

配电网合环冲击电流的分析

陈 霄,王 磊,李 扬

(东南大学 电气工程系,江苏 南京 210096)

摘要: 配电网合环操作时,一般只验证合环后稳态电流是否会造成潮流超过设备限额,而没有考虑合环瞬时的最大冲击电流对电网的安全、稳定运行的影响。为此提出了计算合环最大冲击电流的方法,给出了合环冲击电流计算的数学模型及计算方法和计算流程图,并根据现场实际情况编写程序对此过程进行模拟。目前,该系统已在江苏大丰、靖江配电网系统中投入运行,实际应用表明,该方法对电网实际运行有一定的指导意义。

关键词: 配电网; 合环; 冲击电流

中图分类号: TM 734; TM 76

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)04-0040-03

配电网最大的特点即闭环结构、开环运行^[1-7]。其中每一个负荷都是由单一的母线供电,不同母线所带的负荷区域用联络开关隔离,形成供电负荷岛。正常情况下,为保证配电网的辐射状运行结构,联络开关一般开断运行。随着配电网的发展和社会对供电可靠性要求的提高,配电网双向供电和多电源供电的供电模式日益增多。若选择适当的供电路径进行合环操作,可以增强配电网的供电可靠性,保证配电网的供电灵活性,提高配电网的运行经济性。但在合环操作时,合环瞬间将产生较大的冲击电流,稳定后电网中可能产生较大环流,这都将直接影响到电网的安全稳定运行。一般情况下,操作人员只能凭经验决定是否可以进行合环,所以很容易造成方法保守,降低系统供电的可靠性。

1 配电网合环简介

1.1 配电网合环操作的概念

正常情况下,配电网结构如图 1 所示,系统输电主干网(220 kV 和 500 kV)都是环状结构运行

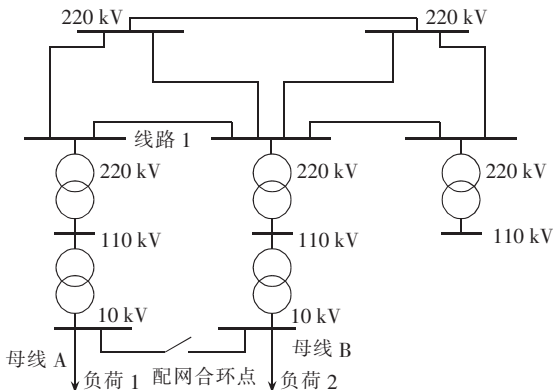


图 1 配电网合环示意图

状态,110 kV 母线都是开环运行的。配电网都是开环运行的。

当母线 A 需要检修或出现故障时,就需要通过在配电网合环点闭合联络开关,将 A 上的部分负荷转移到母线 B 上,从而保证不间断供电,这种对联络开关进行闭合的操作就称为合环操作。

1.2 配电网合环操作的潜在危险

配电网合环操作一方面可减少用户停电,提高网络供电可靠性,但另一方面,合环操作对电力系统存在潜在危险性。具体分析如下:图 1 中,母线 A 和母线 B 通过合环开关并联运行时,除了需要验证合环后的稳态电流外还需考虑合环瞬时的暂态冲击电流;正常情况下,只要 A、B 母线的电压差不是很大时,合环后通过联络开关的稳态电流不大;但是在合环瞬时,线路会产生暂态冲击电流,可能会导致保护动作,从而造成大面积的停电事故,造成无法弥补的经济损失。因此,对于配电网合环操作,一定要谨慎进行。

2 合环冲击电流计算数学模型

2.1 模型建立及简化

图 2 所示系统,正常时开环运行,当故障检修时需进行合环操作,合环点为 S 点。由于合环前母线 1、2 间存在电压差,故在合环瞬间会产生一冲击电流叠加在环路中,若该电流很大则可能会给系统带来不安全因素。



图 2 配电网合环略图

Fig.2 Outline of closing loop in distribution grid

由于线路呈感性,合环至稳态整个过程应是振荡衰减的,因此计算该电流时需建立微分方程,得到实时响应,才能了解电流变化情况以及它对系统的影响。

为计算方便,需对系统进行简化。首先,计算环流可略去图中的负荷;其次,对于 35 kV 及以下电压级的架空线路,可不计线路电纳;对合环开关所在联络线路部分,使用集中参数模型,不考虑合环开关在线路中的位置分布及作用,即得图 3 所示简化模型。

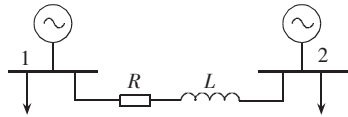


图 3 简化后的合环电路模型
Fig.3 Simplified model of closing loop

图 3 中 1 号厂站 35 kV 母线电压为 U_1 , 相角为 θ_1 ;合环线路另一端也就是 2 号厂站的 35 kV 母线电压为 U_2 ,相角为 θ_2 ; R 和 L 分别是图 2 中环路 I, II, III, IV 段总的电阻和电感。

2.2 公式推导

将系统合环线路外其他部分用等值负荷处理,由于等值负荷和线路阻抗比很大,故在计算冲击电流时可以忽略不计,计算合环瞬间冲击电流电路 s 域模型如图 4 所示。

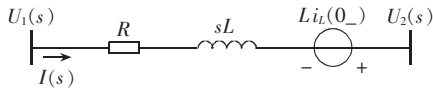


图 4 电路元件、参数变换后的 s 域模型图
Fig.4 Model in s domain with transform of circuit elements and parameters

在合环前合环线路上不可能有电流通过,故: $i_L(0_-)=0$,则显然 $Li(0_-)$ 也应该是零。由此,可忽略由线路电感引起的计算模型中的反向电压源。即:

$$I(s) = \frac{U_1(s) - U_2(s)}{R + sL} = \frac{(C - D) / (s^2 + \omega^2)}{R + sL} = \frac{As - B}{(s^2 + \omega^2)(R + sL)} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} C &= \sqrt{2} U_1 s \cos \theta_1 - \sqrt{2} U_1 \omega \sin \theta_1 \\ D &= \sqrt{2} U_2 s \cos \theta_2 - \sqrt{2} U_2 \omega \sin \theta_2 \\ A &= \sqrt{2} (U_1 \cos \theta_1 - U_2 \cos \theta_2) \\ B &= \sqrt{2} (U_1 \sin \theta_1 - U_2 \sin \theta_2) \omega \end{aligned}$$

则

$$I(s) = \frac{As - B}{L(s^2 + \omega^2)(s + R/L)} \tag{2}$$

令

$$I(s) = \frac{1}{L} \left(\frac{Ms}{s^2 + \omega^2} + \frac{N}{s^2 + \omega^2} + \frac{P}{s + R/L} \right)$$

对该式进行通分得到如下表达式:

$$I(s) = \frac{Ms^2 + MRs/L + Ns + NR/L + Ps^2 + P\omega^2}{L(s^2 + \omega^2)(s + R/L)} \tag{3}$$

联立式(2)和(3),进行比较之后可得出以下 3 个等式:

$$\begin{aligned} M + P &= 0 \\ MR/L + N &= A \\ NR/L + P\omega^2 &= -B \end{aligned} \tag{4}$$

将上面 3 个等式整理之后,有

$$M = -P, \quad N = A - RM/L$$

将它们一起代入方程组(4)的第 3 个等式,消去 N 和 P 之后为

$$(R^2/L^2 + \omega^2)M = RA/L + B \tag{5}$$

求解上式得到 M 的表达式后再将其带入式(4)中就可以得到另外 2 个待定系数的表达式,将它们整理后得:

$$\begin{aligned} M/L &= (RA + BL) / (R^2 + \omega^2 L^2) \\ P/L &= -M/L \\ N/L &= A/L - RM/L^2 \end{aligned} \tag{6}$$

式(6)中所列 3 个等式的左边实际就是拉普拉斯逆变换后所要得到的最大冲击电流的实时公式的系数。

用拉普拉斯反变换对 $\frac{1}{L} \left(\frac{Ms}{s^2 + \omega^2} + \frac{N}{s^2 + \omega^2} + \frac{P}{s + R/L} \right)$ —— $I(s)$ 的表达式进行处理后很容易就能够得到 $i(t)$ 的表达式:

$$i(t) = \frac{M}{L} \cos \omega t + \frac{N}{L\omega} \sin \omega t + \frac{P}{L} e^{-\frac{R}{L}t} \tag{7}$$

将式(6)中的公式代入,即可得到冲击电流的表达式。

2.3 计算流程图

计算流程图如图 5 所示。

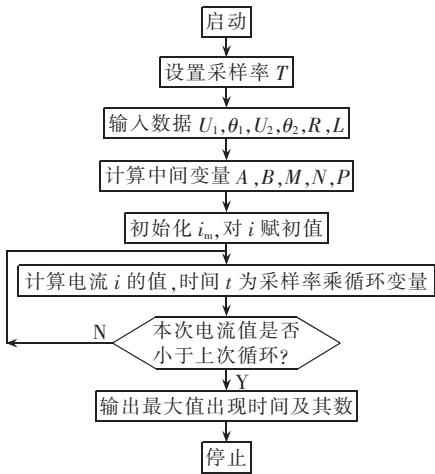


图 5 计算流程图

Fig.5 Procedure of calculating the maximum surge current

3 算例

本文以靖江 35 kV 配电网系统为例进行分

析。由于该地区电力负荷密度大,电网结构复杂,用户对电网的供电可靠性要求较高,合环操作频繁。靖江供电公司要求结合实际操作的需要,对用户提出的合环路径进行分析,从而给运行人员以依据,快速、准确地判断出合环操作的可能性,达到预期目的。

3.1 计算结果

目前,该系统已在江苏大丰、靖江的配电网系统中投入了运行,在靖江 35 kV 配电网系统中取典型线路计算,结果如表 1 所示。

表 1 冲击电流计算结果
Tab.1 Calculating results

变电站名称	电压差 /kV	相角差 /(°)	环路阻抗 /Ω	冲击电流 /A	能否合环
土桥变—斜桥变	0.452	0.12	2.05+j 3.75	129.24	能
礼士变—东兴变	0.066	0.11	6.90+j 7.90	13.72	能
靖江变—马洲变	0.608	0.21	3.20+j 4.30	271.32	能

3.2 冲击电流影响因素分析

模型及公式推导结果表明,冲击电流大小与 3 个因素有关:合环前电压差、相角差以及环路线路阻抗。冲击电流大小近似与电压幅值差和相角差成正比,而与环路线路阻抗近似成反比。

为考虑单个因素对冲击电流的影响,本文利用一组测试数据,计算不能合环时的极限情况。结果表明,电压幅值差在规定的 5 % 变化范围内对冲击电流影响不大,而相角差达到 3°时,冲击电流即超出了设备限额。所以合环前如线路电压相角差较大,需谨慎合环。

4 结语

配电网进行合环操作时,除了要考虑合环后稳态潮流外,冲击电流的影响也不容忽视。本文从时频变换出发,得到电流的实时响应。实验结果表明,该方法较精确地描述了从合环到稳态的整个过程,弥补了以往方法的一些不足。

参考文献:

[1] 杨期余. 配电网[M]. 北京:中国电力出版社,1998.

[2] 叶清华,唐国庆,王磊,等. 配电网合环操作环流分析的开发应用[J]. 电力系统自动化,2002,26(22):66-69.
YE Qing-hua,TANG Guo-qing,WANG Lei,et al. 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.

[3] CHENG C S,SHIRMOHAMMADI D. A three-phase power flow method for real-time distribution system analysis [J]. IEEE Trans. on Power Systems,1995,10(2):671-679.

[4] NAKAMURA H,SHIINO J. Inverse distribution system of construction for closed-loop construction system[A]. Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing,2001. Proceedings EcoDesign[C].[s.l.]:[s.n],2001. 696-701.

[5] 王伟灿,周昱甬. 电力系统合环电流的分析及控制对策[J]. 供用电,2002,19(4):26-28.
WANG Wei-can,ZHOU Yu-yong. Analysis and control of closing loop current in power[J]. Distribution and Utilization,2002,19(4):26-28.

[6] SHEN Kun-yuan,GU Jyh-cherng. Protection coordination analysis of closed-loop distribution system[J]. Power System Technology,2002,2(2):702-706.

[7] 覃庆禄. 城市配电网的环式供电方式 [J]. 广东电力,2003,16(3):21-22,41.
TAN Qing-lu. Loop service mode of urban power distribution system[J]. Guangdong Electric Power,2003,16(3):21-22,41.

(责任编辑:戴绪云)

作者简介:

陈霄(1981-),女,江苏泰兴人,硕士研究生,研究方向配电网规划、电力市场(E-mail:wojumm@hotmail.com);
王磊(1963-),女,江苏南京人,副教授,从事配电网自动化、人工智能、决策支持系统在电力系统中的应用等研究;
李扬(1961-),男,江苏泰兴人,教授,主要从事电力市场的教学及研究工作。

Analysis of surge current due to closing loop in distribution grid

CHEN Xiao,WANG Lei,LI Yang

(Department of Electrical Engineering,Southeast University,Nanjing 210096,China)

Abstract: Maximum surge current due to closing loop in distribution grid is not taken account of at present,which affects security and stability of the system. This paper brings forward a method to calculate the maximum surge current and simulate the whole process by programming. Its mathematical model,calculating means and flowchart are presented. Applications in local distribution systems show that the proposed method has reference meaning for the system operation.

Key words: distribution grid; close loop; surge current