

基于柔性环网控制装置的 10 kV 配电网运行方式

尹璐¹, 易姝娴², 张凯¹, 赵争鸣², 袁立强²

(1. 北京电力经济技术研究院有限公司, 北京 100055;

2. 清华大学电机系电力系统及发电设备控制和仿真国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 以 4 端口柔性环网控制装置为例, 系统地分析了柔性环网控制装置在 10 kV 交流配电网中的组网方式和运行控制策略, 并进行了系统仿真。在仿真过程中, 为了解决复杂电力电子装置在电力系统大时间尺度仿真时速度较慢的问题, 采用了一种柔性环网控制装置的简化模型。研究和仿真结果表明, 柔性环网控制装置的应用有助于提高配电网的性能, 如能够实现交流配电线路的闭环运行、对潮流的优化控制、系统故障时不停电负荷转移、对负荷的就地无功补偿和降低系统备用容量。

关键词: 配电网; 柔性环网控制装置; 运行方式; 简化模型; 不停电负荷转移; 无功补偿

中图分类号: TM 727

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2018.01.020

0 引言

随着多种分布式电源的大量接入、用户与配电网双向互动的增多以及电力电子装置的广泛应用, 常规的交流配电网结构已经无法满足配电网供电形式多样、能量双向流动、潮流主动调控和可靠性的要求。为此, 美国北卡罗来纳州州立大学 FREEDM 中心效仿网络技术的核心路由器, 提出了能源路由器的概念, 给出了以能源路由器为核心的配电系统结构^[1]。我国有学者提出了电能路由器的概念, 其是一种集成融合了信息技术与电力电子变换技术, 能够实现分布式能量高效利用和传输的电力装备。根据功率等级及在网络的位置可以将其分为主干电能路由器、区域电能路由器以及家庭电能路由器 3 级^[2-3]。这些电能路由器的概念和具体装置的应用有助于提高配电网在各方面的性能。

我国中压配电网(电压等级为 10 kV)中, 目前典型的接线形式主要包括辐射形结构和环形结构 2 类。辐射形结构主要包括多分段适度联络、单射式、双射式和对射式结构; 环形结构主要包括单环式和双环式结构^[4]。目前, 大部分农村地区的中压配电网网络结构以辐射形结构为主, 各条馈线独立运行。而在可靠性要求较高的城市地区, 中压配电网通常采用环形网络结构, 但仍以开环运行为主。这是由于环网结构中, 2 个方向的电源通常来自不同的供电分区, 其电压幅值、相位均可能存在偏差, 当电压偏差较大时, 如果强制合环会导致环流过大, 引起线路过流保护动作^[5-6]。现有的环网结构不具备潮流调

节、负荷均衡和连续负荷转移的能力, 当电网发生故障时, 通常需要停电隔离故障后再转移负荷, 不能满足供电可靠性要求高的负荷无闪动供电的需求^[7]。另外, 由于实际运行的困难, 10 kV 馈线通常采用单联络的接线方式, 会导致线路和主变的冗余度较高。

针对上述这些问题, 可以尝试将电能路由器引入现有配电网, 以提供一种可行的解决思路。为此, 本文采用一类主干电能路由器, 即柔性环网控制装置 (FLNC), 将多条馈线组成闭环网络运行^[8-9], 从而可以实现多条馈线间的灵活潮流控制, 达到均衡负载、优化电网供电能力、提供动态无功支持、提高配电网可靠性和设备利用率的效果。并且, 当设备过载和故障检修时, 能够安全地实现不停电负荷转移。

1 基于柔性环网控制装置的 10 kV 配电网组网方式

4 端口柔性环网控制装置接入 10 kV 配电网的网络结构示意图如图 1 所示, 其中柔性环网控制装置结构示意图如图 2 所示^[10]。

当不采用柔性环网控制装置时, 系统可看作常规 10 kV 配电线路, 通常采用单环网或双环网接线、开环运行的方式。在图 1 中配电线路 A 和线路 B 构成单环网, 正常运行时是开环运行。这种运行方式一般不具备潮流调节、负荷均衡和连续负荷转移的能力。当出现故障时, 可利用分段开关隔离故障, 并通过联络开关实现负荷转移。因此, 为保证 $N-1$ 的安全裕度, 正常运行方式下, 图 1 中线路最大负载率为 50%, 主变最大负载率为 65%。

而当采用柔性环网控制装置时, 可以在正常工作情况下实现多条不同配电线路之间闭环运行, 在故障情况下实现负荷的快速转移, 提高设备利用率和供电可靠性^[11-12]。图 1 中线路最大负载率可上升

收稿日期: 2016-12-02; 修回日期: 2017-09-27

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 资助项目 (2015-AA050102)

Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (2015AA050102)

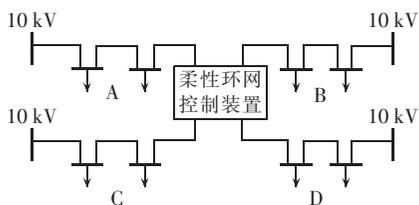


图 1 基于柔性环网控制装置的 10 kV 配电网结构示意图
Fig.1 Schematic diagram of 10 kV distribution network based on FLNC

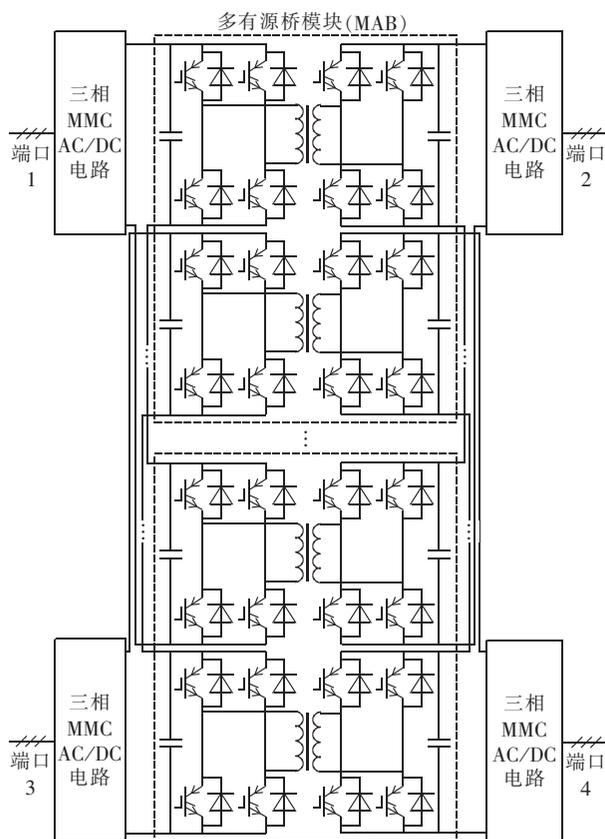


图 2 柔性环网控制装置结构示意图
Fig.2 Schematic diagram of FLNC

至 75%，主变最大负载率可上升至 97.5%。可以看到，设备利用率得到了显著提升。

另外，在配电网中，除线路和主变的最大负载率之外，无功补偿能力也越来越受到关注。一般地，无功补偿装置的容量占变电站容量的 10%~30%^[13]。而在图 1 所示的柔性环网控制装置中，其通常可以提供系统容量 10%~20% 的无功补偿能力，因此能节约 50% 左右的无功补偿设备。

需要说明的是，本文给出的只是柔性环网控制装置的一种探索方案，这类方案最大的特点是依赖电力电子技术、可控性好，但目前还存在效率不够高、系统复杂等劣势。

2 柔性环网控制装置控制策略

柔性环网控制装置性能的发挥很大程度上依赖于装置的控制策略，在图 1 所示的柔性环网控制装置

组网方式下，主要包含并网和离网 2 类控制策略。

并网运行时，各个端口对外等效为电流源，均采用如图 3 所示的基于 dq 旋转坐标系下的解耦控制，选择其中 1 个端口为母线电压控制端口，采用 QU 控制稳定直流母线电压；其余端口采用 PQ 控制，根据调度指令或设计的运行策略调节柔性环网控制装置输入的有功和无功功率。离网运行时，离网端口对外等效为电压源，采用如图 4 所示的电压闭环控制策略，该策略可以实现离网时的负荷不间断供电。

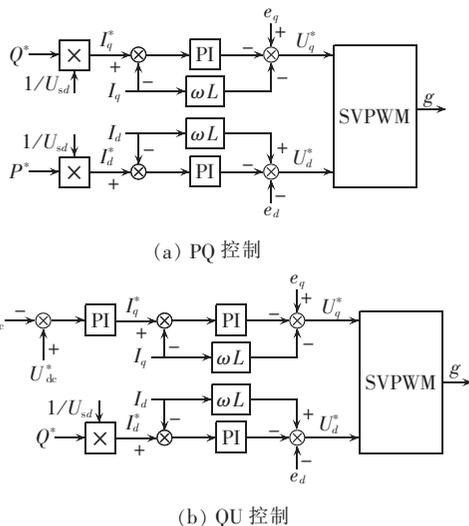


图 3 柔性环网控制装置并网运行时端口控制策略
Fig.3 Port control strategy of FLNC in grid-connected mode

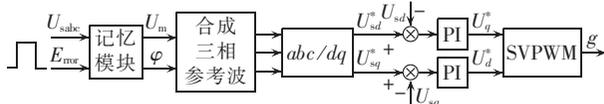


图 4 柔性环网控制装置离网运行时端口控制策略
Fig.4 Port control strategy of FLNC in off-grid mode

图 4 中负荷不间断供电控制方法的原理如下。 U_{subc} 为与负荷相连的电网三相交流电压，当系统无故障时，令 $E_{mor}=0$ ，记忆模块存储并输出该电压 a 相的幅值和相角；当检测到电网侧电源故障后，令 $E_{mor}=1$ ，其上升沿触发记忆模块，使记忆模块输出故障前存储的 a 相电压幅值和相角。从而以此为初始值生成变换器的电压参考波形，实现故障瞬间变换器电流源-电压源模式的平滑切换。获得电压参考波形后，在 dq 旋转坐标系下进行电压闭环控制，得到三相 PWM 信号。当检测到电网侧故障消除、电压恢复时，令 $E_{mor}=0$ ，其下降沿触发记忆模块，使其重新开始读取电网三相交流电压值，并调整其输出的 a 相电压幅值 U_m 和相角 φ ，以此调整合成的负荷三相电压参考值，使得柔性环网控制装置对应端口处的变换器调整其输出。当负荷侧的三相电压与电网侧三相交流电压幅值和相角十分接近时，闭合线路开关，使变

换器实现平滑并网。

3 柔性环网控制装置拓扑结构及简化仿真模型

3.1 柔性环网控制装置拓扑结构

柔性环网控制装置这类电能路由器装置根据功能要求一般会由多级结构构成,如整流级、隔离变换级和逆变级等。受功率半导体器件功率等级和处理能力的限制,一般会采用模块级联和多电平技术,如 H 桥级联、三电平和模块化多电平换流器(MMC)技术等。

柔性环网控制装置的整流级和逆变级一般可采用两电平、三电平及多电平结构。两电平结构由于受单个开关器件耐压的限制,故通常采用串联的形式构成三相桥式结构^[14]。二极管箝位式三电平结构通过箝位二极管的作用,将单个开关器件所承受的电压限制在一个电容电压之内^[15]。但以上 2 种结构存在开关频率高、开关损耗大以及单个开关器件成本较高的问题。目前多电平结构中 H 桥级联和 MMC 结构应用较为广泛。H 桥级联结构是采用将多个单相 H 桥变换器的输出端串联的方式实现高压变换。该拓扑可有效降低单个器件所承受的电压,而且可实现模块化结构,可拓展性强^[15]。MMC 结构是通过串联结构相同的多个半桥子模块,便于柔性环网控制装置在不同电压等级下的拓展。多电平结构由于具有开关频率低、谐波少、开关损耗小、模块化结构便于拓展等特性,近些年来得到了广泛关注,但也存在控制复杂、稳定性较低等问题。

另外,若柔性环网控制装置需要实现不同端口之间的电气隔离,则可以采用含高频变压器的多重有源桥式电路结构作为隔离级^[16],或在电网与整流级/逆变级之间采用工频变压器进行电气隔离。若无电气隔离需求,则可将整流级/逆变级直流端的直流母线直接相连。

将上述电力电子装置接入配电网进行系统仿真,仿真时会出现速度较慢、仿真不收敛的问题。主要表现为:

a. 装置拓扑复杂,功率半导体器件数目众多,且这些器件工作在开关模式,其开关行为一般在微秒级,所以一般情况下电力电子装置的仿真步长都很小;

b. 配电网中功率变化的暂态行为因受到配电网电路时间常数的影响,一般暂态过程在毫秒级至秒级。

综上,将常规电力电子装置直接接入配电网系统中,仿真时将无法兼顾 2 个时间尺度相差较大的行为,会造成仿真时间长、收敛性差的问题。

3.2 简化仿真模型

本文侧重分析的是装置与配电网之间的互动,

研究系统控制策略时,关注的是外部端口的行为特性,可以不将装置内部的细节作为重点,故对柔性环网控制装置的仿真模型进行简化。

由于简化的目的是在保持柔性环网控制装置的稳态功能和外特性不变的条件下,提高柔性环网控制装置在配电网中应用的仿真效率。因此,一个简单直观的思路就是将交流端口等效为三相两电平变换器,而将隔离级简化为通过电容稳压的直流母线,使得简化前后柔性环网控制装置的稳态控制性能不发生改变。简化后的等效模型如图 5 所示。简化模型的参数设计原则为:保持与原复杂模型的容量、开关频率、交流侧电压有效值等参数相同或者等效相同,使得稳态运行时原复杂模型端口输出电流总谐波畸变率(THD)与简化模型相等^[17-18]。

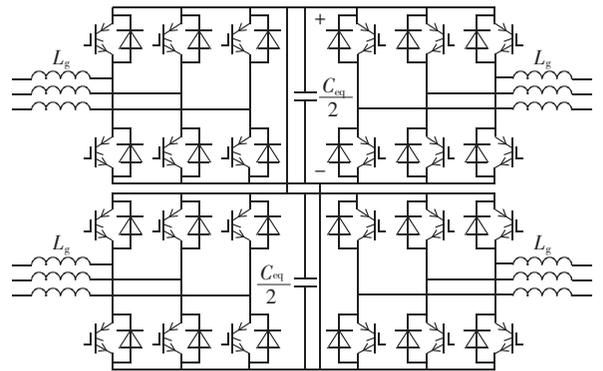


图 5 柔性环网控制装置简化模型

Fig.5 Simplified model of FLNC

4 仿真分析

4.1 仿真模型搭建

根据上文提出的简化模型,在 MATLAB/Simulink 仿真软件中搭建基于柔性环网控制装置的配电网系统仿真模型如图 6 所示。将上级电源等效为三相理想电压源串联内阻的形式,并满足电源输出端短路容量的要求。交流电源通过配电线路与负荷相连,为负荷提供电能,柔性环网控制装置连接于线路末端,为负荷提供有功和无功功率支撑。图中, S_1 — S_4 为三相理想交流电源,根据实际运行经验,电压幅值取值为 10 ± 0.5 kV,相角相差在 $\pm 90^\circ$ 以内; L_1 — L_4 为系统电感,为满足变电站 10 kV 母线短路电流小于 20 kA,故取值为 1.67 mH; Z_{11} 、 Z_{21} 、 Z_{31} 、 Z_{41} 为连接负

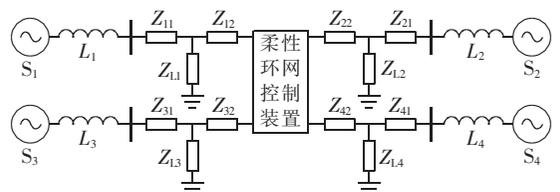


图 6 基于柔性环网控制装置的配电网组网方式

Fig.6 Connection mode of distribution network based on FLNC

荷与电源的线路的阻抗,按 $0.1 \Omega/\text{km}$ 选取,一般线路长度为 $1 \sim 5 \text{ km}$; Z_{12} 、 Z_{22} 、 Z_{32} 、 Z_{42} 为连接负荷与柔性环网控制装置的线路的阻抗,按 $0.1 \Omega/\text{km}$ 选取,一般线路长度为 $1 \sim 5 \text{ km}$; Z_{11} — Z_{14} 为用户负荷,根据实际运行经验,一般满足有功和无功的比例为 $3:1 \sim 5:1$,恒阻抗和恒功率的比例为 $1:1$ 。柔性环网控制装置的 4 个端口采用主从控制,即在柔性环网控制装置的稳态并网运行中,端口 1—3 侧的变换器均采用 PQ 控制,控制端口输出的有功和无功功率,而端口 4 侧的变换器采用 QU 控制,除了控制端口输出的无功功率之外,还需要维持直流母线电压的稳定。

本文柔性环网控制装置简化模型参数如下:交流侧线电压有效值 U_{ac} 为 10 kV ,直流母线电压 U_{dc} 为 20 kV ,单端口变换器容量 S 为 $10 \text{ MV}\cdot\text{A}$,网侧滤波电感 L_g 为 14 mH ,直流侧稳压电容 C_{eq} 为 3.9 mF ,开关频率 f_s 为 5 kHz 。系统仿真参数如下:端口 1—4 交流电源电压有效值 U_{ac1} — U_{ac4} 分别为 10.5 、 10 、 10.5 、 9.8 kV ,端口 1—4 交流电源相角 θ_1 — θ_4 分别为 0° 、 30° 、 -30° 、 10° ,系统电感 L_1 — L_4 为 1.67 mH ,连接负荷和电源的线路阻抗 Z_{11} 、 Z_{21} 、 Z_{31} 、 Z_{41} 为 0.25Ω ,连接负荷和柔性环网控制装置线路阻抗 Z_{12} 、 Z_{22} 、 Z_{32} 、 Z_{42} 为 0.25Ω ,恒功率负荷的有功 P_{Load} 、无功 Q_{Load} 分别为 4.85 MW 、 1.22 Mvar ,恒阻抗负荷的电阻 R_{Load} 、电感 L_{Load} 分别为 20.62Ω 、 0.261 H ,负荷与交流电网之间的阻尼电阻 R_{damp}^* 为 0.01Ω 。

4.2 不停电负荷转移

电网正常运行时,柔性环网控制装置与 4 条馈线的末端相连接,实现 4 个端口有功、无功潮流的控制。0.3 s 时,端口 1 电源因发生故障被切除,柔性环网控制装置的端口 1 自动切换至电压源模式运行,实现并网模式到离网模式的平滑切换,其所需的有功功率由另外 3 个端口平均分摊提供。0.6 s 时,端口 1 侧下达并网指令,柔性环网控制装置开始检测电源端口侧的电压相角和幅值,并据此调节输出的电压相角和幅值,然后在 0.7 s 时刻实现并网和控制策略的转换,端口 1 所连接负荷的有功功率由电源 S_1 提供。各电气量的仿真波形如图 7 所示。

仿真过程中,端口 1 所带负荷的相电压波形如图 7(a)所示。可以看出,由于在故障前柔性环网控制装置对负荷电压的幅值和相角进行了存储,所以当柔性环网控制装置切换成电压源模式运行时,能够使负荷电压的幅值和相角基本保持一致,在不停电的条件下实现了负荷的平滑转移。柔性环网控制装置 4 个端口分别输入的有功功率如图 7(b)所示。可以看出,离网后端口 1 输出的有功功率为 9.71 MW ,其所带负荷的有功功率由另外 3 条馈线均摊,从而提高了电网设备的利用效率。

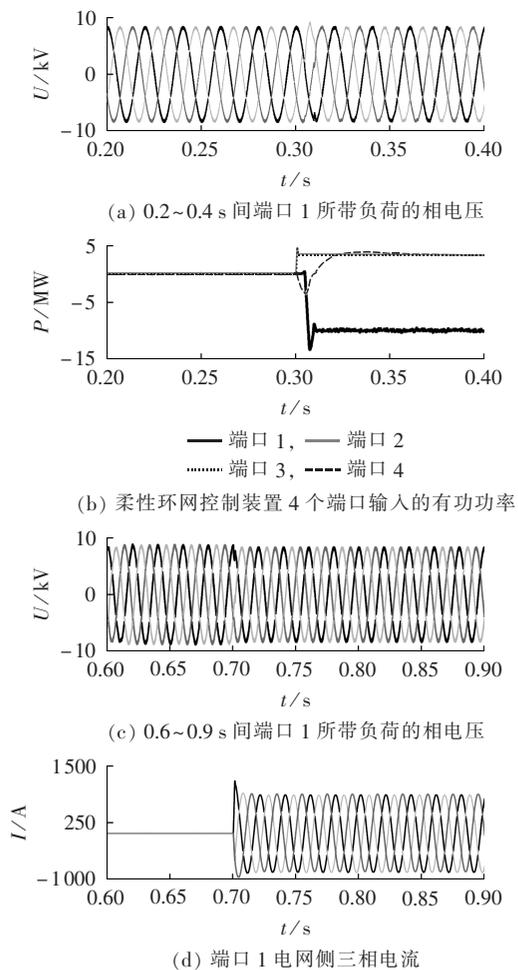


图 7 仿真波形

Fig.7 Simulative waveforms

0.6 s 时,端口 1 侧下达并网指令,柔性环网控制装置开始检测电源端口侧的电压相角和幅值,并据此调节输出的电压相角和幅值,使得端口 1 负荷电压与电网电压基本保持一致。然后在 0.7 s 时刻并网,实现平滑切换。从图 7(c)可以看出,由于下达并网指令后负荷电压开始跟踪电网电压,故电压幅值有轻微的提升,相角没有太大变化。0.7 s 时,端口 1 的负荷重新接入电网,由于柔性环网控制装置对端口电压的调节作用,并网前后负荷电压并无明显变化。从图 7(d)可以看出,由于并网前已调节了端口电压与电网电压保持一致,故并网后冲击电流较小,最大幅值仅超过并网正常运行值的 18.5% 。

4.3 无功补偿

电网正常运行时,柔性环网控制装置与 4 条馈线相连,但并不对电网进行无功补偿,即各个端口无功功率输出均为 0。0.2 s 时,端口 1 调整无功功率指令值为 -2 Mvar ,预计向电网和负荷侧发出 2 Mvar 的感性无功功率。各电气量的仿真波形如图 8—10 所示。

从图 8 可以看出,0.2 s 时,柔性环网控制装置的

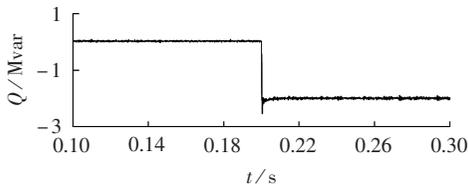


图 8 端口 1 输入的无功功率

Fig.8 Input reactive power in port 1

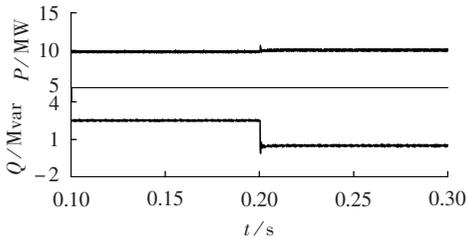


图 9 端口 1 电网侧有功、无功功率

Fig.9 Grid-side active and reactive power in port 1

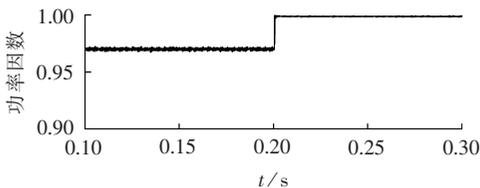


图 10 端口 1 电网侧功率因数

Fig.10 Grid-side power factor in port 1

无功输出(从电网流向柔性环网控制装置的感性无功功率为正方向),由原来的 0 变为 2 Mvar,为端口 1 处的负荷提供了无功补偿。而由图 9 和图 10 可以看出,由于柔性环网控制装置对端口 1 负荷进行了无功补偿,使得端口 1 电源侧的功率因数由原来的 0.97 提高到 1。

5 结论

本文对柔性环网控制装置在 10 kV 配电网中的应用进行了一定的探索和尝试,并以 4 端口柔性环网控制装置为例针对部分场景进行了模拟和仿真。同时,为了提高仿真效率,提出了柔性环网控制装置的简化仿真模型。理论分析和仿真结果表明,柔性环网控制装置的应用与传统交流配电网相比具有一定的优势,主要体现如下。

a. 可以有效解决不停电负荷转移问题。利用柔性环网控制装置进行合环操作,2 条馈线间的电压幅值差和相角差不受限制,能够实现不停电条件下的负荷转移,转移前后负荷电压基本不变。

b. 可实现对负荷的就地无功补偿。由于柔性环网控制装置在实现各条馈线无缝连接的同时具备无功补偿的功能,因此可以适当减少变电站配置无功补偿容量,减少变电站占地。

c. 可实现潮流优化控制。由于柔性环网控制装置能够对各端口的有功和无功功率进行精确控制,

故在稳态时,可以通过向端口注入指定的有功和无功功率来改变电网侧的潮流,使得电网的潮流分布更优。

d. 可降低系统的备用容量。采用柔性环网控制装置可以实现多条馈线的联络,在某端口负荷增加或者电源侧失电时可以同时调用其他端口闲置的备用容量来进行补偿,实现系统整体备用容量下降。

e. 可实现并/离网平滑切换。由于柔性环网控制装置能够调节其交流端口输出电压的幅值和相角,故可以实现并网和离网切换时,负荷上的电压、电流基本保持不变。

最后需要说明的是,目前柔性环网控制装置还存在着很多问题。相比于传统变压器,柔性环网控制装置的效率较低、造价较高,且其可靠性有待提高。当馈线发生故障时,柔性环网控制装置通过控制能够限制自身的短路电流,但对故障部分的无功支撑作用有限。将柔性环网控制装置大规模应用于配电网,还需要进行大量的研究工作。

参考文献:

- [1] HUANG A Q, CROW M L, HEYDT G T, et al. The Future Renewable Electric Energy Delivery and Management (FREEDM) system: the energy internet [J]. Proceedings of the IEEE, 2011, 99(1): 138-144.
- [2] 宗升, 何湘宁, 吴建德, 等. 基于电力电子变换的电能路由器研究现状与发展 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(18): 4559-4570. ZONG Sheng, HE Xiangning, WU Jiande, et al. Overview of power electronics based electrical energy router [J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(18): 4559-4570.
- [3] 盛万兴, 段青, 梁英, 等. 面向能源互联网的灵活配电系统关键装备与组网形态研究 [J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(15): 3760-3769. SHENG Wanxing, DUAN Qing, LIANG Ying, et al. Research of power distribution and application grid structure and equipment for future energy internet [J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(15): 3760-3769.
- [4] 燕博. 配电网典型接线方式的评价研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2015. YAN Bo. Research on evaluation of typical connection modes of distribution networks [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2015.
- [5] 孔庆耀. 10 kV 配电网合环操作研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2013. KONG Qingyao. Research on loop closing operation for 10 kV distribution network [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [6] 张嶝. 北京通州配电网合环操作研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2014. ZHANG Di. Research on closed loop operation of distribution network in Tongzhou Beijing [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.
- [7] 楼建杭. 10 kV 配电网带负荷倒电的方法 [J]. 浙江电力, 2000 (3): 67-68. LOU Jianhang. Method of hot-switching for 10 kV distributed

- network[J]. Zhejiang Electric Power,2000(3):67-68.
- [8] 张伟,崔艳妍,韦涛,等. 柔性环网控制装置选址定容方法[J]. 电力建设,2017,38(3):48-54.
ZHANG Wei,CUI Yanyan,WEI Tao,et al. Locating and sizing method of flexible DC loop network controller[J]. Electric Power Construction,2017,38(3):48-54.
- [9] 张伟,韦涛,崔艳妍,等. 基于柔性环网控制装置的交直流混合配电网接线模式研究[J]. 电力建设,2016,37(12):32-39.
ZHANG Wei,WEI Tao,CUI Yanyan,et al. Connection modes of AC/DC hybrid distribution network based on flexible DC loop network controller[J]. Electric Power Construction,2016,37(12):32-39.
- [10] YIN Lu,WENG Xing,ZHANG Kai,et al. A new topology of energy router with multiple HVAC ports for power distribution networks[C]//19th International Conference on Electrical Machines and Systems(ICEMS). Chiba,Japan:[s.n.],2016:1-5.
- [11] 王守相,张一帆,葛磊蛟. 新型城镇配电网影响因素解释结构模型[J]. 电力自动化设备,2015,35(11):75-81.
WANG Shouxiang,ZHANG Yifan,GE Leijiao. Interpretative structural model of influencing factors for distribution network of new-type town[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(11):75-81.
- [12] 李鹏,窦鹏冲,李雨薇,等. 微电网技术在主动配电网中的应用[J]. 电力自动化设备,2015,35(4):8-16.
LI Peng,DOU Pengchong,LI Yuwei,et al. Application of microgrid technology in active distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(4):8-16.
- [13] 中国电力企业联合会. 并联电容器装置设计规范:GB 50227—2008[S]. 北京:中国计划出版社,2009.
- [14] 王志新,吴杰,徐烈,等. 大型海上风电场并网 VSC-HVDC 变流器关键技术[J]. 中国电机工程学报,2013,33(19):14-26.
WANG Zhixin,WU Jie,XU Lie,et al. Key technology of large offshore wind farm VSC-HVDC converters for grid intergration[J]. Proceedings of the CSEE,2013,33(19):14-26.
- [15] 曹阳,袁立强,朱少敏,等. 面向能源互联网的配网能量路由器关键参数设计[J]. 电网技术,2015,39(11):3094-3101.
CAO Yang,YUAN Liqiang,ZHU Shaomin,et al. Parameter design of energy router orienting energy internet[J]. Power System Technology,2015,39(11):3094-3101.
- [16] FALCONES S,AYANAR R,MAO X. A DC-DC multiport-converter-based solid-state transformer integrating distributed generation and storage[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2013,28(5):2192-2203.
- [17] 张崇巍. PWM 整流器及其控制[M]. 北京:机械工业出版社,2003:142-143.
- [18] 赵成勇,胡静,翟晓萌,等. 模块化多电平换流器桥臂电抗器参数设计方法[J]. 电力系统自动化,2013,37(15):89-94.
ZHAO Chengyong,HU Jing,ZHAI Xiaomeng,et al. A parameter design method of bridge arm reactor in modular multilevel converter[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(15):89-94.

作者简介:



尹璐(1985—),男,北京人,高级工程师,博士,主要从事配电网控制技术研究(E-mail: yinlu183@163.com)。

Operation mode of 10 kV distribution network with flexible looped network controller

YIN Lu¹,YI Shuxian²,ZHANG Kai¹,ZHAO Zhengming²,YUAN Liqiang²

(1. Beijing Electric Power Economic Research Institute Co.,Ltd.,Beijing 100055,China;

2. State Key Laboratory of Control and Simulation of Power Systems and Generation Equipment, Department of Electrical Engineering,Tsinghua University,Beijing 100084,China)

Abstract: The connection mode and control strategy of a four-port FLNC(Flexible Looped Network Controller) in a 10 kV AC distribution network is systematically analyzed,and the system is simulated. During the simulation process,a simplified model of FLNC is adopted to improve the large time scale simulation efficiency for the power system connected with complicated power electronic devices. Research and simulative results show that the application of FLNC can effectively enhance the performance of distribution network in aspects of the realization of the closed-loop operation of AC distribution network,optimized power flow,uninterruptible load transfer,reactive power compensation,and decreased system reserve capacity.

Key words: distribution network; flexible looped network controller; operation mode; simplified model; uninterruptible load transfer; reactive power compensation