

基于模糊集合理论的电力系统振荡与短路的识别

郁惟镛, 范广军, 迟忠君

(上海交通大学电力工程系, 上海 200240)

摘要: 将模糊集合理论中模糊隶属度的概念应用到电力系统振荡与短路的识别中, 通过提取恰当的特征量并赋以一定的权值, 对短路、振荡及振荡伴随短路这三种情况进行综合判断。仿真分析结果证明该方法的效果是非常明显的, 识别的准确程度很高。

关键词: 模糊集合理论; 模糊隶属度; 振荡与短路; 仿真

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2002)03-0004-04

1 引言

振荡与短路是电力系统中的两种不同现象。继电保护要快速准确地区分电力系统振荡与短路, 对振荡时可能误动作的保护应可靠闭锁。而对振荡中出现的各种类型的故障, 则要求继电保护能够准确及时地识别, 并开放保护快速切除故障, 以利于系统尽快恢复稳定运行。传统的振荡闭锁方案有: 利用有无负序分量的、利用负序电流增量的、利用 $I_0 + I_2 - m I_1$ 原理的、利用 $U \cos K$ 判断对称短路、利用电气量变化速度不同原理的^[1]等等。

仅取振荡时的某一种特征来识别的时候虽然具有不错的性能, 但缺陷也是存在的, 而且电力系统的运行情况十分复杂, 振荡与短路的情况又多种多样, 根据单一的判据, 利用某一精确而绝对的定值来区分振荡与短路是有局限性的, 甚至会引起保护在振荡时的误动作。而采用模糊集合理论, 利用模糊模式识别原理建立相应的模糊数学模型, 利用多特征量、多判据进行综合判断就能很好地区分振荡与短路^[2]。本文采用模糊隶属度的方法对振荡与短路进行识别和仿真计算的结果是令人满意的。

2 模糊集合理论

模糊集合理论是将经典集合理论模糊化, 并引入语言变量和近似推理的模糊逻辑, 具有完整的推理体系的一种智能技术。模糊集合理论寻求一种严谨的方法来处理客观世界不能精确描述的问题^[3]。

模糊集合理论中引入了“隶属函数”这个概念, 来描述差异的中间过渡, 这是精确性对模糊性的一种逼近。模糊数学是将二值逻辑 $[0, 1]$, 推广至可取 $[0, 1]$ 闭区间内任意值的无穷多个值的连续值逻辑, 因此也必须把特征函数作适当的推广, 这就是隶属

函数, 它属于 $[0, 1]$ 。

模糊模式识别是指识别给定对象和哪一类模糊样本相同或相接近, 即把模糊样本分成若干类, 判别给定的对象应该归属于哪一类。在现实生活中, 同一事物或现象往往具有多种属性, 因此, 在对事情进行评判时, 就要兼顾各个方面, 必须对多个相关因素进行综合考察。如果在识别中考虑的因素有 n 个, 对每一个具体对象来说, 这 n 个特性具有 n 个相同或不同的隶属度, 以 $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_n$ 来表示。由于这 n 个特征在模式识别中有的起主要作用有的起的作用不大, 所以每个隶属度都要乘以适当的权重, 即

$$a_1 \mu_1 + a_2 \mu_2 + \dots + a_n \mu_n = \sum_{i=1}^n a_i \mu_i$$

上式中 $a_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 在 $[0, 1]$ 区间内取值。

模糊模式识别的方法有两种: 直接法和间接法。在用直接法进行识别的过程中, 需要用到最大隶属原则, 或阈值原则。本文即是用了阈值原则来对振荡与短路的多判据进行识别的。

3 特征量的提取及模糊化处理

3.1 特征量的选择

本文所采用的模糊集合理论选取三个特征量来区分振荡和短路。

选用振荡中心电压 $U \cos$ (考虑阻抗中的电阻分量进行补偿后实际得到的是 $U \cos(\theta + \varphi)$, 其中 $\theta = 90^\circ - \varphi$, φ 为线路阻抗角) 作为特征量是因为振荡时该电气量在正负之间周期变化, 不存在直流成分, 对称性好, $U \cos$ 的波形与到振荡中心的远近无关, 具有一定的普遍性; 发生三相短路时 $U \cos$ 又降低到很小的值的特征, 通常可以描述为 $U \cos$ 小于一定范围; 另外 $U \cos$ 的标幺值易于确定, 本文

中的 $U\cos\varphi$ 都是指标么值。

选用 $d(U\cos\varphi)/dt$ 作为特征量是因为振荡时该电气量也在正负之间周期变化,不存在直流成分,对称性好,且 $d(U\cos\varphi)/dt$ 的值与系统的参数几乎无关,也具有普遍性;而且 $d(U\cos\varphi)/dt$ 电气量与 $U\cos\varphi$ 电气量在振荡时的变化规律恰好可以彼此弥补各自区分振荡与短路的缺陷,从而可以更好地区分振荡与短路。

选用 dR/dt 电气量作为特征量,尽管理论上 dR/dt 与 $d(U\cos\varphi)/dt$ 有着相似的变化规律,但振荡时 $U\cos\varphi$ 在 $0\sim 1pu$ 之间变化,而 R 在 $0\sim$ 之间变化,所以用 dR/dt 比用 $d(U\cos\varphi)/dt$ 可获得更高的灵敏度。

3.2 确定特征值的隶属函数

根据滤波得到的三个特征量的值,用绘图软件画出的振荡中发生短路时三个特征量的变化曲线,从而确定各自的隶属函数,如图 1、2、3 所示。

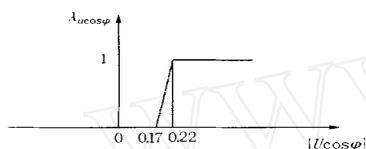


图 1 $U\cos\varphi$ 的隶属函数图

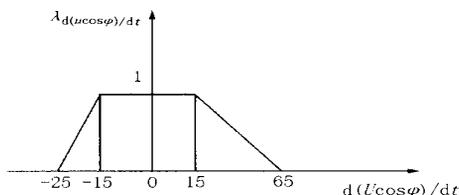


图 2 $d(U\cos\varphi)/dt$ 的隶属函数图

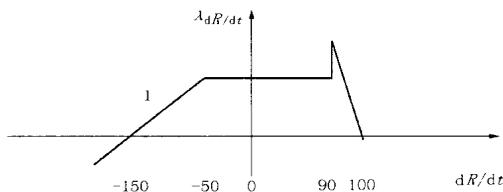


图 3 dR/dt 的隶属函数图

3.3 赋予权重后的模糊输出

确定了隶属函数后,就可以得到各个特征量的评判结果, u_{cosk} 即, d_{ucos}/dt , dR/dt 随滤波得到的数据变化的波形。因为特征量振荡中心电压与特征量振荡中心电压的变化率有一定的互补性,而特征量电阻分量变化率与振荡中心电压的变化率又有一定的

相似性,再结合上述波形反应的各个特征量变化的情况,将三个特征量的权重分别取为 $0.35, 0.3, 0.35$, 然后求得模糊输出为: $mout = 0.35 l_1 + 0.3 l_2 + 0.35 l_3$ 。

波形如图 4 所示。

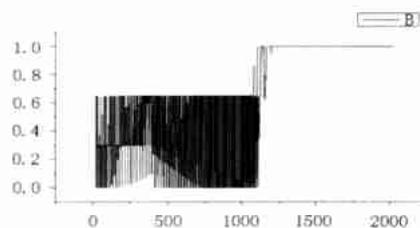


图 4 模糊输出 $mout$ 的变化规律图

3.4 选取阈值进行综合评判

根据上述模糊输出的波形,确定阈值为 0.65 , 则最后的综合评判结果为

$$zout = \begin{cases} 1, & (mout > 0.65) \\ 0, & (mout \leq 0.65) \end{cases}$$

输出结果如下:

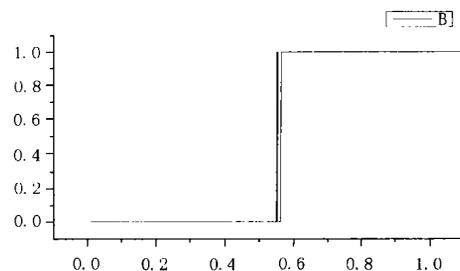


图 5 综合评判 $zout$ 的变化规律图

3.5 参数的调整与改进

由于在上述模糊处理过程中,特征量的隶属函数的确定,各个特征量所作判断在最终判断中所占的权重的确定,以及阈值的选取,虽然都是在对数据进行分析的基础上得出的,但仍然带有很大的主观因素,只通过一个样本的分析就确定相关参数的值可能不是很合适。为了使上述参数具有普遍适应性,对不同情况下振荡中发生三相短路的十几个样本进行综合分析,将上述有关参数加以适当的调整,以获得最优的评判结果。(前面几个小节中的参数即为最终确定的参数)

4 仿真系统的建立^[4]

仿真系统模型采用简单的两机系统,如图 6 所示。MN 为一条 $500kV, 340km$ 的模拟输电线路。模

拟线路由10个分布参数等值电路串联而成。各种不同的振荡情况都作了考虑,如电流的第一个振荡周期达到最大值的时间和振荡过程中的最短周期都设计成可调的。

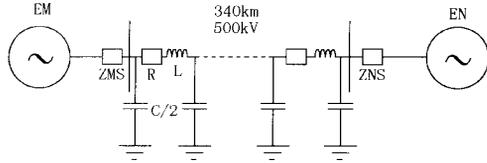


图6 仿真系统模型

4.1 纯振荡仿真模型的建立

由于EMTP有直接仿真振荡的能力,所以要根据振荡时电势的变化规律,求出各个时刻的电势值,然后利用逐个电势进行仿真。考虑图6的两机系统,正常情况下, $f_M = f_N = 50\text{Hz}$,两端电势以一定相角差同步运行,系统振荡时,两端频率偏离原值,相应的电势相角差也发生变化。变化的方式由两端频率的变化方式决定。可以假定两端的频率同时发生变化,一端频率升高,另一端频率降低。模型设计频率按分段线性控制,即

$$\begin{cases} f_M = [1 + a(t)] \times 50\text{Hz} \\ f_N = [1 - a(t)] \times 50\text{Hz} \end{cases}$$

其中 $a(t)$ 是随 t 分段线性变化的。仿真得到的结果如图7所示。

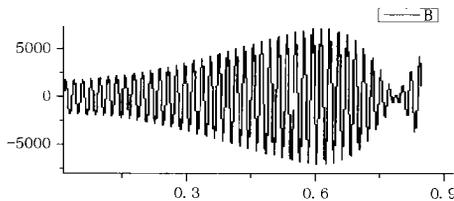


图7 纯振荡模型的仿真波形

4.2 振荡中发生故障模型的建立

对于任一两端网络,振荡时两端的电源的频率分别为 f_M 和 f_N ,此时网络中第 k 节点发生故障,要求出此时网络中任意节点电气量的暂态值,可以用EMTP程序进行计算。由于EMTP本身不具备计算振荡的能力,即不能要求两端的电源按照某一频率变化方式由EMTP自行计算电源的值,因此在计算振荡中的故障时,应给出电源每个时刻的值,即提供一个电压数值表,这样EMTP程序通过读入电压表的电压数值,才能进行暂态计算。对振荡中的故障模型,仍然假定两端口电源电压的频率按一已知频率变化方式变化,且仍采用频率分段线性变化的

频率变化方式计算电压值。在这种情况下,编制出计算中所需的电源各个时段的电压,就可以对任一网络、任一故障、任一时刻的任一故障类型应用EMTP程序进行暂态程序计算,得到所需的电气量的暂态变化规律。由于振荡中对称故障最难识别,故本文只研究三相对称仿真。仿真得到的结果如图8所示。

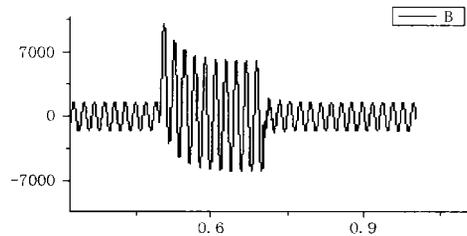


图8 振荡过程中发生短路的仿真波形

从该图可以看到,系统发生振荡时,如果在振荡中发生故障,电流波形在短路点与短路时一样也有一个突变,电流幅值在逐渐增大的时候突然变得很大。显然这与短路有着很大的区别,如图9所示的三相短路的波形。

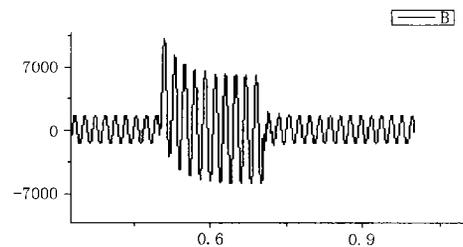


图9 三相短路时的仿真波形

5 样本考核及分析

5.1 用不同振荡中三相短路的样本考核

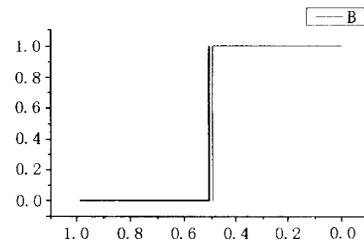
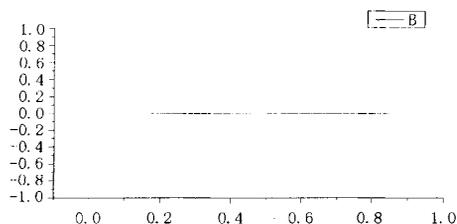


图10 0.5s发生三相短路时 z_{out} 的变化规律图

经过对大量振荡中发生不同三相短路情况(不同时刻,不同点;上图为一种训练情况的输出结果)的训练,我们发现该方案能够正确地识别振荡中的三相短路,延时为0.01s左右。

图 11 纯振荡的 z_{out} 的变化规律图

5.2 用纯振荡样本进行训练

由图 11 可以看到本方法在对一种振荡情况的训练时得出的评判结果也是正确的。

5.3 用振荡中发生不对称故障的样本考核

通过对大量振荡中发生不对称故障样本的训练,我们发现,当采样点为故障相时,该方案能从振荡中识别出故障,如图 12。

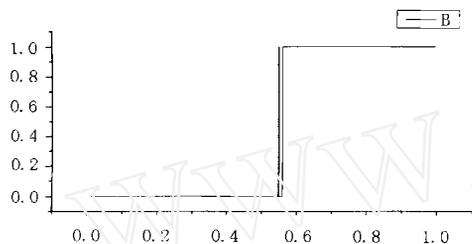


图 12 采样点为故障相的综合评判结果

6 结论

本文选取 $U\cos$, $dU\cos/dt$, dR/dt 三个特征量,利用基于模糊集合理论的方法来识别电力系统中振荡、短路及振荡伴随短路的情况。大量仿真表明,该方法效果比较理想,能够很准确地对上述情况加以识别。

参考文献:

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 中国电力出版社, 1995.
- [2] 焦邵华, 刘万顺, 杨奇逊, 张振华. 用模糊集合理论识别电力系统振荡中的短路研究[J]. 中国电机工程学报, 1998.
- [3] 贺仲雄. 模糊数学及其应用[M]. 天津科学技术出版社, 1983.
- [4] 林湘宁. 微机保护新原理的小波理论应用研究[D]. 华中理工大学电力系统及其自动化专业博士学位论文, 1999.

收稿日期: 2001-09-26

作者简介: 郁惟镛(1940-),男,教授,博士生导师,从事电力系统继电保护及综合自动化方面的教学和研究工作; 范广军(1977-),男,硕士,从事人工智能在电力系统中的应用研究。

Study on the discrimination between faults and power swings based on fuzzy set theory

YU Wei-yong, FAN Guang-jun, CHI Zhong-jun

(Electric Department Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: This paper introduces the concept of fuzzy set theory into the discrimination between faults and power swings. By means of abstracting the proper characteristic parameters and endowing them with the proper weights, we can easily make comprehensive estimation on the three conditions: faults, swings and faults in swings. It is obvious that this method is highly effective from the result of much simulation.

Keywords: fuzzy set theory; relative membership; faults and power swings; simulations

(上接第 3 页)

Research on system oscillation center movement

XIA Cheng-jun, ZHOU Liang-song, PENG Bo, HU Hui-jun

(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper discusses the computation of oscillation center and analyzes the movement of oscillation center during asynchronous process. The effect of oscillation center movement on separation control has also been discussed.

Keywords: oscillation center; out-of-step separation; phasor measurement