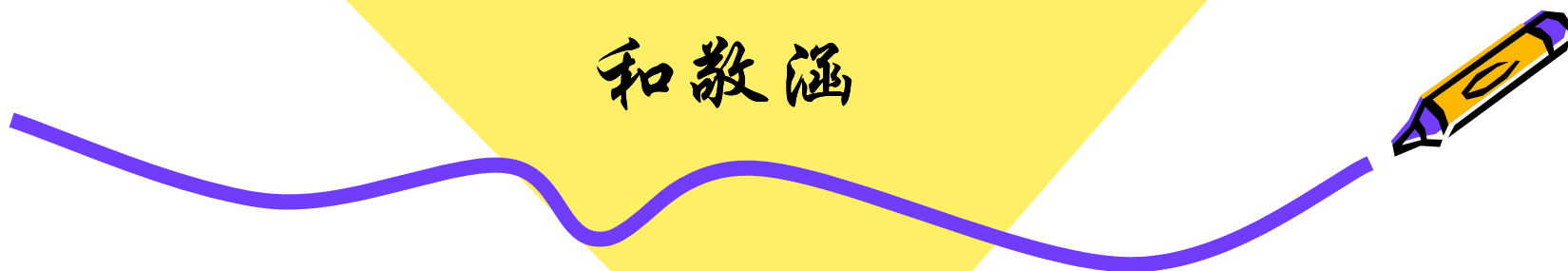


第四章 微机保护的算法

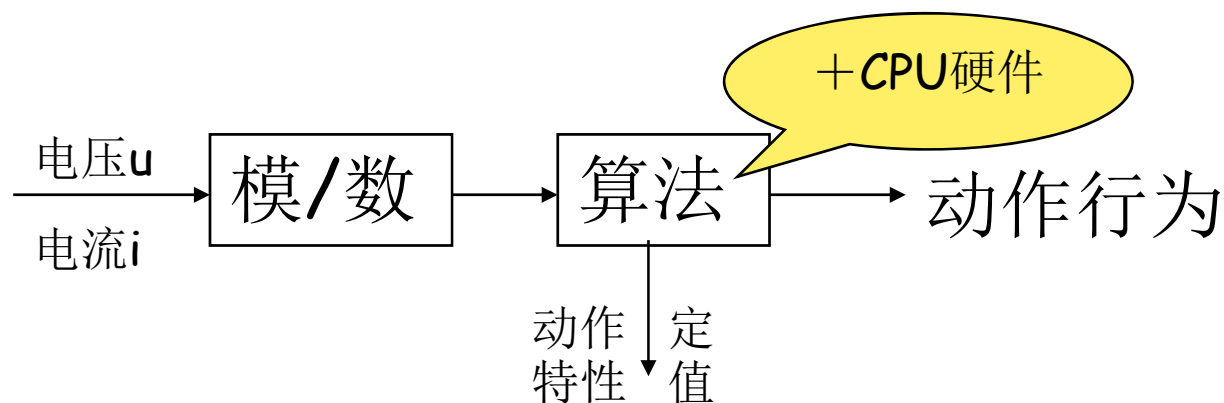
和敬涵



4-1 基本概念

一、保护算法

对采样值进行分析、运算和比较判断，以实现各种继电保护功能的方法称为算法。



各种电气量参数的计算方法构成了微机保护的算法基础。

代表被保护对象运行特点



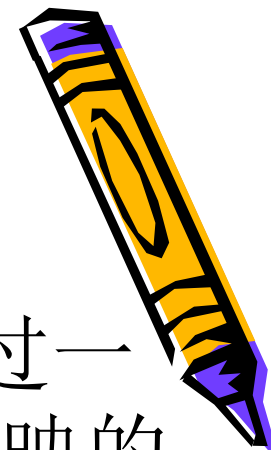
二、保护算法的分类（两大类）

- 1、根据输入电气量的若干点采样值通过一定的数学式或方程式计算出保护所反映的量值，然后与定值进行比较；

此类算法利用了微机能进行数值计算的特点，从而实现许多常规保护无法实现的功能。

- 2、根据动作方程来判断是否在动作区内，而不计算出具体的阻抗值。

计算工作量略小，所依循的原理和常规的模拟型保护同出一宗，但由于运用计算机所特有的数学处理和逻辑运算功能，可以使某些保护的性能有明显提高。



三、保护算法的主要任务

从包含有噪声分量的输入信号中，快速、准确地计算出所需的各种电气量参数。

实现的途径：

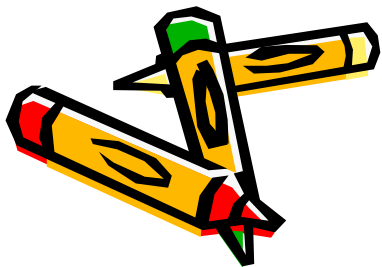
- 1、首先采用性能完善的滤波器对输入信号进行滤波处理，然后根据滤波后得到的有效信号进行参数计算；
- 2、将滤波与参数计算算法相融合，通过合理设计，使参数计算算法本身具有良好的滤波性能；



四、保护算法的评价标准

分析和评价各种不同的算法优劣的标准是**精度和速度**。

- 1、算法的计算速度一直接决定保护的动作速度
 - (1) 算法数据窗长度。即需要的采样点数，采用多少个采样数据才能计算出所需的参数；
 - (2) 算法的计算量。算法越复杂，运算量越大，在相同硬件条件下，计算时间越长；

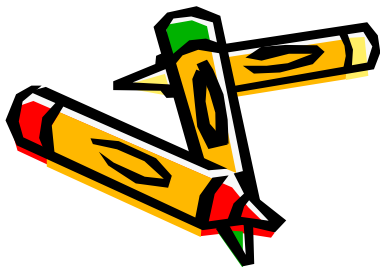
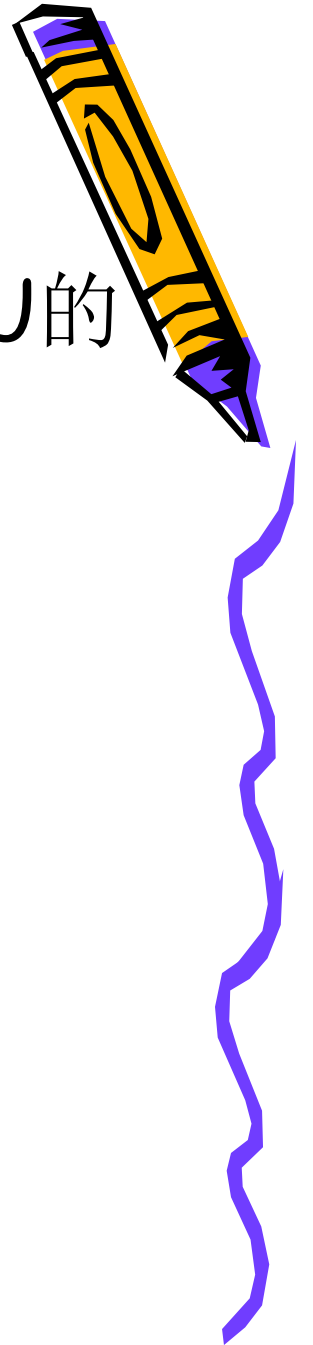


2、算法的精度

取决于计算是选取的采样点数和CPU的计算功能。

3、算法研究的关键

如何在速度和精度两方面进行权衡，并取得合理的平衡。



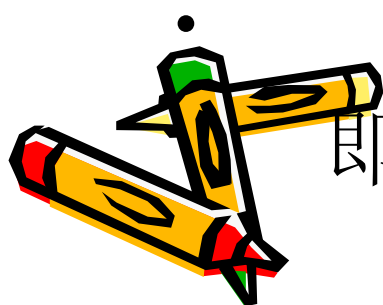
4-2 正弦函数模型算法

- 假设提供给算法的电流电压数据为纯正弦基波函数的理想采样值，各采样数据满足：

$$u(nT_s) = \sqrt{2}U \sin(\omega nT_s + \alpha_{oU})$$

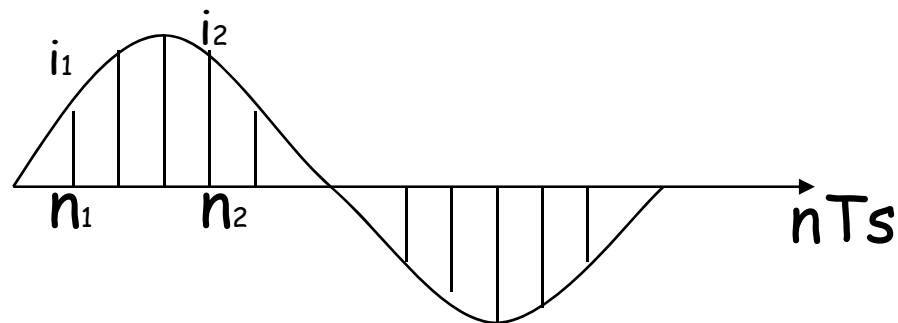
$$i(nT_s) = \sqrt{2}I \sin(\omega nT_s + \alpha_{oI})$$

• 此算法必须与数字滤波器配合使用，
即 $i(nT_s)$ 应当是数字滤波器的输出 $y(nT_s)$ 。



一、两点乘积算法

以电流为例，设 i_1 和 i_2 分别为两个相隔为 $\pi/2$ 的采样时刻 n_1 和 n_2 的采样值；



$$\omega(n_2 T_s - n_1 T_s) = \frac{\pi}{2}$$



则：

N1采样时刻
电流的相角

$$i_1 = i(n_1 T_s) = \sqrt{2}I \sin(\omega n_1 T_s + \alpha_{0I}) = \sqrt{2}I \sin \alpha_{1I}$$

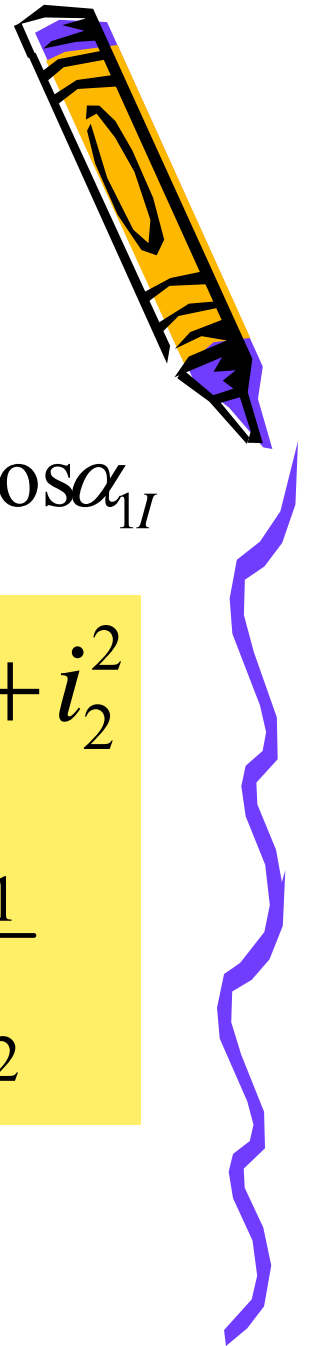
$$i_2 = i(n_2 T_s) = \sqrt{2}I \sin(\omega n_2 T_s + \alpha_{0I} + \frac{\pi}{2}) = \sqrt{2}I \cos \alpha_{1I}$$

将两式平方后相加及相除得：

$$2I^2 = i_1^2 + i_2^2$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{1I} = \frac{i_1}{i_2}$$

表明：只要知道任意两个
相隔 $\pi/2$ 的正弦量的瞬时值，
就可以计算出该正弦量的
有效值和相位。



- 如构成距离保护，只要同时测出： n_1 和 n_2 时刻的电流和电压 u_1 、 i_1 、和 u_2 、 i_2 ，类似的可求得电压的有效值 U 及在 n_1 时刻的相角 α_{1u} ，即：

$$2U^2 = u_1^2 + u_2^2$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{1U} = \frac{u_1}{u_2}$$



- 从而可求出视在阻抗的模量 Z 和幅角 α_z

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{\frac{u_1^2 + u_2^2}{i_1^2 + i_2^2}}$$

$$\alpha_z = \alpha_{1U} - \alpha_{1I} = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{u_1}{u_2}\right) - \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{i_1}{i_2}\right)$$



- 上述计算要用到反三角函数。实用上更方便的算法是求出视在阻抗 \mathbf{Z} 的电阻分量 \mathbf{R} 和电抗分量 \mathbf{X} 即可。

将电流和电压写成复数形式：

$$\dot{U} = U \cos \alpha_{1U} + jU \sin \alpha_{1U}$$

$$\dot{I} = I \cos \alpha_{1I} + jI \sin \alpha_{1I}$$

则：

$$\dot{U} = \frac{1}{\sqrt{2}}(u_2 + ju_1)$$

$$\dot{I} = \frac{1}{\sqrt{2}}(i_2 + ji_1)$$

$$\frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{u_2 + ju_1}{i_2 + ji_1}$$



上式实部即为**R**，虚部则为**X**：

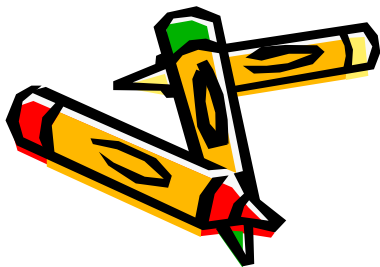
$$X = \frac{u_1 \dot{i}_2 - u_2 \dot{i}_1}{i_1^2 + i_2^2}, R = \frac{u_1 \dot{i}_1 + u_2 \dot{i}_2}{i_1^2 + i_2^2}$$

以上用到了两个采样值的乘积，所以称为两点乘积算法。



讨论:

- 算法所需数据窗长度为 $1/4$ 周期, 对 50Hz 的工频来说为 5ms ;
- 两点乘积算法从原理上可以证明用正弦量任何两点相邻的采样值都可算出有效值和相角, 但运算公式太复杂;
- 算法本身对采样频率无特殊要求, 但是由于算法应用时, 必需先经过数字滤波, 因而采样率的选择要由所选用的数字滤波器来确定。



二、导数算法

只需知道输入正弦量在某一时刻的采样值及该时刻对应的导数，即可算出有效值和相位。仍以电流为例：设 i_1 为 t_1 时刻的电流瞬时值，表达式为：

$$i_1 = \sqrt{2}I \sin(\omega t_1 + \alpha_{1I}) = \sqrt{2}I \sin \alpha_{1I}$$

t_1 时刻电流的导数为：

$$i_1' = \omega \sqrt{2}I \cos \alpha_{1I} \text{ 或 } \frac{i_1'}{\omega} = \sqrt{2}I \cos \alpha_{1I}$$



与前述分析类似得：

$$2I^2 = i_1^2 + \left(\frac{\dot{i}_1}{\omega}\right)^2 \text{ 和 } tg \alpha_{1I} = \frac{\dot{i}_1}{i_1} \omega$$

$$X = \frac{u_1 \frac{\dot{i}_1}{\omega} - \frac{u_1'}{\omega} i_1}{i_1^2 + \left(\frac{\dot{i}_1}{\omega}\right)^2} \text{ 和 } R = \frac{u_1 i_1 + \frac{u_1'}{\omega} \cdot \frac{\dot{i}_1}{\omega}}{i_1^2 + \left(\frac{\dot{i}_1}{\omega}\right)^2}$$

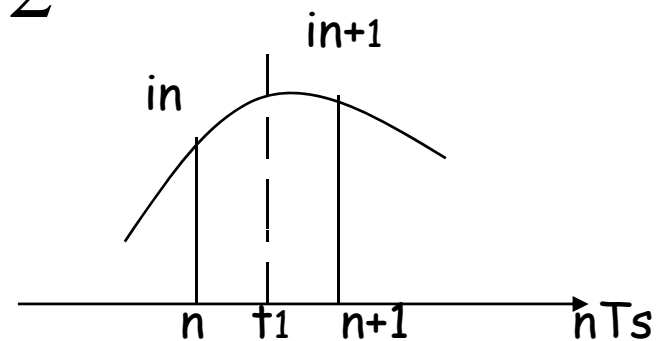
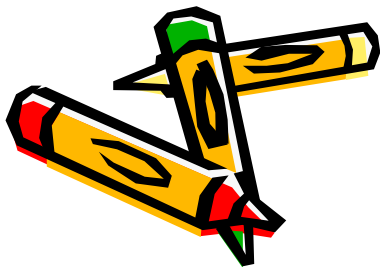


- 为求导数，可取 t_1 为两个相邻采样时刻 n 和 $n+1$ 的中点，然后用差分近似求导，则有：

$$i_1' = \frac{1}{T_s} (i_{n+1} - i_n), u_1' = \frac{1}{T_s} (u_{n+1} - u_n)$$

- t_1 时刻的电流、电压瞬时值则用平均值：

$$i_1 = \frac{1}{2} (i_{n+1} + i_n), u_1 = \frac{1}{2} (u_{n+1} + u_n)$$

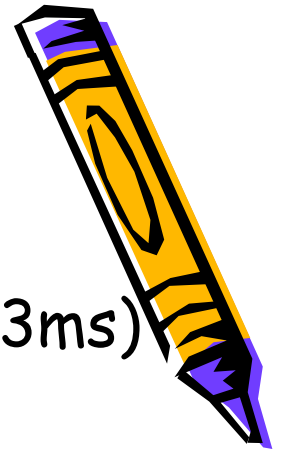
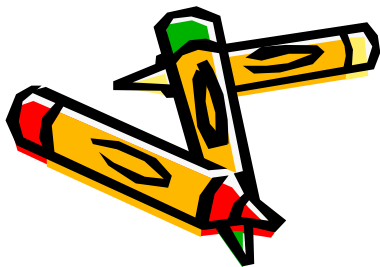
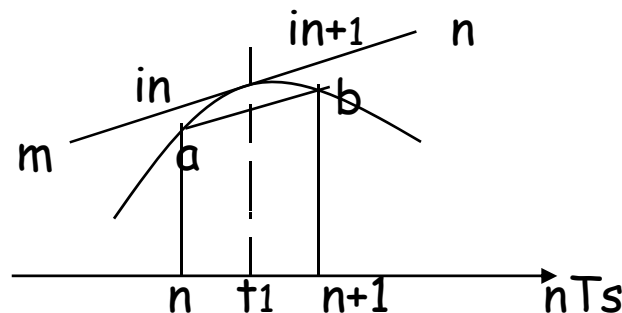


讨论：

- 所需数据窗较短，仅为一个采样间隔($5/3\text{ms}$)
- 由于用导数，将带来两个问题：

(1) 要求数字滤波器有良好的滤去高频分量的能力， 因为求导数将放大高频分量

(2) 由于用差分近似求导，要求较高的采样率， 因为 t_1 时刻的导数应当是直线 mn 的斜率，而用差分近似求得的导数则为直线 ab 的斜率。



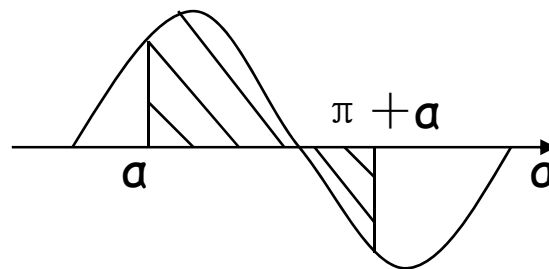
三、半周积分算法

依据：一个正弦量在任意半个周期内绝对值的积分为常数**S**即：

$$S = \int_0^{\frac{T}{2}} \sqrt{2}I |\sin(\omega t + \alpha)| dt = \int_0^{\frac{T}{2}} \sqrt{2}I \sin \alpha t dt = \frac{2\sqrt{2}}{\omega} I$$

电流有效值为：

$$I = \frac{|S|\omega}{2\sqrt{2}}$$



积分值**S**与积分起始点无关。



关键：**S**的求取。

可用梯形法则近似求出：

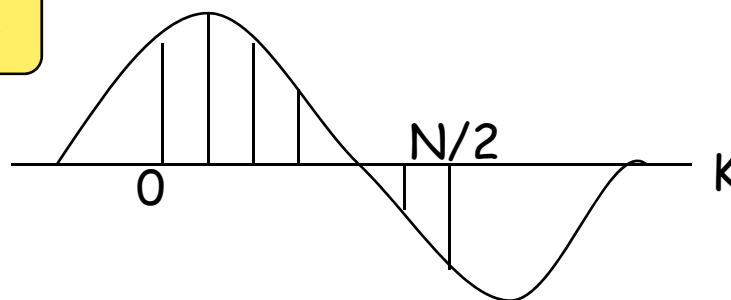
小梯形面积： **$i_1 \cdot T_s$** ， **$0 \sim \pi/2$** 内小梯形面积
相加：

$$S \approx \left[\frac{1}{2} |i_0| + \sum_{k=1}^{\frac{N}{2}} |i_k| + \frac{1}{2} \left| i_{\frac{N}{2}} \right| \right] T_s$$

第K次采样值

采样间隔

每周采样点数



讨论：

- 所需数据窗长度**10ms**，需 **$1+N/2$** 采样点，较长，可能导致保护动作速度较长；
- 算法本身有一定的抑制高频分量的能力，但不能抑制直流分量；
- 算法运算量极小，对于一些要求不高的电流、电压保护可以采用这种算法。必要时可与简单的差分滤波器来抑制电流中的非周期分量。
- 误差与采样频率有关， **f_s** 越大，误差越小，对于 **$f_s=600\text{Hz}$** ，误差 $<2.5\%$ ；
- 在微机保护中主要用来算幅值；



四、半周差分积分算法

一次差分后再半周绝对值求和

$$i_{\Sigma} = \sum_{k=1}^{N/2} |i_{(k)} - i_{(k-1)}| = 2\sqrt{2}I$$

$$\therefore I = \frac{i_{\Sigma}}{2\sqrt{2}}$$



讨论：

- 可滤掉直流分量并抑制非周期分量；
- 对高频分量有一定抑制作用；
- 有误差，第一个采样点在 30° 倍数上时，

$$i_{\Sigma} = 2\sqrt{2}I$$

若不能在 30° 倍数上，则有误差；

- 数据窗长度 $1+N/2$ ；



4—3 傅氏算法

- 基本原理：

基于傅里叶级数的基本概念，本身具有滤波作用。

傅里叶级数：对于任意周期性函数，可以用傅氏级数分解，分解为直流分量和各次谐波分量之和。



$$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} X_n \sin(n\omega_1 t + \alpha_n)$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} [(X_n \sin \alpha_n) \cos n\omega_1 t + (X_n \cos \alpha_n) \sin n\omega_1 t]$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} [b_n \cos n\omega_1 t + a_n \sin n\omega_1 t], (n = 0, 1, 2, \dots)$$

a_1 、 b_1 ：基波分量的正、余弦项的振幅， b_0 为直流分量的值；



一、整周傅氏算法

$$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} [b_n \cos n\omega_1 t + a_n \sin n\omega_1 t], (n=0,1,2,\dots)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin n\omega_1 t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos n\omega_1 t dt$$



极坐标表示法:

$$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \sqrt{2} x_n \sin(n\omega_1 t + \varphi_n)$$

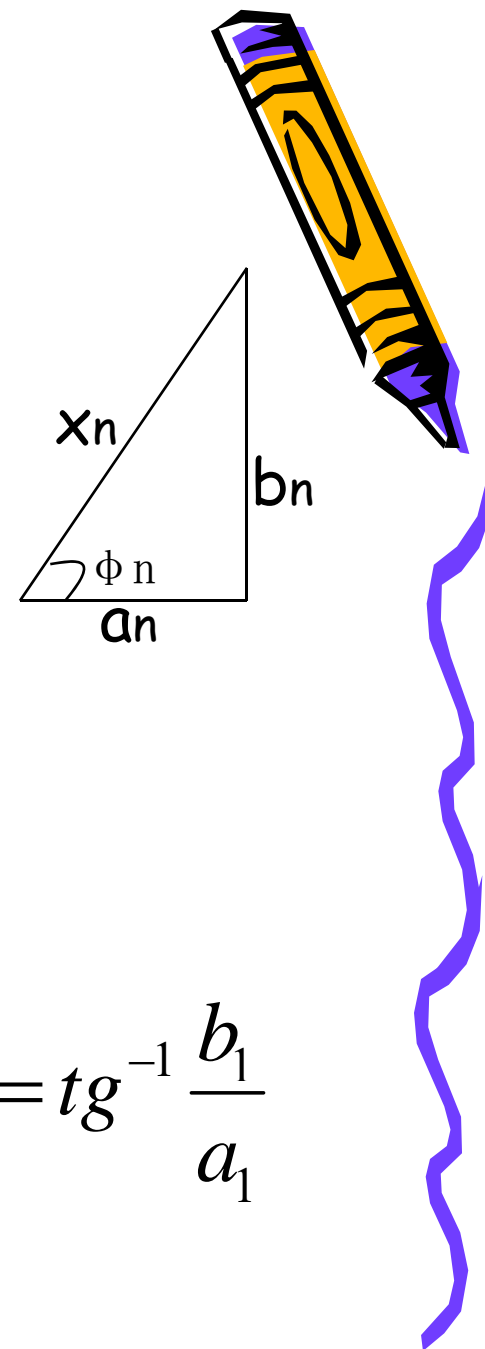
$$x_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

对基波: $n=1$, 求 a_1, b_1, φ_1 ;

$$a_1 = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin n\omega_1 t dt$$

$$b_1 = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos n\omega_1 t dt$$

$$\varphi_1 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{b_1}{a_1}$$



$$\begin{aligned}x_1(t) &= a_1 \sin \omega_1 t + b_1 \cos \omega_1 t \\&= \sqrt{2} X_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1)\end{aligned}$$

将 $\sin(\omega_1 t + \varphi_1)$ 用和角公式展开, 可得:

$$\begin{aligned}a_1 &= \sqrt{2} X_1 \cos \varphi_1 \\b_1 &= \sqrt{2} X_1 \sin \varphi_1\end{aligned} \quad \dot{X}_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(a_1 + jb_1)$$



- 从而可根据 a_1 和 b_1 求出有效值 X_1 和相角 ϕ_1 :

$$2X_1^2 = a_1^2 + b_1^2; \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{b_1}{a_1}$$

- 在求 a_1 、 b_1 时，如何求积分 $\int_0^T x(t) dt$ ？
用梯形法则求：

$$\int_0^T x(t) dt = \sum_{k=1}^N x_k(t) \cdot T_s = \sum_{k=1}^N x_k(t) \cdot \frac{T}{N}$$

周期

每周采样点数

$$= \frac{T}{N} \sum_{k=1}^N x_k(t)$$



则：

$$a_1 = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin \omega_1 t dt = \frac{1}{N} \left[2 \sum_{K=1}^{N-1} x_k \sin(k \frac{2\pi}{N}) \right]$$

$$b_1 = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos \omega_1 t dt = \frac{1}{N} \left[x_0 + 2 \sum_{K=1}^{N-1} x_k \cos(k \frac{2\pi}{N}) + x_N \right]$$



讨论：

- 可求出 a_1 、 b_1 、 x_1 、 ϕ_1 以及 a_n 、 b_n 、 x_n 、 ϕ_n ;
- 数据窗 $N+1$ 采样点;
- 速度慢;
- 可用于计算阻抗;

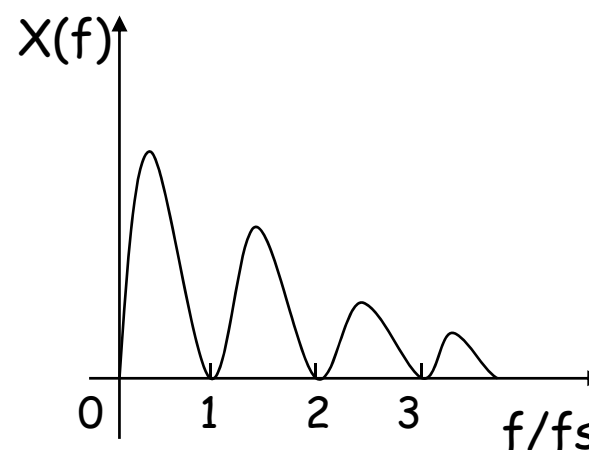


- 滤波效果好

- (1) 可滤除直流分量和整次谐波分量;

- (2) 对于非整次高频分量, 如由于分布电容引起的高频分量, 傅氏算法的滤波能力很好;

- (3) 对按指数衰减的非周期分量包含的低频分量有一定的抑制能力, 但抑制能力较差;



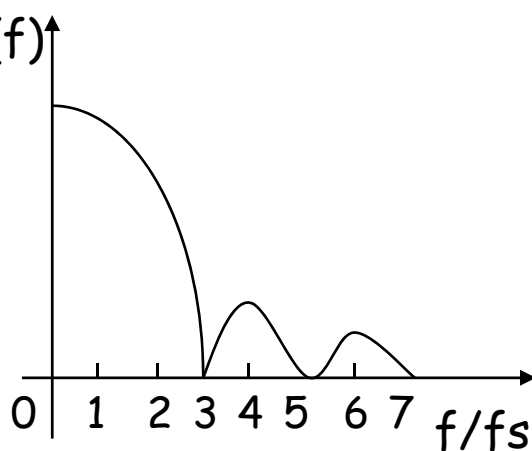
二、半周傅氏算法

$$a_1 = \frac{4}{N} \sum_{K=1}^{\frac{N}{2}} x_k(t) \sin k \frac{2\pi}{N}$$

$$b_1 = \frac{4}{N} \sum_{K=1}^{\frac{N}{2}} x_k(t) \cos k \frac{2\pi}{N}$$

$$x_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$$

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \frac{b_1}{a_1}$$



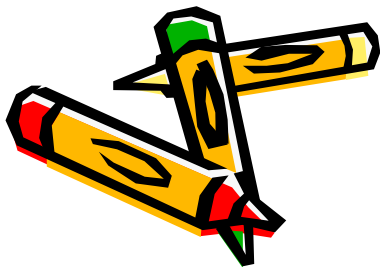
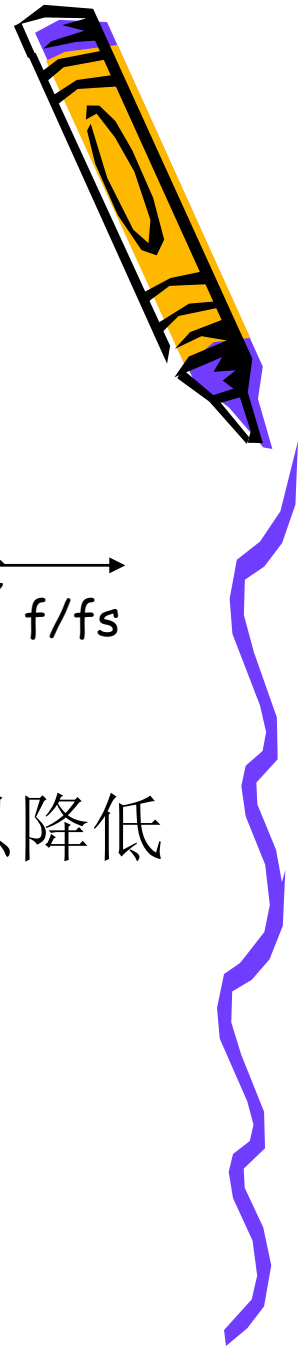
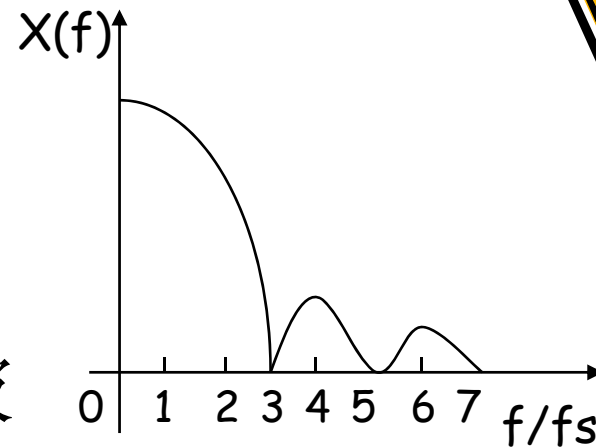
讨论:

- 数据窗 $N/2$ 采样点;
- 滤波特性:

可滤掉3、5、7...次谐波

不能滤除直流分量和偶次谐波;

- 速度快, 在需要加速保护动作时间而可以降低滤波效果の場合, 就可以采用这种算法。



三、傅氏算法与其他算法的比较

两点乘积算法、导数算法与傅氏算法：

1、两点乘积算法

要求用一个**50Hz**带通滤波器获得基波正弦量，然后利用滤波器相隔**5ms**的两点输出，计算有效值及相位。因此它的总延时是滤波器的延时再加上**5ms**；

2、导数算法

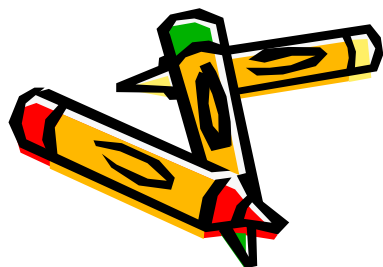
只要利用**50Hz**带通滤波器的两个相邻输出，求出某一时刻的瞬时值和导数，就可算出有效值和相位，导数法可以缩短数据窗，但由于求导带来了一些问题。



3、傅氏算法

同时利用两个对基频信号的相移相差 90° 的数字滤波器，故 $a_1(t)$ 超前于 $b_1(t)$ 为 90° 。同两点乘积法相比， $b_1(t)$ 相当于两点乘积法中的第一点 i_1 或 u_1 ， $a_1(t)$ 相当于第二点的 i_2 或 u_2 ，只是它不要再等 $5ms$ 。

它所需的数据窗长度就等于滤波器数据窗的长度($20ms$)；



结论：

- 傅氏法和两点乘积法本质是统一的。

用傅氏法实现距离保护时，只要对电流和电压同样处理得到 a_{1i} 、 b_{1i} 、 a_{1u} 、 b_{1u} ；

- 对比傅氏法，两点乘积法和导数法，可见傅氏法既不用等 $5ms$ 又避免了采用导数，这是它的突出优点。



4-4 微分方程算法 (R-L算法)

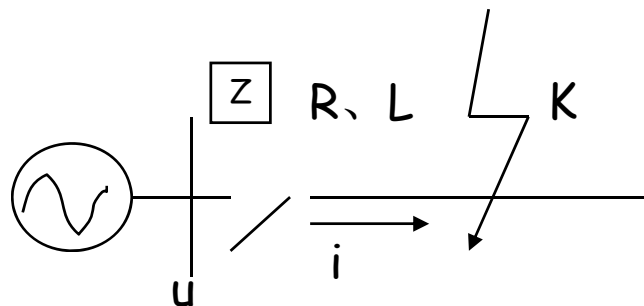
一、基本原理

用于计算阻抗。

对于一般的输电线路，在短路情况下，线路分布电容产生的影响主要表现为高频分量，如采用低通滤波器将高频分量滤除掉，则分布电容可以忽略，因而从故障点到保护安装处的线路段可用一电阻和电感串联电路来表示。



二、算法实现



短路时（**K**点）， **$u_k=0$** (金属性短路)

保护安装处电压：

$$u(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + u_k = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

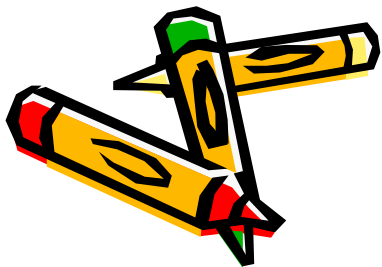
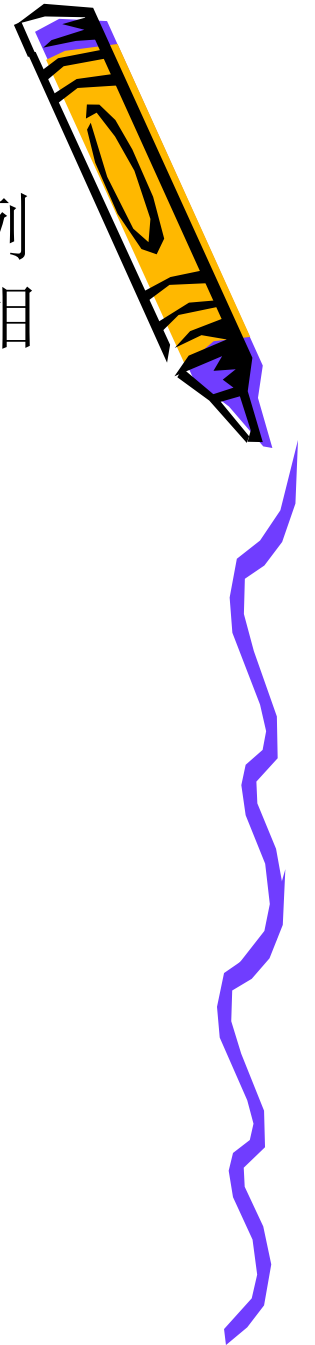
式中： **u** 、 **i** 、 **di/dt** 都可以测量、计算，未知数为 **R** 和 **L** ；



- 式中：对于相间短路， u, i 应取 U_{Δ} 、 I_{Δ} ，例如**AB**相间短路时，取 U_{ab} 、 $i_a - i_b$ ；对于单相接地取相电压及相电流加零序补偿电流；
- 用两个不同的时刻 t_1 和 t_2 分别测量 U 、 I ，就可得到两个独立的方程：

$$u(t_1) = Ri(t_1) + L \frac{di(t_1)}{dt} = Ri(t_1) + LD_1$$

$$u(t_2) = Ri(t_2) + L \frac{di(t_2)}{dt} = Ri(t_2) + LD_2$$



- 为保证独立方程的需要，要求： $t_1 \neq t_2 \pm k \frac{T}{2}$
联立求解，可得：

$$R = \frac{u(t_2)D_1 - u(t_1)D_2}{i(t_2)D_1 - i(t_1)D_2}$$

$$L = \frac{u(t_1)i(t_2) - u(t_2)i(t_1)}{i(t_2)D_1 - i(t_1)D_2}$$

关键：如何求 $\frac{di(t_1)}{dt}, \frac{di(t_2)}{dt}$ ？

可用两点间斜率的方法近似求导数；



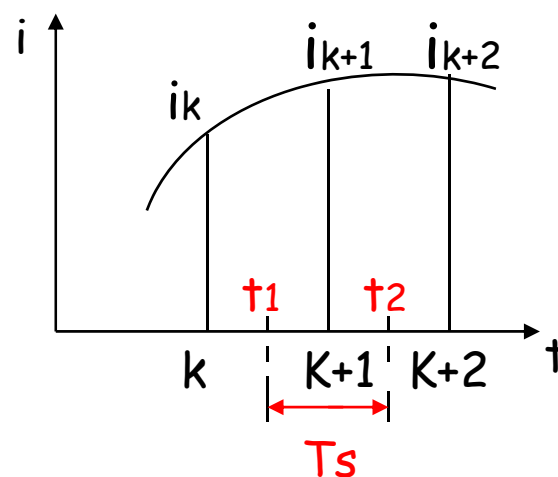
- 取三个不同的采样时刻K, K+1, K+2;
t1、t2时刻分别取k+1~k; k+2~k+1之间;

$$i(t_1) = \frac{i_{k+1} + i_k}{2}$$

$$i(t_2) = \frac{i_{k+2} + i_{k+1}}{2}$$

$$\frac{di(t_1)}{dt} = D_1 = \frac{i_{k+1} - i_k}{T_s}$$

$$\frac{di(t_2)}{dt} = D_2 = \frac{i_{k+2} - i_{k+1}}{T_s}$$



从而可求出:

R、L、X、Z、 ϕ



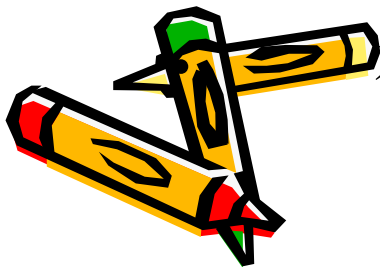
讨论:

- 数据窗:三个采样点: $K, K+1, K+2$; 算法响应速度快;
- 可以不必滤除非周期分量, 因而算法的总时窗较短。
- 它不受电网频率变化的影响
- 精度差

如 $K \sim K+1 \rightarrow t_1, i(t_1); K+2 \sim K+3 \rightarrow t_2, i(t_2);$

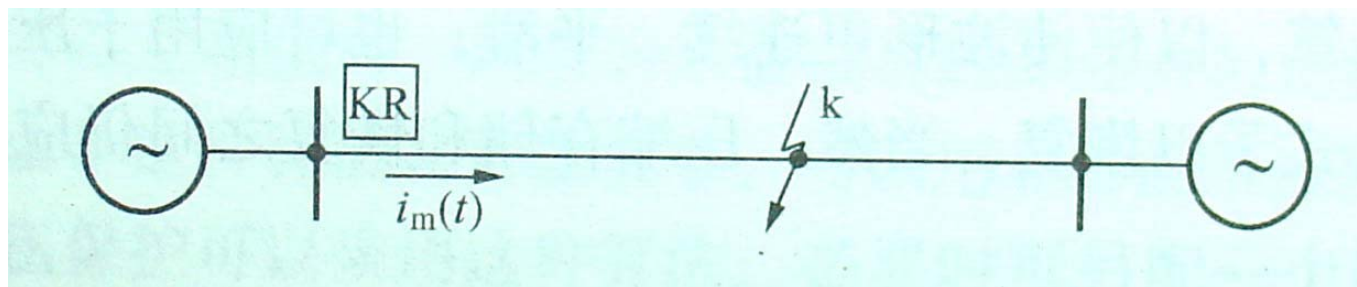
准确些, 但需4采样点, 响应较慢。

- 微分方程算法在使用时需与数字滤波器配合;
在线路距离保护中得到广泛应用。



4-5 突变量电流元件算法

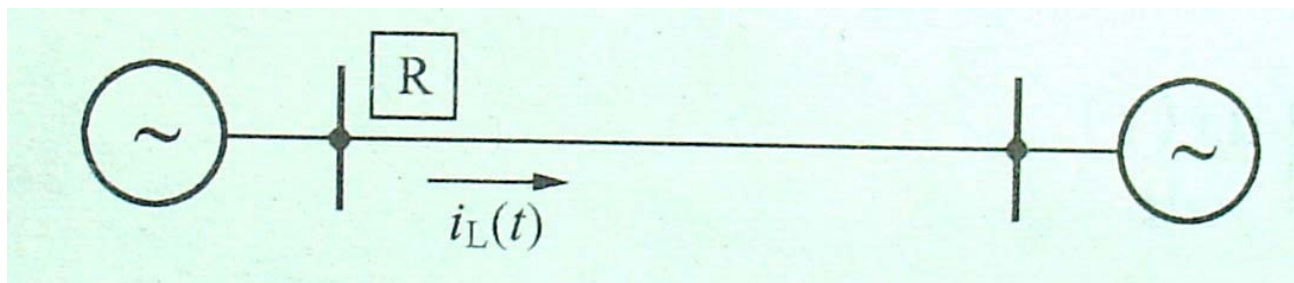
一、原理



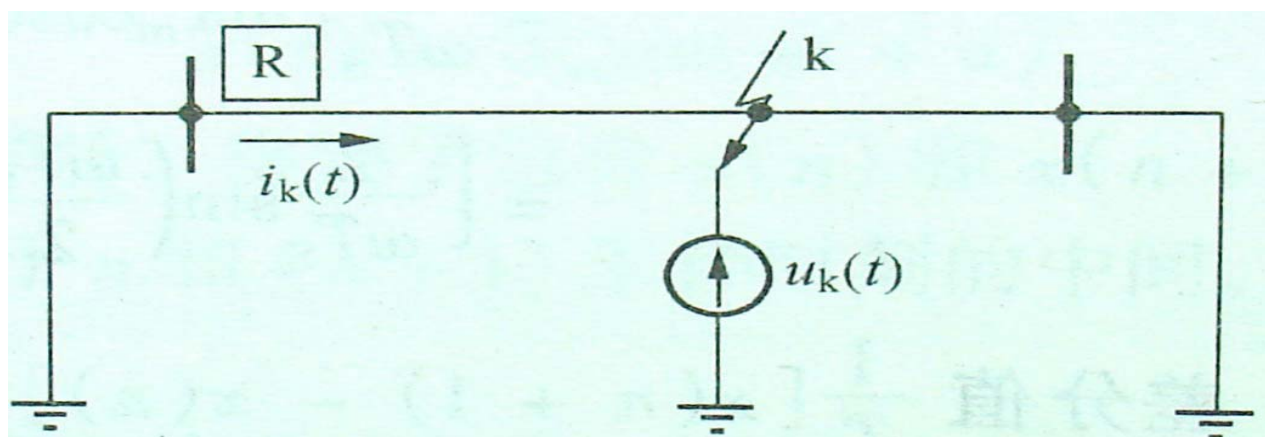
- 线路发生故障时，由叠加原理可将故障线路分解为正常运行状态和短路附加状态的叠加：

$$i_m(t) = i_L(t) + i_k(t)$$





(a) 正常运行状态



(b) 短路附加状态

故障电流分量：

$$i_k(t) = i_m(t) - i_L(t)$$

对正弦信号，正常运行时在时间上间隔整周的两个瞬时值，大小相等：

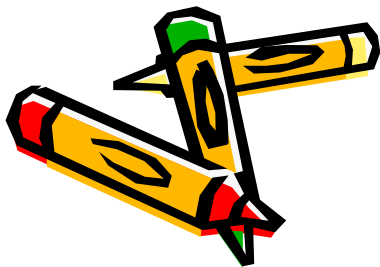
$$i_L(t) = i_L(t - T)$$

故障分量的计算式转化为：

$$i_k(t) = i_m(t) - i_L(t - T)$$

在非故障阶段，测量电流等于负荷电流

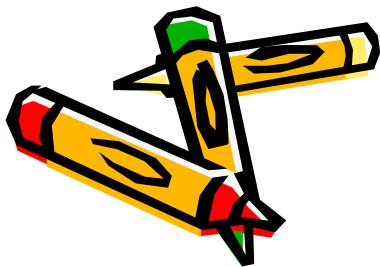
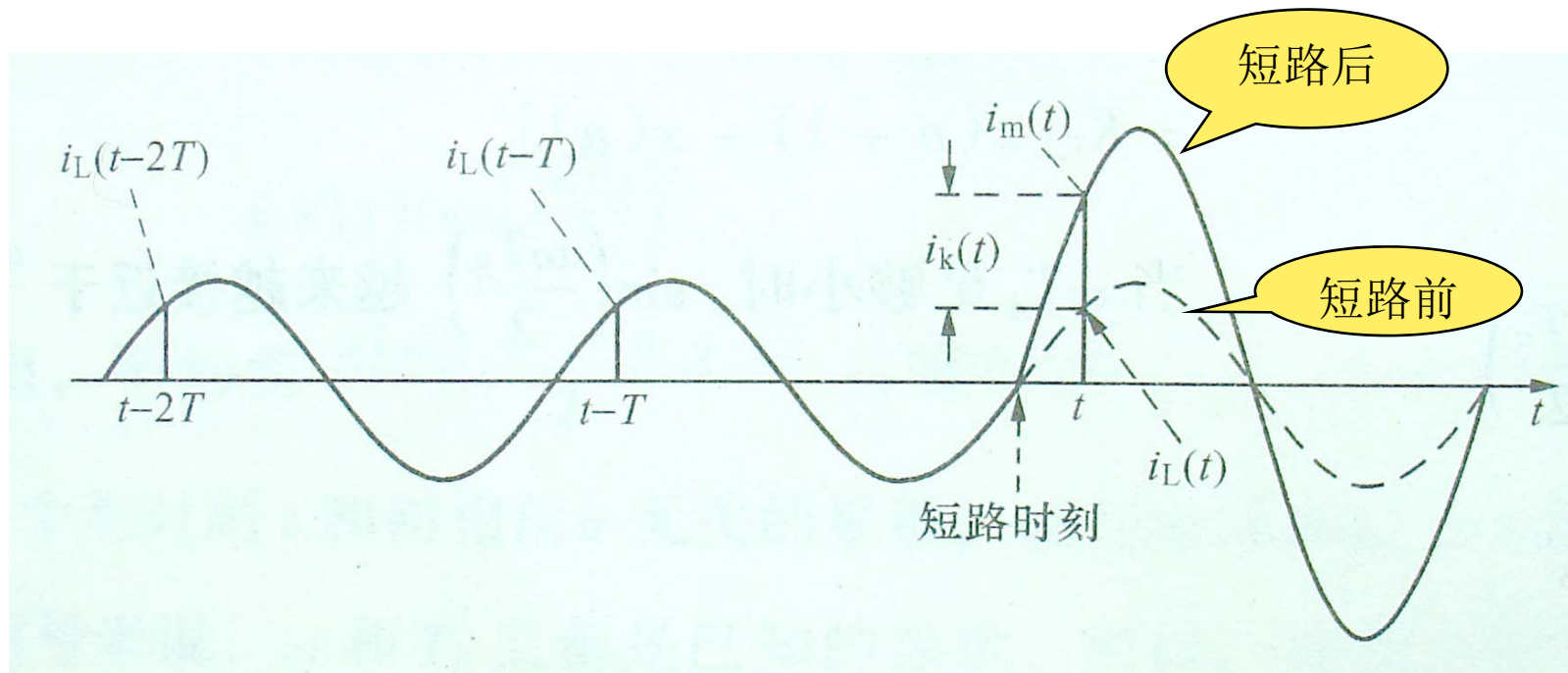
$$i_L(t - T) = i_m(t - T)$$



故障分量的计算式：

†时刻
测量电流

$$i_k(t) = i_m(t) - i_m(t-T)$$



$$t=kTs$$

K采样时刻测量
电流采样值

K前一周期的
电流采样值

二、算法

将上式转化为采样值计算公式：

$$\Delta i_k = i_k - i_{k-N}$$

- (1)系统正常运行时，计算值为“0”；
- (2)系统刚发生故障的一周内，求出纯故障分量；
- (3)正常运行若频率变化偏离50HZ， i_k 与 i_{k-N} 不相等，引起不平衡电流；



为减小频率变化的影响：

$$\Delta i_k = \left| i_k - i_{k-N} \right| - \left| i_{k-N} - i_{k-2N} \right|$$



三、讨论

1、用做选相元件：

两相电流差突变量选相

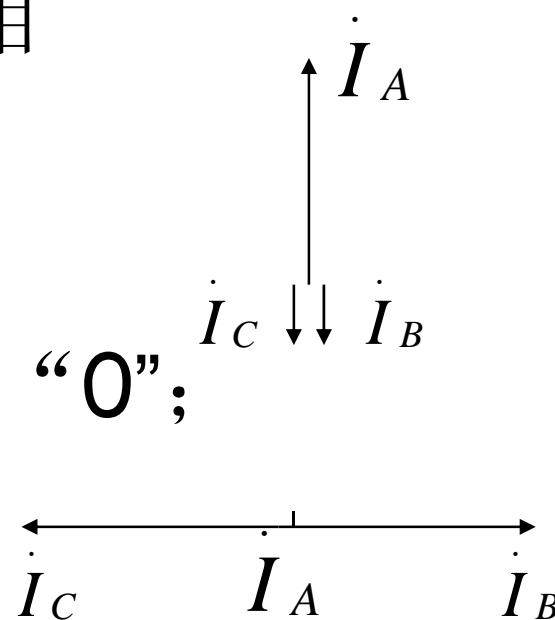
- 各类故障类型的特征

1) 单相故障 (**A**相)

两个非故障相电流之差为“0”；

2) 两相不接地短路

两个故障相电流差最大；



3) 两相接地短路

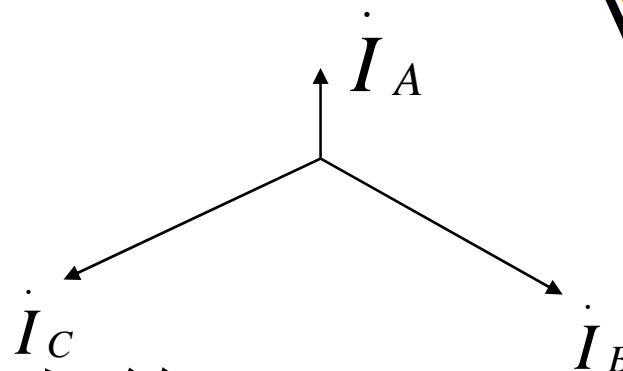
两个故障相电流差最大;

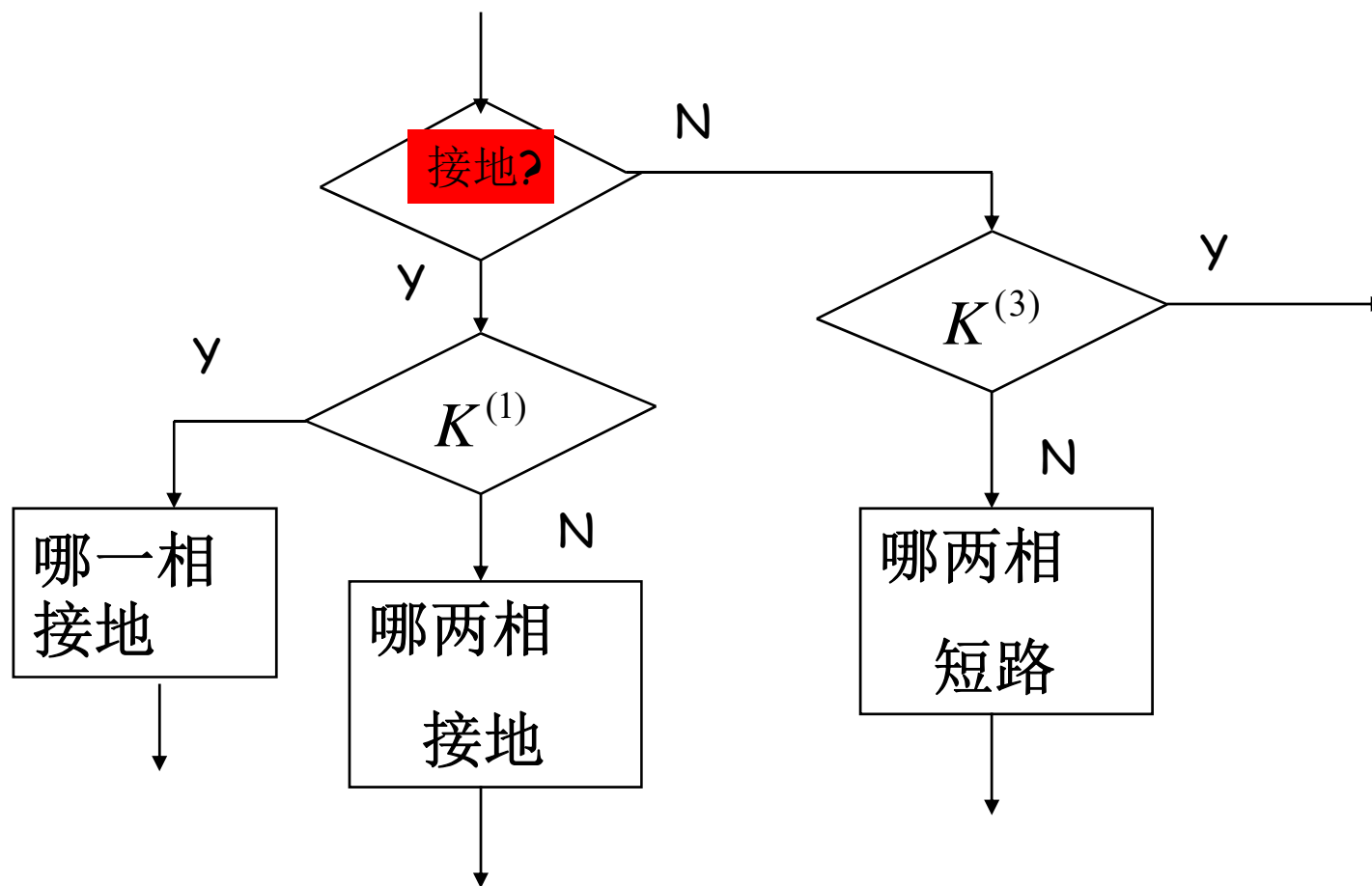
4) 三相短路

三个相电流差的有效值均相等;

• 算法 (以 Δi_{abk} 为例)

$$\Delta i_{ab(k)} = \left| i_{ab(k)} - i_{ab(k-N)} \right| - \left| i_{ab(k-N)} - i_{ab(k-2N)} \right|$$





故障选相判断的主要流程



故障相判别程序入口

计算和比较三种相电流差的突变量

$|\dot{I}_A - \dot{I}_B|$ 最小

$|\dot{I}_B - \dot{I}_C|$ 最小

$|\dot{I}_C - \dot{I}_A|$ 最小

$|\dot{I}_B - \dot{I}_C| \leq 5|\dot{I}_C - \dot{I}_A|?$

N

Y

$|\dot{I}_B - \dot{I}_C| \leq 5|\dot{I}_A - \dot{I}_B|?$

N

Y

A相接地

比较三种相电流差, 找出最大者

$|\dot{I}_A - \dot{I}_B|$ 最大

$|\dot{I}_B - \dot{I}_C|$ 最大

$|\dot{I}_C - \dot{I}_A|$ 最大

AB相特征
最明显

BC相特征
最明显

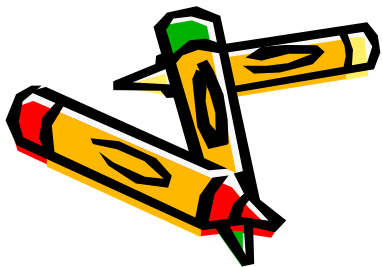
CA相特征
最明显

两相接地或两相短路




- 选出故障相
- 非全相运行时判断健全相是否故障

只在单相故障后投入，要求非全相运行及非全相振荡时应不误动；

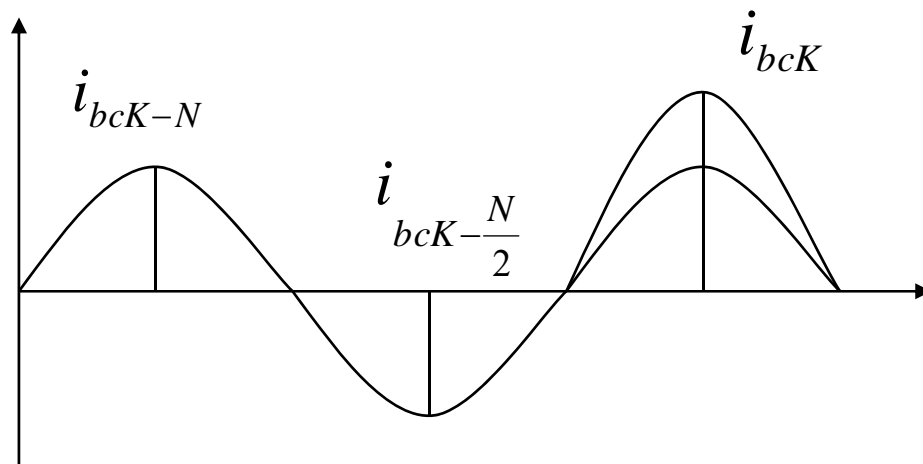


- 线路单相故障断路器跳开后，系统处于非全相运行状态。非全相运行过程中，健全相又发生故障，线路应三相跳开。非全相运行时健全相电流差突变量元件其作用是用来在非全相运行时判断健全相是否又发生了故障。对其要求是在非全相运行时或非全相运行中系统振荡不应误动。此元件只在单相故障后才投入。其算法公式为：

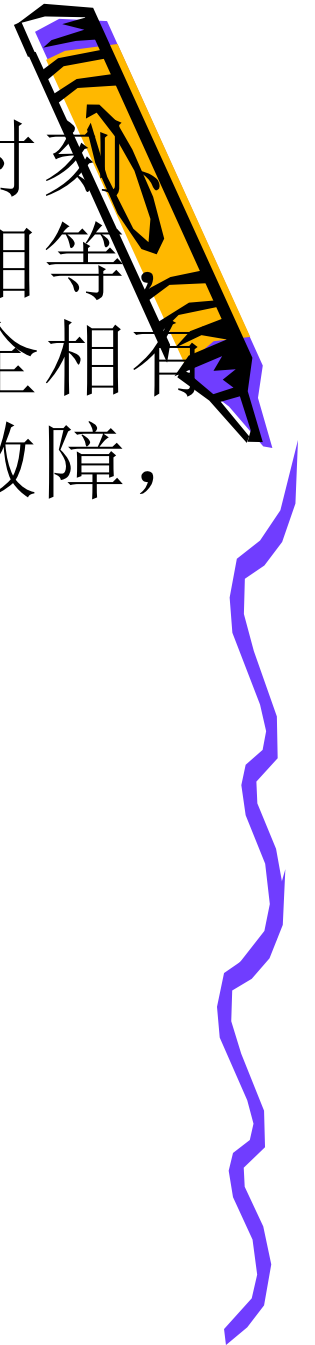
- 以**A**相故障、**BC**两相运行为例：


$$\Delta I = \left\| i_{bcK} + i_{bcK - \frac{N}{2}} \right\| - \left\| i_{bcK - \frac{N}{2}} + i_{bcK - N} \right\|$$

- 式中 i_{bcK} 、 $i_{bcK-\frac{N}{2}}$ 、 i_{bcK-N} 分别为当前时刻的 **BC** 相电流差，半周前对应时刻和一周前对应时刻的 **BC** 相电流差。此处，仅用了—个周期的数据。在系统振荡时一个周期时间内电流变化不会很大，故不会引起保护误动作。



- 由图可见，如果健全相无故障，当前时刻、半周前、一周前对应时刻采样值刚好相等，但符号相反，所以 $\Delta \mathbf{I}$ 的值为0，当健全相有故障时，无论是 **B** 相接地还是 **BC** 两相故障， $\Delta \mathbf{I}$ 的值均很大，该元件可靠动作。

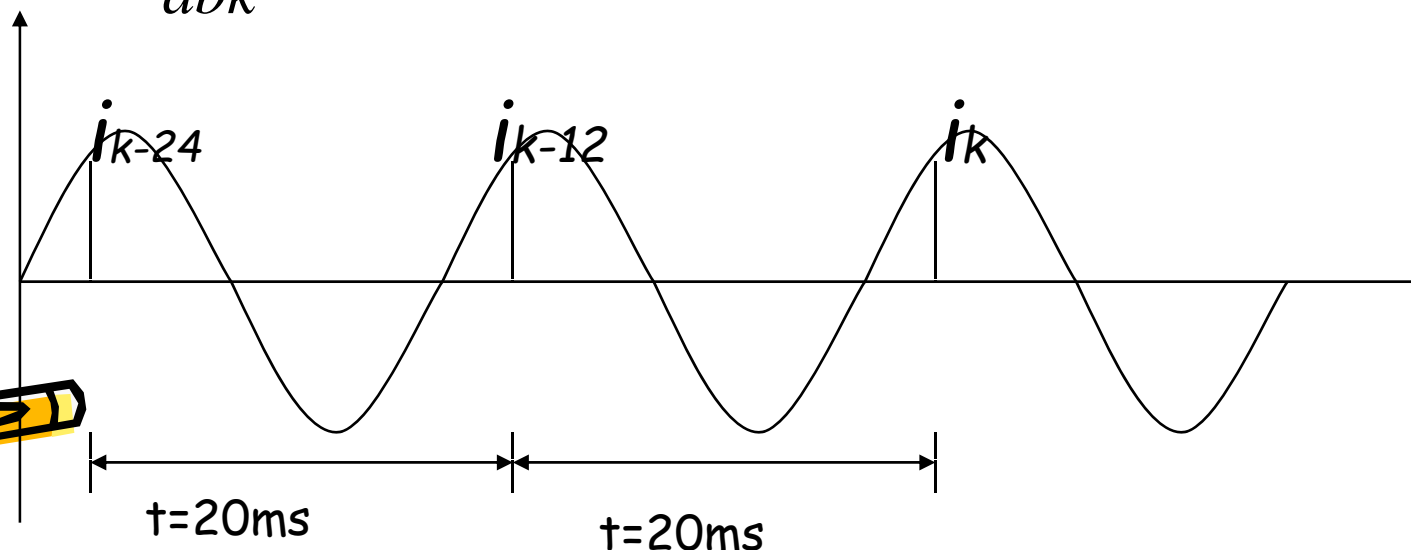


2、用做起动元件

算出： Δi_{abk} ； Δi_{bck} ； Δi_{cak}

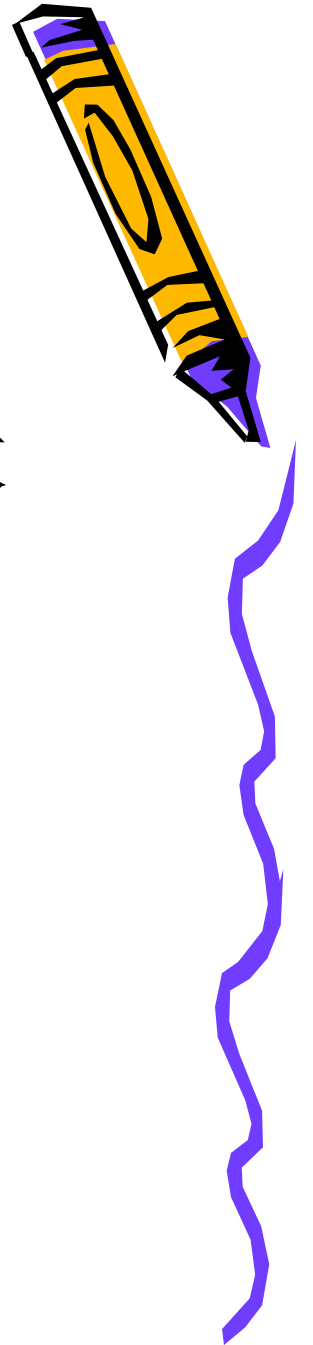
- 以 ΔI_{ab} 为例，正常运行时 i_{abK} 、 i_{abK-N} 、 i_{abK-2N} 的值近似相等，所以 $\Delta I_{ab} \approx 0$ ，起动元件不动作见图

$\Delta i_{abk} > IQD$, 则起动元件动作；



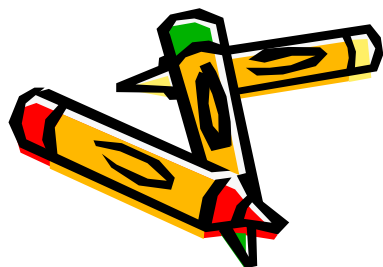
与采用相电流突变量构成的起动元件相比：

- (1) 对各种相间故障提高了起动元件的灵敏度。例如：两相短路灵敏度可提高一倍。
- (2) 抗共模干扰能力强



- 3、可采用半周积分法配合一个差分滤波器，需要的数据窗为 $(1+N/2)$ 个采样点；
- 4、在故障初始阶段具有较高的灵敏度和准确性。

突变量仅存在20~40ms，过了这段时间，将无法获得突变量，使突变量选相元件无法工作。



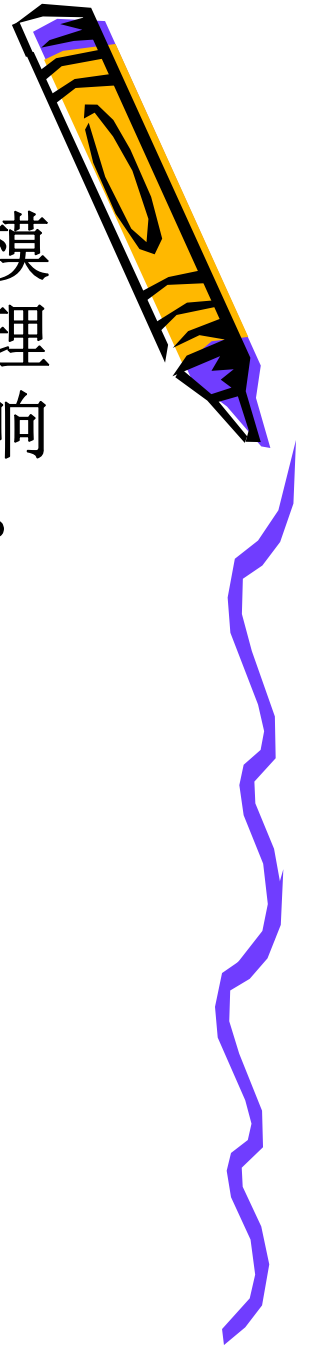
在微机保护中还有：

最小二乘法

- 这种算法是将输入的暂态电气量与一个预设的含有非周期分量及某些谐波分量的函数按最小二乘法(或称最小平方误差)原理进行拟合(即使被处理的函数与预设函数尽可能逼近，其总方差 E^2 或最小均方差 E_{min} / N 为最小)，从而可求出输入信号中的基频及各种暂态分量的幅值和相角。



- 应用最小二乘法算法，在设计、选择拟合模型时要认真顾及到在精度和速度两方面合理的折衷，否则可能造成精度虽然很高，但响应速度太慢，计算量太大等不可取的局面。
- 小波变换算法
- 基于形态学



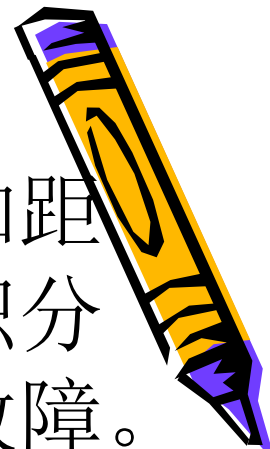
4—6 算法的选择

1、要求输入信号为纯基频分量的一类算法

- 由于算法本身所需的数据窗很短(如最少只要两、三点采样), 计算量很小, 因此常可用于输入信号中暂态分量不丰富或计算精度要求不高的保护中, 如直接应用于低压网络的电流、电压后备保护中, 或者将其配备一些简单的差分滤波器以削弱电流中衰减的直流分量作为电流速断保护, 加速出口故障时的切除时间。



- 还可作为复杂保护起动元件的算法，如距离保护的电流起动元件就有采用半周积分算法来粗略地估算，以判别是否发生故障。如将这类算法用于复杂保护，则需配以良好的带通滤波器，这样将使保护总的响应时间加长，计算工作量加大。



2、全周傅氏算法，最小二乘方算法和解微分方程算法都有用于构成高压线路阻抗保护的实例，各有其特点。

一般在采用傅氏算法时需考虑衰减直流分量造成的计算误差，以及采取适当的补救措施。解微分方程算法一般不宜单独应用于分布电容不可忽略的较长线路，但若将它配以适当的数字滤波器而构成的高压、超高压长距离输电线的距离保护，还是能得较满意的效果；



3、通过对全周、半周傅里叶算法和解微分方程算法配合非递归、递归数字低通滤波器等算法进行详细的分析、比较，结果确认配合递归数字低通滤波器的解微分方程算法的性能最好，它是利用微处理器进行实时处理的一种最佳算法。

但是解微分方程算法只能用于计算阻抗，因此多用于线路保护中。

而全周傅氏算法，最小二乘法算法还常应用于元件保护(如发电机、变压器的差动保护)，后备电流、电压保护以及一些相序分量组成的保护中。



目前在微机保护中，一些新原理、新技术、新方法广泛应用，主要有：

自适应理论、模糊集理论、小波分析、智能方法、专家系统、暂态行波原理和神经元网络等；

