



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106885944 B

(45)授权公告日 2019.06.11

(21)申请号 201710159934.3

(22)申请日 2017.03.17

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106885944 A

(43)申请公布日 2017.06.23

(73)专利权人 上海电力学院
地址 200090 上海市杨浦区平凉路2103号

(72)发明人 赵晋斌 刘琛 张苏捷 李吉祥
李芬 王闪闪

(74)专利代理机构 上海科盛知识产权代理有限公司 31225

代理人 赵志远

(51)Int.Cl.
G01R 27/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 103575969 A,2014.02.12,
CN 101867171 A,2010.10.20,
CN 101976851 A,2011.02.16,
CN 103368191 A,2013.10.23,
JP 特开平8-313571 A,1996.11.29,
Avisha Tah et al..An Enhanced Droop
Control Method for Accurate Load Sharing
and Voltage Improvement of Isolated and
Interconnected DC Microgrids.《IEEE
TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY》.2016,
第7卷(第3期),1194-1204.

审查员 兰东升

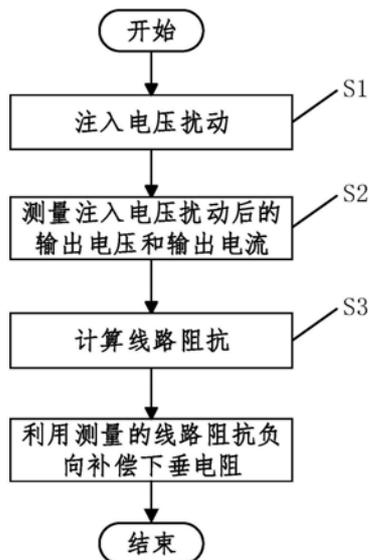
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测方法及装置

(57)摘要

本发明涉及一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测方法及装置,该方法包括以下步骤:S1:设置若干组扰动电压信号,并将扰动电压信号作为垂控制器的基准电压;S2:测量得到DC-DC变换器输出的输出电压和输出电流;S3:根据电压电流关系等式和步骤S2测量得到的多组输出电压和输出电流,得到每个分布式储能单元至直流母线间的线路阻抗;步骤S3获得的线路阻抗负向补偿至对应下垂控制器的下垂电阻中。与现有技术相比,本发明在传统下垂控制基础上,无需添加任何额外测量装置,实现线路阻抗的准确测量,进而对下垂系数进行修正,降低线路阻抗对下垂控制的影响,保证负荷分配的合理性,同时提高母线电压质量,提高系统的稳定性。



1. 一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测方法, 直流微网中若干个分布式储能单元经DC-DC变换器连接至直流母线, 所述DC-DC变换器采用下垂控制器控制, 其特征在于, 该方法包括以下步骤:

S1: 设置若干组扰动电压信号, 并将若干组扰动电压信号依次加入到分布式储能单元输出的基准电压中;

S2: 测量得到每组扰动电压信号对应的分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电压 V_o 和输出电流 i_o ;

S3: 根据电压电流关系等式和步骤S2测量得到的多组输出电压和输出电流, 得到每个分布式储能单元至直流母线间的线路阻抗 r , 所述电压电流关系等式满足以下公式:

$$r_n * i_{o,n} - V_{o,n} + V_{pcc} = 0$$

式中, 下标 n 表示分布式储能单元的编号, r_n 表示第 n 个分布式储能单元至直流母线间的线路阻抗, $i_{o,n}$ 表示第 n 个分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电流, $V_{o,n}$ 表示第 n 个分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电压, V_{pcc} 表示直流母线处公共耦合点电压;

步骤S3获得的线路阻抗负向补偿至对应分布式储能单元连接的DC-DC变换器的下垂控制器的下垂电阻中。

2. 根据权利要求1所述的一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测方法, 其特征在于, 负向补偿后的下垂控制器的下垂系数 R'_d 满足以下公式:

$$R'_d = R_d - r$$

式中, R_d 表示下垂控制器的初始下垂系数。

3. 根据权利要求2所述的一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测方法, 其特征在于, 所述下垂控制器的初始下垂系数 R_d 满足以下公式:

$$R_d = \frac{\Delta V_{\max}}{I_N}$$

式中, ΔV_{\max} 表示直流母线的最大允许电压降落, I_N 表示分布式储能单元的额定电流。

4. 根据权利要求1所述的一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测方法, 其特征在于, 该方法应用的直流微网的分布式储能单元个数大于5个。

5. 一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测装置, 其特征在于, 该装置包括:

扰动注入单元, 用于设置若干组扰动电压信号, 并将若干组扰动电压信号依次加入到分布式储能单元输出的基准电压中;

电压电流测量单元, 用于测量得到每组扰动电压信号对应的分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电压 V_o 和输出电流 i_o ;

线路阻抗计算单元, 用于根据电压电流关系等式和电压电流测量单元测量得到的多组输出电压和输出电流, 得到每个分布式储能单元至直流母线间的线路阻抗 r , 所述电压电流关系等式满足以下公式:

$$r_n * i_{o,n} - V_{o,n} + V_{pcc} = 0$$

式中, 下标 n 表示分布式储能单元的编号, r_n 表示第 n 个分布式储能单元至直流母线间的线路阻抗, $i_{o,n}$ 表示第 n 个分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电流, $V_{o,n}$ 表示第 n 个分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电压, V_{pcc} 表示直流母线处公共耦合点电压;

补偿单元,用于根据线路阻抗计算单元测量得到的线路阻抗负向补偿至对应分布式储能单元连接的DC-DC变换器的下垂控制器的下垂电阻中。

6.根据权利要求5所述的一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测装置,其特征在于,负向补偿后的下垂控制器的下垂系数 R'_d 满足以下公式:

$$R'_d = R_d - r$$

式中, R_d 表示下垂控制器的初始下垂系数。

7.根据权利要求6所述的一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测装置,其特征在于,所述下垂控制器的初始下垂系数 R_d 满足以下公式:

$$R_d = \frac{\Delta V_{\max}}{I_N}$$

式中, ΔV_{\max} 表示直流母线的最大允许电压降落, I_N 表示分布式储能单元的额定电流。

8.根据权利要求5所述的一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测装置,其特征在于,该装置应用的直流微网的分布式储能单元个数大于5个。

一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及分布式发电技术领域,尤其是涉及一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测方法及装置。

背景技术

[0002] 随着新能源的发展,大规模光伏风机接入电网已成必然趋势,但由此对传统电力系统造成的影响不可忽视,微电网作为一种高效协调控制分布式电源的形式,可有效降低分布式电源对电力系统的影响。微电网根据母线电压不同可分为交流微电网和直流微电网。相对于交流微电网,直流微电网具有高效,经济,简单的特点,因此受到了广泛关注。

[0003] 微电网包含网、源、荷、储四部分,主要控制目标在于共同协调运行,维持母线电压稳定,即维持系统内功率平衡。其中分布式电源通过电力电子变换器并行联接到直流母线,因此如何实现分布式电源间负荷合理分配是微电网控制的关键所在。传统负荷分配方法包括集中式和分布式两种。其中,集中式通过互连线将各单元信息上传至中央控制器,由中央控制器分析处理后下达控制命令到各单元,实现各并联单元的统一控制;分布式只需采用本地信息即可实现负荷的自主分配,因此更容易实现扩容,其中下垂控制是一种广泛采用的方法。

[0004] 但下垂控制中,负荷分配和电压控制往往不能兼顾,而且,现有控制方法大都忽略了线路阻抗带来的影响,但在实际系统中,线路阻抗并非完全可以忽略,系统中线路阻抗的存在不但会影响负荷分配,还会影响母线电压质量,现有解决方法多采用低速通信线或稀疏通信线交换各单元间的信息,进而实现准确的负荷分配。

[0005] 1.直流微网中,采用下垂控制时负荷分配和电压质量受线路阻抗影响较大。

[0006] 2.采用集中式控制,对中央控制器要求较高,若中央控制器出现问题,系统内所有单元均不能正常工作,因此系统的可靠性较差。

[0007] 3.无论是集中控制中采用高速通信线,还是改进下垂控制中采用的低速通信线,通信线的加入会增加系统成本,同时不利于系统扩容。

[0008] 鉴于以上原因,只有完全杜绝通信线的使用,才能真正意义上的实现分布式电源的即插即用,真正意义上实现N+1冗余备份功能,提高系统的可靠性。

发明内容

[0009] 本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测方法及装置,在传统下垂控制基础上,无需添加任何额外测量装置,实现线路阻抗的准确测量,进而对下垂系数进行修正,降低线路阻抗对下垂控制的影响,保证负荷分配的合理性,同时提高母线电压质量,提高系统的稳定性。

[0010] 本发明的目的可以通过以下技术方案来实现:

[0011] 一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测方法,直流微网中若干个分布式储能单元经DC-DC变换器连接至直流母线,所述DC-DC变换器采用下垂控制器控制,该方法包括

以下步骤:

[0012] S1:设置若干组扰动电压信号,并将若干组扰动电压信号依次加入到分布式储能单元输出的基准电压中;

[0013] S2:测量得到每组扰动电压信号对应的分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电压 V_o 和输出电流 i_o ;

[0014] S3:根据电压电流关系等式和步骤S2测量得到的多组输出电压和输出电流,得到每个分布式储能单元至直流母线间的线路阻抗 r ,所述电压电流关系等式满足以下公式:

$$[0015] \quad r_n * i_{o,n} - V_{o,n} + V_{pcc} = 0$$

[0016] 式中,下标 n 表示分布式储能单元的编号, r_n 表示第 n 个分布式储能单元至直流母线间的线路阻抗, $i_{o,n}$ 表示第 n 个分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电流, $V_{o,n}$ 表示第 n 个分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电压, V_{pcc} 表示直流母线处公共耦合点电压;

[0017] 步骤S3获得的线路阻抗负向补偿至对应分布式储能单元连接的DC-DC变换器的下垂控制器的下垂电阻中。

[0018] 负向补偿后的下垂控制器的下垂系数 R'_d 满足以下公式:

$$[0019] \quad R'_d = R_d - r$$

[0020] 式中, R_d 表示下垂控制器的初始下垂系数。

[0021] 所述下垂控制器的初始下垂系数 R_d 满足以下公式:

$$[0022] \quad R_d = \frac{\Delta V_{\max}}{I_N}$$

[0023] 式中, ΔV_{\max} 表示直流母线的最大允许电压降落, I_N 表示分布式储能单元的额定电流。

[0024] 该方法应用的直流微网的分布式储能单元个数大于5个。

[0025] 一种用于下垂控制的直流微网线路阻抗检测装置包括:

[0026] 扰动注入单元,用于设置若干组扰动电压信号,并将若干组扰动电压信号依次加入到分布式储能单元输出的基准电压中;

[0027] 电压电流测量单元,用于测量得到每组扰动电压信号对应的分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电压 V_o 和输出电流 i_o ;

[0028] 线路阻抗计算单元,用于根据电压电流关系等式和电压电流测量单元测量得到的多组输出电压和输出电流,得到每个分布式储能单元至直流母线间的线路阻抗 r ,所述电压电流关系等式满足以下公式:

$$[0029] \quad r_n * i_{o,n} - V_{o,n} + V_{pcc} = 0$$

[0030] 式中,下标 n 表示分布式储能单元的编号, r_n 表示第 n 个分布式储能单元至直流母线间的线路阻抗, $i_{o,n}$ 表示第 n 个分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电流, $V_{o,n}$ 表示第 n 个分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电压, V_{pcc} 表示直流母线处公共耦合点电压;

[0031] 补偿单元,用于根据线路阻抗计算单元测量得到的线路阻抗负向补偿至对应分布式储能单元连接的DC-DC变换器的下垂控制器的下垂电阻中。

[0032] 负向补偿后的下垂控制器的下垂系数 R'_d 满足以下公式:

[0033] $R'_d = R_d - r$

[0034] 式中, R_d 表示下垂控制器的初始下垂系数。

[0035] 所述下垂控制器的初始下垂系数 R_d 满足以下公式:

$$[0036] \quad R_d = \frac{\Delta V_{\max}}{I_N}$$

[0037] 式中, ΔV_{\max} 表示直流母线的最大允许电压降落, I_N 表示分布式储能单元的额定电流。

[0038] 该装置应用的直流微网的分布式储能单元个数大于5个。

[0039] 与现有技术相比,本发明具有以下优点:

[0040] 1) 充分利用直流微电网运行特点,测量方法简单,只需利用下垂控制中的现有的电压传感器、电流传感器,无需添加额外传感器,成本低;

[0041] 2) 无需互联通信线,进一步降低成本,同时提高了系统可靠性;

[0042] 3) 利用线路测量装置计算得到的线路阻抗,负向补偿到下垂电阻中,从而消除线路阻抗对系统的影响,经试验证明,可有效提高电流负荷分配精度,改善电压质量;

[0043] 4) 分布式储能单元采用此装置,可真正意义上地实现分布式电源的即插即用;

[0044] 5) 可随意增加分布式电源的输出功率,实现N+1冗余备份功能,提高了微网系统可靠性。

[0045] 6) 该方法应用的直流微网的分布式储能单元个数大于5个,随着因此系统单元越多,等效电容越大,测量越精确。

[0046] 7) 该方法应用的下垂控制系数与分布式储能单元容量成反比,其值由分布式电源输出额定电流和母线最大允许电压降落决定,兼顾母线电压压降和均流效果。...

[0047] 8) 该方法属于主动测量法,即主动加入扰动,并实现测量补偿,优点在于无需添加任何额外硬件测量装置,如电压电流传感器等,仅利用下垂控制方法中硬件测量装置即可实现。

[0048] 9) 常规线路阻抗检测方法,目前在弱电网方向中有电网阻抗的检测,基本也就是采用注入谐波电流的方法,另外还有一点应注意的是,弱电网电网阻抗与此处所提线路阻抗有本质不同,此处线路阻抗为实际的物理阻抗,而弱电网中,电网阻抗不仅包含传输线路阻抗,还包括电网内部阻抗,变压器阻抗。而该方法应用的直流微网为直流系统,而弱电网为交流系统。即本方法只适用于直流微网系统,同时弱电网检测电网阻抗的方法不适用于此处线路阻抗的测量。

[0049] 10) 测量得到的线路阻抗直接添加至控制系统中进行负向补偿,并且测量值越接近实际值,对系统负荷分配越有利。

附图说明

[0050] 图1为直流微电网典型结构图;

[0051] 图2为本发明方法控制流程图;

[0052] 图3为两台DG并联等效电路图;

[0053] 图4为应用本发明测量过程与补偿原理的两台DG并联等效电路图;

[0054] 其中,图(4a)为注入扰动后的两台DG并联等效电路图,图(4b)为检测电流电压、计

算得到线路阻抗并进行负向补偿的两台DG并联等效电路图,图(4c)为补偿线路阻抗后的两台DG并联等效电路图;

[0055] 图5为仿真试验中传统下垂控制的母线电压曲线图;

[0056] 图6为仿真试验中加入测量补偿后的母线电压曲线图;

[0057] 图7为仿真试验中传统下垂控制的两DC-DC变换器输出电流曲线图;

[0058] 图8为仿真试验中加入测量补偿后的两DC-DC变换器输出电流曲线图。

具体实施方式

[0059] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。本实施例以本发明技术方案为前提进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程,但本发明的保护范围不限于下述的实施例。

[0060] 图1所示为直流微电网典型结构图,直流母线(DC BUS)通过线路将网、源、荷、储四部分连接到一起。网,即系统大电网,通过双向DC-AC变换器、断路器与微网相连,微网工作于并网还是离网,与此相关;源,即分布式发电(DG,distributed generator),包括光伏、风机等绿色能源,通过升压变换器等与直流母线相连,有MPPT(最大功率点跟踪)和恒压源两种工作模式;荷(Load),包括两部分,敏感负荷和非敏感负荷,其中非敏感负荷在系统供不应求时应起到可靠切除维持系统稳定的作用,另外可实现能量双向流动的电动汽车也归于负荷;储,即分布式电源(DER,distributed energy resource),即蓄电池和超级电容,通过双向DC-DC变换器连接至直流母线,有恒压源和限功率运行两种工作模式,起到平复直流母线电压波动的作用。为保证系统功率平衡,维持母线电压在正常范围内,四部分应协调运行。本发明针对离网情况下,分布式电源出力大于负荷,同时系统储能均充满状态,分布式电源之间的负荷分配问题。图3中各单元与母线间线路阻抗的存在会影响负荷分配,下面进行详细论述。

[0061] 如图3所示为两台DG并联等效电路图,图中各变量代表的含义为:

[0062] V_{ref1} : 第一DC-DC变换器的电压给定值;

[0063] V_{ref2} : 第二DC-DC变换器的电压给定值;

[0064] V_{o1} : 第一DC-DC变换器的输出电压;

[0065] V_{o2} : 第二DC-DC变换器的输出电压;

[0066] V_{pcc} : 直流微网中公共耦合点的电压值;

[0067] i_{o1} : 第一DC-DC变换器的输出电流;

[0068] i_{o2} : 第二DC-DC变换器的输出电流;

[0069] R_{d1} : 第一DC-DC变换器的下垂系数;

[0070] R_{d2} : 第二DC-DC变换器的下垂系数;

[0071] r_1 : 第一DC-DC变换器至PCC点(公共耦合点)线路阻抗,待测线路阻抗;

[0072] r_2 : 第二DC-DC变换器至PCC点线路阻抗,待测线路阻抗;

[0073] R_L : 微网系统等效负载电阻。

[0074] 其中,一般 V_{ref1} 与 V_{ref2} 相等,下垂系数与分布式电源容量成反比,其值由分布式电源输出额定电流和母线最大允许电压降落决定,如下式所示:

$$[0075] \quad R_d = \frac{\Delta V_{\max}}{I_N}$$

[0076] 其中, R_d 为下垂系数; I_N 为分布式电源额定电流; ΔV_{\max} 为最大允许电压降落。

[0077] 依据基尔霍夫电压电流定律,可得如下关系式:

$$[0078] \quad \begin{cases} R_{d1} \cdot i_{o1} + V_{o1} = V_{ref1} \\ R_{d2} \cdot i_{o2} + V_{o2} = V_{ref2} \\ r_1 \cdot i_{o1} - V_{o1} + V_{pcc} = 0 \\ r_2 \cdot i_{o2} - V_{o2} + V_{pcc} = 0 \\ R_L \cdot i_{o1} + R_L \cdot i_{o2} - V_{pcc} = 0 \end{cases}$$

[0079] 由以上各式联立求解可得:

$$[0080] \quad \frac{i_{o1}}{i_{o2}} = \frac{R_{d2} + r_2}{R_{d1} + r_1}$$

[0081] 由上式可知,由于线路阻抗的存在,各变换器输出电流不能完全按照所给定下垂电阻进行负荷分配,并且可以看出,线路阻抗的存在同样会造成母线电压的进一步下降。

[0082] 本发明线路阻抗检测方法,利用线路阻抗检测装置计算得到的线路阻抗,负向补偿到下垂电阻中,从而消除线路阻抗对系统的影响。直流微网中若干个分布式储能单元经DC-DC变换器连接至直流母线,DC-DC变换器采用下垂控制器控制,分布式储能单元为DG或DER等,如图2所示,该线路阻抗检测方法包括以下步骤:

[0083] S1:设置若干组扰动电压信号,并将若干组扰动电压信号依次加入到分布式储能单元输出的基准电压中;

[0084] S2:测量得到每组扰动电压信号对应的分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电压 V_o 和输出电流 i_o ;

[0085] S3:根据电压电流关系等式和步骤S2测量得到的多组输出电压和输出电流,得到每个分布式储能单元至直流母线间的线路阻抗 r ,电压电流关系等式满足以下公式:

$$[0086] \quad r_n \cdot i_{o,n} - V_{o,n} + V_{pcc} = 0$$

[0087] 式中,下标 n 表示分布式储能单元的编号, r_n 表示第 n 个分布式储能单元至直流母线间的线路阻抗, $i_{o,n}$ 表示第 n 个分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电流, $V_{o,n}$ 表示第 n 个分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电压, V_{pcc} 表示直流母线处公共耦合点电压;

[0088] 步骤S3获得的线路阻抗负向补偿至对应分布式储能单元连接的DC-DC变换器的下垂控制器的下垂电阻中。

[0089] 负向补偿后的下垂控制器的下垂系数 R'_d 满足以下公式:

$$[0090] \quad R'_d = R_d - r$$

[0091] 式中, R_d 表示下垂控制器的初始下垂系数。

[0092] 下垂控制器的初始下垂系数 R_d 满足以下公式:

$$[0093] \quad R_d = \frac{\Delta V_{\max}}{I_N}$$

[0094] 式中, ΔV_{\max} 表示直流母线的最大允许电压降落, I_N 表示分布式储能单元的额定电流。

[0095] 在此提出的线路阻抗测量方法,充分利用直流微网离网运行时各单元运行特点,上述方法采用的线路阻抗检测装置,除包括传统下垂控制中的电压电流控制器、下垂控制器外,还包括扰动注入单元、电压电流测量单元、线路阻抗计算单元、补偿单元四部分,其中,

[0096] 扰动注入单元,用于产生测量所必须的若干组扰动电压信号,并将若干组扰动电压信号依次加入到分布式储能单元输出的控制系统基准电压中;

[0097] 电压电流测量单元,用于产生扰动电压信号后,测量得到每组扰动电压信号对应的分布式储能单元经DC-DC变换器输出的输出电压 V_o 和输出电流 i_o ;

[0098] 线路阻抗计算单元,用于根据电压电流关系等式和电压电流测量单元测量得到的多组输出电压和输出电流,得到每个分布式储能单元至直流母线间的线路阻抗 r ;

[0099] 补偿单元,用于根据线路阻抗计算单元测量得到的线路阻抗负向补偿至对应分布式储能单元连接的DC-DC变换器的下垂控制器的下垂电阻中,从而消除线路阻抗对系统的影响。

[0100] 微电网中各分布式电源维持母线电压,此时储能单元工作于电流源模式,储能单元所连接DC/DC变换器输出侧电容,以及系统负荷中的恒功率负载输入侧电容,均可保证母线电压在ms时间内不变,而且等效电容越大,时间越长,因此系统单元越多,等效电容越大,测量越精确,本发明中该装置应用的直流微网的分布式储能单元个数大于5个,例如7个,可以达到更高精度的线路阻抗,使得控制效果更佳。

[0101] 如图4中(4a)所示,以第一DC-DC变换器为例,使变换器输出电压发生瞬时波动 V_{disturb} ,此时假设 V_{pcc} 因延迟未发生波动,检测变换器的输出电压、输出电流。

[0102] 假设第一DC-DC变换器扰动电压注入前和注入后的输出电压分别为 V_{o1} 和 V_{o1}' 、输出电流分别为 i_{o1} 和 i_{o1}' ,满足如下等式:

$$[0103] \quad r_1 \cdot i_{o1} - V_{o1} + V_{\text{pcc}} = 0$$

$$[0104] \quad r_1 \cdot i_{o1}' - V_{o1}' + V_{\text{pcc}} = 0$$

[0105] 两式联立可得,

$$[0106] \quad r_1 = \frac{V_{o1} - V_{o1}'}{i_{o1} - i_{o1}'}$$

[0107] 求得线路阻抗 r_1 后,在电路中补偿 $-r_1$,如图4b所示。加入 $-r_1$ 后,可以消除线路阻抗对均流造成的影响,得到补偿后的两台DG并联等效电路图,如图4c所示。

[0108] 下面对本发明的仿真进行说明:

[0109] 为检验本发明的效果,在matlab/simulink中搭建两台同容量分布式电源并联电路仿真模型。其中母线电压400V,额定容量8kW,最大允许电压偏差取5%,则两台分布式电源下垂系数均为1,第一分布式电源至母线间线路阻抗为 2.9Ω ,第二分布式电源至母线电压间线路阻抗为 1.5Ω ,负载电阻为 20Ω 。采用本发明测量线路阻抗的结果如下表所示:

线路阻抗 r_1 (Ω)		线路阻抗 r_2 (Ω)	
实际值	测量值	实际值	测量值
2.9	2.948	1.5	1.478
相对误差 1.65%		相对误差 1.46%	

[0111] 从上表可知,两个线路阻抗的测量值与实际值的相对误差都很小,说明本发明的测量结果准确可靠。

[0112] 图5所示为传统下垂控制母线电压仿真曲线,可以看出传统的下垂控制方法因线路阻抗的影响而导致母线电压下降。图6所示为加入负向补偿后的母线电压仿真曲线,从图中可以看出加入负向补偿后,母线电压显著升高,与电压参考值偏差较小,电压质量得到了改善。

[0113] 图7所示为两个DC-DC变换器的传统下垂控制的输出电流仿真曲线,两个DC-DC变换器的输出电流数值差别大,不能实现电流均衡的下垂控制效果,图8所示为两个DC-DC变换器加入负向补偿后输出电流曲线,从图中可知两个DC-DC变换器的输出电流值基本相等,说明本发明使负载功率得到了准确分配,并且有效抑制了变换器之间的环流。

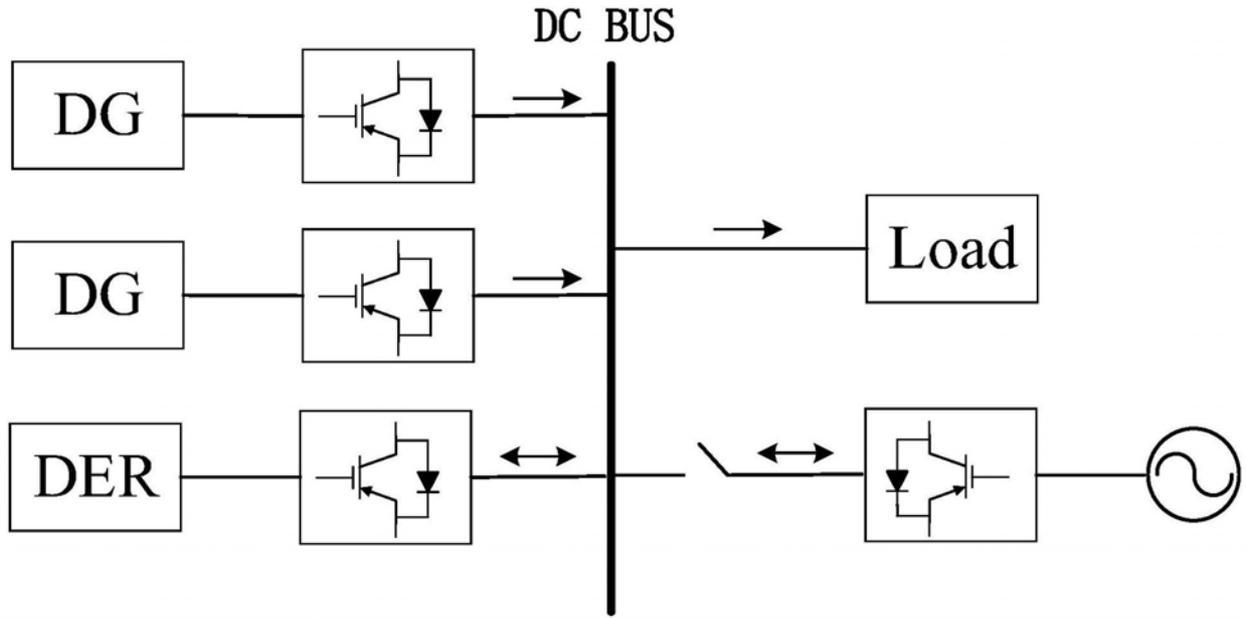


图1

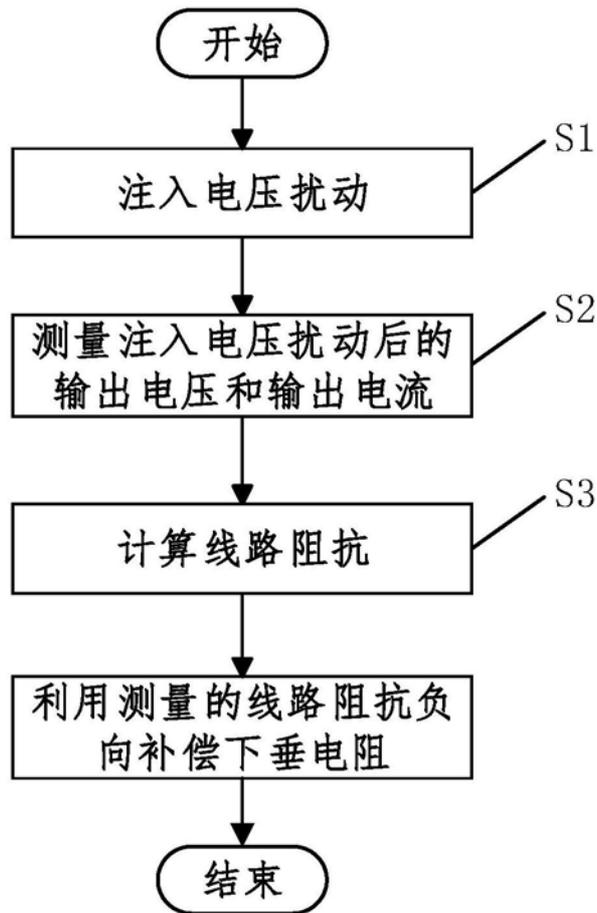


图2

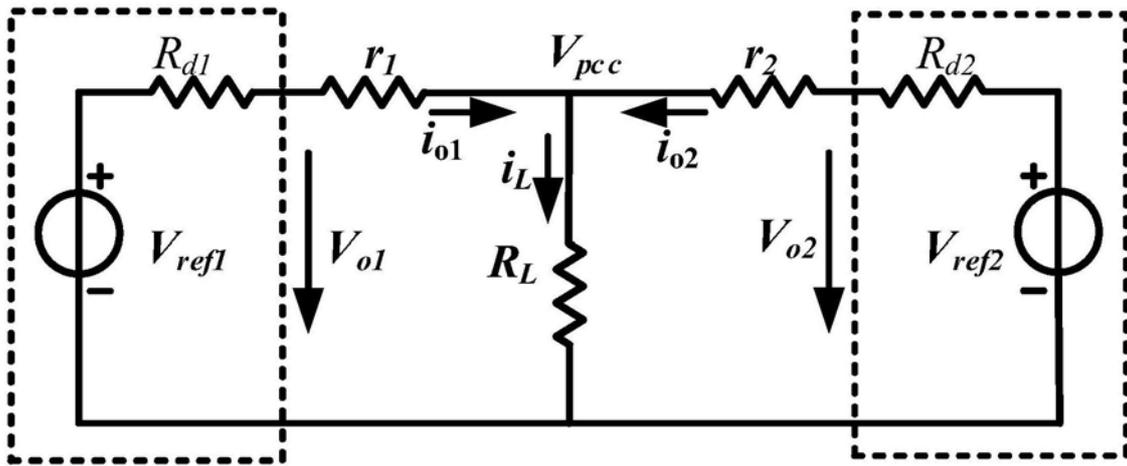
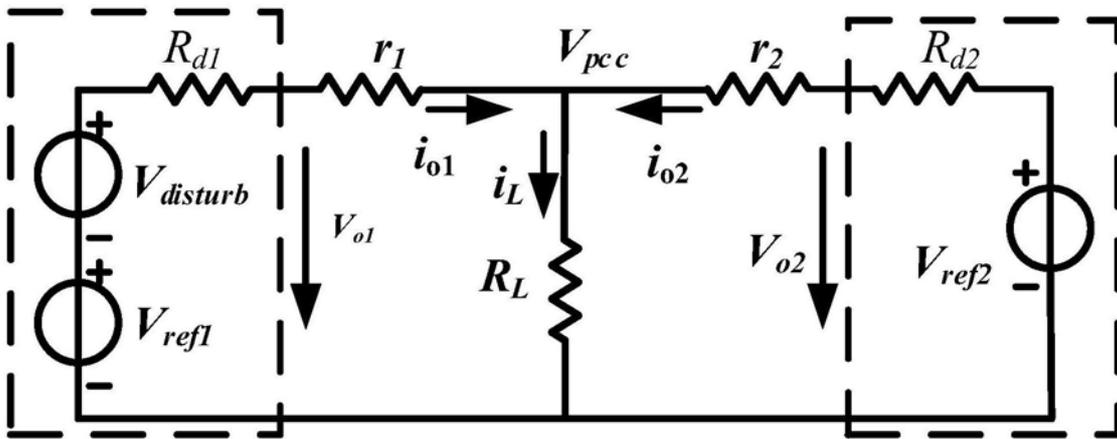
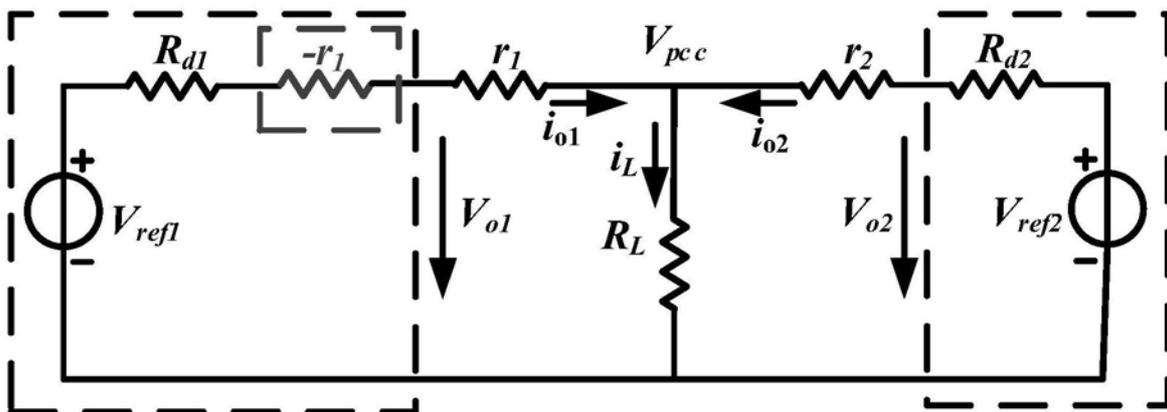


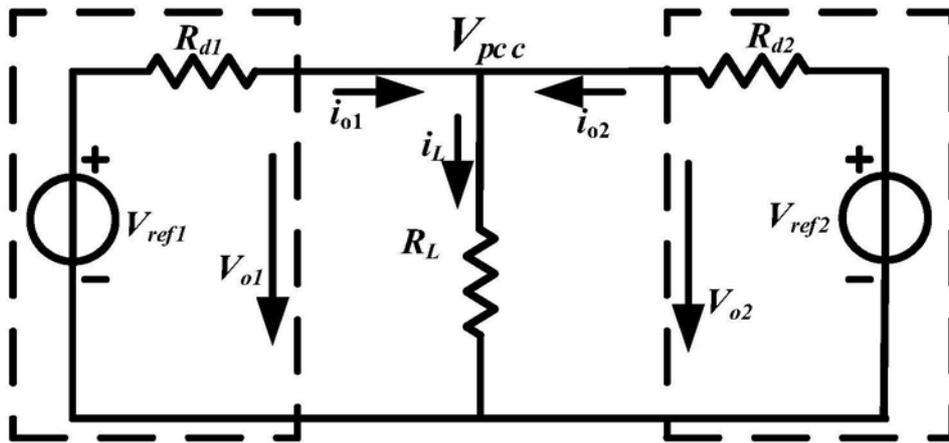
图3



(4a)



(4b)



(4c)

图4

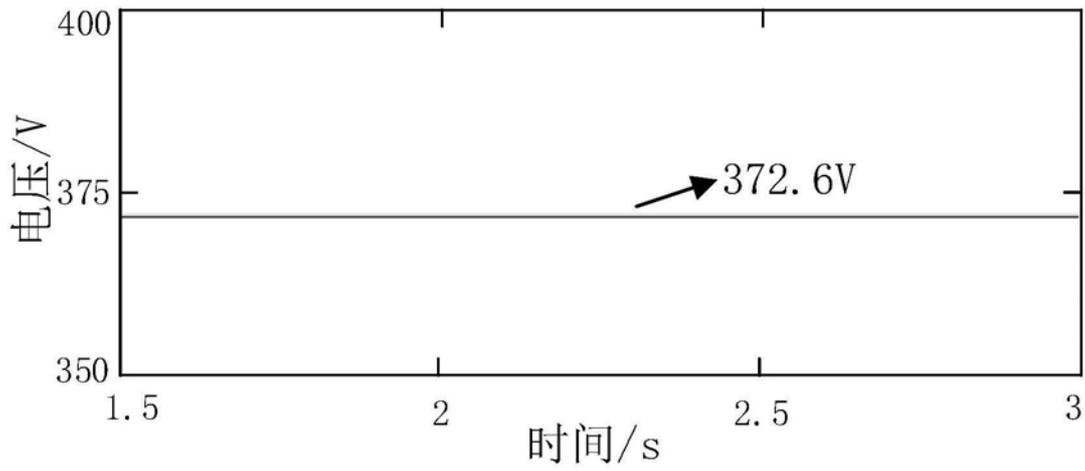


图5

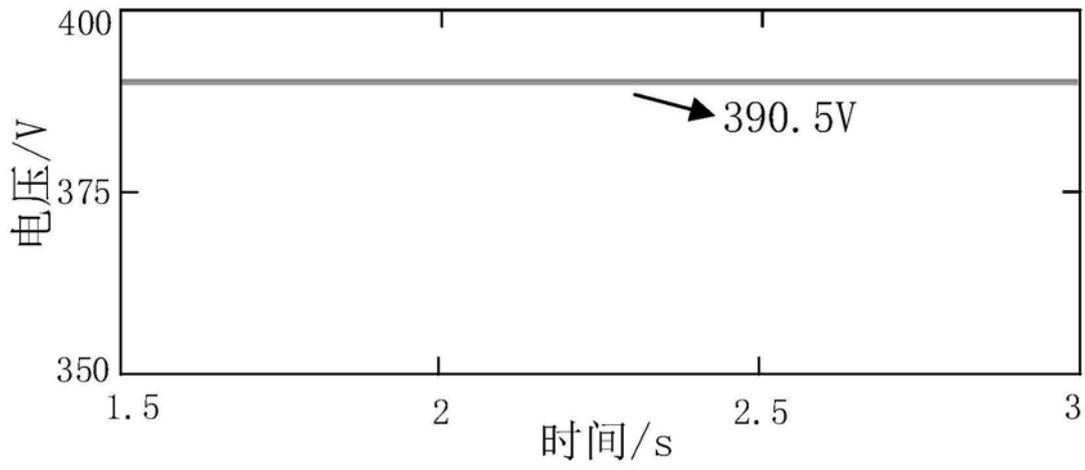


图6

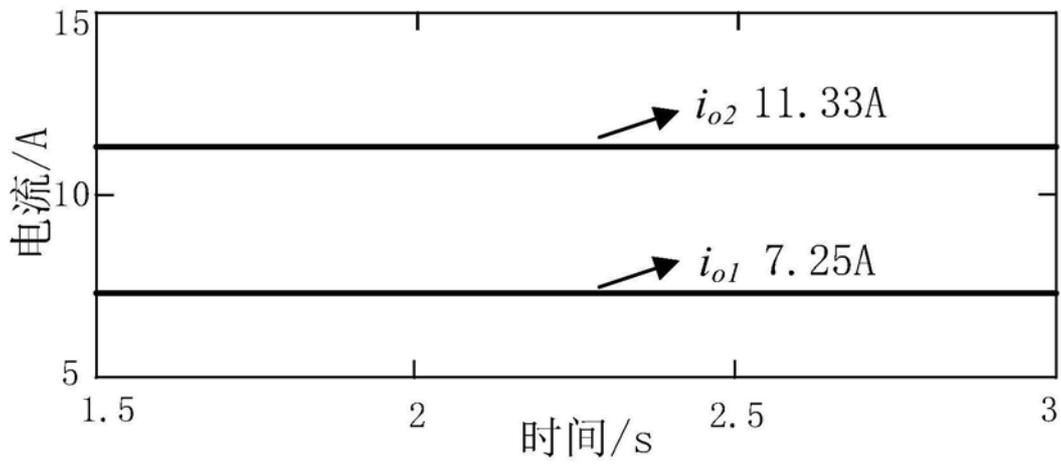


图7

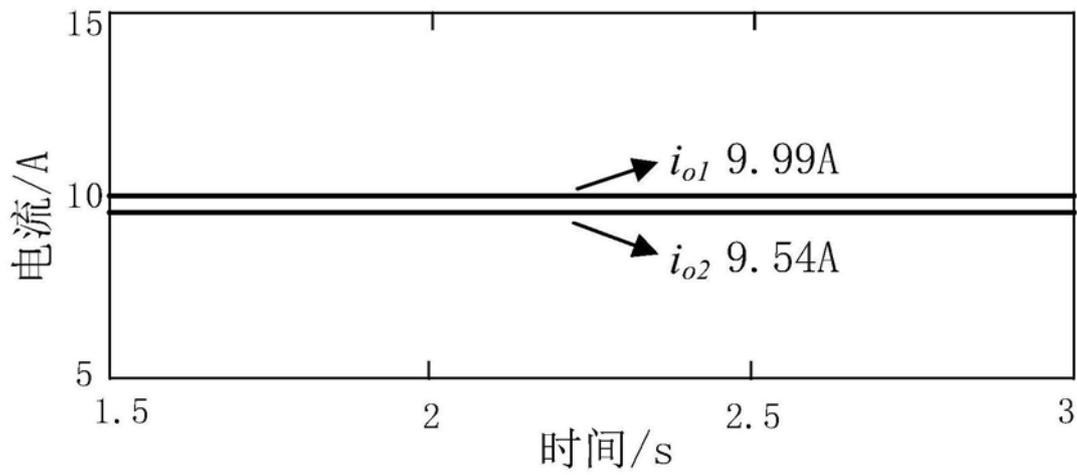


图8