

# 模糊数学在小接地电流系统中的应用

侯宝生, 曾成碧, 高瓴, 马月娇, 刘慧玲

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 电网发生小接地电流单相短路的机会很多, 约占总故障的 70% ~ 80%, 所以电网的单相接地故障的处理就显得很重要。由于小接地电流系统信号极其弱小, 再加上信号放大设备自身的电路造成的噪音, 以及环境温度的影响, 很可能把零序信号淹没, 因此小接地电流系统是信息不完整、不精确的系统。提出了模糊理论应用于小接地电流系统的故障诊断, 把线路的质量, 经济性考虑进去, 能够收到良好的效果。

关键词: 小接地电流系统; 故障诊断; 模糊数学

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2003)08-0015-03

## 1 引言

电网发生小接地电流单相短路的机会是很多的, 约占总故障的 70% ~ 80%, 所以电网的单相接地故障的处理就显得很重要了。小接地电流发生单相短路时候, 一般不破坏系统的对称性, 所以可以继续供电, 电网可以继续运行。但是在电网发生单相接地故障时, 为了防止故障进一步扩大, 必须采取措施加以消除。一般电网允许带一点接地故障运行的时间约为 1 ~ 2 h。

小接地电流电网一般装有一套绝缘监视装置, 以监视电网的对地绝缘, 当电网发生接地故障时, 装置发生无选择性的信号, 由值班员采取依次断开又接通的方法, 找出发生接地故障的线路。虽然绝缘监视装置简单、经济, 但在寻找故障接地的过程中, 不仅会短时中断对用户的供电, 造成巨大的损失, 而且操作麻烦。

零序电流保护, 只有在电网的线路数目较多时, 才具有足够的灵敏度, 小接地电流系统故障的处理到现在还没有找到令人满意的方案。

为适应复杂处理与控制的需要, 美国加州贝克莱大学查德教授提出了模糊理论<sup>[1-3]</sup>, 即在信息不完整、不精确的情况下做出判断与决策, 也就是进行模糊信息处理。由于小接地电流系统信号极其弱小, 再加上信号放大设备自身电路造成的噪音, 以及环境温度的影响, 很可能把零序信号淹没。因此小接地电流系统也是信息不完整、不精确的系统。实验证明, 把模糊理论应用到小接地电流系统, 能起到良好的效果。

## 2 中性点不接地电网单相接地时的小接地电流系统零序电流的分配

图 1 所示是一中性点不接地电网, 电网各相对地集中电容分别为:  $C_A = C_B = C_C = C_0$ , 这三个对地集中电容即相当于一对称星形负荷, 此星形负荷中性点就是大地。各相对地电压分别为各相相电压。各相集中电容在三相对称电压的作用下, 产生的电流是对称的, 并超前相应的相电压  $90^\circ$ , 每相电容值为  $I = jU\omega C_0$  (其中  $U$  为相应的相电压)。所以正常时候它们没有零序电流。

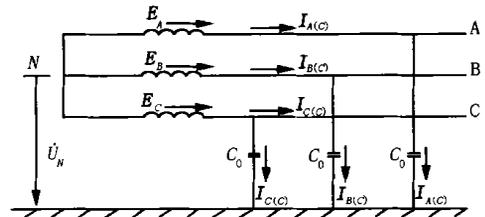


图 1 中性点不接地电网

Fig. 1 Neutral point ungrounded power net

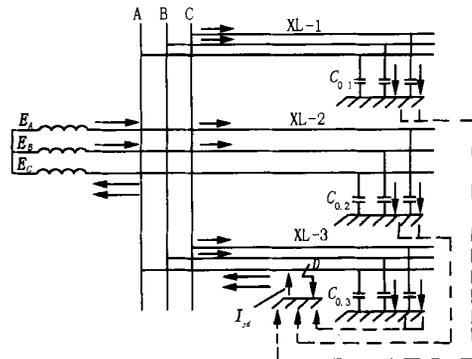


图 2 单相接地故障电网

Fig. 2 Power net of the single-phase to earth fault

图2所示,  $E_A$ 、 $E_B$ 、 $E_C$  为三相电势。当电网发生单相接地故障,例如:A相发生接地故障时,A相相对地电压  $U_{(A)}$  为零,B、C两相电压对地升高 $\sqrt{3}$ 倍。以  $E_A$  为基准向量,如图1中规定的正方向,则电网中性点以及各相对地电压为:

$$U_N = -E_A, \quad U_B = E_B - E_A = \sqrt{3} E_A e^{-j150^\circ}$$

$$U_C = E_C - E_A = \sqrt{3} E_A e^{j150^\circ}$$

此时电网出现零序电压(故障点的零序电压和母线的零序电压相等)。

$$U_0 = (U_A + U_B + U_C)/3 = (\sqrt{3} E_A e^{-j150^\circ} + \sqrt{3} E_A e^{j150^\circ})/3 = -E_A$$

由于  $U_{(A)} = 0$ ,所以各线路的A相对地电容电流为零,而非故障相即B、C相的电容电流不为零,而出现零序电流。

以线路XL-1为例,该线路的B相C相对地电容电流为:

$$I_{B,1(C)} = j\omega C_{0,1} U_B = j\omega C_{0,1} \sqrt{3} E_A e^{-j150^\circ} = \sqrt{3} \omega C_{0,1} E_A e^{-j60^\circ}$$

$$I_{C,1(C)} = j\omega C_{0,1} U_C = \sqrt{3} \omega C_{0,1} E_A e^{-j120^\circ}$$

于是线路XL-1总的对地电容电流也就是线路的三倍零序电流  $3I_0$  为:

$$3I_{0,1} = I_{B,1(C)} + I_{C,1(C)} = \sqrt{3} \omega C_{0,1} E_A (e^{-j60^\circ} + e^{-j120^\circ}) = -j3 E_A \omega C_{0,1} = j3 U_0 \omega C_{0,1}$$

同理可以解出XL-2,XL-3中两非故障相对地总的电容电流。可以表示为:

$$3I_{0,2} = I_{B,2(C)} + I_{C,2(C)} = -j3 E_A \omega C_{0,2} = j3 U_0 \omega C_{0,2}$$

$$3I_{0,3} = I_{B,3(C)} + I_{C,3(C)} = -j3 E_A \omega C_{0,3} = j3 U_0 \omega C_{0,3}$$

流过故障点的总电流为各条线路对地电容电流的总和。可以表示为:

$$I_{jd} = 3I_{0,1} + 3I_{0,2} + 3I_{0,3} = j3 U_0 \omega (C_{0,1} + C_{0,2} + C_{0,3}) = j3 U_0 \omega C_0$$

式中:  $C_0$  为整个系统一相对地电容电流的总和。

(1) 非故障线路的零序电流就是本线路的对地电容电流。方向是母线流向线路,这个电流将通过装在线路始端的零序电流互感器一次侧而反映到二次侧。

(2) 非故障线路始端的零序电流  $3I_{0,XL-3}$  为

$$3I_{0,XL-3} = 3I_{0,3} - 3I_{jd} = -(3I_{0,1} + 3I_{0,2})$$

它是全电网非故障线路的对地电容电流的总和,其值较每条非故障线路的零序值大,其方向由线

路流向母线,正好与非故障线路的零序电流的方向相反。因此我们可以据此找出故障线路。

### 3 小接地电流系统的模糊数学处理方法

处理小接地电流系统的流程图如图3所示。由于零序电流互感器中的零序电流很小,因此先经过功率放大电路把零序电流进行放大。这要求放大器件的灵敏度很高,故采用集成运算放大器F007。由于它采用镜象电流源,能提高整个电路的共模抑制比的负反馈,从而起到稳定工作点的作用,可以克服由于外界温升以及环境温度的影响把零序电流信号淹没的情况。小接地电流系统是信息不精确、不完整的系统,因此需要把模糊数学引入到小电流接地系统中,以提高预告系统的准确性和经济性。

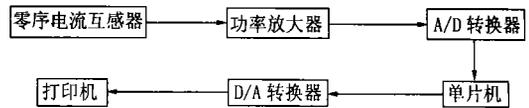


图3 微机预报过程

Fig. 3 Process of microprocessor forecast

在小电流接地系统中,线路故障与电缆沟潮湿、电缆的老化程度以及电缆的构成有关。收集近几年的线路故障次数及其分布发现其符合正态分布,于是故障次数的模糊集为:

$$A_1(x_1) = \begin{cases} 1, & X_1 \leq \bar{X}_1 \\ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{X_1 - \bar{X}_1}{\sigma} \right), & \bar{X}_1 - \sqrt{2} \sigma < X_1 < \bar{X}_1 \\ 0, & X_1 \geq \bar{X}_1 + \sqrt{2} \sigma \end{cases}$$

其中:  $\bar{X}_1$  为变电站线路的平均故障次数,  $\sigma$  为方差。

在小接地电流故障的处理过程中,应该按照先断开三级负荷,其次二级负荷,再次一级负荷的顺序依次执行。按照线路的重要程度而形成的模糊集为:

$$A_2(X_2) = \begin{cases} 1, & X_2 > \bar{X}_2 \\ \frac{X_2 - A}{\bar{X}_2 - A}, & A < X_2 < \bar{X}_2 \\ 0, & X_2 \leq A \end{cases}$$

其中:  $\bar{X}_2$  是线路的平均重要程度,  $A$  是重要经验参数。

由零序电流互感器感应出来的零序电流是  $A_3(X_3)$ 。

因此,按照加权平均算法,应该是零序电流的加权系数最大,为0.6,线路重要程度的加权系数是

0.2,故障次数的加权系数是0.2。这样计算出来的公式为:

$$A(X) = 0.2A_1(X_1) + 0.2A_2(X_2) + 0.6A_3(X_3)$$

然后按照此公式计算的结果经过单片机的CPU,再按照最大隶属度原则,由打印机输出应该停

止的故障线路。

#### 4 结论

把模糊数学引入小接地电流系统后,经过仿真实验,其结果如表1所示

表1 实验结果

Tab.1 Experimental result

	6101	6102	6103	6104	6105	6106	6107	6108	6109
实际故障线路	1111	222	3333	44444	55555	6666	777	8888	9999
改造前故障线路的预告	1122	233	1144	22334	11235	1244	666	5577	3345
改造后故障线路的预告	1111	222	2333	44444	44555	6666	777	8888	9999
	119	299	3394	44444	555	666		88	999

其中6101、6102等代表6kV一段1号线路、6kV一段2号线路。“实际故障线路1111111”代表6kV一段6101线路发生故障7次,其中的“1”代表6101回路,7个“1”代表6101发生故障7次。“改造前故障线路的预告1122357”代表改造前6kV一段6101发生故障7次,而微机预告的是6101发生故障两次,6102发生故障两次,6103发生故障一次,6105及6107发生故障各一次。其中的“1”代表6101回路,两个“1”代表改造前故障线路预告的是6101回路发生故障两次。“2”代表6102回路,两个“2”代表改造前故障线路预告的是6102发生故障两次。“改造后故障线路的预告1111119”代表改造后实际在6kV一段6101发生故障7次,而微机预告的是6101发生故障6次,6109发生故障一次。其余类推。6101、6102等是一级负荷,6109是三级负荷。6104是设备老化而又没有更换的线路,出故障的几率比较大。

从表1中可以看出,把模糊理论引入小接地电流系统并采用F007运算放大器后,预报准确率能达到96%,而且不准确的时候都是由三级负荷或容易

出故障的线路所致。因此,把模糊数学引用到小接地电流系统的故障分析过程中,能够把线路的质量、停电的经济性考虑进去,取得很好的效果,所以具有很好的实用性。

#### 参考文献:

- [1] 胡淑丽.模糊数学及其应用[M].成都:四川大学出版社,1994.
- [2] Zadeh L. A. Fuzzy algorithms [J]. Information and control, 1968, 12(2):94~102.
- [3] zadeh L. A. Rationale for fuzzy control [J]. ASME J., Dynamic systems, measurement and control, 1972, 94(1).
- [4] 康华光.电子技术基础[M].北京:高等教育出版社,1991.
- [5] 胡汉才.单片机原理及其接口技术[M].北京:清华大学出版社,2002.

收稿日期: 2002-11-19; 修回日期: 2003-03-06

#### 作者简介:

侯宝生(1973-),男,硕士研究生,研究方向为大型电机的在线监测。

### Application of fuzzy math in power system with neutral unearthed or indirectly earthed

HOU Bao-sheng, ZENG Cheng-bi, GAO ling, MA Yue-jiao, HU Hui-ling

(Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** The chance of single-phase short-circuit to earth fault in the power system is about 70%~80%. So it is very important to deal with the single phase to earth fault in the power system. As signal to be detected in the power system is very weak, and also there are noise resulting from signal-magnifying equipment and environment temperature influence in the system, the zero-sequence signal may be overwhelmed, so information from the system is uncomplete and unprecise. The application of fuzzy theory in the fault diagnosis of the power system is presented, which can put the economy and the quality of circuit into consideration, and the good results shall be obtained.

**Key words:** power system with neutral unearthed or indirectly earthed; fault diagnosis; fuzzy math