



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102545260 A

(43) 申请公布日 2012. 07. 04

(21) 申请号 201210011880. 3

(22) 申请日 2012. 01. 16

(71) 申请人 中国电力科学研究院

地址 100192 北京市海淀区清河小营东路
15 号

(72) 发明人 刘纯 李光辉 何国庆 鲍薇
郭立东

(74) 专利代理机构 北京安博达知识产权代理有
限公司 11271

代理人 徐国文

(51) Int. Cl.

H02J 3/38 (2006. 01)

H02J 3/00 (2006. 01)

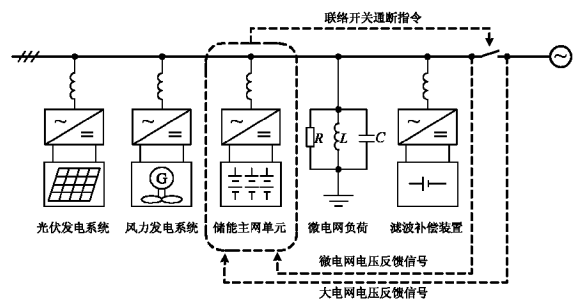
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种微电网并网与孤网自动无缝切换的控制方法

(57) 摘要

本发明涉及微电网的运行与控制,具体涉及一种微电网并网与孤网自动无缝切换的控制方法。该控制方法包括用储能双模式换流器作为主网单元;识别电网状态,根据识别的电网状态进行储能双模式换流器模式平滑切换;或微电网平稳同期并网;本发明提供的方案在实现微电网与主电网进行能量互补的同时,进一步提高微电网供电的可靠性,可以实现以储能单元作为微电网主网单元的微电网并网/孤网双模式的自动无缝切换运行。



1. 一种微电网并网与孤网自动无缝切换的控制方法,其特征在于,所述方法包括用储能双模式换流器作为主网单元;识别电网状态,根据识别的电网状态进行储能双模式换流器模式平滑切换;或微电网平稳同期并网。

2. 如权利要求1所述的控制方法,其特征在于,所述识别电网状态包括判断电网是否出现故障;所述识别电网状态方法包括:基于锁相环的频率扰动主动式识别、电源-负载不匹配特征信号被动识别和主动被动混合式的状态识别。

3. 如权利要求2所述的控制方法,其特征在于,所述基于锁相环的频率扰动主动识别包括对系统锁相环环节增加频率扰动的有差锁相识别。

4. 如权利要求2所述的控制方法,其特征在于,根据系统电压幅值和频率的特性信号对所述电源-负载不匹配特征信号进行被动识别。

5. 如权利要求2所述的控制方法,其特征在于,所述主动被动混合式的状态识别是基于锁相环的频率扰动主动式识别和电源-负载不匹配特征信号被动识别综合识别。

6. 如权利要求1所述的控制方法,其特征在于,所述储能双模式换流器的模式包括P-Q模式、V-F模式和归一化模式;所述P-Q模式、V-F模式和归一化模式分别采用P-Q控制模型、V-F控制模型和归一化控制模型。

7. 如权利要求6所述的控制方法,其特征在于,所述储能双模式换流器的P-Q控制模型采用功率外环和电流内环双闭环的控制模型,所述储能双模式换流器的P-Q控制模型的输入量为有功和无功功率参考值。

8. 如权利要求6所述的控制方法,其特征在于,所述储能双模式换流器的V-F控制模型采用电压外环和电流内环双闭环的控制模型,所述储能双模式换流器的V-F控制模型的输入量为电压和频率参考值。

9. 如权利要求1所述的控制方法,其特征在于,所述储能双模式换流器的归一化模型采用P-Q模式和V-F模式供电流内环以及P-Q模式的功率外环和V-F模式的电压外环并行的结构。

10. 如权利要求1所述的控制方法,其特征在于,所述微电网平稳同期并网的过程是V-F模式储能双模式换流器与分布式电源的P-Q模式储能双模式换流器的同期调节过程;所述微电网平稳同期调节包括电压矢量频率同期调节、电压矢量相位同期调节和电压矢量幅值同期调节。

一种微电网并网与孤网自动无缝切换的控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及微电网的运行与控制,具体涉及一种微电网并网与孤网自动无缝切换的控制方法。

背景技术

[0002] 微电网是由分布式电源、储能单元、负荷以及控制保护装置组成的集合,是一个能够自我控制、保护和管理的自治系统。微电网有并网和孤网两种运行模式,并网模式是指在正常情况下,微电网与大电网并网运行,向电网提供多余的电能或由电网补充自身发电量的不足。孤网模式是指当检测到大电网故障或电能质量不满足要求时,微电网可以与大电网断开形成孤网模式,由分布式电源向微电网内的负荷提供高可靠性和高质量电能。当检测到大电网状态恢复正常后,微电网将同期并网运行。因此,微电网的并网与孤网双模式自动切换是实现微电网灵活可靠运行的关键技术。

[0003] 运行于并网模式时,微电网内部的分布式电源以大电网作为参考电源并网运行;运行于孤网模式时,要求系统内部有一个电源为系统提供参考电压和频率信号,充当微电网的参考电源,此电源即为微电网的主网单元。微电网的双模式切换主要依靠主网单元的控制实现。目前,国内外能够实现微电网并网与孤网双模式切换的技术分以下几种:

[0004] (1) 以柴油发电机或燃气轮机等常规电源作为主网单元。以常规电源作为主网单元,对化石燃料资源的依赖程度大,容易造成环境污染,而且独立运行时为保持微电网的稳定运行,风电和光伏等间歇性新能源所占的比例不能太大或必须停运,影响了微电网节能环保的作用。

[0005] (2) 以储能单元作为主网单元。目前小容量的单相储能双模式换流器技术较成熟,某些微电网采用三个单相储能换流器组成三相系统的主网单元,通过三个单相换流器模式切换的协调配合实现微电网的双模式切换。虽然储能换流器运行灵活、响应快,但三个换流器的并网/孤网双模式切换过程中的同步配合成为系统切换的一个制约因素,目前采用该技术的微电网规模只能做到数十千瓦。

[0006] (3) 依靠运行模式控制器和储能主网单元实现。运行模式控制器根据实时的电网状态确定微电网的运行模式,向储能主网单元下达模式切换指令,储能主网单元根据模式切换指令完成 P-Q 和 V-F 的双模式切换。由于通信技术存在一定的时间延时,且模式切换过程中需要微电网启停,因此采用该技术实现微电网并网/孤网双模式切换过程中需要短暂的停电,完成的是一种有缝切换。

发明内容

[0007] 本发明的目的是针对现有技术存在的问题,根据大电网不同的实时运行状态,提供一种实现微电网并网与孤网自动无缝切换的控制方法,该控制方法在实现微电网与大电网进行能量互补的同时,进一步提高微电网供电的可靠性,可以实现以储能单元作为微电网主网单元的微电网并网与孤网双模式的自动无缝切换运行。

[0008] 为实现微电网并网与孤网双模式自动无缝切换,需要解决大电网实时运行状态快速准确识别、储能双模式换流器 P-Q 模式与 V-F 模式的平滑切换、以及微电网平稳同期并网三大技术问题。

[0009] (1) 电网状态快速准确识别方法

[0010] 微电网在实现并网 / 孤网双模式切换过程中,快速准确识别大电网的运行状态是实现自动无缝切换的关键技术之一。

[0011] 本发明利用主网单元储能双模式换流器完成大电网运行状态识别,由储能双模式换流器直接采集大电网信息进行状态识别,储能双模式换流器根据识别结果,实现自身运行模式的灵活可靠切换,同时通过就地控制信号实现微电网与大电网联络开关的通断,完成微电网运行模式的自动无缝切换,避免了控制过程中的通信环节,能够有效提高微电网的双模式切换速度。

[0012] 本发明分析微电网内电源与负载匹配程度与电压和频率等特征状态的对应关系,开展被动式的识别方法研究工作;分析锁相环输出偏差与主动式识别方法的相互关系,开展基于锁相技术的主动式识别方法研究工作。为了克服被动式识别技术存在较大盲区和主动式识别技术影响储能双模式换流器输出电能质量的缺点,研究“主动被动混合式”电网状态快速准确识别方法,从而提高电网状态识别速度、降低识别过程对系统电能质量和稳定性的影响。

[0013] (2) 双模式储能换流器模式平滑切换技术

[0014] 在微电网并网运行时,微电网的电压和频率参考信号由大电网提供,微电网内的所有分布式电源和储能单元全部运行于 P-Q 模式;在微电网孤网运行时,双模式储能单元是微电网的主网单元,运行于 V-F 模式,为微电网提供电压和频率参考信号,微电网内的其他分布式电源运行于 P-Q 模式。

[0015] 储能双模式换流器工作在 P-Q 模式时,控制模型输入量为有功和无功功率参考值,采用功率外环和电流内环的控制结构;储能双模式换流器工作在 V-F 模式时,控制模型输入量为系统电压和频率参考值,采用电压外环和电流内环的控制结构。由于储能双模式换流器采用电力电子技术,过流能力弱,在实现双模式切换过程中容易由于控制不当造成过流,使双模式换流器退出运行导致微电网瘫痪。因此建立适用于双模式换流器的“外环并行,内环归一化”的控制模型,是微电网并网与孤网自动无缝切换技术研究的关键技术之一。

[0016] (3) 微电网平稳同期并网技术

[0017] 当大电网状态恢复正常后,微电网与大电网经过一个同期调节过程,当满足同期条件时,微电网并网运行。微电网的同期过程利用储能双模式换流器实现。储能双模式换流器通过比较联络开关两端微电网电压矢量和电压矢量偏差,调节储能双模式换流器输出电压矢量,进而调节微电网电压矢量,直至微电网电压矢量与大电网电压矢量满足并网条件时,闭合联络开关实现微电网同期并网。

[0018] 微电网在同期过程中,系统内其他分布式电源始终以 P-Q 模式并网运行,由功角特性调节原理可知,微电网母线电压矢量突变会引起其他分布式电源脱网,此外,微电网微小的同期偏差会引起各分布式电源很大的电流冲击,导致各分布式电源脱网。因此,本发明提供的基于储能双模式换流器电压矢量定向同期调节的微电网同期技术,实现微电网平稳

同期并网。

[0019] 本发明的目的是采用下述技术方案实现的：

[0020] 一种微电网并网与孤网自动无缝切换的控制方法，其改进之处在于，所述方法包括用储能双模式换流器作为主网单元；识别电网状态，根据识别的电网状态进行储能双模式换流器模式平滑切换；或微电网平稳同期并网。

[0021] 本发明提供的一种优选的技术方案是：所述识别电网状态包括判断电网是否出现故障；所述识别电网状态方法包括：基于锁相环的频率扰动主动式识别、电源-负载不匹配特征信号被动识别和主动被动混合式的状态识别。

[0022] 本发明提供的第二优选的技术方案是：所述基于锁相环的频率扰动主动识别包括对系统锁相环环节增加频率扰动的有差锁相识别。

[0023] 本发明提供的第三优选的技术方案是：根据系统电压幅值和频率的特性信号对所述电源-负载不匹配特征信号进行被动识别。

[0024] 本发明提供的第四优选的技术方案是：所述主动被动混合式的状态识别是基于锁相环的频率扰动主动式识别和电源-负载不匹配特征信号被动识别综合识别。

[0025] 本发明提供的第五优选的技术方案是：所述储能双模式换流器的模式包括 P-Q 模式、V-F 模式和归一化模式；所述 P-Q 模式、V-F 模式和归一化模式分别采用 P-Q 控制模型、V-F 控制模型和归一化控制模型。

[0026] 本发明提供的第六优选的技术方案是：所述储能双模式换流器的 P-Q 控制模型采用功率外环和电流内环双闭环的控制模型，所述储能双模式换流器的 P-Q 控制模型的输入量为有功和无功功率参考值。

[0027] 本发明提供的第七优选的技术方案是：所述储能双模式换流器的 V-F 控制模型采用电压外环和电流内环双闭环的控制模型，所述储能双模式换流器的 V-F 控制模型的输入量为电压和频率参考值。

[0028] 本发明提供的第八优选的技术方案是：所述储能双模式换流器的归一化模型采用 P-Q 模式和 V-F 模式供电流内环以及 P-Q 模式的功率外环和 V-F 模式的电压外环并行的结构。

[0029] 本发明提供的第九优选的技术方案是：所述微电网平稳同期并网的过程是 V-F 模式储能双模式换流器与分布式电源的 P-Q 模式储能双模式换流器的同期调节过程；所述微电网平稳同期调节包括电压矢量频率同期调节、电压矢量相位同期调节和电压矢量幅值同期调节。

[0030] 与现有技术相比，本发明达到的有益效果是：

[0031] 1、本发明提供的控制方法应用于并网型微电网，实现微电网并网模式与孤网模式之间的自动无缝切换，避免目前微电网双模式切换时需要停电的弊端，提高微电网供电可靠性；

[0032] 2、本发明提供的控制方法应用于多能互补共交流母线型孤立微电网，如风光水储、风光柴储、风光储等多源互补型孤立微电网，实现储能主网与同步发电机主网之间的自动无缝切换，提高孤立微电网的供电可靠性和控制的灵活性；

[0033] 3、本发明提供的控制方法用于实现微电网中的电能全部由风电和光伏等新能源提供，由储能单元实现主网单元，微电网中无需柴油发电机等同步发电机，提高了微电网的

节能环保效益；

[0034] 4、本发明提供的控制方法有效降低微电网由孤网模式向并网模式切换时的冲击，避免由于切换冲击导致的风电、光伏等电源脱网问题；

[0035] 5、本发明提供的控制方法实现大电网运行状态的快速、准确检测，当大电网故障或电能质量不满足要求时，实现微电网与大电网的自动断开运行，提高微电网运行的可靠性。

附图说明

[0036] 图 1 是本发明的微电网并网与孤网自动无缝切换原理图；

[0037] 图 2 是本发明的主动被动混合式电网状态识别原理框图；

[0038] 图 3 是本发明的储能双模式换流器归一化控制模型原理框图；

[0039] 图 4 是本发明的微电网同期调节原理图；

[0040] 图 5 是本发明的基于电压矢量定向微电网同期控制原理框图。

具体实施方式

[0041] 下面结合附图对本发明的具体实施方式做进一步的详细说明。

[0042] 本发明提供一种实现微电网并网与孤网自动无缝切换控制方法，工作原理图如图 1 所示。

[0043] 本发明的微电网并网与孤网自动无缝切换方法涉及的系统包括光伏发电系统、风力发电系统、储能主网单元、微电网负荷、滤波补偿装置、联络开关和同步发电机。由联络开关通断指令发送给联络开关，通过比较微电网电压与大电网电压的电压偏差，把微电网电压反馈信号和大电网电压反馈信号通过联络开关传递给储能主网单元。

[0044] 本发明首先进行电网状态的快速准确识别，然后根据识别出的电网状态进行双模式储能换流器平滑切换或微电网平稳同期并网；进行电网状态识别是判断电网是否出现故障。

[0045] (一) 电网状态识别方法包括如下几种：

[0046] 1.1 基于锁相环的频率扰动主动式识别包括如下步骤：

[0047] ①初始化每个工频周期锁相角度的初始值：

$$[0048] \quad \theta_0 = 0; \quad (1)$$

$$[0049] \quad \Delta\theta_0 = \frac{2\pi \times 50}{f_s}; \quad (2)$$

[0050] 式中：

[0051] θ_0 - 每个工频周期锁相角度的初始值；

[0052] f_s - 控制系统的开关频率；

[0053] $\Delta\theta_0$ - 每个开关周期对应的电压角度初始值。

[0054] ②第一个工频周期：

[0055] 第 k 个开关周期对应的电压相角为

$$[0056] \quad \theta_k = \frac{2\pi \times k \times 50}{f_s}; \quad (3)$$

[0057] 式中： θ_k -第 k 个开关周期锁相环输出的电压相角；

[0058] ③第二个工频周期；

[0059] 周期起始时刻：对应一个工频周期内的第 m 个开关周期电压角度为：

$$[0060] \quad \theta_m = \frac{2\pi \times m \times 50}{f_s}; \quad (4)$$

[0061] 式中： θ_m -第 m 个开关周期锁相环输出的电压角度；

[0062] 如果 $\theta_m > 2\pi$ ，

$$\Delta\theta = \Delta\theta_0 + \Delta\varphi; \quad (5)$$

[0063] 否则

$$\Delta\theta = \Delta\theta_0 - \Delta\varphi; \quad (6)$$

[0064] 式中： $\Delta\varphi$ -锁相环的扰动步长；

[0065] $\theta_0 = 0$ ；

[0066] 周期内第 k 个开关周期对应的电压相角为： $\theta_k = k \cdot \Delta\theta$ ；(7)

[0067] 由上述推导可得如下结论：

[0068] 根据这种锁相环可得控制系统任何一个开关周期对应的电压角度，表达式如下：

$$[0069] \quad \theta_k = k \cdot \Delta\theta;$$

[0070] 根据锁相环工作原理可知，该锁相环利用扰动步长实现一种有差锁相，利用有差锁相可对系统增加频率扰动，实现基于锁相环的频率扰动主动识别，主动判断电网故障。

[0071] 1.2 电源-负载不匹配特征信号被动识别；

[0072] 在主电网断电的瞬间，有功和无功不匹配情况下微电网输出的电压和频率特性通过解析的方法计算出来，将微电网孤网运行时供电系统看作一个电流源，得到孤网运行时系统频率特征方程为：

$$[0073] \quad \omega_i^2 + \frac{R}{q^2 L P} \omega_i - \left(\frac{R}{qL}\right)^2 = 0; \quad (8)$$

[0074] 式中：

[0075] ω_i -孤网系统的频率；

[0076] R-孤网系统负荷等效电阻；

[0077] L-孤网系统负荷等效电感；

[0078] q-孤网系统负荷品质因数；

[0079] P-孤网系统电源有功出力；

[0080] Q-孤网系统电源无功出力；

[0081] 得孤网系统频率为：

$$[0082] \quad \omega_i \approx \frac{1}{\sqrt{LC}} \cdot \left(\frac{1}{2} \frac{Q}{qP} + 1\right); \quad (9)$$

[0083] 式中：C-孤网系统负荷等效电容；

[0084] 而根据电网断开前后瞬时的有功功率关系，得出系统孤网运行时系统电压为：

$$[0085] \quad U_i = \sqrt{\frac{P}{P_{load}}} U_N; \quad (10)$$

[0086] 式中：

[0087] U_i - 孤网后系统电压幅值；

[0088] U_N - 孤网前系统电压幅值；

[0089] P_{load} - 孤网系统有功负荷；

[0090] 由上述推倒得到以下结论：

[0091] 如果系统所需要的有功功率和微电网提供的有功功率不匹配，即 $\Delta P (\Delta P = P_{load} - P)$ 绝对值较大时，在断网时微电网电压幅值 U_i 将会有较大幅度变化。系统电压幅值偏差允许值应符合以下表达式：

$$[0092] \quad |U_i - U_N| > \varepsilon_u; \quad (11)$$

[0093] 式中：

[0094] ε_u - 系统电压幅值偏差允许值；

[0095] 如果系统所需要的无功功率和微电网提供的无功功率不匹配，即 $\Delta Q (\Delta Q = Q_{load} - Q)$ 绝对值较大时，在断网时微电网的频率 ω_i 将会发生较大幅度的变化，但电压频率偏差应符合以下式子：

$$[0096] \quad |\omega_i - \omega_N| > \varepsilon_\omega; \quad (12)$$

[0097] 式中：

[0098] ω_N - 孤网前系统频率；

[0099] ε_ω - 系统电压频率偏差允许值；

[0100] 综合以上分析，通过被动式的识别方法，根据系统电压幅值和频率的特性信号，在电源 - 负载不匹配时发挥重要作用，被动判断电网故障。

[0101] 1.3 主动被动混合式状态识别；

[0102] 由 1.1 分析可知，通过主动式的锁相技术，在得到控制系统需要的电压相位同时，在锁相环环节增加频率扰动，在输出特性上，通过每个开关周期均匀增加微小扰动，对电能质量影响较小；在扰动速度上，通过多个开关周期扰动累加，提高扰动强度，主动式识别方法在电源 - 负载匹配时发挥重要作用。

[0103] 由 1.2 分析可知，通过被动式的识别方法，根据系统电压幅值和频率的特性信号，在电源 - 负载不匹配时发挥重要作用。

[0104] 本发明充分发挥主动式和被动式识别方法各自优点，利用主动被动混合式的电网状态识别方法，实现电网状态的快速准确识别功能，主动被动混合式电网状态识别原理框图如图 2 所示。

[0105] (二) 储能双模式换流器模式平滑切换包括如下方案：

[0106] 首先分析储能双模式换流器的 P-Q 控制模型和 V-F 控制模型，为实现双模式的协调运行，最后对双模式进行归一化处理，具体实施方式如下：

[0107] 2.1 储能双模式换流器的 P-Q 控制模型

[0108] 储能双模式换流器的 P-Q 控制模型，模型输入量为有功和无功功率参考值，采用功率外环和电流内环双闭环控制模型。

[0109] I、功率外环；

[0110] 根据 d-q 坐标系下的瞬时功率理论，d 轴为有功分量，q 轴为无功分量，可得功率外环模型如下：

$$[0111] \quad \begin{cases} p = \frac{3}{2}(u_d i_d + u_q i_q) \\ q = \frac{3}{2}(u_q i_d - u_d i_q) \end{cases} \quad (13)$$

[0112] 式中：

[0113] p- 有功功率瞬时值；

[0114] q- 无功功率瞬时值；

[0115] u_d - 网侧电压 d 轴分量；

[0116] u_q - 网侧电压 q 轴分量；

[0117] i_d - 并网电流 d 轴分量；

[0118] i_q - 并网电流 q 轴分量。

[0119] 采用电压矢量 d 轴定向控制策略, 此时 $u_q = 0$, 则功率外环模型如下：

$$[0120] \quad \begin{cases} p = \frac{3}{2}u_d i_d \\ q = -\frac{3}{2}u_d i_q \end{cases} \quad (14)$$

[0121] II、电流内环；

[0122] 电流内环采用 d-q 解耦控制模型, 为提高控制系统的响应速度以及抗干扰能力, 电流内环引进网侧电压前馈控制, 为提高控制系统精度, 引进无静差 PI 控制, 电流内环模型如下：

$$[0123] \quad \begin{cases} v_d = (K_p + \frac{K_i}{s})(i_{dref} - i_d) - \omega L i_q + u_d \\ v_q = (K_p + \frac{K_i}{s})(i_{qref} - i_q) + \omega L i_d + u_q \end{cases} \quad (15)$$

[0124] 式中：

[0125] v_d - 调制电压 d 轴分量；

[0126] v_q - 调制电压 q 轴分量；

[0127] i_{dref} - 并网电流 d 轴分量参考值；

[0128] i_{qref} - 并网电流 q 轴分量参考值；

[0129] ω - 双模式换流器控制系统角频率；

[0130] L- 双模式换流器系统等效电感；

[0131] K_p -PI 调节器比例系数；

[0132] K_i -PI 调节器积分系数。

[0133] 2.2 储能双模式换流器的 V-F 控制模型；

[0134] 储能双模式换流器的 V-F 控制模型, 模型输入为电压和频率参考值, 采用电压外环和电流内环双闭环控制模型。

[0135] i、电压外环；

[0136] 控制模型采用电压矢量 d 轴定向控制策略, 根据 (a, b, c) 三相静止坐标系到 (d, q) 二相同步旋转坐标系的变换公式, 令 $\theta = 0$, 得：

$$[0137] \quad u_d = \left| \vec{e} \right| = \frac{3}{2}v_m ; \quad (16)$$

[0138] $u_q = 0$ (17)

[0139] 式中：

[0140] \vec{e} - 电网三相电压合成矢量；

[0141] v_m - 电网三相电压峰值。

[0142] 由上述结论，得 V-F 模式电压外环控制模型为：

[0143]
$$\begin{cases} i_{dref} = (K_p + \frac{K_i}{s})(V_{ref} - u_d) \\ i_{qref} = (K_p + \frac{K_i}{s})(0 - u_q) \end{cases} \quad (18)$$

[0144] 式中：

[0145] V_{ref} - 双模式换流器逆变电压幅值参考值。

[0146] ii、电流内环；

[0147] 储能双模式换流器 V-F 模式的电流内环结构与 P-Q 模式的电流内环结构一致，只是两者坐标变换对应的旋转频率有所不同。运行于 P-Q 模式时，坐标变换的旋转频率通过对电网电压的锁相而获取，运行于 V-F 模式时，坐标变换的旋转频率通过系统给定参考值而获取。

[0148] 2.3 储能双模式换流器的归一化模型；

[0149] 储能双模式换流器运行于 P-Q 模式时，采用功率外环和电流内环控制模式。

[0150] 储能双模式换流器运行于 V-F 模式时，采用电压外环和电流内环控制模式。

[0151] 本发明利用储能双模式换流器的归一化控制模型来进行平滑切换，归一化控制模型为 P-Q 模式与 V-F 模式共电流内环，P-Q 模式的功率外环与 V-F 模式的电压外环采用并行结构。根据不同的电网状态，采用不同的外环控制，而内环始终为共同的电流内环。通过共电流内环结构，避免模式切换过程中调制信号的突变，实现双模式的平滑切换，储能双模式换流器归一化控制模型原理框图如图 3 所示。

[0152] (三) 微电网平稳同期并网包括如下方案：

[0153] 微电网的同期并网过程是一个 V-F 模式储能双模式换流器与多个分布式电源的 P-Q 模式储能双模式换流器协调同期过程，微电网同期调节原理图如图 4(a) 和 (b) 所示。通过储能双模式换流器调节微电网电压，实现与大电网电压同期，具体实施方式如下：

[0154] 3.1 电压矢量频率同期调节；

[0155] 在微电网同期过程中，通过大电网锁相环输出信号控制双模式换流器调制频率，进而完成微电网的频率同期调节。

[0156] 3.2 电压矢量相位同期调节；

[0157] 通过大电网电压相位与微电网电压相位比较调节，获取储能双模式换流器的调制相角，即：

[0158] $\theta = \theta_e + (K_p + \frac{K_i}{s})(\theta_e - \theta_u)；$ (19)

[0159] 式中：

[0160] θ - 储能双模式换流器调制相角；

[0161] θ_e - 大电网电压相角；

[0162] θ_u - 微电网电压相角。

[0163] 3.3 电压矢量幅值同期调节；

[0164] 通过大电网电压幅值与微电网电压幅值比较调节,获取储能双模式换流器 V-F 运行模式下的电压外环参考值：

$$[0165] \quad V_{ref} = (K_p + \frac{K_i}{s})(e_d - u_d); \quad (20)$$

[0166] 式中：

[0167] e_d - 大电网电压 d 轴分量；

[0168] u_d - 微电网电压 d 轴分量。

[0169] 通过控制储能双模式换流器,采用电压矢量定向的微电网同期并网技术,基于电压矢量定向微电网同期控制原理框图如图 5 所示。

[0170] 本发明提供的微电网并网与孤网自动无缝切换的控制方法,归纳为：

[0171] ①一种锁相方法,将软件与硬件相结合,抗干扰能力强,精度高、实时性强,并为电网状态的快速准确识别提供基础。

[0172] ②一种电网状态识别方法,利用有差锁相技术实现主动识别方法,充分利用系统电压与频率信号特征,将主动式与被动式识别方法相结合,实现对电网状态的快速准确识别。

[0173] ③一种双模式归一化模型,充分利用网侧电压前馈、d-q 分量解耦策略,建立储能双模式换流器的 P-Q 模式和 V-F 模式的内外环模型,并采用共电流内环,功率外环与电压外环并行的归一化模型结构,有效避免双模式切换的冲击暂态过程,实现双模式换流器平滑切换。

[0174] ④一种微电网同期方法,利用电压矢量定向控制策略,利用储能双模式逆变器的同期调节特性,实现微电网内单个 V-F 模式和多个 P-Q 模式的分布式电源协调平稳同期并网,保证同期过程中所有分布式电源正常稳定运行。

[0175] ⑤一种微电网并网与孤网自动无缝切换的控制方法,充分利用储能双模式逆变器的主网单元作用,将电网状态快速准确的识别方法、双模式归一化模型以及同期调节集主网单元于一体,省略通信环节,实现微电网的并网与孤网自动无缝切换运行。

[0176] 最后应当说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其保护范围的限制,尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明,所属领域的普通技术人员应当理解:本领域技术人员阅读本发明后依然可对发明的具体实施方式进行种种变更、修改或者等同替换,这些变更、修改或者等同替换,其均在其申请待批的权利要求范围之内。

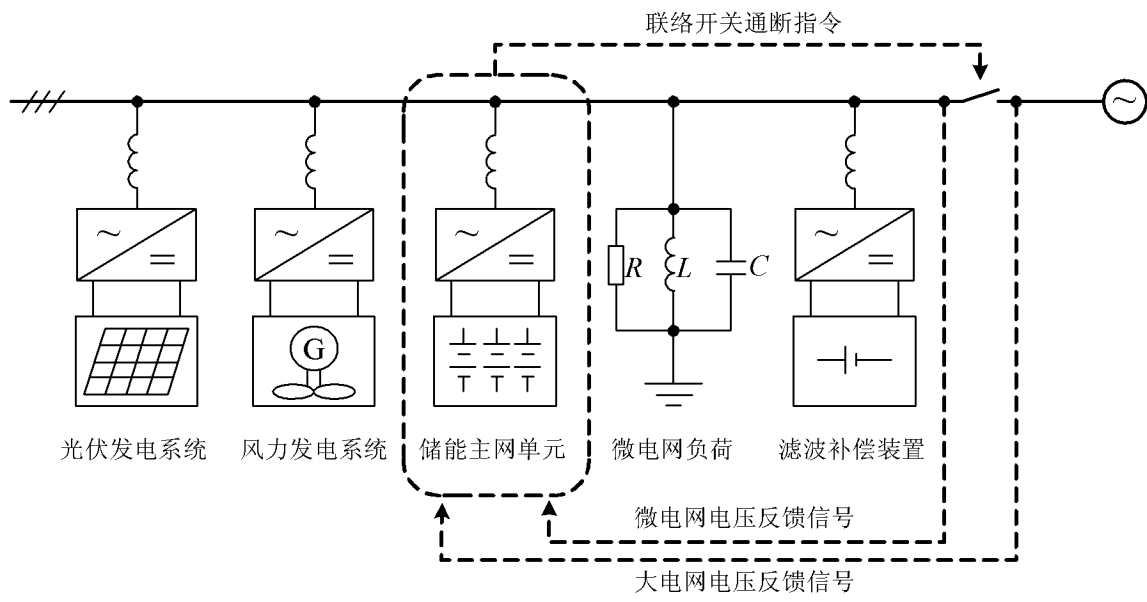


图 1

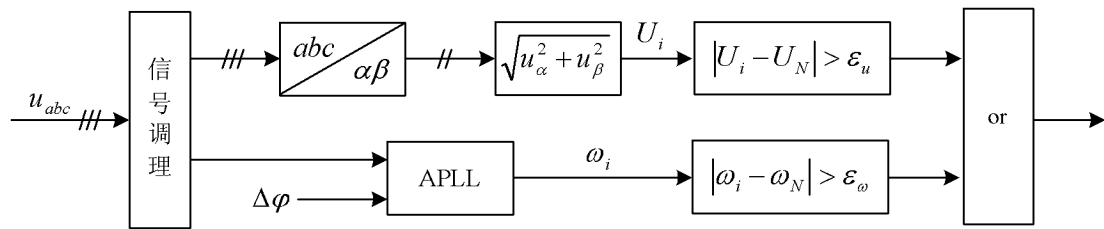


图 2

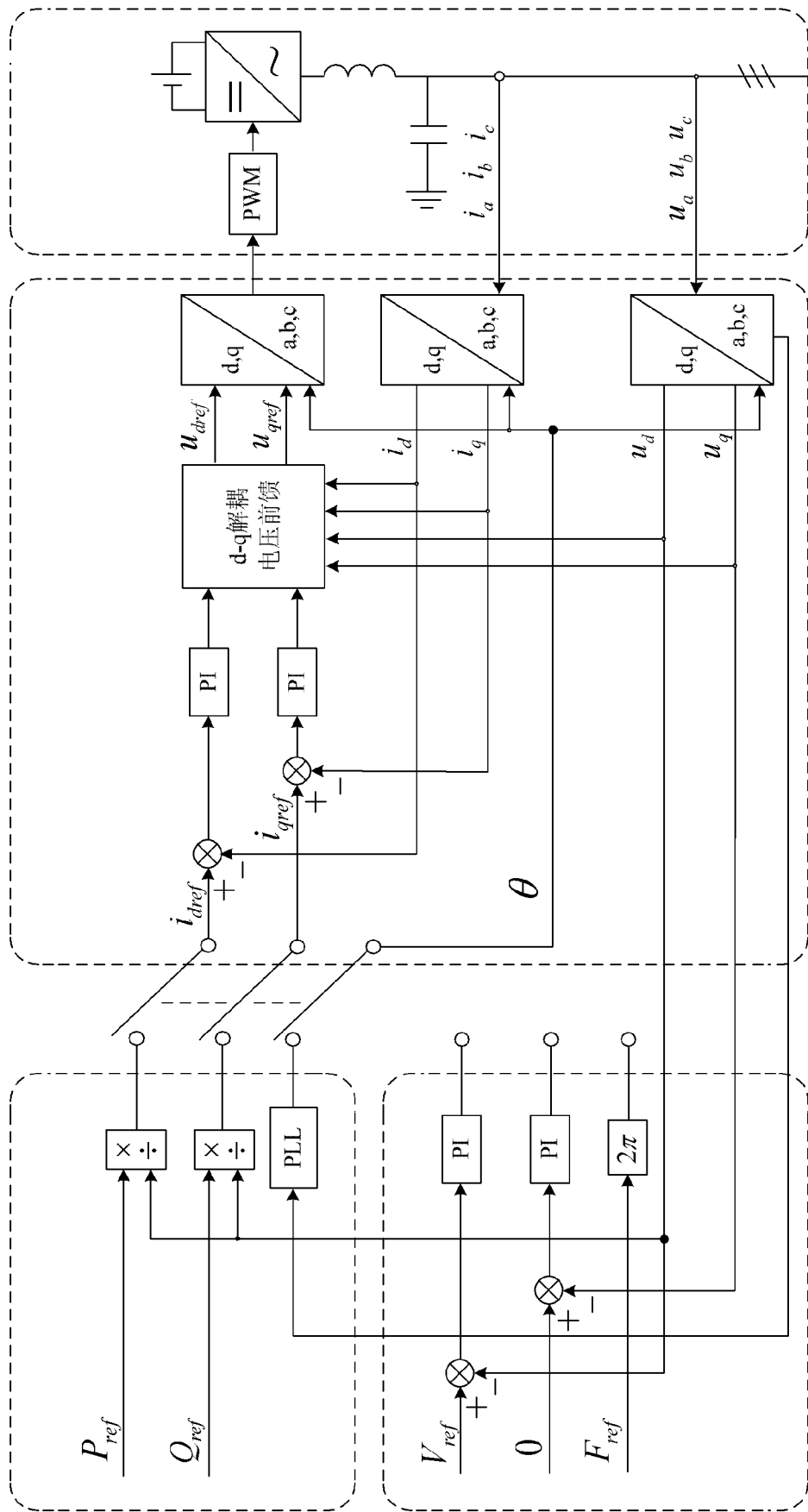


图 3

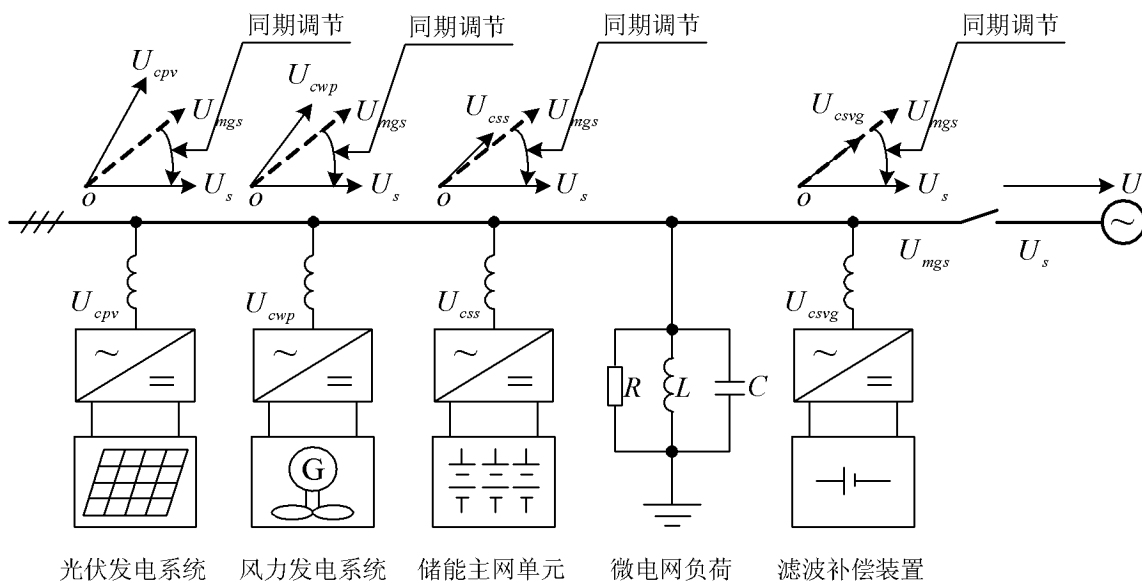


图 4(a)

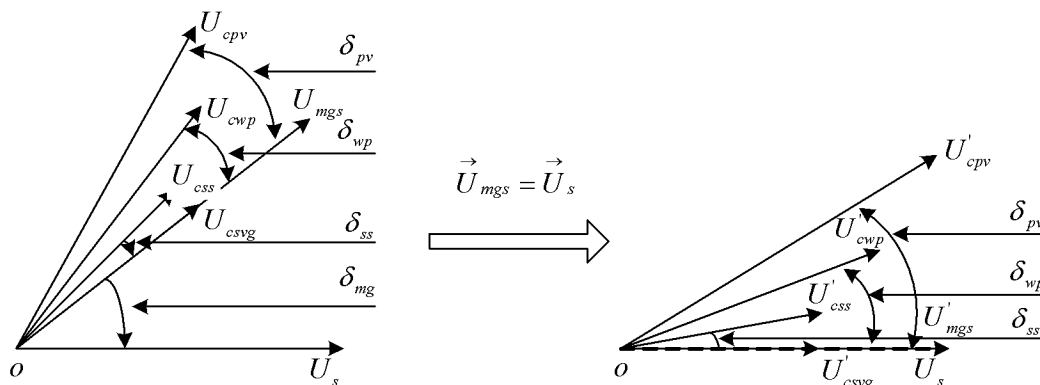


图 4(b)

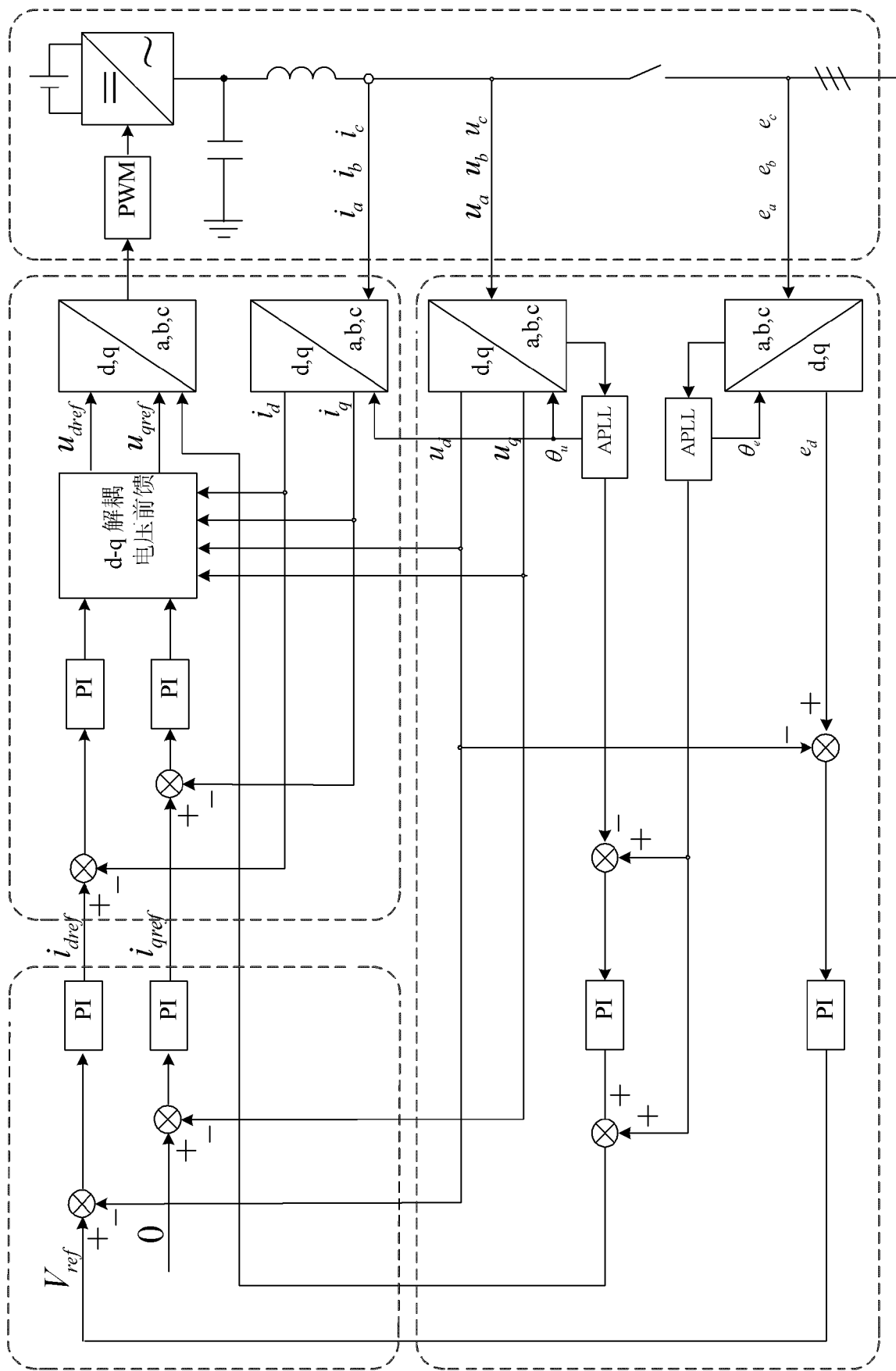


图 5