

基于故障录波数据的分布式电网故障诊断系统

杜一¹, 张沛超¹, 郁惟镛¹, 聂宇本²

(1. 上海交通大学电气工程系, 上海 200240; 2. 华东电力调度通信中心, 上海 200002)

摘要: 介绍了一种基于故障录波数据的分布式电网故障诊断专家系统。系统由主站和若干子站构成。安装在变电站的子站系统负责故障初判, 确定事故起因和相别, 形成故障简报并向主站上传; 安装在调度中心的主站系统综合多个子站信息, 对事故情况进一步分析, 并对开关和保护的动作做出评价并给出相应对策。系统综合利用故障录波、SOE 以及保护事件等故障信息, 采用基于 CLIPS 的故障诊断专家系统引擎, 保证诊断结果快速可靠, 动作评价深入, 可大大减轻运行人员的工作量。

关键词: 电力系统; 故障诊断; 分布式系统; 专家系统

中图分类号: TM76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)01-0026-04

1 引言

近 10 年来, 国内外很重视电力系统故障诊断问题的研究。人工智能技术在该领域得到广泛采用, 如专家系统^[1,2]、模糊理论^[3,4]、人工神经网络^[5]、随机优化技术^[6]等。上述方法大都首先根据开关跳闸和保护动作信息确定故障情况, 然后对其动作行为做出评价。但由于存在开关和保护在某些情况下发生误动、拒动以及因信道干扰导致信息丢失等诸多不确定因素, 使得由此得出的故障情况不准确甚至完全错误, 降低了整个系统的可靠性。

本系统针对上述情况, 主要根据故障电气量波形确定故障情况。变电站故障录波器采集的故障波形不仅数据可靠, 而且信息量大, 可以得到十分详细的故障描述, 充分满足开关和保护动作行为评价的要求, 从而大大提高了故障诊断的可信度。但是, 目前各变电站和调度中心的数据传输速度相对较慢, 大量数据完整上传势必影响诊断速度, 因此系统采用分布式结构。各变电站的故障诊断系统根据本地信息初步分析故障, 并向调度中心上传故障简报; 调度中心的故障诊断系统根据各站的信息综合分析故障, 然后评价保护和开关的动作行为。为了提高系统的故障分析和动作行为评价能力, 我们开发了基于 CLIPS 的故障诊断专家系统引擎, 利用事先确立的知识库进行推理。该引擎具有推理效率高, 支持前向推理和后向推理, 推理机独立于系统, 规则修改简单方便的诸多优点。

2 系统概述

本系统运行于 windows 平台, 数据库采用 SQL

Server 2000, 专家系统采用 CLIPS, 利用 Visual C++ 6.0 强大的面向对象开发功能进行系统设计开发。系统总体结构如图 1 所示。

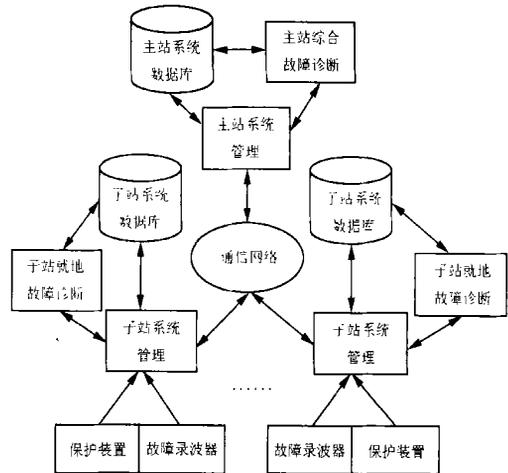


图 1 系统总体结构

Fig. 1 The system structure

整个系统由设在电网调度端的主站和若干设在变电站的子站通过电力系统的通讯网络组成。数据库分为静态和动态两部分, 静态数据库保存网络拓扑信息和设备的属性, 动态数据库记录开关、保护的动动作情况和模拟量的变化。子站数据库只保存本地信息, 而主站数据库保存全网信息, 并根据子站同步更新。各模块功能如下:

(1) 故障录波器和保护装置采集现场数据, 并上传至子站系统服务器。

(2) 子站系统管理模块读取故障信息, 进行数据转换, 形成统一的 COMTRADE 格式供故障诊断系统使用, 并把开关保护动作信息写入子站数据库。管理模块还完成与主站的通讯工作。

(3) 子站故障诊断系统根据故障模拟量初步分析故障情况,形成故障简报,并上传至主站。

(4) 主站系统管理模块读取各子站发来的故障简报,把相关信息写入主站数据库,必要时从子站读取完整故障信息。

(5) 主站故障诊断系统读取主站数据库,采用基于 CLIPS 的故障诊断专家系统引擎进行全网故障综合诊断。

3 子站故障诊断

3.1 故障情况分析

本模块对故障录波数据进行分析。故障发生时电气量产生突变,系统通过增量比较法捕捉突变点,然后计算突变前后三相电流和零序电流的基频分量,采用文[8]中的方法确定故障类型,并根据图 2 确定故障的发展情况。值得注意的是,由于有些故障录波器没有接入零序电流量,系统都通过计算得到该值。

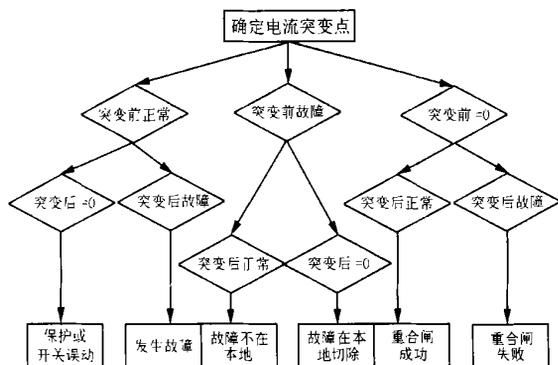


图 2 故障情况分析流程

Fig. 2 The flow-chart of fault analysis

系统将分析结果按照图 3 所示的格式形成故障简报,上传至主站并填入主站数据库。

突变发生时间	设备编号	相别	故障情况描述	SOE
--------	------	----	--------	-----

图 3 故障简报信息

Fig. 3 The fault information briefing

SOE 信息中包含了开关和保护变位信息和动作时序,因而也是故障分析的重要依据。子站对故障录波数据中的开关量进行分析后,形成如图 4 所示的 SOE 信息并传至主站。

设备编号	通道编号	电平转换状态	电平转换时间
------	------	--------	--------	-------

图 4 SOE 信息

Fig. 4 The SOE information

3.2 子站智能预处理

子站设定了一组规则,用于对故障录波数据进

行智能预分类和处理。子站配置数据库时,应定义一些关键的与模拟量对应的开关量(如主保护动作出口接点、开关的分闸接点等),当某组模拟量有突变,对应的关键开关量有变位,则可判定该模拟量对应的元件(线路、变压器等)有故障。主要规则有:

(1) 无开关量变位、无模拟量突变的录波数据,或有开关量变位,但无模拟量突变的录波数据存储在[无故障]目录下,供主站调用;

(2) 一次设备的保护(主、后备)出口,相关联的开关动作,且对应的模拟量有突变,则该一次设备故障,录波数据保存在[故障]目录下,自动形成上述故障简报信息并上传至主站;

(3) 其它情况,自动形成故障简报信息,以及简化的录波文件信息(只包含有突变的模拟量通道以及有变位的开关量通道,且只截取故障前后若干周波),并上传至主站。完整录波文件保存在子站[未知故障]目录下,供主站调用。

4 主站故障诊断

主站采用专家系统,对来自各子站的信息综合分析,得到故障诊断结果。主站故障诊断流程如图 5 所示。

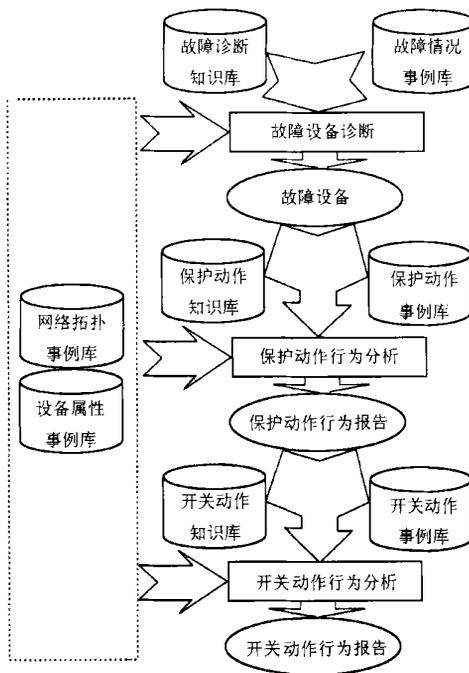


图 5 主站故障诊断流程

Fig. 5 The flow-chart of fault analysis in the center

专家系统由推理引擎、事例库和知识库组成。推理引擎通过事例匹配,激发相关知识,得到推理结

果。事例库由网络拓扑、设备属性、故障情况、保护动作和开关动作五部分组成。主站服务器根据本地数据库的相关信息,以专家系统给定的格式填写事例库。网络拓扑和设备属性作为静态信息保存在数据库中。知识库由故障诊断、保护及开关动作评价三部分组成。知识库保存在文本文件中,方便添加和修改。

专家系统按以下步骤推理:

(1) 对事例进行预处理,利用网络拓扑事例库和设备属性事例库,自动生成保护和开关,保护和一次元件(线路或变压器、母线、电抗器等),开关和一次元件的关联关系(以及保护和设备的远后备关系);根据一次网络结构分析线路两侧、变压器多侧之间的拓扑关系,两侧保护的配合关系。

(2) 根据故障情况和知识库,综合多侧子站故障简报信息进行故障设备诊断。

(3) 针对故障诊断结果、保护和开关动作情况,利用相关知识库,分析保护、开关动作行为。

(4) 系统根据推理结果和用户的不同要求,给出诊断报告并存档。

4.1 故障设备诊断

主站根据子站上传的相关信息调用专家系统,将故障情况按设备、相别、时间和产生原因进行细分。以下是确定为线路瞬时性故障的规则:

```
IF:如果设备发生单相故障,切除后重合成功
(突变点(设备?Dev)(相别?Pha)(时间?T0)(特征 单相))
(突变点(设备?Dev)(相别?Pha)(时间?T1)(特征 切除))
(突变点(设备?Dev)(相别?Pha)(时间?T2)(特征 重合成功))
(? T0 < ? T1)
(? T1 < ? T2)
THEN:则认为该设备发生瞬时故障
(故障情况(设备?Dev)(相别?Pha)(特征 单相))(类型 瞬时故障))
```

本系统采用几十条类似规则,对故障情况进行分类处理,得到故障详细类型,便于对保护和开关动作进行评价。

4.2 保护开关动作评价

保护和开关有三种动作情况:正确、误动和拒动。对于由于各种原因没有接入故障录波器的开关事件量,本系统采用不确定状态以示区别,加强可靠性。

系统根据故障情况、保护和设备关系以及保护

属性,利用保护动作知识库确定保护的動作情况。下面是针对线路主保护正确动作的一条规则:

```
IF:如果设备发生单相故障且它的主保护在 120 ms 内跳闸
(突变点(设备?Dev)(相别?Pha)(时间?T0)(特征 单相))
(object (is-a PROTECT)
(保护?Pro)(关联设备?Dev)(类型 主保护))
(保护动作信息(保护?Protect)(相别?Pha)(时间?T1))
(? T1 < (? T0 + 120))
THEN:那么认为该保护动作正确
(保护动作信息评价(保护?Pro)(评价 正确))
```

根据保护开关的动作情况以及开关和保护的对应关系,就可以评价开关动作了。

4.3 诊断结果输出

调度人员需要在故障发生时尽快得到故障简要信息,了解保护动作行为、开关跳闸情况,以帮助他们快速找到恢复系统的操作方法,所以系统给调度员的信息必须简洁快速。而继电保护技术人员则需要了解在故障过程中各套保护装置动作的详细过程和电流电压变化情况。系统将给出详尽的故障数据报告和模拟量波形图。

诊断结果如果不分主次全部显示,不利于调度员分析处理,所以系统应按优先级别分别显示。故障信息需求的优先顺序依次为:

- 故障基本情况,拒动和误动的保护与开关以及信道故障;
- 后备保护动作以及开关动作超时;
- 不确定动作情况的开关和保护;
- 正确动作的开关和保护;
- 对不正确动作行为分析原因。

5 系统测试

本系统目前已在华东调度中心以及若干 500 kV 变电站投入试运行。图 6 为某次模拟故障发生处的局部接线图。

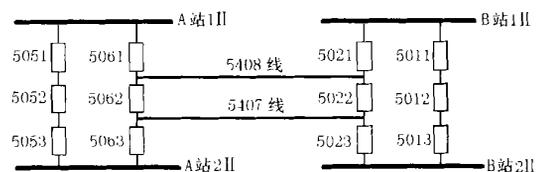


图 6 系统故障局部接线图

Fig. 6 Diagram of the fault section

故障发生时的部分故障波形如图 7 所示。经过

波形分析可知,5407 线 B 相发生接地故障,而后 5407 线 A 相并未发生故障却被提前切除导致三相跳闸。5407 线的相邻线路(如 5408 线)开始也有故障电流,5408 线有关的保护和开关均没有翻转,且在 5407 线 B 相切除后就恢复正常,说明故障不在其上。

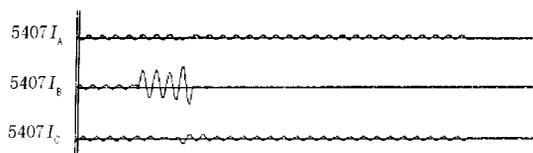


图 7 5407 线电流波形图

Fig. 6 Current waveforms of line 5407

故障发生后,A 站部分开关量动作情况(B 站情况类似)如表 1。

表 1 A 站部分开关量变位表

Tab. 1 The action table of relays and breakers

通道名称	启动时间 /ms	恢复时间 /ms	注释
5407 ILS B op.	33	98	5407 线 ILS 保护 B 相跳闸
5407 ILS A op.	454	520	5407 线 ILS 保护 A 相跳闸
5407 DLP	NULL		5407 线 DLP 保护未动作
5062 A	460		5062 开关 A 相跳闸
5062 B	40		5062 开关 B 相跳闸
5062 C	460		5062 开关 C 相跳闸
5063 A	460		5063 开关 A 相跳闸
5063 B	40		5063 开关 B 相跳闸
5063 C	460		5063 开关 C 相跳闸

由专家系统分析可知,A 站 DLP 主保护拒动,但由于安装了两套主保护,故障仍然被切除。ILS 主保护在重合闸期间错误发出 A 相跳闸命令,导致 5407 线三相跳闸。系统的故障分析简报如表 2 所示。可以看到故障情况和开关、保护评价完全正确。若系统只根据开关和保护动作分析故障情况,有可能得到 5407 线 A 相也存在故障的错误结论。

表 2 故障分析简报

Tab. 2 The fault analysis briefing

故障发生时间	2002-7-7	21:34
故障设备	5407 线	
事故情况	5407 线 B 相故障,而后 5407 线 A 相被错误切除导致三相跳闸	
保护动作评价	21:34:25 A 站 DLP 保护 B 相拒动 21:34:25 A 站 ILS 保护 A 相误动 其他保护动作正确	
开关动作评价	开关动作正确	

6 结论

基于故障录波器和保护装置提供的大量信息,采用 Internet 技术、数据库技术和 CLIPS 专家系统,通过面向对象的系统设计方法,开发了电网故障诊断系统。系统利用故障模拟量和开关量信息,采用分布式结构,确定故障情况,评判开关和保护的动作行为,并提供故障历史查询。从测试情况看,系统故障诊断和动作评价迅速、准确,有助于提高电网运行的自动化水平。

参考文献:

- [1] 赵冬梅,张东英,徐开理,等. 分层分布式电网故障诊断专家系统设计[J]. 现代电力,2001,18(3):41-46.
- [2] 文福拴,韩祯祥. 计及警报信息时间特性的故障诊断模型[J]. 电力系统自动化,1999,23(19):6-9.
- [3] 周明,任建文,李庚银,等. 基于模糊推理的分布式电力系统故障诊断专家系统[J]. 电力系统自动化,2001,25(24):33-36.
- [4] 韩祯祥,钱源平,文福拴. 基于模糊外展推理和 Tobu 搜索方法的电力系统故障诊断[J]. 清华大学学报[自然科学版],1999,39(3):56-60.
- [5] 顾雪平,张文勤,高曙,等. 基于神经网络和元件关联分析的电网故障诊断[J]. 华北电力大学学报,1999,26(2):12-17.
- [6] Wen F S, Chang C S. Possibilistic diagnosis theory for fault-section estimation and state identification of unobserved protective relays using Tabu search method[J]. IEE Proceedings on Generation, Transmissions and Distribution, 1998, 145(6): 722-730.
- [7] Kezunovic M. Practical applications of automated fault analysis [C]. PowerCon 2000 International Conference, 2000, vol. 2: 819-824.
- [8] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术[M]. 北京:水利电力出版社,1991.

收稿日期: 2002-09-26; 修回日期: 2002-10-30

作者简介:

杜一(1978-),男,硕士研究生,研究方向为专家系统在电力系统中的应用;

张沛超(1970-),男,硕士,副教授,研究方向为人工智能技术在电力系统中的应用、电力系统自动化、通信技术;

郁惟镛(1940-),男,教授、博士生导师,研究方向为人工智能在继电保护及变电站综合自动化中的应用。

A distributed power system fault diagnosis system based on recorded fault data

DU Yi¹, ZHANG Pei-chao¹, YU Wei-yong¹, NIE Yu-ben²

(下转第 38 页)

$$I_{op} = (3 \sim 5) I_N = 5 \times 96.23 \text{ A} = 481.2 \text{ A}$$

已知励磁变低压母线短路时的电流为 1203 A, 则两相短路电流为 $1203\text{A} \times \sqrt{3}/2 = 1042 \text{ A}$, 此时保护灵敏系数 $K_L = \frac{1042\text{A}}{481.2\text{A}} = 2.17$, 可知按此整定能够可靠保护励磁变低压侧母线的短路故障。

3 结论

综合以上论述, 归纳如下:

(1) 依据相关规程要求应配置必要的励磁变继电保护。

(2) 励磁变 TA 准确限值系数不必按其高压分支短路条件选择, 300 MW 及以下机组可按一次短路电流 10 ~ 15 kA 作为选择励磁变 TA 准确限值系数的条件。TA 额定电流比应尽量接近励磁变一次额定电流, 但需考虑其外形尺寸、重量和造价等各种因数。

(3) 励磁变可以采用电流速断保护以简化接线,

为了 100% 保护励磁变绕组及低压侧引线, 建议此电流速断保护仅按躲过励磁变涌流条件整定。如要求保证选择性, 可采用限时速断保护。

参考文献:

- [1] GB14285-93. 继电保护和安全自动装置技术规程[S].
- [2] DL/T650-1988. 大型汽轮发电机自并励系统技术条件[S].
- [3] DL/T684-1999. 大型发电机变压器继电保护整定导则[S].
- [4] 陈学庸. 机端励磁变压器保护方式讨论[J]. 电气设计技术, 1997, (1): 31.
- [5] 齐春. 发电机采用自并励励磁系统的保护问题[J]. 电气设计技术, 1999, (2): 36.

收稿日期: 2002-07-16; 修回日期: 2002-08-20

作者简介:

徐绍麟(1939 -), 男, 大学本科, 教授级高工, 从事发电厂、变电所电气二次接线设计工作。

Discussion on a practicable relay protection scheme for the excitation transformer

XU Shao-lin

(Central Southern China Electric Power Design Institute, Wuhan 430071, China)

Abstract: It is difficult to size the current transformer at high voltage side of the excitation transformer, since the extreme short circuit current would take place at the large generator outlet of a generator transformer set. So that to decrease the accuracy limit factor an idea to take the protective duty of internal faults cooperating with unclosed differential protections of the generator transformer/main transformer and the relay protection special for the excitation transformer is presented. And some rated transformation ratios of the current transformer are proposed for reference. Meanwhile comparing the differential protection with the over-current protection of the excitation transformer, the over-current protection is suggested to simplify the relay protection.

Key words: excitation transformer; relay protection; accuracy limit factor; rated transformation ratio

(上接第 29 页)

- (1. Dept. of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 00002, China;
2. East China Electrical Power Dispatching Communication Center, Shanghai 200002, China)

Abstract: This paper proposes a progressive fault diagnosis expert system based on recorded fault data. It is composed of two parts: substation system diagnoses the fault reason and fault phase, then upload the brief report to the mater station system which integrates several substation reports, diagnoses the fault deeply and gives an analysis of the operation of protection system and related equipment. The system gains fault information by the recorded fault waves, SOE and protector events, adopts the CLIPS based fault diagnosis expert system engine, so it can diagnose the fault accurately and quickly and relieve the burden of operators.

Key words: power system; fault diagnosis; distributed system; expert system