

配电网合环安全性分析系统的应用及改进

冯小萍², 戚红艳², 樊国伟¹, 常喜强¹, 喻 锋³, 朴宗华²

(1. 新疆电力公司, 新疆 乌鲁木齐 830002; 2. 乌鲁木齐电业局, 新疆 乌鲁木齐 830011;

3. 南瑞继保电气有限责任公司, 广东 深圳 211012)

摘 要:为了保证重要用户的不间断供电,提高城市配电网的供电可靠性,10 kV 配电线路能否带电倒负荷操作这一问题日益突出,为此联合科研院校共同开发了配电网合环安全性分析系统。详细介绍了配电网合环安全性分析系统的原理及功能,并以乌鲁木齐电业局 110 kV 铁西变多条 10 kV 配电线路合环倒负荷操作进行了实际验证,将配电网合环安全性分析系统的计算结果、电力系统分析综合程序 PSASP 计算结果与实际电流分别进行了比较,找出了差异,分析了原因,提出了配电网合环安全性分析系统的改进方向,使该系统更接近与实际系统,为电网 10 kV 配电线路合环操作的优化和安全奠定了基础。

关键词:配网;合环操作;分析系统

Abstract: In order to guarantee the uninterrupted power supply of the important consumers and increase the reliability of urban power grid, the problem of closed-loop operation has been prominent in 10 kV distribution networks. The closed-loop analyzing system for distribution network is developed by Urumqi Electricity Company and the cooperation colleges. The principle and the function of the system are introduced, and it is verified by the closed-loop operation in several 10 kV distribution lines of Tiexi substation. By comparing the calculation results of the closed-loop analyzing system and the calculation results of PSASP with the actual current, the differences are found out and the reasons are analyzed. The improvement direction of the closed-loop analyzing system is proposed, which can make the closed-loop operation safer and more excellent.

Key words: distribution network; closed-loop operation; analyzing system

中图分类号: TM732 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)05-0067-04

0 引 言

随着经济的飞速发展和人民生活水平的不断提高,用户对供电可靠性的要求越来越高,对停电甚至是短时停电都十分的敏感。在配网运行过程中由于检修、施工、负荷调整等原因,经常会出现配网倒负荷操作,目前多数情况下是先断开再合上,避免电磁环网,安全性考虑较多,但造成用户短时停电,供电可靠性降低。如果在操作过程中能实现合环转移负荷,将进一步提高供电可靠性及服务质量。

目前乌鲁木齐配电网结构复杂,10 kV 配电线路之间大多加装了联络开关,形成了配网“手拉手”的供电方式,实现了不同线路之间负荷转供,为合环操作奠定了网架基础。由于合环开关两侧母线或线路存在电压差等原因,可能使合环操作过程中产生过大的环流,这将直接影响到电网的安全稳定运行。乌鲁木齐电网目前也采取“先断后合”的方式。

如果采取不断开直接合环的方式,将大大减少对用户的停电时间,但是需要保证安全性。因此,操作前提前预知相关问题,采取措施满足不断环,合环操作就可将安全性和供电可靠性有机结合起来。通过预先相关计算对配网线路合环进行分析,判断线路能否进行合环倒负荷操作,使运行人员能够提前决策,并对地区电力网络的运行方式进行适当的调整,从而能够进行操作,即保证用户利益,避免停电损失,又保证了电网安全。基于此,乌鲁木齐电业局开展了配电网合环安全性分析系统的研究工作,开发了相关的系统,并进行了有关的理论、实际比对分析,进一步优化和改进分析系统。

1 配电网合环安全性分析系统概述

配电线路能否进行合环操作的关键因素在于计算出来的合环电流是否小于相应线路的保护定值,如果计算结果小于保护定值一定的值时,即可进行合环

倒负荷操作。如果结果相反则可以通过改变运行方式或变压器抽头位置、电容器的投切, 馈线负荷分布等来满足带电合环的条件。

配电网合环倒负荷安全性分析系统能根据 10 kV 配电网的实时运行方式将网络物理模型转化为潮流计算用的数学模型, 并能与配网调度管理系统接口获得实时的配网运行参数。在现场合环操作前, 可以根据配网调度管理系统采集或人工录入的实时运行参数计算合环潮流, 并根据该潮流值与保护间的差值判断能否进行实时合环操作。此外该系统具备良好的维护、修改、扩充功能。运行调度人员在合环操作前, 根据合环操作的需要, 运用分析系统进行分析, 根据提示和结果进行操作。

1.1 基本原理

配电网合环分析系统的基础是潮流计算。常规潮流计算的任务是根据给定的电力网络结构及运行条件求出整个网络的运行状态, 包括系统各节点(母线)的电压、线路上的功率分布以及功率损耗等。由于潮流计算的已知量与待求量之间是非线性关系, 所以, 潮流计算问题在数学上是多元非线性代数方程组的求解问题, 一般采用迭代方法计算。

而配电网合环计算既涉及地区电网, 又涉及配电网。由于不易获得实时完整的电网运行参数, 配电网合环安全性分析系统将合环计算中的上一级电网采用等值阻抗的方式来进行等效, 并利用前推回代法和叠加法一起求得最后的合环电流。其核心为外部等值阻抗的求取、计算分析。

1.2 外部等值阻抗的求取

两个变电站的两条 10 kV 出线与上一级电压等级电网共同形成环网, 在这两个变电站 10 kV 母线之间加一个可变的虚拟等值阻抗来代替上一级电网, 如图 1 所示。

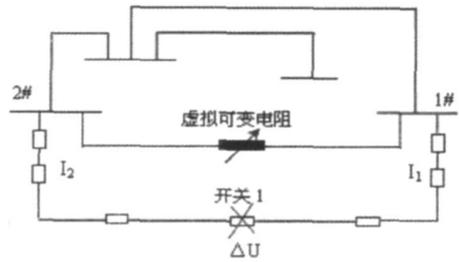


图 1 等效电网图

其等值阻抗的计算步骤如下: 由于两条母线的电压和两条 10 kV 出线的电流的遥测值 U_1 、 U_2 、 I_1 、 I_2 都是已知的, 取 1 号母线的电压遥测值 U_1 为平衡电压, 设其间的虚拟阻抗为某一值, 并指定步长为 $1/2Z$, 迭代精度为 ϵ 。

应用前推回代法求出 2 号母线的电压 U_2' , 把求出的 2 号母线的电压值 U_2' 跟已知 2 号母线的电压遥测实时值 U_2 进行比较, 若求出的 2 号母线电压比 2 号母线遥测实时值 U_2' 小, 则说明先前假定的虚拟阻抗的值过大, 令虚拟阻抗值为原值的 $1/2$ 。

利用前推回代法再次计算 2 号母线的电压值 U_2'' , 若求出的 2 号母线的电压值 U_2'' 比 2 号母线电压遥测值 U_2 大, 则说明先前假定的虚拟阻抗的值过小, 令虚拟阻抗的值为前次值的 $(1+1/2)Z$ 。

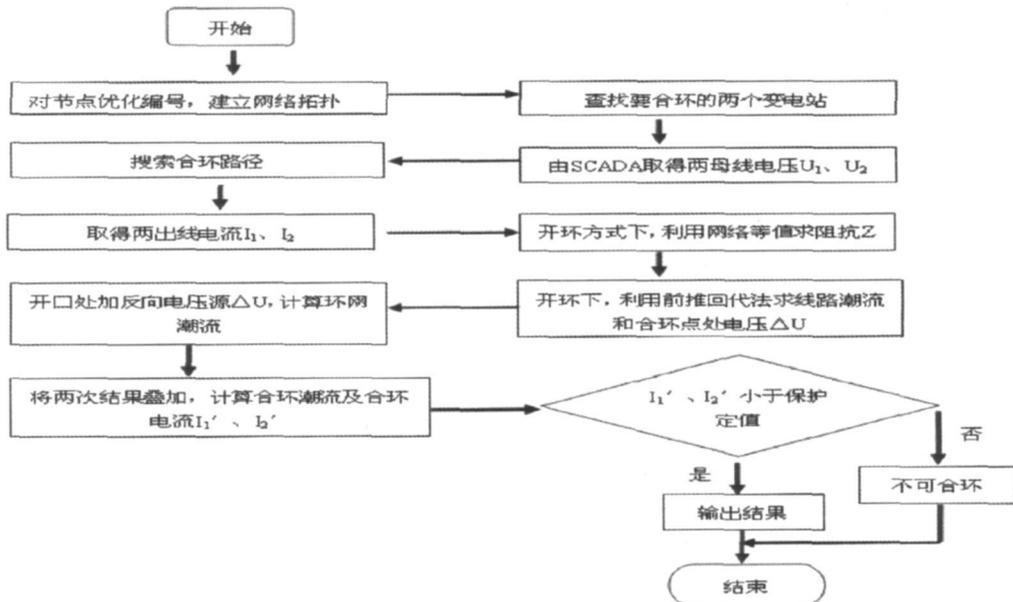


图 2 计算流程图

按照上述的方法迭代计算,每次设步长为上次的 $1/2$,通过迭代来计算虚拟阻抗的值,直到计算出的 2 号母线的电压值 U'_2 与 2 号母线的电压遥测值 U_2 的差值 $|U_2 - U'_2| < \epsilon$,则停止计算,此时的可变虚拟阻抗值即为所求的上一级电网的等值阻抗值。

1.3 合环电流的计算

求出等值阻抗后,根据叠加法,先应用前推回代法开环计算一次,求出两支路电流 I_1 、 I_2 和开口电压 ΔU ,再在开口处加反向开口电压 ΔU 再算一次环网环流,二次叠加后,可以算出新的 I'_1 和 I'_2 ,根据得到的合环潮流计算结果,以此来判断是否允许合环操作。具体计算流程如图 2 所示。

2 算例分析

铁西变电站是一座 110 kV 变电站,其多条 10 kV 出线加装了联络开关,具备负荷灵活转代条件,能够进行不停电合环操作,其负荷很重要,一般不允许停电。2009 年在配电网合环安全性分析系统建立后,恰好铁西 1 号主变压器停电消缺,需要停电转移负荷,为了理论结合实际,达到理论指导实际,切实为生产服务的目的,2009 年 3 月,以 10 kV 铁木线、铁局线、铁统线、铁指线为试点进行了合环倒负荷操作试验。验证了配电网合环安全性分析系统的实用性和不足,指出改进方向。

此次试验为了保证电网的安全,制订了详细的操作方案,并同时启动了不同的仿真分析计算。分别进行了配电网合环安全性分析系统计算以及电力系统综合仿真分析软件 PSASP 离线仿真分析计算,并将结果进行了比对分析。

2.1 网架结构

本次合环操作,运行方式为上一级电网按 220 kV、110 kV 正常方式,10 kV 联络线路联络路径如表 1 所示。

2.2 配电网合环安全性分析系统与 PSASP 离线仿真分析计算结果、实际操作结果比较

合环前后配电网合环安全性分析系统计算数据、综合程序 PSASP 计算数据以及两侧 10 kV 线路实际电网运行参数如表 2、表 3 所示。

2.3 数据分析

通过分析以上计算结果,配电网合环安全性分析系统和综合程序 PSASP 计算出来的合环电流值均小

表 1 联络路径

序号	名称	所接 10 kV 母线	主网架结构
1	铁木线	铁西 I 母	220 kV 昌吉—110 kV 铁西—110 kV 开发区—220 kV 三官
	经河一线	开发区 I 母	
2	铁局线	铁西 I 母	220 kV 昌吉—110 kV 铁西—110 kV 开发区—220 kV 老满城
	经河二线	开发区 II 母	
3	铁统线	铁西 II 母	220 kV 头屯河—110 kV 铁西—110 kV 开发区—220 kV 老满城
	经宾二线	开发区 I 母	
3	铁指线	铁西 II 母	220 kV 头屯河—110 kV 铁西—110 kV 九家湾—220 kV 老满城
	九泰二线	九家湾 II 母	

表 2 合环前后对应变电站母线电压及主变有功、无功实际测量值统计表

序号	线路名称	10 kV 母线		主变 10 kV 有功 /MW		主变 10 kV 无功 /Mvar	
		电压 /kV		合环前	合环后	合环前	合环后
1	铁木线	10.35	10.27	17.3	18.5	1.3	3
	经河一线	10.34	10.33	26.2	24.4	2.8	0.9
2	铁局线	10.31	10.26	22.8	21.1	1.5	3
	经河二线	10.34	10.34	12.7	13.3	3.8	3.1
3	铁统线	10.24	10.21	13.7	10.6	4.7	0.8
	经宾一线	10.31	10.34	22.6	24.9	1.5	6.9
4	铁指线	10.52	10.47	14.5	13.3	5.8	6.9
	九泰二线	10.44	10.48	10.8	12.3	2.2	1.2

于相应线路的过流保护定值,上述几条线路均可以进行合环倒负荷操作;但两种程序计算出的结果与实际测量值之间均存在着一定误差。有些值比实际小,有些值比实际大,无一定的规律,综合分析误差来源包含多个方面。

(1) 变压器分抽头位置:由于在实际运行操作中有载变压器分接头经常变动,对于合环馈线来说,若变压器抽头位置改变一个挡位,会引起几十安的电流变化,如果仿真分析系统不及时更新,将造成误差。因此,进行分析时应尽量更新为操作前的实际位置,并在操作时段不同调度、变电站不应改变相关变压器的分抽头,以免引起误差。

(2) 电容器的投切:在实际运行中,电容器的投切往往是成组进行的,而一组电容器的容性电流与感性电流合成后形成一个矢量值,这才是参与计算的合环变压器其他线路负荷。系统无功补偿装置的影响也会产生误差。

(3) 功率因数:由于在实际运行时,测得的大多是电流值,不是 P、Q 值,这样就需要用电流值和功率因数推导出 P、Q 的大小,而功率因数也非实测值,所

表 3 配电网合环安全性分析系统与 psasp 离线仿真分析计算结果

序号	线路名称	过流保护定值	出线实际电流		配网合环安全性分析系统计算值		综合程序 PSASP 计算值	
			合环前	合环后	合环前	合环后	合环前	合环后
1	铁木线	480	0	62	0	62.32	0	-46.8(反向)
2	经河一线	480	375.68	333	375.68	314.66	376.2	423.6
3	铁局线	440	0	-62(反向)	0	30.26	0	-121.8(反向)
4	经河二线	480	157	182	157	130.03	157.2	282
5	铁统线	400	0	-176(反向)	0	24.77	0	-102.6(反向)
6	经宾一线	420	122	277	122	91.38	123	228
7	铁指线	330	0	-87(反向)	0	30.55	0	-85.2(反向)
8	九泰二线	400	138	204	138	109.09	139.2	227.4

以,功率因数的准确与否对合环计算的误差有一定影响。

(4)配网馈线负荷分布:配电网运行中负荷节点多,往往呈梳状结构,而且一般无表计实时记录各点负荷,为了计算方便,配电网负荷往往简单地归结于一点,这样虽简化了计算,但模型不够精确,合环对潮流分布影响显著,会导致合环电流变化或改变方向。

3 相关结论

从此次对比分析看出影响合环潮流的实际因素较多,即:合环馈线所在变压器高压侧及低压侧电压,合环馈线电网当时的运行工况(线路参数、负荷、变压器分抽头位置),合环馈线所在变压器的总负荷,合环前馈线所属母线电压,合环线路参数及负荷等。因此,在实际中应注意修正和注意以下几个方面的问题。

3.1 系统中应改进的方面

(1)应列出环网内所有变压器的分抽头位置及变更信息,在操作时发现变压器分抽头变动,给出提示及修订值。

(2)给出合环电流的相关因素灵敏性排队,给出敏感关键点提示。

(3)对所有监测点的误差原因提示,便于分析决策。

(4)对于决策后及操作时间段进行预测性再滚动修正分析,包括负荷不同增长方式、不同增长点影响结果的预测分析,便于再决策。

3.2 操作运行注意方面

(1)由于合环时主变所带无功的变化对母线电压有一定的影响,应尽量在合环前对无功进行就地平衡,并保证合环线路两侧的母线电压满足要求。

(2)配电网是直接面对用户的电力网络,实际负荷位置处在靠前或靠后的地方,计算中对负荷分布不同情况进行对比,有助于合环分析;但仍然需要运行人员对实际的运行情况有所了解,从而得到较为准确的负荷位置,才能得到更为准确的计算结果。

(3)尽量缩短操作时间,并与相关上级电网进行沟通。

(4)尽量选择在小负荷时期,并减少相关设备的电气量的变更(如相关上级电网无操作等),减少采集量的误差。

4 结束语

配网线路合环倒负荷操作已成为提高供电可靠性、电网经济运行、提高服务质量的重要手段,准确计算合环电流是配电线路合环倒负荷操作的前提条件。

配电网合环安全性分析系统为调度人员判断配电线路是否能进行合环倒负荷操作提供了依据。本次实验合环电流计算值与实际值之间存在着一些差异,应进一步结合乌鲁木齐地区电网结构特点,对其计算模型、算法、界面、使用性进行优化改进,继续进行深入的研制和开发,进一步完善配电网合环安全性分析系统,为配电网能够更加安全、经济地运行提供依据。

参考文献

[1] 倪以信,陈寿孙,张宝霖.动态电力系统的理论和分析[M].北京:清华大学出版社,2002.
[2] 应夏曦,纪良.常州电网分区运行对地区配网跨区合解环操作的影响及其对策[J].电力设备,2008,9(1):65-68.
[3] 幸荣霞,姚爱明.环网合环操作的分析[J].浙江电力,

(下转第 77 页)

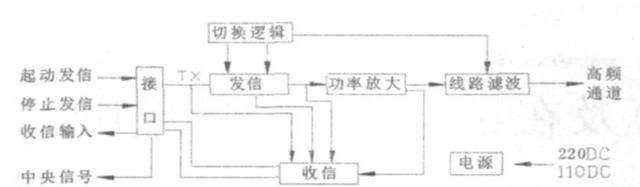


图 4 收发信机功能框图

由图 4 可见，“线路滤波”插件为连接到高频通道的直接关口，“线路滤波”(FLT7)插件主要提供发信谐波抑制和线路阻抗匹配。

参见图 5 的原理框图，该插件有四组低通滤波器，其截止频率分别为 400 kHz、230 kHz、130 kHz 及 70 kHz 并且可以根据工作频率的不同由“切换逻辑”送来的信号，控制其切换继电器，自行切换工作滤波器。当工作频率确定时，其所选用的滤波器是高于该工作频率的最小截止频率的滤波器。例如，工作频率是 50 kHz 则滤波器选择为 70 kHz 工作频率为 140 kHz 则滤波器自动选择为 230 kHz 其滤波器的选择由“切换逻辑”根据工作频率自动执行。

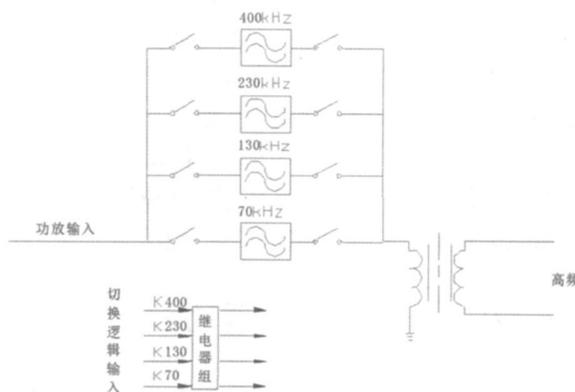


图 5 “线路滤波”插件原理框图

在本次故障中，由于该插件频率切换故障，引起高频信号的严重衰减。

所以，当对侧试验发信时，虽然对侧的信号已经发送到本侧，但由于“线路滤波”插件的衰减，本侧接收电平太低，故认为对侧并未发信，所以本侧也不会进入连续向对侧发信 5 s 的过程。在对侧表现出来的故障现象就是按下“试验”按钮后，“收信插件”上所有收信灯都只是闪亮一下（此时实际上是收到的本侧启动 200 ms 的发信信号）后熄灭。

而在本侧试验发信时，由于本侧的高频信号在经

过“线路滤波”插件后已经严重衰减，根本就不能通过高频通道送到对侧的收发信机，同理，对侧也不会进行发信 5 s 的过程。

5 结 论

高频保护涉及面较广，通道的任何一个环节出现问题或不匹配，都可能影响其正常工作。高频通道上各加工设备和收发信机元件的老化和故障都会引起衰耗，都会影响高频保护的正常运行。当高频保护因故不能投运时，只能逐个环节进行检查。在本起高频通道故障的现象中，如果按照常规方法，即厂家的装置说明书中所说：“起动装置发信，发信时，若“正常”灯灭，并且收信回路的有关指示灯（收信起动”、“收信输出”等）不亮，说明“收信”插件可能有故障。”将误导检查方向。因此，在现场的处理中需要灵活掌握方法，善于利用有限的检查工具，比如能测频率的万用表、示波器等常规工具，在保证安全的前提下，也可以不依靠选频电平表等专业工具（在现场突发故障情况下，这些专用工具往往都没有在现场），而采取“另类”处理方法及时地发现异常，消除缺陷，控制异常，预防故障，这是高频通道设备维护工作中的难点，也是运行检修人员日常工作中的重点，更是保障电力系统安全生产的重要途径。

参考文献

- [1] 南瑞继保电气有限公司. LFX-912型收发讯机原理与调试 [R]. 2005.
- [2] 葛耀中. 高压输电线路高频保护 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1986.
- [3] 继电保护丛书 输电线路高频保护 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.
- [4] 张国珠, 邵玉槐. WXB-15型微机高频保护误动作分析 [J]. 继电器, 2005, 36(1): 79-81.

作者简介:

唐明亮 (1975-), 男, 重庆市人, 映秀湾水力发电总厂, 工程师, 工程硕士。主要从事电力系统电气二次工作。

赵玉忠 (1964-), 男, 四川省大邑县人, 映秀湾水力发电总厂, 高级工程师, 工程硕士。主要从事电力系统电气二次工作。

(收稿日期: 2009-05-31)

(上接第 70 页)

2007, (1): 66-68.

- [4] 李江华. 浅析 10 kV 配网合环产生环流的原因及预防措施 [J]. 电网技术, 2006, 30(8): 199-201.

- [5] 于建辉, 周浩, 陆华. 杭州 10 kV 配电网合环问题的研究 [J]. 机电工程, 2007, 24(10): 54-57.

- [6] 杨志栋, 刘一, 张建华, 等. 北京 10 kV 配网合环试验与分析 [J]. 中国电力, 2006, 39(3): 66-69.

(收稿日期: 2009-06-12)