

四位微计算机的功能及其应用

温州电子技术研究所 缪晓胜

编者按：四位微型计算机是微机家族的鼻祖，至今仍在蓬勃发展。由于四位机结构简单、功能灵活，具有较高的性能价格比，因而广泛应用于家用电器、民用电子装置、工业控制装置和各种仪器仪表装置中。四位机既有相当的数据处理能力，又具备一定的控制能力，既体现了较强的通用性又带有相当的专用性；其销售量占世界微机销售量的70%，销售金额占全部微机销售额的50%。

国产四位微计算机电路的生产目前已达国外80年代初期开发片的水平。国内从事四位机应用的单位已有数百家，国产四位机电路(878厂和上无十四厂生产)已基本上能满足国内需要。

为了普及四位微型机的基础知识，大力推广国产四位机在改造我国传统工业中的应用，本刊自本期开始刊登温州电子技术研究所缪晓胜工程师撰写的“四位微计算机的功能及其应用”技术讲座。该讲座全部内容约10~12万字，共分八讲，每讲内容如下：

- 第一讲 四位微计算机的发展简史及其功能特点
- 第二讲 国产四位微计算机的硬件结构
- 第三讲 四位微计算机的指令系统
- 第四讲 四位微计算机程序设计初步(上)
- 第五讲 四位微计算机程序设计初步(下)
- 第六讲 四位微计算机应用实例(上)
- 第七讲 四位微计算机应用实例(下)
- 第八讲 四位微计算机的开发过程及开发工具

欢迎广大读者就本讲座的内容向本刊提出宝贵意见，以帮助我们不断提高这一栏目的效果。

第一讲 四位微计算机的发展史及其功能特点

一、四位微处理机发展史

世界上第一个微处理机是1971年美国Intel公司发表的四位机4004，这是该公司应日本一家台式计算机厂商的要求而专门设计的。翌年发表了八位微处理机8008，它是为DTC公司设计的CRT终端控制器。由于设计的灵活性而导致了极大的通用性，从而开始了微机技术日新月异的发展历程。

作为初期微机技术的主流，显然是以8080、M6800、Z80等著名机种为代表的通用八位机。这些芯片仅包含CPU，构成一个应用系统还须辅以其它电路。

但它们的适应性很强，构成应用系统时功能的裁剪与伸缩十分方便，迅速开发出来的系统软件给新应用领域的开发带来了强大的支持。加上价格的低廉，因此在短短几年内几乎渗透到每一个领域。随后又开发了性能更高的8086、M68000、Z8000等16位机及32位机。

几乎在同一时期，微机技术的发展出现了一个新的引人注目的动向，即微机的完全单片化和专用化。这是大规模集成电路工艺进一步发展的必然结果。集成度的提高，使单个芯片不仅能包含全部CPU的功能，还可以容纳必要的存储器及I/O控制电路。在这方面起开创性作用的是美国德克萨斯公司(Texas Instru-

ments Inc.)于1975年所发表的TMS-1000。这是一个四位的单片微计算机。一年多以后,各厂商竞相仿制,日本的富士通、日立、东芝、夏浦、松下电子、日本电气,美国的洛克威尔等大公司很快推出了自己的单片四位机系列。各种八位单片机也纷纷应运而生,著名的有Intel的MCS-48、UPI-41, Fairchild公司的F8,日本电气公司的 μ COM83, 84等。德克萨斯公司甚至推出了16位的单片微机TMS-9940。从表1可以看出早期微机技术的发展历程。

表 1

| 年 份 | 型 号 | 研 制 单 位 |
|-------|------------------|-------------|
| 1971年 | 4004 (4位机) | Intel 公司 |
| 1972年 | 8008 (8位机) | Intel 公司 |
| 1973年 | 8080 (8位机) | Intel 公司 |
| 1974年 | M6800 (8位机) | Motorola 公司 |
| 1975年 | TMS-1000 (单片4位机) | Texas 公司 |
| 1976年 | Z80, 8085 (8位机) | Zilog 公司 |
| 1977年 | 8048 (单片8位机) | Intel 公司 |

所谓单片微计算机,就是在一个芯片上除中央处理部件CPU外,还含有程序存储器ROM、数据存储器RAM、输入输出通道等,从而在一单片电路上提供了一台计算机的全部基本功能。显而易见,单片电路比多片系统在成本、功耗、体积等方面都要优越得多。因此,近年来单片机得到了极其迅速的发展,其增长速度甚至远远超过8位通用微机,成为微机家族中的一支新秀。另一方面,由于存储器和I/O通道都被固定在片内,故其功能不可避免地受到了限制,从而导致了单片机的专用化这一特点。

四位微处理机,一次能够并行处理(运算或传送)四位二进制数据,即字长为四位。因此CPU部分包含的电路相对较少,从而最早实现了单片化。自1975年以来,四位机就全是单片结构了。表2为近年来国际上四位单片机的主要系列数和品种数。

表 2

| | 1979年 | 1981年 | 1982年 | 1983年 |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 四位机系列数 | 15 | 20 | 44 | 53 |
| 四位机品种数 | 113 | 172 | 249 | 305 |

二、四位微计算机的特点

和人们所熟知的八位机相比,四位机有其独自的

特点。这些特点在相当程度上是因字长(4位)和应用的要求而产生的,即来源于结构和需要。下面予以简要阐述:

1. 程序存储器ROM 片内的只读存储器ROM用以存储用户的程序。四位机的程序都是专用的,即为某特定目的而专门设计的。ROM中已填写专用程序的四位机实际上是一片专用电路,如计算器、洗衣机或电冰箱的控制电路芯片等等。ROM的字长不象八位机那样必定是8位,而是由芯片设计者根据结构和指令系统的要求任意设计的,一般在8位至12位之间(以8位最多);ROM的容量一般在512字节至4K字节之间。为了提高指令效率,能用单字节指令实现程序转移,ROM往往采取分页办法,大多由64字节构成一页,即页内地址(PC低位地址)为6位。由于子程序调用的嵌套级数一般不很多,所以通常不采用软件堆栈技术,而是用硬件堆栈的办法来实现,其级数在1~5之间。

2. 数据存储器RAM RAM用以存储待处理的各种数据,因此是可读可写的。显然,四位机的每个RAM单元的字长为4位二进制。RAM容量则一般在 32×4 至 256×4 之间。为了提高数据传送指令的效率和灵活性,RAM寻址采取分段办法,根据容量的大小,可分为二段或三段,其低段一般为4位,即寻址 $2^4 = 16$ 个单元。有关数据传送指令都有很强的复合功能,在完成数据传送的同时能进行RAM地址的各种修改工作。还设置3位操作指令,可对RAM单元中的每一位作置位、复位或测试判跳的操作,用来构成各种特征标志位,使程序十分灵活。由上所述可见,RAM和ROM是完全独立的,其地址线和数据线均互不相关。

3. 输入输出电路 四位机的输入输出电路更显示了专用性的特点,一般含有:①4位并行输出端口、4位并行输入端口及4位并行双向端口,这些通用端口均可为一个或多个,除用于和机外的数据通信外,还可作为控制信号。②扫描输出端口。用来构成键盘和显示器的扫描信号,线数可多达16根,常用RAM地址的低P4位来寻址。③PLA(Programmable Logic Array)译码输出端口。例如将累加器中的4位数据译成16个(或加上一个状态位可译成32个)八段图形输出。也有将ACC和RAM中的8位数据并接起来直接输出的。输出端口一般有较强的驱动能力,可直接驱动LED、荧光数码管或LCD显示器,因此,和显示器的接口十分简单。④串行输入输出端口。可把片外的串行数据变成机内的4位并行数据,或把片内的4位并行数据变成串行数据输出。通常用机内时钟予以同步,也有用机外时钟同步的。

三、四位微计算机的应用

四位机的应用领域是极其广阔的,凡是在处理速度不高、处理数据量不很大、处理过程不很复杂的场合,几乎都可以使用。

下面所列仅是一些见于国外报刊报导的典型例子,但已不难看出其应用方面的特点及其普及性。

1. 家用电器设备 洗衣机、搅拌机、空调机,洗碗机、微波炉、电饭锅、电风扇、恒温器、家用时钟/定时器。
2. 民用电子装置 TV控制器、CB广播混合器、数字式调频调谐器、立体声系统、音调产生器、电子门铃、电子玩具、游戏机、数字电话机。
3. 商用设备 计算器、POS(销售终端)、ECR(电子收款机)、电子秤、汽油泵、升降机、冰淇淋机、自动电唱机、出租汽车计费器、传真机。
4. 工业控制 缝纫机、编织机、控温器、可编程顺序控制器、自动通风设备、气体加热炉、特殊计数器/定时器、建筑机械、农业机械。
5. 仪器 示波器、电源、RLC测试仪、混频器、血压计、医疗仪器、光学仪器、实验室仪器。
6. 管理机器 复印机、台式印刷机。
7. 安全系统 电子门锁、气象警报、ID系统。

四、四位机典型机种介绍 ——COP400系列

国外四位机的系列品种尽管十分丰富多样,但在结构功能上却是大同小异。下文简要介绍一个典型机种——美国国家半导体公司(National Semiconductor Inc.)生产的COP400单片四位机系列。该系列共有13个品种,其中3个品种为ROM外接的开发片,管脚40端。其余10个品种是用于批量生产的单片机,管脚20至28端。所有品种的硬件结构和指令系统几乎完全相同,仅功能的强弱有所差别。表3为COP400系列的功能概况:

COP420是COP400系列的主要机种,其结构框图如图1所示。下面简述其主要功能。

1. 程序存储器

程序存储器ROM的容量为1024字节,字长8位。如上文所说的那样,可把ROM在结构上分为16页,每页64字节。ROM字节中所存放的一般是指令,也可以是程序数据或地址数据(转移指令时)。

ROM由10位的程序计数器PC来寻址,PC同样也分为二部分:页地址 P_0 (高4位)和页内地址 P_L (低

4. 控制电路 四位机的应用系统多数有实时控制要求,因而片内常带有下述各种控制功能:①定时器/计数器。由多级分频器构成,信号源可由指令指定。当指定为片内时钟时成为定时器,其高位内容可由指令预置,因而定时间隔是可编程的;当指定为片外脉冲时成为计数器,用以计数外部事件次数。定时器/计数器计满溢出时可由指令来测试或产生中断信号。②中断功能。包括外部中断和定时器/计数器中断,提供了有效的实时服务功能。③专用控制电路,如SM-2的打印机控制接口,对特定的外设进行控制时十分有效。

5. 其它高级专用电路 如A/D、D/A、PLL(Phase Lock Loop 锁相环)、音声合成等电路。对此片内必须混入模拟电路,工艺较为复杂,是近期发展的四位机新技术,但使功能大大加强,进一步扩充了四位机的应用领域。

6. 多品种系列化 为了提高性能价格比,最好地适应系统的需要,四位机一般都是成系列多品种的发展,如日本松下公司的MN1400系列四位机多达39个品种。同一系列的四位机在硬件结构和指令系统方面几乎完全一致,仅在ROM、RAM容量、I/O通道数、制造工艺(PMOS, NMOS, CMOS等)、专用电路的有无等方面有所不同。这样用户在开发时可从容地选择最合适的机种。

7. 软件的特点 由于ROM容量较小,为了提高程序效率并实现准确的实时控制要求,四位机的程序一般用汇编语言书写,目前尚未见到用高级语言编程的四位机。最终写进片内ROM的仅仅是用户的专用程序,不需要操作系统、监控程序等系统软件,因此软件的兼容性、支持性和移植性不如八位机那样明显。由此造成了四位机系列品种多样化、各厂家百家争鸣的局面,不象八位机由于软件兼容性的影响形成了几个主要机种占主导地位的局面。

概而言之,四位机是一个既有相当数据处理能力,又具备一定的控制能力,既体现了较强的通用性,又带有相当的专用性的单片电路。由于一次只能处理4位数据,其处理效率不算很高,但对一般低速应用已绰绰有余,且特别适用于十进制数值运算,因为一位十进制数可表示为4位二进制数。其内含的专用I/O控制电路(如键盘、显示、打印机控制电路)使外设接口极其简化,设计上的通用性又使其能灵活地适应非常广阔范围的应用要求。结构上的单片化使四位机的成本降至极低的限度。在国外,每片售价仅1~2美元,甚至更低。这些优点使四位机得到了极其广泛的应用。值得一提的是,日本对四位机特别重视,几乎每一个大公司都开发了自己的四位机系列。

表3 COP400系列功能概况

| 性能 | 器件 | 无ROM器件 | | | 单片微处理器 | | | | | | | | | |
|-------|---------------|---------|------|---------|---------|------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 402 | 402M | 404L | 410L | 411L | 420 | 420L | 420C | 421 | 421L | 421C | 444L | 445L |
| 存储器 | ROM×8 | 外部EPROM | | | 512 | 1024 | | | 1024 | | | 2048 | | |
| | | 1024 | 2048 | | | | | | | | | | | |
| | RAM×4 | 64 | 128 | 32 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 | 128 | 128 | | |
| 输入/输出 | 输入端 | 4 | | | 0 | | | 4 | | | 0 | | 4 | 0 |
| | 双向三态I/O | 8 | | | 8 | | | 8 | | | 8 | | 8 | |
| | 双向I/O | 4 | | | 4 | 3 | 4 | | | 4 | | | 4 | |
| | 输出端 | 4 | | | 4 | 2 | 4 | | | 4 | | | 4 | |
| | 串行I/O及外部事件计数器 | 有 | | | 有 | | | 有 | SIO | 有 | SIO | 有 | | |
| 通用功能 | 中断 | 有 | 无 | 有 | 无 | | | 有 | | | 无 | | 有 | 无 |
| | 堆栈级数 | 3 | | | 2 | | | 3 | | | 3 | | 3 | |
| | 微总线 | 无 | 有 | 无 | 无 | | | 有 | 无 | 有 | 无 | | | |
| | 指令周期(μs) | 4 | | 16 | 4.5~6.3 | | 4 | 16 | | 4 | 16 | | 16 | |
| 电源/封装 | 电源电压(V) | 4.5~6.3 | | 4.5~9.5 | 16 | | | 4.5~6.3 | 4.5~6.3 | 2.4~6.0 | 4.5~6.3 | 4.5~6.3 | 2.4~6.0 | 4.5~6.3 |
| | 供电电流(mA) | 30 | | 15 | 5 | | | 30 | 8 | △ | 30 | 8 | △ | 11 |
| | 封装引脚 | 40 | | | 24 | 20 | | 28 | | | 24 | | | 28 |

△: 快速: 800μA, 慢速: 35μA, 等待: 15μA

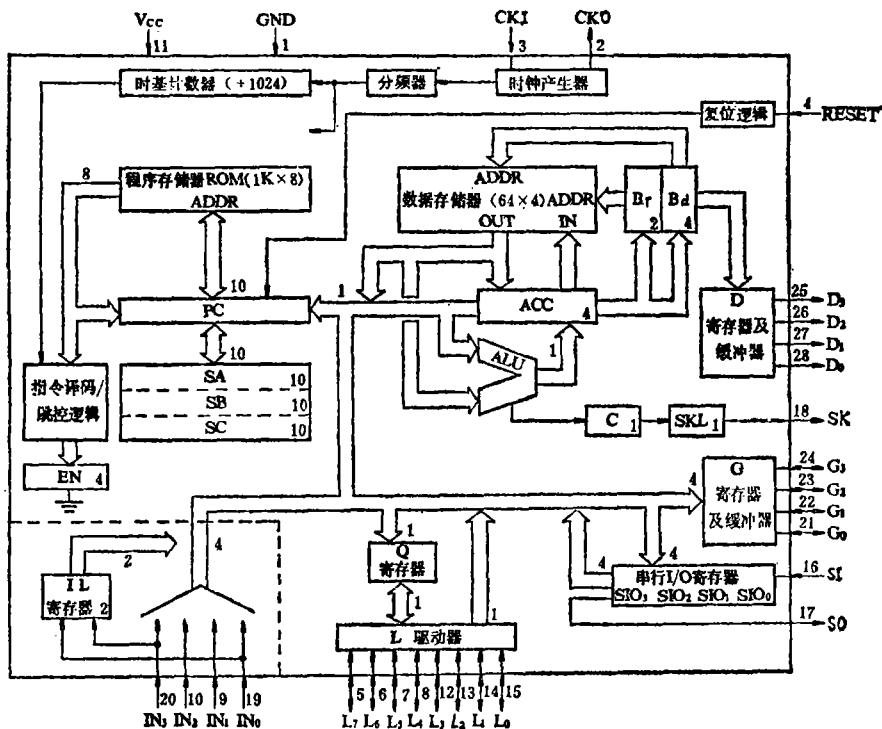


图1 COP420结构框图

6位)。实际上ROM的分页是由PC的分页决定的，并在转移指令JP、JSRP、JID和立即数指令LQID中体现出来。在每个指令周期向PC送入新的地址值，一般是上一拍PC的二进制加1值，因此取出并执行的是ROM中下一个地址中的指令。但在执行转移指令时送入的是指令中的地址数据，从而取出的是该新地址中的指令，即实现了程序转移。SA、SB、SC三个先进后出硬件堆栈提供了三级子程序嵌套的能力。

ROM中指令字的取出、译码和执行是通过机内的指令译码、控制和跳步逻辑电路来完成的。

2. 数据存储器

数据存储器RAM容量为256位，组织为4个寄存器，每个寄存器为16个单元，单元字长4位。RAM寻址由6位的B寄存器来完成，高部2位Br用以选择4个寄存器中的一个，低部4位Bd选择16个单元中的一个。所选中的RAM单元M(B)可在指令控制下执行种种数据传送的操作： $M \rightarrow A$ ， $A \rightarrow M$ ， $A \leftrightarrow M$ ， $M \rightarrow Q$ ， $Q \rightarrow M$ ， $L \rightarrow M$ 等等(A、Q、L均为内部寄存器，详见下文)。还具有LDD和XAD二条双字节直接指令，其指令中含有6位直接地址，可不通过B寄存器直接寻址，完成 $M \rightarrow A$ 和 $M \leftrightarrow A$ 的操作。

Br寄存器内容还可直接送至D寄存器输出片外。

3. 内部逻辑

(1) A寄存器(累加器)为最重要的内部寄存器。是大多数I/O操作、算术逻辑操作和数据存储器存取操作的源和目的寄存器。在和字长大于4位的其它寄存器作数据传送时采用分段办法。如对6位的B寄存器，是一次装入其Br部分或Bd部分。对8位的Q锁存器和L驱动器，是将A和M(B)连接起来使用，一条指令一次完成8位的数据传送操作。这种8位的传送能力使该机能方便地通过L端口和八位机进行通讯，构成所谓的“微总线”(Microbus)接口。

(2) 4位加法器 执行全部算术逻辑运算，其结果储存在A中。运算时还送出进位位至1位的C寄存器，通常这意味着算术运算的溢出。C寄存器还结合XAS指令及EN寄存器，以控制SK输出(后述)。

(3) 通用输入端 $IN_3 \sim IN_0$ 4位并行输入口。在微总线工作方式时 IN_1 、 IN_2 、 IN_3 分别作为读，片选和写选通信号输入端。

(4) D寄存器及端口 4位并行通用输出通道。除A外，还能接受并送出Bd寄存器的内容，这时通常把D作为键盘显示的扫描信号。

(5) G寄存器及端口 4位并行双向通道。在微总线工作方式时G₀作为中断请求信号输出端。

(6) Q寄存器 内部8位锁存器，可锁存从A及M来的8位数据，或反向传送。还能接受从ROM中来的

8位直接数。它的工作方式受模式寄存器中EN₂的控制，当EN₂=1时Q送至L输出。微总线工作方式时，在选通信号作用下Q接受L端口来的8位数据。

(7) L驱动器及端口 启动为输出方式时，能输出Q锁存器的内容。启动为输入方式时，处于高阻态。L的内容还能直接送至A及M。L具有可选的大电流驱动方式，高电平时最大输出电流可达12mA，因此可直接和LED的段信号端连接。

(8) SIO寄存器 可作为4位的串入串出移位寄存器或二进制计数器，工作方式的选择受模式寄存器EN的控制。其内容可与A交换，因此可用来输入或输出连续的串行数据流。SIO还能提供附加的并行输出口，只需在SO端连接一个或多个串入并出移位寄存器。

XAS指令把C送进SKL锁存器，在计数器方式时，SK输出SKL(即C)的内容；在移位寄存器方式时，SK输出SKL和时钟的与信号。

(9) 模式寄存器EN EN的内容由立即数指令LEI直接指定。EN的各位分别控制片内某特定部件的功能。

EN₀: 指定SIO寄存器的工作方式。

当EN₀=1时，SIO成为异步二进制计数器，每当S₁输入端出现从高到低的脉冲时，计数器值减1。脉宽必须不少于二个指令周期。SK输出SKL的值。SO输出EN₃的值。

当EN₀=0时，SIO成为串行移位寄存器，每个指令周期左移一次。S₁端的数据进入SIO的最低位，SIO的最高位送至SO。SK成为逻辑控制的时钟。

EN₁: 中断允许信号。当EN₁=1时开中断，允许IN₁作为中断输入端；当EN₁=0时禁止中断。

EN₂: L驱动器端口控制。当EN₂=1时，L输出Q的数据；当EN₂=0时置L于高阻输入态。

EN₃: 和EN₀一起控制SO输出。当EN₀=1时，EN₃的值送至SO输出；当EN₀=0时，如EN₃=1，则SO作为SIO的串行输出端；如EN₃=0，则SO恒为0。

表4为串行输入输出功能的控制。

表 4

| EN ₀ | EN ₃ | SIO | SI | SO | SK |
|-----------------|-----------------|--------|-----------|------|------------------------------------|
| 0 | 0 | 移位寄存器 | 移位寄存器的输入 | 0 | 如SKL=1, 则SK=CLOCK 如SKL=0, 则SK=0 |
| 1 | 0 | | | 串行输出 | |
| 0 | 1 | 二进制计数器 | 二进制计数器的输入 | 0 | SK=SKL |
| 1 | 1 | | | 1 | |

4. 内部定时器

COP420内含一个10位的二进制计数器，对指令

周期脉冲进行分频计数，计满1024个值后其最高位溢出使标志触发器置位。用SKT指令可对该标志进行测试，如为0(尚未计满溢出)则继续执行下一条指令；如为1(已计满溢出)则跳过一条指令执行并使标志触发器复位。由此可构成分枝程序进行定时判别。

该功能提供了有效的内部时基，用以构成时钟或进行实时处理。例如若采用2.097MHz晶体作COP420的振荡器，则指令频率为131KHz(晶频÷16)，计数器输出脉冲频率为128Hz，只要用SKT指令测试并计满128次溢出，就得到3秒信号，进一步可得到分、小时、日等等时钟信号。

5. 中断功能

IN₁为中断信号输入端。中断过程如下：

(1) 中断接受条件：

- a. EN₁ = 1, 即允许中断。
- b. IN₁端出现负跳脉冲至少二个指令周期时间, 即产生宽度足够的中断请求信号。
- c. 当前指令执行完毕。
- d. 所有连续的转移指令和LBI指令均已执行完毕(例如若主程序执行一条JP指令转至另一条JP指令处, 那么当第二条JP指令也执行完毕后中断才会被接受)。

(2) 中断被接受后, 下一拍程序计数器的内容被送入堆栈, 并使堆栈内容依次从高级向低级传递(PC+1→SA→SB→SC), 最低级堆栈寄存器SC的内容丢失。同时程序计算器被置为OFF(第3页的最后一节), EN₁被复位, 禁止随后的中断。

(3) 中断被接受时, 程序跳步逻辑的状态被保存。当中断服务程序结束后从堆栈中弹出予以恢复。在中断服务程序中不能套用于程序和LQID指令(该指令也用到堆栈), 因为从子程序返回时将弹出跳步状态从而扰乱了中断服务程序的正常执行。

(4) 位于OFF地址的中断服务程序第一条指令必须是NOP(空操作)指令。

(5) 中断服务程序结束前紧靠RET返回指令可设一条LEI指令以重新启动中断。

6. 微总线接口

COP420具有一个可选的功能, 使其可用作外围微处理器器件以和主计算机进行数据的通信。此时, 通用输入端IN₁、IN₂和IN₃成为读选通、片选和写选通信号线。IN₁作为 \overline{RD} , 当其为“0”电平时将使Q锁存器内容送至L端口输出。IN₂作为 \overline{CS} , 当其为“0”电平时COP420被选中, 这时 \overline{RD} 及 \overline{WR} 信号才能起作用。IN₃成为 \overline{WR} , 当其为“0”电平时将使L端口的数据写入Q锁存器。GO成为INTR即“准备”输出, 由 \overline{WR} 线的写信号来复位, 提供了在主计算机和COP

420之间进行异步通讯的“握手”能力。图2为微总线接口图。

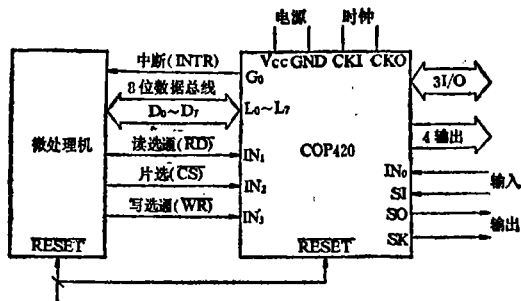
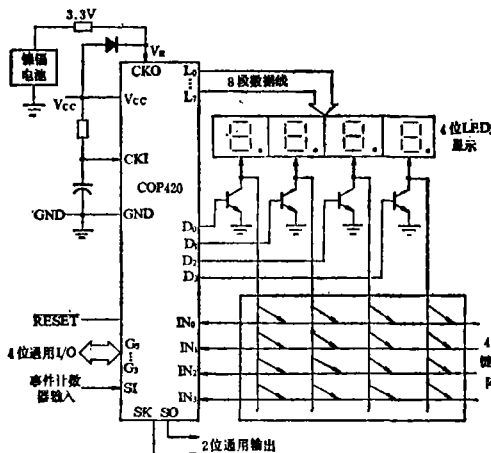


图2 微总线 (MICROBUS) 接口图

除上述功能外, COP420的灵活性还体现在其引脚(主要是输入输出端)的掩膜可编程能力上。例如L端口具有标准输出、开漏输出、LED直接驱动输出、三态推挽输出等四种可选方式。用户可根据实际应用电路需要选定一种, 将选择号和ROM程序一并提交给器件厂制版, 就可得到你所需要的功能。所谓的Microbus也是这种可选功能之一。

用COP420构成一个简单的应用系统所需的外部电路是很少的。图3是一个通用控制器, 带有4位LED数码管和多达16个键的键盘, 还提供了7根控制线, 可实现不同目的的控制。



* SI、SO和SK也可用作串行I/O

图3 COP420通用控制器

COP420的开发要使用相应的开发片COP402, 其功能完全一样, 但管脚增加了12端, 提供了复合的地址/指令信号(需在外部予以分离), 从而可使用外的EPROM或RAM作程序存储器, 进行应用程序的调试。

COP400系列已被选定为优选机型, 国内两个四位机器厂均已开始试制COP400系列的芯片, 并在家用电气应用领域进行尝试, 相信不久会出现四位机应用的新高潮。(待续)