

# 用于微机保护的一种窄带数字滤波器

熊小伏 李家祥 刘 辉 重庆大学电气工程系(630044)

**【摘要】** 本文提出了一种采用频率抽样方式设计微机保护用的窄带数字滤波器的方法,并用该方法设计了一种滤出基波分量的数字滤波器。它较之全周波傅氏滤波方法在抑制非周期分量影响等方面性能更优。文中还指出了该方法在微机保护中的应用前景。

## 前言

目前,由微处理机构成的数字式保护装置已开始广泛应用于我国电力系统。大多数微机保护均反应于电力系统故障时的基波电流、电压而动作,因此是否能够准确地滤取故障状态下基波电流、电压关系到保护性能的优劣。

在各种数字滤波方法中,如何克服故障信号的非周期分量的影响,是其需解决的关键问题之一。已经提出了多种解决方法,例如拟合法、差分法等,但这些方法增大了计算的复杂性,可能延长滤波器的响应时间,从而影响保护的快速性。本文通过对非周期分量的分析,提出采用一种新的滤波器设计方法,用这种方法设计的数字滤波器能够较为有效地解决非周期分量的影响,提高滤波精度。

## 1 非周期分量影响及其解决方法

众所周知,电力系统故障情况下电流、电压信号中除基波分量外,还包括有衰减的非周期分量和谐波分量。如下式:

$$f(t) = A_0 e^{-t/\tau} + A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + \sum_{i=2}^M A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) \quad (1)$$

上式中,基波和谐波分量均为频域内的某些特定分量,较为容易处理,而衰减非周期分量则为连续频谱,较难处理。

若将衰减非周期分量近似看成为一方波,则其频谱包含的频率成分在低频段最大。微机保护需滤出 50Hz 的基波分量,而衰减非周期分量所包含的部分频率成分必定在数字滤波器的通带内,因而造成了对基波分量的滤波误差。

若使数字滤波器的通带尽量窄或远离低频段,则可减少衰减非周期分量的影响。文中尝试利用频率抽样方法设计一种数字滤波器,使其在低于 50Hz 内的通带响应较小,较之全周傅氏算法,对衰减非周期分量具有更好的抑制能力。结果表明在既不增加计算复杂性又不增加响应延时的情况下,所用的频率抽样滤波器能显著抑制衰减非周期分量的影响,提高滤波精度。

## 2 频率抽样滤波器

频率抽样滤波器是根据我们预先所期望的频率特性出发,用频率域内频率特性上的某些样点值来直接形成的数字滤波器。它特别适用于单带通函数中仅有少量  $H_k$  非零的情况。

收稿日期:1996-03-03

《继电器》1996年第3期 15

根据采样定理, 设信号的采样间隔为  $T$ , 所希望的频率响应特性如图 1 所示。幅度函数  $|H(j\omega)|$  在  $0 \leq \omega \leq \pi/T$  内被抽样产生样本集  $[H_k]$ , 则频率抽样滤波器的传递函数为<sup>[1]</sup>

$$H(z) = \frac{2}{N}(1 - z^{-N}) \sum_{k=0}^{N-1} (-1)^k H_k \frac{1 - z^{-1} \cos \frac{2\pi}{N} k}{1 - 2z^{-1} \cos \frac{2\pi}{N} k + z^{-2}} \quad (2)$$

上式中所确定的滤波器是一个有限脉冲响应滤波器,  $N$  是脉冲响应连续点数, 也即滤波器的数据窗长度。

上式的频率响应函数为:

$$\bar{H}(j\omega) = \frac{2}{N} j e^{-j(N\omega T/2)} \sin \frac{N\omega T}{2} \sum_{k < \frac{N}{2}} (-1)^k H_k \frac{\cos \omega T - \cos \frac{2\pi}{N} k + j \sin \omega T}{\cos \omega T - \cos \frac{2\pi}{N} k} \quad (3)$$

$|H(j\omega)|$  是图 1 的平滑重构, 它在样点上与采样值完全相同。设微机保护仅需使用基波分量, 作为频率抽样滤波器的一种最简形式, 在频率特性上仅取基波处一样点, 即:

设采样频率  $f_s = 600\text{Hz}$ , 采样间隔  $T = \frac{1}{f_s} = 0.02/12$ , 数据窗设为  $N = 12$ , 则抽样频率间隔  $\Delta f = \frac{600}{12} = 50\text{Hz}$ , 所以可设频域抽样点的值为:

$$H_{1(50\text{Hz})} = 1 \quad H_{2-6} = 0$$

则滤波器的传递函数为:

$$H(z) = \frac{2}{N}(1 - z^{-N}) \frac{1 - z^{-1} \cos \frac{2\pi}{N}}{1 - 2z^{-1} \cos \frac{2\pi}{N} + z^{-2}} \quad (4)$$

### 3 滤波器特性及应用推广

4 式表达的数字滤波器能从混杂有谐波及非周期分量的故障信号中滤取基波分量信号, 具有计算简单, 响应速度快的特点, 其输出为瞬时值形式, 可灵活适用于不同保护动作方程。

为了考查其滤波特性, 将其与傅氏滤波算法对比分析。

4 式的频率特性如图 2 实线所示, 虚线表示了傅氏滤波器的频率特性。由图可见, 在滤除谐波的能力方面两者具有相同的性能, 但在频率低于 50Hz 的范围内, 4 式频率响应幅度低于傅氏算法, 因此可以肯定其滤出非周期分量的性能更优。

例: 设输入信号为:

$$x(t) = \sin(\omega t) + t^{-1/\tau} \quad (5)$$

取非周期分量时间常数  $\tau = 50\text{ms}$ , 则采用 4 式的仿真曲线如图 3 所示。它和傅氏滤波的误差曲线如图 4 所示。

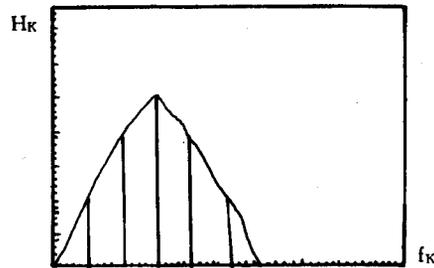


图 1 频率抽样点示意图

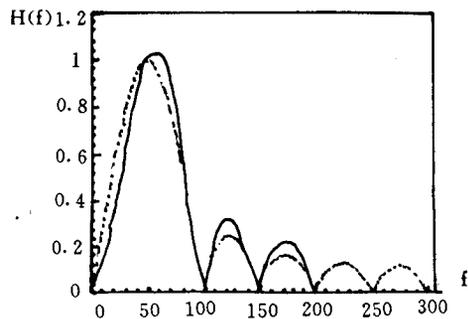


图 2 频率抽样滤波器频率响应特性

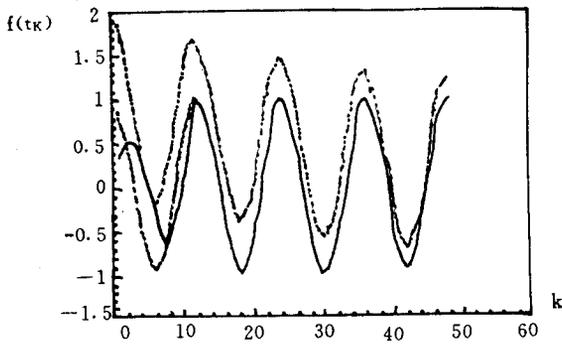


图3 频率抽样滤波器仿真

说明:..... 输入信号  
 - - - 输入信号中的基波  
 — 滤波器输出

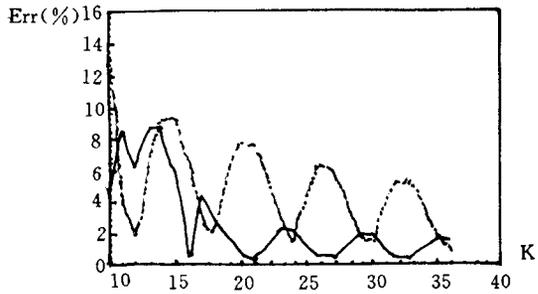


图4 滤波误差曲线

虚线:傅氏滤波  
 实线:频率抽样滤波器

可见,进入基波稳态数据窗后,本文所述滤波器的滤波误差远小于傅氏滤波器,对非周期分量有较为明显的抑制作用。

此外,由于频率抽样方法可方便地从频率响应要求出发设计出需要的数字滤波器,因而将可能在电力系统微机保护、监控算法中获得应用:

(1) 用于微机后备保护

电力系统继电保护中后备保护动作速度较慢,而对精度要求较高,故障后可供利用的故障数据较多。但现有微机保护中后备保护大多仍采用与速断相同长度的滤波数据窗,因而对滤波精度难以提高。采用频率抽样滤波器即可实现增加数据窗长度的同时,提高滤波器的精度。

设数据窗长度2个工频周期,采样频率 $f_s = 600\text{Hz}$ 时, $N = 24$ ,以滤取基波为目标,并尽量减小除50Hz以外的响应以抑制非周期分量影响,可取:

$$H_1(25\text{Hz}) = 0.3 \quad H_2(50\text{Hz}) = 1 \quad H_3(75\text{Hz}) = 0.3$$

则传递函数为:

$$H(z) = \frac{2}{N}(1 - z^{-N}) \left\{ -\frac{1 - a_1 z^{-1}}{1 - 2a_1 z^{-1} + z^{-2}} H_1 + \frac{1 - a_2 z^{-1}}{1 - 2a_2 z^{-1} + z^{-2}} H_2 - \frac{1 - a_3 z^{-1}}{1 - 2a_3 z^{-1} + z^{-2}} H_3 \right\}$$

式中  $a_i = \cos \frac{2\pi i}{N} \quad i = 1, 2, 3$

上式的频率响应如图5所示。可见它的通带更窄,旁瓣响应更低,抑制非周期分量的能力更强。

(2) 滤取谐波分量

在变压器保护、发电机保护、小接地电流系统单相接地等保护装置中,需滤取某些特定谐波分量,用傅氏滤波方法虽然数据窗短,但其滤波频率响应旁瓣较大,抑制非周期分量能力差。利用频率抽样滤波器则可根据不同需要获得满意的频率响应特性。(下转38页)

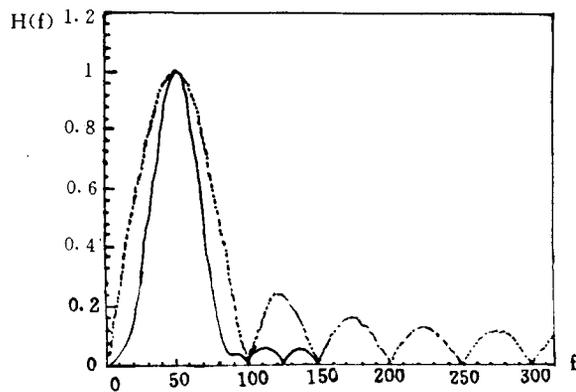


图5 长数据窗频率抽样滤波器频率特性

## 4 测试结果与分析

调整 AD650 电路参数,测量输入输出特性见表 1 所示。

以 50.00Hz 的信号发生器输入,测得的结果列于表 2。

由表 2 可见,本系统可实现电流幅值、频率的高精度测量。

## 5 其它物理量、化学量的检测

本系统只要更换传感器即可用于其它物理量、化学量的高精度在线检测或监测。对于直流或缓变的传感器输出信号,可直接输入放大环节并经 V/F 变换电路转换为数字信号,无须比较电路、多路开关、NE555 等环节。譬如本系统可用于高电压系统接头温度的检测。

倘若进行监测,可在 8098 单片机系统之后再加报警与保护执行环节。

## 6 结论

本文介绍了采用 AD650 V/F 变换器的通用型高精度光纤传感系统。该系统由 8098 单片机系统完成信号处理与控制。该系统可用于高电压系统电流、温度等参量的在线检测或监测。

### 参考文献

- 1 Ulmer EA. A High-Accuracy Optical Current Transducer for Electric Power Systems IEEE Transactions on Power Delivery 1990,5(2)
- 2 刘复华. 8098 单片机及其应用系统设计. 清华大学出版社

(上接 17 页)

## 4 结论

本文提出了一种用频率抽样方法设计的数字滤波器,这种滤波器及其设计方法可灵活用于微机保护中,具有设计简单、频率响应可控性强的特点。

文中用频率抽样法设计了滤取基波分量的数字滤波器,其滤波性能较之傅氏滤波算法有了明显的改善。

### 参考文献

- 1 塞缪尔 D,斯特恩斯. 数字信号分析. 人民邮电出版社,1983 年
- 2 杨奇逊. 微型机继电保护基础. 水利电力出版社,1991 年

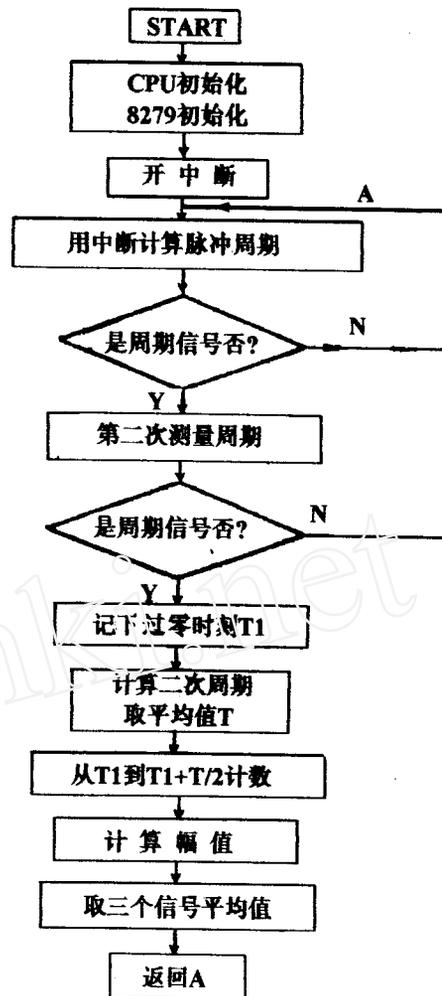


图 5 主程序流程图

# RELAY

CN41—1121/TM

ISSN 1003—4897

Relay Editorial Board

Xuchang Relay Research Institute

Address:183 Jianshe Road Xuchang China, Postcode:461000

No. 3(Sum 95)

August 25 1996

A Quarterly

—————  
**CONTENTS AND ABSTRACTS (Partial)**

**THEORETICAL STUDY AND CALCULATION**

**Split-phase Current Differential Protection Using Fault Components ..... Wu Yekai, et al(4)**

A new scheme of utilizing phase current fault component to realize split-phase current fault component differential protection and utilizing zero-sequence currents of both ends to realize zero-sequence current differential protection is presented basing on split-phase full current differential protection. On the precondition of assuring enough preventability against fault beyond reach, the protection has very high sensitivity in high resistive fault within reach on heavy load.

**Key words:** fault component current differential, zero-sequence current differential, microprocessor-based line protection

**The Influence of Start Methods And LF Characteristic of Pump Storage Group on Protection ..... Yao Qinglin, et al(10)**

There may be a LF zone of long term during start process of pump storage group which, as a synchronous motor, drives pump. The influence of different start methods and their LF characteristic on pump storage group protection is discussed and a valuable conclusion is yielded.

**Key words:** pump storage group, motor start, LF characteristic, group protection

**A Digital Narrow-Band Filter for Microprocessor-Based Protection ..... Xiong Xiaofu, et al(15)**

A method of using frequency sampling to design a narrow-band digital filter for microprocessor-based protection is introduced and the method is used to design a digital filter to filter fundamental component. Comparing with Fourier full-cycle filtering method, it has more advantageous in restricting nonperiodic component. The application prospect of the method in the microprocessor-based protection is indicated.

**Key words:** digital filter, narrow-band, frequency sampling, microprocessor-based protection

**A daptive Impedance Relay for Short Line ..... Fan Chunju, et al(18)**

According to the small setting value and the characteristics of the short line and its fault, an adaptive impedance relay for short line has been put forward in this paper on the basis of the detailed analysis of circular directional impedance relay, reactance relay and quadrilateral impedance relay. The relay posed takes full advantages of the calculating and judging capability, with the reactance relay measuring short circuit impedance, the directional impedance relay directing correctly. This relay is able to protect big transition resistance and avoid the load impedance. When used as single phase ground relay, it is easy to be made to protect transition resistance adaptively.

**Key words:** short line, impedance relay, protection, adaptive

**Research on Microprocessor-Based Comprehensive Induction Motor Protection Device ..... Luo Wenguang, et al(21)**

For reasons of higher damage rate of domestic motor in service, a power plant desired to instal a new protective device on its large asynchronous motor. The author took part in the development of the device. The device is a microprocessor-based protection device using 8031 as CPU. The design principle and method of its software and hardware are introduced. Simulation experiment has shown that the device is better than conventional protection device (e. g. electro-magnetic, rectifier and transistor types).

**Key words:** microprocessor-based comprehensive protection device, thermal simulation equation, operating characteristics

**Computer Setting Calculation for Bus Differential Protection ..... Wang Xiang, et al(26)**