

《电子实习 A》指导书

光电实验中心 编写

2016. 03

光电信息与计算机工程学院

目录

一、实训目的及意义.....	1
二、基础知识.....	1
1、安全用电知识.....	1
2、常用工具的使用.....	4
3、常用电子仪器的使用.....	5
4、常用电子元器件的认识和检测.....	9
5、焊接工艺训练.....	23
三、实训内容 A（正负直流稳压电源）.....	24
四、实训内容 B（二阶低通有源滤波器）.....	31
五、实训内容 C（自选电路）.....	35
六、作品测试.....	37
附件 1：《电子实习 A》设计与测试报告封面及格式：.....	38
附件 2：Altium Designer 软件操作简介.....	40
附件 3：常用电阻电容电感标准值.....	47
附件 4：ST lm324's datasheet.....	48

一、实训目的及意义

本课程是光电信息与计算机工程类专业学生的学科基础课程，又是实践性要求较强的课程。随着电子技术突飞猛进地发展，结合我院各项教学改革不断探索，以及学校组织参加的各级电子类科创比赛，电子实训课程承前启后，为学生打好日后学习专业课程的基础，激发学习电子电路的兴趣。

以前的电子类实习内容是焊接收音机，现在则通过对电子元件认知、测试设备的使用、电子产品设计、电路图绘制、焊接与调试，让学生掌握电子电路的设计的基本技能，培养理论联系实际的能力，提高分析问题和解决问题的能力，增强独立思考和团队协作能力。

本指导书为《电子实习 A》实验教材，前继课程为电路原理和电路原理实验，服务于光电学院短学期 1 的大一学生，**三人一组，共同完成**。后续内容如再具体深入，可为本学院多个专业的《课程设计》、《毕业设计》等实践与设计类课程，以至各级电子类科创竞赛服务。

二、基础知识

1、安全用电知识

1.1 安全用电常识

安全电压：是指人体不戴任何防护设备时,触及带电体不受电击或电伤。我国国家标准 GB3805-83 《安全电压》中规定，安全电压值的等级有 42、36、24、12、6V 五种。根据具体环境的不同，安全电压有不同的规定，例如下列特殊场所应使用安全电压照明器：

A、隧道、人防工程、有高温、导电灰尘或灯具离地面高度低于 2.4cm 等场所的照明，电源电压应不大于 36V。

B、在潮湿和易触及带电体场所的照明电源电压不得大于 24V。

C、在特别潮湿的场所，导电良好的地面、锅炉或金属容器内工作的照明电源电压不得大于 12V。

安全电流：安全电流与流过人体的大小，通过人体的持续时间、电流经过的途径有很大关系。根据科学实验和事故分析得出不同数值的电流对人体危害的特征，确定额定 50-60Hz 的交流电 10mA 和直流电 50mA 为人体安全电流，人体通过小于安全电流的电流是安全的。例如：USB2.0 标准规定最大充电电流为 500mA，充电过程为恒流-恒压-涓流。

人体电阻：通过人体的电流决定于触电时的电压和人体电阻。影响人体电阻的因素有很多，并因人而异，一般人的表皮角质层电阻约为 $1\sim 10000\Omega$ ，但角质层极易破坏，皮肤潮湿多汗均会降低人体电阻，触电时间越长，发热出汗越多，人体电阻越小。除角质层电阻外，一个正常人的电阻一般在 $800\sim 1000\Omega$ 左右。

绝缘电阻：一般大于 $5M$ 欧姆。一般高压线要采用特殊的耐高压绝缘皮，而大电流电线电缆对导线的粗细（截面积）有特殊要求。

1.2 安全操作要求

在电子实习的工作台上，安装有三相和单相空气开关（断路器），以及 $220V$ 的交流电源插座，使用时要注意以下两个方面的安全问题。（1）每个工位上的电源在不使用的状态下，一定要将控制开关断开。如果在电源使用中，遇到用电事故，马上拉下空气开关，切断电源。（2）实习台上的电源只允许连接与实习相关的工具、仪表，不允许接入与实习操作无关的用电器件！

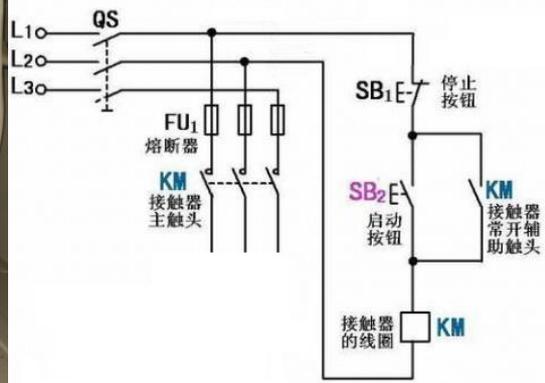
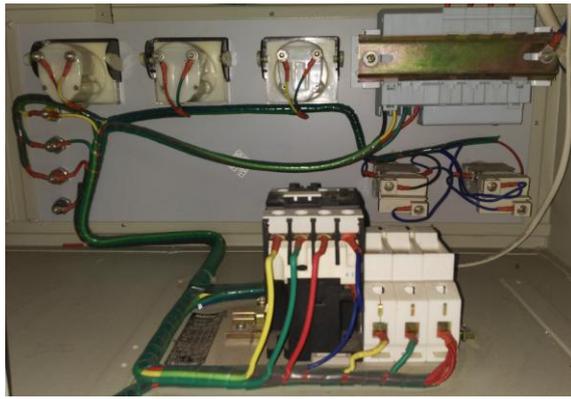


1.3 安全操作注意事项 !!!

(1) 接通电源前的检查

任何没操作过的用电设备，不要冒失的就拿起插头插上电源，要记住“四查而后插”。四查为：一查电源线有无破损，二查插头有无外漏或内部松动，三查电源线插头两级有无短路，同外壳（如果设备是金属外壳）有无通路，四查设备所需的电压值是否与供电电压相符。





(2)检修、调试电气、电子设备的注意事项

检修前，一定要了解检修对象的电气原理，特别是电源系统。**断开电源并不代表没有触电危险**，只有拔下插头，并对仪器内的高电压大容量电容放电处理后，才是安全的。不要随便改动仪器设备的电源线。洗手或者出汗后，不要带电作业，尽可能用单手操作。

(3)安装及焊接操作规则

- ①不要惊吓正在操作的人员，工作时不要打闹。
- ②烙铁头在没有确信脱离电源时，不能用手摸。
- ③烙铁头上多余的锡不要乱甩，特别是往身后甩危险性更大。
- ④易燃品远离电烙铁。
- ⑤拆焊有弹性的原件时，不要离焊点太近，并使可能弹出焊锡的方向向外。
- ⑥插拔电烙铁等电器的电源插头时，手要拿插头，不要抓电源线。
- ⑦用螺丝刀拧紧螺钉时，另一只手不要握在螺丝刀刀口方向。
- ⑧用剪刀钳剪断小导线时，要让导线甩出方向朝着工作台或空地，绝不可以向人或者设备。
- ⑨工作时间内的各种工具、设备不要乱摆、乱放，以免发生事故。

柄，柄部结构与电笔相似，故可兼作电笔使用。

(6) 镊子：

用于夹持导线和元器件。有时焊接某些怕热元器件时，可用作散热。

(7) 吸锡器：

用于电器元件的拆卸，并保证印制板和元器件的不被损坏。分为两种，一种可以自行加热，一种需要电烙铁的配合使用。前者区别在于可以独立完成拆卸工作，在预热后，吸头可以同时完成加热和抽吸过程。在多次使用后两者都需要清除一下内部积存的焊锡，保证下次抽气的通畅。后者结构简单，故障率低。使用时，把活塞推下，会自动被卡住，用烙铁加热需要拆卸的焊点，使焊锡溶化，把吸锡器接近溶化的焊锡，按下活塞释放按钮，活塞由于弹簧作用迅速上升，产生内抽气流，把溶化的焊锡抽入吸锡器内。

(8) 焊锡和助焊剂

助焊剂通常是以松香为主要成分的混合物，是保证焊接过程顺利进行的辅助材料。用于清除氧化膜，保证焊锡浸润。它防止焊接时表面的再次氧化，降低焊料表面张力（黏性），提高焊接性能。助焊剂使用过多会影响电路板外观，可以用但不建议用酒精洗板。

3、常用电子仪器的使用

了解直流稳压电源、万用表、信号发生器、示波器等常用电子仪器的功能。

3.1 数字万用表的使用



(1) 交、直流电流的测量：红表笔插入“**I**”插孔中，根据测量电流的大小选择适当的电流测量量程，串联进电路进行测量。（因为串联需要断开原来的电路，所以带有表笔的万用表不常用于测电流）

(2) 交、直流电压的测量：红表笔插入“**V/Ω**”插孔中，根据电压的大小选择适当的电压测量量程，黑表笔接触电路“地”端，红表笔接触电路中待测点。数字万用表测量交流电压的频率范围为10~50kHz。频率太低会影响测量精度，频率太高会因仪表整流二极管的结电容，以及仪表的分布电容而受到影响。

(3) 电阻的测量：红表笔插入“**V/Ω**”插孔中，根据电阻的大小选择适当的电阻测量量程，红、黑两表笔分别接触电阻两端，观察读数即可。

利用电阻档还可以定性判断电容的好坏。先将电容两极短路（用一支表笔同时接触两极，使电容放电），然后将万用表的两支表笔分别接触电容的两个极，观察显示的电阻读数。若一开始时显示的电阻读数很小（相当于短路），然后电容开始充电，显示的电阻读数逐渐增大，最后显示的电阻读数变为“1”（相当于开路），则说明该电容是好的。若按上述步骤操作，显示的电阻读数始终不变，则说明该电容已损坏。特别注意的是，测量时要根据电容的大小选择合适的电阻量程，例如47 μ F用200k档，而4.7 μ F则要用2M档等等。

(4) 二极管导通电压检测:在这一档位，红表笔接万用表内部正电源，黑表笔接万用表内部负电源。两表笔与二极管的接法如图1所示。若按图1.1 (a)接法测量，则被测二极管正向导通，万用表显示二极管的正向导通电压，单位是mV。通常好的硅二极管正向导通电压应为500mV~800mV，好的锗二极管正向导通电压应为200mV~300mV。假若显示“000”，则说明二极管击穿短路，假若显示“1”，则说明二极管正向不通。若按图1.1 (b)接法测量，应显示“1”，说明该二极管反向截止，若显示“000”或其它值，则说明二极管已反向击穿。

此档也可以用来判断三极管的好坏以及管脚的识别。测量时，先将一支表笔接在某一认定的管脚上，另外一支表笔则先后接到其余两个管脚上，如果这样测得两次均导通或均不导通，然后对换两支表笔再测，两次均不导通或均导通，则可以确定该三极管是好的，而且可以确定该认定的管脚就是三极管的基极。若是用红表笔接在基极，黑表笔分别接在另外两极均导通，则说明该三极管是NPN型，反之，则为PNP型。最后比较两个PN结正向导通电压的大小，读数较大的是be结，读数较小的是bc结，由此集电极和发射极都识别出来了。

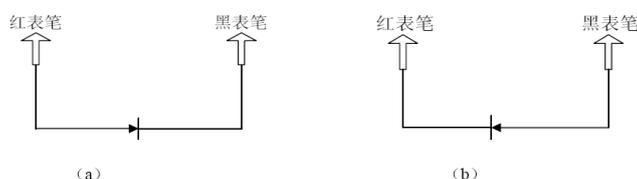


图1.1 测量二极管

(5) 短路检测:将功能、量程开关转到“•••••”位置，两表笔分别测试点，若有短路，则蜂鸣器会响。

3.2 稳压电源



(1) 直流稳压电源的基本功能

直流稳压电源一般会提供一路固定输出为 5V、3A；提供二路（A 路、B 路）可调输出为 0~30V、0~2A。

（2）可调输出一般都具有稳压、稳流两种工作方式，这两种工作方式随负载变化而进行自动转换，并由仪器前面板上的发光二极管显示出 CV（稳压）、CC（稳流）方式。电源处于“恒流”状态时去调电流，处于“恒压”状态时去调电压，才能改变负载上的电压和电流。

（3）有些稳压电源还同时提供 A 路和 B 路串联工作和主从跟踪工作方式。若 A 路是主路，B 路是从路，在跟踪工作方式时，从路的输出电压随主路而变化，这对于需要对称双极性电源的场合较为适用。若 A、B 二路串联工作时可输出 0~60V、0~2A 直流电源；在串联跟踪工作方式时，可输出 0~±30V、0~2A 直流电源。不允许并联使用。

3.3 示波器



带补偿的高阻无源探头
10MΩ 500MHz 内，
耐压 300Vrms



高压探头
高阻
测量高压和超高压信号



无源低阻电阻分压探头
50Ω *GHz 以上



单端有源探头

1MΩ 低寄生电容

测高频信号，耐压几十伏



高压差分探头



电流探头

AC，互感器感应电流

DC，霍尔传感器

高压差分探头相对于无源高压探头而言价格昂贵，因此有用户在测试高压差分信号时会选择将示波器的电源接地线剪断，使示波器“浮起来”进行测试，这是非常危险的。

(1) 带宽：例如带宽 $f=100\text{MHz}$ ，那么所测信号最好是在 $f/3$ 以下。如果测试一个频率为 100MHz ，振幅为 1Vpp 的信号时，最后所测信号幅度只有 100MHz ， 0.707Vpp 。

采样速率： 1Gs/s ，每秒 1G 个采样点。根据香农采样定理 $f_s \geq 2f_{\text{max}}$ ，一个 500MHz 的信号，至少需要 1Gs/s 的采样速率。

(2) 简易操作

在使用前对示波器进行自校准，将探头菜单衰减系数设定为 1X ，并将探头上的开关设定为 1X ，探头的尖端或者帽钩连接 $5\text{V}1\text{K}$ 方波信号界限环，探头夹子连接接地环（因内部均已接地，也可以不接）。如果方波不标准，用螺丝刀调节探头的补偿电容对探头进行补偿。

将通道 1 的探头连接到电路被测点。

按下 **AUTO**(自动设置)按键。示波器将自动设置使波形显示达到最佳状态。在此基础上可以进一步调节垂直、水平档位,直至波形的显示符合要求。

双踪信号，需用两个探头，但因内部均已接地，只需要一个探头夹子。

3.4 函数信号发生器



函数信号发生器按需要输出正弦波、方波、三角波等多种信号波形。

输出电压最大可达 20V_{pp}, 1mA。通过输出衰减开关和输出幅度调节旋钮, 可使输出电压在毫伏级到伏级范围内连续调节。

函数信号发生器的输出信号频率在 0.1~20MHz 之间, 可以通过频率分档开关进行调节。

仪器面板一般会有两个接线端子, 均为 BNC 同轴电缆接口, 和示波器探头的接口相同, 但线端是鳄鱼夹:

(1) MAIN 输出, **最常用!** 也可以输出 TTL 电平。

(2) TTL 输出, 输出高电平 5V 低电平 0V 占空比 50% 的 TTL 标准方波。

操作举例:

(1) 输出正弦波, 10kHz, 1V_{pp}, 2V_{dc}:

按 FUNC 键选择正弦波

按 FREQ>1>0>kHz

按 AMPL>1>V_{pp}

按 OFST>2>V_{pp}

按 OUTPUT 键

(2) 输出方波, 10kHz, 3V_{pp}, 75% 占空比:

按 FUNC 键选择方波

按 FREQ>1>0>kHz

按 AMPL>3>V_{pp}

按 DUTY>7>5>%

按 OUTPUT 键

(3) 输出三角波, 10kHz, 3V_{pp}, 25% 对称性:

按 FUNC 键选择三角波

按 FREQ>1>0>kHz

按 AMPL>3>V_{pp}

按 DUTY>2>5>%

按 OUTPUT 键

(4) 噪声波

(5) ARB 任意波形

(6) AM、FM 和 FSK 调制波形

(7) 频率扫描 Sweep

(8) 计频功能 Count

4、常用电子元器件的认识和检测

电子元器件一般指电阻 (R)、电容 (C)、电感 (L)、变压器 (T)、晶体二极管 (D)、晶体三极管 (Q)、可控硅 (即晶闸管 SCR)、集成电路 (IC) 等。我们将学习这些元器件的用途, 主要性能参数、规格型号以及检查这些元器件质量好坏的基本知识, 下面分别作说明。

4.1 电阻

电阻器简称电阻, 单位是欧姆, 用希腊文 “Ω” 表示, 1KΩ = 1000Ω, 1M

$\Omega = 1000K\Omega$ 。电阻器在电路中的主要作用是控制电压、电流的大小，还可以与其它元件配合，组成耦合、滤波、反馈、补偿等各种不同功能的电路。



(1)金属膜电阻（正温度系数，温度越高电阻值越大），碳膜电阻（负温度系数），金属氧化膜电阻（颜色一般为磨砂灰）。

金属膜电阻,稳定，误差小，精度高，体积小。碳膜电阻，反之，现已很少有碳膜电阻生产。金属氧化膜电阻耐高温高频。

(2)绕线电阻，功率电阻

(3)精密合金箔电阻（高精度）

(4)厚膜电阻网络/电阻排（集成）

(5)金属玻璃釉电阻/柱形贴片电阻，贴片电阻

(6)光敏电阻（阻值随光强的增大而减小）；

热敏电阻（电阻值随温度呈正或负指数变化）：与LM35传感器做对比；

压敏电阻（当外加电压达到其临界值时，阻值会急剧变小，电流剧增，熔断）；

湿敏电阻（多用于检测土壤湿度）；

铂电阻（电阻值随温度升高呈线性增长）；

*热电偶（是一种测量仪表，用于500摄氏度以上）。

额定功率：当电流通过电阻时，要消耗一定的功率，这部分功率变成热量使电阻温度升高，为保证电阻正常使用而不被烧坏，它所承受的功率不能超过规定的限度，这个最大的限度就称为电阻的额定功率。一般可分为1/8、1/4、1/2、1、2、5、10W……。额定功率大的电阻器体积就大，在一般半导体收音机等电流较小的电路中，电阻的额定功率一般只需1/4W 或1/8W 就可以了。不同类型的电阻有不同系列的额定功率，见表1.1。

表1.1电阻器功率等级

名 称	额 定 功 率 (W)					
	实 芯 电 阻 器	0.25	0.5	1	2	5
线 绕 电 阻 器	0.5	1	2	6	10	15
	25	35	50	75	100	150
簿 膜 电 阻 器	0.025	0.05	0.125	0.25	0.5	1
	2	5	10	25	50	100

固定电阻器的三种标志方法：直标法、文字符号法和色标法。

1. 直标法：在电阻器表面用数字、单位符号和百分数直接标出电阻器的阻值和允许误差。优点是直观，一目了然。表示方法如： $5.1K\Omega \pm 5\%$ 或者 $5.1K\Omega J$ 。

通常2W 以下的小功率电阻，其功率、电阻材料通常不标出，通过外型尺寸、颜色即可判定，如对于普通碳膜和金属膜电阻，通常碳膜电阻涂棕色，金属膜电阻涂绿色或红色。2W 以上功率的电阻大部分在电阻体上以符号标出，符号涵义如表1.3。

表1.2电阻材料及代表符号

符号	T	J	X	H	Y	C	S	I	N
材料	碳膜	金属膜	线绕	合成膜	氧化膜	沉积膜	有机实芯	玻璃釉膜	无机实芯

例如：RJ 1/2W 470 Ω J, RX 4W 10M Ω , RT 1W 5k1 II 等，分别为金属膜、线绕碳膜电阻的直接表示法。

2. 文字符号法：如5K1 表示5.1K Ω ，5 Ω 1表示5.1 Ω ，4M7 表示4.7M Ω 。普通电阻精度分为+5%、+10%、+20%三种，在电阻标称值后，标明 I (J)、II (k) I II (M)符号。精密电阻的精度等级，可采用不同符号标明，见表1.3。

表1.3 精密电阻的精度等级

%	+0.001	+0.002	+0.005	+0.01	+0.02	+0.05	+0.1	+0.2	+0.5	+1	+2	+5	+10	+20
符号	E	X	T	H	U	W	B	C	D	F	G	J	K	M

3. 色标法：用颜色表示电阻器的阻值和允许误差，不同颜色代表不同数值。小功率电阻较多情况使用色标法，特别是0.5W 以下的碳膜和金属膜电阻更为普通。色标的基本色码及意义列入表1.5。

三环色标电阻：表示标称电阻值（精度均为+20%）。

四环色标电阻：表示标称电阻值及精度。

五环色标电阻：表示标称电阻值（三位有效数字）及精度。为避免混淆，第五色环的宽度是其它色环的1.5~2 倍。

例如，若电阻的四个色环颜色依次为：

黄、紫、棕、银——表示470 Ω 、 $\pm 10\%$ 的电阻

若电阻上的五个色环颜色依次为：

棕、蓝、绿、黑、棕——表示165 $\Omega \pm 1\%$ 的电阻器

表1.5色标的基本色码及意义

色别	左第一环	左第二环	左第三环	右第二环	右第一环
	第一位数	第二位数	第三位数	应乘倍率	精度
棕	1	1	1	10^1	$F\pm 1\%$
红	2	2	2	10^2	$G\pm 2\%$
橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	5	10^5	$D\pm 0.5\%$
蓝	6	6	6	10^6	$C\pm 0.2\%$
紫	7	7	7	10^7	$B\pm 0.1\%$
灰	8	8	8	10^8	
白	9	9	9	10^9	
黑	0	0	0	10^0	
金				10^{-1}	$J\pm 5\%$
银				10^{-2}	$K\pm 10\%$

4.2 电位器

典型电位器基本结构如图1.2所示，

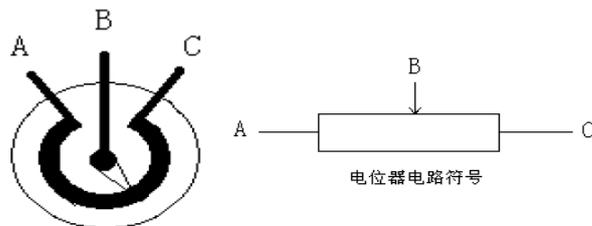


图 1.2 电位器基本结构及电路符号

电位器的主要用途是在电路中作分压器或变阻器。用作电压电流的调节。



标注方法：电位器一般均采用直标法，在电位器外壳上用字母和数字标志着它们的型号、标称功率、阻值、阻值与转角间的关系等。例如WT—II—I—1K—X 电位器表示为单联碳膜电位器II型，功率为1W，阻值为1K Ω ，曲线为直线性。

4.3 电容

电容的基本结构就是两个金属电极中间隔着绝缘体（即电介质），就构成一个电容器，是一种贮存电荷的容量。

电容器的基本特征是**隔直通交**，不能通过直流电，而能“通过”交流电，且容量越大，电流频率越高，它的容抗就越小，交流电流就越容易“通过”。

电路符号如图1.3所示。

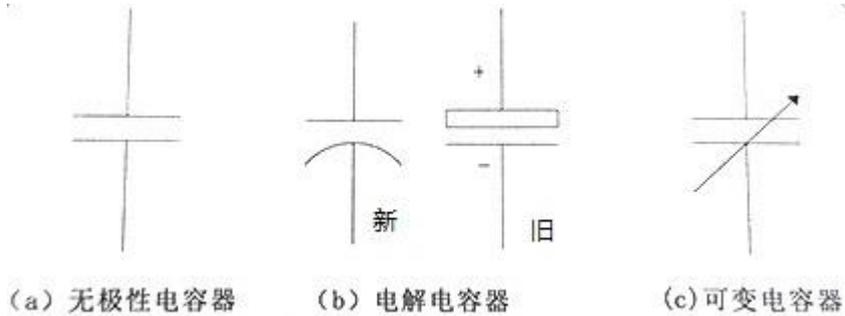


图 1.3 电容的电路符号



- (1)瓷片电容
- (2)独石电容（多层陶瓷电容器）

(3)云母电容（适宜高频）

(4)电解电容（铝电容，分正负极，容量大但高频特性不好）

(5)钽电容（钽电解电容，分正负极，用金属钽作为正极，在电解质外喷上金属作为负极。优点：稳定性好，容量大，高频特性好。缺点：造价高，一般用于关键地方）

(6)金属化薄膜电容（MKP电容,PPN用于远程通讯数据处理工业仪表和自动化控制，PPT用于高频，PET型，PEN型，MPB，有机介质MEA）

(7)超级电容/黄金电容/法拉电容（分正负极）

电容器性能的参数很多，主要有以下几项：

(1) 额定**直流**工作电压（又称耐压）：电容器在线路中能长期可靠工作而不致被击穿时所能承受的最大直流工作电压。一般标志在电容器的壳体上，供选用时参考。因为耐压值选得太低，电容器容易被击穿，选得太高，又会增大电容器的体积，同时还要增加成本。

(2) 标称容量和允许误差范围：为了生产和选用的方便，国家规定了各种电容器的一系列标准值，称为标称容量，也就是电容器壳上所标出的容量。实际生产的电容器的容量和标称容量之间总是会有误差的。实际电容量与标称电容量的允许最大误差范围称为允许偏差范围。一般分为三个等级，用 I 级 $\pm 5\%$ 、II 级 $\pm 10\%$ 、III 级 $\pm 20\%$ 表示。通常标称容量和误差都标志在电容器的壳体上，以便识别和选用。

(3) 绝缘电阻（又称漏电电阻）：是指两个电极间绝缘介质的电阻，它的大小说明了电容器绝缘性能的好坏。电容器在一定的电压作用下，会有微弱的电流通过介质，造成电能损耗，绝缘电阻越小，漏电流就越大，电能损耗越多，就会影响电路的正常工作。所以绝缘电阻小的电容器不能选用。

命名方法：

根据国家标准，电容器型号命名由四部分内容组成：I、主称字母；II、材料字母；III、特征字母；IV、序号数字。其中第三部分做为补充说明电容器的某些特征，如无说明，则只需三部分组成。

例如：

CY510I——云母电容510pF，I 级精度（+5%）

CL1nk——涤纶电容1nF，K 级精度（+10%）

CC223——瓷介电容器0.022 μ F，III 级精度（+20%）

CBB120.47II——聚丙烯0.47 μ F，II 级精度（+10%）

一般电容器主体上除标上述符号外，还标有标称容量、额定电压、精度与技术条件等。

表1.6电容器的标志内容

第一部分（主称）		第二部分（材料）		第三部分（特征）	
序号	含 义	序号	含 义	序号	含 义
C	电 容 器	C	瓷 介	W	微 调
		Y	云 母		
		I	玻 璃 釉		
		O	玻 璃（膜）		
		B	聚 苯 乙 烯		
		F	聚 四 氟 乙 烯		
		L	涂 纶	J	金 属 膜
		S	聚 碳 酸 脂		
		Q	漆 膜		
		Z	纸 介		
		H	混 合 介 质		
		D	铝 电 解		
		A	钽		
		N	铌		
T	钛				

电容器的规格标志方法同电阻一样也有三种标志方法。

(1) 直标法：主要技术指标直接标注在电容器的表面上。

- a. 数字不是带小数点的整数，则容量单位为PF。如2200表示2200PF，6800表示6800PF。
- b. 若数字带小数点，则容量单位是 μF 。如0.047表示0.047 μF ，0.01表示0.01 μF 等。
- c. 用数码表示电容量时，电容量的大小是用三位有效数字后面零的个数。如103表示 $10 \times 10^3 = 10000PF$ ，10nF，0.01 μF 。
223表示 $22 \times 10^3 = 22000PF$ ，22nF，0.022 μF 。
104表示0.1 μF

(2) 文字符号法：用数字和文字符号有规律的组合起来表示电容器的标称容量。并标志在电容器的壳体上。

- a. 数字表示有效数值，字母表示数量级。字母 μ （微法10-6法）、n(纳法10-9法)、p（皮法10-12法）。例如10 μ 表示10 μF 或写成100000000PF等。
- b. 字母也表示小数点。如3 μ 3表示3.3 μF ，3P3表示3.3pF，P33表示0.33pF等。
- c. 数字前加字母R，以R表示小数点，表示为零点几 μF 的电容量。如R33表示0.33 μF ，R47表示0.47 μF 等。

4.4电感(线圈)

电感一般又称为电感线圈，在谐振、耦合、滤波、陷波等电路应用十分普遍。基本特征是阻交通直。与电阻器、电容器不同的是电感线圈没有品种齐全的标准产品，特别是一些高频小电感，通常需要根据电路要求自行设计制作。

电感的分类：空心线圈、磁心线圈、铁心线圈。



主要参数：

(1) 电感量及误差

在没有非线性导体物质存在的条件下，一个载流线圈的磁通与线圈中的电流成正比。其比例常数称自感系数，用L表示，简称电感。电感量的大小与电感线圈的匝数、截面积以及内部有没有铁芯或磁芯有很大的关系。如果在其它条件相同的情况下，匝数越多，电感量就越大；匝数相同，其它条件不变，那么线圈的截面积越大，电感量就越大；同一个线圈，插入铁芯或磁芯后，电感量比空心时明显增大，而且插入的铁芯或磁芯质量越好，线圈的电感量就增加的越多。电感的基本单位是亨利（H），常用的有毫亨（mH）、微亨（ μH ）、毫微亨（nH）。同电阻器、电容器一样，商品电感器的标称电感量也有一定的误差。常用电感器误差在5%~20%之间。

(2) 固有电容和直流电阻

线圈匝与匝之间的导线，通过空气、绝缘层和骨架而存在着分布电容，此外，屏蔽罩之间，多层绕组的层与层之间，绕组与底板之间也都存在着分布电容。等效电容就是固有电容，由于固有电容和直流电阻的存在，会使线圈的损耗增大，品质因数降低。

(3) 品质因数Q

品质因数是表示线圈质量的一个参数。它是指线圈在某一频率的交流电压下工作时，线圈所呈现的感抗和线圈的直流电阻的比值，用公式表示

$$Q = 2\pi f L/R = \omega L/R。$$

式中 Q ——线圈的品质因数；

L ——线圈的电感量；

R ——线圈的电阻；

f ——频率；

ω ——角频率；

当 L 、 f 一定时，品质因数 Q 就与线圈的电阻 R 有关，电阻越大， Q 值就越小；反之 Q 值就越大。在谐振回路中，线圈的 Q 值越高，回路的损耗就越小，因此回路的效率就越高，滤波性能就好。但 Q 值的提高往往受到一些因素的限制，如导线的直流电阻，线圈架的介质损耗，以及由于屏蔽和铁芯引起的损耗，还有在高频工作时集肤效应等。因此实际上线圈的 Q 值不可能做得很高，通常为几十至一百，最高到四五百。

(4) 额定电流

线圈中允许通过的最大电流，主要对高频扼流圈和大功率的谐振线圈而言。

(5) 稳定性

当温度、湿度等因素改变时，线圈的电感量以及品质因数便随之而变。稳定性则表示线圈参数随外界条件变化而改变的程度。

线圈产生几何变形、温度变化引起的固有电容和漏电阻损耗增加，都会影响电感的稳定性。电感线圈的稳定性，通常用电感温度系数 α_L 和不安定系数 β_L 两个量来衡量，它们越大，表示稳定性越差。

标注方法:通常用3位数码表示，前两位表示有效数字，第3位数表示有效数后零的个数，小数点用R表示，最后一位英文字母表示误差范围。单位为 μH 。如220K表示 $22\mu H$ ，8R2J表示 $8.2\mu H$ 。

4.5 晶体二极管

晶体二极管是一种用途很多的半导体元件。内部结构实际上就是一个PN结，再加上相应的正负极引线，用玻璃、塑料或者金属管壳封装而成的。它是一种非线性元件，具有单方向导电性。因此常用它作为整流和检波元件。其电原理示意图和图形符号见图1.4。

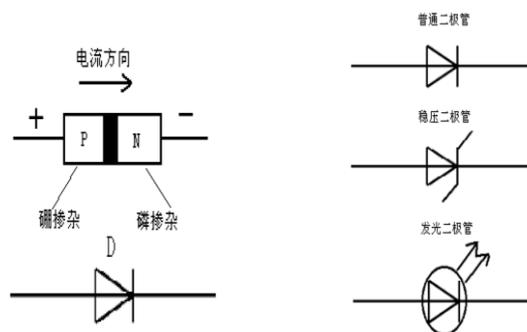


图1.4 晶体二极管电原理示意图及图形符号



(1)普通二极管，IN4001耐压50V；IN4002耐压100V；IN4003耐压200V；IN4004耐压400V；IN4005耐压600V；IN4006耐压800V；IN4007耐压1000V；最大电流均为1A。

(2)开关二极管，如IN4148，多用于电子计算机、脉冲控制、开关电路中；

(3)稳压二极管，C4V7奇纳电压4.7V，负极为有色环端；

(4)发光二极管LED，可见光，三基色可做七色闪烁；

(5)红外发射和接收对管，一黑一白，应用于遥控器和避障传感器。

二极管的参数:

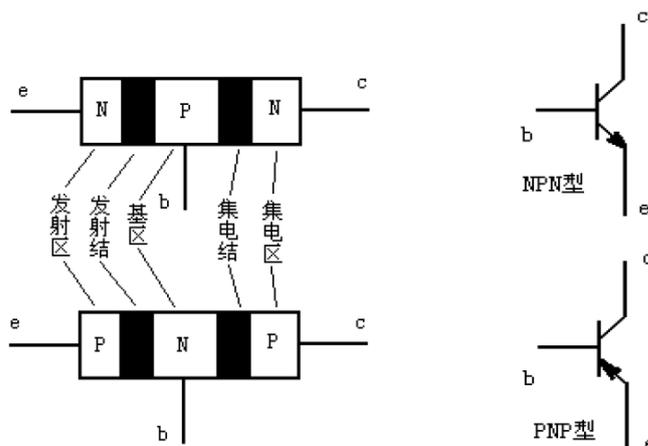
(1)最大允许电流：长期安全工作，允许通过的最大正向电流值，如果超过额定值运用，二极管发热太多，就会烧坏PN结，二极管很快损坏。

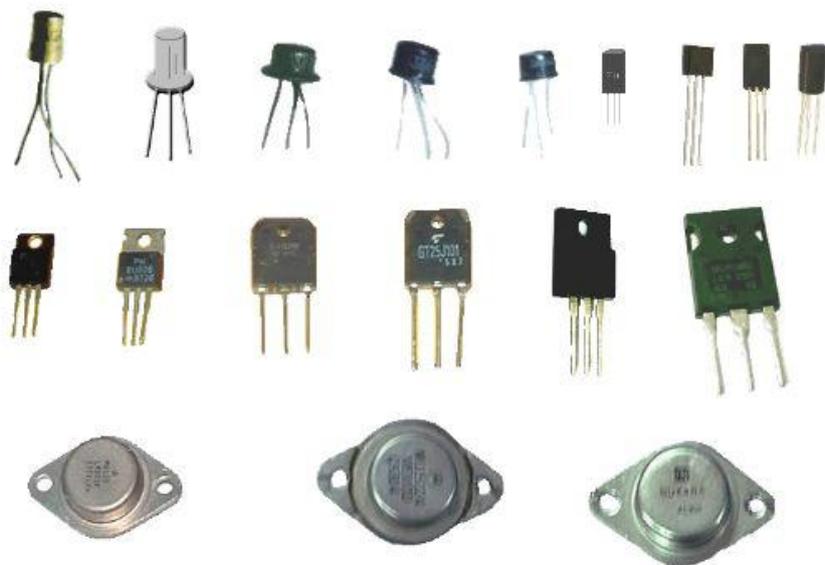
(2)最高反向工作电压：是指允许加在二极管上的反向电压的最大值。如果超过此值，管子就有击穿的危险。它反映了二极管反向电压的承受能力。

4.6晶体三极管

晶体三极管是电子电路中的重要元件。它是由两个做在一起的PN结上相应的引出电极引线及封装组成。三极管最基本的特点是具有放大作用，用它组成高频、低频放大电路，振荡电路，广泛地应用在收音机、扩音机、录音机、电视机和其它各种半导体电路中。

晶体管的种类按导电特性（材料极性不同）可分为PNP型和NPN型。





(1) 导体三极管BJT

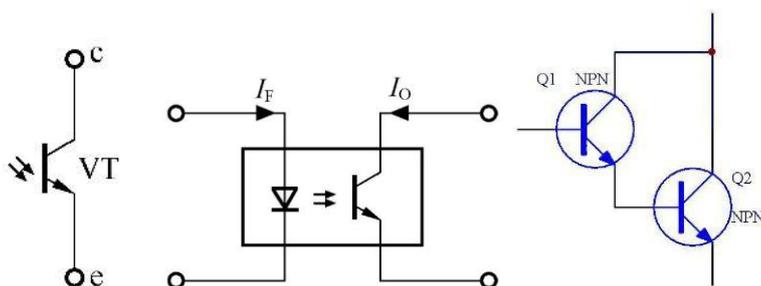
9013, C-E耐压20V, 集电极最大允许电流0.625A, 放大倍数40~110

9014, C-E耐压45V, 集电极最大允许电流0.1A, 放大倍数20~90

(2) 型场效应管JFET

(3) 金属氧化物半导体场效应管MOSFET, 例IRF530A,100V,14A

(4) 光敏三极管, 光耦合器, 达林顿管(复合管)



如果不知管子型号及管脚排列, 可用万用表测定三极管管脚。

a. 先判断基极及管子类型(PNP型和NPN型)。

测试时将万用表放在R1K档, 用黑表笔与任意管脚相连, 红表笔分别与另外两个管脚相接, 测量其阻值, 如果阻值一个很大一个很小, 则应把黑表笔所接的管脚调换一个, 再用以上方法测试。如果测量出阻值均很小, 则黑笔所接就是基极, 而且确定三极管为NPN型, 反之, 若用红表笔固定接触某一管脚而用黑表笔分别与两个管脚相接, 当测得两者电阻都很小时, 则为PNP型管子。红表笔所接是基极。

b. 判断集电极和发射极

找到基极并且确定好NPN和PNP型管子后剩下的两个管脚可先假定一个为集电极, 一个为发射极。按图所示方法测试其放大作用, 并记录表针偏转位置, 即把c、e位置对调一下, 再测试其放大作用, 比较两次测试结果, 其中偏转角度大的假设是正确地。即对NPN型管子, 摆动大的那一次黑表笔所接的管脚就是集电极, 红表笔所接的是发射极。对于PNP型管子反之。注意红表笔要插在万用表的

正插孔内，不要插错了。

4.7其它常用器件

1、晶闸管（可控硅SCR）

晶闸管因其导通压降小，功率大，易于控制，耐用，所以常用于各种整流电路、调压电路和大功率自动化控制电路上。单向晶闸管只能导通直流，且G极需加正向脉冲时导通，若需要其截止则必须接地或加负脉冲。双向晶闸管可导通交流和直流，只要在G极加入相应的控制电压即可。

2、继电器relay

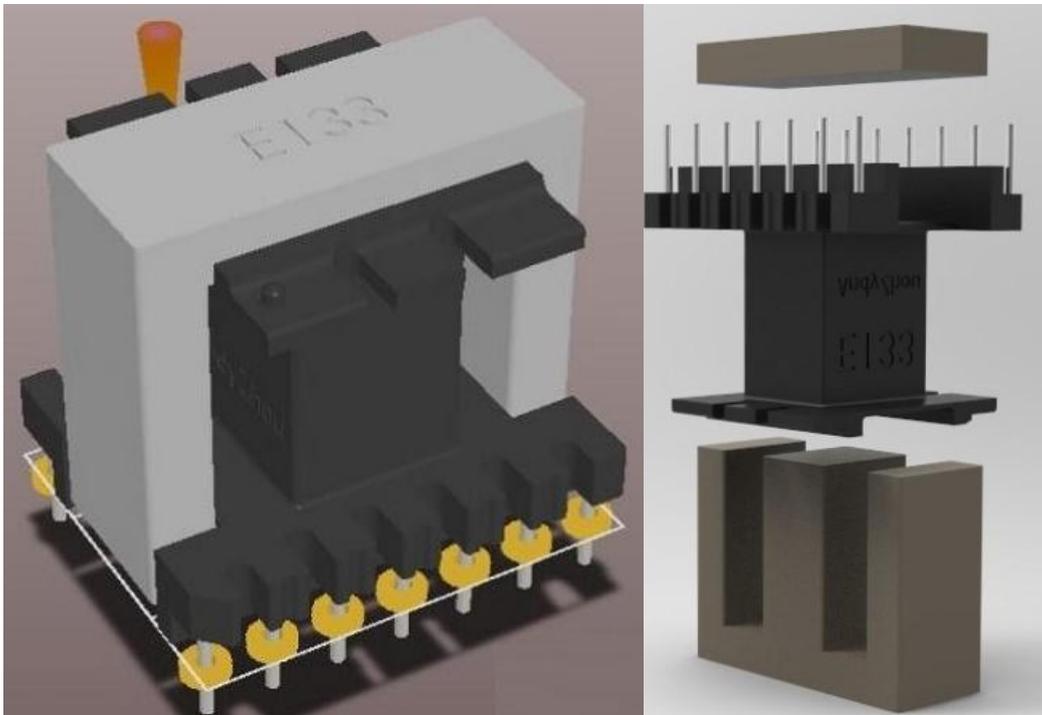
继电器是自动控制电路中常用的一种元件。它是用较小的电流来控制较大电流的一种自动开关，在电路中起着自动操作、自动调节、安全保护等作用。分为直流继电器、交流继电器、舌簧继电器、时间继电器及固体继电器。

区分：断路器（空开）breaker、接触器contactor、投切开关switch等低压电器。

3、变压器

变压器是利用多个电感线圈产生互感作用的元件。**变压器实质上都是电感器**，它在电路中常起变压（电源变压器50HZ）、耦合（高频变压器100KHz以上）、阻抗匹配（音频变压器20~20KHz，人的听力范围，推挽电路）、选频（中频变压器10K~100KHz）等作用。

变压器主要由铁心和线包组成，铁心是由磁导率高、损耗小的软磁材料制成。低频变压器铁心常用硅钢片组合而成，中高频变压器铁心常用高磁导率的铁氧体构成。常见变压器铁心结构形式有：“EI”型铁心；“□”型铁心；“F”型铁心；“C”型铁心；环形铁心。线包主要由一次绕组、二次绕组及骨架构成。



4、电声器件

电声器件是指声电转换的器件。常见有传声器（话筒）-转化成音频电信号、模拟声音传感器-转化成随声音变化的直流电压、扬声器（喇叭）、耳机、蜂鸣器（讯响器）等。

5、集成IC

处理器（CPU）：80X86，奔腾系列

数字处理器（DSP）：TMS320F2812

单片机（MCU、SCM）：MCS51，AVR,PIC,ARM

数字逻辑芯片：SN74LS系列（TI）-门电路和触发器，区别FPGA

运放：LM324

乘法器：是运放的典型应用电路

比较器：是运放的典型应用电路

功放：IGBT模块，音频放大芯片

ADC:ADC0809

DAC:DAC0832

采样保持：LF398

振荡器：时基电路NE555产生方波（数字），晶振/LC/RC产生正弦波（模拟）

模拟开关：CD4017（高频小信号），区别继电器（低频大电压大电流）

稳压电源：78/79系列，LM317

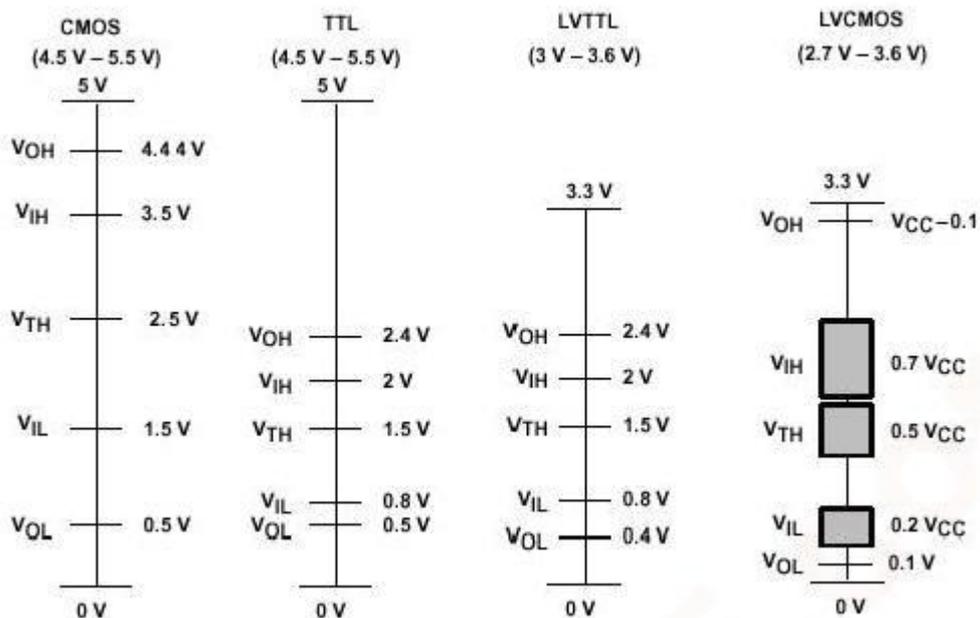
FIFO:存储缓冲

接口转换：MAX232转换电脑的串口和单片机开发板TTL电平。

电平转换：CD4000系列(低速CMOS)、

74LS(TTL-TTL)，74HC(CMOS-CMOS)，74HCT(TTL-CMOS)

5V电源的CMOS可以驱动TTL电平，但TTL电平不能驱动5V电源的CMOS。

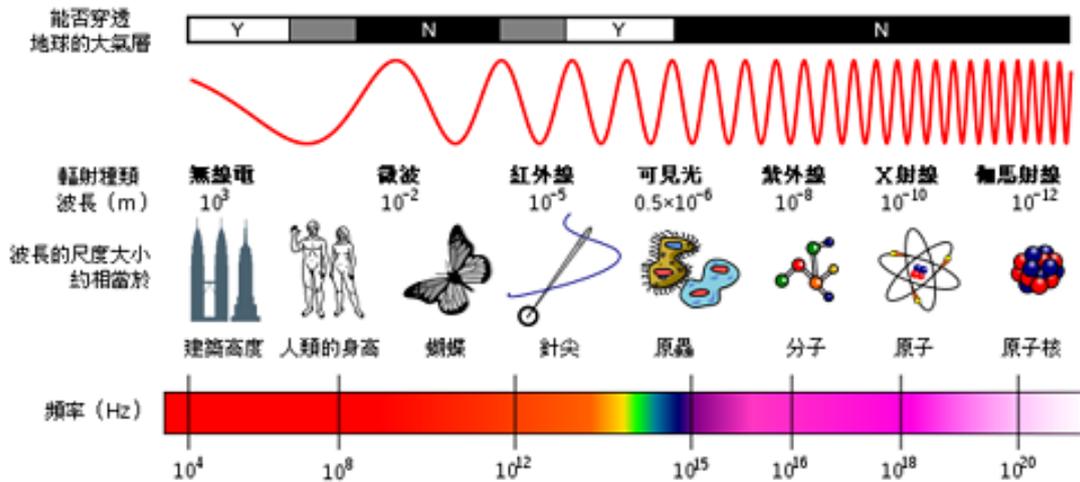


时钟：DS1302可以对年月日、周日、时分秒进行计时。

编码解码：74HC138译码器

滤波：模拟量用三极管或运放，数字量用光耦

无线：WiFi/BlueTooth/ZigBee协议，参看下面电磁波谱图。



6、各种接插件

牛角插座/插头，2.54mm间距，国标有(6P)/(8P)/10P/14P/16P/20P/(24P)/26P/30P/34P/40P/50P/60P/64P。

7.元器件的封装

封装，Package，是把集成电路装配为芯片最终产品的过程，简单地说，就是把Foundry生产出来的集成电路裸片（Die）放在一块起到承载作用的基板上，把管脚引出来，然后固定包装成为一个整体。

封装大致经过了如下发展进程：TO—>DIP—>PLCC—>QFP—>BGA —>CSP；

TO-92（）三极管常用，例如9013。

TO-220（Transistor Outline）为单排直插，一般可以引出3个、5个或7个脚，MOS管常用。

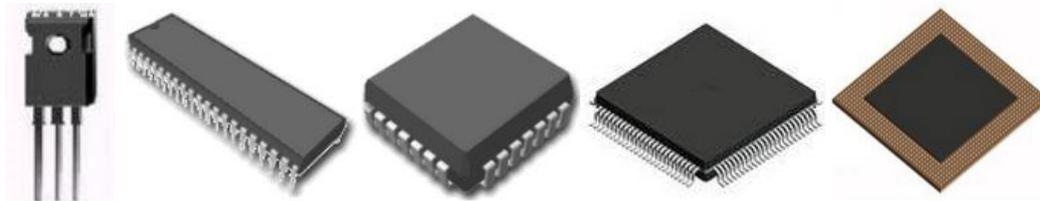
DIP(dual in-line package)双列直插封装。

PLCC（Plastic Leaded Chip Carrier)带引线的塑料芯片载体。

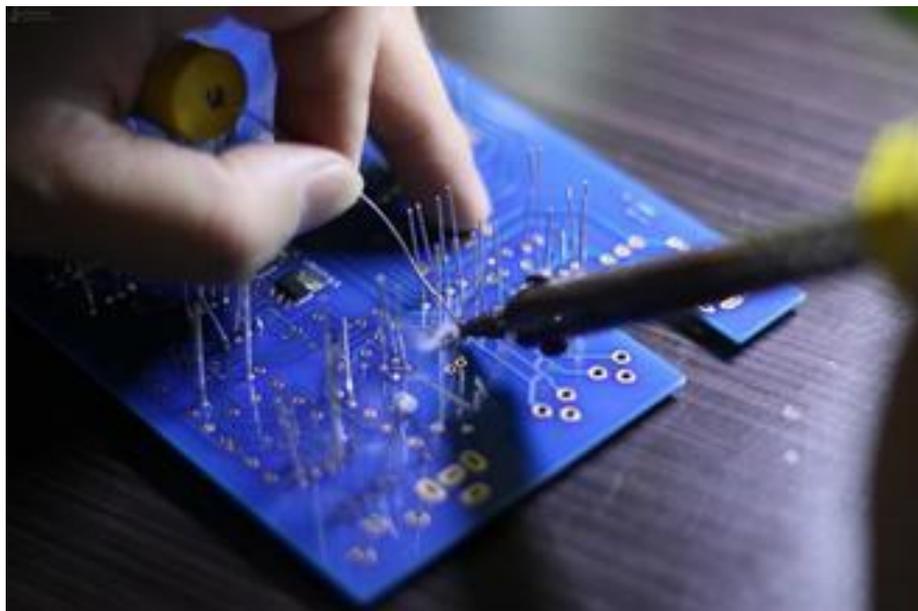
QFP(quad flat package)方形扁平封装-贴片类片。

BGA(ball grid array)球栅阵列封装。

CSP(Chip Scale Package)芯片尺寸封装，其封装尺寸和芯片核心尺寸基本相同，所以称为CSP，其内核面积与封装面积的比例约为1:1.1，凡是符合这一标准的封装都可以称之为CSP，并不涉及具体的封装技术。有些BGA设备稍加修改即可完成CSP焊接。



5、焊接工艺训练



考核要求：

1. 电气性能良好

高质量的焊点应是焊料与工件金属界面形成牢固的合金层，才能保证良好的导电性能不能简单地将焊料堆附在工件金属表面而形成虚焊，这是焊接工艺中的大忌。

2. 焊点不应有毛刺、空隙

这对于高频、高压设备极为重要。因为高频电子设备中高压电路的焊点，如果有毛刺，将会发生尖端放电。同时焊点表面存在毛刺、空隙除影响导电性能外，还影响美观。

3. 焊点上的焊料要适量

焊点上的焊料过少，不仅降低机械强度，而且由于表面氧化层逐渐加深，会导致焊点早期失效。焊点上的焊料过多，既增加成本，又容易造成焊点桥连（短路），也会掩盖焊接缺陷，所以焊点上的焊料要适量。印制电路板焊接时，焊料布满焊盘呈裙状展开时最为适宜。

4. 具有一定的机械强度

焊点的作用是连接两个或两个以上的元器件，并使电气接触良好。电子设备有时要工作在振动的环境中，为使焊件不松动或脱落，焊点必须具有一定的机械强度。锡铅焊料中的锡和铅的强度都比较低，有时在焊接较大和较重的元器件时，为了增加强度，可根据需要增加焊接面积，或将元器件引线、导线先行网绕、绞合、钩接在接点上再行焊接。所以采用锡焊的焊点一般都是一个被锡铅焊料包围的接点。

5. 焊点表面应光亮且均匀

良好的焊点表面应光亮且色泽均匀，不应有凸凹不平和波纹状以及光泽不均的现象。这主要是由助焊剂中未完全挥发的树脂万分形成的薄膜覆盖在焊点表面，能防止焊点表面的氧化。如果使用了消光剂，则对焊接点的光泽不作要求。

6. 点表面必须清洁

焊点表面的污垢，尤其是焊剂的有害残留物质，如果不及时清除，酸性物质会腐蚀元器件引线、接点及印制电路，吸潮会造成漏电甚至短路燃烧等，而带来严重隐患。

以上是对焊点的质量要求，可以用这六点作为检验焊点的标准。合格的焊点与焊料、焊剂及焊接工具的选用，焊接工艺，焊点的清洗都有着直接的关系。

三、实训内容 A（正负直流稳压电源）

通过教师讲解参考电路，进行理论设计和计算，并可以使用相关电路软件的仿真，例如通过 proteus、Matlab/Simulink、Multisim、Protel、OrCAD/PSPICE 等软件进行仿真；而后使用 Altium2004 SP2 进行原理图绘制和 PCB 绘制。制作实物时，先用面包板调试电路，调试好之后在洞洞板上焊接再次调试，直到使用测试设备测试通过。实训内容 ABC 分别完成之后，学生先自测，全部完成之后要求老师进行系统测试，包括各项性能指标。其中 A 和 B 为基础内容，C 为自选提高内容。

注意：

1.PSPICE 是由 SPICE 发展而来的用于微机系列的通用电路分析程序。SPICE（Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis）是由美国加州大学伯克利分校于 1972 年开发的电路仿真程序。适合电路参数分析。

*2.dSPACE 是德国 dSPACE 公司开发的一套基于 MATLAB/Simulink 的控制系统开发及半实物仿真的软硬件工作平台。

3.protel 的历史版本：

1999 年，Altium 公司推出 Protel99se 版本；

2004 年，Protel DXP 2004；

2006 年，Altium Designer 6.0；

2008 年，Altium Designer Summer 8.0；

2009 年，Altium Designer Winter 09；

本指导书采用 2004 版本进行教学，使学生既可以前承 99SE 版，又可以通过未来自身的深入学习掌握 AD 版本。而且 Protel 仿真完全兼容 spice 模型，可以从器件厂商处获得 spice 模型，进行仿真。也兼容 orcad 等格式。

4.Multisim 可以进行复杂模拟/数字电路的仿真、简单的 PCB 板设计、简单的单片机仿真。

Protel 可以进行简单的模拟/数字电路的仿真、强大的 PCB 板设计。

Proteus 可以进行直观的模拟/数字电路、单片机、ARM 的仿真。也可以进行简单 PCB 板的设计。

5.Matlab 功能强大，其子仿真模块 Simulink，主要能仿真电力系统、电机和自动控制等方面的模型。

6. Saber 仿真软件有丰富的元件库，应用范围广泛。它不仅可以在电子、电力电子电路，还可用于机械、光学、控制等不同类型构成的混合系统仿真。

要求：设计输出正负 12V 直流稳压电源，输入为 220V50Hz 市电，输出正电压+12v，输出负电压-12v。使用 Altium2004 SP2 进行原理图绘制和 PCB 绘制。

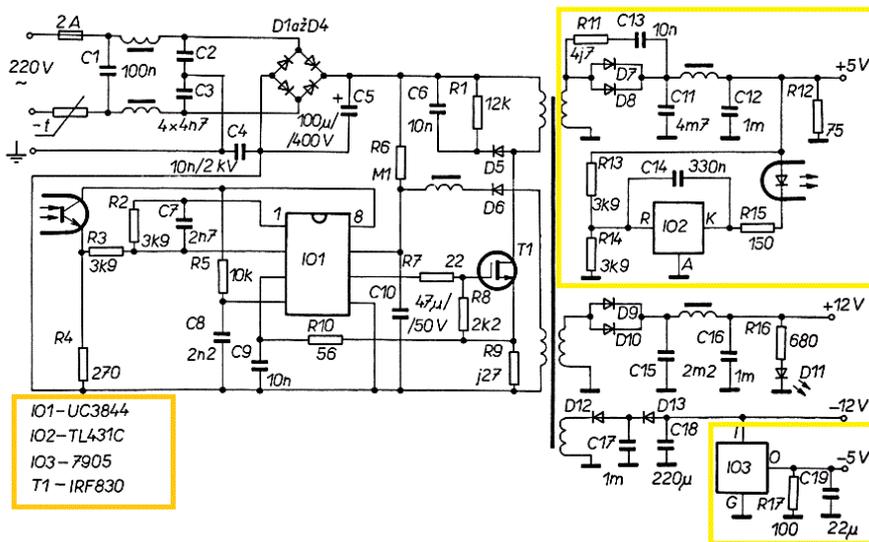
直流稳压电源有三类：

(1) 化学电源，即我们平常所用的干电池、铅酸蓄电池、镍镉、镍氢、锂离子电池等，各有其优缺点。

(2) 低压差线性稳压器 LDO，主要由调整管、参考电压（稳压管）、取样电路和误差放大电路等组成。常用芯片有 78XX，LM317、1117 等。其功率器件调整管工作在线性区，靠调整管之间的电压降来稳定输出。

优点是稳定性高，噪声低，纹波小，可靠性高，易做成多路，输出连续可调。缺点是输入电压要高于输出电压，效率低。由于调整管静态损耗大，需要安装一个较大的散热器进行散热。由于变压器工作在工频（50Hz）上，所以体积重量较大。

(3) 开关稳压电路 DC-DC，可升压和降压，功能管只工作在饱和及截止区，即开关状态（PWM），开关电源因此而得名，但产生电磁干扰 EMI。开关电源的变压器工作在几十千赫兹到几兆赫兹，所以体积小，重量轻；缺点相对于线性电源来说噪声高、纹波大。



参考电路如下：

(1)设计思路：

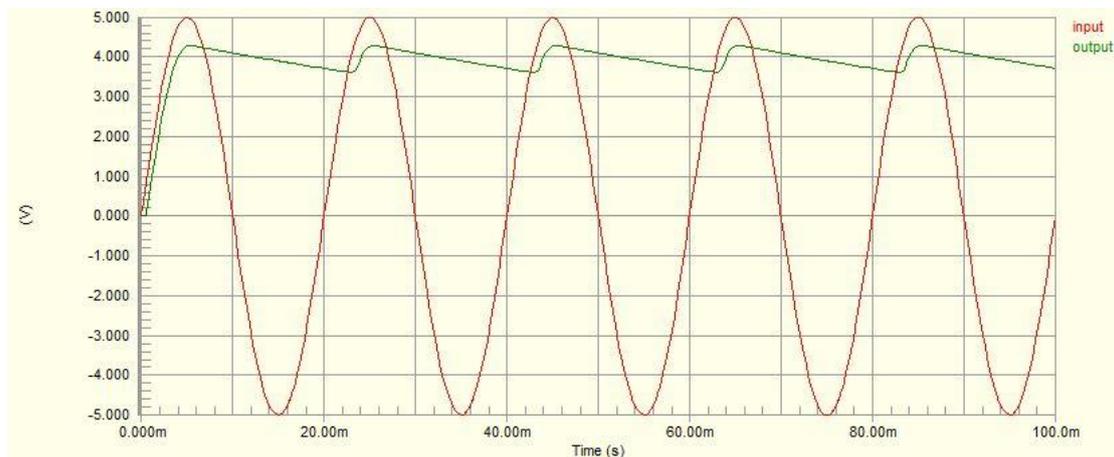
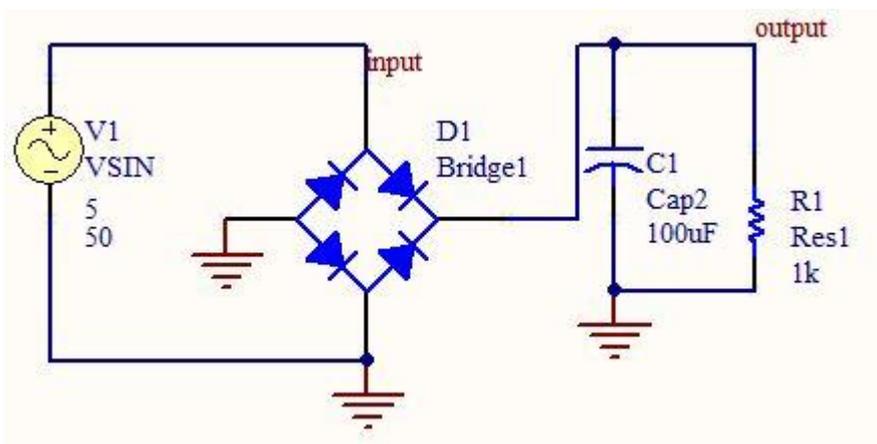
选择线性稳压电源进行设计，它是把交流电网 220V 的电压通过电源变压器降为所需要的数值，然后通过整流、滤波和稳压电路，得到稳定的直流电压。总体结构为 AC-AC-DC-DC。

220V50Hz 的交流电源经过有中间抽头的变压器后，得到副边交流电压，再经过整流电路得到直流，接入滤波电路后，输出电压平均值近似取值为副边电压的 1.2 倍，如果负载开路取 1.414 倍。再确定变压器的匝数比。

(2)整流原理仿真：

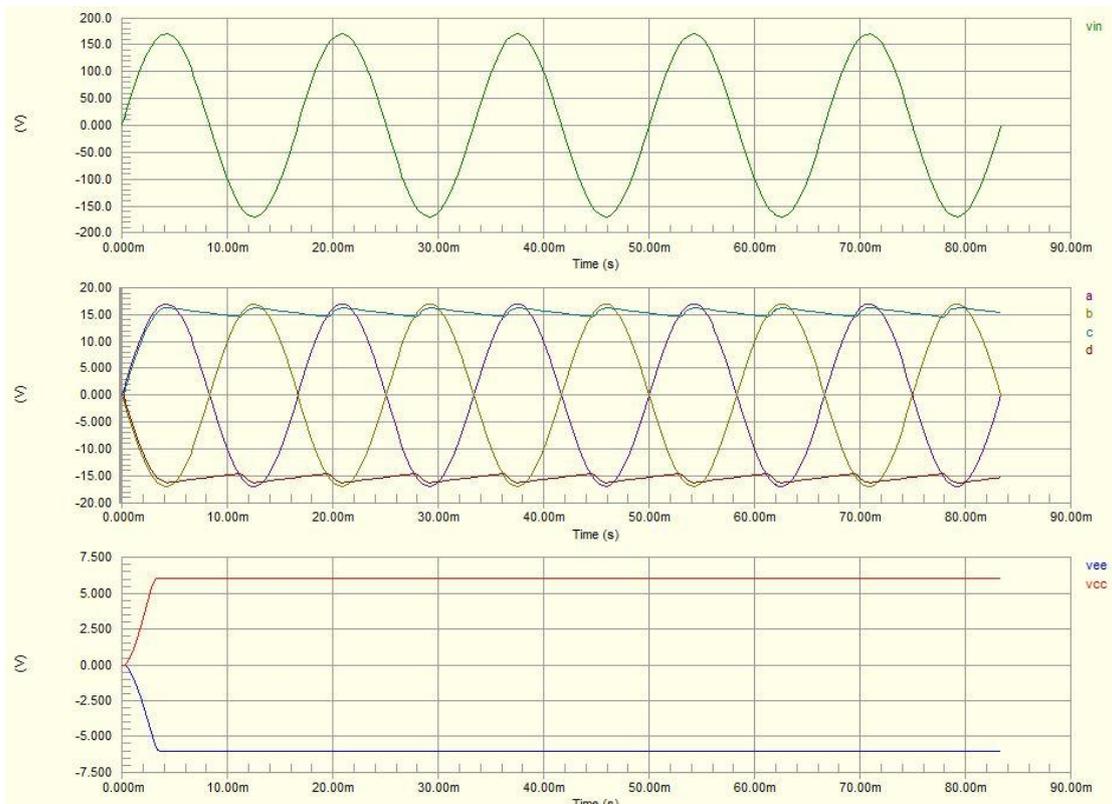
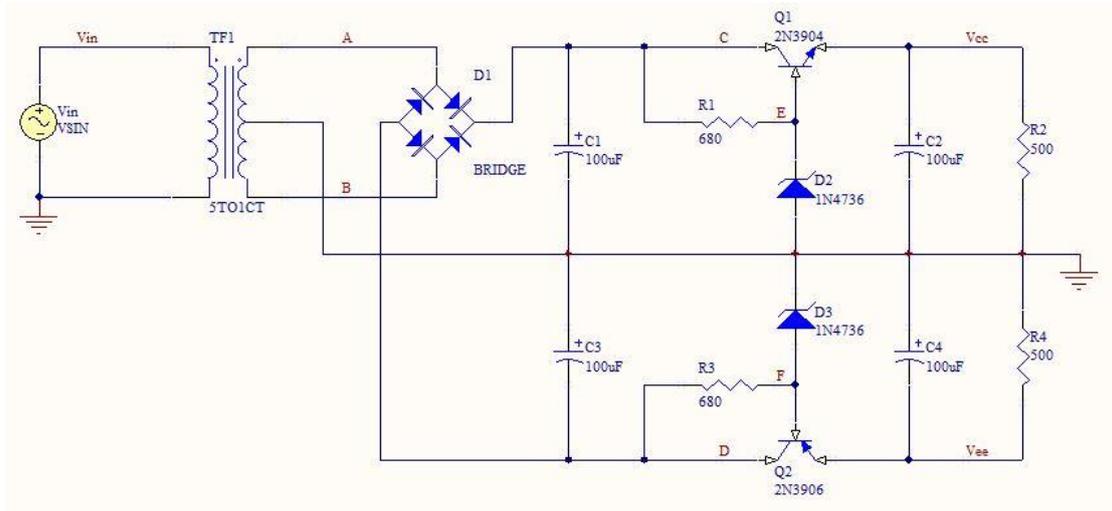
结合两个示例进行讲解。

示例 1：



示例 2：

菜单 file->open->Altium2004 SP2 文件夹 ->Examples->Circuit Simulation->Dual Polarity Power Supply->Dual Polarity Power Supply.PRJPCB



(3)绘制电路原理图:

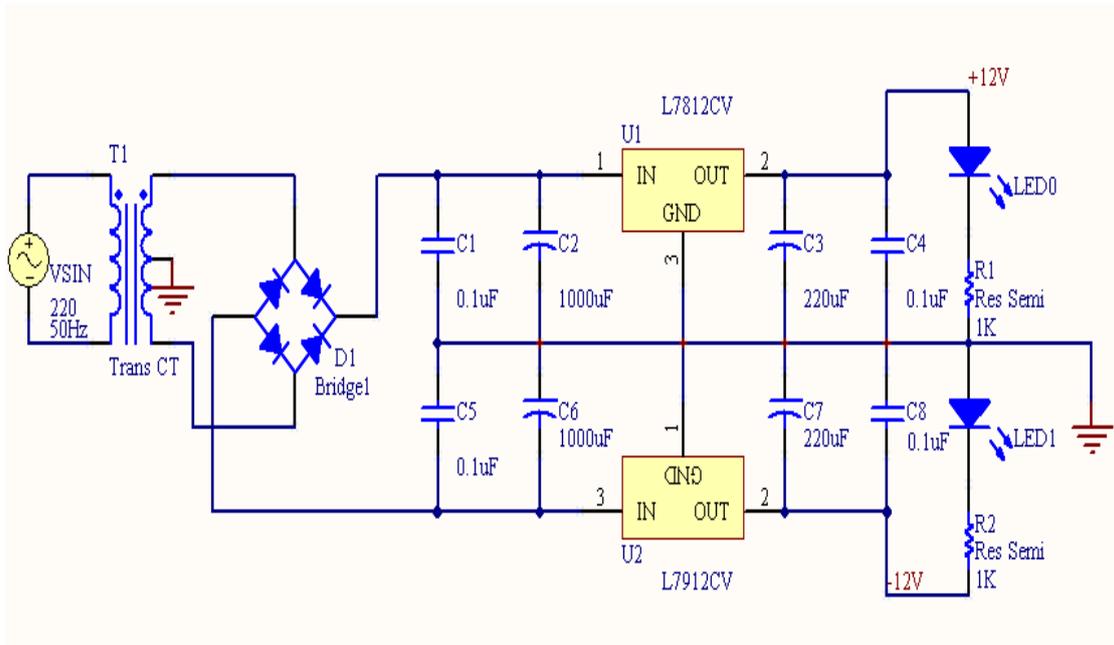


图 3-1 稳压电源电路图

* (4) 所需元器件:

电容: 四个 1000uF 电解电容, 四个 0.1uF 瓷片电容

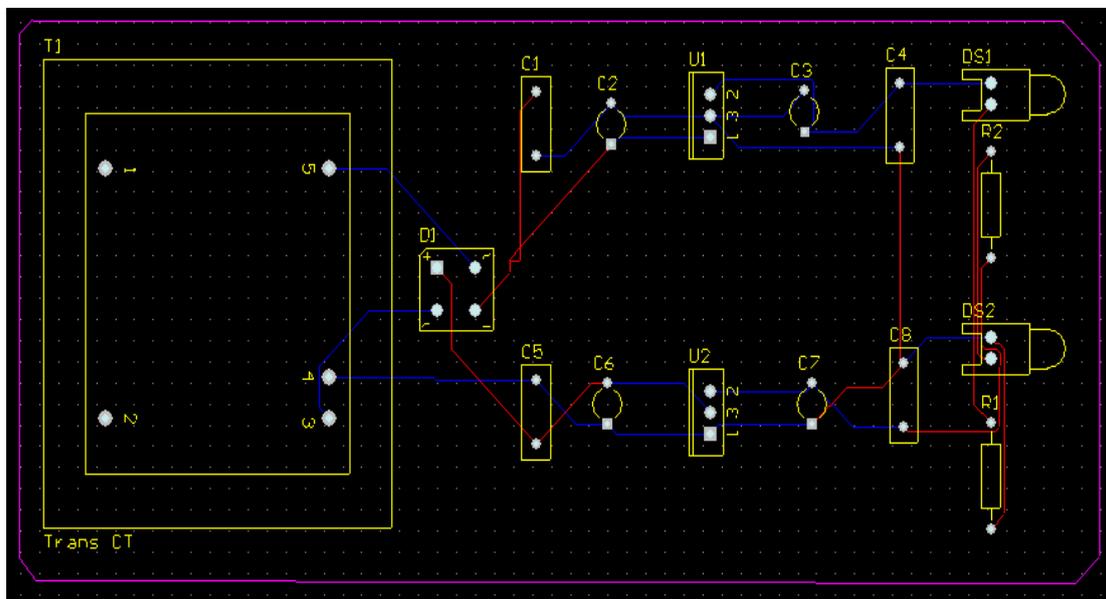
电阻: 两个 1.5K 欧姆.

整流桥: 一个整流桥电路或四个二极管.

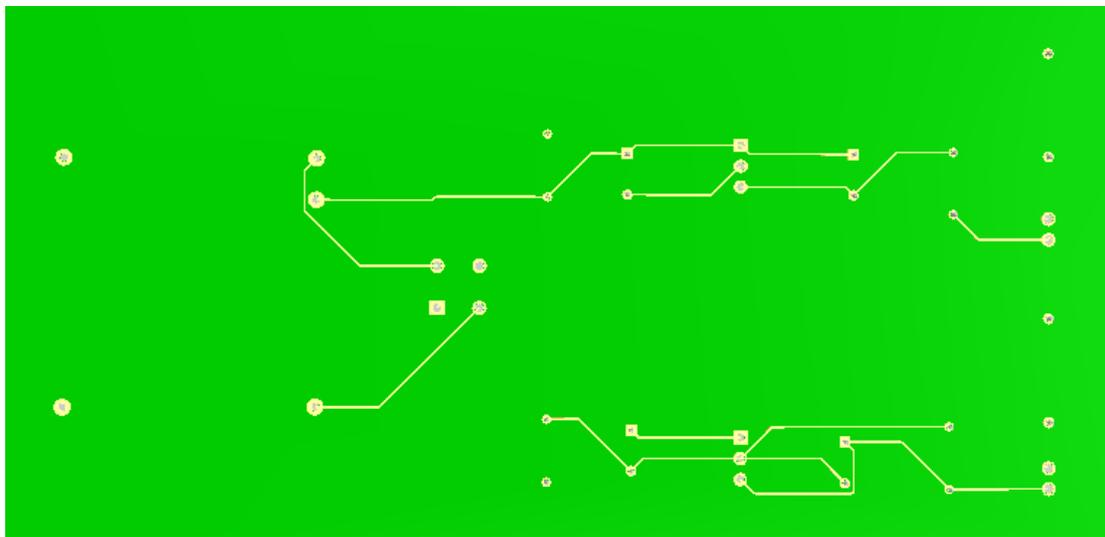
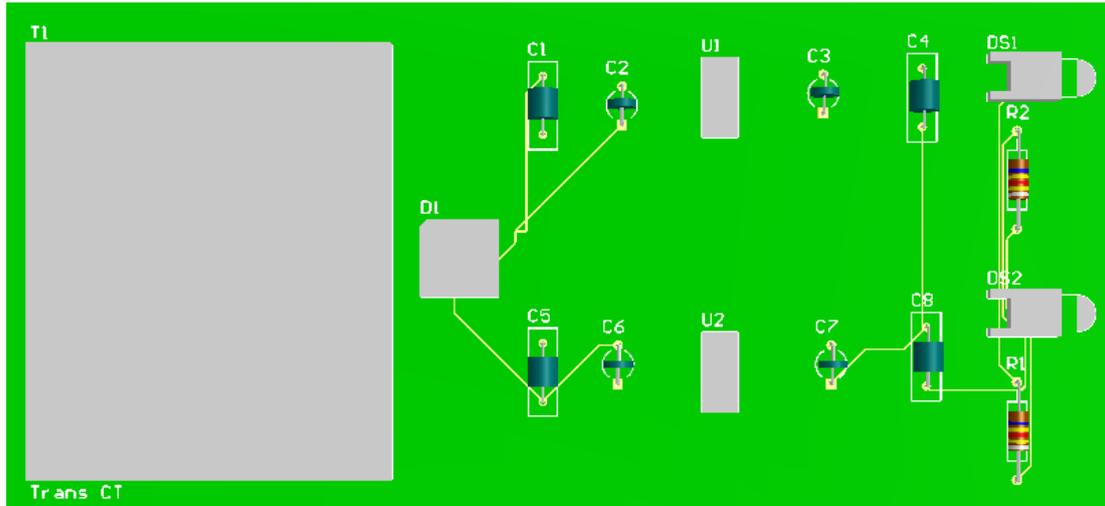
稳压器: 一个 L7812、一个 L7912.

输入输出针: 各一排.

(5) PCB 图:

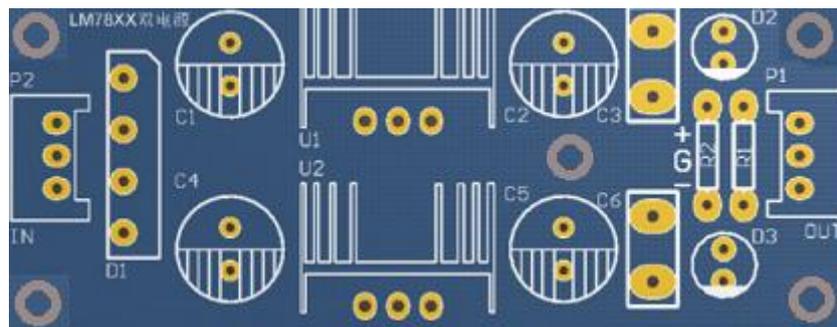
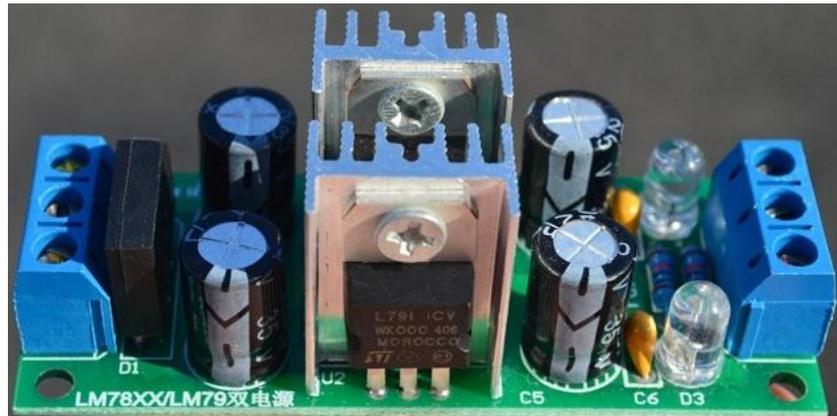


(6) 3D 图:



(7) 实际产品图





注释 1: 输出端可添加两个 LED 灯作为输出指示灯，两个 1k 电阻限流。

注释 2: 滤波电路:对整流电路输出的脉动直流进行平滑，使之成为含交变成份很小的直流电压。

电容滤波的原理:电容是一个能储存电荷的元件。有了电荷，两极板之间就有电压 $U_C=Q/C$ 。在电容量不变时，要改变两端电压就必须改变两端电荷，而电荷改变的速度，取决于充放电时间常数。时间常数越大，电荷改变得越慢，则电压变化也越慢，即交流分量越小，也就“滤除”了交流分量。

注释 3: 广泛使用的是固定输出的三端集成稳压器 78 和 79 系列。也可以采用单片集成稳压器 LM317 和 LM337，是把稳压电路的调整管、误差放大器、取样电路、启动电路、保护电路等集成在一个芯片上的专用集成电路。

四、实训内容 B（二阶低通有源滤波器）

要求：应用内容 A 所制作的稳压电源给芯片供电，设计并制作二阶低通有源滤波器电路。通过 Protel 软件仿真和外接实验室设备两种方法，分别测试其电路性能，绘制出幅频相频特性曲线。

如果在一级 RC 低通电路的输出端加上一个电压跟随器，使之与负载很好地隔离开来，就构成了一个简单的一阶有源低通滤波电路。由于电压跟随器的输入阻抗很高、输出阻抗很低，因此，其带负载能力很强。如果希望电路不仅有滤波功能，而且能起放大作用，则只要将电路中的电压跟随器改为同相比例放大电路即可。

但从幅频响应来看，一阶滤波器的滤波效果还不够好，它的衰减率只是 20 dB/十倍频程。若要求响应曲线以 -40 或 -60dB/十倍频程的斜率变化，则需采用二阶、三阶或更高阶次的滤波电路。实际上，高于二阶的滤波电路都可以由一阶和二阶有源滤波电路构成。所以，下面重点研究二阶有源滤波电路的组成和特性。

如果将二阶压控电压源低通滤波电路中的 R 和 C 的位置互换，就可得到二阶压控电压源高通滤波电路。且二者在电路结构、传递函数和幅频响应上存在对偶关系。如果将低通与高通滤波电路串联就可以构成带通滤波电路，条件是低通的截止角频率大于高通的截止角频率。如果将低通与高通滤波电路并联再加上求和电路就可以构成带阻滤波电路，条件是低通的截止角频率小于高通的截止角频率。

(1) 设计思路：

$$A(s) = \frac{A_u \omega_c^2}{s^2 + \frac{\omega_c}{Q} s + \omega_c^2} ;$$

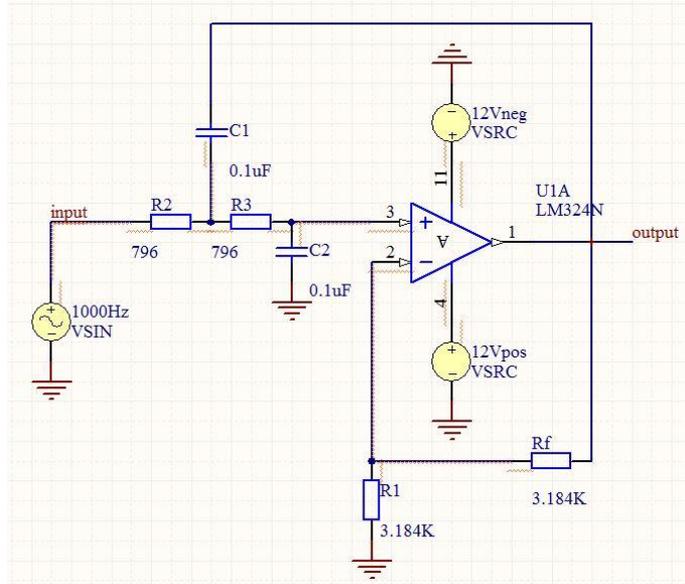
二阶低通滤波器的传输函数：

$$\text{电压增益： } A_u = A_{uF} = 1 + R_f / R_1$$

$$\text{截止角频率 } \omega_c = 1/RC = 2\pi f_c$$

品质因数 $Q = 1/(3 - A_{uF})$ ；它的大小影响低通滤波器在截止频率处幅频特性的形状，通常取 0.707，也可以根据增益的需要而设定，但 $A_u = A_{uF} < 3$ 才能稳定工作。

(2) 电路原理图：



给定截止频率 f_c (ω_c) 之后，从选电容器入手，因为电容标称值的分档较少，电容难配，而电阻易配，可根据工作频率范围按照表 1.1 初选电容值。通常 C 的容量宜在微法数量级以下，R 的值一般约为几百 K 欧以内。

表 1.1 滤波器工作频率与滤波电容取值的对应关系

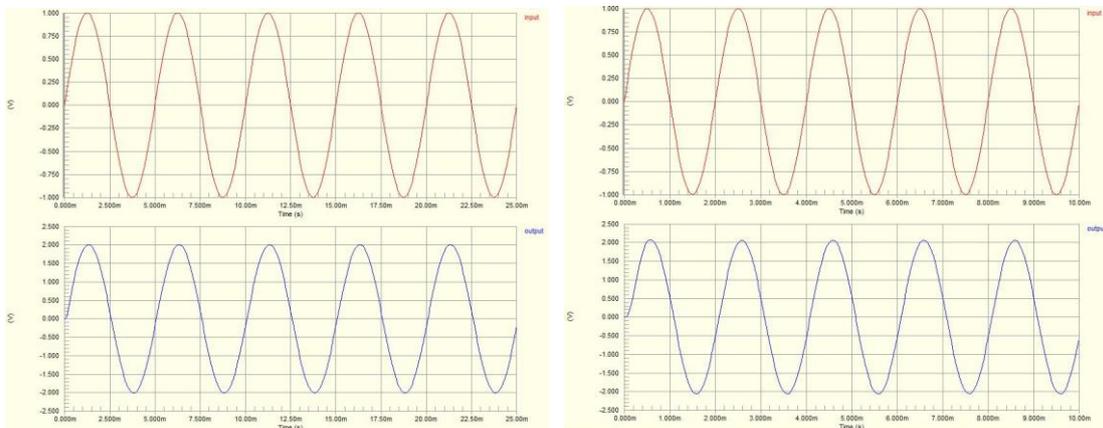
f	(1~10)Hz	(10~10 ²) Hz	(10 ² ~10 ³) Hz	(1~10) KHz	(10~10 ³) KHz	(10 ² ~10 ³) KHz
C	(20~10)F	(10~0.1) uF	(0.1~0.01) uF	(10 ⁴ ~10 ³) pF	(10 ³ ~10 ²) pF	(10 ² ~10) pF

例如：Q 取 1，即增益为 2. 截止频率 2000HZ.

设定 $R_2=R_3=R$, $C_1=C_2=C$; 根据截止频率，初步确定电容值 $C_1=C_2=C=0.1\mu\text{F}$ ，由 $\omega_c = 1/RC = 2\pi f_c$, $R_2=R_3=0.796\text{K}$ ，又根据 $Q=1$ ，得出 $R_f/R_1=1$ ，再根据运放两输入端的外接电阻必须满足平衡条件 ($R_f//R_1=R_2+R_3$)，得出 $R_f=R_1=4*R=3.184\text{K}$ 。

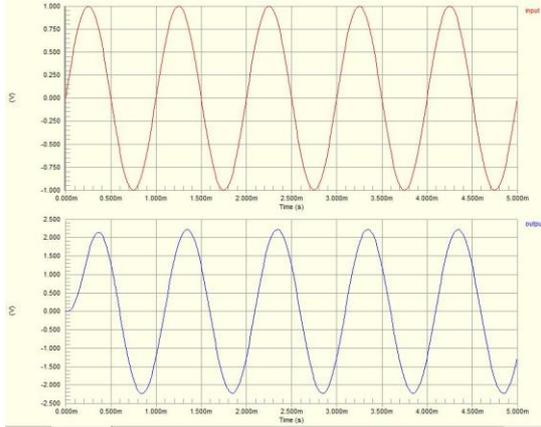
(3) 仿真：

Q 取 1，截止频率 $f_c=2000\text{Hz}$ ，输入信号 f 取 N 组数据，根据测得的输入和输出信号曲线，绘制出此电路的幅频曲线和相频曲线（Bode 伯德图）。

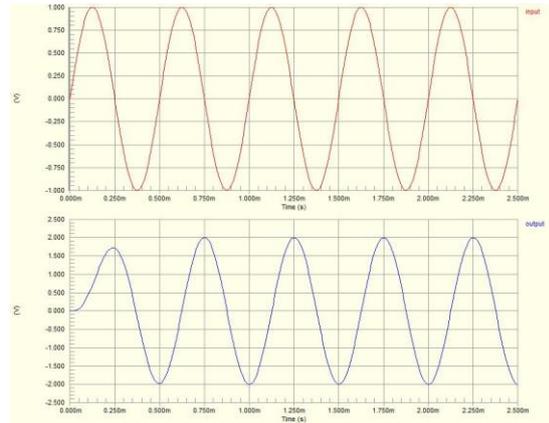


截止频率 $f_c=2000\text{Hz}$ 信号 $f=200\text{Hz}$

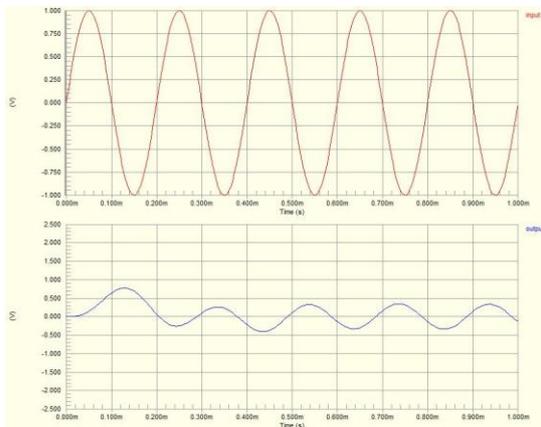
$f=500\text{Hz}$



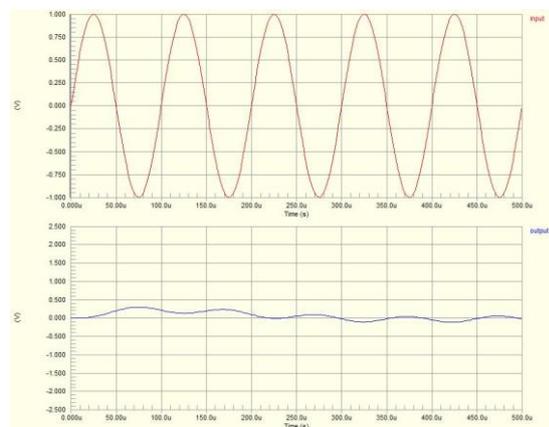
f=1000Hz



f=2000Hz



f=5000Hz



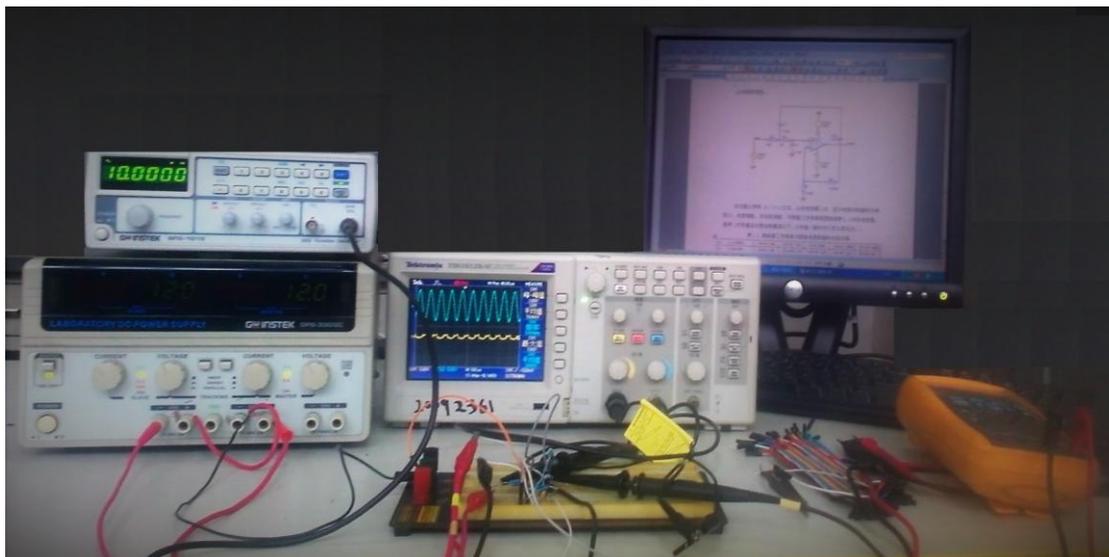
f=10000Hz

(4)焊接电路板

所需元器件:

1. 万能板（洞洞板）
2. 一个 LM324 芯片和 14 针 DIP 芯片底座
3. 电容：两个 0.1uF（104 电容）
4. 滑动变阻器：两个 5K，两个 1k
5. 金属膜定值电阻：500 欧，1k 欧（短路保护）
6. 输入输出排针：40pin 一排
7. 杜邦线：两端一针一孔，5 根。

学生工作台示例如下图：



注释 1:



LM324 是四运放集成电路,它采用 14 脚双列直插塑料封装,外形如左图所示。它的内部包含四组形式完全相同的运算放大器,除电源共用外,四组运放相互独立。

由于 LM324 四运放电路具有电源电压范围宽,静态功耗小,可单电源使用,价格低廉等优点,因此被广泛应用在各种电路中。

注释 2: 输出电压相位 $0\sim 180^\circ$, 即滞后。截止频率时相位为 -90° 。

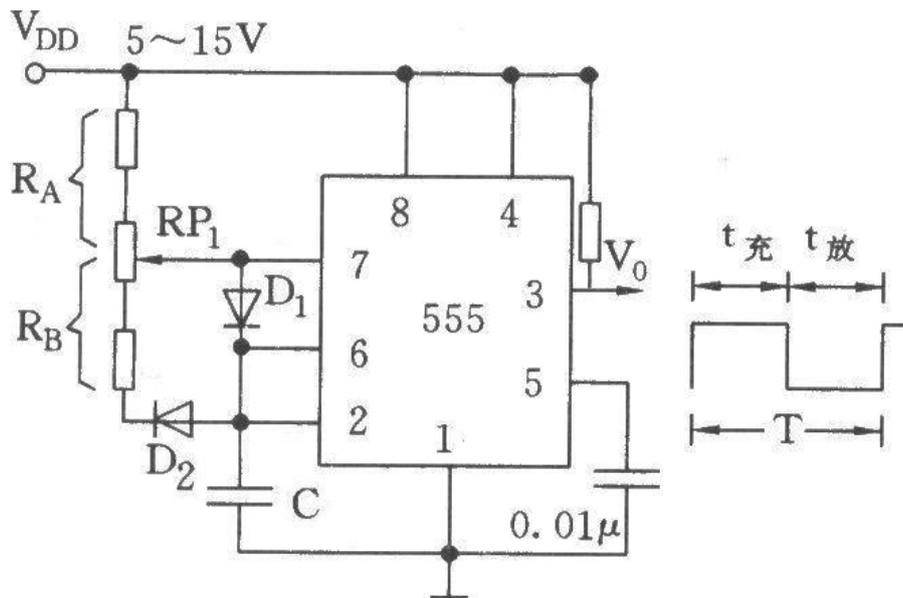
(5) 调试电路板

截取示波器上的不同输入频率下的图形,并记录所测数据,绘制出幅频曲线和相频曲线 (Bode 伯德图),与仿真过程比较其异同点。

五、实训内容 C（自选电路）

内容 A 和 B 是基础内容，实训内容 C 根据学生的学习程度，增加了几个自选电路，学生可根据兴趣选择以下电路，自行搜索资料并进行设计制作：

1. 占空比可调的方波发生器。



由于电路中二极管 D_1 、 D_2 的单向导电性，使电容 C 的充放电回路分开，调节电位器，就可以调节多谐振荡器的占空比。图中 V_{cc} 通过 R_A 、 D_1 向电容 C 充电，充电时间为

$$t_{ph} \approx 0.7R_A C$$

电容器 C 通过 D_2 、 R_B 及 555 中三极管 T 放电，放电时间为

$$t_{pl} \approx 0.7R_B C$$

因而振荡频率为

$$f = 1 / (t_{ph} + t_{pl}) \approx 1.43 / (R_A + R_B) C$$

电路输出波形的占空比为

$$q(\%) = R_A / (R_A + R_B) \times 100\%$$

设计步骤举例：

令 $C = 0.1\mu\text{f}$ ， $f = 1000\text{Hz}$

由公式 $f = 1 / (t_{ph} + t_{pl}) \approx 1.43 / (R_A + R_B) C$

可知 $R_A + R_B = 14.3\text{K}$

再令固定电阻 $R_1 = R_3 = 2\text{K}$ ，滑动电阻 $R_2 = 10\text{K}$

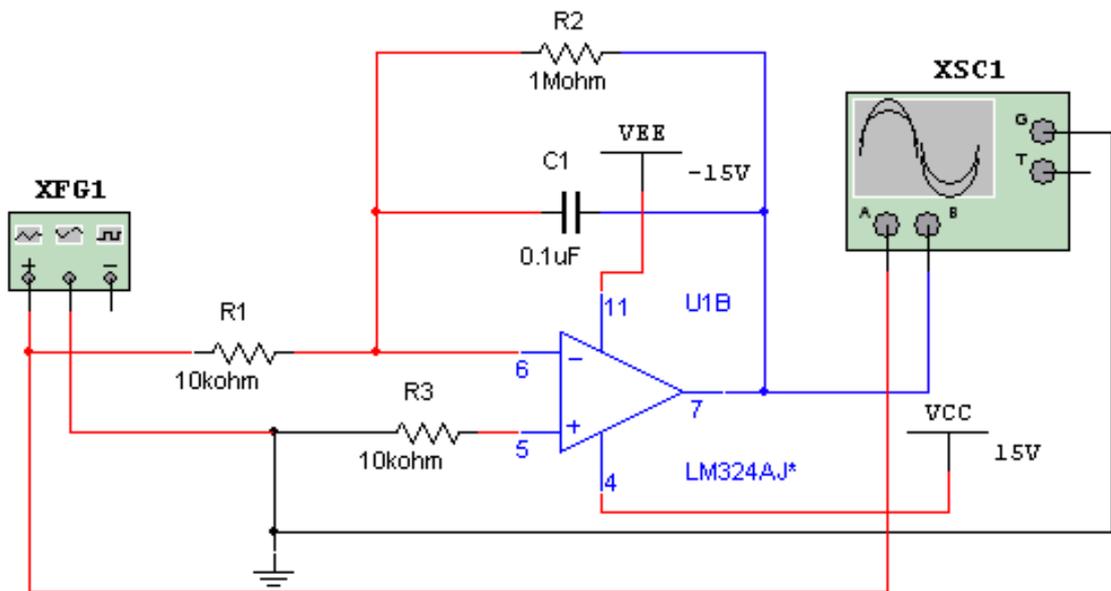
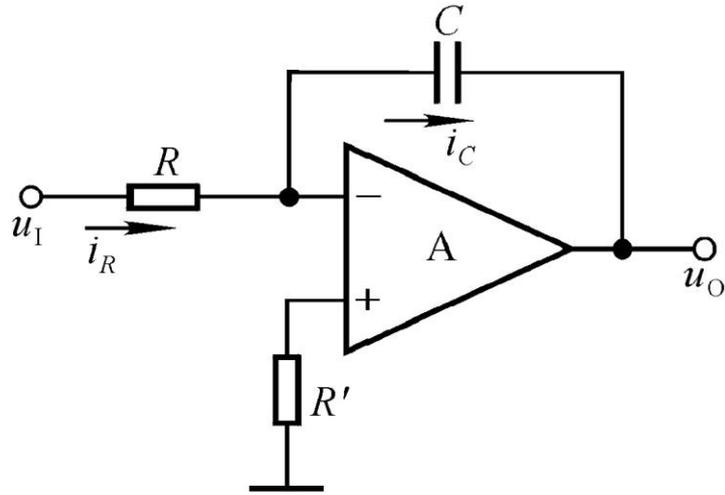
最小占空比 $q(\%) = R_A / (R_A + R_B) \times 100\% \approx 14.3\%$

最大占空比 $q(\%) = R_A / (R_A + R_B) \times 100\% \approx 85.7\%$

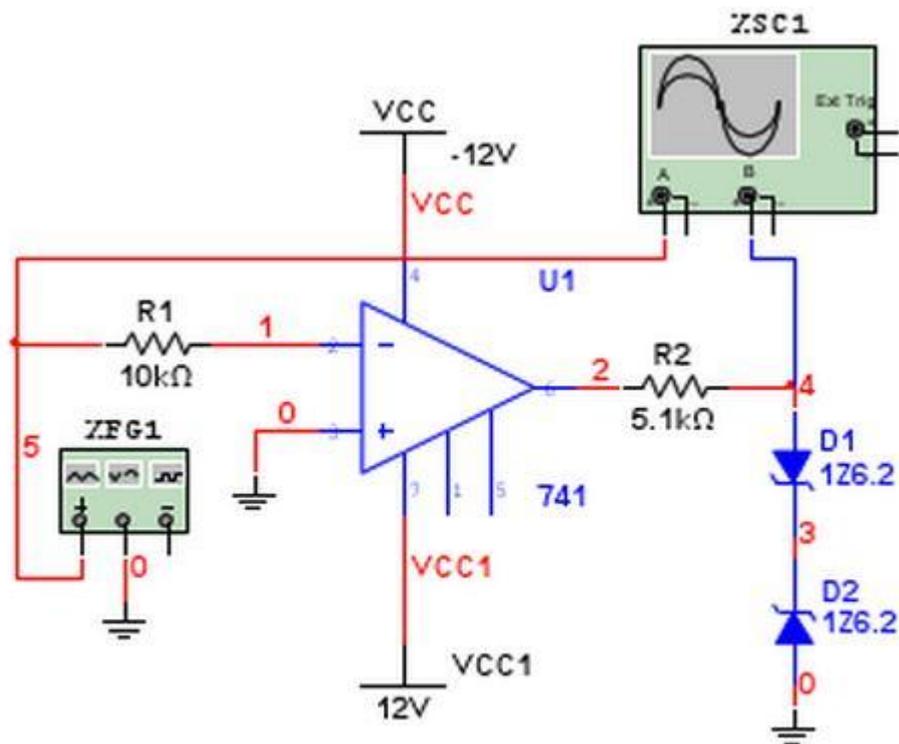
可调范围为 $14.3\% \sim 85.7\%$

2. 积分电路

- (1) 输入为方波时的输出电压波形？
- (2) 输入为正弦波时的输出电压波形？



3. 过零比较器



1Z6.2 为齐纳二极管，也称稳压管，利用了二极管的反向击穿后会保持一定的稳定电压特性，不能超过最大反向电流否则会损坏。参数：平均功耗 1W，齐纳电压 6.2V。

4.其他可选电路（暂不开放）：

- (1) bluetooth, 手机（安卓系统）与 Arduino 蓝牙串口通讯实验
- (2) distance, 红外测距实验（对比超声波测距和可闻声波测量）
- (3) temperature, LM35 温度测量实验（对比热敏电阻测温）
- (4) light, 使用光敏电阻控制 LED 开关
- (5) sound, 模拟声控路灯实验

六、作品测试

实训内容完成之后，学生进行自测，然后要求老师进行系统测试，老师对学生已完成的电路进行验收，占比总成绩 40%，包括口试和技能操作。

《电子实习 A》的设计与测试报告，采用标准化格式，参看附件 1：包括封面、目录、实习目的、设备、耗材(元器件等)、电路图及分析、仿真图及分析、PCB 图、作品测试记录等。报告占比总成绩 60%。

附件 1: 《电子实习 A》设计与测试报告封面及格式:

上海理工大学光电信息与计算机工程学院

《*****》实验报告



专 业 _____
学生姓名 _____
学 号 _____
年 级 _____
指导教师 _____
成 绩:
教师签字:

一、实习目的

1....

二、实验设备

1.列出本次实习中使用的设备，总结其关键参数和操作要点，并写出注意事项。

2.列出本次实习中使用的工具及耗材，并说明其作用。

三、实验原理

1.罗列所需知识点。

四、实验过程记录

1.计算和元器件选型过程。

2.电路图（电源和二阶滤波电路的原理图 SCH 和制版图 PCB）。

3.电路仿真图（二阶滤波电路）。

五、结果及分析

1.焊接结构合理、外形美观、焊点圆润（图片）。

2.使用示波器、可调电源、信号发生器等设备对所焊电路进行测试，记录各设备的数据和测量图形。

3.对所焊电路和测试结果进行分析和总结。

六、自评

附件 2: Altium Designer 软件操作简介

1. 切换中文版和自动备份功能:

DXP->preferences->general 右下角选中 use localized resources, 点击 apply, 软件重启之后, 变为中文版。

DXP->preferences->backup 右侧选中 auto save。

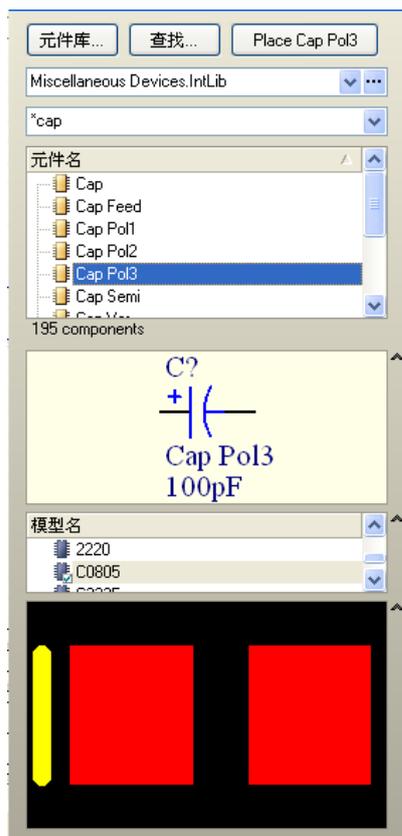
2. 创建项目: 文件(File)->创建(New)->PCB 项目(PCB Project)

创建原理图: 文件(File)->创建(New)->原理图(Schematic)

创建 PCB 文件: 文件(File)->创建(New)->PCB 文件(PCB files)

或 files 导航栏里的 new from template, 使用 PCB board wizard,
->英制 mil->custom 定制板型(自定义大小)->板子层数->通孔
->主要器件为直插->线宽线间距等等->finish

3.原理图, 右侧 libraries, 有两个常用元件库 Miscellaneous Devices.IntLib (常用元件) Miscellaneous Connectors.IntLib (常用接插件)。还有 Infineon、Motorola、ST、TI 等公司产品库, 例如 ST Power Mgt Voltage Regulator.IntLib 中有 L78 系列的三端稳压器, ST Operational Amplifier.IntLib 中有 lm 系列运算放大器。



实用工具栏;

用于放置说明性图形和文字 (line 绝缘线, 区分 wire 导线)



走线工具栏;

(其中 place wire 导线或者使用 net 网络标号放置到引脚末端进行电气连接, 交叉点实现电气连接: place->manual junction)

四种电源符号形式:

圆形 circle、箭头 arrow、条形 Bar 和波形 wave。

三种地符号:

信号地 (signal ground 三角)、电源地 (power ground 条纹) 和大地(earth 三叉)

4.快捷键:

原理图:

放大与缩小: Ctrl+鼠标滑轮

复制: Ctrl+C,

粘贴: Ctrl+V,

更改走线方式: Shift+ space,

元器件旋转: 拖动+space,

上下翻转:拖动+Y,

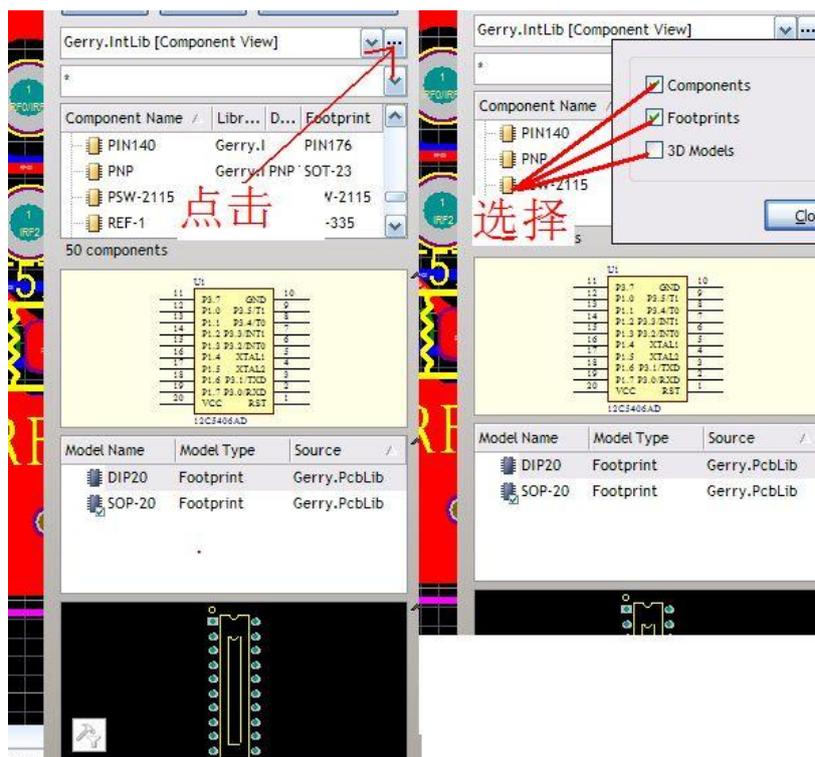
左右翻转: 拖动+X,

显示属性: 拖动+Tab,

批量修改: 右键->find similar object.

恢复初始布局: view->desktop layouts->default.

修改图纸大小等: design->document options



PCB:

复制: Ctrl+Ins+click,

粘贴: Shift+Ins,

测量: Ctrl+M

旋转: 双击进入属性, 改变 rotation

取消网格可视: view->grids->toggle visible grid kind

5.原理图的电气规则检查（ERC）

Project->compile PCB project 或者通过 view->workspace panels->system->messages 查看是否出错。

Tools->annotate...可以自动编号。之前需要先保存 save 文件。

6.PCB 两层板

Top layer 放置原件层

Bottom layer 焊接层

Top overlayer 丝印层（放置文字等标注 string）

Keep-out layer 禁止布线层（此层优先机械裁切，Mechanical 1-16 layer 次之）

Multi layer 复合层（一般显示焊盘和过孔 via）

7. 显示标题栏内容：

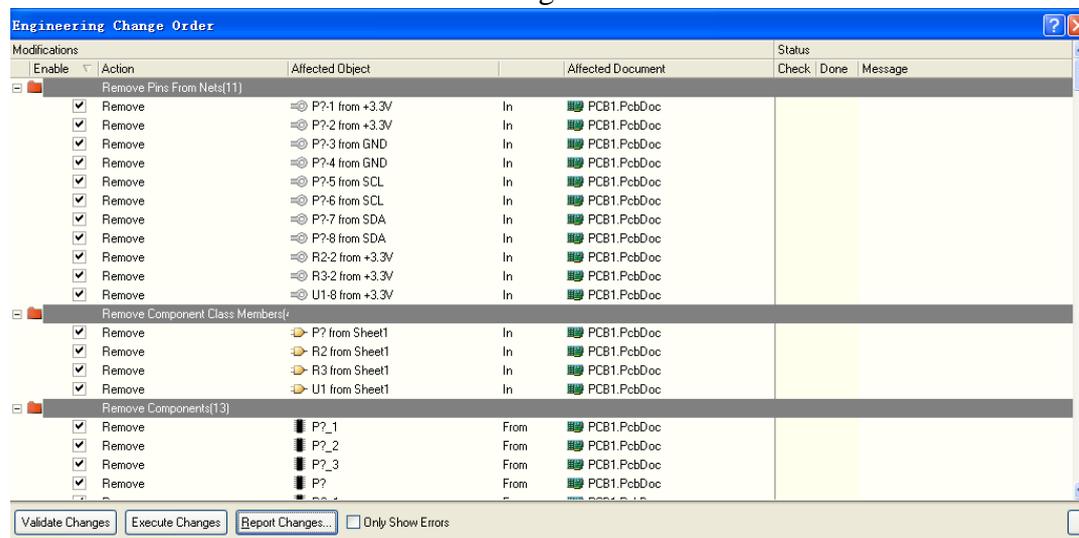
（1）首先，执行 Design-Document Option，打开文档属性对话框，设置其中 title 等参数。

（2）其次，执行 Place-Text String，按 TAB 键，将 Text 属性中设置为 "=title"，并将 Text String 放在标题栏的 title 的右侧。其他同设置，当输入 "=" 后，会自动提示。

（3）第三，执行 Tool-Schematic Preference，切换到 Graphic Editing，选中其中的 Convert Special Strings。单击 OK 后，你会发现见面的标题栏中的内容都显示出来了，如果没有设置的参数以 * 号表示出来。

8. 导出 PCB：

把原理图和 PCB 图建立在一个 PCB 项目中，原理图中单击 Design-> Update PCB Document *.PcbDoc->Execute Changes



9. 自动布局和布线：

Tools->component placement->auto placer 自动布局

Design->rules 制定规则，Auto Route->All 自动布线。

View->board in 3D 观测效果

（1）线间距 8~14mil

（2）普通信号线宽 8~14mil,

12V 以下电源正极线宽 30~40mil,

5V 以下电源地线 40~50mil,

220V 交流电 60~70mil

(3) 元器件空间距离 8~12mil。

(4) 一般 PCB 板的铜箔厚度为 35um (1 盎司 OZ)，线条宽度为 1mm (40mil) 时，那么线条的横切面的面积为 0.035 平方毫米，通常取电流密度 30A/平方毫米，所以，每毫米线宽可以流过 1A 电流。其中 1000mil=25.4mm=1 英寸 (inch)。

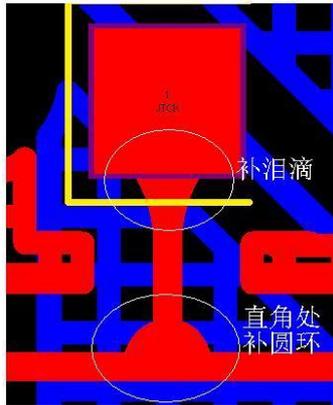
10. 敷铜：

多边形敷铜：place->polygon pour->修改参数，画多边形。

(1) 顶层满敷铜 (solid)，加强 PCB 机械强度，避免 PCB 发生弯曲变形。

(2) 底层网状敷铜 (hatched)，当在进行原件焊接时能够有效的排除因 PCB 受热而产生的挥发性气体导致 PCB 铜皮起泡而脱离 PCB 板基。

11. 泪滴：



(1) 补泪滴 Tools-->Teardrops，打开【Teardrop Options】对话框进行设置

(2) 补圆环：在连线工具里点击画圆弧的工具，在直角的两边分别放置一个圆弧，俩圆弧正好对起来，形成一个半圆。

12. 非集成库的制作 (特殊元件)：

(1) File->new->library->SCH lib->save，

(2) 第一个画好->save，

(3) tools->new component->第二个画好->save，

(4) 如果一个元器件包含多个部分，tools->new part。例如 lm324 四运放芯片。

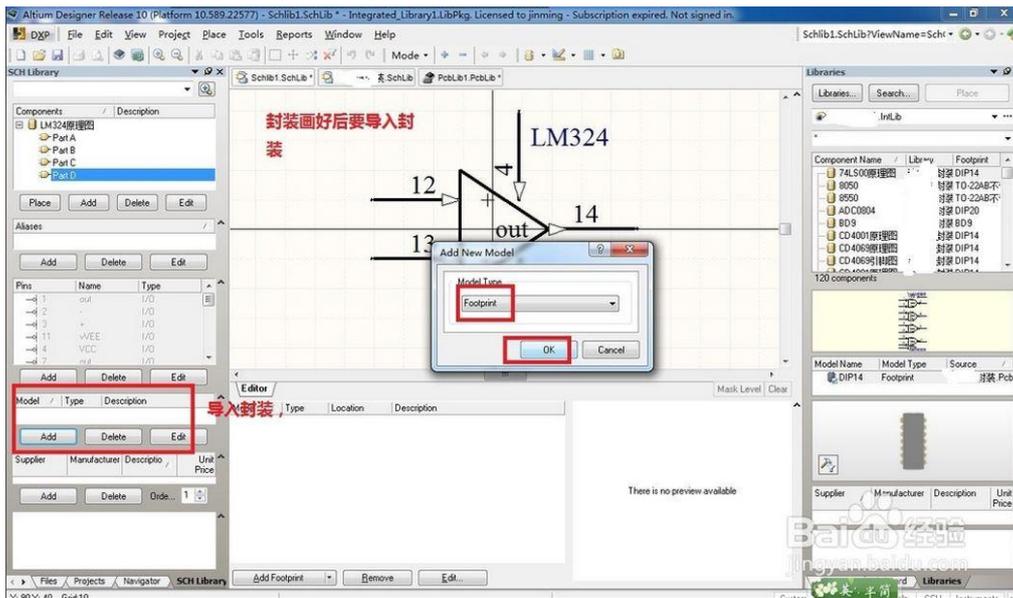
(5) 打开新建元件库列表 SCH->SCH library，直接拖拉应用新建元器件即可。

* (6) 直接打开常用的集成原理图库，导航栏切换进库，修改元件，place 到原理图。

(7) File->new->library->PCB lib->save。

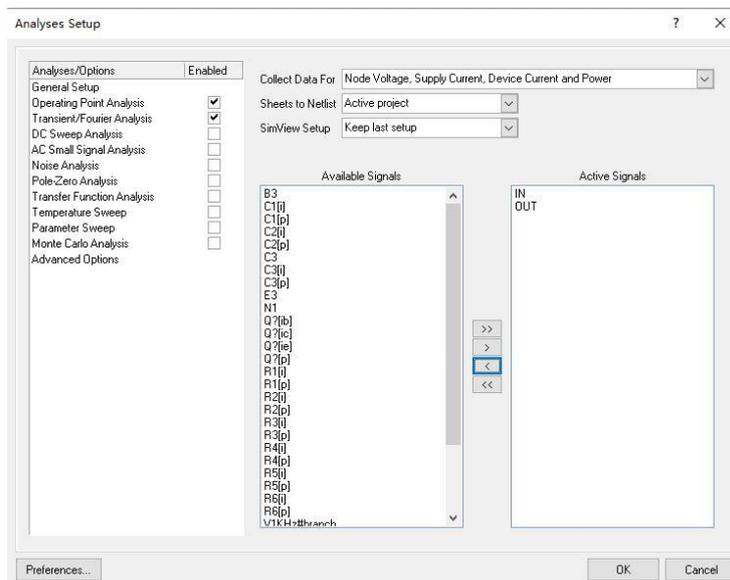
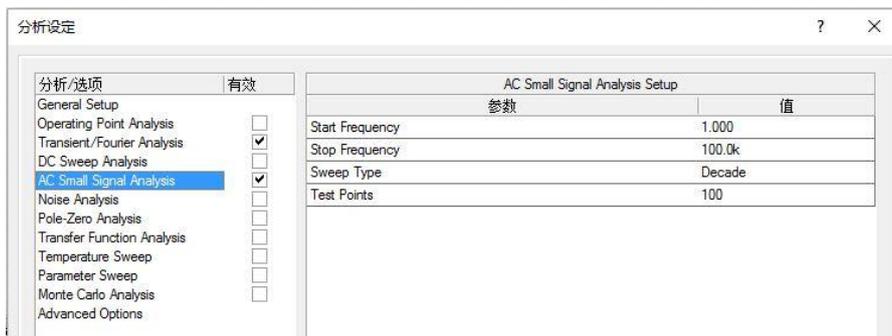
手绘封装，也可 tools->new component 进入封装向导。

(8) 画好后导入封装，如图

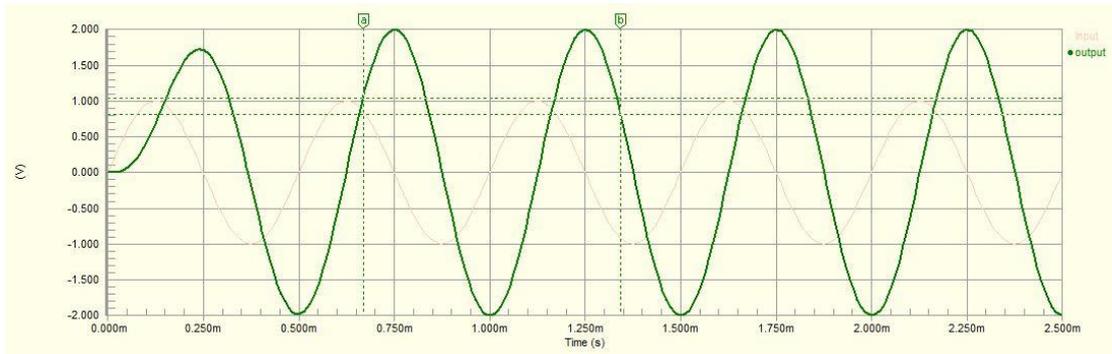


13. 仿真:

- (1) 安装 Simulation Sources.IntLib 仿真库, 在原理图中添加带仿真属性的激励源。
- (2) 执行菜单命令 view->toolbars->mixed sim, 显示仿真工具栏。
- (3) 点击 set up 后出现设置界面, 左侧选择 AC small signal analysis 可以显示波特图, 右侧添加需要观测的 net label。如下图。



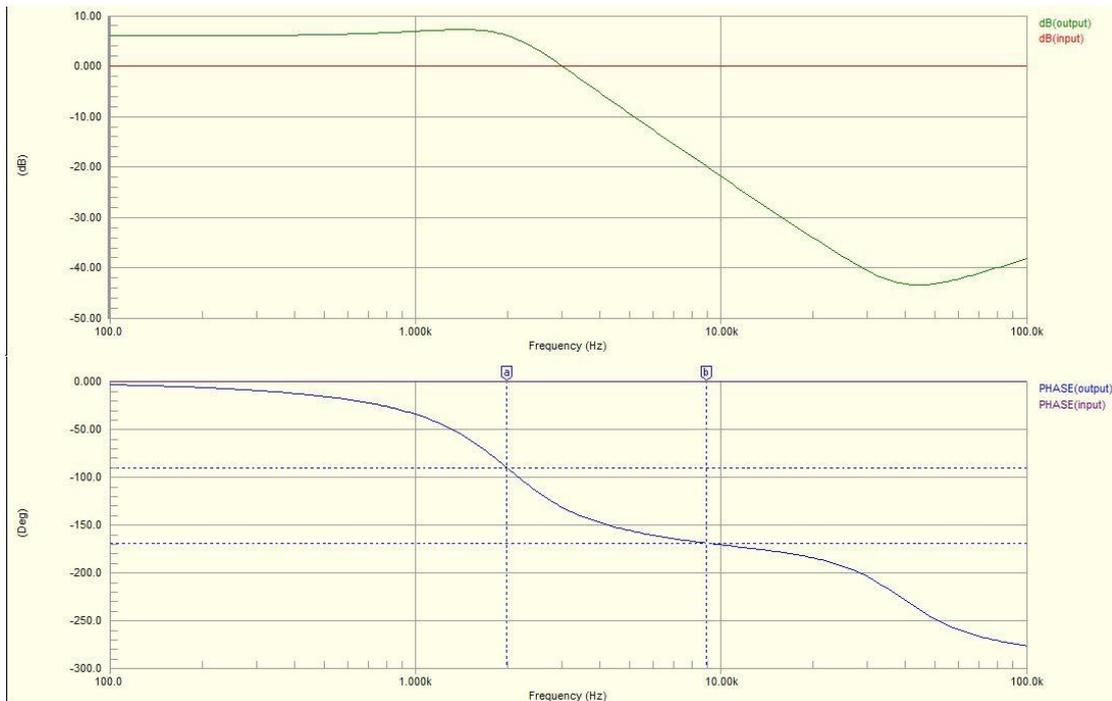
然后 run，如下图。



右键点击所测波形标签，可用光标测量数据。DXP 界面右下角点击 sim data 可读取光标所测数据。

测量光标			
	波形名	X	Y
A	output	668.46u	1.0412
B	output	1.3187m	1.3188

波特图的幅频特性和相频特性如下图所示：



其中横轴的设置选择对数 10 倍频观察。



附件 3: 常用电阻电容电感标准值

工业标准中电阻的阻值, 以下为常用的 E-24 系列, 精度为±5%。

1.0	5.6	33	160	820	3.9K	20K	100K	510K	2.7M
1.1	6.2	36	180	910	4.3K	22K	110K	560K	3M
1.2	6.8	39	200	1K	4.7K	24K	120K	620K	3.3M
1.3	7.5	43	220	1.1K	5.1K	27K	130K	680K	3.6M
1.5	8.2	47	240	1.2K	5.6K	30K	150K	750K	3.9M
1.6	9.1	51	270	1.3K	6.2K	33K	160K	820K	4.3M
1.8	10	56	300	1.5K	6.6K	36K	180K	910K	4.7M
2.0	11	62	330	1.6K	7.5K	39K	200K	1M	5.1M
2.2	12	68	360	1.8K	8.2K	43K	220K	1.1M	5.6M
2.4	13	75	390	2K	9.1K	47K	240K	1.2M	6.2M
2.7	15	82	430	2.2K	10K	51K	270K	1.3M	6.8M
3.0	16	91	470	2.4K	11K	56K	300K	1.5M	7.5M
3.3	18	100	510	2.7K	12K	62K	330K	1.6M	8.2M
3.6	20	110	560	3K	13K	68K	360K	1.8M	9.1M
3.9	22	120	620	3.2K	15K	75K	390K	2M	10M
4.3	24	130	680	3.3K	16K	82K	430K	2.2M	15M
4.7	27	150	750	3.6K	18K	91K	470K	2.4M	22M
5.1	30								

常用电容值

【单位 pF】

39 P 43 P 47 P 51 P 56 P 62 P 68 P 75 P 82 P 91 P 100 P 120 P 150 P
180 P 200 P 220 P 240 P 270 P 300 P 330 P 360 P 390 P
470 P 560 P 620 P 680 P 750 P

【单位 nF】 1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 10 15 18 22 27 33 39 56 68 82

【单位 uF】 0.1 0.15 0.22 0.33 0.47 1.0 (1.5) 2.2

电感没有一个具体的行业数据规范, 大部分厂家在借用 E-12 (允许偏差±10%) 和 E-24 (允许偏差±5%) 数组生产。

E-12 数组: 1.0 1.2 1.5 2.2 2.7 3.3 4.7 5.6 6.8 8.2

E-24 数组: 1.0 1.1 1.2 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.7 3.0 3.3 3.6 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2
6.8 7.5 8.2 9.1

附件 4: ST lm324's datasheet



**LM124
LM224 - LM324**

LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE GAIN BANDWIDTH : 1.3MHz
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375µA
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 5mV max.
(for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A which feature 3mV max.)
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE :
SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V
DUAL SUPPLIES : ±1.5V TO ±15V

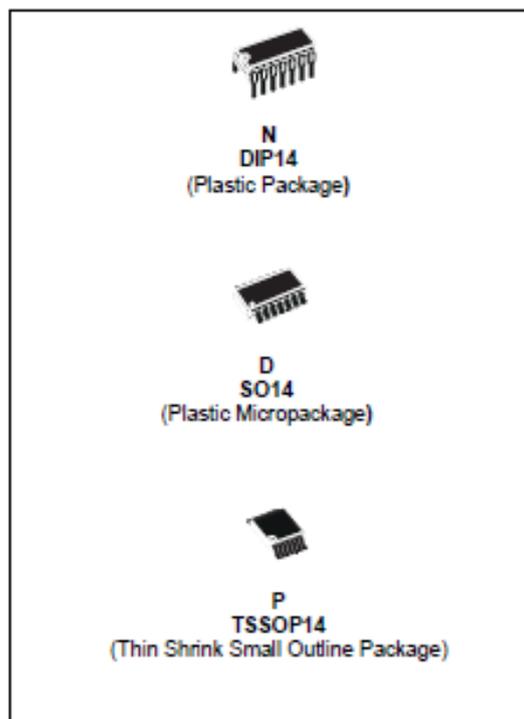
DESCRIPTION

These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers. They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

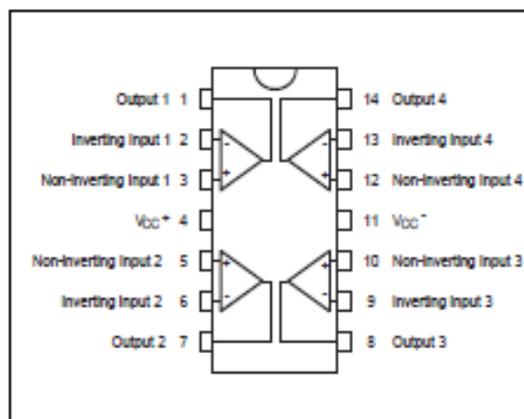
ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM124	-55°C, +125°C	•	•	•
LM224	-40°C, +105°C	•	•	•
LM324	0°C, +70°C	•	•	•
Example : LM224N				

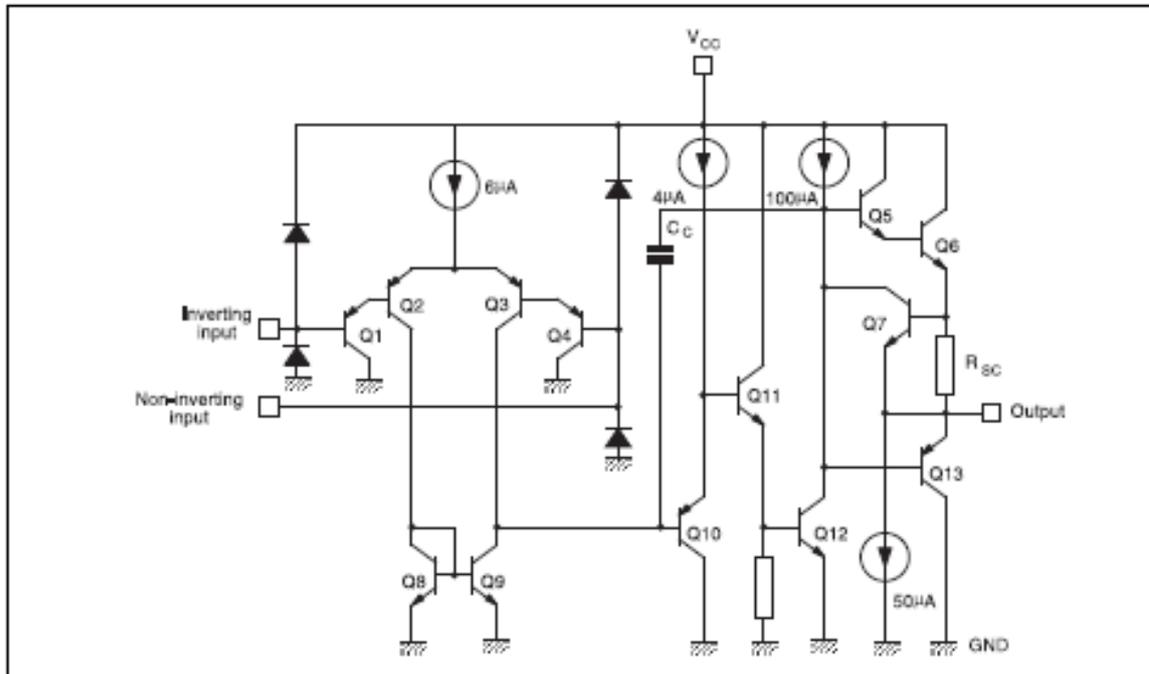
N = Dual In Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)



PIN CONNECTIONS (top view)



SCHEMATIC DIAGRAM (1/4 LM124)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LM124	LM224	LM324	Unit
V_{CC}	Supply voltage	±16 or 32			V
V_I	Input Voltage	-0.3 to +32			V
V_{Id}	Differential Input Voltage ¹⁾	+32			V
P_{tot}	Power Dissipation	N Suffix	500	500	mW
		D Suffix		400	400
	Output Short-circuit Duration ²⁾	Infinite			
I_{in}	Input Current ³⁾	50	50	50	mA
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-85 to +150			°C

1. Either or both input voltages must not exceed the magnitude of V_{CC}^+ or V_{CC}^- .
2. Short-circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating if $V_{CC} > 15V$. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V_{CC} . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.
3. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the V_{CC} voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration than an input is driven negative. This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC}^+ = +5V$, $V_{CC}^- = \text{Ground}$, $V_O = 1.4V$, $T_{amb} = +25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{io}	Input Offset Voltage - note ¹⁾ $T_{amb} = +25^\circ C$ LM324 $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ LM324		2	5 7 7 9	mV
I_{io}	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	30 100	nA
I_{ib}	Input Bias Current - note ²⁾ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	150 300	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain $V_{CC}^+ = +15V$, $R_L = 2k\Omega$, $V_O = 1.4V$ to $11.4V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	100		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_s \leq 10k\Omega$) $V_{CC}^+ = 5V$ to $30V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	65 65	110		dB
I_{CC}	Supply Current, all Amp, no load $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		$V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +30V$ $V_{CC} = +5V$ $V_{CC} = +30V$	0.7 1.2 1.5 3 0.8 1.2 1.5 3	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range $V_{CC} = +30V$ - note ³⁾ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	0 0		$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 2$	V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_s \leq 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 60	80		dB
I_{source}	Output Current Source ($V_{id} = +1V$) $V_{CC} = +15V$, $V_O = +2V$	20	40	70	mA
I_{sink}	Output Sink Current ($V_{id} = -1V$) $V_{CC} = +15V$, $V_O = +2V$ $V_{CC} = +15V$, $V_O = +0.2V$	10 12	20 50		mA μA
V_{OH}	High Level Output Voltage $V_{CC} = +30V$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $V_{CC} = +5V$, $R_L = 2k\Omega$ $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		$R_L = 2k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$	26 26 27 27 3.5 3	V

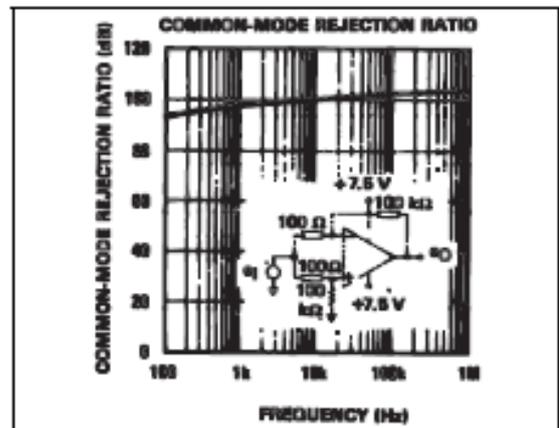
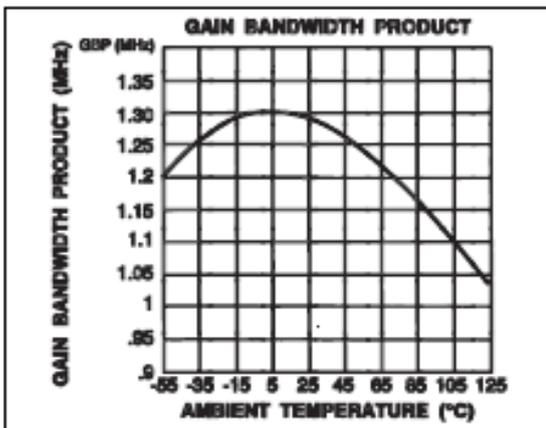
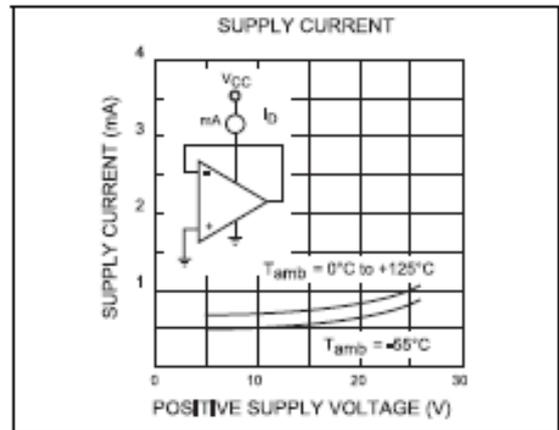
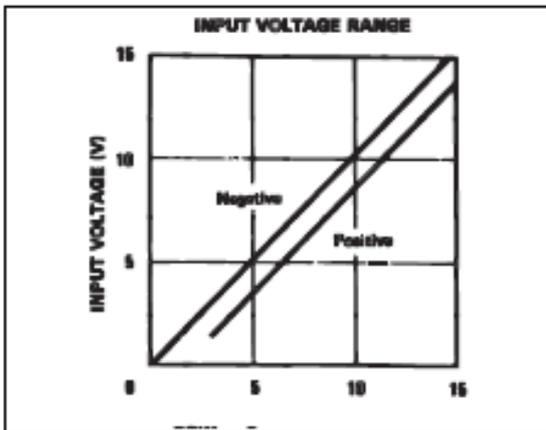
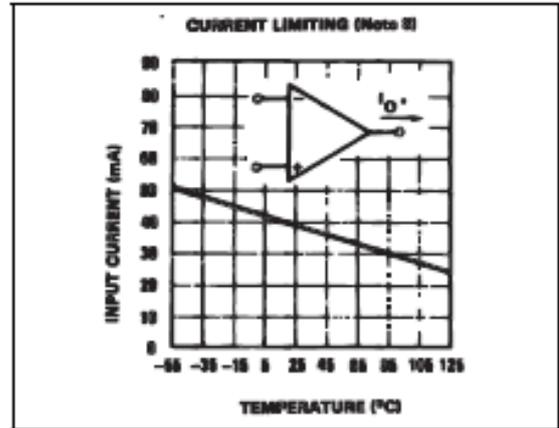
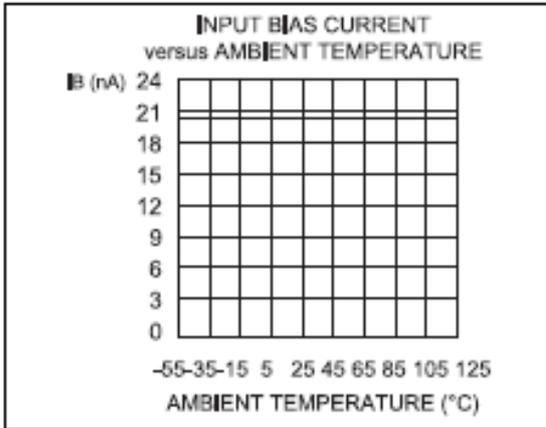
Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{OL}	Low Level Output Voltage ($R_L = 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	20 20	mV
SR	Slew Rate $V_{CC} = 15V, V_I = 0.5$ to $3V, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF$, unity Gain		0.4		V/ μs
GBP	Gain Bandwidth Product $V_{CC} = 30V, f = 100kHz, V_{in} = 10mV, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF$		1.3		MHz
THD	Total Harmonic Distortion $f = 1kHz, A_v = 20dB, R_L = 2k\Omega, V_o = 2V_{pp}, C_L = 100pF, V_{CC} = 30V$		0.015		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz, R_s = 100\Omega, V_{CC} = 30V$		40		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
DV_{IO}	Input Offset Voltage Drift		7	30	$\mu V/^\circ C$
DI_{IO}	Input Offset Current Drift		10	200	pA/ $^\circ C$
V_{o1}/V_{o2}	Channel Separation - note ⁴⁾ $1kHz \leq f \leq 20kHz$		120		dB

1. $V_o = 1.4V, R_s = 0\Omega, 5V < V_{CC} < 30V, 0 < V_{IO} < V_{CC} - 1.5V$

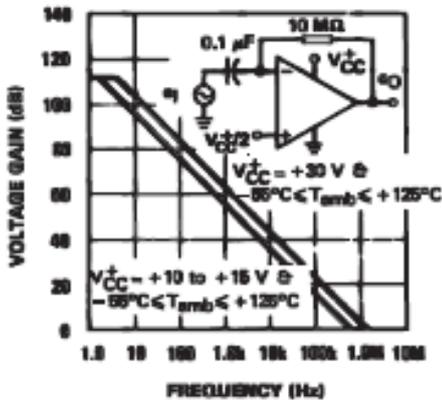
2. The direction of the input current is out of the IC. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

3. The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC} - 1.5V$, but either or both inputs can go to +32V without damage.

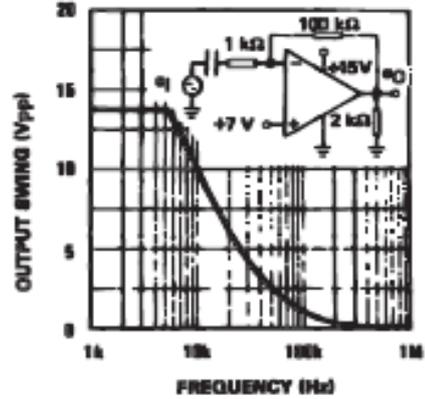
4. Due to the proximity of external components insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.



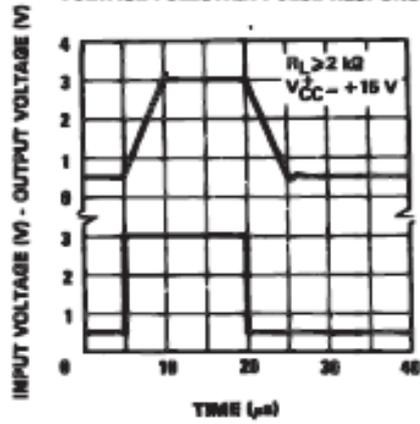
OPEN LOOP FREQUENCY RESPONSE



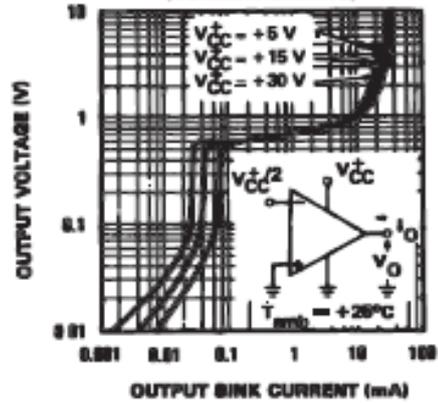
LARGE SIGNAL FREQUENCY RESPONSE



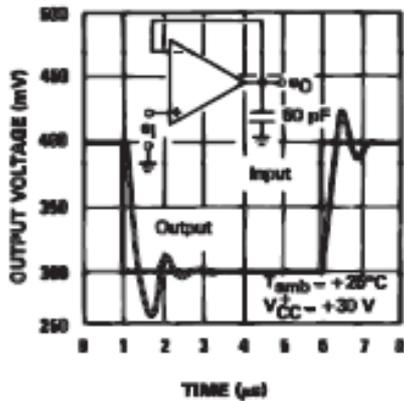
VOLTAGE FOLLOWER PULSE RESPONSE



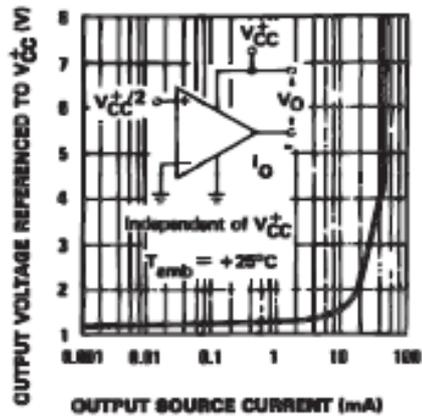
OUTPUT CHARACTERISTICS (CURRENT SINKING)

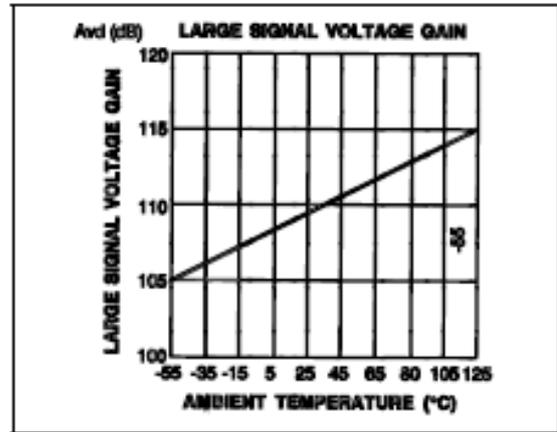
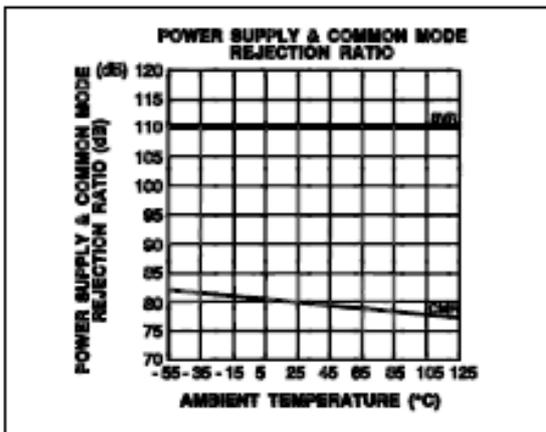
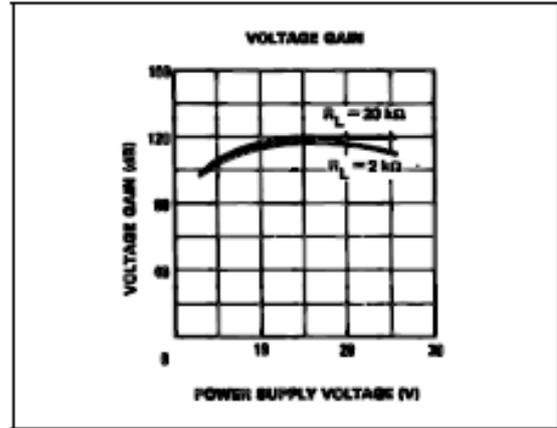
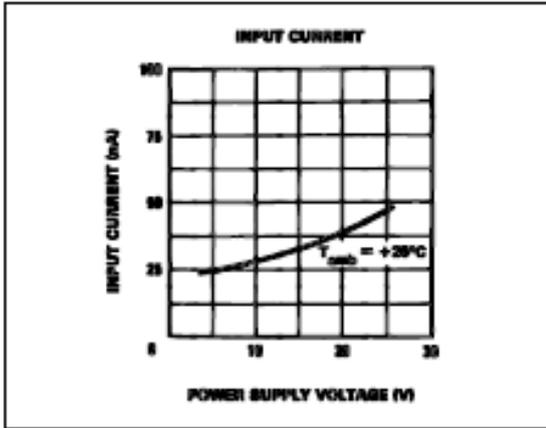


VOLTAGE FOLLOWER PULSE RESPONSE (SMALL SIGNAL)



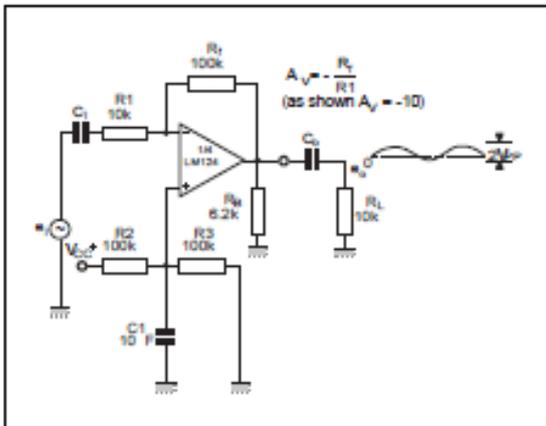
OUTPUT CHARACTERISTICS (CURRENT SOURCING)



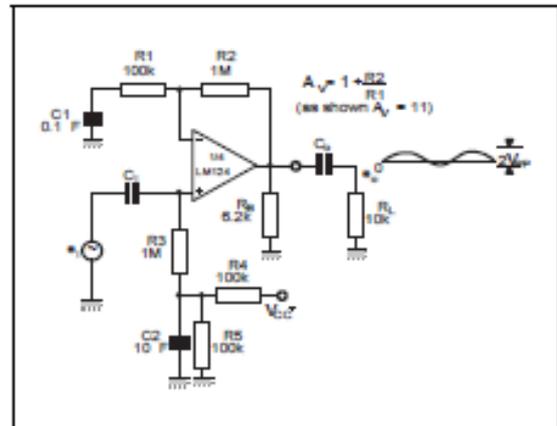


TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

AC COUPLED INVERTING AMPLIFIER

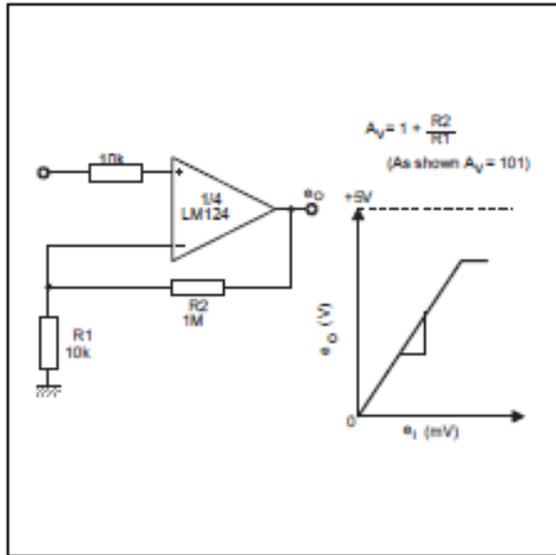


AC COUPLED NON INVERTING AMPLIFIER

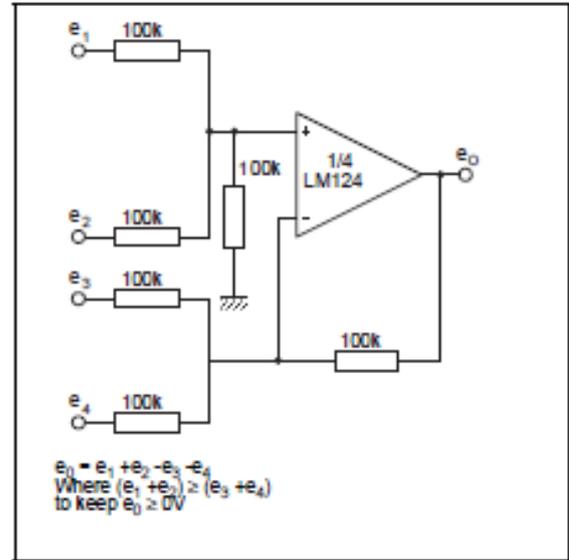


TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

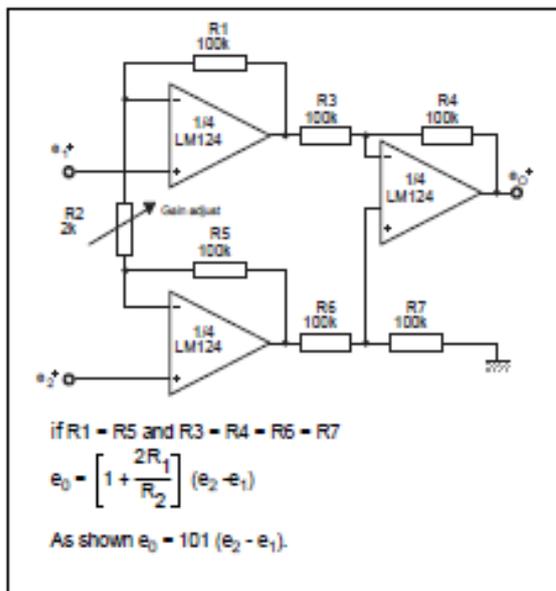
NON-INVERTING DC GAIN



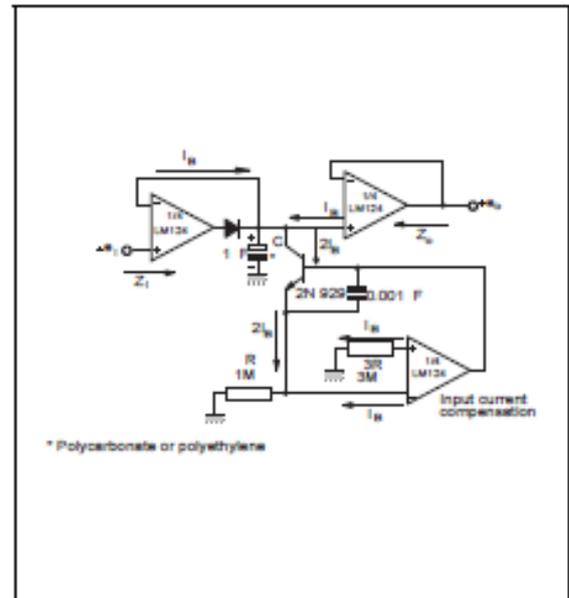
DC SUMMING AMPLIFIER



HIGH INPUT Z ADJUSTABLE GAIN DC INSTRUMENTATION AMPLIFIER

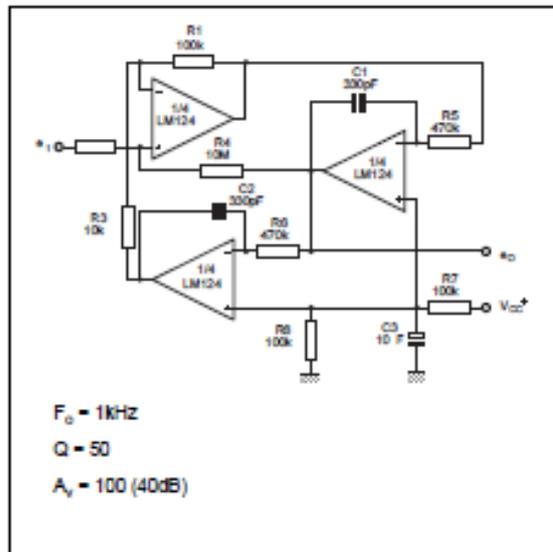


LOW DRIFT PEAK DETECTOR

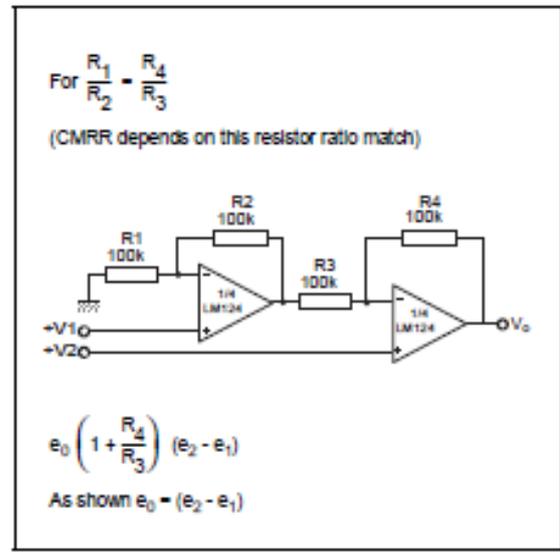


TYPICAL SINGLE - SUPPLY APPLICATIONS

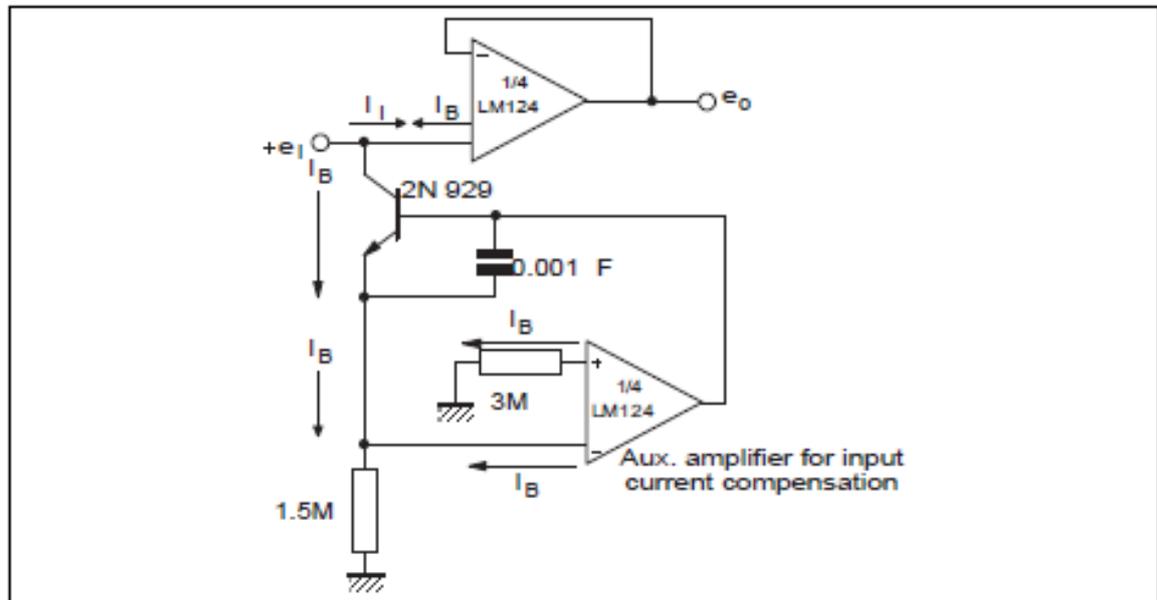
ACTIVER BANDPASS FILTER



HIGH INPUT Z, DC DIFFERENTIAL AMPLIFIER



USING SYMETRICAL AMPLIFIERS TO REDUCE INPUT CURRENT (GENERAL CONCEPT)



MACROMODEL

** Standard Linear Ics Macromodels, 1993.

** CONNECTIONS :

* 1 INVERTING INPUT

* 2 NON-INVERTING INPUT

* 3 OUTPUT

* 4 POSITIVE POWER SUPPLY

* 5 NEGATIVE POWER SUPPLY

.SUBCKT LM124 1 3 2 4 5 (analog)

.MODEL MDTH D IS=1E-8 KF=3.104131E-15
CJO=10F

* INPUT STAGE

CIP 2 5 1.000000E-12

CIN 1 5 1.000000E-12

EIP 10 5 2 5 1

EIN 16 5 1 5 1

RIP 10 11 2.600000E+01

RIN 15 16 2.600000E+01

RIS 11 15 2.003862E+02

DIP 11 12 MDTH 400E-12

DIN 15 14 MDTH 400E-12

VOFP 12 13 DC 0

VOFN 13 14 DC 0

IPOL 13 5 1.000000E-05

CPS 11 15 3.783376E-09

DINN 17 13 MDTH 400E-12

VIN 17 5 0.000000E+00

DINR 15 18 MDTH 400E-12

VIP 4 18 2.000000E+00

FCP 4 5 VOFP 3.400000E+01

FCN 5 4 VOFN 3.400000E+01

FIBP 2 5 VOFN 2.000000E-03

FIBN 5 1 VOFP 2.000000E-03

* AMPLIFYING STAGE

FIP 5 19 VOFP 3.600000E+02

FIN 5 19 VOFN 3.600000E+02

RG1 19 5 3.652997E+06

RG2 19 4 3.652997E+06

CC 19 5 6.000000E-09

DOPM 19 22 MDTH 400E-12

DONM 21 19 MDTH 400E-12

HOPM 22 28 VOUT 7.500000E+03

VIPM 28 4 1.500000E+02

HONM 21 27 VOUT 7.500000E+03

VINM 5 27 1.500000E+02

EOUT 26 23 19 5 1

VOUT 23 5 0

ROUT 26 3 20

COUT 3 5 1.000000E-12

DOP 19 25 MDTH 400E-12

VOP 4 25 2.242230E+00

DON 24 19 MDTH 400E-12

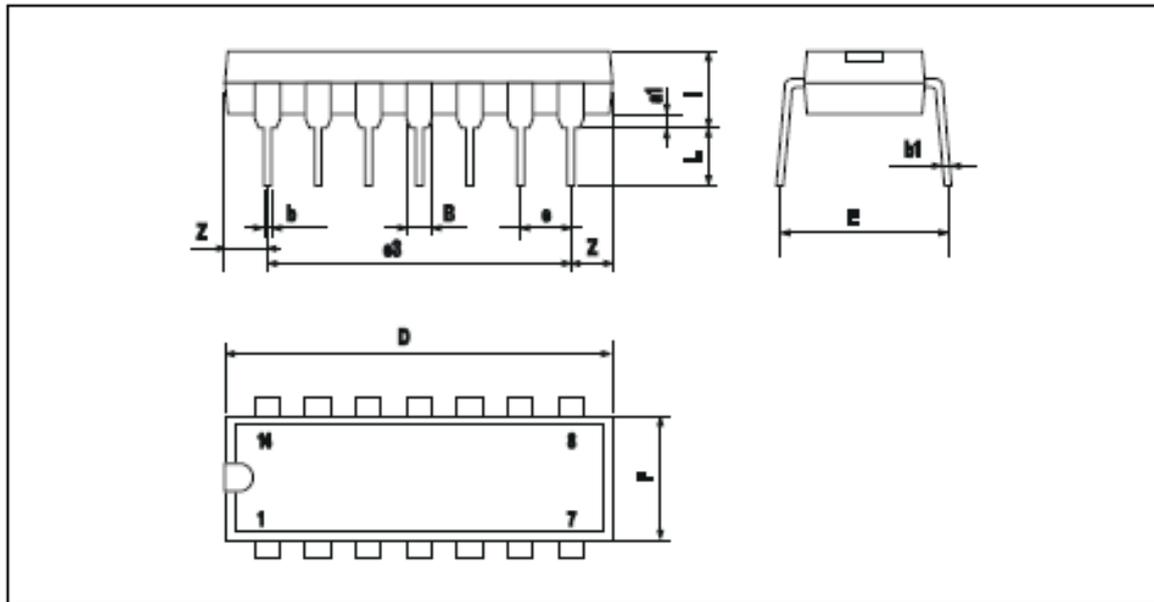
VON 24 5 7.922301E-01

.ENDS

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_{CC}^+ = +15V$, $V_{CC}^- = 0V$, $T_{amb} = 25^\circ C$ (unless otherwise specified)

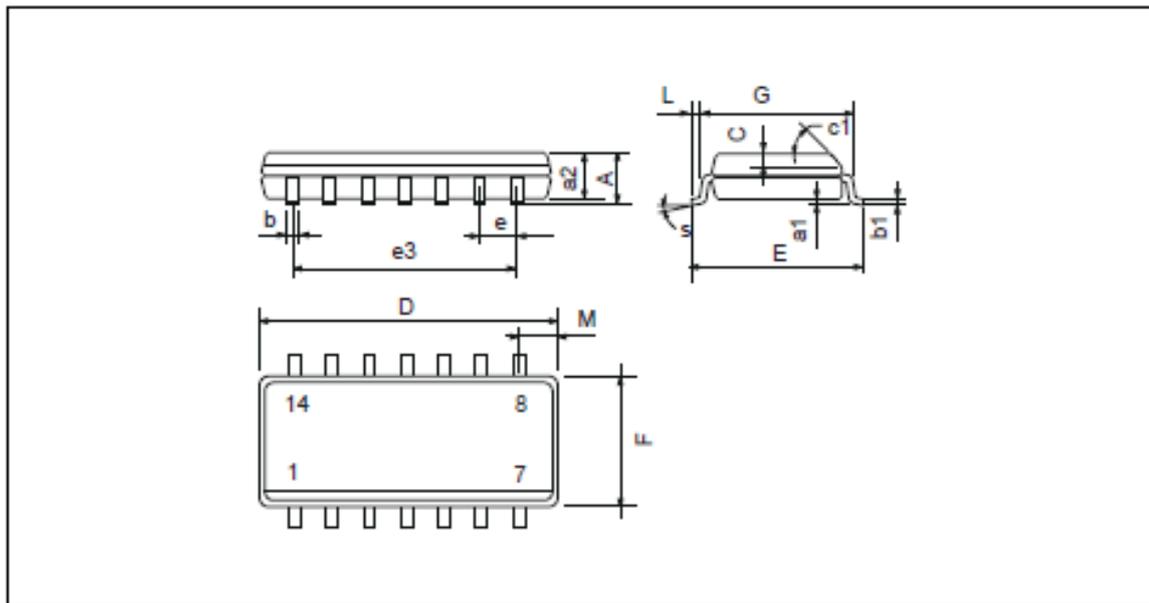
Symbol	Conditions	Value	Unit
V_{io}		0	mV
A_{vd}	$R_L = 2k\Omega$	100	V/mV
I_{cc}	No load, per amplifier	350	μA
V_{kcm}		-15 to +13.5	V
V_{OH}	$R_L = 2k\Omega$ ($V_{CC}^+ = 15V$)	+13.5	V
V_{OL}	$R_L = 10k\Omega$	5	mV
I_{os}	$V_o = +2V$, $V_{CC} = +15V$	+40	mA
GBP	$R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$	1.3	MHz
SR	$R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$	0.4	V/ μs

PACKAGE MECHANICAL DATA
14 PINS - PLASTIC DIP



Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
a1	0.51			0.020		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		15.24			0.600	
F			7.1			0.280
i			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z	1.27		2.54	0.050		0.100

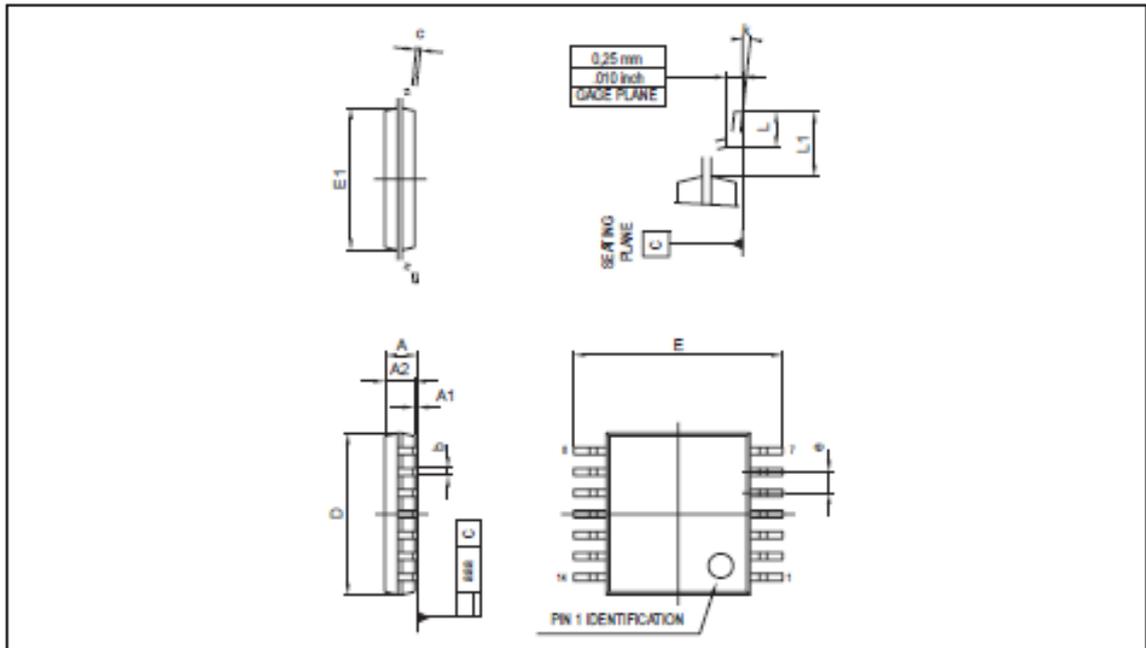
PACKAGE MECHANICAL DATA
14 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.2	0.004		0.008
a2			1.6			0.063
b	0.35		0.46	0.014		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.020	
c1	45° (typ.)					
D (1)	8.55		8.75	0.338		0.344
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		7.62			0.300	
F (1)	3.8		4.0	0.150		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.208
L	0.5		1.27	0.020		0.050
M			0.68			0.027
S	8° (max.)					

Note : (1) D and F do not include mold flash or protrusions - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15mm (.056 inc) ONLY FOR DATA BOOK.

PACKAGE MECHANICAL DATA
14 PINS - THIN SHRINK SMALL OUTLINE PACKAGE (TSSOP)



Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.20			0.05
A1	0.05		0.15	0.01		0.006
A2	0.80	1.00	1.05	0.031	0.039	0.041
b	0.19		0.30	0.007		0.15
c	0.09		0.20	0.003		0.012
D	4.90	5.00	5.10	0.192	0.196	0.20
E		6.40			0.252	
E1	4.30	4.40	4.50	0.169	0.173	0.177
e		0.65			0.025	
k	0°		8°	0°		8°
L	0.450	0.600	0.750	0.018	0.024	0.030
L1		1.00			0.039	
aaa			0.100			0.004

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved
 STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia
 Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States

© <http://www.st.com>

