# 电力系统微机保护中改进傅氏算法综合性能研究

高 婧[1],郑建勇[1],潘震东[2]

(1.东南大学电气工程系,江苏 南京 210096; 2.常州供电局,江苏 常州 213000)

**摘要**:介绍了近年来微机保护应用中针对傅氏算法的各种改进算法,着重研究分析了如何滤除衰减直流分量问题,并通过仿真计算,对各种算法的滤波性能,即复现基波分量和各次谐波分量的速度和精度,做了综合比较和评价。

**关键词**:微机保护算法; 傅氏算法; 衰减直流分量

**中图分类号**:TM771 **文献标识码**:A **文章编号**:1003-4897(2002)10-0016-05

## 1 引言

计算机继电保护是用数学运算方法实现故障量的测量、分析和判断的,运算的基础是离散的、量化了的数字采样序列。微机保护算法的计算可视为对交流采样信号中参数的估算过程,对算法性能的评价也取决于其是否能在较短数据窗内,从信号的若干采样值中获得基波分量或某次谐波分量的精确估计值。

在电力系统发生故障时,往往是在基波的基础上叠加有衰减的非周期分量和各种高频分量,一种常用算法即傅氏算法,就是利用傅氏级数将周期函数分解为正弦和余弦函数,最适合微机保护计算其基频或倍频分量。傅氏算法本身带有很强的滤除高次谐波的能力,所以一般不再另外采用数字滤波,但是算法本身不能滤去衰减的非周期分量。围绕如何在傅氏算法基础上克服衰减的非周期分量的影响,出现了很多改进算法[3~8]。本文对近十几年来这一方面的研究成果作了详尽的整理和总结,对各种算法的性能作了综合比较,从而找到一种综合性能最佳的改进傅氏算法,并为在不同场合下寻找满足特定性能要求的算法提供指导。

## 2 傅氏算法性能分析

### 2.1 傅氏算法

以电流为例,设故障电流波形为如下形式:

$$i(t) = I_0 e^{-\alpha t} + \sum_{n=1}^{M} I_{mn} \sin(n\omega t + \phi_n) = I_0 e^{-\alpha t} + \sum_{n=1}^{M} [I_{Rn} \cos(n\omega t) + I_{In} \sin(n\omega t)] \tag{1}$$

式中:$I_{Rn} = I_{mn} \sin \phi_n$,$I_{In} = I_{mn} \cos \phi_n$

(1) 全波傅氏算法

$$\begin{cases} a_n = \dfrac{2}{T}\displaystyle\int_0^T i(t) \cos(n\omega t)\,dt \\ b_n = \dfrac{2}{T}\displaystyle\int_0^T i(t) \sin(n\omega t)\,dt \end{cases} \tag{2}$$

经采样后,连续量变为离散量,积分变为求离散和

$$\begin{cases} a_n = \dfrac{2}{N}\displaystyle\sum_{k=1}^{N} i_k \cos nk\dfrac{2\pi}{N} \\ b_n = \dfrac{2}{N}\displaystyle\sum_{k=1}^{N} i_k \sin nk\dfrac{2\pi}{N} \end{cases} \tag{3}$$

式中:$N$ 为一个周期 $T$ 中的采样数;$k$ 为从故障开始时的采样点序号

(2) 半波傅氏算法

$$\begin{cases} a_n = \dfrac{4}{T}\displaystyle\int_0^{\frac{T}{2}} i(t)\cos(n\omega t)\,dt \\ b_n = \dfrac{4}{T}\displaystyle\int_0^{\frac{T}{2}} i(t)\sin(n\omega t)\,dt \end{cases} \tag{4}$$

经采样后,积分变为求离散和

$$\begin{cases} a_n = \dfrac{4}{N}\displaystyle\sum_{k=1}^{N/2} i_k \cos nk\dfrac{2\pi}{N} \\ b_n = \dfrac{4}{N}\displaystyle\sum_{k=1}^{N/2} i_k \sin nk\dfrac{2\pi}{N} \end{cases} \tag{5}$$

### 2.2 傅氏算法的误差来源

(1) 离散求和方法的影响

由于用离散值累加代替连续积分,所以计算结果也要受采样频率的影响。此外,计算要用到全部 $N$ 个采样值,因此,计算必须在系统发生故障后第 $N$ 个采样值出现时才是准确的,在此之前,$N$ 个采样值中有一部分是故障前的数值,一部分是故障后的数值,这就使计算结果不是真正反映故障的电算量。

(2)衰减直流分量的影响

傅氏算法的基础是假定输入信号是周期函数,可以分解为整倍数频率的分量之和,其中包括恒定的直流分量。但是,在电力系统中,实际的输入信号中的非周期分量包含的是衰减的直流分量。当对衰减的直流分量截取一个数据窗的宽度,作为输入信号,然后对它进行频谱分析,可以得到一个连续的,包含基频分量的频谱。如果作周期延拓,也可以分解为傅氏级数,即包含有基频、倍频和直流分量。因此,当采用傅氏算法,而输入中含有衰减直流分量时,计算所得的基频或倍频分量必定含有误差。[2]

## 3 各种改进算法综述

### 3.1 算法一:半波傅氏算法与 Mann-Morrison 算法相结合的快速算法

文献[3]通过对半波傅氏算法的频谱分析和不同衰减直流分量参数计算,得出结论:衰减直流分量对半波傅氏算法滤波性能的影响主要表现在算法的虚部,而算法的实部能有效地抑制衰减直流分量的影响。因此只使用半波傅氏算法计算基波实部,而用 Mann-Morrison 算法计算基波幅值。

为了全部使用故障后的采样值,取 $k \geq N/2$,$k$ 表示从故障起始时刻开始第 $k$ 个采样点,数据窗为 $[k-N/2+1, k-N/2+2, \cdots, k]$,若计算基波分量,则令 $n=1$,由式(5)用半波傅氏算法求出实部 $I_{\mathrm{Re}}(k)$。

根据 Mann-Morrison 算法,则

$$I_{\mathrm{Im}}(k) = \frac{I_{\mathrm{Re}}(k+1) - I_{\mathrm{Re}}(k-1)}{2\sin(\Delta\theta)} \tag{6}$$

基波分量幅值 $I_1(k) = \sqrt{I_{\mathrm{Re}}^{\,2}(k) + I_{\mathrm{Im}}^{\,2}(k)}$。经类似推导可得,若所求分量为 $n$ 次谐波,则在式(6)中取分母为 $2\sin(n\Delta\theta)$。

该算法的数据窗为半周波加一个采样点,算法的程序和计算简单,适用于继电保护快速动作。其滤波效果大大优于半波傅氏算法。值得注意的是,首先,该算法无法求出 $k=N/2$ 点准确值;其次,欲求 $k$ 点基波幅值,必须先计算 $k+1$ 点的基波实部分量,所以有一个采样间隔的延时。

### 3.2 算法二:滤除衰减直流分量误差的改进半波傅氏算法

文献[4]在半波傅氏变换提取出基波或各次谐波分量的基础上,减去直流衰减分量带来的误差。将式(1)代入式(4),计算半波傅氏算法中由衰减直流分量引入的误差,得到

$$\begin{cases} a_n = I_{Rn} + \dfrac{4}{T}\displaystyle\int_0^{\frac{T}{2}} I_0 e^{-\alpha t}\cos(n\omega t)\,dt = I_{Rn} + \omega_a \\ b_n = I_{In} + \dfrac{4}{T}\displaystyle\int_0^{\frac{T}{2}} I_0 e^{-\alpha t}\sin(n\omega t)\,dt = I_{In} + \omega_b \end{cases} \tag{7}$$

式中:$\omega_a$ 和 $\omega_b$ 为需要滤除的误差。

改进算法:当 $t \in [0, T/2]$,$[\Delta T, \Delta T + T/2]$,$[2\Delta T, 2\Delta T + T/2]$ 时,将 $i(t)$ 代入式(4)计算,取 $\Delta T$ 为一个采样周期时间 $T_s$($T_s = T/N$),即取三个数据窗 $k=[1, N/2]$,$[2, N/2+1]$,$[3, N/2+2]$,依式(5)作半波傅氏变换,得三组半波傅氏变换提取量,以及衰减直流量误差的理论分析值($a_n, b_n, \omega_a, \omega_b$)、($a'_n, b'_n, \omega'_a, \omega'_b$)、($a''_n, b''_n, \omega''_a, \omega''_b$),令

$$Q = a'_n - k_a a_n + k_b b_n \qquad X = a''_n - 2k_a a'_n + a_n$$
$$R = b'_n - k_a b_n - k_b a_n \qquad Y = b''_n - 2k_a b'_n + b_n$$

式中:$k_a = \cos(n\omega\Delta T)$,$k_b = \sin(n\omega\Delta T)$,经分析有如下关系:

$$\omega_a/\omega_b = X/Y \qquad \omega_b Q - \omega_a R = k_b(\omega_a^2 + \omega_b^2)$$

从而可解得:$\omega_a = X(QY - XR)/k_b(X^2 + Y^2)$,$\omega_b = Y\omega_a/X$,则可得 $I_{Rn} = a_n - \omega_a$,$I_{In} = b_n - \omega_b$。当 $n=1$ 时,所求即为基波分量。

计算采样点 $k=N/2$ 处的基波或其它谐波幅值,必须经过两个采样间隔的延时;由式(7)可知,$\omega_a$ 和 $\omega_b$ 是基于连续量运算上的,而由式(5)求出的 $a_n$、$b_n$ 是基于离散量运算上的,这样势必带来误差。此外,半波傅氏算法本身的滤波特性决定了对含偶次谐波分量较大的波形,其基波分量计算误差较大,而对不含偶次谐波分量的波形可以精确求解。

### 3.3 算法三:滤除衰减直流分量误差的改进全波傅氏算法一

文献[5]在全波傅氏变换提取出基波或各次谐波分量的基础上,减去直流衰减分量带来的误差。将式(1)代入式(2),计算全波傅氏算法中由衰减直流分量引入的误差,得到:

$$\begin{cases} a_n = I_{Rn} + \dfrac{2}{T}\displaystyle\int_0^{T} I_0 e^{-\alpha t}\cos(n\omega t)\,dt = I_{Rn} + \omega'_a \\ b_n = I_{In} + \dfrac{2}{T}\displaystyle\int_0^{T} I_0 e^{-\alpha t}\sin(n\omega t)\,dt = I_{In} + \omega'_b \end{cases} \tag{8}$$

式中:$\omega'_a$ 和 $\omega'_b$ 为需要滤除的误差。

改进算法:当 $t \in [0, T]$,$[\Delta T, \Delta T + T]$ 时,将 $i(t)$ 代入式(2)计算,取 $\Delta T = T/2n$,$n$ 为所求谐波次数。即取两个数据窗 $k = [1, N]$,

$[N/2n, N+N/2n]$，(对基波而言，$k=[1,N]$，$[N/2, N+N/2]$)，依式(3)作全波傅氏变换，得到两组结果 $a_n$、$b_n$ 均为 $I_{Rn}$、$I_{In}$、$\omega'_a$ 和 $\omega'_b$ 的线性组合，又由正弦函数和余弦函数的对称性有 $\omega'_a=\alpha\omega'_b/n\omega$，联立解出 $\omega'_a$ 和 $\omega'_b$，则可得 $I_{Rn}=a_n-\omega'_a$，$I_{In}=b_n-\omega'_b$。

计算各次谐波分量所需的数据窗不同($n$ 不同)，因而计算所需的延时也不同($\Delta T$ 不同)；若要实现同时计算几种谐波分量，则采样点数 $N$ 必须是它们的最小公倍数，否则无法计算；等式 $\omega'_a=\alpha\omega'_b/n\omega$ 基于连续函数积分，在离散量计算结果中应用这一等式必然带来误差；当计算基波时，数据窗是一个半周期，实时性较差。

### 3.4 算法四 Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ:滤除衰减直流分量误差的改进全波傅氏算法二

文献[6]同样用减去直流衰减分量带来的误差的方法，对全波傅氏变换提取出基波或各次谐波分量进行修正。

改进算法：同式(8)，当 $t\in[0,T]$，$[\Delta T, \Delta T+T]$，$[2\Delta T, 2\Delta T+T]$时，取 $\Delta T$ 为一个采样周期时间 $T_s$ ($T_s=T/N$)，即取三个数据窗 $k=[1,N]$，$[2,N+1]$，$[3,N+2]$，得三组傅氏变换提取量，以及衰减直流量误差的理论分析值($a_n$，$b_n$，$\omega_a$，$\omega_b$)、($a'_n$，$b'_n$，$\omega'_a$，$\omega'_b$)、($a''_n$，$b''_n$，$\omega''_a$，$\omega''_b$)，令

$$A=a'_n-K_{c1}a_n+K_{s1}b_n$$
$$B=b'_n-K_{c1}b_n-K_{s1}a_n$$
$$C=a''_n-K_{c1}a'_n+K_{s1}b'_n$$
$$D=b''_n-K_{c1}b'_n-K_{s1}a'_n$$

式中：$K_{c1}=\cos(n\omega\Delta T)$；$K_{s1}=\sin(n\omega\Delta T)$。

由三组数据之间的关联可得如下关系

$$A=(e^{-\alpha\Delta T}-K_{c1})\omega_a+K_{s1}\omega_b$$
$$B=(e^{-\alpha\Delta T}-K_{c1})\omega_b-K_{s1}\omega_a$$
$$C=e^{-\alpha\Delta T}[(e^{-\alpha\Delta T}-K_{c1})\omega_a+K_{s1}\omega_b]$$
$$D=e^{-\alpha\Delta T}[(e^{-\alpha\Delta T}-K_{c1})\omega_b-K_{s1}\omega_a]$$

通过线性方程组联立消元，解出 $\omega_a$，$\omega_b$，

$$\omega_a=\frac{A(K_T-K_{c1})-BK_{s1}}{1+K_T^2-2K_{c1}K_T}$$

$$\omega_b=\frac{B(K_T-K_{c1})+AK_{s1}}{1+K_T^2-2K_{c1}K_T}$$

式中：$K_T=e^{-\alpha\Delta T}=(|C|+|D|)/(|A|+|B|)$，则 $I_{Rn}=a_n-\omega_a$，$I_{In}=b_n-\omega_b$。

通过实际算例的仿真发现，若取 $K_T=e^{-\alpha\Delta T}=C/A$，计算精度将高于文献[6]中所取 $K_T=e^{-\alpha\Delta T}=(|C|+|D|)/(|A|+|B|)$。若使用文献[4]，也就是算法3.2提供的 $Q$，$R$，$X$，$Y$ 消元方法，计算精度将显著提高。

### 3.5 算法五：在线计算衰减直流分量参数方法一

有别于文献[4～6]的补偿角度，文献[7]从信号分解角度出发，利用周期函数在一周期上积分为零的性质，给出计算衰减直流分量的初始值 $I_0$ 和衰减率 $\alpha$ 的公式。

$$A_0=\int_0^T i(t)\mathrm{d}t=\int_0^T I_0e^{-\alpha t}\mathrm{d}t+0=\frac{I_0}{\alpha}(1-e^{-\alpha T})=\frac{1}{\alpha}[i(0)-i(T)] \qquad (9)$$

$$A_1=\int_{T_s}^{T_s+T} i(t)\mathrm{d}t=\int_{T_s}^{T_s+T} I_0e^{-\alpha t}\mathrm{d}t+0=\frac{I_0}{\alpha}e^{-\alpha T_s}(1-e^{-\alpha T})=\frac{1}{\alpha}[i(T_s)-i(T+T_s)] \qquad (10)$$

由连续的两个一周期数据窗求和得到 $A_0$ 和 $A_1$，进而求出 $I_0$ 和 $\alpha$。

在此基础上的精确算法是在各采样值经减去衰减直流分量误差的校正后($i'(k)=i(k)-I_0e^{-\alpha kT/N}$)，再作离散傅氏变换；考虑到保护对故障暂态信号分析的强实时性要求，又给出一种简化算法，用故障信号的离散傅氏变换提取的基波分量，直接减去直流衰减分量的连续傅氏变换的基波分量 $\omega''_a$ 和 $\omega''_b$。

$$\frac{2}{T}\int_0^T I_0e^{-\alpha t}e^{-j\omega t}\mathrm{d}t=\frac{2}{T}\frac{I_0}{\alpha+j\omega}(1-e^{-\alpha T})=\omega''_a+j\omega''_b \qquad (11)$$

数据窗长度为 $N+1$ 点，且需延时一个采样间隔；简化算法的误差源于离散量运算结果直接减去连续量运算结果。

### 3.6 算法六：在线计算衰减直流分量参数方法二

文献[8]同样利用周期函数一周期积分为零的性质，认为在非周期分量的曲线 $I_0e^{-\alpha t}$ 上可以找到一点 $Y_1=\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1}i(k)=\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1}I_0e^{-\alpha\frac{kT}{N}}$，对应时间 $t_1$，即 $Y_1=I_0e^{-\alpha t_1}$；在第二个周期上也可以找到一点 $Y_2=\frac{1}{N}\sum_{k=N}^{2N-1}i(k)=\frac{1}{N}\sum_{k=N}^{2N-1}I_0e^{-\alpha\frac{kT}{N}}$，对应时间 $t_2$，即 $Y_2=I_0e^{-\alpha t_2}$，按中值定理 $t_2-t_1=T$。由 $Y_1$、$Y_2$ 计算衰减直流分量的初始值 $I_0$ 和衰减率 $\alpha$。

文献[7]从精确分析波形的目的出发，采用3.5条精确算法计算基波分量，即各采样值经减去衰减直流分量误差的校正后，再作离散傅氏变换，但从实际

应用的角度出发,仍应按照3.5条简化算法计算,即用故障信号的离散傅氏变换提取的基波分量,直接减去直流衰减分量的连续傅氏变换的基波分量。

该算法的数据窗长为$2N$,故实时性较差;简化算法的误差源于离散量运算结果直接减去连续量运算结果(见表1、表2、表3中算法六项)。

## 4　各算法性能比较(一周期采样点数 $N=64$)

### 4.2　故障波仿真

算法一和算法二是基于半波傅氏变换的改进,算法三、算法四、算法五、算法六是基于全波傅氏变换的改进,因此将它们分别比较。

各算法数据窗长度如下(每周期采样点数 $N$):

算法一:$N/2+1$　算法二:$N/2+2$　算法三:$3N/2$　算法四:$N+2$　算法五:$N+1$　算法六:$2N$

设以下三种故障波形,经由上述各种算法计算得到的基波、二次谐波、三次谐波的幅值及误差列于表1、表2、表3。

故障波波形函数一:

$$i_1(t)=20e^{-\frac{100}{3}t}+20\sin(100\pi t+\frac{\pi}{4})+4\sin(200\pi t)+10\sin(300\pi t)+2\sin(400\pi t)+6\sin(500\pi t)$$

**表1　含较大衰减直流分量故障波的仿真数据**

Tab.1　Simulation data of wave including large decaying DC component

| 算法 | 基　波 | | 二次谐波 | | 三次谐波 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 幅值 | 误差(%) | 幅值 | 误差(%) | 幅值 | 误差(%) |
| 半波傅氏 | 41.7408 | 108.70 | 18.3391 | 358.48 | 17.2392 | 72.39 |
| 算法一 | 23.3863 | 16.93 | 5.3260 | 33.15 | 9.7987 | -2.01 |
| 算法二 | 38.2071 | 91.04 | 17.2344 | 330.86 | 10.5534 | 5.53 |
| 全波傅氏 | 22.5758 | 12.88 | 5.5445 | 38.61 | 11.0254 | 10.25 |
| 算法三 | 20.1454 | 0.73 | 4.2129 | 5.32 | / | / |
| 算法四Ⅰ | 20.3002 | 1.50 | 4.5510 | 13.78 | 10.3563 | 3.56 |
| 算法四Ⅱ | 20.0974 | 0.49 | 4.0089 | 0.22 | 10.0203 | 0.20 |
| 算法四Ⅲ | 20.0000 | 0.00 | 4.0000 | 0.00 | 10.0000 | 0.00 |
| 算法五 | 19.9282 | -0.36 | 4.7981 | 19.95 | 10.7056 | 7.06 |
| 算法六 | 22.5727 | 12.86 | 5.5435 | 38.59 | 11.0250 | 10.25 |

故障波波形函数二:

$$i_2(t)=5e^{-10t}+20\sin(100\pi t+\pi/4)+4\sin(200\pi t)+10\sin(300\pi t)+2\sin(400\pi t)+6\sin(500\pi t)$$

**表2　含较小衰减直流分量故障波的仿真数据**

Tab.2　Simulation data of wave including small decaying DC component

| 算法 | 基　波 | | 二次谐波 | | 三次谐波 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 幅值 | 误差(%) | 幅值 | 误差(%) | 幅值 | 误差(%) |
| 半波傅氏 | 27.1281 | 35.64 | 19.8259 | 395.65 | 12.0095 | 20.10 |
| 算法一 | 23.1061 | 15.53 | 6.8709 | 71.77 | 9.7096 | -2.90 |
| 算法二 | 28.0774 | 40.39 | 18.7972 | 369.93 | 10.9637 | 9.64 |
| 全波傅氏 | 20.1656 | 0.83 | 4.1438 | 3.60 | 10.0955 | 0.95 |
| 算法三 | 20.0120 | 0.01 | 4.0196 | 0.49 | / | / |
| 算法四Ⅰ | 19.9628 | -0.19 | 4.0577 | 1.44 | 10.0345 | 0.35 |
| 算法四Ⅱ | 19.9959 | -0.02 | 4.0013 | 0.03 | 10.0021 | 0.02 |
| 算法四Ⅲ | 20.0000 | 0.00 | 4.0000 | 0.00 | 10.0000 | 0.00 |
| 算法五 | 19.9889 | -0.01 | 4.0735 | 1.84 | 10.0651 | 0.65 |
| 算法六 | 20.1637 | 0.82 | 4.1430 | 3.57 | 10.0951 | 0.95 |

故障波波形函数三:

$$i_3(t)=20e^{-\frac{100}{3}t}+20\sin(100\pi t+\frac{\pi}{4})+10\sin(300\pi t)+6\sin(500\pi t)$$

**表3　不含偶次谐波分量故障波的仿真数据**

Tab.3　Simulation data of wave including no even harmonies

| 算法 | 基　波 | | 三次谐波 | |
|---|---|---|---|---|
| | 幅值 | 误差(%) | 幅值 | 误差(%) |
| 半波傅氏 | 102.8680 | 414.34 | 33.2257 | 232.26 |
| 算法一 | 20.7943 | 3.97 | 10.0621 | 0.62 |
| 算法二 | 20.0000 | 0.00 | 10.0000 | 0.00 |
| 全波傅氏 | 57.2914 | 136.46 | 17.5658 | 75.66 |
| 算法三 | 20.1454 | 0.73% | / | / |
| 算法四Ⅰ | 20.3002 | 1.50 | 10.3563 | 3.56 |
| 算法四Ⅱ | 20.0974 | 0.49 | 10.0203 | 0.20 |
| 算法四Ⅲ | 20.0000 | 0.00 | 10.0000 | 0.00 |
| 算法五 | 19.9282 | -0.36 | 10.7056 | 7.06 |
| 算法六 | 22.5727 | 12.86 | 11.0250 | 10.25 |

### 4.2　性能比较结果

(1) 比较波形一和波形二仿真数据可见,在初始值减小、衰减时间常数增大的情况下,衰减直流分量对基波和各次谐波分量的影响大大降低。

(2) 比较波形一和波形三仿真数据可见,在仅含奇次谐波分量的情况下,改进半波傅氏算法的精度大大提高,但对改进全波傅氏算法没有影响。

(3) 同为改进半波傅氏算法,偶次谐波分量对算法二影响非常大,而对算法一影响相对小得多,所以在不清楚故障波形成分的前提下,算法一较为实用;且算法一只需用离散傅立叶变换计算实部分量,运算量大大降低。

(4) 同为改进全波傅氏算法,算法三、算法四、算

法五、算法六均在不同程度上提高了全波傅氏算法的精度,其中算法四Ⅱ最为精确,其理论误差为零。算法六改进甚微且数据窗很长(2$N$),只具备理论分析意义;算法三的重要缺陷在于数据窗必须根据所求谐波次数而改变,而且对采样点数有要求,例如同时计算二次和三次谐波时,采样点数必须是六的倍数,限制了该算法在实际场合的应用。

## 5 结论

本文列出了基波、二次谐波、三次谐波幅值的仿真数据。对三次以上谐波的仿真结果表明,除基于半波傅氏变换的改进算法对偶次谐波的滤除性能较差外,其它算法对高次谐波的滤除效果均令人满意。限于篇幅,各算法对故障波相位的再现能力,恕留待后文研究。经算法原理分析和仿真数据对比可见,在需要快速切除故障的场合,基于半波傅氏算法的算法一较为适用,而在需要精确计算故障量的场合,基于全波傅氏算法的算法四Ⅱ综合性能最优。

## 参考文献:


[1] 杨奇逊.微型机继电保护基础[M].北京:中国电力出版社,1988.

[2] 陈德树.计算机继电保护原理与技术[M].北京:中国电力出版社,1998.

[3] 李永丽,陈超英,贺家李.一种基于半波傅氏算法的继电保护快速算法[J].电网技术,1996,20(1):52—55.

[4] 丁书文,张承学,龚庆武,等.半波傅氏算法的改进——一种新的微机保护交流采样快速算法[J].电力系统自动化,1999,23(5):18—20.

[5] 熊岗,陈陈.一种能滤除衰减直流分量的交流采样新算法[J].电力系统自动化,1997,21(2):24—26.

[6] 周大敏.一种消除非周期分量对非递推傅氏算法影响的精确算法[J].继电器,1998,26(4):7—11.

[7] 张兆宁,孙雅明,毛鹏.电力系统故障暂态信号分析中基波提取的新方法[J].电力系统及其自动化学报,1999,11(3):58—65.

[8] 赵渊,钟岷秀,周念成,等.电力系统谐波分析仪算法研究[J].华东电力,1999,(4):15—17.


**收稿日期**: 2002-03-20

**作者简介**:

高 婧(1978-),女,在读硕士,研究方向为电力电子与电力传动;

郑建勇(1966-),男,教授,博士,研究方向为电力系统继电保护;

潘震东(1957-),男,高级工程师,从事电力管理工作。

**Study of improved Fourier algorithm for microprocesson-based protection in power system**

GAO Jing[1], ZHENG Jian-yong[1], PAN Zhen-dong[2]

(1. Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Chang Zhou Power Supply CO., Changzhou 213000, China)

**Abstract**: This paper presents all sorts of improved methods based on Fourier algorithm, which are used in microprocessor-based protection in recent years, and particularly discusses the problem of how to filter decaying DC component. With the results of simulating calculation, the comparison and evaluation of the abilities, i.e. speed and precision, of these algorithms is also presented.

**Key words**: microprocessor-based protection algorithm; Fourier algorithm; decaying DC component

## 国电公司电化教育中心领导来许继考察

9月24日,在许继集团总裁王纪年,副总裁李富生、涂东明和《继电器》杂志社社长刘兆亮的陪同下,国家电力公司电化教育中心副主任王继昌及中心所属单位北京国电电力技术公司总经理王宏斌来许继参观考察。

在公司二楼会议室,集团公司总裁王纪年向来访客人介绍了许继集团发展史以及公司开展科技创新、机制创新的情况,并对许继未来的发展作了展望。听完介绍后,王继昌副主任和王宏斌总经理表示,作为许继的大用户,他们信赖许继产品的质量,愿在双方前期成功合作的基础上,与许继集团建立长期合作伙伴关系,并就国电公司电化教育中心与《继电器》杂志社合作在许昌建立国电公司电化教育中心培训基地达成协议。

在许继电气公司总经理李富生、《继电器》杂志社社长刘兆亮等人的陪同下,王继昌副主任和王宏斌总经理兴致勃勃地参观了结构公司、日立公司、电子大楼、检测中心、《继电器》杂志社和开发区。他们对许继集团开展技术创新取得的巨大成绩给予充分肯定,并对许继可以为电力系统用户提供更多更好的设备和服务充满信心。