

※“中低压直流配用电系统稳定与控制”专辑

特约主编寄语

基于柔性直流技术的中低压直流配用电系统由于可高效灵活接纳光伏、风电等分布式新能源、储能装置,为电动汽车、数据中心及LED照明等直流型负荷提供高效可靠供电,亦可实现多交流馈线的柔性互联和交直流系统互联功率的灵活转供,将成为以新能源为主体的新型电力系统的重要组成部分。直流配用电系统具有低惯量、弱阻尼特性,且高比例随机波动性新能源、不确定冲击性直流负荷等的接入,均使得直流配用电系统的稳定机理及控制问题变得更加复杂。

为探讨中低压直流配用电系统稳定性分析与控制的新思路、新方法和新挑战,进一步推动该领域的深入研究,《电力自动化设备》邀请我们针对这一热点共同策划组织了“中低压直流配用电系统稳定与控制”专辑,并收到了近百篇饱含真知灼见的投稿,经过严格评审,最终本专辑共收录了31篇论文,涵盖了中低压直流配用电系统稳定性分析、提升系统暂态稳定性的控制技术、直流故障穿越控制技术,以及直流配用电系统示范工程与关键设备的研究现状等方面的内容。

◆ 中低压直流配电系统稳定性分析

天津大学的李霞林副教授、王成山教授等对中低压柔性直流配电系统的稳定性分析模型与机理研究进行了综述,进而对该领域未来可深入研究的方向进行了展望;山东理工大学的彭克副教授等从时域角度出发,建立了基于MMC的柔性直流配电系统的降阶数学模型,进而揭示了柔性直流配电系统低频振荡机理;上海电力大学的赵晋斌教授等基于变流器端口的阻抗特性,建立了多变流器直流微电网的阻抗网络模型,并将其用于直流微电网稳定性判别与设计;西安理工大学的张辉教授、清华大学的孙凯副教授等研究了双母线直流微电网在不同稳态运行模式下的级联稳定性;华北电力大学

的田艳军副教授等以交流配电网中的柔性直流互联装置为研究对象,提出了一种阻抗协同重塑控制策略;上海交通大学的高飞副教授等提出了适用于直流微电网的基于交流电流下垂特性的控制策略;天津大学的朱琳博士、王一振副教授等建立了中压直流配电系统的等效降阶模型,并提出了系统控制参数设计方法;天津大学的郭力教授、李霞林副教授等提出了适用于直流微电网高频振荡机理分析的降阶模型,从等效电路角度研究了直流微电网高频振荡稳定问题。

◆ 提升系统暂态稳定性的控制技术

河海大学的刘子文博士、华南理工大学的张勇军教授等对非理想工况下柔性直流配电系统建模与运行控制关键问题进行了总结;西安理工大学的支娜副教授等针对弱电网时谐振频率发生变化导致LCL型并网变换器稳定裕度降低的问题,提出了一种应用于直流微电网并网变换器的双电流反馈控制策略;上海电力大学的米阳教授等针对孤岛运行的直流微电网,提出一种数据驱动无模型二次控制策略;天津大学的李永丽教授等为了解决多子微电网型交直流混合配电系统功率分配以及交流子微电网母线电压偏差大的问题,提出一种灵活功率控制与电压抑制策略;华北电力大学的刘英培副教授等针对光伏渗透率不断提高而带来的直流配电网惯性低的问题,提出了光储直流配电网灵活虚拟惯性控制策略;国网江苏省电力有限公司电力科学研究所的司鑫尧等针对采用隔离双向DC/DC变换器柔性互联的多电压等级直流配电网,提出了分散式双向电压支撑控制方法;湖南大学的许加柱教授等针对中/低压直流配电网中离网直流微电网经直流变压器并网产生扰动的问题,提出了基于控制模式平滑切换的离网直流变压器无扰并网策略;华北电力大学的朱晓荣副教授等为实现直流微电网集群协调

控制并对其进行能量管理,提出了一种多状态运行分级协调控制策略;华北电力大学的付媛副教授等针对直流微电网的低惯性问题,提出了基于附加电量的动态稳定控制策略;天津大学的郭力教授、李霞林副教授等提出了基于数据驱动的直流微电网虚假数据注入攻击快速防御策略;四川大学的郑子莹副教授、汪颖教授等提出了一种基于直流母线电压的直流微电网运行韧性定量评估方法,设计并对比验证了基于模型预测控制的混合储能系统对直流微电网运行韧性的提升效果;中国石油大学(华东)的徐海亮副教授等针对低惯性直流微电网在负荷频繁投切等情况下易发生直流母线电容两侧功率不匹配的问题,提出了一种基于母线电压信息的电流指令分区补偿控制策略;华北电力大学的付媛副教授、张祥宇副教授等针对含恒功率负荷直流微电网的电压动态稳定性问题,提出了多端状态反馈电压振荡控制技术,进一步发挥了微电网中各端换流器抑制电压振荡的控制潜力。

◆ 直流故障穿越控制技术

华北电力大学的贾科教授、毕天姝教授等提出了一种光伏变功率控制的直流配电系统故障穿越协调控制策略,保证了交流并网换流器能够正常实现故障穿越,抑制了直流母线电压的波动;国网浙江省电力有限公司电力科学研究所的冯悻彬、张雪松教授级高级工程师等基于主动保护思想,将变流器的就地故障控制与直流保护相结合,提出了一种直流微电网的故障区段辨识与快速恢复策略;国网冀北电力有限公司工程管理分公司的赵思远等为解决传统半桥型MMC的直流故障清除问题,提出了基于故障清除专用自阻模块的改进型MMC运行控制策略;哈尔滨工业大学的王盼宝副教授、徐殿国教授等提出了考虑多节点条件约束的柔直系统故障限流器与断路器优化配置方法;西安理工大学的张辉教授、支娜副教授等考虑了直流微电网故障电流突增、电压突降特性,提出了基于支路两端导纳差值导数的保护方法;中国农业大学的唐巍教授、张璐副教授等综合考虑交直流混合配电网的网络特点,提出了交直流混合配电网中隔离开关与断路器的优化配置方法。

◆ 示范工程与关键装备

山东理工大学的彭克副教授、徐丙垠教授等总结了国内外直流配电系统示范工程的现状,并结合我国目前的直流配电系统的发展现状,给出了我国未来发展直流配电系统的建议;湖南大学的涂春鸣教授、帅智康教授等针对中低压直流变压器的发展现状进行了总结和分析,并对直流变压器未来的发展趋势进行了展望;东北电力大学的刘闯教授等通过分析目前低压直流配电网的运行特性与柔性互联开关的可靠性问题,提出了一种基于双降压/升压结构的新柔性互联开关拓扑结构,其具备无桥臂直通、电压利用率高、功率等级易拓展等优点;湖南大学的涂春鸣教授等通过融合直流微电网的自身优势和储能型柔性多状态开关的调控灵活性,提出了一种基于储能型柔性多状态开关的直流微电网与交流配电网柔性互联策略。

基于柔性直流技术的直流配电系统有望广泛应用于高比例新能源接入、大规模工业园区等直流负荷密集、供电可靠性要求高的场合,为构建以新能源为主体的新型电力系统提供了新的解决方案。研究直流配电系统的稳定机理及控制对于直流配电系统的进一步发展至关重要,现有研究难免有局限和不足之处。由于篇幅、主题以及稿件处理周期的限制,部分高水平投稿论文未能完全涵盖于本专辑中,希望能够得到所有为本专辑撰稿的作者和广大读者的理解。

衷心感谢各位专家学者对本专辑的大力支持,感谢《电力自动化设备》编辑部为本专辑的选题、策划、组织和出版所做的大量而细致的工作。同时,还要感谢本专辑的各位特约评审专家,正是他们求实的科学态度和无私的奉献精神保证了本专辑的高质量出版。最后,衷心希望中低压直流配用电系统稳定与控制领域的研究能够促进学术界与工业界的广泛关注和讨论,推动中低压直流配用电系统理论研究和工程实践的共同发展。

李霞林 王盼宝 彭克

2021年4月20日