

高效光伏发电功率变换及其系统适应性专辑 特邀主编评述

张 兴,张纯江
(合肥工业大学,燕山大学)

近年来,太阳能光伏发电技术有了突飞猛进的发展,尤其是光伏并网的大规模应用以及分布式光伏和微电网技术的兴起,光伏发电中诸多问题形成了研究热点并受到业界和学界的关注。如对于光伏逆变器的高效化,这几年从系统结构、电路拓扑和控制策略等多方面进行了积极有效的探索研究;并且,随着 SiC、GaN 等宽禁带器件的技术突破和商业化,也从高功率密度化和高效化等方面推进了光伏逆变器的技术革新;而对于大规模光伏发电系统,光伏逆变器的 MPPT 算法、孤岛检测技术、谐振抑制以及电网适应性控制等方面也取得了一定的研究进展;另外,随着微电网和分布式光伏发电的应用与发展,微电网或弱电网中光伏逆变器的稳定和经济运行也有了一定的研究成果。

因此,为了集中展现光伏逆变器在高效化、宽禁带器件应用、复杂环境下系统适应性控制等方面的最新研究成果和进展,《电源学报》特别推出“高效光伏发电功率变换及其系统适应性”专辑。

专辑征文得到了各高校和企业同行的大力支持与积极响应,经过认真细致的评审,收录 13 篇论文。其中,微逆变器控制方面 2 篇,PV 均衡器建模方面 1 篇,碳化硅器件应用方面 1 篇,光伏发电最大功率点跟踪方面 2 篇,孤岛检测方面 2 篇,锁频环设计方面 1 篇,逆变器并网控制方面 3 篇,微网控制方面 1 篇。

组件级功率变换器由于可实现对每个 PV 模块的最大功率跟踪,极大地提高了系统的发电量,成为近年来研究的热点课题,微逆变器和 PV 均衡器是其中两类重点研究变换器。西华大学杨波勇等针对传统的交错反激型微逆变器存在的原边电流峰值与变压器体积、损耗较大的问题,提出了一种基于原边峰值电流控制且电感电流断续模式(DCM)的自适应控制策略,该策略可根据负载大小变化自动调节开关频率,在减小峰值电流的同时最大程度上减少开关次数,减小开关损耗,从而在减小原边电流峰值的同时保证系统效率并实现较小的电流谐波畸变率(THD)并网,其研究成果对于提高微逆变器的效率有一定参考价值。北方工业大学张卫平等针对传统 PV 均衡器的数目随着 PV 模块的数目增加而

增加,导致其系统的结构复杂和成本增加的问题,提出了一种单输入-多输出隔离型 DC/DC 变换器的拓扑结构,实现了每个 PV 模块仅需要一个功率开关,大大降低了成本。

近年来, SiC MOSFET 器件因具有更快的开关速度和更低的开关损耗等特点而受到关注。但在高开关频率场合,其开关损耗随着开关频率的增加亦快速增长。为进一步提升碳化硅 MOSFET 逆变器的功率密度,浙江大学何宁等提出了一种采用软开关技术的碳化硅 MOSFET 逆变器,这种逆变器不仅能够维持较高的转换效率还能取得更高的功率密度,为 SiC 器件在光伏逆变器中的应用提供了一种新思路。

最大功率点跟踪控制能够最大限度地获得光伏组件输出的直流电能,提高光伏并网发电系统的能量转换效率,一直以来都是光伏发电系统的重点研究方向之一。湖南第一师范学院郑明才和湖南大学赵小超等提出了一种 Boost 结构太阳能收集电路的 MPPT 控制方法,通过实时检测光伏电池等效状态和收集电路等效负载确定 Boost 电路的最优占空比,迫使收集电路实时工作在光伏电池的 MPPT 工作点附近,达到尽可能提高太阳能电收集效率的目的。湘潭大学蔡兴龙和马铭磷等针对光伏阵列获取最大功率点过程动态响应速度和稳态跟踪精度二者之间不能达到平衡,提出一种基于分数阶极值搜索控制的光伏阵列最大化功率点跟踪方法,与整数阶极值搜索控制相比,所提方法能够降低最大功率点附近的振荡,提高了系统的鲁棒性和整体的收敛性,减少功率损失,提高光伏阵列的转化效率。

分布式并网发电系统的大规模并入使得孤岛效应成为目前一个广受关注的课题,研究孤岛的检测方法对于促进新能源电力系统的可持续发展具有重要意义。合肥工业大学刘宁等提出了一种新的基于信号能量谱分析 ESA (energy spectrum analysis,) 的孤岛检测方法,该方法在分布式发电单元与本地并联谐振负载间存在功率匹配,传统过/欠电压、过/欠频率方法落入盲区时仍可有效识别孤岛,且不易受系统暂态过程影响。燕山大学袁精等提出了一种改进型主动式孤岛检测方法,通过建立加入正/负偏移相位后逆变器在孤岛运行时公共耦合点电压的角频率与负载品质因数、负载

谐振角频率及所加偏移相位之间的函数关系,并设计出消除检测盲区的正/负相位偏移参数,该方法的优点是可降低主动式孤岛检测方法对电能质量的影响。

随着光伏发电的应用越来越广泛,光伏发电系统与电网之间的相互影响已不容忽视。辽宁工程技术大学周立等针对基于双二阶广义积分器的锁频环需要进行复杂的坐标变换才能实现正、负序分离的问题,提出了一种基于一阶广义积分器的锁频环技术,可实现在电网电压不平衡、谐波干扰的情况下快速跟踪电网频率。

对于大规模高渗透的光伏并网系统,其谐振等问题给系统的稳定可靠运行带来了极大挑战。合肥工业大学李明等分析了在高电网阻抗的弱电网情况下传统直接电网电压比例前馈控制导致并网逆变器稳定性下降的原因,通过基于加权系数的电网电压前馈控制策略来提高并网逆变器的相位裕度,并针对出现的基波增益下降问题,通过调整系统闭环增益的方式来提高并网逆变器基波跟踪性能。

另外,随着微电网技术的应用与发展,微电网中各分布式发电单元间功率分配和谐波均流等问题已成为当前研究热点。燕山大学张纯江等提出了一种电流直接前馈式均流控制策略来解决各分布式发电系统线路阻抗不平衡时的均流问题,省却了传统下垂控制中所需要的功率计算与电压合成计算,而且可以在确保频率恒为 50 Hz 的前提下实现并联逆变器间的电流均衡,同时提出无滤波器的谐波均流控制,并将其与加入低通滤波器或者是低通滤波器和带通滤波器共同作用的谐波均流算法进行了对比分析。

本专辑论文基本反映了目前国内关于高效率光伏逆变器、系统适应性控制等方面的研究热点问题,有较好的参考价值。希望本专辑的出版对于光伏发电技术发展起到一定的推动作用。最后,由衷感谢各位作者对本专辑的贡献以及各位专家学者在本次专辑征文、投稿和评审过程中给予的大力支持!

特邀主编介绍:



张兴,博士,合肥工业大学电气与自动化工程学院教授,博士生导师。中国电源学会常务理事,中国电源学会新能源电能变换技术专委会副主任委员,IEEE 高级会员,台达环境与教育基金会 2010 年度“中达学者”。

长期从事新能源发电及其电力电子技术的教学与科研工作,领导团队与阳光电源股份有限公司开展了长期而富有成效的产学研合作,实现了光伏并网逆变器、风电变流器等新能源发电关键电力电子装备的产业化,取得了良好的社会效益。



张纯江,博士,燕山大学电气工程学院教授,博士生导师。中国电源学会理事,中国电工学会电力电子学会常务理事,《电源学报》编委。2011 年获“全国教育系统职业道德建设标兵称号”。

研究方向为:电力电子功率变换及系统、光伏风力发电变流器及控制、微电网逆变器运行控制、储能系统功率流控制。

主持 3 项国家自然科学基金项目,参加 2 项国家自然科学基金重点项目。获省部级科技进步奖 2 项,发明专利 6 项,发表学术论文 130 多篇。