

南京西环网装设 UPFC 装置的主设备容量优化选择

甄宏宁¹, 梁志瑞², 王莹¹, 王震泉¹, 张诗滔¹

(1.江苏省电力设计院,江苏南京 211102;2.华北电力大学,河北保定 071000)

摘要:为了解决近期及未来南京主城区 220 kV 西环网存在输电通道瓶颈的问题,电力规划部门决定采取在电网中串接统一潮流控制器(UPFC)的措施。文中结合当地电网实际情况提出了 UPFC 容量选择的方法和思路。借助电力系统综合分析程序(PSASP),通过潮流稳态计算,进行了 UPFC 容量对提升南京西环网供电能力的敏感性分析,并且提出了 UPFC 最优容量选择。

关键词:UPFC;南京西环网;容量选择

中图分类号:TM744

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2015)06-0018-05

为解决南京江南城区 220 kV 西环网长期存在送电能力不足问题,改善局部输电通道正常运行方式下重载、重要线路 N-1 过载的情况,规划和运行部门经过多种方案比选,决定采取在 220 kV 西环网合适的位置安装统一潮流控制器(UPFC)的措施。根据电网规划研究,随着南京地区负荷的增长以及 220 kV 电网的建设发展,“十三五”初期至“十四五”末期间,均需要 UPFC 装置在南京 220 kV 西环网中起到限制送电通道潮流越限的作用。本文对南京 220 kV 西环网中的装设 UPFC 的主设备容量(主设备指的是 UPFC 串联换流成套装置及相应串联变压器)进行计算分析,对 UPFC 自投产后到“十四五”期间在电网中运行所需的容量提出优化选择^[1]。

1 南京西环网装设 UPFC 工程

南京江南主城区 220 kV 电网呈双链式环网结构。220 kV 西环网为 500 kV 龙王山变以西至 500 kV 秦淮变以北部分,主要供电范围是南京老城区的重要负荷中心。现状及远景年西环网主要结构如图 1、图 2 所示。2014 年,南京地区总负荷约 8460 MW,其中 220 kV 西环网供电负荷约 2200 MW。由于南京主城环网的电源、负荷分布不均,220 kV 西环网中部潮流自然分界点以北的主要输电通道存在潮流过重问题,自东向西通过西环网内 220 kV 晓庄变南送下关变、中央门变断面潮流过重情况尤为突出,现状及未来成为制约整个西环网输电能力的瓶颈,从而最终影响南京电网整体供电能力和安全可靠水平。

电网规划和调度运行部门通过多方案比选,最终决定采用技术和经济性最优的在 220 kV 电网中串联 UPFC 装置的措施解决西环网输电瓶颈问题。根据设计单位现场踏勘和初步计算,确定将 UPFC 安装在铁北 220 kV 开关站,UPFC 串联入晓庄—铁北双回线路

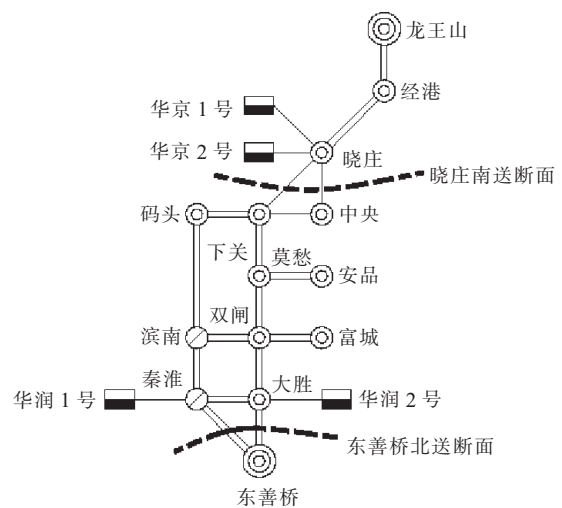


图 1 现状南京 220 kV 西环网系统结构图

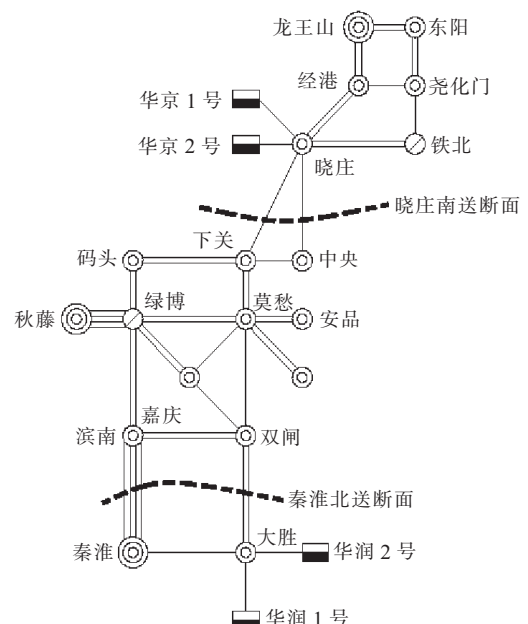


图 2 远景年南京 220 kV 西环网系统结构图

中,通过控制该输电断面的潮流大小以保证整个西环网中相关 220 kV 线路在正常运行方式下不过载,在线路 N-1 方式下输送潮流不越限^[2]。

2 基于 PSASP 的 UPFC 稳态计算方法

本文通过电力系统综合分析程序(PSASP)结合南京 220 kV 电网实际参数,使用简化的等效稳态计算方法,忽略 UPFC 的有功损耗,按 UPFC 同时控制母线电压和线路功率的条件,在电网仿真潮流计算中加入 UPFC 模型。通过稳态潮流计算,考察相同电网结构和负荷水平下不同容量的 UPFC 装置对电网潮流改变能力并找到符合运行要求的最小必须容量。

2.1 UPFC 串联侧改变线路功率的向量图

UPFC 通过串联变压器在电路上产生一个电压源,通过该电压源来改变线路首端的电压幅值和相角,从而改变线路上的功率。忽略串联变压器的电阻后模型如图 3 所示。UPFC 串联侧的向量图如图 4、图 5 所示。

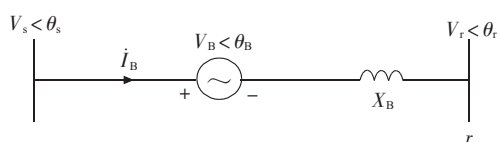


图 3 UPFC 串联接入电网基础模型

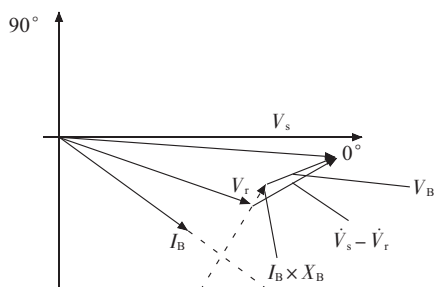


图 4 UPFC 降低线路输送功率向量图

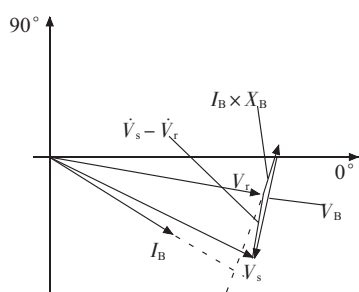


图 5 UPFC 提升线路输送功率向量图

串联变压器消耗的功率:线路侧为 $(V_s - V_r) \times (I_B)^*$, 阀侧的值等于 $V_B \times (I_B)^*$ 。

在降低线路功率时,变压器线路侧功率 > 阀侧功率。 X_B 越大,两者差值越大。

在提升线路功率时,变压器线路侧功率 < 阀侧功率。 X_B 越大,两者差值越大。

串联变压器两侧输出电压:线路侧输出为 $(V_s - V_r)$, 阀侧输出折算到线路侧等于 V_B 。

在降低线路功率时,线路侧电压 > 阀侧电压(折算至线路侧)。 X_B 越大,两者差值越大。

在提升线路功率时,线路侧电压 < 阀侧电压(折算至线路侧)。 X_B 越大,两者差值越大。

通过分析可知,串联变压器消耗无功主要影响所串联线路上的有功变化;串联变压器消耗有功主要影响所串联线路上的无功变化。

2.2 PSASP 计算时的 UPFC 模型

在程序中无 UPFC 模型的情况下,为在潮流计算中体现 UPFC 的作用并估算其所需容量大小,忽略 UPFC 的有功损耗,按 UPFC 同时控制母线电压和线路功率考虑,UPFC 接入电力系统示意图如图 6 所示。

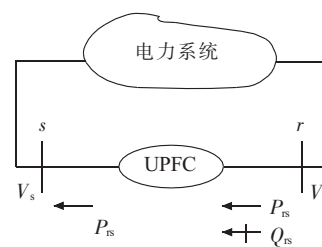


图 6 UPFC 接入电力系统示意图

在稳态潮流计算中,母线 s 的电压 V_s 为设定值,线路上的功率 P_{rs}, Q_{rs} 也是设定值。此时母线 s 的电压幅值和有功都为已知,则可将其看作 PV 节点,等效成一台发电机;母线 r 的流出有功、无功都为已知,所以可以将其看作 PQ 节点,等效成一个负荷,即可得到如图 7 所示的 UPFC 的 Nabavi-Niaki&Iravani 模型。

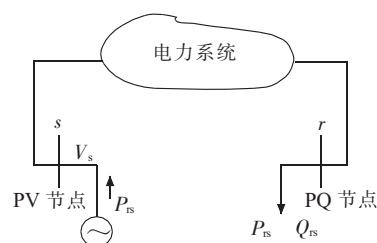


图 7 UPFC 的 Nabavi-Niaki&Iravani 模型

利用该模型进行潮流或最优潮流计算后,可以得到 V_s, V_r 以及 s 端等效发电机的无功出力 Q_{gs} 的值,利用这些已知量可以推算出 UPFC 电压源模型的相关变量,通过计算 UPFC 串联变侧(主要改变线路有功潮流输送能力)的容量以确定 UPFC 成套装置的容量。

3 UPFC 容量选择

UPFC 容量选择是工程设计、设备选择和采购过程中重要的步骤。通过初步研究分析,同等情况下,UPFC 容量的大小决定了改变电网有功潮流分布变化大小^[3]。对于南京 220 kV 西环网 UPFC 应用示范工程来说,容量计算分析和选择的主要制约因素为:

制目标 UPFC 所需要最小容量是 $23.9 \text{ MV}\cdot\text{A}$, 如表 2 所示。

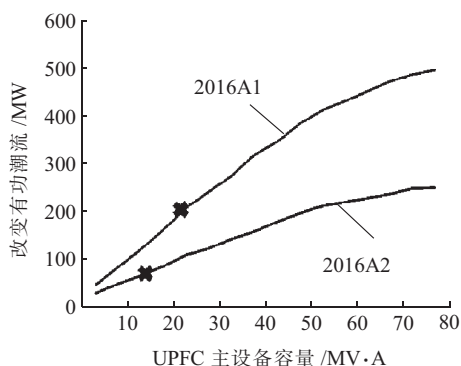


图 9 2016A UPFC 容量-潮流改变量曲线图

表 2 UPFC 所需要最小容量计算结果

编号	故障点	UPFC 控制目标/ $\text{MV}\cdot\text{A}$	UPFC/ $\text{MV}\cdot\text{A}$
2016A1	晓庄南送断面 N-1	另一回线路不超过 520	23.9
2016A2	秦淮北送断面 N-1	另一回线路不超过 520	16
2017A	铁北西送断面 N-1	另一回线路不超过 720	11.4
2017B	晓庄南送断面 N-1	另一回线路不超过 520	21.8
2017C1	铁北西送断面 N-1	另一回线路不超过 720	59.8
2017C2	秦淮北送断面 N-1	另一回线路不超过 520	53.7
2017D1	晓庄南送断面 N-1	另一回线路不超过 520	28.9
2017D2	秦淮北送断面 N-1	另一回线路不超过 520	22.3
2018A	晓庄南送断面 N-1	另一回线路不超过 520	18.1
2018B	晓庄南送断面 N-1	另一回线路不超过 520	26.6
2018C1	铁北西送断面 N-1	另一回线路不超过 720	68.1
2018C2	秦淮北送断面 N-1	另一回线路不超过 520	61.2
2018D1	晓庄南送断面 N-1	另一回线路不超过 520	34.1
2018D2	秦淮北送断面 N-1	另一回线路不超过 520	25.5
2019A	铁北西送断面 N-1	另一回线路不超过 720	17.9
2019B	晓庄南送断面 N-1	另一回线路不超过 520	30.3
2019C1	晓庄南送断面 N-1	另一回线路不超过 520	77.1
2019C2	秦淮北送断面 N-1	另一回线路不超过 520	69.8
2019D1	晓庄南送断面 N-1	另一回线路不超过 520	39.4
2019D2	秦淮北送断面 N-1	另一回线路不超过 520	29.3
2020A	绿博园码头断面 N-1	另一回线路不超过 520	26.6
2020B	晓庄南送断面 N-1	另一回线路不超过 520	0
2020C1	铁北西送断面 N-1	另一回线路不超过 720	43.1
2020C2	绿博园滨南断面 N-1	另一回线路不超过 520	35.7
2020D	晓庄南送断面 N-1	另一回线路不超过 520	35.7
2025A	绿博园码头断面 N-1	另一回线路不超过 520	54.4

通过图 9 曲线可以初步认为 UPFC 的容量越大改变潮流的能力越强, 但是随着容量增大到一定程度后再增大其容量改变潮流的能力提升就很有有限。通过 2016A2 曲线与 2016A1 曲线比对, 由于前者设定的潮流控制目标距离 UPFC 装置装设地点较远, 同等容量的 UPFC 对目标潮流改变的能力不如后者。

根据边界条件中对比 2016A 与 2017D, 2018D 和 2019D, 电网的结构和电源均无变化, 仅西环网负荷的

体量整体上升(负荷分布相同)。根据计算结果(见图 10), 这 4 种边界条件下的 UPFC 容量与改变潮流大小曲线基本一致, 随着西环网负荷的增大, UPFC 改变潮流的目标也逐年增大, 所需的最小容量亦逐年增大。

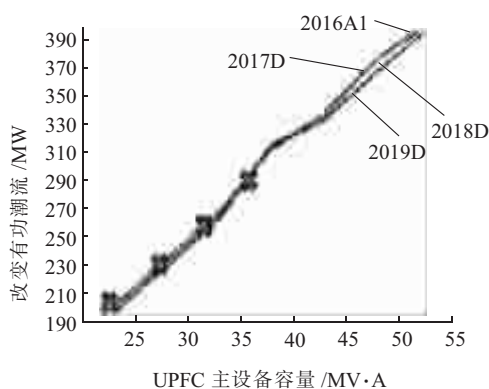


图 10 UPFC 容量-潮流改变量曲线图 1

根据边界条件中对比 2017B 与 2016A, 在电网的结构改变下, 由于秦淮北送第二通道投运, 为 UPFC 控制功率降低了难度, 安装同等容量 UPFC 情况下, 2017B 的改变潮流能力比 2016A 强。同时可以看出由于前者面对西环网的负荷水平高于后者, 故前者所需的 UPFC 最小容量仅比后者小了 $2.1 \text{ MV}\cdot\text{A}$ 。如图 11 所示。

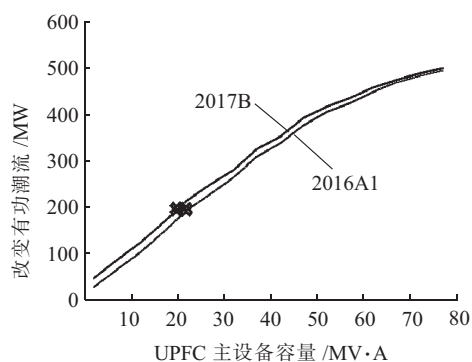


图 11 UPFC 容量-潮流改变量曲线图 2

根据边界条件中对比 2017C, 2018C, 2019C, 较 2016 年投产年电网部分的敏感性电源项目机组退役了, 对 UPFC 的控制目标提出了更高的要求, 铁北西送断面要保持正常方式下较大的潮流水平而该断面线路 N-1 后需 UPFC 控制剩下的一回线路不过载。这 3 种边界条件下的 UPFC 容量与改变潮流大小曲线也基本一致, 如图 12 所示。

随着逐年西环网负荷水平的提升, 逐年对 UPFC 最低容量需求也提升, 分别需要 $59.8 \text{ MV}\cdot\text{A}$, $68.1 \text{ MV}\cdot\text{A}$ 和 $77.1 \text{ MV}\cdot\text{A}$ (最大)(见表 2), 将图 10 与图 12 对比, 图 12 中 UPFC 容量提升 $10 \text{ MV}\cdot\text{A}$ 左右时, 改变潮流的能力仅为 20 MW 左右, 较前者大大缩减, 故认为 UPFC 面对情况较复杂的调节任务时, 一味增大容量不能起到明显的效果。

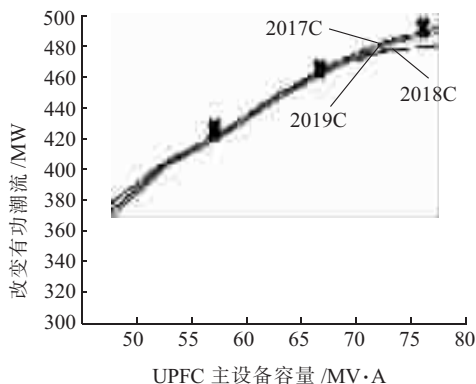


图 12 UPFC 容量-潮流改变量曲线图 3

对 3.1 节各边界条件均进行曲线描述,并找出相应的 UPFC 所需最小容量(见表 2)。可见,随着电网加强工程的积极推进,以及适当延后重要电源的退役时间,各年份边界条件下 UPFC 所需最小容量可以适当降低。

3.3 UPFC 容量选择

综合各边界条件下潮流计算结论和 UPFC 所需最小容量临界值,可见未来一段时期内在最恶劣工况下 UPFC 的容量选取应不低于 77.1 MV·A。但是最终待电网建设工程全部完成后仅需要 54.4 MV·A。针对 2017C,2018C 和 2019C 边界条件下对 UPFC 提出的过高要求,本文建议通过其他手段予以避免。根据表 2 的计算结论,2017A,2017C,2018A,2018C,2019A,2019C 的边界条件下投运了秦淮—滨南第二通道,将 UPFC 所需最小容量分别从 59.8 MV·A,68.1 MV·A 和 77.1 MV·A 减小到了 11.4 MV·A,18.1 MV·A 和 17.9 MV·A。考虑到该工程的实际建设情况有一定阻力,不一定能在 2016 年如期投运,但本文建议仍应该在 2018 年之前完成,即彻底摒除边界条件中的 2018C,2019C 行。

综合分析,UPFC 的容量选择按不低于 59.8 MV·A 考虑,也能满足远景年 54.4 MV·A 的要求。结合向厂家咨询相关设备制造能力可以在经济性允许的情况下做到单套容量 60 MV·A 的 UPFC 交直流环流部分及串联变设备。因此 UPFC 串联变和交直流转换成套装置需安装的最优容量应选择 60 MV·A。

4 结束语

本文按照提出的 UPFC 容量选择方法和思路展开相关研究,基于理论计算,通过敏感性分析并结合当地电网工程的实际情况,对 UPFC 在南京 220 kV 西环网的安装容量提出了最优化选择。该结论可以满足 UPFC 工程投产年及未来长期电网运行需求,较优化前显著降低了 UPFC 的建设容量,合理利用资源,节省了工程主要设备投资。本文对 UPFC 容量的优化选择方式也可在今后同类工程中作为参考。

参考文献:

- [1] 江苏省电力设计院. 统一潮流控制器在南京电网应用工程可行性研究报告[R]. 2014.
- [2] 江苏省电力设计院. UPFC 在南京城市电网中的应用需求分析专题报告[R]. 2014.
- [3] 陈剑平,李林川,张芳,等. 基于 PSASP 的 UPFC 潮流控制建模与仿真[J]. 电力系统及其自动化学报,2014,26(2):66-70.

作者简介:

甄宏宁(1985),男,江苏南京人,工程师,从事电力系统规划和输变电工程设计工作;

梁志瑞(1959),男,河北磁县人,教授,任教于华北电力大学;

王莹(1986),女,江苏常州人,工程师,从事电力规划研究工作;

王震泉(1980),男,江苏泰州人,高级工程师,从事电力系统规划研究工作;

张诗滔(1980),男,江苏苏州人,高级工程师,从事电力系统规划研究工作。

The Optimal Capacity Selection of UPFC Installed in Nanjing 220 kV Western Power Grid

ZHEN Hongning¹, LIANG Zhirui², WANG Ying¹, WANG Zhenquan¹, ZHANG Shitao¹

(1. Jiangsu Electric Power Design Institute, Nanjing 211102, China ;

2. North China Electric Power University, Baoding 071000, China)

Abstract: In order to solve the transmission channel bottleneck problem will occur in Nanjing 220 kV western grid, a series unified power flow controller (UPFC) is planned to install into the grid. Considering the actual situation of the power grid, a method for selecting the UPFC capacity is proposed. In this method, sensitivity analysis of UPFC capacity to promote Nanjing western network supply ability is given through power flow calculation in PSASP. Finally, the suitable UPFC capacity for Nanjing 220 kV western power grid is presented.

Key words: unified power flow controller (UPFC); Nanjing 220 kV western power grid; capacity selection

欢迎投稿 欢迎订阅