

文章编号:1672-3961(2009)05-0111-04

微型动模实验系统

马琳琳, 潘贞存, 高厚磊, 丛伟, 高湛军

(山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061)

摘要:针对目前动态模拟实验系统投资巨大、占地广、功耗高的缺点,提出利用工作电压更低、参数更小,但与实际电力系统具有类似动态特性的微型动模实验系统来模拟仿真实际电力系统的方法:用与发电机具有相似传递函数或动态响应的信号发生器来模拟发电机,利用低功率电感和电容组成的II形微电子电路对高压输电线路进行建模,智能的数据接口转换单元将使得该系统的输出数据格式能与继电保护等二次装置无缝连接等.与现有动模系统相比,微型动模系统具有投资少、功耗低、运行费用低和操作方便等优点.

关键词:微型动模系统;同步发电机模型;II型等值输电线路;数据接口转换单元

中图分类号:TM743 **文献标志码:**A

Micro dynamic simulation system

MA Lin-lin, PAN Zhen-cun, GAO Hou-lei, CONG Wei, GAO Zhan-jun

(School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: The dynamic simulation system is a very important method to analyze the electricity power system situation and to test the protective relaying together with a second device. The micro dynamic simulation system was put forth to simulate a power system. The synchronous generator was imitated by a signal generator which has the similar transfer function or dynamic response with it. The transmission line was modeled by a II-shape circuit consisting of low power impedances and capacitances. An intelligent data interface conversion unit will seamlessly connect the output of the system with the second relay devices. Compared with the present dynamic simulation system, the micro-system has advantages of little investment, little power consumption, low performance expense and convenient operation.

Key words: micro dynamic simulation system; synchronous generator model; II-shape equivalent circuit; data interface conversion unit

0 引言

动态模拟实验系统是分析电力系统特征、测试继电保护及二次设备的重要手段,在我国得到了广泛的应用^[1-4].目前动模系统的工作电压一般为380~1 000 V,装机容量一般在数十至数百千伏安,设计相对较高电压和较大容量的主要目的就是确保在模拟系统互感器的二次侧产生驱动能力足够强、量值与实际系统互感器输出一致的电压、电流模拟

信号.由此带来的缺点是投资巨大、占地广、功耗高、噪声大、运行费用高.近年来电子式电压、电流互感器已经开始在电力系统获得应用^[5-8],此时考虑利用体积更小、功耗更低、成本更廉价的微动模实验系统来模拟电力系统,并就此开展对微型模拟系统与二次设备接口方法的研究,以及基于模拟数据平台高级应用功能的开发.这对于研究探讨新的模拟方法,推动电子式互感器的应用、全数字式保护研究开发等,有着十分重要的意义.

收稿日期:2009-04-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50777040)

作者简介:马琳琳(1983-),女,山东冠县人,博士研究生,研究方向为电力系统继电保护.E-mail:malinlin163@163.com

1 微型动模实验系统

电子式互感器的输出不再是模拟的电压和电流,而是经过模数转换以后的数字信号,并按照一定的通信规约和标准传送给继电保护及其他二次设备.采用电子式互感器后,对信号的幅值及驱动能力不再有很高要求,这时可以考虑用微动模实验系统来模拟电力系统:用与发电机具有类似传递函数或动态响应的信号发生器来模拟发电机;用传变特性一致的微型信号变压器或传递函数一致的二端口网络等值电路来模拟实际的变压器;用微型电感和电容组成的II形电路来模拟输电线路;继电器模拟断路器;智能的转换电路来模拟电子式互感器等,只要能够产生出与实际系统中应用的电子式互感器类似特征的输出数据,就可以实现对新型保护设备的测试.这样的微型动模系统可以装设在一个实验台上,而不再需用一个场地巨大的动模实验室,还可以将发电机、变压器、线路等模型做成标准的“挂件”,不同的组合就可以模拟不同接线方式的电力系统,且模拟规模可以方便的扩大.

2 同步发电机等效模型

在电力系统机电暂态仿真分析中,为得到高精度和可靠的仿真结果,发电机的微分方程的阶数往往选得很高,利用现有的发电机数学模型很难实现实时仿真.而在继电保护的仿真计算中,关心的主要是发电机电磁暂态特性,其暂态过程分为次暂态(超瞬变)阶段和暂态(瞬变)阶段两个阶段,因此可以采用数字信号处理器(digital signal processor, DSP)模拟同步发电机的电磁暂态特性:模型的变量为机端电压和机端电流.如图1所示,其中,输出量为发电机的机端电压,输入量为机端电流.

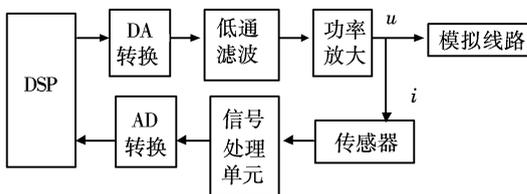


图1 发电机模型框图

Fig.1 The structure chart of the generator model

设隐极式发电机等效模型为

$$\dot{E} - \dot{U} = jX_d \cdot \dot{I}, \quad (1)$$

式中 \dot{E} 为空载电动势; \dot{U} 为发电机的机端相电压; \dot{I}

为发电机的定子电流; X_d 为发电机的同步电抗; (X'_d 为发电机 d 轴暂态电抗; X''_d 为发电机 d 轴次暂态电抗);

系统故障后, X_d 不断变化,幅值从 X''_d , 至 X'_d , 再到 X_d 连续变化,定义 X_d 为随时间变化连续函数 $x_d(t)$, $x_d(t)$ 描述有阻尼发电机短路后的暂态过程,得到 $d-q$ 坐标轴下发电机等效数学模型 $u = e - x_d(t) * i$ (字母小写代表瞬时值),对电力系统暂态过程进行实时仿真,发电机组等效模型与电网侧联合求解,需要用到 $d-q$ 坐标轴与 $x-y$ 坐标轴相互转换,通过 Park 变换及其反变换即可实现,从而建立发电机等效动态模型的离散时域数学模型.

将 DSP 输出的电压信号经 DA 芯片转换及功率放大后,向外围实际电路输出机端电压,采集机端电流,经电流变送器和 A/D 转换设备后,将电流反馈回 DSP,从而实现整个电路的闭环设计.

3 II型等值输电线路模型

采用微型电感和电容组成的II形微电子电路来模拟三相输电线路,实际的输电线路三相之间存在耦合,而II形微电子电路中的电感之间基本没有耦合.为了能够较为真实的模拟实际输电线路,根据各序分量一致的原则对三相输电线路进行了建模,用电感元件模拟输电线路的阻抗、用电容元件模拟线路的并联导纳,线路的零序阻抗则用地线回路的电感元件模拟,如图2所示. II型电路的参数和数目,决定了被模拟线路的长度和模拟的逼真程度.

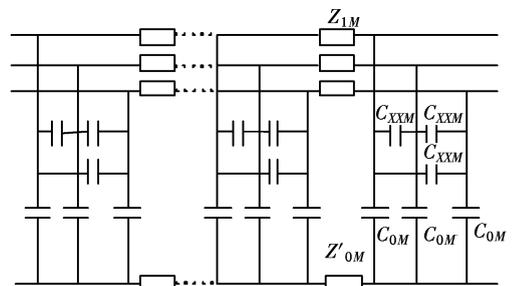


图2 三相系统的多II节等值链形网络

Fig.2 Shape chain equivalent network circuit of the three phase power system

线路正序或负序阻抗的模拟用串联于各个II电路的电感 Z_{1M} 模拟,至于零序阻抗的模拟,则是通过在中线上接入阻抗来实现,其数值可由零序阻抗测量原理确定.在高压长距离输电线路路上,分布电容的作用不容忽视,因此在II型电路中采用不同的电容来模拟分布电容的作用,包括相间分布电容 C_{XXM} 和

对地分布电容 C_{0M} 两类。

4 数据接口转换单元

针对电子式互感器, IEC60044-7/8^[9] 中首次给出合并单元的定义, 其主要功能是同步采集多路 ECT/EVT 输出的数字信号后, 并按标准要求的格式组帧发送给二次保护和测控设备。本文所研究的微型模拟系统产生的是模拟信号而非数字信号, 因此有必要在物理模拟系统与数字化继电保护装置之间建立能够模拟合并单元输出格式的接口转换单元, 使得该系统的输出数据格式能与继电保护等二次装置无缝连接。数据接口转换单元如图 3 所示, 需要完成以下几个功能模块:

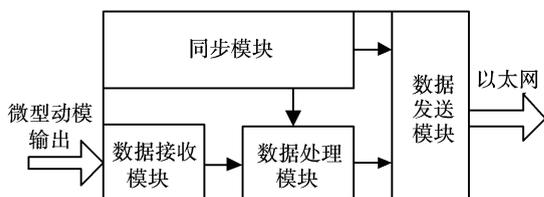


图3 数据接口转换单元结构框图

Fig.3 The structure chart of data interface conversion unit

(1)数据接收模块. 针对物理模拟系统只能提供模拟输出信号的情况, 数据接口转换单元应该设有 A/D 转换单元, 能够接收这些模拟量信号并将其转换成数字信号; 此外, 由于微型动模输出的是低电压、小电流信号, 因此需要对数字信号进行处理, 将其处理成与实际系统输出基本一致的信号。

(2)数据处理模块. 数据处理模块利用 DSP 处理器对接收的数据信号进行数字滤波设计, 然后, 利用傅氏算法对数据进行幅值、相角的有关计算。

(3)数据发送模块. 用于将数据进行组帧并发送给外部的数据接收单元。适用于电子式互感器与数字式继电保护等二次装置的统一通信数据模型主要应用 IEC61850 中的采样值传输模型和变电站通用模型。IEC61850 标准对采样值传输服务划分了 2 种不同的数据发送方法, 即 IEC 61850-9-1^[10] 和 IEC 61850-9-2^[11] 部分。IEC 61850-9-2 配置灵活, 但由于涉及比较复杂的 MMS 协议, 同时对通信网络性能有很高的要求, 目前有一定的实现难度, 可以采用 9-1, 输入交流通道为 12 路, 数据帧格式固定, 采用单相多路点对点的通信方式, 此外, 还有一些设备状态信息以及遥测信息等

(4)同步模块. IEC TC57WG10 准备将基于以太网的准确时间同步协议 (IEEE1588) 引入 IEC61850, 将其作为过程层采样同步报文, 它的精度可以达到

亚微秒级。在以太网中, IEEE1588 所定义的各种时钟报文均是以 UDP/IP 多播包形式发送的, 利用网络通讯链路使用时间戳来实现时间同步。

5 “软保护功能”的开发

由于该模拟系统的最终输出为标准的数字信号, 因此完全可以利用计算机和软件, 以图形化、可视化的方式实现与实际数字式继电保护装置同样的功能, 作为模拟系统所产生数据的接收和处理单元。这种通过软件完成的数字化保护功能的系统我们称之为“软保护装置”。“软保护装置”的开发不仅能够模拟实际的保护装置, 还可以通过对来自模拟系统的数据进行分析处理, 验证所涉及模拟系统的正确性。

“软保护装置”功能的实现过程, 实际上就是利用计算机软件, 编制与实际装置中采用的相同原理的滤波、算法、逻辑和判断程序的过程。当然在“软保护装置”中还可以方便的实现许多可视化的辅助功能, 便于更好的完成对物理模拟系统的校验任务。例如, 对每个功能模块的工作进程可视化处理, 能直观的观察各功能模块的输入和输出, 此外还可以实现功能开发, 允许用户修改各功能模块的参数, 指定不同的输入信号, 准确了解在不同参数、不同输入信号作用下各功能模块的工作过程。这极大的方便了对数据准确性的检验, 从而更好地对模拟、仿真系统进行校验。此外, “软保护装置”功能还可帮助使用者全面掌握继电保护装置的工作情况通过“软保护装置”, 用户能够详细了解微机保护装置在不同运行状态下的工作情况。这样在每次故障发生后, 运行人员不仅能够知道各保护是否正确动作, 而且能够清楚的知道发生区内故障时相关保护装置的灵敏度是否满足要求, 区外故障时相关保护装置是否具有足够的可靠性, 甚至可以绘出故障发生时的保护装置所计算故障点的变化轨迹。这对于了解定值的整定是否合理、保护的运行状态是否恶化等意义重大。

6 结论

首先阐述了微型动模实验系统的设计思想, 并提出了利用微型电子电路建立模拟实验系统的具体方法: 根据发电机的电磁暂态特性, 利用数字信号处理器对发电机建模, 依据输电线路各序分量相等的原则, 用微型电感和电容组成的 II 形微电子电路来模拟三相输电线路, 为使系统的输出数据格式能与

继电保护等二次装置无缝连接,在微型物理模拟系统与数字化继电保护装置之间建立能够模拟合并单元输出格式的接口转换单元,并开发“软保护装置”的应用功能,并通过应用来验证数据源的输出是否合理.为进一步探讨占地少,投资少的动态模拟仿真方法奠定了基础.

参考文献:

- [1] 唐勇,陈珩,戴方涛,等.行波保护研究中输电线路模型的选择[J].中国电机工程学报,1997,17(4):269-273.
TANG Yong, CHEN Heng, DAI Fangtao, et al. Selection of transmission line models for travelling-wave protection studies [J]. Proceedings of the CSEE, 1997, 17(4):269-273.
- [2] 邱智勇,陈建民,高翔,等.500 kV 继电保护故障信息处理系统动模试验方案[J].电网技术,2006,30(13):85-89.
QIU Zhiyong, CHEN Jianmin, GAO Xiang, et al. Dynamic simulation test scheme of 500 kV protective relaying fault information processing system[J]. Power System Technology, 2006, 30(13):85-89.
- [3] 王强.电力系统动态模拟技术[J].高电压技术,2005,31(9):81-83.
WANG Qiang. Dynamic simulation technology of electric power system[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(9): 81-83.
- [4] 潘贞存,高厚磊,王新超,等.电网静态模拟系统的计算机监控[J].电力系统及其自动化学报,2001,13(1):7-11.
PAN Zhencun, GAO Houlei, WANG Xinchao, et al. Computer monitoring and control of a power system static modeling laboratory[J]. Proceedings of the EPSA, 2001, 13(1):7-11.
- [5] 韩小涛,尹项根,张哲,等.光电传感器在变电站通信控制系统中的应用探讨[J].电力系统及其自动化学报,2003,15(3):93-96.
HAN Xiaotao, YIN Xianggen, ZHANG Zhe, et al. Discussion about application of optical-electric transducer to substation communication & control system [J]. Proceedings of the EP-SA, 2003, 15(3):93-96.
- [6] 黄智宇,段雄鹰,张可畏,等.电子式高压互感器数字接口的设计与实现[J].电力系统自动化,2005,29(11):87-90.
HUANG Zhiyu, DUAN Xiongying, ZHANG Kewei, et al. Design and realization of digital interface of electronic high voltage instrument transducer[J]. Automation of Electric Power System, 2005, 29(11):87-90.
- [7] 余春雨,李红斌,叶国雄,等.电子式互感器数字输出特性与通讯技术[J].高电压技术,2003,29(6):7-8.
YU Chunyu, LI Hongbin, YE Guoxiong et al. Communication technique of electrical instrument transducer with digital output [J]. High Voltage Engineering, 2003, 29(6):7-8.
- [8] 刘青,王增平,徐岩,等.电子式互感器与继电保护接口的实现[J].高电压技术,2005,31(4):4-5.
LIU Qing, WANG Zengping, XU Yan, et al. Interface of digital relay protection and electrical transducers[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(4):4-5.
- [9] IEC. 60044-8 Instrument transformers part 8:Electrical current transducers[S]. [S.I.]:[s.n.], 2002.
- [10] IEC. 61850-9-1 Communication networks and systems in substations part9-1:Specific communication service mapping (SC-SM)-Sampled values over unidirectional multidrop point to point link[S]. [S.I.]:[s.n.], 2003.
- [11] IEC. 61850-9-2 Communication networks and systems in substations part9-2:Specific communication service mapping (SC-SM)-Sampled values over ISO/IEC 8802[S]. [S.I.]:[s.n.], 2004.

(编辑:陈燕)