

微电网与公共电网即插即用技术研究

霍群海,唐西胜

(中国科学院 电工研究所,北京 100190)

摘要: 采用基于主控微源恒压恒频的组网控制策略,主控微源建立微电网的电压和频率,从微源以最大功率点跟踪运行。在微源组网基础上提出微电网的即插即用技术,通过对微电网中主控微源的并网过程和离网过程平滑切换控制,实现微电网与公共电网的能量交换,并保证微电网内敏感负荷上电压稳定。对微电网即插即用的各个实现过程进行了详细分析,并对即插即用过程进行了仿真和实验研究。结果表明微电网即插即用技术正确可行,对本地敏感负荷影响较小,易于硬件实现。

关键词: 即插即用; 并网; 组网; 微源; 微电网; 滤波器

中图分类号: TM 862

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.07.018

0 引言

智能电网成为最近的研究热点^[1-2],多种微源组成的微电网的应用是重要的研究方向之一^[3-6]。文献[7-8]首次提到微源的即插即用概念(也称为平滑切换或无缝切换)。文献[9]提出一种电压/电流加权控制策略,实现单台逆变器的并网和离网无缝切换。文献[10]提出了包含滤波电感电流环、滤波电容电压环和并网电感功率外环组成的三环切换控制策略,重点分析了储能微源在微电网运行中的作用。文献[11]提出基于 LC 滤波的电压/电流环三区平滑切换策略,减小微电网 2 种运行模式切换过程中的暂态振荡。文献[12]设计了基于 MAS 系统和电力电子控制技术的即插即用模型,并分析了微电网中元件协调控制策略。文献[13]提出了一种基于电感电流内环和电容电压外环的双闭环反馈控制方法。文献[14]提出进行幅值相位跟踪,然后合上并网开关进行并网软启动,脱网采用了零电流与零电压的脱网方法,实现单台逆变器的并网和离网无缝切换。文献[15]提出微电网根据大电网调节自身的电压和频率的控制策略。以上文献主要是针对单台微源的分析,对含多台微源的微电网系统即插即用的研究较少;对微电网无缝切换仿真分析较多,大功率实验验证较少;另外已有文献对即插即用具体实现过程分析较少。本文提出的即插即用方案,在实现微电网与公共电网交换能量的同时,能保证微电网内敏感负荷在切换瞬间仍有较高的电能质量供给。

本文以实验室中搭建的微电网为分析对象,采用主控微源恒压恒频和从微源最大功率点跟踪(MPPT)

运行的组网策略,以微电网稳定运行为基础,实现微电网与公共电网的即插即用。

1 微电网即插即用拓扑

微电网即插即用技术的关键是微电网稳定运行的同时要实现微电网与公共电网投切瞬间敏感负荷上的电压/电流平稳,无冲击,无中断,较短时间、较小幅值的电压波动。微电网系统即插即用技术的实现方法与微电网自身的拓扑结构有关,微电网拓扑结构主要包括线路的连接方式、微源的容量和位置及其输出滤波器结构、敏感负荷和普通负荷的安装位置等,在这些因素中对即插即用技术实现方案起决定性影响的是微源输出滤波器结构。微源输出滤波器结构直接决定了微电网系统即插即用技术的实现方案,本文主要研究 LCL 和 L 滤波器结构微源组成的微电网的即插即用技术实现。

包含 LCL 和 L 滤波器结构微源的微电网系统单线图如图 1 所示,微电网通过公共耦合点与公共电网连接,其中 MS1 为主控微源(把某台容量较大的微源如逆变型蓄电池储能微源、含储能的光伏微源或微燃机等定义为主控微源),MS2 为从微源(把微电网中一些容量较小的微源如光伏发电系统、含逆变的风力发电系统等定义为从微源),CN 为接触器或断路器,T

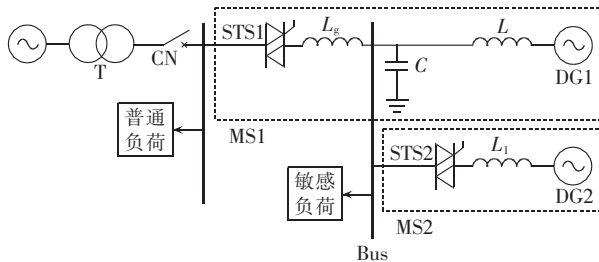


图 1 包含 LCL 和 L 滤波器微源的微电网结构
Fig.1 Architecture of microgrid system with LCL and L filters

为隔离变压器, STS 为静态开关, Bus 为敏感负荷交流母线。根据系统的控制目标, 无论公共电网故障与否, 也不管微电网是并网或独立运行模式, 敏感负荷交流母线上的电压始终保持连续, 且电能质量要保证敏感负荷的要求。这就要求在切换的瞬间交流母线上电压幅值不能有大的波动。

具有 L 滤波器结构的从微源直接并入这条敏感负荷交流母线, 始终以电流源模式并网运行。由于仅有一个电感, 控制策略采用单电流环控制即可。由于单电感滤波器结构微源的加入, 相应地可在敏感负荷交流母线上接入更多的负荷。当微电网需要独立运行时, 具有 LCL -STS 结构的微源切断与公共电网的连接, 然后多个不同滤波器结构的微源组成一个较大的孤岛区域, 微源之间可以进行功率互补, 确保了内部负荷的不间断供电。通过 STS2 可以把第 2 个微源根据微电网运行需求或敏感负荷功率容量需求随时进行投切。当公共电网故障或微电网需要独立运行时, 通过 STS1 可以对微电网与公共电网随时进行投切。当本地微源除供普通负荷和敏感负荷后, 仍可以产生多余的电力时, 通过 STS1 馈电到公共电网。如果有多个从微源, 其他从微源均以 MPPT 形式运行, 除供本地敏感负荷和普通负荷正常工作之外, 同时向公共电网提供电力, 输出有功和无功功率。微电网与公共电网之间的平滑投切即插即用技术是本文需要解决的主要问题。

2 基于主控微源恒压恒频的组网控制策略

微电网平滑并网/离网实现即插即用的前提是微电网自身保证较高质量的电压和频率供给, 而其关键是对组网主控微源的控制。本文主要研究以可再生能源为主的微电网, 微电网与公共电网集中供电相互补充是综合利用现有资源和设备、为用户提供可靠和优质电能、解决目前微电网问题的一种较理想方式。但由于微电网中微源的多样性及其组合的灵活性, 使得整个系统的运行和控制变得复杂。根据现有的组网控制技术, 组网方式主要有柴油发电机组网、双向变流器组网、SIPLNK 组网、不间断电源(UPS)组网、自同步逆变器组网等方案^[16-17]。逆变型微源(如光伏发电系统、含逆变的风力发电系统等)大多可采用 MPPT 运行。本文参考上述组网方案, 借鉴光伏发电并入公共电网的控制思路, 采用基于主控微源恒压恒频的组网控制策略。

基于主控微源恒压恒频的组网控制策略如图 2 所示。从微源根据自身特性调节功率输出, 使其发挥最高工作效率。主控微源与储能装置一起跟踪负荷变化, 调整馈线功率流量, 以确保当微电网内负荷发生

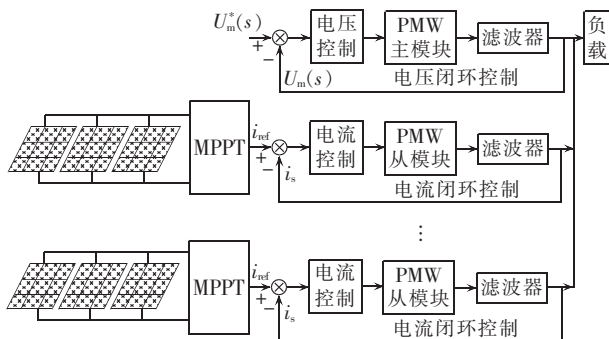


图 2 基于主控微源恒压恒频的组网策略

Fig.2 Control strategy based on CVCF networking of master microsource

变化时, 公共电网与微电网连接处的馈线功率依然为恒定值。主控微源和多台从微源组网运行, 从微源连接到主控微源和负载之间, 主控微源首先以电压源模式带本地负载稳定运行, 建立起系统的电压和频率。从微源以最大功率运行模式按并网的方式和主控微源组网运行。从微源根据负载上电压的幅值和相位进行锁相。当从微源提供电流输出时, 主控微源相应减小电流输出, 共同向负载供电。当从微源输出电流超过负载需求时, 能量流向主控微源前端的储能装置, 把能量存储起来。

基于主控微源恒压恒频的组网方法汲取主从控制和下垂控制的优点, 控制方式类似主从控制, 实物连接类似下垂控制。每个从微源以较高效率输出, 主控微源可提供稳定的电压幅值和频率, 微电网整体可以稳定、高效、经济运行。

3 主控微源与公共电网并网过程分析

微电网的即插即用通过主控微源的三环控制策略来实现。主控微源 MS1 并入公共电网, 并网过程中必须满足本地负载电压和公共电网电压同步这一必要前提, 同时实现控制策略的转换和静态开关的闭合, 这样才能保证在静态开关闭合瞬间不会产生并网电流冲击及本地敏感负荷电压的平滑过渡。并网瞬间控制策略需要从独立运行时的电压源模式转换为并网时的三环电流源模式。

主控微源独立运行时采用滤波电容电压外环加靠近 IGBT 滤波电感电流内环的双环控制策略。主控微源并网运行时三环控制策略如图 3 所示, 和独立运行时的双环控制系统保持了很好的连续性, 易于实现微电网的即插即用。在图 3 所示的主控微源控制策略中, i_{gd} 、 i_{gq} 为并网电流给定, 对并网电流进行直接实时控制, 响应速度快, 同时不受系统参数变化和公共电网电压波动的影响, 而且三环控制策略可对主电路提供必要的过电流保护。

在微电网运行中, 当发出与公共电网并网的指令

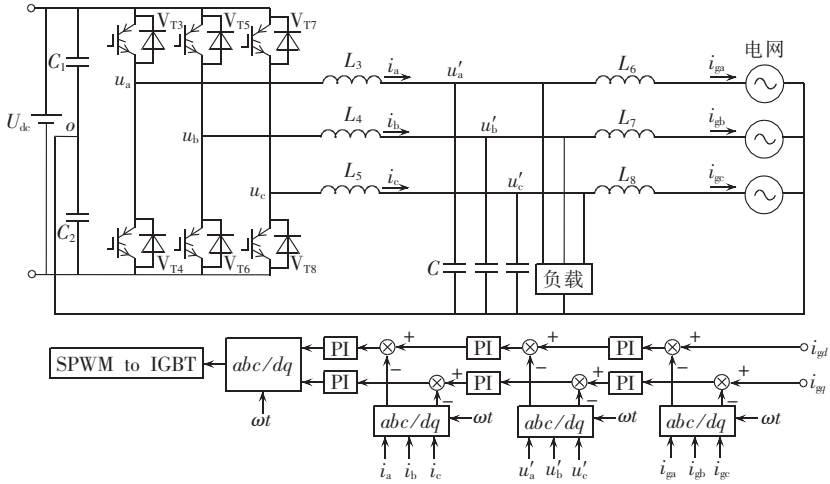


图 3 主控微源与公共电网并网控制策略

Fig.3 Control strategy for connecting master microsource to utility grid

后,主控微源对公共电网电压进行精确的检测,然后根据检测的结果调整滤波电容电压的状态,使之逐渐与公共电网电压同步,为并网创造先决条件。一般对微源并网的响应时间不做严格限制,这是出于维持本地负载电压波形平滑过渡考虑,即调整过程中不发生幅值和相位的跳变。

在与公共电网电压同步的过程中,通过细微的相位超前或滞后来实现与公共电网电压的同步,此时滤波电容电压在 dq 坐标系下的给定 u_{dref} 、 u_{qref} 为 $\begin{bmatrix} u_{dref} \\ u_{qref} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_m \cos \theta \\ -U_m \sin \theta \end{bmatrix}$, U_m 为采样得到的公共电网电压幅值, θ 为给定的初始相位,通过 θ 的极细微改变实现相位的调整,从而达到与公共电网电压的同步。该同步方法简单,易于数字实现,非常适合三相系统。

4 微电网与公共电网离网过程分析

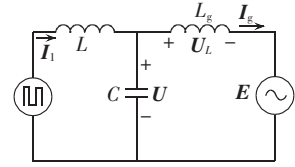
微电网与公共电网脱离过程通过主控微源离网实现,离网控制的难点在于离网瞬间,要保证敏感负荷上电压没有大的波动。这就要求敏感负荷上电压和相位在离网前后保持一致。以下推导并网运行过程中敏感负荷上的电压幅值和相角,以便在离网瞬间确定电压环的参考给定值。

以单相微源并网逆变器为例,微源并网系统的等效电路和矢量图如图 4 所示。图中 U 为经过滤波后的滤波电容电压,其波形近似正弦波; E 为理想的公共电网电压; U_L 为并网电感两端电压; I_g 为并网电流。

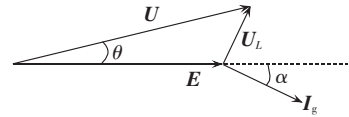
根据图 4(b),通过调节滤波电容电压 U 的幅值和超前于公共电网电压 E 的相位角 θ ,即可改变并网耦合电感两端的电压 U_L ,根据基尔霍夫电压定律得:

$$U_L = U - E = j\omega L_g I_g \quad (1)$$

其中, ω 为公共电网电压角频率。



(a) 等效电路图



(b) 矢量图

图 4 单相并网等效电路图和矢量图

Fig.4 Single-phase equivalent circuit and vector diagram of grid-connection

根据式(1),可以计算出并网电流为:

$$I_g = \frac{U - E}{j\omega L_g} \quad (2)$$

假定公共电网电压的相位角为 0,幅值为 E ,则 $E = E \angle 0^\circ$,相应的滤波电容电压为 $U = U \angle \theta$,当公共电网电压一定时,注入公共电网的功率由并网电流 I_g 决定,假定 $I_g = I_g \angle \alpha$,电流落后 α (α 值为负数),根据式(2)可以求出相应的滤波电容电压为:

$$\begin{aligned} U &= E \angle 0^\circ + j\omega L_g I_g \angle \alpha = E \angle 0^\circ + \omega L_g I_g \angle (\alpha + \pi/2) = \\ &= E \cos 0^\circ + jE \sin 0^\circ + \omega L_g I_g \cos(\alpha + \pi/2) + \\ &+ j\omega L_g I_g \sin(\alpha + \pi/2) = \\ &= E + \omega L_g I_g \cos(\alpha + \pi/2) + j\omega L_g I_g \sin(\alpha + \pi/2) = \\ &= \sqrt{E^2 - 2\omega L_g I_g E \sin \alpha + \omega^2 L_g^2 I_g^2} \angle \arctan \frac{\omega L_g I_g \cos \alpha}{E - \omega L_g I_g \sin \alpha} \quad (3) \end{aligned}$$

即:

$$\begin{cases} U = \sqrt{E^2 - 2\omega L_g I_g E \sin \alpha + \omega^2 L_g^2 I_g^2} \\ \theta = \arctan \frac{\omega L_g I_g \cos \alpha}{E - \omega L_g I_g \sin \alpha} \end{cases} \quad (4)$$

根据并网电流 I_g ,可以得出此时滤波电容电压的相位和幅值,以三相的形式表示为:

$$\begin{cases} u_a = U \sin(\omega t + \theta) \\ u_b = U \sin(\omega t - 2\pi/3 + \theta) \\ u_c = U \sin(\omega t + 2\pi/3 + \theta) \end{cases} \quad (5)$$

对其进行 Park 变换得:

$$\begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U \cos \theta \\ -U \sin \theta \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式(6)为在向公共电网注入给定的并网电流 I_g 的前提下, dq 坐标系下的滤波电容电压, 即控制器需要调节得到的输出电压, 因此, 可把它作为离网瞬间负载电压给定参考值, 即:

$$\begin{bmatrix} u_d^* \\ u_q^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U \cos \theta \\ -U \sin \theta \end{bmatrix} \quad (7)$$

将式(7)作为离网瞬间电压环的给定信号, 施加到 dq 坐标系下双环控制策略中, 这样就能保证在离网前后敏感负荷上电压和幅值的一致性, 保证敏感负荷上电压不出现大的波动。

5 微电网即插即用控制实现

微电网与公共电网的即插即用通过主控微源实现。即插即用技术是并网和离网 2 种控制技术的统一和综合, 把这 2 种单独的控制技术有机结合起来, 实现两者之间的平滑切换, 才能保证本地敏感负荷上无大的电压波动。

微电网启动时, 可由中央管理单元或本地发出启动指令, 首先主控微源启动并建立稳定的电压和频率, 从微源与其组网运行, 微电网进入稳态运行模式。当微电网接收到并入公共电网的指令时, 主控微源迅速实现控制方式的转变, 在本地电压与公共电网电压同步后, 闭合 SCR, 实现微电网与公共电网的联网运行。当微电网发出独立运行指令或公共电网电压故障时, 微电网能够实时检测并迅速切换为独立运行状态。即插即用前后, 能够保证敏感负荷上没有大的电压波动, 实现平滑过渡。上述微电网与公共电网平滑并网和独立运行的过渡过程即为微电网的即插即用技术, 微电网可以随时由一种稳态运行模式进入另一种稳态运行模式。

6 仿真结果与分析

根据上述分析, 以本实验室中主控微源和光伏模拟微源实际容量为例进行仿真和实验研究。采用系统仿真软件 MATLAB 搭建仿真模型。主控微源采用电压/电流双环控制, 仿真时敏感负荷为 $3\ \Omega$ 的电阻, 输出相电流 73.3 A 。主控微源采用三相四线制以电压源启动, 光伏模拟微源通过双向 SCR 并入, 由于隔离变压器变比为 168:380, 仿真中设置向负载侧输

出电流 25 A , 光伏模拟微源自身输出 56.6 A 。

4 个切换过程为:

a. 主控微源以电压源运行模式启动, 在 0.04 s 光伏模拟微源以电流源运行模式并入主控微源, 组成微电网运行;

b. 0.08 s 把 2 个微源组成的微电网并入公共电网运行, 并网电流逐渐增大至给定值;

c. 0.15 s 微电网脱离公共电网独立运行, 此时对并网电流采用了强制关断策略;

d. 0.2 s 光伏模拟微源脱离, 主控微源独立运行。

图 5 为敏感负荷上电压波形, 图中 1、2、3、4 为 4 个切换点, 最大电压波动半个周期, 这是可以接受的。整体上电压波形平稳, 切换瞬间电压峰值最低值为 287 V , 最高值为 337 V , 持续时间不足 1 ms , 微源的投切和微电网的即插即用对敏感负荷影响较小, 微电网的即插即用技术正确可行。

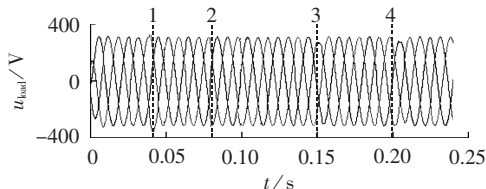


图 5 敏感负荷上电压仿真波形

Fig.5 Simulative voltage waveforms of sensitive load

图 6 为主控微源输出电流波形, 在 4 个切换点, 均没有电流冲击, 主控微源输出电流特性较好。启动至 0.04 s 主控微源独立输出电流 73.3 A ; $0.04 \sim 0.08\text{ s}$, 光伏模拟微源并入, 主控微源自动减少自身输出; $0.08 \sim 0.15\text{ s}$, 微电网向公共电网输出电流, 光伏模拟微源输出电流不变, 因此主供电增大输出电流至额定值; $0.15 \sim 0.2\text{ s}$ 微电网独立运行, 主控微源处于减少输出状态; 0.2 s 之后, 光伏模拟微源切除, 主控微源按照负载所需电流输出。从波形可以看出, 在光伏模拟微源投切过程和微电网即插即用过程中, 主控微源均输出较高质量的电流波形。

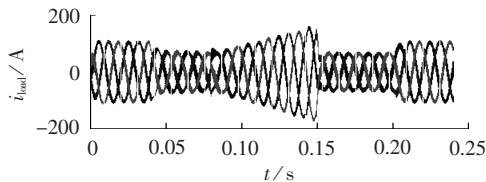


图 6 敏感负荷上电流仿真波形

Fig.6 Simulative current waveforms of sensitive load

图 7 为光伏模拟微源输出电流波形, 从其波形可以看出, 光伏模拟微源在 0.04 s 并入之前, 没有电流, 当打开双向 SCR, 输出很快达到给定电流; 在 0.2 s 时关断, 有两相没有立即关断, 是因为 SCR 需要在过零点才能关断。从仿真波形看, 光伏模拟微源响应快速,

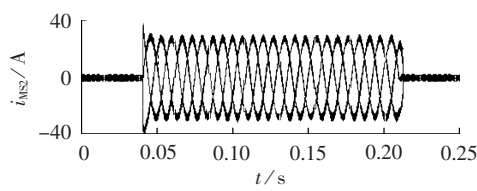


图 7 光伏模拟微源输出电流仿真波形

Fig.7 Simulative output current waveforms of photovoltaic analog microsource

能满足系统要求。

通过上述分析和仿真可以看出,本文提出的微电网即插即用技术有效可行,能够实现微电网的稳定运行,微源的投切较容易实现,发生电流冲击引起系统崩溃的可能性较小。

7 实验结果与分析

实验室中主控微源与从微源硬件连接关系如图 1 所示,主控微源容量为 80 kV·A,光伏模拟微源容量为 30 kV·A。主控微源以电压源模式独立运行启动,随后光伏模拟微源以电流源模式启动组网到主控微源。待 2 个微源稳定运行之后,执行即插即用并网指令,微电网与公共电网稳定运行一段时间后,对主控微源执行离网指令,最后光伏模拟微源脱离,主控微源停机。敏感负荷为 40 kW 的电阻负载。实验波形如图 8—10 所示。

4 个切换过程为:

- a. 主控微源启动运行,光伏模拟微源与主控微源组成微电网运行;
- b. 2 个微源组成的微电网并入公共电网;
- c. 2 个微源组成的微电网脱离公共电网独立运行;
- d. 光伏模拟微源脱离主控微源,主控微源独立运行。

图 8 上图为 4 个切换过程的整体轮廓,下图为第 2 个切换过程中微电网并入公共电网瞬间敏感负荷

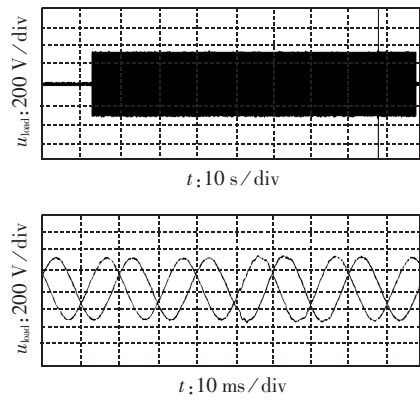
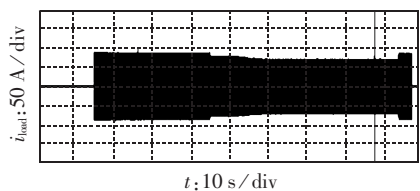
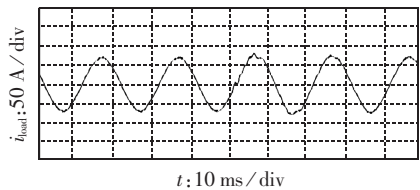


图 8 敏感负荷上电压实验波形

Fig.8 Experimental voltage waveforms of sensitive load



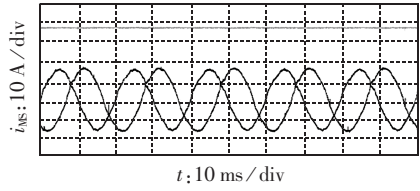
t: 10 s / div



t: 10 ms / div

图 9 主控微源输出电流波形

Fig.9 Experimental output current waveforms of master microsource



t: 10 ms / div

图 10 光伏模拟微源输出电流波形

Fig.10 Experimental output current waveforms of photovoltaic analog microsource

上的电压波形,电压仅有少许幅值波动,约 1 ms 后又达到稳态,系统动态响应较好。图 9 和图 8 切换时刻完全对应,利用四通道的示波器,其中 2 路测量电压,1 路测量电流,最后 1 路闲置。图 9 上图为主控微源输出电流整体轮廓,首先主控微源稳定运行,光伏模拟微源并入后缓慢增加至额定输出(切换过程 a),此时主控微源减少输出电流至一个定值,然后微电网稳定运行 30 s 左右,最后微电网执行与公共电网的即插即用指令(切换过程 b)。可以看出并网瞬间,主控微源在 1/4 基波周期内输出电流增大至额定值,随后执行离网指令(切换过程 c),最后一个突起为光伏模拟微源脱离瞬间,此时主控微源又恢复为额定输出(切换过程 d)。图 9 下图为第 2 个切换过程中微电网与公共电网并网瞬间主控微源输出电流展开波形。图 10 中上半部分的直线为直流母线电压,下半部分的正弦波为光伏模拟微源输出的其中两相电流。可以看出从微源系统运行稳定,电流波形质量较好。

通过仿真和实验结果可以看出,在微电网即插即用过程中,保证了敏感负荷上电压的连续性、无中断、无冲击、波动幅值小、持续时间短。实现微电网与公共电网能量交换的同时,保证了微电网内敏感负荷的电力供应。还可以得出:微电网的即插即用可以通过对主控微源的控制来实现,提出的微电网即插即用技术方案正确可行。

8 结语

微电网中,当可再生能源占主要部分时通常要充分发挥可再生能源的作用。本文提出一种适合微电网与公共电网即插即用技术的实现方案。采用基于主控微源恒压恒频的组网控制策略,主控微源建立微电网系统的电压和频率,其他从微源以MPPT模式运行,实现微电网的高效率和经济性。在微电网稳定运行基础上提出微电网与公共电网的即插即用技术。微电网通过公共耦合点与公共电网连接,然后通过微电网中主控微源的并网过程和离网过程平滑切换控制,实现微电网与公共电网即插即用,同时也保证了微电网内敏感负荷上电压的稳定。本文对微电网即插即用的各个实现过程进行了详细具体的分析,并对即插即用过程进行了仿真和实验研究。结果验证了微电网即插即用技术的可行性,而且即插即用实现过程对本地敏感负荷影响较小,系统稳定性较好。

参考文献:

- [1] 郑健. 国内外智能电网建设现状述评[J]. 上海电力, 2011(3): 256-259.
ZHENG Jian. The review of the smart grid development both at home and abroad[J]. Shanghai Electric Power, 2011(3): 256-259.
- [2] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网的基本理念[J]. 天津大学学报, 2011, 44(5): 377-384.
YU Yixin, LUAN Wenpeng. Basic philosophy of smart grid[J]. Journal of Tianjin University, 2011, 44(5): 377-384.
- [3] 曹相芹, 鞠平, 蔡昌春. 微电网仿真分析与等效化简[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(5): 94-98.
CAO Xiangqin, JU Ping, CAI Changchun. Simulative analysis and equivalent reduction for micro-grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(5): 94-98.
- [4] 洪博文, 郭力, 王成山, 等. 微电网多目标动态优化调度模型与方法[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(3): 100-107.
HONG Bowen, GUO Li, WANG Chengshan, et al. Model and method of dynamic multi-objective optimal dispatch for microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(3): 100-107.
- [5] AMIN M, SCHEWE P F. Preventing blackouts: building a smarter power grid[J]. Scientific American, 2008(8): 60-67.
- [6] 赵波, 王成山, 张雪松. 海岛独立型微电网储能类型选择与商业模式探讨[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(4): 21-27.
ZHAO Bo, WANG Chengshan, ZHANG Xuesong. A survey of suitable energy storage for island stand-alone microgrid and commercial operation mode[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(4): 21-27.
- [7] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网述评[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(34): 1-8.
YU Yixin, LUAN Wenpeng. Smart grid and its implementations[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(34): 1-8.
- [8] 王成山, 肖朝霞, 王守相. 微网综合控制与分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(7): 98-103.
WANG Chengshan, XIAO Zhaoxia, WANG Shouxiang. Synthetical control and analysis of micro-grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(7): 98-103.
- [9] 王晓寰, 张纯江. 分布式发电系统无缝切换控制策略[J]. 电工技术学报, 2012, 27(2): 217-222.
WANG Xiaohuan, ZHANG Chunjiang. Study of control strategy for seamless transfer of grid-connected distributed generation systems[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(2): 217-222.
- [10] 唐西胜, 邓卫, 齐智平. 基于储能的微网并网/离网无缝切换技术[J]. 电工技术学报, 2011, 26(增刊1): 279-284.
TANG Xisheng, DENG Wei, QI Zhiping. Research on grid-connected/islanded seamless transition of microgrid based on energy storage[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(Supplement 1): 279-284.
- [11] 郑克宏, 王燕廷, 李兴旺, 等. 微电网平滑切换控制方法及策略[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(18): 17-24.
ZHENG Jinghong, WANG Yanting, LI Xingwang, et al. Control methods and strategies of microgrid smooth switchover[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(18): 17-24.
- [12] 郭佳欢, 谢清华, 黄伟. 基于MAS的微电网即插即用理论研究[J]. 电网与清洁能源, 2010, 26(1): 31-35.
GUO Jiahuan, XIE Qinghua, HUANG Wei. Study on the plug and play theory in micro-grid based on MAS[J]. Power System and Clean Energy, 2010, 26(1): 31-35.
- [13] 刘增, 刘进军. 一种可实现分布式发电系统平滑切换的三相逆变器控制方法[J]. 电工技术学报, 2011, 26(5): 52-61.
LIU Zeng, LIU Jinjun. A control method for 3-phase inverters enabling smooth transferring of the operation modes of distributed generation system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(5): 52-61.
- [14] 高健, 刘昆. 一种新颖有效的逆变器无缝切换方法[J]. 电力电子技术, 2006, 40(5): 56-57.
GAO Jian, LIU Kun. A novel effective seamless transfer method of inverter[J]. Power Electronics, 2006, 40(5): 56-57.
- [15] 李兴旺, 郑克宏, 刘鹏飞, 等. 微电网带负荷并网的平滑切换条件及控制策略[J]. 黑龙江电力, 2012, 34(1): 62-65.
LI Xingwang, ZHENG Jinghong, LIU Pengfei, et al. Conditions and control strategies of microgrid connected with load smooth switchover[J]. Heilongjiang Electric Power, 2012, 34(1): 62-65.

作者简介:

霍群海(1981-), 男, 河南驻马店人, 助理研究员, 博士, 主要从事电能质量控制及 DFACTS 装置研究 (E-mail: huoqunhai@163.com);

唐西胜(1975-), 男, 江苏溧阳人, 副研究员, 博士, 研究方向为电力系统稳定性控制、分布式发电与储能、微电网。

考虑电量分布及行驶里程的高速公路充电站规划

葛少云,冯 亮,刘 洪,王 龙

(天津大学 智能电网教育部重点实验室,天津 300072)

摘要: 针对高速公路的车流情况和充电需求特点,构建了高速公路充电站的规划模型。该模型考虑了电动汽车的电量分布和行驶里程的影响,以高速公路中到充电站充电的电动汽车的数量期望值最大化为目标来进行充电站的站址选择,以充电站的服务成本和顾客的等待费用之和最小为目标来优化配置充电站的充电机台数,并利用排队论原理分析了充电站的服务水平和运行效率。最后通过算例验证了该规划模型的可行性和有效性。

关键词: 电动汽车; 充电站规划; 电量分布; 行驶里程; 排队论

中图分类号: U 469.72

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.07.019

0 引言

目前,环境和能源问题日益突出,节能与环保也成为世界各国所追求的发展模式^[1-2]。高污染和高耗能的缺点使得传统燃油汽车的发展受到了极大的限制,而电动汽车的出现却给未来的汽车行业提供了一个长远发展的解决方案^[3-4]。

电动汽车的相关技术已成为国内外众多学者的研究热点,而作为电动汽车推广应用的前提和基础,充电设施的规划和建设也逐步引起人们的重视^[5]。文献[6-7]分析了大量电动汽车的充电行为对电网所带来的影响。文献[8-9]研究了对电动汽车充电行为的优化调度与控制问题。文献[10-11]研究了电动汽车的充电需求和负荷特性,并提出了相应的计算方法。文献[12]介绍了我国电动汽车充电站的发展现状,提出了影响电动汽车充电站规划的因素和所需遵循的原则。文献[13]以居民负荷的分布情况

模拟电动汽车的数量,以投运至目标年最大化充电站运营收益作为目标来进行充电站的选址规划。文献[14]根据电动公交客车的运行机制和动力电池的功率变化特性构建了电动公交客车充电站的容量需求预测模型,建立了定功率工况下的充电机制。文献[15]将电动汽车充电设施规划划分为示范阶段、公益阶段和商业运营阶段,并根据每个阶段的特点提出了充电方式的选择优化模型以及充电设施规划的原则、流程和模型。文献[16]提出了电动汽车充电站规划的两阶段模型,第一阶段利用聚类分析法将区域的路况信息转化为充电需求集群,第二阶段在考虑一定的约束和资金因素等条件下,利用优化算法进行电动汽车充电站的优化选址。文献[17]运用动态交通网络思想建立了基于硬时间窗约束下的充电站布局及确定最佳规模的多目标优化模型,并提出了求解该模型的两阶段启发式算法。文献[18]以包含充电站配电网投资与运行成本最小为目标,建立了考虑充电站布局优化的配电网规划模型。文献[19]对具有反向放电能力的电动汽车充电站的入网方案进行了分析,总结了各种典型方案的优缺点及其适用范围。

收稿日期:2012-06-18;修回日期:2013-05-16

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2009-CB219700)

Project supported by the National Basic Research Program of China(973 Program)(2009CB219700)

Plug-and-play technology applied in microgrid and utility grid

HUO Qunhai,TANG Xisheng

(Institute of Electrical Engineering,Chinese Academy of Sciences,Beijing 100190,China)

Abstract: A microgrid networking strategy is adopted,which controls the master microsource to maintain the voltage and frequency of microgrid and the slave microsource to operate in the maximum power point tracking mode. The plug-and-play technology is then proposed,which can be used to realize the smooth connection or disconnection of the master microsource with the grid for the energy exchange between microgrid and utility grid while maintain the stable voltage for the sensitive loads in microgrid. The realization processes of microgrid plug-and-play are analyzed,simulated and experimentally studied in detail, which shows that,the plug-and-play technology of microgrid is correct and feasible,its hardware implementation is easy and it has less impact on local sensitive load.

Key words: plug-and-play; grid-connection; networking; microsource; microgrid; electric filters