分布式电源对配网冲击影响仿真测试

文/国网山东临沂供电公司　石增辉　亓富军　程如同　田纪法

分布式电源包括光伏电源、风力发电机、微型燃气轮机和蓄能电池等。其具有投资省、发电方式灵活以及与环境兼容等特点；又具有传统电力系统无可比拟的可靠性和经济性。近年来，在可持续发展和国家能源战略影响下，越来越多的分布式电源被应用于现代电网。临沂地区风能和光照资源丰富，为分布式发电技术的发展提供了良好的先天条件。

分布式电源对配网的冲击影响

（1）传统的配电网是辐射式网络，潮流的流向是自发电厂侧流向负荷侧。而分布式电源并网后，潮流的流向可能会发生变化，即可能从原负荷侧流向配电网。因此，需要对分布式电源并网后的短路故障电流和并网前做一比较，以判断故障电流的变化，同时以此为依据，重新设定保护限值或采用新的自适应保护装置以应对分布式电源接入对系统造成的影响。

（2）分布式电源满足自有负荷能量外，剩余电源负荷流向配电网，使得系统电压产生波动，其可分为暂态电压波动和稳态电压波动。波动可能使得系统出现运行过电压，所以，需要对分布式电源对系统电压造成的影响冲击进行深入分析，为电网实际运行提供依据。

（3）分布式电源并网后对电压骤降造成的影响。电压暂降的幅值、持续时间和相位跳变是表征电压暂降的三个最重要特征量。本文通过短路故障情况分析系统的电压骤降。

（4）分布式电源对谐波和无功功率补偿的影响。分布式电源通常通过电力电子装置将电源与常规配电网并网运行，将产生大量谐波，对电能质量会有较大干扰。因此要对并网前后的谐波情况进行分析。

（5）孤岛效应。分布式电源与大电网的并列运行将引起一系列需要解决的问题，其中最重要的一个问题即为孤岛运行状态的检测，孤岛检测是分布式电源并网时必须解决的技术问题。此次并网的分布式电源为1 MW的光伏电站和48.5 MW的太平山风电场。因此并网时必须解决可能存在的孤岛运行问题。

模型搭建、研究内容及方法

为了研究分布式电源并网前后对临沂配电系统造成的冲击，以配电网中新能源发电为例，首先搭建光伏电场和风电场的仿真模型以及临沂电网的模型。根据搭建的模型，进行不同分布式电源不同自带负载水平的并网实验，得到并网瞬间不同负载比的情况下，对电网造成的冲击水平。同时验证分布式电源并网达到稳态时，分析电网电压的水平和并网前后主要量测点的谐波含量。之后对沂水站和穆棱站的主变压器出口的进行单相接地、相间短路、两相短路接地和三相短路接地故障，采集数据分析并网前后短路电流的变化。同时，采集分布式电源并网后在不同时刻短路时各个观测点不同时刻的短路电流，分析最大短路电流与短路时刻的关系。最后，分析分布式电源与配电网断开后的运行情况，即孤岛运行，根据采集的电压、电流的谐波失真度判断分布式电源是否处于孤岛运行状态。

1. 双馈风电机组模型的搭建

双馈风电机组模型的主仿真电路如图1所示。

系统侧母线为110 kV等级电压，短路容量为1 795MV·A，中间经主变压器SFZ10－50000/110/35、16 km的LGJ－240/40架空导线等进行连接。通过设置仿真参数，进行仿真，以便观测定子侧输出电压和电流的波形。

2. 光伏并网模型搭建

光伏并网模型的主仿真电路如图2所示。

对此系统进行运行仿真得到一系列的仿真结果。仿真结果如下：

（1）当照度不变时（照度S＝400 W/m^2）

由图3可见，此光伏并网发电系统的光伏阵列输出电压，经过一个暂态的上升过程后，趋于稳定，并

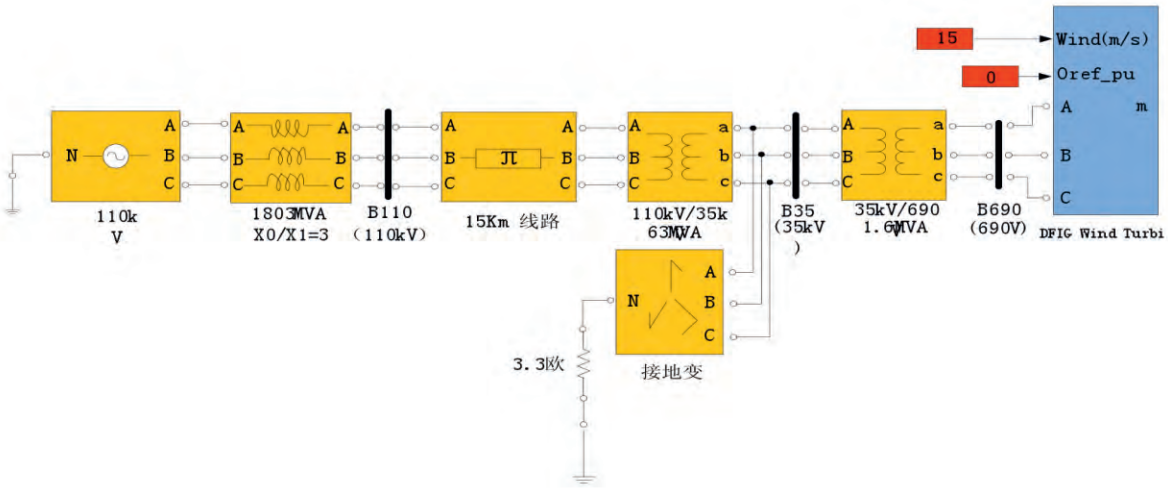

图1　单台风机试验主电路图

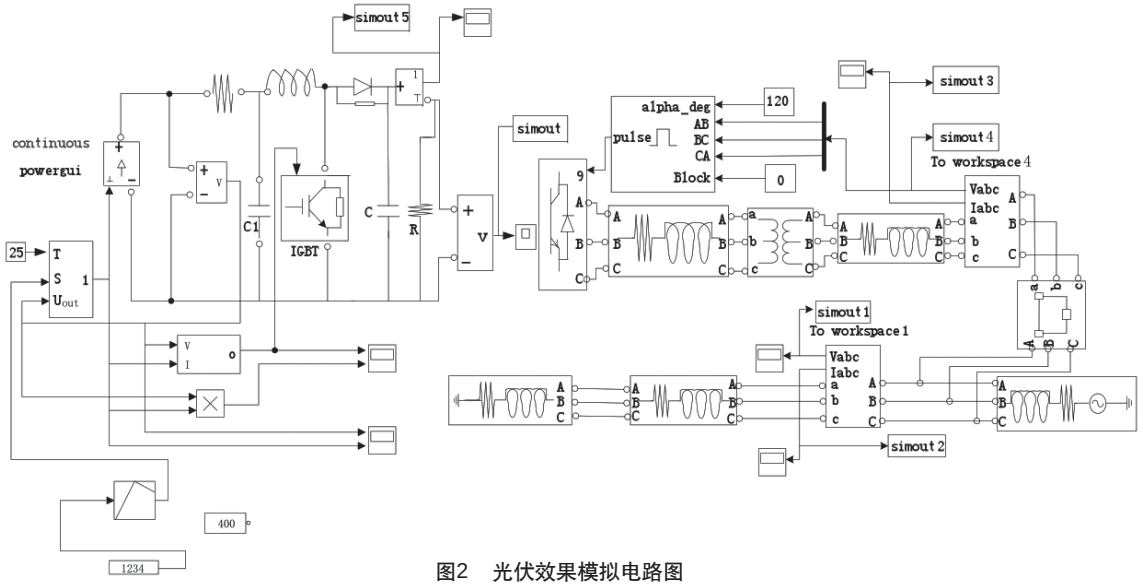

图2　光伏效果模拟电路图

最终稳定在540 V左右。

（2）当照度变化时

由图4可见通过对对光照变化和不变化时这两种情况下的仿真结果的比较，可以看出此模型实现了光照变化时的最大功率跟踪,而且效果非常良好。

3. 临沂电网模型搭建

根据临沂电网主线路的架构，搭建的主电路模型如图5所示。

图5中对临沂电网沂水站、穆棱站及相关网络结构进行了短路参数等效。黄色模块为封装的各变电站的主变以及负荷。另外，可以看到在沂水和穆棱站分别有待接的端口，其主要为光伏电站和风电站的接口。

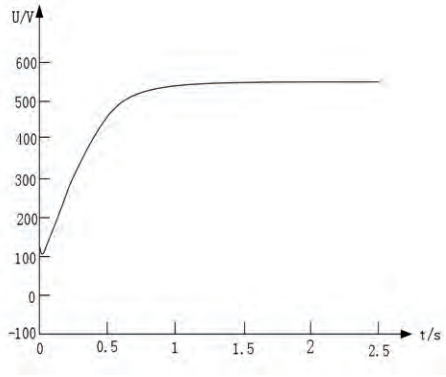

图3　当照度不变时光伏阵列输出电压变化曲线图

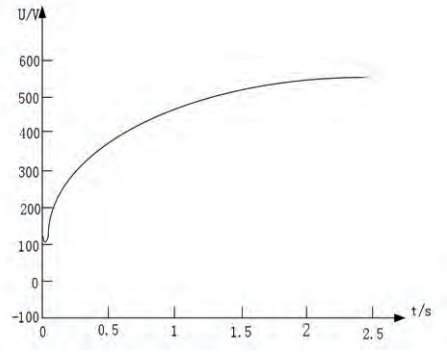

图4　当照度变化时光伏阵列输出电压变化曲线图

4. 电压及谐波仿真实验结果

根据搭建的光电模型、风电场模型和临沂电网的模型，将其组合，即实现分布式电源的并网。可以得到光伏和风电场并网瞬间对电网电压的冲击。图6、图7中横轴代表相应分布电源并网时对系统电压

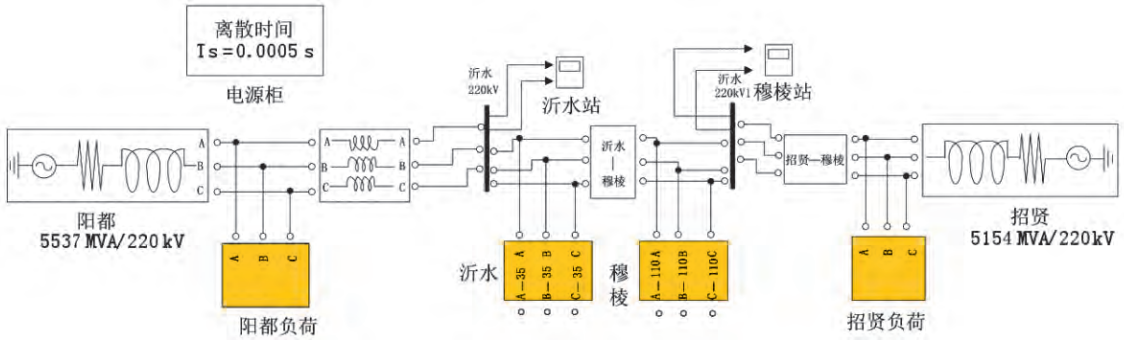

图5　临沂电网主网模型图

冲击的时间，单位为秒；纵轴代表冲击电压与稳态电压的比值，以便于比较对系统的影响。W1P1为风电光伏电场各带60%的负荷的电压冲击效果图；W2P2为风电光伏电场各带65%的负荷的电压冲击效果图；W3P3为风电光伏电场各带70%的负荷的电压冲击效果图。

从图6、图7中可以看出，并网瞬间，分布式电源对电网电压的暂态冲击比较明显。运行中甚至可能出现过电压，尤其是分布式电源的容量较大时，如本项目中涉及到的48.5 MW的太平山风电场的并网点穆棱站#2主变压器110 kV侧，其暂态电压超过正常水平的10%，实际运行当中，应注意考虑大容量分布式电源对电网电压的冲击。在稳态情况下，分布式电源接入后，其稳态运行电压的抬升水平远小于暂态运行时的电压冲击。直接采用逆变器并网的光伏电站和间接采用逆变器并网的风电场接入电网前后，可知并网后其电压电流的谐波失真度均有提高，尤其是光伏并网点的电流频谱有并网前得0.57%升至3.2%。因此，有必要采取谐波和无功补偿装置进行谐波滤除和无功功率的补偿。

5. 孤岛仿真实验结果

分布式电源并网时与系统直接相连接，并网点的电压受制于配电网络，故正常运行时谐波失真度不是很高；而孤岛运行时，其电压有

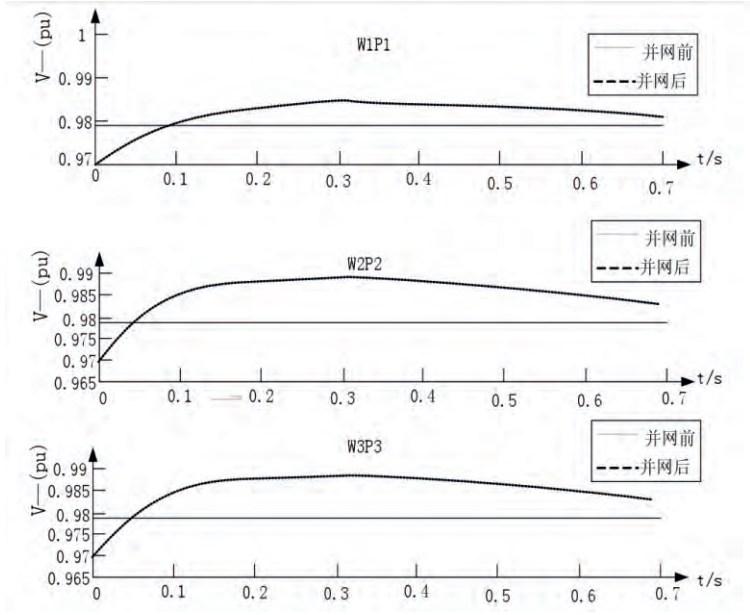

图6　光伏并网点——并网瞬间电压冲击图

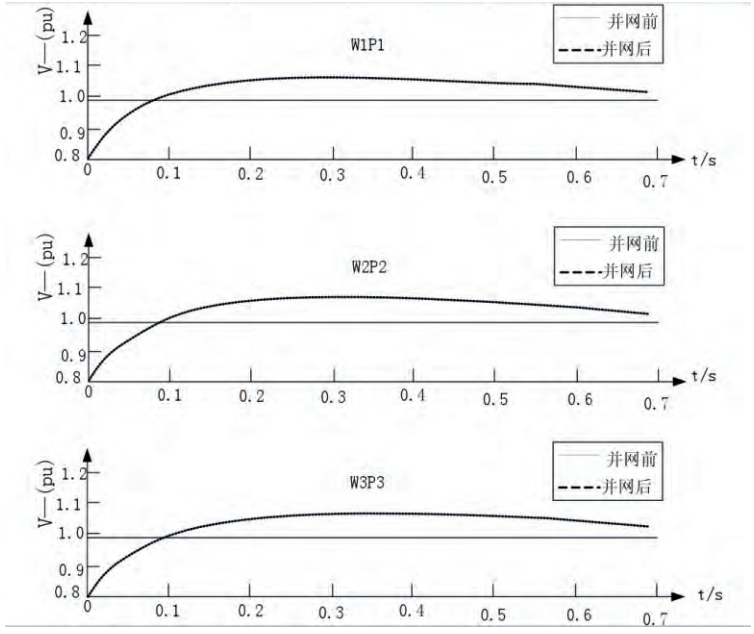

图7　风电并网点——并网瞬间电压冲击图

逆变器输出电流和负载的性质共同来决定。图8、图9为风电、光伏电站孤岛运行时电压、电流失真示意图，其纵轴THDv（%）表示相应电压谐波含量百分比，THDi（%）表示相应电流谐波含量百分比；横轴表示时间，单位为秒。通过仿真分析，可得到谐波电压电流随时间变化分布情况，以及分布式电源在不同负载比情况下的电压、电流失真度。

图中蓝色实线是风电与电网断开前后所带负荷为40 MW时的电压、电流谐波含量百分比波形图；红色虚线是风电与电网断开前后所带负荷为50 MW时的电压、电流谐波含量百分比波形图；蓝黑色虚线是风电与电网断开前后所带负荷为60 MW时的电压、电流谐波含量百分比波形图。从中可以明显看出，在0.5 s前分布式电源与电网相连时，其电压电流的谐波失真度都比较低，而与电网断开瞬间，其电压和电流的谐波失真度明显上升，尤其是电流谐波失真度上升速度更快。在大多数情况下，通过谐波失真度的测量可以识别分布式电源的孤岛运行，而在负载与分布式电源的容量相匹配时，其谐波失真度变化相对来说不是很明显，此时也给孤岛运行造成一定得困难。

图9所示为光伏电站出现孤岛运行时的谐波失真度。从中可以看出，在0.35 s前分布式电源与配电网相连，电压受制于配电网络，其电压失真度比较低，而与电网断开后，其电压谐波失真度明显地上升，而电流的谐波失真度变化不是很明显，因此可通过电压谐波失真度的变化分析来判断光伏电场的孤岛运行状态。

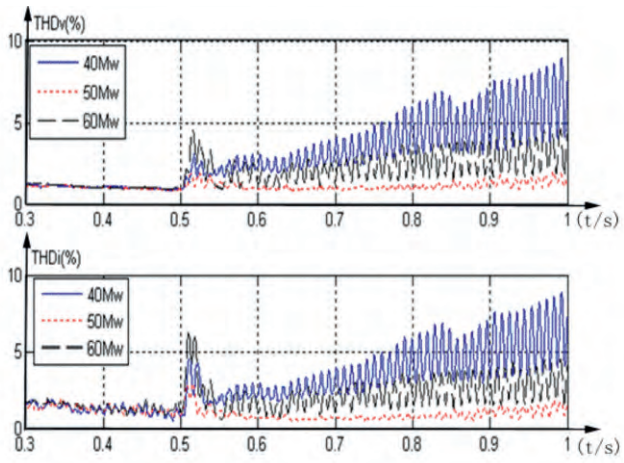

图8　风电孤岛运行电流电压失真示意

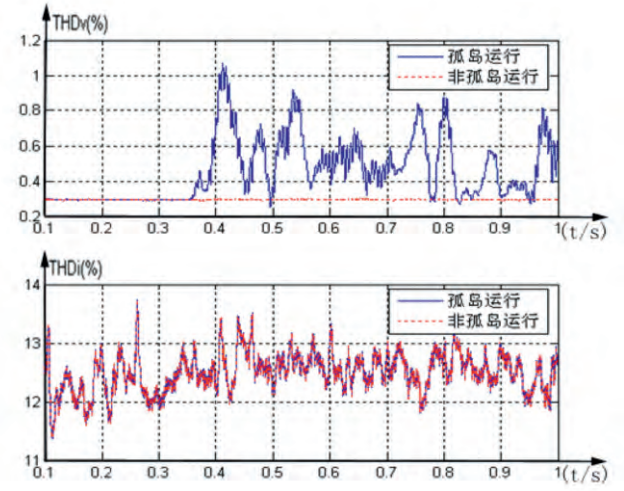

图9　光伏电站孤岛运行电流电压失真示意图

以上是基于临沂电网分布式电源分布特点情况而进行的分析与探讨，临沂地区蕴含丰富的风能、太阳光照资源，在风力发电、光伏发电发面有着得天独厚的优势，中广核、华能等发电集团已在临沂地区投建数个风力发电场，位于费县郊区的巨皇太阳能发电场也已于2013年并网发电；西部工业区具有全国最大的板材生产基地，板材生产所产生的海量木材垃圾为生物能电厂提供了充足的燃料，先后吸引了国能生物、中环新能源等数个生物能发电厂在临沂落户，加之开发区、高新区一些耗能企业自备余热发电厂，临沂电网的分布式电源可谓种类齐全且均具有一定规模，是一个鲜有的典型分布式电源电网，因此分析与研究分布式电源对于临沂配电系统的冲击具有典型而深远的意义，对于分布式电源尤其是新能源的建设具有一定的指导意义，为国内其他地区电网的分布式电源规划与建设具有指引与参考作用。

结束语

通过比较分布式电源并网前后系统的电压、谐波、短路电流等参数，可发现并网后系统调压变得复杂化，电压提升明显、谐波含量增高，短路时系统电压水平得到明显改善，另外，孤岛运行也是分布式电源并网后需要考虑的问题。根据测试结果临沂供电公司出台了相关措施，鼓励发电企业加大对谐波治理和无功补偿的投入，通过一年多的实践证明收到了良好效果，保障了整个地区电网的安全、可靠、经济稳定运行。EA