

# 关于继电保护系统中隐形故障的探讨

施莉<sup>1</sup>, 赵东成<sup>2</sup>, 杨明玉<sup>1</sup>

(1. 华北电力大学, 河北 保定 071003; 2. 东北电力学院, 吉林 吉林 132000)

**摘要:** 介绍了电力系统继电保护中存在的隐形故障问题。通过介绍隐形故障的概念和特点, 说明了隐形故障的危害性, 在此基础上介绍了评价隐形故障危害性的方法, 通过采取对隐形故障进行监测和控制的方法来减少隐形故障的发生, 从而也就降低了系统发生大面积故障的可能性。最后还介绍了目前电力系统中对于隐形故障分析的应用情况。

**关键词:** 电力系统; 继电保护; 隐形故障; 大面积故障; 脆弱性; 监测和控制

**中图分类号:** TM77      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-4897(2004)05-0066-04

## 0 引言

随着电力系统的不断扩大, 对于电力系统继电保护的要求也愈来愈高。继电保护系统中存在着隐形故障, 并且它的存在是不可避免的。然而隐形故障的存在对电力系统的影响却很大, 容易导致系统发生重大事故。本文在介绍隐形故障对电力系统影响的基础上, 提出了有效的方法用来监测和控制隐形故障, 从而降低了隐形故障导致大面积故障的发生率, 而且目前许多系统已开始实现对隐形故障的控制。

## 1 隐形故障

### 1.1 隐形故障的危害性

电力系统发生大面积故障一般都有一定的发展过程: 首先, 电力系统因为一些无法预知的事件而处于非正常的压力状态下, 此时系统中许多设备可能都处于运行极限, 发电储备已经耗尽, 而无功电力也处于短缺状态。由于缺乏实时监测设备或者运行人员对系统运行状况估计错误等原因, 运行人员就可能对目前的运行状态仍然一无所知。在这种情况下, 如果某处发生故障则有可能引起连锁反应。一般来说, 故障是由所在保护段的继电器或者通过后备继电器延时切除的, 但是由于别的保护系统可能存在隐形故障而会导致保护的误跳, 这样, 系统就会更加不稳定, 从而进一步削弱了电力网。最终, 电力网就有可能被分割成独立的过负荷区和过发电区, 而过负荷区就很有可能最后崩溃导致大面积的停电。因此, 我们可以了解到当电力网存在大面积的干扰时, 继电保护系统起着十分重要的作用。一些干扰可能开始只是一些独立的偶然事件, 但是最终

却发展成为电力设备的中断和系统的分离。继电保护系统中的隐形故障能够导致继电保护系统的误操作, 从而导致大面积的干扰。因此, 有必要对继电保护系统的隐形故障进行研究和分析。

### 1.2 隐形故障简介

隐形故障是指一种在系统正常运行时对系统没有影响的故障, 而当系统某些部分发生变化时, 这种故障就会被触发从而导致大面积故障的发生<sup>[1]</sup>。隐形故障在系统正常运行时是无法发现的, 但是一旦有故障发生, 继电器正确切除故障后, 电力系统潮流重新分配, 这样的运行状态下就可能会使带有隐形故障的保护系统误动作。

继电保护系统中的元件都有可能存在隐形故障, 例如 TV、TA、接线片、连接器、各种继电器、通信通道等等。隐形故障的存在并不表示继电器本身的设计有问题或者继电器应用的不对, 也不表示校准有错误。它和一般故障的差别就在于这些缺陷不会使继电器立刻动作, 而是当系统发生其它一些事件时才能够被监测到。隐形故障的最大特点, 也是它最危险的地方就是它们对于系统的影响只有在电力系统处于压力状态时才能显现出来, 比如在故障发生时或者故障发生后瞬间、低电压、过负荷以及其他开关事件发生后。

经常提到的隐形故障的例子就是方向比较闭锁方案。故障检测器或者通信连接的失灵, 都有可能导致在相邻线路故障时继电器触发断路器错误地跳开<sup>[2]</sup>。如图 1 所示, 只要正向有故障发生, 那么载波电路中的隐形故障都会使线路跳开。

隐形故障可能是由很多原因引起的, 但通常有两种情况:

(1) 由不正确的整定引起的隐形故障。这种隐

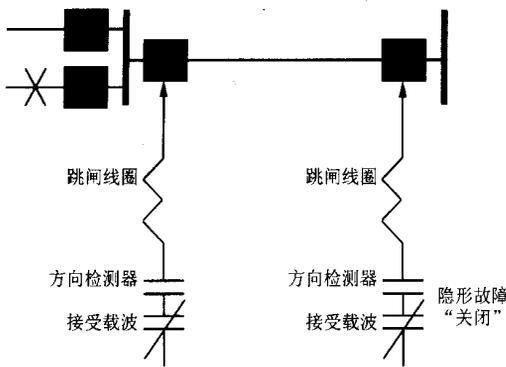


图1 方向比较闭锁方案

Fig. 1 Directional comparison blocking scheme

形故障可能是由于整定和校准的错误,或者整定对于系统的主要运行方式不合适所引起的。特别是当系统经过很多的改变,而整定值却没有修改,此时即使继电器正常运行,但是由于不正确的整定仍然存在隐形故障。当然这种隐形故障可以由继电保护人员通过经常整定继电器来控制。

(2) 由设备故障引起的隐形故障。这种故障的产生可能是由于元件失灵、磨损或者因为环境和不正确的人为干涉引起的元件损坏等原因。实际上,这种隐形故障在任何设备上都有可能发生,但是通过正确的维修可以降低隐形故障的发生率。当然,太过频繁的维修也会导致隐形故障的发生。

## 2 隐形故障危害性的评价方法

隐形故障并不都具有同样的危害性,也不是所有的隐形故障都对电力系统有重要的影响。每个隐形故障都有其脆弱性区域,如果在脆弱性区域有非正常的事件发生(比如故障),隐形故障会使得继电器错误地断开电路元件,这样就会产生新的非正常状态,而在这样的状态下,又会有别的隐形故障再次暴露出来。

通常,我们用以下两个性能来描述隐形故障对于系统的影响程度<sup>[3]</sup>: 脆弱性区域; 隐形故障影响的严重性。

如图2(a)显示的是沿着正方向的脆弱性区域。由于继电器存在隐形故障,只要当电力系统在某个范围内发生故障,带有隐形故障的继电器就会误动。所有涉及到此种故障的区域就是隐形故障的脆弱性区域。如图2的阴影部分即是继电器的脆弱性区域。

如图2(b)显示的是沿着母线反方向的脆弱性区域。断路器A电路传递闭锁信号失灵时,会导致线路AB对于外部线路发生的故障失去方向性。阴

影部分即为脆弱性区域。

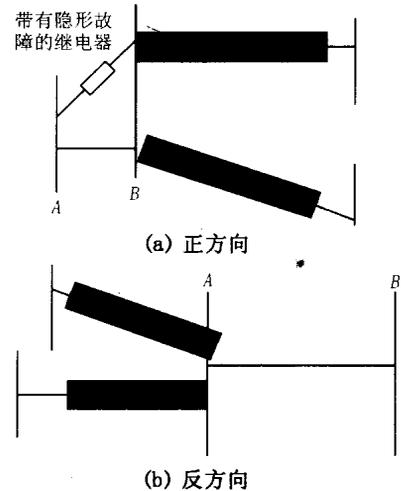


图2 隐形故障脆弱性区域

Fig. 2 Regions of vulnerability of hidden failures

在确定了带有隐形故障的继电器的脆弱性区域后,需要研究隐形故障影响的重要性,决定每个区域的相对重要性,给它们分配优先权或者灵敏性等级,通常用“脆弱性指数”来表示。测量“脆弱性指数”的方法就是看电力系统发生事故时的系统的稳定性或者非稳定性。系统发生内部故障,该线路的继电器会跳闸,这是第一件事;然后带有隐形故障的继电器被触发,结果就有两条线路断开了,这是第二件事。我们可以实时执行这样的事故分析,但如果条件不允许的话,也可以提前计算连续发生两件事的影响。通常,我们用负载暂态稳定性或者电压崩溃等性能来描述“脆弱性指数”。

脆弱性区域和脆弱性指数结合在一起就可以给出隐形故障导致大规模严重事故的可能性。以此为标准,列出隐形故障的危害性,就可以按顺序划分隐形故障的级别。对于最严重的隐形故障则需要进行单独的监测和控制。

## 3 隐形故障的监测与控制

在研究了脆弱性区域和脆弱性指数后,就可知道哪些继电器隐形故障的危害性比较大,从而必须对这些继电器采取一些措施以降低隐形故障的发生率。

如图3所示即为隐形故障的监测和控制系统,可以将它应用到变电站中以控制那些有着很高脆弱性指数的继电器。隐形故障监测控制系统接收到的输入信号与具有高脆弱性指数的继电器所接收的信号相同,事实上也就是复制该继电器的算法和功能。它的输出和传统继电器的输出以一个适当的逻辑形

式联系起来,用来监督传统继电器的输出。当监控系统的决策和传统继电器的决策不同时,跳闸是不允许的。例如:过电流继电器,考虑其隐形故障的可能性就是考虑它的方向性。监控系统接收来自传统继电器的运行和极化信号,进行方向计算,其输出和传统继电器的输出相串联。

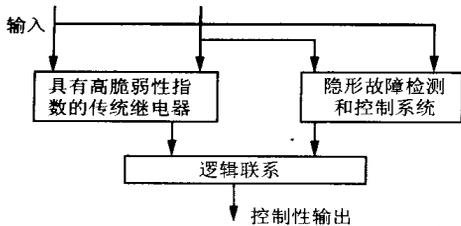


图3 隐形故障监测控制系统的原理

Fig.3 Principle of hidden failure monitoring and control system

当然没有必要监测系统中所有的继电器,我们可以事先鉴别出哪些线路和母线对于系统可靠性有着最严重的危害,然后再对那些相关的继电器加入数字装置进行必要的监测和控制。

#### 4 隐形故障分析在电力系统中的应用

##### 4.1 隐形故障分析在 EMS 中的应用

如图4所示即为隐形故障分析在EMS中的应用。这些隐形故障的分析都是离线进行的,所得到的分析结果都建立在可查询的表中,当需要它时,可以直接查询这些表。不管系统的负荷或者开关操作如何变化,一般来说这些分析结果对于多数情况都是有效的。

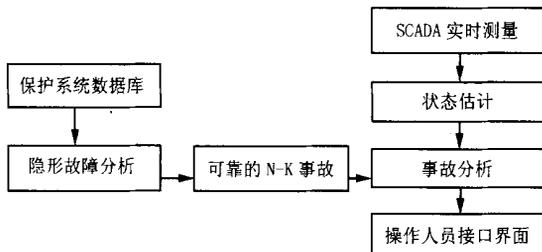


图4 隐形故障分析在 EMS 中的应用

Fig.4 Application of hidden failure analysis in EMS

##### 4.2 隐形故障分析在 SPID(Strategic Power Infrastructure Defense) 系统中的应用

SPID 系统是一个分层的多 Agent 系统,一般分为审慎层、协作层和反应层。系统中的各个 Agent 是相互独立的,整个系统又通过协作实现整体目标。隐形故障监测 Agent 是从系统的角度进行监测的,

因此它被设置在最高层审慎层中。如图5即为 SPID 系统审慎层的结构。

事件鉴别 Agents 在识别到干扰后,鉴别网络发生事故的比例。隐形故障监测 Agent 不断监测电力系统中有着隐形故障的继电器、发电机、负荷,这样可以鉴别出脆弱性区域。脆弱性评估 Agents 则不断地分析系统的脆弱性,计算脆弱性指数,它的 Agent 要考虑由隐形故障监测 Agent 监视的所有可能的隐形故障。具体的过程就是一旦事件 Agent 被触发,就要求脆弱性评估 Agent 计算脆弱性指数。同时,隐形故障监测 Agent 也提供脆弱性区域和隐形故障信息给脆弱性评估 Agent。计算出来的脆弱性指数发给事件鉴别 Agent,并将此广播给其它的 Agents。重组 Agents 提供的自我愈合动作就传递给计划 Agents。在计划 Agents 建立了计划的优化顺序后,就会向协作层发出计划。

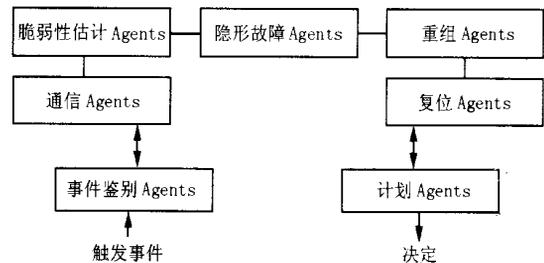


图5 隐形故障分析在 SPID 中的应用

Fig.5 Application of hidden failure analysis in SPID

#### 5 结论

本文主要论述了电力系统继电保护中所存在的隐形故障问题,它的存在是不可避免的,也是无法消除的。隐形故障是产生大面积故障的关键因素之一,因此必须采取有效的措施对其进行控制。目前,在许多系统中,已经要求对隐形故障进行监测和控制。随着计算机技术和人工智能的发展,会出现更多方法减少隐形故障的危害,使电力系统避免大规模的事故。

#### 参考文献:

- [1] Tamronglak S, Horowitz S H, Phadke A G, et al. Anatomy of Power System Blackouts: Preventive Relaying Strategies [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1996, 11(2): 708-715.
- [2] Damborg M J, Kim M, Huang J, et al. Adaptive Protection as Preventive and Emergency Control [A]. Power Engineering Society Summer Meeting. 2000. 1208-1212.
- [3] Arun G Phadke. Hidden Failures in Protection Systems [A]. Power Systems and Communications Infrastructures for the Fu

ture. Beijing:2002.

收稿日期: 2003-07-21; 修回日期: 2003-10-19

作者简介:

施莉(1979-),女,硕士研究生,研究方向为继电保护

的新原理和新技术;

赵东成(1979-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统故障诊断;

杨明玉(1963-),女,硕士,讲师,研究方向为微机保护及人工智能在电力系统中的应用。

### Discussion on hidden failures in relay protection of power systems

SHI Li<sup>1</sup>, ZHAO Dong-cheng<sup>2</sup>, YANG Ming-yu<sup>1</sup>

(1. North China Electric Power University, Baoding 071003, China; 2. Northeast China Institute of Electric Power Engineering, Jilin 132000, China)

**Abstract:** This paper introduces the problem of hidden failures in relay protection of power systems. Based on the concept and characteristics of hidden failures, the method to evaluate the hazard of hidden failures is put forward. The supervision and control of hidden failures will lower the occurrence of hidden failures, consequently the chances of the wide area system failures are reduced. At the same time, the status of application of hidden failure analysis in current power systems is described briefly.

**Key words:** electric power system; relay protection; hidden failures; wide-area failures; vulnerability; supervision and control

(上接第 18 页 continued from page 18)

- [8] 杨尔辅,等(YANG Er-fu, et al). 应用 BP-ART 混和神经网络的推进系统状态监控实时系统(Real-time System for Condition Monitoring of Propulsion System Using BP-ART Hybrid Neural Networks) [J]. 推进技术(Journal of Propulsion Technology), 1999, 20(6):10-15.
- [9] 袁曾任(YUAN Ceng-ren). 人工神经元模型及其应用(Artificial Neure Model and Application) [M]. 北京:清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press), 1999. 311-316.
- [10] 张立明(ZHANG Li-ming). 人工神经网络的模型及其应

用(Artificial Networks Model and Application) [ ]. 上海:复旦大学出版社(Shanghai: Fudan University Press), 1992. 134-136.

收稿日期: 2003-07-09; 修回日期: 2003-09-23

作者简介:

高如新(1978-),男,硕士研究生,主要从事单片机开发、工业过程控制、电网故障诊断方面的研究;

王福忠(1961-),男,教授,主要从事单片机开发、故障诊断及直线电机研究与控制方面的研究。

### Application of BP-ART2 hybrid neural network for power transformer synthetic fault diagnosis based on fuzzy input

GAO Ru-xin, WANG Fu-zhong, RAN Zheng-yun  
(Jiaozuo Institute of Technology, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** Based on fuzzy theory and neural network theory, a new method for power transformer fault diagnosis is introduced. According to methods of DGA, electrical experiment and environmental characteristics, a fuzzy input based BP-ART2 model is presented. This model can deal with uncertain factors effectively and timely, and be of high ability to synthetic fault diagnosis of power transformer.

The project is supported by Henan Technologies R&D programme(No. 0124140156).

**Key words:** fuzzy control; BP neural network; ART2 model; fault diagnosis; power transformer