

The Feasibility Research on Distribution Network Closed Loop Based on the Load Transfer Model

Qi Yin¹, Rui Ding¹, Yongchun Zhao², Yanfen Liu², Xiaolin Liu³

¹State Grid Deyang Electric Power Supply Company, Deyang Sichuan

²Beijing Join Bright Digital Power Technology Co., Ltd., Beijing

³State Grid (Beijing) Energy Conservation Design and Research Institute Co. Ltd., Beijing
Email: 695968323@qq.com

Received: May 17th, 2017; accepted: Jun. 3rd, 2017; published: Jun. 6th, 2017

Abstract

In order to improve the success rate of power distribution without switching power distribution, this paper presents mathematical model of load transfer in distribution network. The differences of voltage of amplitude and phase angle on both sides are calculated by the power flow. According to the size of the difference, we can determine whether the operation can be carried out, thereby improving the success rate of operation.

Keywords

Power Flow, Surge Current, Closing Loop

基于负荷转移模型的配网合环可行性研究

尹琦¹, 丁睿¹, 赵永春², 刘艳芬², 刘晓琳³

¹国网四川省电力公司德阳供电公司, 四川 德阳

²北京中恒博瑞数字电力科技有限公司, 北京

³国网(北京)节能设计研究院有限公司, 北京
Email: 695968323@qq.com

收稿日期: 2017年5月17日; 录用日期: 2017年6月3日; 发布日期: 2017年6月6日

摘要

为了提高配电网不停电倒换负荷的成功率, 本文提出了配电网负荷转移的数学模型, 通过潮流计算得到

文章引用: 尹琦, 丁睿, 赵永春, 刘艳芬, 刘晓琳. 基于负荷转移模型的配网合环可行性研究[J]. 电气工程, 2017, 5(2): 150-159. <https://doi.org/10.12677/jee.2017.52018>

合环点两侧的电压幅值差和相角差, 进行判断该合环点处是否可以实施合环操作, 进而提高合环倒电操作的成功率。

关键词

潮流计算, 冲击电流, 合环

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着电网建设的进展, 电网的 35 kV、10 kV 配网结构逐渐完善, 多数区域已实现环形网架结构。在正常运行方式下, 配网的各环网均在某处开环运行, 配网负荷由不同的主网电源供电, 当主、配网供电元件需要停电检修或调整运行方式时, 常需将配网负荷倒至另一电源供电。以往配网倒电多采用“冷倒”方式, 即停电倒闸的方式, 该方式将中断对用户的供电, 会影响电网公司的经济效益和社会效益。

在合环倒负荷过程中, 对电网稳定运行影响最大的是合环潮流的暂态值。文献[1] [2] [3]研究了合环潮流暂态值对电网的安全的影响, 提出了潮流的暂态值与合环两侧的电压幅值和相角差有关系的观点。潮流计算[3] [4] [5]可以预知系统中母线的电压是否在允许的范围以内, 同时可以计算出合环点两侧的电压幅值和相角变化, 根据国网提出的《电力系统运行方式工作管理规定》[6], 判断合环点处是否可以合环倒电的操作。快速解耦法(PQ 分解法)计算潮流, 可以提高计算速度, 降低对计算机贮存容量的要求[7], 本文采用 PQ 分解法计算潮流。通过对合环点处的判断, 可以选择适当的供电路径, 保证配电网对用户的可靠供电, 提高配电网运行的经济性[9]。由于配网中负荷的分布信息无法通过 SCADA 系统收集, 但是变电站出站处的负荷是可以通过 SCADA 系统采集到的, 本文提出了负荷的简化模型, 利用数学系数的方法将负荷转移至线路的两侧, 进而可以简化负荷模型提高计算效率。最后通过仿真验证, 该负荷模型的简化是合理的。

2. 配网合环原理

2.1. 城市配电网常用结构

合环倒电可以按照接线方式进行分类, 对于不同的合环方式, 具有不同的网络特点, 其合环操作的安全性水平也有不同。因此可以从合环方式的角度进行安全性评估。根据配电网接线图可以归纳出, 10 kV 配网合环转电的方式主要有以下几种:

图 1 是不同 220 kV 片网之间的馈线联络; 图 2 是相同 220 kV 片网, a 是不同 110 kV 线路分区的馈线联络; b 是相同 110 kV 线路分区, 不同主变之间的馈线联络; 图 3 是同一厂站, a 是相同母线不同馈线之间的联络, b 是不同母线所带馈线之间的联络; 图 4 是 220 kV 主变 10 kV 馈线之间的联络。

2.2. 负荷模型

目前配网负荷模型可以选择多种方式, 如负荷均匀分布, 负荷在线路首端或末端等。一般为了计算方便, 配电网负荷往往简单地归结于一点: 如线路首端或末端等。归结于一点这样可简化计算, 但模型不够精确, 使得最终结果会有较大误差影响。本系统在建立负荷模型时, 充分考虑了配电网负荷梳状结构的特

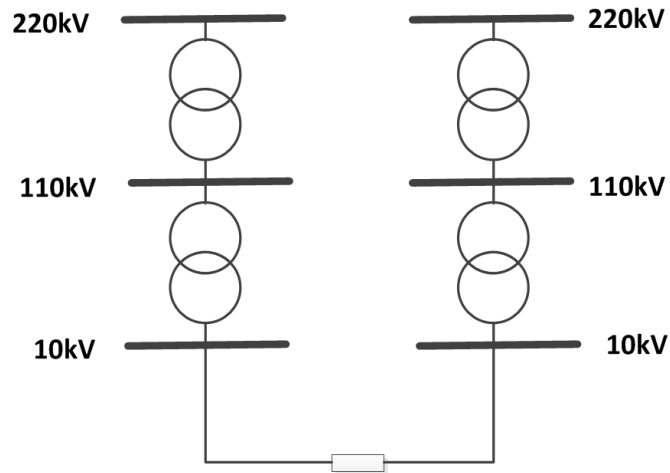


Figure 1. The diagram of 220 kV different network
图 1. 不同 220 kV 片网接线图

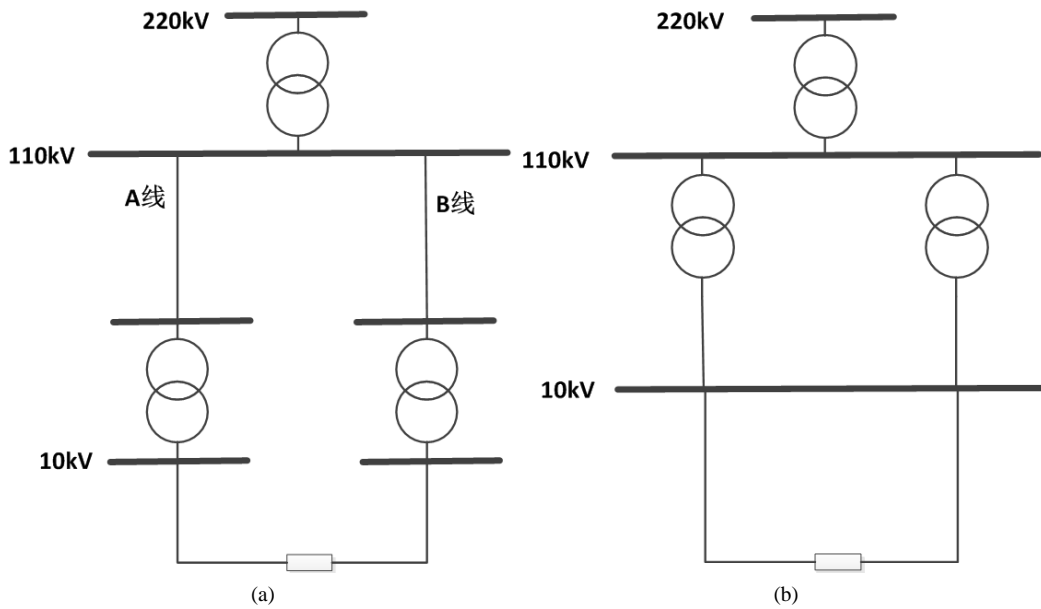


Figure 2. The diagram of 220 kV network
图 2. 相同 220 kV 片网接线图

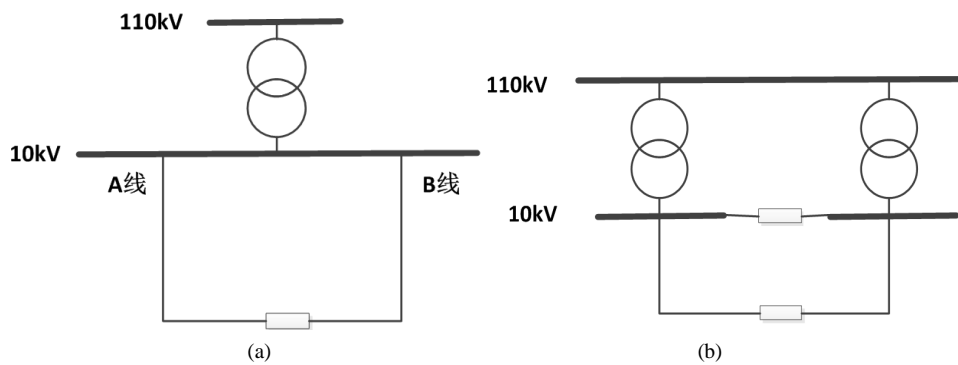


Figure 3. The diagram of the same plant
图 3. 同一厂站接线图

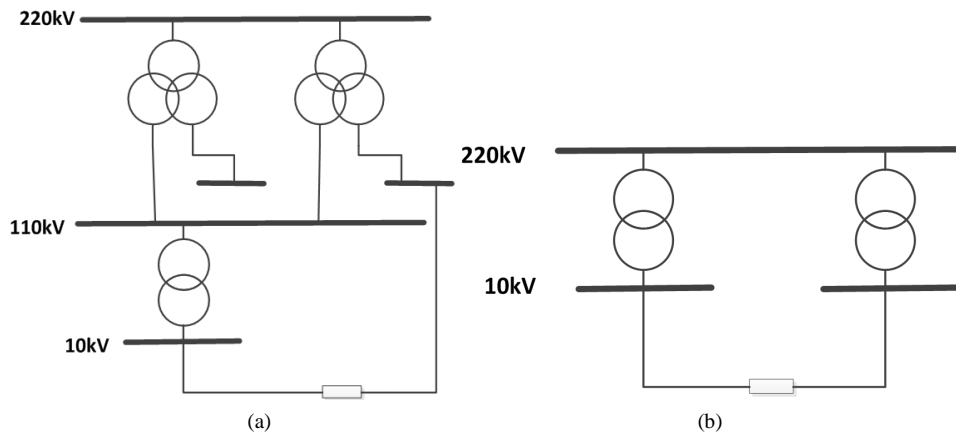


Figure 4. The diagram of the below of 220 kV main transformer
图 4. 220 kV 主变下的接线图

点, 让负荷均匀分布于配电网线路上, 再利用数学方法进行负荷转移, 便于潮流计算, 同时提高了精度。即可作如下假定: 对于一长为 L 的均匀线路, 若负荷 S 均匀分布于该线路上。如将该负荷移至两侧, 则有

$$S_i = S_j = \frac{1}{2}S \quad (1)$$

其中 S_i 和 S_j 是负荷 S 等效到线路两端的值。

由于配网自动化的水平有限, 目前大多数地区 SCADA 系统无法采集到配网的配变负荷情况, 只能采集到变电站 10 kV 出线负荷, 因此配网负荷模型采用以下方法进行处理:

在图 5 中, b_1 和 b_n 为变电站出线开关, b_2 、 b_{n-1} 为线路联络开关, Sn_1 、 Sn_i 和 Sn_{n-1} 分别为线路 b_1 - b_2 、 b_2 - b_3 和 b_{n-1} - b_n 的配变总容量。

开关 b_1 和 b_n 的功率 S_0 和 S_n 可以通过 SCADA 系统获取。而线路 b_1 - b_2 、 b_2 - b_3 和 b_{n-1} - b_n 的负荷 S_1, S_2, \dots, S_{n-1} 无法获取, 本系统采用系数法进行负荷分配, 第 i 段线路的负荷 S_i 为:

$$S_i = \frac{Sn_i}{\sum_{i=1}^{n-1} Sn_i} (S_0 + S_n) \quad (2)$$

2.3. 配网合环判据

根据《国家电网公司电力系统电压质量和无功电力管理规定》中电网调度管理条例, 合环时 500 kV 的电压差一般不应超过额定电压 10%, 220 kV 及以下电压不应超过额定电压 20%。合环操作一般应检查同期合环, 有困难时应启用合环断路器的同期装置检查相角差。合环时相位差 220 kV 及以下电压一般不应超过 25° , 500 kV 一般不应超过 20° 。

图 6 中 b_2 断路器需要合环操作, 合环操作需要满足 b_2 两侧相角差和电压差的条件, 即:

$$\begin{cases} \frac{|V_1 - V_2|}{V_n} < 20\% \\ |\theta_1 - \theta_2| < 25^\circ \end{cases} \quad (3)$$

公式(3)是合环倒电操作的判据。

2.4. 合环冲击电流模型

配网合环产生环流的主要原因有两个[10] [11]: 一, 合环开关两侧 10 kV 母线的电压差(幅值差、相

位差); 二, 合环开关两侧对系统的短路阻抗不同。

正常情况下, 只要保证合环开关两侧的电压差和短路阻抗不是很大, 合环后通过联络开关的稳流并不大, 但在合环的瞬时, 线路会产生暂态冲击电流, 可能会导致保护动作, 造成停电事故。

图 7 为一简单配电网合环系统, 正常运行时合环点联络开关断开, 网络保持辐射状, 当设备检修或倒负荷时合上联络开关。由于合环点两侧的电压差存在, 必定在环网系统中产生冲击电流, 对系统做适当简化以方便计算分析冲击电流。根据系统的三相对称性, 只研究其中的一相, 如 L1 的单相, 计算合环暂态冲击的单相等值电路[8]如图 8 所示。图 8 中 L 和 R 为环网中所有电气元件的等效电感和电阻之和, 合环点两侧的电压差等效为计算模型中的电压源。系统合环线路外其他部分用等值负荷处理, 由于等值负荷与线路阻抗比很大, 故在计算冲击电流时可忽略不计。

由于线路呈感性, 合环至稳态的整个过程是振荡衰减的, 因此建立微分方程计算冲击电流, 得到实时响应。计算模型中的激励为 L1 相相电压, 为

$$\dot{E} = \frac{\Delta \dot{u} \angle 30^\circ}{\sqrt{3}} \tag{4}$$

其中 $\Delta \dot{u}$ 为合环点两侧的电压差, 即

$$\Delta \dot{u} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 \tag{5}$$

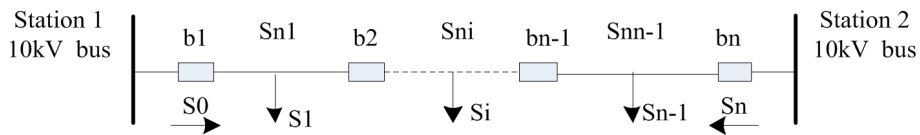


Figure 5. The load model of distribution network
图 5. 配网负荷模型

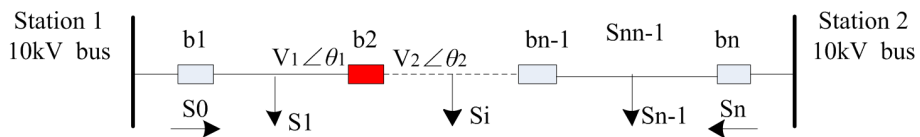


Figure 6. The diagram of closed loop
图 6. 合环线路示意图

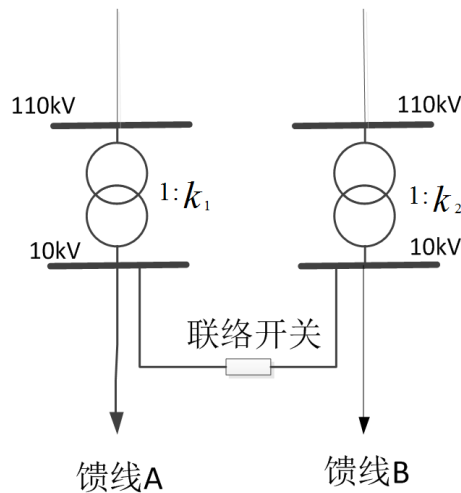


Figure 7. The closed loop of network
图 7. 配网合环示意图

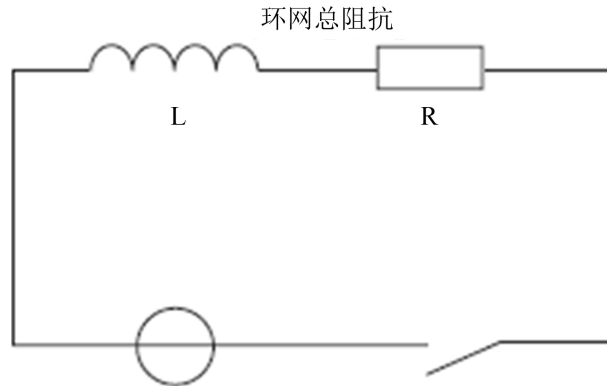


Figure 8. The diagram of Davison equivalent circuit
图 8. 配网合环戴维南等效电路图

合环电流的瞬时值应满足如下微分方程:

$$E_{\max} \sin(\omega t + \alpha) = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (6)$$

其中 α 为合环时刻 $t=0$ 时 \dot{E} 的初始相角, 它是由该时刻合环点两侧电压的相角差所决定的。

冲击电流的计算表达式为:

$$i(t) = -Me^{-(R/L)t} \sin(\alpha - \varphi) + M \sin(\omega t + \alpha - \varphi) \quad (7)$$

式中:

$$M = \frac{E_{\max}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}, \quad \varphi = \arctg\left(\frac{\omega L}{R}\right),$$

M 为合环电流周期分量的幅值, φ 为周期分量和 E_{\max} 间的相角。

最大冲击电流 I_M 为:

$$I_M = 1.62 \left(\frac{I_m}{\sqrt{2}} \right)$$

其中: I_m 为合环稳态电流的幅值。

3. 潮流计算

潮流计算时电力系统分析中最基本且重要的计算之一, 典型的潮流算法有高斯-赛德尔法、牛顿-拉夫逊法和 Van Amerongen 提出的 BX 通用型快速解耦法等。其中快速解耦法克服了 $r > x$ 网络不能收敛的问题。本文用快速解耦的方法进行潮流计算。

快速解耦法(也称为 PQ 分解法)是目前电力系统进行潮流计算的主要方法, 基本思想是: 把节点功率表示为电压向量的极坐标方程式, 以有功功率误差作为修正电压向量角度的依据; 以无功功率误差作为修正电压幅值的依据, 把有功功率和无功率迭代分开来进行。其特点是以不变的、对称的系数矩阵代替原牛顿-拉夫逊法修正方程式中变化的、不对称的雅克比矩阵, 以提高计算速度, 降低对计算机贮存容量的要求(图 9)。

对于每一个 PQ 节点或每一个 PV 节点都可以列写一个有功功率不平衡方程式:

$$\Delta P_i = P_{is} - P_i = P_{is} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) = 0 \quad (i=1, 2, \dots, n-1) \quad (8)$$

对于每一个 PQ 节点还可以再列写一个无功功率不平衡量方程式:

$$\Delta Q_i = Q_{is} - Q_i = Q_{is} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) = 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

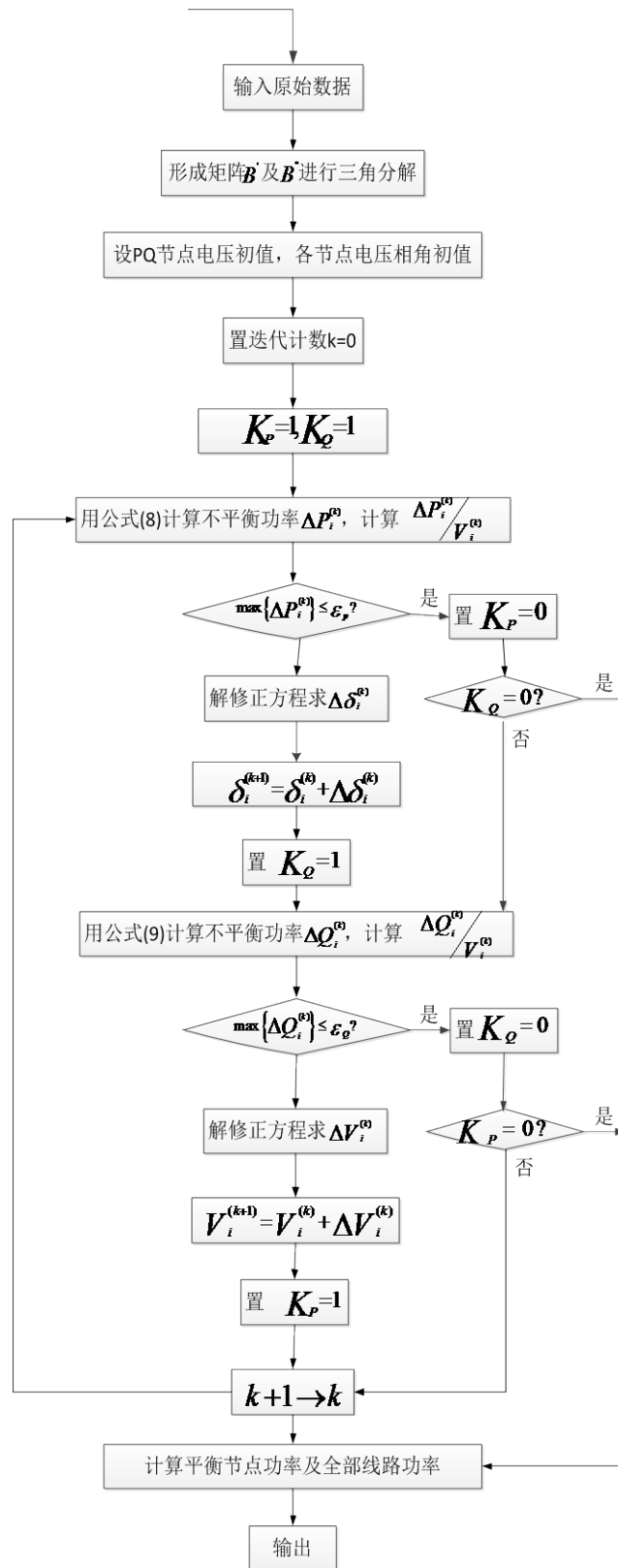


Figure 9. The diagram of P-Q power flow
 图 9. P-Q 分解法潮流计算流程框图

4. 算例分析

本文结合德阳实际电网，以德阳电网两条典型 10 kV 线路的合环为例，线路运行方式如下：10 kV 八长二路：220 kV 五里堆站→110 kV 八角站→10 kV 八长二路。10 kV 庐合路：220 kV 寿丰站→110 kV 庐山站→10 kV 庐合路。合环方式下，环内所有设备不过载，合环操作全过程，不得引起环内变电站 10 kV 母线电压越限(母线合格电压为 10.0~10.7 kV)。10 kV 合环点电压应满足《国家电网公司电力系统电压质量和无功电力管理规定》中对用户受电端供电电压允许偏差值。(10 千伏及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的 $\pm 7\%$ 。)

合环冲击电流属于暂态过程，时间不大于 5 个周波，即大部分非周期分量在不超过 0.1 S 时间内将衰减完毕。由于合环冲击电流由周期分量(稳态电流)和非周期分量(直流分量)构成，其最大瞬时值将在合环发生经过半个周期后(约 0.01 S)出现，冲击电流只会对速断保护产生影响，所以最大冲击电流应小于线路的速断保护的定值。通过对合环冲击电流的计算分析，可以设置速断保护的定值。

对图 10 中的典型电网接线图进行建模仿真，得到合环点两侧的相角差和电压差，进而计算合环冲击电流的大小，根据管理规定中对电压偏差和相角偏差的要求，判断该合环点是否符合合环倒电的要求。

图 11 是合环冲击电流的波形图，从图中可以看到冲击电流中的非周期分量在 5 个周期波内衰减到零，冲击电流的最大幅值出现在合环后的半个周期左右(表 1)。

从表 2 可以看出合环点两侧电压压差幅值和相角都符合公式(3)中的合环条件，因此该网络可以在闸桥东断路器处进行合环倒电的操作。

图 12 是德阳供电局采用合环测量装置对合环点的电压相角和电压幅值进行测量的示意图。下表是测量装置测量的结果。

表 2 和表 3 中的数据进行对比，发现通过仿真计算得到的合环理论依据与现场实际测量得到的结论是一致的，即该合环点可以进行合环操作。说明负荷模型的简化是合理的，可行的。

采用负荷模型的配网合环的研究具有一定的现实意义，通过理论计算得到的结果，可以作为现场合环操作的依据，可以为供电局节约购买测量装置的开支，在操作安全上更是可取的。

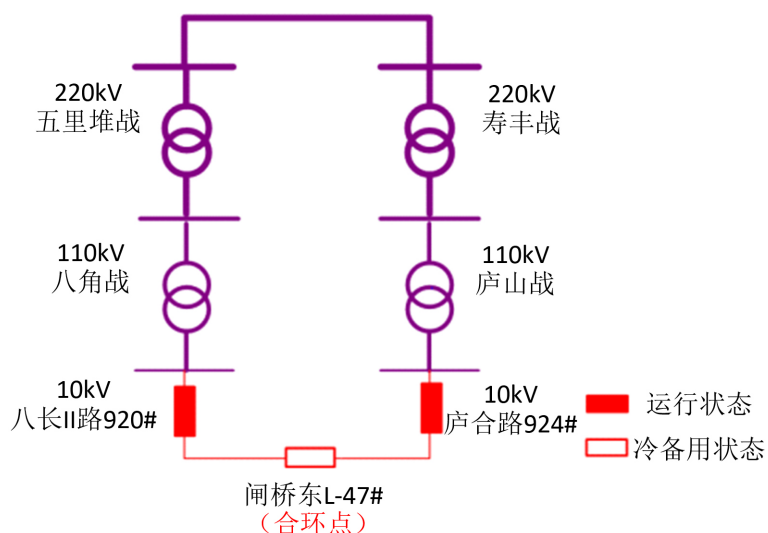


Figure 10. The diagram of Typical wiring of Deyang

图 10. 德阳电网典型接线图

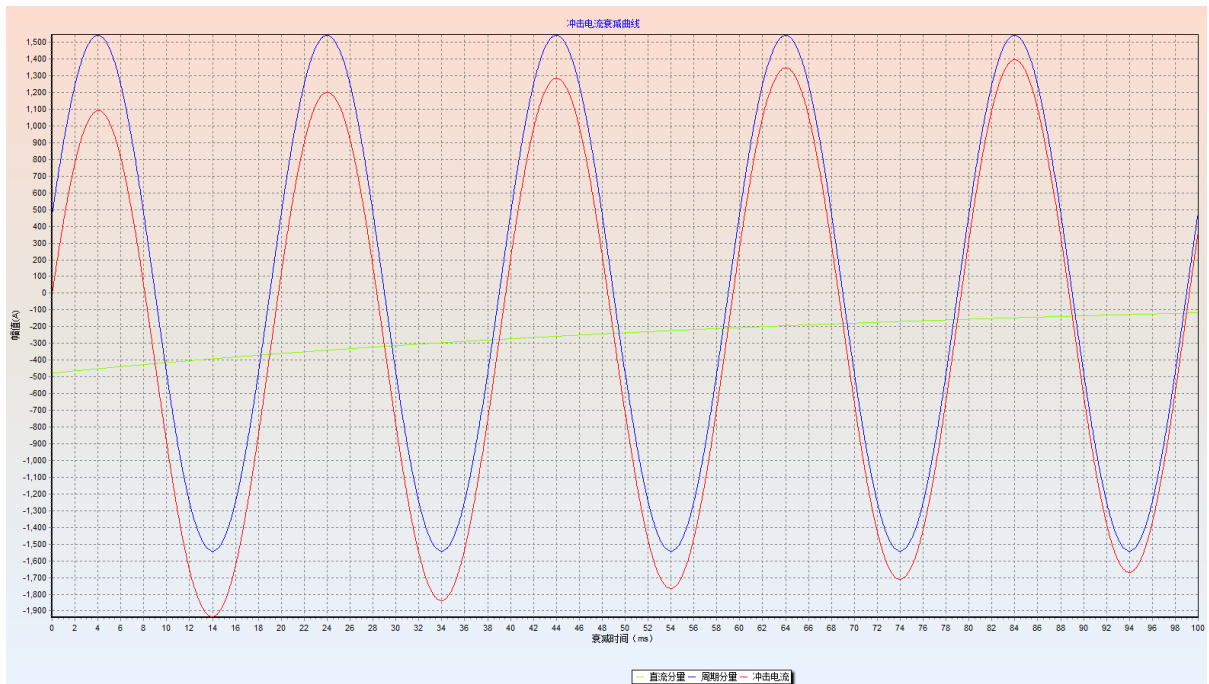


Figure 11. The diagram of surge current of closed loop

图 11. 合环冲击电流

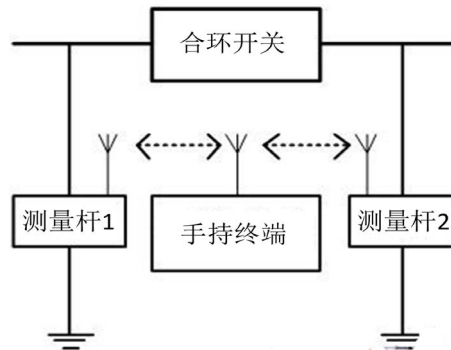


Figure 12. The block diagram of closed loop measurement

图 12. 合环装置测量框图

Table 1. The information of current of closed loop of Zhaqiaodong

表 1. 闸桥东合环点电流信息

合环点	合环前		合环后		环流	
庐合路侧	271.5927	±0.24	141.2265	±0.2	130.3662	±0.27
八长路侧	21.1661	±0.35	148.0599	±0.17	126.8940	±180.14

Table 2. The information of voltage of closed loop of Zhaqiaodong

表 2. 闸桥东合环点电压信息

	庐合路侧	八长路侧	差值	百分比%	参考值	结论
压幅值(kV)	9.9422	9.794	0.1482	1.482	20.00%	符合
电压相角(°)	-4.2821	-11.9156	7.6335		20	符合

Table 3. The information of voltage is obtained by measuring
表 3. 测量得到的合环点电压信息

	庐合路侧	八长路侧	差值	百分比%	参考值	结论
压幅值(kV)	10.96	9.52	1.44	14.4	20.00%	符合
电压相角(°)	-2.67	-12.32	9.65		20	符合

5. 结论

由于 SCADA 系统只可以采集到变电站出站的负荷数值，我们采用本文中提出的简化的负荷模型，采用数学系数的方法处理线路两端的负荷，使其均匀分布在线路上。通过潮流计算，得到合环点两侧理论的相角差和电压差，判断该断路器处是否可以合环倒电的操作。为合环倒电的操作提供了理论依据。

参考文献 (References)

- [1] 刘磊, 禹化然, 金鑫. 合环潮流的暂态过程分析[J]. 工程机电, 2008, 25(10): 74-76.
- [2] 李丛林. 天津电网潮流分析和暂态稳定仿真研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2011.
- [3] 李晓柯, 李祥发. 配电网合环冲击电流的暂态过程分析与仿真[J]. 机电工程, 2010, 27(5): 67.
- [4] 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, 2004, 28(22): 76-80.
- [5] 陈成功, 杨昀, 李爱元, 凌志勇. 典型配电网合环潮流计算与分析[J]. 湖南电力, 2015, 35(4): 18-23, 26.
- [6] 国家电网公司. 国家电网公司电力系统电压质量和无功电力管理规定[Z]. 2009: 2.
- [7] 吕彬林, 刘敏, 徐天福. 快速解耦法潮流计算方法的比较[J]. 江西电力, 2013, 37(5): 67-69, 89.
- [8] 何仰赞, 温增银. 电力系统分析[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2010.
- [9] 张兰秀. 合环操作在 10kV 配网中的应用探讨[EB/OL].
<http://www.chinaqking.com/yc/2012/254556.html>, 2012-8-23.
- [10] 陈霄, 王磊, 李杨. 配电网合环冲击电流的分析[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(4): 40-42.
- [11] 邱关源. 电路[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org