

辐射型中压配电网合环分析系统的设计与研究

汲亚飞, 赵江河

(中国电力科学研究院, 北京 100192)

摘要: 分析和评估合环操作对辐射型中压配电网所造成的影响对配电网的调度和安全运行有着重要的意义。首先对某城市的典型中压配电网进行研究, 在其配电网原有 SCADA/EMS 和 GIS 系统上, 提出适合于该配电网特点的合环操作分析系统的解决方案, 采用基于 IEC 61970/61968 的公共信息模型(CIM)进行合环操作分析系统和原有系统之间的数据交换。合环潮流计算是合环操作分析系统的核心, 本文采用叠加原理对合环潮流进行计算, 使计算具有良好的收敛性, 满足了系统在线运行的要求。

关键词: 辐射型中压配电网; 合环操作分析系统; 合环潮流; CIM 模型; 叠加原理

Design and research on the loop closing operation analysis system medium voltage in radial distribution network

Ji Ya-fei, Zhao Jiang-he

(China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: Analyzing and evaluating to the effect caused by loop closing operations in radial medium voltage distribution networks are extraordinary important to the safe operations. This paper studies the radial medium voltage distribution in the specified city, and introduces the solution of the loop closing operation analysis system. The CIM model based on IEC 61970/61968 standards is used to realize the data exchange between the loop closing operation analysis system and other systems existed in the distribution. To the loop closing power flow calculation, which is the most important part in the loop closing operation analysis system, the superposition principle is involved, which leads to better convergence property for the power flow calculation, satisfying the requirement for the system operating on line.

Key words: radial medium voltage distribution network; loop closing operation analysis system; loop closing power flow; CIM model; superposition principle

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)11-0058-04

0 引言

中压配电网的馈线一般呈辐射型分布, 在这种馈线方式下, 馈线之间通过合环开关连接, 一般情况下, 合环开关打开, 馈线独立运行, 需要进行故障处理及设备检修等操作时, 可以进行合环操作, 以较少停电次数和停电时间, 提高供电的连续性和可靠性。但是, 在合环操作过程中, 将导致合环电流的产生, 对配电网的安全运行造成很大影响。因此, 在合环操作前, 若开发一套合环操作分析系统对合环后配电系统所产生的合环电流及其影响进行计算和分析, 则有助于在配电网运行中指导调度相关人员进行正确的决策, 避免合环操作所引起的设备过载和保护跳闸, 从而提高供电的安全性和可靠性, 减少了停电损失。

文献[1]针对配电网双向供电网络进行合环操

作系统的开发和应用。合环潮流计算是合环操作分析系统的核心模块。与输电网不同, 辐射型中压配电网的线路阻抗比(R/X)较大, 导致网络的雅可比矩阵的条件数较大, 若采用传统潮流计算方法, 收敛性不够理想。文献[2~5]针对辐射型配网的特点, 提出了一些新方法和改进方法, 收到了良好的效果。

本文针对我国某地 M 城市的辐射型中压配电网的实际情况, 在对配电网原有 SCADA/EMS 系统和 GIS 系统的基础上, 提出了配电网合环操作分析系统设计方案。在其核心模块合环潮流计算模块的设计过程中, 对合环潮流的计算方法进行研究, 采用了适合于辐射型中压配电网特点的合环潮流计算方法。

1 某城市辐射型中压配电网的现状分析

M城市中压配电网电压等级为11 kV。图1所示为该城市中压配电网的典型母线结构,该条11 kV母线通过两台66 kV/11 kV主变从66 kV电网受电,11 kV母线的各条馈线呈辐射型分布。

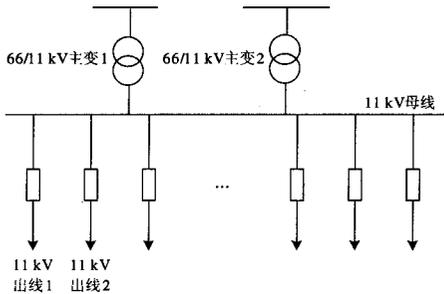


图1 M城市辐射型中压配电网的馈线结构

Fig.1 Feeder branch of radial medium voltage distribution network in some city

图1中所示的11 kV出线1和出线2的线路图如图2所示。两条出线组成的环路中由8个开关柜组成。每个开关柜有1个到多个出线通过11 kV/0.4 kV配电变压器向负荷用户供电,开关柜左右各有一个开关。正常运行情况下,整个环路上只有一个开关断开,其他开关闭合,从而构成2条馈线的独立运行,断开的开关作为合环开关。为保证供电可靠性,经常需要在配电系统的11 kV的馈线端对合环开关进行合环操作,合环操作在系统中形成合环电流。如何保证频繁的合环操作所产生的合环电流不造成停电事故或对运行设备不造成危害,是该系统面临的一个重要的问题。

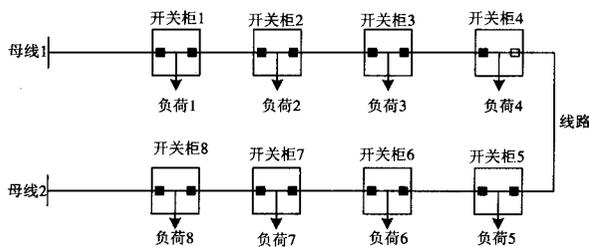


图2 辐射型配电网两条馈线组成的环路

Fig.2 Loop circuit constructed by the two feeder branches of radial distribution network

M城市的调度中心已经配置了SCADA/EMS系统,可以得到66 kV电网的及变电站的相关数据,并对其进行监控。另外,SCADA/EMS系统也可以提供11 kV配电网部分数据及监控功能。但是,该系统无法对合环操作所产生的合环电流进行检测。

2 合环操作分析系统的设计

在辐射型中压配电网原有SCADA/EMS系统的

基础上,利用SCADA/EMS系统提供的配电网实测数据和网络参数,对合环操作分析系统进行系统设计和研究,以期对合环操作带来的影响进行合理的分析和评估。

2.1 系统的总体设计

合环操作分析系统建立在配电网原有SCADA/EMS系统的基础上,合环操作分析系统所需要的所有的现场实测数据都来自于配电网原有SCADA/EMS系统。因此,在合环操作分析系统只涉及软件系统的设计。

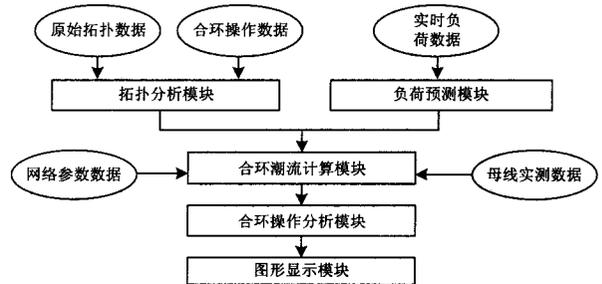


图3 合环操作分析系统的总体框架

Fig.3 Frame of the loop closing operation analysis system

合环操作分析系统的系统总体框架图如图3所示,系统包括5大功能模块,分别为:拓扑分析模块、负荷预测模块、合环潮流计算模块、合环操作分析模块以及图形显示模块。

各功能模块的主要功能如下:

(1) 拓扑分析模块

拓扑分析模块根据从SCADA/EMS所得到的开关开合状态信息(遥信信息)和电网的一次接线等相关数据,并结合合环操作开关信息,来确定网络的拓扑关系,进而形成网络分析计算用的母线模型,从而产生计算用拓扑数据,供合环潮流计算模块使用。

(2) 负荷预测模块

负荷数据是进行潮流计算的重要前提。实时负荷数据从SCADA/EMS系统的遥测装置中获得,然后经过该系统的状态估计分析高级应用,输出供计算用的负荷数据。真正的合环操作是在计算后推迟一段时间发生,因此,如要准确计算,则需要得到合环操作瞬间的负荷数据。负荷预测模块对计算时从SCADA/EMS系统中获得的负荷数据进行短期负荷预测,从而得到合环瞬间负荷数据的预测值。

(3) 合环潮流计算模块

合环潮流计算模块是合环操作分析系统中最为核心的部分。合环潮流分析模块根据从拓扑分析模块和负荷预测模块中得到的网络拓扑数据和负荷

数据,以及 SCADA/EMS 系统和 GIS 系统中得到的网络参数和母线实测数据,对合环后网络进行潮流计算,从而得到合环后的潮流分布信息。

(4) 合环操作分析模块

合环操作分析模块的作用是对合环潮流计算结果进行分析。根据潮流计算结果,假设合环操作进行后,分析和评估配电网合环后的合环潮流对系统造成的影响,并形成分析和评估数据供图形显示模块调用。

(5) 图形显示模块

图形显示模块将合环操作分析和评估结果以图形的方式展示给用户,让用户对合环操作的结果有较为清楚的认识,从而实现指导用户进行正确合理的合环操作决策的目的。

2.2 系统的数据需求

合环操作分析系统所需要的数据主要包括以下几个部分:

(1) 配电网的原始拓扑信息。包括配电网的网络接线信息以及各个开关的状态信息,这些数据可从 SCADA/EMS 系统中获得。

(2) 合环操作数据。包括合环开关的信息以及合环操作时间信息,采用人工输入的方式获得数据。

(3) 实时负荷数据。包括 11 kV 各出线负荷的信息。从 SCADA/EMS 系统中获得数据。

(4) 网络参数数据。包括线路各类参数信息,从 GIS 系统中获得数据。

(5) 母线实测数据。11 kV 母线上的电压幅值以及相角信息,从 SCADA/EMS 系统中获得数据。

2.3 基于 CIM 模型的系统间数据集成

合环操作分析系统所需数据均来自配电网原有的 SCADA/EMS 系统和 GIS 系统。为此,采用基于 IEC61970/61968 的 CIM 模型来进行系统之间的数据集成设计。

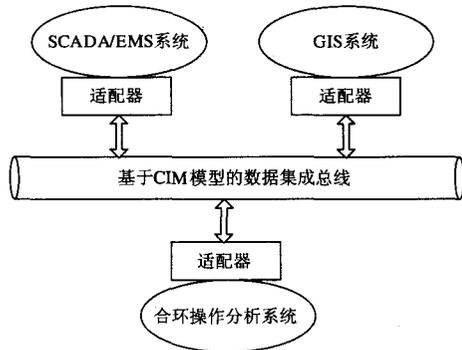


图 4 合环操作分析系统与其他系统之间的系统集成
Fig.4 System integration between the loop closing operation analysis system and other system existed in distribution

基于 CIM 模型的数据集成的框架结构如图 4 所示。3 个系统通过适配器将各自的数据格式转换成符合 IEC61970/61968 的 CIM 模型的标准格式,然后通过数据集成总线进行数据交互。通过这种方式,合环操作分析系统可以方便地从 SCADA/EMS 和 GIS 系统中得到所需要的数据。基于 CIM 模型的数据集成总线最大的特点是可以实现各系统的松耦合联系,系统的升级和更换较为容易。

3 合环潮流计算方法

合环潮流计算方法是合环操作分析系统中合环潮流计算模块的核心部分。与输电网不同,辐射型配电网的线路阻抗比 (R/X) 较大,导致网络的雅可比矩阵的条件数较大,采用传统的牛顿-拉夫逊法 (N-R)、PQ 分解法等方法计算时,程序收敛性不够理想。因此,合环潮流计算是合环操作分析系统设计的关键技术之一。

以图 2 所示由两条馈线组成的环路为例来说明合环潮流的计算方法。图 2 所示环路的电路等效图如图 5 所示,正常情况下,合环开关断开,两条馈线独立运行。进行检修或切负荷等工作时,将合环开关闭合。由于开关两侧存在电压差。因此,当合环开关闭合时,环路中将产生合环电流。

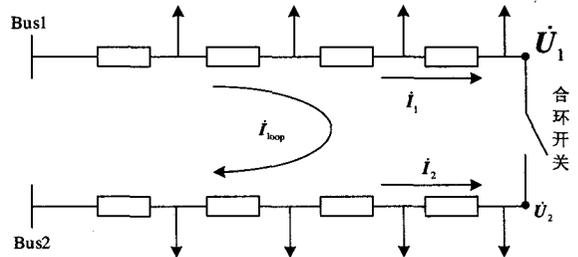


图 5 图 2 的等效电路图

Fig. 5 The equivalent circuit of figure 2

根据叠加定理,闭合合环开关后,流经各条支路的电流由两部分叠加而成:一部分是合环前的电流,另一部分是合环后由开关两侧的电压差产生的环流。对于合环前的电流分布,可以采用文献[6]所介绍的配电网树状分支的潮流计算方法进行计算。对于环流部分,则需要采用戴维南定理^[7]对网络进行等效(见图 6)。

如图 4 所示。戴维南电路的等效电源 U_{oc} 等于合环开关两侧的开路电压差,即:

$$\dot{U}_{oc} = \Delta \dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 \quad (1)$$

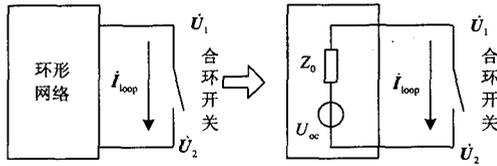


图 6 环形网络的戴维南等效

Fig. 6 Diagram of Thevenin equivalence to loop circuit

假设母线出线的两个节点之间的电压差合环前后保持不变, 则等效电源近似为恒定电压源。戴维南等效电路的等效阻抗 Z_0 的计算方法为: 从合环开关两侧看进去, 将负荷置零, 电压源置成短路状态时的环路阻抗。因此, 等效阻抗 Z_0 应等于环路中的各条分支线路的阻抗之和。设环路中 N 条分支线路。则:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^N Z_i \quad (2)$$

可根据戴维南等效电路计算环流:

$$i_{loop} = \frac{U_{oc}}{Z_0 + Z_s} = \frac{U_1 - U_2}{Z_0 + Z_s} \quad (3)$$

则:

$$i'_{1k} = i_{1k} + i_{loop} \quad (4)$$

$$i'_{2k} = i_{2k} - i_{loop} \quad (5)$$

其中: Z_s 为合环开关所在支路的阻抗。 i'_{1k} , i'_{2k} 分别为第一条馈线上第 k 条分支线路上合环前后的电流, i_{1k} , i_{2k} 为第二条馈线上的第 k 条分支线路上合环前后的电流。从而求得合环后环路各支路的电流分布情况, 进而求出整个环路中的潮流分布情况。

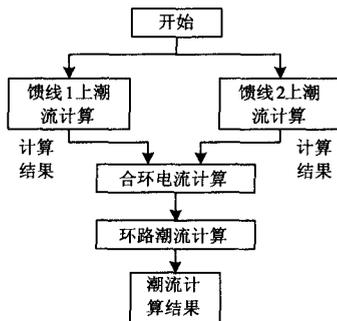


图 7 合环电流计算流程图

Fig. 7 Flow chart of loop closing current

配电网合环电流计算流程如图 7 所示。采用合环前后潮流叠加的方法对合环潮流进行计算具有良好的收敛性, 对于在线实时运行系统来说, 要求每次计算都具有收敛性, 因此, 需要对计算过程进行容错处理。具体处理方法为: 若时间 T 的断面数据

求得合环潮流不收敛, 则进行 $T+t$ 断面数据的计算, 若再不收敛, 进行 $T+2t$ 断面数据的计算, 直至潮流收敛为止, t 为时间间隔, 可根据系统对实时性的要求来确定。

4 结论

本文对某城市的典型的辐射型中压配电网进行了分析和研究, 在配电网原有 SCADA/EMS 和 GIS 系统的基础上, 提出了辐射型配电网合环操作分析系统的解决方案, 并采用基于 IEC61970/61968 CIM 模型实现合环操作分析与配网原有系统之间的数据交换。合环操作分析系统最为关键的部分是合环潮流计算模块, 而合环潮流计算方法是合环潮流计算模块的核心部分。由于不同地区中压配电网的网络结构, 负荷结构等存在差异, 计算模型方面亦有所区别。本文针对该城市典型的辐射型网络结构, 采用了合环前后潮流叠加的方法对合环潮流进行计算, 使合环潮流计算具有较好的收敛性。

参考文献

- [1] 叶清华, 唐国庆, 王磊. 配电网合环操作环流分析系统的开发和应用[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(22): 66-69.
YE Qing-hua, TANG Guo-qing, WANG Lei. Development and Application of the Analysis System for Closed Loop Operation of Distribution Network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(22): 66-69.
- [2] 夏翔, 熊军, 胡列翔. 地区电网的合环潮流分析与控制[J]. 电网技术 2002, 26(11): 58-60.
XIA Xiang, XIONG Jun, HU Lie-xiang. Analysis and Control of Loop Power Flow in Regional Power Network [J]. Power System Technology, 2004, 28(22): 58-60.
- [3] 强兴华. 地区电网合环操作的潮流近似计算[J]. 江苏电机工程, 2002, 21(5): 39-40.
QIANG Xing-hua. Approximate Flow Calculation During Closed Loop Operation in Local Electric Network[J]. Jiangsu Electric Engineering, 2002, 21(5): 39-40.
- [4] 孙宏斌, 张伯明, 相年德. 配电网潮流前推回推法的收敛性研究[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(7): 26-29.
SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, XIANG Nian-de. Study on Convergence of Back/forward Sweep Distribution Power Flow[J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(7): 26-29
- [5] 索南加乐, 李怀强, 单亚洲, 等. 辐射配网潮流技术在环网中的应用[J]. 西安交通大学学报, 2003, 37(12): 1272-1275.

(下转第 69 页 continued on page 69)

纯正弦信号时, 辛卜生算法的计算精度明显会比梯形法则的计算精度高, 因为前者的代数精度至少为 3 次, 而后者的代数精度为 1 次。

现在以正弦电流信号为例进行仿真计算, 设正弦电流信号为:

$$i(t) = 35 \sin(\omega t + \pi/3) \quad (15)$$

其中: $\omega = 2\pi f = 100\pi$, $\tau = 30$ ms。

取一周期内采样点数 N 为 40, 则采样间隔 T_s 为 0.5 ms。四种计算方法的结果如表 1 所示。

表 1 仿真计算结果

Teb.1 Simulation result

	真值	梯形算法	改进梯形算法	辛卜生算法	改进辛卜生算法
积分值 S	0.222 817	0.222 359	0.222 702	0.222 807	0.222 817
有效值 I	24.748 737	24.697 289	24.736 014	24.747 654	24.748 737
误差 / (%)	—	0.206	0.0516	0.004 88	0

由表 1 可知, 改进算法和辛卜生算法都比常用的梯形算法要精确。其中, 改进的辛卜生算法误差甚至达到零, 当然, 这里是约等于, 同时也表明此种算法的精度已经很高了。仿真结果和理论分析相吻合。

6 结论

本文提出的三种算法在仿真中得到了验证, 其运算量同梯形法则一样极小, 运算速度快。通过改

进, 半周积分算法的精确度大为提高。但是, 由于半周积分法的依据是一个正弦量在任意个半周内绝对值的积分为一常数。也就是说, 其对正弦信号才有效。另外, 改进算法所用的平均值代替瞬时值的方法, 也只有对纯正弦信号才精确。即, 改进梯形算法和改进辛卜生算法只有在输入信号为纯正弦信号时, 才精确有效。而辛卜生算法和梯形法则一样, 可以滤出正弦信号中的高频谐波, 同时, 精度大大提高。所以, 笔者认为可用辛卜生算法代替原梯形法则计算。梯形法则原有的滤除高频谐波的优点, 在本文所提的算法中仍然具有。故对于一些要求不高的电流、电压保护, 采用本文算法可以有效提高精确度。

参考文献

- [1] 杨琦逊, 黄少锋. 微型机继电保护基础(第二版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 朱方生, 李大美, 李素贞. 计算方法[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
- [3] 李佑光, 林东. 电力系统继电保护原理及新技术[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [4] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理(第三版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1994.

收稿日期: 2008-06-30; 修回日期: 2008-07-22

作者简介:

王明磊(1983-), 男, 硕士研究生, 从事变电站自动化及保护的研究; E-mail: wmlm@qq.com

常湧(1959-), 男, 高级工程师, 从事变电站自动化及保护的研究。

(上接第 61 页 continued from page 61)

SUONAN Jia-le, LI Huai-qiang, SHAN Ya-zhou, et al. Reliable Power Flow Technique for Meshed Distribution Networks[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2003, 37(12): 1272-1275.

- [6] 张尧, 王琴, 宋文南, 等. 树状网的潮流算法[J]. 中国电机工程学报, 1998, 18(3): 217-220.

ZHANG Rao, WANG Qin, SONG Wen-nan, et al. A Load Flow Algorithm for Radial Distribution Power Networks[J]. Proceedings of the CSEE, 1998, 18(3): 217-220.

- [7] 邱关源. 电路[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.

收稿日期: 2008-04-25; 修回日期: 2008-09-02

作者简介:

汲亚飞(1983-), 男, 助理工程师, 研究方向为配电自动化、电力系统接地防雷技术和电磁暂态技术; E-mail: jiyafei@gmail.com

赵江河(1957-), 男, 高级工程师, 研究方向为配电自动化。