

微电网并网逆变器控制策略设计

以直流微电网并网为题,展开直流微电网结构、换流器外环控制和换流器内环控制等直流微电网并网相关研究。根据VSC所接入的交流系统不同,分别进行外环控制功能配置研究以及对应内环控制逻辑研究。在上述分析研究基础上,建立仿真模型及编制对应控制算法,对不同工况下直流微电网并网展开仿真,并对仿真结果展开分析,以验证仿真策略及实现算法的合理性。

孙 筠/湖北第二师范学院物理与机电工程学院



孙 筠/讲师

随着国民经济的发展,人民生活水平的提高,人们对电力资源高效、清洁和安全等方面提出更高要求。目前,国内电力能源主要依靠火力发电供应,而这种方式对空气环境污染较大,且为非再生能源。智能电网技术在此背景下应运而生,而微电网作为智能电网中重要一环,为新能源的开发及利用提供良好途径。

微电网作为一种新能源分布式发电技术、新型电力电子技术、热电冷联技术和储能技术的综合应用,与传统的电力系统相比,在系统发电装置、并网接口以及能量管理方面均有很大不同。如用于微电网发电的风力发电、光伏发电等,其机组容量一般为数千瓦到几十千瓦,其并网方式也受新能源产生方式影响。一般情况下,光伏产生的电能为直流电能,需要通过逆变器接入交流电网,风电产生交流电能,可以直接接入交流电网。而这些新型能源的接入,改变传统交流系统结构,其故障特性对交流系统安全稳定影响较大。因此,对于新能源并网,需要研究一种新的接入方式,使得对传统交流系统造成的影响最小。

柔性直流输电系统,作为一种新型直流输电系统,在满足系统有功功率传输的同时,还能为交流系统电压稳定提供无功功率支撑。此外,其有功功率输出可以满足四象限平滑调节,不受受端交流系统容量限制,能够直接为无源系统供电。将柔性直流输电系统直接应用于微电网系统,在满足功率输送的同时,可以为接入交流系统提供无功功率支撑,同时对受端交流系统影响最小。因此,将新能源通过柔性直流输电系统接入交流电网,对交流系统而言,不失为一种最佳接入方式。

本文提出一种直流微电网配电网模型结构,进行相应控制策略设计,并应用PSCAD/EMTDC进行仿真验证。

微电网模型结构

图1为一简化的直流配电网结构模型。该直流配电网结构为单端直流配电网系统。VSC作为直流电网与交流电网连接的纽带。由图1可知,该直流配网系统结构中接入3种典型类型的能源装置。即光伏供电系统、风电系统以及交流配电网系统。由于光伏系统本身为吸收太阳光能转换为电能的装置,因此,光伏系统所发出的电能通过直流变压器接入直流母线。风电系统是将风能转化为电能系统。由于经过风电转换的电能为交流电能,无法直接接入直流电网,需要将之产生的交流电能逆变为直流电能接入直流母线。图1中所示的交流系统net1和交流系统net2通过逆变器接入直流母线,其接入方式类似风电并网,但又异

关键词/Keywords

直流微电网·
并网·
换流器·
外环控制·
内环控制·

于风电并网，其电能的流动方向为直流系统流向交流系统。该微电网结构中，VSC是其中最核心设备，其控制性能的优劣，直接影响到上述微电网系统功率稳定传输以及受端交流电网的稳定运行。因此，VSC控制器控制功能设计及控制策略设计是该微电网系统稳定运行先决条件。本文将对上述VSC外环控制功能设计及内环控制策略设计进行详细研究。

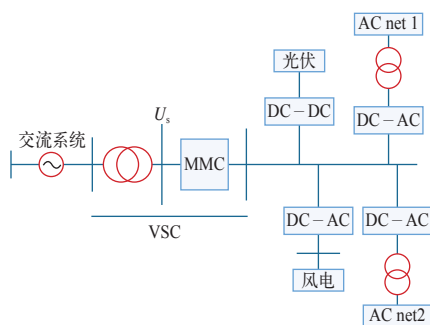


图1 直流微电网配电网结构简图

VSC外环控制功能研究设计

对图1所示的微电网结构模型进行分析可知，该微电网系统是通过VSC完成直流配电网过程的。图1中直流母线所接入3类能源系统能够简要概括直流配网所接入能源类型。如直流新能源接入，该类型接入方式通过直流变压器接入；交流新能源接入，该类型的接入方式通过将交流电能逆变为直流电能接入；交流电网接入，该类型接入方式通过将直流电能逆变成交流电能供用户使用。

为确保上述方式接入电网系统能够稳定运行，首先必须要保证直流母线电网稳定。因此，在具体控制策略实际过程中，上述VSC有功控制模式必须采用定直流电压控制模式。无功控制模式可以选择定交流电压控制模式或定无功功率控制模式，具体控制模式选择依据实际所接入交流系统情况而定。若所接入的交流系统比较弱，为确保交流系统电压稳定，需要依靠换流器为交流系统提供动态无功支撑，宜采用定交流电压控制模式，根据交流母线电压变化情况，换流器动态调整无功功率输出，为交流系统提供容性无功功率或感性无功功率。若所接入的交流系统较强，交

流母线电网稳定，宜采用定无功功率控制模式，依据无功功率参考值大小，向交流系统注入额定容性无功功率或感性无功功率。

本仿真系统通过调整交流系统参数，模拟不同系统强度下，分别进行定无功功率控制器以及定交流电压控制器设计，验证上述控制器在稳态以及动态情况下，无功功率输出能力。因此，在具体VSC控制器控制功能设计过程中，设计定直流电压控制功能、定交流电压控制功能以及定无功功率控制功能。其详细控制器设计分别如图2~图4所示。

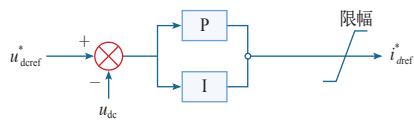


图2 定直流电压控制功能

U_{dcref} —直流电压参考值 U_{dc} —直流电压测量值

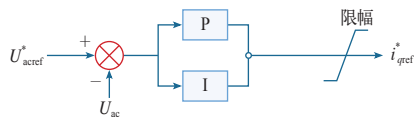


图3 定交流电压控制功能

U_{acref} —交流电压参考值 U_{ac} —交流电压测量值

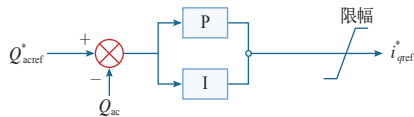


图4 定无功功率控制功能

Q_{acref} —无功功率参考值 Q_{ac} —无功功率测量值

VSC内环控制策略设计

对应VSC内环控制器设计，目前有两个实现方向，即间接电流控制和直接电流控制。对应间接电流控制，假定通过改变换流器调制波相角实现对换流器有功功率控制，通过改变调制波幅值实现对换流器无功功率控制。该类控制器无法实现有功控制、无功控制解耦，动态响应差，对换流器故障抑制能力较差。异于间接电流控制，直接电流控制通过改变注入换流器电流，来实现对换流器有功功率、无功功率控制。在具体实现过程中，通过加入前馈补偿环节以及解耦环节，彻底

实现有功功率、无功功率解耦控制。同时,通过直接控制注入换流器电流,动态响应更快,故障抑制能力更强。因此,本直流配电网系统采用直接电流控制技术。详细内环控制器设计如图5、图6所示。

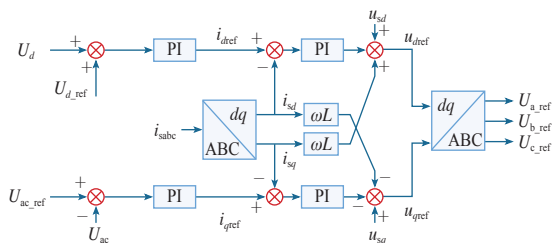


图5 定交流电压控制模式下内环控制器设计

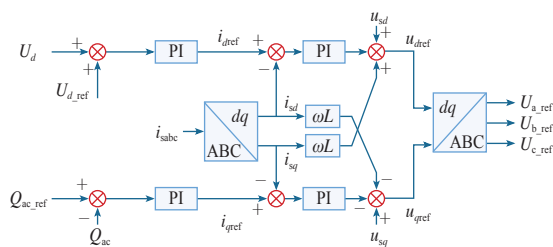


图6 定无功功率控制模式下内环控制器设计

图5为交流电压控制模式下内环控制器设计,有功功率控制模式为定直流电压控制,无功功率控制为定交流电压控制,具体控制器设计包括电压前馈控制以及电流解耦控制。图6为无功功率控制模式下内环控制器设计,有功功率控制模式为定直流电压控制、无功功率控制为定无功功率控制,具体控制器设计包括电压前馈控制以及电流解耦控制。下面,将分别对上述两类内环控制器进行仿真验证。

系统仿真及结果分析

1. 仿真系统搭建

上文对直流微电网模型结构、直流微电网中并网逆变侧控制功能设计及相关控制策略设计进行了详细研究,下面将对上述研究成果进行仿真验证。本次仿真验证工作在电磁暂态仿真软件PSCAD4.2版本上来实现。具体仿真模型搭建分为两大模块,即直流微电网系统搭建、并网逆变器控制功能及对应控制逻辑搭建。上文研究过程

中,根据接入交流电网强弱不同,在具体控制功能设置上采用不同控制算法来完成,对应弱交流系统,采用定交流电压控制策略完成,对应强交流系统,采用定无功功率控制策略来完成。因此,本仿真系统具体实现过程中,分两类情况来完成仿真系统搭建,即强交流系统仿真模型搭建及控制逻辑设计;弱交流系统仿真模型搭建及控制逻辑设计。

2. 仿真结果分析

按照上述分析,搭建两套仿真模型,分别对应强交流系统微电网并网仿真、弱交流电网并网仿真。图7为稳态情况下直流电压、交流电压和无功功率输出波形;图8为强交流系统,无功动态输出波形;图9为弱交流系统,交流电压动态输出;图10为直流电压动态输出波形。

图7为稳态运行过程中,直流电压、交流电压和无功管理输出波形。交流电压为按照标么值方式表征。稳态运行过程中,上述受控参量输出稳定,无波动。

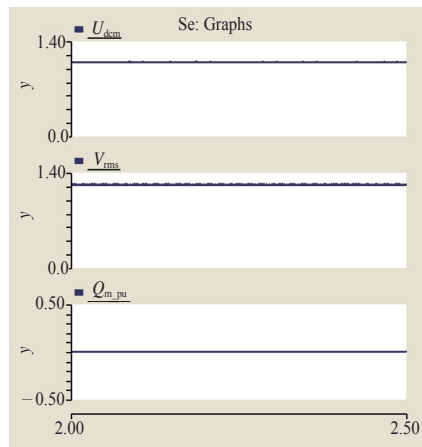


图7 稳态下直流电压、交流电压、无功输出

U_{dcm} —直流电压标么值 V_{rms} —交流电压标么值 Q_{m_pu} —无功功率标么值

图8为接入强交流系统状况下,该微电网无功阶跃输出波形。上述仿真是在无功控制采用定无功功率控制下仿真完成的。稳态情况下,无功输出为零,2.5 s时刻,无功输出功率参考值阶跃变化,要求VSC输出感性无功功率。对图8分析可知,无功控制器快速响应参考值的变化,跟随无功参考值的变化,输出感性无功功率,并迅速稳

定在新的参考值处。交流电压受感性无功输出的影响,交流母线电压降低。

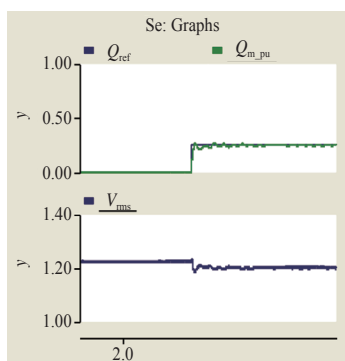


图8 定无功功率控制下,无功动态变化输出

V_{rms} —交流电压标么值 Q_{m_pu} —无功功率标么值
 Q_{ref} —无功功率参考标么值

图9为接入弱交流系统情况下,该微电网交流电压阶跃输出波形。该仿真结果是在定交流电压控制模式下完成的。对图9分析可知,交流电压阶跃变化前,交流电压无波形、VSC换流器输出稳定。1.5 s时刻,交流电压参考值阶跃变化,交流电压控制器迅速响应交流电压参考值的变化,为交流系统提供容性无功功率,交流电压迅速调制到阶跃后新的电压参考值处。

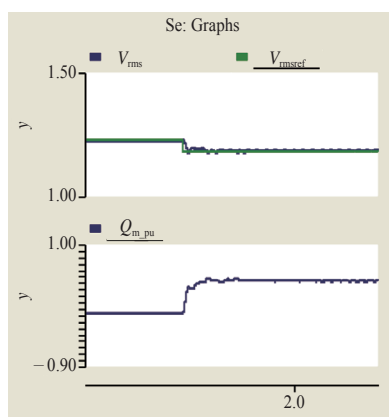


图9 定交流电压控制模式下,交流电压动态输出

V_{rms} —交流电压标么值 V_{rmsref} —交流电压参考标么值
 Q_{m_pu} —无功功率标么值

图10为定直流控制模式下,直流电压阶跃变

化。定直流电压控制为有功功率控制模式,用于稳定VSC直流母线输出电压。对图10分析可知,稳态运行过程中,直流输出电压输出稳定,其值稳定在直流电压参考值附近。直流电压参考值阶跃变化后,直流电压控制器迅速响应电压参考值的变化,跟随直流电压参考值的变化,将直流电压稳定在新的直流电压参考值处。

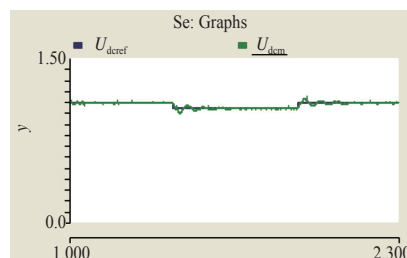


图10 定直流电压控制模式下,直流电压动态输出

U_{dcref} —直流电压参考值 U_{dcm} —直流电压实际值

综合上述仿真结构,无论强交流系统还是弱交流系统情况下、稳态还是动态情况下,对应的无功功率控制器、交流电压控制器均能动态实现对无功功率控制、交流电压控制。仿真结果符合预期目标。

结束语

本文以直流微电网配电网为主题,进行直流微电网配电网分析,指出VSC换流器是实现直流微电网核心设备,其安全稳定运行直接影响直流微电网系统稳定运行。依据VSC换流器所接入交流系统强弱不同,分别进行外环控制设计以及相关详细内环控制逻辑设计。最后,在上述工作基础上,在PSCAD上建立直流微电网模型,并分类进行控制器搭建,分别在稳态模式下和动态模式下,对控制器进行仿真,并对仿真结果进行仿真分析。结果表明,本文所提出控制策略能够适应于直流微电网并网应用,对以后实际直流微电网并网工程具有实际指导意义。

(收稿日期:2014-12-10) **EA**