



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103560535 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 22

(21) 申请号 201310586893. 8

CN 102545260 A, 2012. 07. 04,

(22) 申请日 2013. 11. 20

CN 102904282 A, 2013. 01. 30,

CN 103326395 A, 2013. 09. 25,

(73) 专利权人 北京四方继保自动化股份有限公司

周俊. 微网能量控制策略研究. 《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技 II 辑》. 2012,

地址 100085 北京市海淀区上地信息产业基地四街 9 号

审查员 宋静婧

专利权人 中国南方电网有限责任公司调峰调频发电公司

(72) 发明人 刘志超 郭海峰 张效宇 张百华
赵璐璐 李永兴 操丰梅 李勇琦
任秋利 陈满 周劲松

(74) 专利代理机构 北京金阙华进专利事务所
(普通合伙) 11224

代理人 吴鸿维

(51) Int. Cl.

H02J 3/32(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102185341 A, 2011. 09. 14,

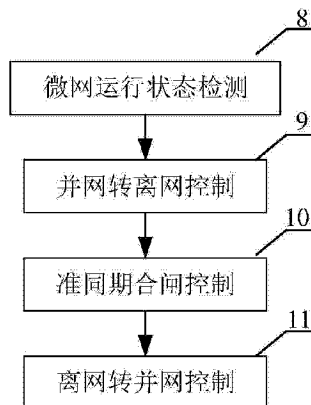
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

基于储能变流器的微电网运行方式无缝切换方法

(57) 摘要

一种基于储能变流器的含分布式电源微电网的无缝切换方法, 实现在微电网从孤岛运行转为并网运行时, 储能变流器主动检测到微电网的状态切换, 相应的由离网运行转为并网运行。并通过准同期并网控制, 实现储能变流器供电到主电网供电的平滑过渡。负载侧供电连续, 负载感受不到微电网并入主电网造成的电压波动, 保证负载的供电连续。本发明实现了微电网运行状态切换过程中对负载的连续、不间断供电、控制策略具有良好的普适性。



1. 一种基于储能变流器的微电网运行方式无缝切换方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

(1) 微电网运行状态检测:通过连续监测微电网中储能变流器并网点的电压相角和幅值,对微电网的并网/孤岛运行状态进行判断;并锁存微电网运行状态转换前一个周期的并网点的电压幅值和相角,将此锁存值作为采用离网VF控制模式时的电压幅值和相角的初值;

(2) 并网转离网控制:当检测到储能变流器并网点处的频率偏移量高于设置的门槛值时,储能变流器从并网PQ控制模式转到离网VF控制模式;

(3) 准同期并网控制:在微电网离网运行时,当检测到电网恢复供电后,根据电网电压的幅值和相角,对储能变流器实现准同期并网控制;

(4) 离网转并网控制:在微电网离网运行时,监测储能变流器并网点处电压的相角和储能变流器离网VF控制模式下的期望相角,当检测到储能变流器离网VF控制模式下的期望相角和储能变流器并网点处相角的偏移量超过设定值时,储能变流器从离网VF控制模式转为并网PQ控制模式。

2. 根据权利要求1所述的切换方法,其特征在于:

在步骤(1)中,通过交流电压采样器采集储能变流器并网点处,即微电网并网开关储能变流器一侧的电网电压,计算该处电网电压的幅值并存储当前点至一周期前的电网电压的幅值;采用数字锁相控制器根据交流电压采样器采集的电压计算当前电网电压的相角,并存储当前点至一周期前的电网电压相角。

3. 根据权利要求2所述的切换方法,其特征在于:

在步骤(2)中,通过电压幅值、频率偏差比较器将交流电压采样器和数字锁相控制器所得的电网电压幅值、相角和设定的定值相比较,当偏差小于设定值时,电网保持并网运行,电压幅值、频率偏差比较器输出的电网并网转离网信号为0;当偏差大于设定值时电压幅值、频率偏差比较器输出的电网并网转离网信号为1,当电网并网转离网信号为1时,离网VF控制器将把储能变流器由并网PQ控制模式切换到离网VF控制模式。

4. 根据权利要求1所述的切换方法,其特征在于:

在步骤(3)中,交流电压采样器采集储能变流器并网点处、即微电网并网开关储能变流器侧的电压并计算电压幅值,数字锁相控制器根据交流电压采样器采集的储能变流器侧的电压计算储能变流器侧的电压相角;交流电压采样器采集并网开关处电网侧的电压并计算并网开关电网侧的电压幅值,数字锁相控制器根据交流电压采样器采集的电网侧的电压计算并网开关电网侧的相角;

计算两处的电压幅值、频率和相角差,当3个差值都小于设定值时,输出准同期合闸使能的信号为1,否则输出为0;并网准同期合闸控制器接收到准同期合闸使能信号为1时,驱动并网开关,实现准同期合闸功能。

5. 根据权利要求4所述的切换方法,其特征在于:

在步骤(3)中,进一步包括,当两处的电压幅值、频率偏差大于设定值时,调整VF控制的电压幅值、频率设定值,直至电压幅值偏差、频率偏差小于设定值。

6. 根据权利要求1所述的切换方法,其特征在于:

在步骤(4)中,比较数字锁相控制器计算所得电网相角和VF控制的期望相角,当两者

的差大于设定值时,认为储能变流器已经并入电网,输出储能变流器并网使能为 1,否则为 0,当储能变流器并网使能为 1 时并网 PQ 控制器将把储能变流器由离网 VF 控制模式切换到并网 PQ 控制模式。

基于储能变流器的微电网运行方式无缝切换方法

技术领域：

[0001] 本发明属于电力系统领域，涉及含分布式电源的微电网控制技术，具体为基于储能变流器的无缝切换技术。

背景技术：

[0002] 含分布式电源的微电网的关键技术是如何实现分布式电源与大电网的协调运行。随着大量的分布式电源并入电网，微电网作为一种能很好发挥分布式电源潜能的组织形式被提出。微电网是由分布式电源、储能装置、能量转换装置、相关负荷和监控、保护装置汇集而成的小型发配电系统。微电网构成了一个可控单元，能够实现自控制、保护和管理，可以有效地协调分布式电源与大电网之间的矛盾，实现电网的快速发展。

[0003] 微电网作为超高压、远距离、大电网供电模式的补充，代表着电力系统新的发展方向。微电网有并网运行和孤岛运行两种运行方式，对应于储能变流器的运行方式为并网运行和离网运行。

[0004] 由于目前的变流器大多为单功能储能变流器，能够在并网模式和离网模式两种模式之一运行，控制方法较多，如并网 PQ 控制、离网 VF 控制、多机孤岛下垂控制等。模式之间的切换仍是技术瓶颈，并网模式和离网模式之间切换时一般需要先先将变流器待机，导致微电网由并网运行转为孤岛运行或者由孤岛运行转为并网运行时，内部负荷的都将短电。

发明内容：

[0005] 本发明要解决的技术问题：在微电网运行方式发生并网 / 孤岛转换时，储能变流器进行相应的并网 / 离网状态转换，实现对负荷的不间断供电。

[0006] 本发明具体采用以下技术方案。

[0007] 一种基于储能变流器的微电网运行方式无缝切换方法，其特征在于，所述方法包括以下步骤：

[0008] (1) 微电网运行状态检测：通过连续监测微电网中储能变流器并网点的电压相角和幅值，对微电网的并网 / 孤岛运行状态进行判断；并锁存微电网运行状态转换前一个周期的并网点的电压幅值和相角，将此锁存值作为采用离网 VF 控制（即电压和频率控制）模式时的电压幅值和相角的初值；

[0009] (2) 并网转离网控制：当检测到储能变流器并网点处的频率偏移量高于设置的门槛值时，储能变流器从并网 PQ（即有功和无功功率控制）控制模式转到离网 VF 控制模式；

[0010] (3) 准同期并网控制：在微电网离网运行时，当检测到电网恢复供电后，根据电网电压的幅值和相角，对储能变流器实现准同期并网控制；

[0011] (4) 离网转并网控制：在微电网离网运行时，监测储能变流器并网点处电压的相角和储能变流器离网 VF 控制模式下的期望相角，当检测到储能变流器离网 VF 控制模式下的期望相角和储能变流器并网点处相角的偏移量超过设定值时，储能变流器从离网 VF 控制

模式转为并网 PQ 控制模式。

[0012] 本发明进一步包括以下优选方案：

[0013] 在步骤(1)中,通过交流电压采样器采集储能变流器并网点处,即微电网并网开关储能变流器一侧的电网电压,计算该处电网电压的幅值并存储当前点至一周期前的电网电压的幅值;采用数字锁相控制器根据交流电压采样器采集的电压计算当前电网电压的相角,并存储当前点至一周期前的电网电压相角。

[0014] 在步骤(2)中,通过电压幅值、频率偏差比较器将交流电压采样器和数字锁相环控制器所得的电网电压幅值、相角和设定的定值相比较,当偏差小于设定值时,电网保持并网运行,电压幅值、频率偏差比较器输出的电网并网转离网信号为 0;当偏差大于设定值时电压幅值、频率偏差比较器输出的电网并网转离网信号为 1,当电网并网转离网信号为 1 时,离网 VF 控制器将把储能变流器由并网 PQ 控制模式切换到离网 VF 控制模式。

[0015] 在步骤(3)中,交流电压采样器采集储能变流器并网点处、即微电网并网开关储能变流器侧的电压并计算电压幅值,数字锁相控制器根据交流电压采样器采集的储能变流器侧的电压计算储能变流器侧的电压相角;交流电压采样器采集并网开关处电网侧的电压并计算并网开关电网侧的电压幅值,数字锁相控制器根据交流电压采样器采集的电网侧的电压计算并网开关电网侧的相角;计算两处的电压幅值、频率和相角差,当 3 个差值都小于设定值时,输出准同期合闸使能的信号为 1,否则输出为 0;并网准同期合闸控制器接收到准同期合闸使能信号为 1 时,驱动并网开关,实现准同期合闸功能。

[0016] 在步骤(3)中,进一步包括,当两处的电压幅值、频率偏差大于设定值时,调整 VF 控制的电压幅值、频率设定值,直至电压幅值偏差、频率偏差小于设定值。

[0017] 在步骤(4)中,比较数字锁相控制器计算所得电网相角和 VF 控制的期望相角,当两者的差大于设定值时,认为储能变流器已经并入电网,输出储能变流器并网使能为 1,否则为 0,当储能变流器并网使能为 1 时并网 PQ 控制器将把储能变流器由离网 VF 控制模式切换到并网 PQ 控制模式。

[0018] 在本发明中,在微电网 5 发生并网 / 孤岛状态切换时,储能变流器 4 能够实现并网运行 / 离网运行的快速切换,实现对负载 3 的不间断供电。

[0019] 本发明有益效果：

[0020] 本发明提供了基于储能变流器的无缝切换技术,克服了现有储能变流器并网运行转离网运行、离网运行转并网运行时需短时封脉冲的问题,从而实现了基于储能变流器的含分布式电源微电网的无缝切换,保证微电网状态切换时,对微电网内负荷的不间断供电。

[0021] 本发明能够实现在微电网从并网运行转为孤岛运行时,储能变流器主动检测到微电网的状态切换,相应的由并网运行转为离网运行。并通过控制离网 VF 控制的初始电压和相角保证时负载电压波形连贯。负载侧供电连续,负载感受不到微电网从主电网断开造成的电压波动,保证负载的供电连续。

[0022] 本发明实现了防止储能变流器将微电网电压波动、闪变导致的数字锁相环控制器输出异常误判为微电网孤岛运行的容错方法。

[0023] 本发明能够实现在微电网从孤岛运行转为并网运行时,储能变流器主动检测到微电网的状态切换,相应的由离网运行转为并网运行。并通过准同期并网控制,实现储能变流器供电到主电网供电的平滑过渡。负载侧供电连续,负载感受不到微电网并入主电网造成

的电压波动,保证负载的供电连续。

[0024] 本发明不依赖于对微电网并网开关合分位的检测,仅通过对储能变流器出口电压、电流等电气量来判断微电网的运行状态,控制方法具有普适性。

附图说明

[0025] 图 1 是本发明主回路电路示意图;

[0026] 图 2 是本发明无缝切换方法流程示意图;

[0027] 图 3 是本发明微电网并网运行转孤岛运行时,储能变流器由并网运行转离网运行的无缝切换控制示意图;

[0028] 图 4 是本发明微电网离网运行时,通过储能变流器实现准同期并网控制流程示意图;

[0029] 图 5 是本发明微电网离网运行转并网运行时,储能变流器由离网运行转并网运行的无缝切换控制示意图;

[0030] 图 6 是本发明数字锁相控制器组成示意图。

具体实施方式

[0031] 为使本发明的技术方案,控制优点更加明确,下面将结合附图对本发明做详细的解释说明。

[0032] 本发明实施例提供了基于储能变流器的微电网无缝切换控制策略。本发明控制策略是基于不检测并网开关合分位状态的前提下,仅通过检测电压、电流等电气量的变化,判断微电网运行状态变换,保证微电网运行状态切换时对负载的不间断供电。

[0033] 本发明实施例的介绍是基于储能变流器的微电网拓扑结构(见图 1),它包括主电网 1 和微电网 5,主电网 1 与微电网 5 经微电网并网开关 2 相连,其中微电网 5 由微电网内负载 3 与储能变流器 4 并联组成。

[0034] 基于储能变流器的无缝切换方法主要包含以下步骤(见图 2):微网运行状态检测 8,并网转离网控制 9,准同期合闸控制 10,离网转并网控制 11。

[0035] 微网运行状态检测 8,并网转离网控制 9 的具体实现方法包含以下内容(见图 3)。交流电压采样器 12 采集并网开关 2 (见图 1)处储能变流器侧(见图 1 中的 6)的电压,计算电网电压的幅值并存储当前点至一周期前的电网电压的幅值。数字锁相控制器 13 根据交流电压采样器 12 采集的电压计算当前电网电压的相角,并存储当前点至一周期前的电网电压相角。电压幅值、频率偏差比较器 13 将交流电压采样器 12 和数字锁相环控制器 13 计算所得的电网电压幅值、相角和设定的定值相比较,当偏差小于设定值时,电网保持并网运行,电压幅值、频率偏差比较器 14 输出的电网并网转离网信号为 0;当偏差大于设定值时电压幅值、频率偏差比较器 14 输出的电网并网转离网信号为 1。当电网并网转离网信号为 1 时,离网 VF 控制器 15 将把储能变流器由并网 PQ 控制模式切换到离网 VF 控制模式。为了使得负载 3 的供电保持电压幅值、相角连续,离网 VF 控制时的初始电压幅值和相角为交流电压采样器 12 和数字锁相控制器 13 所记录的一个周期前的值。

[0036] 准同期合闸控制 10 的具体实现方法包含以下内容(见图 4)。交流电压采样器 12 采集并网开关 2 (见图 1)处储能变流器侧(见图 1 中的 6)的电压并计算并网开关 2 储能变

流器侧的电压幅值。数字锁相控制器 13 根据交流电压采样器 12 采集的储能变流器侧的电压计算并网开关 2 储能变流器侧的相角。交流电压采样器 12 采集并网开关 2 (见图 1) 处电网侧(见图 1 中的 7) 的电压并计算并网开关 2 电网侧的电压幅值。数字锁相控制器 13 根据交流电压采样器 12 采集的电网侧的电压计算并网开关 2 电网侧的相角。该部分计算方法和微网运行状态检测 8, 并网转离网控制 9 的具体实现方法中的电压幅值、相角的计算相同。电压幅值、频率、相角比较器 17 的输入是交流电压采样器 12 计算得到的并网开关 2 储能变流器侧 6 处的电压幅值、并网开关 2 电网侧 7 处的电压幅值、数字锁相环控制器 14 计算得到的并网开关 2 储能变流器侧 6 处的电压相角、并网开关 2 电网侧 7 处的电压相角、以及对并网开关 2 储能变流器侧 6 处的电压进行全周傅氏滤波得到的变流器输出的电压频率值、并网开关 2 电网侧 7 处的电压进行全周傅氏滤波得到的电网频率值。计算两处的电压幅值、频率和相角差, 当 3 个差值都小于设定值时, 输出准同期合闸使能的信号为 1, 否则输出为 0。当两处的电压幅值、频率偏差大于设定值时, 调整 VF 控制模式的电压幅值、频率设定值 18, 直至电压幅值、频率偏差小于设定值。并网准同期合闸控制器 19 接收到准同期合闸使能信号为 1 时, 驱动并网开关, 实现准同期合闸功能。

[0037] 离网转并网控制 11 的具体实现方法包含以下内容(见图 5)。交流电压采样器 12 采集并网开关 2 处电压。数字锁相控制器 13 根据交流电压采样器 12 采集的电压计算当前电网电压的相角。离网 VF 期望相角计算器 20 是根据 VF 离网控制时的频率期望和控制系统的控制频率计算当前的 VF 控制的期望相角。当储能变流器和电网并网运行时, 储能变流器的相角被电网箝位, 不再由离网 VF 期望相角计算器 20 计算所得相角决定。相角比较器 21 的输入是数字锁相控制器 13 计算所得电网相角和离网 VF 期望相角计算器 20 计算所得的 VF 控制的期望相角。当两者的差大于设定值时, 认为储能变流器已经并入电网, 相角比较器 21 输出储能变流器并网使能为 1, 否则为 0。当储能变流器并网使能为 1 时并网 PQ 控制器 22 将把储能变流器由离网 VF 控制模式切换到并网 PQ 控制模式。

[0038] 数字锁相控制器 13 包括(见图 6)静止坐标变换器 23, 正序电压提取器 24, 旋转坐标变换器 25, PI 调节器 26, 电网角度计算器 27。

[0039] 其中静止坐标变换器 23 的输入为静止坐标系下的电网 1 相电压, 输出电网电压的 α , β 轴分量, 其中的变换函数为:

$$[0040] \quad \begin{bmatrix} U_{\alpha} \\ U_{\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix}$$

[0041] 式中 U_a 、 U_b 、 U_c 为电网 3 相电压, U_{α} 、 U_{β} 为电网电压 α , β 轴分量。

[0042] 正序电压提取器 24 的输入为电网电压的 α , β 轴分量, 输出电网电压 α , β 轴正序电压。

[0043] 电网电压实时的 α , β 轴电压如下公式所示, 式中 U 为电网电压实时值, P 为电网电压正序值, N 为电网电压负序值:

$$[0044] \quad \begin{cases} U_{\alpha}(t) = U_P * \cos(\omega t + \theta_P) + U_N * \cos(-\omega t + \theta_N) \\ U_{\beta}(t) = U_P * \sin(\omega t + \theta_P) + U_N * \sin(-\omega t + \theta_N) \end{cases}$$

[0045] 电网电压实时 α , β 轴电压延时四分之一周期后如下公式所示：

$$[0046] \quad \begin{cases} U_{\alpha}(t-\frac{T}{4}) = U_P * \cos(\omega t + \theta_P - \frac{\pi}{2}) + U_N * \cos(-\omega t + \theta_N + \frac{\pi}{2}) \\ U_{\beta}(t-\frac{T}{4}) = U_P * \sin(\omega t + \theta_P - \frac{\pi}{2}) + U_N * \sin(-\omega t + \theta_N + \frac{\pi}{2}) \end{cases}$$

$$[0047] \quad \begin{cases} U_{\alpha}(t-\frac{T}{4}) = U_P * \sin(\omega t + \theta_P) - U_N * \sin(-\omega t + \theta_N) \\ U_{\beta}(t-\frac{T}{4}) = -U_P * \cos(\omega t + \theta_P) + U_N * \cos(-\omega t + \theta_N) \end{cases}$$

$$[0048] \quad U_{\alpha P} = U_P * \cos(\omega t + \theta_P) = \frac{1}{2} \left[U_{\alpha}(t) - U_{\beta}(t-\frac{T}{4}) \right]$$

$$[0049] \quad U_{\beta P} = U_P * \sin(\omega t + \theta_P) = \frac{1}{2} \left[U_{\alpha}(t-\frac{T}{4}) + U_{\beta}(t) \right]$$

[0050] 式中, $U_{\alpha}(t)$ 、 $U_{\beta}(t)$ 为电网电压 α , β 轴分量, $U_{\alpha}(t-\frac{T}{4})$ 、 $U_{\beta}(t-\frac{T}{4})$ 为电网电压四分之一周期前的 α , β 轴分量, $U_{\alpha P}$ 、 $U_{\beta P}$ 为电网电压 α , β 轴正序分量。

[0051] 其中旋转坐标变换器 25 的输入为电网电压的 α , β 轴正序分量, 输出电网电压 d , q 轴正序分量, 实现方法如下, 式中用到的角度为前一次锁相环输出的角度加上 1 个采样点所对应的角度偏移。

$$[0052] \quad \begin{bmatrix} U_d \\ U_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{\alpha} \\ U_{\beta} \end{bmatrix}$$

[0053] 式中 U_{α} 、 U_{β} 为电网电压 α , β 轴分量, U_d 、 U_q 为电网电压 d 、 q 轴分量。

[0054] PI 调节器 26 的输入为电网电压的 q 轴正序分量取负值, 输出电网电压的频率偏差, 其传递函数为：

$$[0055] \quad f_{PI}(s) = K + \frac{1}{Ts}$$

[0056] 其中, K 为比例增益, T 为积分时间常数。比例增益 K 与积分时间常数 T 需要根据实际情况来调整, 例如, 硬件参数、主回路结构等等。

[0057] 其中电网角度计算器 27 的输入为电网电压的频率偏差, 输出为当前电网角度, 实现方法如下：

[0058] 输入的频率偏差加上 50Hz 即为当前的电网频率, 前一次计算的电网角度加上根据当前电网频率和控制频率计算出的当前一个控制周期的角度偏差即为当前的电网角度。

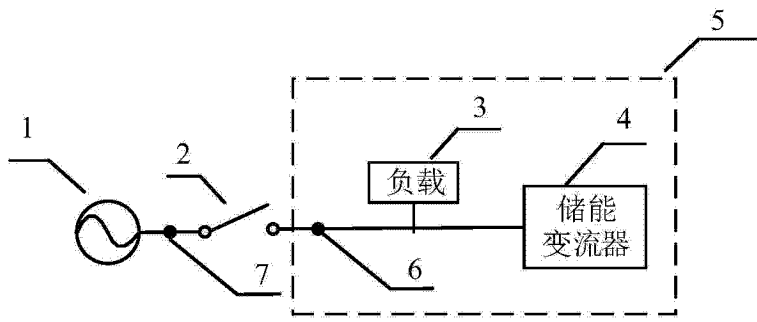


图 1

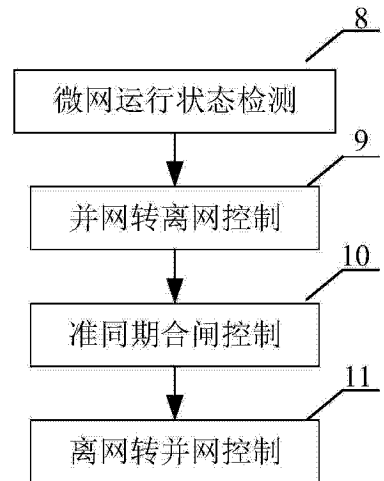


图 2

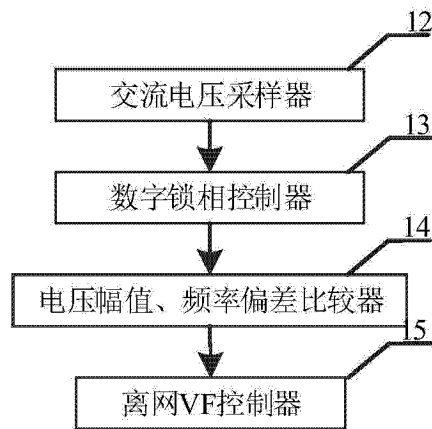


图 3

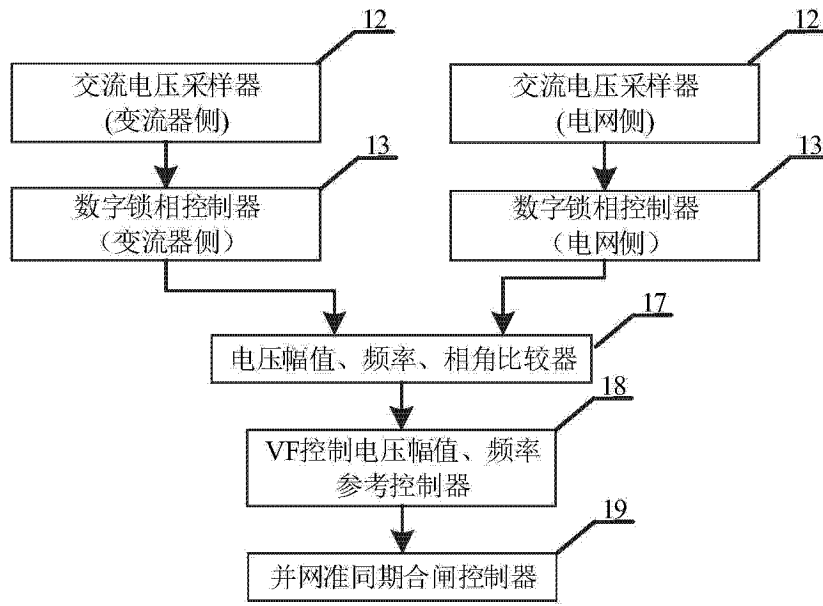


图 4

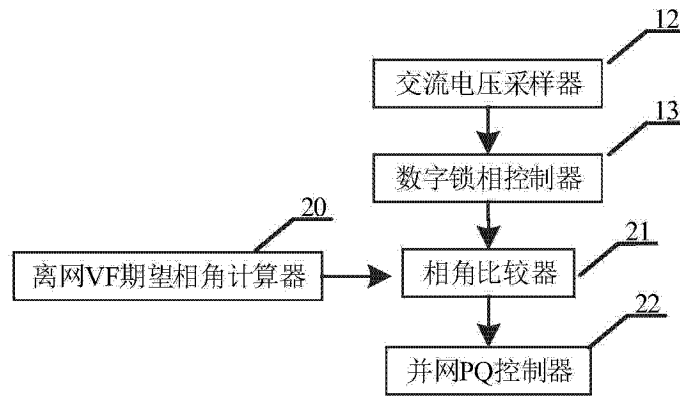


图 5



图 6