

发电机组并网对配电网合环的影响

周泽国

福建三钢集团有限责任公司动力厂, 福建 三明 365000

[摘要] 为了分析发电机组并网对配电网合环的影响, 文章通过对发电机组并网的变电站内并网负荷从大到小时主变中、低压侧对高压侧电压相角偏移、两段合环点电压相角偏差进行采样分析, 证明了 10kV 单段发电机并网负荷过大是引起的两段母线所带馈线合环失败的主要原因。

[关键词] 配电网; 合环; 电压幅值差; 电压相角差

DOI: 10.33142/sca.v2i2.339

中图分类号: TM61

文献标识码: A

Influence of Grid Connection of Generator Set on Closing Ring of Distribution Network

ZHOU Zeguo

Power Plant of Fujian Sangang Group Co., Ltd., Fujian Sanming, China 365000

Abstract: In order to analyze the influence of generator set grid connection on distribution network closing, this paper shifts the voltage phase angle from low voltage side to high voltage side in substation with grid connection load from large to hour. By sampling and analyzing the voltage phase angle deviation of the two-stage closed loop point, it is proved that the excessive grid-connected load of the 10kV single-stage generator is the main reason for the failure of the feeder loop of the two-stage bus.

Keywords: Distribution network; Closed loop; Voltage amplitude difference; Voltage phase angle difference

1 配电网的概念

配电网是指从输电网或地区发电厂接受电能, 通过配电设施就地分配或按电压逐级分配给各类用户的电力网, 是由架空线路、电缆、杆塔、配电变压器、隔离开关、无功补偿器及一些附属设施等组成的, 在电力网中起重要分配电能作用的网络。配电网一般采用闭环设计、开环运行, 其结构呈辐射状。采用闭环结构是为了提高运行的灵活性和供电可靠性; 开环运行一方面是为了限制短路故障电流, 防止断路器超出遮断容量发生爆炸, 另一方面是控制故障波及范围, 避免故障停电范围扩大。配电网具有电压等级多, 网络结构复杂, 设备类型多样, 作业点多面广, 安全环境相对较差等特点, 因此配电网的安全风险因素也相对较多。另外, 由于配电网的功能是为各类用户提供电力能源, 这就对配网的安全可靠运行提出更高要求^[1]。

2 配电网的合环

采用闭环设计、开环运行的供电方式的配电网, 利用不间断供电的合环操作完成配电网网络重构、负荷转移与设备检修等, 保证了配电网对用户的供电的可靠性, 但是合环操作改变了配电网的网络运行结构, 给整个配电网带来一定的风险。因此在合环操作前对预合环网络进行分析, 是否满足合环操作条件, 合环电流是否会引起保护动作, 合环操作步骤是否正确等, 确保合环工作顺利进行。

一般合环操作必须满足以下几点条件^[2]:

1) 确保进行合环的两条母线的相序一致, 相位相同;

2) 合环操作前要尽可能减少电压幅值差和相角差, 减少合环电流;

3) 合环点两侧所带的负荷之和不能超过两侧开关之一的额定负荷, 防止一侧负荷全部转移至另一侧, 导致过负荷, 引发故障;

4) 合环点两侧母线所在的变电站到合环点的阻抗之和和相差要尽量小;

电网稳定符合规定要求。

实际操作中, 电压幅值差可以直观地比较和计算, 但电压相角差往往容易被忽略, 经常降电压幅值差认为是电压差。通过分析, 对于均衡潮流的有功分量, 电压相角差对其造成的影响大于电压幅值差^[3]。因此只判断电压幅值差而忽略电压相角差容易导致合环失败, 尤其是在配电网接入发电机组时, 更需要重视电压相角差。

3 电压相角差分析

群工变是一座钢铁厂变电站, 从供电局电网购进电能, 输送给各生产系统负荷供电, 主要供电网络如图 1 所示。

变电站的高压侧为 220kV，中压差为 35kV，低压侧为 10kV，其中高压侧母线合环运行，节点 1、2、3 分别表示#1 主变高压侧、中压侧、低压侧，节点 4、5、6 分别为#2 主变高压侧、中压侧、低压侧，a、b 为 35kV 侧线路母联，c、d 为 10kV 侧母联，A、C 为在 10kV 母线并网发电机，B 为在 35kV 母线并网发电机。

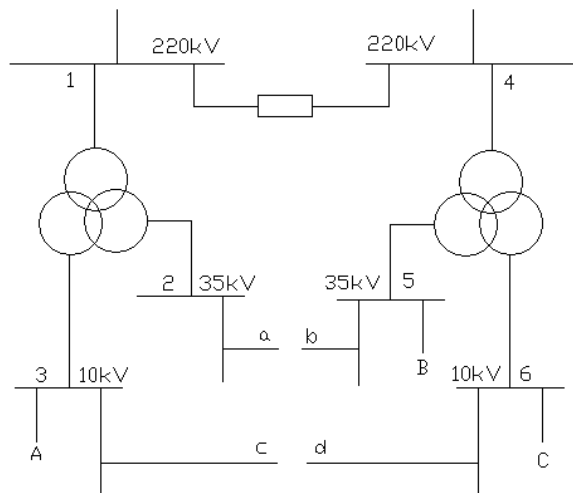


图 1 变电站运行方式

初期运行时，发电机功率比较小，发电比较少，两段段母线的用电负荷比较接近，所以前期 10kV 各馈线的合环操作在操作规程规定的电压幅值差 300V 以内进行，均能顺利合环。近几年为了节约能源和节约成本，10kV 新增一座 35MW 发电机组并网，35kV 母线增加一座 80MW 发电机机组并网，当新增的 35MW 发电机组与原有的 STRT 电机组在同段运行，或 STRT 发电机组不运行时，在同样的合环条件下，发生了合环母联跳闸事故。

因合环条件与之前一致，经过对合环条件的分析，将目光集中在合环条件中的电压相角差上，通过采样不同负荷大小、发电并网量大小，测量研究主变各侧相角变化以及 a、b、c、d 的电压幅值差和电压相角差。

采样测量 1: 10kVI 段 35MW 发电机组（发电并网 26MW）、STRT 发电机组（发电并网 11MW）同时运行，10kVII 段无发电机组运行，35kVI 段精炼炉等大负荷用户运行，35kVII 段正常运行；

采样测量 2: 10kVI 段 35MW 发电机组（发电并网 26MW）运行，10kVII 段 STRT 发电机组（发电并网 11MW）运行，35kV I 段精炼炉等大负荷用户运行，35kVII 段正常运行；

采样测量 3: 10kVI 段 35MW 发电机组（发电并网 26MW）运行，10kVII 段 STRT 发电机组（发电并网 11MW）运行，35kVI 段、II 段正常运行；

采样测量 4: 10kVI 段 35MW 发电机组不运行，10kVII 段 STRT 发电机组（发电并网 11MW）运行，35kVI 段、II 段正常运行，35kVII 段 80MW 发电机组（发电并网 55MW）运行；

采样测量 5: 10kVI 段 35MW 发电机组不运行，且大负荷用户运行，10kVII 段 STRT 发电机组（发电并网 11MW）运行，35kVI 段、II 段正常运行，35kVII 段 80MW 发电机组（发电并网 55MW）运行，且大负荷用户运行。

表 1 五次采样测量的有功功率和无功功率

	节点 1	节点 2	节点 3	节点 4	节点 5	节点 6
P1 (MW)	-1.43	28.23	-30.57	32.1	13.39	18.44
Q1 (Mvar)	1.03	13.28	-14.98	-0.79	-2.26	-1.04
P2 (MW)	16.79	28.45	-13.95	17.11	14.98	2.24
Q2 (Mvar)	3.76	12.51	-7.28	-0.79	-2.48	1.14
P3 (MW)	4.44	18.73	-13.34	5.17	5.41	0.44
Q3 (Mvar)	3.27	6.77	-4.93	-2.53	-2.78	0.29
P4 (MW)	20.75	13.77	7.22	-22.18	-27.91	6.34
Q4 (Mvar)	2.11	5.53	-4.2	3.17	-7.07	2.67
P5 (MW)	46.73	16.19	30.46	-16.63	-21.7	4.19
Q5 (Mvar)	17.77	7.3	3.6	8	10.13	1.88

表 2 不同负荷情况下#1 主变各侧的电压相角偏移

相序	#1 主变高-低			#1 主变高-中			#1 主变中-低		
	A-A	B-B	C-C	A-A	B-B	C-C	A-A	B-B	C-C
相角差 1	5.2°	6.1°	6.2°	30.1°	30.3°	30°	24.5°	24.5°	24.5°
相角差 2	1.4°	1.4°	1.4°	28.4°	28.7°	28.4°	27.2°	27.2°	27.2°
相角差 3	0°	0.4°	0.4°	29.8°	30.1°	29.7°	27.7°	27.6°	27.6°
相角差 4	-3.1°	-2.9°	-2.9°	28.2°	28.5°	28.4°	31.5°	31.4°	31.3°
相角差 5	-11°	-10°	-10°	25.2°	26°	25.8°	36.5°	36.1°	36.1°

表 3 不同负荷情况下#2 主变各侧的电压相角偏移

相序	#2 主变高-低			#2 主变高-中			#2 主变中-低		
	A-A	B-B	C-C	A-A	B-B	C-C	A-A	B-B	C-C
相角差 1	-6.7°	-6.3°	-6.5°	27.1°	26.9°	26.9°	33.4°	33.1°	33.3°
相角差 2	-2.1°	-1.7°	-2.1°	28.3°	28.1°	28.3°	30.5°	29.9°	29.9°
相角差 3	-2.1°	-2.2°	-2.6°	28.6°	28.4°	28.4°	30.6°	30.1°	30.1°
相角差 4	-0.5°	-0.9°	-0.7°	31.8°	31.7°	31.7°	31.5°	31.5°	31.5°
相角差 5	-1.3°	-0.7°	-0.4°	31°	31.4°	31.2°	31.5°	30.6°	30.9°

表 4 不同负荷情况下 a 与 b, c 与 d 的电压幅值差与相角差

相序	#1 主变中压侧-#2 主变中压侧			#1 主变低压侧-#2 主变低压侧		
	A-A	B-B	C-C	A-A	B-B	C-C
相角差 1	4.5°	4.1°	3.8°	13°	13.7°	13.1°
线电压 1	37.04/37.02			10.91/10.53		
相电压 1 (U1)	21.4	21.41	21.32	6.32	6.31	6.31
相电压 1 (U2)	21.31	21.36	21.42	6.09	6.09	6.09
相角差 2	0.3°	0.4°	0.2°	3.0°	3.0°	3.2°
线电压 2	36.68/36.91			10.61/10.44		
相电压 2 (U1)	21.2	21.26	21.19	6.14	6.14	6.17
相电压 2 (U2)	21.28	21.35	21.43	6.03	6.05	6.04
相角差 3	0.1°	0.5°	0.1°	2.8°	2.7°	2.7°
线电压 3	36.7/36.99			10.56/10.48		
相电压 3 (U1)	21.22	21.24	21.26	6.11	6.1	6.12
相电压 3 (U2)	21.31	21.38	21.4	6.06	6.06	6.05
相角差 4	3.6°	3°	3.1°	3.3°	2.9°	3.2°
线电压 4	36.9/37.09			10.56/10.44		
相电压 4 (U1)	21.34	31.36	21.32	6.11	6.1	6.11
相电压 4 (U2)	21.41	21.41	21.52	6.04	6.03	6.03
相角差 5	5.8°	5.8°	5.9°	11.1°	11.2°	11.3°
线电压 5	37.42/37.36			10.36/10.54		
相电压 5 (U1)	21.65	21.64	21.6	6	5.99	6
相电压 5 (U2)	21.56	21.53	21.59	6.1	6.09	6.1

因高压侧合环,因此高压侧母线电压幅值差和电压相角差均为 0,以此做基准,分析不同负荷情况下各侧相对高压侧的电压相角偏移,下文简称电压相角偏移。

(1) 通过对五次采样测量节点 2 与节点 4, 节点 3 与节点 6 的有功功率比较, 以及对应主变高-中, 主变高-低的

电压电压相角偏移的分析, 得出: 有功功率是正向的, 电压相角将滞后于高压侧电压相角, 有功功率是反向, 电压相角将滞后于高压侧相角。

(2) 通过对采样测量 1、2 中节点 2、3 的分析, 采样测量 2、3 中节点 2、3 的分析, 采样测量 2 中节点 1、3、4、6 的分析, 得出: 当中压侧负荷相近时, 低压侧负荷越大 (绝对值), 低压侧电压相角偏移越大 (绝对值); 当中压侧负荷相差较大时, 低压侧负荷相近, 低压侧电压相角偏移也相近; 当高压侧负荷相近时, 低压侧负荷相差较大时, 电压相角偏移也较大。即低压侧电压偏移相角主要与低压侧负荷成正比, 中压侧、高压侧负荷大小对其影响不大。

(3) 通过对采样测量 1、2 中节点 1、2 的分析, 采样测量 2 中节点 1、2、3、4 的分析, 采样测量 3、5 中节点 1、2 的分析, 采样测量 2、3 中节点 1、2、3 的分析, 得出: 中压侧负荷相近时, 高压侧负荷 (绝对值) 越大, 中压侧电压相角偏移 (绝对值) 越大; 高压侧负荷相近时, 中压侧负荷相差较大, 中压侧电压相角偏移相近; 低压侧负荷相近时, 高压侧 (绝对值) 越大, 中压侧电压相角偏移越大。即中压侧电压相角偏移主要受高压侧负荷 (即主变负载) 的影响, 与高压侧负荷成正比, 中压侧本身负荷与低压侧负荷大小对其影响不大。

(4) 通过对表 2、表 3、表 4 的分析, 得出: $(\#1 \text{ 主变中压侧} - \#2 \text{ 主变中压侧相角差}) = (\#2 \text{ 主变高-中相角}) - (\#1 \text{ 主变高-中相角})$; $(\#1 \text{ 主变低压侧} - \#2 \text{ 主变低压侧相角差}) = (\#2 \text{ 主变高-低相角}) - (\#1 \text{ 主变高-低相角})$ 。即同为超前或滞后于高压侧电压相角的两段电压相角差将相互抵消, 一段超前另一端滞后于高压侧电压相角的两段电压相角差将相互叠加。

(5) 通过对表 1 和表 4 中数据的分析, 得出: 线电压相等或相近时 (即电压幅值差小), 电压相角差可能相差很大; 高压侧负荷相近时, 中压侧两段电压相角差小; 低压侧负荷相近时, 低压侧两段电压相角差小; 10kV 侧受负荷影响导致的电压相角差远大于 35kV 侧受负荷影响导致的电压相角差。

通过群工变实际的采样测量数据分析, 原来运行方式中, 发电较少, 对 10kV 系统负荷的影响较小, 通常运行时, 10kV 两段母线所带负荷比较接近, 合环时可以通过调节两段电压大小, 减少电压幅值差, 可满足合环条件。但是当 10kV 其中发电机组在同一段并网, 或者其中一段有大负荷用户运行且无发电机并网运行, 另一段有发电并网运行时, 导致两段母线所带负荷出现较大差值, 导致电压相角相差较大, 合环时配电网的潮流也会随之改变, 只是减少电压幅值差已无法满足合环条件, 从而导致合环失败。

4 合环预防措施

通过对电压幅值差与电压相角差的分析, 为确保有发电机组并网系统的安全合环操作, 可以从以下几个方面增加合环安全性:

- 1) 负荷接近时, 通过投切电容调整待合环开关两段的线电压差值, 即减少电压幅值差;
- 2) 尽可能在变电站侧两段母线负荷较小, 或负荷相近时合环;
- 3) 发电机组分别在两段运行;
- 4) 尽量避免在大用户负荷运行时, 两段母线负荷相差巨大时, 进行馈线的合环操作;
- 5) 根据最频繁供电方式的需求, 适当增大保护装置的继保定值, 在合环时避免引起保护动作;

6) 调度系统要组织协调好在馈线用户合环操作时的合环条件 (变电站侧母线与馈线用户母线不属于同一单位, 需要调度协调)。

[参考文献]

- [1] 尤田柱, 鄢志平编著. 配电网安全防护技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [2] 吴金玉. 配电系统带负荷合环可行性研究与探讨[J]. 农村电气化, 1997(08): 12.
- [3] 蒋璧玉. 配电网合环运行电流分析及控制策略研究[M]. 四川: 西南石油大学硕士论文, 2016.

作者简介: 周泽国 (1989-) 男, 福建三钢集团助理工程师, 本科专业电气工程及其自动化, 从事冶金工业供配电工作, 担任技术员