

西安交通大学 葛耀中

## 前 言

目前微型计算机的应用已渗入到电力系统调度自动化,发电厂和变电所的控制、继电保护和安全自动装置、运动、测量和通讯等各个领域,显示出巨大的优越性和生命力,受到生产运行单位的欢迎。

微机在电力系统继电保护和控制中的应用无疑将带来重大的技术变革,使保护装置和控制系统的面目为之一新,为适应这一新发展形势的需要,产生了“微机在继电保护和控制中的应用基础”讲座的想法,希望这一讲座能对开始入门的读者有所裨益。

实际上,微机在继电保护和控制中的应用基础包含有广泛的理论和实际内容,这里当然不可能一一涉及,本讲座的内容仅限于对与电力系统微机保护和控制系统有关的基本内容和一些具有共性的问题进行讨论,以便为进一步学习和掌握具体的微机保护装置和控制系统打下初步基础,并为进一步学习较深入的专著和文献作些准备。

本讲座共分五章。第一章概略地介绍微机保护和控制系统及其优点、现状及发展前景。第二章是基础知识,讨论有关离散时间系统的基本概念和数字信号处理的基本方法。第三章简要地介绍硬件系统的构成。第四章讨论电气量的算法。第五章是微机保护和控制系统举例。本讲座的重点是第二、四两章的内容。

为了便于长期从事生产运行的工程技术人员掌握本讲座的内容,注意到讲解的通俗性和加强基本概念的解释。由于水平有限,一定难免有错误和不妥之处,恳切希望得到批评指正。

## 第一章 绪 论

## §1—1 数字式继电保护和控制系统的优点

数字计算机已开始电网调度自动化、厂站控制、继电保护和安全自动装置、通讯、运动及测量等广泛的领域内应用。近年来,微处理器和微型计算机的迅速发展为数字式继电保护和控制系统的发展提供了更为有利的条件,利用微机构成的各种数字式继电保护装置和控制系统如雨后春笋般地生长起来,并开始电力系统中实际应用。国内外的现状表明,数字式继电保护和控制系统在电力系统中的大量推广应用已为期不远了。

在这里会很自然地产生一个问题：为什么在电力系统中要采用微机继电保护和控制系统呢？我们不是才用静态继电器逐步取代机电式继电器吗？下面我们从数字式继电保护和控制系统的优点来回答这个问题。

### 一、可靠性

可靠性是继电保护的生命之说一点也不过份。60年代在我国电力系统中开始采用半导体保护装置所遇到的主要问题是可靠性。经过多年研究和总结经验解决了这一问题，使半导体保护得到了发展和推广应用。现在我们已面临开始考虑使用微机保护和控制系统了，它们是否可靠当然是首先关注的问题，为了说明微机保护和控制系统可以具有更高的可靠性，让我们从以下几个方面进行讨论：

#### 1. 微机具有优越的自诊断能力

微机具有实时自诊断能力为提高装置可靠性提供了极为有利的条件。我们知道，在半导体继电保护和自动装置中，为了提高可靠性都附有自动检测装置，运行经验证明，自动检测装置提高了可靠性的实际效果。例如，日本东京电力公司1972—1978年间高压系统半导体继电保护装置发生过147次故障，其中有129次故障是由自动检测发现的。值得指出的是，计算机的自诊断系统比半导体保护的自检系统具有更多的优点，表现在：

(1) 为了达到自诊断的目的只需增加少量的硬件设备，其主要任务则可由程序完成。这意味着不仅可以减少费用，更有意义的是可以免除由于增加大量硬件本身可能引入的降低可靠性的因素。

(2) 自动诊断是在经常地、不中断保护运行的条件下进行的。在半导体保护装置中的自动监视可经常进行，而自动检测往往要同时退出保护，在微机保护和控制系统中，自诊断是不断进行的，可以在每个采样间隔内（约1~5ms）检查一次，这就及时发现故障，随时进行处理。

(3) 可以利用数字数据构成精确的自动检测系统。

#### 2. 采用大规模集成电路

目前，静态模拟式继电保护装置和控制系统正由集成电路取代分立元件的半导体电路。采用集成电路的突出优点之一是可以提高整套保护装置的可靠性。由于分立元件半导体装置中包括有大量的元件和为数众多的焊点，而每一个半导体器件和焊点都有一定故障率，分析研究结果表明，用分立元件构成的复杂的保护和控制装置已不能满足可靠性的要求，出路在于集成化了。由此可以推断，大规模集成电路的可靠性必然会比中、小规模集成电路的可靠性更高，保护装置和控制系统的微机化是一个必然的趋势。

#### 3. 数字化

微机保护和控制系统是数字式的，与模拟式相比，数字式在原理上可以消除半导体保护中由于年长日久或其它一些因素引起的保护特性的变化。由于微机是在1、0两个状态下工作的，因而能保证更精确和稳定的运行条件。

以上我们讨论了采用微机后可提高装置可靠性的有利方面，但如果我们忽视了采用微机的不利方面，仍然不能保证可靠性。

首先应该注意到微机保护和控制系统工作环境条件十分恶劣的特点。微机保护和控

制系统处于存在有强大干扰的发电厂和变电站内，比较突出的干扰有电磁干扰、无线电频率干扰和地电位差的干扰等。与此同时，微机装置又工作于弱信号和脉冲数字状态。不难想像，任何一个数码在干扰的作用下翻转都有可能导致严重的不良后果。正因为这样，所以对微机装置的抗干扰能力提出了严格的要求。

微机装置的干扰来自外部和内部两个方面。对于外部干扰，主要采用电磁屏蔽和光电隔离等方法不让它们侵入到装置内部。在装置的模拟量或数字量输入回路中都要严格地采用相应的措施。来自电源的干扰尤应重视，采用性能良好的逆变电源能解决这个问题。内部干扰产生于装置内部，通常广泛采用的措施是退耦电容器。目前在微机装置中主要是从硬件和软件两个方面同时采取措施以达到提高可靠性的目的。

## 二、新特性，多功能

我们知道，微机的特长表现在它具有快速运算能力、逻辑判断能力和记忆能力，充分发挥上述能力就可以获得模拟式装置无法实现的新特性和多功能的效果。

微机保护和控制系统的功能很容易由程序实现，因此微机保护又可称为可编程程序保护。微机保护的构成原理突破了模拟式通常采用的比较电气量幅值和相位的方法，可以直接利用反映实际物理过程的数学模型实现装置。因此就有可能实现模拟式保护不能做出的新特性，同时也为开发新原理提供了可能。诸如高精度的频率继电器，反应故障分量的各种方向继电器，具有更为理想的距离保护和测距装置以及行波保护装置都可用微机构成。

多功能是微机装置的另一个引人注目的特点，在微机保护装置中很容易引入保护以外的其它功能，例如，事件记录和故障测距等都具有较大的实际意义和经济效益。这些都是利用软件实现的，基本上不需要增加硬件设备。

## 三、灵活性

微机装置的灵活性主要表现在可用编制程序来改变继电保护特性和控制特性上。换句话说，利用同一套硬件系统可以用改变程序的方法构成不同类型的保护装置，对模拟式保护来说，这一点是无法做到的。因此，微机装置硬件的通用性是灵活性的突出表现。

微机装置的灵活性还表现在能适应电力系统结构和运行方式的变化。充分发挥微机的特长，完全有可能构成性能更为完善的保护装置和控制系统。

## 四、经济性

在满足技术要求的前提下，经济性往往起着决定性的作用。实际上，对经济性的评价是多方面的，其中应该不仅包括装置本身的费用，而且也应包括运行维护费用等方面，因而经济性是一个综合性的指标。

首先讨论装置费。装置费由硬件和软件两种费用组成。随着大规模集成电路技术的发展和微型计算机的广泛应用，微机硬件的价格日益下降，与此相反，随着电力系统对保护装置的要求的提高，模拟式保护的价格却不断增加。例如，国外在1970年用小型计算机构成的保护装置的价格为10万美元，而1979年用微机则下降到1万美元，十年间便宜了十倍。相反地，线路的模拟式保护装置的价格在同一时期却增加1倍左右。软件费

用主要是新装置的研制费用。软件费用具有一次投资的性质，软件一旦编制完成，就可用到大量生产中去。因此，生产量越大的产品，每个产品的软件费越小。此外，多功能化使微机保护和控制在经济性方面处于更为有利的地位。

从运行维护费用看，微机装置也较常规静态保护少。由于微机的自诊断能力，能及时发现故障，使维护工作量为减少。而改变定值和调试方便则更是微机保护和控制在装置具有的特点。例如，在用母联开关代替线路开关时，利用常规的静态保护装置常需停电相当长的时间进行装置的定值试验和调整，而在采用微机装置的情况下，定值调整可简便地在装置上用开关操作进行，其调试结果是否正确也可由打字机及时输出，由此而带来的缩短停电时间和节省人力的经济效果也是很可观的。

### 五、小型化和功率消耗

微机的应用可进一步减少保护和控制的尺寸，达到小型化的目的。现已作出的微机装置的体积约为同类型半导体装置的 $1/2\sim 1/3$ ，相应地带来了经济效果。

微机保护和控制在装置所需的交流功耗甚小，这就使采用非常规的、性能更为理想的电压、电流变换器成为可能、利用光导的新测量方法将会大量节省测量变压器、变换器，开关布线和电缆。

综上所述，数字式继电保护和控制系统与半导体静态保护和控制在装置相比有一系列的优点，只要充分发挥微机的特长，并重视提高可靠性的措施，数字式继电保护和控制系统就一定会得到迅速的发展。

## §1—2 微机保护和控制在装置的基本概念

与目前广泛采用的模拟式保护在装置相比，微机保护的主要特点是从电力系统被保护对象输入的模拟量经“模—数”变换器变为数字量，再由微机对此数字量进行处理和判别故障。因此，微机保护和控制在装置由硬件和软件两大部分组成。硬件部分除微机外还有许多外围部件，各输入量变换器，模拟滤波器，采样保持器，多路转换开关，输出回路等。软件部分主要是保护程序和监控程序等。有关上述问题以后还要讨论，这里仅从建立数字式装置的基本概念出发进行简要的说明。数字式保护和控制在装置的方框图如图1—1所示。



图1—1 数字保护和控制在装置的方框图

由被保护或控制在对象输入的是模拟量 $A_s$ ，经过采样保持器将连续时间信号（模拟信号）变为离散时间信号，再经过模—数变换器（A/D）变为数字信号，数字信号进入微机后由微机根据已编好的程序对数字信号进行处理和将处理结果输出，对被控制在对象发出控制信号。下面对上述过程作进一步说明。

### 一、采样过程

采样过程如图1—2所示。采样就是周期性地每隔 $T$ 秒读出一数据，把连续时间信号

$A_{sr}$ 变为离散时间信号 $A_{sr}^*$ 。应该指出，离散时间信号 $A_{sr}^*$ ，在时间上虽是离散的，但仍然是离散时间的模拟量，因为信号的幅值可以取连续范围内的任意数值。采样脉冲通常都作得很窄，以便在空余的时间内供其它信号使用。为了与A/D作用相配合，每个采样值都保持下来，直到下一个采样值为止。采样值进入A/D变换器。

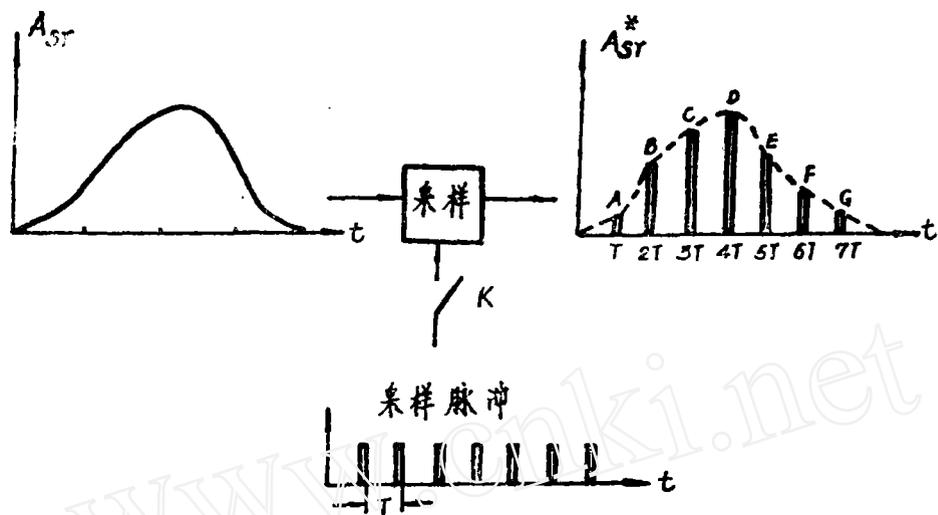


图1—2 采样过程

## 二、模—数变换 (A/D)

模拟采样信号 $A_{sr}^*$ ，经量化和编码变为数字量的总过程称为模—数变换过程。

### (一) 量化

量化的目的就是将可以连续取值的信号 $A_{sr}^*$ 的幅值，按四舍五入的原则变为某一化整的离散值。图1—3 (a) 示出这一过程。

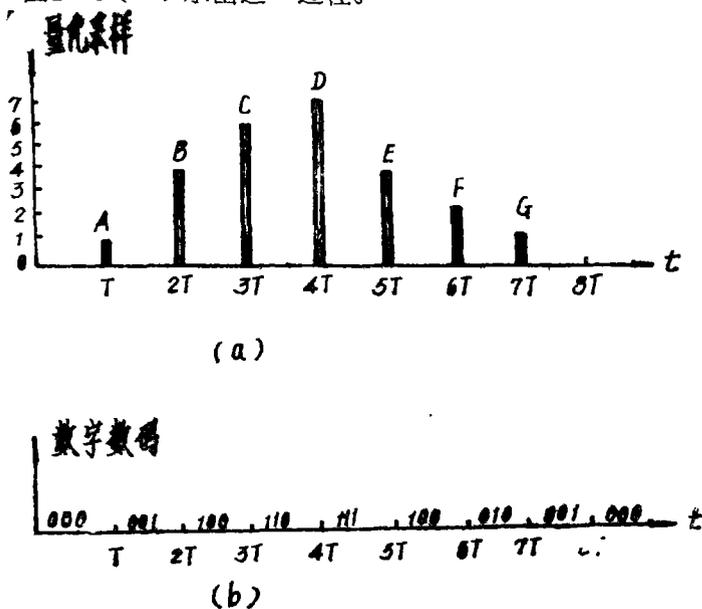


图1—3 数—模变换过程 (a) 量化 (b) 编码

图(a)中示出信号电压可从0V到8V的整数取值,共分为8级。按照四舍五入的原则取整数后,图中各采样值化整为 $A=1$ , $B=4$ , $C=6$ , $D=7$ , $E=4$ , $F=2$ , $G=1$ 。在此基础上就可进行编码。

### (二) 编码

编码就是将十进制数变为二进制数,编码结果示于图1—3(b)中,编码后输出的就是在时间上和幅值上都经过量化的数字信号。

由A/D输出的数字信号进入微机中去。

### 三、微机

由A/D输出的数字信号通常存入微机的随机存储器(RAM)中,不难想像,这时储存下来的是一组被量化的采样值。随后微机将根据事先输入的保护或控制程序对此数字信号进行处理,实时输出判断结果达到保护或控制的目的。

## §1—3 微机在继电保护和控制中的应用概况

数字计算机用于电力系统调度和控制研究始于1965年,计算机继电保护和变电站控制是从60年代后期开始研究的,当时处于小型计算机时代,有些早期的研究工作是考虑用一台小型计算机实现整个变电站的继电保护任务,在当时的条件下,这种集中使用价格昂贵的小型计算机的设想是合乎逻辑的。此后,在使用计算机实现继电保护和变电站控制的问题上曾有“集中”和“分散”两种不同方式的争论。由于大规模集成电路技术的飞跃发展,在70年代随着微型计算机开始广泛应用,这一争论得到了解决。考虑到继电保护对可靠性和动作速度要求较高和需用处理的信息数量不大等特点,目前趋向以分散为主。在采用微型计算机实现保护时可以做到一机专用,同时也可与变电站集中使用的计算机联系起来,构成更为可靠和完善的保护和控制系统。当前为了充分发挥微型计算机的潜力,还在向一机多用的方面发展。

在数字式继电保护的研究工作中,线路继电保护(特别是距离保护)引起最为广泛的重视和兴趣。这是因为线路保护计算比较复杂,适于对计算机的计算能力进行考验和发挥微机的特长,此外,也因为线路保护的价格比较昂贵,更容易体现微机保护在经济方面的竞争力。近年来,国内外在电力系统微机保护的研究和开发工作方兴未艾;美、英、加拿大、西德、日本和澳大利亚等国在微机保护的研究上作了大量的研究和开发工作,而日本在微机保护的实用化方面走在最前列,1984年应用户要求,已由日立、东芝、三菱等大公司生产100台微机保护装置正式投入系统使用。

我国继电保护工作者从70年代末期开始注意到和研究微机保护,我国的对外开放政策为开展这项有意义的科研工作创造了十分有利的条件。国内不少高等院校和科研单位开展了微机保护的研究工作,已取得丰硕的成果。华北电力学院先后研制成的微机距离保护和微机成套线路保护具有特色。该装置除完成全部线路的主保护和后备保护功能外,还兼有综合重合闸,故障距离显示和电压、电流波形录取等多种功能。该装置的实际运行经验有力的证明了微机保护和控制装置的巨大优越性。

变电所的控制和保护问题具有其特殊性。变电所自动化控制系统主要包括以下四方

面的功能，它们是：控制，监视，继电保护和与电力系统调度或其它部分进行数据交换。为此需要研制一种既统一又灵活的模块系统以满足上述要求。现有装置的问题是费用高和功能重叠矛盾。微型计算机的使用为研制既经济又具备全部所要求的性能的模块系统成为可能。当然，重要的是采用新的、容量可以扩充的和更为经济的解决方法。

怎样实现一个性能完善的既可靠又经济的变电站自动化控制系统是当前研究和讨论的一个重要课题。采用模块系统的作法是比较一致的意见。目前采用的按功能分块的方案有被按出线分块取代的趋势，因为后者更便于发展和具有更高的可靠性。

在变电所自动化控制系统中采用分层结构是合理的。例如，变电所自动化控制系统可分为两层，各条出线（包括变压器）的控制、保护和监视按排在下层，变电所的控制、监视和母线保护按排在上层。设备的控制和保护都构成专用模块，任何故障只影响局部，即使变电所层出现故障，也不影响下层继续运行。

在变电所自动化控制系统的发展中的一个重要的动向是“变电所保护和控制一体化”的问题。目前出现的将变电所保护和控制一体化的设想方案虽然在技术上是可行的，然而对这些方案的可靠性、安全性、经济性和长期可用性问题正在深入讨论和研究。主张实现一体化的主要论点是保护装置和控制系统可以共用数据，从而会大大节省费用并提高保护和控制的性能。这种主张目前还难以被接受，然而新技术的不断出现和应用以及实践经验的不断积累将会为这一问题得出结论。

微机在电力系统调度和电厂自动化中也得到了广泛的应用。全国共有260多个电网调度机构，其中已有30个左右程度不同地实现了电网安全监视功能即信息的测量、传输、收集及处理。水电部在电网调度和电厂自动化“七·五”期间的奋斗目标是宏伟的。到“七·五”末期我国绝大部分220kV以上系统的电网调度和总容量约4000万kW的一大批水、火电厂的监控运行将达到国际七十年代末期的水平。这是一项艰巨的任务，我们只有不断提高自己的业务能力，学习新技术才能适应电力系统自动化的需要。

（下期待续）

（上接78页）

已采用国际标准和国外先进标准或者已达到发达国家七十年代末八十年代初的水平。大部份产品仍按低标准进行生产，即使百分之百是合格品，也仍然是落后产品。

要提高产品质量，必须加快采用国际标准步伐，迅速提高我国标准水平。国务院领导同志非常重视这项工作，赵紫阳总理作过多次重要指示，1986年1月赵总理在听取全国经济工作会议的情况汇报时又指出：“质量问题首先有个标准问题，国家标准都要采用国际标准。”

为了加快采用国际标准和国外先进标准的步伐，国家提出“七五”期间要有40%左右的主要工农业产品按国际标准和国外先进标准组织生产的目标。我们河南省提出了到一九九〇年末，全省主要产品要有50%左右采用国际标准和国外先进标准的规划。十分明显，贯彻、实现上述目标、规划是我们标准化工作的重要任务，全国各有关部门、工厂企业要互相配合，共同努力，保证规划的实现，为我国“四化”建设作出新贡献。

（注：参考文献：略）