



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105140968 A

(43) 申请公布日 2015. 12. 09

(21) 申请号 201510700195. 5

(22) 申请日 2015. 10. 23

(71) 申请人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山武汉大学

(72) 发明人 陈磊 雷雨

(74) 专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 42222

代理人 鲁力

(51) Int. Cl.

H02J 3/38(2006. 01)

H02J 3/24(2006. 01)

H02J 3/12(2006. 01)

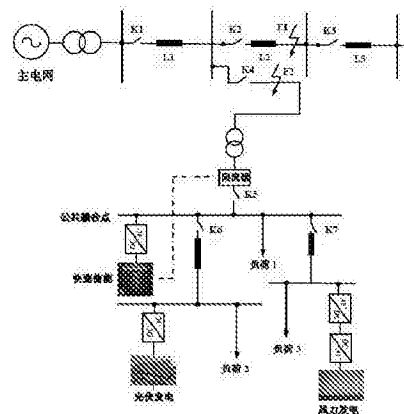
权利要求书2页 说明书6页 附图10页

(54) 发明名称

一种基于故障限流-快速储能协调控制的微电网暂态性能强化装置及方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于故障限流-快速储能协调控制的微电网暂态性能强化装置及方法,如下:当微电网遭遇外部短路故障时,考虑故障位置的差异及高渗透功率的交互需求,某些故障工况下限流器和快速储能装置的协调控制以提高微电网的故障穿越能力;对于某些特定的工况如微配电网联络线短路故障,微电网必须从主网络断开时,故障限流器及快速储能装置的协调控制以保障微电网在并网与孤岛模式之间实现平滑过渡。本发明可以在有效限制故障电流、减小微电网耦合点电压跌落的同时,也在平抑微电网功率波动和提高电能质量方面起到积极作用,从而改善高渗透微电网应对外部短路故障的能力,保障其运行可靠性。



1. 一种基于故障限流 - 快速储能协调控制的微电网暂态性能强化装置, 其特征在于, 在微电网与主电网的公共耦合点处安装故障限流器和快速储能装置; 其中,

所述故障限流器为磁通耦合型超导故障限流器, 由耦合变压器、快速可控开关 S_1 、高温超导电阻及 MOA 氧化锌电阻片组成; 耦合变压器的一次线圈 L_1 同快速开关相联且并入 MOA, 二次线圈 L_2 同超导电阻相串联, 继而将一、二次侧绕组线圈呈反向并联接入微电网与主电网的公共耦合点处; 在电网正常运行时, 快速开关处于闭合状态, 耦合变压器呈现出无感效应, 且超导电阻表征零电阻效应, 故障限流器对电网运行无影响; 发生短路故障后, 可控开关快速开断, 耦合变压器一、二次线圈解耦, 且超导电阻因通流超过其临界值呈现高阻态, 此时限流器串联接入主回路以抑制故障电流的上升和改善公共耦合点处的电压跌落;

所选快速储能为超导磁储能装置, 超导磁储能装置是利用超导材料制成的线圈, 由电网经变流器供电励磁, 在线圈中产生磁场而储存能量, 在需要时可将此能量经逆变器反馈至电网; 如储能线圈一直维持在超导态, 则线圈中所储存的能量可以几乎无损耗地永久储存, 直到需要释放为止; 与其他储能系统相比, 超导磁储能装置具有较高的转换效率和较快的反应速度; 超导线圈经直流电源装置处理后连至全控变流器, 再接入微电网系统; 直流电源处理装置有两个基本的运行模式, 充磁模式和放磁模式, 分别对应于储能系统的充电状态和放电状态; 在一个开关周期内, 储能系统的平均功率由处理装置中电力电子开关 S_1 和 S_2 的占空比 D 的调节来控制; 当 $D > 0.5$ 时, 储能系统将吸收能量, 当 $D < 0.5$ 时, 其将释放出能量; 占空比可以由下式计算:

$$P_{SMES} = u_c \cdot (2D - 1) \cdot i_{SMES} \quad \text{式一。}$$

2. 一种基于故障限流 - 快速储能协调控制的微电网暂态性能强化方法, 其特征在于: 具体方法是:

当电网正常运行时, 故障限流器呈现低阻抗对微电网及所连配电网无影响, 快速储能装置使用有功 - 无功控制策略以平抑微电网内部的功率波动; 当微电网遭遇外部短路故障时, 某些故障工况下限流器和快速储能装置的协调控制以提高微电网的故障穿越能力; 对于一些特点位置的故障工况如微配电网联络线短路, 微电网必须从主网络断开时, 限流器在抑制故障电流上升及改善电压跌落的同时, 将动作信号输送至快速储能装置, 使得储能装置切换至下垂控制方式, 以稳定微电网的频率及电压, 实现微电网在并网与孤岛模式之间的平滑过渡, 具体包括以下选择步骤:

选择步骤 1: 当短路故障位置为微电网所连配电系统的下游处时, 此时决定微电网故障穿越或孤岛运行的主导因素应为: 微电网与主系统之间的功率交换量; 就高渗透微电网而言, 从提高可再生能源的利用率出发, 计及在故障情况下其对配电网的电源支持, 并有利于避免电网功率缺额的进一步扩大, 辅助此类微电网实现故障穿越对系统安全可靠运行是有益处的; 故而, 应用限流器及储能装置之目的在于: 提高微电网的故障穿越能力; 安装故障限流器可以帮助限制由微电网引起的故障电流, 并同时补偿公共耦合点处的电压骤降; 当微电网仍然处于联网模式下, 储能系统作用于平抑微电网内的功率波动, 即采用有功 - 无功功率控制方式; 其中, 采用双闭环功率控制器以产生电流信号的参考值, 从而实现有功、无功功率的快速跟踪, 数学方程式可表示为:

$$i_d^* = K_{pv}(V_{ld}^* - v_{ld}) + K_{iv} \int (V_{ld}^* - v_{ld}) dt \quad \text{式二}$$

$$i_q^* = K_{pv}(V_{lq}^* - v_{lq}) + K_{iv} \int (V_{lq}^* - v_{lq}) dt \quad \text{式三}$$

其中, K_{pv} 和 K_{iv} 是电压控制器的比例和积分系数; V_{1d}^* 和 V_{1q}^* 表示直流电源处理装置中直流电压的 d 轴和 q 轴参考信号;

选择步骤 2: 当短路故障发生在公共耦合点处的联络线或微电网所连配电系统的上游处时, 配置在联络线的继电保护装置将于几个工频周期后跳开静态开关, 微电网须从主网中脱离; 限流器在抑制故障电流上升及改善电压跌落的同时, 将动作信号输送至快速储能装置, 使得储能装置切换至下垂控制方式, 以稳定微电网的频率及电压, 实现微电网在并网与孤岛模式之间的平滑过渡;

限流器快速动作后, 短路电流可以被合理抑制, 同时公共耦合点的电压跌落能有效改善, 这对于微电网平稳地过渡到孤网状态具有积极意义; 继而, 静态开关动作使得微电网离网, 储能系统由并网时的有功无功控制切换至下垂控制, 实现稳定微电网的电压和频率; 参考电压 E^* 和公共耦合点的参考频率 ω^* 可由下式获得:

$$\omega^* = \omega_0 - K_\omega P \quad \text{式四}$$

$$E^* = E_0 - K_E Q \quad \text{式五}$$

其中, K_ω 和 K_E 分别为频率控制器及电压控制器的比例系数; P 和 Q 表示快速储能系统的有功和无功功率。

一种基于故障限流－快速储能协调控制的微电网暂态性能 强化装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于电力系统及自动化领域,尤其是涉及一种基于故障限流－快速储能协调控制的微电网暂态性能强化装置及方法,用于提升高渗透微电网应对外部短路故障的鲁棒性,保障其暂态运行的性能。

背景技术

[0002] 在能源需求与环境保护的双重压力下,国内外都将目光投向可再生能源分布式发电(distributed generation, DG)研究领域,构建可持续能源系统成为各国的共识与必然发展趋势。现有研究和实践结果表明将风力发电、太阳能光伏、燃料电池等 DG 连接储能装置及负荷组成微电网形式运行,可充分发挥可再生能源发电的效能与优势,有助于电网灾变时向重要负荷持续稳定供电,对实现中低压层面上分布式发电技术的灵活、稳定和高效应用具有重要意义。

[0003] 事实上,当微电网以高渗透率形式(通常意义上指交换功率的比例超过配电网容量的 10%)接入到主网络时,微电网将对相连配电网的运行特性产生重要影响,特别是在发生短路故障时,高渗透微电网的应对机制及暂态性能将对配电网的运行产生重要影响,如何确保故障情况下高渗透微电网与配电网的安全可靠运行是亟待解决的关键问题之一。

[0004] 当短路故障发生在微电网外部时,微电网究竟应作故障穿越还是孤岛运行,目前学术界和工程实际中均未有明确的处理策略和解决方案。IEEE1547 标准规定了分布式电源应对主网故障时的退出条件,但是分布式电源以微电网的形式并网后,情况出现了较大差异。若任意外部故障时就触动公共耦合点联络线上的开关以隔离微电网,对微电网运行的可靠性和灵活性会带来负面影响,并且在某种意义上也不符合组建微电网的初衷。

[0005] 故障限流器(fault current limiter, FCL)是目前常用于提高电网系统及其电源设备应对故障能力的辅助装置,在包含高渗透微电网的配电网中应用 FCL 时,对故障限流率的要求有别于大电网系统中需将 10 ~ 20 倍的短路电流降低在断路器遮断容量之下。此外,微电网内部通常配置有储能装置,其基本用途包括有:提供短时供电、电力调峰、提升微电源的性能等,并在平抑微电网内部功率波动、提高电能质量水平上有很强的功效。当故障限流技术应用于高渗透微电网后,可进一步联同储能系统进行协调控制。通过融合限流－储能的技术优势,兼顾二者所长以制定相匹配的协同动作策略,有利于更好地提升高渗透微电网与配电网在故障工况下的供电可靠性及运行稳定性。

[0006] 本发明涉及一种基于故障限流－快速储能协调控制的微电网暂态性能强化方法,以期在限制故障电流、减小耦合点电压跌落的同时,也在平抑功率波动和提高电能质量方面起到积极作用。使得微电网在无需孤岛运行时因暂态性能满足技术要求而实现故障穿越;当微电网应转为孤岛运行时,限流－储能的协调有助于降低公共耦合点处静态开关动作时引起的冲击振荡,并实现微电网并网/孤岛运行模式间平稳的暂态过渡。

发明内容

[0007] 本发明针对含有多个分布式发电 (DG) 单元的高渗透微电网系统, 融合利用故障限流器与快速储能装置, 从中提出一种协调控制方法以增强高渗透微电网应对外部短路故障的鲁棒性。

[0008] 本发明采用如下技术方案实现:

[0009] 一种基于故障限流 - 快速储能协调控制的微电网暂态性能强化装置, 其特征在于, 在微电网与主电网的公共耦合点处安装故障限流器和快速储能装置; 其中,

[0010] 所述故障限流器为磁通耦合型超导故障限流器, 由耦合变压器、快速可控开关 S_1 、高温超导电阻及 MOA 氧化锌电阻片组成。耦合变压器的一次线圈 L_1 同快速开关相联且并入 MOA, 二次线圈 L_2 同超导电阻相串联, 继而将一、二次侧绕组线圈呈反向并联接入微电网与主电网的公共耦合点处。在电网正常运行时, 快速开关处于闭合状态, 耦合变压器呈现出无感效应, 且超导电阻表征零电阻效应, 故障限流器对电网运行无影响; 发生短路故障后, 可控开关快速开断, 耦合变压器一、二次线圈解耦, 且超导电阻因通流超过其临界值呈现高阻态, 此时限流器串联接入主回路以抑制故障电流的上升和改善公共耦合点处的电压跌落。

[0011] 所选快速储能为超导磁储能装置, 超导磁储能装置是利用超导材料制成的线圈, 由电网经变流器供电励磁, 在线圈中产生磁场而储存能量, 在需要时可将此能量经逆变器反馈至电网; 如储能线圈一直维持在超导态, 则线圈中所储存的能量可以几乎无损耗地永久储存, 直到需要释放为止; 与其他储能系统相比, 超导磁储能装置具有较高的转换效率 (95%) 和较快的反应速度 (毫秒级); 超导线圈经直流电源装置处理后连至全控变流器, 再接入微电网系统; 直流电源处理装置有两个基本的运行模式, 充磁模式和放磁模式, 分别对应于储能系统的充电状态和放电状态; 在一个开关周期内, 储能系统的平均功率由处理装置中电力电子开关 S_1 和 S_2 的占空比 (D) 的调节来控制; 当 $D > 0.5$ 时, 储能系统将吸收能量, 当 $D < 0.5$ 时, 其将释放出能量; 占空比可以由下式计算:

$$P_{SMES} = u_c \cdot (2D - 1) \cdot i_{SMES} \quad (1)$$

[0013] 一种基于故障限流 - 快速储能协调控制的微电网暂态性能强化方法, 其特征在于: 具体方法是:

[0014] 当电网正常运行时, 故障限流器呈现低阻抗对微电网及所连配电网无影响, 快速储能装置使用有功 - 无功控制策略以平抑微电网内部的功率波动。当微电网遭遇外部短路故障时, 某些故障工况下限流器和快速储能装置的协调控制以提高微电网的故障穿越能力; 对于一些特点位置的故障工况如微配电网之间的公共耦合联络线短路, 微电网必须从主网络断开时, 限流器在抑制故障电流上升及改善电压跌落的同时, 将动作信号输送至快速储能装置, 使得储能装置切换至下垂控制方式, 以稳定微电网的频率及电压, 实现微电网在并网与孤岛模式之间的平滑过渡, 具体包括以下选择步骤:

[0015] 选择步骤 1: 当短路故障位置为微电网所连配电系统的下游处时, 此时决定微电网故障穿越或孤岛运行的主导因素应为: 微电网与主系统之间的功率交换量。就高渗透微电网而言, 从提高可再生能源的利用率出发, 计及在故障情况下其对配电网的电源支持, 并有利于避免电网功率缺额的进一步扩大, 辅助此类微电网实现故障穿越对系统安全可靠运行是有益处的。故而, 应用限流器及储能装置之目的在于: 提高微电网的故障穿越能力。安装故障限流器可以帮助限制由微电网引起的故障电流, 并同时补偿公共耦合点处的电压骤

降。当微电网仍然处于联网模式下,储能系统作用于平抑微电网内的功率波动,即采用有功-无功功率控制方式。其中,采用双闭环功率控制器以产生电流信号的参考值,从而实现有功、无功功率的快速跟踪,数学方程式可表示为:

$$[0016] \quad i_d^* = K_{pv}(V_{ld}^* - v_{ld}) + K_{iv} \int (V_{ld}^* - v_{ld}) dt \quad (2)$$

$$[0017] \quad i_q^* = K_{pv}(V_{lq}^* - v_{lq}) + K_{iv} \int (V_{lq}^* - v_{lq}) dt \quad (3)$$

[0018] 其中, K_{pv} 和 K_{iv} 是电压控制器的比例和积分系数; V_{ld}^* 和 V_{lq}^* 表示直流电源处理装置中直流电压的 d 轴和 q 轴参考信号。

[0019] 选择步骤 2:当短路故障发生在公共耦合点处的联络线或微电网所连配电系统的上游处时,配置在联络线的继电保护装置将于几个工频周期后跳开静态开关,微电网须从主网中脱离。限流器在抑制故障电流上升及改善电压跌落的同时,将动作信号输送至快速储能装置,使得储能装置切换至下垂控制方式,以稳定微电网的频率及电压,实现微电网在并网与孤岛模式之间的平滑过渡。

[0020] 限流器快速动作后,短路电流可以被合理抑制,同时公共耦合点的电压跌落能有效改善,这对于微电网平稳地过渡到孤网状态具有积极意义。继而,静态开关动作使得微电网离网,储能系统由并网时的有功无功控制切换至下垂控制,实现稳定微电网的电压和频率。参考电压 E^* 和公共耦合点的参考频率 ω^* 可由下式获得:

$$[0021] \quad \omega^* = \omega_0 - K_\omega P \quad (4)$$

$$[0022] \quad E^* = E_0 - K_E Q \quad (5)$$

[0023] 其中, K_ω 和 K_E 分别为频率控制器及电压控制器的比例系数; P 和 Q 表示快速储能系统的有功和无功功率。

[0024] 本发明中所涉及的一种基于故障限流-快速储能协调控制的微电网暂态性能强化方法,具备以下优越性:降低公共耦合点联络线上的短路电流,改善公共耦合点的电压跌落,减少微电网内部的功率波动(缺额),抑制其频率振荡的幅度,提升微电网电能质量水平。本发明有助于更清晰地明确不同短路工况下微电网故障隔离的基本原则和实用判据,并提供一种切实可行的技术方案来提高微电网在故障穿越及切换至孤岛运行时的暂态性能,对保障高渗透微电网及其所接入配电网的安全可靠运行具有重要意义。

附图说明

[0025] 附图 1 为本发明实例应用中微电网的结构示意图。

[0026] 附图 2 为本发明实例应用中所选故障限流器的结构示意图。

[0027] 附图 3 为本发明实例应用中所选快速储能装置的结构示意图。

[0028] 附图 4 为本发明实例应用中快速储能装置的控制方框图(并网模式)。

[0029] 附图 5 为本发明实例应用中快速储能装置的控制方框图(孤岛模式)。

[0030] 附图 6 为本发明实例应用中微电网公共耦合点处的电气特性(正常运行工况)。

[0031] 附图 7 为本发明实例应用中微电网公共耦合点处的电气特性(F1 点故障接地)。

[0032] 附图 8 为本发明实例应用中微电网的负载功率特性及快速储能装置的输出功率波形(F1 点故障接地)

[0033] 附图 9 为本发明实例应用中微电网的交换功率和频率波动波形(F1 点故障接地)。

- [0034] 附图 10 为本发明实例应用中微电网的无功功率波形 (F1 点故障接地)。
- [0035] 附图 11 为本发明实例应用中微电网公共耦合点处的电气特性 (F2 点故障接地)。
- [0036] 附图 12 为本发明实例应用中微电网的负载功率特性及快速储能装置的输出功率波形 (F2 点故障接地)。
- [0037] 附图 13 为本发明实例应用中微电网的交换功率和频率波动波形 (F2 点故障接地)。
- [0038] 附图 14 为本发明实例应用中微电网的无功功率波形 (F2 点故障接地)。

具体实施方式

[0039] 图 1 所示,为本发明实例应用中微电网的结构示意图。所选微电网含有光伏发电及风力发电等 DG 单元,各 DG 单元经由逆变器装置连入微电网系统。在关于限流-储能协调控制方法的具体实施上,于此以磁通耦合型超导故障限流器及超导磁储能装置为具体实施对象,详细阐述本发明中所涉及的协调控制方法。

[0040] 图 2 所示,为本发明实例应用中所选故障限流器的结构示意图,该型限流器为磁通耦合型超导故障限流器 (superconducting fault current limiter, SFCL),由耦合变压器、快速可控开关 S_1 、高温超导电阻及 MOA 氧化锌电阻片组成。耦合变压器的一次线圈 L_1 同快速开关相联且并入 MOA,二次线圈 L_2 同超导电阻相串联,继而将一、二次侧绕组线圈呈反向并联接入微电网与主电网的公共耦合点 (point of common coupling, PCC) 处。在电网正常运行时,快速开关处于闭合状态,耦合变压器呈现出无感效应,且超导电阻表征零电阻效应,故障限流器对电网运行无影响;发生短路故障后,可控开关快速开断,耦合变压器一、二次线圈解耦,且超导电阻因通流超过其临界值呈现高阻态,此时限流器串联接入主回路以抑制故障电流的上升和改善公共耦合点处的电压跌落。

[0041] 图 3 所示,为本发明实例应用中所选快速储能装置的结构示意图,所选快速储能为超导磁储能装置 (superconducting magnetic energy storage, SMES)。超导磁储能装置是利用超导材料制成的线圈,由电网经变流器供电励磁,在线圈中产生磁场而储存能量,在需要时可将此能量经逆变器反馈至电网。如储能线圈一直维持在超导态,则线圈中所储存的能量可以几乎无损耗地永久储存,直到需要释放为止。与其他储能系统相比,超导磁储能装置具有较高的转换效率 (95%) 和较快的反应速度 (毫秒级)。本实例应用中的超导线圈经斩波器后连至全控变流器,再接入微电网系统。斩波器有两个基本的运行模式,充磁模式和放磁模式,分别对应于储能系统的充电状态和放电状态。在一个开关周期内,储能系统的平均功率由电力电子开关 S_1 和 S_2 的占空比 (D) 的调节来控制。当 $D > 0.5$ 时,储能系统将吸收能量,当 $D < 0.5$ 时,其将释放出能量。占空比可以由下式计算:

$$P_{SMES} = u_c \cdot (2D-1) \cdot i_{SMES} \quad (1)$$

[0043] 对于储能系统的控制策略,其与微电网的运行状态有直接的联系。当短路故障位置为图中所示 F1 点,此时决定微电网故障穿越或孤岛运行的主导因素应为:微电网与主系统之间的功率交换量。就高渗透微电网而言,从提高可再生能源的利用率出发,计及在故障情况下其对配电网的电源支持,并有利于避免电网功率缺额的进一步扩大,辅助此类微电网实现故障穿越对系统安全可靠运行是有益处的。故而,应用限流器及储能装置之目的在于:提高微电网的故障穿越能力。安装 SFCL 可以帮助限制由微电网引起的故障电流,并同

时补偿公共耦合点处的电压骤降。当微电网仍然处于联网模式下,储能系统作用于平抑微电网内的功率波动,即采用有功-无功功率控制方式,如图 4 所示。其中,采用双闭环功率控制器以产生电流信号的参考值,从而实现有功、无功功率的快速跟踪,数学方程式可表示为:

[0044]
$$i_d^* = K_{pv}(V_{ld}^* - v_{ld}) + K_{iv} \int (V_{ld}^* - v_{ld}) dt \tag{2}$$

[0045]
$$i_q^* = K_{pv}(V_{lq}^* - v_{lq}) + K_{iv} \int (V_{lq}^* - v_{lq}) dt \tag{3}$$

[0046] 其中, K_{pv} 和 K_{iv} 是电压控制器的比例和积分系数; V_{ld}^* 和 V_{lq}^* 表示斩波器中直流电容电压的 d 轴和 q 轴参考信号。

[0047] 当短路故障发生在 F2 点时,配置在公共耦合点联络线的继电保护装置将于几个工频周期后跳开静态开关,微电网须从主网中脱离。限流器在抑制故障电流上升及改善电压跌落的同时,将动作信号输送至快速储能装置,使得储能装置切换至下垂控制方式,以稳定微电网的频率及电压,实现微电网在并网与孤岛模式之间的平滑过渡。此工况下储能系统的控制框图如图 5 所示。

[0048] 限流器快速动作后,短路电流可以被合理抑制,同时公共耦合点的电压跌落能有效改善,这对于微电网平稳地过渡到孤网状态具有积极意义。继而,静态开关动作使得微电网离网,储能系统由并网时的有功无功控制切换至下垂控制,实现稳定微电网的电压和频率。参考电压 E^* 和公共耦合点的参考频率 ω^* 可由下式获得:

[0049]
$$\omega^* = \omega_0 - K_\omega P \tag{4}$$

[0050]
$$E^* = E_0 - K_E Q \tag{5}$$

[0051] 其中, K_ω 和 K_E 分别为频率控制器及电压控制器的比例系数; P 和 Q 表示快速储能系统的有功和无功功率。

[0052] 为验证本发明所提协调控制方法的具体性能,参照图 1 所示建立了详细电磁暂态仿真模型,其仿真参数如下表所示。

[0053] 附表 发明具体实施中的系统仿真参数

[0054]

超导故障限流器 (SFCL)	
一次线圈/二次线圈/互感	10 mH/10 mH/ 9.98 mH
超导电阻 R_{sc}	10 Ω
主电网	
等效电网	10.5kV/50Hz
传输线	0.27+j0.347 Ω /km, L_1 =10km, L_2 =15km, L_3 =20km
10kV 微电网	
光伏发电/风力发电	100 kW/260 kW
超导磁储能(SMES)	6 H/400A
负荷 1/ 负荷 2/ 负荷 3	(120+j20)kVA/(300+j30)kVA (100+j15)kVA

[0055]

[0056] 图 6 所示,为 DG 单元在电网正常运行时的功率特性。此时限流器对电网运行无影响,快速储能系统用以平抑由风电场和光伏发电引起的功率波动,分布式单元的整体有功功率将被控制为 250 千瓦 ($P_{PV}+P_{wind}+P_{SMES}=250kW$)。即为,微电网内部的负荷缺额 270kW 将由主电网提供。

[0057] 假定三相接地故障发生在 F1 点,持续时间为 200ms。在该短路故障被继电保护装置清除之前,公共耦合点处的电压骤降将直接影响到主网和微电网之间的功率交换。事实上,故障后二者之间的功率交互将反向,微电网将给主网输送能量。鉴于微电网在并网模式下依然保持有功、无功功率控制(做故障穿越考虑),仿真分析中仅考虑了是否加装限流器的情况,图 7-10 给出了微电网运行特性的详细波形。从仿真结果来看,引入故障限流器有助于降低由微电网处流入的故障电流,改善公共耦合点的电压跌落和平抑微电网的频率/无功功率波动,对于提高微电网的故障穿越能力将带来正面效应。现对详细运行数据做简要说明:应用限流器可将故障电流从 95A 限制到 68A,限流率为 28.4%;故障状态下公共耦合点电压可从 1.8KV 提升至 5.0kV;微电网频率的波动幅度能够被抑制在 0.21Hz 以内。

[0058] 当三相接地故障发生在 F2 点,公共耦合点的静态开关将在故障后 140ms 跳开,导致微电网离网,继而在 0.5 秒后,重合闸操作使得微电网重新并网运行。在此故障工况下,共计仿真模拟了三种运行场景,分别对应于:1) 未安装故障限流器;2) 安装故障限流器但不考虑其与储能装置的协调作用;3) 引入本发明所提出的限流-储能协调控制方法。另外,在微电网转为孤岛运行时,为进一步保障其电能质量,甩负荷操作亦被适当地考虑(针对负载 1 和负载 3)。

[0059] 图示 11-14 给出了微电网在 F2 点故障接地时的运行特性。从中可得出结论:通过对故障限流器及储能系统进行协调控制,其在抑制故障电流、改善电压跌落、稳定系统频率和减轻功率波动等四个方面,将起到更有效更全面的作用。以系统频率稳定性的增强为例,协调控制可以使频率波动幅度限制在 0.28Hz 以内。结合故障电流的有效限制和公共耦合点电压凹陷的改善,微电网系统可以顺利平稳地过渡到孤岛模式。

[0060] 本文中所描述的具体实施例仅仅是对本发明精神作举例说明。本发明所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实施例做各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代,但并不会偏离本发明的精神或者超越所附权利要求书所定义的范围。

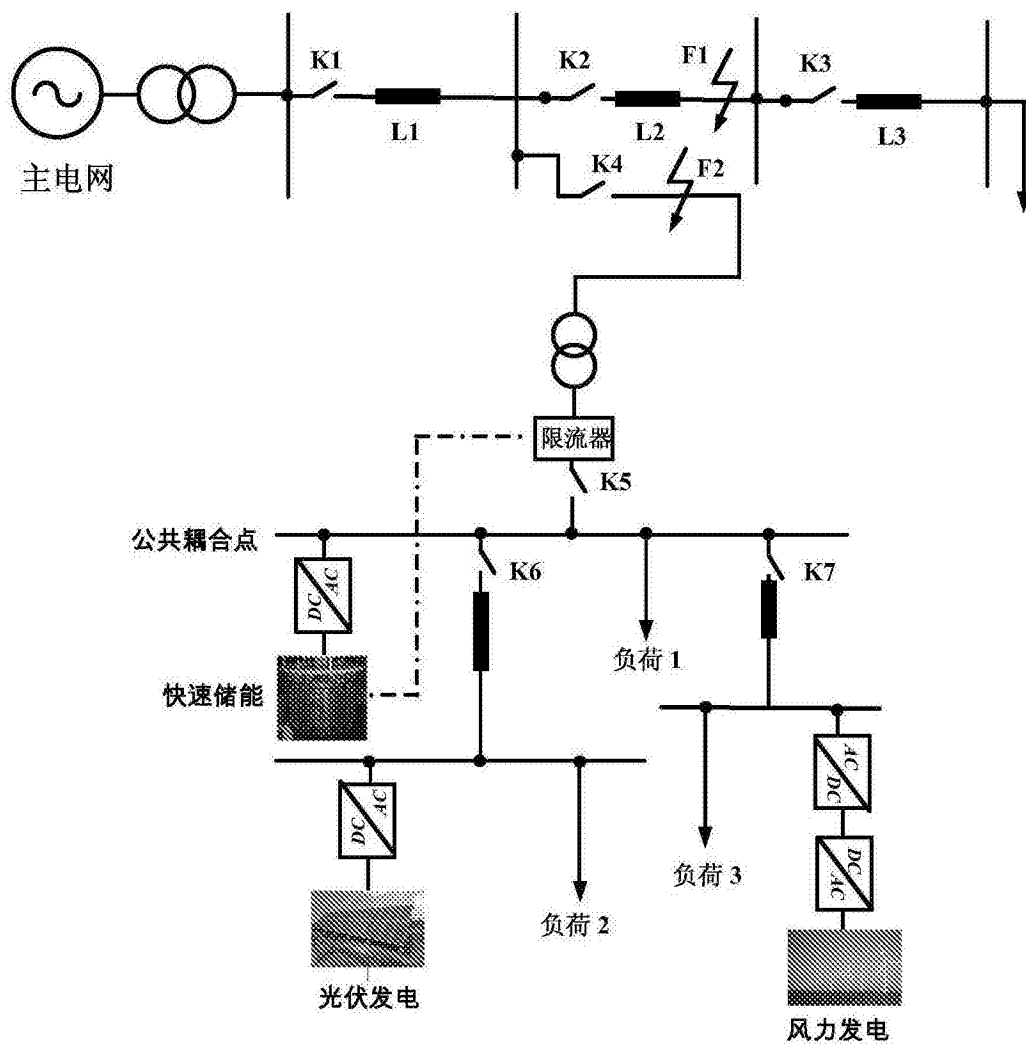


图 1

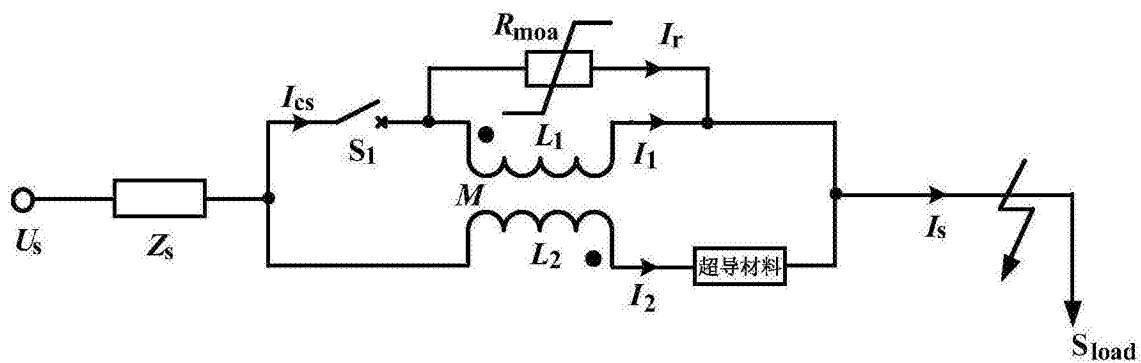


图 2

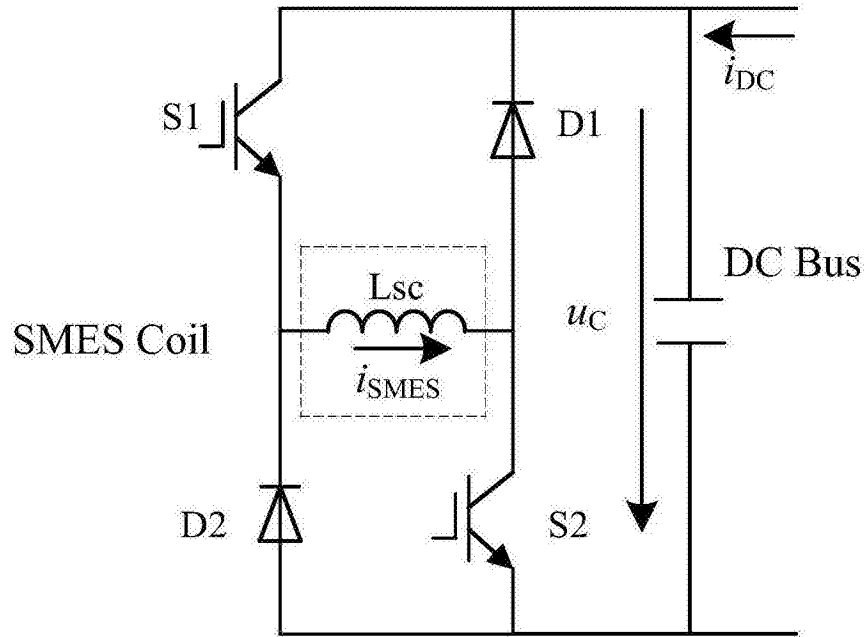


图 3

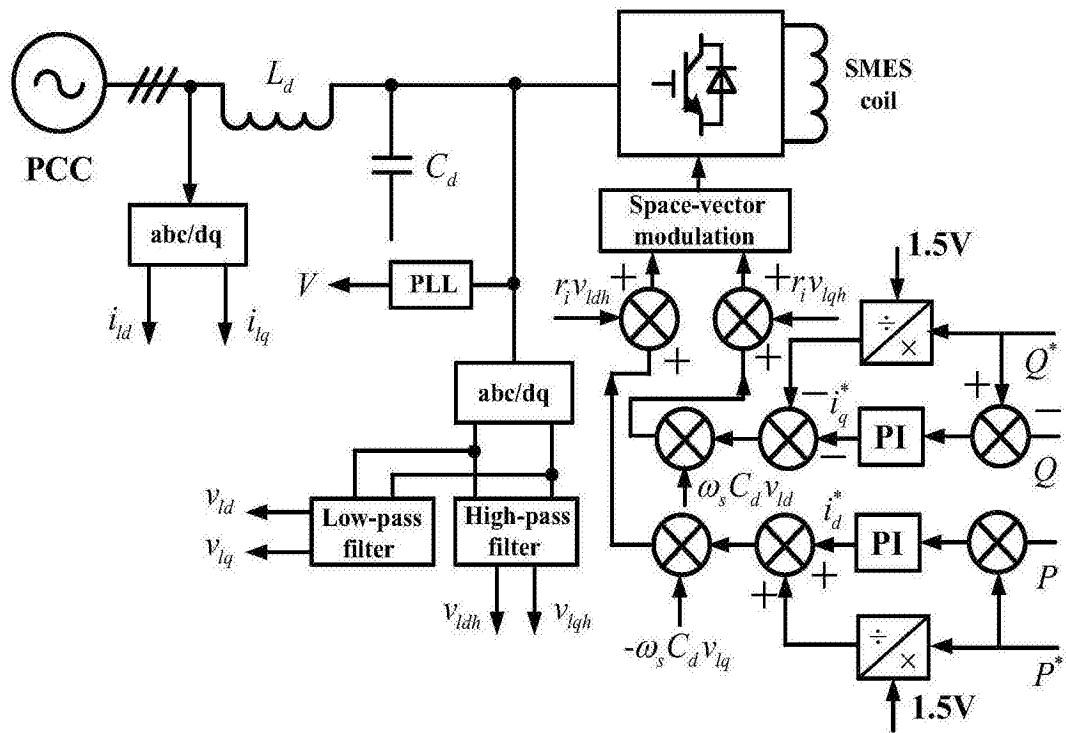


图 4

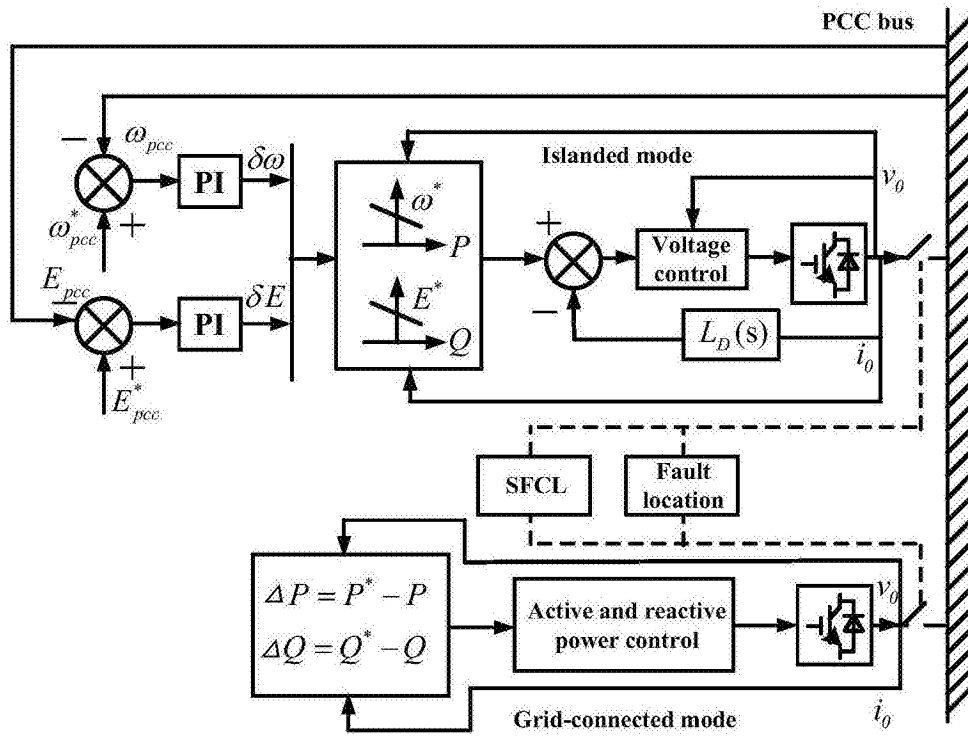


图 5

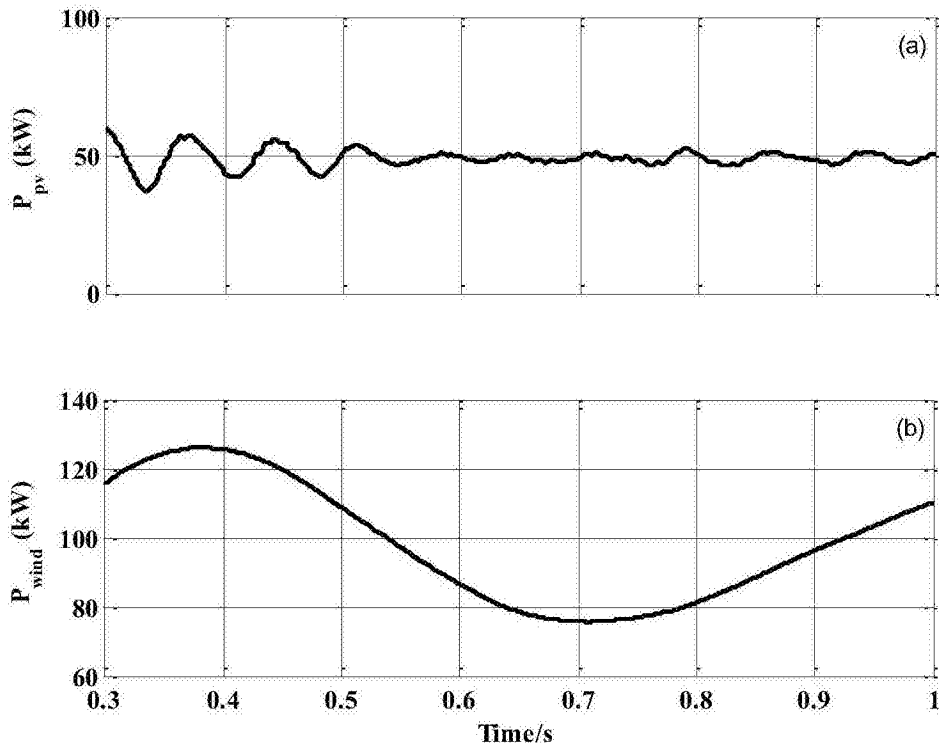


图 6

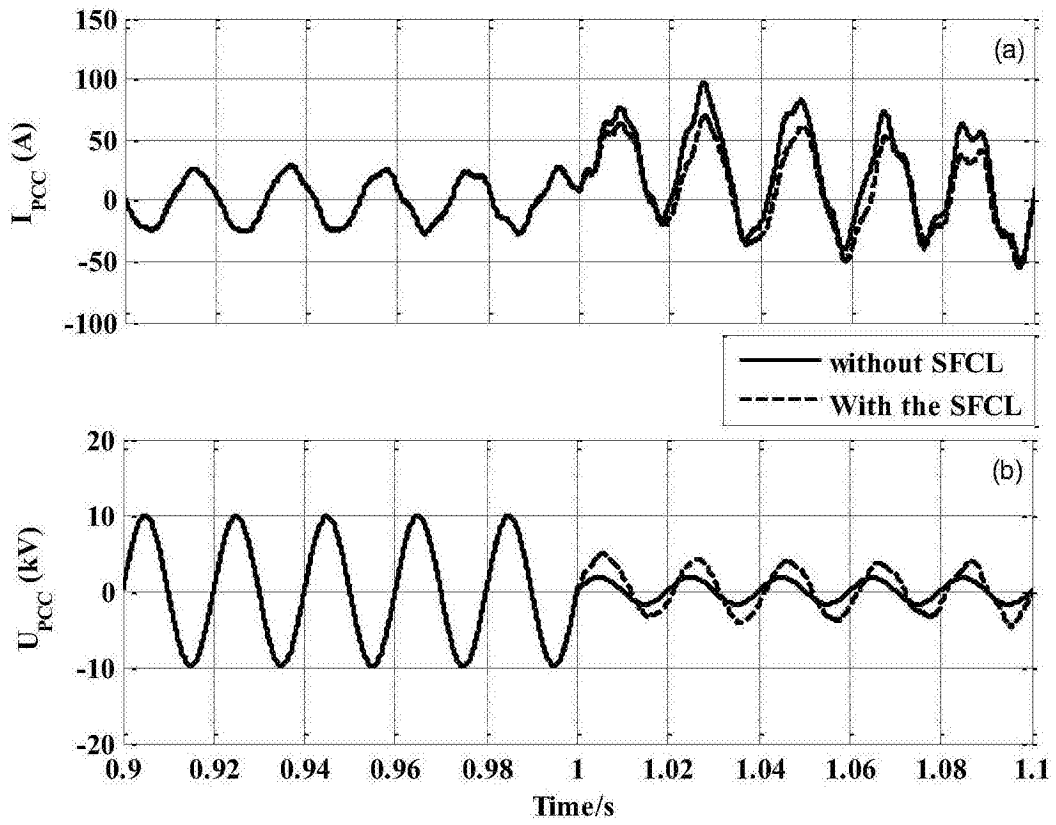


图 7

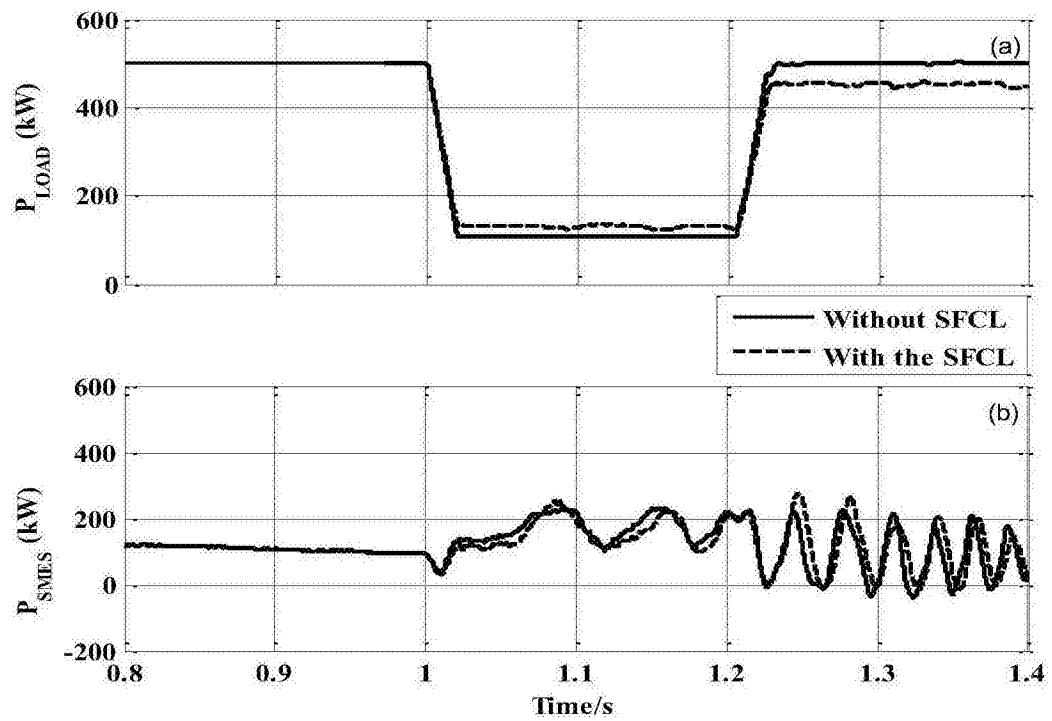


图 8

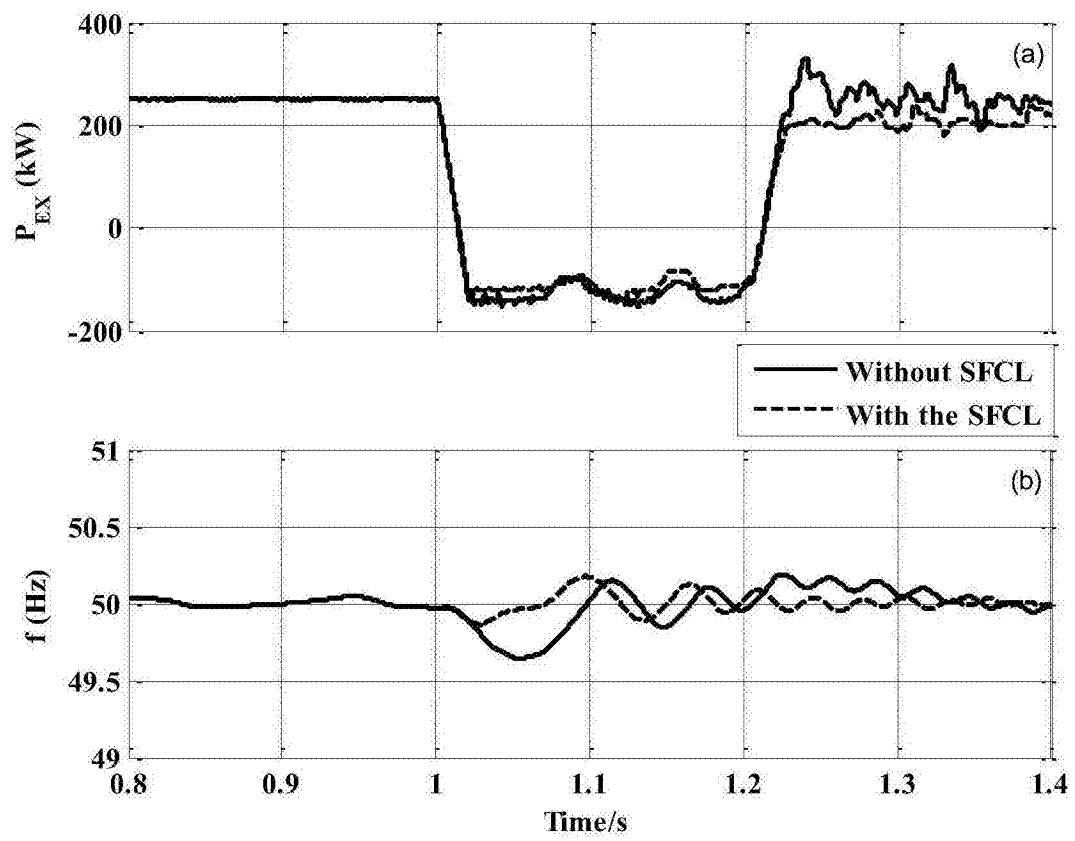


图 9

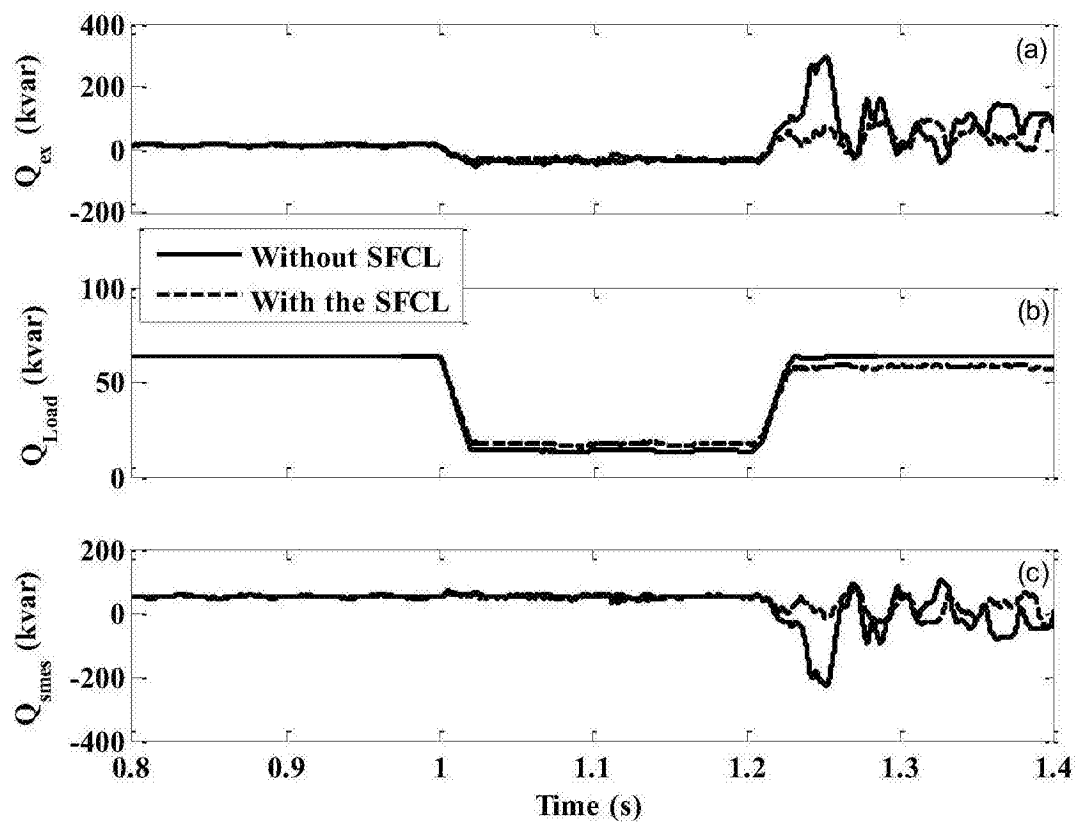


图 10

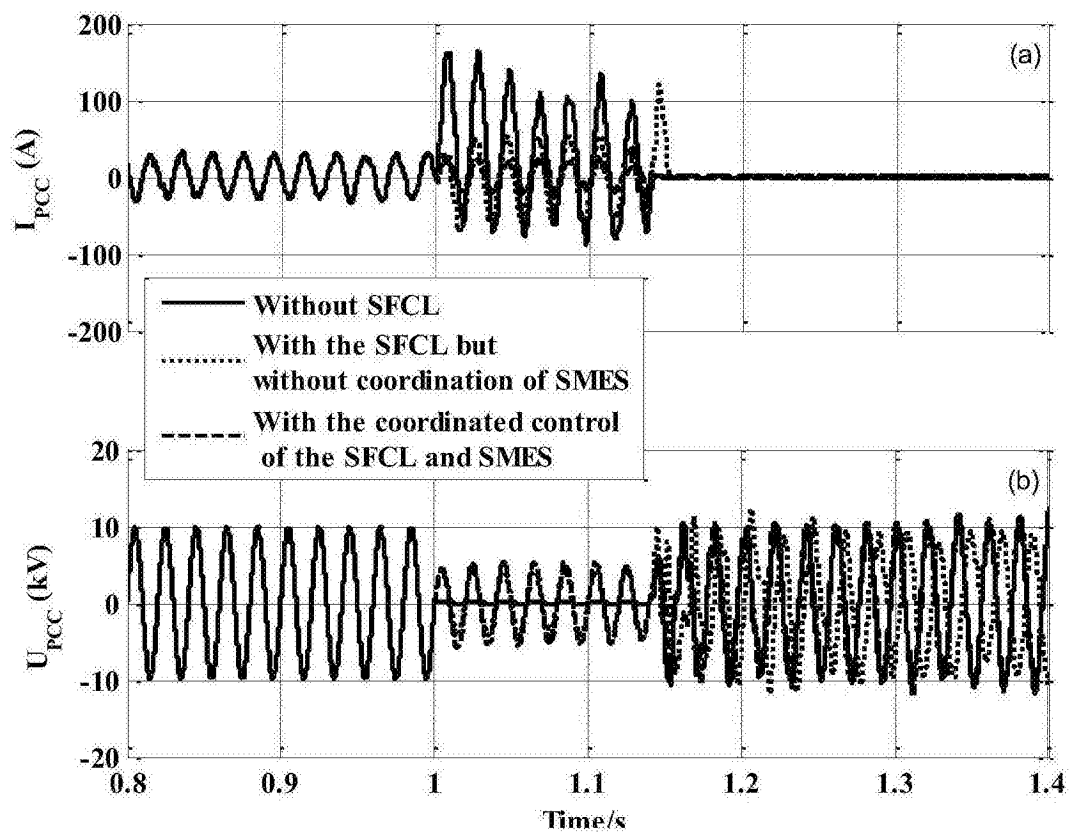


图 11

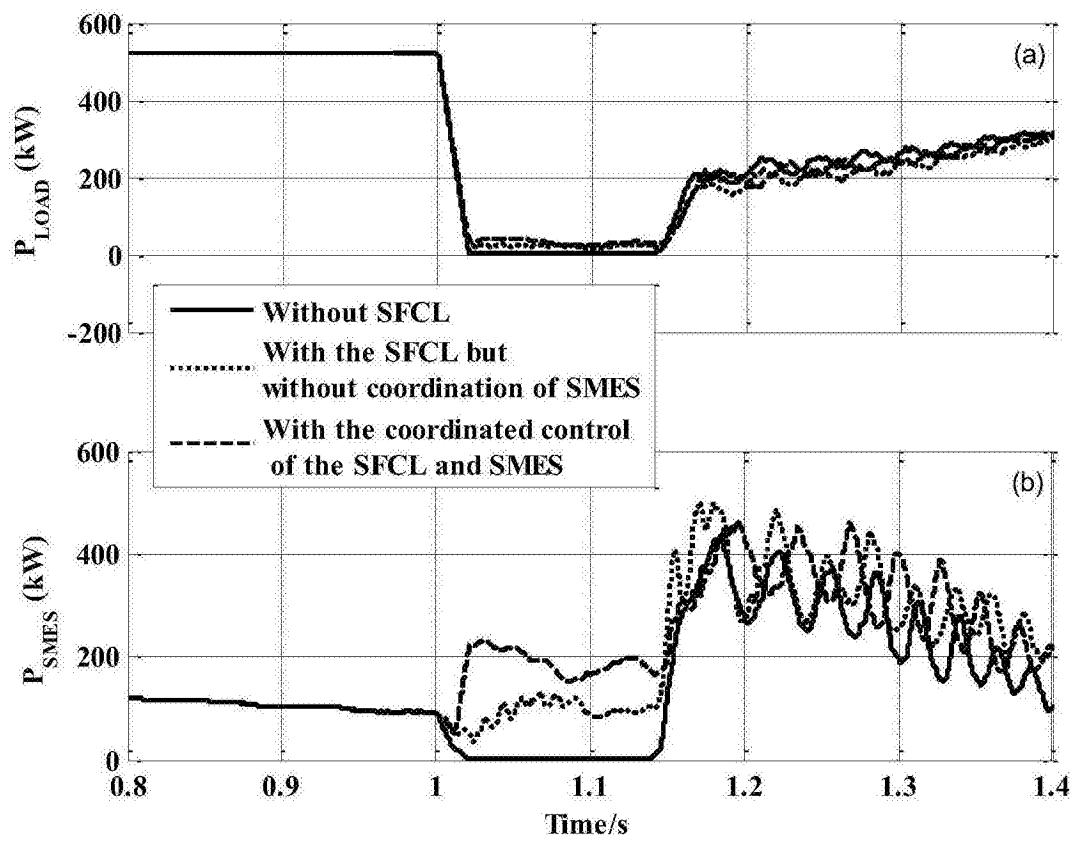


图 12

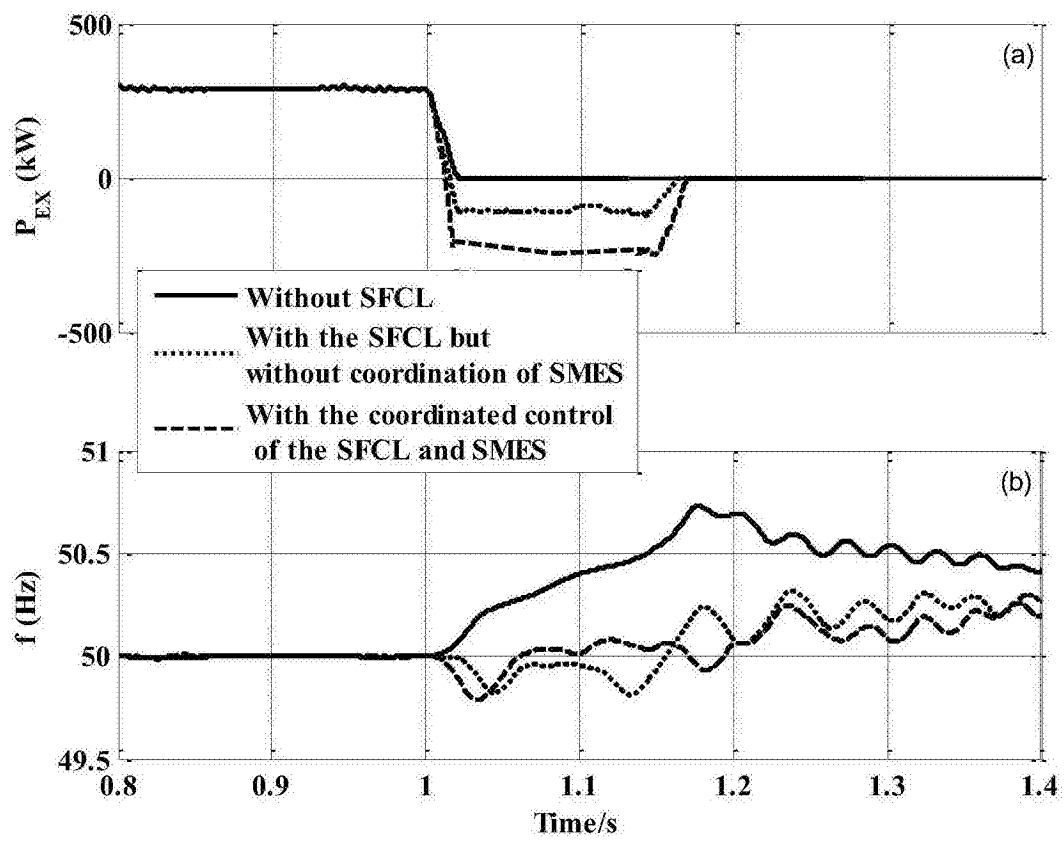


图 13

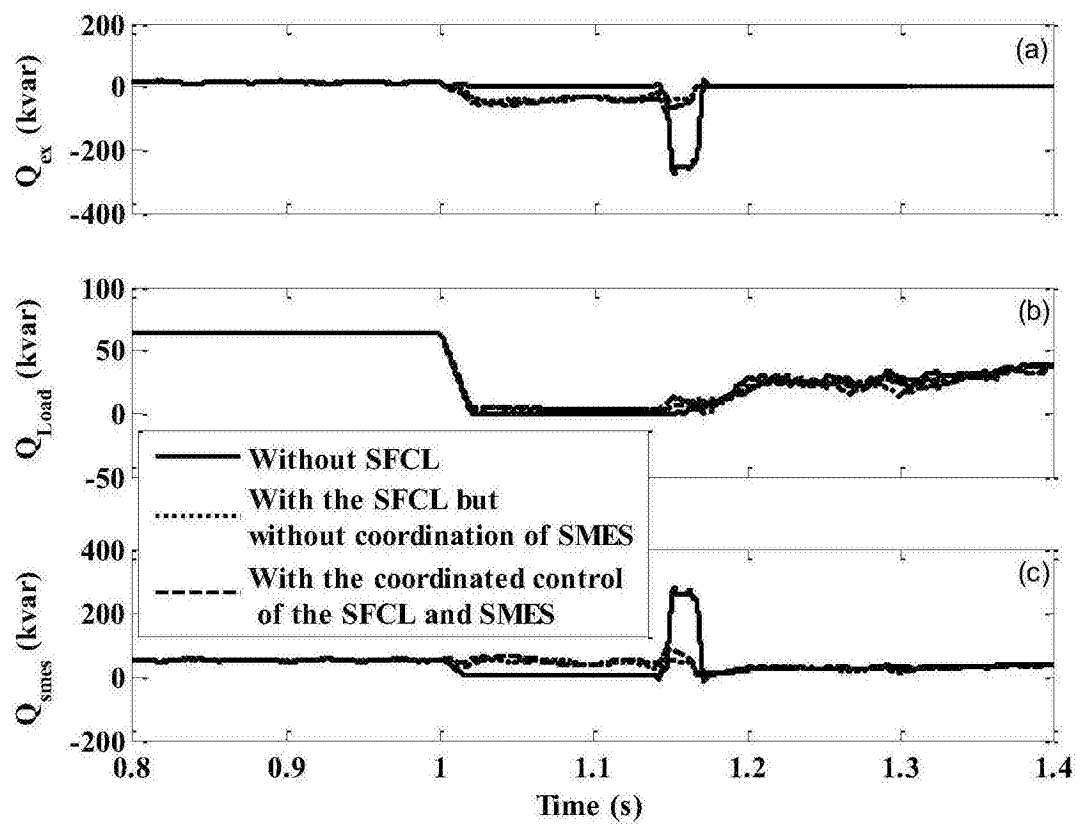


图 14