

电动机智能化控制技术丛书

基于单片机的 电动机控制技术

张强 吴红星 谢宗武 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

TM320.12-51
538
1-1

电动机智能化控制技术丛书

基于单片机的 电动机控制技术

张强 吴红星 谢宗武 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



内容提要

单片机普遍应用于无线通信、消费电子、网络应用和工业控制领域。随着其数据处理能力的提高和对各种功能模块的集成,单片机以其灵活的控制功能在电动机控制系统中应用得非常广泛。本书将单片机的基本功能、硬件资源、接口技术与感应电动机、步进电动机、开关磁阻电动机、无刷直流电动机的原理、建模和控制技术等内容有机结合,并给出了以单片机为核心的电动机控制系统构成及编程的工程实例供读者参考。

通过本书的学习,读者可以掌握基于单片机的电动机控制系统基本组成和编程基本方法。本书可作为高校自动化专业、电气工程与自动化、电气工程及其自动化专业本科以及电力电子与电力传动专业研究生在电动机控制方面的参考书,对从事相关工作的工程技术人员也具有相当的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

基于单片机的电动机控制技术 / 张强, 吴红星, 谢宗武编著.
北京: 中国电力出版社, 2008
(电动机智能化控制技术丛书)
ISBN 978-7-5083-6833-7

I. 基… II. ①张…②吴…③谢… III. 电动机-单片微型
计算机-计算机控制 IV. TM321.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 034386 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
北京丰源印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2008 年 8 月第一版 2008 年 8 月北京第一次印刷
850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 10.625 印张 282 千字
印数 0001—3000 册 定价 19.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言



随着单片机数据处理能力的提高和对各种功能模块的集成,使其能够很好地满足电动机控制技术的发展对数字化技术的需求。因此,单片机在电动机控制系统中的应用日趋广泛,相应的硬件设计和软件编程技术也不断提高和完善。

目前,市场上针对各种单片机原理、功能和使用,以及各种电动机控制技术的书籍很多。但是每本书的侧重点不同,有的重点在于原理的介绍,有的重点在于实用技巧,因此对于初学者来说往往无从下手,从而浪费宝贵的学习时间。

本书针对常见的各种单片机和电动机,将单片机的基本功能、硬件资源、接口技术以及各种电动机的原理、数学模型和控制技术等内容有序地结合在一起,并给出了以单片机为核心构成的各种电动机控制系统实例,以供读者参考。

本书共分为八章,第一章介绍了电动机控制系统以及单片机在电动机控制系统中应用的发展现状。第二章介绍了常见的不同厂家、不同系列的单片机结构和功能。第三章介绍了单片机数字量的输入和输出,数字量和模拟量相互转化等基本控制通道。第四章介绍了单片机构成的电动机控制系统中的开关型功率接口技术。第五章~第八章分别介绍了目前常用的感应电动机、步进电动机、开关磁阻电动机、无刷直流电动机的基本原理、数学模型和控制方法以及由单片机构成的相关控制系统实例。

全书分别由张强、吴红星和谢宗武编写。编写过程中参考了一些其他作者的相关著作,在此向这些作者表示谢意!由于作者水平和经验有限,书中难免存在错误和疏漏,恳请指正。

编者

目 录



前言

第一章 绪论	(1)
第一节 电动机控制系统的发展和现状	(1)
第二节 单片机在电动机控制中的应用	(6)
第三节 单片机的发展	(9)
第二章 单片机的分类与原理	(16)
第一节 MCS-51 单片机	(16)
第二节 MCS-96 系列单片机	(21)
第三节 MSP430 系列单片机	(32)
第四节 PIC18 系列单片机	(47)
第五节 MC68HC11 系列单片机	(58)
第六节 Z8 系列单片机	(63)
第三章 单片机控制通道	(68)
第一节 开关量输入	(68)
第二节 开关量输出	(71)
第三节 模拟量输入	(73)
第四节 模拟量输出	(95)
第五节 过程通道设计及干扰抑制	(103)
第四章 单片机开关型功率接口	(107)
第一节 发光二极管(LED)驱动接口	(107)
第二节 光耦合器驱动接口	(122)
第三节 液晶显示器驱动接口	(128)
第四节 晶闸管及脉冲变压器驱动接口	(141)
第五节 继电器型驱动接口	(149)
第五章 基于单片机的感应电动机控制系统	(156)
第一节 感应电动机的数学模型	(156)

第二节	感应电动机的自然特性	(159)
第三节	感应电动机的调速方式	(161)
第四节	基于单片机的感应电动机的控制系统	(169)
第五节	感应电动机的控制芯片	(199)
第六章	基于单片机的步进电动机控制系统	(213)
第一节	步进电动机的控制方式	(213)
第二节	基于单片机的步进电动机控制系统	(219)
第三节	步进电动机的控制芯片	(238)
第七章	基于单片机的开关磁阻电动机控制系统	(258)
第一节	开关磁阻电动机结构	(258)
第二节	开关磁阻电动机工作原理	(260)
第三节	开关磁阻电动机数学模型	(263)
第四节	开关磁阻电动机调速系统控制方式	(266)
第五节	开关磁阻电动机电压调速控制方式	(271)
第六节	开关磁阻电动机起动与制动控制	(273)
第七节	单片机控制的开关磁阻电动机系统设计举例	(283)
第八章	基于单片机的无刷直流电动机控制系统	(294)
第一节	无刷直流电动机原理	(294)
第二节	无刷直流电动机的运行特性	(295)
第三节	无刷直流电动机的数学模型	(297)
第四节	无刷直流电动机主回路基本类型	(299)
第五节	单片机控制的电动自行车用无刷直流电动机	(308)
参考文献		(333)

第一章 绪 论

第一节 电动机控制系统的发展和现状

电动机控制系统的发展从主传动机电能量转换角度来说,由机械控制系统(如齿轮箱变速)、机械和电气联合控制系统(如感应电动机电磁离合器调速)发展到全电气控制系统(基于电力电子电源变换器的电动机控制系统);从控制电路来说,由模拟电路、数字和模拟混合电路发展到全数字电路控制系统;从控制策略来说,最初是低效有级控制(如直流电动机电枢回路串分级电阻调速、绕线式感应电动机转子回路串电阻与笼式感应电动机变极调速),接着是低效率无级控制(如感应电动机改变转差率调速),后来又改进成高效率无级控制(如直流电动机斩波调压调速、交流电动机变频调速、交流电动机矢量控制与直接转矩控制系统),现在发展到高性能智能型控制系统(如自适应系统参数辨识与自校正控制、神经元或神经网络控制、模糊逻辑控制、模糊神经网络控制等电动机控制系统);从电力电子控制器结构来说,由体积庞大的电子管控制系统、小功率晶体管控制系统、大功率无自关断能力的晶闸管控制系统发展到全控型电力电子器件(包括 GTO、MOSFET、IGBT 和 IGCT 等)构成的控制系统,仅用于电动机控制系统的各种电源变换器就有 AC/DC 可控整流器、DC/DC 斩波器、DC/AC 逆变器、AC/DC/AC 交直交变换器、AC/AC 循环变换器和矩阵变换器等。

电动机控制系统分发电机和电动机两个方面,就电动机的控制目标来说,主要有速度控制和位置控制两大类。电动机的速度控制系统也称为电动机调速系统,它广泛地应用于机械、冶金、化工、造纸、纺织、矿山和交通等工业部门。电动机的

位置控制系统或位置伺服系统也称为电动机的运动控制（Motion control）系统。电动机的运动控制系统是通过电动机伺服驱动装置将给定的位置指令变成期望的机构运动，一般系统功率不大，但有定位精度要求，并具有频繁起动和制动的特点，在雷达、导航、数控机床、机器人、打印机、复印机、扫描仪、磁记录仪、磁盘驱动器和自动洗衣机等领域得到广泛应用。

自 1831 年法拉第发现电磁感应原理以来，直流电动机和交流电动机相继问世，以后各种特殊用途的电动机类型不断出现，极大地推动了电力工业和电气传动技术的发展。但是绝大部分电能是由三相交流同步发电机提供，而大部分交流电又由交流电动机使用，特别是感应电动机。直流电动机由于控制简单、调速平滑、性能良好，在电动机控制领域一直占据主导地位。然而直流电动机结构上存在的机械换向器和电刷，使它具有难以克服的固有缺点，如造价高、维护难、寿命短，存在换向火花和电磁干扰，电动机最高转速、单机容量和最高电压都受到一定限制等。

随着电力电子技术、微电子技术和稀土永磁材料地飞速发展，高性能电动机控制系统技术不断更新，成本不断降低，新型电动机不断出现，交流电动机驱动系统正不断地取代直流电动机控制系统。提高电动机控制系统性能的研究工作主要有以下几个方面。

1. 新型功率控制器件和 PWM 技术应用

可控型功率控制器件不断进步为电动机控制系统的完善提供了硬件保证，尤其是新的可关断器件，如门极可关断器件（GTO）、大功率晶体管（GTR）、双极结型晶体管（BJT）、金属氧化物半导体场效应晶体管（MOSFET）、绝缘栅双极型晶体管（IGBT）、绝缘栅可换向晶闸管（IGCT）等的实用化，使得高频、高压、大功率 PWM 控制技术成为可能。电动机控制的基本手段就是如何控制 PWM 波形，使得功率控制器件输出的电压和电流波形能满足电动机高性能运行的要求。目前电力电子技术

正朝着高频、高压、大功率、多电平和智能化方向发展。例如：直接与高压电网连接的高压感应电动机调速控制，目前采用耐压等级高的 GTO 构成多电平交直交变换器，其开关频率低且输出电压和频率调节范围宽。低压交流电动机控制采用集成的智能功率模块，控制系统中各种芯片需要的低压稳压电源采用高频功率变换电路，以及机器人各关节驱动电动机的协调控制等都离不开功率控制器件。如果说人是依靠大脑来控制肢体运动，那么电动机控制系统是依靠计算机或信号处理芯片来控制电力电子元器件驱动电动机运动的。现代电动机控制系统都是依靠电力电子元器件构成变流装置的，即采用以强电为动力。以弱电控制强电，强弱电结合这一关键技术。典型的功率控制器有直流斩波器、交直交电流型或电压型变换器、交交循环变换器和矩阵变换器等。直流斩波器主要优点是可以将直流电压升高或降低，它广泛应用于开关电源。交直交电流型变换器的优点在于可实现自然换相，并且容量可以做得很大，但平波电抗器比较笨重，当电源存在干扰时会造成换相失败。对于绝大多数中小型电动机来说，主要采用交直交电压型变换器。目前已有采用 MOSFET 和 IGBT 器件的变频器产品，开关频率可达到 20kHz，实现无噪声驱动。值得注意的是，国外正在加紧研制新型变频器，如矩阵变换器，高功率因数可控补偿变换器，中性点钳位、级联式和飞跨电容式多电平变换器，电动机控制系统将得到新的发展。

2. 矢量变换控制技术与现代控制理论的应用

感应电动机是一种多变量、强耦合、非线性的机电一体化执行元件，传统电压与频率之比恒定的控制策略是以电动机本身稳态运行为立足点，即从电动机机械特性出发分析研究电动机的运行状态和特性，其动态控制效果不够理想。20 世纪 70 年代初德国学者在前人提出的坐标变换基础上提出了感应电动机矢量变换控制方法。该方法的基本思想是：将感应电动机的定、转子绕组分别经过坐标变换后等效成两相正交的绕组，并从转

子磁场的角度观测，实现了感应电动机电气变量的解耦控制。矢量变换控制主要研究感应电动机动态控制过程，不但控制电流和磁通等变量的幅值，同时控制这些变量的相位，并利用现代线性系统控制中状态重构和估计的概念，巧妙地实现了感应电动机磁通和转矩在等效两相正交绕组状态下的重构和解耦控制，从而促进了感应电动机矢量控制系统的实用化。矢量变换控制方法已经从最初的感应电动机推广到了同步电动机的控制，并出现了基于矢量变换的各种控制形式。目前国外变频器驱动感应电动机均采用矢量变换控制技术，并用于钢厂轧机主轴传动、电力机车牵引系统和数控机床中。此外，为了解决矢量变换控制系统的复杂性和控制精度问题，到20世纪80年代中期又相继提出了新的控制方法，如直接转矩控制、空间矢量调制技术和定子磁场定向控制等。尤其是利用微处理器实时控制，使得现代控制理论中各种控制方法得到应用，如最优控制、滑模变结构控制、模型参考自适应控制、状态观测器、扩展卡尔曼滤波器和智能控制等，提高了控制过程的动态性能，增强了系统的鲁棒性等。

3. 微机、微处理器的应用

随着微电子技术的发展，微机和数字控制处理芯片的运算能力和可靠性得到很大提高，以其为核心构成的全数字化控制系统具有以下特点：

(1) 体积小、成本低、运用灵活，易于产品化，它能方便地组成各种智能化的控制设备和仪器，做到机电一体化。

(2) 面向控制，能针对性地解决从简单到复杂的各类控制任务，因而能获得最佳的性能价格比。

(3) 抗干扰能力强，适用温度范围宽，在各种恶劣环境下都能可靠地工作，这是其他类型计算机无法比拟的。

(4) 可以方便实现多机和分布式控制，使整个控制系统的效率和可靠性大为提高。

4. 新型电动机和无传感器控制技术研究

各种电动机控制系统的发展对电动机本身也提出了更高要求,需要研究新型电动机设计、动态建模和控制策略,如直接联网高压电动机设计、永磁电动机设计、超声波电动机设计、交流励磁发电机转子交流励磁控制、双馈感应电动机设计和控制、磁悬浮直线电动机设计、电子线路板元器件布置、平面电动机设计、开关磁阻电动机设计与驱动控制、电动机阻尼绕组的合理设计、感应电动机转子鼠笼导条的故障诊断以及三维物理场的计算等问题。

随着人们生活水平提高、生命质量改善和环境保护意识的增强,绿色环保电动车辆用高功率密度电动机、人工器官和辅助装置驱动的微电动机、机器人及运动控制系统中得到重视和广泛应用稀土永磁材料研制的高速永磁电动机以及转子无绕组的开关磁阻电动机等都有迅猛发展。开关磁阻电动机与反应式步进电动机类似,但开关磁阻电动机利用转子位置传感器可有效地控制失步问题。永磁电动机由于转子采用永磁材料没有励磁绕组和励磁损耗,电动机功率密度和效率更高。但是为了防止失步也需要转子位置传感器。

高性能的控制系统利用位置传感器或速度传感器检测转子位置或速度,而这类机械传感器使系统体积增大;可靠性降低,成本提高,而且易受环境的影响。为此,研究无传感器控制系统成为研究的新热点。无传感器电动机控制方法是利用检测到的电动机状态信号(如电压和电流信号),通过基于电动机控制数学模型而设计的位置或速度观测器实时计算出电动机转子位置或速度。由于计算方法复杂且计算量大,需要采用具有高速计算能力的微处理芯片。因此研究微处理芯片硬件和软件,实现电动机控制复杂的计算方法成为无传感器电动机控制系统的关键。

第二节 单片机在电动机控制中的应用

电动机控制系统一般由电动机本体、电力电子变流装置、传感元器件和控制单元所构成。控制单元实施的控制方式有模拟（量）控制和数字（量）控制两类。

在 20 世纪 80 年代之前，电动机控制都是由模拟电路来实现；控制信号都是模拟量，使得控制系统结构复杂，控制精度不高。随着集成电路技术的发展，电动机控制系统中逐渐应用了一些数字电路，实现了数模混合控制，简化了系统结构。

从 20 世纪 80 年代起，微处理器、单片机得到飞速发展，其运行速度加快、运算精度提高、处理能力增强、功能更加丰富、结构更为简单、可靠性越来越高，已有足够能力完成实时性很强的电动机控制要求。20 世纪 80 年代中、后期，已有全数字控制的交流调速系统在工业中应用。到了 20 世纪 90 年代，单片机技术进一步发展，出现了 32 位的单片机，其强大的功能已使单片机全数字控制的交流调速系统性能和精度优于模拟控制，功能更完善，具有很强的通信联网功能，使电动机传动系统成为工厂自动化系统中的一级执行机构。目前，工业先进国家应用的交流电动机调速系统已基本实现全部数字化控制。

采用单片机的电动机控制系统框图如图 1-1 所示。系统中，电动机是被控制对象，微机起控制器的作用，对给定、反馈等输入进行加工，按照选定的控制规律形成控制指令，输出数字控制信号。输出的数字量信号有的经放大后可直接驱动诸如变流装置的数字脉冲触发部件，有的则要经 D/A 转换变成模拟量，再经放大后对电动机有关量进行调节控制。系统采用闭环控制时，反馈量由传感器检测。若传感器输出的是模拟量，则需经采样、保持处理后再经 A/D 变换成数字量送入单片机；若传感器输出的是数字量，则可经整形、光耦隔离处理后直接送入单片机。电动机运行的给定控制参数和运行指令可以通过

键盘、按钮等输入设备送入，电动机运行的数据、状态可通过显示、打印等输出设备得到及时反映。

在单片机控制的电动机系统中，输入单片机的信号一般有：用于频率或转速设定的运行指令，用于闭环控制和过电流、过电压保护的电动机系统电流、电压反馈量，用作转速、位置闭环控制的电动机转速、转角信号，用于缺相或瞬时停电保护的交流电源电压采样信号等。由计算机输出的信号主要有：变流装置功率半导体元器件的触发信号，用于控制输出电压、电流的频率、幅值和相位信号，电动机系统的运行和故障状态指示信号，以及上位机或系统的通信信号等。

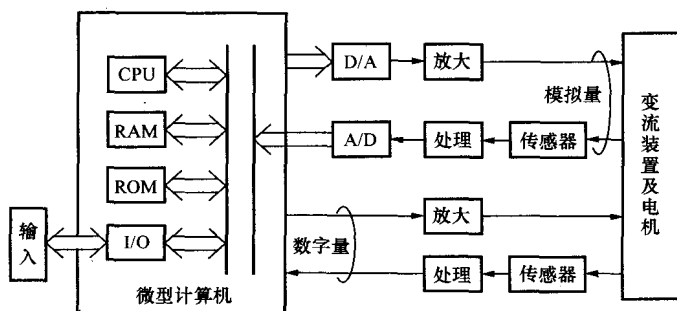


图 1-1 单片机控制的电动机控制系统框图

一、单片机在电动机控制系统中实现的主要功能

1. 逻辑控制功能

可以代替模拟、数字电子线路和继电控制电路实现逻辑控制，且其逻辑判断、记忆功能很强，控制灵活迅速工作准确可靠。

2. 运算、调节和控制功能

可以利用软件实现各种控制规律，特别是较复杂的控制规律，如矢量变换控制、转矩直接控制、各种智能控制（如模糊控制、神经网络控制）以及 PWM 变频器的优化控制（如电压

空间矢量 PWM) 等。

3. 自动保护功能

可以对电源的瞬时停电、失压、过载, 电动机系统的过电流、过电压、过载, 功率半导体元器件的过热和工作状态进行保护或干预, 使之安全运行。

4. 故障监测和实时诊断功能

可以实现开机自诊断、在线诊断和离线诊断。开机自诊断是在开机运行前由单片机执行一段诊断程序, 检查主电路是否缺相、短路, 熔断器是否完好, 微机自身各部分是否正常等, 确认无误后才允许开机运行。在线诊断是在系统运行中周期性地扫描检查和诊断各规定的监测点, 发现异常情况发出警报并分别处理, 甚至做到自恢复。同时以代码或文字形式给出故障类型, 并有可能根据故障前后数据的分析、比较, 判断故障原因。离线诊断是在故障定位困难的情况下, 首先封锁驱动信号, 冻结故障发展, 同时进行测试推理, 操作人员可以有选择地输出有关信息进行详细分析和诊断。控制系统采用单片机故障诊断技术后有效地提高了整个系统的运行可靠性。

二、电动机系统采用单片机控制具有的优越性

1. 容易获得高精度的稳态调整性能

由于电动机系统的控制精度可以通过选择单片机字长来提高, 适当增加字长就能方便地获得高精度的稳态调速特性。此外, 数字控制避免了模拟电子元件易受温度、电源电压、时间等因素影响的固有缺陷, 使控制系统有稳定的控制性能。

2. 可获得优化的控制质量

由于单片机具有极强的数值运算能力, 丰富的逻辑判断功能, 拥有大容量的存储单元, 可以用于实现复杂的控制策略, 从而获得优化的控制质量。

3. 能方便灵活地实现多种控制策略

由于单片机控制系统的控制功能是由软件来实现, 若要改

变控制规律，一般不必改变系统的硬件结构，只要改变软件的编程就能方便、灵活地实现多种控制策略。控制系统通用性强、灵活性大、功能易于扩展和修改，控制上呈现出了很大的柔性。

4. 提高系统工作的可靠性

电动机系统采用微机控制后，可由软件替代硬件实现功率开关元器件的触发控制、反馈信号的检测和调节、非线性的闭环调节控制、故障的诊断和保护等，这样减少了元器件的数目，简化了系统的硬件结构，也就提高了系统工作的可靠性。

当然，由于数字控制一般是由一个 CPU 来实现的，具有串行工作的特点。相比模拟控制中的多个模拟元器件并行工作方式，数字控制的确存在一个运算速度的问题，这需要通过选用高速单片机或多单片机并行处理来解决。

第三节 单片机的发展

一、单片机的发展历程

单片机是指将 CPU、RAM、ROM、定时器/计数器以及基本输入/输出 (I/O) 接口电路等部件集成在一块芯片上，所组成的芯片及微型计算机，称之为单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer)，简称为单片微机或单片机。由于单片机的硬件结构与指令系统都是按工业控制要求设计，常用于工业的检测、控制装置中，因而也称为微控制器 (Micro-Controller) 或嵌入式控制器 (Embedded-Controller)。图 1-2 给出了单片机的基本结构示意图。

1. 中央处理器 CPU

CPU 是单片机的核心部件，由运算器和控制器组成，完成算术运算和逻辑操作，单片机的字长有 4、8、16、32 位之分，字越长运算速度越快，数据处理能力也越强。

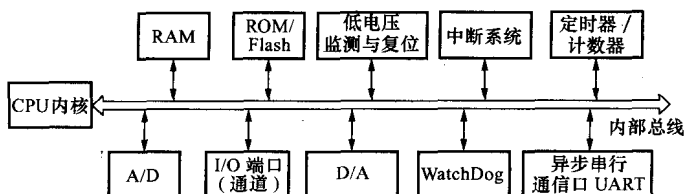


图 1-2 单片机的基本结构示意图

2. 存储器

通常单片机存储器采用哈佛结构，即 ROM 和 RAM 存储器是分开编址，ROM 存储器容量较大，RAM 存储器的容量较小。

ROM 存储器一般有 1 ~ 32KB，用于存放应用程序，故又称为程序存储器。由于单片机主要应用于控制系统，通常嵌入被控对象中，因此一旦该系统研制成功，其硬件相应程序均已定型。为了提高系统的可靠性，应用程序通常固化在片内 ROM 中。根据片内 ROM 的结构，单片机又可分为无 ROM 型、ROM 型、EPROM 型和 E²PROM 型。近年来，又出现了 FLASH 型 ROM 存储器。

无 ROM 型的单片机片内不集成 ROM 存储器，故应用程序必须固化到外部 ROM 存储器芯片中，才能构成有完整功能的单片机应用系统。ROM 型单片机内部程序存储器是采用掩膜工艺制成，程序一旦固化进去便不能修改。EPROM 型单片机内部程序存储器是采用特殊 FAMOS 管构成，程序写入后，可通过紫外线擦除，重新写入。而 E²PROM 型单片机内部程序存储器可以直接用电信号编程和擦除，使用起来十分方便，深受开发设计人员欢迎。

通常，单片机片内 RAM 存储器容量为 64 ~ 256B，有的可达 48KB。RAM 存储器主要用来存放实时数据或作为通用寄存器、堆栈和数据缓冲器之用。

3. I/O 接口和特殊功能部件

I/O 接口电路有串行和并行两种。串行 I/O 用于串行数据传

输，它可以把单片机内部的并行数据变成串行数据向外传送，也可以串行接收外部送来的数据，并把它们变成并行数据送给 CPU 处理。并行 I/O 端口可以使单片机和存储器或外设之间实现并行数据传送。

通常，特殊功能部件包括定时器/计数器、A/D、D/A、DMA 通道、系统时钟、中断系统和串行通信接口等模块。定时器/计数器用于产生定时脉冲，以实现单片机的定时控制；A/D 和 D/A 转换器用于模拟量和数字量之间的相互转换，以完成实时数据的采集和控制；DMA 通道可以使单片机和外设之间实现数据的快速传送；串行通信接口可以方便地实现单片机系统与其他系统的数据通信。总之，某一单片机内部究竟包括哪些特殊功能部件以及特殊功能部件的数量，便确定了其应用领域。

单片机是随着微型计算机、单板机的发展及其在智能测控系统中的应用而发展起来的。大致可归纳为以下几个阶段：

第一阶段：初级阶段（1974 ~ 1976 年）。因工艺限制，单片机采用双片形式，而且功能比较简单。例如仙童公司生产的 F8 单片机。

第二阶段：低性能单片机阶段（1976 ~ 1980 年）。该阶段是以较简单的 8 位低档单片机为主。其主要代表芯片为 Intel 公司的 MCS - 48 系列，该芯片内集成了 8 位 CPU、并行 I/O 接口、8 位定时器/计数器，寻址范围为 4KB，没有串行通信接口。

第三阶段：高性能单片机阶段（1980 ~ 1983 年）。该阶段仍以 8 位机为主，主要增加了串行口、多级中断处理系统、16 位定时器/计数器，除单片机内 RAM、ROM 容量加大外，单片机外寻址范围达 64KB，有的单片机内还集成有 A/D、D/A 转换器。这一阶段单片机以 Intel 公司的 MCS - 51 系列、Motorola 公司的 6801 系列和 Zilog 公司的 Z8 系列为代表。上述机型由于功能强使用方便，目前仍在广泛应用。

第四阶段：1983 年 ~ 20 世纪 80 年代末，推出了高性能的 16 位单片机。性能更加完善，主频速率提高，运算速度加快，