



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105785136 B

(45)授权公告日 2020.10.23

(21)申请号 201410802592.9

审查员 朱刘路

(22)申请日 2014.12.19

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105785136 A

(43)申请公布日 2016.07.20

(73)专利权人 福特全球技术公司

地址 美国密歇根州迪尔伯恩市中心大道  
330号800室

(72)发明人 阿尔温德·戈文达拉吉 雷光寅

曼苏尔·A·布莱克曼 陈清麒

(74)专利代理机构 北京连和连知识产权代理有

限公司 11278

代理人 武硕

(51)Int.Cl.

G01R 27/26(2006.01)

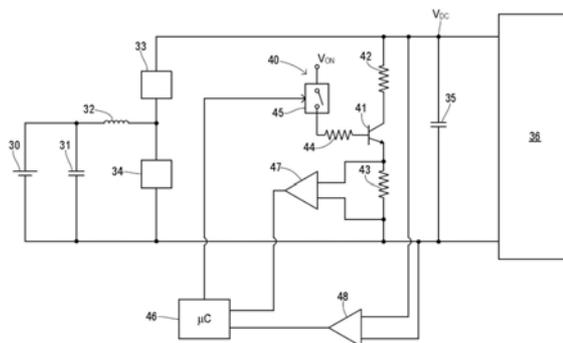
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

用于电动车辆传动系统的直流链路电容值测量

(57)摘要

为了检测电力推进车辆中的直流电源和逆变器负载之间的直流链路电容器的退化,链路电容器的电容值必须在实际使用期间精确测量。在链路电容器上建立充电。将电容器与电源和逆变器负载隔离。激活恒流电路以使电容器放电。在放电期间第一时间测量电容器两端的第一电压。在放电期间第二时间测量电容器两端的第二电压。在放电期间测量从电容器流出的放电电流。根据放电电流乘以第二和第一时间之间的差值与第一和第二电压之间的差值的比,计算电容。监控计算出的表明故障的电容下降。



1. 一种检测直流电源和逆变器负载之间的直流链路电容器的退化的方法,包含步骤:
  - 使用直流电源在链路电容器上建立充电;
  - 将链路电容器与直流电源和逆变器负载隔离;
  - 激活恒流电路以使链路电容器以恒定电流放电,其中恒流电路在逆变器运行期间提供开路且当被激活时传导使链路电容器放电的恒定电流;
  - 在放电期间第一时间测量链路电容器两端的第一电压;
  - 在放电期间第二时间测量链路电容器两端的第二电压;
  - 在放电期间测量从链路电容器流出的放电电流;
  - 根据放电电流乘以第二和第一时间之间的差值与第一和第二电压之间的差值的比,计算电容值;以及
  - 监控计算出的表示故障的电容值的下降。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中在链路电容器上建立充电的步骤相当于链路电容器电压大于直流电源的电压至少预定裕度。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中隔离链路电容器的步骤包括停用多个连接到逆变器负载的逆变器开关。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中无源放电电阻器和常通开关设备串联耦接在链路电容器两端,进一步包含步骤:
  - 在隔离和测量步骤期间关闭常通开关设备。
5. 一种电动车辆驱动系统,包含:
  - 直流电源;
  - 逆变器,其具有多个用于提供交流电流至负载的相脚开关;
  - 直流链路电容器,其耦接在直流电源和逆变器之间;
  - 放电电路,其耦接在链路电容器两端,配置用于在逆变器的运行期间提供开路且当被激活时传导使链路电容器放电的恒定电流;
  - 电流检测电路,其耦接到放电电路,检测放电电流;
  - 电压检测电路,其耦接到链路电容器,检测链路电容器的电压;以及
  - 控制器,其配置为a)通过停用相脚开关开始测量期,b)接通放电电路,c)在测量期间收集放电电流的测量结果,d)在测量期间第一时间收集链路电容器的第一电压,e)在测量期间第二时间收集链路电容器的第二电压,以及f)根据放电电流乘以第二和第一时间之间的差值与链路电容器的第一和第二电压之间的差值的比,计算电容。
6. 根据权利要求5所述的驱动系统,其中放电电路包含偏置为在它的恒流区域传导的晶体管。
7. 根据权利要求5所述的驱动系统,其中控制器在测量期开始时建立链路电容器上的预定初始电压。
8. 根据权利要求7所述的驱动系统,其中预定初始电压大于直流电源的电压至少预定裕度。
9. 根据权利要求5所述的驱动系统,进一步包含串联耦接在链路电容器两端的无源放电电阻器和常通开关设备,其中在测量期间控制器关闭常通开关设备。
10. 根据权利要求5所述的驱动系统,其中控制器响应于计算出的电容值示出了从初始

电容值的预定下降,检测链路电容器的故障状况。

## 用于电动车辆传动系统的直流链路电容值测量

### 背景技术

[0001] 本发明大体涉及用于道路车辆的电驱动电路,并且更具体地涉及测量直流(DC)链路电容器的电容值以支持链路电容器的可靠度的状态的确定。

[0002] 在电动和/或混合动力道路车辆中用于牵引马达的电驱动系统通常需要将来自直流电源的电能以可变频率和功率转换为交流电流信号,用于驱动交流(AC)牵引马达。直流电源自身可以包括储存设备(例如蓄电池或燃料电池)和用于提高供给交流逆变器的直流电压的直流-直流转换器(DC-to-DC converter)。用于耦接直流电源(如蓄电池或中间直流-直流转换器)到直流-交流逆变器的必要的组件是直流链路电容器。

[0003] 在机动车辆应用中,直流链路电容器通常包括薄膜电容器,例如金属化聚丙烯薄膜,以利用他们相对低的成本和稳健性。直流链路电容器性能对逆变器系统的运行是至关重要的,并且直流链路电容器性能的任何退化能够导致逆变器的正常运行的损失。

[0004] 在长时间使用期间,特别是薄膜电容器会由于高工作温度、高工作电压(例如,电压峰值)、高湿度以及制造缺陷(如杂质或膜缺陷)而遭受退化。为了帮助确保直流链路电容器在车辆的期望寿命期间正确地执行预期功能,选择具有大于使用期间通常遇到的性能规格的电容器设计是一种常见的做法。这允许在抵抗最坏的情况下较高的可靠性,但会导致成本的增加。为了降低成本和使用更好地匹配正常条件的电容器设计改善整体操作,有必要监控链路电容器的可靠度的状态以便导致故障的退化发生时替换它。

[0005] 链路电容器的退化通常是依据定义的它的电容值的损失来说明的,如距它的初始值5%的损失。电容值的变化是持续发生在电容器内部的物理过程的指示。在用于预测直流链路电容器的故障一个具体方法中,在它的寿命期间它的电容值可以自动地和周期性地确定。

### 发明内容

[0006] 在本发明的一个方面,提供一种用于检测在直流电源和逆变器负载之间的直流链路电容器的退化的方法。在链路电容器上建立充电。将链路电容器与电源和逆变器负载隔离。激活恒流电路以使链路电容器放电。在放电期间第一时间测量链路电容器两端的第一电压。在放电期间第二时间测量链路电容器两端的第二电压。在放电期间测量从链路电容器流出的放电电流。根据放电电流乘以第二和第一时间之间的差值与第一和第二电压之间的差值的比,计算电容值。监控计算出的表明故障的电容值下降。

[0007] 根据本发明的一个实施例,其中在链路电容器上建立充电的步骤相当于电容器电压大于直流电源的电压至少预定裕度。

[0008] 根据本发明的一个实施例,其中隔离链路电容器的步骤包括停用多个连接到逆变器负载的逆变器开关。

[0009] 根据本发明的一个实施例,其中无源放电电阻器和常通开关设备串联耦接在链路电容器两端,进一步包含步骤:

[0010] 在隔离和测量步骤期间关闭常通开关设备。

- [0011] 根据本发明,提供一种电动车辆驱动系统,包含:
- [0012] 直流电源;
- [0013] 逆变器,其具有多个用于提供交流电流至负载的相脚;
- [0014] 直流链路电容器,其耦接在电源和逆变器之间;
- [0015] 放电电路,其耦接在链路电容器两端,配置用于在逆变器的运行期间提供开路且当被激活时传导使链路电容器放电的恒定电流;
- [0016] 电流检测电路,其耦接到放电电路,检测放电电流;
- [0017] 电压检测电路,其耦接到链路电容器,检测电容器电压;以及
- [0018] 控制器,其配置为a)通过停用相脚开关开始测量期,b)接通放电电路,c)在测量期间收集放电电流的测量结果,d)在测量期间第一时间收集第一电容器电压,e)在测量期间第二时间收集第二电容器电压,以及f)根据放电电流乘以第二和第一时间之间的差值与第一和第二电容器电压之间的差值的比,计算电容。
- [0019] 根据本发明的一个实施例,其中放电电路包含偏置为在它的恒流区域传导的晶体管。
- [0020] 根据本发明的一个实施例,其中控制器在测量期开始时建立链路电容器上的预定初始电压。
- [0021] 根据本发明的一个实施例,其中预定初始电压大于直流电源的电压至少预定裕度。
- [0022] 根据本发明的一个实施例,进一步包含串联耦接在链路电容器两端的无源放电电阻器和常通开关设备,其中在测量期间控制器关闭常通开关设备。
- [0023] 根据本发明的一个实施例,其中控制器响应于计算出的电容值示出了从初始电容值的预定下降,检测链路电容器的故障状况。
- [0024] 根据本发明,提供一种用于电驱动中的链路电容器的电容值测量方法,包含:
- [0025] 使电容器充电;
- [0026] 将电容器与任何电源和任何负载隔离;
- [0027] 使电容器以恒定电流放电;
- [0028] 在放电期间测量一对电容器电压;
- [0029] 测量电容器的放电电流;
- [0030] 根据放电电流、电容器电压之间的差值、以及电压测量之间的时间差值,计算电容。

#### 附图说明

- [0031] 图1是示出了具有耦接到蓄电池的直流-直流转换器和耦接到马达的直流-交流逆变器的电驱动系统的示意图。
- [0032] 图2是示出了本发明的电容值测量电路的一个实施例的示意图。
- [0033] 图3是示出了图2的电路中电压和电流变化的曲线图。
- [0034] 图4是示出了本发明的另一个实施例的示意图。
- [0035] 图5是示出了本发明的优选方法的流程图。

## 具体实施方式

[0036] 图1示出了具有电力传动系统的车辆10,电力传动系统具有牵引马达11和蓄电池12。来自蓄电池12的蓄电池电压 $V_B$ 由升压转换器13转换成较高的直流链路电容器14两端的电压 $V_{DC}$ 。转换的直流电压在PWM逆变器(脉冲宽度调制逆变器)15中被反相,用于为牵引马达11供应交流电压。车辆系统控制器(VSC)16连接到逆变器15,以便当电传动系统被激活时用于执行已知的控制策略类型。在车辆10是混合动力电动车辆的情况下,VSC 16也与内燃发动机17耦接,用于在如本领域已知的汽油驱动模式中操作车辆10。

[0037] 在图示的实施例中,升压转换器13包括连接到蓄电池12的电容器18和电感器19。以在本领域中已知的预定的时间间隔可选择地打开和关闭一对功率晶体管20和21,以便产生期望的电压 $V_{DC}$ 。如本领域中已知的,每个电源开关包括与晶体管并联的续流二极管。

[0038] 逆变器15具有包括功率晶体管22a和22b的第一相脚(phase leg)、具有晶体管23a和23b的第二相脚、以及具有晶体管24a和24b的第三相脚。晶体管20-24可以通过VSC 16或通过如本领域已知的另一种专用控制器来控制。

[0039] DC链路电容器14具有相对高的电容值。链路电容器14的故障会妨碍电传动系统的成功运行。

[0040] 图2示出了本发明用于监控直流链路电容值的第一实施例。来自直流电源(例如蓄电池30)的电压 $V_B$ 在升压转换器中被升高,升压转换器包括电容器31、电感器32、以及电源开关33和34。转换的直流电压 $V_{DC}$ 施加于直流链路电容器35两端并输入到逆变器36。本发明采用只在预定的测量期间活跃的恒流放电电路40,以评估链路电容器35的瞬时电容值。

[0041] 放电电路40耦接在链路电容器35两端。放电电路40提供开路直到它被激活,以便它不中断逆变器36的正常运行。在本实施例中,放电电路40包括双极结型晶体管(bipolar junction transistor)41,它的集电极通过电阻器42耦接到 $V_{DC}$ ,它的发射极通过电阻器43接地。晶体管41的基极通过基极电阻器44连接到由微控制器( $\mu C$ )46控制的开关45,以通过开关45选择性地提供电压 $V_{ON}$ 以引起晶体管41在测量期间导电。选定施加到晶体管41的基极的电压和发射极电阻器43的电阻,以确保晶体管41在恒流区域运行,以便在测量期间链路电容器35将在固定的、预定的速率放电。

[0042] 除了双极型晶体管,其他半导体器件可用于创建恒流消耗,例如MOSFET(金属氧化物半导体场效应晶体管)或IGBT(绝缘栅双极型晶体管)。半导体器件应该具有足够高的额定电压以抵挡(即,阻止)当设备未被打开时沿着正向直流母线出现的最高电压。

[0043] 在恒流消耗期间,出现在链路电容器35上的电压将以根据瞬时电容值的速率逐渐下降。因此,为了计算的电容值,本发明采用跨接在发射极电阻器43两端的电流检测电路47和跨接在链路电容器35两端的电压检测电路48。每个检测电路47和48可以包含提供输出至微控制器46的运算放大器,用于表明恒定放电电流 $i_{dis}$ 和链路电容器电压 $V_{CAP}$ 的期望的值。

[0044] 如果电流 $i_{dis}$ 是链路电容器放电的唯一电流,在时间 $T_2$ 的电容器电压 $V_{CAP}$ 或 $V_2$ 可以用以下等式描述:

$$[0045] \quad V_2 = V_1 + \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} i_{dis} dt \quad \text{等式1}$$

[0046] 其中 $V_1$ 是在时间 $T_1$ 的电容器电压。该等式也可以通过微分等式表示:

$$[0047] \quad i_{dis} = C \frac{dV_{cap}}{dt} \quad \text{等式2}$$

[0048] 如果放电电流保持恒定,等式可以简化为:

$$[0049] \quad V_2 = V_1 + \frac{i_{dis}(t_2 - t_1)}{C} \quad \text{等式3}$$

$$[0050] \quad \text{或} \Delta V = V_2 - V_1 = \frac{i_{dis}(t_2 - t_1)}{C} \quad \text{等式4}$$

[0051] 图3示出了沿着线50的直流链路电容器电压 $V_{CAP}$ 和沿着线51的放电电流 $i_{dis}$ 的曲线图。在开始测量之前,在链路电容器上建立充电,相当于一初始电压,该初始电压确保 $V_{CAP}$ 保持高于以下更详细描述电压裕度(voltage margin) $V_m$ 。当恒流放电电路被激活时,放电电流 $i_{dis}$ 在52处上升大致固定的值,然后在整个测量期间保持不变。作为响应,链路电容器电压在53开始下降。在放电期间,链路电容器电压值在时间 $T_1$ 和 $T_2$ 进行取样,提供测量结果 $V_1$ 和 $V_2$ 。使用收集到的样本,直流链路电容器35的电容值使用以下公式得到:

$$[0052] \quad C = \frac{\int_{t_1}^{t_2} i_{dis} dt}{V_2 - V_1} \quad \text{等式5}$$

[0053] 如果放电电流保持恒定,上述等式可以简化为:

$$[0054] \quad C = i_{dis} \frac{t_2 - t_1}{V_2 - V_1} \quad \text{等式6}$$

[0055] 一旦由控制器计算,电容 $C$ 被存储用于诊断目的。它与之前的电容值测量结果和/或链路电容器初始给定的值进行比较,以便检测任何下降,其表明链路电容器的即将发生或现有的故障。

[0056] 返回图2,可以看出,链路电容器35必须与逆变器36的逆变器负载和直流电源(如蓄电池)隔离,以使得链路电容器35的放电单独经由和通过放电电路40确定。为了开始测量期,控制器46停用逆变器36中的相脚开关。与直流电源的隔离可以通过开关(未示出)或通过确保母线电压 $V_{DC}$ 足够高以维持电源开关33中包含的任何续流二极管的反向偏置来提供。换言之,使电源开关33关闭不是足够的,因为如果 $V_{CAP}$ 对于反向偏置二极管不是足够高,续流二极管可以从蓄电池30进行导电。指定所需的电压为 $V_m$ ,其等于蓄电池电压加上标准二极管压降。如果升压转换器未使用且链路电容器35由蓄电池30直接驱动,那么需要蓄电池接触器开关提供隔离。

[0057] 为了进行电容值测量,链路电容器35必须首先被充电到足以维持整个所需的时间段的放电的电压。在链路电容器35上建立充电的步骤也可接续以如上所述的使电容器35与直流电源隔离。

[0058] 用于电流和电压测量的运算放大器的电压检测可以包括由于滤波的固有的时间延迟。延迟可以被补偿,如本领域已知的那样。

[0059] 为了避免存储在链路电容器上的高压的存在,它应当在当车辆不使用的期间期间放电。放电电路40可用于执行这样的功能。如果较快的放电速度是期望的,那么附加的无源放电电阻器可以连接到链路电容器的两端,以便当电驱动关闭时更迅速地放掉电量。无源放电电阻器的电阻值必须足够高以避免在正常操作期间对驱动性能的任何显著影响,且足

够低以使链路电容器在停用驱动之后适当的时间内放电。每当无源放电电阻器存在时,有必要在测量期间使链路电容器与无源放电电阻器隔离。然而,必须保持用于无源放电的操作的无源性质。如图4中本发明的进一步实施例所示,无源放电电阻器55连同常通开关设备56串联连接在链路电容器35两端,常通开关设备56能够由微控制器46关闭,同时恒流放电电路40打开。在图示的例子中,耗尽型MOSFET。电阻器55除了在测量期间当开关56被主动驱动时执行想要的放电功能。

[0060] 本发明的一个优选方法在图5中进行了总结。在适当的时间(如,在车辆怠速期间,在启动序列期间,或在停止运转序列期间),本发明的控制器执行测量期,在步骤60中通过在直流链路电容器上建立充电开始测量周期。在步骤61中,直流链路电容器与负载和蓄电池隔离。在步骤62中,接通恒流放电电路。在步骤63中,在测量期间的任何合适的时间,测量放电电流 $i_{dis}$ 。在步骤64中,在时间 $t_1$ 测量链路电容器电压 $v_1$ 的第一值。在步骤65中,在随后的时间 $t_2$ 收集电容器电压 $v_2$ 的第二样本。在步骤66中,链路电容器的电容值使用上述给出的公式进行计算。在步骤67中,使用计算出的电容值,可以检测电容值的下降并用于表明即将发生的或实际的链路电容器的故障。

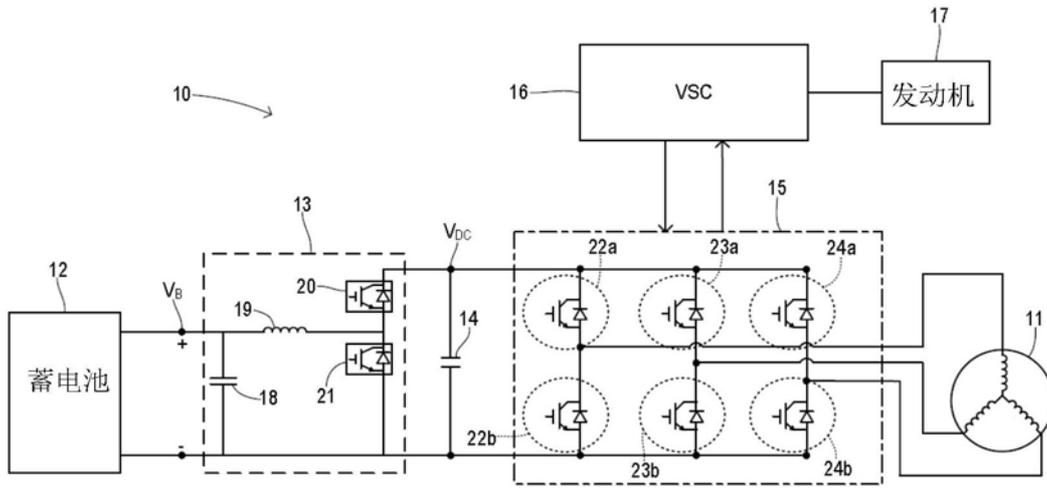


图1

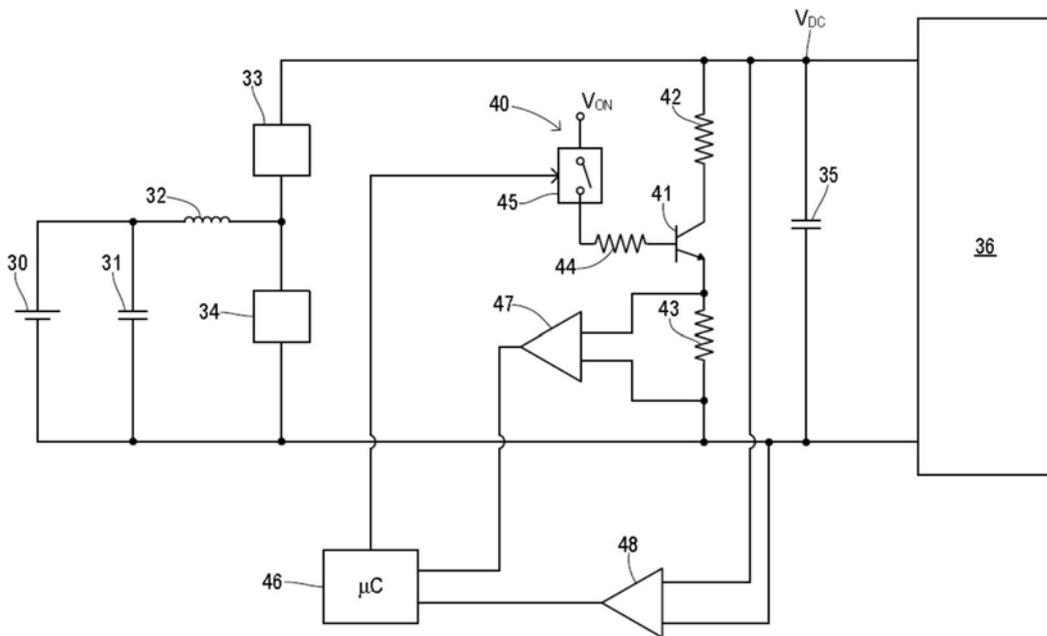


图2

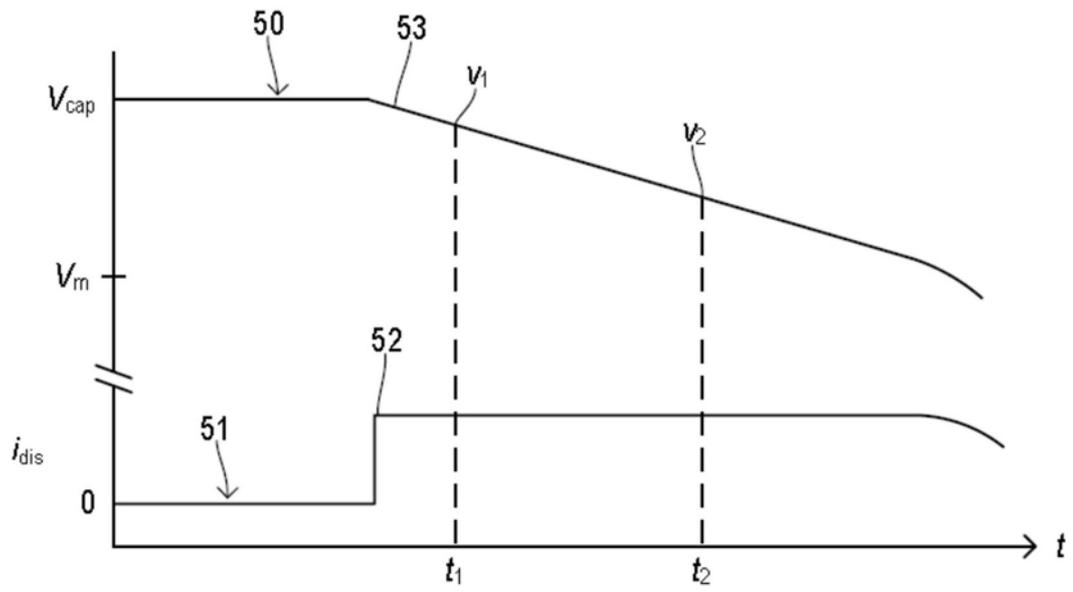


图3

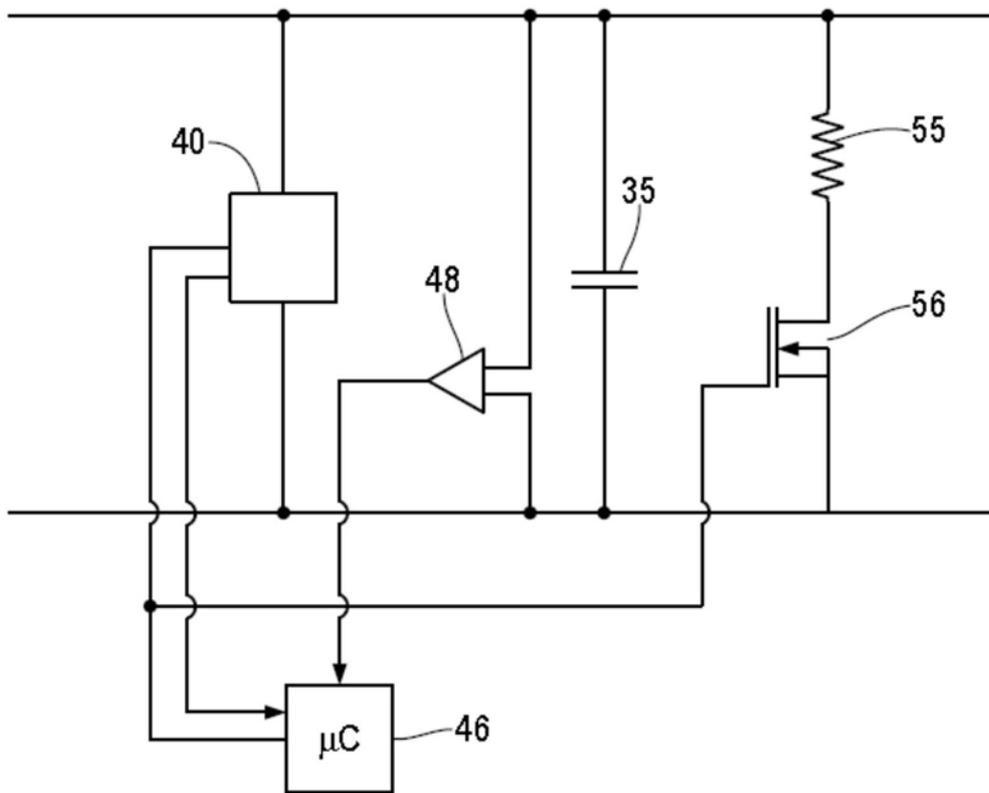


图4

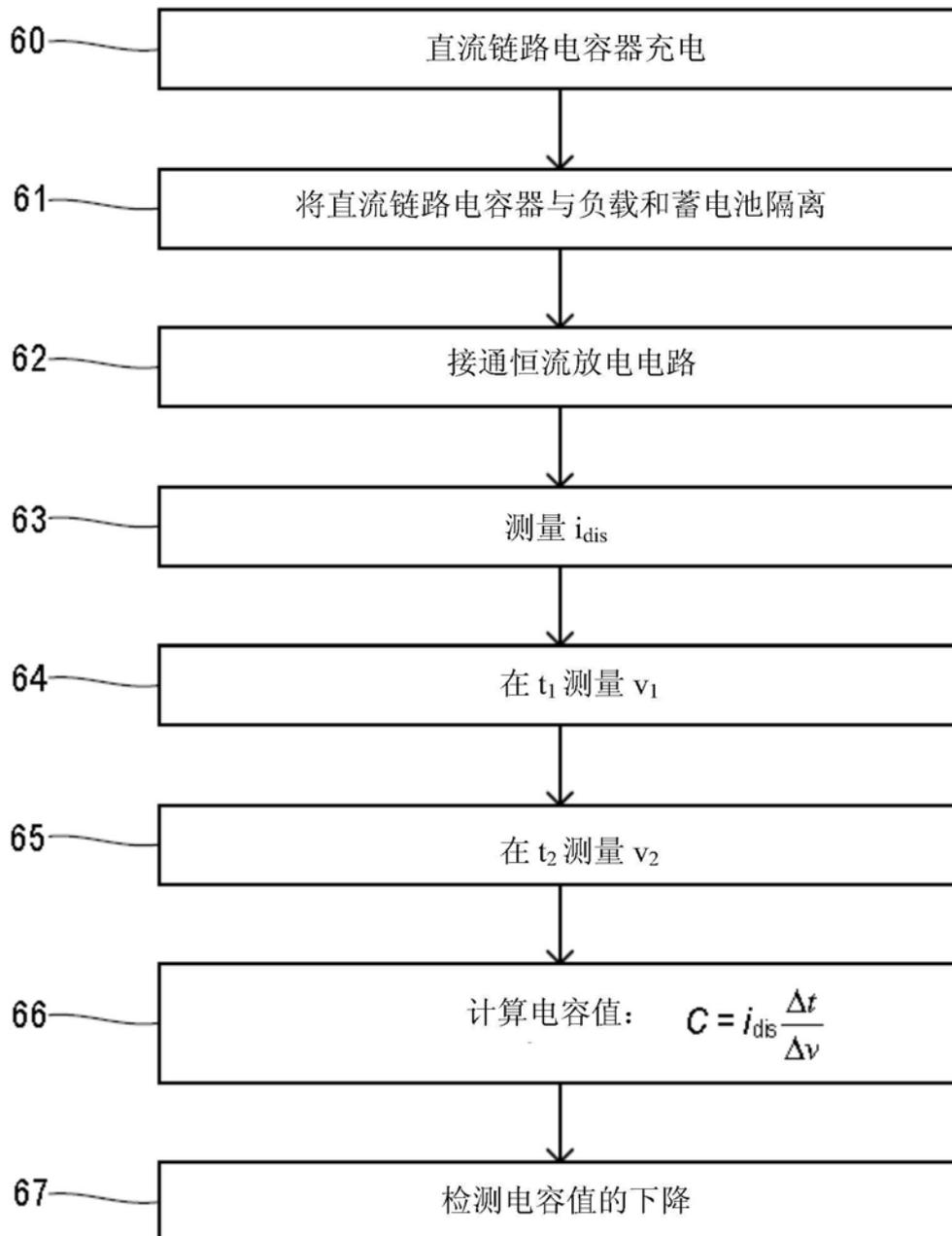


图5