

发电机变压器组录波再认识

李 忠^{1,2}, 刘万斌^{1,2}, 郑 华^{1,2}

(1. 南京博电电气有限公司, 江苏 南京 210003;

2. 北京博电新力电力系统仪器有限公司, 北京 100083)

摘要: 自首个关于发电机变压器组(以下简称发变组)录波的行业标准颁布并实施以来,发变组录波引起了前所未有的关注和讨论。根据发变组保护和录波装置的研发与实践,结合行业标准,对发变组录波的现状、功能定义、通道配置、启动方式,以及抗干扰、采样率、数据安全、供电可靠性、保护录波插件、录波评判等问题进行了讨论,并提出自己的见解。

关键词: 录波; 发变组; 微机型

中图分类号: TM 743

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)09-0089-04

0 引言

微机型发电机变压器组(以下简称发变组)录波装置自 20 世纪 90 年代在国内开始使用以来,已经得到越来越广泛的应用。给大中型发电机组装设功能完备、性能优良的录波装置已经成为各界共识。

然而多年来,发变组录波设备的检验和评价依据一直是 1994 年颁布实施的针对线路录波装置的行业标准,即《220~500 kV 电力系统故障动态记录技术准则》(DL/T553-1994)^[1]。由于线路和机组存在的专业性差异,给实际工作带来了诸多不便。随着首个关于发电机组录波的电力行业标准《微机型发电机变压器组动态记录装置技术条件》(DL/T873-2004,以下简称《技术条件》)于 2004 年 6 月 1 日颁布实施,发变组录波装置的研发、检验、生产、运行有了正式的依据^[2]。

本文根据笔者多年从事的发变组继电保护装置、发变组录波装置的研发与实践,结合新近颁布实施的《技术条件》,对当前发变组录波的诸多问题进行了阐述。

1 发变组录波现状

同微机保护一样,国内发变组录波装置的起步也明显落后于线路。经历近十年的发展,发变组录波装置虽然取得了较大发展,但至今仍存在许多问题。死机、抗干扰能力差、频繁启动、配置不全、功能缺乏已经成为相当一部分发变组录波装置的通病。不少装置在机组无扰动或无故障时经常启动,而到真正故障时却提供不了任何数据,以至于有些电厂干脆把发变组录波设备退出运行,使其成为摆设。由于缺乏成熟可靠的发变组录波装置,也出现了不少用线路录波装置代替发变组录波装置的情况,这在

一定程度上满足了录波的基本要求,但离发变组的专业需求尚有不少差距。

随着我国电力需求的日益紧张和单机容量的不断扩大,研发稳定可靠的、符合实际需求的发变组录波装置,实乃当务之急。

2 发变组录波装置功能的完整定义^[2~4]

目前国内使用的发变组录波装置来自多个厂家,型号各异,功能也不尽相同。根据《技术条件》和现场实际需求,可将发变组录波装置功能归纳成以下六项。

2.1 数据记录

录波设备的功能是记录波形数据,这是录波设备最基本最原始的功能,也是最重要的功能。当发电机组发生故障(或有大的扰动,包括直流电源消失)时,录波设备应能自动启动录波,完整记录故障(或扰动)前、后整个过程的数据,即暂态数据记录。为真实反映情况,对故障(或扰动)前后的一段时间内数据要求高密度记录,其采样率一般达到数千赫兹。装置应能提供 COMTRADE 等标准格式的暂态数据,以方便数据交换。具有上述功能的设备习惯上也被称为故障录波器。

然而,发变组录波装置的记录数据不应仅仅包括故障或大扰动时的数据,《技术条件》还要求装置能够 24 h 不间断记录模拟量、开关量、频率、功率等重要信息,即稳态数据记录。稳态记录间隔要比暂态记录长,通常为 20 ms(即一个周期),甚至更稀疏,否则数据文件过于庞大。《技术条件》要求装置能至少保存 3 天以上的稳态数据。

2.2 数据分析

提供专用的分析软件,可对稳态数据和暂态数据进行波形显示、编辑、叠加、组合、比较、打印输出等,并能分析出矢量、序量、谐波、功率、功角、频率、差流、阻抗轨迹、开关量变位时序等,从而分析故障

或大扰动的发生原因,以及机组历史运行工况。当然,基于录波数据的更深层次的挖掘和利用有待进一步研究。

2.3 机组运行参数的实时监视

提供专用的界面工具,显示接入装置的各通道(通常包括模拟量、开入量等)的状态,以及根据这些量进一步计算导出的量(如谐波、功率、差流等),实现对发电机组运行情况的实时监视。

2.4 机组电气试验记录与分析

发变组录波装置几乎接入了整台机组所有重要的模拟量和开关量,因此用其进行机组电气试验记录与分析,不仅切实可行,还可大大简化试验过程。这些电气试验项目通常包括发变组空载试验、发变组短路试验、励磁机空载试验、假同期试验、零起升压试验、给定阶跃响应试验、发电机灭磁试验等。

2.5 GPS 时钟同步功能

为清楚分析故障(或扰动)发生的时刻,方便数据交换和综合分析,录波装置必须具有精确的 GPS 同步功能,可通过使用厂站统一提供的外部 GPS 时钟信号或装置自带 GPS 定时模块加以实现。在 GPS 失去同步时,装置内部应有独立的时钟,其误差每 24 h 不大于 1 s。

2.6 数据通信与安全

装置可通过调制解调器(常用于远传)、串口、以

太网等接口设备实现对外通信。录波数据可以按通道有选择地远方调用和传输。数据传输应具有“数据压缩”和“断点续传”功能。远方可以通过通信网络对装置进行维护和使用。

为保证通信和数据的安全,必须设置相应的操作权限。装置的录波数据应在各种情况下不被破坏和丢失。

3 通道配置和启动方式^[2]

3.1 记录通道配置

发变组录波装置的记录通道有模拟量和开关量两类。模拟量通道可分为交流量和直流量,其中交流量又可细分为工频量通道(即 50 Hz)和非工频量通道(如 150 Hz 和 400 Hz 等)。

按照《技术条件》规定,模拟量通道的配置为:发电机定子中性点和机端侧电流/电压、发电机转子电流/电压、主变压器各侧电流/电压、高压厂用变压器高压侧和低压侧各分支电流/电压、主励磁机机端电流/电压(或励磁变的电流/电压)、主励磁机转子电流/电压、保护/控制用的直流电源电压等。表 1 为发变组录波模拟通道典型配置。按照表 1 的统计看,大多数情况下通道数量在 60 路以内,即使考虑几个备用通道,总数也不会超过 70 路。

开关量通道包括:记录发变组保护装置的跳闸

表 1 发变组录波模拟通道典型配置
Tab.1 The typical analog channel arrangement for generator-transformer unit

设备对象	通道名称	数量	备注
发电机	机端侧 定子电流(I_{a1}, I_{b1}, I_{c1})	3	
	定子电压($U_a, U_b, U_c, 3U_o, U_{3\omega}$)	5	$U_{3\omega}$ 为三次谐波
	定子电流(I_{an}, I_{bn}, I_{cn})	3	
	中性点侧 横差电流(I_{hc})/纵向零序电压(U_n)	1	
	中性点电压($U_n, U_{3\omega}$)	2	$U_{3\omega}$ 为三次谐波
	励磁部分 励磁电压(U_e 或 U_{e+}, U_{e-})	1/2	
	励磁电流(I_e)	1	
主变压器	轴电流(I_x)	1	
	高压侧 高压侧电流($I_{ah}, I_{bh}, I_{ch}, 3I_o$)	4	
	高压侧 高压侧电流($I'_{ah}, I'_{bh}, I'_{ch}$)	3	一个半断路器接线才有
	高压侧电压($U_{ah}, U_{bh}, U_{ch}, 3U_o$)	4	
	中压侧 中压侧电流($I_{am}, I_{bm}, I_{cm}, 3I_o$)	4	
	中压侧电压($U_{am}, U_{bm}, U_{cm}, 3U_o$)	4	三绕组变压器才有
	低压侧 低压侧电流(I_{al}, I_{bl}, I_{cl})	3	低压侧电压同机端
高压厂用变压器	高压侧 高压侧电流(I_{ah}, I_{bh}, I_{ch})	3	
	低压侧 A 分支电流(I_a, I_b, I_c)	3	
	低压侧 A 分支电压(U_a, U_b, U_c)	3	
	低压侧 B 分支电流(I'_a, I'_b, I'_c)	3	
	低压侧 B 分支电压(U'_a, U'_b, U'_c)	3	
	电流(I_a, I_b, I_c)	3	
	电压(U_a, U_b, U_c)	3	
主励磁机(励磁变)	励磁电流(I_e)	1	如为励磁变,无此通道
	励磁电压(U_e)	1	
直流电源	电压(U)	1/2	
总计		63/65	

触点、断路器辅助触点、热工保护装置的跳闸触点、灭磁开关辅助触点以及其他重要触点。通常情况下 128 路容量足以满足实际使用要求。

3.2 启动方式

发变组录波的启动方式相对线路录波多,也较杂,大致可划分为两大类。

a. 常规启动方式:模拟量越限启动(越限包括欠量和过量两种)、模拟量突变启动、序量越限启动、频率启动(频率差和频率变化率启动)、开关量变位启动、直流电源异常启动、手动启动和远方启动。这些启动方式跟线路录波基本一致。

b. 机组保护专项启动方式:三次谐波电压型启动(定子接地)、转子接地启动、过励磁启动、逆功率启动、发电机低励/失磁启动、差流启动等。当然对于机组保护专项启动方式,其判据不可能同保护一样复杂,实现方式相对简单。但录波数据对机组保护的动作分析作用较大。

4 若干问题的讨论

4.1 抗干扰问题

长期以来,录波装置一直被称为“录波器”,因此被许多人简单归为“仪器”行列;既然认为是仪器,对其抗干扰要求也就相对降低。大多数的研发、检验和运行人员认为,保护装置有必要通过国家标准 GB/T 14 598.10-1996 规定的Ⅳ级(即最高等级)干扰试验,而录波装置只要达到Ⅲ级即可。

事实上,发变组录波装置与保护装置并列运行,其输入量不仅包含保护的输入量,还增加了许多与机组运行有关的其他电气量和非电气量,通道比保护多而杂。可见,录波装置运行环境的恶劣程度绝不弱于保护装置。总结多年的现场运行情况,发变组录波装置稳定性差、抗干扰能力弱已是不争的事实;相反,保护装置则普遍体现出了良好的稳定性和抗干扰性能。

因此,吸收多年来保护装置取得的成功经验,抛弃“工控机+采集卡”^[5~7]的简单开发模式,充分借鉴保护平台的研发理念,提高装置的稳定性和抗干扰能力,是发变组录波值得研究的问题。

4.2 录波数据的采样率

发变组录波到底需要多高的采样率,是当前争论较多的一个问题。从录波装置的诞生背景看,为事故分析和判别继电保护的動作行为提供真实有效的数据,是录波装置的最基本要求。由此不难得出以下两点推论:

a. 录波数据密度至少不低于继电保护;

b. 采样率越高,记录数据越真实。

虽然目前大部分保护装置的采样率在 1 kHz 以内,但随着新型保护原理的研究与应用,提高采样率已是发展趋势。国内新近研制成功的 750 kV 系列

的保护,其采样率就已高达 4.8 kHz。事实上,高采样率在暂态分析、波形识别研究等方面已经体现出了明显的优越性。

高采样率给录波装置研发带来的技术难点有运算处理速度、通信速度、存储空间等。从各厂家公布的产品指标来看,10 kHz 是目前可以达到的最高采样率。

4.3 录波数据的安全性

计算机和网络技术的应用在大幅提升录波装置性能的同时,也带来了安全问题。如何防范录波数据的破坏和丢失,保证录波数据的安全,引起越来越多的关注。计算机病毒的泛滥也使得系统开发在通用性和专一性之间不得不作出某种权衡。下述方式值得借鉴和推广。

将录波装置配量为前置机和后台机。前置机采用非 Windows(或 DOS)的操作系统(跟目前绝大多数保护装置一样),独立完成数据采集、启动判别和录波数据存储(循环存放)等功能;后台机提供监视和分析的界面。前置机在录波启动同时,通过以太网网络自动向后台机传送录波数据文件并保存在后台机硬盘中。前置机中的录波数据只可通过后台机读出,而无法改写。这样不仅实现了录波数据完全双重化异地存储,还可防范各种情况(包括病毒感染)下的数据丢失和破坏。

4.4 供电可靠性问题

电源一直是故障频率较高的插件。电源插件双重化热备用的模式是解决插件故障的有效方法。

按照《技术条件》,发变组录波装置在外部直流电源消失时应能完整记录电源消失过程以及其他所有电气量。采用外部双回路供电或装设质量可靠的 UPS 可以满足此要求。

4.5 关于保护装置自带的录波插件

随着技术的发展,发变组保护装置也逐渐具备一定程度的数据记录能力,并将此功能独立出来,成为一个单独的功能插件。在现场录波数据普遍缺乏的情况下,录波插件的出现对保护厂家自身的原理性能分析与改进,起了很大的作用,对现场事故分析也起了一定的作用。然而,录波插件并不能替代专门的录波装置。专业的录波装置在记录通道的全面性、数据的独立公正性、高采样率、分析和监视功能、电气试验功能、稳态数据记录、数据远传通信等方面,有着不言而喻的优势。

4.6 录波装置的评判

发变组录波装置提供暂态数据不仅要求在机组发生故障时刻,还要求在系统发生大的扰动(无法量化)时刻。因此录波装置的定值要比保护装置更为灵敏,而且更多时候其定值整定取决于经验,尚无正式的规程条例可依。这就不可避免地带来一些不必要的启动问题。从设计原理来讲,只要符合启动条

件,就应该认为是正确的启动。然而过于频繁的不必要启动,给现场正常运行带来干扰,也很容易让人对其可信度置疑。这就需要用户和厂家一起根据现场实际情况,不断优化定值、判据和算法。当然,能否在机组发生故障和保护动作时提供正确录波数据,仍是考核录波装置的一条首要原则。

5 结语

发电机组作为电力系统中的重要设备,其运行工况复杂、配套设备繁多,事故率相对较高,对其故障分析和判断也比较困难。给发变组装设稳定可靠、功能完备的录波装置,对提高机组的运行水平、降低营运和维护成本、促进机组安全运行,无疑具有十分重要的意义。

以《技术条件》的颁布实施为契机,重新认识发变组录波,是摆在每一位从事发变组继电保护工作者面前的现实问题。希望通过本文的讨论,能对当前发变组录波装置的研发与实践工作起到一定的参考指导作用。

参考文献:

- [1] DL/T553-94, 220~500 kV 电力系统故障动态记录技术准则[S].
- [2] DL/T873-2004, 微机型发电机变压器组动态记录装置技术条件[S].
- [3] 丁俊健, 陆于平. COMTRADE99 版新标准在大型发变组故障录波分析软件中应用研究[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(11): 22-24.
DING Jun-jian, LU Yu-ping. Research on application of COMTRADE99 standard in fault recording and analysis software for generator-transformer set[J]. **Electric Power Automation Equipment**, 2001, 21(11): 22-24.
- [4] 江卫良, 张哲, 揭萍, 等. 发变组录波与分析系统的开发[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(4): 32-34.
JIANG Wei-liang, ZHANG Zhe, JIE Ping, *et al.* Develop-

ment of monitoring record and analysis system for G-T unit[J]. **Electric Power Automation Equipment**, 2002, 22(4): 32-34.

- [5] 蔡舒平, 张保会, 薛岩. 一种新型故障录波装置的构成原理及设计[J]. 电气传动自动化, 2003, 25(3): 40-45.
CAI Shu-ping, ZHANG Bao-hui, XUE Yan. Constitutive principle and design of a novel failure wave-recording device[J]. **Electric Drive Automation**, 2003, 25(3): 40-45.
- [6] 杨廷方, 刘沛. 基于工控机的集中式故障录波器设计[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(6): 26-29.
YANG Ting-fang, LIU Pei. Design of an integrated fault recorder based on industrial controlling computer[J]. **Electric Power Automation Equipment**, 2001, 21(6): 26-29.
- [7] 王晓蔚, 张晓玲, 张翌辉. 虚拟故障录波器中数据采集卡完成的功能[J]. 电气传动自动化, 2003, 25(2): 53-55, 58.
WANG Xiao-wei, ZHANG Xiao-ling, ZHANG Yi-hui. Function of data acquisition card in virtual faulted wave recorder[J]. **Electric Drive Automation**, 2003, 25(2): 53-55, 58.
- [8] 张哲, 江雄杰, 杨军, 等. 新型发电机-变压器组微机录波与分析系统的研究[J]. 继电器, 2001, 29(3): 35-38.
ZHANG Zhe, JIANG Xiong-jie, YANG Jun, *et al.* Development of an integrative state detection and record system for generator-transformer unit[J]. **Relay**, 2001, 29(3): 35-38.

(责任编辑: 李玲)

作者简介:

李忠(1973-), 男, 江苏启东人, 工程师, 硕士, 从事发变组保护和录波装置的研究与开发(E-mail: lz@relaytest.com);

刘万斌(1964-), 男, 安徽滁州人, 高级工程师, 从事发变组保护和录波装置的研究与开发;

郑华(1970-), 男, 江苏通州人, 工程师, 硕士, 从事发变组保护和录波装置的研究与开发。

Re-cognition of recording for generator-transformer unit

LI Zhong^{1,2}, LIU Wan-bin^{1,2}, ZHENG Hua^{1,2}

(1. Nanjing Power Advance Technology Co., Ltd., Nanjing 210003, China;

2. Beijing Power Advance Technology Co., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: After the issuing and practicing of the first specifications for generator-transformer unit dynamic recorder, more and more attentions are paid to it and discussions widely carried. Combined with the development and practice of generator-transformer unit relay and recorder and based on the new industry standard, the current situation of generator-transformer unit recording is discussed in function definition, channel arrangement, start-up manner, anti-interfere, sampling rate, data safety, power supply reliability, relay recording module, recording judgment and so on. The author's ideas are also given.

Key words: recording; generator-transformer unit; microprocessor based