

“新型电力系统关键技术:五大动态特性研究”专辑

特约主编寄语

构建新型电力系统主要有两方面的技术挑战。第一方面的技术挑战是如何在全时间尺度上实现电力电量的平衡。因为以太阳能、风能为代表的新能源具有波动性和间隙性等不可控特性,导致大规模新能源接入电网后对大电网的功率平衡和能量平衡构成重大挑战,特别是长周期(比如数周)的功率平衡和能量平衡。第二方面的技术挑战是新型电力系统的动态特性不同于传统电力系统,有可能改变现有电力系统运行和控制的模式。电气特性上,基于主流技术的太阳能发电和风能发电都属于非同步机电源,非同步机电源的同步机制和动态特性不同于传统的同步发电机,导致以往广泛采用的理论和方法可能不再适用。新型电力系统的动态特性主要表现在五大方面,即广义同步稳定性、电压稳定性、频率稳定性、宽频谐振稳定性以及短路电流新特性。

广义同步稳定性具体包括如下3个方面:(1)传统的同步机之间的同步稳定性;(2)同步机电源与非同步机电源之间的同步稳定性;(3)非同步机电源之间的同步稳定性。广义同步稳定性只关注基频功率的传递关系,考察的是电网中的基频电压和电流特性,但非基频分量有可能对非同步机电源的同步控制器(如锁相环和功率同步环等)产生影响。根据目前的工程经验,造成非同步机电源失去同步稳定性的主要原因有2个:(1)锁相环锁相失败或者功率同步环失步;(2)换流器控制系统中各环节时间延迟累积造成的等效失步。因此,广义同步稳定性意义下的失步可以分为3种类型:(1)同步机之间的功角稳定性破坏(功角失步);(2)非同步机电源的锁相失败失步或功率同步环失步;(3)非同步机电源的时延过长失步。

新型电力系统背景下的电压稳定性主要表现在非同步机电源大量接入对电压稳定性的影响。电压稳定性指的是基频电压的稳定特性,主要关注电网中的基频电压、电流分量及其构成的有功功率和无功功率。非同步机电源与传统同

步发电机在无功-电压特性方面有较大差别,新型电力系统的负荷特性与传统电力系统相比也有较大差别,比如电力电子换流器负荷越来越多,因此新型电力系统的电压稳定特性也随之改变。非同步机电源的有功出力和无功出力一般受电力电子换流器控制,能够快速跟踪其指令值。相比于传统同步发电机,从控制的角度来看,非同步机电源的控制性能更好,但电压支撑能力较弱,对系统的电压稳定性需要根据具体情况进行分析。

新型电力系统背景下的频率稳定性主要表现在非同步机电源大量接入对频率稳定性的影响。频率稳定性指的是基频的稳定性。频率稳定性主要体现在2个方面:(1)惯量支撑能力;(2)一次调频能力。非同步机电源的惯量支撑能力和一次调频能力随控制方式的不同而不同,如果按照恒定有功功率控制,那么非同步机电源的输出与电网频率变化是解耦的,这样非同步机电源对电网的频率稳定性没有任何支撑作用。但如果改变非同步机电源的控制方式,使其与电网频率变化产生耦合,那么非同步机电源对电网的频率稳定性会产生影响。对于构网型非同步机电源,如果有充足的功率支撑,那么可以实现设定的惯量支撑作用和一次调频作用。对于跟网型非同步机电源,如果有充足的功率支撑,那么当外环功率控制与系统频率的导数相关时就可以具有惯量支撑作用,但其响应速度通常比构网型非同步机电源慢;当外环功率控制与系统频率偏差相关时就可以具有一次调频和二次调频的作用。

新型电力系统背景下的谐振稳定性具有宽频特性,而传统电力系统中的谐振稳定性问题主要发生在带串联补偿电容器的输电系统中,且谐振不稳定的频率段主要在次同步频段。当大量非同步机电源接入电网后,非同步机电源的控制系统中包含了多个时间尺度的控制环节,可以在宽频带内响应电网侧干扰,进而可以在相当宽的频段内产生负电阻效应。宽频段内的负电阻效

应会导致谐振稳定性问题的普遍化和宽频化,即谐振不稳定问题可以出现在没有串联补偿电容器的电力系统中,且谐振不稳定的频率段可以不局限在次同步频段,而在很宽泛的频率范围内。

新型电力系统背景下的短路电流新特性主要是由非同步机电源产生的。非同步机电源一般是通过换流器联接到电网的,其在故障状态下的输出电流受电力电子器件过载能力限制,通常限幅在不大于额定电流1.2倍的水平。因此非同步机电源大量接入电网后,对短路电流特性的影响是巨大的。在同步机电源比例还比较高的场合,非同步机电源对短路电流的贡献几乎可以忽略;但在非同步机电源占主导的电力系统中,短路电流特性必须仔细考虑非同步机电源的贡献。

为了应对能源转型对电力系统提出的挑战,促进新型电力系统动态特性分析与控制领域的研究工作并分享该领域的最新学术和技术成果,《电力自动化设备》编辑部精心策划和组织了本专刊,我很荣幸被邀请担任本专刊的特约主编。经过严格评审,本专刊刊出论文30篇,分为4个专栏,分别为新型电力系统广义同步稳定性的机理、分析方法与控制技术,新型电力系统电压稳定性的机理、分析方法与控制技术,新型电力系统频率稳定性的机理、分析方法与控制技术,新型电力系统宽频谐振稳定性的机理、分析方法与控制技术。下面对这4个专栏论文所关注的问题做个简要介绍。

新型电力系统广义同步稳定性的机理、分析方法与控制技术专栏刊出论文7篇,主要关注的问题包括:(1)考虑源端特性的虚拟同步直驱风机小信号建模与稳定性分析;(2)考虑构网型与跟网型逆变器交互的孤岛微电网小信号稳定性分析;(3)计及虚拟惯量与下垂控制的风火耦合系统小扰动稳定分析;(4)锁相环同步VSC接入弱网下的低频动态稳定性分析模型与机理研究;(5)面向低频振荡分析的直驱风电机组阻尼转矩建模;(6)并网VSC的大扰动失稳模式;(7)虚拟调速器对VSG暂态功角稳定影响机理分析。

新型电力系统电压稳定性的机理、分析方法与控制技术专栏刊出论文3篇,主要关注的问题包括:(1)独立型虚拟同步化微电网分布式无功-电压二级控制策略;(2)基于短路比指标的风电汇集系统稳定性分析;(3)考虑暂态电压稳定的含高渗透率风光的电网动态无功规划方法。

新型电力系统频率稳定性的机理、分析方法与控制技术专栏刊出论文5篇,主要关注的问题包括:(1)基于多新息辨识的电力系统节点惯量估计方法;(2)基于设备模型辨识的新能源电力系统共模频率特征量化;(3)提升海上风电经VSC-MTDC接入的低惯量系统频率稳定综合控制策略;(4)基于有效惯量分布的电力系统惯量不足概率评估;(5)基于减载系数变化的风电机组一次调频控制。

新型电力系统宽频谐振稳定性的机理、分析方法与控制技术专栏刊出论文15篇,主要关注的问题包括:(1)计及网络谐振结构的双馈风电场次同步振荡问题分析及抑制;(2)抑制风电-柔直外送系统次同步振荡的并联VSC型次同步阻尼控制器;(3)基于双馈风机抗阻比的次同步振荡抑制策略;(4)基于附加频变增益控制的风电-柔性直流输电系统次同步振荡抑制方法;(5)直驱风电场中SVG电压前馈阻抗重构抑制次/超同步振荡方法;(6)功率同步控制的模块化多电平换流器阻抗建模及谐振稳定性分析;(7)极弱电网下直驱风电并网变流器小信号建模及稳定性运行策略分析;(8)基于广义特征根的MMC-HVDC系统高频振荡分析及抑制策略;(9)双馈风机附加次同步阻尼控制器抑制方法分析与优化设计;(10)非理想电网条件下并网逆变器多频耦合抑制及稳定性分析;(11)低电压穿越期间双馈风电机组稳定性分析与电流分配方法;(12)柔性直流输电系统接入交流电网的高频谐振风险运行方式辨识;(13)面向宽频振荡抑制的宽频相量测量装置;(14)基于宽频量测间谐波潮流计算的次/超同步振荡溯源方法;(15)MMC-HVDC直流侧阻抗模型简化方法。

衷心感谢论文作者对本专刊的积极响应和大力支持,将最新的研究成果慷慨贡献于本专刊。感谢《电力自动化设备》编辑部为本专刊的策划、组织和出版所做的大量而细致的工作。同时,还要感谢本专刊的各位特约评审专家,正是他们严谨的态度和无私的奉献提升了本专刊论文的水平并保证了本专刊的高质量出版。最后期望本专刊能够对新型电力系统动态特性的理论研究及相关工程实践起到促进和推动作用。

2022年7月8日