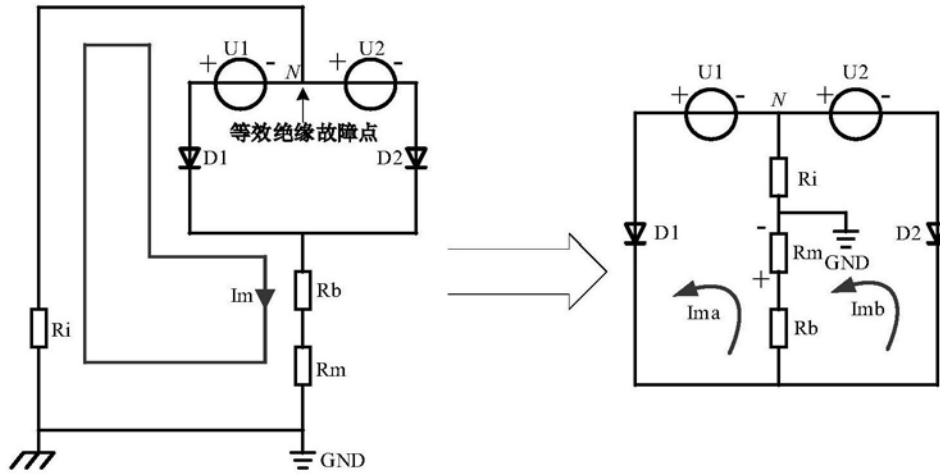


图7

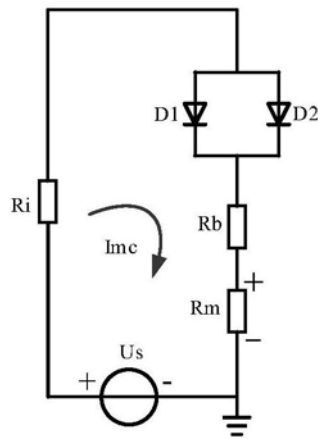


图8