



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104836221 B

(45)授权公告日 2017.04.05

(21)申请号 201510243166.0

审查员 刘勇

(22)申请日 2015.05.13

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104836221 A

(43)申请公布日 2015.08.12

(73)专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区100084-82信箱

(72)发明人 马俊超 贺凡波 赵争鸣 曹阳
袁立强 鲁挺

(74)专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理
有限公司 11246

代理人 朱琨

(51)Int.Cl.

H02J 1/12(2006.01)

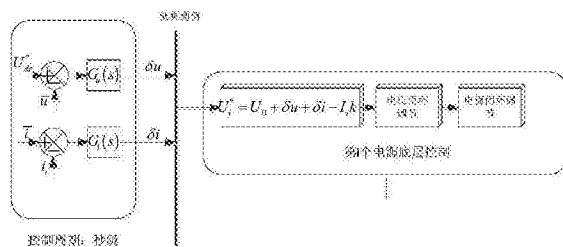
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

基于线损优化的直流微网二次调节控制方法

(57)摘要

本发明属于配电网技术与电力电子技术交叉领域，尤其涉及一种基于线损优化的直流微网二次调节控制方法。首先构建直流微网系统，上层控制中心根据各变换器的采样信息计算直流微网系统线路损耗功率；然后计算各可控电压源下垂控制截距共模和差模调节量；通过下垂控制参数调节直流微网中各可控电源的输出电压，以控制各电源出力，从而调节各配电支路上的潮流，降低线路损耗。本发明在不依赖高灵敏度传感器测量线路阻抗和大量运行信息的情况下，实现对直流微电网的线路损耗优化。实验结果表明：与当前直流微网常规控制方法相比，该控制方法可以有效降低线损，具体降低幅度视线路阻抗和负载的分布状况决定。



1. 一种基于线损优化的直流微网二次调节控制方法，其特征在于，包括：

步骤1、构建一个直流微网系统，该系统包括多个可控电压源、多个电流源或功率源负载、多条输电线路、多个变换器、低带宽通信系统、上层控制中心；其中，上层控制中心依次通过低带宽通信系统、变换器底层控制平台与每个可控电压源相连，上层控制中心通过低带宽通信系统与电流源或功率源负载相连；输电线路分为电源支路和主干输电线路，电源支路将多个可控电压源和电流源或功率源负载连到一起，主干输电线路将各条电源支路以及多个电流源或功率源负载连到一起；

步骤2、低带宽通信系统将各变换器的运行与采样信息上传至上层控制中心；

步骤3、上层控制中心根据各变换器上传来的运行信息，计算直流微网系统线路损耗功率；

步骤4、上层控制中心建立直流微网系统最优线路损耗功率的条件；

步骤5、上层控制中心计算各可控电压源下垂控制截距共模和差模调节量；

步骤6、上层控制中心将调节量通过低带宽通信系统下传到各变换器，通过下垂控制参数调节来实现直流微网系统二次调节控制；

所述计算直流微网系统线路损耗功率包括各条电源支路和各条主干输电线路的损耗功率，总公式为：

$$P_l = \sum_{i=1}^n P_{li} + \left(i_1 + i_2 - \sum_{j=1}^{a-1} I_{1j} - \sum_{j=1}^{b-1} I_{2j} \right)^2 R_1 + \dots + \left(i_1 + i_2 - \sum_{j=1}^a I_{1j} - \sum_{j=1}^b I_{2j} - \sum_{q=1}^p I_{q-1} \right)^2 R_q \\ + \left(i_1 + i_2 + i_3 - \sum_{j=1}^{a-1} I_{1j} - \sum_{j=1}^{b-1} I_{2j} - \sum_{j=1}^{c-1} I_{3j} - \sum_{q=1}^p I_{q-1} \right)^2 R_{q+1} + \dots$$

其中第*i*条电源支路的线路损耗*P_{li}*计算如下式：

$$P_{li} = i_i^2 R_n + (i_i - I_{il})^2 R_{i2} + \dots + \left(i_i - \sum_{m=1}^q I_{im} \right)^2 R_{i(q+1)}$$

其中，*P_l*为直流微网系统线路损耗功率，*i_i*为第*i*个可控电压源的输出电流，*i*=1,2,⋯,n,n为可控电压源的个数，*I_{ij}*为第*i*个可控电压源支路上的第*j*个负载额定电流，*j*=1,2,⋯,m,m为该条电源支路上的负载个数，*R_{i(q+1)}*为第*i*个可控电压源支路上的第*q+1*段输电线路阻抗，*q*=1,2,⋯,p,p为该条电源支路上的输电线路分段个数；*I_{q-1}*为主干输电线路上的第*q-1*个负载额定电流，*R_q*为主干输电线路上的第*q*段输电线路阻抗；a、b、c分别为第1、2、3个可控电压源支路上的负载总数；

所述最优线路损耗功率的条件建立过程包括：

直流微网系统线路损耗功率*P_l*取得最小值则需满足： $\frac{\partial P_l}{\partial i_i} = 0$ ，针对*i₁*、*i₂*，

$$\frac{\partial P_l}{\partial i_1} = \frac{\partial P_n}{\partial i_1} + 2 \left(i_1 + i_2 - \sum_{j=1}^{a-1} I_{1j} - \sum_{j=1}^{b-1} I_{2j} \right) R_1 + \dots + 2 \left(i_1 + i_2 - \sum_{j=1}^a I_{1j} - \sum_{j=1}^b I_{2j} - \sum_{q=1}^p I_{q-1} \right) R_q \\ + 2 \left(i_1 + i_2 + i_3 - \sum_{j=1}^{a-1} I_{1j} - \sum_{j=1}^{b-1} I_{2j} - \sum_{j=1}^{c-1} I_{3j} - \sum_{q=1}^p I_{q-1} \right) R_{q+1} + \dots = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_i}{\partial i_2} = & \frac{\partial P_{12}}{\partial i_2} + 2 \left(i_1 + i_2 - \sum_{j=1}^{a-1} I_{1j} - \sum_{j=1}^{b-1} I_{2j} \right) R_1 + \dots + 2 \left(i_1 + i_2 - \sum_{j=1}^a I_{1j} - \sum_{j=1}^b I_{2j} - \sum_{q=1}^p I_{q+1} \right) R_q \\ & + 2 \left(i_1 + i_2 + i_3 - \sum_{j=1}^{a-1} I_{1j} - \sum_{j=1}^{b-1} I_{2j} - \sum_{j=1}^{c-1} I_{3j} - \sum_{q=1}^p I_{q+1} \right) R_{q+1} + \dots = 0 \end{aligned}$$

得出 $\frac{\partial P_{11}}{\partial i_1} = \frac{\partial P_{12}}{\partial i_2}$,

又因为 $U_1 = U_{12} + \frac{\partial P_{11}}{\partial i_1}$

$$U_2 = U_{12} + \frac{\partial P_{12}}{\partial i_2}$$

则得出当 P_1 取得最小值时, 有 $U_1 = U_2$; 同理可得, 当 P_1 取得最小值时, $U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n$, 其中, P_{11}, P_{12} 分别为第 1、2 条电源支路的线路损耗, i_1, i_2 分别为第 1、2 个可控电压源的输出电流, U_1, U_2 分别为第 1、2 个可控电压源的当前电压测量值, U_n 为第 n 个可控电压源的当前电压测量值, U_{12} 为第 1 个可控电压源支路上的第 2 个负载的工作电压;

所述截距共模调节量的计算公式为:

$$\delta u_{com}^* = Gs_{com} (U_{dc}^* - u_{ave})$$

其中 δu_{com}^* 为截距共模调节量, Gs_{com} 为共模调节器, 采用 PI 调节, U_{dc}^* 为直流微网系统额定母线电压, u_{ave} 为各个可控电压源母线电压的平均值, 各变换器电压源下垂控制截距共模调节量相同;

所述截距差模调节量的计算公式为:

$$\delta u_i^* = Gs_{dif} (u_{ave} - u_i)$$

其中 Gs_{dif} 差模调节器, 采用 PI 调节, u_{ave} 为各个可控电压源母线电压的平均值, u_i 为第 i 个可控电压源当前电压测量值, 各变换器电压源下垂控制截距差模调节量不同;

所述变换器下垂控制参数调节的计算公式为:

$$U_i^* = U_0 + \delta u_{com}^* + \delta u_i^* - i_k k$$

其中, U_i^* 为第 i 个可控电压源的输出电压, U_0 为下垂控制截距, δu_{com}^* 为截距共模调节量, δu_i^* 为截距差模调节量, i_k 为第 i 个可控电压源的输出电流, $i = 1, 2, \dots, n$, n 为可控电压源的个数, k 为下垂线斜率, 初始设定的各变换器的下垂线斜率相同, 且在运行过程中保持不变。

2. 根据权利要求 1 所述方法, 其特征在于, 所述低带宽通信系统下传到各变换器的通信频率为秒级。

基于线损优化的直流微网二次调节控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于配电网技术与电力电子技术交叉领域,尤其涉及一种基于线损优化的直流微网二次调节控制方法。

背景技术

[0002] 与传统配电网系统单一电源、树状结构的形式不同,直流微电网中存在多个直流电压源。这使得在配电网中通过控制潮流实现线路损耗优化成为可能。直流微电网系统近年来才逐步兴起,目前针对其线路损耗进行优化控制的方法还不多见。在交流微网中,部分研究通过测量线路阻抗和传输功率进行逐步迭代实现线损优化,但此方法过高依赖于传感器精度,在实际中很难实现,甚至适得其反。

[0003] 对于直流微网电源运行控制,目前普遍采用分布式下垂控制方法。一些研究在各电源底层运行下垂控制方法的基础上提出采用低频通信系统对变换器的下垂参数进行二次调节。一些研究提出通过二次调节稳定母线电压,抵消下垂控制带来的母线电压波动,但并未考虑线路阻抗问题;一些研究在考虑线路阻抗的基础上提出各电源均流的控制方法,但此方法对线路损耗没有优化作用,甚至会提高线路损耗。

[0004] 常规的下垂控制如式(1)所示:

$$U^* = U_0 - I_k \quad (1)$$

[0006] 下垂控制可看做系统在通过电力电子变换器对各电源输出的电压做闭环有差调节。其输出的电压-电流特性是一条斜向下的直线,类似于在电源输出端串入一个大小为k的虚拟电阻。这样做可以实现多个直流电压源的共母线运行,避免回流,实现均流。但此方法会引起直流母线电压的浮动,无法对各电源的输出电压进行精确控制,因此也无法实现潮流控制与线路损耗优化。为实现潮流控制,进而实现直流微网的线损优化,须在微网中各变换器之间引入低频通信系统和上层控制中心。通过运行信息的分享实现对各端口输出电压的二次调节控制其出力,从而控制整个微网的潮流。但即使引入二次调节,如何控制潮流可以实现系统线损最小目前仍没有相关成果。目前二次调节的主要目的是稳定母线电压,抵消下垂控制造成的母线电压偏移,其控制框图如图1a所示。一些研究基于微电网中蓄电池管理的目的提出以各电源均流为目的的二次调节方法,控制框图如图1b所示,具体如式(2),

$$\begin{aligned} \delta u_i &= Gs(U_{dc}^* - u_{ave}) & \delta u_i &= Gs(U_{dc}^* - u_{ave}) \\ [0007] \delta i_i &= Gs(\bar{i} - i_i) & \delta i_i &= Gs(\bar{i} - i_i) \\ U_i^* &= U_0 + \delta u_i + \delta i_i - i_i k & U_i^* &= U_0 + \delta u_i + \delta i_i - i_i k \end{aligned} \quad (2)$$

[0008] 式(2)中所表示的各电源均流方法虽然可以实现各电源出力均衡,但这种出力方式显然不利于线路损耗的优化。例如,当某一负载两端各有一个电源,而连接两个电源的线路阻抗一大一小。为减小线路损耗,显然应当令线路阻抗大的电源出力小些,另一个电源出力大些。而式(2)中的方法却强制令两电源出力相同,这样必然增大线路损耗。

[0009] 在一些交流电网的控制中,有部分通过控制潮流实现优化线损的方法,但这些方

法需要通过传感器测量线路阻抗或者通过线路损耗迭代的方法对相邻两次线路损耗做差，这些方法过度依赖传感器精度，在实际中无法达到理论效果。

发明内容

[0010] 为了采用瞬态电磁能量平衡原理来实施变换器的多变量控制，本发明提出了一种基于线损优化的直流微网二次调节控制方法，包括：

[0011] 步骤1、构建一个直流微网系统，该系统包括多个可控电压源、多个电流源或功率源负载、多条输电线路、多个变换器、低带宽通信系统、上层控制中心；其中，上层控制中心依次通过低带宽通信系统、变换器底层控制平台与每个可控电压源相连，上层控制中心通过低带宽通信系统与电流源或功率源负载相连；输电线路分为电源支路和主干输电线路，电源支路将多个可控电压源和电流源或功率源负载连到一起，主干输电线路将各条电源支路以及多个电流源或功率源负载连到一起；

[0012] 步骤2、低带宽通信系统将各变换器的运行与采样信息上传至上层控制中心；

[0013] 步骤3、上层控制中心根据各变换器上传来的运行信息，计算直流微网系统线路损耗功率；

[0014] 步骤4、上层控制中心建立直流微网系统最优线路损耗功率的条件；

[0015] 步骤5、上层控制中心计算各可控电压源下垂控制截距共模和差模调节量；

[0016] 步骤6、上层控制中心将调节量通过低带宽通信系统下传到各变换器，通过下垂控制参数调节来实现直流微网系统二次调节控制。

[0017] 所述计算直流微网系统线路损耗功率包括各条电源支路和各条主干输电线路的损耗功率，总公式为：

$$\begin{aligned} P_l = \sum_{i=1}^n P_{li} + & \left(i_1 + i_2 - \sum_{j=1}^{a-1} I_{1j} - \sum_{j=1}^{b-1} I_{2j} \right)^2 R_1 + \dots + \left(i_1 + i_2 - \sum_{j=1}^a I_{1j} - \sum_{j=1}^b I_{2j} - \sum_{k=1}^q I_{q+1} \right)^2 R_q \\ [0018] & + \left(i_1 + i_2 + i_3 - \sum_{j=1}^{a-1} I_{1j} - \sum_{j=1}^{b-1} I_{2j} - \sum_{j=1}^{c-1} I_{3j} - \sum_{q=1}^p I_{q+1} \right)^2 R_{q+1} + \dots \end{aligned}$$

[0019] 其中第*i*条电源支路的线路损耗P_{li}计算如下式：

$$[0020] P_{li} = i_i^2 R_{ii} + (i_i - I_{i1})^2 R_{i2} + \dots + \left(i_i - \sum_{m=1}^q I_{im} \right)^2 R_{i(q+1)}$$

[0021] 其中，P_{li}为直流微网系统线路损耗功率，i_i为第*i*个可控电压源的输出电流，i=1, 2, ..., n, n为可控电压源的个数，I_{ij}为第*i*个可控电压源支路上的第*j*个负载额定电流，j=1, 2, ..., m, m为该条电源支路上的负载个数，R_{i(q+1)}为第*i*个可控电压源支路上的第*q*+1段输电线路阻抗，q=1, 2, ..., p, p为该条电源支路上的输电线路分段个数；I_{q-1}为主干输电线路上的第*q*-1个负载额定电流，R_q为主干输电线路上的第*q*段输电线路阻抗；a、b、c分别为第1、2、3个可控电压源支路上的负载总数。

[0022] 所述最优线路损耗功率的条件建立过程包括：

[0023] 直流微网系统线路损耗功率P_{li}取得最小值则需满足： $\frac{\partial P_{li}}{\partial i_i} = 0$ ，针对i₁、i₂，

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial P_i}{\partial i_1} &= \frac{\partial P_n}{\partial i_1} + 2 \left(i_1 + i_2 - \sum_{j=1}^{a-1} I_{1j} - \sum_{j=1}^{b-1} I_{2j} \right) R_1 + \dots + 2 \left(i_1 + i_2 - \sum_{j=1}^a I_{1j} - \sum_{j=1}^b I_{2j} - \sum_{k=1}^q I_{q+1} \right) R_q \\
 &\quad + 2 \left(i_1 + i_2 + i_3 - \sum_{j=1}^{a-1} I_{1j} - \sum_{j=1}^{b-1} I_{2j} - \sum_{j=1}^{c-1} I_{3j} - \sum_{q=1}^p I_{q+1} \right) R_{q+1} + \dots = 0
 \end{aligned}$$

[0024]

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial P_i}{\partial i_2} &= \frac{\partial P_n}{\partial i_2} + 2 \left(i_1 + i_2 - \sum_{j=1}^{a-1} I_{1j} - \sum_{j=1}^{b-1} I_{2j} \right) R_1 + \dots + 2 \left(i_1 + i_2 - \sum_{j=1}^a I_{1j} - \sum_{j=1}^b I_{2j} - \sum_{k=1}^q I_{q+1} \right) R_q \\
 &\quad + 2 \left(i_1 + i_2 + i_3 - \sum_{j=1}^{a-1} I_{1j} - \sum_{j=1}^{b-1} I_{2j} - \sum_{j=1}^{c-1} I_{3j} - \sum_{q=1}^p I_{q+1} \right) R_{q+1} + \dots = 0
 \end{aligned}$$

[0025] 得出 $\frac{\partial P_n}{\partial i_1} = \frac{\partial P_n}{\partial i_2}$,

[0026] 又因为 $U_1 = U_{12} + \frac{\partial P_n}{\partial i_1}$

[0027] $U_2 = U_{12} + \frac{\partial P_n}{\partial i_2}$

[0028] 则得出当 P_1 取得最小值时, 有 $U_1 = U_2$; 同理可得, 当 P_1 取得最小值时, $U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n$, 其中, P_{11} 、 P_{12} 分别为第 1、2 条电源支路的线路损耗, i_1 、 i_2 分别为第 1、2 个可控电压源的输出电流, U_1 、 U_2 分别为第 1、2 个可控电压源的当前电压测量值, U_n 为第 n 个可控电压源的当前电压测量值, U_{12} 为第 1 个可控电压源支路上的第 2 个负责的工作电压。

[0029] 所述截距共模调节量的计算公式为:

[0030] $\delta u_{com}^* = Gs_{com} (U_{dc}^* - u_{ave})$

[0031] 其中 δu_{com}^* 为截距共模调节量, Gs_{com} 共模调节器, 采用 PI 调节。 U_{dc}^* 为直流微网系统额定母线电压, u_{ave} 为各个可控电压源母线电压的平均值, 各变换器电压源下垂控制截距共模调节量相同。

[0032] 所述截距差模调节量的计算公式为:

[0033] $\delta u_i^* = Gs_{dif} (u_{ave} - u_i)$

[0034] 其中 Gs_{dif} 为差模调节器, 采用 PI 调节。 u_{ave} 为各个可控电压源母线电压的平均值, u_i 为第 i 个可控电压源当前电压测量值, 各变换器电压源下垂控制截距差模调节量不同。

[0035] 所述变换器下垂控制参数调节的计算公式为:

[0036] $U_i^* = U_0 + \delta u_{com}^* + \delta u_i^* - i_i k$

[0037] 其中, U_i^* 为第 i 个可控电压源的输出电压, U_0 为下垂控制截距, δu_{com}^* 为截距共模调节量, δu_i^* 为截距差模调节量, i_i 为第 i 个可控电压源的输出电流, $i = 1, 2, \dots, n$, n 为可控电压源的个数, k 为下垂线斜率, 初始设定的各变换器的下垂线斜率相同, 且在运行过程中保持不变。

[0038] 所述低带宽通信系统下传到各变换器的通信频率为秒级。

- [0039] 本发明具有以下的优点：
- [0040] 1、微网线路损耗达到理论最优：根据直流微网线路损耗计算与最优损耗求解分析结果可以看出，按照所提方法控制各电源并网电压即可实现线路损耗的理论最小值。
- [0041] 2、不依赖于高精度传感器：所提方法实现过程中没有大小相近的物理量相减的步骤，因此不会因传感器精度问题引入无法忽略的偏差。
- [0042] 3、各控制器运算量小：由于所述方法不涉及线路损耗的辨识计算和各电源、负载的出力计算，大大减小了各控制器的运算资源，有利于提高控制频率；
- [0043] 4、可靠性高：所提方法各变换器仍运行下垂控制，上层控制中心仅给出下垂控制的参数调节量，因此即使通信系统或上层控制中心故障，整个直流微网中的电源仍运行在下垂控制状态，不会引起电源环流等问题。

附图说明

- [0044] 图1a为基于电压稳定的直流微网二次调节控制方法流程图。
- [0045] 图1b为基于电源均流的直流微网二次调节控制方法流程图。
- [0046] 图2为直流微电网结构图。
- [0047] 图3为直流微电网电路原理简化图。
- [0048] 图4为基于线损优化的直流微网二次调节控制方法流程图。
- [0049] 图5为研究法采用的电路算例直流微电网结构图。
- [0050] 图6a为所提方法线路损耗随线路参数变化情况示意图。
- [0051] 图6b为基于电压稳定的直流微网二次调节控制方法随线路参数变化情况示意图。
- [0052] 图6c为基于电源均流的直流微网二次调节控制方法随线路参数变化情况示意图。
- [0053] 图7a为基于电压稳定的直流微网二次调节控制方法与所提方法线路损耗差示意图。
- [0054] 图7b为基于电源均流的直流微网二次调节控制方法与所提方法线路损耗差示意图。

具体实施方式

[0055] 构建一个直流微网系统，如图2所示，该系统包括多个可控电压源、多个电流源或功率源负载、多条输电线路、多个变换器、低带宽通信系统、上层控制中心；其中，上层控制中心依次通过低带宽通信系统、变换器底层控制平台与每个可控电压源相连，上层控制中心通过低带宽通信系统与电流源或功率源负载相连；输电线路分为电源支路和主干输电线路，电源支路将多个可控电压源和电流源或功率源负载连到一起，主干输电线路将各条电源支路以及多个电流源或功率源负载连到一起；其简化图如图3所示。

[0056] 在具体实施过程中，为降低经济成本，低带宽通信系统建议采用总线形式，如485、CAN等。通信协议建议参与上层轮询，底层响应的通信方式。由于采用逐一轮询的方式，如果各变换器返回被轮询时间的运行信息，则在一个通信周期中，上层控制中心得到的各变换器信息实际上不是同一时刻的。这将对所提方法产生较大影响。因此采用各变换器同时存储运行信息，再逐一上传的通信方式。具体实施流程如下：

- [0057] 第q-1次通信周期完成后、各变换器在为接到上层控制中心第q次锁存运行信息的

命令前,按照第q-1控制中心下传的控制指令对变换器输出进行下垂控制,如式(1):

$$[0058] \quad U_i^* = U_0 + \delta u_{com(q-1)}^* + \delta u_{i(q-1)}^* - I_i k \quad (1)$$

[0059] 某一时刻,各变换器同时接到上层控制中心发出的锁存命令,此时所有变换器同时锁存运行信息输出电压_{1q}、_{2q}、…、_{nq}和输出电流*_{1q}*、*_{2q}*、…、*_{nq}*

[0060] 上层控制中心对各变换器进行轮询,被点名询问运行信息的变换器*i*返回其锁存的信息_{iq}和*_{iq}*

[0061] 上层控制中心在轮询完所有变换器之后根据反馈的运行信息进行第q次下垂控制调节量的计算,具体如式(2):

$$[0062] \quad u_{ave(q)} = \frac{\sum_{i=1}^n u_{iq}}{n}$$

$$[0063] \quad \delta u_{com(q)}^* = G s_{com} \left(U_{dc}^* - u_{ave(q)} \right)$$

$$[0064] \quad \delta u_{i(q)}^* = G s_{dif} \left(U_{ave(q)} - u_{iq} \right) \quad (2)$$

[0065] 上层控制中心将计算完的第q次下垂控制调节量 $\delta u_{com(q)}^*$ 和 $\delta u_{i(q)}^*$ 依次发送给各变换器,变换器接收到第q次下垂控制调节量后仅将其保存,不立刻进行调节;

[0066] 上层控制中心在下传完所有变换器第k次下垂控制调节量后,发出同步更新命令,所有变换器接收到更新命令后统一在同一时刻更新下垂控制调节量 $\delta u_{com(q)}^*$ 和 $\delta u_{i(q)}^*$,然后重复此过程。

[0067] 根据上述输入有功功率控制量计算步骤,构建基于线损优化的直流微网二次调节控制如图4所示。

[0068] 图5为研究法采用的电路算例。其中各参数如表1所示。

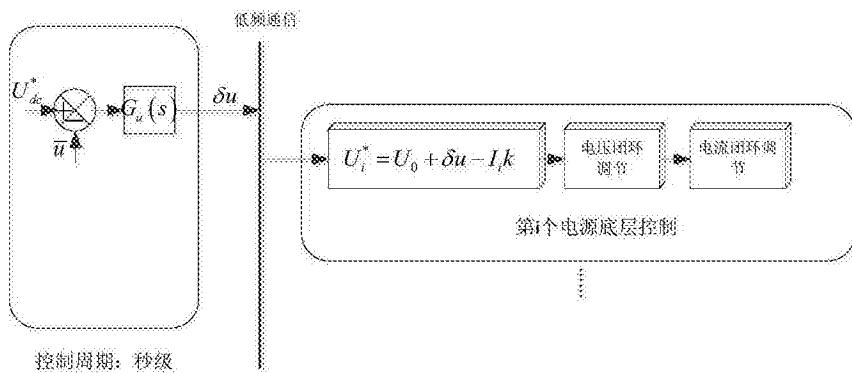
[0069] 表1算例电路参数选取

R_1	$0 \sim 1\Omega$
R_2	0.8Ω
R_3	$1 - R_1$
P_1	$0 \sim 20kW$
P_2	$20 - P_1$
\bar{V}	$400V$

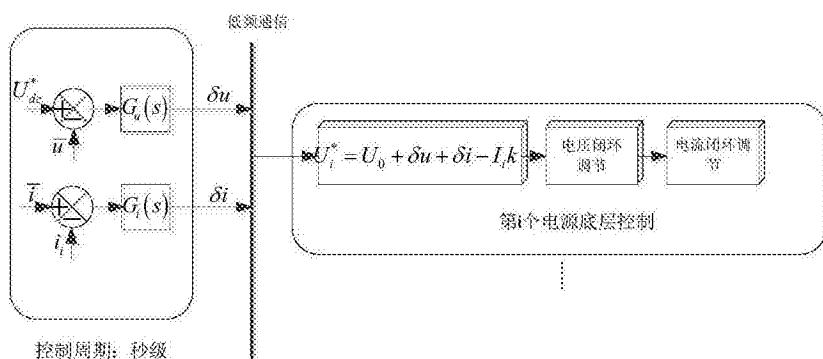
[0070]

[0071] 图6a-c和图7a-b为下垂控制、均流控制与所提方法线路损耗比较。其中图6a-c为三种方法的线路损耗随线路阻抗与负载大小的变化情况。不难看出所提方法可以明显减小线路阻抗。图7a-b为同参数情况下其他两种方法的线路损耗与所提方法线路阻抗差。可以看出,所提方法线路损耗总小于其他两种的线路损耗,一些情况下甚至可以优化损耗50%左右。

[0072] 以上所述，仅为本发明较佳的具体实施方式，但本发明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发明揭露的技术范围内，可轻易想到的变化或替换，都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此，本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。



(a)



(b)

图1

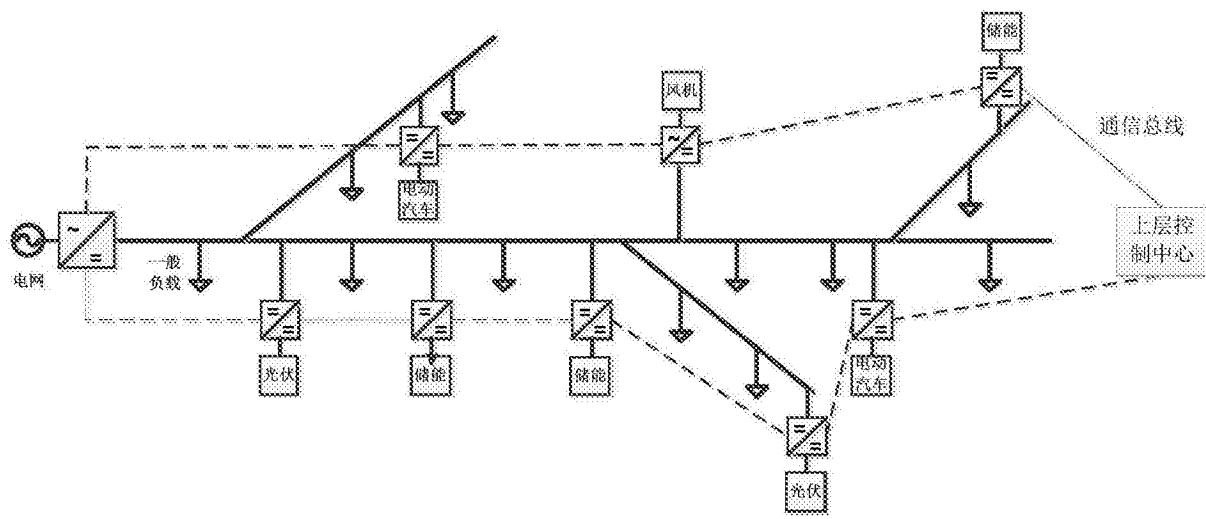


图2

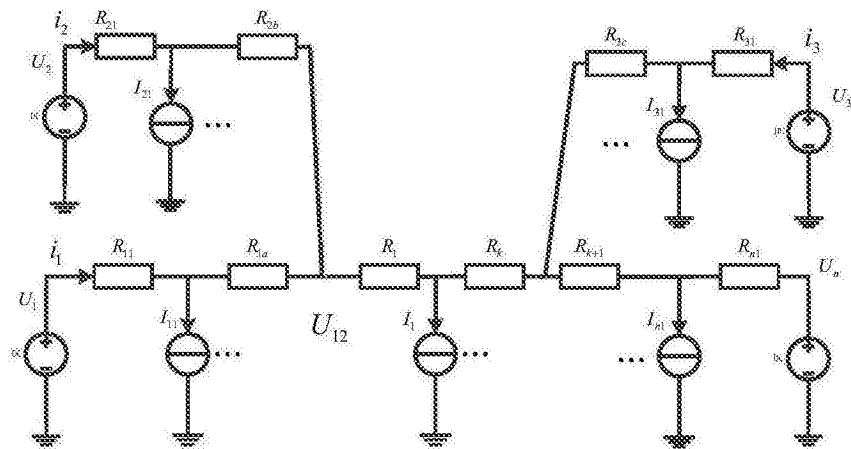


图3

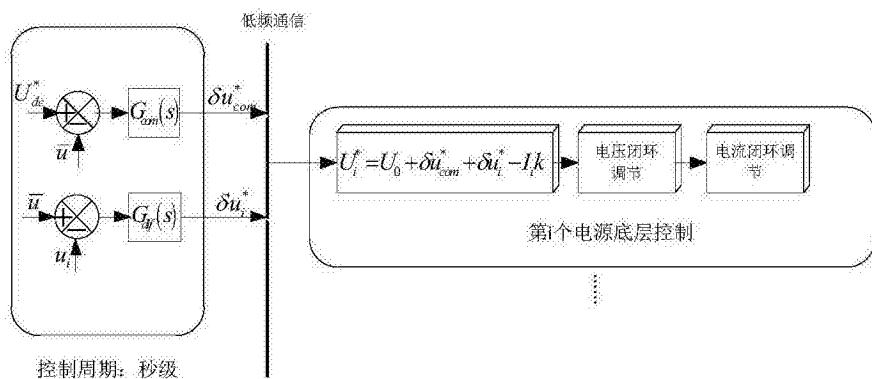


图4

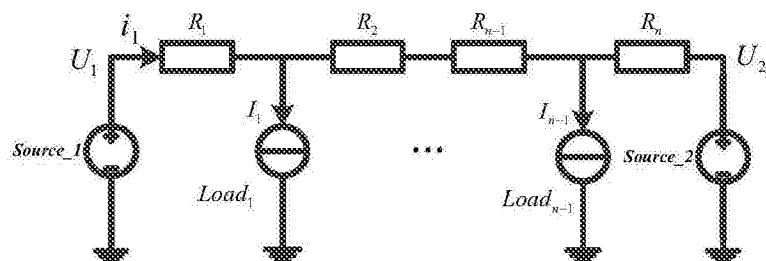


图5

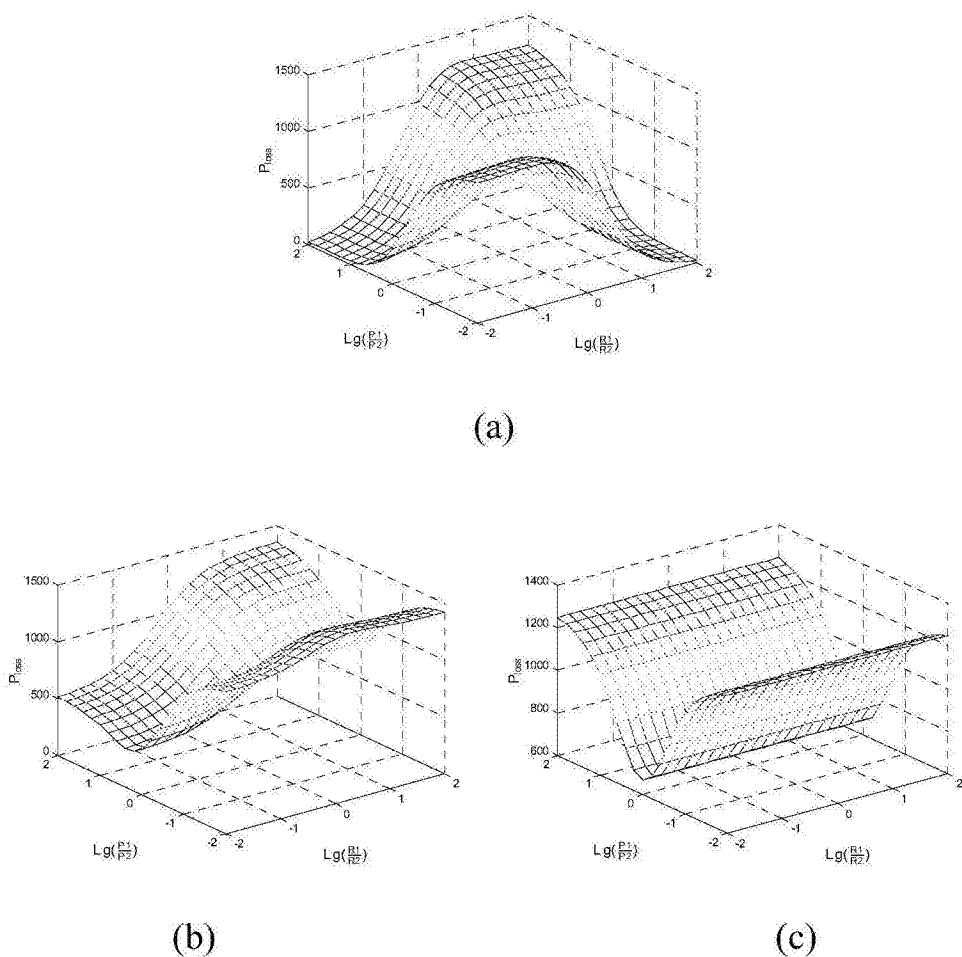


图6

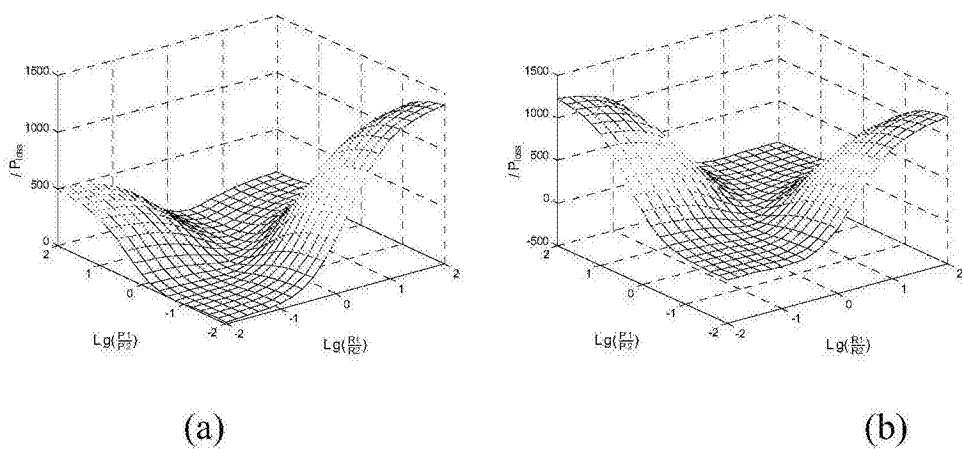


图7