

多级快速投切电抗器控制区域联络线功率的技术方案研究

马骞, 刘洪涛, 孙嘉弥, 杜翠, 邓卓明

引用本文:

马骞, 刘洪涛, 孙嘉弥, 杜翠, 邓卓明. 多级快速投切电抗器控制区域联络线功率的技术方案研究[J]. 南方能源建设, 2022, 9(1): 103-108.

MA Qian, LIU Hongtao, SUN Jiamei, DU Cui, DENG Zhuoming. Research on the Technical Solution of Multi-Stage Fast Switching Reactor Application on Regional Tie-Line Power Control[J]. Southern Energy Construction, 2022, 9(1): 103-108.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

高压串联电抗器独立子站应用研究

Application Research on Independent High-Voltage Series Reactor Station

南方能源建设. 2017, 4(4): 71-75,123 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.014>

基于调峰能力分析的电网弃风评估方法及风电弃风影响因素研究

Research on the Evaluation Method and Influencing Factors of Wind Power Curtailment Based on System Regulation Capability Analysis

南方能源建设. 2018, 5(2): 71-76 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.02.010>

基于全负荷开关组网多种运行模式的电力网络系统

A Power Network System Based on Multiple Operating Modes of Full Load Switch Networking

南方能源建设. 2019, 6(4): 35-39 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.04.005>

直流微电网控制保护策略研究

Research on Strategy of DC Micro-grid Control and Protection

南方能源建设. 2020, 7(4): 61-66 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.04.009>

小水电灵活并网控制技术研究

Research on the Flexible Control Technology of Small Hydropower for Grid Connection

南方能源建设. 2015, 2(2): 86-90 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.02.016>

多级快速投切电抗器控制区域联络线功率的技术方案研究

马骞^{1,✉}, 刘洪涛¹, 孙嘉弥², 杜翠², 邓卓明³

(1. 中国南方电网有限责任公司, 广东 广州 510663; 2. 国家能源局, 北京 100031;

3. 南方电网科学研究院有限责任公司, 广东 广州 510663)

摘要: [目的] 区域电网间的联络线路交换功率控制在合理范围是保障电网稳定的重要因素。但在一些极端运行方式下, 联络线路的交换功率存在越限的风险, 尤其新能源大规模并网后, 联络线功率越限、大幅波动风险加剧, 因此需要采取必要的潮流控制措施。[方法] 比较了现有的主要的几类联络线路的潮流控制手段和各自的特性, 提出了基于多级快速投切电抗器实现电网潮流的灵活控制的方法, 并研究了具体的控制策略。[结果] 最后基于某一区域电网联络线路上的应用, 验证了多级快速投切电抗器在控制区域电网联络线路交换功率的作用。[结论] 结果表明采用多级快速投切电抗器可以快速灵活的控制联络线路的潮流, 其总体技术经济性更优。

关键词: 潮流控制; 联络线路; 快速投切电抗器; 控制策略; 经济性

中图分类号: TM7; TM47

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)01-0103-06

开放科学(资源服务)二维码:



Research on the Technical Solution of Multi-Stage Fast Switching Reactor Application on Regional Tie-Line Power Control

MA Qian^{1,✉}, LIU Hongtao¹, SUN Jiami², DU Cui², DENG Zhuoming³

(1. China Southern Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China;

2. National Energy Administration, Beijing 100031, China;

3. Electric Power Research Institute, CSG, Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] Control the exchanged power of the regional tie-lines within a reasonable range, which is an important factor to ensure the stability of the power network. However, under some extreme operation modes, the exchanged power of the tie-lines may exceed the limit, especially the large-scale of new energy sources into the power grid, the power of the tie-lines between regions may fluctuate greatly. Therefore, necessary power flow control measures should be taken. [Method] Compared the power flow control methods of several main types of tie-lines and their characteristics, a flexible power flow control method based on multi-stage rapid switching reactor was put forward, and the specific control strategy was studied. [Result] Finally, based on the application of a regional power grid Tie-lines, the function of multi-stage fast switching reactor in controlling the exchange power of regional power grid tie-line was verified. [Conclusion] The results show that the power flow of the tie-line can be controlled flexibly and quickly by using the multi-stage fast switching reactor, and the overall technical economy is better.

Key words: power flow control; tie-line; fast switching reactor; control strategy; economy

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

大型区域电网的联络线功率交换对保障大区域电网安全稳定运行有着重要的意义。因此将联络线交换功率控制在合理范围内可以提高电网运行的安全性。但区域内的负荷以及电源出力是实时变化的,尤其大规模新能源投运后,受新能源多时空、高不确定性特点的影响,联络线交换功率控制变得更加复杂,传统的人工调节的手段难以满足快速变化的交换功率的需求。另外,交流线路故障跳开后的潮流转移将导致其它联络线功率越限,需要采取一定措施限制线路的潮流,但现常规的调整开停机的手段难以达到潮流快速控制的效果^[1-3]。为此,如何在潮流变化频繁且难以控制的场合进行合理的潮流控制,有待更深入的研究。近年来,随着电力电子技术大规模发展,快速灵活的潮流控制技术,如统一潮流控制器(UPFC, Unified Power Flow Controller)技术、分布式潮流控制器技术(DPFC, Distributed Power Flow Controller)等在电网工程中得到了应用并取得了良好的控制效果。例如,2015年,南京西环网220 kV统一潮流控制器工程投运,对均衡南京西环网的潮流、提升电网输电能力以及事故后的潮流控制能力起到了良好的效果^[4];2017年,苏州南部电网500 kV统一潮流控制器投运,至今运行良好^[5-6];2020年,浙江杭州电网以及湖州电网分布式潮流控制器工程投运,在地区电网潮流均衡和潮流调节方面发挥了重要的作用。从工程应用情况来看,潮流控制器可靠性高,响应速度快,有利于提高电网的潮流控制能力。

尽管这类基于电力电子装备的柔性潮流控制技术在电网中的运行得到验证,但整体高昂的造价以及占地较大两类问题成为其难以大规模推广的主要因素。鉴于此,本文提出将多级快速投切电抗器应用于交流电网,通过对多级快速投切电抗器的控制来满足潮流灵活调节需求。该方案在整体造价和占地方面均有较大优势。

1 影响线路有功功率的因素

输电线路潮流示意图如图1所示。

考虑到输电线路的电抗 X_L 远大于线路电阻 R_L ,因此将 R_L 忽略。线路有功功率 P_{ij} 和无功功率 Q_{ij} 与线路首末端电压以及线路阻抗的关系分别如式

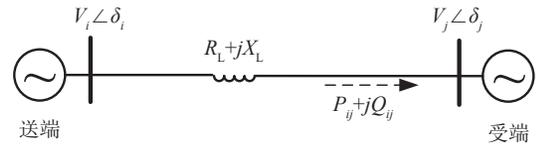


图1 输电线路潮流示意图

Fig. 1 Power flow diagram of transmission line

(1)、式(2)所示:

$$P_{ij} = \frac{V_i V_j}{X_L} \sin(\delta_i - \delta_j) = \frac{V_i V_j}{X_L} \sin \Delta\delta \quad (1)$$

$$Q_{ij} = \frac{V_i(V_i - V_j \cos(\delta_i - \delta_j))}{X_L} = \frac{V_i(V_i - V_j \cos \Delta\delta)}{X_L} \quad (2)$$

从有功功率的表达式中可以看出,要改变线路的有功传输功率,可以分别考虑改变线路首末端电压、线路阻抗,以及线路首末端的相角差。通常来说,线路两端的电压在一定范围内运行,通过改变首末端电压对线路传输的有功功率影响并不大^[7-8]。而通过改变线路的相角差以及线路的阻抗则可以实现有功的快速改变^[7-8]。下面分别分析几类柔性潮流控制技术的潮流控制的基本原理。

2 电力电子类柔性潮流控制装置

2.1 统一潮流控制器技术

统一潮流控制器(UPFC)的结构如图2所示,典型的UPFC是由两个通过直流电容耦合的换流器组成,换流器1和换流器2分别通过并联变压器和串联变压器与系统进行连接。

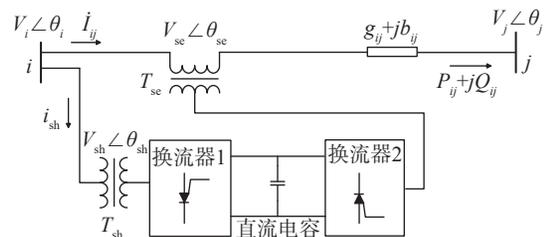


图2 传统UPFC的基本结构图

Fig. 2 The basic structure of traditional UPFC

其中,换流器1通过并联变压器 T_{sh} 与系统连接,独立地向系统注入或吸收无功功率,其主要目的是为了维持并联侧接入点母线电压以及直流电压。换流器2通过串联变压器 T_{sc} 与系统连接,可以等效成向交流系统注入一个与系统同频率且幅值和相位均可变化的串联电压 $V_{sc} \angle \theta_{sc}$,幅值 V_{sc} 的变化范围为: $[0, V_{scmax}]$, V_{scmax} 受制于交流输电系统的电

压水平, 相角 θ_{sc} 的变化范围为: $[0, 360^\circ]$ 。

UPFC 串入线路中的等效电路如图 3 所示。

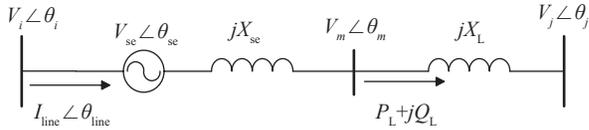


图 3 UPFC 串联侧等效电路图

Fig. 3 The equivalent circuit diagram of UPFC on series side

目前国内投运的南京西环网 220 kV 统一潮流控制器和苏南电网 500 kV 统一潮流控制器, 在拓扑结构上采取了一定优化。应用在双回线路上时, 采取两个串联换流阀共用一个并联换流阀的拓扑结构。该拓扑结构可实现线路端电压控制模式、阻抗控制模式、相角控制模式以及潮流控制模式。

2.2 分布式潮流控制技术

DPFC 即分布式潮流控制器, 是一种分布式轻型化潮流控制装置。它利用分布式的小型化单相子单元对电网潮流进行控制, 可为智能电网提供更灵活、更先进的控制手段, 有效提高电力系统安全稳定运行, 提升电网供电能力, 实现电网优化运行。

早在 2004 年, 美国 Deepak Divan 教授提出了分布式潮流控制器的概念。该技术的核心思想是考虑到变电站空间有限, 采用小容量的分布式串联补偿器, 可直接分布式地悬挂于电力线路上, 实现和静止同步串联补偿器 (SSSC, Static Synchronous Series Compensation) 相近的电网潮流控制功能和效果, 可为智能电网提供更灵活、更先进的控制手段, 有效提高电力系统的供电能力和安全稳定运行。该装置具有体积小、重量轻等特点。大量分布式的子单元保障了设备的冗余性, 进而提升了装置的可靠性^[9-10]。

3 基于多级快速投切电抗器的潮流控制技术

从线路传输功率的表达式可以看出, 改变线路传输功率, 一种方法是通过串入电压的方法改变相角, 另外一种是通过改变线路的阻抗值, 即通过在线路上串入电容或者电抗的方式进行功率调节。如在输电线路安装串补或者可控串补的方式缩短电气距离, 提升系统的稳定性, 并同步提高断面的输电能力^[11]。

上一章分析的统一潮流控制器和分布式潮流控制器, 其核心作用原理主要是通过换流器的控制改变串入线路的电压的幅值和相角, 进而改变线路首末端两侧相角差来改变线路的有功功率, 可以实现柔性潮流控制装置所控制线路功率在一定范围内的连续可调, 但基于电力电子器件的柔性潮流控制装置总体成本较高, 同时设备总占地面积较大, 难以大规模推广。

本文提出了基于多级快速投切电抗器的潮流控制器, 主要通过灵活改变串入线路的阻抗大小的方式来改变线路的有功功率。下面将分别介绍该控制器的拓扑结构、选址定容方案以及控制策略。

3.1 拓扑结构

基于以上的研究思路, 本文提出通过多级快速投切电抗器实现电网潮流控制, 拓扑结构如图 4 所示。

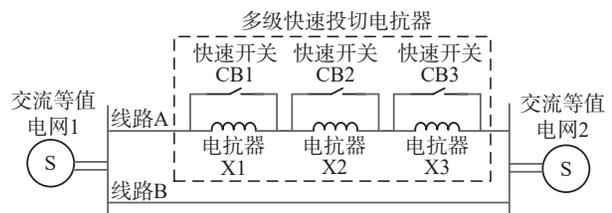


图 4 基于多级快速投切电抗器的拓扑结构图

Fig. 4 Topological structure diagram based on multistage fast switching reactor

由图 4 可知, 多级快速投切的电抗器为 3 级投切电抗器结构, 该结构为电抗器与快速开关并联后, 再与其他的电抗器及快速开关串联。该拓扑结构简单清晰, 通过对多级快速开关的投退, 即可控制串入线路的阻抗值大小。在阻抗值选取方面, 可通过合理的选取使得串入的阻抗值可在一定范围内变化, 如选取的阻抗值为 $x \Omega$ 、 $2x \Omega$, 则通过开关的投退可以串入的阻抗值为 $x \Omega$ 、 $2x \Omega$ 、 $3x \Omega$ 。如选择三个阻抗值为 $x \Omega$ 、 $2x \Omega$ 、 $4x \Omega$ 的电抗串联, 则通过对快速开关的投退可以实现 $x \sim 7x \Omega$ 阻抗值 7 个阶梯度的变化。

3.2 安装位置和容量优化方案

在选择多级快速投切电抗器的每一级电抗值的大小时, 需要考虑系统的需求, 即需要计算各种运行方式下电网需要串入的阻抗大小, 同时电抗器投退过程中不应该对系统的稳定性产生影响, 如引起暂稳或电压失稳等问题。电抗器主要是用于降低安

装线路的潮流，因此用于区域联网线路实现潮流控制时，应将其重点安装在重载线路上，通过对重载线路的潮流限制，实现区域间联网断面的潮流均衡，尤其是在线路联络线路发生故障时需要采取经济性潮流限制措施的时候。

在容量选择时，主要考虑各种运行方式下需要串入的最大电抗值，选择的额定电流与安装线路的额定电流一致，具体的步骤如下：

步骤1：识别确定关键断面，对输电断面进行N-1扫描，对N-1后过载的线路进行定位。

步骤2：在机电暂态程序中，在N-1后过载的线路中串入电抗值，电抗值的大小需满足在各种运行方式下N-1后均不过载。

步骤3：校核在计算的最大电抗值串入后，各类故障下是否会引发新的稳定问题。如无影响则进入下一步，如可能存在稳定问题，则进入上一步，并将电抗值减小约10%。

步骤4：确定好总电抗值后，评估调节的频繁程度和电网对潮流的精细化要求，选择所需的多级投切电抗器的级数，如对潮流控制要求较低，则选择2级电抗值，如对潮流控制精度要求高，则选择3级或者4级投切电抗器。

3.3 控制策略

正常运行时，当安装线路的潮流未达到预警值，快速开关均处于合位，将电抗器置于旁路，系统运行在无损耗的状态。当检测到安装点的潮流超过预警值时，则按照预定的控制策略投入电抗器，进行电网潮流的改变。电抗器的投入策略分为正常运行时因负荷和开机方式的改变导致的运行越限和故障情况下的事故越限，当其中一回线路跳开，潮流转移到另外一回线路导致线路过载的问题时，两种方式下的控制的紧迫程度以及控制策略有所区别。

正常运行时，多级快速投切电抗器以降低系统运行损耗、事故预防为主要目的，即当区域间联络线路功率较小时，将快速开关合上，对所有的电抗器进行旁路。当安装线路的功率达到预警值时，考虑投入电抗器。由于正常运行时潮流越门槛值属于较轻的问题，因此电抗器投入时可以考虑电抗值由小到大逐步投入，即先投入电抗值最小的电抗器，如发现再次越限，则进一步投入剩余电抗值最小的

电抗器。当检测到线路功率在预警值以下并维持一段时间 T 后，再依次合上快速开关退出电抗器。

当发生紧急事故时，需要对潮流进行快速的调节限制，因此电抗器的投切考虑优先投入电抗值最大的电抗器。检测潮流仍然越限后，再次投入剩余电抗值最大的电抗器，直到将潮流限制到事故限额以下并经过一段时间的延时后，再依次合上快速开关，退出电抗器。

4 几类潮流控制装置基本性能比较

如表1所示，在控制性能、造价等指标方面对统一潮流控制器、分布式潮流控制器以及本文提出的多级快速投切电抗器进行比较。可以看出，本文提出的多级快速投切电抗器在设备价格、运行损耗、环境适应性、运行范围等方面均具有明显的优势，但在潮流控制性能上，主要是对线路有功功率的控制，无法兼顾到无功电压的调节。

表1 几类潮流控制装置基本性能对比

Tab. 1 Comparison of basic performance of several kinds of power flow control devices

比较类型	统一潮流控制器	分布式潮流控制器	多级快速投切电抗器
潮流控制性能	线路有功和无功独立控制	线路有功控制、阻抗控制	线路有功控制，需消耗无功
响应速度	控制响应快	控制响应稍慢	控制响应快
布置方式	户外+户内	全户外	全户外
环境适应性	适应污秽等级高环境	不适应污秽等级高环境	适应污秽等级高环境
运行范围	全电流范围运行	小电流时存在运行死区	全电流范围运行
成套设备价格 (以某工程为例)	100%	85%	<50%
正常运行损耗	1%	1%	5%

5 案例分析

某省级电网的区间联络线路由2回500 kV A-B双回线路和2回500 kV C-D双回线路连接。受潮流自然分布的影响，通道A-B间的潮流较重，其中区域电网1为送端电网，大量的水电和新能源接入；区域电网2为负荷中心，需要大量的外电接入，如图5所示。

随着新能源的大规模接入，区域间联络线路的功率变化频繁，控制难度较大。在某种运行方式

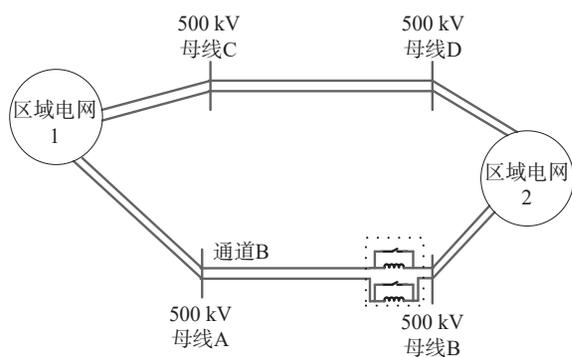


图5 区域电网联络线示意图

Fig. 5 The diagram of Tie-line between on regional grid

下, 通道 A-B 的线路功率较大, $N-1$ 后另外一回线过载, 该通道 500 kV 单回线路的热稳限额为 2.6 GW。在区域电网 1 新能源大量发电时, A-B 线路重载。通过计算, 当双回线潮流达到 3.5 GW 时, $N-1$ 后另外一回线路刚好满载, 此时另外一个通道的潮流为 2.6 GW。但该区域间联络断面限额为 5.5 GW, 一旦超过该限额, 则区域电网 1 需要采取弃风弃光的措施来限制断面潮流。其实在通道 A-B 达到 $N-1$ 热稳限额时, C-D 仍然有较大的裕度, 因此考虑在通道 A-B 上安装多级快速投切电抗器。

结合电网远期规划, 到 2030 年区域电网 1 风光大力发展时, 断面最大输送能力可能达到 6.4 GW, 其中 A-B 通道潮流为 4.07 GW, 通道 C-D 潮流为 2.33 GW。如果不采取任何潮流控制措施, 就需要采取限制电源出力等措施。

由于上述情况下潮流调节较频繁, 且对潮流控制的精度较高, 考虑采用 3 级的投切电抗器, 各级电抗器的电抗值分别设置为 2Ω 、 4Ω 、 8Ω 。通过对快速开关的控制, 可实现 $2 \sim 14 \Omega$ 之间 7 个档位的潮流调节。

表 2 为在某一运行方式下, 通道 A-B 发生 $N-1$ 故障后, 另外一回线路功率 3.02 GW, 超过热稳限额约 420 MW, 考虑通过多级快速投切电抗器投入不同的电抗器来限制潮流。

从表 1 可以看出, 通过对电抗器的投切控制, 串入的电抗值可以表现为 7 个递增的数值, 对电网的潮流可以控制到相对精细化的水平。在该运行方式下, 单次投切可改变的潮流约为 77 MW。

从该案例可以看到, 通过对多快速投切电抗器的控制可以实现潮流相对精确的控制, 当投切开关的级数达到 4 级甚至更多时, 其潮流控制的精度也

表 2 多级快速投切电抗器不同的电抗值对线路功率的控制效果

Tab. 2 Control effect on line power of different reactance values on multistage fast switching reactor

串入电抗/ Ω	通道 A-B 单线功率/MW	改变的线路功率/MW
0	3 020	—
2	2 940	80
4	2 861	159
6	2 783	237
8	2 706	314
10	2 630	390
12	2 555	465
14	2 480	540

将会进一步提高。

6 结 论

本文提出的基于多级快速投切电抗器的潮流控制技术, 具备占地面积小、造价相对低廉、可灵活投退等优势。通过对基于多级快速投切对区域间联络线功率的控制策略研究, 可得出以下结论:

1) 基于多级快速投切电抗器的技术可实现断面的潮流灵活调整, 尤其适用于潮流不均的断面, 应用于重载通道, 可实现潮流的灵活调节。

2) 该技术具备快速的投退功能, 在低于设定阈值时, 将电抗器旁路后不产生运行损耗。只有在联络线潮流超过启动阈值时, 才将其投入运行, 通过对多级开关的投退可控制投入的电抗值大小, 实现潮流的灵活调节。

3) 考虑到电抗值投入后有功无功不解耦, 需消耗一定的无功, 因此该技术适用于电网结构较强, 无功调节手段较多的场合。

参考文献:

- [1] 徐蔚, 林勇, 周煜智, 等. 区域电网互联对广东电网暂态稳定性的影响分析 [J]. 电力系统自动化, 2013, 37(21): 34-38. DOI: 10. 7500/AEPS20130319016. XU W, LIN Y, ZHOU Y Z, et al. Impact analysis of regional grid interconnect on transient stability of Guangdong power grid [J]. Automation of Electrical Power System, 2013, 37(21): 34-38. DOI: 10. 7500/AEPS20130319016.
- [2] 雷成, 黄豫, 唐金锐. 南方区域西电东送输电效率提升措施研究 [J]. 南方能源建设, 2020, 7(4): 48-53. DOI: 10. 16516/j. ge-di. issn2095-8676. 2020. 04. 007. LEI C, HUANG Y, TANG J R. Research on optimal strategy

- of distribution network planning based on lifting the equipment utilization benefit [J]. *Southern Energy Construction*. 2020, 7(4):48-53. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.04.007.
- [3] 卢斯煜, 郑敏嘉, 吴伟杰, 等. 风电并网下含核电受端电力系统调峰问题研究 [J]. *南方能源建设*, 2021, 8(1):100-109. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2021.01.015.
- LU S Y, ZHENG M J, WU W J, et al. Research on peak-shaving problem of receiving power system with nuclear power under wind power grid connection [J]. *Southern Energy Construction*. 2021, 8(1): 100-109. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2021.01.015.
- [4] 王莹, 甄宏宇, 常宝立, 等. UPFC在南京西环网中的应用需求分析 [J]. *江苏电机工程*, 2016, 35(1): 53-56. DOI: 10.3969/j.j.issn.1009-0665.2016.01.013.
- WANG Y, ZHEN H N, CHANG B L, et al. Research on the application of UPFC in Nanjing western grid [J]. *Jiangsu Electrical Engineering*, 2016, 35(1): 53-56. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0665.2016.01.013.
- [5] 李群, 林金娇, 李鹏. 500 kV 苏南 UPFC 控制功能研究及性能试验 [J]. *电力工程技术*, 2018, 37(6): 13-19. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0665.2018.06.002.
- LI Q, LIN J J, LI P. Control function research and performance test of Southern Suzhou 500 kV power grid UPFC project [J]. *Electric Power Engineering Technology*, 2018, 37(6): 13-19. DOI: 10.3969/j.issn.1009-0665.2018.06.002.
- [6] 黄伟, 杨娟. 基于提升设备利用效益的配电网规划方案优选 [J]. *南方能源建设*, 2018, 5(3): 127-132+139. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.03.021.
- HUANG W, YANG J. Research on optimal strategy of distribution network planning based on lifting the equipment utilization benefit [J]. *Southern Energy Construction*. 2018, 5(3): 127-132+139. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.03.021.
- [7] ABDULLAH A, SIDDIG O, SU Y H. An investigation into the potential of hosting capacity and the frequency stability of a regional grid with increasing penetration level of large-scale PV systems [J]. *Electronics(Basel)*, 2021, 10(11): 1254-1254. DOI: 10.3390/electronics10111254.
- [8] WANG S J, NIU H N, PAN N, et al. Construction scheme of regional power grid dispatching intelligent error prevention system based on D5000 [J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, 1920(1). DOI: 10.1088/1742-6596/1920/1/012001.
- [9] 唐爱红, 翟晓辉, 卢智键, 等. 一种适用于配电网的新分布式潮流控制器拓扑 [J]. *电工技术学报*, 2021, 36(16): 3400-3409. DOI: 10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.200744.
- TANG A H, ZHAI X H, LU Z J, et al. A novel topology of distributed power flow controller for distribution network [J]. *Transactions of China Electro- technical Society*, 2021, 36(16): 3400-3409. DOI: 10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.200744.
- [10] 周路遥, 邵先军, 郭锋, 等. 分布式潮流控制器的工程应用综述 [J]. *浙江电力*, 2020, 39(9): 8-13. DOI: 10.19585/j.zjdl.202009002.
- ZHOU L Y, SHAO X J, GUO F, et al. Engineering application summary of distributed power flow controller [J]. *Zhejiang Electric Power*. 2020, 39(9): 8-13. DOI: 10.19585/j.zjdl.202009002.
- [11] 刘志成, 刘阳, 徐浩, 等. 大电网交流联络线功率协调控制考核方法 [J]. *高电压技术*, 2019, 45(11): 3620-3626. DOI: 10.13336/j.1003-6520.hve.20191031028.
- LIU Z C, LIU Y, XU H, et al. Examination method for coordinated power control of AC tie-line [J]. *High Voltage Engineering*, 2019, 45(11): 3620-3626. DOI: 10.13336/j.1003-6520.hve.20191031028.

作者简介:



马骞

马骞 (通信作者)

1978-, 男, 吉林公主岭人, 高级工程师, 博士, 主要从事电力系统调度运行方面的工作 (e-mail) maqian1978@163.com。

项目简介:

项目名称 澜湄国家电力互联互通调度运行基本条件研究 (6202017)

承担单位 中国南方电网有限责任公司

项目概述 电力互联互通作为澜湄国家间合作的重要组成部分, 在地区贸易中的地位日益提高, 跨国电力贸易数量逐年持续增长。然而, 由于各澜湄国家的电网装备水平、技术标准、运行规则等存在较大差异, 要实现电力互联互通, 保障联网稳定运行, 必须加强各国电力工作人员间的技术交流与合作, 增进相互了解, 根据澜湄各国实际情况, 协同开展电网跨国互联技术研究, 制定电网跨国互联的技术方案。

主要创新点 (1) 提出不同电力发展水平下的联网电力装备配置和协同管理方案; (2) 满足电力互联互通调度运行的业务协作机制; (3) 制定联网调度协议基本框架及内容。

(责任编辑 叶筠英)