

听觉实验研究的微计算机系统

陈俊强 王以忠 邓述珍
胡其蔚 谢晋光 张冠华

(中国科学院上海生理研究所)

摘 要

本文叙述应用于听觉研究的微计算机系统。该系统包括：多种波形发生器、专用键盘、显示屏、接口和4个微计算机芯片8085等。外围有XY记录仪、示波器、照相机等。系统能产生参数可编程序的复杂声音；处理实验动物生物电脉冲；能按获得的结果自动改变实验的步骤；在XY记录仪上以直方图形式画出实验结果。系统具有多个常用实验程序，操作简易。在其EPROM中有许多子程序可供调用，用户能按自己的意图方便地编写新的程序。设计中采用数字和模拟电路相结合，使系统能以很少的硬件和资金获得合宜的性能。

一、前 言

近年来国际上利用电子计算机研究听觉机制的工作十分活跃^[1,2]，利用计算机控制和产生各种参数精确、波形复杂的声音，快速而深入地分析实验结果，使听觉机制的研究取得许多重要的进展。

美国威斯康辛大学在这方面处于世界的领先地位。他们以一台中型电子计算机为核心^[3]，设计了多种仪器，组成了听觉研究系统，系统很复杂，功能多，耗资几十万美元。

微型计算机的迅速发展使系统设计产生一些新的趋向：微计算机和仪器紧密结合的智能化仪器和分布式多处理机系统成为重要的发展方向。它们使系统组成灵活，使用方便，可靠性高，而且具有以往系统远远不及的性能价格比。这些特点使它们受到普遍的重视和广泛的应用。

为建立现代的、计算机化的实验室，我们研制了一个分布式多微处理机电生理实验系统，本文叙述的微计算机听觉实验系统是其中一个子系统，于1979年底研制成功，经过在听觉实验室一年多的使用已取得不少实验结果。

二、设计要求及总体设计

1. 设计要求

对听觉实验系统的要求有以下五方面：

- 1) 能在精确的时间间隔内产生调频或调幅的纯音, 短声和白噪声, 声音的种类和它的参数由计算机程序控制, 能满足听觉实验的一些特殊要求.
- 2) 自动快速地进行实验, 能通过程序控制示波器、照相机和 X Y 记录仪等外围设备, 在显示屏上显示各种参数, 能清楚地了解系统运行的情况, 用户通过键盘能方便地操纵整个系统.
- 3) 实时自动处理实验结果, 能根据动物反应的情况自动改变实验的进程.
- 4) 使用方便, 变化灵活, 投资少. 只操作几个键, 实验就能按编好的程序进行. 根据实验的发展和变化, 可以编入新程序, 进行新实验.
- 5) 能独立工作, 也能在多处理机系统中协调地工作.

2. 总体设计

选用英特尔 (Intel) 公司的 MCS-85 微型计算机最小系统作为该系统的控制核心, 由 8085, 8755, 8155, 8185 四个芯片组成, 见图 1. 具有功能强, 价格低, 有相当强的实时控

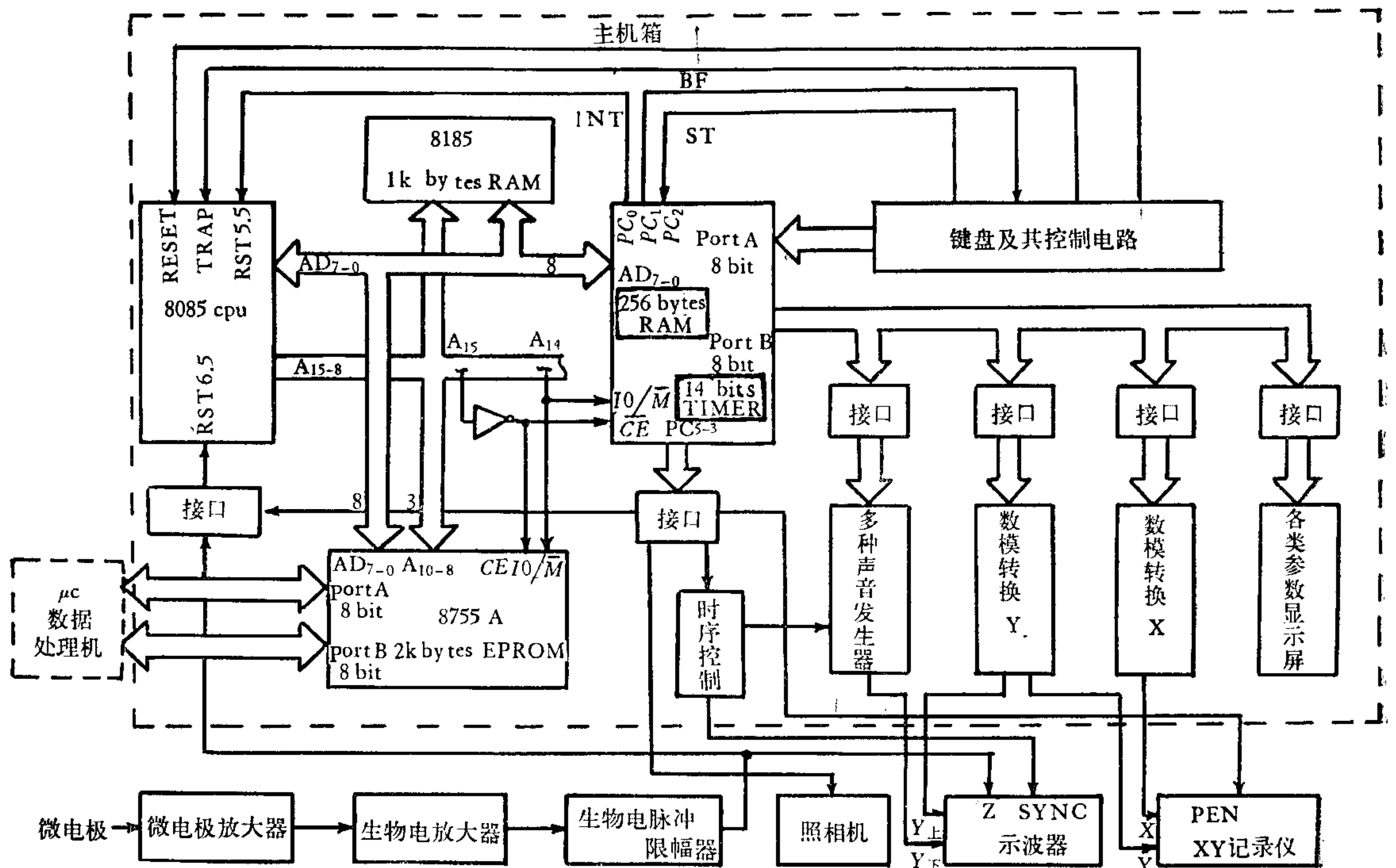


图 1 MCAS 硬件总框图

制外部设备的能力, 能兼容应用最广泛的 8080A 的全部指令, 能方便地和 8080 系列的外围芯片连接而使系统扩展. 故在机箱空间和电源负荷等方面留有相当的余地, 以便扩展.

采用数字电路和模拟电路相结合的方式. 操作程序、常用程序等写在可抹可编程只读存储器 (EPROM) 中, 一开机就能调用. 随机存取存储器 (RAM) 中存放自编程序, 能方便地改动. 自编程序可由键盘输入, 也可在具有较多软硬件资源的主微机系统中编好后转送过来. 自编程序得到操作程序和子程序包(在 EPROM 中)的支持.

三、硬件及软件设计

微型计算机系统的设计, 需要把硬件和软件紧密结合起来加以考虑, 通过分析比较, 寻找最佳的结合方式. 为了叙述的方便, 分为硬件和软件两部分来叙述.

1. 硬件设计

硬件总框图如图 1 所示, 由主机箱和外围设备二部分组成. 外围设备包括下列现成仪器: X Y 记录仪、示波器、照相机、微电极放大器、生物电放大器和生物电脉冲限幅器等.

MCS-85 对整个系统的控制主要有以下四个方面:

1) 控制输出声音的时间参数(见图 2):

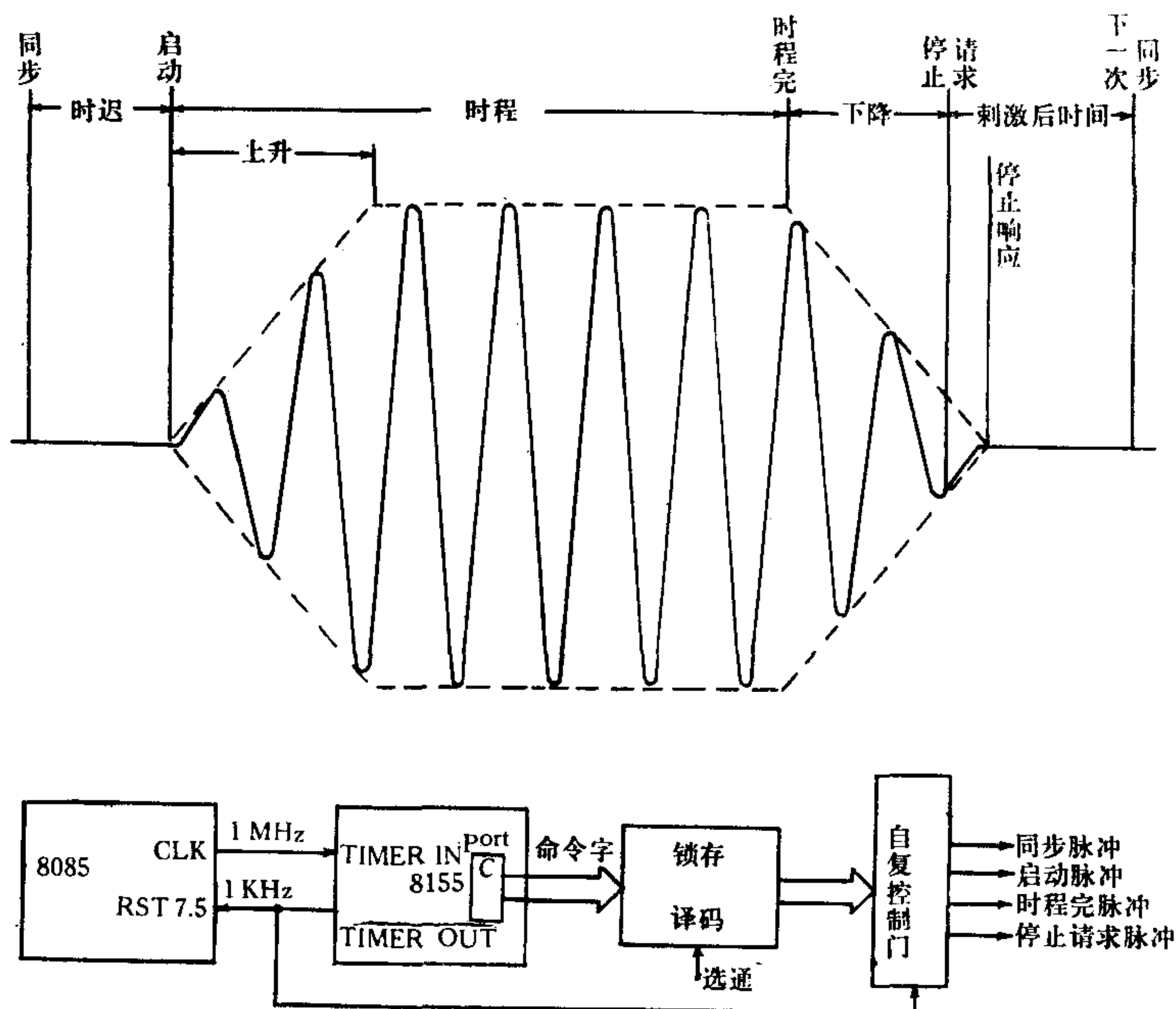


图 2 刺激波的时间控制

利用 8155 芯片中的定时器产生周期为 1 毫秒的定时脉冲对 CPU 申请中断, 在处理该中断时, 对 CPU 寄存器内相应时间参数减 1, 直至为零, 便发出时间控制命令, 命令经锁存和译码并和定时脉冲同步后产生各时间控制脉冲. 用很少的硬件就能精确地控制“时迟”等时间参数, 它们的最大值为 9999 毫秒, 每级 1 毫秒, 误差不大于 1 微秒.

2) 对输出声音其他参数的控制, 由 CPU 向各控制口送命令字来实现.

3) 对输入生物脉冲的处理, 生物脉冲产生中断申请, CPU 响应中断后把内存中生物脉冲计数单元加 1, 到一定时间间隔把计数值依次存放起来并开始下次计数.

4) 通过向有关控制口送命令字来控制外围. 通过并行输入输出口和其他计算机系统连结.

为解决在没有开发系统和逻辑分析器情况下的调机问题,设计了单指令执行电路,能够逐条执行指令,追寻硬件和软件中的毛病。

除 MCS-85 外本系统中专门设计的硬件分述如下:

1) 多种声波发生器。能产生纯音(正弦波)、短声(脉冲)和白噪声等多种声音;能对纯音和短声进行调频和调幅,最小调频调制度为 0.1%;调制波的波形有三角波,方波和直流电压;调制波的频率能变化;输出声强最大为 120 分贝,以 5 分贝为一级而变化;能控制声波的起始相位;声音要按严格的时序产生;重复次数也可预置。另外,听觉实验要求尽量降低开关声(即消除电压突跳)和减小没有信号输出的间歇中的残留信号和噪声。由此看出声音的波形比较复杂,参数控制要求精确。

如果用计算机直接产生各种波形, CPU 的运算速度要很高,要有快速硬件乘法器和较大的内存,而 MCS-85 最小系统远没有这些硬件资源,经仔细设计的模拟电路能产生所要求的波形,能达到实验要求的精度,因此采用模拟电路和数字电路相结合的方式设计本系统。

为了便于参数的控制,多种声音发生器主要由三角波发生器、三角波到正弦波变换器和模拟乘法器三部分组成。三角波发生是由于对一个电容进行正反向轮流充电。控制充电的电流大小和方向就可控制三角波的频率和相位,改变充电电压就可调制频率。由数字电路来控制三角波发生器的启动和停止。用模拟乘法器来进行调幅,并控制声波上升和下降期间的包络。微计算机只需发出控制参数的各种命令字和各时间控制脉冲,就能方便地控制波形发生器的全部工作。调频正弦波发生器的框图如图 3 所示。整个多种波形发生器的框图如图 4 所示,其性能见附表 1。

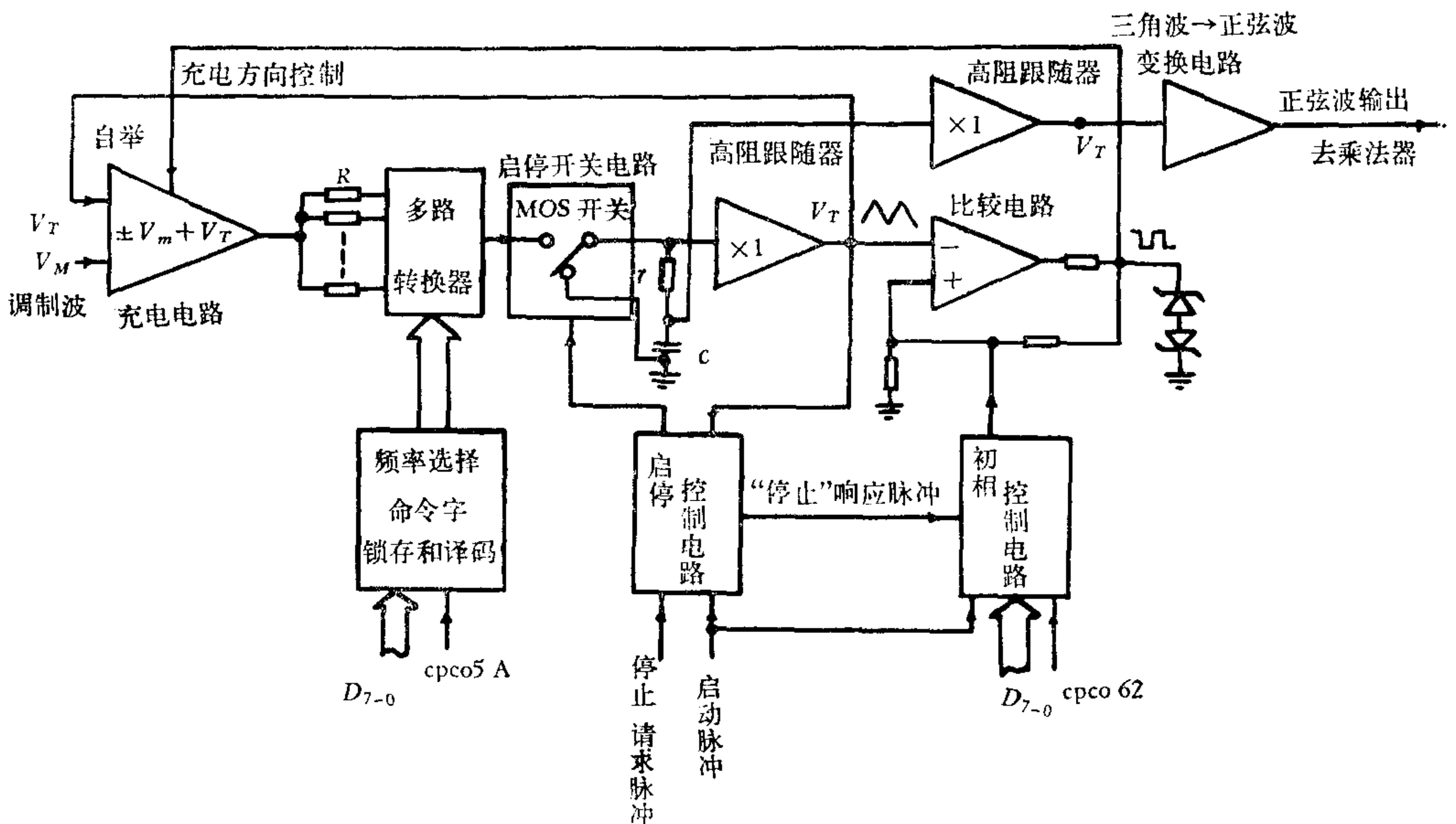


图 3 启停可控的调频正弦波发生器框图

2) 键盘: 本系统中人机联系是通过键盘进行的。要求键盘的硬件少、操作简单并能适合自编程序的需要。一般的通用键盘不能满足上述要求,必须自行设计。

键盘上分成三组键,它们是: 操作键、通用键和专用键。

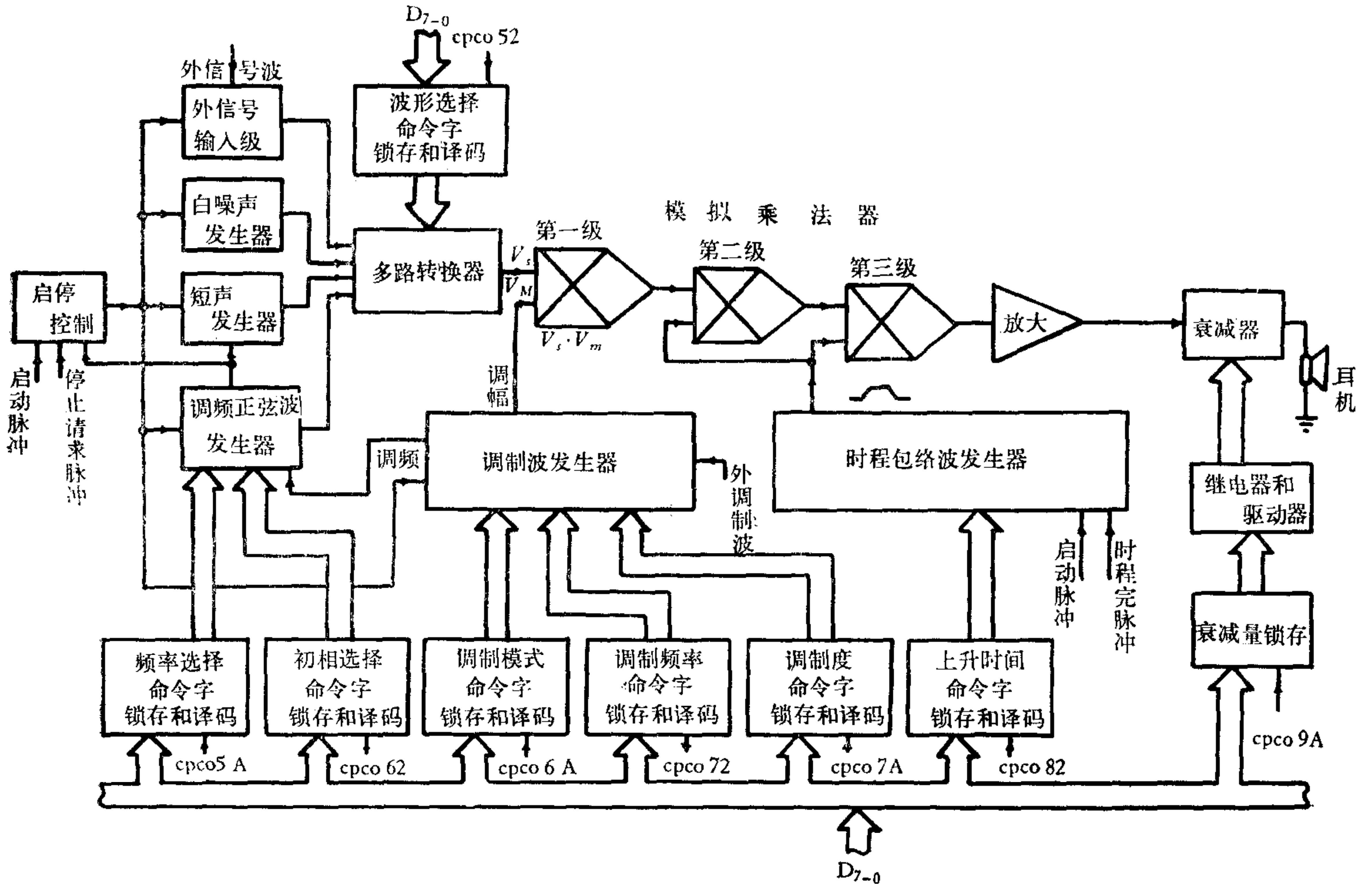


图 4 微计算机控制的多种波形发生器总框图

操作键包括“准备”(RESET)、“执行”、“读出”、“写入”和“插入”等键,是控制系统运行的主要键组,也用于自编和调试程序。

通用键共 16 个,表示 16 进制数 0—F,用来输入指令和数码。

专用键共 8 对,每对键相应于一个常用实验程序。键上标明实验名称,使用方便。

键盘与主机的联系采用中断方式。按操作键和专用键产生一个字节的数码,按通用键只产生半字节,通过电路把两个半字节组成一个全字节。键盘电路锁存好一字节数码后发出选通脉冲打入 8155 的 A 输入口,8155 向 CPU 申请中断(见图 1)。CPU 响应中断后把数码读入。

键盘电路中包括防止键弹跳和抗干扰,及防止同时按下多于一个键的错误操作的电路等。

3) 显示屏: 用来向用户显示本系统具体的运行情况,显示内存的地址和内容等各种数据,供调试程序之用。显示分三类: ①用 56 个指示灯显示声音参数。②用十进制、荧光数码管显示时间参数和重复次数。③用十六进制、荧光数码管显示内存的地址和内容。为此设计了十六进制显示译码电路。实践证明十六进制数码显示对于自编程序输入和调试都是十分需要的。

4) 模拟量接口电路: 系统有二个输出口各锁存一字节数据,分别经二个 8bit 的数模转换器产生模拟量 Y 和 X,可连接到示波器和 X Y 记录仪,记录实验结果。

5) 生物脉冲输入接口电路(用中断方式)，“X Y 记录”命令,控制 X Y 记录仪的动作。“增辉信号”控制示波管的辉度和示波器照相机“卷片信号”控制卷片动作等。

利用上述各种信号可把实验中经刺激引起的生物电脉冲组成一幅幅图象，照相机把它们依次摄取下来，这是重要的实验结果记录方法。

2. 软件设计

本系统软件设计的要点在于：①用很少的内存空间写出精炼而又完整的操作程序，使用户能通过键盘方便地控制系统。②编好一组符合用户要求的常用实验程序。③在用户自编程序时给予尽可能大的支持。④运用好中断的响应、屏蔽和处理。现分述如下：

1) 操作程序

其作用是系统初始化，接收、识别和执行从键盘输入的命令等。按准备键或开机时产生 RESET 信号通向 CPU，CPU 执行存放在 8755 (EPROM) 中零号地址的指令，对系统进行初始化。内存中 8000H 到 8004H 五个单元用作整个控制的连结中心，此时，在 8000H 单元中写入无条件转移指令操作码 C3，并准备好把键盘送入的字节依此送往 8001H—8004H 单元。8001H 和 8002H 单元存入要执行的程序入口地址，ppqq. 和 8000H 一起组成了一条三字节的无条件转移指令。在 8003H 和 8004H 二单元中存入参数 1 和参数 2，其作用视程序而不同。至此，准备工作已做好。

按“执行”键后，程序就跳转到 8000H，进而跳转到 ppqq，进入要执行的程序，实现了对系统的控制。举例说明如下：若欲把数码 CF 写入 8027H 单元则击键的顺序为“准备”，“写”，“入”，“2”，“7”，“8”，“0”，“执行”，“C”，“F”，操作已完成。当按下“准备”后系统初始化，按“写”和“入”二键，在 8001H 和 8002H 单元中填入写入程序入口。按通用键“2”，“7”，“8”，“0”组成二字节存入 8003H 和 8004H 二单元，写入程序内把此二参数规定为要写入的内存单元地址，低位在前。按“执行”键就跳转到写入程序，再按“C”“F”就完成了操作。

操作程序包括“准备”、“写入”等七个程序，仅 112 字节，很简短。见图 5

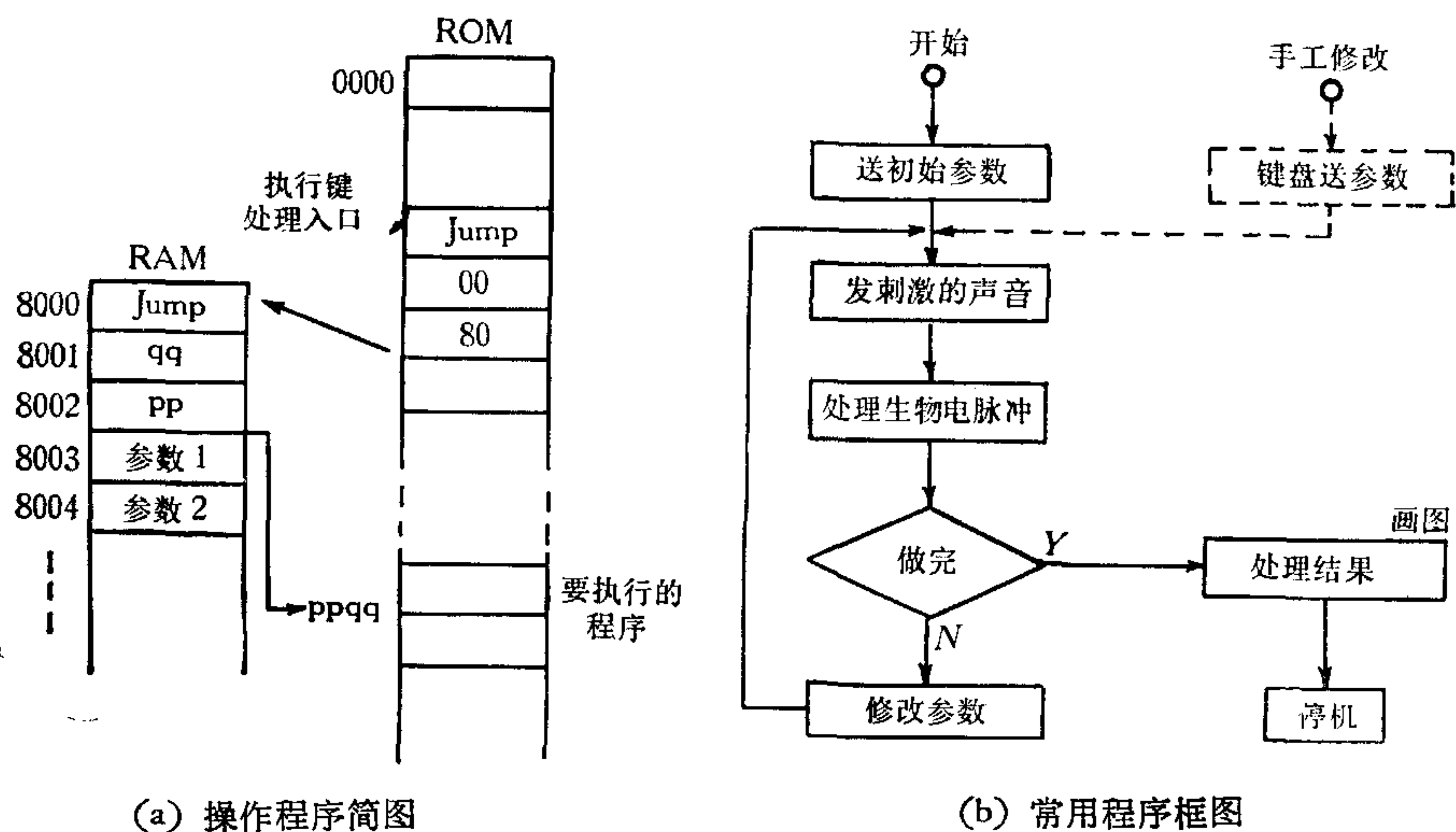


图 5

2) 常用实验程序

采用模块结构，把本系统的运行过程分解为一系列的基本动作，写成相应的子程序，构成子程序包。把子程序组合成常用实验程序。用户设计新的实验程序时，得到子程序

包的有力支持,就比较容易编写,也能在 1K RAM 中编出复杂的程序。

常用实验程序写在 8755(EPROM)中,开机就能调用,具有专用机使用方便的优点,但缺乏灵活性。为此采取二个措施增加灵活性:①参数可以从键盘输入(见图 5(b)).②在程序的关键地方跳转到 RAM 中设置好的三字节可变调用入口,再跳转到其他程序,再返回 EPROM 中的程序,这样就能增减或改变常用实验中的某些内容。使常用程序不但操作方便而且相当灵活,适应科研工作不断发展的特点。

3) 用户自编程序

由于有操作程序、操作键和子程序包的支持,用户可通过键盘输入和调试新的程序,过去,我们就这样来开发新的程序的。以后,本系统成为多微处理机电生理实验系统中的一个子系统,得到了主微计算机 M-8 的有力支持,自编程序可在 M-8 上编辑源程序,汇编和初步调试后送往本系统(Download)进一步调试,如发现错误,在 M-8 上修改后再送回本系统,新程序的开发就容易多了。

用户程序经实践考验后可写入 EPROM 中成为常用程序,而随着实验的发展,有些常用实验被淘汰,也可从 EPROM 中抹去。

4) 中断处理

生物电脉冲和 1ms 定时脉冲都通过中断申请而要求 CPU 处理,这二种中断申请的发生是互相独立的。在程序设计中,要仔细计算最不利的情况下程序执行的时间,防止生物脉冲或定时脉冲的丢失。而且上述二种中断都是可屏蔽的,键盘输入引起的中断也是可屏蔽的。在程序设计中,凡是不需要或不允许有些中断源起作用时,要及时将它们屏蔽,以防止干扰程序的正常运行。

此外还设计了四个硬件检查程序,用于检查模拟乘法器、XY 记录仪、命令输出接口和时间控制脉冲。便于硬件功能的调试和故障的排除。

所有程序如附表 2 所示,都用汇编语言写出,全部程序都写进一片 8755(EPROM 2 千字节)中,写入技术是作者和冶金所同志共同设计试验成功的。

四、实验效果

本系统于 1980 年 4 月起应用于我所听觉实验室,测定猫大脑皮层听细胞的调谐曲线及对调频纯音的反应特性,已经取得较多的数据和结果,用户感到本系统应用后有以下几点:

(1) 主要步骤程序化,自动化,大大减轻了实验者的操作辛劳和精神负荷。

(2) 提高了测试速度,以往测定一个神经元的调谐曲线及其对调频纯音的反应特性需 2 小时以上,只有极少数神经元的放电能在这样长的时间内维持稳定。应用本系统后,同样实验内容只需 40 分钟左右,使相当多的神经元能获得完整的数据,实验效率大大提高。

(3) 增加了实验的准确性,免除操作失误。

(4) 自动地迅速处理实验数据,在实验进行中就知道大部实验结果,使实验的每一步骤有明确的目的性。在使用本系统前,一次实验的数据常需在实验后花一、二天时间去整

理,实验结果当场不知道,使实验只得摸索着进行.

结果使实验的质量、水平和效率都得到提高.

五、结 语

实践证明,几个芯片的微型计算机小系统也能控制一个比较复杂的听觉实验系统. 4个芯片价格很低,使系统在价格性能比方面具有突出的优点. 本系统能独立地用于听觉生理的研究,也能成为多处理机电生理实验系统的一个子系统能适用于更复杂研究工作的需要.

在微计算机控制的系统设计中,要求设计者对硬件和软件两方面都有比较深入的了解,要对数字电路和模拟电路都比较熟悉,在系统设计时便能综合考虑,权衡利弊,选择最佳的组合,充分发挥微计算机有限资源的作用.

微型机小系统应用在科学研究中,要求能灵活地变化,以适应科学研究不断变化和发展的特点. 需采用常用程序和自编程序相结合的方式. 常用程序常驻在 EPROM 中,使用方便,适合于许多不熟悉计算机的用户. 常用程序的参数也可由键盘输入,程序中插入可变调用入口等使之具有一定的灵活性. 由于有操作程序和子程序包的支持,用户能自编比较复杂的实验新程序. 这些行之有效的方法使我们的系统能适合科研工作的需要并具有自己的特色.

参加此项工作的尚有韩宗葆、陈国康、邢凤琴、钱剑敏和谈玲麟等同志. 写 8755 EPROM 时得到上海冶金所同志的大力支持.

附表 1 多种波形发生器技术指标

1. 产生波形种类: 正弦波、噪声、短声和外接信号源共四档.
2. 正弦波和短声频率 HZ: 125—32 K (每档以 2 倍频率增加,外加 20 K).
3. 频率长期稳定性: 优于 1%.
4. 调频或调幅的调制度 M : $\pm 0.1—50\%$ (一、二、五制递增).
5. 调频调制度精度: 优于 $1\% M \pm 0.01\%$.
6. 调制波形: 方波、三角波、直流电平、外调制输入共四档.
7. 调制频率 HZ: 0.2—50 (一、二、五制递增).
8. 正弦波失真: 10KHZ 以内, $\leq 1.5\%$; 10KHZ—20KHZ; $\leq 1.8\%$.
9. 信噪比: $> 63\text{dB}$ (测噪声通频带 0—70KHZ).
10. 信号阻断比: ∞ .
11. 无信号输出时的噪声: $< 1\text{mV}_{\text{p-p}}$, 比信号低 80dB (测噪声通频带 0—70KHZ).
12. 正弦波相位控制: $0^\circ, 180^\circ, 0^\circ$ 和 180° 交替,共三档.
13. 声音强度: 每级 5dB, 最大强度大于 120dB.
14. 时迟: 0—9999ms, 每级 1ms.
15. 信号时程: 1—9999ms, 每级 1ms.
16. 信号上升下降时间 ms: 0, 2, 5, 10, 20, 50 共六级.
17. 重复次数: 1—9999 次, 每级一次.
18. 刺激后时间: 1—9999ms, 每级 1ms.

附表 2 本系统现有程序表

- (1) 常用程序
1. 寻找皮层听觉细胞专用程序
 2. 测量皮层听觉细胞反应面积专用程序
 3. 调频实验专用程序
 4. 鉴别程序 1
 5. 鉴别程序 2
- (2) 操作程序包括：“写内存程序”、“读内存程序”、“插入程序”、“键盘输入程序”、“执行程序”、“准备程序”和“自动读出程序”。
- (3) 子程序包包括：“定时脉冲处理子程序”、“生物脉冲处理子程序”、“刺激子程序”、“十进制转换成二进制数字子程序”和“参数送显示屏子程序”等 23 个。
- (4) 硬件检查程序包括：“接口检查程序”、“控制脉冲检查程序”、“乘法器检查程序”、“XY 记录仪检查程序”和“XY 记录仪标尺程序”。

参 考 文 献

- [1] Aitkin, L. M., Andersen, D. J., Brugge, J. F., Tonotopic organization and discharge characteristics of single neurones in nuclei of the lateral lemniscus of the cat, *J. Neurophysiol*, **33**(1970), 421—440.
- [2] Brugge, J. F., Merzenich, M. M., Response of neurones in auditory cortex of the macaque monkey to monaural and binaural stimulation, *J. Neurophysiol*, **36**(1973), 1138—1158.
- [3] Rhode, W. S., A digital system for auditory neurophysiological research. In “Computer technology in neuroscience.” ed. by Brown, P. B., Hemisphere Publishing Corporation, 1976, 543—567.

A MICROCOMPUTER SYSTEM FOR AUDITORY RESEARCH

CHEN JUNQIANG

WANG YIZHONG, DENG SHUZHEN, HU QIWEL,
XIE JINGUANG, ZHANG GUANHUA

(Shanghai Institute of Physiology, Academia Sinica)

ABSTRACT

Microcomputer system consists of a newly designed mainframe (including 4 micro-computer chips 8085, 8155, 8185 and 8755, a multiwaveform generator, a special keyboard, a display panel and interfaces) and peripherals (including a XY plotter, an oscilloscope, a camera etc.). The system can generate the complex stimulating sound with programmable parameters, process the bioelectric pulses recorded from the experimental animal, change the way of experimental observation according to the results obtained, transfer the data of results to XY plotter and plot in the form of histogram. A series of programs for routine experiments are available and easy to use. In addition, there are also a variety of subroutines in the EPROM. It is possible and convenient to make new programs according to user's intention. By combining digital and analogue circuits the system can be built with little hardware resources and investment and have reasonable performance.