

# 差分与傅氏变换相结合算法在微机电流保护中的应用

刘毅<sup>1</sup>, 温渤婴<sup>2</sup>

(1. 辽宁工学院信息科学与工程系, 辽宁 锦州 121001; 2. 中国农业大学电子电力工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 采用差分与傅氏变换相结合的计算方法, 省去模拟滤波电路, 从带有衰减直流分量的故障电流中提取基波电流, 进行保护计算和判断, 具有较高的准确性和可靠性。

**关键词:** 微机保护; 傅氏算法

**中图分类号:** TM771; TM744

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1003-4897(2000)08-0036-03

## 1 引言

目前微机保护的算法种类繁多, 实际中采用某种算法要考虑的因素一是算法本身的精度和速度, 二是考虑该算法所要求的滤波电路所带来的影响。算法的计算速度包括算法所要求的采样点数(或称数据窗长度)和运算工作量。算法的精度一方面与采样点数和计算工作量有关, 另一方面也与实际模拟滤波器的误差有关。精度和速度总是矛盾的。速度快的算法减少采样点数和计算量, 精度高的算法则增加采样点、增加计算工作量以及要求配合数字滤波器一起工作。所以究竟采用何种算法实质上是在速度和精度两方面进行权衡的结果。

假设输入为正弦量时, 常用的算法有: 两点乘积算法、导数算法和积分算法。此类算法前端必须配备模拟或数字滤波器保证输出为基波分量。但模拟滤波器由于参数不匹配往往带来较大的误差和特性的不一致; 若另配数字滤波器又增加了计算时间。如果被采样信号是周期性的, 可采用傅立叶算法。傅立叶算法本身具有数字滤波作用, 可以省去模拟滤波电路, 准确地求出基频分量。此外还有最小二乘方算法和解微分方程算法, 它们不适于在电流保护中采用。

## 2 傅氏变换算法的基本原理

假定被采样信号是一个周期性的时间函数, 除基波外还含有不衰减的直流分量和各次谐波:

$$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} [b_n \cos n_{-1}t + a_n \sin n_{-1}t]$$

其中:  $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ;

$a_n$  和  $b_n$  则分别各次谐波的正弦项和余弦项的振幅;

$b_0$  为直流分量的值。

$a_1$  和  $b_1$  为基波分量的正弦项和余弦项的振

幅, 可采用梯形法或矩形法求得, 在满足精度要求的前提下, 为提高保护动作的速度, 采用矩形法:

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

$$b_1 = \frac{1}{N} \left[ 2 \sum_{k=0}^{N-1} x_k \cos k \frac{2\pi}{N} \right]$$

其中:  $N$  为一个周期的采样点数;

$x_k$  为第  $k$  次采样值。

因此可根据  $a_1$  和  $b_1$  求出有效值和相角:

$$2X^2 = a_1^2 + b_1^2$$

$$\text{tg } \varphi = b_1 / a_1$$

傅立叶算法假定被采样信号是周期性的, 此时可准确地求出基频分量。如被采样信号中含有按指数规律衰减的成分, 用此法计算基波分量会有一定的误差。

## 3 降低衰减直流分量影响的方法

系统故障时, 往往产生较大的衰减直流分量  $a_0 e^{-t/\tau}$ , 傅立叶变换因而带来较大的计算误差。为滤掉衰减直流分量的影响, 通常采用以下几种方法:

### 3.1 差分法

用采样值之差  $x(n+1) - x(n)$  代替  $x(n)$ , 输入到原来的数字滤波器中, 它假设  $a_0 e^{-t/\tau}$  在采样间隔  $T_s$  期间的变化不大, 因此可滤除衰减直流分量的影响。其缺点是: 计算量因每点均要计算差值而增加许多, 且增加了算法对高频分量的敏感度。

### 3.2 改进差分法

用采样值之差  $x(n+1) - hx(n)$  代替  $x(n)$ , 其中  $h$  为常数, 如果时间常数为某定值  $\tau_0$ , 则令  $h = e^{-T_s/\tau_0}$  可以较好地消除非周期直流分量的影响。但是故障时, 时间常数是不能预先知道的随机数, 较难确定, 并且其计算量较差分法又有所增加。

### 3.3 泰勒级数逼近法

用  $a_0 e^{-t/\tau_0}$  的一次或二次泰勒级数展开式来代

替它,送入滤波器中,获得它产生的误差。然后当含有衰减直流分量的信号输入滤波器时,再减去此误差。这种方法的计算量小,但泰勒展开式只在展开点附近误差较小,在其它点却较大,因此采用此方法不是很理想。

#### 4 采用差分与傅氏变换相结合的计算方法

由于傅立叶变换算法本身具有滤波功能,能从带有高次谐波干扰的电流信号中提取基波信号,符合保护电流的判断要根据基波电流的要求。还可省去模拟滤波电路,避免因此产生的误差。为抑制衰减直流分量的影响,加入差分法。差分法可降低按指数规律衰减直流成分的影响。因此采用差分法和傅氏变换相结合算法计算故障电流可取得较好效果。

采用傅立叶算法时,不容忽视的问题是计算速度。它不仅与数据窗的长度有关,还与每周波采样点数有关。在傅氏算法中,既能保证精度、又能使计算时间最短的是每周波采样 12 点,因为其涉及到的乘法运算次数最少、计算最简单、速度最快。

#### 5 差分法滤除非周期分量影响的仿真计算

对傅立叶变换算法精度影响的因素很多,如故障时刻的初相角、非周期分量的时间常数以及傅立叶变换算法所取的窗口。在信号含有衰减直流分量情况下,对加入和不加入差分法两种情况下的傅氏变换计算进行仿真,分析其误差。

##### 5.1 初相角变化

设故障后的电流采用如下公式描述:

$$I(t) = I_m [e^{-t/T} + \sin(\omega t + \phi)]$$

采样后变为:

$$I(k) = I_m [e^{-kT/N} + \sin(2\pi k/N + \phi)]$$

其中:  $T$ —为非周期分量的时间常数;

$\phi$ —为初相位;

$N$ —为每周波的采样点数;

$T$ —为周期。

设每周波采样 12 点,即  $N = 12$ ,取  $T = 0.25\text{ms}$ 、 $I_m = \sqrt{2} * 5\text{A}$ ,在相位变化时,比较直接采用傅氏算法和差分与傅氏变换相结合算法的计算误差,如图 1 所示。

由图 1 可以看出,误差随相位按正弦规律变化,周期为  $2\pi$ 。曲线 1(即未加入差分)的最大误差约为 17%,可见,非周期分量所带来的误差是不容忽视的。而曲线 2(即加入差分后)的最大误差约为

2.2%,误差有明显减少。

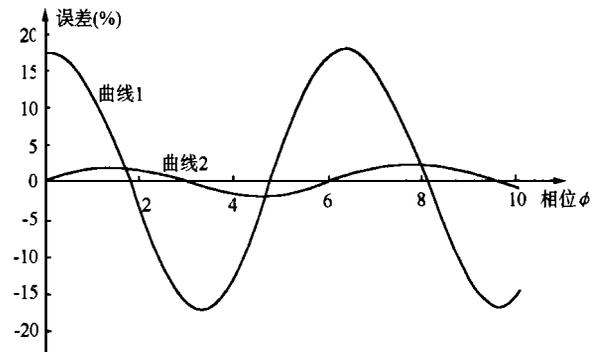


图 1

##### 5.2 时间常数变化

傅立叶变换算法的精度还与时间常数有关,设每周波采样 12 点,即  $N = 12$ ,取  $\phi = 0^\circ$ 、 $I_m = \sqrt{2} * 5\text{A}$ ,通过傅氏算法的仿真计算分别将加入和未加入差分的误差曲线绘出,如图 2 中所示。

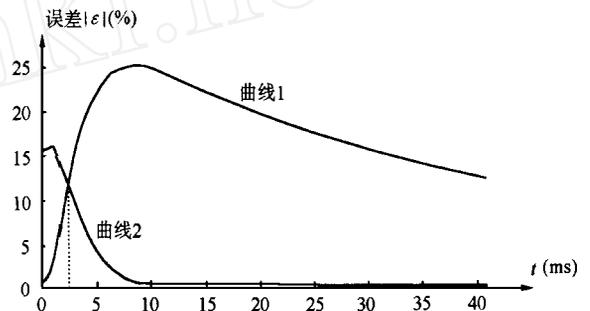


图 2

由图可以看出,曲线 1(未加入差分)最大误差出现在  $t = 8\text{ms}$  左右,此时  $|\epsilon|_{\text{max}} = 25\%$ ,此后误差随着时间常数  $T$  的增加而减小得很慢。在加入差分后,误差发生了明显的变化,在 2.5ms 之后,曲线 2(加入差分后)的误差明显减小,到达 10ms 以后,误差接近于 0。

由上述仿真计算可以看出,非周期分量引起的误差是不容忽视的,必须清除或抑制其影响。所以采用差分法与傅立叶变换相结合的算法,大大地降低了由于非周期分量的存在带来的误差,提高了测量精度,保证微机继电保护动作的可靠性。

#### 6 结论

本计算方法应用于所设计的电力综合监控仪,采用精度为 0.1 级的电流传感器和 12 位 A/D 转换器,在电力工业部电力设备及仪表质量检验测试中心进行技术指标检测,检测结果表明:动作电流的最大误差小于 3%,符合微机继电保护动作电流的误

差精度要求;从保护的動作时间来看,段电流动作的平均时间为29.1ms,小于30ms,符合微机继电保护的速断动作时间要求;段和段的動作时间也符合误差规定要求。可见,采用差分 and 傅氏变换相结合的算法,从含有衰减直流分量的故障电流中提取基波成分进行保护判断,既能保证保护计算的精度,又能保证保护动作的快速性,从而提高了保护动

作的准确性和可靠性。

收稿日期: 1999-10-11

作者简介: 刘毅(1970-),男,讲师,从事厂站综合自动化研究; 温渤婴(1959-),男,副教授,从事调度自动化及厂站综合自动化技术研究应用工作。

### Applying the algorithm of FFT with difference data in

#### microprocessor based current protection

LIU Yi<sup>1</sup>, WEN Bo-Ying<sup>2</sup>

(1. Liaoning Engineering College, Jinzhou 121001, China; 2. China Agriculture University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** It is more accurate and reliable in current protection that basic frequency current is taken from fault current with decaying dc component by use of FFT for difference input data, which eliminates the need of analog wave filter.

**Keywords:** microprocessor based protection; FFT

## 三大继电器厂家联手合作,推出最新工具书 ——《继电器检验调试手册》

为满足广大继电保护技术人员现场需要,以现场检验为依据,中国电器工业协会继电器及其装置分会和机械工业继电器及装置科技情报网组织十几位专家,编写了《继电器检验调试手册》一书。该手册收录了截止1999年生产的二十类共250余种继电器产品,共100多万字,基本覆盖了电力行业常用的继电器种类。

全书共分三篇,第一篇为检验通则,介绍了继电器在新安装和定期检验时的通用检验规则要求,包括一般性检查,一般电气性能检查,绝缘性能检验,试验电源和使用仪器仪表的一般要求,误差、一致性和变差的计算方法等内容;第二篇为有或无继电器,内容包括中间继电器、时间继电器、信号继电器、冲击继电器、电码继电器、双位置继电器、重合闸继电器和计数继电器;第三篇为量度继电器,包括电流继电器、过流继电器、电压继电器、接地继电器、同步检查继电器、功率继电器、频率继电器、差动继电器、阻抗继电器、监视继电器、断相闭锁继电器和其它继电器。

该手册具有以下特点:

1. 作者队伍力量强。该手册的编写得到了许继集团有限公司、阿城继电器厂、上海继电器厂的大力支持,他们抽调了具有丰富经验的专家编写该书,力求简炼和实用,使手册具有较强的权威性。
2. 内容新。在继电器产品的选择上,选取了截止1999年的最新产品,淘汰了已停产的产品,使手册具有较强的实用性。
3. 结构合理。该手册对每一种继电器,均按用途,原理简介,检验项目及要求,检验、调试方法四方面进行介绍,并将一般性检查作为检验通则放在手册最前面,以方便读者查阅。
4. 采用最新国标。与国际接轨,贯彻国标,手册采用了最新的图形符号和文字符号,读者可直接引用。另外,在文前还列出了手册中使用的文字符号说明,便于读者使用。

权威的作者、全新的内容、详实的介绍,使该手册成为继电器调试检验方面的必备工具书,可供电力系统继电保护现场运行、检验、调试技术人员使用,也可供相关专业的技术人员参考。

该手册预计2000年10月出版,估价80.00元。有意购买者,可与中国电力出版社发行部联系。

地址: 北京西城区三里河路6号 中国电力出版社发行部 邮编: 100044

电话: (010)68358031 —340

也可与中国电力出版社专家编辑室张涛联系。电话: (010)63416227