

六、参 考 文 献

- [1] “高压电网继电保护原理与技术” 朱声石 1981
[2] “电力系统继电保护原理与运行” 华中工学院 1981
[3] “电力系统故障分析” [美] P.M.Andson等 1978
[4] “电力系统继电保护” 山东工学院 山东电力局 1979
[5] “高压电网继电保护运行技术” 王梅义等 1981
[6] “电力系统故障分析” 华北电力学院 1979
[7] “短路电流实用计算” 西安交通大学 西北电力设计院
西北勘测设计院 1982
[8] “电力系统电磁暂态过程” 西安交通大学 1964

微机继电保护及其工程算法

许昌继电器研究所 於学煌

一、概 况

利用计算机实现电力系统继电保护功能的思想产生于60年代末期。美国和澳大利亚最早进行了用小型计算机实现输电线路距离保护的尝试，从算法语言和系统试验两个方面进行了开创性的探索，其成果激起了人们对计算机保护(Computer Relaying)的广泛兴趣，并从理论和实践方面产生深刻的影响。

具有代表性的研究工作有：

1.美国西屋电气公司和太平洋煤气—电力公司合作的PRODAR 70研究项目,利用西屋公司的P—2000小型工业控制机,用瞬时采样值及其一阶、二阶导数算法,计算线路短路阻抗值实现相间及接地距离保护。动作时间为20ms左右。1968年开始研制,1971年完成并安装在长38哩(61公里)230KV输电线上,运行情况良好。

2.美国通用电气公司和费城电力公司的小型计算机研究项目,利用Varian V72小型计算机,用微分方程算法计算阻抗值,实现输电线距离保护和故障测距。保护的动作时间在一个周波以内,对72哩(116公里)长线路,故障的定位误差在1哩以内。

1973年开始研制,1977年安装在72哩长500KV输电线上。

3.美国电力公司和国际商用机器公司合作的研究项目,利用IBM—7小型计算机,用对称分量法和数字滤波算法,实现输电线距离和过流方向保护。1971年开始研制。后改用Plessey Miproc—16微型机,1979年完成。这是美国三家竞相开拓计算机保护的早期实践。此外,澳大利亚新南威尔士大学在1970年开始进行小型计算机继电保护研究工作,1976年投入新南威尔士电气公司试运行。特别是他们在算法上的研究成果奠定了计算机保护工程算法的基础。

日本明电舍公司和东京电力公司合作,进行了以PCM电流差动为主保护、距离保护为后备的研究项目。保护由四台微机构成,用DPCD数字式电流、电压互感器代替传统的CT,PT。数字互感器与保护装置用光导纤维进行数字信息传递,差动保护采用微波通道。采用半波面积法和积型算法。

1977年7月至1978年3月在东京电力公司275KV线路进行试验,情况良好。

三菱公司和关西电力公司曾经历用MELCOM350—5F小型计算机和MELPS—8微处理机实现输电线路保护的阶段,用采样数据及其微分算法实现小电流接地平行输电线路的保护功能。1974年7月到1977年完成。

日立公司宣称自1970年起从基础研究开始,经历近十年时间,发展了保护算法,数字滤波,16位保护专用高速微处理机,光纤数据传输技术并通过样机和现场试验,达到了实用阶段。并采用积型算法和数字滤波算法实现距离、姆欧、电流差动和功率方向等各种保护继电器。在1976至1978年在275KV输电线路进行了现场试验。

此外,加拿大,英国等也都进行这一方面的研究工作。

早期的研究工作侧重于输电线路距离保护及其算法的研究和工业试验,主要手段为小型计算机。由于小型计算机价格昂贵,继电保护对可靠性要求又特别高,计算机保护还只限于理论研究,没有进入工业生产。由于电子技术和大规模集成电路的突飞猛进,在1971年导致微处理机问世。如所周知,除了计算机功能外,与中小型计算机相比,微处理机有很多根本优点,如集成度及可靠性高,功耗低,小型化等,尤其是价格非常便宜。它一出现,就以很快的速度进入各种工业生产领域。从而给计算机保护以新的生命力。世界上各主要电气公司均大力开展微机保护的研究工作。

迄今为止已经取得了一定成果。美国西屋公司,西德西门子公司,已经分别批量生产MDF型、7RP72型微处理机频率继电器,英国通用电气公司(GEC)已经生产微处理机式MCGG,具有四种反时限特性的过电流继电器,美国通用电气公司生产微机

式电动机保护装置,这些均属于单个继电器性质。西门子和瑞典通用电气公司(ASEA)已分别生产7SE12型及RANZA型微机式故障测距装置(Fault Locator,或称故障探测,故障定位装置)。此外,美国电力研究所(EPRI)和西屋公司合作进行变电所包括继电保护和监控功能在内的计算机系统,西门子公司也在进行类似的研究工作。BBC公司正在进行微机式行波保护的研究工作等等。

70年代,计算机保护以应用微处理机实现单功能的单个继电器和应用微处理机(或小型计算机)实现控制和保护功能的系统为特征的两种设计思想并存的开发路线。

1979年全美电子和电气工程师协会(IEEE),动力工程协会PES的电力系统继电保护委员会和电力工程教育委员会联合编写了研究班教程——“计算机继电保护”,对计算机继电保护的理论和实践作了首次总结,这标志着这一新技术进入比较成熟的发展阶段。

微处理机技术正在我国迅速发展,国内不少大学、研究所和制造厂也开始进行微机继电保护的研制工作,可以预期在不久的将来将有一批微机式保护继电器或保护系统的研究成果和产品出现。

二、微机保护的特点

1.通用、灵活,继电保护的函数是通过应用软件或应用程序来实现的,功能不同的保护继电器,其电路结构或硬件系统可能做成基本相同的模块,只要改变应用程序并将其固化到EPROM中就行了,这对工业生产和现场使用都极有利。

2.速度快,和计算机一样,微处理机也有极高的算术和逻辑运算速度,研究试验表明,实现一个周波的主保护并不困难。由于在继电保护算法中,普遍情况进行乘法、除法运算,近年来的趋势是发展带有乘、除法微程序的专用CPU,以提高运算速度。

3.可靠性高,微处理机可以很容易地实现高速、高精度的自诊断功能,自动监视微机本身及其外部设备的不正常工况,不需要像晶体管保护那样附加专用的保护巡检。也便于采用双工系统和在软件设计中运用多重采样,进行逻辑判断以提高其抗干扰能力和可靠性等。

4.精度高,保护特性是通过严密的数字式数学运算得出的,只要保护的算法精确,就能实现高精度,例如反时限过流继电器工作在大倍数电流范围内,模拟式电路难以在全程范围内达到1%的延时精度,且温度特性难以控制,而微处理机就能很容易的实现。

5.经济,随着大规模集成电路工艺技术的成熟,微机价格越来越便宜。对于复杂的保护装置,这一点就更明显。

6.产生新颖的功能,对离散数字量进行信息加工可以实现数字滤波,(包括提取需要的谐波分量),提取突变量,可以录取故障前后的故障参量,以显示、打印等多种方式输出,还可以和其它计算机进行数据通讯等等。

当然,微处理机保护目前也存在一些需要认真对待的弱点,由于必须用A/D转换

器，使其价格仍然比较昂贵。容易在干扰侵袭下，发生程序紊乱等等。

三、微机保护的硬件结构

微处理机保护继电器的硬件结构如图 1 所示。

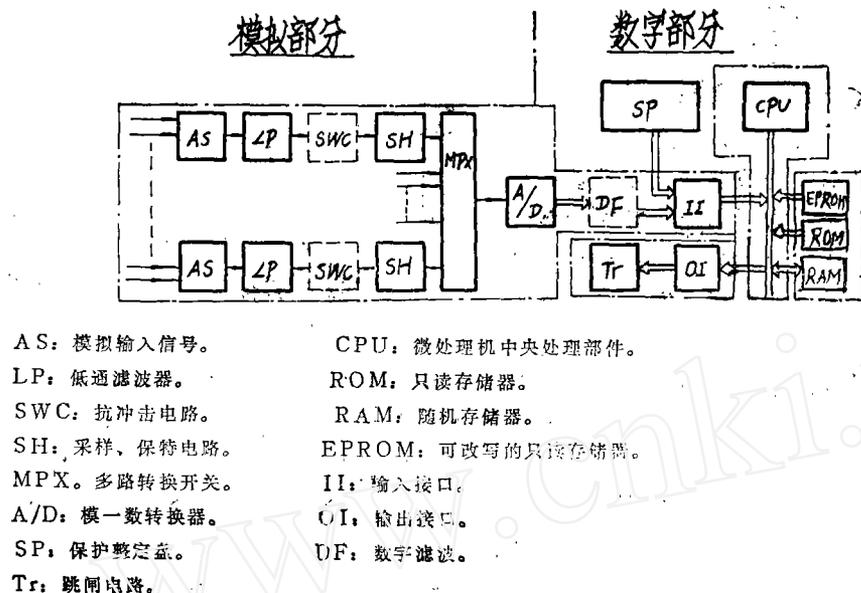


图 1、微处理机继电器硬件结构

它由模拟量输入电路和微处理机两部份构成，对于微机继电器来说，模拟量输入信号及其预处理是至关重要的。与模拟式晶体管保护不同，微机保护系通过 A/D 转换器，将输入的连续的电气量转换为断续的或离散的数字量，自然它们是瞬时值。用计算机进行数字量的算术和逻辑运算对事故进行检测，这是两者的根本不同之处。基本硬件结构及其功能可简述如下：

(一) 交流采样回路

如何把来自电流、电压互感器的模拟信号转换成数字信号是首先要考虑的问题。一种办法是把输入信号整流为直流电压，将该直流电压转换成数字量。这时，微处理机只起电平检测器的作用，其功能和模拟式的电平比较器没有什么差别，发挥不了微处理机的优越性。为取得波形较好的直流电压，需要附加滤波回路，使得动态响应速度减慢，达不到快速保护的目。显然，这个方法是不可取的。

实现微机保护的基本思想是交流瞬时采样及其数字化。交流采样包括以下几部分：

1. 中间变换回路：

来自电力系统的交流电流、电压引入继电器内部的中间互感器，它们被设计为线性模拟变换器，在很大的信号变动范围内，输出电压与输入量成比例，相角为一固定值。中间变换作用为进行标度变换，将输入模拟信号变为适合 A/D 转换器所要求的信号幅

度(例如±10V峰—峰值);将输入强电系统和微机弱电系统隔离起来,便于实现屏蔽,提高抗干扰性能。由于对交流瞬时值采样,其标度变换比及输出交流信号应按峰—峰值考虑,而不像模拟式保护用有效值或平均值。

2. 模拟滤波电路:

在输入回路中常常需要设置模拟滤波器,在电流、电压信号传送到微处理机以前先进行模拟滤波的预处理。对这一点要予以足够注意。模拟滤波的目的—方面是从输入信号频谱中提取基波分量,衰减无用的频率分量。但主要是为了消除采样时产生的频率折叠误差。通常从低通滤波器截止频率参数和选择采样频率这两个方面消除由频率折叠产生的混淆误差。微机保护为提高速度简化电路通常采用有源低通滤波器。实际滤波器的典型特性如图2所示。

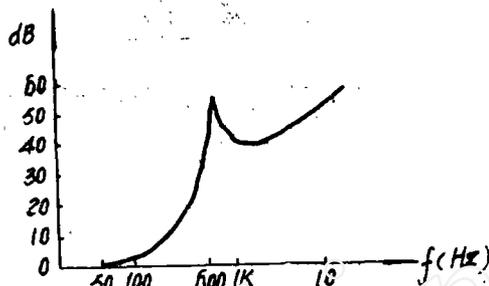


图2、低通滤波特性

按照数据处理理论,模拟信号数字化应该是个可逆过程,即数字量应能无畸变地被恢复为原来的模拟信号,Shannon采样定理规定了可逆过程的条件。即采样频率 f_s 应等于或大于被测信号频率或其最高频率分量 f 的两倍,即: $f_s \geq 2f$ 。这是数字处理系统中一个很重要的法则。对此可进行如下分析。设被测的模拟信号 $x(t)$ 系一有限频谱宽度信号,最高频率分量为 f ,其频谱为 $x(j\omega)$,如图3

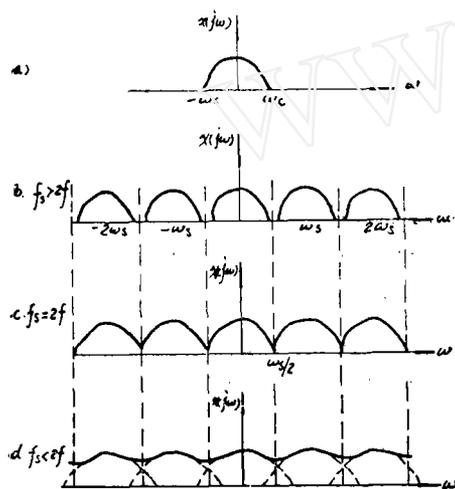


图3、信号频谱图

(a)所示,采样信号为周期性的脉冲序列函数 $p(t)$,其频率为 f_s ,采样过程就是 $p(t)$ 对 $x(t)$ 进行脉冲幅值调制。采样后输出的离散信号为 $x(nT)$ 即:

$$x(nT) = x(t) \cdot p(t)$$

$x(nT)$ 的频谱为 $x^*(j\omega)$,它是由无限多个频谱合成,如图3(b)~(d)所示。它包括

$\frac{1}{T}x(j\omega)$ 主分量和无穷多个补分量 $\frac{1}{T}x(\omega - k\omega_s)$, $k = \pm 1, 2, 3 \dots$ 。显然

当 $f_s \geq 2f$ 时,这两种分量不会发生重叠,因而信息的频谱形状没有改变, $x(j\omega)$ 的原来波形被采样过程所保持。如果通过截止频率为 $\frac{1}{2}f_s$ 的低通滤波器就能恢复模拟信号的原波形。但是当 $f_s < 2f$ 时, $x(j\omega)$ 的两个分量发生重叠,因而频谱形状发生变化,如图3(d),这时即使通过理想的低通滤波器也不能恢复原来的波形。这种由于采样脉冲序列频率不高而产生的畸变即所谓频率折叠或混淆现象。这是处理采样数据的特有现象。

也可以通过下面例子直接表明这一过程。

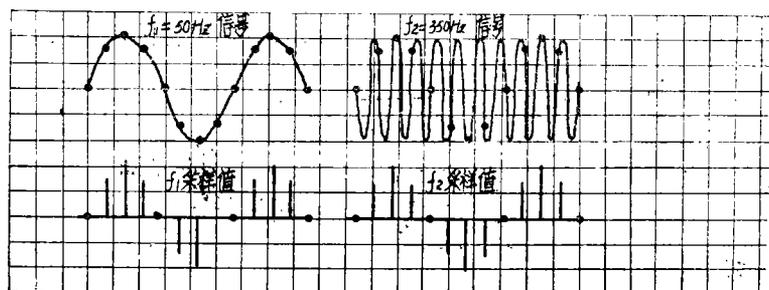


图 4

在图 4 中, 采样频率 $f_s = 400\text{Hz}$, 对 50Hz 和 350Hz (或 450Hz) 两种频率信号进行采样, 结果得到相同的离散信号, 理论和实验均指出, 这时 $400 \pm 50\text{Hz}$ (350Hz , 450Hz) 恰好与 50Hz 等效, 即以 50Hz 的误差分量重叠, 且以 $\frac{1}{2}$ 采样频率为中心 (此处为 200Hz) 折叠, 故称频率折叠, 由此产生的测量误差叫折叠误差。解决这一问题的办法之一是采用截止频率为 $\frac{1}{2}f_s$ (此处为 200Hz) 的模拟低通滤波器, 除去信号中截止频率以上的谐波分量, 这是微机保护中采用模拟低通滤波器的基本原因。

3. 采样保持电路:

采样保持与模数转换器匹配, 在转换期间保持 A/D 转换器输入信号固定不变。不言而喻, 采样保持放大器的特性对数字系统的精度和可靠性是很重要的, 特别是在 12 位和更高速率的应用场合。

采样保持放大器具有 +1 增益, 它有两种工作状态, 在采样时其输出准确地跟踪输入端迅速变化的暂态过程和连续信号波形。转入保持时, 输出理想地保持在给出保持指令时刻的输入瞬时值。其原理如图 5 所示。

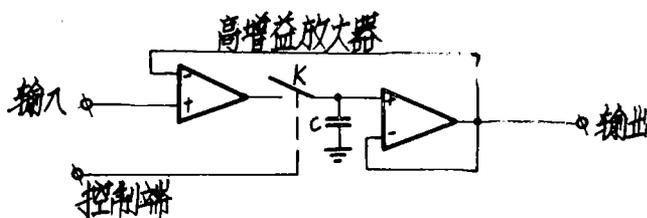


图 5、采样保持电路

它由输入、输出缓冲放大器, 储能电容 C , 及其控制电路组成。采样期间, 电路 K 接通, 经逻辑控制开关对电容 C 快速充电。保持时, K 断开, 电容对 +1 增益的输出缓冲放大器放电, 输出回路反馈至输入负端如同单个运算放大器式跟随器一样。

在另一种常用的采样保持放大器中, 电容 C 被用作环形积分器内部的反馈元件。图 6 为美国 AD 公司的 HT C - 0300 特高速采样保持放大器, 用输入阻抗为 $10\ \Omega$ 的场效应管放大器驱动直流耦合的肖特基二极管采样桥, 再级联以最大阻抗为 $10\ \Omega$ 的输出积分放大器。

对采样保持放大器的主要要求为频率响应，带宽容量，增益精度，输入阻抗，保持时间，谐波失真等。

采样保持放大器已经用于12位A/D转换，速度达20MC，采样的间隙误差仅20 μ s。

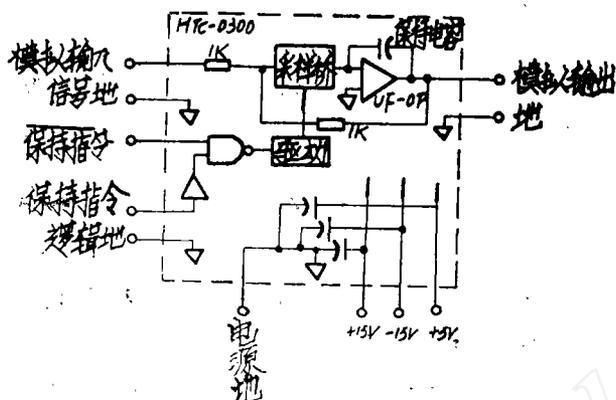


图6、HTC-0300采样保持放大器

4. A/D模数转换

模数转换的作用是把模拟量转换成数字量，这里就是要把采样保持的离散信号转换成数字量。用二进制进行量化编码，A/D转换的精度取决于其所用位数。在图7中用四位A/D转换器在模数转换过程中要进行量化化整，即按是否大于、等于 $\frac{1}{2}$ LSB进行取舍，图7中各采样点 $t_1 \sim t_8$ 的十进制和二进制数值如下表所示。

采样点		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8
		十进制数	3	5	7	8	7	6	3
二进制数		0011	0101	0111	1000	0111	0110	0011	0000

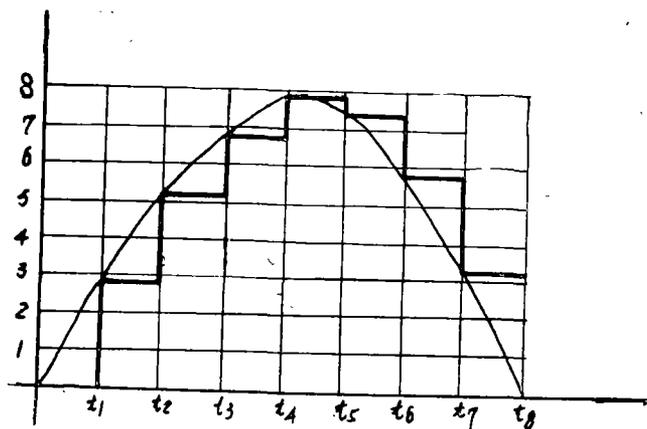


图7

显然,大多数采样值均存在转换误差,这是因为只用4位A/D转换器,如果位数增加,则误差减小。

微机保护对A/D转换器有两个主要要求,即转换精度和转换速度。保护继电器在短路情况下工作,其输入信号在几十倍甚至上百倍的范围内变化,在允许的测量误差下,A/D输出到微处理机的最大数字量不应使微机溢出,通常用MSB表征数字量极性。以电流信号为例,设最大短路电流与最小短路电流之比为 m ,即 $\frac{I_{max}}{I_{min}} = m$,允许测量误差为 δ ,则A/D转换器的位数 n 由下式决定:

$$2^n = \frac{m}{\delta}$$

$$\text{或 } n = \log_2 \frac{m}{\delta}$$

$$= \frac{\log_{10} \left(\frac{m}{\delta} \right)}{\log_{10} 2}$$

$$= 3.321 \log_{10} \left(\frac{m}{\delta} \right)$$

例: $m = 50$, $\delta = 0.05$, 则 $n = 10$, (相应+进制数为1000)

$m = 100$, $\delta = 0.025$, 则 $n = 12$, (相应+进制数为4000)

为了简便,根据需要转换的十进制数决定A/D转换器比特数。A/D转换速度是非常重要的指标,目前12位A/D转换器一次转换速度可达 $20 \mu s$ 。

A/D转换器位数	2^1	2^2	2^3	2^4	2^5	2^6	2^7	2^8	2^9	2^{10}	2^{11}	2^{12}
转换的最大十进制数	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	2048	4096

由于A/D转换器价格贵,在微机保护中,除非特殊场合,均采用公用的A/D转换器,配上多路切换开关对需要测量的多路模拟信号依次轮流转换。

此外,在有些微机保护中,还需增加抗冲击电路,用以保护微机弱电系统免受冲击波的侵害,实际上这是个电平限幅电路,同时起到抑止高频噪音的作用。

5. 采样频率:

前面已经说明为解决频率折叠而确定的采样频率应为信号中最高频率分量的两倍,或称奈奎斯特采样频率,这是理论上所要求的最低采样频率。实际的采样频率要比它高出几倍至几十倍。因为在构成微机保护时必须考虑系统故障时可能出现的高次谐波分量。除此以外,采样频率还取决于保护必须的快速动作,和给程序以充分的执行时间,采样间隔也应便于运算等。通常采样频率在 $300 \sim 1200 \text{ Hz}$ 范围内。对于 50 Hz 工频系统,其采样频率及相应数据如下表:

采样 fc/Hz	采样间隔	一周采样点数	相邻点采样时间 (ms)	最小数据窗* (ms)
1200	15°	24	0.83	10.83
600	30°	12	1.67	11.67
400	45°	8	2.5	12.50
300	60°	6	3.33	13.33
200	90°	4	5	15.00

工程上采用600Hz (30°) 的采样频率较多。

*最小数据窗 = 半个周波 + 采样周期。

(二) 微处理机

微处理机的总体结构如图8所示。它包括：

1. 中央处理单元：

由算术、逻辑运算部件，控制器为主要部份集成在单个芯片上。这是微处理机区别于微计算机或小型计算机的主要特征。中央处理单元还包括时钟，各种寄存器，计数器和译码电路等。

通用的微处理机如Intel 808A, Motorola 6800或z80其算术运算的基本操作为加、减运算。乘法或除法运算是通过加、减运算步骤来实现的，因此消耗的指令周期数急剧增加。

在继电保护的算法中普遍采用乘、除法运算，特别是主保护要求以最快的速度判断故障。因此，除了软件设计要考虑这个特点外，在选择微处理机机型时，速度成了主要的选择条件。国外一种趋势是用户对器件制造厂提出要求，研制直接进行乘法和除法运算的专用CPU，以提高运算速度。

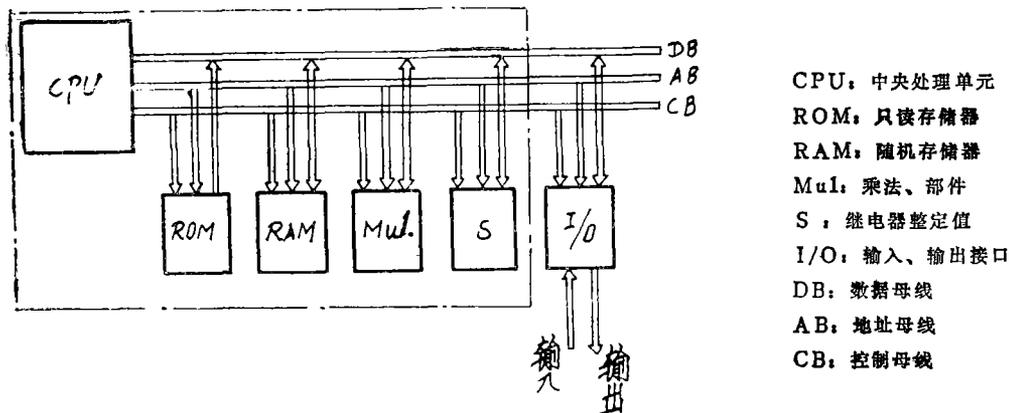


图8 微处理器方块图

2. 只读存储器ROM

ROM用于存放程序，即存放产生保护功能的应用程序。它规定微处理机应遵从的

指令顺序, 取用的数据, 采取的运算步骤, 进行何种运算等等。实际上即取指令, 指令译码和执行指令这三个简单重复的操作。这种存储器只能接受CPU的读出指令, 不能写入。在失掉电源情况下也能保存已经写入的内容。

3. 随机存储器RAM

用于存放输入数据, 中间运算结果和判断结果等。

4. 可改写的只读存储器EPROM

在很多情况下, 用户需要重新改写固化了的程序, ROM不能实现这一目标。例如微机保护可能需要修改常数, 改变整定值等, 因此, 产生了EPROM。用户可以根据自己的需要将已经存入地址中的指令或数据抹去, 重新写入新的内容。这样的指令和常数均存放在EPROM中。

5. 输入、输出接口部件:

向微处理机提供模拟量、整定值等数据输入、输出指令等。

保护用典型微处理机的特点如下表所示:

微处理机部件		技术规范
CPU	芯 片	LSI(肖特基TTL)
	控 制 器	微 程 序
	运 算 器	16比特, 并行
	加法执行时间	0.5 μ s
	输入信号	0.7 μ s
乘法电路	字 长	16比特, 并行
	执行时间	4.5 μ s
存储器容量	ROM	4k w(可扩展)
	RAM	4k w(可扩展)

微机保护的一般运算程序如图9所示:

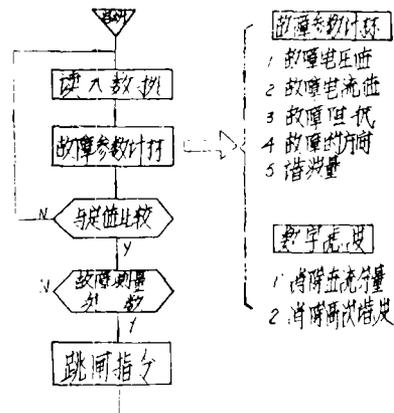


图9 运算流程

这样，微处理机就可以按照这种流程不断地反复进行运算处理快速无误地检测系统的突发性故障，给出输入信号。

除此以外，另一种程序设计是所谓故障检出程序的设计思想，将瞬时采样数据与先前数据核对，只有在发生故障时才进入保护程序。

四、 微机保护的工程算法

继电保护的算法即其数学模型或方程式，是微处理机赖以进行程序设计、算术运算从而实现特定保护特性的依据。

表征保护动作特性的各种电气量应当与时间无关，例如动作电流、电压用有效值或最大值。采样后离散的数字量虽然也是反映电力系统状态的信息，但仍是瞬时值，即各个特定采样时刻的瞬时值，是不能直接用于判断系统状态的，也不能赖以判定两个交流量的相位关系。

算法需要完成的目标之一是从一系列的离散值中，采用某种数学运算方法得出与时间无关的数字量，从而与整定值进行比较，例如从两个或三个离散的电流采样值计算得出其最大值或有效值；从一组离散的电流、电压值计算出它们之间的相位差；或计算出故障情况下的系统阻抗，并与相应的整定值比较，从而作出跳闸与否的判断。

早期，人们企图从被测信号中直接录取与时间无关的常数，例如对于过流保护，直接采集电流的最大值 I_m ，它也是特定时刻（距零点5ms）的瞬时值。这问题看起来似乎很简单，一种方法是检零，再延迟 $\frac{1}{4}$ 周波采样就得最大值。这个方法需要检零器和精密延时电路这两种专用硬件电路。或者根据正弦函数与余弦函数互为导数的数学公式，测量电流微分波形并在该微分值为零时，采集这一时刻的瞬时值即最大值，这也需要附加微分电路。上述测量方法属于同步采样，这个方法虽然也能用于实际，但是硬件电路复杂化。功能很强的微处理机仅起到比较器的作用。其次是测量精度低，上述测量方法是建立在50HZ正弦波基础上，当计及实际故障情况下的暂态过程时可能导致很大的误差。如果考虑多次采样以提高保护可靠性的设计思想，就要丧失快速性的优点。因此，同步采样法未能获得应用，但是作为一种原理和实践方案却给人们以有益的启示。

澳大利亚新南威尔士大学Mann和Morrison根据正弦函数和余弦函数互为导数，且二者平方和等于常数的基本定则，从两个或三个采样值计算出电流或电压的最大值来，例如：

$$i = I_m \sin \omega t \quad \dots\dots (1)$$

$$i' = \frac{di}{d(\omega t)} = I_m \cos \omega t \quad \dots\dots (2)$$

$$\begin{aligned} i^2 + i'^2 &= I_m^2 \sin^2 \omega t + I_m^2 \cos^2 \omega t \\ &= I_m^2 \quad \dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{i}{i'} &= \frac{I_m \sin \omega t}{I_m \cos \omega t} \quad \dots\dots (14) \\ &= \tan \theta \end{aligned}$$

(1)~(4)式用于微机保护是一种首创,其意义在于可以对被测波形进行随机采样,即采样过程不需要与被测波形同步,即所谓非步采样或异步采样。对一组离散采样值进行平方、差分及加、减运算,这样的运算过程对微机来说是轻而易举的事情,这就从根本上消除了同步采样中必须的上述附加硬件接口电路,转而由微机软件来实现。这种方法曾经在早期的计算机保护中得到广泛应用和发展,现已成为计算机保护一种常用算法的基础。

从计算机保护问世以来,人们非常重视算法的研究,并且比较集中在线路保护中距离保护的算法研究。目前发表的算法达十余种。美国IEEE, PAS电力系统继电保护委员会和电力工程教育委员会编写的“计算机继电保护”一书将算法归纳为采样和微分算法,正弦曲线拟合法,富氏分析和沃什分析滤波法,保护系统模型的微分方程求解法和最小二乘方曲线拟合法等五种算法,这是企图进行算法分类的尝试。

这里只从工程应用的角度,介绍几种常用算法。

(一) 积型算法:

这个方法就是对一组采样值(通常为2个或3个)进行乘法运算,并对乘积进行加、减运算求得保护的参数。采样值可以是单一输入量的电流或电压,也可以是复合量电流和电压。采样值可以是连续的也可以是不连续的,可以两点采样或三个采样。现将常用量的 90° 或 30° 的两个或三个连续采样值的算法叙述如下:

1. 两积法

对两个连续采样值分别进行乘法运算,再相加得出保护的参数。

(1) 90° 采样

a. 单个输入量

设交流输入信号为工频正弦波电流 $i = I_m \sin \omega t$, 在任一瞬时 t_1 或相角 ωt_1 及滞后 90° 即 $(\omega t_1 + 90^\circ)$ 进行采样, 这两个相差 90° (对50Hz正弦波为5ms) 的采样值分别为:

$$i_1 = I_m \sin \omega t_1 \quad \dots\dots (5)$$

$$\begin{aligned} i_2 &= I_m \sin(\omega t_1 + 90^\circ) \\ &= I_m \cos \omega t_1 \quad \dots\dots (6) \end{aligned}$$

对(5)、(6)式进行平方和运算即

$$\begin{aligned} i_1^2 + i_2^2 &= I_m^2 \sin^2 \omega t_1 + I_m^2 \cos^2 \omega t_1 \\ &= I_m^2 \\ &= 2I^2 \quad \dots\dots (7) \end{aligned}$$

同样,当单个输入信号为工频正弦波电压即 $v = V_m \sin(\omega t + \theta)$ 时,则有:

$$v_1 = V_m \sin(\omega t_1 + \theta) \quad \dots\dots (8)$$

$$\begin{aligned} v_2 &= V_m \sin(\omega t_1 + \theta + 90^\circ) \\ &= V_m \cos(\omega t_1 + \theta) \quad \dots\dots (9) \end{aligned}$$

$$v_1^2 + v_2^2 = V_m^2 \sin^2(\omega t_1 + \theta) + V_m^2 \cos^2(\omega t_1 + \theta)$$

$$\begin{aligned}
 &= V_m^2 \\
 &= 2V \qquad \dots\dots (10)
 \end{aligned}$$

式中I, V分别为电流、电压有效值。

b. 复合输入量

设两个交流工频输入信号为电流、电压量即

$$\begin{aligned}
 i &= I_m \sin \omega t \\
 v &= V_m \sin (\omega t + \theta)
 \end{aligned}$$

相差90°的两组采样值为:

$$\left. \begin{aligned}
 i_1 &= I_m \sin \omega t_1 \\
 v_1 &= V_m \sin (\omega t_1 + \theta)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots (11)$$

$$\left. \begin{aligned}
 i_2 &= I_m \sin (\omega t_1 + 90^\circ) \\
 &= I_m \cos \omega t_1 \\
 v_2 &= V_m \sin (\omega t_1 + \theta + 90^\circ) \\
 &= V_m \cos (\omega t_1 + \theta)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots (12)$$

对(11)、(12)式进行下列(a)、(b)两种运算:

(a) $i_1 v_1 + i_2 v_2$

$$\begin{aligned}
 i_1 v_1 + i_2 v_2 &= I_m \sin \omega t_1 \cdot V_m \sin (\omega t_1 + \theta) + I_m \cos \omega t_1 \cdot V_m \cos (\omega t_1 + \theta) \\
 &= -\frac{1}{2} I_m V_m [\cos (\omega t_1 + \omega t_1 + \theta) - \cos (\omega t_1 - \omega t_1 - \theta)] + \\
 &\quad + \frac{1}{2} I_m V_m [\cos (\omega t_1 + \omega t_1 + \theta) + \cos (\omega t_1 - \omega t_1 - \theta)] \\
 &= IV [\cos \theta - \cos (2\omega t_1 + \theta)] + IV [\cos \theta + \cos (2\omega t_1 + \theta)] \\
 &= 2IV \cos \theta \\
 &= I_m V_m \cos \theta \qquad \dots\dots (13a)
 \end{aligned}$$

式(13a)分别对 $i_1 v_1$ 、 $i_2 v_2$ 这两个三角函数的积进行积化和差的运算, 每个积包含常数项即直流分量和二次谐波分量, 这一过程的波形如图10所示。

对 $i_1 v_1 + i_2 v_2$ 也可以直接化为两角和或两角差的三角运算即

$$\begin{aligned}
 &i_1 v_1 + i_2 v_2 \\
 &= I_m V_m [\sin \omega t_1 \cdot \sin (\omega t_1 + \theta) + \cos \omega t_1 \cdot \cos (\omega t_1 + \theta)] \\
 &= I_m V_m [\cos (\omega t_1 - \omega t_1 - \theta)] \\
 &= I_m V_m \cos \theta \qquad \dots\dots (13b)
 \end{aligned}$$

上述两种不同运算方法虽然都得到同样的结果, 但其物理意义却不一样。积化和差的运算过程看上去似乎复杂, 可是它表达了非常有趣、有用的物理过程, 首先这种运算方式符合计算机的程序设计, 是计算机进行数据处理的实际步骤, 即对 t_1 时刻采集的 $i_1 v_1$ 立即进行乘法运算并将这一中间结果($i_1 v_1$)送入RAM中, 然后延迟90°进行 i_2, v_2 采样, 并重复 $i_2 v_2$ 这一乘法运算和存储操作。这些中间值虽然都是一些唯一的特定数值, 但解析地看去, 每个中间积等于常数和二次谐波分量的和或差。其次是算法本身体现了

数字滤波的功效。对上面的运算过程，对于 90° 采样，把两个中间乘积相加就消去了由于运算产生的二次谐波。不难看出，如果把上面两个中间积相减即：

$$i_2 v_2 - i_1 v_1 = IV \cos(2\omega t_1 + \theta), \quad \dots\dots (14)$$

这就成了二次谐波发生器。可见算法的数字滤波作用是多么灵活、巧妙。复杂的计算机保护常常采用专门的程序设计进行数字滤波，也可以在取得判定值的运算中实现数字滤波。

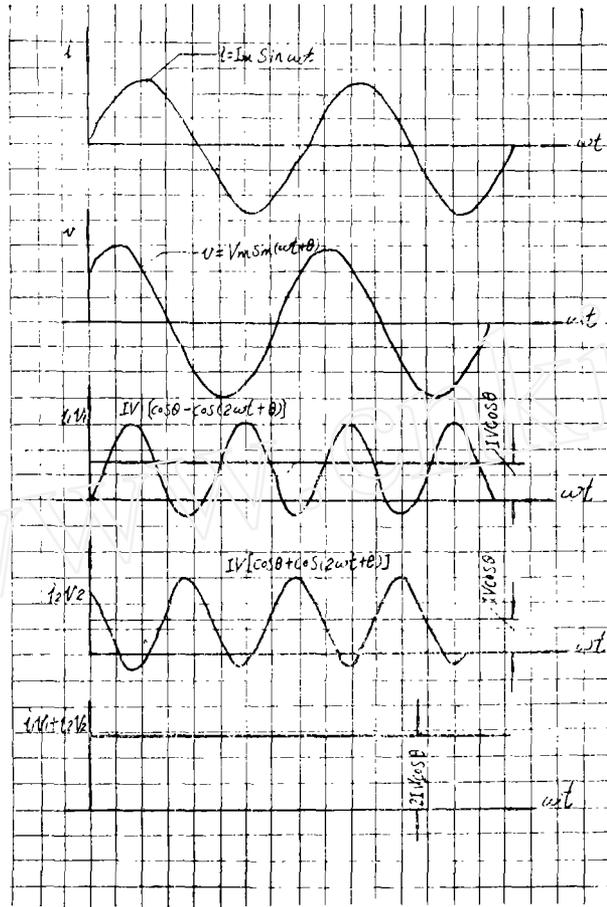


图 10

(b) $i_2 v_1 - i_1 v_2$ 运算

$$\begin{aligned} i_2 v_1 - i_1 v_2 &= I_m \cos \omega t_1 \cdot V_m \sin(\omega t_1 + \theta) - \\ &\quad - I_m \sin \omega t_1 \cdot V_m \cos(\omega t_1 + \theta) \\ &= \frac{1}{2} I_m V_m [\sin(2\omega t_1 + \theta) + \sin \theta] - \\ &\quad - \frac{1}{2} I_m V_m [\sin(2\omega t_1 + \theta) - \sin \theta] \\ &= 2IV \sin \theta \end{aligned}$$

$$= I_m V_m \sin \theta \quad \dots\dots (15)$$

在继电保护中，式(13a)或(13b)是功率方向继电器的判据；在电工测量中它是测量有功功率的公式，式(15)为测量无功功率的公式。

此外，还能求得下列各种参数

$$\text{视在阻抗值} \quad Z^2 = \frac{V_m^2}{I_m^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2}{i_1^2 + i_2^2} \quad \dots\dots (16)$$

$$\text{阻抗角} \quad \tan \theta = \frac{I_m V_m \sin \theta}{I_m V_m \cos \theta} = \frac{i_2 v_1 - i_1 v_2}{i_1 v_1 + i_2 v_2}$$

$$\theta = \arctan \left(\frac{i_2 v_1 - i_1 v_2}{i_1 v_1 + i_2 v_2} \right) \quad \dots\dots (17)$$

$$\text{电阻} \quad R = \frac{V_m}{I_m} \cos \theta = \frac{I_m V_m \cos \theta}{I_m^2} = \frac{i_1 v_1 + i_2 v_2}{i_1^2 + i_2^2} \quad (18)$$

$$\text{电抗} \quad X = \frac{V_m}{I_m} \sin \theta = \frac{I_m V_m \sin \theta}{I_m^2} = \frac{i_2 v_1 - i_1 v_2}{i_1^2 + i_2^2} \quad (19)$$

$$\text{视在功率} \quad S^2 = (I_m V_m \cos \theta)^2 + (I_m V_m \sin \theta)^2$$

$$= (i_1 v_1 + i_2 v_2)^2 + (i_2 v_1 - i_1 v_2)^2 \quad \dots\dots (20)$$

(2) 任意角度，连续两点采样法：

设两个连续采样点间的时间间隔为 Δt ，相应的相角差为 $\omega \Delta t$ ，采样值为：

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= I_m \sin \omega t_1 \\ v_1 &= V_m \sin (\omega t_1 + \theta) \\ i_2 &= I_m \sin (\omega t_1 + \omega \Delta t) \\ v_2 &= V_m \sin (\omega t_1 + \theta + \omega \Delta t) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (21)$$

利用上述两组采样值，进行乘法及加、减运算可以求得：

$$I_m^2 = \frac{i_1^2 + i_2^2 - 2i_1 i_2 \cos \omega \Delta t}{\sin^2 \omega \Delta t} \quad \dots\dots (22)$$

$$V_m^2 = \frac{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1 v_2 \cos \omega \Delta t}{\sin^2 \omega \Delta t} \quad \dots\dots (23)$$

$$I_m V_m \cos \theta = \frac{i_1 v_1 + i_2 v_2 - (i_1 v_2 + i_2 v_1) \cos \omega \Delta t}{\sin^2 \omega \Delta t} \quad \dots\dots (24)$$

实际上式(7)、(10)是在 $i = v_1$ ， $\omega \Delta t = 90^\circ$ 将其代入(22)，(23)的结果，即单一输入信号的特例，式(13a)或(13b)是在 $\omega \Delta t = 90^\circ$ 将其代入(24)的结果。即复合量 90° 采样的结果。

2. 三积法：利用三个连续采样值分别进行乘法运算，再对其积进行加减运算从而得出保护动作值或特性的方法，或称三点采样法。如同两积法一样，输入信号可以是单一量也可以是复合量。三积法应用最多的是 30° 采样，即600Hz采样频率。当然可以用任意角度来采样。

(1) 30° 三点采样法：

a. 单个输入信号

设交流输入信号为工频正弦波电流即 $i = I_m \sin \omega t$ 。分别在任一瞬时 t_1 或相角 ωt_1 、

滞后 30° 即 $(\omega t_1 + 30^\circ)$ 及滞后 60° 即 $(\omega t_1 + 60^\circ)$ 进行采样, 相应的三个采样值为:

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= I_m \sin \omega t_1 \\ i_2 &= I_m \sin (\omega t_1 + 30^\circ) \\ i_3 &= I_m \sin (\omega t_1 + 60^\circ) \end{aligned} \right\} \dots\dots (25)$$

对上式进行 $(i_1^2 - i_2^2 + i_3^2)$ 运算, 可以演算得出:

$$\begin{aligned} i_1^2 - i_2^2 + i_3^2 &= I_m^2 \sin^2 \omega t_1 - I_m^2 \sin^2 (\omega t_1 + 30^\circ) + I_m^2 \sin^2 (\omega t_1 + 60^\circ) \\ &= I^2 \end{aligned} \dots\dots (26)$$

同样, 对输入信号为正弦电压量得出:

$$v_1^2 - v_2^2 + v_3^2 = V^2 \dots\dots (27)$$

b. 复合输入信号

设 $i = I_m \sin \omega t$, $v = V_m \sin (\omega t + \theta)$, 按照上述同样方法, 采集以下三组三个连续采样值:

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= I_m \sin \omega t_1, & v_1 &= V_m \sin (\omega t_1 + \theta) \\ i_2 &= I_m \sin (\omega t_1 + 30^\circ), & v_2 &= V_m \sin (\omega t_1 + \theta + 30^\circ) \\ i_3 &= I_m \sin (\omega t_1 + 60^\circ), & v_3 &= V_m \sin (\omega t_1 + \theta + 60^\circ) \end{aligned} \right\} \dots\dots (28)$$

对上式进行 $(i_1 v_1 - i_2 v_2 + i_3 v_3)$ 运算后得出:

$$VI \cos \theta = i_1 v_1 - i_2 v_2 + i_3 v_3 \dots\dots (29)$$

在单个输入量时, $i = v$, 即 $\theta = 0^\circ$, 将此代入式(29)即得到式(26)或(27)之结果。

(2) 任意角度复合量连续三点采样法:

设采样频率为某一固定值, 两个相邻采样点的时间间隔为 Δt , 与此相应的相角差为 $\omega \Delta t$, 则三组连续三点采样值为:

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= I_m \sin \omega t_1, & v_1 &= V_m \sin (\omega t_1 + \theta) \\ i_2 &= I_m \sin (\omega t_1 + \omega \Delta t), & v_2 &= V_m \sin (\omega t_1 + \theta + \omega \Delta t) \\ i_3 &= I_m \sin (\omega t_1 + 2\omega \Delta t), & v_3 &= V_m \sin (\omega t_1 + \theta + 2\omega \Delta t) \end{aligned} \right\} \dots\dots (30)$$

对其乘积进行加、减运算, 可以得出:

$$I_m^2 = \frac{i_1^2 - 2i_2^2 \cos 2\omega \Delta t + i_3^2}{2\sin^2 \omega \Delta t} \dots\dots (31)$$

$$V_m^2 = \frac{v_1^2 - 2v_2^2 \cos 2\omega \Delta t + v_3^2}{2\sin^2 \omega \Delta t} \dots\dots (32)$$

$$I_m V_m \cos \theta = \frac{i_1 v_1 - 2i_2 v_2 \cos 2\omega \Delta t + i_3 v_3}{2\sin^2 \omega \Delta t} \dots\dots (33)$$

(二) 微分方程算法

对于输电线路继电保护, 距离保护是一种传统的典型保护方式, 即测量输电线路阻抗 Z (或 $R + jX$)来判定系统故障。因为在系统频率不变的稳态时, 阻抗值代表线路参数, 它正是确定系统故障的参数。传统的阻抗测量方法是利用工频正弦量计算得到的。但是在线路短路时, 常常伴随着带有衰减的直流分量和高频分量的过渡过程。

对于大多数工程应用来说, 输电线路可以基本上用 $R-L$ 模拟单元及其级联电路来

代表。所谓基本上即忽略由于系统分布电容或串补电容所带来的误差。这样，就能用下列微分方程式来描写输电系统即：

$$v = Ri + L \frac{di}{dt} \quad \dots\dots (34)$$

v, i 为故障过程中任一时刻的电压、电流瞬时值， R, L 为保护安装点与故障点之间系统的电阻、电感值。求出故障条件下的 R, L 值（或 $Z = R + jX$ ）并与整定阻抗 Z_s 进行比较，从而判定动作与否。式（34）中有两个未知数 R, L ，为能得到唯一的解，应有两个联立方程式，即用两个不同时刻电流、电压的两组采样值 $i_1, v_1; i_2, v_2$ 再求出相应的 $\frac{di}{dt}$ 就能解决问题。

显然微分方程式适用于稳态和暂态两种情况，即暂态过程中衰减的直流分量和高频分量均在考虑之内。

解微分方程法是学者们实践距离保护最乐于采用的算法，按照求解微分方程方法的不同可以有不同的算法，例如澳大利亚 A. D. McInnes 和 I. F. Morrison 首先提出微分方程算法并用积分法或梯形近似法求解微分方程；简称 M—M 法；另一个算法是美国通用电气公司和费城电力公司的 W. D. Breingan, M. M. Chen, 和 F. F. Gallen 提出的用差分法求解微分方程的算法，简称 BCG 算法。

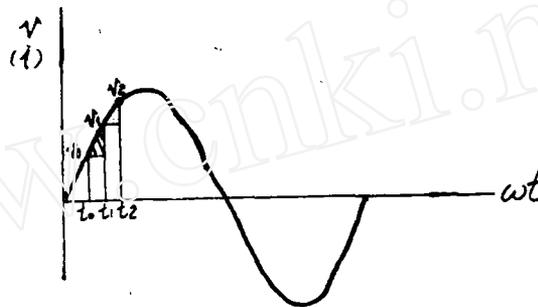


图 11

1. M—M 算法：积分式解微分方程算法。

设故障时电压波形如图11所示，在 t_0, t_1, t_2 时刻三个连续采样值为 v_0, v_1, v_2 (i_0, i_1, i_2)，将第一个采样周期 ($t_1 - t_0$) 的电气参数标以 A，第二个采样周期 ($t_2 - t_1$) 标，用相应采样周期内的平均值代替瞬时值，电流的差分值代替平均值，则下列微分方程仍然成立，

$$\left. \begin{aligned} V_A &= RI_A + L \frac{\Delta I_A}{\Delta t_A} \\ V_B &= RI_B + L \frac{\Delta I_B}{\Delta t_B} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (35)$$

式中 V_A, V_B, I_A, I_B 为相应采样周期内电压、电流的平均值，求这些平均值时，用积分法，并用梯形接近法代替积分。

对周期 A

$$\begin{aligned} V_A &= \int_{t_0}^{t_1} v dt \\ &= v_0 \Delta t + \frac{1}{2} (v_1 - v_0) \Delta t \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2} (v_0 + v_1) \Delta t \quad \dots\dots (36)$$

$$i_A = \int_{t_0}^{t_1} i dt$$

$$= i_0 \Delta t + \frac{1}{2} (i_1 - i_0) \Delta t$$

$$= \frac{1}{2} (i_0 + i_1) \Delta t \quad \dots\dots (37)$$

$$\frac{di_A}{dt_A} = \frac{\Delta I_A}{\Delta t_A} = \frac{i_1 - i_0}{\Delta t} \quad \dots\dots (38)$$

同样, 对周期B可得出:

$$V_B = \frac{1}{2} (v_1 + v_2) \Delta t \quad \dots\dots (39)$$

$$I_B = \frac{1}{2} (i_1 + i_2) \Delta t \quad \dots\dots (40)$$

$$\frac{di_B}{dt_B} = \frac{\Delta I_B}{\Delta t} = \frac{i_2 - i_1}{\Delta t} \quad \dots\dots (41)$$

将式(36)~(41)代入(35)解得:

$$L = \frac{\Delta t [(i_1 + i_2)(v_0 + v_1) - (i_0 + i_1)(v_1 + v_2)]}{2 [(i_1 - i_0)(i_1 + i_2) - (i_0 + i_1)(i_2 - i_1)]} \quad \dots\dots (42)$$

$$R = \frac{(i_1 - i_0)(v_1 + v_2) - (i_2 - i_1)(v_0 + v_1)}{(i_1 + i_2)(i_1 - i_0) - (i_0 + i_1)(i_2 - i_1)} \quad \dots\dots (43)$$

2. BCG算法: 即差分法解微分方程算法

此法特点是用算术平均值计算两个采样周期内电流、电压平均值从而将微分方程式转化为代数方程式以求解R、L即:

$$\left. \begin{aligned} V_A &= \frac{1}{2} (v_0 + v_1) \\ I_A &= \frac{1}{2} (i_0 + i_1) \\ V_B &= \frac{1}{2} (v_1 + v_2) \\ I_B &= \frac{1}{2} (i_1 + i_2) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (44)$$

将式(44)、(38)、(41)代入(35)求得R、L, 为简化其表达式, BCG采取以下定义:

$$\left. \begin{aligned} C_A &= i_0 + i_1 & C_B &= i_1 + i_2 \\ V_A &= v_0 + v_1 & V_B &= v_1 + v_2 \\ D_A &= i_1 - i_0 & D_B &= i_2 - i_1 \\ D_T &= t_1 - t_0 = t_2 - t_1 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (45)$$

则:

$$L = \frac{D_T \left(V_A - \frac{V_B \cdot C_A}{C_B} \right)}{2 \left(D_A - \frac{D_B \cdot C_A}{C_B} \right)} \quad \dots\dots (46)$$

$$R = \frac{\frac{D_A \cdot V_B}{C_B} - \frac{D_B \cdot V_A}{C_B}}{D_A - \frac{D_B \cdot C_A}{C_B}} \quad \dots\dots (47)$$

实际上(42)与(46)，(43)与(47)是不同形式的同一算式。这些方程式是根据电流、电压采样值进行程序设计的依据。

实际的输电线路，由于存在分布电容，与R、L模拟电路有些不同，分布电容会带来高频瞬变，但它们常常是短暂的，可以用滤波电路滤掉，因而上述方法在工程上仍是一种使用比较广泛的算法。

(三) 采样及其导数算法：

如前所述，对于工频正弦函数与余弦函数互为导数的数学结论，发展了异步采样的理论与式(1)~(4)相似，对于正弦电压信号有：

$$\begin{aligned} v &= V_m \sin(\omega t + \theta) \\ \frac{dv}{d(\omega t)} &= V_m \cos(\omega t + \theta) \\ V_m^2 &= v^2 + v'^2 \\ \theta &= \arcsin\left(\frac{v}{V_m}\right) \end{aligned} \quad \dots\dots (48)$$

因为采样数据本身不含该时刻的导数信息，需计算得出。在计算微分值电压、电流时采用差分值近似代替微分值的方法。如图12所示：

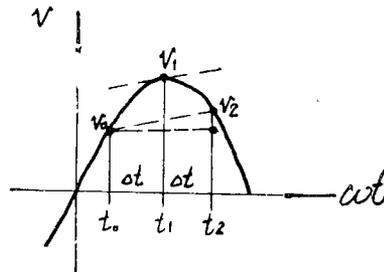


图12 差分法近似求导

如在求 t_1 时刻的导数时，要用该点两侧采样数据 v_2, v_0 ，用差分求出即：

$$v' = \frac{1}{2\Delta t} (v_2 - v_0) \quad \dots\dots (49)$$

PRODAR 70用采样数据及其一阶、二阶差分算法，而不用采样值和一阶差分值算法，

$$v'' = \frac{1}{\Delta t} \left[\frac{(v_2 - v_1)}{\Delta t} - \frac{(v_1 - v_0)}{\Delta t} \right]$$

$$= \frac{1}{\Delta t^2} (\nu_2 - 2\nu_1 + \nu_0) \quad \dots\dots (50)$$

从而得出:

$$\begin{aligned} V_m^2 &= v'^2 + v''^2 \\ \theta_v &= -\arctan\left(\frac{v''}{v'}\right) \\ I_m^2 &= i'^2 + i''^2 \\ \theta_i &= -\arctan\left(\frac{i''}{i'}\right) \quad \dots\dots (51) \\ Z^2 &= \frac{V_m^2}{I_m^2} = \frac{v'^2 + v''^2}{i'^2 + i''^2} \\ \theta &= \arctan\left(\frac{i''}{i'}\right) - \arctan\left(\frac{v''}{v'}\right) \end{aligned}$$

用二阶差分可以减小衰减的非周期分量和低频分量的影响。当然, 另一面也增强高频分量的影响, 前已说明, 可用低通滤波进行预处理。

在算法中存在着 $\omega \Delta t$ 的除法运算, 因而消耗不少指令周期, 在巧妙的设计中取 $\omega \Delta t$ 为 2 或其整数倍则除法就能简化为移位操作。

微分算法不仅在计算机保护中 useful, 还可用来求得系列稳定判据如:

$$\frac{di}{dt}, \frac{dv}{dt}, \frac{d^2i}{dt^2}, \frac{d^2v}{dt^2}, \frac{dp}{dt}, \frac{d^2p}{dt^2}, \frac{dQ}{dt}, \text{ 及 } \frac{d^2Q}{dt^2} \text{ 等非常有用。}$$

(四) 正弦曲线拟合算法:

与积型算法相似, 当输入信号为正弦波电流、电压时, 用任意采样频率进行三点连续采样, 相应的三组电流、电压采样值为 $i_1, i_2, i_3, v_1, v_2, v_3$ 如式 (30) 所示, 可以赖以进行不同的运算得到保护的判据。

美国宾夕伐尼亚州电力与照明公司首次提出并用于计算短路阻抗。例如分别对式 (30) 采样值进行 $i_3v_2, i_2v_3, i_2, i_1i_3, i_2v_2, i_1v_3$, 和 i_3v_1 等乘法运算, 即可求出 R, X 值。则:

$$X = Z \sin \theta = \frac{v_2 i_3 - v_3 i_2}{i_2^2 - i_1 i_3} \sin \omega \Delta t \quad \dots\dots (52)$$

$$R = Z \cos \theta$$

$$= \frac{2i_2 v_2 - i_1 v_3 - v_1 i_3}{2(i_2^2 - 2i_1 i_3)} \quad \dots\dots (53)$$

可以将式 (30) 的 6 个正弦函数采样值代入式 (52)、(53) 运算化简拟合得出这一算法。正弦曲线拟合法, 需三个采样值, 可以用较高频率快速采样, 因而速度快, X 随 $\sin \omega \Delta t$ 而改变。当然这一算法假定信号为正弦波, 因而系统故障暂态过程将带来一定测量误差。

五、 结 语

在我国微处理机继电保护方面的研制工作起步较晚，作为基础的微处理机及其接口部件硬件技术也还处于开发阶段，芯片型谱不全，价格贵，质量不理想。多数继电保护专业人员对微处理机特别是软件系统，计算机语言尚存在着知识更新的问题。但迅速发展中的微机技术已经深深地吸引着广大的继电保护工作者，并已经开始研究试验工作，在本项工作中本人体会到需注意处理以下问题。

1. 对微机保护的研究课题和方案应进行充分论证，根据我国实际情况，吸取国外的经验教训，研究工作要面向生产，结合实际，宜于两条腿走路。一是应用微机研制各种单一功能的保护继电器，其直接目标为研制与晶体管保护相应的单个继电器如距离、差动，功率方向，过流反时限等继电器。国外在经历了一段弯路后才认识到这一点的。这类微机继电器基本上是标准化的硬件电路结构，只是应用程序不同而已，其二是微机式（或小型计算机）保护系统或保护控制合一的系统。这类系统考虑因素多，涉及面广，可靠性更突出，国外多采用多微式分布系统或分层结构的设计思想，例如各类变电所的保护、控制等。

2. 在选择微机机型时，应从提供的指令系统，平均指令周期和价格等几个方面予以权衡。根据要完成的保护功能结合实际选型。对于像距离保护、差动保护这些比较复杂的保护，要求精度高，速度快，数据处理量大（特别是乘、除法运算）常常要求16位和16位机，或快速双字节运算的8位机。对于过流定时限、反时限和其它后备保护实现起来相对容易，可考虑用8位和8位机。因为有时精度的小幅度提高则以要用16位机，高分辨率A/D变换器和消耗很多指令周期因而降低了速度为代价。

3. 高指标、高可靠的输入、输出接口电路是关系到保护性能的关键部份，也是常常受忽视的薄弱环节，研制人员不得不花大量精力做这工作。例如研制集成化12位A/D高速变换器，高指标隔离放大器等功能组件对保护的静态、动态特性，抗干扰等是至关重要的。目前设计人员常常没有选择的条件，只能有什么用什么，更不能像国外那样研制继电保护专用的CPU，或带乘法、除法微程序的CPU，这是个很大限制。

4. 加强对微机保护算法研究进行数字滤波的理论和应用开发，加速知识更新，要掌握计算机的语言和程序设计等基本功，这样微机保护就能在坚实基础上得到快速发展。