新能源联网经常规直流送出系统

# 场景描述

新能源联网经常规直流送出系统场景为等值电网与新能源发电经LCC常规直流送出。可用于分析新能源联网经直流送出场景下，新能源机组控制、并网条件及与常规直流耦合情况对系统稳定性的影响。

# 模型情况



图 2‑1新能源联网经常规直流送出系统拓扑

新能源联网经常规直流送出系统算例共176三相交流节点，108单相电气节点。

（1）电源模型及参数

新能源场站包括直驱风电场及光伏电站两部分。其中，直驱风电场站内等值3条汇集线，每条汇集线由4.5MW单机平均值模型通过无损倍乘元件等效9台单机组成，场站共等效27台风机，总装机为121.5MW。光伏电站内等值一条集电线，由0.5MW单机平均值模型通过无损倍乘元件等效100台单机组成，总装机为50MW。风机单机控制模型包括风功率部分、轴系部分、桨距角部分、转矩控制部分、正常有功无功控制部分，低电压穿越部分、高电压穿越部分、电流控制部分等；光伏单机控制模型包括正常有功无功控制部分，低电压穿越部分、高电压穿越部分、直流电压控制部分、电流控制部分等。机组相关参数见下表所示。

表 2‑1 机组相关参数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 风机参数 | 参数值 | 光伏参数 | 参数值 |
| 额定电压/kV | 0.69 | 额定电压/kV | 0.27 |
| 额定频率/Hz | 50 | 额定频率/Hz | 50 |
| 单机额定功率/MW | 4.5 | 单机额定功率/MW | 0.5 |
| 直流母线电压/V | 1000 | 直流母线电压/V | 800 |
| 直流母线电容/μF | 28860 | 直流母线电容/μF | 7200 |
| 交流滤波电感/mH | 0.0375 | 交流滤波电感/mH | 0.12 |
| 交流滤波电容/μF | 2000 | 交流滤波电容/μF | 1200 |

（2）SVG模型及参数

SVG为额定容量12.5MVar单机的三台扩容等值模型，总容量37.5MVar，额定电压35kV，额定频率50Hz，采用定电压控制模式。

（3）直流模型及参数

表 2‑2 直流系统关键参数

|  |  |
| --- | --- |
| 参数 | 参数值 |
| 额定功率/MW | 353 |
| 额定直流电压/kV | ±400 |
| 额定直流电流/A | 882.5 |
| 直流线路电阻/Ω | 17.79 |
| 直流线路电感/mH | 942 |
| 整流侧正常触发角/(°) | 15.009 |
| 逆变侧正常触发角/(°) | 36.770 |

（4）变压器参数

表 2‑3 变压器参数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 风机箱变参数 | 参数值 | 光伏箱变参数 | 参数值 | 场站主变参数 | 参数值 |
| 额定容量/MVA | 5 | 额定容量/MVA | 0.527 | 额定容量/MVA | 200 |
| 额定电压(高压侧)/kV | 35 | 额定电压(高压侧)/kV | 35 | 额定电压(高压侧)/kV | 230 |
| 额定电压(低压侧)/kV | 0.69 | 额定电压(低压侧)/kV | 0.27 | 额定电压(低压侧)/kV | 37 |
| 接线组别 | D11yn | 接线组别 | Dyn | 接线组别 | D11yn |
| 短路损耗/kW | 49 | 短路损耗/kW | 4.64 | 短路损耗/kW | 398.9 |
| 短路电压/% | 7 | 短路电压/% | 8.71 | 短路电压/% | 13.7 |
| 空载损耗/kW | 4.6 | 空载损耗/kW | 0.483 | 空载损耗/kW | 87.6 |
| 空载电流/% | 0.45 | 空载电流/% | 0.11 | 空载电流/% | 0.081 |
| 整流侧换流变参数 | 参数值 | 逆变侧换流变参数 | 参数值 |  |  |
| 额定容量/MVA | 176.5 | 额定容量/MVA | 176.5 |  |  |
| 额定电压(高压侧)/kV | 227.8 | 额定电压(高压侧)/kV | 383.8 |  |  |
| 额定电压(低压侧)/kV | 159 | 额定电压(低压侧)/kV | 170 |  |  |
| 接线组别 | Yy | 接线组别 | Yy |  |  |
| 短路电压/% | 14 | 短路电压/% | 14 |  |  |

（5）线路参数

表 2‑4 线路参数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 描述 | 电阻 | 电感/H | 电容/μF | 类型 |
| 1 | 等值网络传输线 | 0.370 | 0.022982 | 0.140 | 分布参数线路 |
| 2 | 新能源场站送出线 | 0.600 | 0.01866 | 0.246 | 分布参数线路 |
| 3 | 风电场集电线1 | 0.671 | 4.94972e-6 | 0.244 | π型集中参数线路 |
| 4 | 风电场集电线2 | 0.671 | 4.94972e-6 | 0.244 | π型集中参数线路 |
| 5 | 风电场集电线3 | 0.671 | 4.94972e-6 | 0.244 | π型集中参数线路 |
| 6 | 光伏电站集电线 | 0.336 | 2.47486e-6 | 0.122 | π型集中参数线路 |
| 7 | 等值网络 | 10 | 0.28 | Inf | RLC等值线路 |
| 8 | SVG | 0.1225 | 0.1225 | Inf | RLC等值线路 |

# 特性分析

风电同时率70%，光伏同时率90%时，系统稳定运行。设置1s时光伏场站内部35kV母线发生100ms三相接地故障。新能源场站并网点35kV母线电压、电流以及有功功率波形及频谱分析结果如下图所示。

 

图 3‑1 35kV母线电压及频谱

 

图 3‑2 35kV线路电流及频谱

 

图 3‑3 有功功率及频谱

如图所示，对于新能源联网经常规直流送出系统，当发生三瞬故障并清除后，系统振荡失稳。由FFT分析可知电压、电流振荡频率约为79Hz和21Hz，频率加和为2倍工频，有功功率对应29Hz振荡，振荡呈现次/超同步强耦合现象。

分析可知振荡是由于故障后新能源机端电压不稳定，频繁进出高低电压穿越控制所致。设置4s时切除光伏场站可有效抑制振荡，如下图所示。



图 3‑4 光伏机组高/低电压穿越标志位



图 3‑5 电气量曲线