

采用傅里叶算法对部分主设备保护继电器性能的影响分析

陈建玉¹, 侯喆¹, 李志坚²

(1. 国电自动化研究院, 江苏 南京 210003; 2 南瑞集团动力控制公司, 江苏 南京 210003)

摘要: 在分析傅里叶算法的基础上, 指出了基于傅里叶算法的数字式继电器在电力主设备保护中应用的局限性, 论证了采用此算法的电流差动、过电压、过负荷、零序过电流等继电器在发电机、串联电抗器、并补电容器、接地变压器等主设备中应用时对保护性能的影响, 介绍了该类继电器在实际运行中出现不正确动作行为的事例, 提出了改善保护性能的改进算法。

关键词: 傅里叶算法; 数字式继电器; 电力主设备; 继电保护

中图分类号: TM774 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)23-0009-03

0 引言

数字式继电器中由于采用了性能优越的滤波算法, 提取的故障特征量的分辨率高, 与模拟式继电器相比, 具有准确、灵敏、快速的优点, 因而在电力系统继电保护装置中得到了广泛应用。傅里叶算法具有原理简单、滤波性能好、计算量小的优点, 是目前数字式继电器中最基本也是使用最多的滤波算法。

但对于发电机等电力主设备, 由于具有大幅度地偏离额定频率等复杂的运行工况, 采用傅里叶算法的数字式继电器在使用中其保护区、灵敏度等指标都会发生变化, 从而影响到保护性能, 必须在配置保护系统时引起重视。

1 傅里叶算法

傅里叶算法来源于傅里叶级数, 假设输入的模拟信号为周期性信号, 其中除了基波分量外, 还含有直流分量和高次谐波分量, 可表示为:

$$x(t) = \sum_{n=0} [b_n \cos n_1 t + a_n \sin n_1 t]$$

式中: n 表示谐波的次数, a_n 、 b_n 分别为各次谐波的正弦项和余弦项的振幅。将公式离散化, 就得到了数字式继电器中使用的傅里叶算法:

$$a_1 = -\frac{1}{N} \left[2 \sum_{k=1}^{N-1} x_k \sin k \frac{2\pi}{N} \right]$$

$$b_1 = \frac{1}{N} \left[x_0 + 2 \sum_{k=1}^{N-1} x_k \cos k \frac{2\pi}{N} + x_N \right]$$

$$X = \frac{1}{2} \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$$

$$\tan \varphi_1 = b_1 / a_1$$

式中: X 表示傅里叶算法得到的信号 $x(t)$ 的基波幅

值; φ_1 表示傅里叶算法得到的信号 $x(t)$ 的基波相位; a_1 表示傅里叶算法得到的信号基波 $x(t)$ 幅值的虚部分量; b_1 表示傅里叶算法得到的信号基波 $x(t)$ 幅值的实部分量; N 表示对模拟信号 $x(t)$ 每周波的采样点数, 在对数字式继电器特性的分析中, 使用得最多的是每周期 12 点采样, 即 $N = 12$ 。

该算法对频率敏感^[1], 其幅频特性如图 1 所示, 因而具有很好的滤波性, 特别是滤除整数次谐波分量。

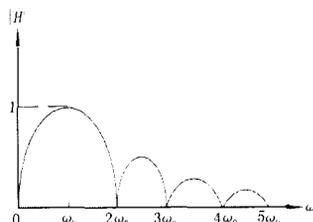


图 1 傅里叶算法的幅频特性

Fig 1 Amplitude frequency response of DFT

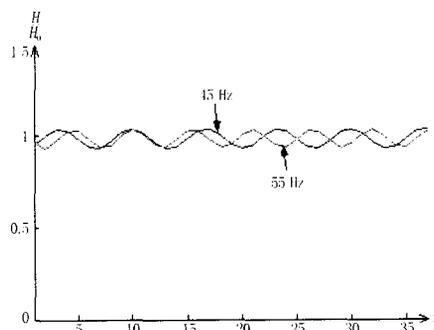


图 2 傅里叶算法的幅值初相角特性

Fig 2 Amplitude angle response of DFT

当输入信号频率不是额定频率的整数倍时, 该算法也是相位敏感的。图 2 为输入 $11/12 \omega_0$ 和 $13/12 \omega_0$ 信号时, 该算法与初始采样点角度相关的幅值

特性。

2 电流差动继电器

水机组的起励转速比较低,如果带长线空载起动,还可能在更低的频率下产生自励,而在突然甩负荷时,飞逸转速可能达到 1.4 倍以上,中小容量的发电机组一般不设专门的起动保护,因而要求电流差动保护对频率不敏感。

采用傅里叶算法的差动继电器在发电机偏离额定转速时降低了动作灵敏度,见图 3。另外,还要相应降低继电器的返回系数,以抵御傅里叶算法的相位敏感性,防止差电流元件发生鸟啄现象。

在发电机差动保护中采用频率跟踪法调整继电器的采样速率,显然会降低频率敏感性,但发电机在起动和飞逸过程中的频率偏差和频率变化速率都很大,频率跟踪的应用受到限制。采用瞬时值算法^[2],能够比较好地解决频率敏感性。

电动机和厂用电系统中的串联电抗器,也会遇到频率变化比较大的工况,如电源消失时电动机的情行过程。

在采用二次谐波电流分量作涌流判据的发电机—变压器组电流差动继电器中,工频每周波 12 点采样对于二次谐波只相当于每周波 6 点采样,在信号频率发生变化时,傅里叶算法产生的误差和数值波动更大。

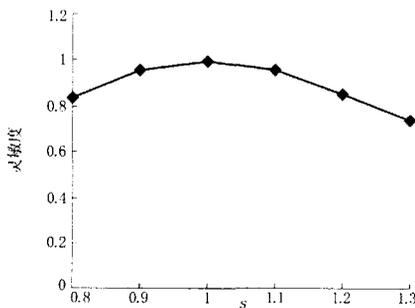


图 3 电流差动继电器灵敏度曲线

Fig 3 Sensitivity curve of current differential relay

3 过电压继电器

水轮发电机在甩负荷情况下要承受超速和过电压,采用傅里叶算法的过电压继电器在频率升高时会增大动作误差,见图 4。

在并联补偿电容器中,内部产生的热量与其运行电压的平方成正比,为防止电容器过热损坏,采用了过电压保护。当电压中含有谐波成分时,过电压

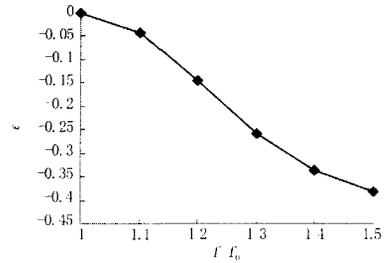


图 4 过电压继电器在频率升高时的误差曲线

Fig 4 Error curve of over voltage relay caused by frequency rising

继电器的保护特性变坏。由于标准中规定的电容器允许长期过电压不应超过额定电压的 5%,短时过电压不应超过额定电压的 10%,而系统中最大允许有 5%的谐波分量,过电压继电器产生测量误差也就为 -5%,这个误差一般是不能接受的。

由于过电压保护一般都带有短延时,并且没有上、下级保护配合问题,将继电器的固有动作时间增大到 200 ms 左右是允许的,因而采用较长数据窗的真有效值算法,将比傅里叶算法更合适。

4 过负荷继电器

对于并联补偿电容器,当系统接有整流装置等非线性负载时,会产生高次谐波电流,电容器与系统感抗间会在某些谐波下发生并联谐振或(和)串联谐波,产生很高的谐振过电压或(和)谐振过电流。由于上述谐振现象,将使电容器严重过负荷而损坏。采用傅里叶算法的过负荷继电器是不反应谐波电流的,因而起不到应有的保护作用,应采用真有效值算法。

对于整流变压器,例如发电机组的励磁变压器,由于其负荷电流一般不是正弦波,采用傅里叶算法的过负荷继电器也不能真实地反应变压器的过负荷,见图 5。

5 零序过电流继电器

在采用曲折变压器中性点经电阻接地的系统中,由于限流作用的存在可能会在接地故障点上产生间歇性的弧光电流,图 6(a)是 ZHGB 变电站实际记录到的发生接地故障时的弧光电流波形,经傅里叶算法后电流测量元件产生鸟啄,导致延时元件重复性地启动—返回,在本次事故中,零序电流继电器拒动而引起越级跳闸。

象针对零序电流这种在故障和正常运行状态能

明显区别的特征量,且采用时间级差作选择性时,应采用长数据窗,并应减小继电器的返回系数和增大返回时间。

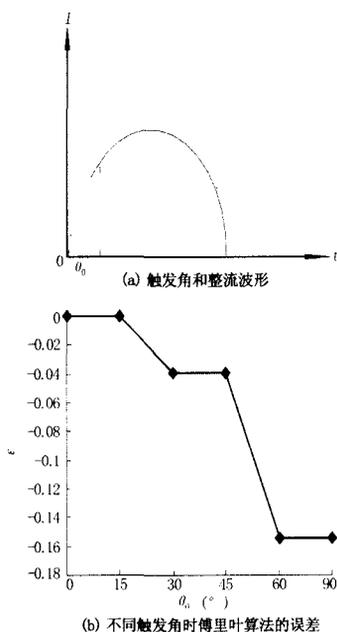


图 5 傅里叶算法对整流电流的计算误差

Fig 5 Error of regulating current caused by DFT

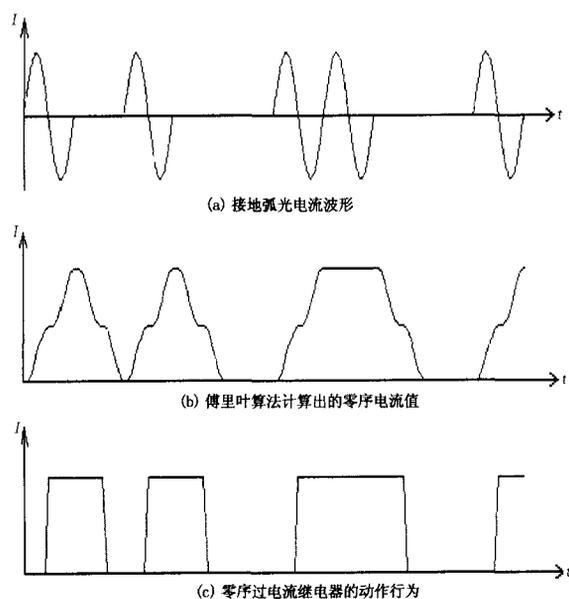


图 6 基于傅里叶算法的零序过电流继电器的特性

Fig 6 Characteristics of zero-sequence over current relay based on DFT

6 二次谐波电压继电器和三次谐波电压继电器

二次谐波电压继电器用于旋转励磁发电机的转子回路两点接地保护,三次谐波电压继电器用于发电机的 100%范围的定子接地保护。这两种继电器一般都采用基于傅氏级数的滤波算法滤掉基波分量。

当转子两点接地时两个接地点的电气距离很近,产生的二次谐波电压很小,发电机的三次谐波电压本身就很小,因此二次谐波电压继电器和三次谐波电压继电器的动作定值都很低,一般仅整定在 1~2 V 左右。在发电机起、停和区外短路、系统振荡等暂态机电过程中,基波分量滤不干净,会导致继电器误动作,因此必须带有一定的动作延时,并最好采用频率跟踪的采样方法。

7 结语

傅里叶算法虽然有很多的优点,并在电力系统继电保护中得到了广泛的应用,但在电力主设备保护中,有很多继电器是不适宜采用傅里叶算法的,或者要采用辅助判据来消除傅里叶算法的负面影响。

参考文献:

- [1] 杨奇逊. 微型机继电保护基础 [M]. 北京:水利电力出版社, 1988
YANG Qi-xun Foundations for Microcomputer Relay Protection [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1998
- [2] 黄家裕,陈礼义,等. 电力系统数字仿真 [M]. 北京:中国电力出版社, 1998
HUANG Jia-yu, CHEN Li-yi, et al Digital Simulation of Power System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998

收稿日期: 2005-04-07; 修回日期: 2005-07-01

作者简介:

陈建玉 (1963 -),男,高级工程师,从事电力系统继电保护开发研究; E-mail: develop@naripcc.com

侯 喆 (1976 -),女,硕士研究生,从事电力系统继电保护开发研究;

李志坚 (1976 -),男,工程师,从事电力系统继电保护开发研究。

Influence on some main apparatus protection performance by adopting DFT-based digital relays

CHEN Jian-yu¹, HOU Zhe¹, LI Zhi-jian²

(下转第 40 页 continued on page 40)

- lectric Power Systems, 2004, 28(20): 37-42
- [5] Kennedy J, Eberhart R. Particle Swarm Optimization[A]. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks Perth(Australia): 1995. 1-12
- [6] 侯云鹤,鲁丽娟,熊信银,等. 改进粒子群算法及其在电力系统经济负荷配中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(7): 95-100
HOU Yun-he, LU Li-juan, XDNG Xin-yin, et al. Enhanced Particle Swarm Optimization Algorithm and Its Application on Economic Dispatches of Power Systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(7): 95-100.
- [7] Yoshida H, Kawata K, Fukuyama Y, et al. A Particle Swarm Optimization for Reactive Power and Voltage Control Considering Voltage Security Assessment[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(4): 1232-1239.
- [8] 胡家声,郭创新,曹一家. 基于扩展粒子群优化算法的同步发电机参数辨识[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(6): 35-40
HU Jia-sheng, GUO Chuang-xin, CAO Yi-jia. Generator Parameter Identification Based on Extended Particle Swarm Optimization Method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(6): 35-40.
- [9] 胡家声,郭创新,叶彬,等. 离散粒子群优化算法在输电网络扩展规划中的应用[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(20): 31-36
HU Jia-sheng, GUO Chuang-xin, YE Bin, et al. Application of Discrete Particle Swarm Optimization to Transmission Network Expansion Planning[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(20): 31-36
- [10] Abido M A. Optimal Design of Power-system Stabilizers Using Particle Swarm Optimization[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 2002, 17(3): 406-413.
- [11] 王晖,韩新阳,胡兆光,等. 基于模糊控制遗传算法的输电系统最优化规划[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(2): 51-55.
WANG Hui, HAN Xin-yang, HU Zhao-guang, et al. Transmission Network Planning and Optimization Model with Genetic Algorithms Based on Fuzzy Logic Controller[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(2): 51-55.
- [12] Romero R, Monticelli A, Garcia A, et al. Test Systems and Mathematical Models for Transmission Network Expansion Planning[J]. IEEE Proceedings—Gener, Transm and Distrib, 2002, 149(1): 27-36

收稿日期: 2005-04-06; 修回日期: 2005-05-24

作者简介:

陈海焱(1979-),男,博士研究生,主要研究方向为电力系统规划与分析计算;E-mail: chenhaiyan_415@163.com

陈金富(1972-),男,博士后,主要研究方向为电力系统规划、运行以及 FACTS应用技术。

Particle swarm optimization for transmission systems multi-stage and coordinated planning

CHEN Hai-yan, CHEN Jin-fu

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

Abstract: A new model of transmission system multi-stage and coordinated planning, is presented in this paper considering $N-1$ static security constraints. This paper presents an improved particle swarm optimization (PSO) algorithm and selects it as the solution to multi-stage planning of transmission systems. The improved PSO is available to handle multi-dimension discrete variables. And a new mutation operator is described to enhance the search efficiency of particles. The test results show that the improved PSO is feasible to apply to multi-stage planning of transmission systems.

Key words: static planning; multi-stage planning; particle swarm optimization; $N-1$ static security constraints

(上接第 11 页 continued from page 11)

(1. Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China; 2. NARI Power Control Company, Nanjing 210003, China)

Abstract: This paper points out the shortcomings of the digital relay based on DFT, which is applied in main-apparatus protection. And it discusses the influence on performance of the protections of main apparatus, which apply several digital relays based on DFT such as current differential relay, over voltage relay, over load relay, zero sequence over current relay, etc. It also introduces the uncorrected judgement of these relays in operation and promotes the improved method to enhance the performance.

Key words: DFT; digital relay; main apparatus; relay protection