

# 基于单片机原理的多功能测量仪的设计毕业设计

## 目录

设计总说明.....	IV
General Design Description.....	VI
一 . 绪论.....	9
1.1 课题的研究背景.....	9
1.2 测量仪表的简介.....	9
1.3 51 单片机简介.....	10
二. 电参数测量的理论依据.....	12
2.1 交流电流、电压有效值的测量.....	12
2.2 两相间相位差的测量.....	13
2.3 单相有功功率、无功功率、视在功率的测量.....	14
2.4 三相有功功率的测量.....	15
2.5 功率因数的测量.....	15
三. 方案设计.....	16
3.1 使用功能要求.....	17
3.2 仪器设计的总体框架和各模块的划分.....	17
四. 硬件电路设计.....	19
4.1 信号采集电路.....	19
4.1.1 电压信号采集电路.....	19
4.1.2 电流信号采集电路.....	20
4.2 整形电路设计.....	21
4.3 A/D 转换电路.....	22
4.4 741s138 译码器.....	32
4.5 A/D 转换电路.....	34
4.6 显示电路设计.....	35
4.6.1 数码管的介绍.....	35
4.6.2 数码管结构.....	37

4.6.3 驱动方式 .....	37
4.6.4 适用范围 .....	39
4.7 CD4511 .....	40
4.7.1 引脚功能 .....	40
4.7.2 工作范围 .....	41
4.7.3 真值表 .....	41
4.7.4 使用方法 .....	41
4.7.5 锁存功能 .....	42
4.8 通信接口电路 .....	44
4.8.1 Rs485 特点 .....	44
4.8.2 接口 .....	44
4.8.3 rs485 功能 .....	45
4.8.4 RS-485 通信电路 .....	46
五. 系统软件设计 .....	47
5.1 程序模块的划分 .....	47
5.2 结构化程序的设计方法 .....	47
5.3 软件模块 .....	48
5.3.1 主程序流程图 .....	48
5.3.2 数据采集子程序 .....	50
5.3.3 数据处理程序 .....	50
5.3.4 A/D 转换程序 .....	52
5.3.5 数码管显示 .....	53
5.3.6 RS485 .....	53
六. 总结与展望 .....	55
附录 A: 总电路图 .....	58
附录 B: 总的系统框图 .....	59
附录 C: 程序 .....	60
致 谢 .....	64

## 基于单片机原理的多功能测量仪的设计

### 设计总说明

随着电力系统的快速发展，电网容量不断增大，结构日趋复杂，电力系统中实时监控、调度的自动化显得尤为重要，而电力参数的数据采集又是实现自动化的重要环节，如何快速准确地采集系统中各元件的电参数（电压、电流、功率、功率因数等）是实现电力系统自动化的一个重要因素。

利用单片机采用程序设计方法来产生低频信号，其频率底线很低。具有线路相对简单，结构紧凑，价格低廉，频率稳定度高，抗干扰能力强，用途广泛等优点，并且能够对波形进行细微调整，改良波形，使其满足系统的要求。只要对电路稍加修改，调整程序，即可完成功能升级。

本设计中所用的 89C51 单片机是一种带 4K 字节闪烁可编程可擦除只读存储器的低电压、高性能 CMOS8 位微处理器。这款单片机的可擦除只读存储器可以反复擦除 100 次，采用 ATMEL 高密度非易失存储器制造技术制造，与工业标准的 MCS-51 指令集和输出管脚相兼容。由于将多功能 8 位 CPU 和闪烁存储器组合在单个芯片中，ATMEL 的 89C51 是一种高效微控制器。89C 单片机为很多嵌入式控制系统提供了一种灵活性高且价廉。在本设计中，由于计算较为简单，电路灵活，这款单片机完全符合设计的要求，同时也使得设计更加的简单方便。

智能仪表是随着 80 年代初单片机技术的成熟而发展起来的，现在世界仪表市场基本被智能仪表所垄断。究其原因就是企业信息化的需要，企业在仪表选型时其中的一个必要条件就是要具有联网通信接口。最初是数据模拟信号输出简单过程量，后来仪表接口是 RS232 接口，这种接口可以实现点对点的通信方式，但这种方式不能实现联网功能。随后出现的 RS485 解决了这个问题的方案。

RS-232、RS-422 与 RS-485 都是串行数据接口标准，最初都是由电子工业协会（EIA）制订并发布的，RS-232 在 1962 年发布，命名为 EIA-232-E，作为工业标准，以保证不同厂家产品之间的兼容。RS-422 由 RS-232 发展而来，它是为弥补 RS-232 之不足而提出的。为改进 RS-232 通信距离短、速率低的缺点，RS-422 定义了一种平衡通信接口，将传输速率提高到 10Mb/s，传输距离延长到 4000 英尺（速率低于 100kb/s 时），并允许在一条平衡总线上连接最多 10 个接收器。RS-422 是一种单机发送、多机接收的单向、平衡传输规范，被命名为 TIA/EIA-422-A 标准。为扩展应用范围，EIA 又于 1983 年在 RS-422 基础上制定了 RS-485 标准，增加了多点、双向通信能力，即允许多个发送器连接到同一条总线上，同时增加了发送器的驱动能力和冲突保护特性，扩展了总线共模范围，后命名为 TIA/EIA-485-A 标准。由于 EIA 提出的建议标准都是以“RS”作为前缀，所以在通讯工业领域，仍然习惯将上述标准以 RS 作前缀称谓。

将模拟信号转换为数字信号的电路称作模 / 数转换电路(或 A / D 转换电路)，模拟信号转换成数字信号要经历采样、保持、量化、编码 4 个过程。现在已存在单片集成电路能够完成模 / 数转换的功能，这种模 / 数转换的集成电路通常被称作模 / 数转换器。根据模 / 数转换器的转换原理不同，模 / 数转换器可分为逐次比较型模 / 数转换器、双积分型模 / 数转换器等几种。

双积分型 A/D 转换器的最大优点是工作稳定，抗干扰能力强。双积分型 A/D 转换器的数字输出与积分电阻 R、积分电容 C、时钟频率  $f_{cp}$  无关，最大缺点是速度较慢，所以主要用于数字电压表等低速测试系统中。双积分型 A/D 转换器的转换精度主要取决于位数、运算放大器和比较器的灵敏度和零点漂移等因素的影响。

电能测量仪将多个电能参数形成一体化仪表后，只携带一个仪表就能完成电压、电流、相位、功率、功率因数等多种功能真正做到全面准确地反映用电系统的电能质量。该仪器可以广泛适用于电力系统及相关行业继电保护和计量专业、工矿企业、石油化工、冶金企业的二次回路检查。它的出现简化了操作员的工作，同时也带来相当的经济和社会效益。

基于此，本文主要设计一个基于 MSC-51 单片机控制的交流电参数测量仪，此仪器可以测量交流电参数的电压，功率。

**关键词：**数字信号处理器；数据采集；RS485；A/D 转换





## **Based on the principle of multi-chip design measuring instrument**

### General Design Description

With the rapid development of the power system, power grid capacity is increasing, the structure more complex, real-time power system monitoring, scheduling automation is particularly important, and electrical parameters of the automated data acquisition is an important part of how to quickly and accurately capture system electrical parameters of each component (voltage, current, power, power factor, etc.) is to achieve power system automation is an important factor.

Using microcontroller programming method used to generate a low frequency signal whose frequency is the bottom line low. Has a relatively simple circuit, compact, inexpensive, high frequency stability, anti-interference ability, versatility, etc., and can fine-tune the waveform, improved waveform to meet the system requirements. As long as the circuit slightly modified to adjust the program to complete the feature upgrades.

Used in this design is an 89C51 microcontroller with 4K bytes of flash erasable programmable read-only memory, low voltage, high performance CMOS 8 bit microprocessor. This single-chip EEPROM erasure can be repeated 100 times, using ATMEL high density non-volatile memory fabrication techniques, and industry-standard MCS-51 instruction set and output pins are compatible. Since the multi-8 CPU and flash memory combined in a single chip, ATMEL's 89C51 is an efficient microcontroller. 89C MCU as many embedded control system provides a high flexibility and low-cost price. In this design, the calculation is simple, flexible circuit, this single-chip fully meet the design requirements, but also makes the design more simple and convenient.

Smart meters in the early 1980s, with the chip technology matures and developed world is now being smart meter market is basically dominated by the instrument. The reason is the business information needs of enterprises in the instrument selection which is a necessary condition is to have the network communication interface. Originally a simple analog signal output process data amount, then the instrument interface is a RS232 interface, this interface can achieve point to point communication, but this approach can not be achieved networking. RS485 then appears to solve this problem.

RS-232, RS-422 and RS-485 serial data interface is standard, initially by the Electronic



Industries Association (EIA) developed and published, RS-232 released in 1962, named for EIA-232-E, As industry standards to ensure compatibility between products from different manufacturers. RS-422 evolved from the RS-232, which is to compensate for the lack of RS-232 raised. RS-232 communications to improve the short distance, low rate of defects, RS-422 communication interface defines a balance, transfer rate up to 10Mb / s, the transmission distance was extended to 4000 feet (rates of less than 100kb / s time), and allows a balance on the bus up to 10 receivers. RS-422 is a single transmission, multi-machine receives a one-way, balanced transmission standard, was named TIA/EIA-422-A standards. To expand the application range, EIA again in 1983 on the basis of the RS-422 RS-485 standard developed to increase the multi-point, two-way communications capability that allows multiple transmitters connected to the same bus, while increasing the transmitter drive capability and conflict protection features, the expansion of the bus common mode range, named after TIA/EIA-485-A standards. Since EIA standards are based on recommendations made by "RS" as a prefix, so in the communications industry, are still accustomed to the above criteria to RS prefix title.

The analog signal is converted to digital signal circuits known analog / digital conversion circuit (or A / D conversion circuit), an analog signal into a digital signal to go through the sample and hold, quantization, coding 4 process. There is now a monolithic integrated circuit to complete the A / D conversion function, this analog / digital conversion circuit is often referred to as analog / digital converter. According to analog, digital converter conversion works differently, analog / digital converter can be divided into successive comparison mold / digital converters, mold double integral A / D converter and so are several.

Double integral type A / D converter's biggest advantage is job stability, anti-interference ability. Double integral type A / D converter digital output of the integrating resistor R, the integrating capacitor C, independent of the clock frequency  $f_{cp}$ , the biggest drawback is slower, so the voltmeter mainly used for low-speed digital test systems. Double integral type A / D converter conversion accuracy depends on the median, operational amplifiers and comparators sensitivity and zero drift and other factors.

Energy meter will form an integrated instrument multiple power parameters, the instrument can be done only carry a voltage, current, phase, power, power factor and other features truly fully and accurately reflect the quality of electric power systems. The instrument can be widely applied to

power system protection and metering and related industries professional, industrial and mining, petrochemical, metallurgical enterprises of the secondary circuit checks. It appears to simplify the operator's work, but also bring considerable economic and social benefits.

Based on this, the main design a microcontroller-based MSC-51 AC parameter measurement instrument, the instrument can measure AC parameter of voltage, power.

## 一 . 绪论

### 1.1 课题的研究背景

随着生产的发展及社会的进步，电力在生产、生活中的重要也越来越明显。以前我们可能对电力的质量感到满意，但毫无疑问，现在的工厂、办公室、医院以及其他公用设施都依赖高质量的电力来保证其电子和电气设备的正常工作。尤其在电力系统及工矿企业中，电压表、钳位电流表、相位表、频率表、频谱分析仪等仪表广泛被应用，常规的电工仪表不论是数字式的还是模拟式的测试重点一般都放在直流电流、直流电压、交流电流、交流电压和频率的测量上。而电网中的谐波含量越来越高，将直接影响发供电设备的安全和优质运行，有可能增加电网发生谐振的可能，从而产生过电压或过电流，降低电网的可靠性；增加电网损失，降低了电气设备的效率和利用率；加速设备的绝缘老化，缩短设备的使用寿命，降低电能质量；影响继电保护、计算机、测量和计量仪器以及通信系统的正常运行等，所以准确分析电能的参数是非常必要的，这将反映整个电网的电力质量。而电压表、电流表、功率表等多种测量仪器的携带和使用给我们造成了很大的不便。电能测量仪将多个电能参数形成一体化仪表后，只携带一个仪表就能完成电压、电流、相位、功率、功率因数等多种功能真正做到全面准确地反映用电系统的电能质量。该仪器可以广泛适用于电力系统及相关行业继电保护和计量专业、工矿企业、石油化工、冶金企业的二次回路检查。它的出现简化了操作员的工作，同时也带来相当的经济和社会效益。

### 1.2 测量仪表的简介

测量是一种将数字与物理量、物理现象结合之过程可凭人的感觉或借助仪器，而所借助之仪器由简单测量长度的尺，到超过人类感觉估计的量而设计的精密系统。测量是科学研究和生产过程中的一个必不可少的环节，测量方法的先进与否在很大程度上决定着科学实验和生产技术的先进性。人们通过测量，探索自然界各种现象之间存在的客观规律，建立起各种定理和定律，这些定理、定律又促进了测量技术的发展。电工测量仪表是根据电流的磁效应或热效应对表内活动的推动力制成的，利用指针偏转的大小，或光点在标尺上移动的距离来指示电学量的测量仪器，它是实现电工测量过程所需技术工具的总称。

随着技术的发展，尤其是数字电子技术及大规模集成电路技术的发展，使得数字仪表得到了迅猛的发展。数字电压表(DVM)是其中的代表，它是采用数字化测量技术，把连续的模拟量(直流输入电压)转换成不连续、离散的数字形式并加以显示的仪表。数字仪表经过50

多年来不断地地发展、改进和提高，已经达到了一个全新的层次。从最初的一两种类型发展到原理不同地几十种类型；从最早采用继电器、电子管发展到全晶体管、集成电路、微处理器化；从一台仪器只能测量一两种参数的专用型到能测量十几种参数的多用途；显示器件从辉光数码管发展到等离子管、发光二极管、液晶显示器等。数字电压表的体积越来越小，重量不断减轻，可靠性越来越高，价格也逐渐下降。近年来，含有微型计算机或微处理器的测量仪器或测量系统，能够对数据进行存储、运算、逻辑判断及自动化操作，具有一定智能功能，因而被称之为智能仪表。智能仪表的自校准功能减小了系统误差从而提高测量仪器的准确度，不仅可以通过校零或采用标准信号进行校验获得仪器的误差，将误差保存起来，而且测量时能够自动从测量值中扣除误差。智能仪表现在大都具备通信功能，这使它可以接受计算机的命令而被遥控，也可以将测量数据传递给计算机，从而成为测控系统的一部分。

总之，采用新技术、新工艺，由LSI和VLSI构成的新型数字仪表及高档智能仪器的大量问世，标志着电子仪器领域的一场革命，也开创了现代电子测量技术的先河。含有微型计算机或微处理器的测量仪器或测量系统，能够对数据进行存储、运算、逻辑判断及自动化操作，具有一定智能功能，因而被称之为智能仪表。

### 1.3 51单片机简介

51 单片机是对所有兼容 Intel 8031 指令系统的单片机的统称。该系列单片机的始祖是 Intel 的 8031 单片机，后来随着 Flash rom 技术的发展，8031 单片机取得了长足的进展，成为应用最广泛的 8 位单片机之一，其代表型号是 ATMEL 公司的 AT89 系列，它广泛应用于工业测控系统之中。很多公司都有 51 系列的兼容机型推出，今后很长的一段时间内将占有大量市场。51 单片机是基础入门的一个单片机，还是应用最广泛的一种。需要注意的是 52 系列的单片机一般不具备自编程能力。

当前常用的 51 系列单片机主要产品有：

\*Intel 的：80C31、80C51、87C51，80C32、80C52、87C52 等；

\*ATMEL 的：89C51、89C52、89C2051 等；

\*Philips、华邦、Dallas、Siemens (Infineon) 等公司的许多产品

国产宏晶 STC 单片机以其低功耗、廉价、稳定性能，占据着国内 51 单片机较大市场。

51系列优点之一是它从内部的硬件到软件有一套完整的按位操作系统，称作位处理器，或布尔处理器。它的处理对象不是字或字节而是位。它不光能对片内某些特殊功能寄存器的某位进行处理，如传送、置位、清零、测试等，还能进行位的逻辑运算，其功能十分完备，使用起来得心应手。虽然其他种类的单片机也具有位处理功能，但能进行位逻辑运算的实属少见。51系列在片内RAM区间还特别开辟了一个双重功能的地址区间，十六个字节，单元地址20H~2FH，它既可作字节处理，也可作位处理(作位处理时，合128个位，相应位地址为00H~7FH)，使用极为灵活。这一功能无疑给使用者提供了极大的方便，因为一个较复杂的程序在运行过程中会遇到很多分支，因而需建立很多标志位，在运行过程中，需要对有关的标志位进行置位、清零或检测，以确定程序的运行方向。而实施这一处理(包括前面所有的位功能)，只需用一条位操作指令即可，对周围的其他位不会产生影响。

51系列的另一个优点是乘法和除法指令，这给编程也带来了便利。八位除以八位的除法指令，商为八位，精度嫌不够，用得不多。而八位乘八位的乘法指令，其积为十六位，精度还是能满足要求的，用的较多。作乘法时，只需一条指令就行了，即MuL AB(两个乘数分别在累加器A和寄存器B中。积的低位字节在累加器A中，高位字节在寄存器B中)。很多的八位单片机都不具备乘法功能，作乘法时还得编上一段子程序调用，十分不便。在51系列中，还有一条二进制一十进制调整指令DA，能将二进制变为BCD码，这对于十进制的计量十分方便。而在其他的单片机中，则也需调用专用的子程序才行。

#### 1.4 技术指标

采用 51 系列单片机

对电压、电流、功率等参数进行测量，误差为 1%；

采用 LCD 进行显示；

通过RS485进行远程数据传输，波特率2400bps。





## 二. 电参数测量的理论依据

### 2.1 交流电流、电压有效值的测量

交流直接采样方法测量交流电量的算法虽有多种，但较实用有三种，即最大值法、积分法和傅里叶变换法。最大值法适宜输入信号为纯正弦周期信号情况，多次采集求平均可减小误差，但考虑内部 A/D 采集间隔会在很大程度上影响对峰峰值的检测，会使测量不准。傅里叶变换法是将离散的采样值经过离散傅里叶变换(DFT)转换到频域，求出基波和谐波分量，再求有效值及平均功率。实际使用中可以采用快速傅里叶变换(FFT)以提高运算速度，但是计算量仍然偏大。积分法就是从连续周期信号有效值的定义和功率的定义出发，用数值积分近似代替连续积分进行计算的方法。采用积分法微机计算量较小，装置实时性好，适合以单片机为核心进行设计。

因为周期性电流、电压的瞬时值是随时间变化的，所以一般用有效值表它们的做功能力并度量其“大小”。电流有效值的定义是将一个周期性电流的做功能力和直流电流的做功能力相比，有：在相同的时间T内周期电流*i*流过电阻R在一个周期内所做功与直流电流I流过电阻R所做功相等，则称此直流电流的量值为周期电流的有效值。

周期性电流*i*流过一个电阻R，在时间T内，电流*i*所做的功为：

$$W_i = \int_0^T i^2 R dt \quad \text{公式(2-1)}$$

直流电流I流过电阻R在时间T内所做的功为：

$$W_I = I^2 RT \quad \text{公式(2-2)}$$

当两个电流在一个周期T内所做功相等时，有：

$$I^2 RT = \int_0^T i^2 R dt \quad \text{公式(2-3)}$$

于是，得：

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad \text{公式(2-4)}$$

式中 *i*-----t时刻的电流信号瞬时值*i*(t)

T-----该电流信号波形的周期

I-----交流电流有效值

在工程情况下，无法对有效值中的积分进行精确运算，只能以一个周期内有限个采样电流数字量来代替一个周期内连续变化的电流函数，则

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{m=1}^N i_m^2 \Delta T_m} \quad \text{公式 (2-5)}$$

式中  $\Delta T_m$ -----相第邻两次时采样的时间间隔；

$U_m$ -----第  $m-1$  个时间间隔的电压信号采样瞬时值；

$N$ -----一个周期的采样点数。

若相邻两次采样的时间间隔相等， $\Delta T_m$  为常数  $\Delta T$ 。因为

$$N = \frac{T}{\Delta T} + 1 \quad \text{公式 (2-6)}$$

所以有：

$$I = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{m=1}^N i_m^2} \quad \text{公式 (2-7)}$$

这就是根据一个周期内采样瞬时值及每周期采样点数计算电流信号有效值的公式。

同理，若  $u_m$  为第  $m-1$  个周期内采样得到的电流瞬时值，该电压有效值  $U$  为：

$$U = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{m=1}^N u_m^2} \quad \text{公式 (2-8)}$$

此测量属于直接测量。

## 2.2 两相间相位差的测量

本系统采用快速傅立叶变换 (FFT) 计算信号的相位。具体的 FFT 的算法及实现将在后续介绍到。假设输入信号为  $u(k)$ 、 $i(k)$ ，经过 FFT 计算得

$$U_{Rn} = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u(k) \cos k \frac{2\pi}{N} \quad \text{公式 (2-9)}$$

$$I_{Rn} = \frac{2}{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} i(k) \cos k \frac{2\pi}{N} \quad \text{公式 (2-10)}$$

$$U_{In} = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u(k) \sin k \frac{2\pi}{N} \quad \text{公式 (2-11)}$$

$$I_{In} = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} i(k) \sin k \frac{2\pi}{N} \quad \text{公式 (2-12)}$$

相位  $\theta_u$  和  $\theta_i$  为:

$$\theta_u = \arctg \frac{U_{In}}{U_{Rn}} \quad \theta_i = \arctg \frac{I_{In}}{I_{Rn}}$$

由此可得相位差为:

$$\Delta\theta = \theta_u - \theta_i \quad \text{公式 (2-13)}$$

### 2.3 单相有功功率、无功功率、视在功率的测量

对于正弦信号，假设电压和电流的瞬时值分别为:

$$u = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \alpha) \quad \text{公式 (2-14)}$$

$$i = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \beta) \quad \text{公式 (2-15)}$$

则瞬时功率P为 :

$$P = UI \quad \text{公式 (2-16)}$$

单相有功功率P为瞬时功率P在一周期内的平均值，可以由下式计算得到:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt = UI \cos \theta \quad \text{公式 (2-17)}$$

其中  $\theta = \alpha - \beta$ ，为电压与电流的相位差，可由FFT计算得到。非正弦的有功功率P也可以采用上式得到。由于功率的测量依赖于电压和电流的测量，故该测量属于间接测量。

无功功率Q计算如下:

$$Q = UI \sin \theta \quad \text{公式 (2-18)}$$

视在功率S为:

$$S = UI \quad \text{公式 (2-19)}$$

### 2.4 三相有功功率的测量

通过电压电流互感器引入六路信号，分别A、B、C三相的相电流和相电压信号，根据三相有功功率公式：

$$\sum P = P_A + P_B + P_C \quad \text{公式 (2-20)}$$

故得：

$$\sum P = U_A I_A \cos \theta_A + U_B I_B \cos \theta_B + U_C I_C \cos \theta_C \quad \text{公式 (2-21)}$$

与单相功率的测量相似，三相功率的测量也属于简介测量。

## 2.5 功率因数的测量

功率因数被定义为有功功率和视在功率的比值。即功率因数 $\lambda$ 为：

$$\lambda = \frac{P}{S} \quad \text{公式 (2-22)}$$

积分和法的精度与采样点数N和采样的同步度有关。在系统速度允许的情况下，可以增加采样点数以提高运算精度，一般每周波可采样几百点。该算法实时性强，算法简单，能够计及信号中高次谐波的影响，在不需要测量基波和各次谐波参数值的情况下，可以选用此算法。

## 三. 方案设计

测量仪器的基本功能是完成对被测量物理参数进行实时测量，通过信号变换电路将采样信号变换成一定的标准信号，再将这个标准信号进行显示记录。通常，测量仪器可分为三部分：参数测量部分、信号调理部分、显示记录部分。其中，参数测量部分由传感器来完成，这一部分在测量仪器中被称为一次测量仪表；而信号调理部分和显示记录部分统称为测量仪器的二次仪表。对测量仪器的设计是指对仪器的机械结构、电路结构进行设计或选配，包括对一次仪表和二次仪表的设计或选配，以满足仪器的设计要求。所谓设计思路是指提出一个设计方案，通过对该设计方案的实施可以满足设计要求或技术指标。通常为了提出设计方案，首先要分析技术指标的要求，然后设计总体框架，再根据框架进行模块划分，认真研究设计中的重点问题，最终提出整个的设计方案。该仪器以 89C51 作为主控制器，系统把取样采集电路得来的信号分别通过放大、整流，再将其传到 A / D 转换，把模拟量转换为数字量，将得到的数字信号送入单片机中分析处理，经过数据处理，进行数值积分，可得到变压器副边电压值、电源的频率，并送到外部显示单元显示，并通过外接按键控制显示和数据保持。整个系统主要包括电源电路、信号采集电路、整形电路、A / D 转换电路、数字器件接口电路、液晶显示接口电路等等。

总设计结构框图如图 3-1:

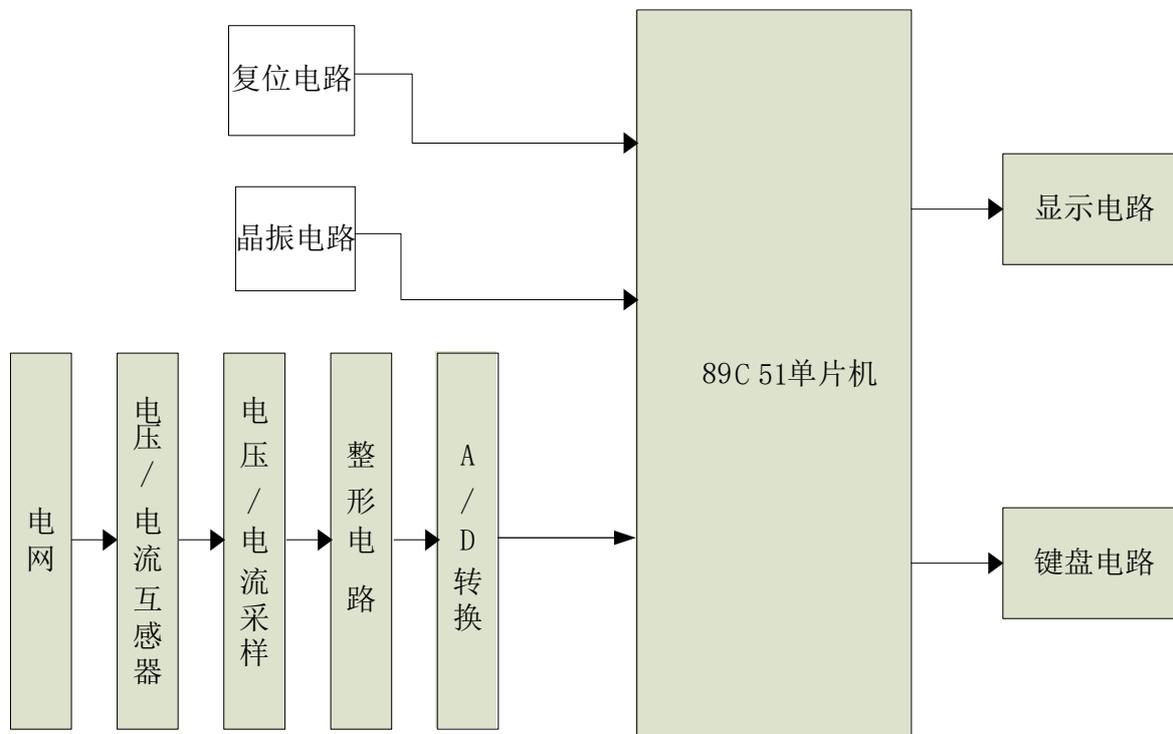


图 3-1、总设计结构图

### 3.1 使用功能要求

测量仪器完成的基本功能是对相关的电气参数进行测量，并将测量的结果进行记录或显示。但是，测量仪器在使用过程中应当受到使用者的控制，同时测量结果的显示、记录也应方便、直观。

本项目中所讨论的三相多功能伏安相位仪的使用功能要求包括：

- 测量仪应当能集电压表、电流表、功率表、相位表、功率因数表于一体。
- 仪器应当能够以数字的方式实时显示测量过程中各电气参数变化情况，以便使用者读取测量数据。
- 测量仪的使用者应当能够通过“按键”控制测量仪启动对被测参数的测量，同时能够通过“按键”人为的终止测量，当测量没有被人为终止的情况下，测量仪器可以在测量一段时间后终止测量。

### 3.2 仪器设计的总体框架和各模块的划分

根据设计要求完成对测量仪的总体框架构思之后，应当对这个框架进一步细分，这一过程被称作模块的划分。通常模块划分的依据是每个模块实现的功能不同。由于设计过程中使用了数字信号处理器，因此模块划分的工作也包括将硬件完成的任务与软件完成的任务加以区分。其中硬件多完成一些基础性、易实现的功能；软件通常完成一些发挥性、硬件难实现的功能。

对于本论文中所讨论的测量仪，硬件所完成的功能主要包括电源电路，信号采集电路，整形电路，A/D转换电路等基础性的功能。软件完成的功能包括对检测信号的数据采集、处理等功能。由于对软件的修改调试要比对硬件电路的修改调试容易、方便，而且软件的开发费用比硬件的开发费用低，因此这样划分软 / 硬件模块后，对测量仪的各项功能进行调试、修改都比较方便，且测量仪整个开发成本较低。

根据电路实现的功能不同，测量仪的电路可划分为如下几个主要模块：

- 时钟接口电路：它可以产生秒、分、时、星期、日、月、及年等七个时标，可以通过编程读取和修改这些时标，也可以编程成生定时间隔中断。采用硬时钟 / 日历，可以不占用单片机的定时器资源，减轻软件的设计量。
- 液晶显示屏背光电源模块：液晶显示屏的背光电压直接影响液晶显示的对比度，该电压的正常范围是一11~一15V。而电池的供电电压为12V，因此要通过变换电路将电压变换到背光电压的正常值范围内，同时该电路可通过控制键盘接口电路输出的调节信号，在背光电压的正常值范围内调节背光电压。

- A / D转换电路：测量仪对被测的物理参量要进行数字处理，由于电压、电流互感器的输出信号为模拟信号，因此测量仪应当采用A / D转换电路将模拟信号转换成数字信号，以便处理器进行运算处理。
- 电源电压变换电路：由于铅酸电池额定电压是12V，而硬件电路上各部分电压不完全相同，有要求3.3V的，也有要求5V及12V的，所以必须设计电源电压变换电路将电池电压变换成硬件电路所需要的电压值。
- 键盘接口电路模块：该模块起到单片机与键盘的连接桥梁作用，通过该电路模块单片机可以判断键盘中是否有按键按下，可以读取操作键盘中按键的“键值”，进而完成人 / 机交互操作。
- 通信接口电路：该模块支持单片机与外部信息的交换。数据逐位传送，适用于单片机与外设之间的远距离通信。

## 四. 硬件电路设计

### 4.1 信号采集电路

信号采集电路是电子系统中常用到的功能模块。数据信号采集采用运算放大器 OP07 构成电压跟随器对信号进行跟随处理，再由采样/保持器 LF398 对信号进行采样/保持。高电平，采样；低电平，保持。采样控制信号由集成锁相环 CD4046 对被测信号进行 64 倍频产生

#### 4.1.1 电压信号采集电路

电压跟随电路：由 OP07 构成，虽然精确度不够高，但它能提高带负载能力，硬件电路简单，也不需软件控制，所以本设计采用了此方案。输入信号是 0~5V 交流电压信号，输出信号不变，电路如图 4-1 所示：

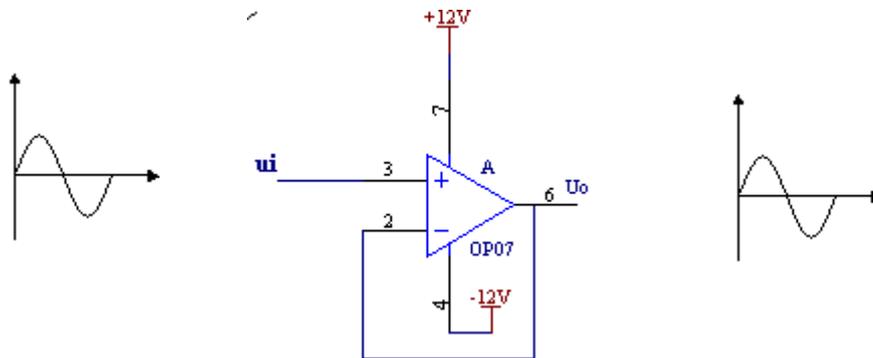


图 4-1、电压跟随电路

信号采样/保持电路：采用保持器 LF398 对电压信号进行采样/保持。在单片机 P2.5 口的控制下，高电平，采样；低电平，保持。输入的正弦波信号经 LF398 后变为抽样信号。电路如图所示：

失调电压的调整是通过与 V+ 的分压并调整 1KΩ 电位器实现的。保持电容 CH 应选用 300~1000PF 的高性能低漏电容云母电容器。控制逻辑在高电平时为采样，在低电平时为保持。本设计采用此种连接方法。

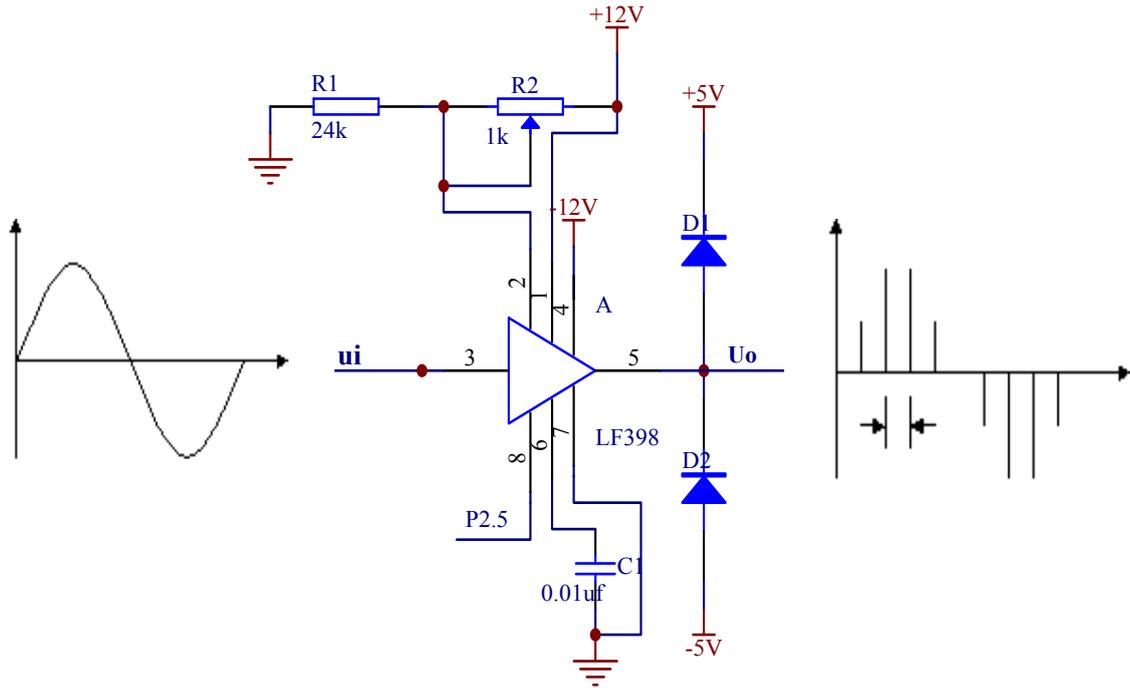


图 4-2、信号保持电路

故电压信号采样整体电路如下图 4-3:

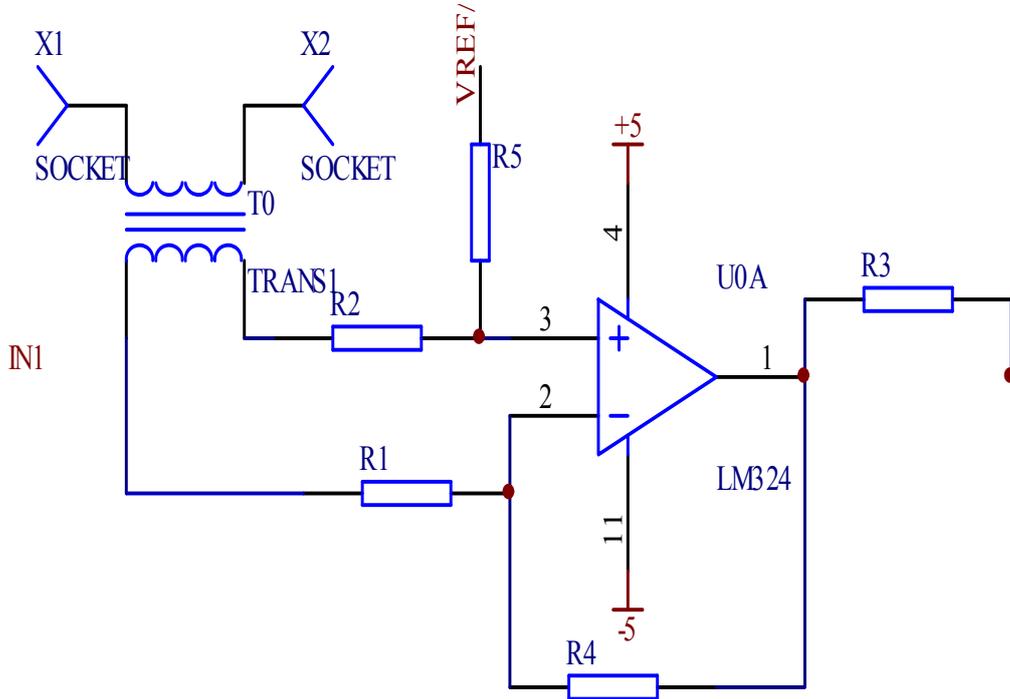


图 4-3、电压信号采集电路

### 4.1.2 电流信号采集电路

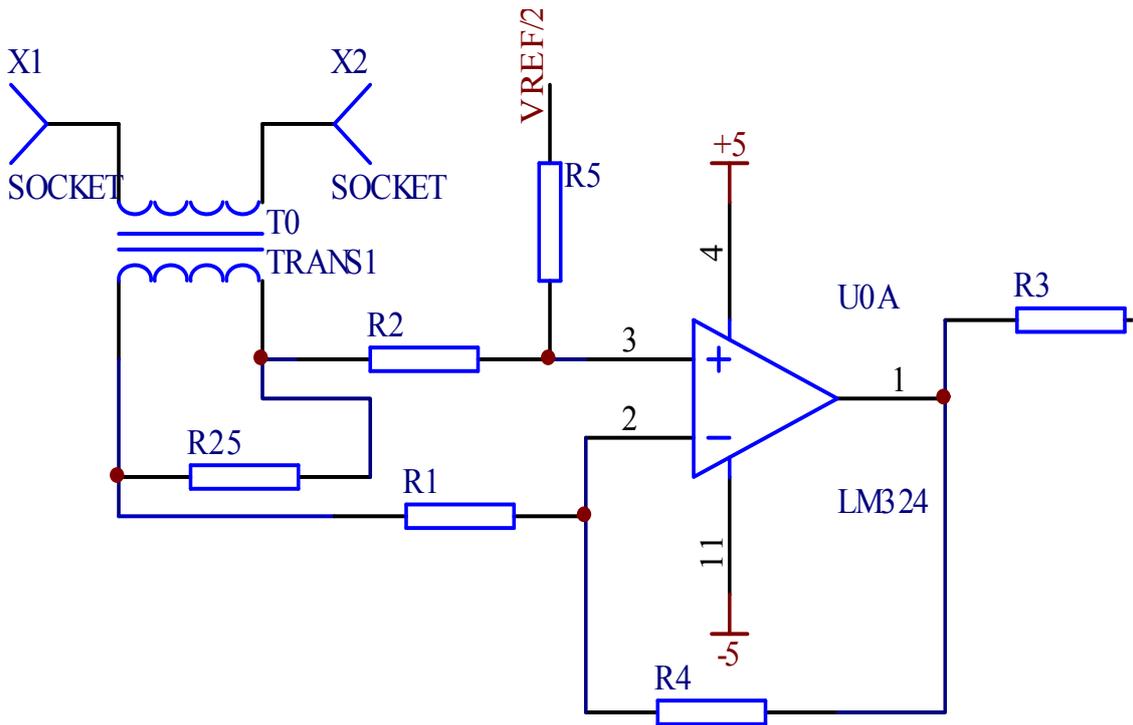


图 4-4、电流信号采集电路

### 4.2 整形电路设计

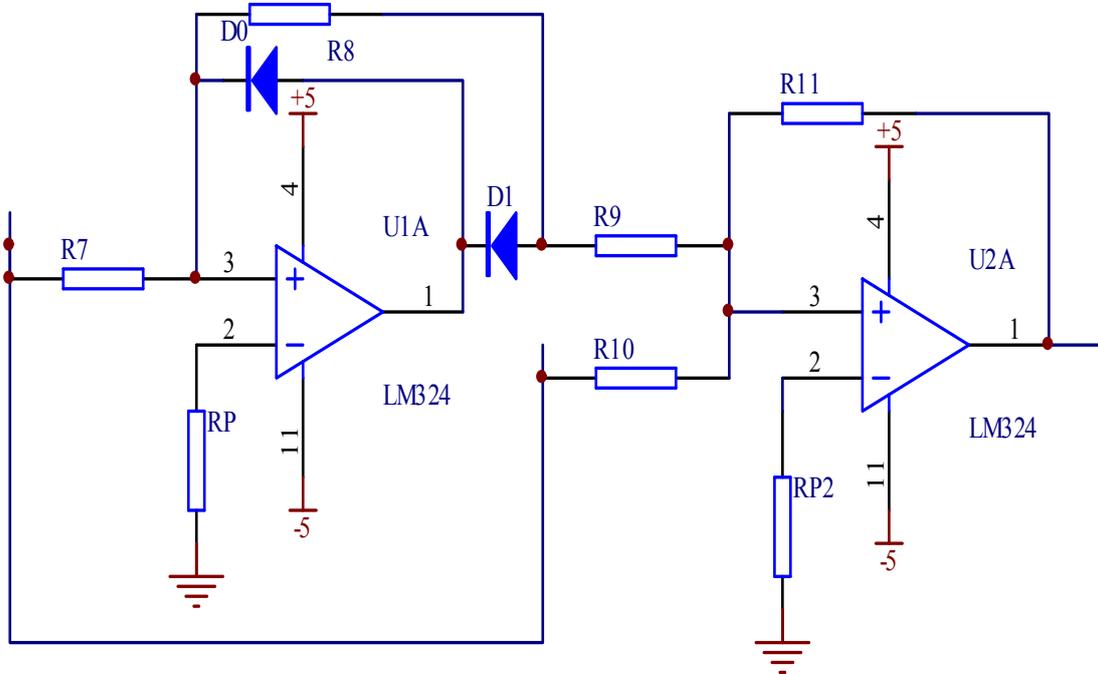


图 4-5、整形电路

由于被测信号是一些高于220V的高压信号，所以实际测量时必须先将其变换为测量仪可用的小电流信号，即高压信号要经过互感器信号调整转换电路。互感器信号调整转换电路完成的主要功能包括：对互感器的输出信号进行滤波、放大处理，并将处理后的信号进行模/数转换，以便处理器读取使用。调整转换电路在处理，并将处理后的信号进行模/数转换，以便处理器读取使用。调整转换电路在整个测量仪中起到从互感器到处理器的桥梁作用。

电压信号具有正负极性的交流信号必须把交变信号进行精密整流使其变成正极性单向脉动信号才能被 ADC0809 接受当然在整流以前必须要进行幅度衰减使其适合于 ADC0809 的电平要求。

### 4.3 A/D 转换电路

#### 4.3.1 A/D 转换电路的介绍

将模拟信号转换为数字信号的电路称作模/数转换电路(或A/D转换电路)，模拟信号转换成数字信号要经历采样、保持、量化、编码4个过程。现在已存在单片集成电路能够完成模/数转换的功能，这种模/数转换的集成电路通常被称作模/数转换器。根据模/数转换器的转换原理不同，模/数转换器可分为逐次比较型模/数转换器、双积分型模/数转换器等几种。A/D转换器从启动转换到转换结束，输出稳定的数字量。需要一定的时间，这就是A/D转换器的转换时间，其倒数就是每秒钟能完成的转换次数，成为转换速率。用不同的原理实现的A/D转换器转换时间是大不相同的，总的来说，积分型、电荷平衡型和跟踪比较型A/D转换器转换速率较慢，转换时间从几毫秒到几十毫秒不等，只能构成低速的A/D转换器一般适用于对温度、压力、流量等变化缓慢的参量进行检测。逐次比较型的MD转换器的转换时间可从几微秒到100微秒左右，属于中速A/D转换器，常用于工业多通道单片机控制系统和声频数字转换系统等。转换时间最短的高速A/D转换器是那些双极型或CMOS工艺制成的全并行型、串行型和电压转移函数型的A/D转换器，转换速率20~100ns。高速的转换器适用于雷达、数字通讯、实时的光谱分析、实时瞬态记录、视频数字转换系统等。

ADC0809 是美国国家半导体公司生产的 CMOS 工艺 8 通道，8 位逐次逼近式 A/D 模数转换器。其内部有一个 8 通道多路开关，它可以根据地址码锁存译码后的信号，只选通 8 路模拟输入信号中的一个进行 A/D 转换。

主要特性

- 8 路输入通道，8 位 A/D 转换器，即分辨率为 8 位
- 具有转换起停控制端

- 转换时间为 100  $\mu$ s (时钟为 640kHz 时), 130  $\mu$ s (时钟为 500kHz 时)
- 单个+5V 电源供电
- 模拟输入电压范围 0~+5V, 不需零点和满刻度校准
- 工作温度范围为-40~+85 摄氏度
- 低功耗, 约 15mW

#### 4.3.2 A/D 转换电路的步骤

A/D 转换过程包括取样、保持、量化和编码 4 个步骤, 一般, 前 2 个步骤在取样-保持电路中 1 次性完成, 后 2 个步骤在 A/D 转换电路中 1 次性完成。

取样和取样定理: 我们知道, 要确定 (表示) 1 条曲线, 理论上应当用无穷多个点, 但有时却并非如此。比如 1 条直线, 取 2 个点即可。对于曲线, 只是多取几个点而已。将连续变化的模拟信号用多个时间点上的信号值来表示称为取样, 取样点上的信号值称为样点值, 样点值的全体称为原信号的取样信号。

取样时间可以是等间隔的, 也可以自适应非等时间间隔取样。问题是: 对于频率为  $f$  的信号, 应当取多少个点, 或者更准确地说应当用多高的频率进行取样? 取样定理将回答这个问题: 只要取样频率  $f_s$  大于等于模拟信号中的最高频率  $f_{\max}$  的 2 倍, 利用理想滤波器即可无失真地将取样信号恢复为原来的模拟信号。这就是说, 对于 1 个正弦信号, 每个周期只要取 2 个样点值即可, 条件是必须用理想滤波器复原信号。这就是著名的山农 (Shannon) 取样定理, 用公式表示即为:

$$f_s \geq 2f_{\max} \quad \text{公式 (4-1)}$$

在工程上, 一般取  $f_s \geq (4 \sim 5)f_{\max}$ 。

取样-保持: 取样后的样点值必须保存下来, 并在取样脉冲结束之后到下 1 个取样脉冲到来之前保持不变, 以便 ADC 电路在此期间内将该样点值转换成数字量, 这就是所谓取样-保持。

常用的取样-保持电路芯片有 LF198 等, 其保持原理主要是依赖于电容器 C 上的电压不能突变而实现保持功能的。

量化与编码: 取样保持后的样点值仍是连续的模拟信号, 为了用数字量表示, 必须将其化成某个最小数量单位  $\Delta$  的整数倍。比如取样保持后的电压值为 10V, 如果以 “1V” 为最小数量单位  $\Delta$ , 转换成的数字就是 10; 如果以 “1mV” 为单位, 转换成的数字就是 10000; 这个化模拟量为数字量的过程称为量化。有只舍不入式量化和有舍有入式量化 2 种。

转换之后的数字可以用 10 进制表示（如上述的“10”），也可以用 2 进制数表示（如“1010”），或用 BCD 码表示（如“0001 0000”）等，这就是所谓编码。一般多用 2 进制码。

#### 4.3.3 A/D 转换电路分类

基本 ADC 电路：模-数转换方法有直接 ADC 和间接 ADC 两种。直接 ADC 中有并行比较法、反馈计数法和逐次逼近法等；间接 ADC 中有 V—F（电压→频率）转换法和 V—T（电压→时间）转换法等多种。下面重点介绍集成芯片中用得最多的逐次逼近型和双积分型 A/D 转换器电路。

逐次逼近型 ADC：

逐次逼近型 ADC 的工作原理很象人们量体重的过程：假如你的体重不超过 200 公斤，你会先加 1 个 100 公斤的秤砣试试看，如果发现 100 公斤的秤砣太大（比如实际体重是 70 公斤），就将此砣去掉；换 1 个 50 公斤的秤砣再试，发现 50 公斤的秤砣又偏小，故将其保留；然后再加 1 个 25 公斤的秤砣，发现体重不足 75 公斤，再将此 25 公斤的秤砣去掉，换 1 个更小一点的秤砣……如此进行，逐次逼近，直到满足要求为止。

以 4 位逐次逼近型 ADC 为例，其电路结构如下图

由图可知，4 位逐次逼近型 ADC 主要由比较器、D/A 转换器、寄存器、控制逻辑电路和时钟脉冲发生器 5 部分组成。分析其工作过程大致如下：

工作过程：

①当启动信号（即“START”信号，图中未示出）的正边沿到达后，电路被初始化为以下状态：寄存器 TR3~TR0 清零为  $d_3d_2d_1d_0=0000$ ，从而 DAC 的模拟输出  $v_0=0V$ ；FF1~FF6 组成的环形计数器的状态为  $Q_1Q_2Q_3Q_4Q_5Q_6=100000$ ，门 H3~H0 被  $Q_6=0$  封锁，数字输出  $D_3D_2D_1D_0=0000$ 。

②START 信号过后，即其下降边到达时，信号  $v_C=1$ ，A/D 转换开始。第 1 个 CP 脉冲到达时，如果输入的取样保持信号  $v_I \neq 0V$ ，则  $v_I > v_0=0V$ ， $v_B=0$ ，与门 G3~G0 被封锁，TR3 的  $R=0$ 、 $S=Q_1=1$ ，而 TR2~TR0 的  $S=0$ 、 $R=1$ （注意， $Q_1=1$  经或门 M2~M0 使 TR2~TR0 的  $R=1$ ），所以 TR3~TR0 被置为  $d_3d_2d_1d_0=1000$ ，此数码经 D/A 转换变为满量程电压的一半左右（这相当于上述加 100 公斤的秤砣！）；与此同时，环形移位寄存器状态下移 1 位变为  $Q_1Q_2Q_3Q_4Q_5Q_6=010000$ 。

③第 2 个 CP 脉冲到达时，若  $v_I < v_0$ ，则  $v_B=1$ ，门 G3~G0 被打开， $Q_2=1$  经门 G3 使 TR3 的  $R=1$ ，其  $S=Q_1=0$ ，所以 TR3 将被复位，即  $d_3=0$ （这相当于去掉 100 公斤的秤砣！）；与此同时 TR2 被置 1，TR1、TR0 被置 0，即  $d_3d_2d_1d_0=0100$ （注意，如果第 2 个 CP 脉冲到达时  $v_I > v_0$ ，则  $v_B=0$ ，G3~G0 被封锁，TR3 的  $S=R=0$ ，将保留原状态  $d$

3=1 不变，而  $d_2d_1d_0=100$  )。环形移位寄存器再次下移 1 位，变为  $Q_1Q_2Q_3Q_4Q_5Q_6=001000$ 。

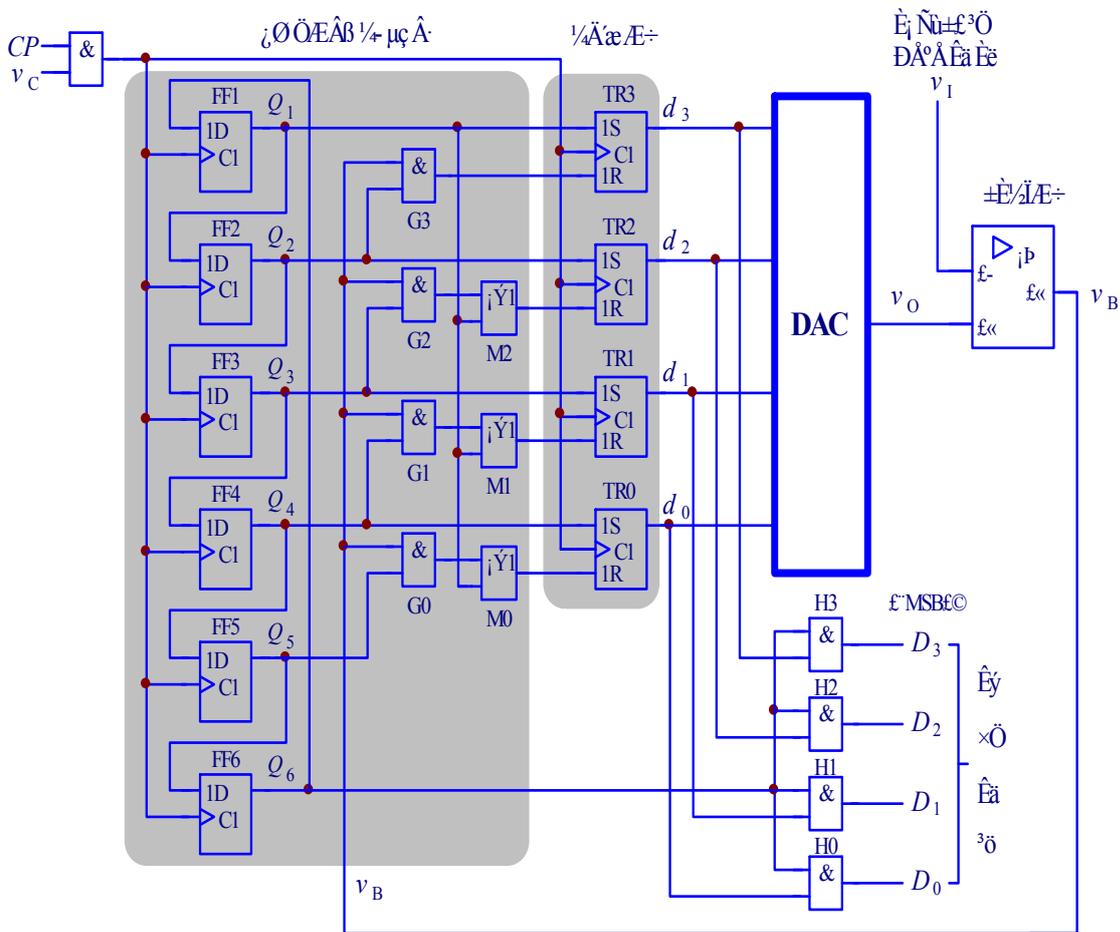


图 4-6、4 位逐次逼近型 ADC

④类似地，第 3 个 CP 脉冲到达后， $d_1d_0=10$ ， $Q_1Q_2Q_3Q_4Q_5Q_6=000100$ ；第 4 个 CP 脉冲到达后， $d_0=1$ ， $Q_1Q_2Q_3Q_4Q_5Q_6=000010$ 。

⑤第 5 个 CP 脉冲用于输出数字码：第 5 个 CP 脉冲到达后， $Q_1Q_2Q_3Q_4Q_5Q_6=000001$ ， $Q_6=1$  使门 H3~H0 开启，数字  $d_4d_3d_2d_1$  经门 H3~H0 送 D3D2D1D0 端输出。

⑥第 6 个 CP 脉冲用于电路初始化，电路将返回①所述的初始状态。1 个样点值转换完毕。

逐次逼近型 A/D 转换器的优点是电路结构简单，构思巧妙，转换速度较快（只需要  $n+2$  个 CP 周期， $n$  是位数），所以，在集成 A/D 芯片中用得最多。

双积分型 ADC:

双积分型 ADC 是 1 种 V—T 型 A/D 转换器，原理电路如图 8 所示，由积分器、比较器、计

数器和部分控制电路组成。工作过程如下：



(1) 平时（即 A/D 转换之前），转换控制信号  $v_c=0$ ，计数器和触发器 FF<sub>c</sub> 被清零，门 G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub> 输出低电平，开关 S<sub>0</sub> 闭合使电容 C 完全放电，S<sub>1</sub> 掷下方，比较器输出  $v_B=0$ ，门 G<sub>3</sub> 关闭。

(2)  $v_c=1$  时，开关 S<sub>0</sub> 断开，开关 S<sub>1</sub> 掷上方接输入信号  $V_I$ ，积分器开始对  $V_I$  积分，输出电压为

$$v_o = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_I dt = -\frac{V_I}{RC} t \quad \text{公式 (4-2)}$$

显然  $v_o$  是 1 条负向积分直线，如图 8 中  $t=0 \sim T_1$  段实线所示。与此同时，比较器输出  $v_B=1$ （因  $v_o < 0$ ），门 G<sub>3</sub> 开启，计数器开始计数。

(3) 当积分到  $t=T_1=2^n T_{cp}$  时（其中  $T_{cp}$  是时钟 CP 的周期），n 位计数器计满  $2^n$  复 0，FF<sub>c</sub> 置 1，门 G<sub>2</sub> 输出高电平，开关 S<sub>1</sub> 掷下方接基准电压（ $-V_{REF}$ ），积分器开始对（ $-V_{REF}$ ）进行积分。

设  $t=T_1$  时， $v_o$  下降到  $v_o=V_{O1}$ ，由式（4-3）

$$V_{O1} = -\frac{V_I}{RC} T_1$$

因为（ $-V_{REF}$ ）为负值，所以从  $V_{O1}$  开始向相反方向积分，即

$$v_o = V_{O1} - \frac{1}{RC} \int_{T_1}^t (-V_{REF}) dt = V_{O1} + \frac{V_{REF}}{RC} (t - T_1) \quad \text{公式 (4-4)}$$

$v_o$  波形如图 8 中  $t=T_1 \sim (T_1+T_2)$  段实线所示（图中下方虚线是最大输入电压时的积分线）。

(4) 当  $t=T_1+T_2$  时， $v_o$  上升到  $v_o=0V$ ， $v_B=0$ ，门 G<sub>3</sub> 被关闭，计数器停止计数，此时计数器中保存下来的数字就是时间  $T_2$ 。由图可知，输入信号  $V_I$  越大， $|V_{O1}|$  越大， $T_2$  就越大。将式（4-3）、 $t=T_1+T_2$  和  $v_o=0V$  代入式（4-4）中，得

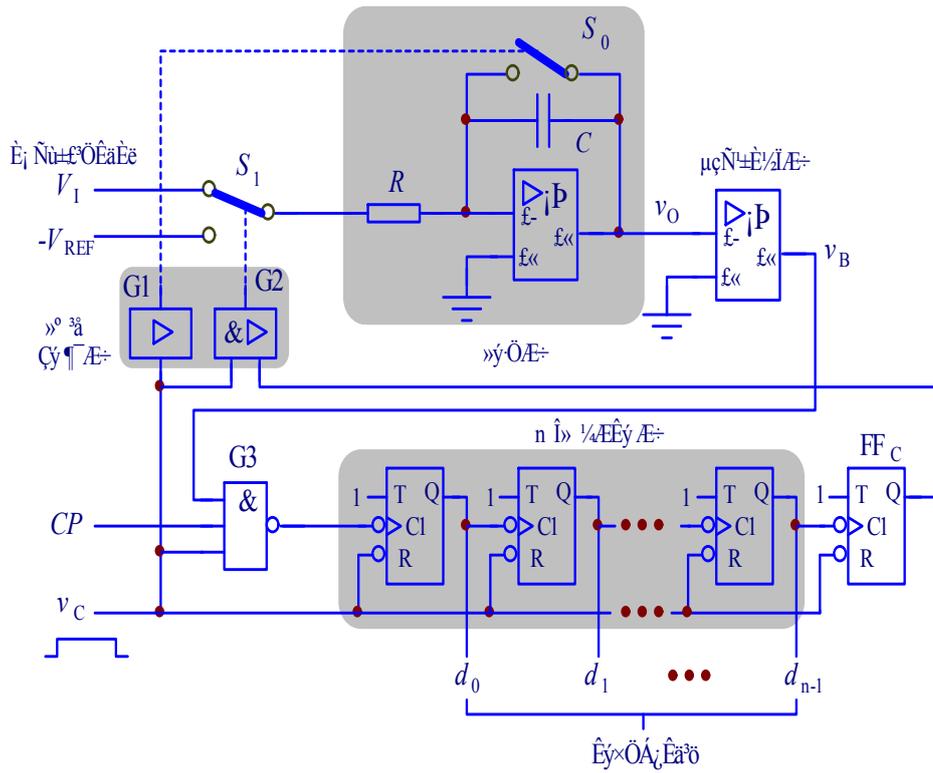
$$v_o = -\frac{V_I}{RC} T_1 + \frac{V_{REF}}{RC} T_2 = 0$$

从而有

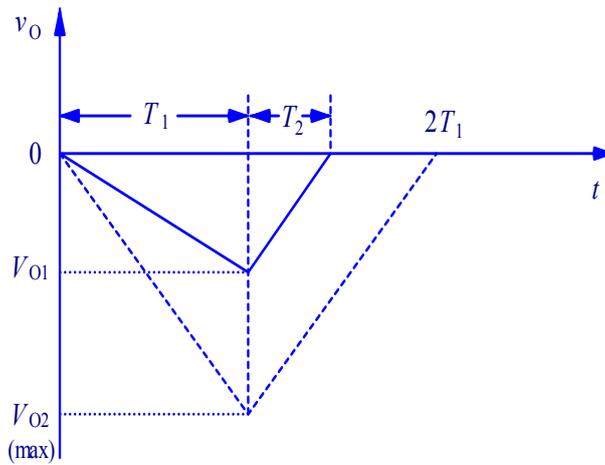
$$T_2 = \frac{V_I}{V_{REF}} T_1 \quad (4-5)$$

显然，计数器中的数字  $d_{n-1}d_{n-2} \cdots d_1d_0$  与输入信号  $V_I$  成正比。

双积分型 A/D 转换器的最大优点是工作稳定，抗干扰能力强。并且由式（4-5）可以看出，双积分型 A/D 转换器的数字输出与积分电阻 R、积分电容 C、时钟频率  $f_{cp}$  无关。



(a)



(b)

图 4-7、双积分型 A/D 转换器的工作原理

(a) 原理电路 (b) 输出电压波形

双积分型 A/D 转换器的最大缺点是速度较慢，所以主要用于数字电压表等低速测试系统中。

双积分型 A/D 转换器的转换精度主要取决于位数、运算放大器和比较器的灵敏度和零点漂移等因素的影响

目前，常见的 A/D 转换器的有效位数有 4、6、8、10、12、14、16 位以及 BCD 码输出的  $3\frac{1}{2}$  位、 $4\frac{1}{2}$  位和  $5\frac{1}{2}$  位等多种；转换速度有低速（ $\leq 1s$ ）、中速（ $\leq 1ms$ ）、高速（ $\leq 1\mu s$ ）和超高速（ $\leq 1ns$ ）等；就芯片组成而言，有些芯片不但包括 ADC 基本电路，还包括多路转换开关、时钟电路、基准电压源或 2→10 转换器等，功能更加齐全。表 1 中给出了部分 ADC 芯片的一些特征参数，从中可了解当前 ADC 芯片的状况，并可供使用参考。

表一、部分 ADC 芯片的特征参数

型号	位数	电路类型	主要参数	注
ADC0804	8	CMOS 逐次逼近	单电源供电	1 路 8 位 2 进制代码输出
ADC0809	8	CMOS 逐次逼近	时钟频率=1.26MHz 转换时间=100 $\mu s$ 转换误差 $\leq \pm 1LSB$ 内含 8 路数据选择器以便进行 8 路 ADC	8 路 8 位 2 进制码 LSTTL 电平输出， 28 脚封装
ADC0816	8	CMOS 逐次逼近	$V_{DD}=5V$ （典型） 转换时间=90~114 $\mu s$ 时钟频率=10~1200（典型 640）KHz	16 路 8 位 2 进制 码 40 脚封装
AD571	10	CMOS 双积分	$V_{DD}(+)=+5V$ 、 $V_{DD}(-)=-15V$ 转换误差 $\leq \pm 1/2LSB$	
AD7552	12+ 1 符号位	CMOS 双积分	时钟频率=250KHz 转换时间=160ms 转换误差 $\leq \pm 1LSB$	2 进制补 码输出
ADC ICL7106	$3\frac{1}{2}$	CMOS 双积分	$V_{DD}=15V$ (7106/26) $V_{DD}(+)=+6V$ ,	

/7107 ADC ICL7126 /7127			$V_{DD}(-)=-9V(7107/27)$ 内有时钟（时钟可外接，亦可外接晶体或 RC 元件自激产生） 建议钟频 40、50、100、200KHz 线性度 $\pm 0.2\% \pm 1$ 个字	3 位半 7 段译码输出 7106/26 驱动 LCD 7107/27 驱动 LED 40 脚封装
MC14433 (CC14433)	$3\frac{1}{2}$	CMOS 双积分	$V_{DD}=5V$ （典型）， $V_{EE}=-5V$ 线性度 $\pm 0.05\% \pm 1$ 个字 时钟频率=30~300KHz	BCD 码输出 24 脚

#### 4.3.4 A/D 转换接口工作方式

以 87C51 为例，ADC 的接口工作方式如图 9 所示。

87C51 是 8 位 CMOS 单片微机芯片，有 1 个双工口 P0 口和 2 个半双工口 P1 口、P2 口，其中 P0.0~P0.7（P0 口的 8 个引脚号）主要用作数据和地址总线口。87C51 的引脚及其同 ADC0809 的接口线路如图 9 所示。

8 路模拟信号由 ADC0809 的 IN0~IN7 端输入，87C51 的 ALE 端输出的脉冲信号送 ADC0809 的 10 脚作为 ADC 的时钟信号（若时钟频率偏高，其间可加分频器）。在 A/D 转换时，87C51 的 P2.7（也可用其它引脚）发出片选信号，并由引脚 37、38、39 发出通道选择信号，分别送 ADC0809 的通道地址输入端 A、B、C，选择要进行 A/D 变换的模拟通道，然后发出  $\overline{WR}$  信号，经或非门送 ADC0809 的 START 和 ALE 端，A/D 转换即被启动；A/D 转换完成之后，从 EOC 端返回 87C51 一个转换结束信号，单片机随即用  $\overline{RD}$  信号将 A/D 转换的数字输出从 D0~D7 端经 P0 口数据总线读入自己的存储器中。A/D 转换过程全部结束。

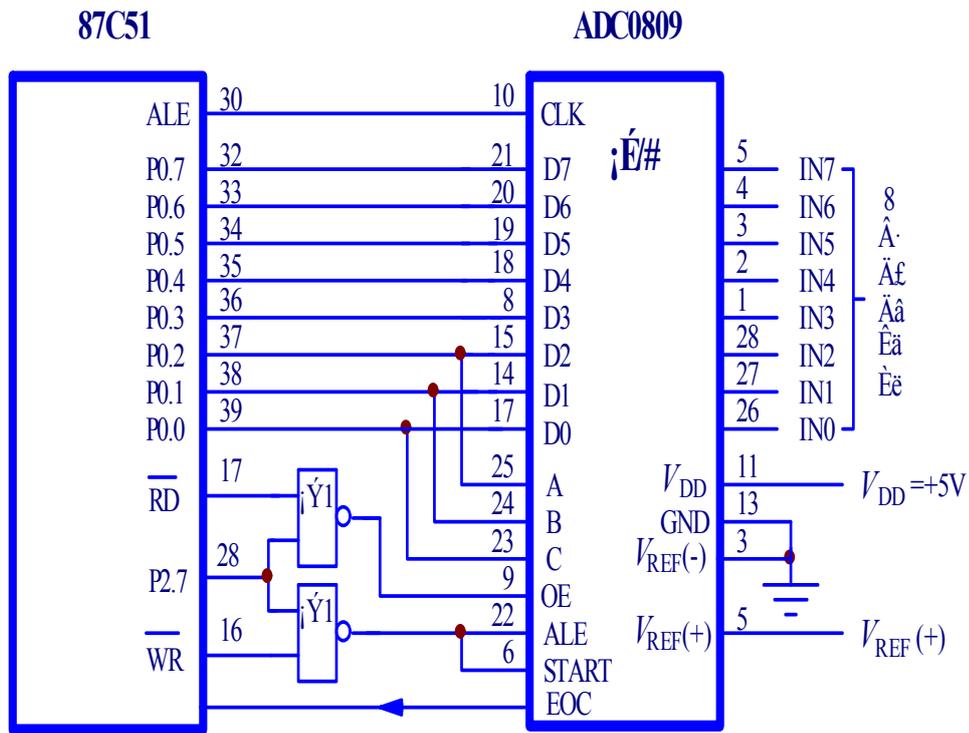


图 4-8、用 ADC0809 和 87C51 组成 8 路 A/D 转换器

#### 4.3.5 ADC 的主要性能参数及芯片选用

ADC 的性能参数主要有转换精度和转换速度等。转换精度常用分辨率和转换误差来表示。

##### (1) 分辨率

分辨率是 A/D 转换器能够分辨最小信号的能力，一般用输出的 2 进制位数来表示。如 ADC0809 的分辨率为 8 位，表明它能分辨满量程输入的  $1/2^8$ 。

##### (2) 转换误差

转换误差是转换结果相对于理论值的误差，常用 LSB 的倍数表示，如 AD571 的转换误差  $\leq \frac{1}{2}$  LSB 等。

##### (3) 转换速度

转换速度是完成 1 次 A/D 转换所需的时间，故又称为转换时间。它是 A/D 转换启动时刻起到输出端输出稳定的数字信号止所经历的时间。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/496050155054010115>