

DOI: 10.7667/PSPC161737

配电网电容电流超标问题研究

崔应宇, 贺芳, 张永晖, 杨增涛, 李娜

(河南省电力公司新乡供电公司, 河南 新乡 453000)

摘要: 为了准确有效地解决当前配电网电容电流超标问题, 针对 10 kV 不接地系统, 提出一种分散固定和集中跟踪相结合的无功补偿方法。利用数据实例和数理统计方法分析了当前运行配电网电容电流与常规无功补偿的问题, 并给出分散固定与集中跟踪解决方案。利用 Matlab/Simulink 对该方案进行仿真校验。仿真结果表明, 分散固定补偿与集中跟踪补偿相结合的方法对治理 10 kV 不接地系统电容电流超标问题是有效和实用的。同时, 该方案对规划设计中的变电站和 10 kV 开闭所在无功配置方面具有一定的指导意义。

关键词: 配电网; 变电站; 电容电流; 补偿; 仿真

Research on problems of excessive capacitive current in distribution network

CUI Yingyu, HE Fang, ZHANG Yonghui, YANG Zengtao, LI Na

(Xinxiang Power Supply Company, Henan Electric Power Company, Xinxiang 453000, China)

Abstract: In order to accurately and effectively solve the problem of capacitive current exceeding the standard in the current distribution network, this paper proposes a combining reactive compensation method of distributed fixed and centralized tracking for the 10 kV ungrounded system. The problem of capacitive current and conventional reactive compensation is analyzed by using data instance and mathematical statistics method, and the solution of decentralized fixed and centralized tracking is given. Using the method of Matlab/Simulink to simulate the solution, the results show that the proposed method is effective and practical for solving the problem of capacitance current exceeding 10 kV ungrounded system by using the combination of distributed fixed compensation and centralized tracking compensation. Meanwhile, this scheme has a certain significance to the planning and design of the substation, and the reactive power configuration of 10 kV opening and closing station.

Key words: distribution network; substation; capacitive current; compensation; simulation

0 引言

随着城区配电网电缆线路所占的比重越来越大, 变电站电容电流也将越来越大^[1]。由于消弧线圈增容不及时, 部分变电站消弧线圈容量严重不足, 给城市配电网的安全运行带来隐患。

因此, 准确地得出系统的电容电流, 并根据此数据投入相应的消弧线圈以补偿系统的电容电流^[2], 是本文研究的重点。

1 电容电流对电力系统的影响

配电网电容电流过大容易发生一系列的问题, 主要有以下几个方面。

1) 在配电网发生单相接地故障的情况下, 接地点不易熄弧, 容易发展为相间故障, 大大降低了供电可靠性^[3]。

2) 单相接地时, 容易引起弧光接地过电压。在一个工频周期内, 健全相产生的过电压将达到正常相电压的 2.5~3.5 倍, 造成一些绝缘薄弱的设备被击穿, 以致损坏。

3) 配电网的铁磁谐振过电压现象比较普遍, 时常发生电压互感器烧毁事故和熔断器的频繁熔断, 严重威胁配电网的安全可靠性。

2 电网电容电流现状分析

2.1 电网电容电流现状

市区各 110 kV 变电站低压侧母线电容电流测量^[4-5]结果如表 1 所示, 消弧线圈补偿情况如表 2 所示。

表 1 市区 110 kV 变电站母线电容电流情况
Table 1 Situation of the bus capacitive current in urban 110 kV substations

序号	变电站名称	一母电容需补偿容量		二母电容需补偿容量		总电容电流/A	需补偿容量/kvar
		电流/A	量/kvar	电流/A	量/kvar		
1	凤泉变	37.4	306	—	—	37.4	306
2	府城变	211.8	1733	125.9	1030	337.7	2763
3	老城变	79.2	648	116.5	949	195.7	1597
4	李固变	20.9	171	12.4	101	33.3	272
5	耿庄变	61.7	505	—	—	61.7	505
6	旭日变	138.6	1134	98.8	809	237.4	1943
7	平东变	88.3	723	174.6	1429	262.9	2152
8	牧野变	63.5	520	—	—	63.5	520
9	南桥变	93.8	767	67	548	160.8	1315
10	朱庄变	43	352	12.4	101	55.4	453
11	得力变	38.4	314	—	—	38.4	314
12	段村变	170.5	1395	42	344	212.5	1739
13	滨河变	123.2	1008	85.4	699	208.6	1707
14	王村变	65.3	534	69.8	571	135.1	1105
15	高村变	5	41	118.9	973	123.9	1014
16	佳城变	23.2	190	17.3	142	40.5	332

表 2 市区 110 kV 变电站母线现有消弧线圈情况

Table 2 Situation of the existing bus arc suppression coil in urban 110 kV substations

序号	变电站名称	一母消弧线圈容量/kvar		二母消弧线圈容量/kvar		总消弧线圈容量/kvar
		容量/kvar	容量/kvar	容量/kvar	容量/kvar	
1	凤泉变	0	0	0	0	0
2	府城变	600	600	600	600	1200
3	老城变	300	300	300	300	600
4	李固变	315	0	0	0	315
5	耿庄变	0	0	0	0	0
6	旭日变	500	500	500	500	1000
7	平东变	500	500	500	500	1000
8	牧野变	400	0	0	0	400
9	南桥变	400	400	400	400	800
10	朱庄变	200	200	200	200	400
11	得力变	400	0	0	0	400
12	段村变	500	500	500	500	1000
13	滨河变	400	400	400	400	800
14	王村变	500	500	500	500	1000
15	高村变	400	400	400	400	800
16	佳城变	500	500	500	500	1000

由表 1 可以看出：新乡市区部分变电站电容电流超过了 200 A，如府城变、旭日变、平东变、段村变和滨河变；凤泉变和耿庄变电容电流分别为 37.4 A、61.7 A，都超过 30 A。与表 2 进行对比可知，凤泉变和耿庄变采用中性点直接接地方式，未装置消弧线圈。一旦系统发生单相故障，接地点极易燃

起电弧，给电网的运行带来严重的安全隐患。

新乡市区变电站消弧线圈容量缺额统计情况如表 3 所示。

表 3 市区 110 kV 变电站消弧线圈容量缺额统计表

Table 3 Capacity statistics vacancy of the arc suppression coil in urban 110 kV substations

序号	变电站名称	运行方式	容量缺额/kvar		
			现有补偿容量/kvar	补偿容量/kvar	容量缺额/kvar
1	凤泉变	单母运行	0	306	306
2	府城变	单母分段分列运行	1200	2763	1563
3	老城变	单母分段分列运行	600	1597	997
4	李固变	单母分段分列运行	315	272	0
5	耿庄变	单母运行	0	505	505
6	旭日变	单母分段分列运行	1000	1943	943
7	平东变	单母分段分列运行	1000	2152	1152
8	牧野变	单母运行	400	520	120
9	南桥变	单母分段并列运行	800	1315	515
10	朱庄变	单母分段并列运行	400	453	53
11	得力变	单母运行	400	314	0
12	段村变	单母分段并列运行	1000	1739	739
13	滨河变	单母分段并列运行	800	1707	907
14	王村变	单母分段并列运行	1000	1105	105
15	高村变	单母分段并列运行	800	1014	214
16	佳城变	单母分段并列运行	1000	332	0

由表 3 可以看出，新乡市区变电站消弧线圈存在不同程度的缺额，其中，府城、老城、旭日、平东和滨河尤为严重。

2.2 主要存在问题

随着市区配电网电缆线路使用量的扩大，电容电流也随之越来越大，同时所需消弧线圈补偿容量也越来越大。

市区电容电流超标问题主要表现为以下几个方面：府城变、旭日变、平东变、段村变和滨河变电电容电流较大；府城变、老城变、旭日变、平东变和滨河变消弧线圈容量缺额较多；凤泉变、耿庄变变电站中性点接地方式选取存在问题，应安装消弧线圈，不应直接接地，一旦系统发生单相故障，接地点极易燃起电弧，给电网的运行带来严重的安全隐患；部分变电站消弧线圈为手动调节方式，不但误差很大且补偿精度低，同时也难以及时有效地控制残流和抑制弧光过电压；补偿方式只有在变电站内加装集中补偿消弧线圈一种方式，不易达到最大补偿效果。

2.3 补偿不足原因分析

市区或近郊变电站的地域特性导致这些变电站用电负荷增加过快。一方面，电缆长度增加和配电系统的运行方式变化直接导致了配电系统对地电容

电流增加,使原有设计补偿容量小于实际所需容量;另一方面,由于生产规划等原因,设备更新换代,配置提升跟不上实际需求,补偿装置增容不及时,出现了容量缺额。

3 电容电流补偿方案研究

3.1 补偿方式选取

城区变电站推荐采用分散固定补偿与集中跟踪补偿相结合的方式。一般情况下,在变电站所属的开闭站、配电室和柱上变安装分散固定补偿消弧线圈^[6],这种方式能够有效地解决因电网规模不断扩大而发生的消弧线圈容量不足的问题,在这段线路切除或转供的情况下,相应的消弧设备也随之退出电网或转移,大大避免了由于消弧线圈补偿方式的改变而引起的谐振过电压现象^[7]。

在新建变电站建设初期及城市外围的终端变电站可单独采用集中补偿方式来补偿电容电流^[8],并留有一定的容量裕度,随着电网的发展建设,可对大负荷线路进行电容电流的实际测量,并根据测量结果相应地投入分散固定补偿消弧线圈。

3.2 电容电流补偿方案汇总

变电站电容电流过大可以采用以下方法解决。

1) 改变系统运行方式,如南桥、朱庄、滨河、王村、高村和段村等变电站目前为单母线并列运行,可改为分列运行,缩小系统规模。

2) 在未来的规划中可结合新建变电站,转带部分段电缆线路,如滨河变、老城变和平东变可把部分线路转移到新建变电站,以减少线路长度,降低电容电流。

3) 增加消弧线圈容量,利用消弧线圈产生的电感电流抵消系统的单相接地电容电流,从根本上使接地故障点的电容电流减小。提高了配电网运行的可靠性。

结合变电站所在地理位置的负荷性质差异及线路建设原则差异,通过对典型区域变电站理论计算电容电流数值与实测电容电流数值的比较,在城市中心区变电站出线主要以电缆为主,理论计算误差较小^[9]。由于消弧线圈一般采用过补偿方式,建议中心城区新建变电站校正系数选取 1.25~1.35。在城市外围与郊区变电站架空出线较多,但是低压电缆会对理论计算准确度造成较大影响,导致理论计算值误差较大^[10]。由于消弧线圈一般采用过补偿,建议城市外围与郊区变电站、新建变电站结合地理位置与所供区域的负荷特性,校正系数可选取 1.8~2.0。

结合市区实际情况,至 2020 年,市区各变电站消弧线圈配置方案如表 4 所示。

表 4 市区各变电站消弧线圈配置方案

Table 4 Arc suppression coil configuration scheme of urban substations

序号	变电站名称	性质	现有补偿容量/kvar	新增集中补偿容量/kvar	新增分散补偿容量/kvar
1	凤泉变	已有	0	800	0
2	府城变	已有	1200	1000	600
3	老城变	已有	600	0	800
4	耿庄变	已有	0	1260	0
5	旭日变	已有	1000	800	200
6	平东变	已有	1000	530	400
7	牧野变	已有	400	860	0
8	南桥变	已有	800	530	200
9	段村变	已有	1000	700	300
10	滨河变	已有	800	700	300
11	王村变	已有	1000	800	0
12	高村变	已有	800	500	200
13	车站变	新建	0	1600	0
14	学院变	新建	0	1800	0
15	中原变	新建	0	800	0
16	小店变	新建	0	1400	0
17	东干变	新建	0	1260	0
18	乔谢变	新建	0	630	0
19	高新变	新建	0	700	0
20	西环变	新建	0	400	0
21	光彩变	新建	0	500	0

4 电容电流补偿方案仿真

为验证方案的合理性,使用 Matlab/Simulink^[11]环境下的电力系统工具箱搭建电缆出线变电站的简易模型,对规划方案进行验证,变电站选取已有变电站进行仿真,模型主变选取 110/10 kV 模型,电源频率为 50 Hz,变压器接线方式为 Yg。

4.1 输电线路模型及参数

方案采用的电缆线路模型为如图 1 所示的分布式参数模型,电缆线路采用交联聚乙烯绝缘电缆,型号为 YJV22×400。

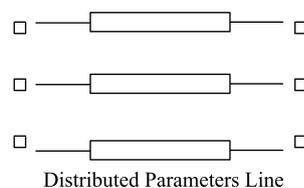


图 1 输电线路模型

Fig. 1 Model of transmission line

4.2 110 kV 变电站仿真模型

根据电网等效代替理论和分割原理,可以把小电流接地系统分离出来。为了突出主要因素,入端

可简化为三相电压源，容量为无穷大。110 kV 变电站出线为 19 条，图 2 为集成后的 110 kV 变电站仿真模型^[12]。

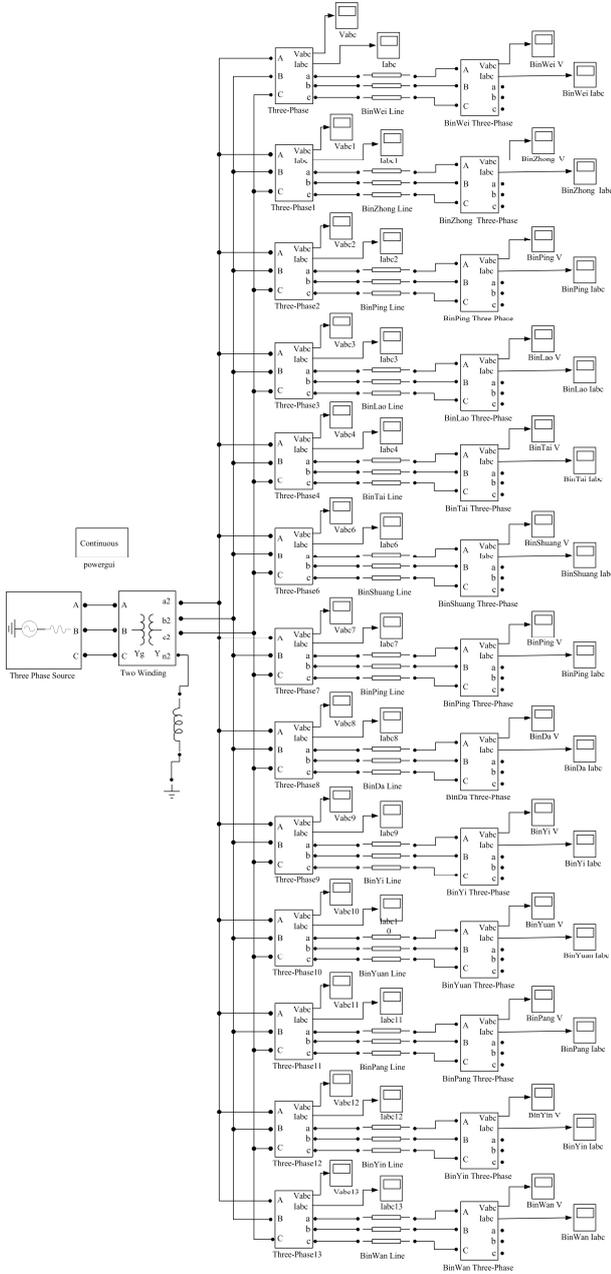


图 2 变电站模型

Fig. 2 Model of substation

4.3 仿真参数选择

采用 Varianle.step 作为仿真步长，初始步长和最小步长采用自动方式，最大步长设定为 0.02。采用自动方式的绝对容差，选用 ode23t(Mod.stiff/Trapezoidal)作为微分方程解算器，仿真参数选择如图 3 所示。

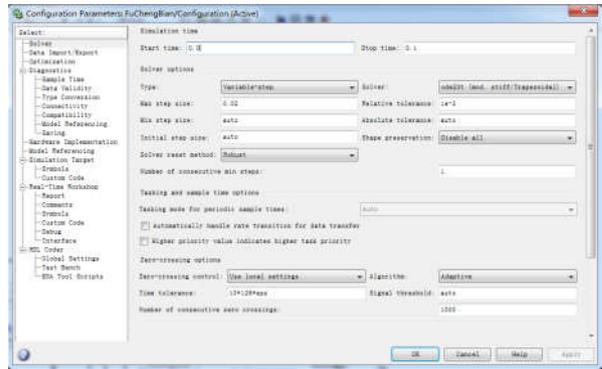
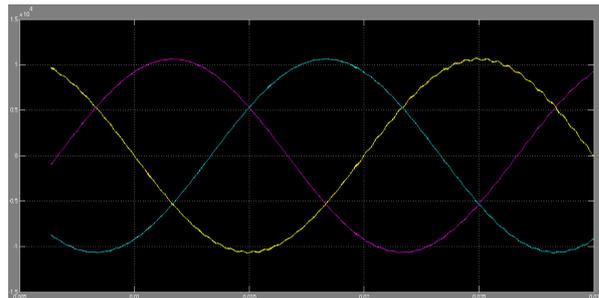


图 3 仿真参数选择

Fig. 3 Selection of simulation parameters

4.4 仿真计算结果

根据以上的计算条件进行典型线路电压仿真计算，所得到线路三相电压仿真结果如图 4 所示。



注：纵坐标单位为 V，横坐标为仿真时间 t，单位为 s。

图 4 线路电压仿真结果

Fig. 4 Simulation results of line voltage

如图 4 所示，线路末端电压偏低，为 10.8 kV。线路电容电流仿真结果如图 5 所示。

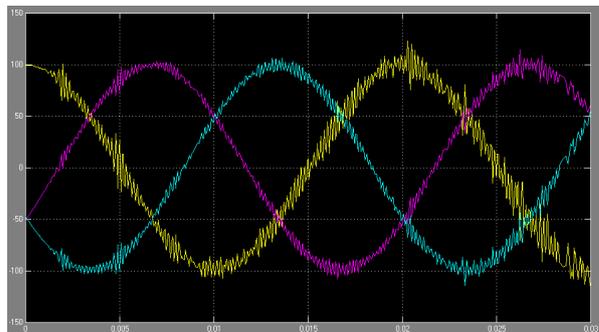


图 5 线路电流仿真结果

Fig. 5 Simulation results of line current

如图 5 所示，电缆线路对地电容总电流值达到 122.9 A。

投入消弧线圈补偿后，仿真结果如图 6 所示。

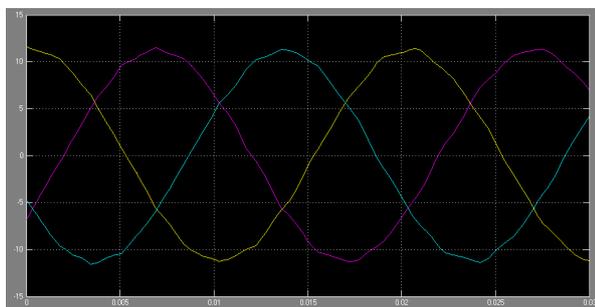


图6 补偿后线路电流仿真结果

Fig. 6 Simulation results with compensation of line current

综上所述, 不进行消弧线圈行补偿时, 线路电容电流较大, 装设了消弧线圈后, 电容电流明显下降, 峰值回落到接近 11.4 A。

5 结论与建议

提出了采用分散固定补偿与集中跟踪补偿相结合的方式补偿变电站的电容电流, 避免进行负荷转带造成上级变电站消弧线圈容量从过补偿状态过渡为全补偿状态而发生谐振。新建开闭站设计应根据实际需求加装分散固定补偿消弧线圈或预留安装位置。新建变电站进行消弧线圈容量配置时, 应计入校正系数, 以减小低压电缆的影响。

本文根据实测数据和理论计算结果的差别, 根据相关规划项目得出 2020 年系统的电容电流, 计算出需要投入的消弧线圈容量, 并进行系统仿真计算, 结果证明, 该方案可以很好地降低电网的电容电流。

参考文献

- [1] 弋东方, 钟大文. 电力工程电气设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
- [2] 贾晨曦, 杨龙月, 杜贵府. 全电流补偿消弧线圈关键技术综述[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(9): 145-154.
JIA Chenxi, YANG Longyue, DU Guifu. Review of key technologies on full current compensation arc suppression coil[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(9): 145-154.
- [3] 李勇, 于芮琪, 王英英, 等. 负荷对短路电流的影响研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 40-45.
LI Yong, YU Ruiji, WANG Yingying, et al. Research on the influence of load on short circuit current[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 40-45.
- [4] 李晓波, 苗晓鹏, 桑振华, 等. 基于偏置阻抗法的配电网电容电流测量新方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(4): 22-26.
LI Xiaobo, MIAO Xiaopeng, SANG Zhenhua, et al. A new capacitive current measurement method of the distribution network based on bias impedance[J]. Power

- System Protection and Control, 2014, 42(4): 22-26.
- [5] 靳维, 袁朋生, 张洋, 等. 基于调整中性点接地阻抗的配电网电容电流测量方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 37-41.
JIN Wei, YUAN Pengsheng, ZHANG Yang, et al. A method of measuring capacitive current in distribution network based on adjusting the neutral grounding impedance[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 37-41.
- [6] 国家能源局. 电力系统设计技术规程: DL/T5429—2009[S]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
National Energy Administration. Technical code of design for the electric power system: DL/T5429—2009[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2009.
- [7] HUANG Junhui, GE Shaoyun, HAN Jun, et al. A diagnostic method for distribution networks based on power supply safety standards[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1: 7pp.
DOI10.1186/s41601-016-0020-2
- [8] 国家电网公司. 城市电力网规划设计导则: Q/GDW156—2006[S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
State Grid Corporation of China. The code of planning and design of urban electric network: Q/GDW156—2006[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2006.
- [9] 国家发展和改革委员会. 导体和电气选择设计技术规定: DL/T5222—2005[S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
National Development and Reform Commission. Design technical rule for selecting conductor and electrical equipment: DL/T5222—2005[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [10] 中国能源部. 电力系统电压和无功电力技术导则: SD325—1989[S]. 北京: 中国能源部, 1989.
National Energy Administration. Technical guidelines for voltage and reactive power in power systems: SD325—1989[S]. Beijing: National Energy Administration, 1989.
- [11] 王正林, 王胜开. Matlab/Simulink 与控制系统仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [12] 张琨. MATLAB 2010 从入门到精通[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.

收稿日期: 2016-10-19; 修回日期: 2016-11-25

作者简介:

崔应宇(1982—), 男, 本科, 工程师, 研究方向为电网规划设计; E-mail: 3043174@qq.com

贺芳(1981—), 女, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电网规划设计; E-mail: 304809938@qq.com

张永晖(1984—), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为变电运维检修。E-mail: 281795889@qq.com

(编辑 魏小丽)