

蔡莲红 黄顺珍 等 编著

APPLE

微型计算机系统 (上)

—主机和监控系统

APPLE
微型计算机系统(上)——主机和监控系统

00226

社

清华大学出版社

APPLE 微型计算机系统

(上)

——主机和监控系统

蔡莲红 黄顺珍 方棣棠 吴文虎
胡起秀 李树青 钟玉琢 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

Apple II 微机硬件设计巧妙、简单可靠，软件灵活紧凑，是国内外广泛使用的微型计算机系统。本册介绍了Apple II plus 主机硬件、监控系统及小汇编的工作原理。第一章为Apple 微型计算机系统结构。第二章为主机硬件的组成和工作原理。第三章为Apple II 使用指南。第四章为监控程序分析。第五章为小汇编的工作原理。

本书力图将硬件和软件结合起来，深入浅出地讲清该机的工作原理，为系统维修人员、程序员以及广泛开发应用微机的人员提供详尽的资料。可供大学生和有关科技人员借鉴。

Apple 微型计算机系统

(上)

——主机和监控系统

蔡莲红 黄顺珍 方棣棠 吴文虎 编著
胡起秀 李树青 钟玉琢

责任编辑 贾仲良

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

北京昌平振南排版厂排版

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

☆

开本：787×1092 1/16 印张：15 1/8 字数：377千字

1988年11月第1版 1988年11月第1次印刷

印数：00001—10000

定价：5.35元

ISBN 7-302-00282-7/TP·106

JS448/22

前 言

目前,微型计算机在新技术革命的浪潮中起着越来越大的作用。由于它具有体积小,耗能少,价格低廉,性能可靠,操作维护简便,易于学习掌握,以及使用灵活等许多优点而受到普遍重视,正在被人们作为信息存储、转换、处理和传递的强有力工具,广泛应用于工业控制、国防设施、企业管理、科学研究、计算机教学等各个领域。

微型计算机有着自己的特点,要用好它,就需要学习掌握它。我们自1979年起,用“解剖一个麻雀”的方法解剖了Apple II微型计算机,那时这种微机刚刚问世,现在这种微机在国内的用户已相当多。当时我们对Apple II的硬件组成和监控系统进行了深入的分析研究,写出了分析报告。自1979年以来,经多人反复修改,先后五次易稿印刷,每次都因印量少而满足不了需求。这次我们又在举办多次学习班,倾听了学员及其它读者对该教材的反映,并作了较大修改之后才交付正式出版。我们写这本书的指导思想是详细分析该机的硬件组成,找出特点。对许多难点部分,比如显示彩色图形的原理与硬件,花较大的篇幅进行了阐述;监控程序部分也是逐条分析,理出头绪,找出规律,力图从软件与硬件的结合上把该机的各种基本功能分析清楚。这样做有利于掌握微机的原理,也为维护及进一步开发其功能奠定了基础。我们感到主机硬件组成和监控程序是微机本身的核心部分,也是掌握Apple II的重点所在。因此,本书主要介绍这两部分内容。其它问题,只要有参考手册,是不难通过上机操作和编程实践来学会的。

由钟玉琢组织编写的本书的第一稿为本次出版打下了良好的基础。这次出版是在原有基础上,对全书的各个部分作了较大修改、补充,或添加进一些新的内容。硬件部分由蔡莲红、方棣棠、吴文虎、胡起秀、黄顺珍等人编写;软件部分的监控系统由黄顺珍编写,小汇编由李树青编写。

曾经参加分析解剖Apple II工作,以及撰写分析报告的还有涂连华、徐风家、苗玉峰等人。

近年来,国内外研制了不少以6502为CPU的微型机,例如紫金I、DJS-033、中华学习机,它们都与Apple II兼容,为此作者特意写了附录D作了简介。本书对应用、开发这些兼容机也具有极好的参考价值。

限于编者水平,书中难免有错误与不当之处,望读者不吝指正。

编 者

目 录

前言

第一章 Apple微型计算机系统结构	1
1.1 概述.....	1
1.2 主机硬件.....	1
1.3 系统装置和接口卡.....	2
1.4 系统软件和语言.....	3
1.5 应用软件.....	4
第二章 Apple I 主机的组成和工作原理.....	5
2.1 MPU和系统总线.....	5
2.1.1 6502微处理器 (MPU)	5
2.1.2 MPU和系统总线阐述	9
2.2 振荡器和系统时基.....	12
2.2.1 14M 信号	12
2.2.2 7M 和 $\overline{7M}$ 信号.....	12
2.2.3 3.5M信号.....	12
2.2.4 $\overline{RAS}$ 、 $\overline{CAS}$ 、AX、LD194、 $\overline{LDPS}$ 及 $\phi 0$ 信号.....	13
2.2.5 系统时基	17
2.3 Apple地址空间的分配和译码	19
2.3.1 ROM的片 允许控制信号.....	19
2.3.2 “输入/输出”选择信口 ($\overline{I/O SEL}$)	23
2.3.3 外设接口板的设备选择信号 ($\overline{DEV SEL}$)	24
2.3.4 主板上外设设备码的译码	24
2.3.5 屏幕开关	25
2.4 RAM 的选择电路	27
2.4.1 主板上的 RAM.....	27
2.4.2 RAM 的行地址选通	31
2.4.3 RAM 的列地址选通.....	32
2.4.4 RAM 的数据输出.....	33
2.5 RAM 地址多路开关	34
2.5.1 各器件输出与输入的关系	34

2.5.2	MPU 存储器地址	35
2.5.3	显示存储器地址	37
2.5.4	显示存储器地址计算	37
2.5.5	RAM的刷新	42
2.6	外设插座	44
2.7	主板上的外设接口	49
2.7.1	“8 选 1”多路开关	49
2.7.2	扬声器	50
2.7.3	盒式磁带	51
2.7.4	游戏	52
2.8	同步计数器	54
2.8.1	同步计数器的功能	54
2.8.2	同步计数器的组成及工作原理	56
2.8.3	计数信号与显示屏幕的对应关系	61
2.9	视频信号发生器	61
2.9.1	同步信号与消隐信号	61
2.9.2	产生彩色图象信号	66
2.9.3	屏幕显示	77
2.10	键盘	87
2.10.1	键盘电路的组成	88
2.10.2	键盘接口的组成及其工作原理	95
2.10.3	几个特殊键的使用及功能	99
第三章	Apple I 使用指南	102
3.1	主机的启动	102
3.2	键盘	102
3.3	屏幕显示	103
3.4	外存储设备	103
3.5	打印输出	104
3.6	监控命令简表	105
3.7	整数BASIC命令简表	107
3.8	Applesoft BASIC (浮点BASIC)快速参考指南	109
3.9	Apple II plus 地址空间分配与专用地址表	113
第四章	监控系统分析	118
4.1	概述	118
4.2	Apple 监控命令介绍	118
4.3	监控系统主程序框图及说明	121

4.4	介绍几段子程序	125
4.5	Apple 监控命令执行过程流程图	133
4.6	部分程序注释	161
第五章	Apple I 的小汇编程序	166
5.1	小汇编程序简介	166
5.2	小汇编程序使用的内存地址约定	167
5.3	小汇编中的表结构说明	167
5.3.1	概述	167
5.3.2	汇编记忆符号名字表	168
5.3.3	十六进制操作码分类表	170
5.3.4	查找记忆符号名字的方法	175
5.3.5	查找寻址方式的方法	175
5.4	小汇编程序的汇编过程	176
5.4.1	启动小汇编	176
5.4.2	输入汇编语言指令	176
5.4.3	机器对记忆符号名字的处理	177
5.4.4	机器对寻址方式的处理	177
5.4.5	十六进制操作码的扫描	179
5.4.6	寻址方式代码的确定	179
5.4.7	记忆符号名字十六进制码的确定	180
5.4.8	比较判决输出结果	181
5.5	小汇编程序的总体框图	182
5.6	小汇编程序的举例	191
附录		206
附录A	Apple主机器件索引	206
附录B	6502指令	215
附录C	6502指令执行拍数表	227
附录D	Apple I 兼容机的发展现况	228

第一章 Apple微型计算机系统结构

1.1 概 述

Apple 微型计算机系统是微计算机系统中的低挡（即初级）机，或称个人计算机。市场上较为流行的是 Apple II plus，这是微型计算机发展史上的一个典范。83 年以来，国内除进口了不少此类微机外，还开发了许多种 Apple 的兼容机，如紫金-I、DJS-033。1987 年，又研制了紫金-II A (Apple II e 兼容机) 以及 CEC-I 中华学习机、小蜜蜂等。以上机型的 MPU 均为 6502。它突出的特点是：价格便宜、结构灵活、使用方便，配套的硬件、软件十分丰富。

Apple 的主机内，有 MPU、48K 字节的随机存取存储器、12K 字节的只读存储器，以及键盘和部分外设接口。若采用家用电视机作为字符和图形的显示设备，家用录音机作为外存储器，这样就构成了最便宜的 Apple 系统。

Apple 的硬件和软件都采用积木式结构。主机备有八位通用外部设备接口插座，能连接 800 多种接口卡，大大扩充了系统功能。若在外设插座上插上不同的微处理器卡，Apple 就变成了另外的机型，如插上 Z-80 soft card，再装入 CP/M 操作系统，能运行 Z-80 的所有高级语言软件包，执行 Z-80、8080 和 8085 的汇编语言。Apple 机图文并茂、有声有色。图形颜色多达十六种，在高分辨率图形方式下，可以六种颜色控制到扫描光点。

Apple 机使用方便。开机后自动引导磁盘操作系统或进入高级语言，同时，对工作环境无特殊要求。

在微机中，Apple 机的产销量名列前茅，它被广泛应用于科学计算、数据处理、企业管理、游戏和娱乐等各个领域。

Apple 的系统结构如图 1.1.1，下面将分别介绍该系统在软件和硬件上的一些特点。

1.2 主 机 硬 件

Apple 是以 Rockwell 公司的 6502 为 MPU 的微处理机，时钟频率为 1MHz，八条数据线，十六条地址线。主机设计灵活巧妙、结构紧凑，很有独到之处。

1. 存储器

主机大板上设有 48K 字节的 RAM 和 12K 字节 ROM。ROM 中存有监控程序 (Monitor) 和浮点 BASIC (Apple soft) 解释程序。RAM 可扩展为 64K 字节（或更多）。RAM 扩展后，主机可使用其它高级语言，如 PASCAL、FORTRAN 等。

2. 显示

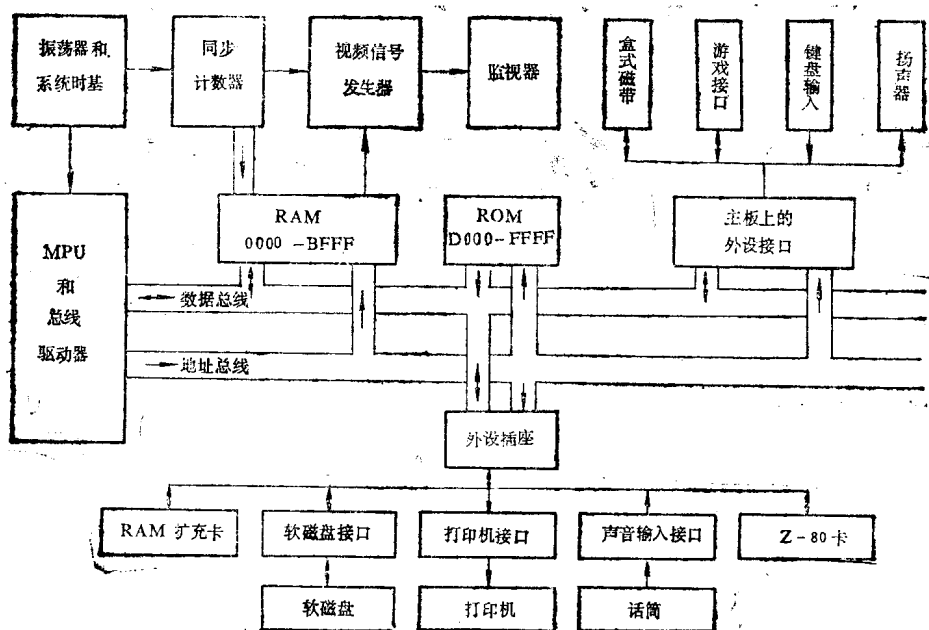


图 1.1.1 系统结构框图

Apple 的监视器可采用一般视频监视器或家用电视机。若采用家用电视机（制式）作显示，要将视频信号经一个视频信号调制器调制成高频，从电视机的天线输入端输入。调制器电路非常简单。若采用视频监视器，由主机后板备有的电缆插座输出视频信号，只要用电缆接通监视器和主机即可。

显示可有三种方式、多个页面。三种方式是：文本方式（40×24 字符）、低分辨率图形（以十六种颜色显示40×48个彩色方块）和高分辨率图形（以六种颜色显示 280×192彩点）。每种显示有两个页面。显示窗口可任意缩变，也可采用图形和文本混合显示的方式。

显示的内容存在主板的RAM中。视频信号发生电路简单、设计巧妙。

3. 主机内的I/O接口

主机内的 I/O接口有：盒式录音机输入、输出；扬声器输出；键盘输入和游戏接口（四个模拟输入、三个一位输入、四个一位输出）。这些接口大大增加了主机的功能，也为扩充主机的使用范围提供了方便。接口的特点是硬件尽量简单，以降低主机的造价，其余的工作由软件完成。

1.3 系统装置和接口卡

Apple采用积木式的结构，因此系统组织灵活、结构紧凑，整个系统可大可小、变化多样。目前一般的系统组成为：主机、监视器、5 $\frac{1}{4}$ 英寸软磁盘和打印机。

主板上装有八个外设接口插座，可以插上不同的接口板，带上不同的外部设备，除打印机、软磁盘外，还可连接图形输入板、多笔绘图仪及各种工业仪器仪表。到目前为止Apple的接口达几千种，比较常用的有：

- 串行接口卡 (SERIAL INTERFACE CARD)
- 通信接口卡 (COMMUNICATIONS INTERFACE CARD)
- 并行打印接口 (PARALLEL PRINTER INTERFACE)
- 并行接口卡 (PARALLEL INTERFACE CARD)
- 高级串行接口卡 (SUPER SERIAL INTERFACE CARD)
- 80列显示卡 (80×24 DISPLAY CARD)
- IEEE-488接口卡 (IEEE-488 INTERFACE CARD)
- 彩色编码卡 (PAL CARD)
- 时钟/日历卡 (CLOCK/CALENDER CARD)
- 业余/实验卡 (HOBBY/PROTOTYPING CARD)
- 软盘驱动卡 (DISK DRIVE CARD)
- A/D + D/A卡
- 16k RAM扩充卡 (16k RAM EXPANSION CARD)
- SOFT卡 (SOFT CARD) 即Z-80卡
- EPROM写入卡
- 汉字卡
- 8088卡
- EPROM写入卡
- Omminet网络传送卡
- 声音合成卡

接口板上，除具有优良的接口电路外，一般都配有固化在ROM中的软件，功能齐全、使用方便。在这些接口卡及软件的支持下，使Apple机具有小型机的功能。随着计算机技术的发展，为满足各领域的需求，接口卡会越来越多，Apple机的功能将越来越强，应用也将越来越广泛。

1.4 系统软件和语言

在Apple中，除利用汇编语言编写程序外，还可使用BASIC语言。在操作系统支持下，可以使用多种语言。

1. 整数BASIC和浮点BASIC

浮点BASIC解释程序固化在Apple II plus主机ROM中，开机便可使用，方便可靠。主机配有16k RAM扩充卡时，也可使用整数BASIC语言，快速简洁。

2. DOS3.3和高级语言

DOS 3.3是Apple的磁盘系统DISK II子系统上运行的操作系统，在它的支持下，可使用BASIC、PASCAL、FORTRAN等语言。

3. CP/M操作系统和高级语言

插上Z-80卡，主机转变为高速Z-80机，它允许 8085、8080、Z-80 系统的软件在本系统中运行。可使用的高级语言有BAS80、FORTRAN-80、BASIC、COBOL、PASCAL、AOGOL-80和C语言等。

1.5 应用 软件

Apple 的应用软件极其丰富，到目前为止，其软件多达上万种，涉及到的方面有科学计算、商业、管理、个人事务、教育等等。下面简要列出几种：

- 中小型企业管理和财务软件 (THE CONTROLLER)
- 制图软件包 (Apple GRAPHICS I)
- 数据库类软件
- 商业作图软件 (Apple II BUSINESS GRAPHICS)
- 通信录软件 (Apple POST)
- 调试测试类软件
- 图表绘制软件 (Apple PLOT)
- 网络控制软件
- 乐理教学软件 (MUSIC THEORY)
- 电路辅助设计软件
- DOS程序设计辅助软件 (DOS TOOLKIT)
- 汉字处理软件
- 智力游戏 (THE SHELL GAMES)，等等。

第二章 Apple II 主机的组成和工作原理

为便于分析阐述Apple II微型计算机系统主机的组成和工作原理,现将主机分为以下几个部分:

1. MPU和系统总线;
2. 振荡器和系统时基;
3. 存储器的组成和译码;
4. 随机存储器的选择电路;
5. RAM地址多路开关;
6. 外设插座;
7. 主板上的外设接口;
8. 同步计数器;
9. 视频信号发生器;
10. 键盘。

这些部分由时基总线、数据总线、地址总线、地址译码线以及一些控制信号线相互连接在一起。组成上述各部分的器件,除6502微处理器和字符发生器外,大部分是中规模TTL型集成电路。

下面将详细介绍上述各部分的组成、基本工作原理、逻辑关系及其作用。

2.1 MPU和系统总线

MPU和系统总线是由微处理器6502、总线驱动器(8T97和8T28)及一些与门、或门和非门组成的。下面分别介绍6502微处理器、总线驱动器的结构及基本工作原理。

2.1.1 6502微处理器(MPU)

Apple II系统的中央处理器采用ROCWELL公司生产的6502微处理器,以后简称MPU。其基本指令56条,共有指令151条,时钟频率1MHz。一条指令的执行时间为3~8 μ s。数据线8条,是双向驱动的。地址线16条,是单向驱动的。

1. 6502微处理器的内部结构

如图2.1.1所示,6502微处理器和一般微处理器一样,其内部结构包括三个基本部分:

(1) 算术逻辑部件(ALU)

它既能执行算术运算(如加法和减法等),又能执行逻辑操作,如逻辑“与”(AND)和逻辑或(OR)等。

(2) 控制器部分

包括指令寄存器、指令译码器、中断逻辑部件、时钟发生器和时基控制器。时钟发

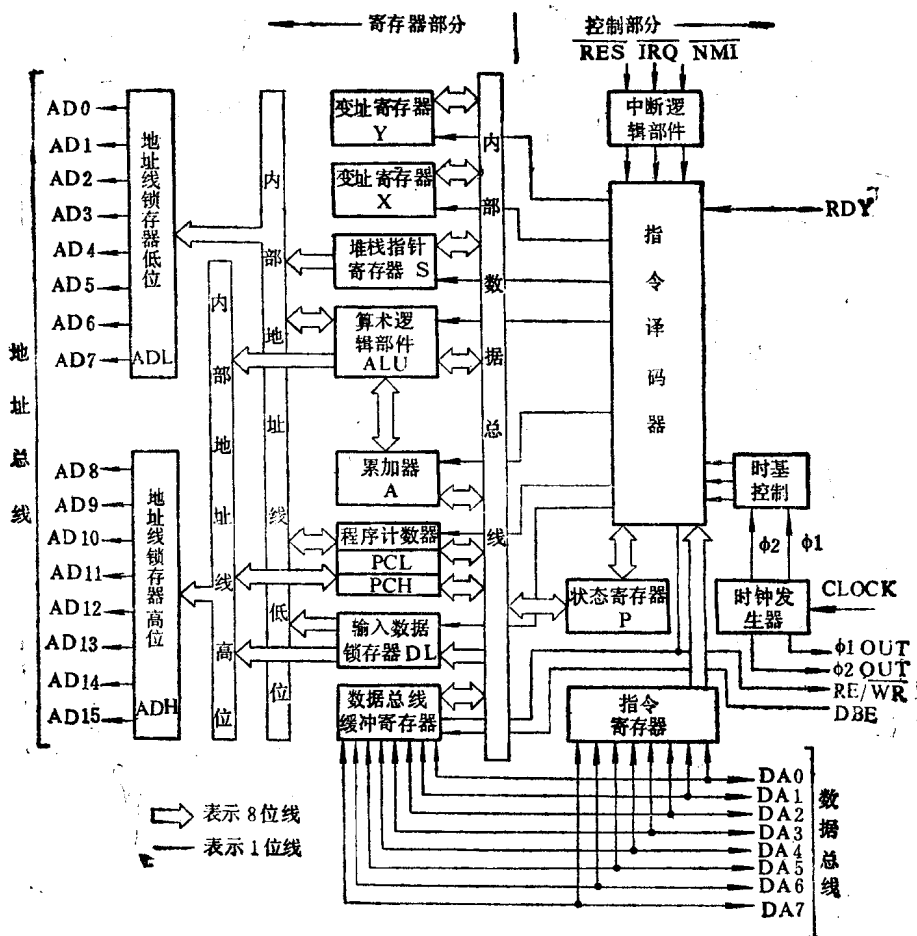


图 2.1.1 6502型微处理器的内部结构

生器提供定时的时钟脉冲。时基控制器提供一系列控制操作的控制信号。

（3）寄存器部分

包括变址寄存器（X）、变址寄存器（Y）、堆栈指针寄存器（S）、累加器（A）、程序计数器（高位PCH、低位PCL）、微处理器状态寄存器（P），这些寄存器被用来存放操作数、中间结果以及标志工作状态的信息等。

此外6502微处理器还有：数据总线缓冲寄存器、输入数据锁存器（DL）、地址总线锁存器（高位ADH、低位ADL）。

上述各部分在微处理器内通过内部总线互相联系。

2. 6502微处理器的管脚引线及其功能

6502微处理器共有40条引线。其管脚分布如图2.1.2所示。

在图中：

V_{CC} 电源线，电压+5V。

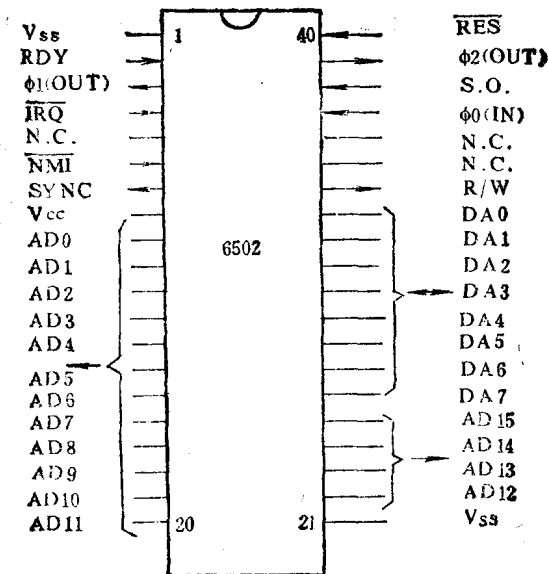


图 2.1.2 6502微处理器管脚图

V_{ss} 电源地线。

ϕ_0 时钟脉冲输入线。时钟频率为 1.023MHz，它是由系统时钟送给 MPU 的。6502微处理器内部还有一个时钟发生器，在 ϕ_0 的控制下产生 ϕ_1 时钟脉冲。 ϕ_1 和 ϕ_0 的关系为 $\phi_1 = \overline{\phi_0}$ 。

$AD_0 \sim AD_{15}$ 地址总线，共16条。每条引线单向输出。可带130pF的电容和一个标准的TTL负载。当处理器和随机存储器（RAM）、只读存储器（ROM）、外部设备交换信息时，这16条线给出地址码。地址总线上的信息，在 ϕ_1 由低电位变为高电位约 300 ns 后才有效，并在 $\phi_1 = 0$ （低电位）期间始终保持有效。

$DA_0 \sim DA_7$ 数据总线，共8条。每条引线是双向驱动的，既可输入数据，也可输出数据。每条引线可带130pF的电容和一个标准的 TTL 负载。MPU和存储器之间数据和指令的传送都在这8条线上进行。当 $\phi_0 = 1$ （ ϕ_0 为高电位）时，这条线上传送数据。当 $\phi_0 = 0$ （ ϕ_0 为低电位）时，这些数据线悬空（为高阻状态）。写周期时，数据线上的数据在 ϕ_0 变高至少200 ns后才稳定可用。读周期时，数据在 ϕ_0 变低前应保持有效100 ns以上。

$RE/\overline{WR}$ 读写信号线，控制数据总线上数据的传送方向。读内存或外设时，这条线变成高电位，数据从系统总线进入MPU。写时这条线变成低电位，MPU把数据送给内存或外设。 $RE/\overline{WR}$ 信号在 ϕ_1 变高时发生变化， ϕ_1 变高后约300ns才稳定可用。

地址信号、数据信号、 $RE/\overline{WR}$ （读/写）信号与 ϕ_0 、 ϕ_1 的时间关系如图 2.1.3。

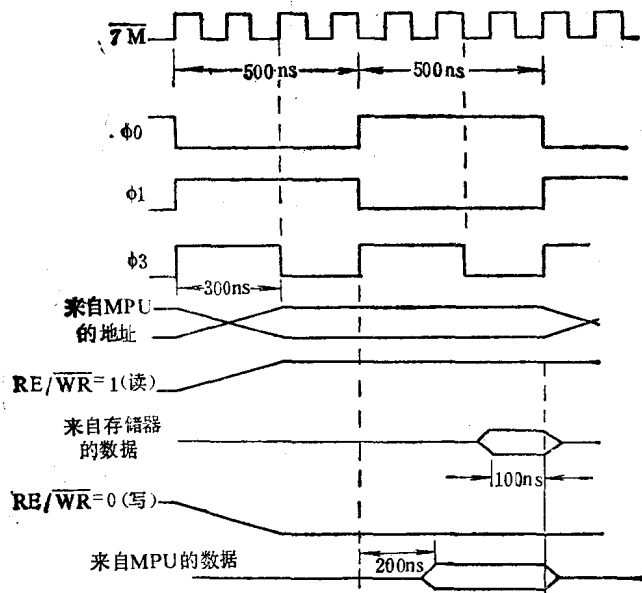


图 2.1.3 地址、数据、RE/WR信号与phi0、phi1的时间关系

- NMI** 不可屏蔽的中断输入线。NMI输入后，MPU一旦执行完当前的这条指令，MPU就被中断。此中断信号是不能被屏蔽的，即没办法阻止MPU承认这个信号。NMI平时为高电位。当此线被外设拉低后，MPU就从内存的专用单元（FFFB和FFFA）取出新的程序计数向量（称作NMI向量），也就是使PCH=(FFFB)；PCL=(FFFA)。而(FFFB)=03；(FFFA)=FB。然后MPU就从首地址03FB开始执行不可屏蔽的中断服务子程序。
- IRQ** 可屏蔽的中断请求输入线。平时为高电位，当外设申请中断时，把IRQ拉低。IRQ能被MPU中的状态寄存器的禁止位I屏蔽，禁止位I，一般由软件设置。如果中断禁止位标志I=1，中断被禁止，IRQ信号不影响MPU。I=0时，中断请求才被承认。然后MPU从内存专用单元（FFFE和FFFF）取出新的程序计数向量（称为中断请求向量）也就是使PCH=(FFFF)，PCL=(FFFE)而(FFFF)=FA，(FFFE)=40。于是MPU就从FA 40首地址开始执行“中断服务子程序”。当MPU承认IRQ之后，标志位I自动置1。MPU开始执行“中断服务程序”，这之后外设可使IRQ变高。IRQ变高后，一方面若I重新置0，可保证一个中断请求信号不致重复被承认如图2.1.4所示。另一方面若这时有更高级别的外设申请中断，那么刚才开始执行的“中断服务程序”也允许中断，以实现多级中断。
- RDY** “准备好”信号输入线。这条信号线被用来使MPU与存取速率较慢的外设同步。平时为高电位。当MPU与外设交换信息时，一旦MPU把地址信号送到系统地址总线上，接到外设插座上的外设就把RDY拉低，

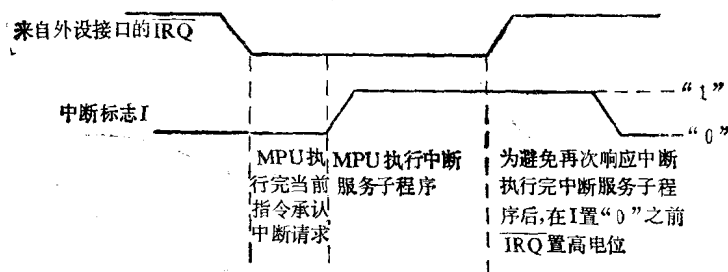


图 2.1.4 中断请求 $\overline{\text{IRQ}}$ 与中断标志I的时间关系

MPU进入等待状态。只要 $\text{RDY}=0$ ，此等待状态就可持续，直到外设送到数据总线上的数据 $\text{D0} \sim \text{D7}$ 有效后，外设才使 RDY 变高（即 $\text{RDY}=1$ ）。 $\text{RDY}=1$ 表示外设已准备就绪，已把数据送到系统数据总线。这时，MPU结束等待状态，开始执行当前的内部机器周期。

RDY 线上的电位，在 $\phi_1=1$ 时改变， $\phi_1=0$ 时被承认，下一个 $\phi_1=1$ 时MPU才开始执行。

RDY 线的主要目的是延迟一条程序读周期的执行，直到来自外设的数据有效为止。如果MPU正在执行写周期操作，则 RDY 不停止MPU的工作。当 RDY 在写周期由高变低，MPU将执行写周期的操作，紧接着在下一个读周期时（即 $\text{RE}/\overline{\text{WR}}=1$ ），MPU才停止工作。

$\overline{\text{RES}}$

复位清零信号输入线。这个信号可以初始化微处理器。它可由合闸时的启动复位电路产生低电位；也可由使用者按 RESET 键产生低电位。 $\overline{\text{RES}}$ 为低电位时，禁止从微处理器写入内存或外设接口。当 $\overline{\text{RES}}$ 变成低电位后，6502微处理器将延迟六个周期，然后从内存的专用单元(FFFD 、 FFFC)中取出新的程序计数向量（称作复位向量）。也就是使程序计数器高位 PCH 等于 FFFD 单元中的内容，低位 PCL 等于 FFFC 中的内容。在自启动ROM中， FFFD 中存的是 FA ， FFFC 中存的是 62 。 FA62 是复位程序的入口地址。这样只要 $\overline{\text{RES}}$ 变成低电位，MPU就从原来的工作状态中退出，自动进入复位程序并初始化MPU。

S.O

置状态寄存器第六位（溢出标志位 V ）。在Apple I中此管脚接地，即不能由MPU的外面给MPU的溢出标志位置1。

图2.1.2中管脚7为同步信号 SYNC 线，脚39为 ϕ_2 时钟信号输出线。Apple I系统均未使用，故不再赘述。

2.1.2 MPU和系统总线阐述

1. $\text{A0} \sim \text{A15}$

Apple I系统地址总线共16条。6502微处理器输出带负载能力较弱。为了增加输出带负载的能力，在6502微处理器的地址线 $\text{AD0} \sim \text{AD15}$ 上接有单向驱动器8T97。当MPU向系统地址线送出信息时，因为8T97上的控制端1脚和15脚平时为低电位，所以

