



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114764110 A

(43) 申请公布日 2022. 07. 19

(21) 申请号 202110056405.7

(22) 申请日 2021.01.15

(71) 申请人 华为数字能源技术有限公司

地址 518043 广东省深圳市福田区香蜜湖  
街道香安社区安托山六路33号安托山  
总部大厦A座研发39层01号

(72) 发明人 徐志武 高拥兵 吴志清 林建飞

(74) 专利代理机构 广州三环专利商标代理有限  
公司 44202

专利代理师 熊永强 李稷芳

(51) Int. Cl.

G01R 31/00 (2006.01)

G01R 19/165 (2006.01)

G01R 19/12 (2006.01)

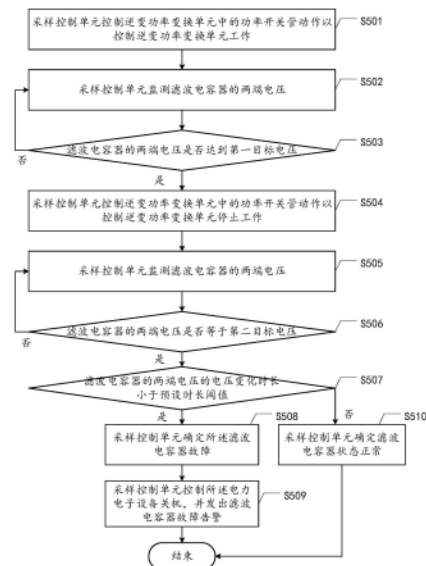
权利要求书2页 说明书10页 附图5页

(54) 发明名称

滤波电容器的故障检测方法、电力电子设备  
及供电系统

(57) 摘要

本申请提供了一种滤波电容器的故障检测方法、电力电子设备及供电系统,该方法适用于电力电子设备,该电力电子设备中包括直流母线、逆变功率变换单元、采样控制单元和滤波网络,滤波网络由滤波电容器和滤波电感器组成。该方法包括:采样控制单元控制逆变功率变换单元工作,当监测到滤波电容器的两端电压达到第一目标电压时,控制逆变功率变换单元停止工作,并监测滤波电容器的两端电压变化。当监测到滤波电容器的两端电压等于第二目标电压时,采样控制单元根据滤波电容器的两端电压从第一目标电压变化至第二目标电压的电压变化时长确定滤波电容器是否故障。采用本申请,可提高电力电子设备中滤波电容器的故障检测效率,操作简单,适用性高。



1. 一种滤波电容器的故障检测方法,其特征在于,所述方法适用于电力电子设备,所述电力电子设备中包括直流母线、逆变功率变换单元、采样控制单元和滤波网络;所述直流母线通过所述逆变功率变换单元连接所述滤波网络,所述滤波网络由滤波电容器和滤波电感器组成,所述采样控制单元分别与所述逆变功率变换单元和所述滤波网络耦合,所述方法包括:

所述采样控制单元控制所述逆变功率变换单元中的功率开关管动作以控制所述逆变功率变换单元工作;

当监测到所述滤波电容器的两端电压达到第一目标电压时,所述采样控制单元控制所述逆变功率变换单元中的功率开关管动作以控制所述逆变功率变换单元停止工作,并监测所述滤波电容器的两端电压变化;

当监测到所述滤波电容器的两端电压等于第二目标电压时,所述采样控制单元根据所述滤波电容器的两端电压的电压变化时长确定所述滤波电容器是否故障,其中,所述电压变化时长为从所述第一目标电压变化至所述第二目标电压的时长。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述滤波电容器的两端电压的电压变化时长确定所述滤波电容器是否故障包括:

当所述滤波电容器的两端电压的电压变化时长小于预设时长阈值时,确定所述滤波电容器故障。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述电压变化时长等于所述滤波电容器的时间常数;所述确定所述滤波电容器故障包括:

确定所述滤波电容器的时间常数减小。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述第二目标电压为所述第一目标电压的36.8%。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述预设时长阈值由所述滤波电容器的目标容值和所述滤波电容器的等效并联电阻的目标阻值确定。

6. 根据权利要求2-5任一项所述的方法,其特征在于,所述确定所述滤波电容器故障之后,所述方法还包括:

所述采样控制单元控制所述电力电子设备关机,并发出滤波电容器故障告警。

7. 一种电力电子设备,其特征在于,所述电力电子设备中包括直流母线、逆变功率变换单元、采样控制单元和滤波网络;所述直流母线通过所述逆变功率变换单元连接所述滤波网络,所述滤波网络由滤波电容器和滤波电感器组成,所述采样控制单元分别与所述逆变功率变换单元和所述滤波网络耦合,用于执行如下操作:

控制所述逆变功率变换单元中的功率开关管动作以控制所述逆变功率变换单元工作;

当监测到所述滤波电容器的两端电压达到第一目标电压时,控制所述逆变功率变换单元中的功率开关管动作以控制所述逆变功率变换单元停止工作,并监测所述滤波电容器的两端电压变化;

当监测到所述滤波电容器的两端电压等于第二目标电压时,根据所述滤波电容器的两端电压的电压变化时长确定所述滤波电容器是否故障,其中,所述电压变化时长为从所述第一目标电压变化至所述第二目标电压的时长。

8. 根据权利要求7所述的电力电子设备,其特征在于,所述采样控制单元用于:

在所述滤波电容器的两端电压的电压变化时长小于预设时长阈值时,确定所述滤波电容器故障。

9.根据权利要求8所述的电力电子设备,其特征在于,所述电压变化时长等于所述滤波电容器的时间常数;所述采样控制单元用于:

在所述滤波电容器的两端电压的电压变化时长小于预设时长阈值时,确定所述滤波电容器的时间常数减小。

10.根据权利要求9所述的电力电子设备,其特征在于,所述第二目标电压为所述第一目标电压的36.8%。

11.根据权利要求10所述的电力电子设备,其特征在于,所述预设时长阈值由所述滤波电容器的目标容值和所述滤波电容器的等效并联电阻的目标阻值确定。

12.根据权利要求8-11任一项所述的电力电子设备,其特征在于,所述采样控制单元还用于:

在确定所述滤波电容器故障之后,控制所述电力电子设备关机,并发出滤波电容器故障告警。

13.一种控制芯片,其特征在于,所述控制芯片适用于如权利要求7-12任一项所述的电力电子设备中的采样控制单元,用于执行如权利要求1-6任一项所述的方法。

14.一种供电系统,其特征在于,所述供电系统中包括直流电源、交流电网和如权利要求7-12任一项所述的电力电子设备;

所述直流电源用于为所述电力电子设备提供直流电压输入;

所述交流电网用于为所述电力电子设备提供交流电压输入或者基于所述电力电子设备输出的交流电压为电网负载供电。

## 滤波电容器的故障检测方法、电力电子设备及供电系统

### 技术领域

[0001] 本申请涉及电力电子技术领域,尤其涉及一种滤波电容器的故障检测方法、电力电子设备及供电系统。

### 背景技术

[0002] 光伏系统是一种利用光伏太阳能板的光伏效应将太阳光辐射能转换为电能以供市电电网使用的新型发电系统。在光伏系统中,光伏逆变器可以将光伏太阳能板产生的可变直流电压变换为市电频率的交流电,并向市电电网输出该交流电以供市电电网使用。光伏逆变器等电力电子设备一般采用脉冲宽度调制(pulse width modulation,PWM)来控制功率开关管的导通或者关断以实现功率变换。为了消除PWM引入的开关噪声,电力电子设备中一般采用电感和电容组成的滤波网络来消除开关噪声的影响,因此这里的电容也称滤波电容(或者滤波电容器)。在图1所示的电力电子功率模块中,由功率开关管Q1、Q2、Q3和Q4组成的逆变桥可将直流母线(BUS)的直流电压变换为交流电压。如图1所示,电感L和电容C串联之后连接逆变桥的输出端,用于消除采用PWM控制功率开关管导通或者关断而引入的开关噪声。如图2所示,在图1所示的滤波网络中,滤波电容器的等效电路可以为一个理想电容C和一个理想电阻R的并联结构。滤波电容器受运行环境影响,可能出现容值衰减或者内阻减小等问题,从而影响电力电子设备的运行稳定性,甚至可能出现滤波电容爆裂、冒烟或者起火等严重问题而影响电力电子设备的安全性,因此实时监测滤波电容器的健康情况意义重大。

[0003] 本申请的发明人在研究和实践过程中发现,现有技术是在滤波电容器的两端注入直流电压或者交流电压作为激励,同时测量流经滤波电容器的电流来确定滤波电容器的容值或者等效并联电阻,根据滤波电容器的容值或者等效并联电阻对滤波电容器进行故障检测。现有技术只能检测滤波的容值或者等效电阻是否异常,覆盖的滤波电容器的故障形式单一,且滤波电容的故障检测对电流采样精度的依赖度高,应用场景受限,适用性低。

### 发明内容

[0004] 本申请提供了一种滤波电容器的故障检测方法、电力电子设备及供电系统,可提高电力电子设备中滤波电容器的故障检测效率,操作简单,适用性高。

[0005] 第一方面,本申请提供了一种滤波电容器的故障检测方法,该方法适用于电力电子设备,该电力电子设备可为光伏逆变器,该电力电子设备中包括直流母线、逆变功率变换单元、采样控制单元和滤波网络。其中直流母线通过逆变功率变换单元连接滤波网络,这里滤波网络可由滤波电容器和滤波电感器组成,可选的,该滤波电容器可以和滤波电感器串联,也可以并联,具体可根据实际应用场景确定,在此不做限制。上述采样控制单元分别与逆变功率变换单元和滤波网络耦合,在该方法中采样控制单元可控制逆变功率变换单元中的功率开关管动作以控制逆变功率变换单元工作,并监测逆变功率变换单元工作过程中上述滤波电容器的两端电压。当监测到上述滤波电容器的两端电压达到第一目标电压时,采

样控制单元可控制逆变功率变换单元中的功率开关管动作以控制逆变功率变换单元停止工作,并监测逆变功率变换单元停止工作后上述滤波电容器的两端电压变化。当监测到上述滤波电容器的两端电压等于第二目标电压时,采样控制单元可根据上述滤波电容器的两端电压的电压变化时长确定上述滤波电容器是否故障,其中,上述电压变化时长为从上述第一目标电压变化至上述第二目标电压的时长。

[0006] 在本申请中,上述采样控制单元可为电力电子设备中的采样电路和微处理器的集成模块,也就是说采样控制单元可集成有采样电路和微处理器的功能,可以为用于实现电力电子设备中采样电路所实现功能以及微处理器所实现功能的功能模块,具体可根据实际应用场景确定。在本申请中,借助电力电子设备自身的电路拓扑,以及电力电子设备自身的采样控制单元即可实现电力电子设备中滤波电容器的健康状态监测(即是否故障),不需要额外增加其他电路器件,电路结构简单,电路稳定性高,实现成本低。此外,在本申请中,通过监测滤波电容器的两端电压的电压变化时长即可实现滤波电容器的健康状态监测,滤波电容器的故障检测效率高,操作简单,适用性强。

[0007] 结合第一方面,在第一种可能的实施方式中,上述根据上述滤波电容器的两端电压的电压变化时长确定上述滤波电容器是否故障可包括:当上述滤波电容器的两端电压的电压变化时长小于预设时长阈值时,确定上述滤波电容器故障。在本申请中,通过滤波电容器的两端电压的电压变化时长与预设时长阈值的比较即可监测出滤波电容器故障,滤波电容器的故障检测效率高,操作简单,适用性强。

[0008] 结合第一方面第一种可能的实施方式,在第二种可能的实施方式中,滤波电容器的两端电压从第一目标电压变化至第二目标电压的电压变化时长可以为滤波电容器的时间常数。在确定上述滤波电容器故障时,若确定滤波电容器的两端电压的电压变化时长小于预设时长阈值,则可确定上述滤波电容器的时间常数减小。在本申请中,通过滤波电容器的两端电压的变化时长监测即可快速确定滤波电容器的时间常数故障。通常滤波电容器的时间常数可由滤波电容器的容值和等效并联电阻的阻值确定,因此通过滤波电容器的两端电压的变化时长监测即可快速确定滤波电容器的容值衰减和/或等效并联电阻的阻值减小等故障形式,操作便捷,检测准确率高。

[0009] 结合第一方面第二种可能的实施方式,在第三种可能的实施方式中,上述第二目标电压为上述第一目标电压的36.8%。在本申请中,通过第一目标电压和第二目标电压的设定,即可实现通过监测滤波电容器的两端电压的电压变化时长来实现滤波电容器的故障检测,操作简便,实现成本低,适用性高。

[0010] 结合第一方面第三种可能的实施方式,在第四种可能的实施方式中,上述预设时长阈值由上述滤波电容器的目标容值和上述滤波电容器的等效并联电阻的目标阻值确定。在本申请中,上述滤波电容器的目标容值和上述滤波电容器的等效并联电阻的目标阻值可以为滤波电容器的出厂设置值,也可以理解为滤波电容器的理想容值和等效并联电阻的理想阻值,在滤波电容器选定的同时上述目标容值和目标阻值即确定。通过滤波电容器的理想容值和等效并联电阻的理想阻值确定的上述预设时间阈值可以为滤波电容器的时间常数正常下限值,也可以理解为滤波电容器的时间常数的理想值或者标准值等。在本申请中,将滤波电容器的时间常数正常下限值确定为预设时长阈值,通过滤波电容器的两端电压的电压变化时长与时间常数正常下限值的比较即可快速确定滤波电容器的时间常数是否减

小,从而可快速确定滤波电容器是否发生故障,可提高滤波电容器的故障检测效率。

[0011] 结合第一方面第一种可能的实施方式至第一方面第四种可能的实施方式中任一种,在第五种可能的实施方式中,确定上述滤波电容器故障之后,上述采样控制单元还可控制上述电力电子设备关机,并发出滤波电容器故障告警,可用于通知滤波电容器的运维人员滤波电容器发生了故障,可更好地保护电力电子设备的同时,也可提高滤波电容器的运维效率,提高电力电子设备的工作稳定性,适用性更高。

[0012] 第二方面,本申请提供了一种电力电子设备,这里电力电子设备可以为光伏逆变器、或者其他普通逆变器等功率变换器,该电力电子设备中包括直流母线、逆变功率变换单元、采样控制单元和滤波网络。其中,直流母线通过逆变功率变换单元连接滤波网络,该滤波网络可由滤波电容器和滤波电感器组成。上述采样控制单元分别与上述逆变功率变换单元和上述滤波网络耦合,用于执行如下操作:

[0013] 控制逆变功率变换单元中的功率开关管动作以控制逆变功率变换单元工作,并监测逆变功率变换单元工作过程中上述滤波电容器的两端电压;当监测到滤波电容器的两端电压达到第一目标电压时,控制逆变功率变换单元中的功率开关管动作以控制上述逆变功率变换单元停止工作,并监测逆变功率变换单元停止工作后上述滤波电容器的两端电压变化;当监测到上述滤波电容器的两端电压等于第二目标电压时,根据上述滤波电容器的两端电压的电压变化时长确定上述滤波电容器是否故障,其中,上述电压变化时长为从上述第一目标电压变化至上述第二目标电压的时长。

[0014] 在本申请中,上述采样控制单元可为电力电子设备中的采样电路和微处理器,也就是说采样控制单元可为集成有采样电路和微处理器的功能模块,也可以为用于实现电力电子设备中采样电路所实现功能以及微处理器所实现功能的功能模块,具体可根据实际应用场景确定。在本申请中,借助电力电子设备自身的电路拓扑,包括电力电子设备自身的采样电路和微处理器即可实现电力电子设备中滤波电容器的健康状态监测(滤波电容器是否故障),不需要额外增加其他电路器件,电路结构简单,电路稳定性高,实现成本低。此外,在本申请中,通过监测滤波电容器的两端电压的电压变化时长即可实现滤波电容器的健康状态监测,滤波电容器的故障检测效率高,操作简单,适用性强。

[0015] 结合第二方面,在第一种可能的实施方式中,上述采样控制单元用于:在上述滤波电容器的两端电压的电压变化时长小于预设时长阈值时,确定上述滤波电容器故障。

[0016] 结合第二方面第一种可能的实施方式,在第二种可能的实施方式中,上述电压变化时长等于上述滤波电容器的时间常数;上述采样控制单元用于:在上述滤波电容器的两端电压的电压变化时长小于预设时长阈值时,确定上述滤波电容器的时间常数减小。

[0017] 结合第二方面第二种可能的实施方式,在第三种可能的实施方式中,上述第二目标电压为上述第一目标电压的36.8%。

[0018] 结合第二方面第三种可能的实施方式,在第四种可能的实施方式中,上述预设时长阈值由上述滤波电容器的目标容值和上述滤波电容器的等效并联电阻的目标阻值确定。

[0019] 结合第二方面第二种可能的实施方式至第二方面第四种可能的实施方式,在第五种可能的实施方式中,上述采样控制单元还用于:在确定上述滤波电容器故障之后,控制上述电力电子设备关机,并发出滤波电容器故障告警。

[0020] 第三方面,本申请提供了一种控制芯片,上述控制芯片适用于第二方面以及第二

方面中任一种可能的实施方式提供的电力电子设备中的采样控制单元,用于执行上述第一方面以及第一方面中任一种可能的实施方式所提供的方法,因此也能实现第一方面提供的方法所具备的有益效果。

[0021] 第四方面,本申请提供了一种供电系统,上述供电系统中包括直流电源、交流电网和第二方面以及第二方面中任一种可能的实施方式所提供的电力电子设备。上述直流电源用于为上述电力电子设备提供直流电压输入;上述交流电网用于为上述电力电子设备提供交流电压输入或者基于上述电力电子设备输出的交流电压为电网负载供电。

[0022] 结合第四方面,在第一种可能的实施方式中,直流电源包括光伏电池板或者储能电池。

[0023] 结合第四方面或第四方面第一种可能的实施方式,在第二种可能的实施方式中,供电系统可以为光伏系统,该光伏系统中还包括LCL型滤波器,上述电力电子设备为光伏逆变器,该光伏逆变器通过该LCL型滤波器连接交流电网。

[0024] 在本申请中,基于供电系统中电力电子设备的采样控制单元可实现电力电子设备中滤波电容器的故障检测,可提高滤波电容器的故障检测效率,可保证供电系统的电路稳定性,提高供电系统的安全性,操作简单,适用性高。

## 附图说明

[0025] 图1是电力电子功率模块的结构示意图;

[0026] 图2是滤波电容器的等效电路图;

[0027] 图3是本申请提供的光伏系统的应用场景示意图;

[0028] 图4是本申请提供的电力电子设备的结构示意图;

[0029] 图5是本申请提供的滤波电容器的故障检测方法的流程示意图;

[0030] 图6为滤波电容器的两端电压的一阶动态响应过程示意图;

[0031] 图7是本申请提高的供电系统的结构示意图。

## 具体实施方式

[0032] 太阳能是大自然赐予的一种取之不尽、用之不竭、无污染的绿色能源,换句话说,太阳能是一种干净的可再生的新能源,在人们生活、工作中有广泛的作用,其中之一就是将太阳能转换为电能。太阳能发电可分为光热发电和光伏发电,本申请提供的供电系统可为基于太阳能光伏发电的光伏系统。为方便描述,下面将以光伏系统为例进行示例说明。太阳能光伏发电,具有无动部件、无噪声、无污染、可靠性高等特点,在偏远地区的通信供电系统中有极好的应用前景。本申请提供的光伏系统可适用于基站设备供电,或者蓄电池供电,或者家用设备(如冰箱、空调等等)供电等多种类型的用电设备的供电,具体可根据实际应用场景确定,在此不做限制。本申请提供的电力电子设备可以包括适用于光伏系统的光伏逆变器,可用于将光伏太阳能板等直流电源产生的可变直流电压转换为市电频率的交流电,并向市电电网输出该交流电以供市电电网使用,具体可供市电电网中的基站设备、蓄电池、或者家用设备使用。本申请提供的供电系统可适配不同的应用场景,比如,太阳能供电场景和太阳能混合供电场景等,具体可根据实际应用场景确定,在此不做限制。为方便描述,本申请将以光伏系统作为供电系统,适配于太阳能供电场景为例进行示例说明。相应的,本申

请提供的电力电子设备将以光伏系统中的光伏逆变器为例进行示例说明。

[0033] 参见图3,图3是本申请提供的光伏系统的应用场景示意图。在本申请提供的光伏系统中,光伏供电器件中可以包括一个或者多个光伏组件组,一个光伏组件组可以为由一个或者多个光伏组件串联得到。这里的光伏组件可为太阳能电池板、光伏板、或者储能电池。换句话说,在图3所示的光伏系统中,一个光伏组件组可以由一个或者多个太阳能电池板、光伏板、或者储能电池串联得到的一个光伏串列,多个光伏串列的输出电流通过汇流盒汇流之后可以储能至储能电池,并通过储能电池向光伏逆变器提供直流输入电压,通过光伏逆变器进行电压功率转换之后为蓄电池、通信基站或者家用设备等交流电网中的用电设备适用。在图3所示的应用场景中,光伏逆变器一般采用PWM来控制功率开关管的导通或者关断以实现功率变换。为了消除PWM引入的开关噪声,在图3所示的光伏逆变器中通常会采用如图1所示的电力电子功率模块,在该电力电子功率模块中由电感和电容组成的滤波网络可用于消除开关噪声的影响,提高光伏逆变器的输出电压的稳定性,适用性高。

[0034] 在图1所示的电力电子功率模块中,在滤波电容器C两端注入交流电压U作为激励,同时测量流过滤波电容器C的电流I,通过如下公式(1)可计算得到滤波电容器C的容值,从而可根据滤波电容器C的容值确定滤波电容器C是否发生故障。

$$[0035] \quad C1 = I / (2 * \text{Pi} * f * U) \quad (1)$$

[0036] 其中,在公式(1)中,C1为滤波电容器C的容值,I为流过滤波电容器的电流有效值,U为注入的交流电压的电压有效值,f为注入的交流电压的电压频率,Pi为圆周率。然而,这种故障检测方式对于流经滤波电容器C的电流I的检测精度要求比较高,电流I的检测准确性直接影响了滤波电容器的容值的计算准确性,进而影响了滤波电容器的故障检测的准确性,故障检测的出错概率高,同时这种方式只能检测出滤波电容器的容值异常所带来的滤波电容器故障,检测形式单一,适用性低。

[0037] 在图1所述的电力电子功率模块中,在滤波电容器C的两端注入直流电压 $U_{dc}$ 作为激励,同时测量流过滤波电容器C的漏电流 $I_{dc}$ ,通过如下公式(2)计算得到滤波电容器的等效并联电阻的阻值(即滤波电容器的等效内阻)之后,基于滤波电容器的等效并联电阻的阻值也可判断滤波电容器C是否发生了故障。

$$[0038] \quad R1 = U_{dc} / I_{dc} \quad (2)$$

[0039] 其中,在公式(2)中,R1为滤波电容器C的等效并联电阻的阻值, $U_{dc}$ 为注入的直流电压的电压幅值, $I_{dc}$ 为流过滤波电容器的漏电流幅值。然而,这种故障检测方式对于流经滤波电容器C的漏电流 $I_{dc}$ 的检测精度要求比较高,漏电流 $I_{dc}$ 的检测准确性直接影响了滤波电容器的等效并联电阻的阻值的计算准确性,进而影响了滤波电容器的故障检测的准确性,同样存在故障检测出错概率高的问题,同时这种方式只能检测出滤波电容器的等效并联电阻异常所带来的滤波电容器故障,检测形式单一,适用性低。

[0040] 本申请提供的滤波电容器的故障检测方法适用于光伏逆变器等电力电子设备,借助电力电子设备自身的电路拓扑,以及电力电子设备自身的采样控制单元(包括采样电路和微处理器等)即可实现电力电子设备中滤波电容器的健康状态监测以确定滤波电容器是否故障,不需要额外增加其他电路器件,电路结构简单,电路稳定性高,实现成本低。此外,在本申请中,通过监测滤波电容器的两端电压的电压变化时长即可实现滤波电容器的健康状态监测,滤波电容器的故障检测效率高,操作简单,适用性强。本申请实施例提供的滤波



电容器的故障检测方法适用于图4所示电力电子设备中滤波电容器的故障检测,也适用于具有图4所示的电路拓扑之外的其他电路拓扑的电力电子设备中滤波网络中的滤波电容器的故障检测,在此不做限制。为方便描述,下面将结合图4对本申请提供的滤波电容器的故障检测方法所适用的电力电子设备的结构进行示例说明。

[0041] 参见图4,图4是本申请提供的电力电子设备的结构示意图。如图4所示,上述电力电子设备中可包括直流母线(即BUS)41、逆变功率变换单元42、滤波网络43和采样控制单元44,其中,直流母线41通过逆变功率变换单元连接滤波网络43。此外,如图4所示,直流母线41的另一端可连接直流电源 $V_{in}$ ,直流电源 $V_{in}$ 用于为上述电力电子设备提供直流电压输入。滤波电容器C可等效为电容 $C'$ 和电阻 $R'$ 的并联结构,滤波电容器C的两端可连接电力电子设备的输出端 $V_{out}$ 。在图4所示的电力电子设备中,通过直流电源 $V_{in}$ 的电压输入可为直流母线41充电,通过逆变功率变换单元42可将直流母线41两端的直流电压变换为交流电网或者交流负载所需的交流电压,通过输出端 $V_{out}$ 可向交流电网或者交流负载供电,可实现电力电子设备与交流电网并联的功率转换。换句话说,图4所示的电力电子设备可作为直流电源和交流电网的并网逆变器,具体可根据实际应用场景确定,在此不做限制。在光伏系统中,上述电力电子设备为光伏逆变器,上述直流电源包括光伏电池板或者储能电池。可选的,该光伏系统中还包括LCL型滤波器,光伏逆变器通过该LCL型滤波器连接交流电网。

[0042] 在一些可行的实施方式中,如图4所示,滤波网络43由滤波电感器L和滤波电容器C串联组成,滤波电容器由电容 $C'$ 和电阻 $R'$ 并联得到,采样控制单元44可分别与逆变功率变换单元42和滤波网络43耦合。可选的,滤波网络43也可由滤波电感器L和滤波电容器C并联组成,具体可根据实际应用场景确定,在此不做限制。为方便描述,本申请将以滤波电感器L和滤波电容器C串联为例进行说明。可以理解,采样控制单元44可以和逆变功率变换单元42直接连接或者间接连接,采样控制单元44可以和滤波网络43中的滤波电感器L和滤波电容器C直接连接或者间接连接,具体可根据实际应用场景确定,在此不做限制。其中,上述采样控制单元44可为光伏逆变器等电力电子设备中自身电路拓扑的采样电路和微处理器,也就是说采样控制单元可以集成有采样电路和微处理器的功能,也可以为用于实现电力电子设备中采样电路所实现功能以及微处理器所实现功能的功能模块,具体可根据实际应用场景确定。为方便描述,在本申请中将以采样控制单元为例进行说明。在图4所示的电力电子设备中,逆变功率变换单元42可为由功率开关管Q1、Q2、Q3和Q4组成的逆变桥,采样控制单元44可基于PWM控制上述逆变桥中各功率开关管的导通或者关断。上述采样控制单元44还可实时检测滤波电容器C的两端电压,也可实时检测流经滤波电容器C的电流等,用以实现滤波电容器C的健康状态监测。本申请实施例提供的滤波电容器的故障检测方法可由图4所示的采样控制单元44执行,换句话说,基于图4所示的电力电子设备中的采样控制单元44即可实现滤波电容器C的故障检测,无需额外增加电路器件,电路结构简单,电路稳定性高。为方便描述,下面将以采样控制单元(如图4所示电力电子设备中的采样控制单元44)为执行主体,结合图5对本申请提供的滤波电容器的故障检测方法进行示例说明。

[0043] 参见图5,图5是本申请提供的滤波电容器的故障检测方法的流程示意图。本申请提供的滤波电容器的故障检测方法可包括如下步骤:

[0044] S501,采样控制单元控制逆变功率变换单元中的功率开关管动作以控制逆变功率变换单元工作。

[0045] 在一些可行的实施方式中,在电力电子设备工作过程中,采样控制单元可控制逆变功率变换单元中的功率开关管(如图4中的Q1、Q2、Q3和Q4)动作以控制逆变功率变换单元工作。这里,采样控制单元控制逆变功率变换单元中的功率开关管动作可基于PWM控制功率开关管导通或者关断以使逆变功率变换单元将直流母线两端的直流变换为交流电压,并经过滤波网络输出至输出端Vout。

[0046] S502,采样控制单元监测滤波电容器的两端电压。

[0047] 在一些可行的实施方式中,采样控制单元还可在逆变功率变换单元工作的过程中,实时监测滤波电容器的两端电压,以基于滤波电容器的两端电压的变化来确定滤波电容器是否发生故障。

[0048] S503,判断滤波电容器的两端电压是否达到第一目标电压,若判断结果为是,则执行步骤S504,否则执行步骤S502。

[0049] 在一些可行的实施方式中,采样控制单元可预先设定用于监测滤波电容器的健康状态的目标电压,为方便描述可以第一目标电压(记为 $U_0$ )为例进行说明。可选的,上述第一目标电压可为电容 $C'$ 为理想电容,电阻 $R'$ 为理想电阻时,逆变功率变换单元稳定工作过程中滤波电容器C的两端电压。比如,假设滤波电容器C没有发生故障,也就是说此时电容 $C'$ 的容值没有发生衰减,电阻 $R'$ 的阻值没有减小(假设此时滤波电容器C的容值为目标容值,滤波电容器C的等效并联电阻的阻值为目标阻值),在逆变功率变换单元稳定工作的过程中,电力电子设备可向交流电网稳定输出交流电网所需频率的交流电压,此时滤波电容器C的两端电压可为第一目标电压。可选的,上述第一目标电压也可为逆变功率变换单元工作过程中,滤波电容器C在某一个时刻的两端电压,具体可根据实际应用场景设定,在此不做限制。

[0050] 在一些可行的实施方式中,采样控制单元可在逆变功率变换单元工作过程中实时检测滤波电容器C的两端电压,以监测滤波电容器的两端电压是否得到第一目标电压。

[0051] S504,采样控制单元控制逆变功率变换单元中的功率开关管动作以控制逆变功率变换单元停止工作。

[0052] 在一些可行的实施方式中,当采样控制单元监测到滤波电容器的两端电压达到第一目标电压时,采样控制单元可控制逆变功率变换单元中的功率开关管动作以控制逆变功率变换单元停止工作,以监测逆变功率变换单元停止工作后滤波电容器的两端电压的变化。

[0053] S505,采样控制单元监测滤波电容器的两端电压变化。

[0054] 在一些可行的实施方式中,采样控制单元控制逆变功率变换单元停止工作之后,可实时监测滤波电容器的两端电压,以监测滤波电容器的两端电压的变化,进而可基于滤波电容器的两端电压变化确定滤波电容器的健康状态。

[0055] S506,判断滤波电容器的两端电压是否等于第二目标电压,若判断结果为是,则执行步骤S507,否则执行步骤S505。

[0056] 在一些可行的实施方式中,通过监测逆变功率变换单元停止工作后滤波电容器的两端电压的变化可对滤波电容器的时间常数进行监测,即基于滤波电容器的两端电压的变化可确定滤波电容器的时间常数是否减小以此来确定滤波电容器是否发生故障。其中,逆变功率变换单元停止工作后,滤波电容器的两端电压U的变化过程是一个指数变化过程,如

图6。图6为滤波电容器的两端电压的一阶动态响应过程示意图。如图6所示,假设逆变功率变换单元停止工作后的时刻 $t$ ,滤波电容器的两端电压为 $U(t)$ ,则 $U(t)$ 满足如下公式(3):

$$[0057] \quad U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (3)$$

[0058] 在公式(3)中, $U_0$ 表示第一目标电压(即逆变功率变换单元停止工作时滤波电容器的两端电压), $R$ 表示滤波电容器的等效并联电阻的阻值, $C$ 表示滤波电容器的容值。

[0059] 在一些可行的实施方式中,假设滤波电容器的时间常数正常(假设为目标时间常数),也就是说,此时滤波电容器的容值没有发生衰减(假设此时滤波电容器的容值为目标容值),滤波电容器的等效并联电阻的阻值没有减小(假设等效并联电阻的阻值为目标阻值),则基于滤波电容器的容值和等效并联电阻的阻值可确定目标时间常数 $T_0$ :

$$[0060] \quad T_0 = R_0 * C_0 \quad (4)$$

[0061] 在公式(4)中, $R_0$ 为滤波电容器的等效并联电阻的目标阻值, $C_0$ 为滤波电容器的目标容值。

[0062] 在公式(3)中,当 $t = T_0 = R_0 * C_0$ 时, $U(t)$ 满足如下公式(5):

$$[0063] \quad U(T_0) = U_0 e^{-\frac{T_0}{R_0 C_0}} = U_0 e^{-1} = 0.368 U_0 \quad (5)$$

[0064] 即,当滤波电容器的两端电压从 $U_0$ 变化到 $0.368 U_0$ (即 $U_1$ 等于 $0.368 U_0$ )时,电压变化的时间间隔等于滤波电容的时间常数 $T$ 。也就是说,当滤波电容器的时间常数正常时,滤波电容器的两端电压从 $U_0$ 变化到 $0.368 U_0$ 的时间长度等于 $T_0$ 。基于公式(5)可知,当滤波电容器的时间常数减小时,滤波电容器的两端电压从 $U_0$ 变化到 $0.368 U_0$ 的时间长度将小于 $T_0$ 。因此,在本申请中,可将第二目标电压(假设为 $U_1$ )设定为第一目标电压的36.8%,进而可监测逆变功率变换单元停止工作后,滤波电容器的两端电压从 $U_0$ 变化到 $0.368 U_0$ 的电压变化时长来确定滤波电容器的时间常数是否发生变化。

[0065] S507,判断滤波电容器的两端电压的电压变化时长小于预设时长阈值,若判断结果为是,则执行步骤S508,否则执行步骤S510。

[0066] S508,采样控制单元确定所述滤波电容器故障。

[0067] 在一些可行的实施方式中,滤波电容器的两端电压的电压变化时长为滤波电容器的两端电压从第一目标电压变化至第二目标电压的时长。采样控制单元检测到滤波电容器的两端电压等于第二目标电压时,可计算滤波电容器的两端电压从第一目标电压变化至第二目标电压的电压变化时长。当滤波电容器的两端电压的电压变化时长小于预设时长阈值时,采样控制单元可确定滤波电容器故障。其中,上述预设时长阈值可等于滤波电容器的目标时间常数(即 $T_0$ ),也就是说,预设时长阈值由滤波电容器的目标容值 $C_0$ 和滤波电容器的等效并联电阻的目标阻值 $R_0$ 确定。上述滤波电容器的目标容值和上述滤波电容器的等效并联电阻的目标阻值可以为滤波电容器的出厂设置值,也可以理解为滤波电容器的理想容值和等效并联电阻的理想阻值,在滤波电容器选定的同时上述目标容值和目标阻值即确定。通过滤波电容器的理想容值和等效并联电阻的理想阻值确定的上述预设时间阈值可以为滤波电容器的时间常数正常下限值,也可以理解为滤波电容器的时间常数的理想值或者标准值等。当滤波电容器的两端电压从第一目标电压变化至第二目标电压的电压变化时长小于预设时长阈值时,采样控制单元可确定滤波电容器的时间常数减小,即此时滤波电容器的故障形式为时间常数减小。当滤波电容器的容值减小或者等效并联电阻的阻值减小都可使

得滤波电容器的时间常数减小,因此基于滤波电容器的时间常数减小来确定滤波电容器发生故障时即可覆盖滤波电容器的容值减小,也可覆盖滤波电容器的等效并联电阻的阻值减小,滤波电容器的故障检测效率高,操作简单,适用性高。在本申请中,将滤波电容器的时间常数正常下限值确定为预设时长阈值,通过滤波电容器的两端电压的电压变化时长与时间常数正常下限值的比较即可快速确定滤波电容器的时间常数是否减小,从而可快速确定滤波电容器是否发生故障,可提高滤波电容器的故障检测效率。

[0068] S509,采样控制单元控制所述电力电子设备关机,并发出滤波电容器故障告警。

[0069] 在一些可行的实施方式中,采样控制单元确定滤波电容器故障时,可控制电力电子设备关机以保护该电力电子设备。此外,采样控制单元可向电力电子设备的运维人员发出滤波电容器故障告警,用于通知滤波电容器的运维人员滤波电容器发生了故障,可更好地保护电力电子设备的同时也可提高滤波电容器的运维效率,提高电力设备的工作稳定性,适用性更高。

[0070] S510,采样控制单元确定滤波电容器状态正常。

[0071] 在一些可行的实施方式中,当滤波电容器的两端电压从第一目标电压变化至第二目标电压之间的电压变化时长小于预设时长阈值时,采样控制单元可确定滤波电容器状态正常,即此时滤波电容器的时间常数正常。

[0072] 在本申请中,借助电力电子设备自身的电路拓扑和电力电子设备自身的采样控制单元可实现电力电子设备中滤波电容器的健康状态监测(故障或者正常),不需要额外增加其他电路器件,电路结构简单,电路稳定性高,实现成本低。此外,在本申请中,通过监测滤波电容器的两端电压的电压变化时长即可实现滤波电容器的健康状态监测,操作简单,适用性强。基于滤波电容器的时间常数减小来确定滤波电容器发生故障时即可覆盖滤波电容器的容值减小,也可覆盖滤波电容器的等效并联电阻的阻值减小,滤波电容器的故障检测效率高,适用性高。

[0073] 参见图7,图7是本申请实施例提供的供电系统的结构示意图。图7所示的供电系统中包括直流电源、交流电网和上述图4所示的电力电子设备。上述直流电源用于为上述电力电子设备提供直流电压输入,上述交流电网用于为上述电力电子设备提供交流电压输入或者基于上述电力电子设备输出的交流电压为电网负载供电。直流电源 $V_{in}$ 的电压输入可为电力电子设备中的直流母线41充电,通过电力电子设备中的逆变功率变换单元42可将直流母线41两端的直流电压变换为交流电网或者交流负载所需的交流电压,通过输出端 $V_{out}$ 可向交流电网供电,可实现电力电子设备与交流电网并联的功率转换。

[0074] 在一些可行的实施方式中,上述直流电源包括光伏电池板或者储能电池。上述供电系统可以为光伏系统,该光伏系统中还包括LCL型滤波器,上述电力电子设备为光伏逆变器,该光伏逆变器通过该LCL型滤波器连接交流电网。

[0075] 在本申请中,基于供电系统中电力电子设备的采样控制单元可实现电力电子设备中滤波电容器的故障检测,可提高滤波电容器的故障检测效率,可保证供电系统的电路稳定性,提高供电系统的安全性,操作简单,适用性高。

[0076] 在一些可行的实施方式中,本申请还提供了一种控制芯片,该控制芯片适用于上述实施例中提供的电力电子设备中的采样控制单元,用于执行上述图5所示的方法中采样控制单元所执行的操作,因此也能实现上述方法所具备的有益效果。可选的,上述控制芯片

可以是通用处理器、数字信号处理器(digital signal process,DSP)、专用集成电路(application specific integrated circuit,ASIC)、现场可编程逻辑门阵列(field programmable gate array,FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件,具体可根据实际应用场景确定,在此不做限制。上述通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。结合本申请实施例所公开的方法的步骤可以直接体现为硬件译码处理器执行完成,或者用译码处理器中的硬件及软件模块组合执行完成。软件模块可以位于随机存储器,闪存、只读存储器,可编程只读存储器或者电可擦写可编程存储器、寄存器等本领域成熟的存储介质中。

[0077] 以上所述,仅为本申请的具体实施方式,但本申请的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本申请的保护范围之内。因此,本申请的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

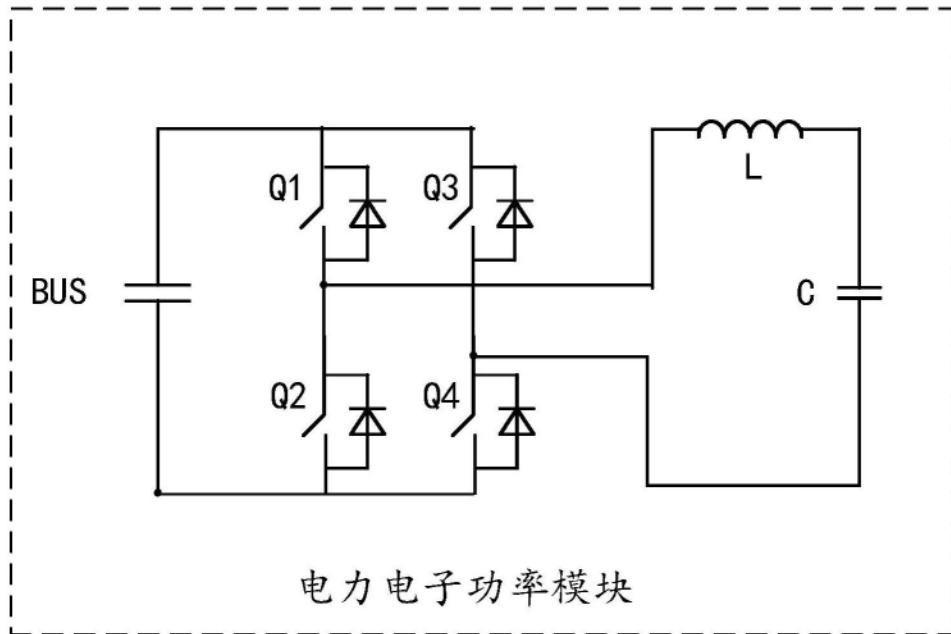


图1

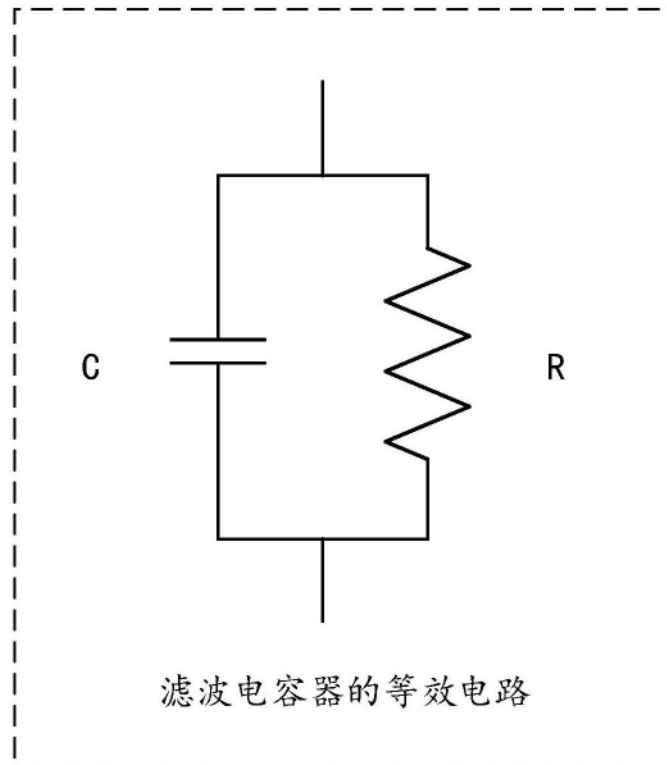


图2

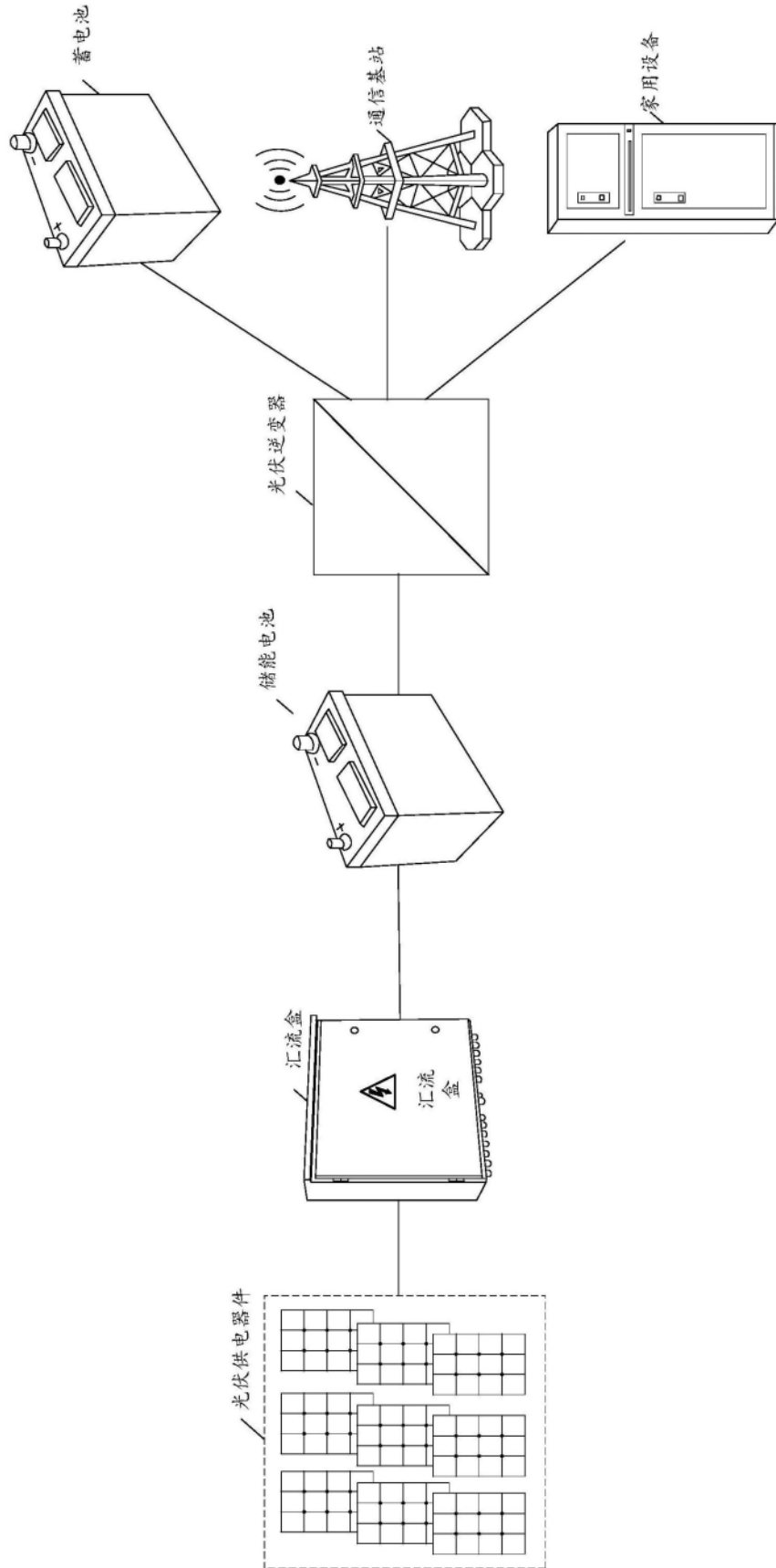


图3

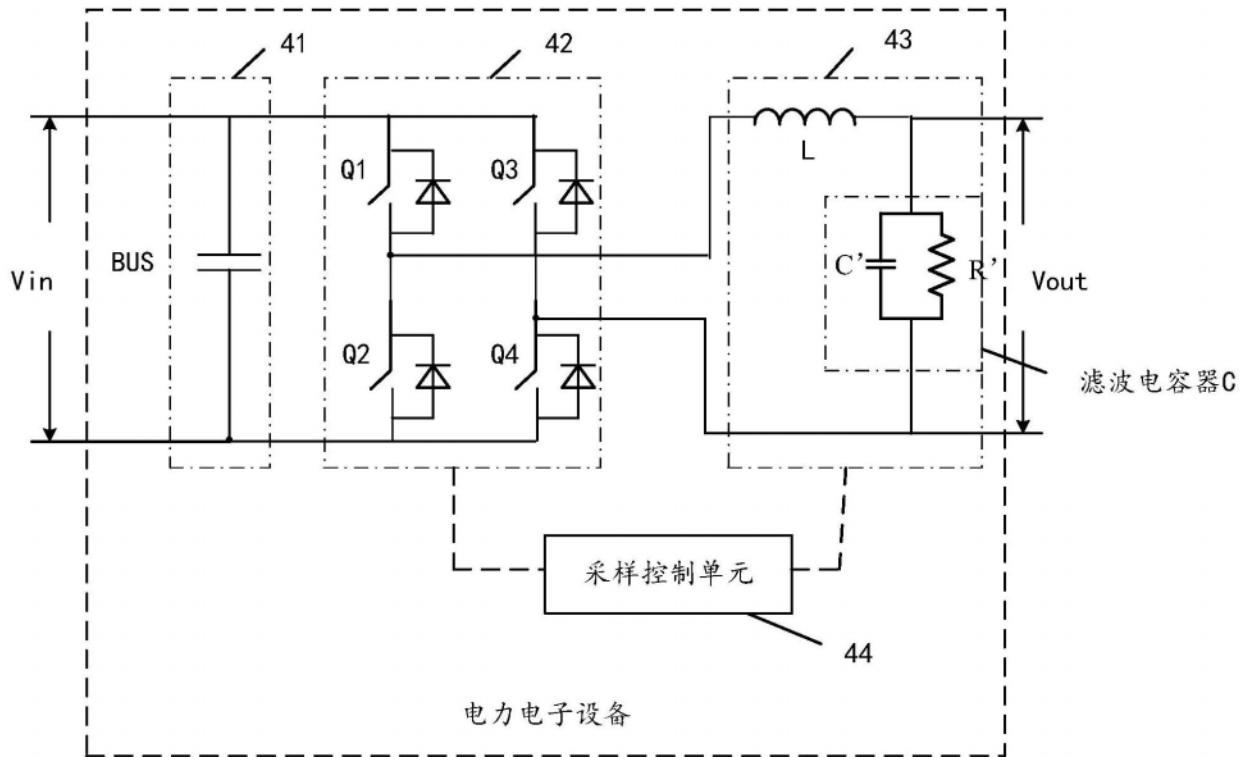


图4



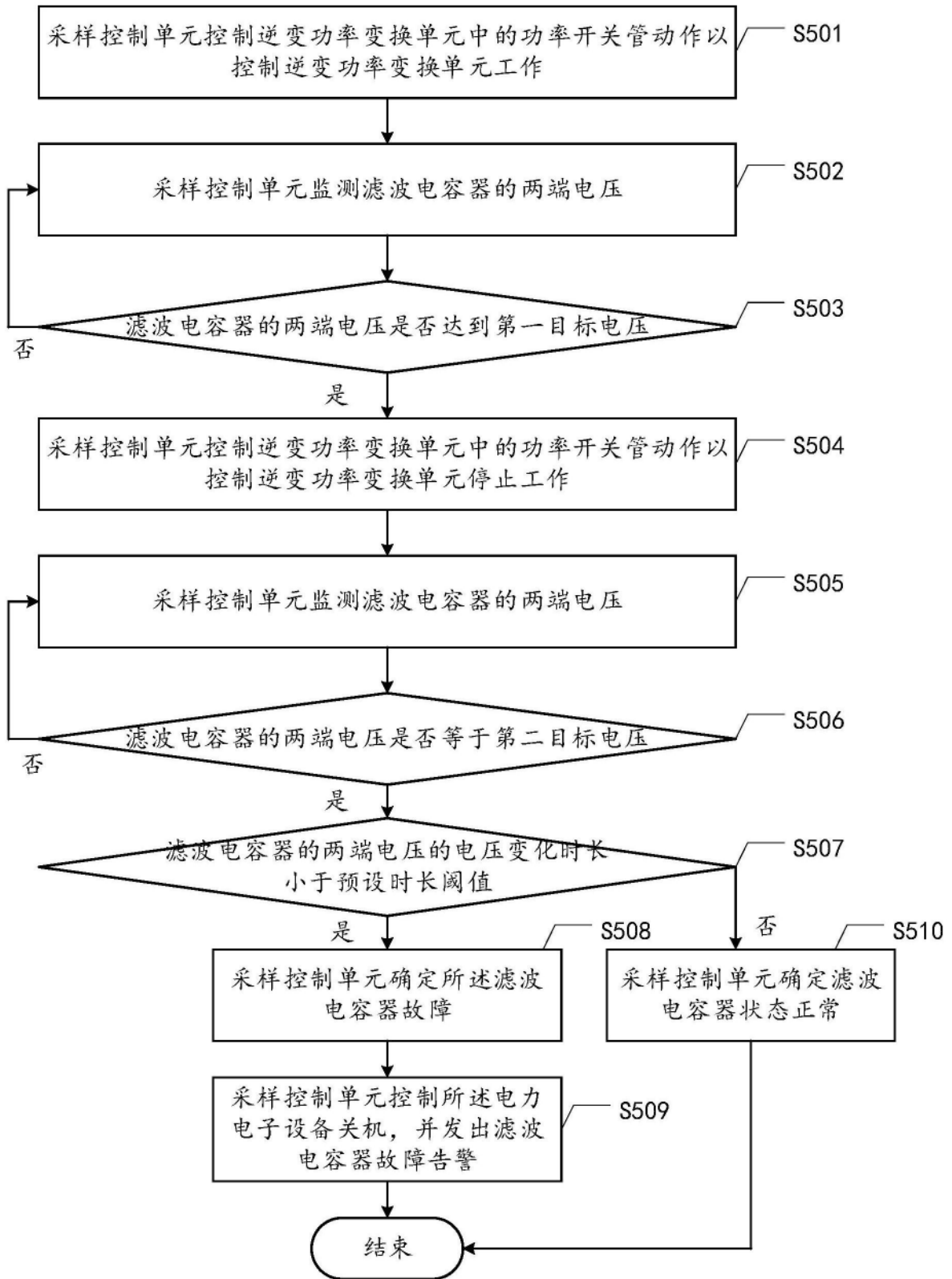


图5

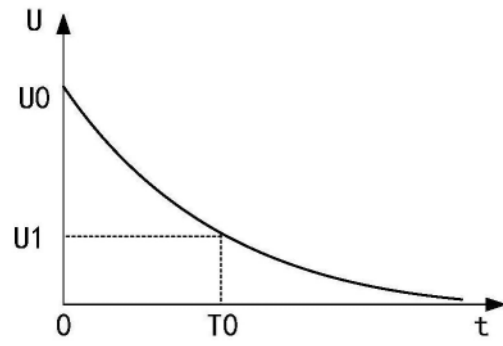


图6

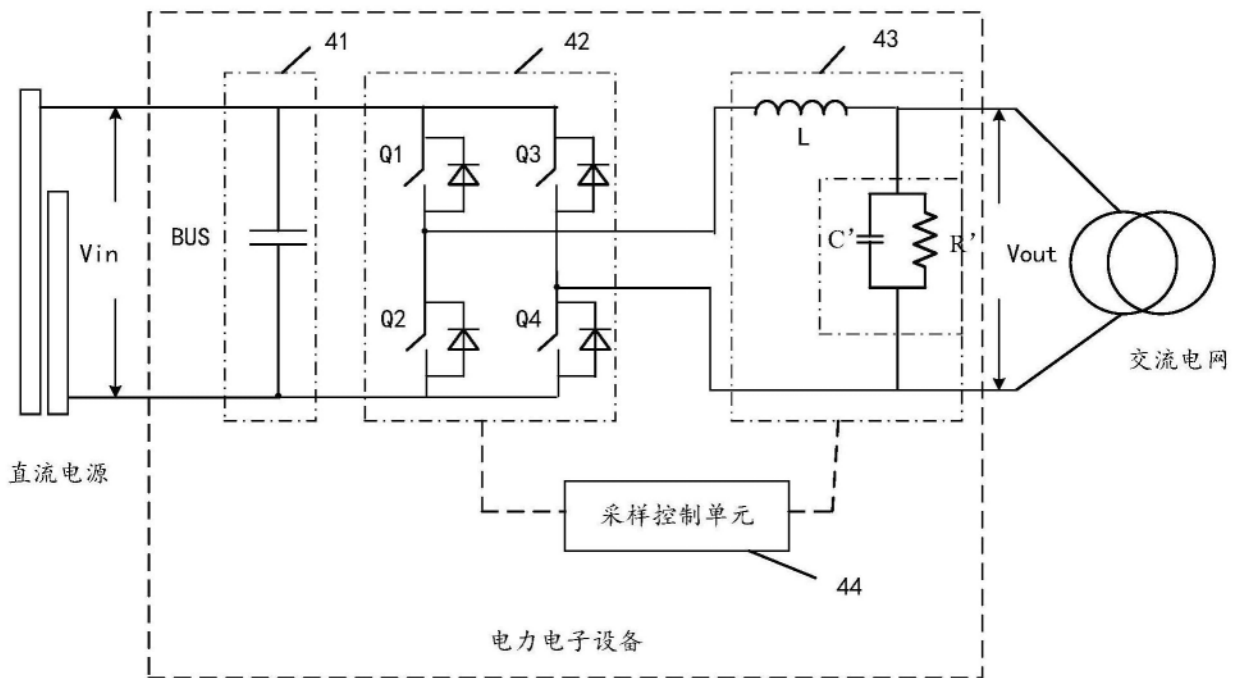


图7