

.....

集成运放参数测试仪设计报告

学 校:

姓 名:

姓 名:

姓 名:

摘 要

本系统采用 AT89C52 单片机系统为核心器件，主要实现对通用型集成运算放大器输入失调电压、输入失调电流、交流差模开环电压增益和交流共模抑制比四项基本参数的测量。一套系统利用人为拨动开关来实现各参数测量电路的切换，从而测试各参数，作为比较的标准；另一套系统利用单片机的 I/O 口来控制各开关的通断，实现各个测量电路的自动切换，通过 MAX1240(12 位的 A/D 来实现电路电压的测量)完成电压数据的采集，从而完成对运放参数的自动测试，并通过键盘切换各个测试状态，并把被测数据用数码管显示并打印出来。该系统具有自动测量功能，该功能启动后，能自动测量、显示并自动打印出测量结果。

关键词：MAX038，运放，89C52 微处理器,输入失调电压，输入失调电流,自动测量。

ABSTRACT

The system, with an 89C52 microcontroller as its core, is implemented mainly for the measurement of the operation amplifier parameters, which include input maladjusted voltage, input maladjusted current, A_{VD} , K_{CMR} . The control circuit uses the datas that sampled by A/D to implement the measurement of the operation amplifier by software, and these datas are displayed on LED orderly by keyboard. For the more, this system has automatic measuring function, and it can automatic measure、display and print the measurement datas.

Key Word:MAX038, 89C52 microcontroller, amplifier , input maladjusted voltage, input maladjusted current, automatic measure

第 1 章 设计任务及要求

1.1 设计任务

设计并制作一台能测试通用型集成运算放大器参数的测试仪，示意图如图 1 所示。

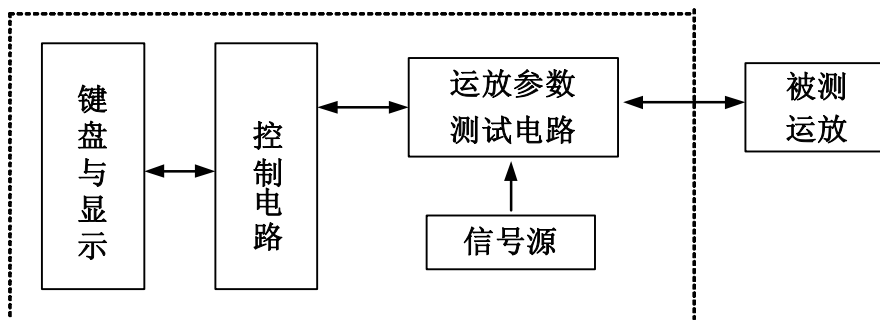


图 1 通用型集成运放参数测试仪框图

1.2 设计要求

1.2.1 基本要求

- (1) 能测试 V_{IO} (输入失调电压)、 I_{IO} (输入失调电流)、 A_{VD} (交流差模开环电压增益) 和 K_{CMR} (交流共模抑制比) 四项基本参数，显示器最大显示数为 3999；
- (2) 各项被测参数的测量范围及精度如下(被测运放的工作电压为 $\pm 15V$)：
 - V_{IO} ：测量范围为 $0\sim 40mV$ (量程为 $4mV$ 和 $40mV$)，误差绝对值小于 3% 读数+1 个字；
 - I_{IO} ：测量范围为 $0\sim 4\mu A$ (量程为 $0.4\mu A$ 和 $4\mu A$)，误差绝对值小于 3% 读数+1 个字；
 - A_{VD} ：测量范围为 $60dB\sim 120dB$ ，测试误差绝对值小于 $3dB$ ；
 - K_{CMR} ：测量范围为 $60dB\sim 120dB$ ，测试误差绝对值小于 $3dB$ ；
- (3) 测试仪中的信号源(自制)用于 A_{VD} 、 K_{CMR} 参数的测量，要求信号源能输出频率为 $5Hz$ 、输出电压有效值为 $4V$ 的正弦波信号，频率与电压值误差绝对值均小于 1% ；
- (4) 按照本题附录提供的符合 GB3442-82 的测试原理图(见图 2~图 4)，再制作一组符合该标准的测试 V_{IO} 、 I_{IO} 、 A_{VD} 和 K_{CMR} 参数的测试电路，以此测试电路的测试结果作为测试标准，对制作的运放参数测试仪进行标定。

1.2.2 发挥部分

- (1) 增加电压模运放 BW_G (单位增益带宽) 参数测量功能，要求测量频率范围为 $100kHz\sim 3.5MHz$ ，测量时间 ≤ 10 秒，频率分辨力为 $1kHz$ ；为此设计并制作一个扫频信号源，要求输出频率范围为 $40kHz\sim 4MHz$ ，频率误差绝对值小于 1% ；输出电压的有效值为 $2V\pm 0.2V$ ；
- (2) 增加自动测量(含自动量程转换)功能。该功能启动后，能自动按 V_{IO} 、 I_{IO} 、 A_{VD} 、 K_{CMR} 和 BW_G 的顺序测量、显示并打印以上 5 个参数测量结果；

第 2 章 方案比较与论证

2.1 信号源制作方案及论证

2.1.1 信号源制作方案

所设计的测试仪要求自制一个频率为 5HZ，输出电压有效值为 4V 的正弦信号，且频率与电压值误差范围为 1%。在设计的过程中，我们考虑了三种实现方案：

方案一：数字锁相环频率合成。首先通过频率合成技术产生所需要频率的方波，通过积分电路就可以得到同频率的三角波，再经过滤波器就可以得到正弦波。其优点是工作频率可望做的很高，也可以达到很高的频率分辨率，但是使用的滤波器要求通带可变，实现很困难，而且实现电路十分复杂，我们需要的是频率为 5HZ，输出电压为 4V 的正弦信号，且频率与电压值误差绝对值均小于 1%，我们未采取此方案。

方案二：采用传统的直接频率合成器。这种方法能实现快速频率变换，具有低相位噪声以及所有方法中最高的工作频率。但由于采用大量的倍频、分频、混频和滤波环节，导致直接频率合成器的结构复杂、体积庞大、成本高，而且容易产生过多杂散分量，难以达到较高的频谱纯度。我们需要的是低频信号源，因而也未采取此方法。

方案三：MAX038 是美国 MAXIM 公司生产的高频，高精度，低输出电阻，驱动能力强(20mA)的函数信号发生器芯片。其工作频率范围 0.1 Hz-20 MHz，非线性失真小于 0.75%，输出波形可以为正弦波，三角波，锯齿波，方波，脉冲波，占空比可调，且输出幅度 V_p-P 为 2V，而我们需要的是频率为 5HZ，输出电压为 4V 的正弦信号，且频率与电压值误差绝对值均小于 1%，考虑到该芯片能输出低频及高频正弦信号，可以满足我们所需的要求，因而考虑用此芯片。

2.1.2 方案论证

(1) MAX038 工作原理

该芯片工作电源为 $\pm 5v$ ，内部提供 2.5V 基准电压，通过外接可调电阻 R3，R1 向振荡电流发生器的 IIN 端和 FAD3 端提供频率粗调电流和频率细调电压；通过 R2 向 DAD3 端提供脉冲占空比调节电压。这三种参数经振荡电流发生器处理后，向振荡器提供充电电流，该电流对外接电容充电，形成振荡，产生三角波信号 A, B, c。信号 A 送正弦波形成电路，产生正弦波；信号 B, c 送入比较器 1，产生方波。此两路波形连同 A 路输出的三角波同时送入混合器，由 A0, A1 控制端选择其中的一种波形输出，其逻辑关系如表 1 所示。

表一 控制端的逻辑关系

A0	A1	输出波形
X	1	正弦波
0	0	方波脉冲波
1	0	三角波

我们所需的为正弦波，因而考虑将 A1 接电源，而为了接法的方便实现，我们将 A0 及 A1 均接电源 VCC。

根据 MAX038 的工作特性，我们考虑通过调节 R5 来达到 5HZ 正弦信号的输出，用运放则可实现输出电压的幅度要求。同时考虑到要做输出频率范围为 40KHZ——4MHZ 的扫频信号源，因而通过按键来实现输出频率的切换。并利用 MAX5150(13 位的 D/A)，通过改变输入的数字量，得到不同电压输出，转换成电流，控制电流 IIN，由 $F_0=IIN/C_f$ (电容 Cf 固定)，从而实现分辨力为 1KHZ。从而得到了我们所用的电路原理图（附图一）。

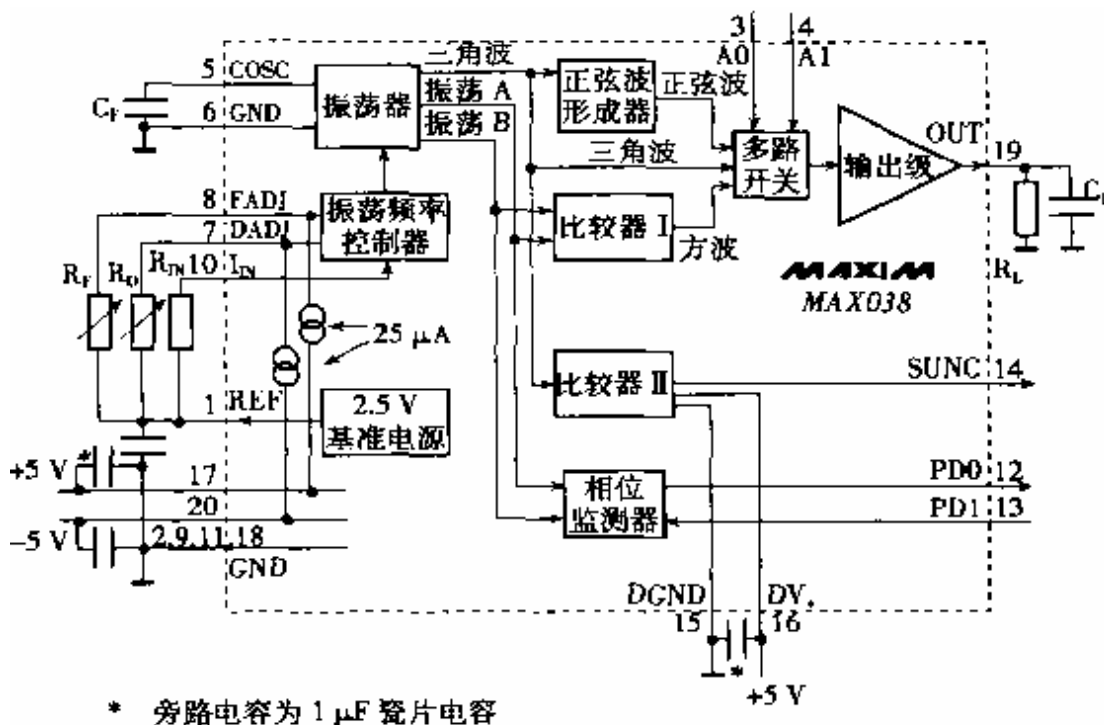


图 2 MAX038 结构框图

(2) 输出频率的数控调整原理

MAX038的输出频率主要受振荡电容 C_f ，IIN端电流和FADJ端电压的控制。选择一个电容值，对应IIN端电流的变化，将产生一定范围的输出频率。另外，改变FADJ端的电压，可以在IIN控制的基础上，对输出频率实现微调控制。

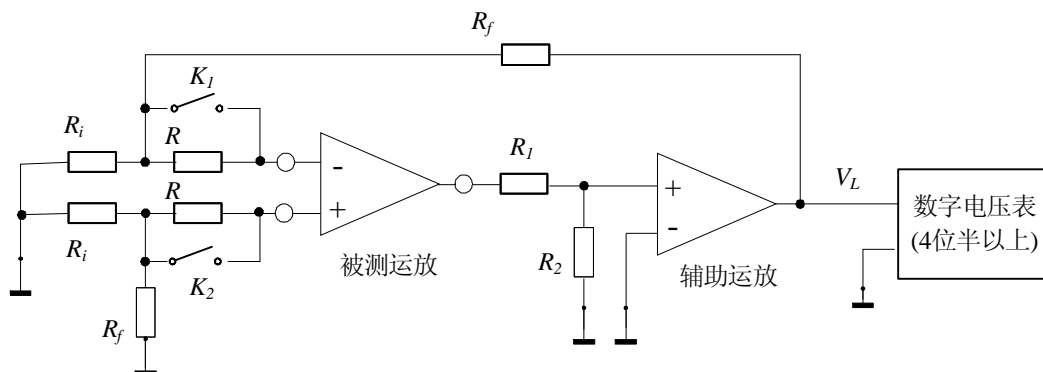
为实现输出频率的数控调整，在IIN端和FADJ端分别连接一个电压输出的DAC。首先，通过DAC产生0V(00H)到2.5V(OFFH)的输出电压，经电压/电流转换网络，产生0 A到748 A的电流，叠加上网络本身产生的2 A电流，最终对IIN端形成2A到750 L的工作电流，使之产生相应的输出频率范围。DACs将此工作电流范围分为256级步进间隔，输出频率范围也被分为256级步进间隔。所以，IIN端的电流对输出频率实现粗调。第二步，通过DAC在FADJ端产生一个从 2.3v(00H)+2.3v(OFFH)的电压范围。该范围同样包含256级步进间隔，将IIN端的步进间隔再次细分为256级步进间隔，从而在粗调的基础上实现微调。

2.2 运放参数测试电路方案及论证

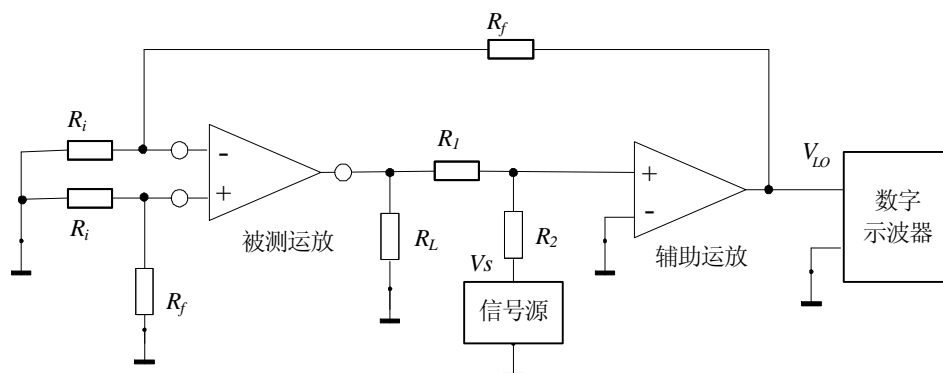
2.2.1 运放参数测试电路方案

方案一：根据所提供的 GB3442-82 标准，将 V_{i0} (输入失调电压)， I_{i0} (输

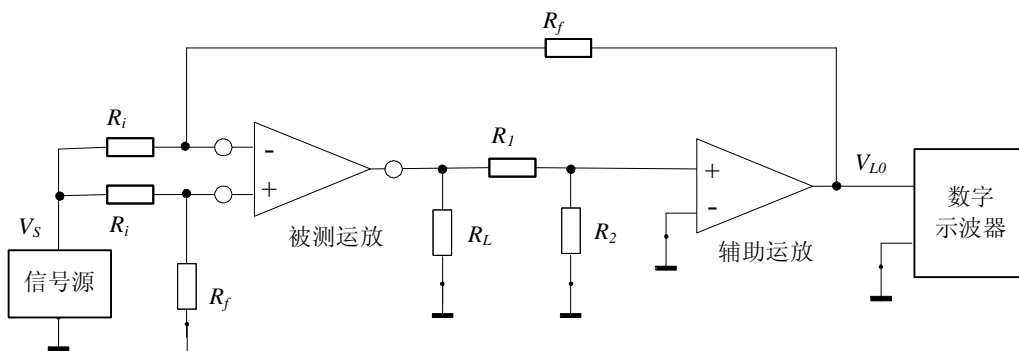
入失调电流), A_{VD} (交流差模开环电压增益) 和 K_{CMR} (交流共模抑制比), 四项基本参数的测试原理图, 将各原理图分别搭建起来, 再根据所提供的标准方法来测量, 从而得到标准值, 而自动测量部分再加上单片机来分别控制三个模块电路, 该方法的优点是各功能模块电路分开了, 并没有干扰的存在, 而且操作简单测量方便, 但是由于三个电路模块所用的元器件相同, 存在资源的浪费, 而且对各功能模块的分开操作, 使得“自动测量”这一意义不存在了, 对工业自动化并没有运用价值。也失去了我们发挥创新的部分, 因而本设计我们未采用。



a V_{10} 、 I_{10} 电参数测试原理图



b A_{VD} 电参数的测试原理与测试原理图



c K_{CMR} 电参数的测试原理与测试原理图

图3 集成运放各参数测试原理图

方案二：

考虑到各功能的模块许多元器件相同，为了避免资源的浪费，同时为了使自动化的实现更方便，我们考虑将这三个功能模块电路组合起来，放在一块电路板上，通过开关的切换来实现各功能模块。

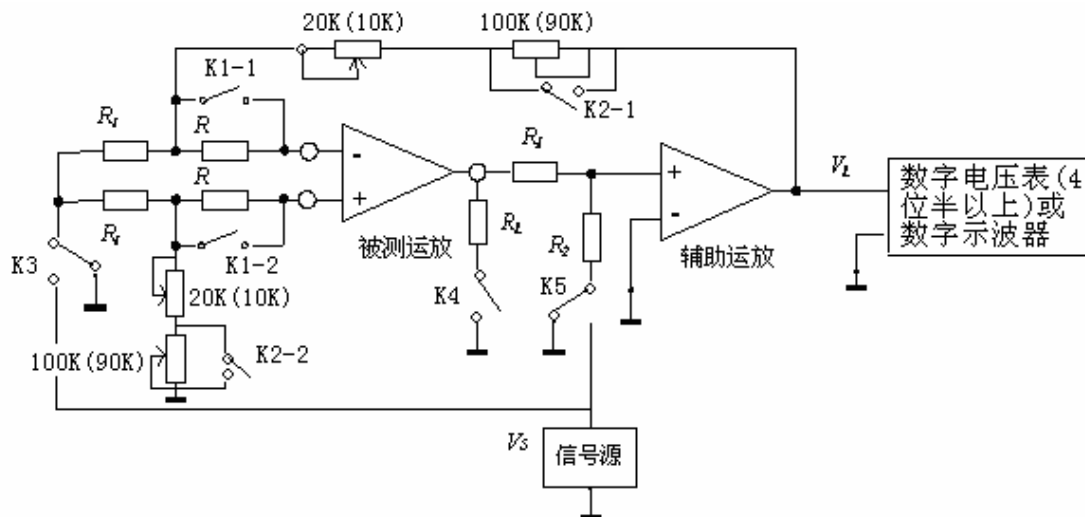


图4 运放参数测试设计电路

图中当 K1 闭合，K3,K5 接地，K4 断开，则为 V_{IO} 及 I_{LO} 电路参数测试原理图，而 K2 则是利用改变接入电路的反馈电阻，改变放大倍数，从而实现量程的切换（ V_{LO} 为 0~4mV 及 4Mv~40mV 量程的切换， I_{LO} 为 0~0.4uA 及 0.4uA~4uA）量程的切换（当开关 K2 闭合为后者）。同时，我为了实现自动控制，我们选用 5V 的小型继电器，对控制口不同电平的设置来实现开关的通断，通过键盘来控制各模块电路的切换，实现自动控制。

该方案的优点在于节省了资源，提高了元器件的利用率，而且简单，实现起来更方便，利用小型继电器，即同时实现了三个功能模块的切换，同时节省了单片机资源，只需通过九个按键，就能实现功能模块的切换，便于工业自动化控制，因而我们采用了此设计方案。

第 3 章 系统硬件设计

3.1 总体设计思路

对于一个系统的设计首先要对系统的任务及要求有一个明确的了解，再根据所提供的相关信息帮助，将整个系统功能分成各个功能模块，从而实现系统整体功能。

该系统的设计任务如下图 1：

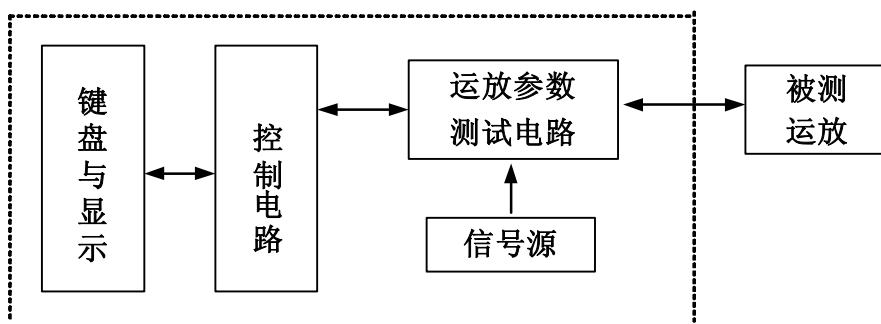


图5 通用型集成运放参数测试仪框图

根据系统设计的模块划分模块来设计该系统，而该测试仪核心模块为运放参数测试电路及信号源的设计，在方案论证中已将各方案进行了详细论证，在此不在赘述。

再分析设计任务，及设计要求，我们考虑用单片机来作为控制电路，用 I/O 口控制小型继电器的通断，从而实现各功能电路的切换。同时，键盘与显示与单片机相连，考虑到所用的单片机（89C52）处理的数据均为数字量，而要测量的量为模拟量，用 A/D 采样，将模拟量转换为数字量，再将其通过数码管显示。我们使用了两块板子，一为最小系统板（见附图一），另一个为 A/D,D/A 板（见附图二），则整个系统的硬件设计基本完成。

系统硬件组成框图如图 4:

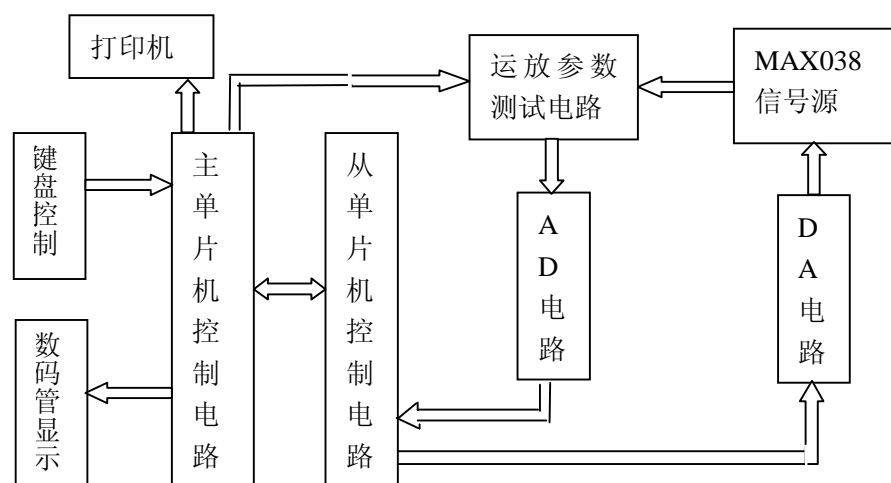


图6 系统硬件组成框图

3.2 各模块设计及参数运算

3.2.1 信号源电路设计及参数计算

信号源是电子实验室的基本设备之一，目前广泛使用的是标准产品，尽管功能齐全、性能指标高，但是价格较贵，且许多功能用不上。我们选择宽频带0.1至20MHz频率发生范围的MAX038的函数发生器芯片作为核心器件，组成简易信号发生器，该仪器电路结构简单，虽然功能及性能指标赶不上标准信号发生器，但满足我们设计是不成问题的，并且其成本低、体积小。

在此题目中我们只需得到 5Hz 及 40KHz~4MHz 的正弦信号。

用拨码开关 K1, K2 控制频率档 5Hz 及频率档 40KHz~4MHz 的相互切换:

表二 拨码开关切换

拨码开关	低频段 (5Hz)	高频段 (40KHz~4MHz)
K1	1	2
K2	1	2

其中低频段由 REF 提供电源, 而高频段由 D/A 模块输出来控制, IIN 端电流可由 2uA 变化到 750uA, 但在 10~400uA 范围内性能最佳。CF 的容量范围是 20pF~100uF, 使用小电容获得高频是必须缩短 CF 的引线, 以便将分布电容减至最小, 低频时应选用无极性大电容。

MAX038 内部有 2.5V 基准电压, 最大输出电流为 4mA, 灌入电流 50uA, 第一档便是利用此电源, 实际电路工作中测得 V_{FADJ} 为 -2.4V, 即频偏 -70 度, 得:

$$f' = f \times (1 - k \times V_{FADJ}) = f [1 - (-29.16\%) \times (-2.4)] = 1.7f \quad (3-1)$$

振荡频率计算公式 $f = \frac{IIN}{C_f}$

$$f = \frac{f'}{1.7}$$

$$= \frac{5}{1.4}$$

$$= 2.94 \text{ (Hz)}$$

$$f = \frac{V_{ref}}{R_{in} \times C_f}$$

$$R_{in} \times C_f = 0.85, \quad \text{取 } C_f = 10\mu\text{F}, \quad R_{in} = 85\text{K} \quad (\text{物理意义说明})$$

因此 $C_f = 10\mu\text{F}$, R_{in} 取一可变电阻作为校准, 得到较准确的频率为 5Hz 的信号源。

若采用外基准, 将 D/A 输出与限流电阻 RIN 相串联接至 IIN 端由下式给出

$$f = \frac{IIN}{R_{in} \times C_f}$$

一旦 R_{in} , C_f 值确定后, 只要改变 D/A 输出电压 V_{in} , 即可大幅度调整振荡频率。经

测试, MAX038 输出 0.84V 电压。因此, 在输出端接一简单放大电路, 调节可变电阻使输出电压有效值达到 4V, 完全满足题设的要求。

由于我们需要的信号源要求是正弦波信号, 但又因为 MAX038 可产生多种波形: 正弦波、三角波、矩形波, 可以通过控制波形选择输入端使得输出为正弦波, 我们选择 $A0=A1=1$, 电路原理图如附图一。

3.2.2 运放参数测试电路

(1) 参数测量的标准电路

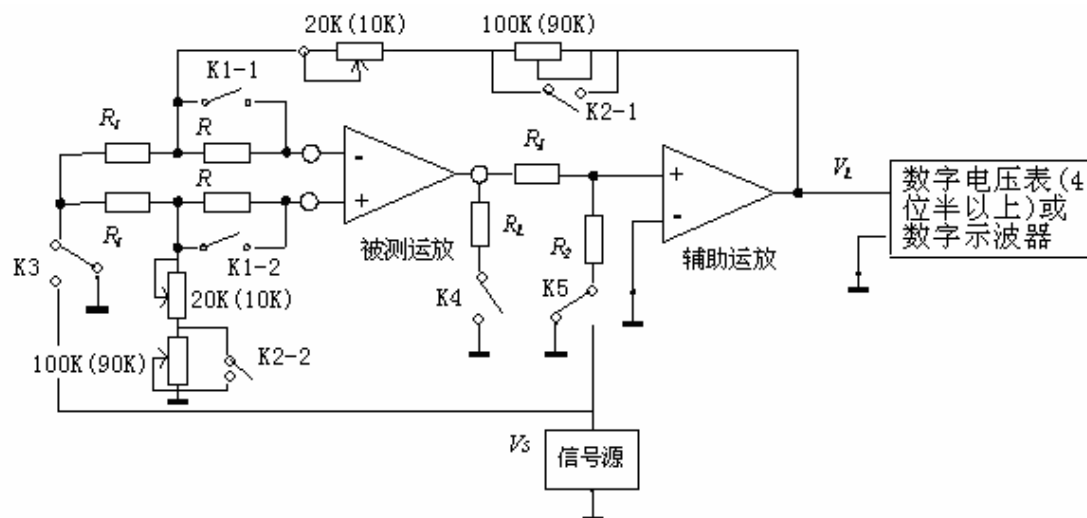


图7 集成运放各参数测试原理图

测输入失调电压，输入失调电流

根据

$$V_{IO} = \frac{R_i}{R_i + R_f} \cdot V_{LO} \quad (3-2)$$

考虑到测量量程问题，因而我们将 \$R_f\$ 分成 10K 与 90K 电阻，并要求这两个电阻的阻值严格满足要求，因而我们考虑用可调电位器来实现，选用 20K 及 100K 的电位器来实现，从而较易达到阻值的要求，同时利用一个开关来切换量程，以使 \$R_i / (R_i + R_f)\$ 的值存在 10 倍的关系，实现两个量程的变换(0~4mv 及 4mv~40mv 的变换)；同理在测输入失调电流时也同样存在开关的切合。根据提供的参数，我们将 \$R_i\$ 设为 100 欧姆，\$R_f\$ 接成两电阻（10k 与 90k）的串联，\$R\$ 接成 1 兆欧，\$R_1=R_2=30\$ 千欧。考虑到辅助放大器测试方法的要求,要求辅助运放的开环增益大于 60dB,输入失调电压和失调电流值小。OP07 的精度高失调电压和失调电流较小，且不需要自校准电路，所以选择 OP07 作为辅助运放。

(2) 自动测量装置中各参数测量电路

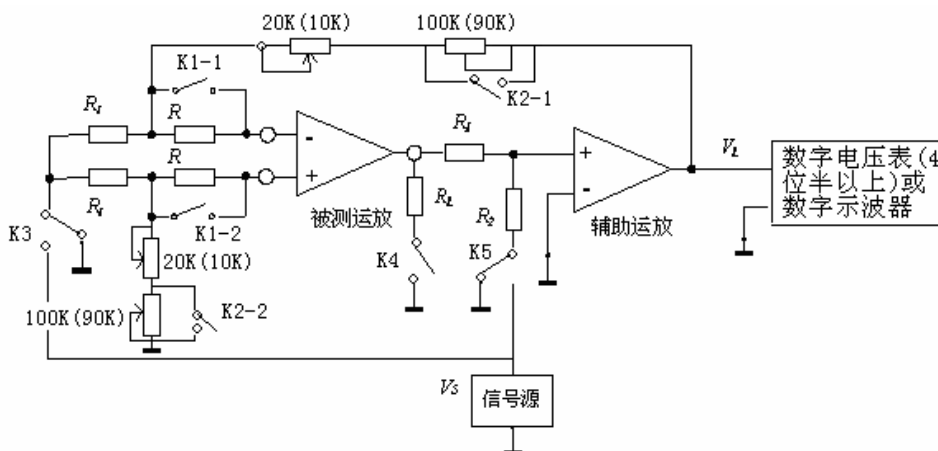


图 8 运放参数测试设计电路

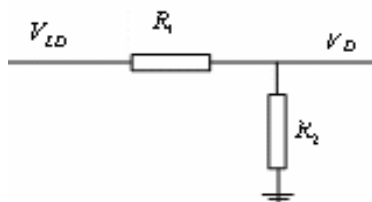
a 与标准测试电路相同，我们只是将各开关换成了继电器，由于继电器的可控性，通过单片机 I/O 口来控制继电器的通断来实现各功能电路的切换，在标准电路后面与单片机连上，实现电路参数测试的自动化。从而大大简化了电路的烦琐程度。

b 测式电路与单片机接口电路的参数设计

电路图如图 7，考虑到电压测量与电流测量之间只存在 k1 的切换，因而将 op07 的输出作为一路信号，接到 A/D 上，而交流差模开环电压增益和交流共模抑制比作为另一路信号接到 A/D 上，而这两路信号用以继电器来切换。

Vi0 的输出电压最大值为 40mv,而转换成 V10 则电压范围为 0—4v, A/D 采用的是 max1240，输入电压为正负 2.5V 电压，为了可以采样，我们将输入电压先分压，使得 max1240 的输入电压为±2V，满足 1240 转换电压的范围。

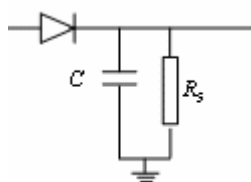
信号源的有效值为 4V，从而其最大值为 5.6V，辅助运放输出电压 V_{Lo} 的最大值为 5.6V，若只减小两倍还可能使得 A/D 输入端电压超过±2.5V 的范围,因而又考虑到用一个分压电路



分压电路

使得 $\frac{R1}{R1 + R2}$ 为某一个定值,从而使 V_o 的范围为±4V,与测试运放参数电路的输入值相同,通过开关切换.

在发挥部分要测压模运放 B_{WG} , 考虑到 V_{LO} 输出为高频, 设计了峰值检波电路



峰值检波电路

且其输出电压的有效值为 $\pm 2V$, 为了避免低频高频的干扰, 将高频部分经整流后的电压信号经一个射随后再直接接入 A/D 采样, 因而应采用两个开关来切换这三路信号, 而为了使电路更简单, 实现起来更简便, 将测试四参数的信号均衰减 $1/\sqrt{2}$ 后再接入射随, 再衰减 $1/2$ 接入 A/D, 使得输入电压范围满足芯片的范围。最后的电路如下图 9 所示:

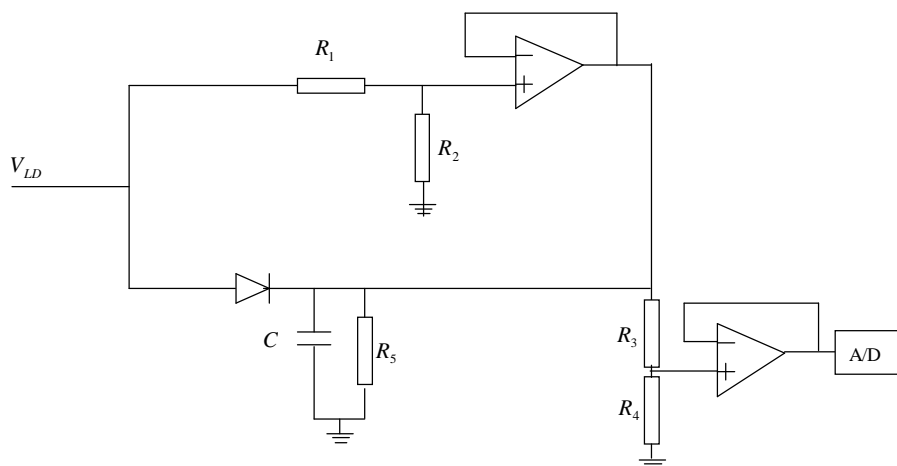


图 9

使用这个电路来作为单片机与参数电路的接口电路。

由于 $\frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$, $\frac{R_3}{R_4} = 1$, 则有 $R_1 = 2.414R_2$, $R_3 = R_4$ 。考虑到电阻标称值问题, 我们将 R_2 取为 $2K\Omega$, 而 R_1 取 $10K\Omega$ 的滑动变阻器, 将其调到时 R_2 的输出电压为 $4V$ 。

对于高频整流电路的参数, 整流管选用 $2AP10$, 经 $5t$ 的时间可以达到可以达到稳定, 由于电路所经过的最小频率为 $40KHz$, 因而 $5t \geq T_{max} = \frac{1}{40 \times 10^3}$, 计算有 $5RC \geq 2.5 \times 10^{-6}$ 考虑到辅助运放 $op07$ 的带载能力, 我们选 $R = 2K\Omega$, 而 C 选用 $3nF$ 电容。

第 4 章 软件设计

4.1 输入失调电压软件设计

用 A/D, D/A 板的 P1.0~P1.3 及 P3.2, P3.3, 口来控制六个继电器电路开关, 对

应关系为 P1.0~K1,P1.2~K2,P1.3~K3,P1.4~K4,P3.2~K5,P3.3~K6,将 K1 闭合,用 A/D 采数,将采来的数据乘以 $2\sqrt{2}$ 后与 4V 进行比较,若小于,则将该数字量所对应的数字量为 (CCC0H),送入最小系统板,将该数字量用最小系统板上的数码管闲事,同时用打印机打印。若数字量大于 (CCC0),则将开关 K2 闭合,再重复上述采数过程,并将所得到的数据乘以 $2\sqrt{2}$ 并,将所得到的数字量送入最小系统板并用数码管显示,同时用打印机打印出来。

4.2 输入失调电流软件系统

将 K1 断开,用 A/D 采数,将采来的数据乘以 $2\sqrt{2}$ 后与 4V 所对应的数字量为 CCC0#进行比较,若小于,则将该书存于某数据存储单元 D_1 ,再将 K1 闭合,用 A/D 再采数,将采来的数据乘以 $2\sqrt{2}$ 后,存于另一数据存储单元 D_2 ,将 D_1 内的内容减去 r 内的内容,所得数据送最小系统板并用数据管显示,用打印机打印出来。b 若大于,将开关 K2 闭合,再重复上述过程,将转换后的数乘以 $2\sqrt{2}$ 后,再除以 10,将所得的数字量送入最小系统板,用数码管显示并打印出来。

4.3 交流差模开环电压增益 A_{VD} 软件系统

由于所设计的信号源的输出电压有效值为 4V,其最大值为 $4\sqrt{2}$ V,根据交流差模开环电压增益 A_{VD} 的计算公式

$$A_{VD} = 20 \lg \left[\frac{V_s}{V_{L0}} \cdot \frac{R_i + R_f}{R_i} \right] (dB) \quad (4-1)$$

根据我们所选取的参数 $R_i = 100$, $R_f = 100k$,从而可得

$$\frac{R_i + R_f}{R_i} = 10^3 \quad (4-2)$$

从而可将式 (1—2),化简成

$$A_{VD} = 20 \lg \frac{V_s}{V_{L0}} + 60 \quad (4-3)$$

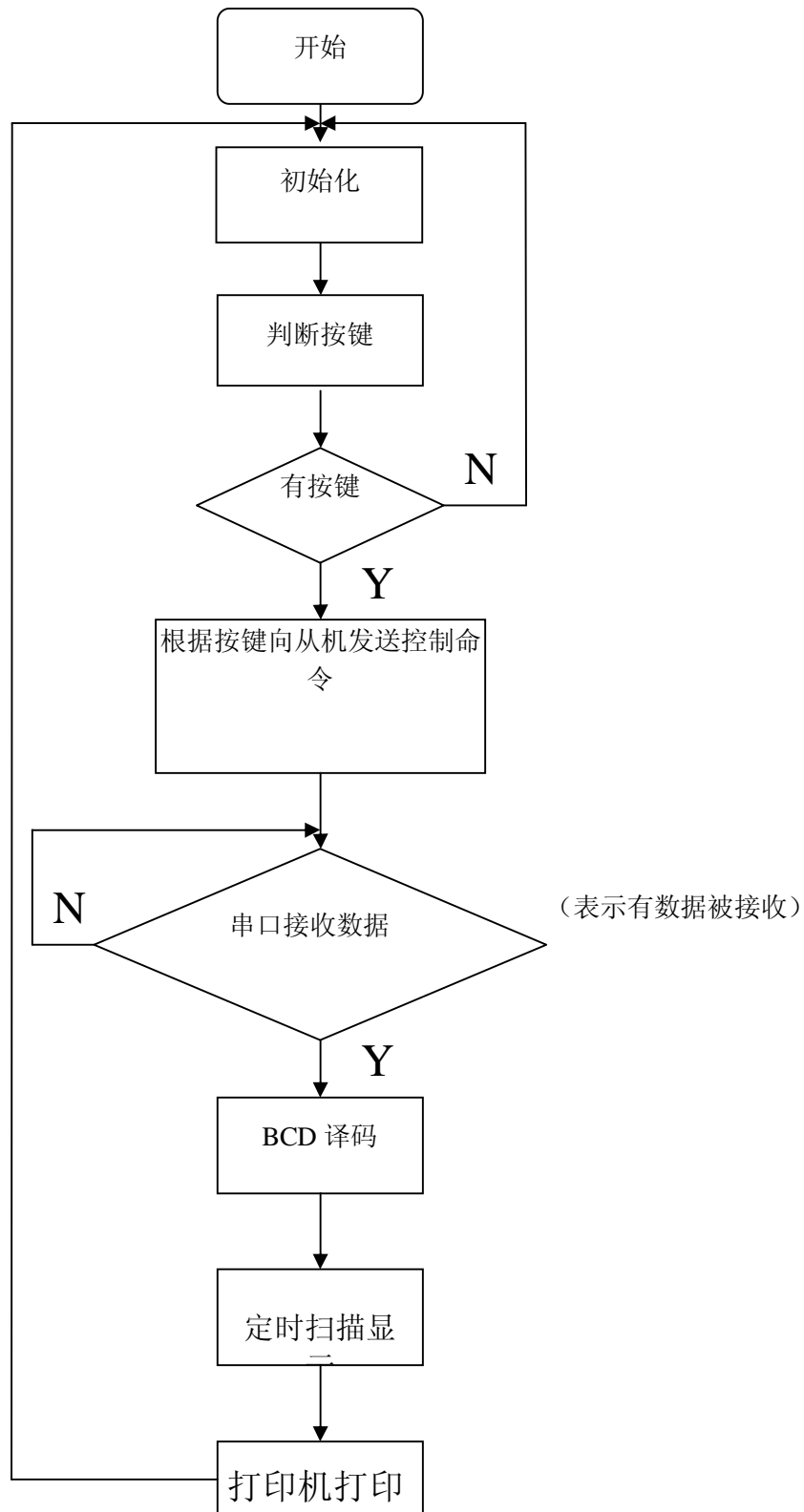
将开关 K4,K5 闭合,对输出电压采样与寄存器 R_2 (初值为 0) 中的数进行比较,若所采的数比 R_2 中的数大,则将 R_2 中的数更新,将 R_2 中的数更新,第一次采的数比 R_2 中的数小,则将 R_3 中的数置为 FF,接着采,若采的数比 R_2 中的数小,则保持 R_2 中的数不变,第二次发现所采的数与 R_2 中的数相同时,则清 R_3 并将此值作为 V_{L0} 的最大值,计算出 $20 \lg \frac{V_s}{V_{L0}}$,再加上 60,将所得数字量送最小系统板显示并送打印机打印。

4.4 交流共模抑制比软件设计

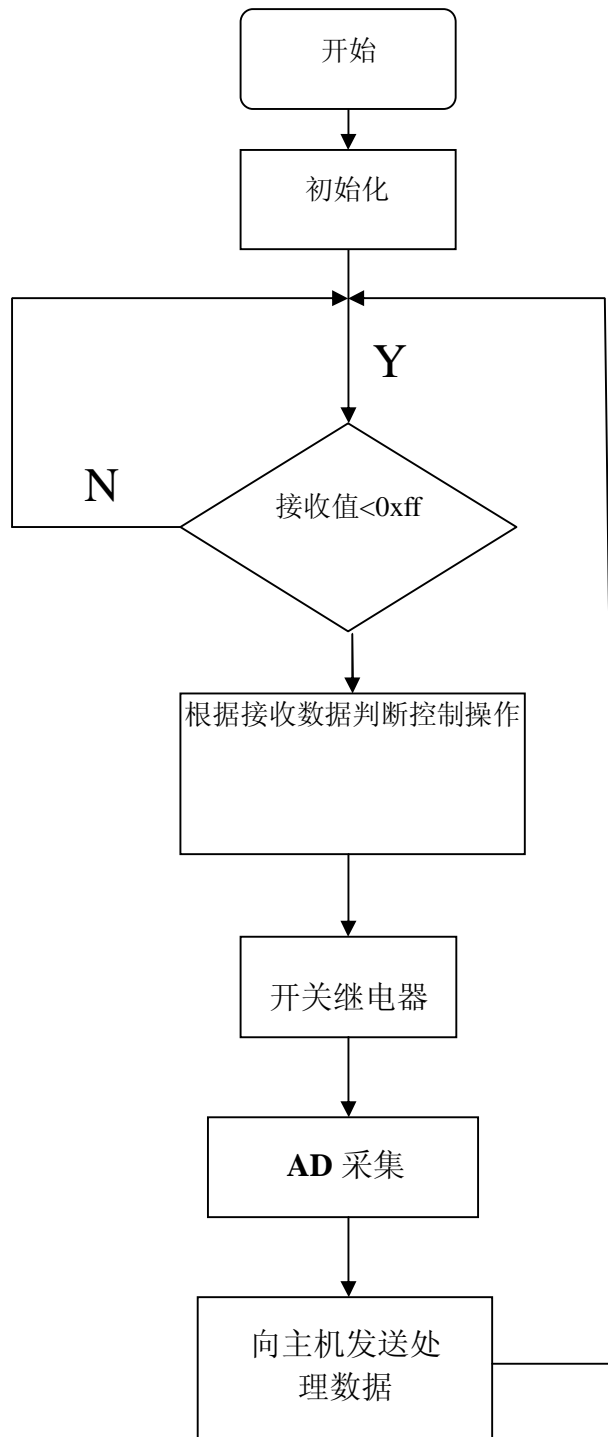
由上述论证,我们知 V_s 的取值为 $4\sqrt{2}$ (对应数字量为 (11EA)) 与上面采样过程相同将所得 V_{L0} 的最大值存入数据存储单元,再计算出 $20 \lg \frac{V_s}{V_{L0}}$ (V_s 对应的数字量为 11EA),再加上 60,将所得数字量送入最小系统板显示并送打印机打印。

4.5 软件系统设计流程图

4.5.1 控制显示打印部分程序



4.5.2 AD 采集及继电器控制



4.5 发挥部分的软件设计

电压模运放 (单位增益带宽)参数的测量。

由于要求测量频率范围为 $100\text{kHz} \sim 3.5\text{MHz}$, 测量时间 $\leq 10\text{s}$, 频率分辨率为 1Hz , 则要送 3400 个点, 考虑到留有余地的问题我们设计了 $40\text{kHz} \sim 4\text{MHz}$ 的扫频信号源, 因而要送 3960 个点, 我们用 D/A 来控制 MAX038 的输入电流, 设置 3960 个电流值送入 MAX038, 根据 $I_{IN} = f_0 C_F$ 来求出交流差模开环增益 A_{VD} 的方法求出 A_{VD} 的值, 并存入相应的存储单元, 当所用的频率值均求完后, 再将所得的 f_0 为横轴, 其相应的差模开环电压增益 A_{VD} 为纵轴, 求出频响特性曲线, 并用打印机打印出来

第 5 章 调试

5.1 硬件调试

4.1.1 利用标准板测运算放大器 mA741 的各系统参数

(1) 输入失调电压的测试

a 将开关 K2 断开, 将开关 K1 闭合, 用 7 位半的数字电压表, 测输出电压 $V_{OL} = -1.012\text{V}$, 算出 V_{IO} 。

b 将开关 K2 闭合, 开关 K1 断开, 用 7 位半的数字电压表, 测辅助运放的输出电压 $V_{OL} = -0.1142$, 算出 V_{IO} 。

(2) 输入失调电流的测试

a、将开关 K2 断开, K1 闭合, 测辅助运放输出电压 V_{L0} , 将开关 K1 断开, 测得辅助运放的输出电压 V_{L1} , 则有 $V_{IO} = \frac{100}{100+10^5} \cdot \frac{V_{L1}-V_{L0}}{10^4}$

b、将开关 K2 闭合, K1 闭合, 测 V_{L0}

将 K1 断开, 测 V_{L1} , 则有 $V_{IO} = \frac{100}{100+10^4} \cdot \frac{V_{L1}-V_{L0}}{10^4}$ 。

(3) 交流差模开环电压增益 A_{VD} 的测试

K4、K5 闭合, 用信号源产生一频率为 5Hz , 有效值为 4V 的正弦波, 用数字示波器测信号源的输出电压 V_S , 及辅助运放的输出电压 V_{L0} , 由

$$A_{VD} = 20 \lg \left(\frac{V_S}{V_{L0}} \frac{100+10^5}{100} \right) \text{dB}$$

(4) 交流共模抑制比 K_{CMR} 的测试

K3 闭合, K5 断开

根据方案设计的要求, 调试过程共分为三大部分: 硬件调试, 软件调试和软硬件联调。电路按模块调试, 各模块逐个调试通过后再联调。单片机软件先在最小系统板上调试, 确保外部 EPROM 和 RAM 工作正常之后, 再与硬件系统联调。

4.2 软件调试

软件调试成功。

4.3 软硬联调

软硬连调成功。

第 6 章 指标测试

5.1 测试仪器

双直流稳压电源 HH1713
 数字示波器 DS510ZC
 伟福编译器+S51+
 七位半数字仿真器 5000 DMM/SCANNER
 四位半数字仿真器 GDM-8145
 信号源 SG1641A

5.2 指标测试

5.2.1 V_{IO} 及 I_{LO} 的测试

测试方法:

(1) 将运算放大器 **mA741** 放在标准板上测量

a 将 **K1** 闭合, **K2** 断开, 测出 V_{L0} 的数, 再由

$$V_{IO} = \frac{R_i}{R_i + R_f} V_{L0} \quad (5-1)$$

计算出 V_{IO} , 此时, $R_i = 100\Omega$, $R_f = 100k\Omega$,

b 将 **K1** 闭合, **K2** 显示桌面.scf 也闭合, 测出此时 V_{L0} 的数值, 再由

$$V_{IO} = \frac{R_i}{R_i + R_f} V_{L0} \quad (5-2)$$

计算出 V_{IO} , 此时, $R_i = 100\Omega$, $R_f = 10k\Omega$

将两次测得所得的数据进行比较, 并进行分析将 **K1** 断开, **K2** 断开, 测得此时辅助运放的输出电压, 记为 V_{L1} , 将 **K1** 闭合, 再测此时辅助运放的输出电压, 记为 V_{L0} , 利用公式:

$$I_{LO} = \frac{R_i}{R_i + R_f} \frac{V_{L1} - V_{L0}}{R} \quad (5-3)$$

计算输出 I_{LO} , 此时 $R_i = 100\Omega$, $R_f = 100k\Omega$, $R = 10k\Omega$

d 将 **K1** 断开, **K2** 闭合, 测此时辅助运放的输出电压, 记为 V_{L1} , 将 **K1** 闭合, 在测此时辅助运放的输出电压, 记为 V_{L0} , 利用公式

$$I_{LO} = \frac{R_i}{R_i + R_f} \frac{V_{L1} - V_{L0}}{R} \quad (5-4)$$

计算输出 I_{LO} , 此时 $R_i = 100\Omega$, $R_f = 10k\Omega$, $R = 10k\Omega$

将两次所得结果进行比较并分析

(2) 将运算放大器 **mA741** 放在自动测试系统中测量

测试方法:

按测试 V_{IO} 的功能键 **K1**, 通过数码管显示, 此时测量电压值的同时打印出此时的电压值, 将所得电压值与标准板上测得的电压值比较, 并分析。

按下测量 I_{IO} 的功能键 **K2**, 将所得电压值与标准板上测得的电压值比较, 并分析。

5.2.2 A_{VD} 及 K_{CMR} 的测试

(1) 加上信号源，使用标准版测量 A_{VD} 及 K_{CMR}

测试方法：用数字示波器测信号源输出电压的最大值，记为 V_{sm} ，K1,K4,K5 闭合，用数字示波器，测出此时辅助运放的输出电压最大值 V_{LOm} ，通过公式

$$A_{VD} = 20 \log \left(\frac{V_S}{V_{LO}} \cdot \frac{R_i + R_f}{R_i} \right) \quad (5-5)$$

计算出 A_{VD} ，此时， $R_i = 100\Omega$ ， $R_f = 100k\Omega$

b 将 K1,K3,K4 闭合，K5 断开，测出此时辅助运放的输出电压最大值 V_{LOm} ，通过公式

$$K_{CMR} = 20 \log \left(\frac{V_S}{V_{LO}} \cdot \frac{R_i + R_f}{R_i} \right)$$

计算出 K_{CMR} ，此时 $R_i = 100\Omega$ ， $R_f = 100k\Omega$

(2) 将运算放大器 mA741 放在测试系统中测试，测试方法：

按下 A_{VD} 的功能测试键 K3，通过数码管显示此时测量的 A_{VD} 值，同时打印出此时的 A_{VD} 值。同杨测试打印出 K_{CMR} 值。

5.3 测试结果

表一：运算放大器参数测试数据

利用标准表测得的数据

K1,K2 闭合， $V_{IO} = -1.048$

K1,K2 断开， $V_{LI} = -1.090$

$$I_{IO} = \frac{100}{100 + 100K} \cdot \frac{0.042}{10K} = -4.2 \times 10^{-9} nA$$

(2) $A_{VD} = 61.8dB$ $V_{SM} = 5.6V$ $V_{LM} = 3.6V$

(3) $K_{CMR} = 61.023dB$ $V_{SM} = 5.6V$ $V_{LM} = 5.3V$

利用测试板测得的数据：

按键 1： $V_{IO} = 1.032V$

按键 2： $I_{IO} = 4.321nA$

按键 3： $A_{VD} = 61.12dB$

按键 4： $K_{CMR} = 61.75dB$

经比较两块板子所测得数据相差很小，符合设计要求，因而此设计系统成功，同时可以更换，多种运放来检测此系统的可靠性，(OP07,LF356,Ua741)等均符合要求，限于篇幅，再次就不将数据分析了，欢迎大家来测试 此系统。

致 谢

在这次大赛中，我们付出了很多，也收获了很多。什么叫拼搏，什么是艰苦，我们一一体验。在最后的四天三夜里，大家在实验室里纷纷忙于自己的设计，都把一切抛到脑后，奔波于器件、方案、电路里，虽然都很累，很疲惫，但是还在坚持不懈的为各自的目标而奋斗。白天，晚上，我们已经毫不知晓；食堂，我们更是没有奢望过要去那儿。在我们的心里，都只有一个目标，一个希望，一个心愿，那就是我们的作品能被广大的老师和同学认可！

这一个多月来，我们一直在努力。本来都是只会理论计算，纸上谈兵的我们，学会了亲手接触这些实物，亲身去电子世界体验，感觉豁然开朗。不仅让我们学的专业知识有了更感性的认识，而且还让我们还学到了很多课本里没有的东西，比如团队合作精神，顾全大局的品质，让我们的心灵接受了深刻的洗礼。我们感谢这次大赛，它给我们一个学习和展示的机会，不管结果怎样，我们无怨无悔！

参考文献

- [1] 《电子线路 CAD》 潘永雄等 编著， 西安电子科技大学出版社， 2001 年 8 月
- [2] 《模拟电子技术》 谢红 主编 ， 哈尔滨工程大学出版社， 2001 年 6 月
- [3] 《Protel PCB99 电路板设计教程》 张义和 编著， 青岛出版社 ， 2000 年 5 月
- [4] 《串行端口技术》 李肇庆 韩涛 编著， 国防工业出版社， 2004 年 1 月
- [5] 《单片机中级教程》 张俊谟 编著， 北京航空航天大学出版社， 2000 年 6 月
- [6] 《单片机原理及系统设计》 胡汉才 编著， 清华大学出版社， 2002 年 5 月
- [7] 《第五届全国大学生电子设计竞赛获奖作品选编》 全国大学生电子设计竞赛组委会 编， 北京理工大学出版社， 2003 年 1 月