

《测控电路》课内实验

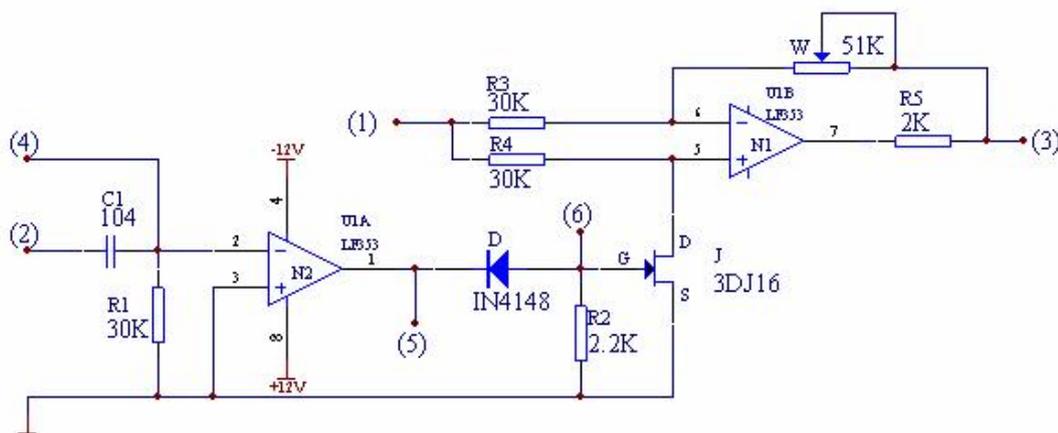
实验一 开关式全波相敏检波

一、实验目的

1. 熟悉和掌握相敏检波器的工作原理。
2. 验证相敏检波器的检幅特性和鉴相特性。

二、实验设备及参考电路图

1. 实验台中部件：相敏检波器、音频振荡器、移相器、直流稳压电源、低通滤波器、电压表（毫伏表）
2. 双踪示波器
3. 实验参考电路图



三、实验步骤

将音频振荡器的输出信号 (0°) 接至相敏检波器的输入端(1)。

1. 参考信号为直流电压

(1) 将直流稳压电源+2V 接入相敏检波器参考信号输入端(4)，用双踪示波器测试相敏检波器输入端(1)和输出端(3)的波形。

(2) 将直流稳压电源-2V 接入相敏检波器参考信号输入端(4)，用双踪示波器测试相敏检波器输入端(1)和输出端(3)的波形。

2. 参考信号为交流电压

(1) 将音频信号 0° 接入相敏检波器参考信号输入端(2)，用双踪示波器观察(1) ~ (6)端波形。

(2) 将音频信号 180° 接入相敏检波器参考信号输入端(2)，用双踪示波器观察(1) ~ (6)端波形。

3. 相敏检波器检幅特性

将相敏检波器的输出端(3)接低通滤波器的输入端，将低通滤波器的输出端接数字电压表。

(1) 相敏检波器的输入信号（接(1)）和参考信号（接(2)）同相，改变音频信号的输入幅值 V_{p-p} ，分别读出电压表显示的数值填入下表。

输入 V_{p-p}	0.5V	1V	2V	4V	8V	16V	20V
输出 V_0 (V)							

(2) 相敏检波器的输入信号（接(1)）与参考信号（接(2)）反相时，改变音频信号的输入幅值 V_{p-p} ，分别读出电压表显示的数值填入下表。

输入 V_{p-p}	0.5V	1V	2V	4V	8V	16V	20V
输出 V_0 (V)							

4. 相敏检波器的鉴相特性

将音频信号接移相器的输入端，移相器电路输出接相敏检波器参考输入端(2)，旋转移相器的电位器旋钮，改变参考电压的相位，音频振荡器输出幅值不变，用示波器观察(1) ~ (6)波形，并读出对应的电压表值。

四、实验报告要求

1. 画出该相敏检波器的电路图，并说明该电路的工作原理。
2. 画出该实验第三步骤和第四步骤的原理框图。
3. 分别画出参考电压与相敏检波器的输入信号同相、反相时(1) ~ (6)点的波形图及低通滤波器的输出波形。
4. 画出参考电压通过移相器后（差 90° 时），相敏检波器(1) ~ (6)点及低通滤波器的输出波形。
5. 分别纪录当参考电压与输入信号同相时、反向时，相敏检波器经低通滤波器输出对应输入信号的电压值。

五、思考题

1. 什么是相敏检波？为什么要采用相敏检波？
2. 什么是相敏检波器的鉴相特性？

实验二 滤波器电路设计

一、实验目的

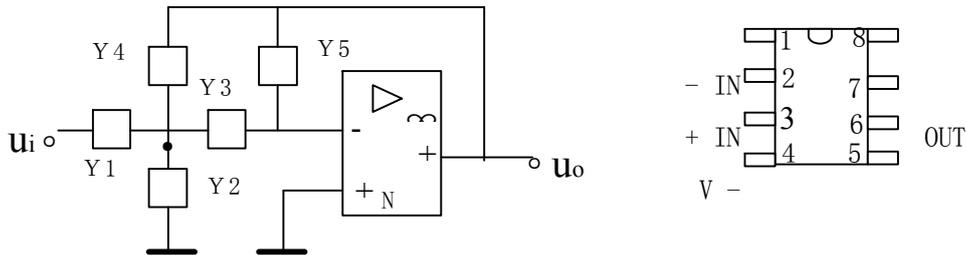
1. 熟悉二阶有源滤波电路幅频特性和相频特性。
2. 掌握二阶有源滤波电路的快速设计方法。
3. 掌握二阶有源滤波电路的调试及其幅频特性和相频特性的测试方法。

二、实验仪器与器材

1. 信号发生器；双线示波器；万用表；直流稳压源；实验电路板；元器件若干。

三、实验设计任务

1. 图中所示为无限增益多路反馈电路的一般形式, 请选择适当类型无源元件 Y1~Y5 以构成低通滤波器和高通滤波器



2. 请设计一个二阶 1dB 无限增益多路反馈切比雪夫低通滤波器, 通带增益 $K_p=2$, 截止频率 $f_c=5\text{kHz}$, 画出电路图。
3. 请设计一个二阶 1dB 无限增益多路反馈切比雪夫高通滤波器, 通带增益 $K_p=2$ 截止频率 $f_c=2\text{kHz}$, 画出电路图。

● 以上工作请在实验课前完成。写在实验报告中。

四、实验步骤

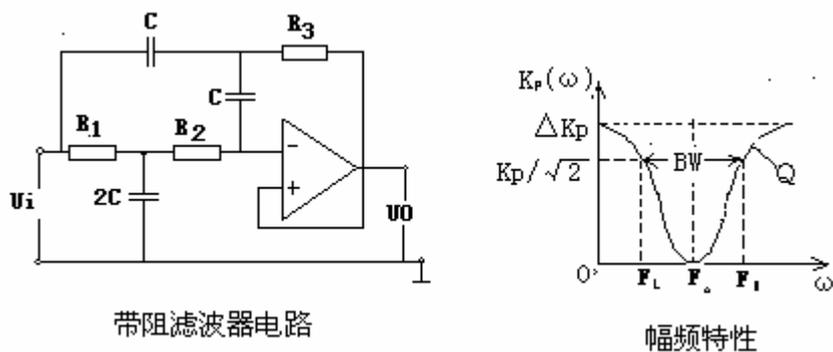
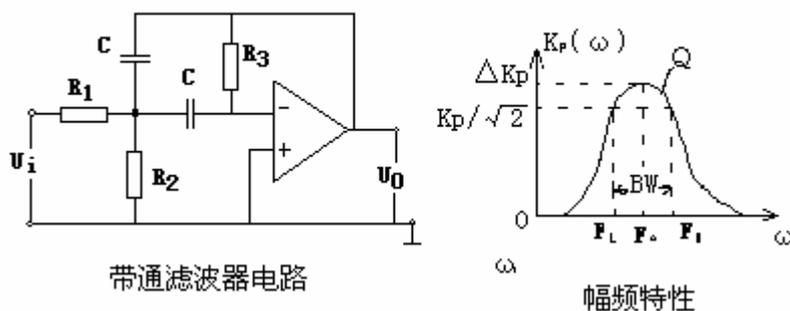
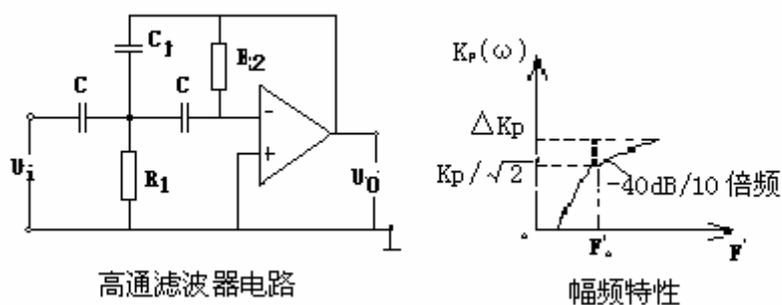
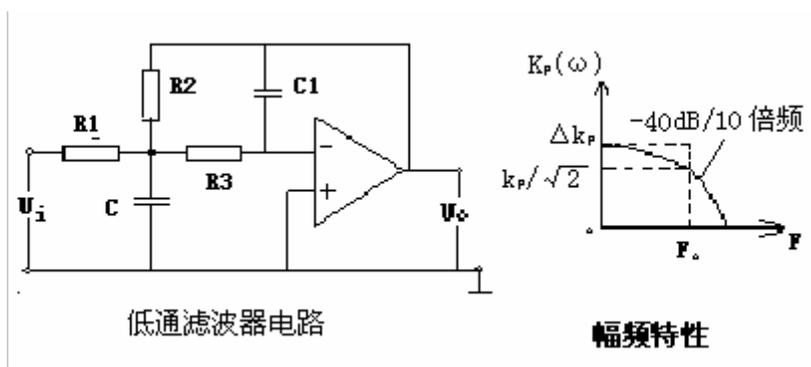
1. 按设计所确定的电路参数, 在实验接插板上放入器件, 连接低通滤波器 (注意连接可靠, 正确)
2. 将信号发生器的输出正弦信号电压幅值调到 2V, 接入低通滤波器的输入端, 并调整信号源的频率, 在低通滤波器输出端测量所对应的幅值。(可用示波器或交流毫伏表测试, 并记录输入频率值和所对应的输出幅值, 测量 10~12 点。)
3. 用示波器李沙育图形测试低通滤波器的相频特性, 测量 10~12 点。
4. 进行高通滤波器的电路连接及幅频特性和相频特性测试。测试方法同上。

五、实验报告要求与思考题

1. 复习并掌握滤波器的工作原理, 设计方法及应注意问题。
2. 画出所设计的低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器、带阻滤波器的电路图。并注明元件参数。
3. 画出幅频特性与相频特性测试原理图, 说明测试方法与步骤。
4. 以表格形式分别给出低通滤波器与高通滤波器的幅频特性与相频特性测试数据, 并画出其特性曲线。
5. 如果将低通滤波器与高通滤波器相串联, 得到什么类型的滤波器, 其通带与通带增益各为多少? 画出其特性曲线。也可在实验中予以观测和证实。
6. 为构成所得类型的滤波器, 对低通滤波器与高通滤波器的特性有无特定要求。二者哪个在前有无关系?

附录:

1. 几种滤波器原理图、幅频特性



2. 设计思路:

此次课题要求掌握最基本的二阶滤波器快速的设计方法。

要设计 RC 滤波器，一般采用查表归一快速的设计方法。使用这种方法，必须满足滤波器条件。

- 首先给定要求的截止频率 f_c ;
- 增益 K_p ;
- 选取滤波器的类型 (切比雪夫型、巴特沃斯型), (低通、高通、带通、带阻);
- 选取 (一阶、二阶、三阶、四阶、或高阶) 滤波器, 请参考一些相关资料。《测控电路、精密仪器电路……》然后按下述步骤设计:

(1) 首先选择电容 C 的标称值, 电容 C 的初始值靠经验决定, 通常以下面的数据作参考:

$f_c \leq 100\text{Hz}$	$C = (10-0.1) \mu\text{F}$
$f_c = (100-1000)\text{Hz}$	$C = (0.1-0.01) \mu\text{F}$
$f_c = (1-10\text{k})\text{Hz}$	$C = (0.01-0.001) \mu\text{F}$
$f_c = (10-1000\text{k})\text{Hz}$	$C = (1000-100)\text{pF}$
$f_c \geq 100\text{kHz}$	$C = (100-10)\text{pF}$

(2) 根据所选择的电容 C 的实际值, 再按照下式计算电阻换标系数 k

$$k = \frac{100}{f_c C}$$

其中 f_c 的单位为 Hz; C 的单位为 μF 。

(3) 从表中查出 C_1 和 $k=1$ 时的电阻值。

(4) 将这些电阻值乘上系数 k , 得到实际电阻值, 然后靠标称电阻值。

3. 设计实例

设计一个二阶无限增益多路反馈 1dB 切比雪夫型低通滤波器, 增益 $K_p = 2$, 截频 (指纹波之间的终止频率) $f_c = 5\text{KHz}$ 。设计步骤如下:

按上述快速设计方法取电容 $C = 0.01 \mu\text{F}$, 根据公式 $k = \frac{100}{f_c C}$ 计算换标系数 k , 得 $k=2$

- 从下表中查出 $K_p=2$, $k=1$ 时的电阻值、电容值。

$$R_1 = 2.602 \text{ K}\Omega,$$

$$R_2 = 5.204 \text{ K}\Omega,$$

$$R_3 = 8.839 \text{ K}\Omega.$$

$$C_1 = 0.05 \times C$$

- 将上述电阻值乘以换标系数 $k=2$, 得:

$$R_1 = 2.602 \text{ K}\Omega \times 2 = 5.204 \text{ K}\Omega,$$

$$\text{取标称值 } 5.1\text{K} + 104\Omega \text{ 或 } \approx 5.1\text{K}$$

$$R_2 = 5.204 \text{ K}\Omega \times 2 = 10.408 \text{ K}\Omega,$$

$$\text{取标称值 } 10\text{K} + 408\Omega \text{ 或 } \approx 10\text{K}$$

$$R_3 = 8.839 \text{ K}\Omega \times 2 = 17.678 \text{ K}\Omega.$$

$$\text{取标称值 } 15\text{K} + 2.7\text{K}\Omega \text{ 或 } \approx 18\text{K}$$

$$C_1 = 0.05 \times 0.01 \mu\text{F} = 0.0005 \mu\text{F}$$

$$\text{取标称值 } \approx 510\text{pF}$$

二阶 RC 滤波器的传递函数表

类型	传递函数	性能参数
低通	$H(S) = \frac{Kp \omega_c^2}{s^2 + \frac{\omega_c}{Q} s + \omega_c^2}$	K _p —通带内的电压增益 F _c —低通、高通滤波器的截止频滤 F ₀ —带通、带阻滤波器的中心频滤 Q—品质因素, $Q \approx \frac{\omega_0}{BW} = \frac{f_0}{\Delta f}$ BW—带通、带阻滤波器的带宽
高通	$H(S) = \frac{Kps^2}{s^2 + \frac{\omega_c}{Q} s + \omega_c^2}$	
带通	$H(S) = \frac{Kp \frac{\omega_0}{Q} s}{s^2 + \frac{\omega_c}{Q} s + \omega_c^2}$	
带阻	$H(S) = \frac{Kp(s^2 + \omega_0^2)}{s^2 + \frac{\omega_c}{Q} s + \omega_c^2}$	

二阶无限增益多路反馈切比雪夫带阻滤波器设计用表

归 一 化 电 路 元 件 值(KΩ)	
R1 (KΩ)	0.796/ Q
R2 (KΩ)	3.183 Q
R3 (KΩ)	R ₂ /(4 Q ² +1)

二阶无限增益多路反馈切比雪夫低通滤波器设计用表

归 一 化 电 路 元 件 值(KΩ)					
纹波高度	电路元件	增 益			
		1	2	6	10
0.1 dB	R1	2.163kΩ	1.306 kΩ	1.103 kΩ	1.069 kΩ
	R2	2.163 kΩ	2.611 kΩ	6.619 kΩ	10.690 kΩ
	R3	1.767 kΩ	2.928 kΩ	2.310 kΩ	2.167 kΩ
	C1	0.2C	0.1C	0.05C	0.033C
0.5 dB	R1	3.374 kΩ	2.530 kΩ	1.673 kΩ	1.608 kΩ
	R2	3.374 kΩ	5.060 kΩ	10.036 kΩ	16.083 kΩ
	R3	3.301 kΩ	3.301 kΩ	5.045 kΩ	4.722 kΩ
	C1	0.15C	0.1C	0.033C	0.022C

1 dB	R1	3.821 k Ω	2.602 k Ω	2.284 k Ω	2.213 k Ω
	R2	3.821 k Ω	5.204 k Ω	13.705 k Ω	22.128 k Ω
	R3	6.013 k Ω	8.839 k Ω	5.588 k Ω	5.191 k Ω
	C1	0.1C	0.05C	0.03C	0.02C
2 dB	R1	4.658 k Ω	3.999 k Ω	3.009 k Ω	3.113 k Ω
	R2	4.658 k Ω	7.997 k Ω	18.053 k Ω	31.133 k Ω
	R3	13.216 k Ω	7.697 k Ω	8.524 k Ω	6.591 k Ω
	C1	0.05C	0.05C	0.02C	0.015C
3 dB	R1	6.308 k Ω	6.170 k Ω	3.754 k Ω	3.617 k Ω
	R2	6.308 k Ω	12.341 k Ω	22.524 k Ω	36.171 k Ω
	R3	11.344 k Ω	6.169 k Ω	10.590 k Ω	9.892 k Ω
	C1	0.05C	0.047C	0.015C	0.01C

二阶无限增益多路反馈切比雪夫高通滤波器设计用表

归 一 化 电 路 元 件 值(K Ω)					
纹波高度	电路元件	增 益			
		1	2	5	10
0.1 dB	R1(K Ω)	1.258	1.51.	1.716	1.798
	R2(K Ω)	6.669	11.115	24.453	46.684
	C1	C	0.5C	0.2	0.1C
0.5 dB	R1(K Ω)	0.756	0.908	1.031	1.080
	R2(K Ω)	5.078	8.463	18.619	35.546
	C1	C	0.5C	0.2	0.1C
1 dB	R1(K Ω)	0.582	0.699	0.794	0.832
	R2(K Ω)	4.795	7.992	17.583	33.368
	C1	C	0.5C	0.2	0.1C
2 dB	R1(K Ω)	0.426	0.512	0.581	0.609
	R2(K Ω)	4.889	8.148	17.925	34.221
	C1	C	0.5C	0.2C	0.1C
3 dB	R1(K Ω)	0.342	0.411	0.467	0.489
	R2(K Ω)	5.241	3.736	19.219	36.690
	C1	C	0.5C	0.2C	0.1C

二阶无限增益多路反馈带通滤波器设计用表

归 一 化 电 路 元 件 值(K Ω)		
Q	电路	增 益

	元件	1	2	4	6	8	10
3	R1	4.775	2.387	1.194	0.796	0.597	0.477
	R2	0.281	0.298	0.341	0.398	0.477	0.597
	R3	9.549	9.549	9.549	9.549	9.549	9.549
4	R1	6.336	3.183	1.592	1.061	0.796	0.637
	R2	0.205	0.212	0.227	0.245	0.265	0.289
	R3	12.732	12.732	12.732	12.732	12.732	12.732
5	R1	7.958	3.979	1.989	1.326	0.995	0.796
	R2	0.162	0.166	0.173	0.181	0.189	0.199
	R3	15.915	15.915	15.915	15.915	15.915	15.915
6	R1	9.549	4.775	2.387	1.592	1.194	0.955
	R2	0.134	0.136	0.140	0.145	0.149	0.154
	R3	19.099	19.099	19.099	19.099	19.099	19.099
7	R1	11.141	5.570	2.785	1.857	1.393	1.114
	R2	0.115	0.116	0.119	0.121	0.124	0.127
	R3	22.282	22.282	22.282	22.282	22.282	22.282
8	R1	12.732	6.336	3.183	2.122	1.592	1.273
	R2	0.100	0.101	0.103	0.104	0.106	0.108
	R3	25.465	25.465	25.465	25.465	25.465	25.465
10	R1	15.915	7.958	3.979	2.653	1.989	1.592
	R2	0.080	0.080	0.081	0.082	0.083	0.084
	R3	31.831	31.831	31.831	31.831	31.831	31.831

实验三 脉宽调制器控制直流电机

一、实验目的

1. 学习脉宽调制控制直流电机的基本工作原理。
2. 掌握电路设计及调试的方法。
3. 掌握有关仪器仪表的使用方法。

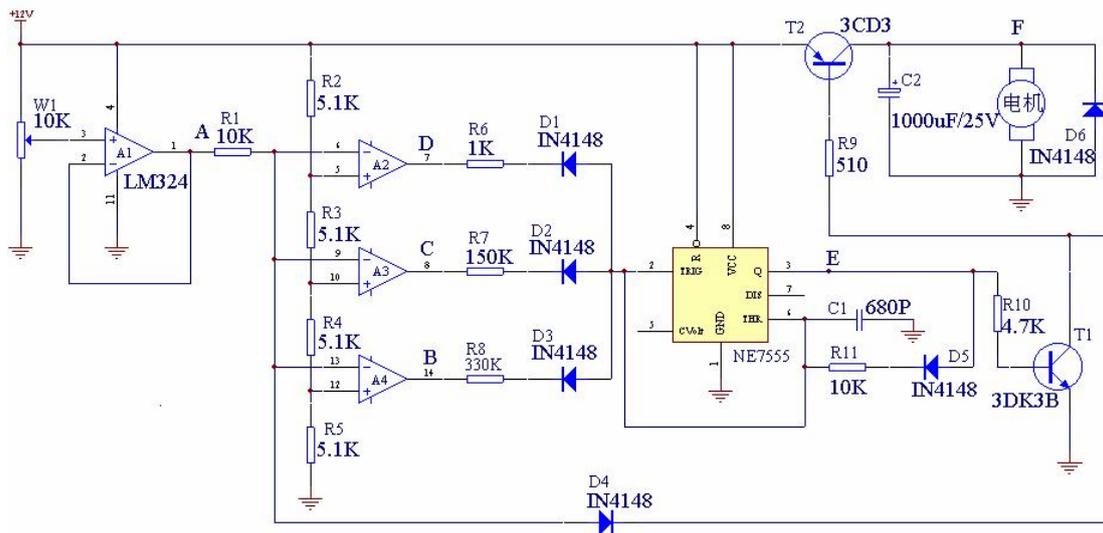
二、实验内容

1. 用实验电路板为实验平台，应用脉宽调制原理控制直流电机。
2. 用示波器观察脉宽调制信号，并记录分析。
3. 应用所学知识（综合型实验内容），进一步设计电路，测量电机转速，闭环控制电机转速。

三、实验原理

脉宽调制控制电路，是利用半导体功率晶体管或晶闸管等开关器件的导通和关断，把直流电压变成电压脉冲列，控制电压脉冲的宽度或周期以达到变压的目的，或者控制电压脉冲宽度和脉冲列的周期以达到变压变频目的的一种变换电路。

基本的脉宽调制控制电路包括电压-脉宽转换器和开关式功率放大器两部分，参考电路如下图所示。



此电路是通过改变占空比的方法，来调节直流电动机的转速。输入部分是一个简单的电位器调节电位电路，用以调整电压，电源电压采用 12V。可调电压经电压跟随器 A1 以后，在比较器 A2 ~ A4 上与三个事先经电阻分压而设定的基准电压相比较。随着输入电压的升高，从 A4 开始，然后是 A3、A2，它们输出先后变低电平。

电容的充电时间是不变的，是 $R11 \cdot C1$ 。但是定时器电路原来的放电端不用，而用 A2 ~ A4 输出端代替。根据 A2 ~ A4 的输出情况，可能有三种不同的放电时间见下表：

输出低电平的运放	放电时间
A4	$R8 \cdot C1$
A4、A3	$R8 // R7 \cdot C1$
A4、A3、A2	$R8 // R7 // R6 \cdot C1$

二极管 D1 ~ D3 提供电容 C1 放电通道，而 D5 则提供充电通道。为了保证在充电时间，各比较器输出状态不影响充电速度，另外加晶体管 T1 和二极管 D4，把比较器输入端电位拉到只有零点几伏，A2 ~ A4 全部输出高电平，这样使 D1 ~ D3 都截止。

T1 集电极输出控制大功率管 T2，另由 1000 μ F 电容进行滤波。不同的控制电压，使定时器电路产生不同的输出，而不同的占空比又产生不同的直流电压，从而改变电机的转速。

四、实验步骤

1. 在实验电路板插接 A1 电路，（A1 ~ A4 采用一片四运放 LM324 集成电路），检查无误，通电测量。调节 W1 电位器，用万用表测量或用示波器观察 A1 的输出，是否能从 0 ~ 12V。
（注意芯片要接电源）
2. 在实验电路板插接 A2 ~ A4 电路，检查无误，通电测量三个比较器的输出。
3. 在实验板上分别连接电路的其它部分，检查无误，才能通电调试电路。
4. 调节电位器，控制马达的转速，用示波器测量 A ~ E 点波形，并记录。
5. 应用所学知识，进一步设计电路，要求测量电机转速，闭环控制电机转速（进行综合型实验训练）。

五、思考题

1. 该电路的脉宽是否可以连续变化？
2. 设计其它脉宽调制控制直流电机电路。实验并说明工作原理。