

数字计算机在继电保护中的应用

西安交大 葛耀中

一、前言

当前数字计算机已经迅速牢固地进入了科学技术、生产和人们的生活领域，引起了巨大的变化。在电力系统继电保护技术方面，用数字计算机计算故障分析保护装置的动作性能已做了大量工作，并取得显著的成绩。近年来由于大规模集成电路和数字技术的飞跃发展，特别是微型计算机和微处理器的出现和应用，引起了继电保护工作者的极大注意和兴趣，一个在继电保护中使用计算机的研究热潮已经在国际上出现，我们要在以英明领袖华主席为首的党中央领导下，奋起直追，迎头赶超世界先进水平。

继电保护装置本质上就是一种自动控制装置，它的作用是切除系统中发生故障的元件（发电机、变压器、线路、母线等）。迄今我们所用的保护装置归于模拟型一类，而使用数字计算机于继电保护时则属于数字型控制装置的范围。

为什么计算机会引起继电保护工作者这样大的兴趣呢？主要由于计算机具有以下一些特点和优越性而它们是模拟型难以和无法做到的：

1.快速性。计算机具有高速进行代数和逻辑运算能力。现有研究成果已经表明利用计算机来实现小于一个周波的快速动作的保护装置是完全可能的。

2.通用性。在使用计算机构成保护后，各种类型的保护装置的计算机硬件和外围设备可以通用，只要按不同原理拟定出程序，就能得到不同类型的保护。

3.经济性。在使用微型计算机和微处理器时，将会使保护装置的设计制造过程显著缩短，并使成本降低。

4.记忆性。能存储信息是数字计算机的一个极为卓越的性能。加上计算机的各种运算能力，就使得计算机可以达到任何一种思维过程的结果，而这种思维过程是可以明确而一定的运算来描述的。

由于计算机具有上述一些特点，因此，显然我们在使用计算机这个极其先进的工具时，决不能简单地限于将原有模拟型的保护翻译过来，当然在一定意义上讲，这一点也是必要的和不可少的，但是更为重要的是应该充分挖掘计算机的潜力，发挥它的特长，研制出具有新原理的继电保护装置，使计算机能更有效地为电力系统的安全运行服务。

二、继电保护的特点和它对计算机的要求

继电保护在电力系统中的重大作用是众所周知的，继电保护装置能否正确动作直接

关系到电力系统的安全运行，因此继电保护对计算机所提出的首要要求是计算机要有高度的可靠性。

对计算机而言，可靠性包括两个方面，即硬件和软件。在硬件方面，计算机应保证长期稳定的运行，并应有抗干扰能力强的特性，不应由于周围环境的变化或外界干扰而产生错误。因为在电力系统继电保护中应用计算机时，计算机的周围环境是很恶劣的。所以必须采用各种措施来保证计算机硬件的工作可靠性。在软件方面同样存在可靠性的问题，研究表明，软件的可靠性按复杂程度的平方关系下降，因此在拟定保护程序时应注意尽量减少计算量，并采用表决的方法。

对计算机提出的第二个要求是快速动作，由于计算机具有高速运算的能力，加之数字滤波的采用，达到这个要求是没有困难的。

最后计算机应具有足够的存储能力以满足保护的需要。

根据保护要求，在使用计算机时曾产生过集中和分散的不同看法，最初有过集中使用大型计算机的观点。大型计算机在需用大量收集各方面的信息并进行分析运算是最有利的，但它有以下一些缺点：首先因为它是多用途的，势必降低保护使用的可靠性，由于集中使用，在采用抗干扰措施方面就带来一些不利的条件也使可靠性降低。其次，由于集中使用，保护装置需用时要设有使计算机中断的元件（起动元件），这样就降低了保护的動作速度。此外，大型计算机也是非常昂贵的，考虑到继电保护对可靠性和速度要求较高和需用的信息数量不大的特点，目前趋向于以分散为主，大小结合。在采用微型计算机实现保护的条件下可以做到一机专用，长期运行，这样就较易于满足高度可靠和快速动作的要求，同时也可与集中使用的计算机联系起来，从而构成更为可靠和完善的保护系统。

三、保护的构成

在使用数字计算机的条件下，反应工频电气量的保护可用图 1 表示，现简述如下：

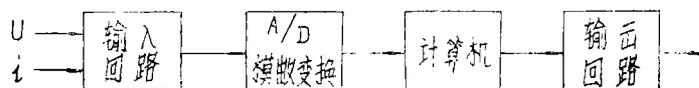


图 1

1. 输入回路

被测量的交流电气量电流 i 或/与电压 U 引入输入回路。输入回路为一模拟量变换器，与晶体管继电保护装置类似，可由电压互感器、电流互感器或电抗互感器等构成。它的作用是抗干扰、隔离和将输入的 i 或/与 U 变换为大小适应 A/D 变换器要求的模拟量。在输入回路中还经常采用滤波措施，以满足保护的要求。

2. 模数变换器 A/D

模数变换器是一种编码器，它的功用是将输入的连续的模拟量信号 U, i 变为输出数字信号 D 。为此，模数变换器的组成环节如图 2 所示，下面我们扼要地说明一下 A/D 变

换的过程：



图 2

A、抽样

要把连续的模拟量信号 A 变为数字信号 D ，必须进行抽样，抽样过程如图 3 所示。在抽样器的输出端即得离散的抽样信号。

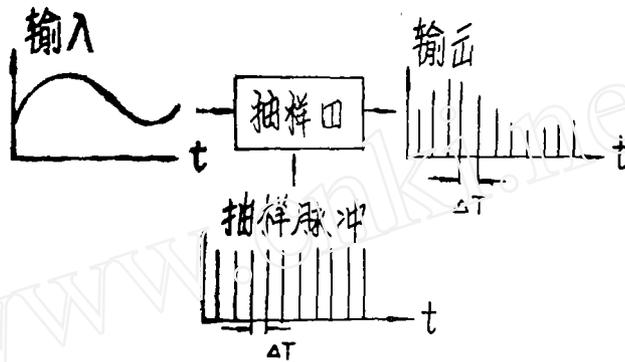


图 3

由图可见，抽样就是周期性地抽取或测量连续信号。图 3 中为每隔时间 ΔT 抽样一次。根据抽样定理，为了使抽样信号能完全恢复成原有的连续信号，则抽样频率必须大于输入连续信号中最高频率的 2 倍。也就是说，当输入连续信号中的最高频率为 f_m 时，只要取抽样时间间隔（抽样周期） $\Delta T \leq \frac{1}{2f_m}$ 即可。从继电保护的具体要求考虑，国外采用的抽样频率一般在 $600H$ （ $\Delta T \approx 1\frac{2}{3}ms$ ）以上。

B、量化

为了把离散的抽样信号变为数字，必须将其幅度进行量化，量化就是用一些幅度不连续的电平表示离散的抽样信号，如图 4 所示。图中 $A、B \dots L$ 等为抽样信号，它们的

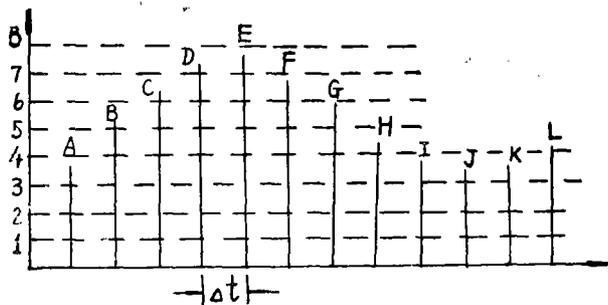


图 4

幅值根据量化化整的原则（四舍五入），分别如表 1 所示。

表 1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4	5	6	7	8	7	6	4	4	3	3	4

由图 4 可见，其量化级分为 8 级在量化过程中会出现误差，显而易见，分级越细，误差越小。但分级越细，码数增多，又要求传送速度快。在继电保护技术中，量化级数通常由允许的误差决定。例如，取包括信号符号在内用 N 位进行编码，设最大电流为最小电流的 K 倍，即 $I_{max} = KI_{min}$ ，而允许误差为 $\varepsilon\%$ ，则

$$\frac{I_{max}}{2^N} = I_{min} \cdot \varepsilon\% \quad (1)$$

当 $K = 100$ ， $\varepsilon\% = 5\%$ 时，可得

$$N = 11 \text{ 比特}$$

亦即为了保证误差在 5% 以内，必须采用不小于 11 位进行编码。此时量化级可达 2000 以上。编码后的输出即为数字信号，送入计算机中。计算机按照一定的数学模型和不同程序即可完成继电保护的任务。

四、数学模型

数学模型是被测量系统的动态表达式。确定数学模型后即可利用计算机进行运算。在保护中拟定数学模型的原则为从数字量中得到某个与时间无关的常量，如电流、电压和阻抗的大小（幅值）或两个量的相位关系等，在此基础上可以构成不同特性的电流、电压、方向、阻抗，差动继电器等。下面所列举的计算方法是建立在工频电气量的基础之上的，在本文下一节中将会看到，采用数字滤波的方法可以把直流和高次谐波分量滤掉。保护中测量元件的数字模型可大致概括如下：

1. 积型

积型是用一个或几个（一般为两个或 3 个）抽样值的乘积进行加减等运算来表示的。它们用数据较少，求解速度也较快，是应用的比较多的一种模型。

A、三积型

三积型是用任意三个连续抽样值的积进行加减等运算来得到所需结果的，例如电流、电压的幅值及相位关系等。

在图 5 中给出了被测的两个电气量

$U = Vm \sin \omega t$ ， $i = Im \sin (\omega t - \theta)$ 用三积型求解时，有多种表示式，式 (2) 是其中之一。

$$\begin{aligned} Vm Im \cos \theta &= \frac{U_1 i_1 - 2 U_2 i_2 \cos 2 \omega \Delta T + U_3 i_3}{(1 - \cos 2 \omega \Delta T)} \\ &= \frac{U_1 i_1 - 2 U_2 i_2 \cos 2 \omega \Delta T + U_3 i_3}{2 \sin^2 \omega \Delta T} \end{aligned} \quad (2)$$

式中： U_1, U_2, U_3 ——任意三个连续的电压抽样值（图5）；

i_1, i_2, i_3 ——三个连续的电流抽样值（图5）；

ΔT ——抽样周期；

θ ——相位角。

当抽样周期取为 $600H_z$ 时， $\Delta T = 30^\circ$ ，则（2）式可写成

$$VI \cos \theta = U_1 i_1 - U_2 i_2 + U_3 i_3 \quad (3)$$

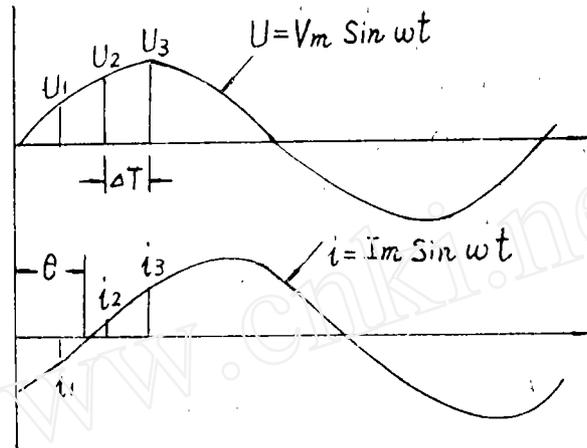


图 5

用三积型不仅可以求得两个电气量的相位关系，也可以求得电气量 U, i 的大小。

在（3）式中，令 $U = i, \theta = 0$ 可得

$$\left. \begin{aligned} V^2 &= U_1^2 - U_2^2 + U_3^2 \\ I^2 &= i_1^2 - i_2^2 + i_3^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

用三积型的求解速度为 $2 \Delta T$ 。当 $\Delta T = 1 \frac{2}{3} ms$ 时，求解速度为 $T/6$ (T 为工频周期)

B、二积型

二积型是任意间隔 ($n \Delta T$) 的两个抽样值的乘积进行加减等运算求得所需的相位或幅值等结果的，它可用式（5）表示

$$Vm Im \cos \theta = \frac{U_1 i_1 + U_2 i_2 - (U_2 i_1 + U_1 i_2) \cos n \omega \Delta T}{(\sin n \omega \Delta T)^2} \quad (5)$$

式中： ΔT ——抽样周期， $n = 1, 2, \dots$ ；

U_2, i_2 ——时刻 t 时的抽样值；

$U_1 i_1 - U_2, i_3$ 前 $n \Delta T$ 时刻的抽样值；

当 $n = 1$ 时，即使用任意两个连续的抽样值，则式（5）可表示为：

$$Vm Im \cos \theta = \frac{U(t-\Delta T) \cdot i(t-\Delta T) + U(t) \cdot i(t) - [U(t) \cdot i(t-\Delta T) + U(t-\Delta T) \cdot i(t)] \cos \omega \Delta T}{(\sin \omega \Delta T)^2} \quad (6)$$

当 $n = T/4 \Delta T$ 时，即

两个抽样值相隔 $T/4$ (90°)，则式（5）可表示为

$$V_m I_m \cos \theta = U(t-T/4) \cdot i(t-T/4) + U(t) \cdot i(t) \quad (7)$$

由式(7)不难推得

$$V_m I_m \sin \theta = U(t) \cdot i(t-T/4) - U(t-T/4) \cdot i(t) \quad (8)$$

当用二积型求单一电气量的幅值时, 令 $U = i$, $\theta = 0^\circ$, 由式(5)可得

$$I_m^2 = \frac{i_1^2 + i_2^2 - 2 i_1 i_2 \cos n \omega \Delta T}{(\sin n \omega \Delta T)^2} \quad (9)$$

$$V_m^2 = \frac{U_1^2 + U_2^2 - 2 U_1 U_2 \cos n \omega \Delta T}{(\sin n \omega \Delta T)^2}$$

如取两抽样值间隔为 $T/4$ (90°)

令 $i_2 = i(t)$, 则 $i_1 = i(t-T/4)$, 由式(9)可得,

$$\left. \begin{aligned} I_m^2 &= i^2(t) + i^2(t-T/4) \\ V_m^2 &= U^2(t) + U^2(t-T/4) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

利用上述结果还可直接求出电阻和电抗之值, 因为,

$$R_F = \frac{V_m}{I_m} \cos \theta$$

$$X_F = \frac{V_m}{I_m} \sin \theta$$

所以, 将式(9)除以式(10)得

$$R_F = \frac{V_m}{I_m} \cos \theta = \frac{U(t-T/4) \cdot i(t-T/4) + U(t) \cdot i(t)}{i^2(t) + i^2(t-T/4)} \quad (11)$$

将式(8)除以式(10)得

$$X_F = \frac{V_m}{I_m} \sin \theta = \frac{U(t) \cdot i(t-T/4) - U(t-T/4) \cdot i(t)}{i^2(t) + i^2(t-T/4)} \quad (12)$$

由式(10)可得

$$Z^2 = \frac{V_m^2}{I_m^2} = \frac{U^2(t) + U^2(t-T/4)}{i^2(t) + i^2(t-T/4)} \quad (13)$$

2. 加减型

加减型是从一定数目的抽样值进行加减运算以得到所需的结果。

为了求得输入量的幅值大小可以采用累加法。

累加法是将输入的工频电气量在半个周期内的全部抽样值相加。为此在每次新数据输入之前需将旧数据清除, 并且抽样周期需将工频周期偶等分。

当输入波形为 $A_m \sin \omega t$, 抽取周期为 ΔT , 且将工频周期 $2k$ 等分, 在 tn 时刻的抽样值为 A_n , 则累加法可用(14)式表示。

$$S = \sum_{n=1}^k |A_n| = K A_m \quad (14)$$

式中: $n=1$, $A_1 = A_m \sin \omega t_1 = A_m \sin \alpha$

$n=2$, $A_2 = A_m \sin(\alpha + \Delta T)$

.....

$$n = k, A_k = Am \sin[\alpha + (k - 1)\Delta T]$$

对应于式(14), 累加过程和结果 S 如图 6 所示。图中取 $\alpha = 0$, $\Delta T = 30^\circ$, $k = 6$

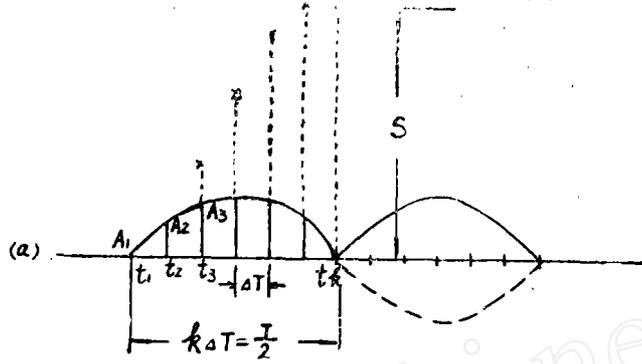


图 6

累加法求幅值的优点是完全采用加法运算, 并兼有一定的滤波作用, 因为在累加运算过程中可以消除所有偶次谐波分量。缺点为所有数据较多, 判定时间较长 ($T/2$)。用积演算求幅值时所用数据较少 ($2 \sim 3$ 抽样值), 判定时间可小于 $T/4$, 为了吸取上述两法的优点求出幅值, 可利用相隔 90° 的两抽样值进行加减运算得到幅值, 如输入电气量表示为 $A = Am \sin \omega t$, 则

$$Am = \left| A(t) \right| + \left| A(t - T/4) \right| + K \left| \left| A(t) \right| - \left| A(t - T/4) \right| \right|$$

式中: K —系数, 当 $K = 0.414$ 时, 误差最小。

3. 导数型:

是用抽样值的导数进行一定运算, 得到所需结果。由图 7 电气量 A 在时刻 t 的导数

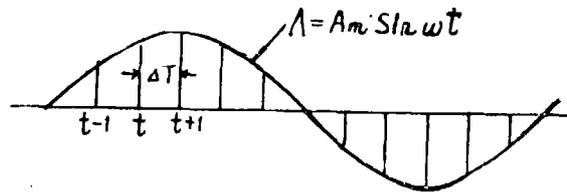


图 7

可表示为

$$A'(t) = \frac{1}{2\Delta T} \left[A(t + \Delta T) - A(t - \Delta T) \right]$$

$$A''(t) = \frac{1}{\Delta T^2} \left[A(t + \Delta T) + A(t - \Delta T) - 2A(t) \right]$$

于是电气量 A 的幅值可以表示为

$$Am^2 = A^2(t) + \left[\frac{A'(t)}{\omega} \right]^2 \quad (15)$$

而测量到的电阻或电抗可表示为

$$R_F = \frac{\begin{vmatrix} V(t) & I'(t) \\ V'(t) & I''(t) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} I(t) & I'(t) \\ I'(t) & I''(t) \end{vmatrix}}, \quad x_t = \frac{\begin{vmatrix} I(t) & V(t) \\ I'(t) & V'(t) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} I(t) & I'(t) \\ I'(t) & I''(t) \end{vmatrix}}$$

或

$$R_F = \frac{\begin{vmatrix} V(t) & I'(t) \\ V(t-1) & I'(t-1) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} I(t) & I'(t) \\ I(t-1) & I'(t-1) \end{vmatrix}}, \quad x_t = \frac{\begin{vmatrix} I(t) & V(t) \\ I(t-1) & V(t-1) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} I(t) & I'(t) \\ I(t-1) & I'(t-1) \end{vmatrix}}$$

五、数字滤波

当用于继电保护的数学模型是建立在基波的基础上时，有必要采用滤波措施。从广义上讲，滤波是将所需信号分离出来的一种方法。在采用数学滤波时，我们不仅可以利用滤波消去直流分量任何高次谐波，甚至，有时也有必要和可能消去正常的负荷分量以得到只反应故障分量的保护。在继电保护中采用的滤波基本上可分为差分滤波，加法滤波和积分滤波三种。

1. 差分滤波（减法滤波）

差分滤波的构成如图 8 所示。差分滤波用于消除直流分量和低频分量其输出 $Y_D(n\Delta T)$ 是由任意时刻 $n\Delta T$ (ΔT —抽样周期, $n = 0, 1, 2, \dots$) 的输入数据 $x(n\Delta T)$ 。

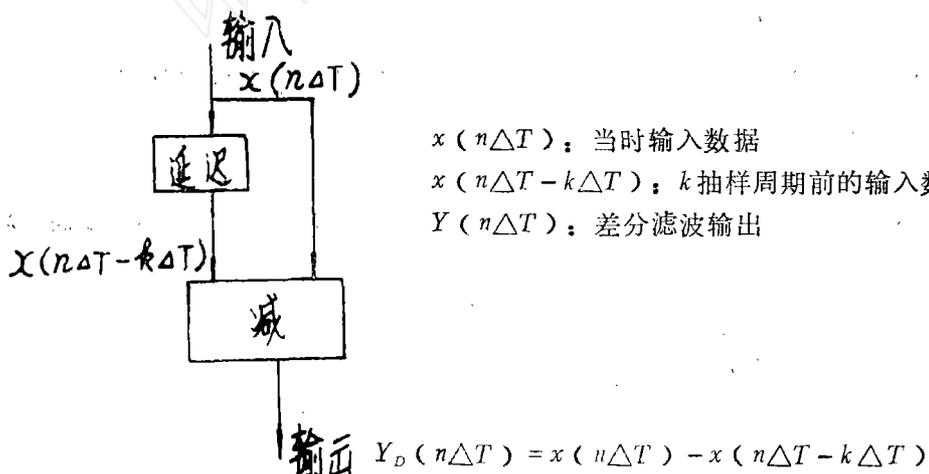


图 8

和其前 k 个抽样周期的输入数据 $x(n\Delta T - k\Delta T)$ 相减而得

$$Y_D(n\Delta T) = x(n\Delta T) - x(n\Delta T - k\Delta T) \quad (15)$$

对 (15) 式进行 Z 变换可得

$$Y_D(Z) = x(Z) \cdot (1 - Z^{-k}) \quad (16)$$

式中: $Z = e^{j\omega\Delta T}$

由 (16) 式可以求得差分滤波的传递函数 $T_D(Z)$

$$T_L(Z) = Y_D(Z)/x(Z) = 1 - Z^{-K} \quad (17)$$

由(17)式经反变换后得幅频和角频特性如下:

$$\begin{aligned} |G_D(j\omega)| &= |1 - (\cos K\omega\Delta T - j\sin K\omega\Delta T)| \\ &= \sqrt{(1 - \cos K\omega\Delta T)^2 + \sin^2 K\omega\Delta T} \\ &= 2 \left| \sin \frac{K\omega\Delta T}{2} \right| \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \varphi_D &= \tan^{-1} \left(\frac{\sin K\omega\Delta T}{1 - \cos K\omega\Delta T} \right) = \tan^{-1} \left(\cot \frac{K\omega\Delta T}{2} \right) \\ &= \frac{\pi}{2} (1 - 2fK\Delta T) \end{aligned} \quad (19)$$

根据式(18), (19)可以作出以基波 f_1 为基准的增益——频率(幅频)及角频特性曲线如图9所示。图9中的曲线是在取抽样周期 $\Delta T = \frac{T}{12} = \frac{1}{12f_1}$ 的条件下作出的。

由图8可以看出以下几点:

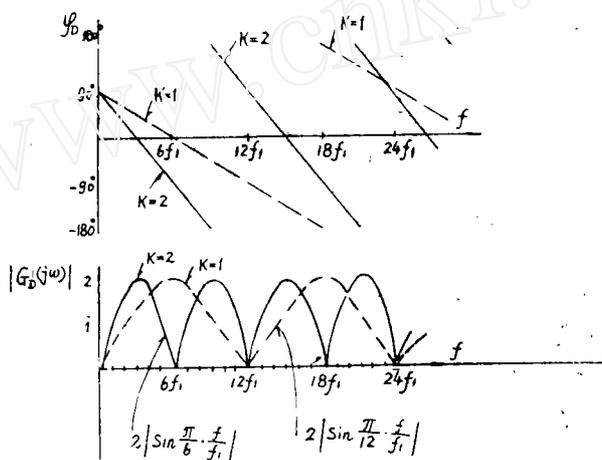


图9 [注] $\Delta T = \frac{T}{12} = \frac{1}{12f_1}$ (f_1 —基兰频率)

a、可消除直流分量及 $n/K\Delta T$ ($n=1,2,\dots$)次谐波。例如,要消除二次谐波以上的偶次谐波,当 $\Delta T = \frac{1}{12f_1} = 30^\circ$ 时,可取 $K=6$ 。而要消除三次及其整倍数的谐波,则取 $K=4$ 等。

差分滤波的上述作用也不难从基本的物理概念中看出。对于直流分量,不论 K 为何值,只要以任意时刻的抽样值和其前任意时刻的抽样值相减,总是要把直流分量消除掉的。而消除某些谐波分量则与 K 值的选择有关。例如,要消除三次谐波,当抽样周期 $\omega\Delta T = 30^\circ$ 时,亦即将工频基波周期 T 等分为12分时,三次谐波的周期等于 $4\Delta T$ 。因此,用任意时刻的抽样值与其前 φ 个抽样周期($4\Delta T$)的抽样值相减,就可消去三次谐波。

b、从图9角频特性可见,滤波后的输出波形的基波相位超前输入。

c、滤波的过渡过程为 $K\Delta T$ 。

d、用差分滤波消除正常运行条件下的负荷电流的影响更为有趣。这时，可取 $K = 12$ （当 $\Delta T = T/12$ 时），它不仅可消除基波，而且可消除直流分量和任何高次谐波。在理想的稳定运行条件下，滤波器的输出为零。而在故障条件下滤波器在一个周波的时间内只输出故障分量，这一分量可用于起动元件，选相元件或电流差动等。

2. 加法滤波

加法滤波的构成如图10所示。加法滤波用于消除高次谐波，它的输出 $Y(n\Delta T)$ 是由任意时刻 $n\Delta T$ 的抽样数据 $x(n\Delta T)$ 和其前 k 个抽样周期的抽样值 $x(n\Delta T - k\Delta T)$ 相加而得。

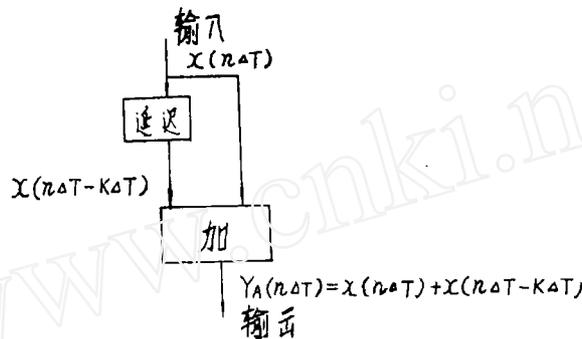


图 10

$$Y_A(n\Delta T) = x(n\Delta T) + x(n\Delta T - k\Delta T) \quad (20)$$

对(20)式进行Z变换可得

$$Y_A(Z) = x(Z) \cdot (1 + Z^{-k}) \quad (21)$$

式中： $Z = e^{j\omega \Delta T}$

由(21)式可以求得加法滤波的传递函数 $T_A(Z)$

$$T_A(Z) = Y_A(Z) / x(Z) = 1 + Z^{-k} \quad (22)$$

由(22)式经反变换后得幅频和角频特性如下：

$$\begin{aligned} |G(j\omega)| &= |1 + \cos K\omega \Delta T - j \sin K\omega \Delta T| \\ &= |\sqrt{(1 + \cos K\omega \Delta T)^2 + \sin^2 K\omega \Delta T}| \\ &= 2 \left| \cos \frac{K\omega \Delta T}{2} \right| \end{aligned} \quad (23)$$

$$\varphi_A = t_{ju}^{-1} \left(-t_{su} \frac{K\omega \Delta T}{2} \right) = -\pi f k T \quad (24)$$

由式(23)、(24)可以作出以基波为基准的增益—频率（幅频）及角频特性，如图11所示。图11中的曲线是在取抽样周期 $\Delta T = \frac{T}{12} = \frac{1}{12f_1}$ （ f_1 —基波频率）的条件下作出的。

由图11可看出以下几点：

$$|G_I(j\omega)| = \left| \frac{1 - \{ \cos(K+1)\omega\Delta T - j\sin(K+1)\omega\Delta T \}}{1 - (\cos\omega\Delta T - j\sin\omega\Delta T)} \right|$$

$$= \left| \frac{\sin \frac{(K+1)\omega\Delta T}{2}}{\sin \frac{\omega\Delta T}{2}} \right| \quad (27)$$

$$\varphi_I = \frac{\pi}{2} \{ 1 - 2(K+1)f\Delta T \} - \frac{\pi}{2} (1 - 2f\Delta T) = -\pi f K \Delta T \quad (28)$$

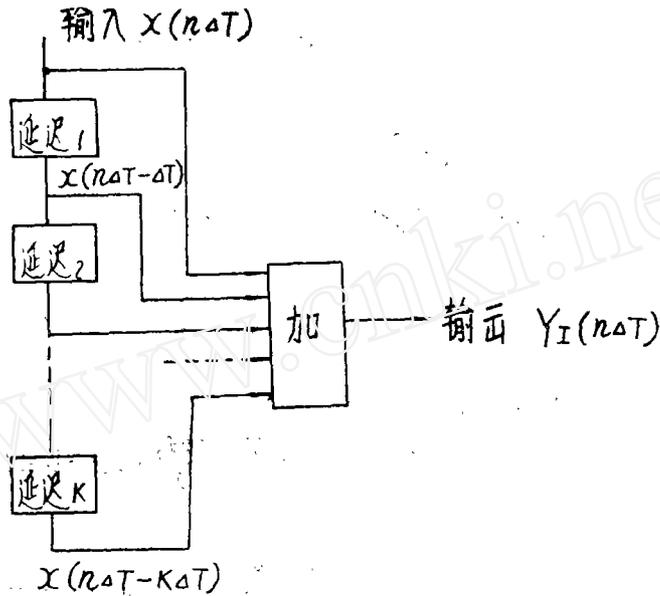


图 12

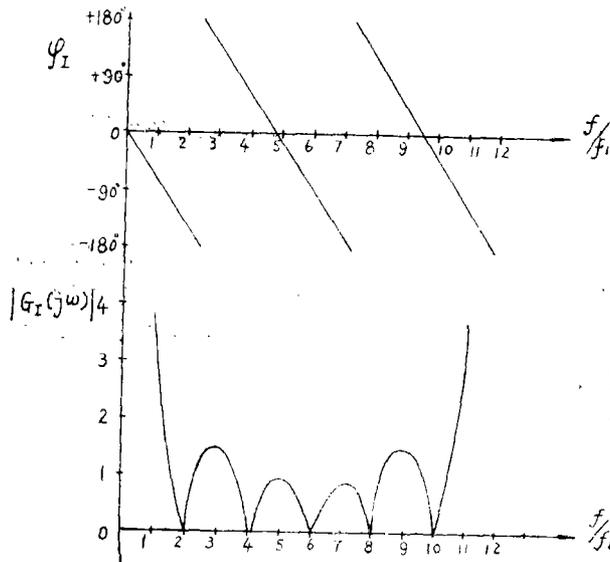


图 13

根据式(27), (28)可以作出以基波 f_1 为基准的幅频及角频特性曲线,如图13所示。图13中的曲线也是在 $\Delta T = \frac{T}{12} = \frac{1}{12f_1}$ 和 $K = 5$ 的条件下作出的,由图可见,在所规定的条件下,可消除2、4、6……等偶次谐波。一般来说,积分滤波可消除 $n/(K+1)\Delta T$ 次谐波($n = 1, 2, \dots$)。

以上三种是基本的数字滤波方法,根据需要可组成各种滤波器,如带通滤波等。数字滤波比模拟量滤波具有简便和时间常数较小的特点,对构成高速动作的保护提供了有利的条件。

六、错误数据检出的方法

在数字保护中,由于干扰等各种原因的影响会出现误码,如不立即检出,可能导致严重的错误结果,因此必须采取措施,检出误码,以保证保护的正確动作。

1. 检出界限

为了正确检出误码,在图14中规定了检出的界限。当所得数据超过规定范围时,即应检出,然后根据下述方法再判断其正误。

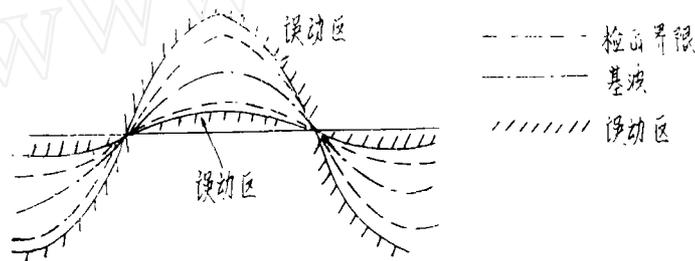


图 14

这里介绍的方法是基于工频正弦波的基础上的。检出界限设于基波和误动区之间,在规定检出界限时,应考虑到可能的谐波影响。

2. 检出方法

在通信系统中通常利用多余位数检出误码,在保护系统中根据具体情况可采用简便和经济的方法。

A、三抽样值检出发法。这是由任意抽样值的前后抽样值来判断的一种方法。三抽样值检出发法的原理可用式(29)表示。为了阐明这种方法,以图15加以说明,图中

$$i_{n-1} + i_{n+1} = K_1 i_n \quad (29)$$

式中: i_{n-1} 和 i_{n+1} 为任意抽样值 i_n 之前和后一个抽样周期的抽样值;

K_1 ——系数

虚线所包括的范围是根据式(29)的计算结果确定的。在正常情况下(图a),没有一个抽样值超出规定的检出界限;在正常误码情况下(图b),有三个抽样值1,2,3不在计算范围之内,而在故障情况下,即不是误码的情况下(图c)有两个抽样值

1, 2 超出界外。因此可以根据有三个抽样值超出界外确定为误码情况。不难看出, 这种方法检出误码的时间为两个抽样周期即 $2 \Delta T$ 。

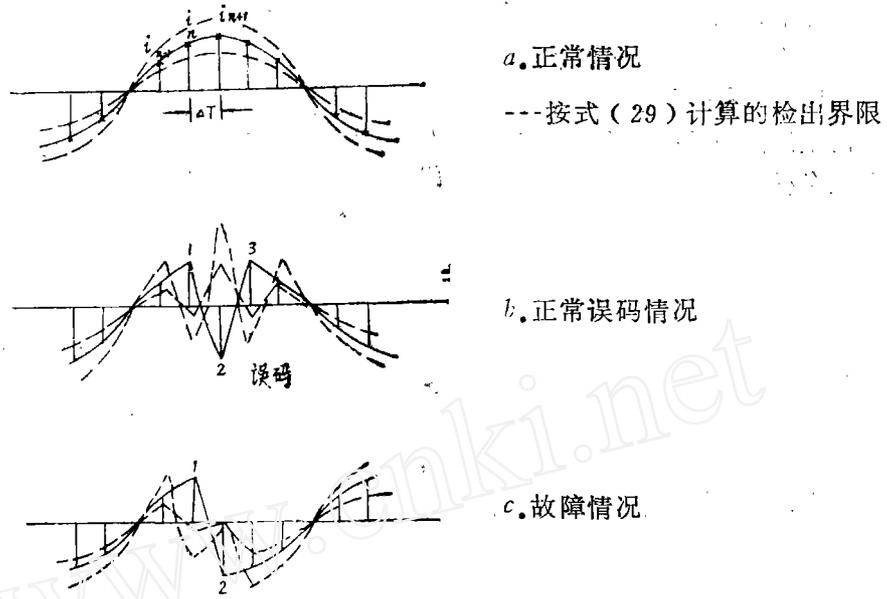


图 15

B、重合法。这是一种按照正常的规律判别误码的方法, 如图16所示, 图中虚线包括的范围为正常工作区。

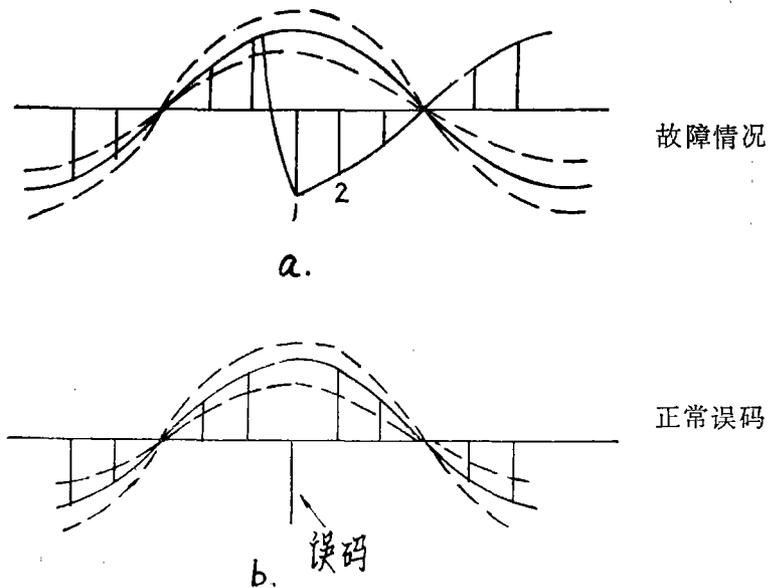


图 16

在故障情况下由于电气量的变化，将有多个（如 1，2……）抽样值不在虚线范围内，而在误码时，只有一个（或几个）超出范围，这样就可以根据不在规定范围内的抽样值的数目来确定误码。

C、对照法。这种方法是利用电气量间的一定规律相互对照检出误码的方法，例如在任意取样时刻的三相电流抽样值的和应等于 3 倍零序电流之值， $ia + ib + ic = 3i_0$ 等。

七、后 记

本文对数字电子计算机在继电保护中的应用作了系统扼要地说明，综述了国外的一些研究成果并顺便对某些问题谈了一些看法。

用数字计算机作为继电保护的工作也不过只有十年左右的历史，而只是在最近几年才开始较多的研究，并已取得显著的成绩。数字计算机在继电保护中的应用无疑会给继电保护技术带来巨大的变革，把继电保护技术推向一个更新更高的阶段，是继电保护发展的一个重要方向。在这方面从基本理论到实际应用都有一系列的问题有待我们去研究解决。我们应该遵循伟大领袖和导师毛主席的“中国人民应当对人类有较大的贡献”的教导，发奋图强，为赶超世界先进水平和四个现代化作出自己的贡献。

参考文献