

第一章 电子元器件

第一节、电阻器

1.1 电阻器的含义：在电路中对电流有阻碍作用并且造成能量消耗的部分叫电阻。

1.2 电阻器的英文缩写：R (Resistor) 及排阻 RN

1.3 电阻器在电路符号： 或

1.4 电阻器的常见单位：千欧姆 (K)，兆欧姆 (M)

1.5 电阻器的单位换算：1 兆欧 = 10^3 千欧 = 10^6 欧

1.6 电阻器的特性：电阻为线性原件，即电阻两端电压与流过电阻的电流成正比，

通过这段导体的电流强度与这段导体的电阻成反比。即欧姆定律： $I=U/R$ 。

表 1.7 电阻的作用为分流、限流、分压、偏置、滤波（与电容器组合使用）和阻抗匹配等。

1.8 电阻器在电路中用“R”加数字表示，如：R15 表示编号为 15 的电阻器。

1.9 电阻器的在电路中的参数标注方法有 3 种，即直标法、色标法和数标法。

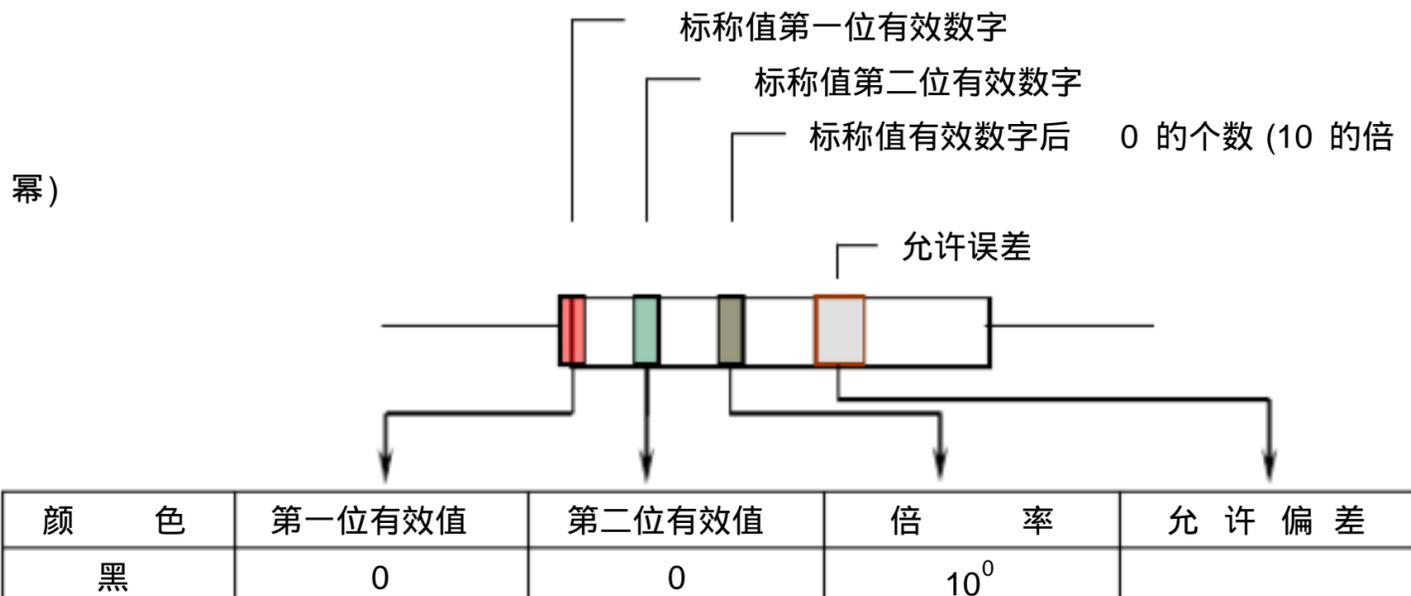
a、直标法是将电阻器的标称值用数字和文字符号直接标在电阻体上，其允许偏差则用百分数表示，未标偏差值的即为 $\pm 20\%$ 。

b、数码标示法主要用于贴片等小体积的电路，在三为数码中，从左至右第一、二位数字表示有效数字，第三位表示 10 的倍幂或者用 R 表示 (R 表示 0.) 如：472 表示 47×10^2 (即 4.7K)；104 则表示 100×10^4 、R22 表示 0.22、122 = $1200 = 1.2K$ 、1402 = $14000 = 14K$ 、R22 = 0.22、50C = $324 \times 100 = 32.4K$ 、17R8 = 17.8、000 = 0、0 = 0。

c、色环标注法使用最多，普通的色环电阻器用 4 环表示，精密电阻器用 5 环表示，紧靠电阻体一端头的色环为第一环，露着电阻体本色较多的另一端头为末环。现举例如下：

如果色环电阻器用四环表示，前面两位数字是有效数字，第三位是 10 的倍幂，第四环是色环电阻器的误差范围 (见图一)

四色环电阻器 (普通电阻)



棕	1	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	
绿	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	10^6	$\pm 0.25\%$
紫	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	10^8	
白	9	9	10^9	20% ~ +50%
金			10^{-1}	$\pm 5\%$
银			10^{-2}	$\pm 10\%$
无色				$\pm 20\%$

图 1-1 两位有效数字阻值的色环表示法

如果色环电阻器用五环表示，前面三位数字是有效数字，第四位是 10 的倍幂。第五环是色环电阻器的误差范围。(见图二)

五色环电阻器（精密电阻）

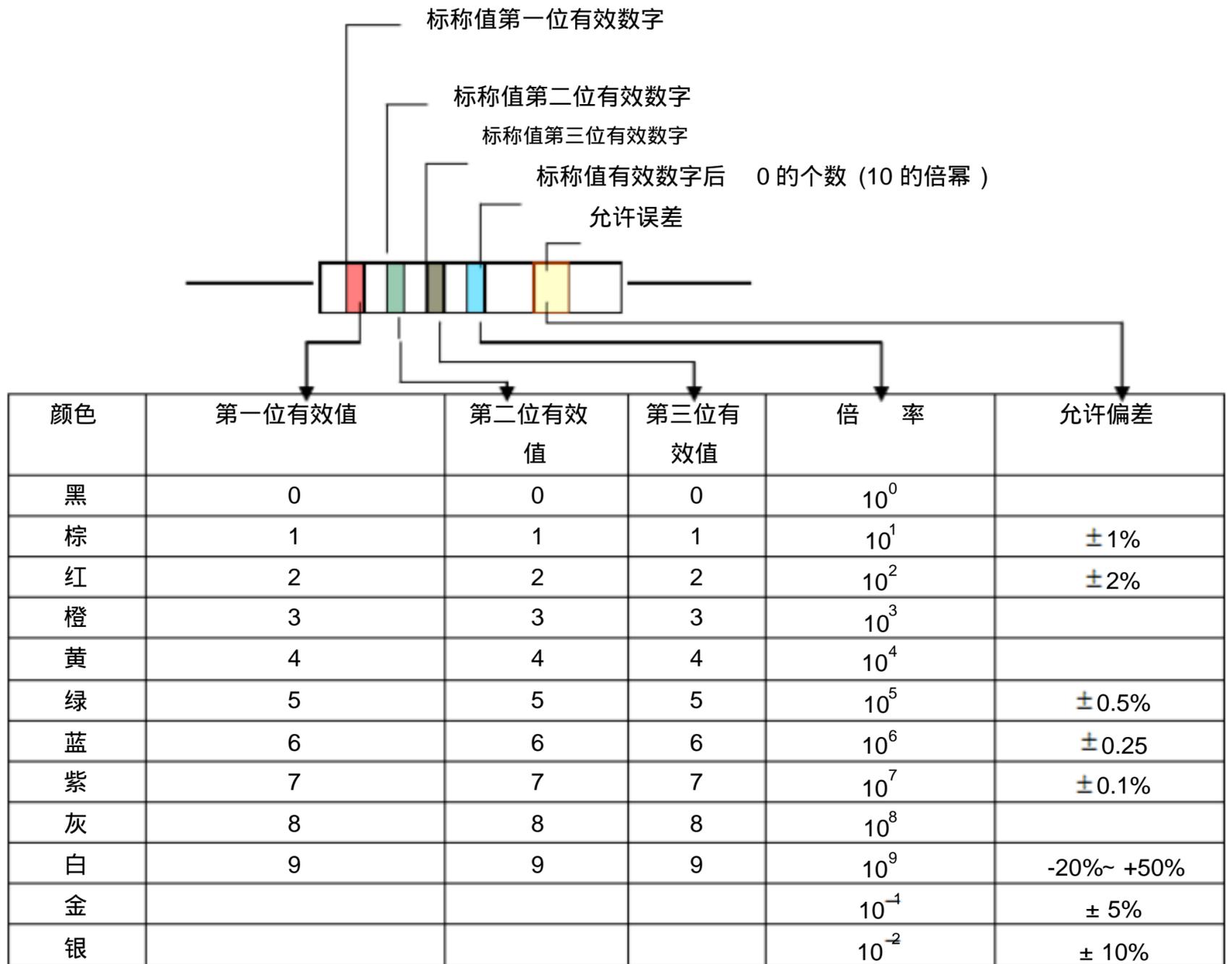


图 1-2 三位有效数字阻值的色环表示法

d、SMT 精密电阻的表示法，通常也是用 3 位标示。一般是 2 位数字和 1 位字母表示，两个数字是有效数字，字母表示 10 的倍幂，但是要根据实际情况到精密电阻查询表里出

查找 .下面是精密电阻的查询表 :

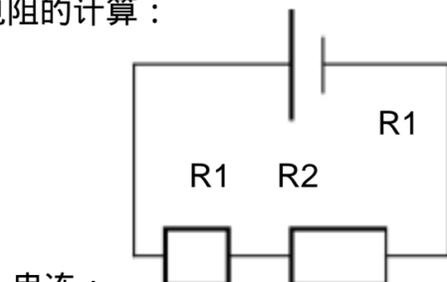
代码	阻值	代码	阻值	代码	阻值	代码	阻值	代码	阻值
code	resiscane	code	resiscance	code	resiscance	code	resiscance	code	resiscance
1	100	21	162	41	261	61	422	81	681
2	102	22	165	42	267	62	432	82	698
3	105	23	169	43	274	63	442	83	715
4	107	24	174	44	280	64	453	84	732
5	110	25	178	45	287	65	464	85	750
6	113	26	182	46	294	66	475	86	768
7	115	27	187	47	301	67	487	87	787
8	118	28	191	48	309	68	499	88	806
9	121	29	0.196	49	316	69	511	89	825
10	124	30	200	50	324	70	523	90	845
11	127	31	3205	51	332	71	536	91	866
12	130	32	210	52	340	72	549	92	887
13	133	33	215	53	348	73	562	93	909
14	137	34	221	54	357	74	576	94	931
15	140	35	226	55	365	75	590	94	981
16	143	36	232	56	374	76	604	95	953
17	147	37	237	57	383/388	77	619	96	976
18	150	38	243	58	392	78	634	96	976
19	154	39	249	59	402	79	649		
20	153	40	255	60	412	80	665		

symbol	A	B	C	D	E	F	G	H	X	Y	Z
multipliers	10 ⁰	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³

1.10 SMT 电阻的尺寸表示：用长和宽表示（如 0201，0603，0805，1206 等，具体如 02 表示长为 0.02 英寸宽为 0.01 英寸）。

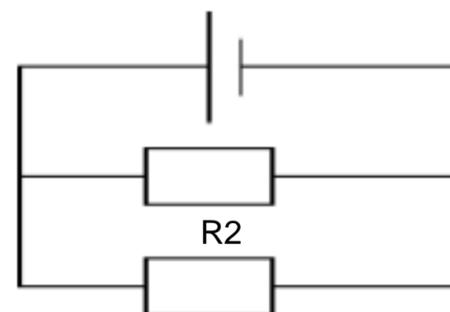
1.11 一般情况下电阻在电路中有两种接法：串联接法和并联接法

电阻的计算：



串联：

$$R=R1+R2$$



并联：

$$R=1/R1+1/R2$$

1.12 多个电阻的串并联的计算方法：

串联：R总串 =R1+R2+R3+... Rn.

并联： $1/R_{\text{总并}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n$

1.13 电阻器好坏的检测：

- a、用指针万用表判定电阻的好坏：首先选择测量档位，再将倍率档旋钮置于适当的档位，一般 100 欧姆以下电阻器可选 RX1 档，100 欧姆-1K 欧姆的电阻器可选 RX10 档，1K 欧姆-10K 欧姆电阻器可选 RX100 档，10K-100K 欧姆的电阻器可选 RX1K 档，100K 欧姆以上的电阻器可选 RX10K 档。
- b、测量档位选择确定后，对万用表电阻档为进行校 0，校 0 的方法是：将万用表两表笔金属棒短接，观察指针有无到 0 的位置，如果不在 0 位置，调整调零旋钮表针指向电阻刻度的 0 位置。
- c、接着将万用表的两表笔分别和电阻器的两端相接，表针应指在相应的阻值刻度上，如果表针不动和指示不稳定或指示值与电阻器上的标示值相差很大，则说明该电阻器已损坏。
- d、用数字万用表判定电阻的好坏；首先将万用表的档位旋钮调到欧姆档的适当档位，一般 200 欧姆以下电阻器可选 200 档，200-2K 欧姆电阻器可选 2K 档，2K-20K 欧姆可选 20K 档，20K-200K 欧姆的电阻器可选 200K 档，200K-200M 欧姆的电阻器选择 2M 欧姆档。2M-20M 欧姆的电阻器选择 20M 档，20M 欧姆以上的电阻器选择 200M 档。

第二节 电容器

2.1 电容器的含义：衡量导体储存电荷能力的物理量。

2.2 电容器的英文缩写：C (capacitor)

2.3 电容器在电路中的表示符号： 或 CN(排容)

2.4 电容器常见的单位：毫法 (mF)、微法 (uF)、纳法 (nF)、皮法 (pF)

2.5 电容器的单位换算：1 法拉 = 10^3 毫法 = 10^6 微法 = 10^9 纳法 = 10^{12} 皮法； $1\text{pf}=10^{-3}\text{nf}=10^{-6}\text{uf}=10^{-9}\text{mf}=10^{-12}\text{f}$;

2.6 电容的作用：隔直流，旁路，耦合，滤波，补偿，充放电，储能等

2.7 电容器的特性：电容器容量的大小就是表示能贮存电能的大小，电容对交流信号的阻碍作用称为容抗，它与交流信号的频率和电容量有关。电容的特性主要是隔直流通交流，通低频阻高频。

2.8 电容器在电路中一般用“C”加数字表示。如 C25 表示编号为 25 的电容。

2.9 电容器的识别方法与电阻的识别方法基本相同，分直标法、色标法和数标法 3 种。

a; 直标法是将电容的标称值用数字和单位在电容的本体上表示出来：如：220MF 表示 220UF；.01UF 表示 0.01UF；R56UF 表示 0.56UF;6n8 表示 6800PF。

b; 不标单位的数码表示法。其中用一位到四位数表示有效数字，一般为 PF,而电解电容其容量则为 UF.如:3 表示 3PF;2200 表示 2200PF;0.056 表示 0.056UF;

c; 数字表示法：一般用三位数字表示容量的大小，前两位表示有效数字，第三位表示 10 的倍幂。如 102 表示 $10 \times 10^2 = 1000\text{PF}$;224 表示 $22 \times 10^4 = 0.22\text{UF}$

d: 用色环或色点表示电容器的主要参数。电容器的色标法与电阻相同。

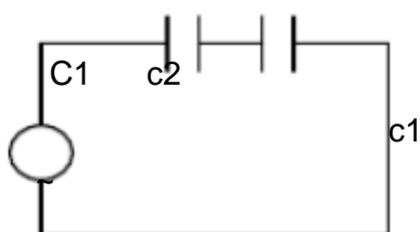
电容器偏差标志符号：+100%-0--H、+100%-10%--R、+50%-10%--T、+30%-10%--Q、+50%-20%--S、+80%-20%--Z。

2.10 电容的分类：根据极性可分为有极性电容和无极性电容。我们常见到的电解电容就是有极性的，是有正负极之分。

2.11 电容器的主要性能指标是：电容器的容量（即储存电荷的容量），耐压值（指在额定温度范围内电容能长时间可靠工作的最大直流电压或最大交流电压的有效值）耐温值（表示电容所能承受的最高工作温度）。

2.12 电容器的品牌有：主板电容主要分为台系和日系两种，日系品牌有：NICHICON，RUBICON，RUBYCON（红宝石）、KZG、SANYO（三洋）、PANASONIC（松下）、NIPPON、FUJITSU（富士通）等；台系品牌有：TAICON、G-LUXCON、TEAPO、CAPXON、OST、GSC、RLS 等。

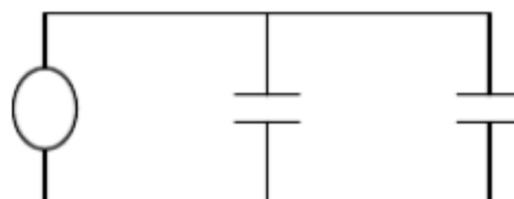
电容器的计算：



串联：

$$1/C=1/C1+1/C2$$

$$C=C1+C2$$



并联：

2.13 多个电容的串联和并联计算公式：

$$C \text{ 串}: 1/C=1/C1+1/C2+1/C3+\dots+1/CN$$

$$C \text{ 并 } C=C1+C2+C3+\dots+CN$$

2.14 电容器的好坏测量

a; 脱离线路时检测

采用万用表R 31 k挡,在检测前,先将电解电容的两根引脚相碰,以便放掉电容内残余的电荷。当表笔刚接通时,表针向右偏转一个角度,然后表针缓慢地向左回转,最后表针停下。表针停下来所指示的阻值为该电容的漏电电阻,此阻值愈大愈好,最好应接近无穷大处。如果漏电电阻只有几十千欧,说明这一电解电容漏电严重。表针向右摆动的角度越大(表针还应该向左回摆),说明这一电解电容的电容量也越大,反之说明容量越小。

b. 线路上直接检测

主要是检测电容器是否已开路或已击穿这两种明显故障,而对漏电故障由于受外电路的影响一般是测不准的。用万用表R 31挡,电路断开后,先放掉残存在电容器内的电荷。测量时若表针向右偏转,说明电解电容内部断路。如果表针向右偏转后所指示的阻值很小(接近短路),说明电容器严重漏电或已击穿。如果表针向右偏后无回转,但所指示的阻值不很小,说明电容器开路的可能很大,应脱开电路后进一步检测。

c. 线路上通电状态时检测,若怀疑电解电容只在通电状态下才存在击穿故障,可以给电路通电,然后用万用表直流挡测量该电容器两端的直流电压,如果电压很低或为0V,则是该电容器已击穿。对于电解电容的正、负极标志不清楚的,必须先判别出它的正、负极。对换万用表笔测两次,以漏电大(电阻值小)的一次为准,黑表笔所接一脚为负极,另一脚为正极。

第三节 电感器

3.1 电感器的英文缩写： L (Inductance)

电路符号：



3.2 电感器的国际标准单位是：H(亨利),mH(毫亨),uH(微亨),nH(纳亨)；

3.3 电感器的单位换算是： $1\text{H}=10^3\text{mH}=10^6\text{uH}=10^9\text{nH}$ ； $1\text{nH}=10^{-3}\text{uH}=10^{-6}\text{mH}=10^{-9}\text{H}$

3.4 电感器的特性：通直流隔交流；通低频阻高频。

3.5 电感器的作用：滤波，陷波，振荡，储存磁能等。

3.6 电感器的分类：空芯电感和磁芯电感。磁芯电感又可称为铁芯电感和铜芯电感等。主机板中常见的是铜芯绕线电感。

3.7 电感在电路中常用“L”加数字表示，如：L6表示编号为6的电感。电感线圈是将绝缘的导线在绝缘的骨架上绕一定的圈数制成。直流可通过线圈，直流电阻就是导线本身的电阻，压降很小；当交流信号通过线圈时，线圈两端将会产生自感电动势，自感电动势的方向与外加电压的方向相反，阻碍交流的通过，所以电感的特性是通直流阻交流，频率越高，线圈阻抗越大。电感在电路中可与电容组成振荡电路。电感一般有直标法和色标法，色标法与电阻类似。如：棕、黑、金、金表示1uH(误差5%)的电感。

3.8 电感的好坏测量：电感的质量检测包括外观和阻值测量。首先检测电感的外表有无完好，磁性有无缺损，裂缝，金属部分有无腐蚀氧化，标志有无完整清晰，接线有无断裂和拆伤等。用万用表对电感作初步检测，测线圈的直流电阻，并与原已知的正常电阻值进行比较。如果检测值比正常值显著增大，或指针不动，可能是电感器本体断路。若比正常值小许多，可判断电感器本体严重短路，线圈的局部短路需用专用仪器进行检测。

第四节 半导体二极管

4.1 英文缩写： D (Diode)

电路符号是



4.2 半导体二极管的分类

分类： a 按材质分：硅二极管和锗二极管；

b 按用途分：整流二极管，检波二极管，稳压二极管，发光二极管，光电二极管，变容二极管。



稳压二极管



发光二极管



光电二极管



变容二极管

4.3 半导体二极管在电路中常用“ D”加数字表示，如：D5表示编号为 5 的半导体二极管。

4.4 半导体二极管的导通电压是：

a; 硅二极管在两极加上电压，并且电压大于 0.6V 时才能导通，导通后电压保持在 0.6-0.8V 之间。

B; 锗二极管在两极加上电压，并且电压大于 0.2V 时才能导通，导通后电压保持在 0.2-0.3V 之间。

4.5 半导体二极管主要特性是单向导电性，也就是在正向电压的作用下，导通电阻很小；而在反向电压作用下导通电阻极大或无穷大。

4.6 半导体二极管可分为整流、检波、发光、光电、变容等作用。

4.7 半导体二极管的识别方法：

a; 目视法判断半导体二极管的极性：一般在实物的电路图中可以通过眼睛直接看出半导体二极管的正负极。在实物中如果看到一端有颜色标示的是负极，另外一端是正极。

b;用万用表(指针表)判断半导体二极管的极性：通常选用万用表的欧姆档 ($R \times 100$ 或 $R \times 1K$)，然后分别用万用表的两表笔分别出接到二极管的两个极上出，当二极管导通，测的阻值较小(一般几十欧姆至几千欧姆之间)，这时黑表笔接的是二极管的正极，红表笔接的是二极管的负极。当测的阻值很大(一般为几百至几千欧姆)，这时黑表笔接的是二极管的负极，红表笔接的是二极管的正极。

c; 测试注意事项：用数字式万用表去测二极管时，红表笔接二极管的正极，黑表笔接二极管的负极，此时测得的阻值才是二极管的正向导通阻值，这与指针式万用表的表笔接法刚好相反。

4.8 变容二极管是根据普通二极管内部“PN结”的结电容能随外加反向电压的变化而变化这一原理专门设计出来的一种特殊二极管。变容二极管在无绳电话机中主要用在手

机或座机的高频调制电路上，实现低频信号调制到高频信号上，并发射出去。在工作状态，变容二极管调制电压一般加到负极上，使变容二极管的内部结电容容量随调制电压的变化而变化。

变容二极管发生故障，主要表现为漏电或性能变差：

(1) 发生漏电现象时，高频调制电路将不工作或调制性能变差。

(2) 变容性能变差时，高频调制电路的工作不稳定，使调制后的高频信号发送到对方被对方接收后产生失真。

出现上述情况之一时，就应该更换同型号的变容二极管。

4.9 稳压二极管的基本知识

a、稳压二极管的稳压原理：稳压二极管的特点就是击穿后，其两端的电压基本保持不变。这样，当把稳压管接入电路以后，若由于电源电压发生波动，或其它原因造成电路中各点电压变动时，负载两端的电压将基本保持不变。

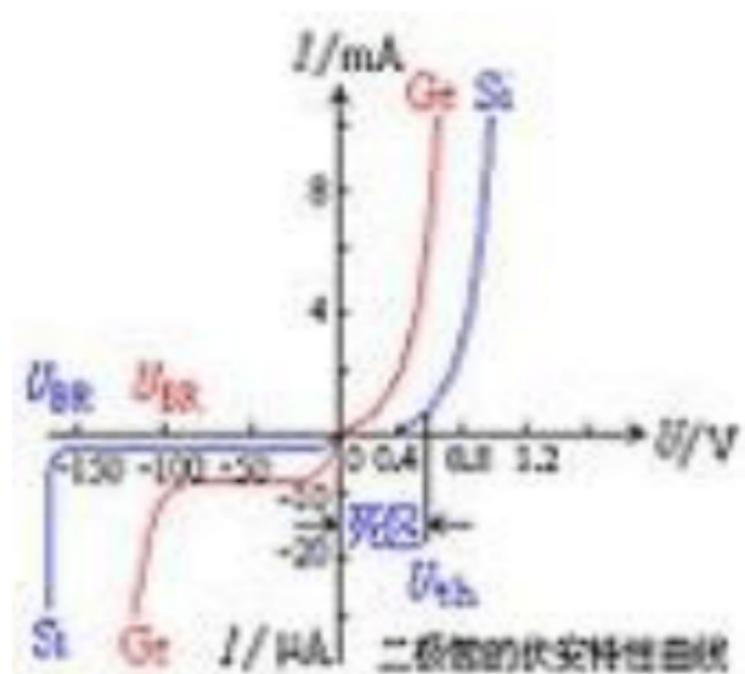
b、故障特点：稳压二极管的故障主要表现在开路、短路和稳压值不稳定。在这3种故障中，前一种故障表现出电源电压升高；后2种故障表现为电源电压变低到零伏或输出不稳定。

c、常用稳压二极管的型号及稳压值如下表：

型 号	1N4728	1N4729	1N4730	1N4732	1N4733	1N4734	1N4735	1N4744	1N4750	1N4751	1N4761
稳压值	3.3V	3.6V	3.9V	4.7V	5.1V	5.6V	6.2V	15V	27V	30V	75V

4.10 半导体二极管的伏安特性：二极管的基本特性是单向导电性（注：硅管的导通电压为 0.6 - 0.8V；锗管的导通电压为 0.2 - 0.3V），而工程分析时通常采用的是 0.7V。

4.11 半导体二极管的伏安特性曲线：（通过二极管的电流 I 与其两端电压 U 的关系曲线为二极管的伏安特性曲线。）见图三。



图三 硅和锗管的伏安特性曲线

4.12 半导体二极管的好坏判别 :用万用表 (指针表) $R \times 100$ 或 $R \times 1K$ 档测量二极管的正,反向电阻要求在 $1K$ 左右,反向电阻应在 $100K$ 以上.总之,正向电阻越小,越好.反向电阻越大越好.若正向电阻无穷大,说明二极管内部断路,若反向电阻为零,表明二极管以击穿,内部断开或击穿的二极管均不能使用。

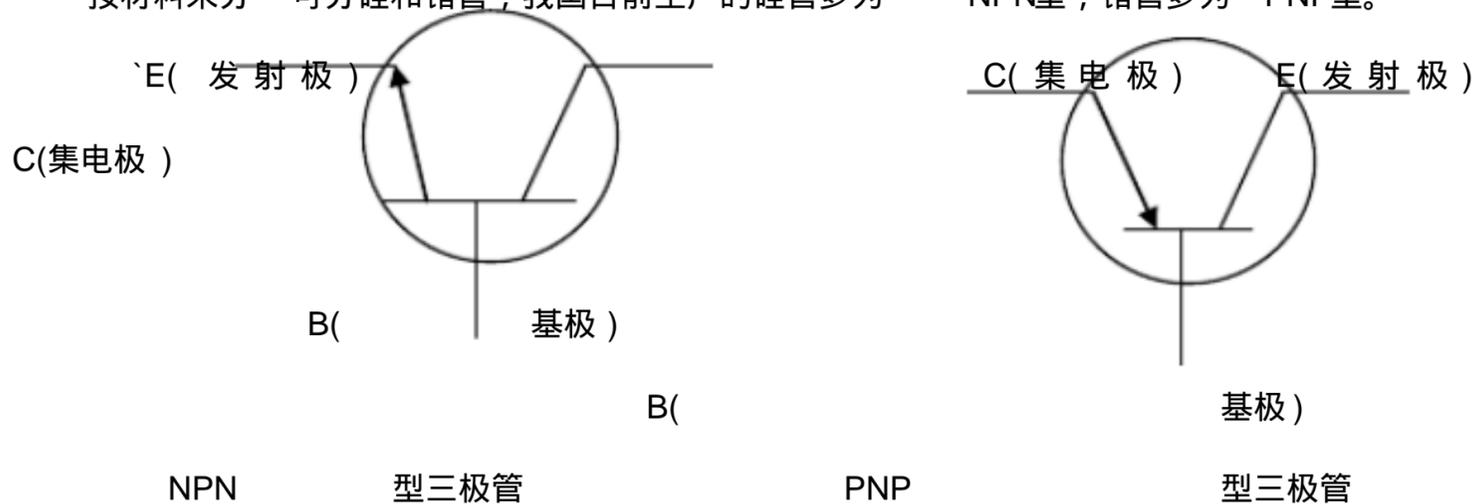
第五节 半导体三极管

5.1 半导体三极管英文缩写： Q/T

5.2 半导体三极管在电路中常用“ Q”加数字表示， 如：Q17表示编号为 17 的三极管。

5.3 半导体三极管特点：半导体三极管（简称晶体管）是内部含有 2 个 PN 结，并且具有放大能力的特殊器件。 它分 NPN型和 PNP型两种类型，这两种类型的三极管从工作特性上可互相弥补，所谓 OTL电路中的对管就是由 PNP型和 NPN型配对使用。

按材料来分 可分硅和锗管，我国目前生产的硅管多为 NPN型，锗管多为 PNP型。



5.4 半导体三极管放大的条件：要实现放大作用，必须给三极管加合适的电压，即管子发射结必须具备正向偏压，而集电极必须反向偏压，这也是三极管的放大必须具备的外部条件。

5.5 半导体三极管的主要参数

a; 电流放大系数：对于三极管的电流分配规律 $I_e = I_b + I_c$ ，由于基极电流 I_b 的变化，使集电极电流 I_c 发生更大的变化，即基极电流 I_b 的微小变化控制了集电极电流较大，这就是三极管的电流放大原理。即 $\beta = I_c / I_b$ 。

b; 极间反向电流，集电极与基极的反向饱和电流。

c; 极限参数：反向击穿电压，集电极最大允许电流、集电极最大允许功率损耗。

5.6 半导体三极管具有三种工作状态，放大、饱和、截止，在模拟电路中一般使用放大作用。饱和和截止状态一般合用在数字电路中。

a; 半导体三极管的三种基本的放大电路。

	共射极放大电路	共集电极放大电路	共基极放大电路
电路形式			
直流通道			
静态工作点	$I_B = \frac{U_{CC}}{R_b}$ $I_C = I_B$ $U_{CE} = U_{CC} - I_C R_c$	$I_B = \frac{U_{CC}}{R_b + (1 + \beta) R_e}$ $I_C = \beta I_B$ $U_{CE} = U_{CC} - I_C R_e$	$U_B = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} U_{CC}$ $I_C = I_E = \frac{U_B - 0.7}{R_e}$ $U_{CE} = U_{CC} - I_C (R_c + R_e)$
交流通道			
微变等效电路			
A_u	$-\frac{R'_L}{r_{be}}$	$\frac{(1 + \beta) R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R'_L}$	$\frac{R'_L}{r_{be}}$
r_i	$R_b // r_{be}$	$R_b // (r_{be} + (1 + \beta) R'_L)$	$R_e // \frac{r_{be}}{1 + \beta}$
r_o	R_c	$R_e // \frac{r_{be} + R'_S}{1 + \beta}, R'_S = R_b // R_s$	R_c
用途	多级放大电路的中间级	输入、输出级或缓冲级	高频电路或恒流源电路

b; 三极管三种放大电路的区别及判断可以从放大电路中通过交流信号的传输路径来判断，没有交流信号通过的极，就叫此极为公共极。

注：交流信号从基极输入，集电极输出，那发射极就叫公共极。

交流信号从基极输入，发射极输出，那集电极就叫公共极。

交流信号从发射极输入，集电极输出，那基极就叫公共极。

5.7 用万用表判断半导体三极管的极性和类型（用指针式万用表）。

a; 先选量程：R* 100 或 R* 1K 档位。

b; 判别半导体三极管基极：

用万用表黑表笔固定三极管的某一个电极，红表笔分别接半导体三极管另外两个电极，观察指针偏转，若两次的测量阻值都大或是都小，则改脚所接就是基极（两次阻值都小的为 NPN 型管，两次阻值都大的为 PNP 型管），若两次测量阻值一大一小，则用黑笔重新固定半导体三极管一个引脚继续测量，直到找到基极。

c;. 判别半导体三极管的 c 极和 e 极：

确定基极后，对于 NPN 管，用万用表两表笔接三极管另外两极，交替测量两次，若两次测量的结果不相等，则其中测得阻值较小的一次黑笔接的是 e 极，红笔接得是 c 极（若是 PNP 型管则黑红表笔所接得电极相反）。

d; 判别半导体三极管的类型。

如果已知某个半导体三极管的基极，可以用红表笔接基极，黑表笔分别测量其另外两个电极引脚，如果测得的电阻值很大，则该三极管是 NPN 型半导体三极管，如果测量的电阻值都很小，则该三极管是 PNP 型半导体三极管。

5.8 现在常见的三极管大部分是塑封的，如何准确判断三极管的三只引脚哪个是 b、c、e？三极管的 b 极很容易测出来，但怎么断定哪个是 c 哪个是 e？

a; 这里推荐三种方法：第一种方法：对于有测三极管 hFE 插孔的指针表，先测出 b 极后，将三极管随意插到插孔中去（当然 b 极是可以插准确的），测一下 hFE 值，

b; 然后再将管子倒过来再测一遍，测得 hFE 值比较大的一次，各管脚插入的位置是正确的。第二种方法：对无 hFE 测量插孔的表，或管子太大不方便插入插孔的，可以用这种方法：对 NPN 管，先测出 b 极（管子是 NPN 还是 PNP 以及其 b 脚都很容易测出，是吧？），将表置于 R3 1k 档，将红表笔接假设的 e 极（注意拿红表笔的手不要碰到表笔尖或管脚），黑表笔接假设的 c 极，同时用手指捏住表笔尖及这个管脚，将管子拿起来，用你的舌尖舔一下 b 极，看表头指针应有一定的偏转，如果你各表笔接得正确，指针偏转会大些，如果接得不对，指针偏转会小些，差别是很明显的。由此就可判定管子的 c、e 极。对 PNP 管，要将黑表笔接假设的 e 极（手不要碰到笔尖或管脚），红表笔接假设的 c 极，同时用手指捏住表笔尖及这个管脚，然后用舌尖舔一下 b 极，如果各表笔接得正确，表头指针会偏转得比较大。当然测量时表笔要交换一下测两次，比较读数后才能最后判定。这个方法适用于所有外形的三极管，方便实用。根据表针的偏转幅度，还可以估计出管子的放大能力，当然这是凭经验的。

c; 第三种方法：先判定管子的 NPN或 PNP类型及其 b 极后，将表置于 R3 10k 档，对 NPN 管，黑表笔接 e 极，红表笔接 c 极时，表针可能会有一定偏转，对 PNP管，黑表笔接 c 极，红表笔接 e 极时，表针可能会有一定的偏转，反过来都不会有偏转。由此也可以判定三极管的 c、e 极。不过对于高耐压的管子，这个方法就不适用了。

对于常见的进口型号的大功率塑封管，其 c 极基本都是在中间（我还没见过 b 在中间的）。中、小功率管有的 b 极可能在中间。比如常用的 9014 三极管及其系列的其它型号三极管、2SC1815 2N5401、2N5551 等三极管，其 b 极有的在就中间。当然它们也有 c 极在中间的。所以在维修更换三极管时，尤其是这些小功率三极管，不可拿来就按原样直接安上，一定要先测一下。

如何看懂电路图 2 - - 电源电路单元

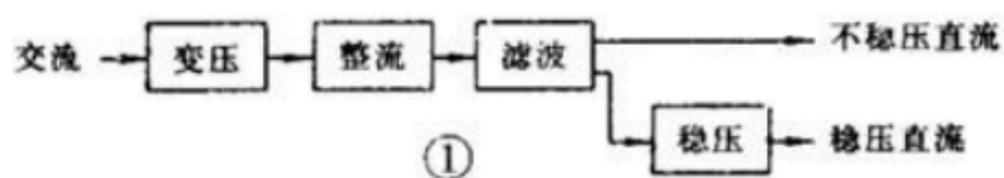
前面介绍了电路图中的元器件的作用和符号。一张电路图通常有几十乃至几百个元器件，它们的连线纵横交叉，形式变化多端，初学者往往不知道该从什么地方开始，怎样才能读懂它。其实电子电路本身有很强的规律性，不管多复杂的电路，经过分析可以发现，它是由少数几个单元电路组成的。好象孩子们玩的积木，虽然只有十来种或二三十种块块，可是在孩子们手中却可以搭成几十乃至几百种平面图形或立体模型。同样道理，再复杂的电路，经过分析就可发现，它也是由少数几个单元电路组成的。因此初学者只要先熟悉常用的基本单元电路，再学会分析和分解电路的本领，看懂一般的电路图应该是不难的。

按单元电路的功能可以把它们分成若干类，每一类又有好多种，全部单元电路大概总有几百种。下面我们选最常用的基本单元电路来介绍。让我们从电源电路开始。

一、电源电路的功能和组成

每个电子设备都有一个供给能量的电源电路。电源电路有整流电源、逆变电源和变频器三种。常见的家用电器中多数要用到直流电源。直流电源的最简单的供电方法是用电。但电池有成本高、体积大、需要不时更换（蓄电池则要经常充电）的缺点，因此最经济可靠而又方便的是使用整流电源。

电子电路中的电源一般是低压直流电，所以要想从 220 伏市电变换成直流电，应该先把 220 伏交流变成低压交流电，再用整流电路变成脉动的直流电，最后用滤波电路滤除脉动直流电中的交流成分后才能得到直流电。有的电子设备对电源的质量要求很高，所以有时还需要再增加一个稳压电路。因此整流电源的组成一般有四大部分，见图 1。其中变压电路其实就是一个铁芯变压器，需要介绍的只是后面三种单元电路。

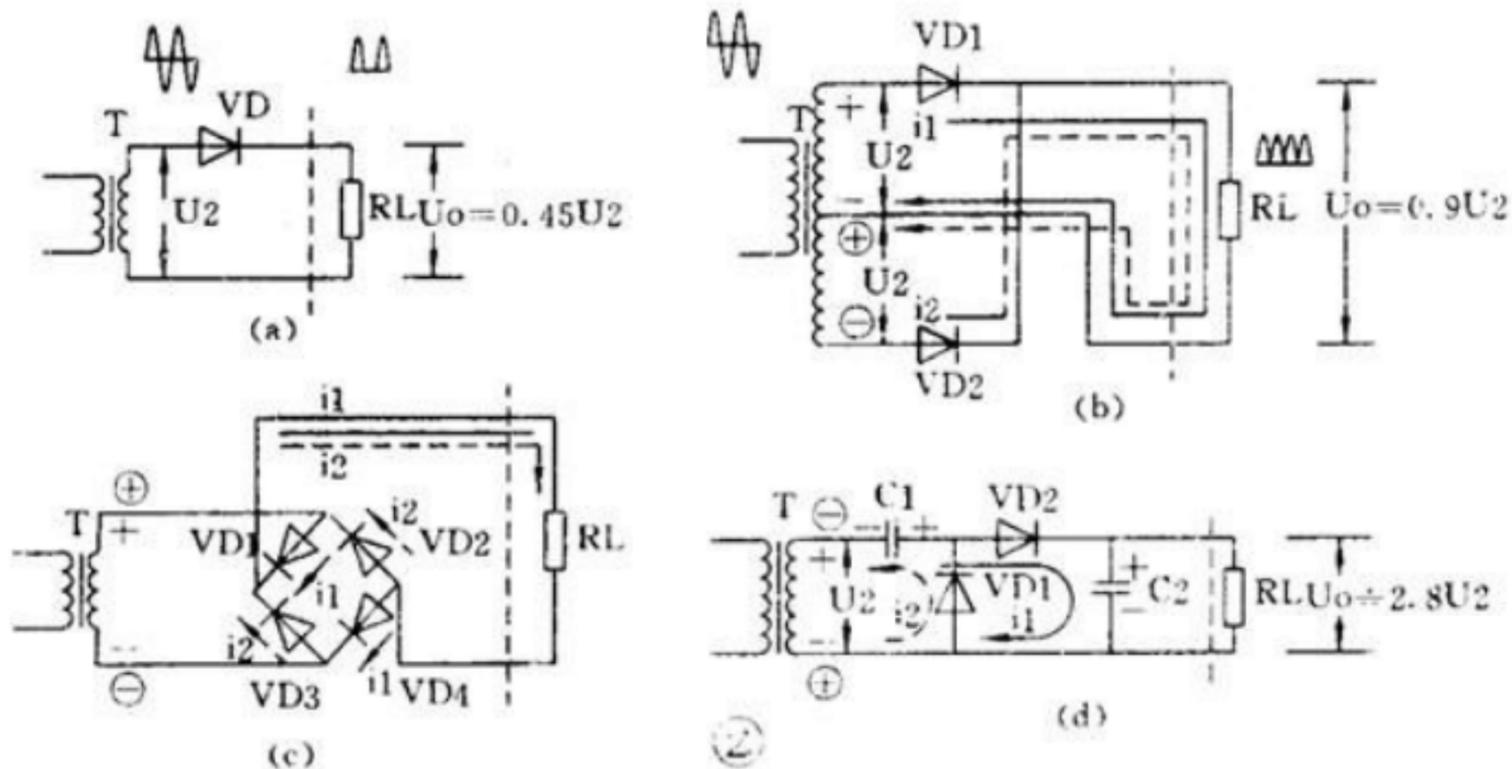


二、整流电路

整流电路是利用半导体二极管的单向导电性能把交流电变成单向脉动直流电的电路。

(1) 半波整流

半波整流电路只需一个二极管，见图 2 (a)。在交流电正半周时 VD 导通，负半周时 VD 截止，负载 R 上得到的是脉动的直流电



(2) 全波整流

全波整流要用两个二极管，而且要求变压器有带中心抽头的两个圈数相同的次级线圈，见图 2 (b)。负载 R_L 上得到的是脉动的全波整流电流，输出电压比半波整流电路高。

(3) 全波桥式整流

用 4 个二极管组成的桥式整流电路可以使用只有单个次级线圈的变压器，见图 2 (c)。负载上的电流波形和输出电压值与全波整流电路相同。

(4) 倍压整流

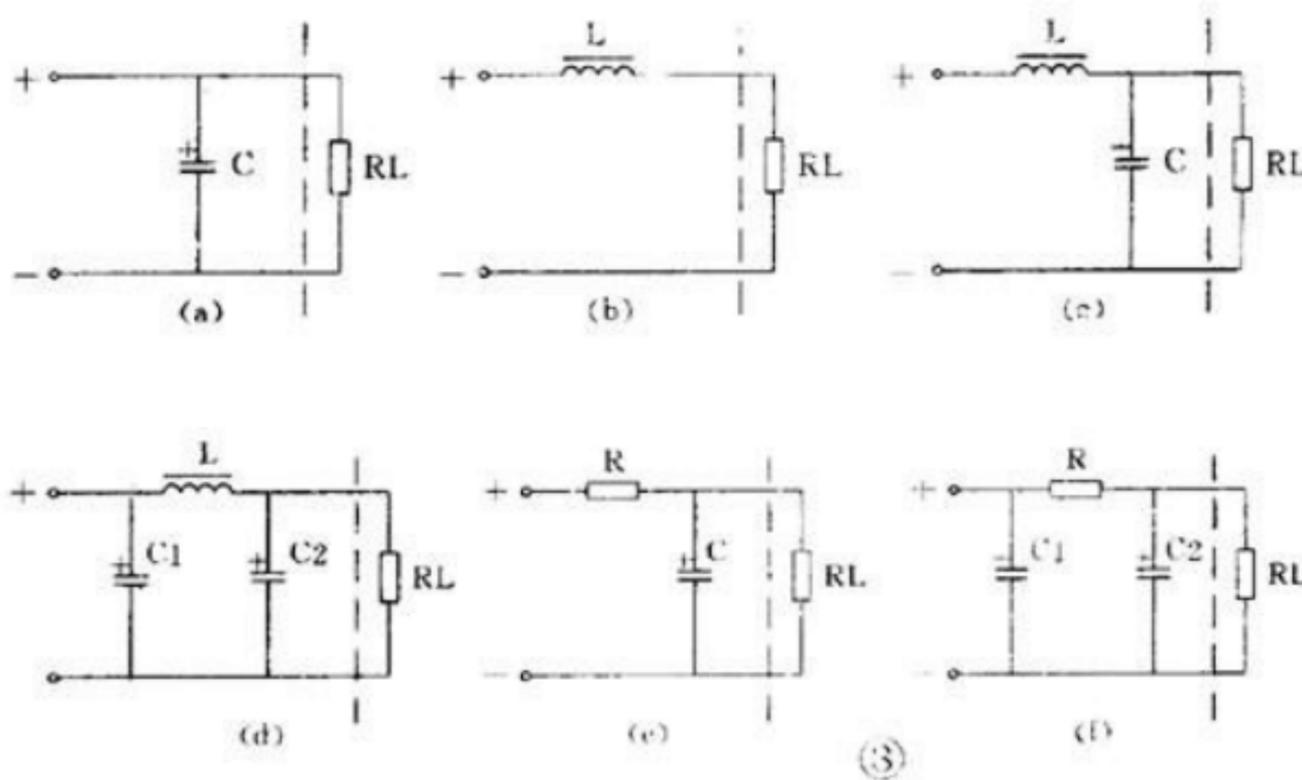
用多个二极管和电容器可以获得较高的直流电压。图 2 (d) 是一个二倍压整流电路。当 U_2 为负半周时 VD_1 导通， C_1 被充电， C_1 上最高电压可接近 $1.4U_2$ ；当 U_2 正半周时 VD_2 导通， C_1 上的电压和 U_2 叠加在一起对 C_2 充电，使 C_2 上电压接近 $2.8U_2$ ，是 C_1 上电压的 2 倍，所以叫倍压整流电路。

三、滤波电路

整流后得到的是脉动直流电，如果加上滤波电路滤除脉动直流电中的交流成分，就可得到平滑的直流电。

(1) 电容滤波

把电容器和负载并联，如图 3 (a)，正半周时电容被充电，负半周时电容放电，就可使负载上得到平滑的直流电。



(2) 电感滤波

把电感和负载串联起来，如图 3 (b)，也能滤除脉动电流中的交流成分。

(3) L 、 C 滤波

用 1 个电感和 1 个电容组成的滤波电路因为象一个倒写的字母“ L ”，被称为 L 型，见图 3 (c)。用 1 个电感和 2 个电容的滤波电路因为象字母“ ”，被称为 型，见图 3 (d)，这是滤波效果较好的电路。

(4) RC 滤波

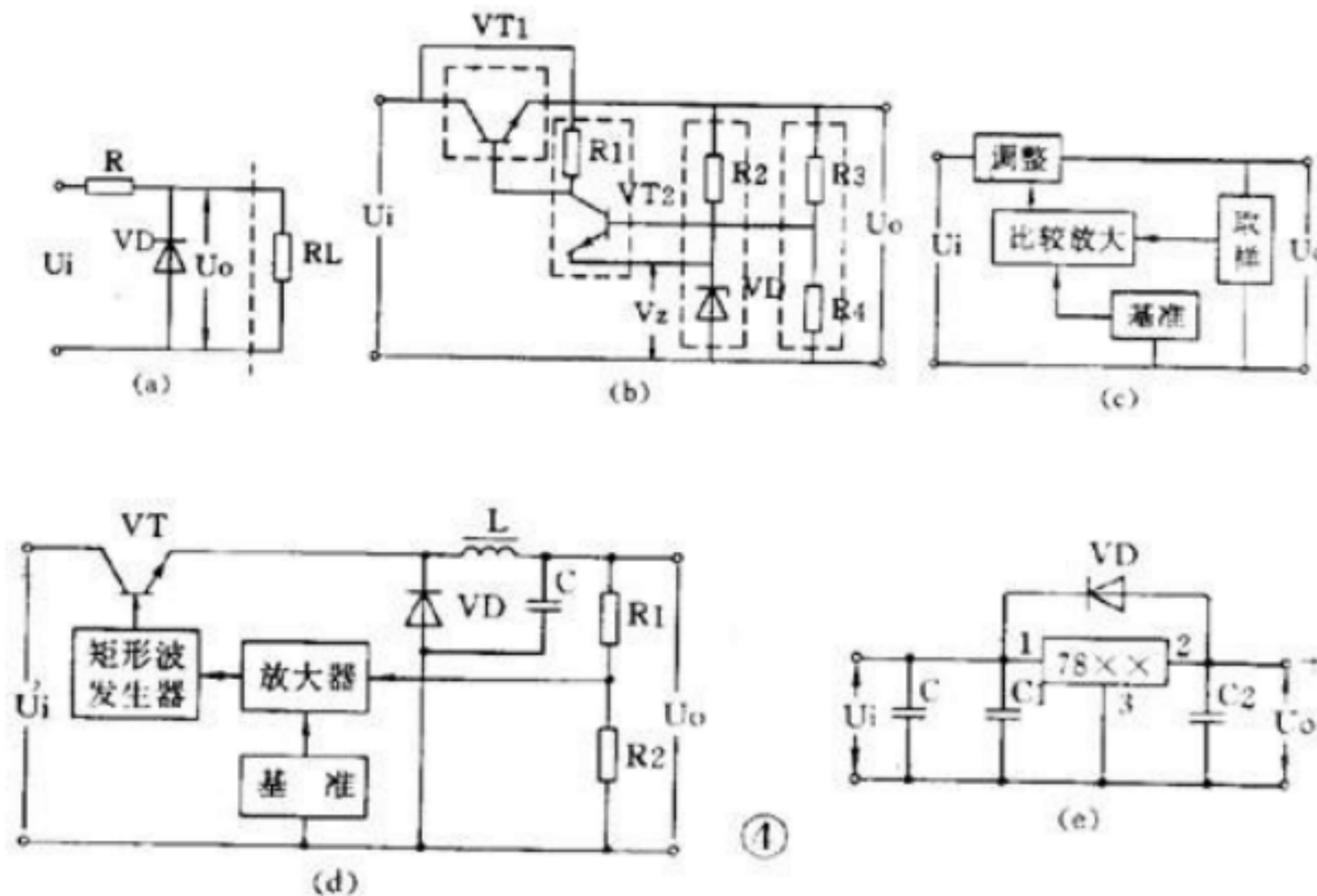
电感器 的成本高、 体积大，所以在电流不太大的电子电路中常用 电阻器 取代电感器而组成 RC 滤波电路。同样，它也有 L 型，见图 3 (e)； 型，见图 3 (f)。

四、稳压电路

交流电网电压的波动和负载电流的变化都会使整流电源的输出电压和电流随之变动， 因此要求较高的电子电路必须使用稳压电源。

(1) 稳压管并联稳压电路

用一个稳压管和负载并联的电路是最简单的稳压电路，见图 4 (a)。图中 R 是限流电阻。这个电路的输出电流很小，它的输出电压等于稳压管的稳定电压值 V_Z 。



(2) 串联型稳压电路

有放大和负反馈作用的串联型稳压电路是最常用的稳压电路。它的电路和框图见图 4 (b)、(c)。它是从取样电路 (R3 、 R4) 中检测出输出电压的变动，与基准电压 (Vz) 比较并经放大器 (VT2) 放大后加到调整管 (VT1) 上，使调整管两端的电压随着变化。如果输出电压下降，就使调整管管压降也降低，于是输出电压被提升；如果输出电压上升，就使调整管管压降也上升，于是输出电压被压低，结果就使输出电压基本不变。在这个电路的基础上发展成很多变型电路或增加一些辅助电路，如用复合管作调整管，输出电压可调的电路，用运算放大器作比较放大的电路，以及增加辅助电源和过流保护电路等。

(3) 开关型稳压电路

近年来广泛应用的新型稳压电源是开关型稳压电源。它的调整管工作在开关状态，本身功耗很小，所以效率高、体积小等优点，但电路比较复杂。

开关稳压电源从原理上分有很多种。它的基本原理框图见图 4 (d)。图中电感 L 和电容 C 是储能和滤波元件，二极管 VD 是调整管在关断状态时为 L 、 C 滤波器提供电流通路的续流二极管。开关稳压电源的开关频率都很高，一般为几~几十千赫，所以电感器的体积不很大，输出电压中的高次谐波也不多。

它的基本工作原理是：从取样电路 (R3 、 R4) 中检测出取样电压经比较放大后去控制一个矩形波发生器。矩形波发生器的输出脉冲是控制调整管 (VT) 的导通和截止时间的。如果输出电压 U0 因为电网电压或负载电流的变动而降低，就会使矩形波发生器的输出脉冲变宽，于是调整管导通时间增大，使 L 、 C 储能电路得到更多的能量，结果是使输出电压 U0 被提升，达到了稳定输出电压的目的。

(4) 集成化稳压电路

近年来已有大量集成稳压器产品问世，品种很多，结构也各不相同。目前用得较多的有三端集成稳压器，有输出正电压的 CW7800 系列和输出负电压的 CW7900 系列等产品。输出电流从 0.1A ~ 3A，输出电压有 5V、6V、9V、12V、15V、18V、24V 等多种。

这种集成稳压器只有三个端子，稳压电路的所有部分包括大功率调整管以及保护电路等都已集成在芯片内。使用时只要加上散热片后接到整流滤波电路后面就行了。外围元件少，稳压精度高，工作可靠，一般不需调试。

图 4 (e) 是一个三端稳压器电路。图中 C 是主滤波电容，C1、C2 是消除寄生振荡的电容，VD 是为防止输入短路烧坏集成块而使用的保护二极管。

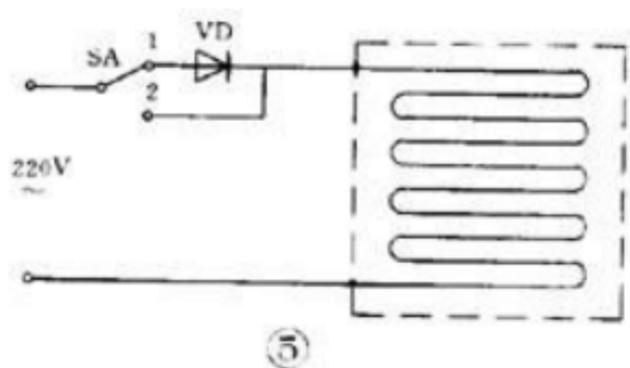
五、电源电路读图要点和举例

电源电路是电子电路中比较简单然而却是应用最广的电路。拿到一张电源电路图时，应该：先按“整流—滤波—稳压”的次序把整个电源电路分解开来，逐级细细分析。逐级分析时要分清主电路和辅助电路、主要元件和次要元件，弄清它们的作用和参数要求等。例如开关稳压电源中，电感电容和续流二极管就是它的关键元件。因为晶体管有 NPN 和 PNP 型两类，某些集成电路要求双电源供电，所以一个电源电路往往包括有不同极性不同电压值和好几组输出。读图时必须分清各组输出电压的数值和极性。在组装和维修时也要仔细分清晶体管和电解电容的极性，防止出错。熟悉某些习惯画法和简化画法。

最后把整个电源电路从前到后全面综合贯通起来。这张电源电路图也就读懂了。

例 1 电热毯控温电路

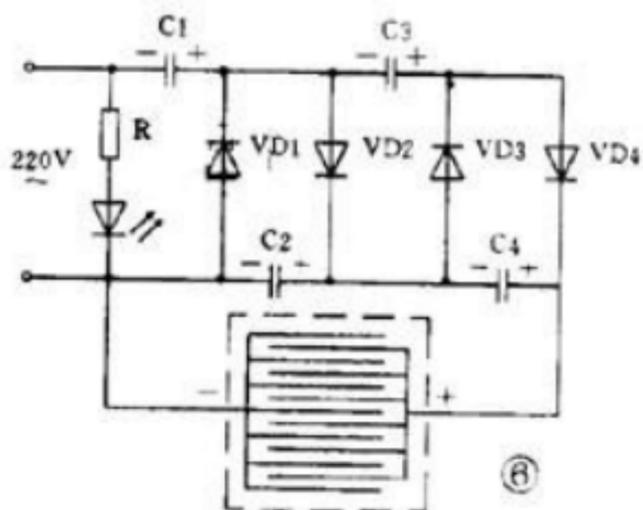
图 5 是一个电热毯电路。开关在“1”的位置是低温档。220 伏市电经二极管后接到电热毯，因为是半波整流，电热毯两端所加的是约 100 伏的脉动直流电，发热不高，所以是保温或低温状态。开关扳到“2”的位置，220 伏市电直接接到电热毯上，所以是高温档。



例 2 高压电子灭蚊蝇器

图 6 是利用倍压整流原理得到小电流直流高压电的灭蚊蝇器。220 伏交流经过四倍压整流后输出电压可达 1100 伏，把这个直流高压加到平行的金属网上。网下放诱饵，当苍蝇停在网上时造成短路，电容器上的高压通过苍蝇身体放

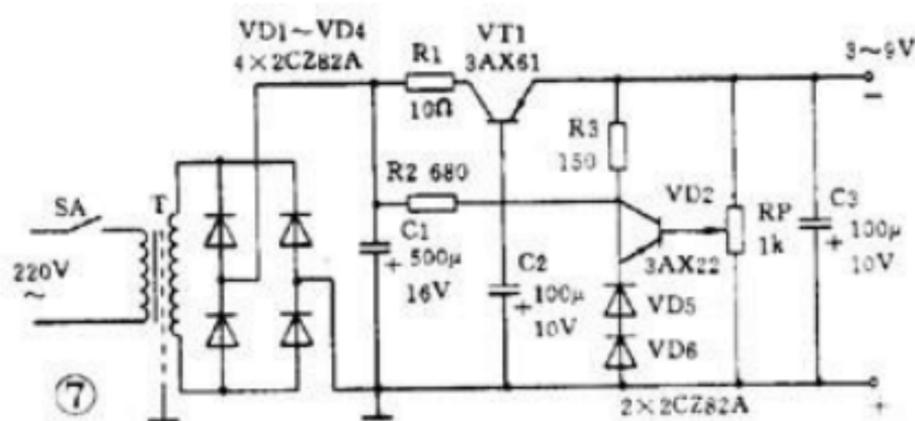
电把蝇击毙。苍蝇尸体落下后，电容器又被充电，电网又恢复高压。这个高压电网电流很小，因此对人无害。



由于昆虫夜间有趋光性，因此如在这电网后面放一个 3 瓦荧光灯或小型黑光灯，就可以诱杀蚊虫和有害昆虫。

例 3 实用稳压电源

图 7 是一个实用的稳压电源。输出电压 3 ~ 9 伏可调，输出电流最大 100 毫安。这个电路就是串联型稳压电源电路。要注意的是：整流桥的画法和图 2 (c) 不同，实际上它就是桥式整流电路。这个电路使用 PNP 型锗管，所以输出是负电压，正极接地。用两个普通二极管代替稳压管。任何二极管的正向压降都是基本不变的，因此可用二极管代替稳压管。2AP 型二极管的正向压降约是 0.3 伏，2CP 型约是 0.7 伏，2CZ 型约是 1 伏。图中用了两个 2CZ 二极管作基准电压。取样电阻是一个电位器，所以输出电压是可调的。



能够把微弱的信号放大的电路叫做放大电路或放大器。例如助听器里的关键部件就是一个放大器。

放大电路的用途和组成

放大器有交流放大器和直流放大器。交流放大器又可按频率分为低频、中频和高频；按输出信号强弱分成电压放大、功率放大等。此外还有用集成运算放

大器和特殊 晶体管作器件的放大器。它是电子电路中最复杂多变的电路。但初学者经常遇到的也只是少数几种较为典型的放大电路。

读放大电路图时也还是按照“逐级分解、抓住关键、细致分析、全面综合”的原则和步骤进行。首先把整个放大电路按输入、输出逐级分开，然后逐级抓住关键进行分析弄通原理。放大电路有它本身的特点：一是有静态和动态两种工作状态，所以有时往往要画出它的直流通路和交流通路才能进行分析；二是电路往往加有负反馈，这种反馈有时在本级内，有时是从后级反馈到前级，所以在分析这一级时还要能“瞻前顾后”。在弄通每一级的原理之后就可以把整个电路串通起来进行全面综合。

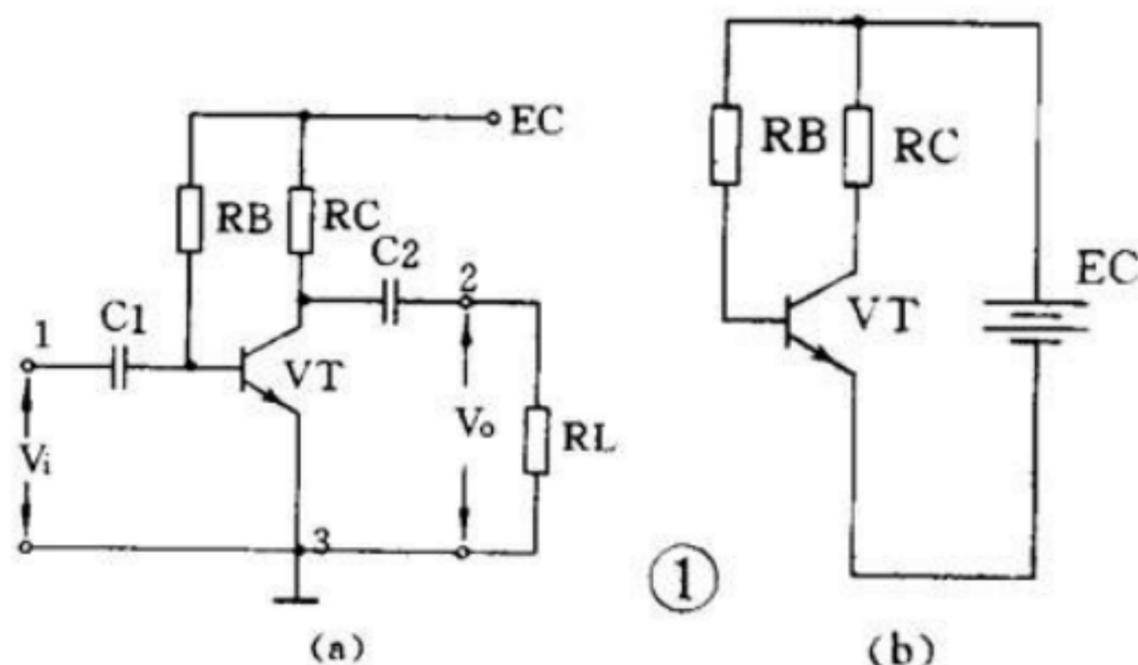
下面我们介绍几种常见的放大电路。

低频电压放大器

低频电压放大器是指工作频率在 20 赫 ~ 20 千赫之间、输出要求有一定电压值而不要求很强的电流的放大器。

(1) 共发射极放大电路

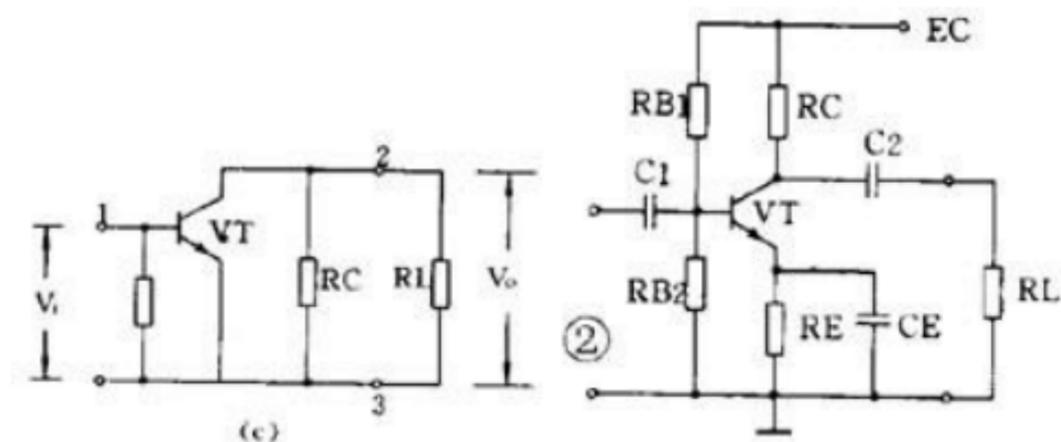
图 1 (a) 是共发射极放大电路。C1 是输入电容，C2 是输出电容，三极管 VT 就是起放大作用的器件，RB 是基极偏置电阻，RC 是集电极负载电阻。1、3 端是输入，2、3 端是输出。3 端是公共点，通常是接地的，也称“地”端。静态时的直流通路见图 1 (b)，动态时交流通路见图 1 (c)。电路的特点是电压放大倍数从十几到一百多，输出电压的相位和输入电压是相反的，性能不够稳定，可用于一般场合。



(2) 分压式偏置共发射极放大电路

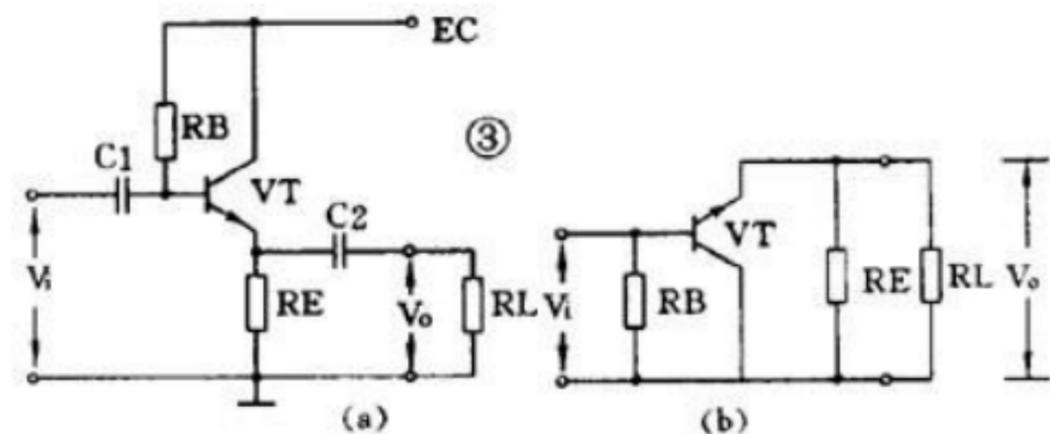
图 2 比图 1 多用 3 个元件。基极电压是由 RB1 和 RB2 分压取得的，所以称为分压偏置。发射极中增加电阻 RE 和电容 CE，CE 称交流旁路电容，对

交流是短路的；RE 则有直流负反馈作用。所谓反馈是指把输出的变化通过某种方式送到输入端，作为输入的一部分。如果送回部分和原来的输入部分是相减的，就是负反馈。图中基极 真正的输入电压是 RB2 上电压和 RE 上电压的差值，所以是负反馈。由于采取了上面两个措施，使电路工作稳定性能提高，是应用最广的放大电路。



(3) 射极输出器

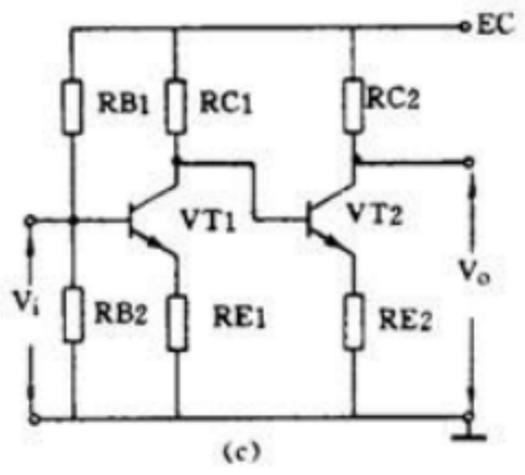
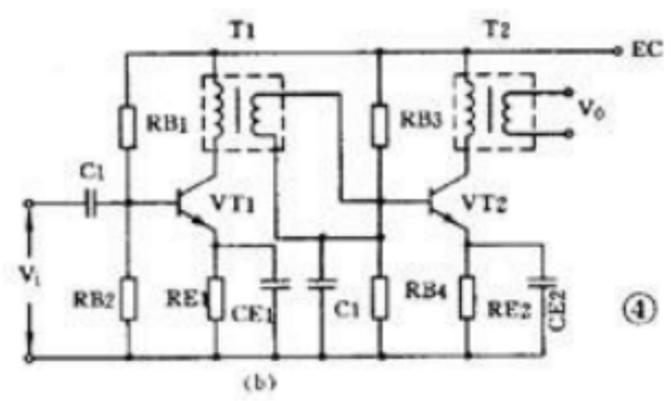
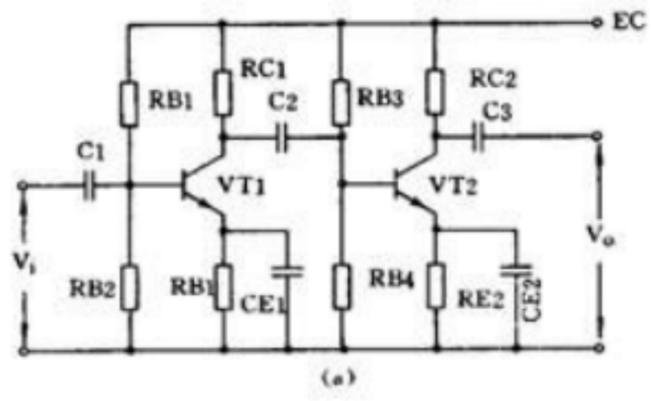
图 3 (a)是一个射极输出器。它的输出电压是从射极输出的。图 3 (b)是它的交流通路图，可以看到它是共集电极放大电路。



这个图中，晶体管真正的输入是 V_i 和 V_o 的差值，所以这是一个交流负反馈很深的电路。由于很深的负反馈，这个电路的特点是：电压放大倍数小于 1 而接近 1，输出电压和输入电压同相，输入阻抗高输出阻抗低，失真小，频带宽，工作稳定。它经常被用作放大器的输入级、输出级或作阻抗匹配之用。

(4) 低频放大器的耦合

一个放大器通常有好几级，级与级之间的联系就称为耦合。放大器的级间耦合方式有三种：RC耦合，见图 4 (a)。优点是简单、成本低。但性能不是最佳。变压器耦合，见图 4 (b)。优点是阻抗匹配好、输出功率和效率高，但变压器制作比较麻烦。直接耦合，见图 4 (c)。优点是频带宽，可作直流放大器使用，但前后级工作有牵制，稳定性差，设计制作较麻烦。



第一章 电子元器件

第一节、电阻器

1.1 电阻器的含义：在电路中对电流有阻碍作用并且造成能量消耗的部分叫电阻。

1.2 电阻器的英文缩写：R (Resistor) 及排阻 RN

1.3 电阻器在电路符号： 或

1.4 电阻器的常见单位：千欧姆 (K)，兆欧姆 (M)

1.5 电阻器的单位换算：1 兆欧 = 10^3 千欧 = 10^6 欧

1.6 电阻器的特性：电阻为线性原件，即电阻两端电压与流过电阻的电流成正比，

通过这段导体的电流强度与这段导体的电阻成反比。即欧姆定律： $I=U/R$ 。

表 1.7 电阻的作用为分流、限流、分压、偏置、滤波（与电容器组合使用）和阻抗匹配等。

1.8 电阻器在电路中用“R”加数字表示，如：R15 表示编号为 15 的电阻器。

1.9 电阻器的在电路中的参数标注方法有 3 种，即直标法、色标法和数标法。

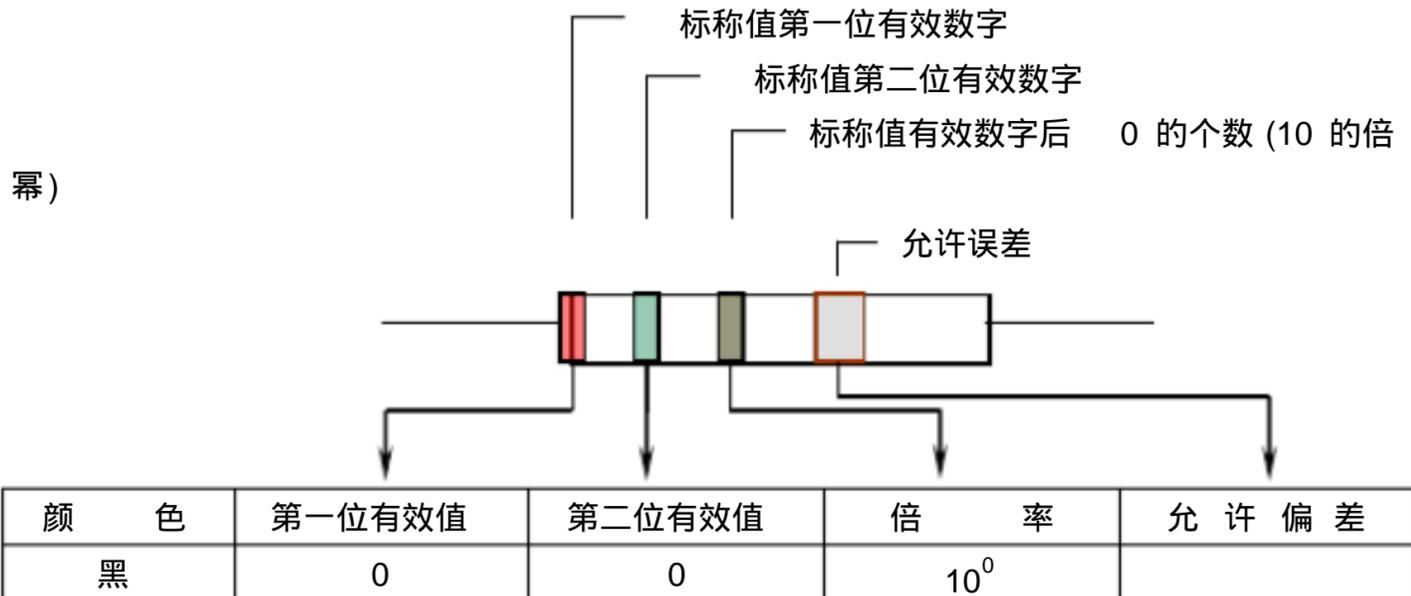
a、直标法是将电阻器的标称值用数字和文字符号直接标在电阻体上，其允许偏差则用百分数表示，未标偏差值的即为 $\pm 20\%$ 。

b、数码标示法主要用于贴片等小体积的电路，在三为数码中，从左至右第一、二位数字表示有效数字，第三位表示 10 的倍幂或者用 R 表示 (R 表示 0.) 如：472 表示 47×10^2 (即 4.7K)；104 则表示 100×10^4 、;R22 表示 0.22、122= $1200 = 1.2K$ 、1402= $14000 = 14K$ 、R22=0.22、50C= $324 \times 100 = 32.4K$ 、17R8=17.8、000=0、0=0。

c、色环标注法使用最多，普通的色环电阻器用 4 环表示，精密电阻器用 5 环表示，紧靠电阻体一端头的色环为第一环，露着电阻体本色较多的另一端头为末环。现举例如下：

如果色环电阻器用四环表示，前面两位数字是有效数字，第三位是 10 的倍幂，第四环是色环电阻器的误差范围 (见图一)

四色环电阻器 (普通电阻)



棕	1	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	3	10^3	
黄	4	4	10^4	
绿	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	10^6	$\pm 0.25\%$
紫	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	10^8	
白	9	9	10^9	20% ~ +50%
金			10^{-1}	$\pm 5\%$
银			10^{-2}	$\pm 10\%$
无色				$\pm 20\%$

图 1-1 两位有效数字阻值的色环表示法

如果色环电阻器用五环表示，前面三位数字是有效数字，第四位是 10 的倍幂。第五环是色环电阻器的误差范围。(见图二)

五色环电阻器（精密电阻）

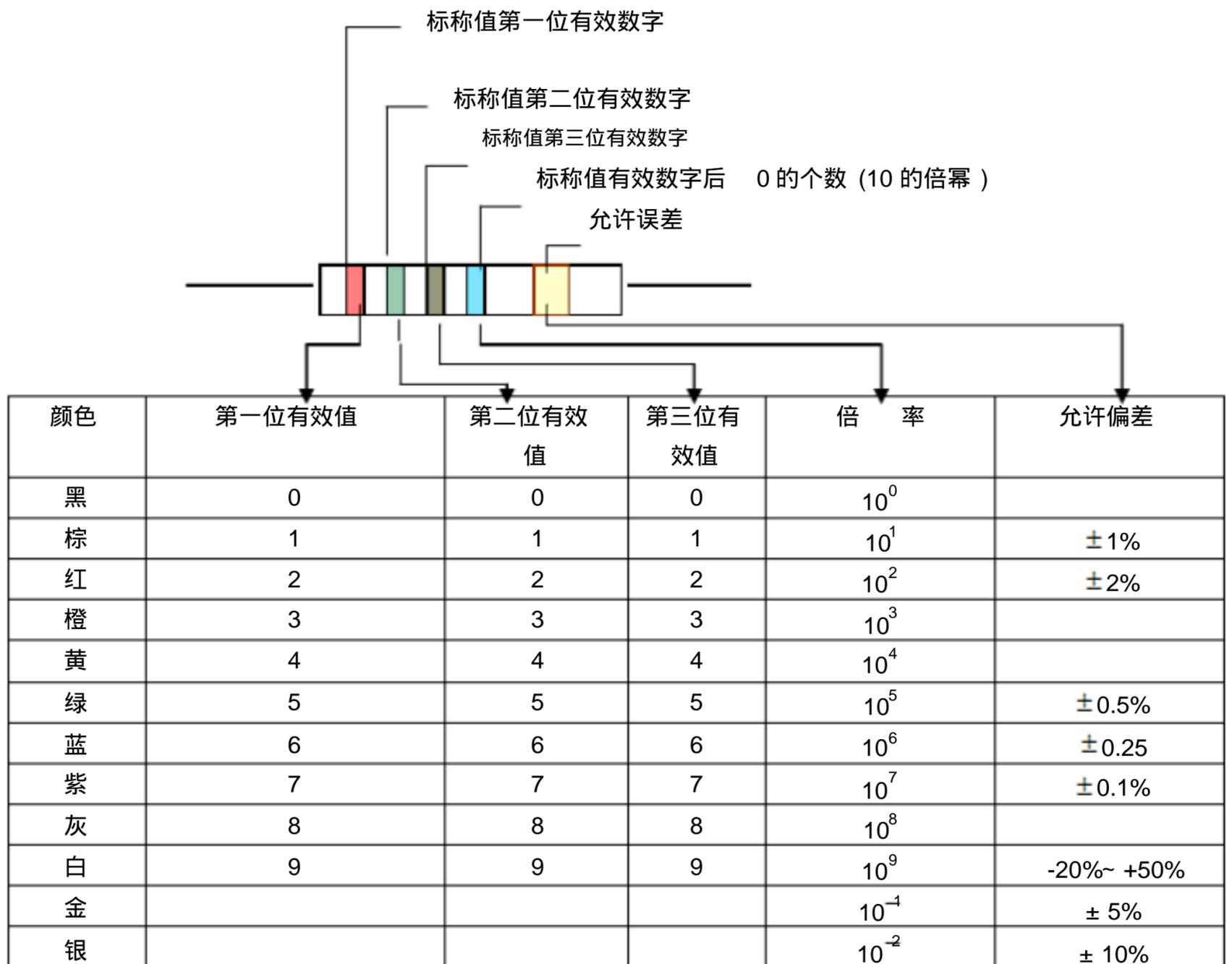


图 1-2 三位有效数字阻值的色环表示法

d、SMT 精密电阻的表示法，通常也是用 3 位标示。一般是 2 位数字和 1 位字母表示，两个数字是有效数字，字母表示 10 的倍幂，但是要根据实际情况到精密电阻查询表里出

查找 .下面是精密电阻的查询表 :

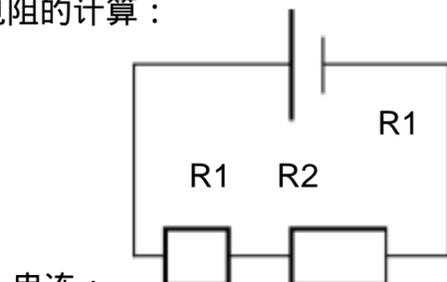
代码	阻值	代码	阻值	代码	阻值	代码	阻值	代码	阻值
code	resiscane	code	resiscance	code	resiscance	code	resiscance	code	resiscance
1	100	21	162	41	261	61	422	81	681
2	102	22	165	42	267	62	432	82	698
3	105	23	169	43	274	63	442	83	715
4	107	24	174	44	280	64	453	84	732
5	110	25	178	45	287	65	464	85	750
6	113	26	182	46	294	66	475	86	768
7	115	27	187	47	301	67	487	87	787
8	118	28	191	48	309	68	499	88	806
9	121	29	0.196	49	316	69	511	89	825
10	124	30	200	50	324	70	523	90	845
11	127	31	3205	51	332	71	536	91	866
12	130	32	210	52	340	72	549	92	887
13	133	33	215	53	348	73	562	93	909
14	137	34	221	54	357	74	576	94	931
15	140	35	226	55	365	75	590	94	981
16	143	36	232	56	374	76	604	95	953
17	147	37	237	57	383/388	77	619	96	976
18	150	38	243	58	392	78	634	96	976
19	154	39	249	59	402	79	649		
20	153	40	255	60	412	80	665		

symbol	A	B	C	D	E	F	G	H	X	Y	Z
multipliers	10 ⁰	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³

1.10 SMT 电阻的尺寸表示：用长和宽表示（如 0201，0603，0805，1206 等，具体如 02 表示长为 0.02 英寸宽为 0.01 英寸）。

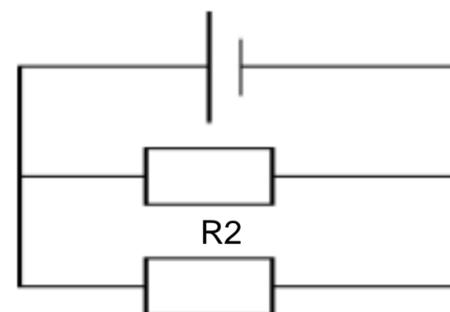
1.11 一般情况下电阻在电路中有两种接法：串联接法和并联接法

电阻的计算：



串联：

$$R=R_1+R_2$$



并联：

$$R=1/R_1+1/R_2$$

1.12 多个电阻的串并联的计算方法：

串联：R总串 =R1+R2+R3+... Rn.

并联： $1/R_{\text{总并}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n$

1.13 电阻器好坏的检测：

- a、用指针万用表判定电阻的好坏：首先选择测量档位，再将倍率档旋钮置于适当的档位，一般 100 欧姆以下电阻器可选 RX1 档，100 欧姆-1K 欧姆的电阻器可选 RX10 档，1K 欧姆-10K 欧姆电阻器可选 RX100 档，10K-100K 欧姆的电阻器可选 RX1K 档，100K 欧姆以上的电阻器可选 RX10K 档。
- b、测量档位选择确定后，对万用表电阻档为进行校 0，校 0 的方法是：将万用表两表笔金属棒短接，观察指针有无到 0 的位置，如果不在 0 位置，调整调零旋钮表针指向电阻刻度的 0 位置。
- c、接着将万用表的两表笔分别和电阻器的两端相接，表针应指在相应的阻值刻度上，如果表针不动和指示不稳定或指示值与电阻器上的标示值相差很大，则说明该电阻器已损坏。
- d、用数字万用表判定电阻的好坏；首先将万用表的档位旋钮调到欧姆档的适当档位，一般 200 欧姆以下电阻器可选 200 档，200-2K 欧姆电阻器可选 2K 档，2K-20K 欧姆可选 20K 档，20K-200K 欧姆的电阻器可选 200K 档，200K-200M 欧姆的电阻器选择 2M 欧姆档，2M-20M 欧姆的电阻器选择 20M 档，20M 欧姆以上的电阻器选择 200M 档。

第二节 电容器

2.1 电容器的含义：衡量导体储存电荷能力的物理量。

2.2 电容器的英文缩写：C (capacitor)

2.3 电容器在电路中的表示符号： 或 CN(排容)

2.4 电容器常见的单位：毫法 (mF)、微法 (uF)、纳法 (nF)、皮法 (pF)

2.5 电容器的单位换算：1 法拉 = 10^3 毫法 = 10^6 微法 = 10^9 纳法 = 10^{12} 皮法； $1\text{pf}=10^{-3}\text{nf}=10^{-6}\text{uf}=10^{-9}\text{mf}=10^{-12}\text{f}$;

2.6 电容的作用：隔直流，旁路，耦合，滤波，补偿，充放电，储能等

2.7 电容器的特性：电容器容量的大小就是表示能贮存电能的大小，电容对交流信号的阻碍作用称为容抗，它与交流信号的频率和电容量有关。电容的特性主要是隔直流通交流，通低频阻高频。

2.8 电容器在电路中一般用“C”加数字表示。如 C25 表示编号为 25 的电容。

2.9 电容器的识别方法与电阻的识别方法基本相同，分直标法、色标法和数标法 3 种。

a; 直标法是将电容的标称值用数字和单位在电容的本体上表示出来：如：220MF 表示 220UF；.01UF 表示 0.01UF；R56UF 表示 0.56UF;6n8 表示 6800PF。

b; 不标单位的数码表示法。其中用一位到四位数表示有效数字，一般为 PF,而电解电容其容量则为 UF.如:3 表示 3PF;2200 表示 2200PF;0.056 表示 0.056UF;

c; 数字表示法：一般用三位数字表示容量的大小，前两位表示有效数字，第三位表示 10 的倍幂。如 102 表示 $10 \times 10^2 = 1000\text{PF}$;224 表示 $22 \times 10^4 = 0.22\text{UF}$

d: 用色环或色点表示电容器的主要参数。电容器的色标法与电阻相同。

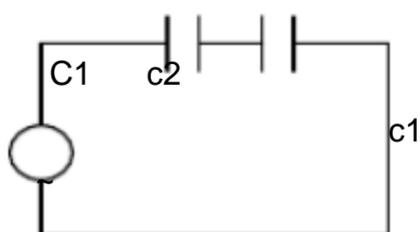
电容器偏差标志符号：+100%-0--H、+100%-10%--R、+50%-10%--T、+30%-10%--Q、+50%-20%--S、+80%-20%--Z。

2.10 电容的分类：根据极性可分为有极性电容和无极性电容。我们常见到的电解电容就是有极性的，是有正负极之分。

2.11 电容器的主要性能指标是：电容器的容量（即储存电荷的容量），耐压值（指在额定温度范围内电容能长时间可靠工作的最大直流电压或最大交流电压的有效值）耐温值（表示电容所能承受的最高工作温度）。

2.12 电容器的品牌有：主板电容主要分为台系和日系两种，日系品牌有：NICHICON，RUBICON，RUBYCON（红宝石）、KZG、SANYO（三洋）、PANASONIC（松下）、NIPPON、FUJITSU（富士通）等；台系品牌有：TAICON、G-LUXCON、TEAPO、CAPXON、OST、GSC、RLS 等。

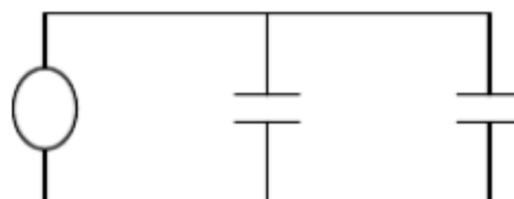
电容器的计算：



串联：

$$1/C=1/C1+1/C2$$

$$C=C1+C2$$



并联：

2.13 多个电容的串联和并联计算公式：

$$C \text{ 串}: 1/C=1/C1+1/C2+1/C3+\dots+1/CN$$

$$C \text{ 并 } C=C1+C2+C3+\dots+CN$$

2.14 电容器的好坏测量

a; 脱离线路时检测

采用万用表R 31 k挡，在检测前，先将电解电容的两根引脚相碰，以便放掉电容内残余的电荷。当表笔刚接通时，表针向右偏转一个角度，然后表针缓慢地向左回转，最后表针停下。表针停下来所指示的阻值为该电容的漏电电阻，此阻值愈大愈好，最好应接近无穷大处。如果漏电电阻只有几十千欧，说明这一电解电容漏电严重。表针向右摆动的角度越大（表针还应该向左回摆），说明这一电解电容的电容量也越大，反之说明容量越小。

b. 线路上直接检测

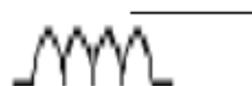
主要是检测电容器是否已开路或已击穿这两种明显故障，而对漏电故障由于受外电路的影响一般是测不准的。用万用表R 31挡，电路断开后，先放掉残存在电容器内的电荷。测量时若表针向右偏转，说明电解电容内部断路。如果表针向右偏转后所指示的阻值很小（接近短路），说明电容器严重漏电或已击穿。如果表针向右偏后无回转，但所指示的阻值不很小，说明电容器开路的可能很大，应脱开电路后进一步检测。

c. 线路上通电状态时检测，若怀疑电解电容只在通电状态下才存在击穿故障，可以给电路通电，然后用万用表直流挡测量该电容器两端的直流电压，如果电压很低或为0 V，则是该电容器已击穿。对于电解电容的正、负极标志不清楚的，必须先判别出它的正、负极。对换万用表笔测两次，以漏电大（电阻值小）的一次为准，黑表笔所接一脚为负极，另一脚为正极。

第三节 电感器

3.1 电感器的英文缩写： L (Inductance)

电路符号：



3.2 电感器的国际标准单位是：H(亨利),mH(毫亨),uH(微亨),nH(纳亨)；

3.3 电感器的单位换算是： $1\text{H}=10^3\text{mH}=10^6\text{uH}=10^9\text{nH}$ ； $1\text{nH}=10^{-3}\text{uH}=10^{-6}\text{mH}=10^{-9}\text{H}$

3.4 电感器的特性：通直流隔交流；通低频阻高频。

3.5 电感器的作用：滤波，陷波，振荡，储存磁能等。

3.6 电感器的分类：空芯电感和磁芯电感。磁芯电感又可称为铁芯电感和铜芯电感等。主机板中常见的是铜芯绕线电感。

3.7 电感在电路中常用“L”加数字表示，如：L6表示编号为6的电感。电感线圈是将绝缘的导线在绝缘的骨架上绕一定的圈数制成。直流可通过线圈，直流电阻就是导线本身的电阻，压降很小；当交流信号通过线圈时，线圈两端将会产生自感电动势，自感电动势的方向与外加电压的方向相反，阻碍交流的通过，所以电感的特性是通直流阻交流，频率越高，线圈阻抗越大。电感在电路中可与电容组成振荡电路。电感一般有直标法和色标法，色标法与电阻类似。如：棕、黑、金、金表示1uH(误差5%)的电感。

3.8 电感的好坏测量：电感的质量检测包括外观和阻值测量。首先检测电感的外表有无完好，磁性有无缺损，裂缝，金属部分有无腐蚀氧化，标志有无完整清晰，接线有无断裂和拆伤等。用万用表对电感作初步检测，测线圈的直流电阻，并与原已知的正常电阻值进行比较。如果检测值比正常值显著增大，或指针不动，可能是电感器本体断路。若比正常值小许多，可判断电感器本体严重短路，线圈的局部短路需用专用仪器进行检测。

第四节 半导体二极管

4.1 英文缩写：D (Diode)

电路符号是



4.2 半导体二极管的分类

分类：a 按材质分：硅二极管和锗二极管；

b 按用途分：整流二极管，检波二极管，稳压二极管，发光二极管，光电二极管，变容二极管。



稳压二极管



发光二极管



光电二极管



变容二极管

4.3 半导体二极管在电路中常用“D”加数字表示，如：D5表示编号为5的半导体二极管。

4.4 半导体二极管的导通电压是：

a; 硅二极管在两极加上电压，并且电压大于0.6V时才能导通，导通后电压保持在0.6-0.8V之间。

B; 锗二极管在两极加上电压，并且电压大于0.2V时才能导通，导通后电压保持在0.2-0.3V之间。

4.5 半导体二极管主要特性是单向导电性，也就是在正向电压的作用下，导通电阻很小；而在反向电压作用下导通电阻极大或无穷大。

4.6 半导体二极管可分为整流、检波、发光、光电、变容等作用。

4.7 半导体二极管的识别方法：

a; 目视法判断半导体二极管的极性：一般在实物的电路图中可以通过眼睛直接看出半导体二极管的正负极。在实物中如果看到一端有颜色标示的是负极，另外一端是正极。

b;用万用表(指针表)判断半导体二极管的极性：通常选用万用表的欧姆档($R \times 100$ 或 $R \times 1K$)，然后分别用万用表的两表笔分别出接到二极管的两个极上，当二极管导通，测的阻值较小(一般几十欧姆至几千欧姆之间)，这时黑表笔接的是二极管的正极，红表笔接的是二极管的负极。当测的阻值很大(一般为几百至几千欧姆)，这时黑表笔接的是二极管的负极，红表笔接的是二极管的正极。

c; 测试注意事项：用数字式万用表去测二极管时，红表笔接二极管的正极，黑表笔接二极管的负极，此时测得的阻值才是二极管的正向导通阻值，这与指针式万用表的表笔接法刚好相反。

4.8 变容二极管是根据普通二极管内部“PN结”的结电容能随外加反向电压的变化而变化这一原理专门设计出来的一种特殊二极管。变容二极管在无绳电话机中主要用在手

机或座机的高频调制电路上，实现低频信号调制到高频信号上，并发射出去。在工作状态，变容二极管调制电压一般加到负极上，使变容二极管的内部结电容容量随调制电压的变化而变化。

变容二极管发生故障，主要表现为漏电或性能变差：

(1) 发生漏电现象时，高频调制电路将不工作或调制性能变差。

(2) 变容性能变差时，高频调制电路的工作不稳定，使调制后的高频信号发送到对方被对方接收后产生失真。

出现上述情况之一时，就应该更换同型号的变容二极管。

4.9 稳压二极管的基本知识

a、稳压二极管的稳压原理：稳压二极管的特点就是击穿后，其两端的电压基本保持不变。这样，当把稳压管接入电路以后，若由于电源电压发生波动，或其它原因造成电路中各点电压变动时，负载两端的电压将基本保持不变。

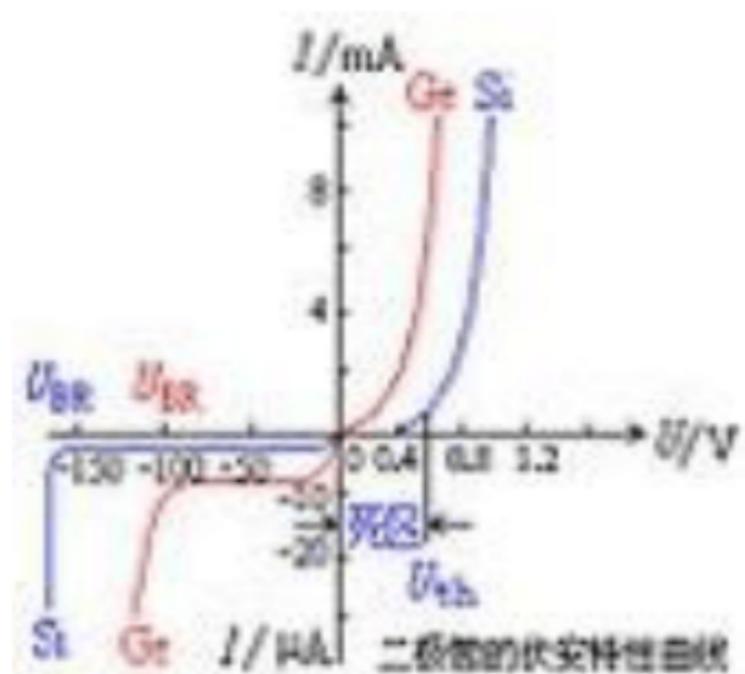
b、故障特点：稳压二极管的故障主要表现在开路、短路和稳压值不稳定。在这3种故障中，前一种故障表现出电源电压升高；后2种故障表现为电源电压变低到零伏或输出不稳定。

c、常用稳压二极管的型号及稳压值如下表：

型 号	1N4728	1N4729	1N4730	1N4732	1N4733	1N4734	1N4735	1N4744	1N4750	1N4751	1N4761
稳压值	3.3V	3.6V	3.9V	4.7V	5.1V	5.6V	6.2V	15V	27V	30V	75V

4.10 半导体二极管的伏安特性：二极管的基本特性是单向导电性（注：硅管的导通电压为 0.6 - 0.8V；锗管的导通电压为 0.2 - 0.3V），而工程分析时通常采用的是 0.7V。

4.11 半导体二极管的伏安特性曲线：（通过二极管的电流 I 与其两端电压 U 的关系曲线为二极管的伏安特性曲线。）见图三。



图三 硅和锗管的伏安特性曲线

4.12 半导体二极管的好坏判别 :用万用表 (指针表) $R \times 100$ 或 $R \times 1K$ 档测量二极管的正,反向电阻要求在 $1K$ 左右,反向电阻应在 $100K$ 以上.总之,正向电阻越小,越好.反向电阻越大越好.若正向电阻无穷大,说明二极管内部断路,若反向电阻为零,表明二极管以击穿,内部断开或击穿的二极管均不能使用。

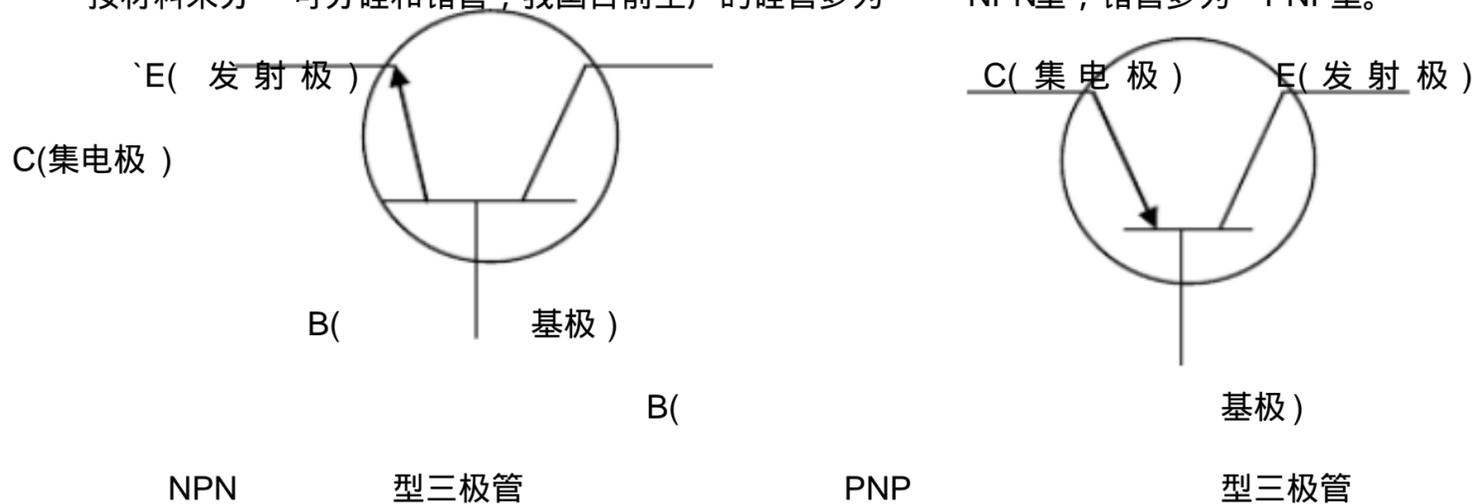
第五节 半导体三极管

5.1 半导体三极管英文缩写： Q/T

5.2 半导体三极管在电路中常用“ Q”加数字表示， 如：Q17表示编号为 17 的三极管。

5.3 半导体三极管特点：半导体三极管（简称晶体管）是内部含有 2 个 PN 结，并且具有放大能力的特殊器件。 它分 NPN型和 PNP型两种类型，这两种类型的三极管从工作特性上可互相弥补，所谓 OTL电路中的对管就是由 PNP型和 NPN型配对使用。

按材料来分 可分硅和锗管，我国目前生产的硅管多为 NPN型，锗管多为 PNP型。



5.4 半导体三极管放大的条件：要实现放大作用，必须给三极管加合适的电压，即管子发射结必须具备正向偏压，而集电极必须反向偏压，这也是三极管的放大必须具备的外部条件。

5.5 半导体三极管的主要参数

a; 电流放大系数：对于三极管的电流分配规律 $I_e = I_b + I_c$ ，由于基极电流 I_b 的变化，使集电极电流 I_c 发生更大的变化，即基极电流 I_b 的微小变化控制了集电极电流较大，这就是三极管的电流放大原理。即 $\beta = I_c / I_b$ 。

b; 极间反向电流，集电极与基极的反向饱和电流。

c; 极限参数：反向击穿电压，集电极最大允许电流、集电极最大允许功率损耗。

5.6 半导体三极管具有三种工作状态，放大、饱和、截止，在模拟电路中一般使用放大作用。饱和和截止状态一般合用在数字电路中。

a; 半导体三极管的三种基本的放大电路。

	共射极放大电路	共集电极放大电路	共基极放大电路
电路形式			
直流通道			
静态工作点	$I_B = \frac{U_{CC}}{R_b}$ $I_C = I_B$ $U_{CE} = U_{CC} - I_C R_c$	$I_B = \frac{U_{CC}}{R_b + (1 + \beta) R_e}$ $I_C = \beta I_B$ $U_{CE} = U_{CC} - I_C R_e$	$U_B = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} U_{CC}$ $I_C = I_E = \frac{U_B - 0.7}{R_e}$ $U_{CE} = U_{CC} - I_C (R_c + R_e)$
交流通道			
微变等效电路			
A_u	$-\frac{R'_L}{r_{be}}$	$\frac{(1 + \beta) R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R'_L}$	$\frac{R'_L}{r_{be}}$
r_i	$R_b // r_{be}$	$R_b // (r_{be} + (1 + \beta) R'_L)$	$R_e // \frac{r_{be}}{1 + \beta}$
r_o	R_c	$R_e // \frac{r_{be} + R'_S}{1 + \beta}, R'_S = R_b // R_s$	R_c
用途	多级放大电路的中间级	输入、输出级或缓冲级	高频电路或恒流源电路

b; 三极管三种放大电路的区别及判断可以从放大电路中通过交流信号的传输路径来判断，没有交流信号通过的极，就叫此极为公共极。

注：交流信号从基极输入，集电极输出，那发射极就叫公共极。

交流信号从基极输入，发射极输出，那集电极就叫公共极。

交流信号从发射极输入，集电极输出，那基极就叫公共极。

5.7 用万用表判断半导体三极管的极性和类型（用指针式万用表）。

a; 先选量程：R* 100 或 R* 1K 档位。

b; 判别半导体三极管基极：

用万用表黑表笔固定三极管的某一个电极，红表笔分别接半导体三极管另外两个电极，观察指针偏转，若两次的测量阻值都大或是都小，则改脚所接就是基极（两次阻值都小的为 NPN 型管，两次阻值都大的为 PNP 型管），若两次测量阻值一大一小，则用黑笔重新固定半导体三极管一个引脚继续测量，直到找到基极。

c; 判别半导体三极管的 c 极和 e 极：

确定基极后，对于 NPN 管，用万用表两表笔接三极管另外两极，交替测量两次，若两次测量的结果不相等，则其中测得阻值较小的一次黑笔接的是 e 极，红笔接得是 c 极（若是 PNP 型管则黑红表笔所接得电极相反）。

d; 判别半导体三极管的类型。

如果已知某个半导体三极管的基极，可以用红表笔接基极，黑表笔分别测量其另外两个电极引脚，如果测得的电阻值很大，则该三极管是 NPN 型半导体三极管，如果测量的电阻值都很小，则该三极管是 PNP 型半导体三极管。

5.8 现在常见的三极管大部分是塑封的，如何准确判断三极管的三只引脚哪个是 b、c、e？三极管的 b 极很容易测出来，但怎么断定哪个是 c 哪个是 e？

a; 这里推荐三种方法：第一种方法：对于有测三极管 hFE 插孔的指针表，先测出 b 极后，将三极管随意插到插孔中去（当然 b 极是可以插准确的），测一下 hFE 值，

b; 然后再将管子倒过来再测一遍，测得 hFE 值比较大的一次，各管脚插入的位置是正确的。第二种方法：对无 hFE 测量插孔的表，或管子太大不方便插入插孔的，可以用这种方法：对 NPN 管，先测出 b 极（管子是 NPN 还是 PNP 以及其 b 脚都很容易测出，是吧？），将表置于 R₃ 1k 档，将红表笔接假设的 e 极（注意拿红表笔的手不要碰到表笔尖或管脚），黑表笔接假设的 c 极，同时用手指捏住表笔尖及这个管脚，将管子拿起来，用你的舌尖舔一下 b 极，看表头指针应有一定的偏转，如果你各表笔接得正确，指针偏转会大些，如果接得不对，指针偏转会小些，差别是很明显的。由此就可判定管子的 c、e 极。对 PNP 管，要将黑表笔接假设的 e 极（手不要碰到笔尖或管脚），红表笔接假设的 c 极，同时用手指捏住表笔尖及这个管脚，然后用舌尖舔一下 b 极，如果各表笔接得正确，表头指针会偏转得比较大。当然测量时表笔要交换一下测两次，比较读数后才能最后判定。这个方法适用于所有外形的三极管，方便实用。根据表针的偏转幅度，还可以估计出管子的放大能力，当然这是凭经验的。

c; 第三种方法：先判定管子的 NPN或 PNP类型及其 b 极后，将表置于 R3 10k 档，对 NPN 管，黑表笔接 e 极，红表笔接 c 极时，表针可能会有一定偏转，对 PNP管，黑表笔接 c 极，红表笔接 e 极时，表针可能会有一定的偏转，反过来都不会有偏转。由此也可以判定三极管的 c、e 极。不过对于高耐压的管子，这个方法就不适用了。

对于常见的进口型号的大功率塑封管，其 c 极基本都是在中间（我还没见过 b 在中间的）。中、小功率管有的 b 极可能在中间。比如常用的 9014 三极管及其系列的其它型号三极管、2SC1815 2N5401、2N5551 等三极管，其 b 极有的在就中间。当然它们也有 c 极在中间的。所以在维修更换三极管时，尤其是这些小功率三极管，不可拿来就按原样直接安上，一定要先测一下。

功率放大器

能把输入信号放大并向负载提供足够大的功率的放大器叫功率放大器。例如收音机的末级放大器就是功率放大器。

(1) 甲类单管功率放大器

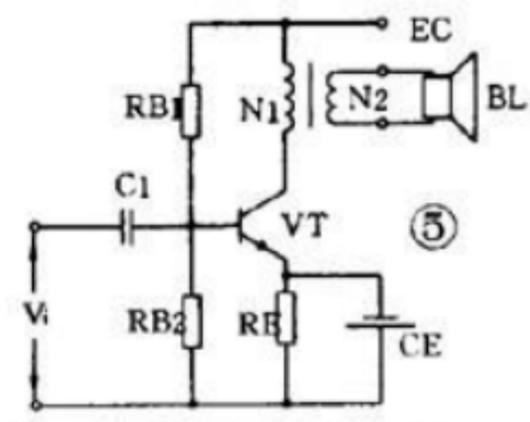


图 5 是单管功率放大器， C_1 是输入电容， T 是输出变压器。它的集电极负载电阻 R_i 是将负载电阻 R_L 通过变压器匝数比折算过来的：

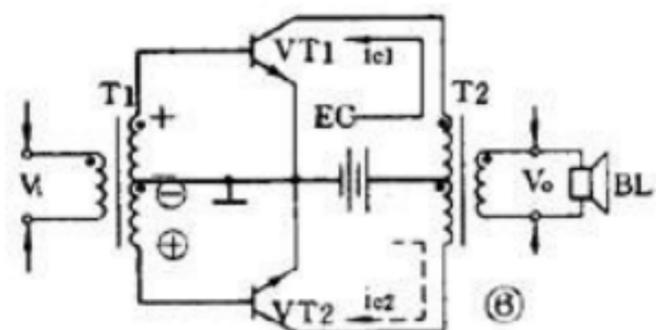
$$R_i = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R_L = N^2 R_L$$

负载电阻是低阻抗的扬声器，用变压器可以起阻抗变换作用，使负载得到较大的功率。

这个电路不管有没有输入信号，晶体管始终处于导通状态，静态电流比较大，因此集电极损耗较大，效率不高，大约只有 35 %。这种工作状态被称为甲类工作状态。这种电路一般用在功率不太大的场合，它的输入方式可以是变压器耦合也可以是 RC 耦合。

(2) 乙类推挽功率放大器

图 6 是常用的乙类推挽功率放大电路。它由两个特性相同的晶体管组成对称电路，在没有输入信号时，每个管子都处于截止状态，静态电流几乎是零，只有在有信号输入时管子才导通，这种状态称为乙类工作状态。当输入信号是正弦波时，正半周时 VT_1 导通 VT_2 截止，负半周时 VT_2 导通 VT_1 截止。两个管子交替出现的电流在输出变压器中合成，使负载上得到纯正的正弦波。这种两管交替工作的形式叫做推挽电路。

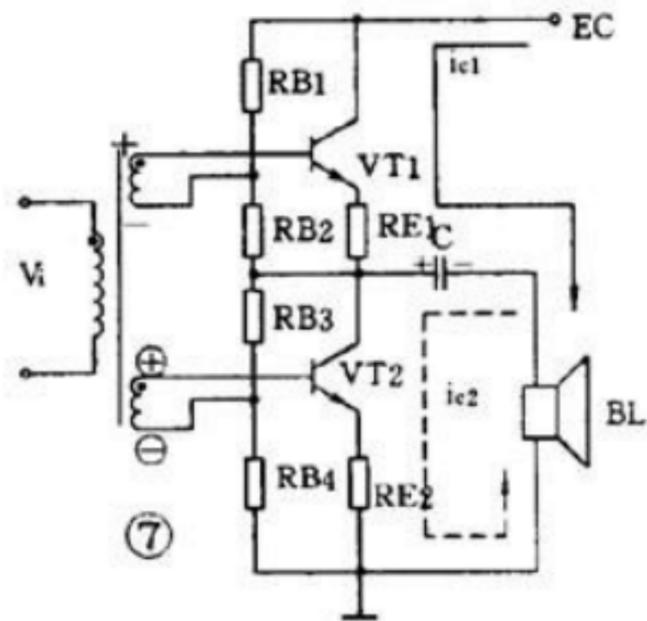


乙类推挽放大器的输出功率较大，失真也小，效率也较高，一般可达 60 %。

(3) OTL 功率放大器

目前广泛应用的无变压器乙类推挽放大器，简称 OTL 电路，是一种性能很好的功率放大器。为了

易于说明，先介绍一个有输入变压器没有输出变压器的 OTL 电路，如图 7 。



这个电路使用两个特性相同的晶体管，两组偏置电阻和发射极电阻的阻值也相同。在静态时，VT1、VT2 流过的电流很小，电容 C 上充有对地为 $1/2 E_c$ 的直流电压。在有输入信号时，正半周时 VT1 导通，VT2 截止，集电极电流 i_{c1} 方向如图所示，负载 RL 上得到放大的正半周输出信号。负半周时 VT1 截止，VT2 导通，集电极电流 i_{c2} 的方向如图所示，RL 上得到放大的负半周输出信号。这个电路的关键元件是 电容器 C，它上面的电压就相当于 VT2 的供电电压。

以这个电路为基础，还有用三极管倒相的不用输入变压器的真正 OTL 电路，用 PNP 管和 NPN 管组成的互补对称式 OTL 电路，以及最新的桥接推挽功率放大器，简称 BTL 电路等等。

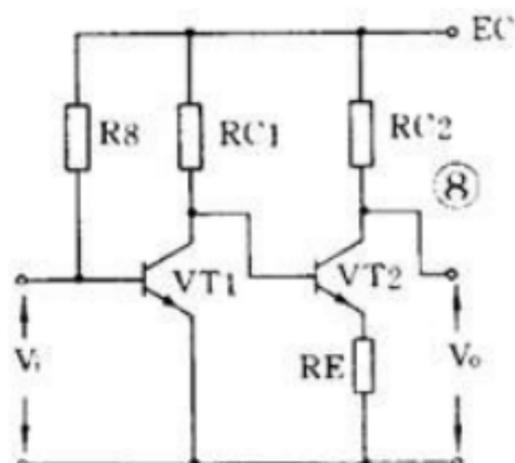
直流放大器

能够放大直流信号或变化很缓慢的信号的电路称为直流放大电路或直流放大器。测量和控制方面常用到这种放大器。

(1) 双管直耦放大器

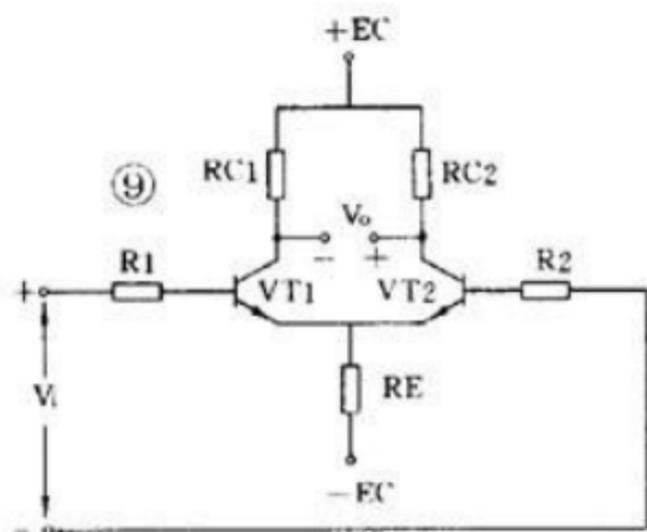
直流放大器不能用 RC 耦合或变压器耦合，只能用直接耦合方式。图 8 是一个两级直耦放大器。直耦方式会带来前后级工作点的相互牵制，电路中在 VT2 的发射极加 电阻 RE 以提高后级发射极电位来解决前后级的牵制。直流放大器的另一个更重要的问题是零点漂移。所谓零点漂移是指放大器在没有输入信号

时，由于工作点不稳定引起静态电位缓慢地变化，这种变化被逐级放大，使输出端产生虚假信号。放大器级数越多，零点漂移越严重。所以这种双管直耦放大器只能用于要求不高的场合。



(2) 差分放大器

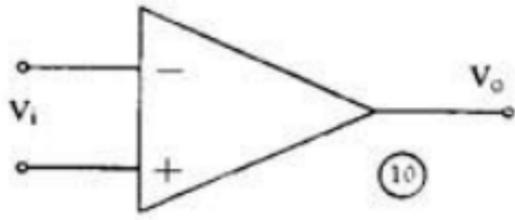
解决零点漂移的办法是采用差分放大器，图 9 是应用较广的射极耦合差分放大器。它使用双电源，其中 VT1 和 VT2 的特性相同，两组电阻数值也相同，RE 有负反馈作用。实际上这是一个桥形电路，两个 RC 和两个管子是四个桥臂，输出电压 VO 从电桥的对角线上取出。没有输入信号时，因为 RC1=RC2和两管特性相同，所以电桥是平衡的，输出是零。由于是接成桥形，零点漂移也很小。



差分放大器有良好的稳定性，因此得到广泛的应用。

集成运算放大器

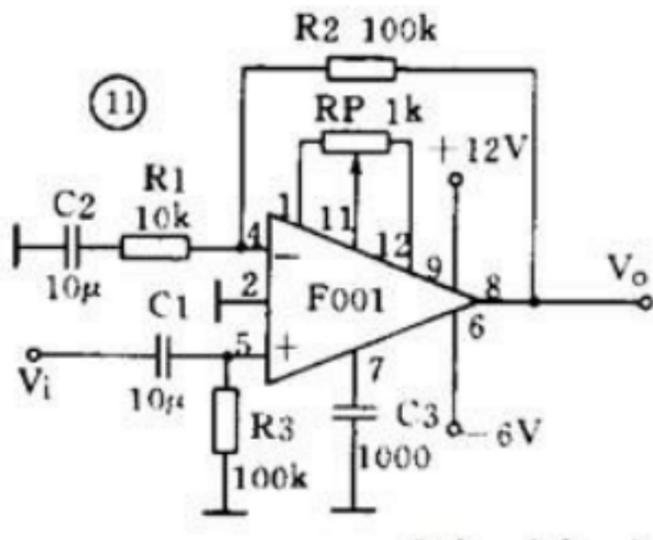
集成运算放大器是一种把多级直流放大器做一个集成片上，只要在外接少量元件就能完成各种功能的器件。因为它早期是用在模拟计算机中做加法器、乘法器用的，所以叫做运算放大器。它有十多个引脚，一般都带有 3 个端子的三角形符号表示，如图 10。它有两个输入端、1 个输出端，上面那个输入端叫做反相输入端，用“—”作标记；下面的叫同相输入端，用“+”作标记。



集成运算放大器可以完成加、减、乘、除、微分、积分等多种模拟运算，也可以接成交流或直流放大器应用。在作放大器应用时有：

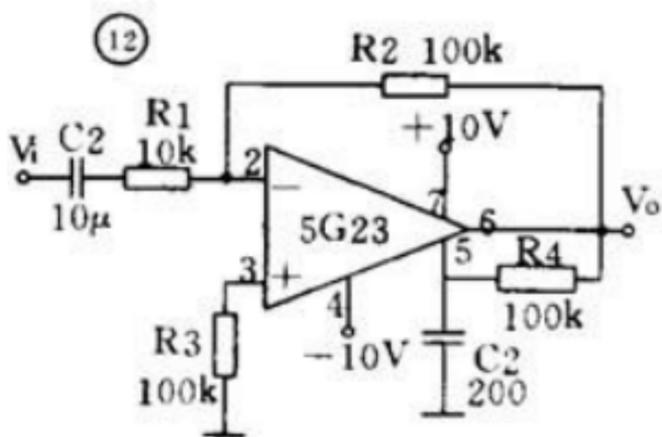
(1) 带调零的同相输出放大电路

图 11 是带调零端的同相输出运放电路。引脚 1、11、12 是调零端，调整 RP 可使输出端 (8) 在静态时输出电压为零。9、6 两脚分别接正、负电源。输入信号接到同相输入端 (5)，因此输出信号和输入信号同相。放大器负反馈经反馈电阻 R2 接到反相输入端 (4)。同相输入接法的电压放大倍数总是大于 1 的。



(2) 反相输出运放电路

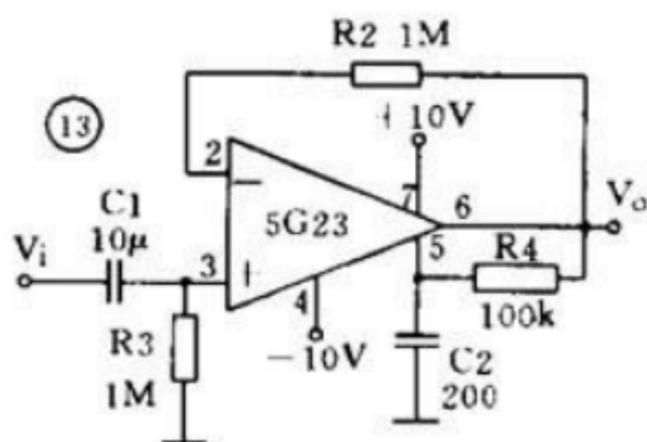
也可以使输入信号从反相输入端接入，如图 12。如对电路要求不高，可以不用调零，这时可以把 3 个调零端短路。



输入信号从耦合电容 C_1 经 R_1 接入反相输入端，而同相输入端通过电阻 R_3 接地。反相输入接法的电压放大倍数可以大于 1、等于 1 或小于 1。

(3) 同相输出高输入阻抗运放电路

图 13 中没有接入 R_1 ，相当于 R_1 阻值无穷大，这时电路的电压放大倍数等于 1，输入阻抗可达几百千欧。

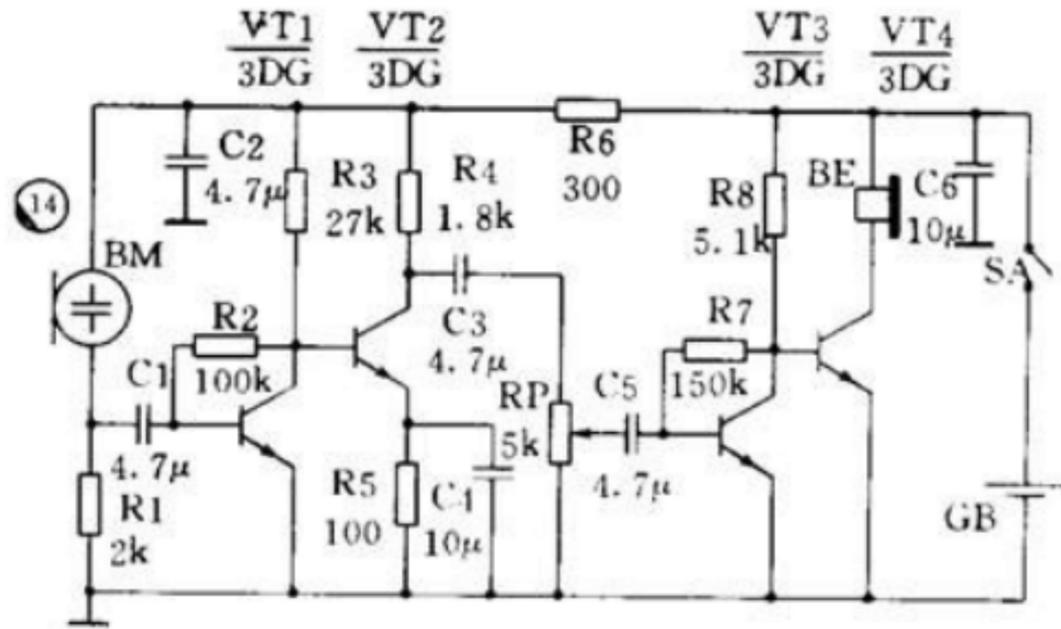


放大电路读图要点和举例

放大电路是电子电路中变化较多和较复杂的电路。在拿到一张放大电路图时，首先要把它逐级分解开，然后一级一级分析弄清它的原理，最后再全面综合。读图时要注意：在逐级分析时要区分开主要元器件和辅助元器件。放大器中使用的辅助元器件很多，如偏置电路中的温度补偿元件，稳压稳流元器件，防止自激振荡的防振元件、去耦元件，保护电路中的保护元件等。在分析中最主要和困难的是反馈的分析，要能找出反馈通路，判断反馈的极性和类型，特别是多级放大器，往往以后级将负反馈加到前级，因此更要细致分析。一般低频放大器常用 RC 耦合方式；高频放大器则常常是和 LC 调谐电路有关的，或是用单调谐或是用双调谐电路，而且电路里使用的电容器容量一般也比较小。注意晶体管和电源的极性，放大器中常常使用双电源，这是放大电路的特殊性。

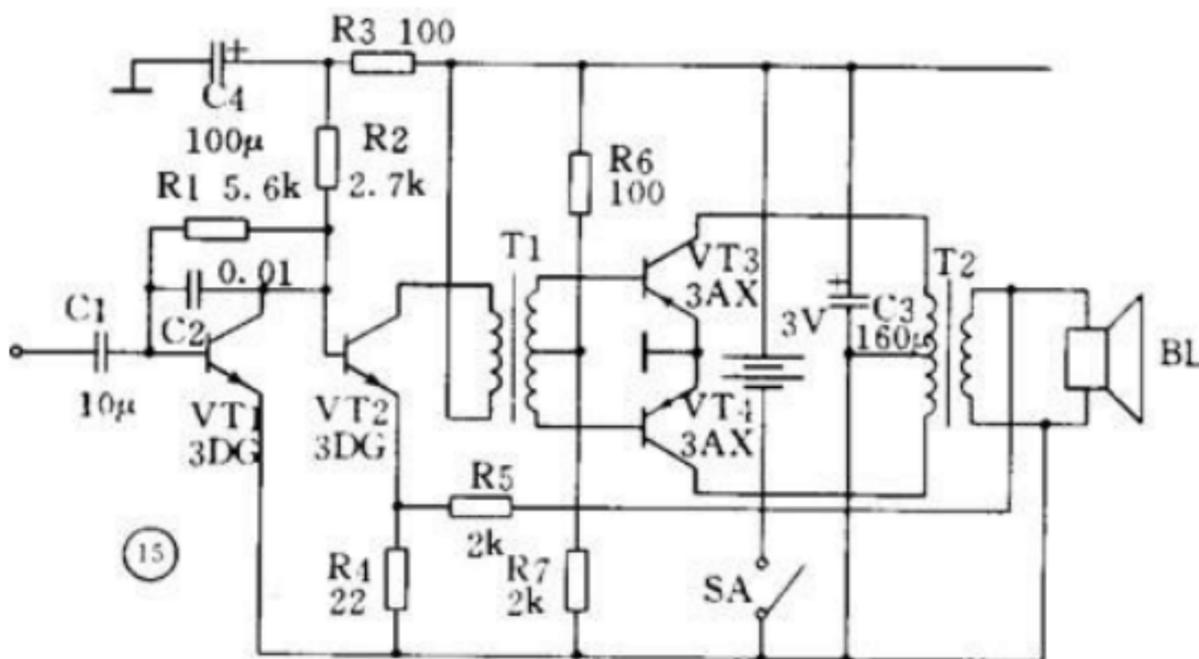
例 1 助听器电路

图 14 是一个助听器电路，实际上是一个 4 级低频放大器。VT1、VT2 之间和 VT3、VT4 之间采用直接耦合方式，VT2 和 VT3 之间则用 RC 耦合。为了改善音质，VT1 和 VT3 的本级有并联电压负反馈（ R_2 和 R_7 ）。由于使用高阻抗的耳机，所以可以把耳机直接接在 VT4 的集电极回路内。 R_6 、 C_2 是去耦电路， C_6 是电源滤波电容。



例 2 收音机低放电路

图 15 是普及型收音机的低放电路。电路共 3 级，第 1 级 (VT1) 前置电压放大，第 2 级 (VT2) 是推动级，第 3 级 (VT3 、 VT4) 是推挽功放。VT1 和 VT2 之间采用直接耦合，VT2 和 VT3 、 VT4 之间用输入变压器 (T1) 耦合并完成倒相，最后用输出变压器 (T2) 输出，使用低阻扬声器。此外，VT1 本级有并联电压负反馈 (R1) ， T2 次级经 R3 送回到 VT2 有串联电压负反馈。电路中 C2 的作用是增强高音区的负反馈，减弱高音以增强低音。R4 、 C4 为去耦电路，C3 为电源的滤波电容。整个电路简单明了。



振荡电路的用途和振荡条件

不需要外加信号就能自动地把直流电能转换成具有一定振幅和一定频率的交流信号的电路就称为振荡电路或振荡器。这种现象也叫做自激振荡。或者说，能够产生交流信号的电路就叫做振荡电路。

一个振荡器必须包括三部分：放大器、正反馈电路和选频网络。放大器能对振荡器输入端所加的输入信号予以放大使输出信号保持恒定的数值。正反馈电路

保证向振荡器输入端提供的反馈信号是相位相同的，只有这样才能使振荡维持下去。选频网络则只允许某个特定频率 f_0 能通过，使振荡器产生单一频率的输出。

振荡器能不能振荡起来并维持稳定的输出是由以下两个条件决定的；一个是反馈电压 u_f 和输入电压 U_i 要相等，这是振幅平衡条件。二是 u_f 和 u_i 必须相位相同，这是相位平衡条件，也就是说必须保证是正反馈。一般情况下，振幅平衡条件往往容易做到，所以在判断一个振荡电路能否振荡，主要是看它的相位平衡条件是否成立。

振荡器按振荡频率的高低可分成超低频（20 赫以下）、低频（20 赫 ~ 200 千赫）、高频（200 千赫 ~ 30 兆赫）和超高频（10 兆赫 ~ 350 兆赫）等几种。按振荡波形可分成正弦波振荡和非正弦波振荡两类。

正弦波振荡器按照选频网络所用的元件可以分成 LC 振荡器、RC 振荡器和石英晶体振荡器三种。石英晶体振荡器有很高的频率稳定度，只在要求很高的场合使用。在一般家用电器中，大量使用着各种 LC 振荡器和 RG 振荡器。

LC 振荡器

LC 振荡器的选频网络是 LC 谐振电路。它们的振荡频率都比较高，常见电路有 3 种。

(1) 变压器反馈 LC 振荡电路

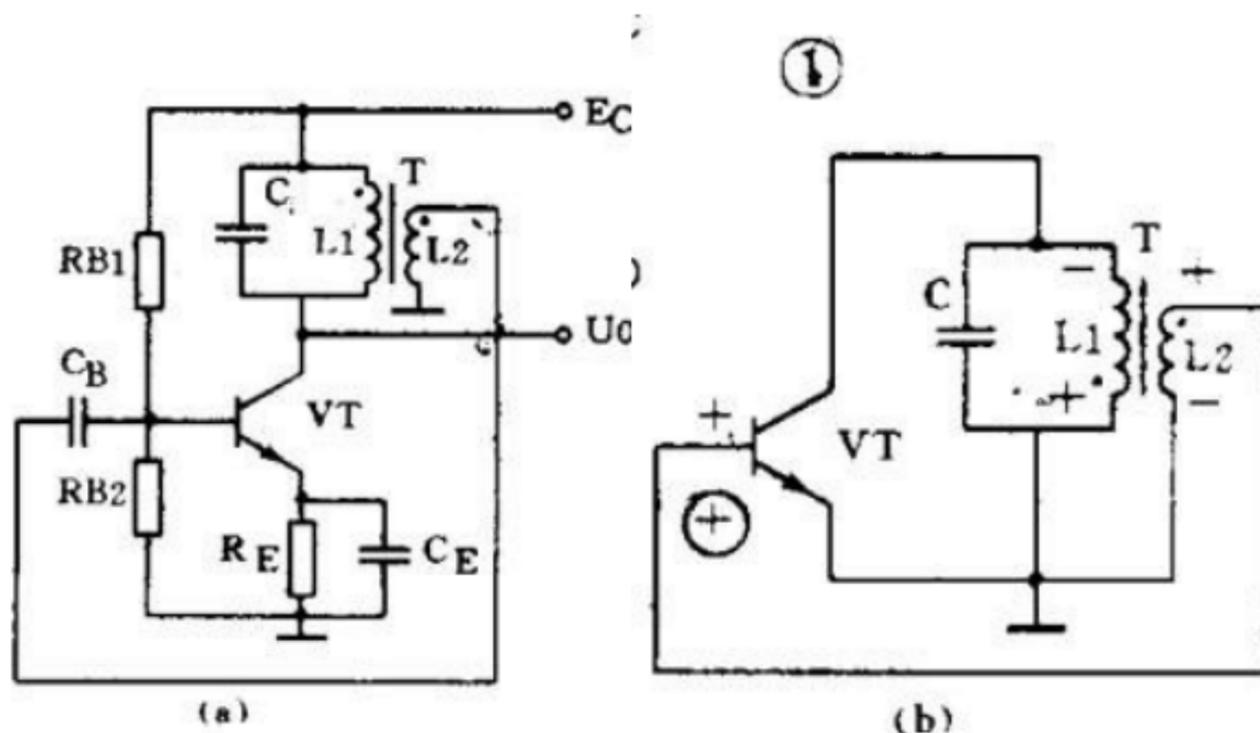


图 1 (a) 是变压器反馈 LC 振荡电路。晶体管 VT 是共发射极放大器。变压器 T 的初级是起选频作用的 LC 谐振电路，变压器 T 的次级向放大器输入提供正反馈信号。接通电源时，LC 回路中出现微弱的瞬变电流，但是只有频率和回路谐振频率 f_0 相同的电流才能在回路两端产生较高的电压，这个电压通过变压器初次级 L1、L2 的耦合又送回到晶体管 V 的基极。从图 1 (b)

看到，只要接法没有错误，这个反馈信号电压是和输入信号电压相位相同的，也就是说，它是正反馈。因此电路的振荡迅速加强并最后稳定下来。

变压器反馈 LC 振荡电路的特点是：频率范围宽、容易起振，但频率稳定度不高。它的振荡频率是： $f_0 = 1 / 2 LC$ 。常用于产生几十千赫到几十兆赫的正弦波信号。

(2) 电感三点式振荡电路

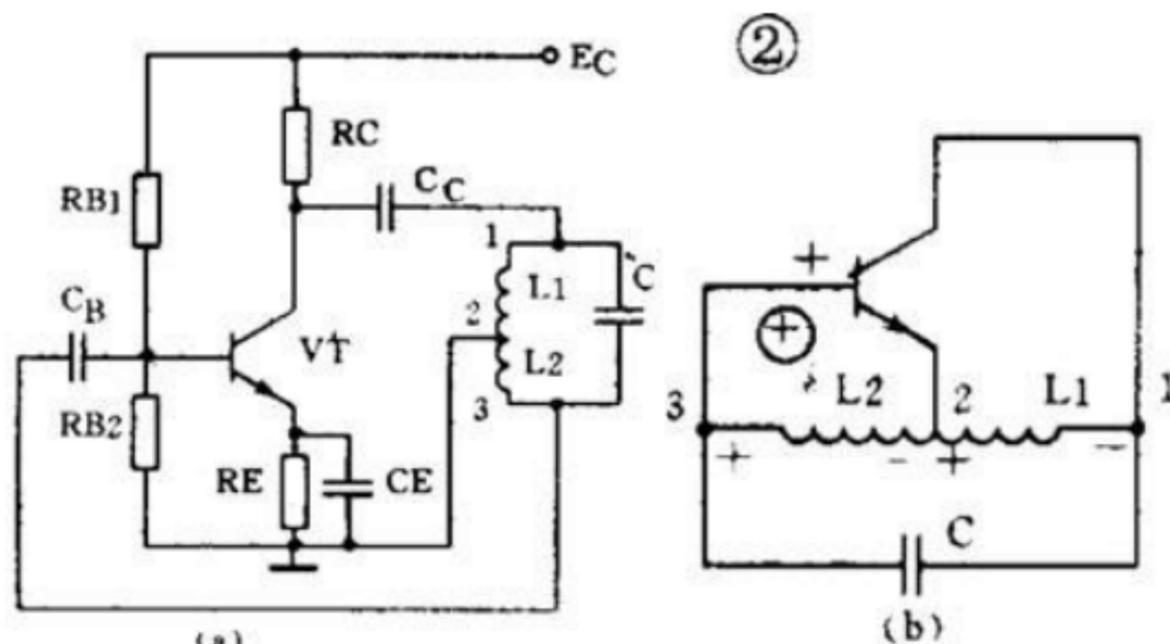
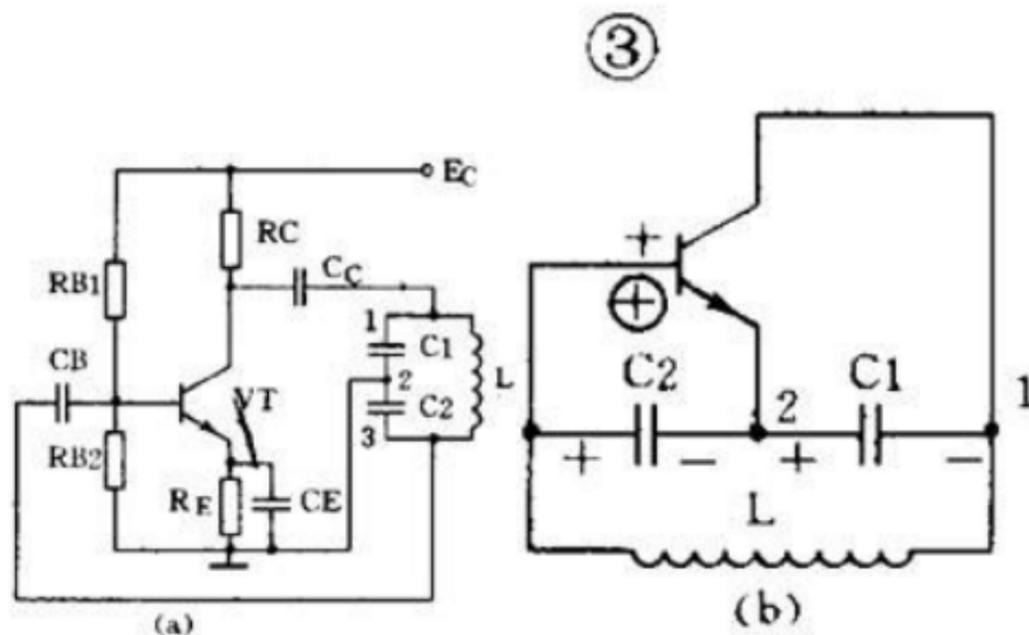


图 2 (a) 是另一种常用的电感三点式振荡电路。图中电感 L1 、 L2 和电容 C 组成起选频作用的谐振电路。从 L2 上取出反馈电压加到晶体管 VT 的基极。从图 2 (b) 看到，晶体管的输入电压和反馈电压是同相的，满足相位平衡条件的，因此电路能起振。由于晶体管的 3 个极是分别接在电感的 3 个点上的，因此被称为电感三点式振荡电路。

电感三点式振荡电路的特点是：频率范围宽、容易起振，但输出含有较多高次谐波，波形较差。它的振荡频率是： $f_0 = 1 / 2 LC$ ，其中 $L = L1 + L2 + 2M$ 。常用于产生几十兆赫以下的正弦波信号。

(3) 电容三点式振荡电路



还有一种常用的振荡电路是电容三点式振荡电路，见图 3 (a)。图中电感 L 和电容 C_1 、 C_2 组成起选频作用的谐振电路，从电容 C_2 上取出反馈电压加到晶体管 VT 的基极。从图 3 (b) 看到，晶体管的输入电压和反馈电压同相，满足相位平衡条件，因此电路能起振。由于电路中晶体管的 3 个极分别接在电容 C_1 、 C_2 的 3 个点上，因此被称为电容三点式振荡电路。

电容三点式振荡电路的特点是：频率稳定度较高，输出波形好，频率可以高达 100 兆赫以上，但频率调节范围较小，因此适合于作固定频率的振荡器。它的振荡频率是： $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$ ，其中 $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ 。

上面 3 种振荡电路中的放大器都是用的共发射极电路。共发射极接法的振荡器增益较高，容易起振。也可以把振荡电路中的放大器接成共基极电路形式。共基极接法的振荡器振荡频率比较高，而且频率稳定性好。

RC 振荡器

RC 振荡器的选频网络是 RC 电路，它们的振荡频率比较低。常用的电路有两种。

(1) RC 相移振荡电路

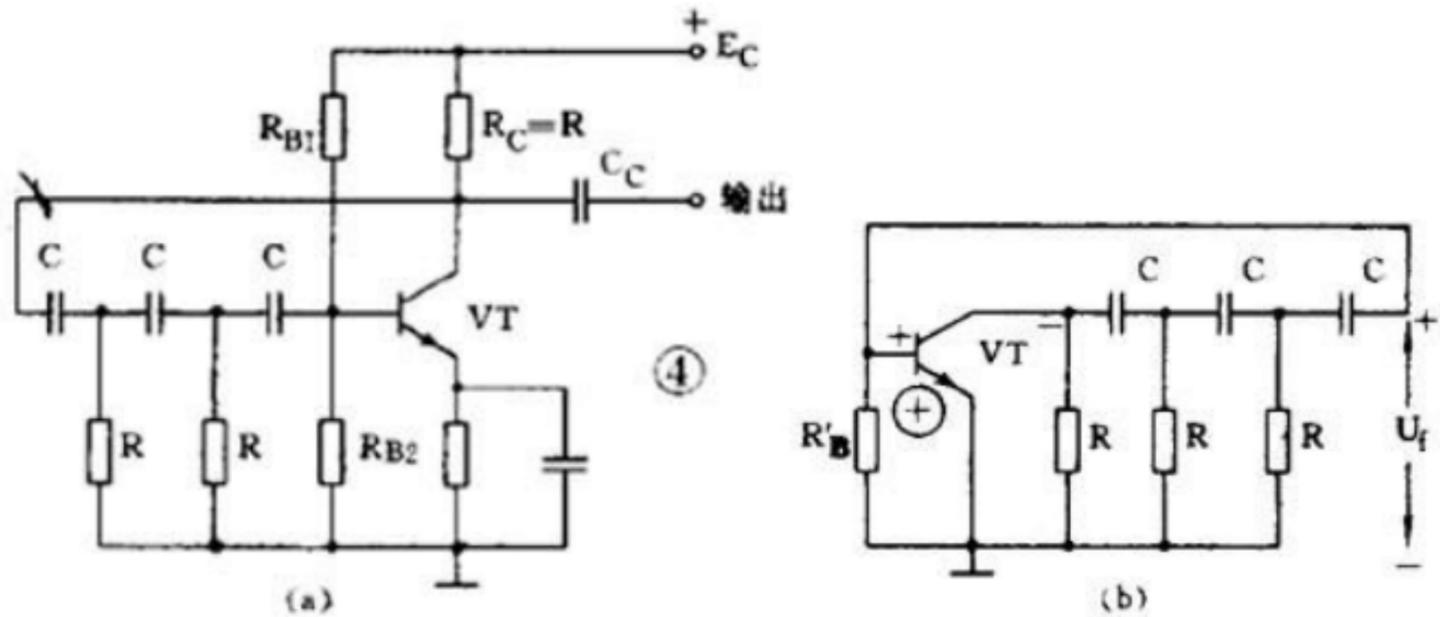


图 4 (a) 是 RC 相移振荡电路。电路中的 3 节 RC 网络同时起到选频和正反馈的作用。从图 4 (b) 的交流等效电路看到：因为是单级共发射极放大电路，晶体管 VT 的输出电压 U_o 与输入电压 U_i 在相位上是相差 180° 。当输出电压经过 RC 网络后，变成反馈电压 U_f 又送到输入端时，由于 RC 网络只对某个特定频率 f_0 的电压产生 180° 的相移，所以只有频率为 f_0 的信号电压才是正反馈而使电路起振。可见 RC 网络既是选频网络，又是正反馈电路的一部分。

RC 相移振荡电路的特点是：电路简单、经济，但稳定性不高，而且调节不方便。一般都用作固定频率振荡器和要求不太高的场合。它的振荡频率是：当 3 节 RC 网络的参数相同时： $f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot 6RC}$ 。频率一般为几十千赫。

(2) RC 桥式振荡电路

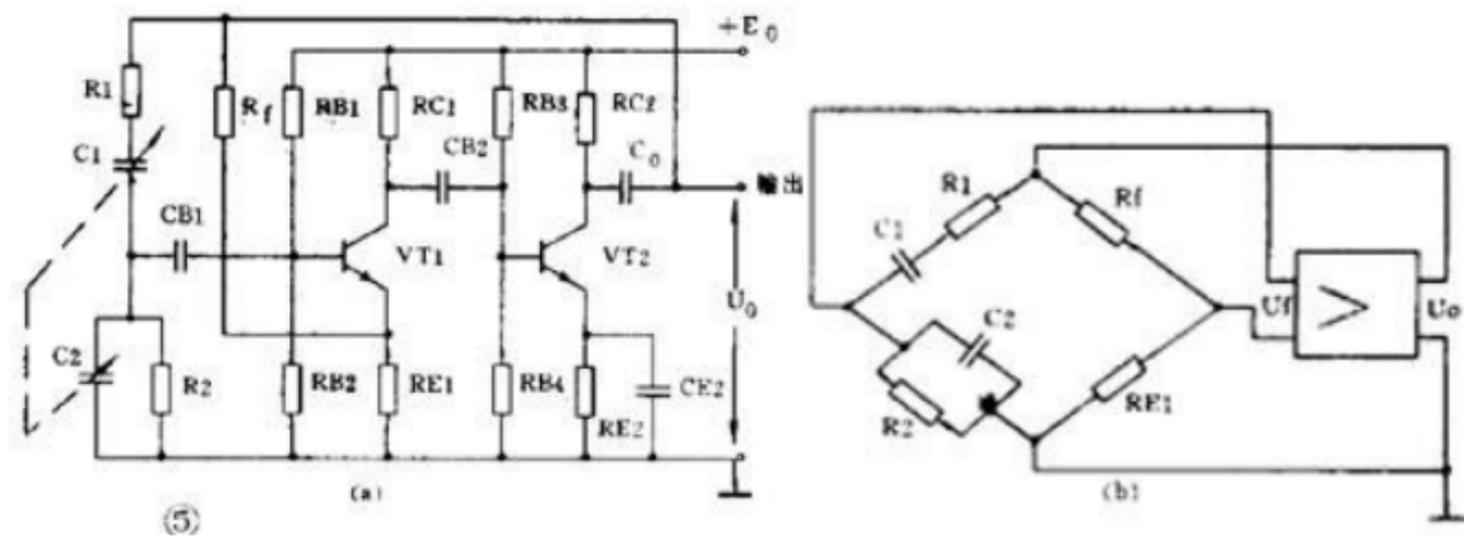


图 5 (a) 是一种常见的 RC 桥式振荡电路。图中左侧的 R_1C_1 和 R_2C_2 串并联电路就是它的选频网络。这个选频网络又是正反馈电路的一部分。这个选频网络对某个特定频率为 f_0 的信号电压没有相移（相移为 0° ），其它频率的电压都有大小不等的相移。由于放大器有 2 级，从 V_2 输出端取出的反馈电压 U_f 是和放大器输入电压同相的（2 级相移 $360^\circ = 0^\circ$ ）。因此反馈电压经选频网络送回到 VT_1 的输入端时，只有某个特定频率为 f_0 的电压才能满足相位平衡条件而起振。可见 RC 串并联电路同时起到了选频和正反馈的作用。

实际上为了提高振荡器的工作质量，电路中还加有由 R_t 和 R_{E1} 组成的串联电压负反馈电路。其中 R_t 是一个有负温度系数的热敏电阻，它对电路能起到稳定振荡幅度和减小非线性失真的作用。从图 5 (b) 的等效电路看到，这个振荡电路是一个桥形电路。 R_1C_1 、 R_2C_2 、 R_t 和 R_{E1} 分别是电桥的 4 个臂，放大器的输入和输出分别接在电桥的两个对角线上，所以被称为 RC 桥式振荡电路。

RC 桥式振荡电路的性能比 RC 相移振荡电路好。它的稳定性高、非线性失真小，频率调节方便。它的振荡频率是：当 $R_1=R_2=R$ 、 $C_1=C_2=C$ 时 $f_0 = \frac{1}{2RC}$ 。它的频率范围从 1 赫 ~ 1 兆赫。

调幅和检波电路

广播和无线电通信是利用调制技术把低频声音信号加到高频信号上发射出去的。在接收机中还原的过程叫解调。其中低频信号叫做调制信号，高频信号则叫载波。常见的连续波调制方法有调幅和调频两种，对应的解调方法就叫检波和鉴频。

下面我们先介绍调幅和检波电路。

(1) 调幅电路

调幅是使载波信号的幅度随着调制信号的幅度变化，载波的频率和相应不变。能够完成调幅功能的电路就叫调幅电路或调幅器。

调幅是一个非线性频率变换过程，所以它的关键是必须使用 二极管、三极管 等非线性器件。根据调制过程在哪个回路里进行可以把三极管调幅电路分成集电极调幅、基极调幅和发射极调幅 3 种。下面举集电极调幅电路为例。

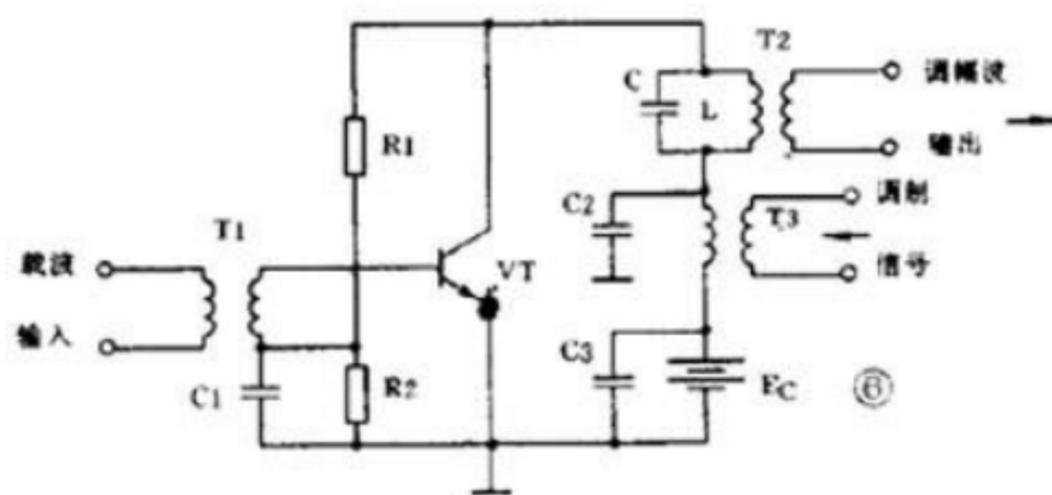


图 6 是集电极调幅电路，由高频载波振荡器产生的等幅载波经 T_1 加到晶体管基极。低频调制信号则通过 T_3 耦合到集电极中。 C_1 、 C_2 、 C_3 是高频旁路电容， R_1 、 R_2 是偏置电阻。集电极的 LC 并联回路谐振在载波频率上。如果把三极管的静态工作点选在特性曲线的弯曲部分，三极管就是一个非线性器件。因为晶体管的集电极电流是随着调制电压变化的，所以集电极中的 2 个信

号就因非线性作用而实现了调幅。由于 LC 谐振回路是调谐在载波的基频上，因此在 T2 的次级就可得到调幅波输出。

(2) 检波电路

检波电路或检波器的作用是从调幅波中取出低频信号。它的工作过程正好和调幅相反。检波过程也是一个频率变换过程，也要使用非线性元器件。常用的有二极管和三极管。另外为了取出低频有用信号，还必须使用滤波器滤除高频分量，所以检波电路通常包含非线性元器件和滤波器两部分。下面举二极管检波器为例说明它的工作。

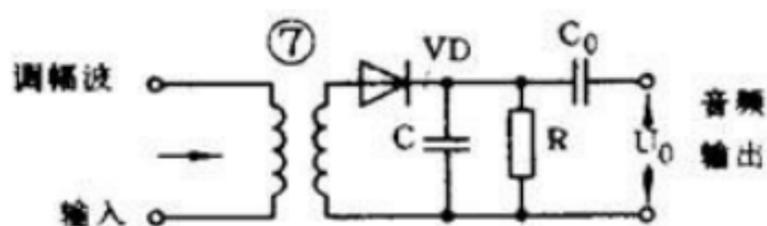


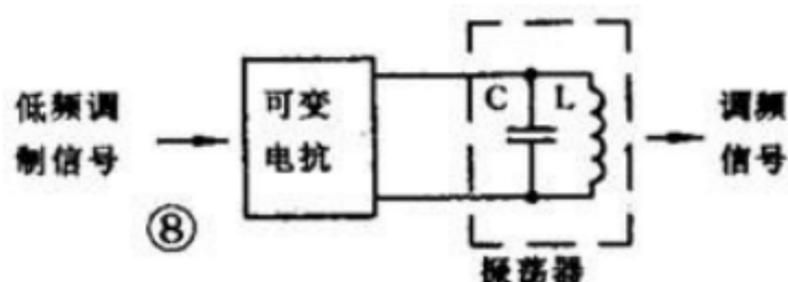
图 7 是一个二极管检波电路。VD 是检波元件，C 和 R 是低通滤波器。当输入的已调波信号较大时，二极管 VD 是断续工作的。正半周时，二极管导通，对 C 充电；负半周和输入电压较小时，二极管截止，C 对 R 放电。在 R 两端得到的电压包含的频率成分很多，经过电容 C 滤除了高频部分，再经过隔直流电容 C₀ 的隔直流作用，在输出端就可得到还原的低频信号。

调频和鉴频电路

调频是使载波频率随调制信号的幅度变化，而振幅则保持不变。鉴频则是从调频波中解调出原来的低频信号，它的过程和调频正好相反。

(1) 调频电路

能够完成调频功能的电路就叫调频器或调频电路。常用的调频方法是直接调频法，也就是用调制信号直接改变载波振荡器频率的方法。图 8 画出了它的大意，图中用一个可变电抗元件并联在谐振回路上。用低频调制信号控制可变电抗元件参数的变化，使载波振荡器的频率发生变化。



(2) 鉴频电路

能够完成鉴频功能的电路叫鉴频器或鉴频电路，有时也叫频率检波器。鉴频的方法通常分二步，第一步先将等幅的调频波变成幅度随频率变化的调频 — 调幅波，第二步再用一般的检波器检出幅度变化，还原成低频信号。常用的鉴频器有相位鉴频器、比例鉴频器等

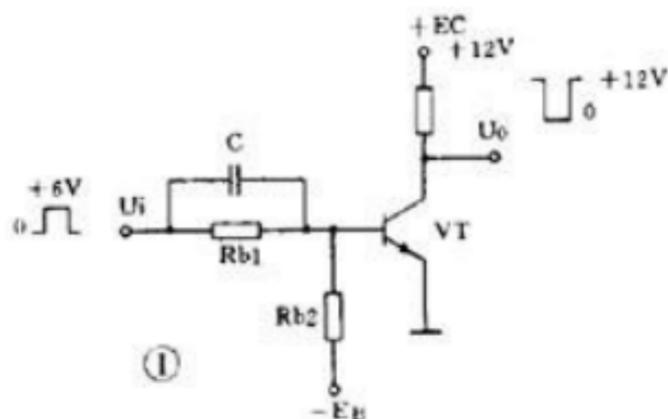
脉冲电路的用途和特点

在电子电路中，电源、放大、振荡和调制电路被称为模拟电子电路，因为它们加工和处理的是连续变化的模拟信号。电子电路中另一大类电路的数字电子电路。它加工和处理的对象是不连续变化的数字信号。数字电子电路又分成脉冲电路和数字逻辑电路，它们处理的都是不连续的脉冲信号。脉冲电路是专门用来产生电脉冲和对电脉冲进行放大、变换和整形的电路。家用电器中的定时器、报警器、电子开关、电子钟表、电子玩具以及电子医疗器具等，都要用到脉冲电路。

电脉冲有各式各样的形状，有矩形、三角形、锯齿形、钟形、阶梯形和尖顶形的，最具有代表性的是矩形脉冲。要说明一个矩形脉冲的特性可以用脉冲幅度 U_m 、脉冲周期 T 或频率 f 、脉冲前沿 t_r 、脉冲后沿 t_f 和脉冲宽度 t_k 来表示。如果一个脉冲的宽度 $t_k = 1 / 2T$ ，它就是一个方波。

脉冲电路和放大振荡电路最大的不同点，或者说脉冲电路的特点是：脉冲电路中的晶体管是工作在开关状态的。大多数情况下，晶体管是工作在特性曲线的饱和区或截止区的，所以脉冲电路有时也叫开关电路。从所用的晶体管也可以看出来，在工作频率较高时都采用专用的开关管，如 2AK、2CK、DK、3AK 型管，只有在工作频率较低时才使用一般的晶体管。

就拿脉冲电路中最常用的反相器电路（图 1）来说，从电路形式上看，它和放大电路中的共发射电路很相似。在放大电路中，基极电阻 R_{b2} 是接到正电源上以取得基极偏压；而这个电路中，为了保证电路可靠地截止， R_{b2} 是接到一个负电源上的，而且 R_{b1} 和 R_{b2} 的数值是按晶体管能可靠地进入饱和区或截止区的要求计算出来的。不仅如此，为了使晶体管开关速度更快，在基极上还加有加速电容 C ，在脉冲前沿产生正向尖脉冲可使晶体管快速进入导通并饱和；在脉冲后沿产生负向尖脉冲使晶体管快速进入截止状态。除了射极输出器是个特例，脉冲电路中的晶体管都是工作在开关状态的，这是一个特点。



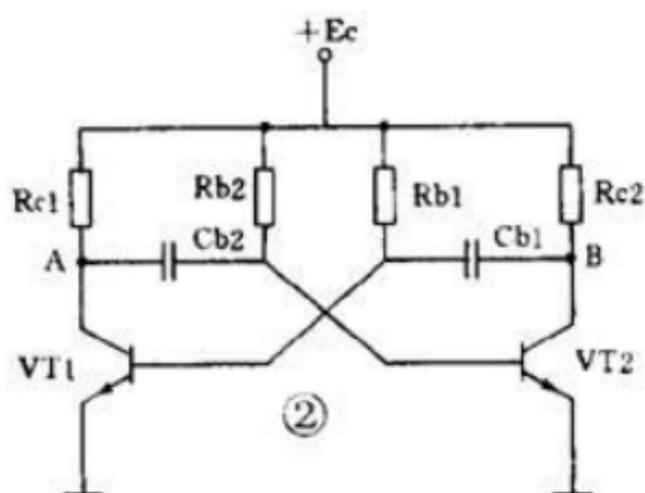
脉冲电路的另一个特点是一定有电容器（用电感较少）作关键元件，脉冲的产生、波形的变换都离不开电容器的充放电。

产生脉冲的多谐振荡器

脉冲有各种各样的用途，有对电路起开关作用的控制脉冲，有起统帅全局作用的时钟脉冲，有做计数用的计数脉冲，有起触发启动作用的触发脉冲等等。不管是什么脉冲，都是由脉冲信号发生器产生的，而且大多是短形脉冲或以矩形脉冲为原型变换成的。因为矩形脉冲含有丰富的谐波，所以脉冲信号发生器也叫自激多谐振荡器或简称多谐振荡器。如果用门来作比喻，多谐振荡器输出端时开时闭的状态可以把多谐振荡器比作宾馆的自动旋转门，它不需要人去推动，总是不停地开门和关门。

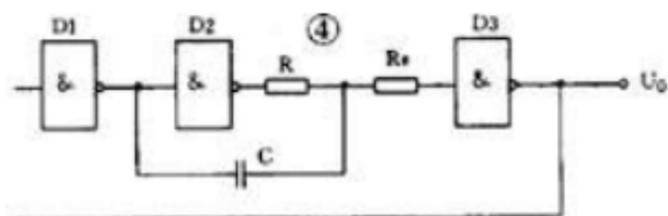
(1) 集基耦合多谐振荡器

图 2 是一个典型的分立元件集基耦合多谐振荡器。它由两个晶体管反相器经 RC 电路交叉耦合接成正反馈电路组成。两个电容器交替充放电使两管交替导通和截止，使电路不停地从一个状态自动翻转到另一个状态，形成自激振荡。从 A 点或 B 点可得到输出脉冲。当 $R_{b1} = R_{b2} = R$ ， $C_{b1} = C_{b2} = C$ 时，输出是幅度接近 E 的方波，脉冲周期 $T = 1.4RC$ 。如果两边不对称，则输出是矩形脉冲



(3) RC 环形振荡器

图 4 是常用的 RC 环形振荡器。它用奇数个门、首尾相连组成闭环形，环路中有 RC 延时电路。图中 R_S 是保护电阻， R 和 C 是延时电路元件，它们的数值决定脉冲周期。输出脉冲周期 $T = 2.2RC$ 。如果把 R 换成电位器，就成为脉冲频率可调的多谐振荡器。因为这种电路简单可靠，使用方便，频率范围宽，可以从几赫变化到几兆赫，所以被广泛应用。

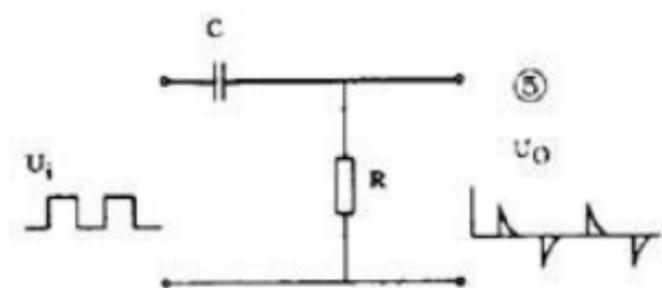


脉冲变换和整形电路

脉冲在工作中有时需要变换波形或幅度，如把矩形脉冲变成三角波或尖脉冲等，具有这种功能的电路就叫变换电路。脉冲在传送中会造成失真，因此常常要对波形不好的脉冲进行修整，使它整旧如新，具有这种功能的电路就叫整形电路。

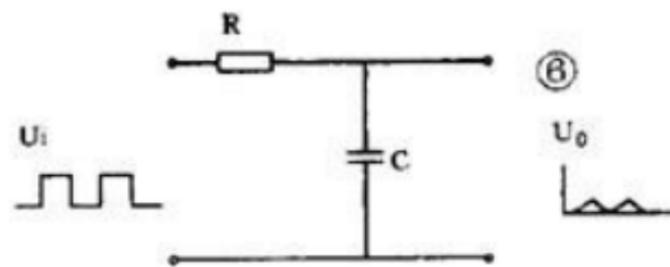
(1) 微分电路

微分电路是脉冲电路中最常用的波形变换电路，它和放大电路中的 RC 耦合电路很相似，见图 5。当电路时间常数 $\tau = RC \ll t_k$ 时，输入矩形脉冲，由于电容器充放电极快，输出可得到一对尖脉冲。输入脉冲前沿则输出正向尖脉冲，输入脉冲后沿则输出负向尖脉冲。这种尖脉冲常被用作触发脉冲或计数脉冲。



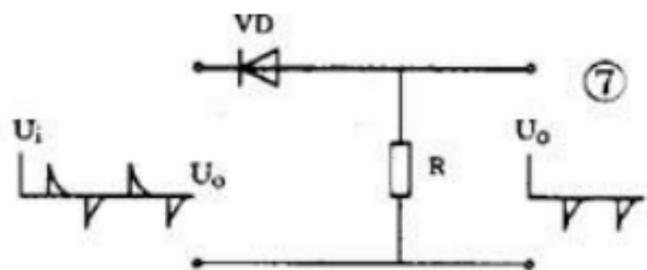
(2) 积分电路

把图 5 中的 R 和 C 互换，并使 $\tau = RC \gg t_k$ ，电路就成为积分电路，见图 6。当输入矩形脉冲时，由于电容器充放电很慢，输出得到的是一串幅度较低的近似三角形的脉冲波。



(3) 限幅器

能限制脉冲幅值的电路称为限幅器或削波器。图 7 是用二极管和电阻组成的上限幅电路。它能把输入的正向脉冲削掉。如果把二极管反接，就成为削掉负脉冲的下限幅电路。

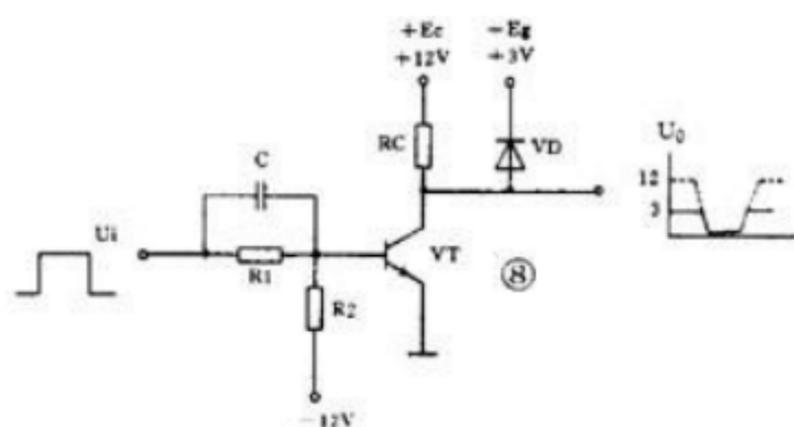


用二极管或三极管等非线性器件可组成各种限幅器，或是变换波形（如把输入脉冲变成方波、梯形波、尖脉冲等），或是对脉冲整形（如把输入高低不平的脉冲系列削平成为整齐的脉冲系列等）。

（4）箝位器

能把脉冲电压维持在某个数值上而使波形保持不变的电路称为箝位器。它也是整形电路的一种。例如电视信号在传输过程中会造成失真，为了使脉冲波形恢复原样，接收机里就要用箝位电路把波形顶部箝制在某个固定电平上。

图 8 中反相器输出端上就有一个箝位二极管 VD。如果没有这个二极管，输出脉冲高电平应该是 12 伏，现在增加了箝位二极管，输出脉冲高电平被箝制在 3 伏上。

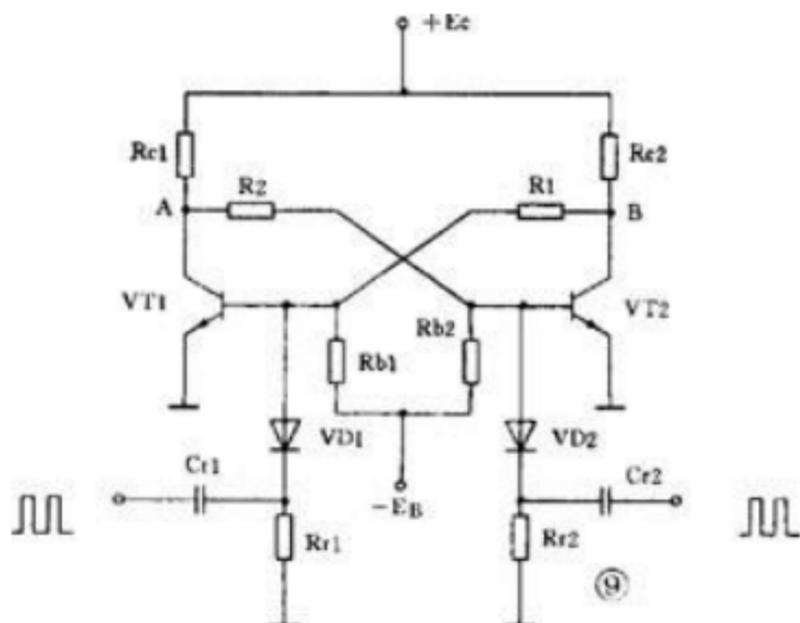


此外，象反相器、射极输出器等电路也有“整旧如新”的作用，也可认为是整形电路。

有记忆功能的双稳电路多谐振荡器的输出总是时高时低地变换，所以它也叫无稳态电路。另一种双稳态电路就绝然不同，双稳电路有两个输出端，它们总是处于相反的状态：一个是高电平，另一个必定是低电平。它的特点是如果没有外来的触发，输出状态能一直保持不变。所以常被用作寄存二进制数码的单元电路。

（1）集基耦合双稳电路

图 9 是用分立元件组成的集基耦合双稳电路。它由一对用电阻交叉耦合的反相器组成。它的两个管子总是一管截止一管饱和，例如当 VT1 管饱和时 VT2 管就截止，这时 A 点是低电平 B 点是高电平。如果没有外来的触发信号，它就保持这种状态不变。如把高电平表示数字信号“1”，低电平表示“0”，那么这时就可以认为双稳电路已经把数字信号“1”寄存在 B 端了。



电路的基极分别加有微分电路。如果在 VT1 基极加上一个负脉冲（称为触发脉冲），就会使 VT1 基极电位下降，由于正反馈的作用，使 VT1 很快从饱和转入截止，VT2 从截止转入饱和。于是双稳电路翻转成 A 端为“1”，B 端为“0”，并一直保持下去。

（2）触发脉冲的触发方式和极性

双稳电路的触发电路形式和触发脉冲极性选择比较复杂。从触发方式看，因为有直流触发（电位触发）和交流触发（边沿触发）的分别，所以触发电路形式各有不同。从脉冲极性看，也是随着晶体管极性、触发脉冲加在哪个管子（饱和管还是截止管）上、哪个极上（基极还是集电极）而变化的。在实际应用中，因为微分电路能容易地得到尖脉冲，触发效果较好，所以都用交流触发方式。触发脉冲所加的位置多数是加在饱和管的基极上。所以使用 NPN 管的双稳电路所加的是负脉冲，而 PNP 管双稳电路所加的是正脉冲。

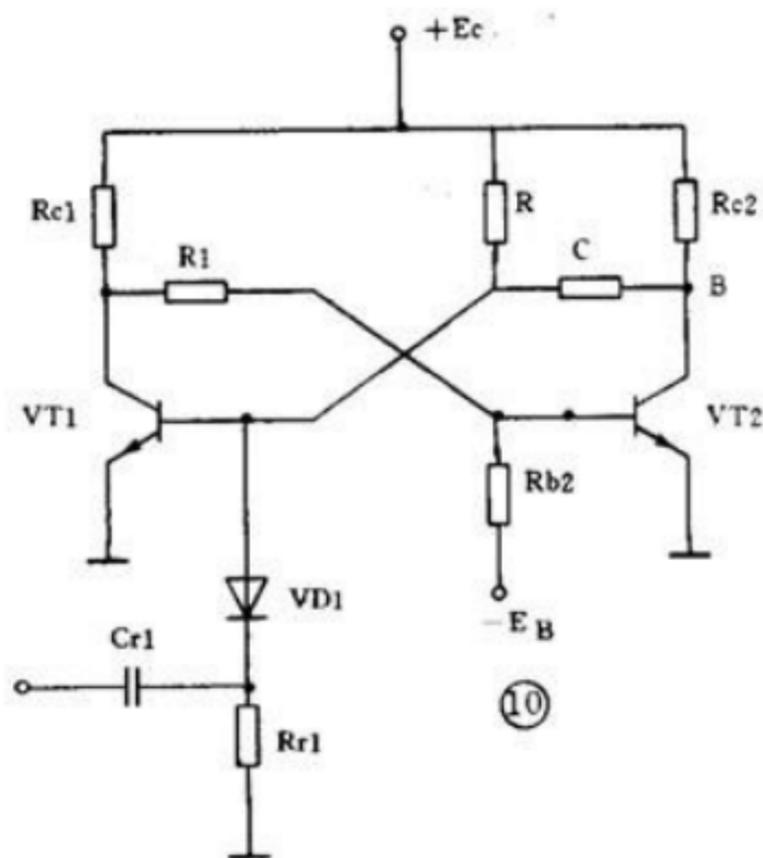
（3）集成触发器除了用分立元件外，也可以用集成门电路组成双稳电路。但实际上因为目前有大量的集成化双稳触发器产品可供选用，如 R—S 触发器、D 触发器、J - K 触发器等等，所以一般不使用门电路搭成的双稳电路而直接选用现成产品。

有延时功能的单稳电路

无稳电路有 2 个暂稳态而没有稳态，双稳电路则有 2 个稳态而没有暂稳态。脉冲电路中常用的第 3 种电路叫单稳电路，它有一个稳态和一个暂稳态。如果也用门来作比喻，单稳电路可以看成是一扇弹簧门，平时它总是关着的，“关”是它的稳态。当有人推它或拉它时门就打开，但由于弹力作用，门很快又自动关上，恢复到原来的状态。所以“开”是它的暂稳态。单稳电路常被用作定时、延时控制以及整形等。

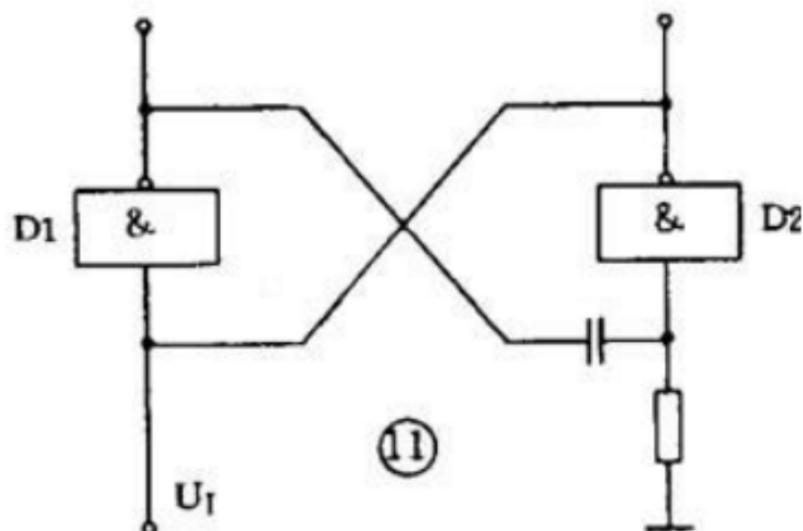
（1）集基耦合单稳电路

图 10 是一个典型的集基耦合单稳电路。它也是由两级反相器交叉耦合而成的正反馈电路。它的一半和多谐振荡器相似，另一半和双稳电路相似，再加它也有一个微分触发电路，所以可以想象出它是半个无稳电路和半个双稳电路凑合成的，它应该有一个稳态和一个暂稳态。平时它总是一管（VT1）饱和，另一管（VT2）截止，这就是它的稳态。当输入一个触发脉冲后，电路便翻转到另一种状态，但这种状态只能维持不长的时间，很快它又恢复到原来的状态。电路暂稳态的时间是由延时元件 R 和 C 的数值决定的： $t_t = 0.7RC$ 。



(2) 集成化单稳电路

用集成门电路也可组成单稳电路。图 11 是微分型单稳电路，它用 2 个与非门交叉连接，门 1 输出到门 2 是用微分电路耦合，门 2 输出到门 1 是直接耦合，触发脉冲加到门 1 的另一个输入端 U_I 。它的暂稳态时间即定时时间为： $t_t = (0.7 \sim 1.3) RC$ 。



脉冲电路的读图要点

脉冲电路的特点是工作在开关状态，它的输入输出都是脉冲，因此分析时要抓住关键，把主次电路区分开，先认定主电路的功能，再分析辅助电路的作用。从电路结构上抓关键找异同。前面介绍了集基耦合方式的三种基本单元电路，它们都由双管反相器构成正反馈电路，这是它们的相同点。但细分析起来它们还是各有特点的：无稳和双稳电路虽然都有对称形式，但无稳电路是用电容耦合，双稳是用电阻直接耦合（有时并联有加速电容，容量一般都很小）；而且双稳电路一般都有触发电路（双端或单端触发）；单稳电路就很好认，它是不对称的，兼有双稳和单稳的形式。这样一分析，三种电路就很好区别了。脉冲电路中，脉冲的生成、变换和整形都和电容器的充、放电有关，电路的时间常数即 R 和 C 的数值对确定电路的性质有极重要的意义，这一点尤为重要。

数字逻辑电路的用途和特点

数字电子电路中的后起之秀是数字逻辑电路。把它叫做数字电路是因为电路中传递的虽然也是脉冲，但这些脉冲是用来表示二进制数码的，例如用高电平表示“1”，低电平表示“0”。声音图像文字等信息经过数字化处理后变成了一串串电脉冲，它们被称为数字信号。能处理数字信号的电路就称为数字电路。

这种电路同时又被叫做逻辑电路，那是因为电路中的“1”和“0”还具有逻辑意义，例如逻辑“1”和逻辑“0”可以分别表示电路的接通和断开、事件的是和否、逻辑推理的真和假等等。电路的输出和输入之间是一种逻辑关系。这种电路除了能进行二进制算术运算外还能完成逻辑运算和具有逻辑推理能力，所以才把它叫做逻辑电路。

由于数字逻辑电路有易于集成、传输质量高、有运算和逻辑推理能力等优点，因此被广泛用于计算机、自动控制、通信、测量等领域。一般家电产品中，如定时器、告警器、控制器、电子钟表、电子玩具等都要用数字逻辑电路。

数字逻辑电路的第一个特点是为了突出“逻辑”两个字，使用的是独特的图形符号。数字逻辑电路中有门电路和触发器两种基本单元电路，它们都是以晶体管和电阻等元件组成的，但在逻辑电路中我们只用几个简化了的图形符号去表示它们，而不画出它们的具体电路，也不管它们使用多高电压，是TTL电路还是CMOS电路等等。按逻辑功能要求把这些图形符号组合起来画成的图就是逻辑电路图，它完全不同于一般的放大振荡或脉冲电路图。

数字电路中有关信息是包含在0和1的数字组合内的，所以只要电路能明显地区分开0和1，0和1的组合关系没有破坏就行，脉冲波形的好坏我们是不大理会的。所以数字逻辑电路的第二个特点是我们主要关心它能完成什么样的逻辑功能，较少考虑它的电气参数性能等问题。也因为这个原因，数字逻辑电路中使用了一些特殊的表达方法如真值表、特征方程等，还使用一些特殊的分析工具如逻辑代数、卡诺图等等，这些也都与放大振荡电路不同。

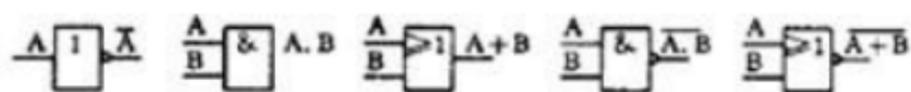
门电路和触发器

(1) 门电路

门电路可以看成是数字逻辑电路中最简单的元件。目前有大量集成化产品可供选用。

最基本的门电路有 3 种：非门、与门和或门。非门就是反相器，它把输入的 0 信号变成 1，1 变成 0。这种逻辑功能叫“非”，如果输入是 A，输出写成 $P=\bar{A}$ 。与门有 2 个以上输入，它的功能是当输入都是 1 时，输出才是 1。这种功能也叫逻辑乘，如果输入是 A、B，输出写成 $P=A \cdot B$ 。或门也有 2 个以上输入，它的功能是输入有一个 1 时，输出就是 1。这种功能也叫逻辑加，输出就写成 $P=A + B$ 。

把这三种基本门电路组合起来可以得到各种复合门电路，如与门加非门成与非门，或门加非门成或非门。图 1 是它们的图形符号和真值表。此外还有与或非门、异或门等等。



入 \ 出	非	与	或	与非	或非
A B	\bar{A}	$A \cdot B$	$A + B$	$\overline{A \cdot B}$	$\overline{A + B}$
0 0	1	0	0	1	1
0 1	1	0	1	1	0
1 0	0	0	1	1	0
1 1	0	1	1	0	0

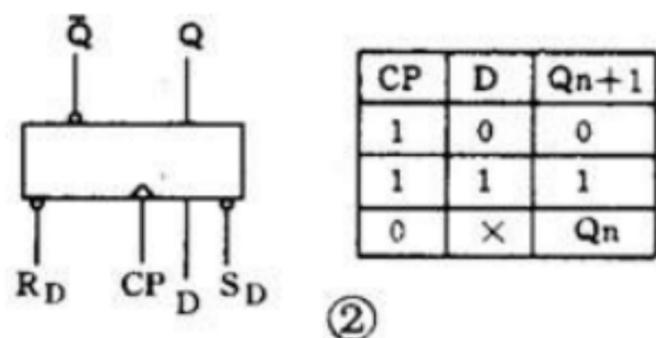
①

数字集成电路有 TTL、HTL、CMOS 等多种，所用的电源电压和极性也不同，但只要它们有相同的逻辑功能，就用相同的逻辑符号。而且一般都规定高电平为 1、低电平为 0。

(2) 触发器

触发器实际上就是脉冲电路中的双稳电路，它的电路和功能都比门电路复杂，它也可看成是数字逻辑电路中的元件。目前也已有集成化产品可供选用。常用的触发器有 D 触发器和 J—K 触发器。

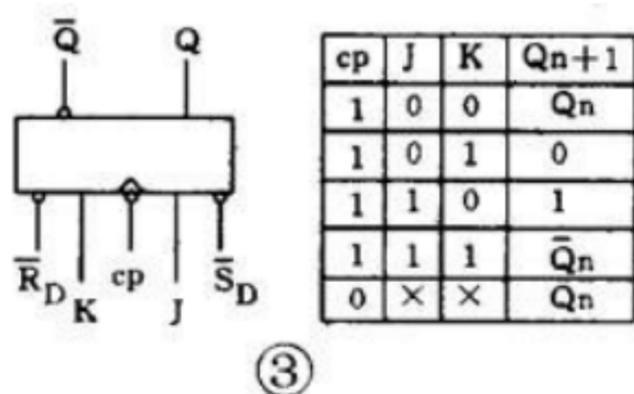
D 触发器有一个输入端 D 和一个时钟信号输入端 CP，为了区别在 CP 端加有箭头。它有两个输出端，一个是 Q 一个是 \bar{Q} ，加有小圈的输出端是 \bar{Q} 端。另外它还有两个预置端 RD 和 SD，平时正常工作时 RD 和 SD 端都加高电平 1，如果使 RD=0（SD 仍为 1），则触发器被置成 Q=0；如果使 SD=0（RD=1），则被置成 Q=1。因此 RD 端称为置 0 端，SD 端称为置 1 端。D 触发器的逻辑符号见图 2，图中 Q、D、SD 端画在同一侧； \bar{Q} 、RD 画在另一侧。RD 和 SD 都带小圆圈，表示要加上低电平才有效。



D 触发器是受 CP 和 D 端双重控制的，CP 加高电平 1 时，它的输出和 D 的状态相同。如 $D=0$ ，CP 来到后， $Q=0$ ；如 $D=1$ ，CP 来到后， $Q=1$ 。CP 脉冲起控制开门作用，如果 $CP=0$ ，则不管 D 是什么状态，触发器都维持原来状态不变。这样的逻辑功能画成表格就称为功能表或特性表，见图 2。表中 Q_{n+1} 表示加上触发信号后变成的状态， Q_n 是原来的状态。“X”表示是 0 或 1 的任意状态。

有的 D 触发器有几个 D 输入端： D_1 、 D_2 ，它们之间是逻辑与的关系，也就是只有当 D_1 、 D_2 ，都是 1 时，输出端 Q 才是 1。

另一种性能更完善的触发器叫 J - K 触发器。它有两个输入端：J 端和 K 端，一个 CP 端，两个预置端： \overline{R}_D 端和 \overline{S}_D 端，以及两个输出端：Q 和 \overline{Q} 端。它的逻辑符号见图 3。J - K 触发器是在 CP 脉冲的下降沿触发翻转的，所以在 CP 端画一个小圆圈以示区别。图中，J、 \overline{S}_D 、Q 画在同一侧，K、 \overline{R}_D 、 \overline{Q} 画在另一侧。

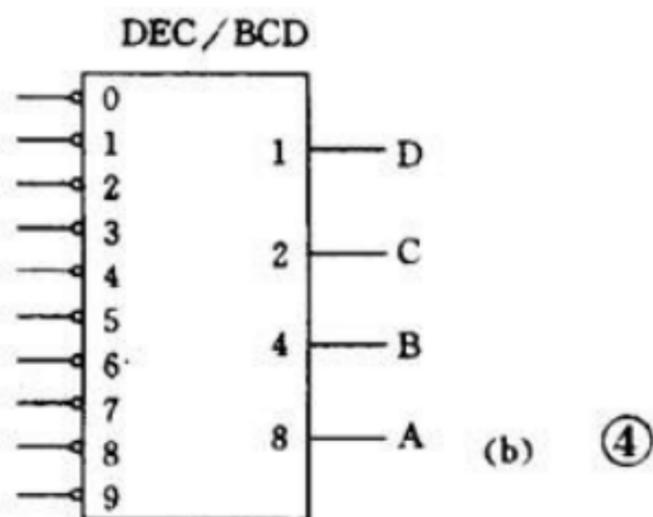
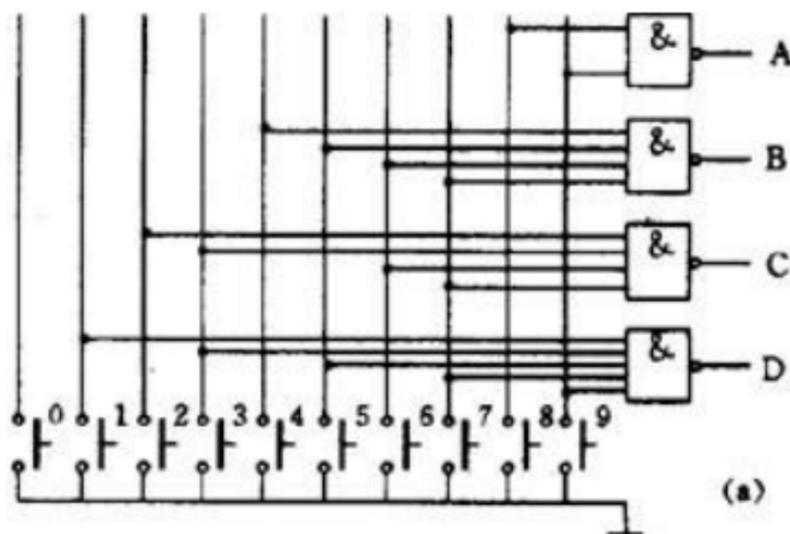


J - K 触发器的逻辑功能见图 3。有 CP 脉冲时（即 $CP=1$ ）： J 、 K 都为 0，触发器状态不变； $Q_{n+1}=Q_n$ ， $J=0$ 、 $K=1$ ，触发器被置 0： $Q_{n+1}=0$ ； $J=1$ 、 $K=0$ ， $Q_{n+1}=1$ ； $J=1$ 、 $K=1$ ，触发器翻转一下： $Q_{n+1}=\overline{Q}_n$ 。如果不加时钟脉冲，即 $CP=0$ 时，不管 J、K 端是什么状态，触发器都维持原来状态不变： $Q_{n+1}=Q_n$ 。有的 J—K 触发器同时有好几个 J 端和 K 端， J_1 、 J_2 ，和 K_1 、 K_2 ，之间都是逻辑与的关系。有的 J - K 触发器是在 CP 的上升沿触发翻转的，这时它的逻辑符号图的 CP 端就不带小圆圈。也有的时候为了使图更简洁，常常把 \overline{R}_D 和 \overline{S}_D 端省略不画

能够把数字、字母转换成二进制数码的电路称为编码器。反过来能把二进制数码还原成数字、字母的电路就称为译码器。

(1) 编码器

图 4 (a) 是一个能把十进制数变成二进制码的编码器。一个十进制数被表示成二进制码必须 4 位，常用的码是使从低到高的每一位二进制码相当于十进制数的 1、2、4、8，这种码称为 8 - 4 - 2 - 1 码或简称 BCD 码。所以这种编码器就称为“ 10 线 - 4 线编码器”或“ DEC / BCD 编码器”。

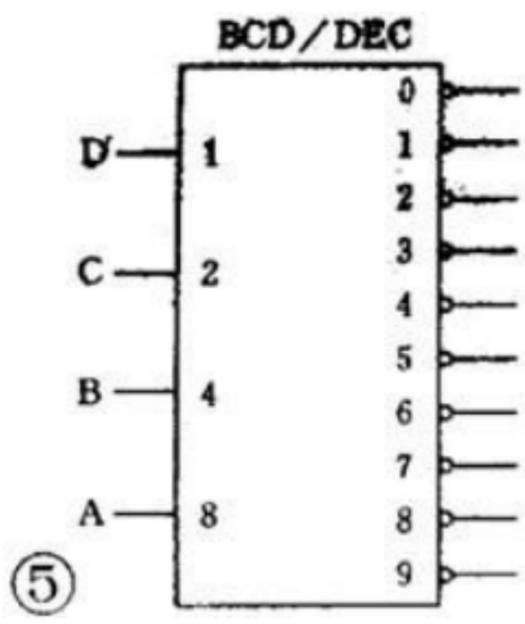


从图看到，它是由与非门组成的。有 10 个输入端，用按键控制，平时按键悬空相当于接高电平 1。它有 4 个输出端 ABCD，输出 8421 码。如果按下“ 1 ”键，与“ 1 ”键对应的线被接地，等于输入低电平 0、于是门 D 输出为 1，整个输出成 0001。

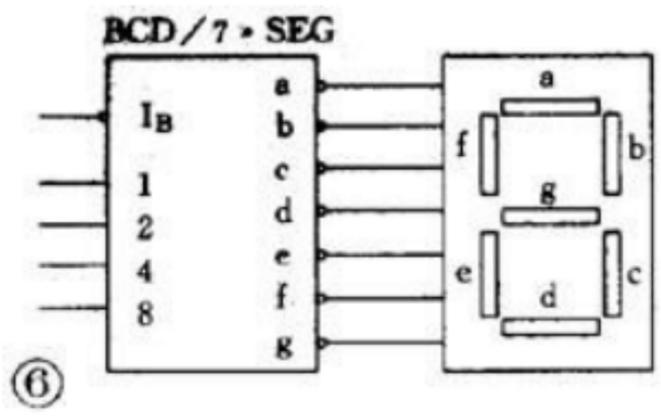
如按下“ 7 ”键，则 B 门、C 门、D 门输出为 1，整个输出成 0111。如果把这些电路都做一个集成片内，便得到集成化的 10 线 4 线编码器，它的逻辑符号见图 4 (b)。左侧有 10 个输入端，带小圆圈表示要用低电平，右侧有 4 个输出端，从上到下按从低到高排列。使用时可以直接选用。

(2) 译码器

要把二进制码还原成十进制数就要用译码器。它也是由门电路组成的，现在也有集成化产品供选用。图 5 是一个 4 线—10 线译码器。它的左侧为 4 个二进制码的输入端，右侧有 10 个输出端，从上到下按 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 排列表示 10 个十进制数。输出端带小圆圈表示低电平有效。平时 10 个输出端都是高电平 1，如输入为 1001 码，输出“9”端为低电平 0，其余 9 根线仍为高电平 1，这表示“9”线被译中。



如果要想把十进制数显示出来，就要使用数码管。现以共阳极发光二极管（LED）七段数码显示管为例，见图 6。它有七段发光二极管，如每段都接低电平 0，七段都被点亮，显示出数字“8”；如 b、c 段接低电平 0，其余都接 1，显示的是“1”。可见要把十进制数用七段显示管显示出来还要经过一次译码。如果使用“4 线—7 线译码器”和显示管配合使用，很简单，输入二进制码可直接显示十进制数，见图 6。译码器左侧有 4 个二进制码的输入端，右侧有 7 个输出可直接和数码管相连。左上侧另有一个灭灯控制端 IB，正常工作时应加高电平 1，如不需要这位数字显示就在 IB 上加低电平 0，就可使这位数字熄灭。

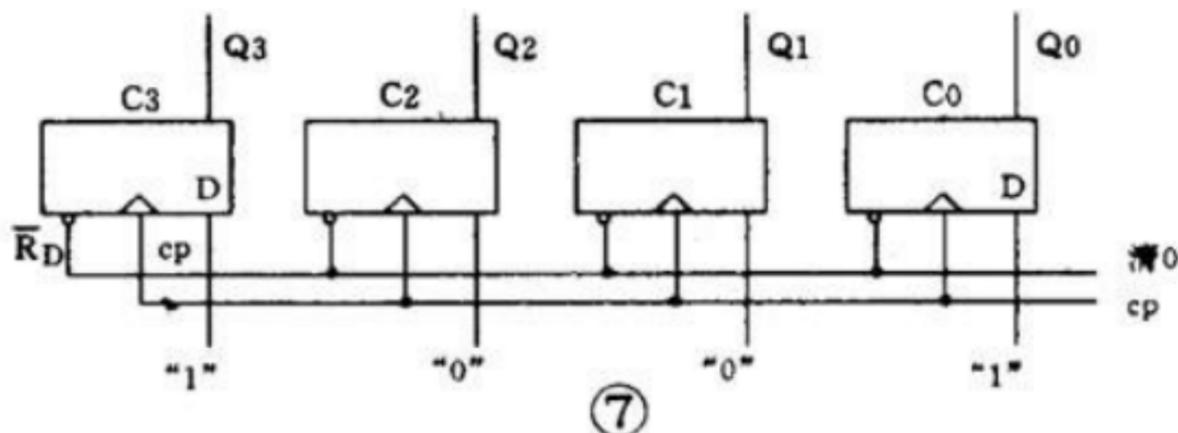


寄存器和移位寄存器

(1) 寄存器

能够把二进制数码存贮起来的的部件叫数码寄存器，简称寄存器。图 7 是用 4 个 D 触发器组成的寄存器，它能存贮 4 位二进制数。4 个 CP 端连在一

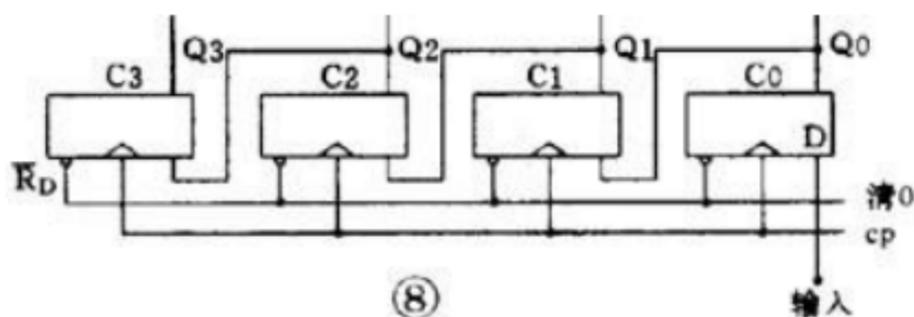
起作为控制端，只有 $CP=1$ 时它才接收和存贮数码。4 个 R_D 端连在一起成为整个寄存器的清零端。如果要存贮二进制码 1001，只要把它们分别加到触发器 D 端，当 CP 来到后 4 个触发器从高到低分别被置成 1、0、0、1，并一直保持到下一次输入数据之前。要想取出这串数码可以从触发器的 Q 端取出。



(2) 移位寄存器

有移位功能的寄存器叫移位寄存器，它可以是左移的、右移的，也可能是双向移位的。

图 8 是一个能把数码逐位左移的寄存器。它和一般寄存器不同的是：数码是逐位串行输入并加在最低位的 D 端，然后把低位的 Q 端连到高一位的 D 端。这时 CP 称为移位脉冲。



先从 R_D 端送低电平清零，使寄存器成 0000 状态。假定要输入的数码是 1001，输入的次序是先高后低逐位输入。第 1 个 CP 后，1 被打入第 1 个触发器，寄存器成 0001；第 2 个 CP 后， Q_0 的 1 被移入 Q_1 ，新的 0 打入 D_1 ，成为 0010；第 3 个 CP 后，成为 0100；第 4 个 CP 后，成为 1001。

可见经过 4 个 CP，寄存器就寄存了 4 位二进制码 1001。目前已有品种繁多的集成化寄存器供选用。

计数器和分频器

(1) 计数器

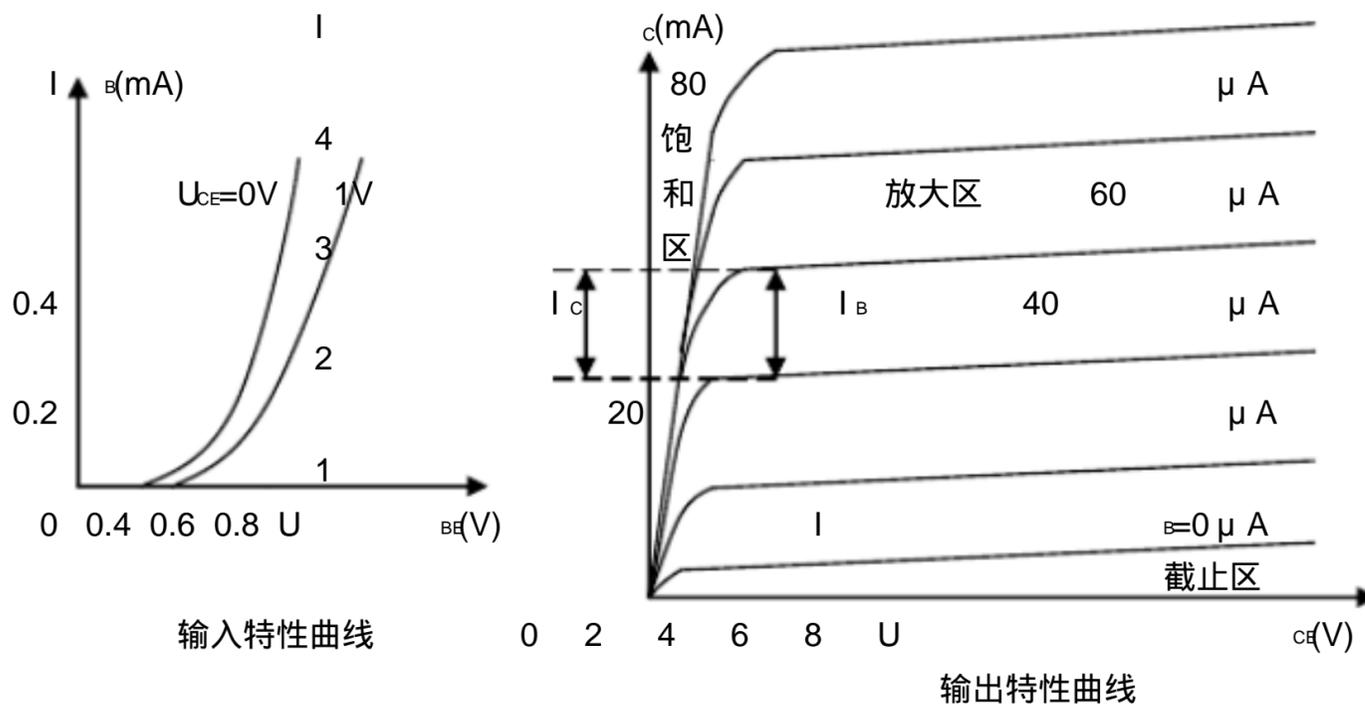
能对脉冲进行计数的部件叫计数器。计数器品种繁多，有作累加计数的称为加法计数器，有作递减计数的称为减法计数器；按触发器翻转来分又有同步计数

5.9 半导体三极管的分类： a; 按频率分：高频管和低频管

- b; 按功率分：小功率管，中功率管和功率管
- c; 按机构分：PNP管和NPN管
- d; 按材质分：硅管和锗管
- e; 按功能分：开关管和放大

5.10 半导体三极管特性：三极管具有放大功能（三极管是电流控制型器件 - 通过基极电流或是发射极电流去控制集电极电流；又由于其多子和少子都可导电称为双极型元件）

NPN 型三极管共发射极的特性曲线。



三极管各区的工作条件：

1. 放大区：发射结正偏，集电结反偏；
2. 饱和区：发射结正偏，集电结正偏；
3. 截止区：发射结反偏，集电结反偏。

5.11 半导体三极管的好坏检测

a; 先选量程：R* 100 或 R* 1K 档位

b; 测量 PNP型半导体三极管的发射极和集电极的正向电阻值：

红表笔接基极，黑表笔接发射极，所测得阻值为发射极正向电阻值，若将黑表笔接集电极（红表笔不动），所测得阻值便是集电极的正向电阻值，正向电阻值愈小愈好。

c; 测量 PNP型半导体三极管的发射极和集电极的反向电阻值：

将黑表笔接基极，红表笔分别接发射极与集电极，所测得阻值分别为发射极和集电极的反向电阻，反向电阻愈小愈好。

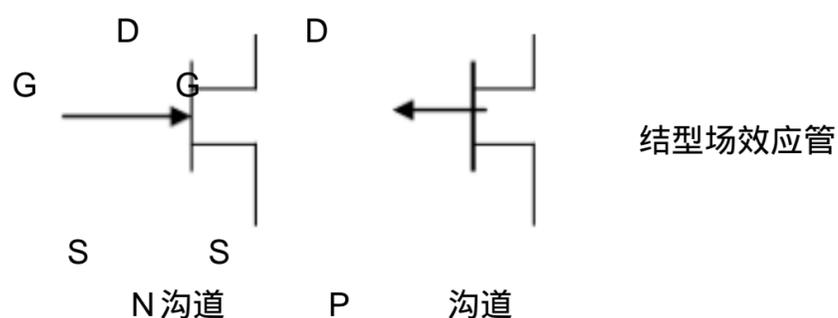
d; 测量 NPN型半导体三极管的发射极和集电极的正向电阻值的方法和测量 PNP型半导体三极管的方法相反。

第六节 场效应管 (MOS管)

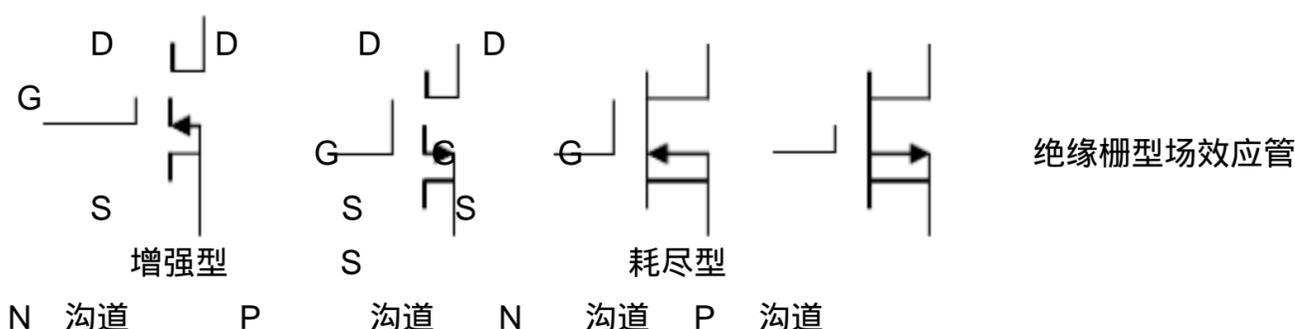
6.1 场效应管英文缩写： FET(Field-effect transistor)

6.2 场效应管分类：结型场效应管和绝缘栅型场效应管

6.3 场效应管电路符号：



6.4 场效应管的三个引脚分别表示为 :G(栅极),D(漏极),S(源极)



注：场效应管属于电压控制型元件，又利用多子导电故称单极型元件，且具有输入电阻高，噪声小，功耗低，无二次击穿现象等优点。

6.5 场效应晶体管的优点：具有较高输入电阻高、输入电流低于零，几乎不要向信号源

吸取电流，在基极注入电流的大小，直接影响集电极电流的大小，利用输出电流控制输出电源的半导体。

6.6 场效应管与晶体管的比较

(1) 场效应管是电压控制元件，而晶体管是电流控制元件。在只允许从信号源取较少电流的情况下，应选用场效应管；而在信号电压较低，又允许从信号源取较多电流的条件下，应选用晶体管。

(2) 场效应管是利用多数载流子导电，所以称之为单极型器件，而晶体管是即有多数载流子，也利用少数载流子导电。被称之为双极型器件。

(3) 有些场效应管的源极和漏极可以互换使用，栅压也可正可负，灵活性比晶体管好。

(4) 场效应管能在很小电流和很低电压的条件下工作，而且它的制造工艺可以很方便地把很多场效应管集成在一块硅片上，因此场效应管

6.7 场效应管好坏与极性判别：将万用表的量程选择在 $R \times 1k$ 档，用黑表笔接 D极，红表笔接 S极，用手同时触及一下 G,D极，场效应管应呈瞬时导通状态，即表针摆向阻值较小的位置，再

用手触及一下 G,S 极, 场效应管应无反应, 即表针回零位置不动. 此时应可判断出场效应管为好管.

将万用表的量程选择在 RX1K 档, 分别测量场效应管三个管脚之间的电阻阻值, 若某脚与其他两脚之间的电阻值均为无穷大时, 并且再交换表笔后仍为无穷大时, 则此脚为 G 极, 其它两脚为 S 极和 D 极. 然后再用万用表测量 S 极和 D 极之间的电阻值一次, 交换表笔后再测量一次, 其中阻值较小的一次, 黑表笔接的是 S 极, 红表笔接的是 D 极.

第七节 集成电路

7.1 集成电路的英文缩写 IC(integrate circuit)

7.2 电路中的表示符号 : U

7.3 集成电路的优点是 : 集成电路是在一块单晶硅上 , 用光刻法制作出很多三极管 , 二极管 , 电阻和电容 , 并按照特定的要求把他们连接起来 , 构成一个完整的电路 . 由于集成电路具有体积小 , 重量轻 , 可靠性高和性能稳定等优点 , 所以特别是大规模和超大规模的集成电路的出现 , 是电子设备在微型化 , 可靠性和灵活性方面向前推进了一大步 .

7.4 集成电路常见的封装形式

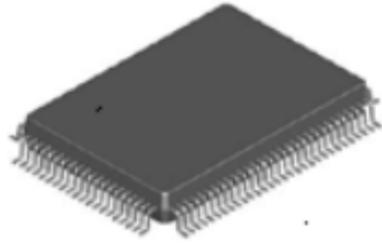
BGA(ball grid array) 球栅阵列 (封装) 见图二

QFP(quad flat package) 四面有鸥翼型脚 (封装) 见图一

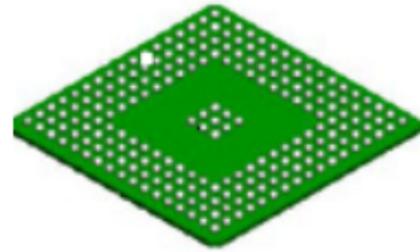
SOIC(small outline integrated circuit) 两面有鸥翼型脚 (封装) 见图五

PLCC(plastic leaded chip carrier) 四边有内勾型脚 (封装) 见图三

SOJ(small outline junction) 两边有内勾型脚 (封装) 见图四



图一



图二



图三



图四



图五

7.5 集成电路的脚位判别 ;

1. 对于 BGA封装 (用坐标表示) : 在打点或是有颜色标示处逆时针开始数用英文字母表示 - A,B,C,D,E , , (其中 I,O 基本不用) , 顺时针用数字表示 - 1, 2, 3, 4, 5, 6, , 其中字母位横坐标, 数字为纵坐标 如: A1,A2
2. 对于其他的封装: 在打点, 有凹槽或是有颜色标示处逆时针开始数为第一脚, 第二脚, 第三脚 , ,

7.6 集成电路常用的检测方法有在线测量法、非在线测量法和代换法。

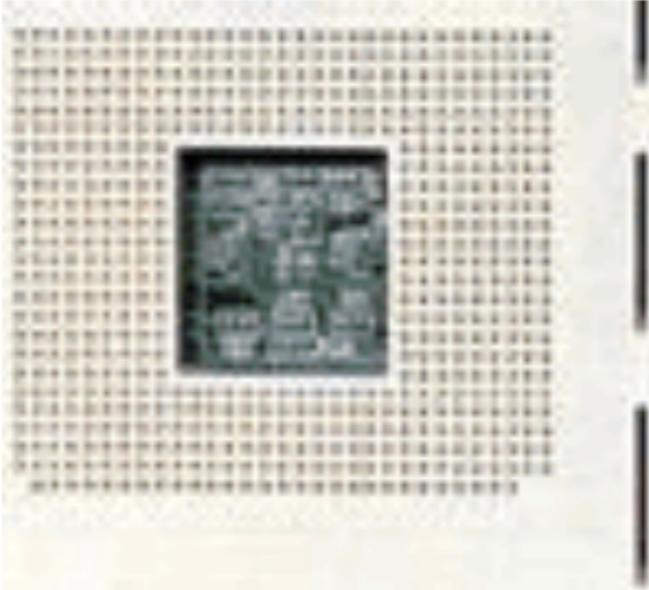
1. 非在线测量 非在线测量是在集成电路未焊入电路时，通过测量其各引脚之间的直流电阻值与已知正常同型号集成电路各引脚之间的直流电阻值进行对比，以确定其是否正常。

2. 在线测量 在线测量法是利用电压测量法、电阻测量法及电流测量法等，通过在电路上测量集成电路的各引脚电压值、电阻值和电流值是否正常，来判断该集成电路是否损坏。

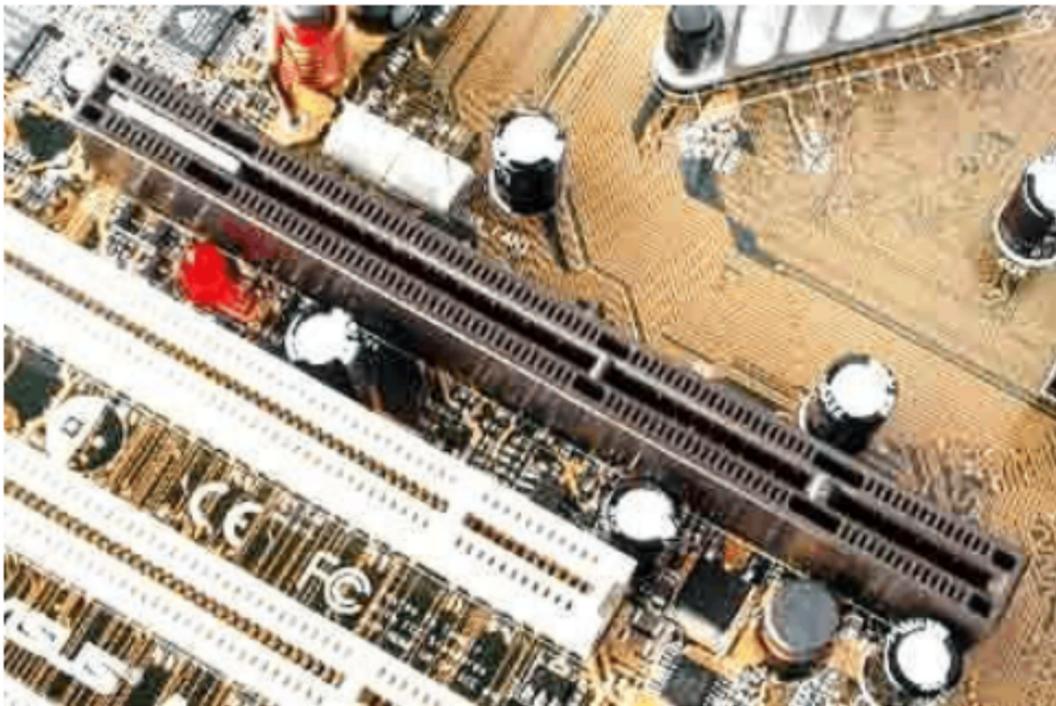
3. 代换法 代换法是用已知完好的同型号、同规格集成电路来代换被测集成电路，可以判断出该集成电路是否损坏。

第八节 Socket,Slot

8.1 Socket 和 Slot 的异同：Socket 是一种插座封装形式，是一种矩形的插座（见图六）；Slot 是一种插槽封装形式，是一种长方形的插槽（图七）。



图六



图七

第九节 PCB 的简介

9.1 PCB 的英文缩写 PCB(Printed Circuit Board)

9.2 PCB 的作用 :PCB 作为一块基板 ,他是装载其它电子元器件的载体 ,所以一块 PCB 设计的好坏将直接影响到产品质量的好坏 .

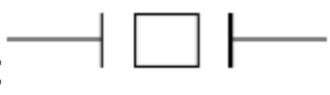
9.3 PCB 的分类和常见的规格 :根据层数可分为单面板 ,双面板和多层板 .我们主机板常用的是 4 层板或者 6 层板 ,而显示卡用的是 8 层板 .

而主机板的尺寸为 :AT 规格的主机板尺寸一般为 13X12(单位为英寸);ATX 主机板的尺寸一般为 12X96(单位为英寸);Micro Atx 主机板尺寸一般为 9.6X9.6(单位为英寸) .注明:1 英寸=2.54CM

第十节 晶振

10.1 晶振在线路中的符号是 " X" , " Y"

10.2 晶振的名词解释 : 能产生具有一定幅度及频率波形的振荡器 .

10.3 晶振在线路图中的表示符号 : 

10.4 晶振的测量方法 :

测量电阻方法 : 用万用表 RX10K档测量石英晶体振荡器的正 , 反向电阻值 . 正常时应为无穷大 . 若测得石英晶体振荡器有一定的阻值或为零 , 则说明该石英晶体振荡器已漏电或击穿损坏 .

动态测量方法 : 用示波器在电路工作时测量它的实际振荡频率是否符合该晶体的额定振荡频率 , 如果是 , 说明该晶振是正常的 , 如果该晶体的额定振荡频率偏低 , 偏高或根本不起振 , 表明该晶振已漏电或击穿损坏

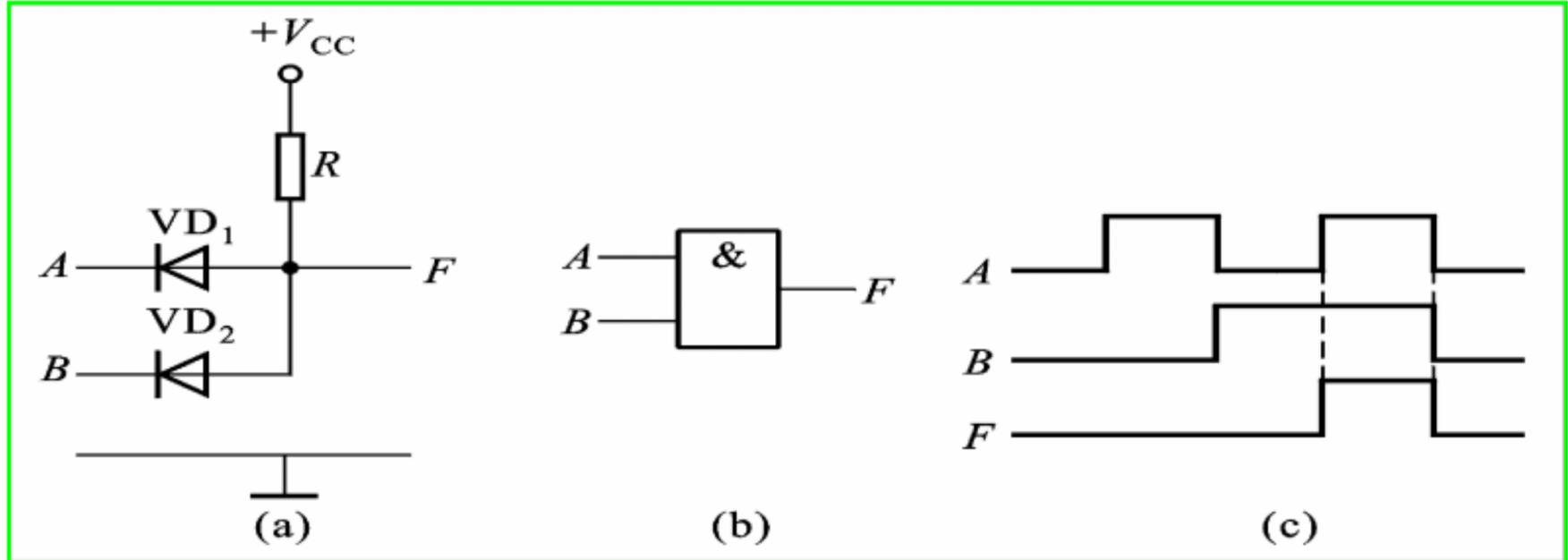
第十一节 基本逻辑门电路

1.1 门电路的概念：

实现基本和常用逻辑运算的电子电路，叫逻辑门电路。实现与运算的叫与门，实现或运算的叫或门，实现非运算的叫非门，也叫做反相器，等等（用逻辑 1 表示高电平；用逻辑 0 表示低电平）

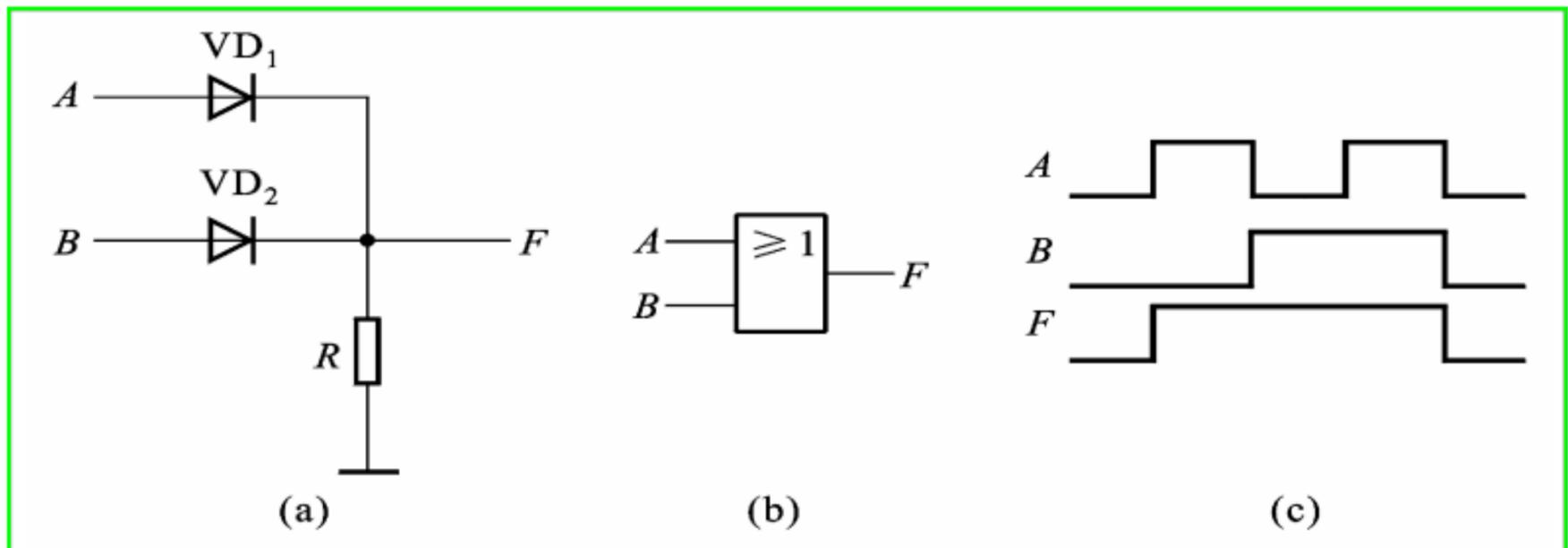
11.2 与门：

逻辑表达式 $F = A B$



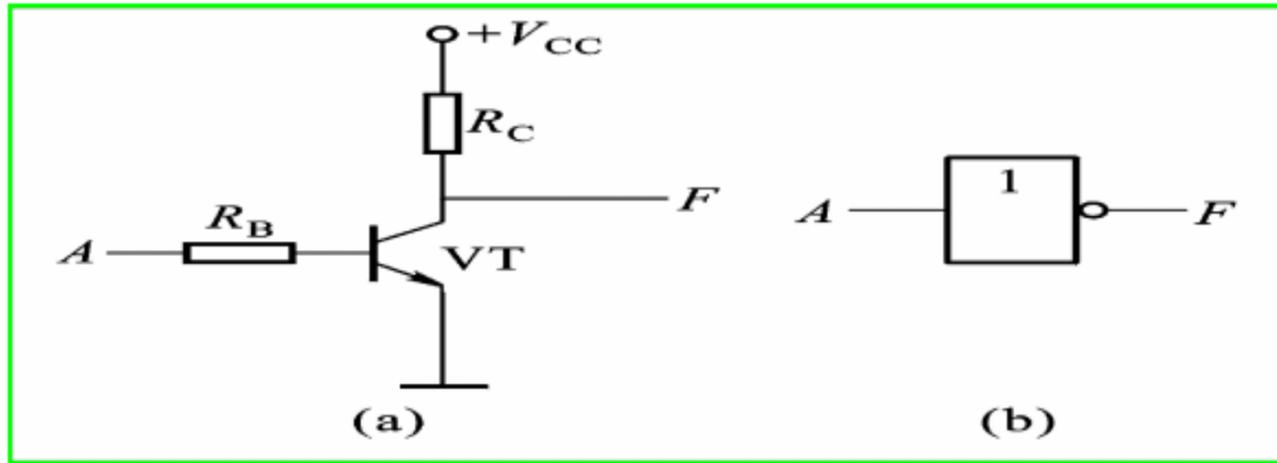
即只有当输入端 A 和 B 均为 1 时，输出端 Y 才为 1，不然 Y 为 0。与门的常用芯片型号有：74LS08, 74LS09 等。

11.3 或门： 逻辑表达式 $F = A + B$



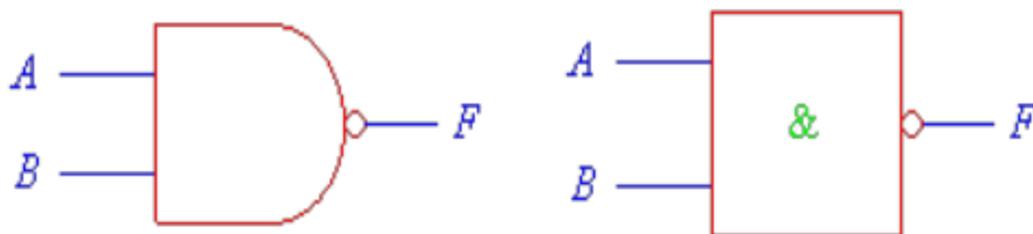
即当输入端 A 和 B 有一个为 1 时，输出端 Y 即为 1，所以输入端 A 和 B 均为 0 时，Y 才会为 0。或门的常用芯片型号有：74LS32 等。

11.4 非门 逻辑表达式 $F = \overline{A}$



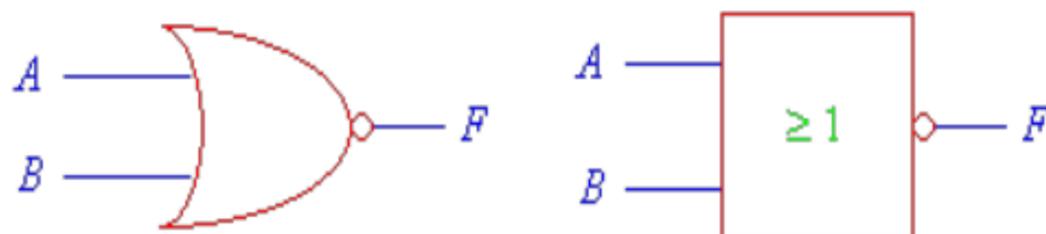
即输出端总是与输入端相反。非门的常用芯片型号有：74LS04,74LS05,74LS06,74LS14 等。

11.5 . 与非门 逻辑表达式 $F=AB$



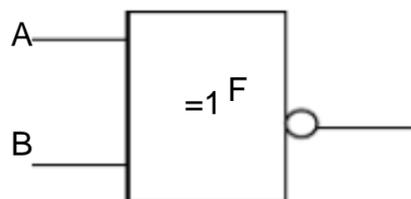
即只有当所有输入端 A 和 B 均为 1 时,输出端 Y 才为 0,不然 Y 为 1.与非门的常用芯片型号有:74LS00,74LS03,74S31,74LS132 等。

11.6 . 或非门: 逻辑表达式 $F=A+B$

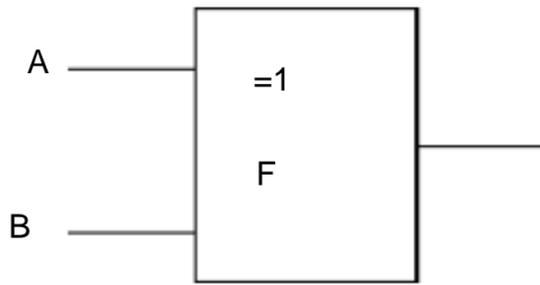


即只要输入端 A 和 B 中有一个为 1 时,输出端 Y 即为 0.所以输入端 A 和 B 均为 0 时,Y 才会为 1.或非门常见的芯片型号有：74LS02 等。

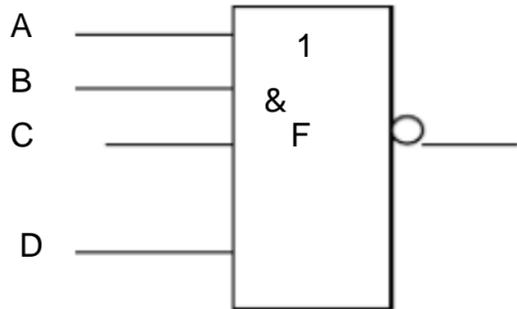
11.7 . 同或门: 逻辑表达式 $F=A B+A B$



11.8. 异或门: 逻辑表达式 $F=A B+A B$



11.9. 与非门：逻辑表达式 $F = \overline{AB}$



11.10. RS 触发器：

电路结构

把两个与非门 G_1 、 G_2 的输入、输出端交叉连接，即可构成基本 RS 触发器，其逻辑电路如图 7.2.1.(a) 所示。它有两个输入端 R 、 S 和两个输出端 Q 、 \bar{Q} 。

RS 触发器，其逻辑电路如图

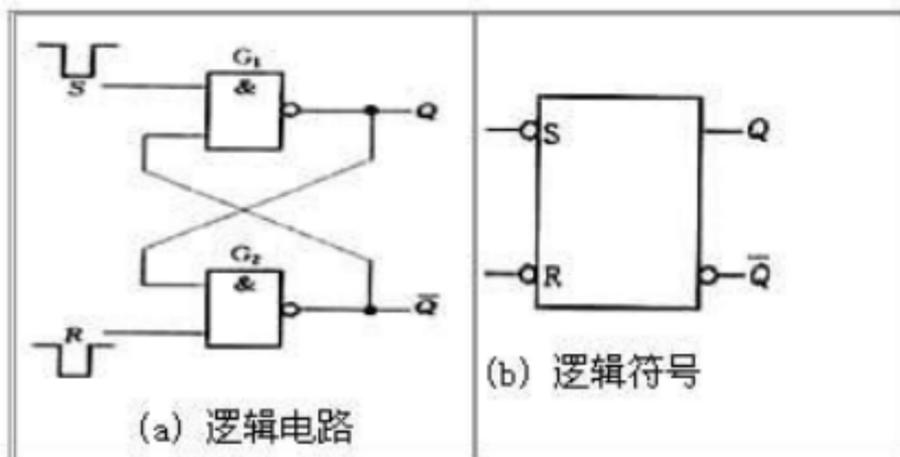


图 7.2.1 两与非门组成的基本 RS 触发器

工作原理：

$$Q = \overline{S\bar{Q}}$$

$$\bar{Q} = \overline{RQ}$$

基本 RS 触发器的逻辑方程为：

根据上述两个式子得到它的四种输入与输出的关系：

1. 当 $R=1$ 、 $S=0$ 时，则 $Q=0, \bar{Q}=1$ ，触发器置 0。
2. 当 $R=0$ 、 $S=1$ 时，则 $Q=1, \bar{Q}=0$ ，触发器置 1。

如上所述，当触发器的两个输入端加入不同逻辑电平时，它的两个输出端 Q 和 \bar{Q} 有两种互补的稳定状态。一般规定触发器 Q 端的状态作为触发器的状态。通常称触发器处于某种状态，实际是指它的 Q 端的状态。 $Q=1$ 、 $Q=0$ 时，称触发器处于 1 态，反之触发器处于 0 态。 $S=0, R=1$ 使触发器置 1，或称置位。因置位的决定条件是 $S=0$ ，故称 S 端为置 1 端。 $R=0, S=1$ 时，使触发器置 0，或称复位。

同理，称 R 端为置 0 端或复位端。若触发器原来为 1 态，欲使之变为 0 态，必须令 R 端的电平由 1 变 0， S 端的电平由 0 变 1。这里所加的输入信号（低电平）称为触发信号，由它们导致的转换过程称为翻转。由于这里的触发信号是电平，因此这种触发器称为电平控制触发器。从功能方面看，它只能在 S 和 R 的作用下置 0 和置 1，所以又称为置 0 置 1 触发器，或称为置位复位触发器。其逻辑符号如图 7.2.1(b) 所示。由于置 0 或置 1 都是触发信号低电平有效，因此， S 端和 R 端都画有小圆圈。

3. 当 $R=S=1$ 时，触发器状态保持不变。

触发器保持状态时，输入端都加非有效电平（高电平），需要触发翻转时，要求在某一输入端加一负脉冲，例如在 S 端加负脉冲使触发器置 1，该脉冲信号回到高电平后，触发器仍维持 1 状态不变，相当于把 S 端某一时刻的电平信号存储起来，这体现了触发器具有记忆功能。

4. 当 $R=S=0$ 时，触发器状态不确定

在此条件下，两个与非门的输出端 Q 和 \bar{Q} 全为 1，在两个输入信号都同时撤去（回到 1）后，由于两个与非门的延迟时间无法确定，触发器的状态不能确定是 1 还是 0，因此称这种情况为不定状态，这种情况应当避免。从另外一个角度来说，正因为 R 端和 S 端完成置 0、置 1 都是低电平有效，所以二者不能同时为 0。

此外，还可以用或非门的输入、输出端交叉连接构成置 0、置 1 触发器，其逻辑图和逻辑符号分别如图 7.2.2 (a) 和 7.2.2 (b) 所示。这种触发器的触发信号是高电平有效，因此在逻辑符号的 S 端和 R 端没有小圆圈。

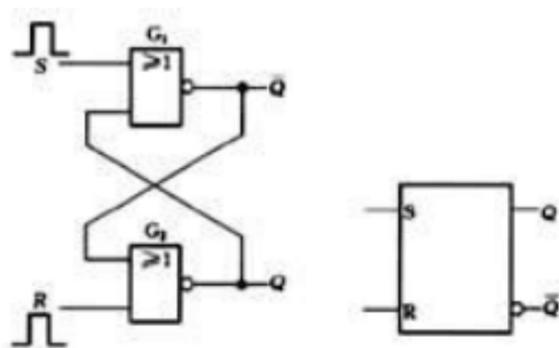


图 7.2.2 两或非门组成的基本 RS 触发器

2. 特征方程

$$\begin{cases} Q^{n+1} = \bar{S} + RQ^n \\ S + R = 1 \text{ (约束条件)} \end{cases}$$

<p>表 7.2.1 基本 RS 触发器状态转移真值表</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>R</th> <th>S</th> <th>Q^n</th> <th>Q^{n+1}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td rowspan="2">} 不确定</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	R	S	Q^n	Q^{n+1}	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	} 不确定	0	0	1	<p>表 7.2.2 简化真值表</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>R</th> <th>S</th> <th>Q^{n+1}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>Q^n</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>不定</td></tr> </tbody> </table>	R	S	Q^{n+1}	0	1	0	1	0	1	1	1	Q^n	0	0	不定
R	S	Q^n	Q^{n+1}																																																
0	1	0	0																																																
0	1	1	0																																																
1	0	0	1																																																
1	0	1	1																																																
1	1	0	0																																																
1	1	1	1																																																
0	0	0	} 不确定																																																
0	0	1																																																	
R	S	Q^{n+1}																																																	
0	1	0																																																	
1	0	1																																																	
1	1	Q^n																																																	
0	0	不定																																																	

基本 RS触发器的特性：

1. 基本 RS触发器具有置位、复位和保持（记忆）的功能；
2. 基本 RS触发器的触发信号是低电平有效，属于电平触发方式；
3. 基本 RS触发器存在约束条件（ $R+S=1$ ），由于两个与非门的延迟时间无法确定；当 $R=S=0$ 时，将导致下一状态的不确定。
4. 当输入信号发生变化时，输出即刻就会发生相应的变化，即抗干扰性能较差。

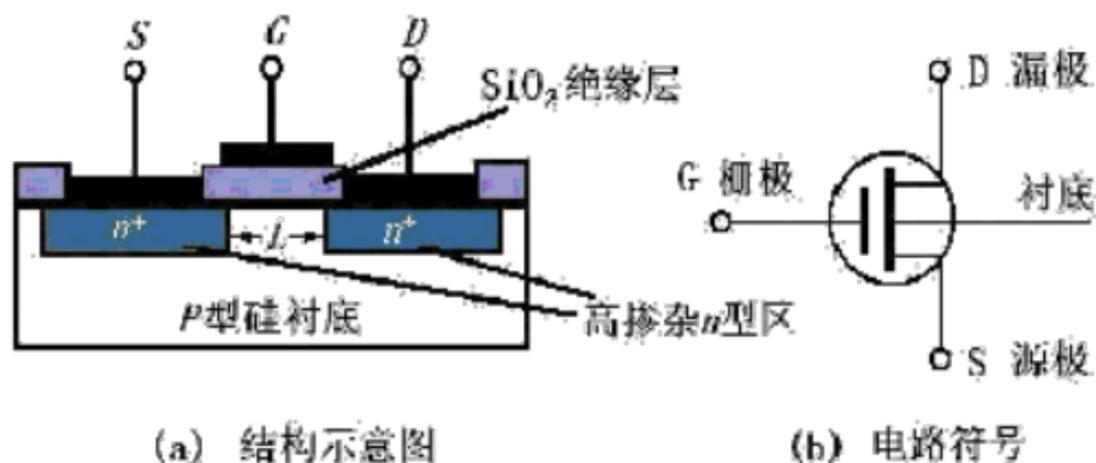
第十二节 TTL 逻辑门电路

以双极型半导体管为基本元件，集成在一块硅片上，并具有一定的逻辑功能的电路称为双极型逻辑集成电路，简称 TTL 逻辑门电路。称 Transistor-Transistor Logic, 即 BJT-BJT 逻辑门电路，是数字电子技术中常用的一种逻辑门电路，应用较早，技术已比较成熟。TTL 主要有 BJT (Bipolar Junction Transistor 即双极结型晶体管，晶体三极管) 和电阻构成，具有速度快的特点。最早的 TTL 门电路是 74 系列，后来出现了 74H 系列，74L 系列，74LS,74AS,74ALS 等系列。但是由于 TTL 功耗大等缺点，正逐渐被 CMOS 电路取代。

12.1 CMOS 逻辑门电路

CMOS 逻辑门电路是在 TTL 电路问世之后，所开发出的第二种广泛应用的数字集成器件，从发展趋势来看，由于制造工艺的改进，CMOS 电路的性能有可能超越 TTL 而成为占主导地位的逻辑器件。CMOS 电路的工作速度可与 TTL 相比较，而它的功耗和抗干扰能力则远优于 TTL。此外，几乎所有的超大规模存储器件，以及 PLD 器件都采用 CMOS 制造，且费用较低。

早期生产的 CMOS 电路为 4000 系列，随后发展为 4000B 系列。当前与 TTL 兼容的 CMOS 器件如 74HCT 系列等可与 TTL 器件交换使用。下面首先讨论 CMOS 反相器，然后介绍其他 CMOS 逻辑门电路。



MOS管结构图

MOS管主要参数：

1. 开启电压 V_T

2 开启电压 (又称阈值电压)：使得源极 S 和漏极 D 之间开始形成导电沟道所需的栅极电压；

2 标准的 N 沟道 MOS 管， V_T 约为 3 ~ 6V；

2 通过工艺上的改进，可以使 MOS 管的 V_T 值降到 2 ~ 3V。

2. 直流输入电阻 R_{GS}

2 即在栅源极之间加的电压与栅极电流之比

2 这一特性有时以流过栅极的栅流表示

2 MOS 管的 R_{GS} 可以很容易地超过 10^{10} 。

3. 漏源击穿电压 BV_{DS}

2在 $V_{GS}=0$ (增强型) 的条件下, 在增加漏源电压过程中使 I_D 开始剧增时的 V_{DS} 称为漏源击穿电压 BV_{DS}

2 I_D 剧增的原因有下列两个方面:

- (1) 漏极附近耗尽层的雪崩击穿
- (2) 漏源极间的穿通击穿

2有些 MOS管中, 其沟道长度较短, 不断增加 V_{DS} 会使漏区的耗尽层一直扩展到源区, 使沟道长度为零, 即产生漏源间的穿通, 穿通后, 源区中的多数载流子, 将直接受耗尽层电场的吸引, 到达漏区, 产生大的 I_D

4. 栅源击穿电压 BV_{GS}

2在增加栅源电压过程中, 使栅极电流 I_G 由零开始剧增时的 V_{GS} , 称为栅源击穿电压 BV_{GS}

5. 低频跨导 g_m

2在 V_{DS} 为某一固定数值的条件下, 漏极电流的微变量和引起这个变化的栅源电压微变量之比称为跨导

2 g_m 反映了栅源电压对漏极电流的控制能力

2是表征 MOS管放大能力的一个重要参数

2一般在十分之几至几 mA/V 的范围内

6. 导通电阻 R_{ON}

2导通电阻 R_{ON} 说明了 V_{DS} 对 I_D 的影响, 是漏极特性某一点切线的斜率的倒数

2在饱和区, I_D 几乎不随 V_{DS} 改变, R_{ON} 的数值很大, 一般在几十千欧到几百千欧之间

2由于在数字电路中, MOS管导通时经常工作在 $V_{DS}=0$ 的状态下, 所以这时的导通电阻 R_{ON} 可用原点的 R_{ON} 来近似

2对一般的 MOS管而言, R_{ON} 的数值在几百欧以内

7. 极间电容

2三个电极之间都存在着极间电容: 栅源电容 C_{GS} 、栅漏电容 C_{GD} 和漏源电容 C_{DS}

2 C_{GS} 和 C_{GD} 约为 $1 \sim 3$ pF

2 C_{DS} 约在 $0.1 \sim 1$ pF 之间

8. 低频噪声系数 NF

2噪声是由管子内部载流子运动的不规则性所引起的

2由于它的存在, 就使一个放大器即便在没有信号输入时, 在输出端也出现不规则的电压或电流变化

2噪声性能的大小通常用噪声系数 NF 来表示, 它的单位为分贝 (dB)

2这个数值越小, 代表管子所产生的噪声越小

2低频噪声系数是在低频范围内测出的噪声系数

2场效应管的噪声系数约为几个分贝, 它比双极性三极管的要小

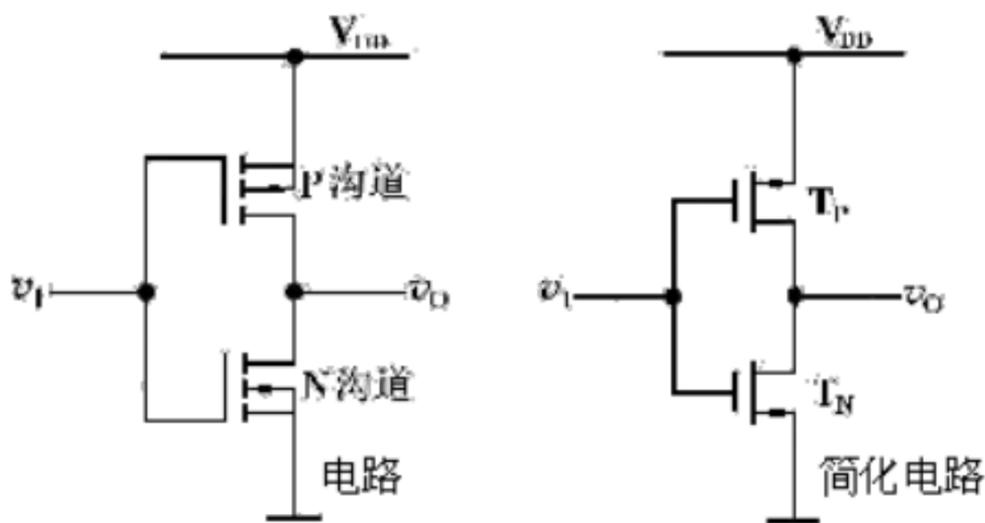
第十三节 单元电路

13.1 CMOS 反相器

由本书模拟部分已知，MOSFE有 P 沟道和 N 沟道两种，每种中又有耗尽型和增强型两类。由 N 沟道和 P 沟道两种 MOSFE 组成的电路称为互补 MOS 或 CMOS 电路。

下图表示 CMOS 反相器电路，由两只增强型 MOSFE 组成，其中一个为 N 沟道结构，另一个为 P 沟道结构。为了电路能正常工作，要求电源电压 V_{DD} 大于两个管子的开启电压的绝对值之和，即

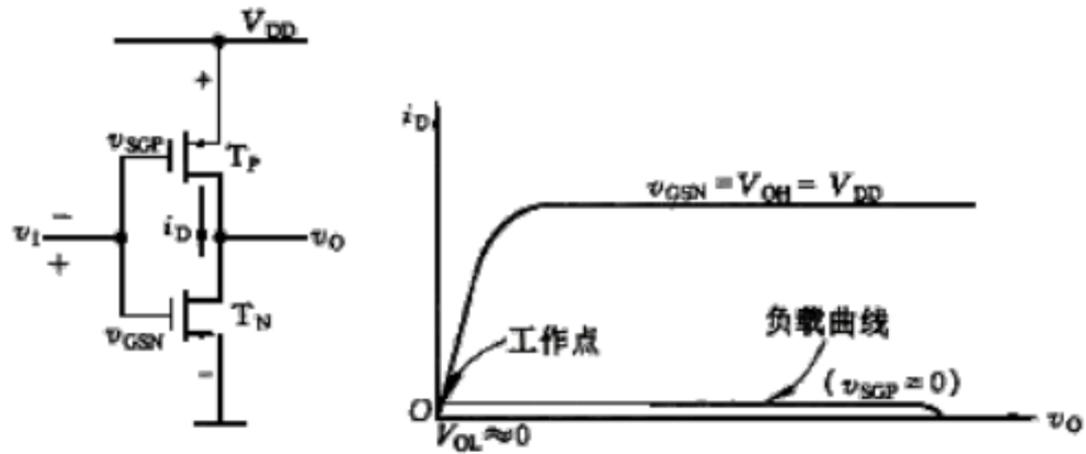
$$V_{DD} > (V_{TN} + |V_{TP}|)。$$



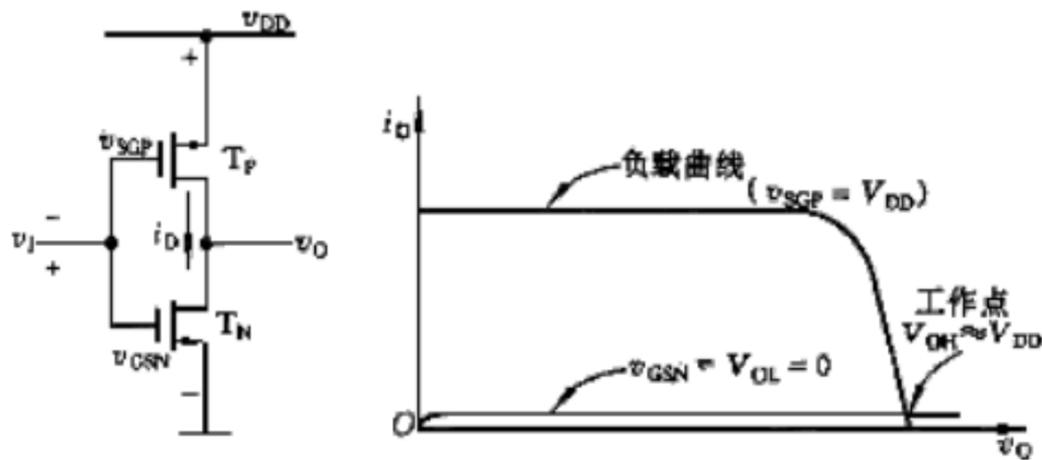
1. 工作原理

首先考虑两种极限情况：当 v_i 处于逻辑 0 时，相应的电压近似为 0V；而当 v_i 处于逻辑 1 时，相应的电压近似为 V_{DD} 。假设在两种情况下 N 沟道管 T_N 为工作管，P 沟道管 T_P 为负载管。但是，由于电路是互补对称的，这种假设可以是任意的，相反的情况亦将导致相同的结果。

下图分析了当 $v_i = V_{DD}$ 时的工作情况。在 T_N 的输出特性 $i_D - V_{DS} (V_{GSN} = V_{DD})$ (注意 $V_{DSN} = V_o$) 上，叠加一条负载线，它是负载管 T_P 在 $V_{SGP} = 0V$ 时的输出特性 $i_D - V_{SD}$ 。由于 $V_{SGP} < V_T (V_{TN} = |V_{TP}| = V_T)$ ，负载曲线几乎是一条与横轴重合的水平线。两条曲线的交点即工作点。显然，这时的输出电压 $v_{OL} \approx 0V$ (典型值 $< 10mV$)，而通过两管的电流接近于零。这就是说，电路的功耗很小 (微瓦量级)。



下图分析了另一种极限情况，此时对应于 $v_1 = 0V$ 。此时工作管 T_N 在 $v_{GSN} = 0$ 的情况下运用，其输出特性 $i_D - v_{DS}$ 几乎与横轴重合，负载曲线是负载管 T_P 在 $v_{SGP} = V_{DD}$ 时的输出特性 $i_D - v_{DS}$ 。由图可知，工作点决定了 $v_O = V_{OH} \approx V_{DD}$ ；通过两器件的电流接近零值。可见上述两种极限情况下的功耗都很低。



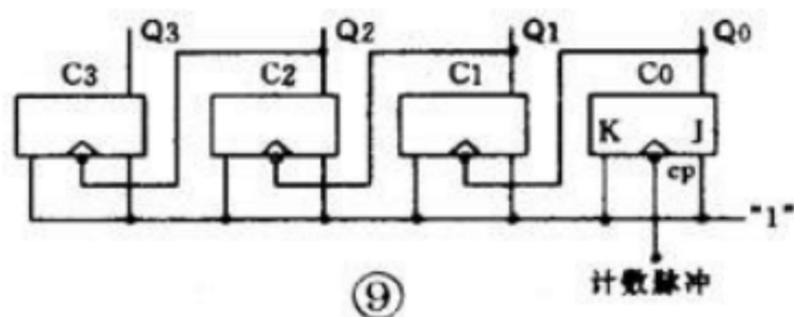
由此可知，基本 CMOS 反相器近似于一理想的逻辑单元，其输出电压接近于零或 $+V_{DD}$ ，而功耗几乎为零。

2. 传输特性

下图为 CMOS 反相器的传输特性图。图中 $V_{DD} = 10V$ ， $V_{TN} = |V_{TP}| = V_T = 2V$ 。由于 $V_{DD} > (V_{TN} + |V_{TP}|)$ ，因此，当 $V_{DD} - |V_{TP}| > v_I > V_{TN}$ 时， T_N 和 T_P 两管同时导通。考虑到电路是互补对称的，一器件可将另一器件视为它的漏极负载。还应注意到，器件在放大区（饱和区）呈现恒流特性，两器件之一可当作高阻值的负载。因此，在过渡区域，传输特性变化比较急剧。两管在 $v_I = V_{DD}/2$ 处转换状态。

器和异步计数器；按数制来分又有二进制计数器、十进制计数器和其它进位制的计数器等等。

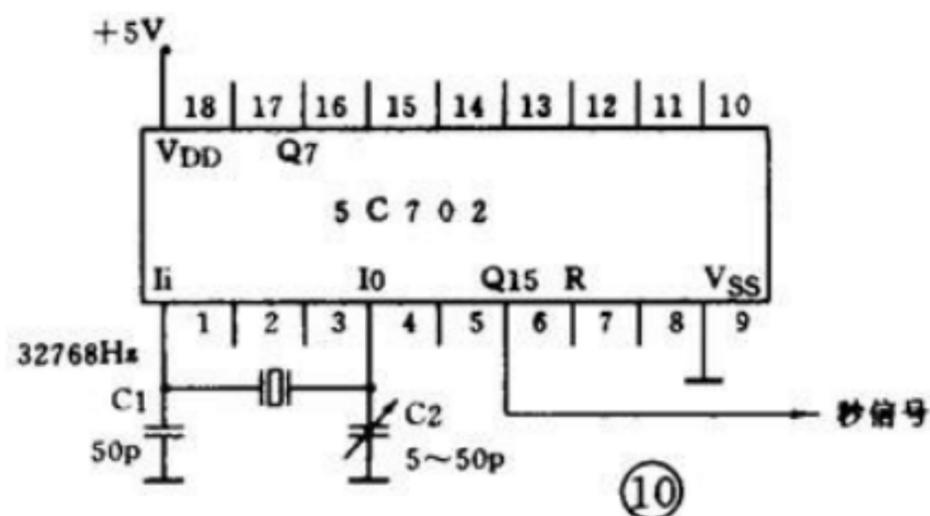
现举一个最简单的加法计数器为例，见图 9。它是一个 16 进制计数器，最大计数值是 1111，相当于十进制数 15。需要计数的脉冲加到最低位触发器的 CP 端上，所有的 J、K 端都接高电平 1，各触发器 Q 端接到相邻高一位触发器的 CP 端上。J—K 触发器的特性表告诉我们：当 J=1、K=1 时来一个 CP，触发器便翻转一次。在全部清零后，第 1 个 CP 后沿，触发器 C0 翻转成 Q0=1，其余 3 个触发器仍保持 0 态，整个计数器的状态是 0001。第 2 个 CP 后沿，触发器 C0 又翻转成“Q0=0，C1 翻转成 Q1=1，计数器成 0010。”，到第 15 个 CP 后沿，计数器成 1111。可见这个计数器确实能对 CP 脉冲计数。



2) 分频器

计数器的第一个触发器是每隔 2 个 CP 送出一个进位脉冲，所以每个触发器就是一个 2 分频的分频器，16 进制计数器就是一个 16 分频的分频器。

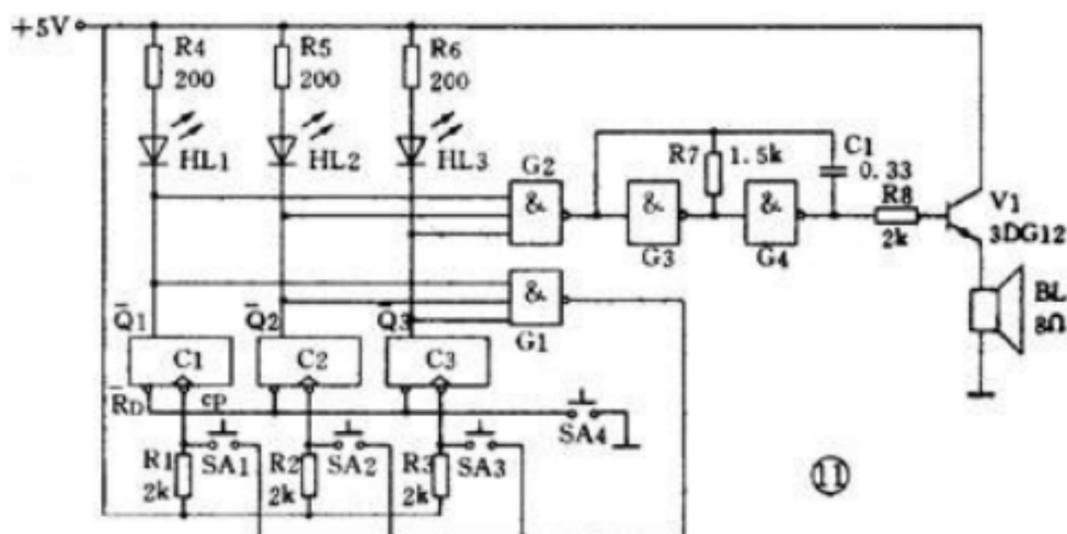
为了提高电子钟表的精确度，普遍采用的方法是用 晶体振荡器 产生 32768 赫标准信号脉冲，经过 15 级 2 分频处理得到 1 赫的秒信号。因为晶体振荡器的准确度和稳定度很高，所以得到的秒脉冲信号也是精确可靠的。把它们做到一个集成片上便是电子手表专用集成电路产品，见图 10。



数字逻辑电路的读图步骤和其它电路是相同的，只是在进行电路分析时处处要用逻辑分析的方法。读图时要：先大致了解电路的用途和性能。找出输入端、输出端和关键部件，区分各种信号并弄清信号的流向。逐级分析输出与输入的逻辑关系，了解各部分的逻辑功能。最后统观全局得出分析结果。

例 1 三路抢答器

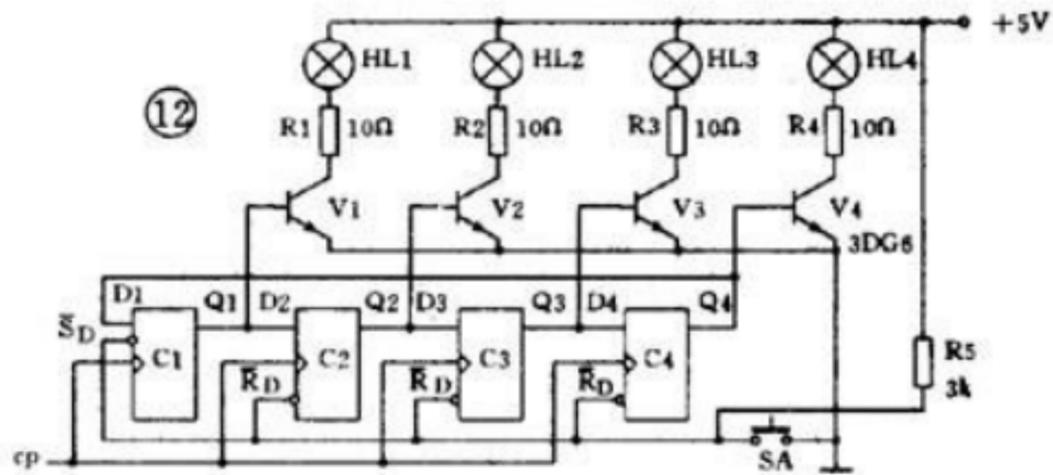
图 11 是智力竞赛用的三路抢答器电路。裁判按下开关 SA4，触发器全部被置零，进入准备状态。这时 Q1 ~ Q3 均为 1，抢答灯不亮；门 1 和门 2 输出为 0，门 3 和门 4 组成的音频振荡器不振荡，扬声器无声。



竞赛开始，假定 1 号台抢先按下 SA1，触发器 C1 翻转成 Q1=1、Q1=0。于是：门 2 输出为 1，振荡器振荡，扬声器发声；HL1 灯点亮；门 1 输出为 1，这时 2 号、3 号台再按开关也不起作用。裁判宣布竞赛结果后，再按一下 SA4，电路又进入准备状态。

例 2 彩灯追逐电路

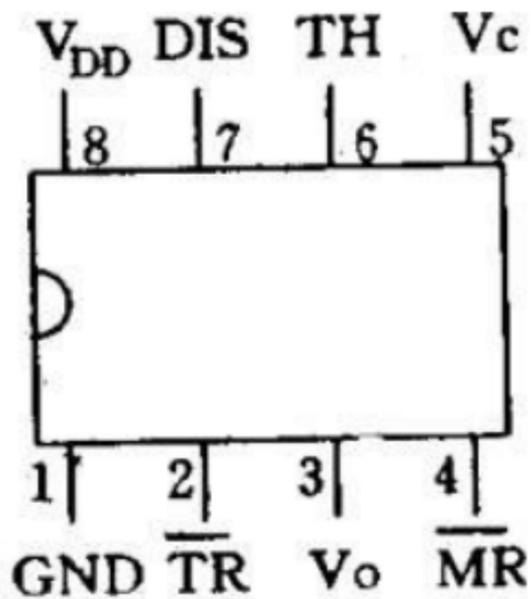
图 12 是 4 位移位寄存器控制的彩灯电路。开始时按下 SA，触发器 C1 ~ C4 被置成 1000，彩灯 HL1 被点亮。CP 脉冲来到后，寄存器移 1 位，触发器 C1 ~ C4 成 0100，彩灯 HL2 点亮。第 2 个 CP 脉冲点亮 HL3，第 3 个点亮 HL4，第 4 个 CP 又把触发器 C1 ~ C4 置成 1000，又点亮 HL1。如此循环往复，彩灯不停闪烁。只要增加触发器可使灯数增加，改变 CP 的频率可变化速度。



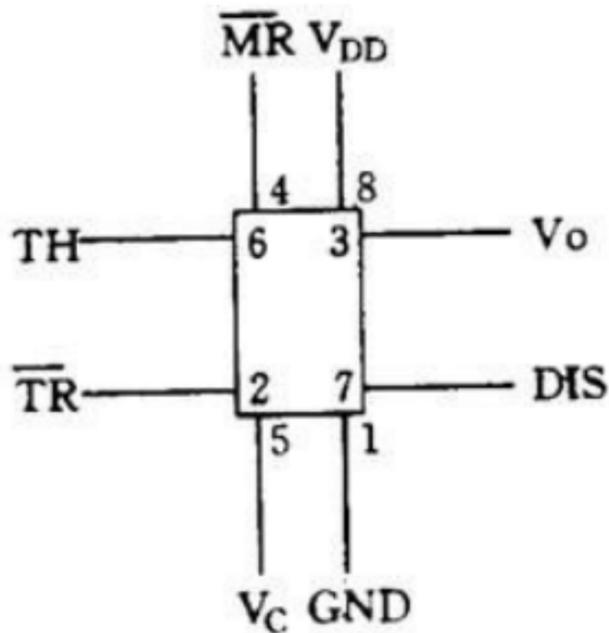
555 集成时基电路的特点

555 集成电路开始出现时是作定时器应用的，所以叫做 555 定时器或 555 时基电路。但是后来经过开发，它除了作定时延时控制外，还可以用于调光、调温、调压、调速等多种控制以及计量检测等作用；还可以组成脉冲振荡、单稳、双稳和脉冲调制电路，作为交流信号源以及完成电源变换、频率变换、脉冲调制等用途。由于它工作可靠、使用方便、价格低廉，因此目前被广泛用于各种小家电中。

555 集成电路内部有几十个元器件，有分压器、比较器、触发器、输出管和放电管等，电路比较复杂，是模拟电路和数字电路的混合体。它的性能和参数要在非线性模拟集成电路手册中才能查到。555 集成电路是 8 脚封装，图 1 (a) 是双列直插型封装，按输入输出的排列可画成图 1 (b)。其中 6 脚称阈值端 (TH)，是上比较器的输入。2 脚称触发端 (\overline{TR})，是下比较器的输入。3 脚是输出端 (VO)，它有 0 和 1 两种状态，它的状态是由输入端所加的电平决定的。7 脚的放电端 (DIS)，它是内部放电管的输出，它也有悬空和接地两种状态，也是由输入端的状态决定的。4 脚是复位端 (\overline{MR})，加上低电平 (< 0.3 伏) 时可使输出成低电平。5 脚称控制电压端 (VC)，可以用它改变上下触发电平值。8 脚是电源，1 脚为地端。

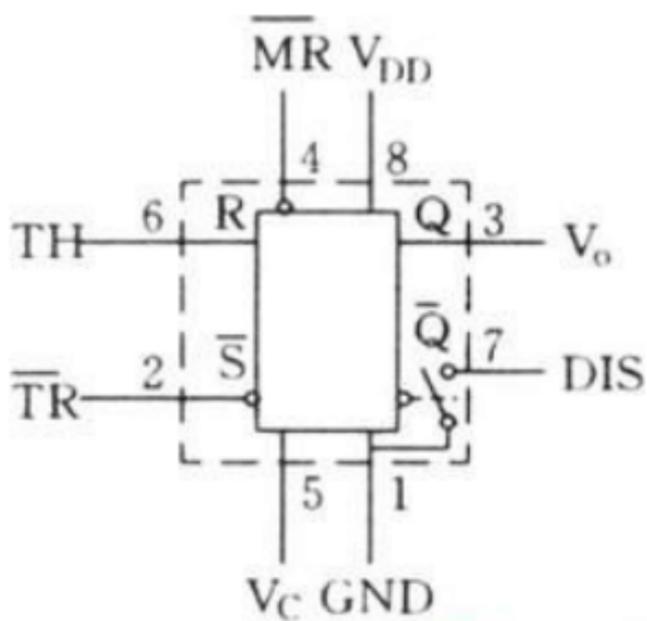


(a) 56dz.com ①



(b) 56dz.com

对于初学者来说，可以把 555 电路等效成一个带放电开关的 R - S 触发器，如图 2 (a)。这个特殊的触发器有两个输入端；阈值端 (TH) 可看成是置零端 R ，要求高电平；触发端 (\overline{TR}) 可看成是置位端 \overline{S} ，低电平有效。它只有 1 个输出端 VO ， VO 可等效成触发器的 Q 端。放电端 (DIS) 可看成由内部的放电开关控制的一个接点，放电开关由触发器的 Q 端控制： $\overline{Q}=1$ 时 DIS 端接地； $\overline{Q}=0$ 时 DIS 端悬空。此外这个触发器还有复位端 \overline{MR} ，控制电压端 VC ，电源端 VDD 和地端 GND。



(a) 56dz.com ②

\overline{MR}	R	\overline{S}	Vo	DIS
	1	1	0	接地
1	0	1	Qn	保持
	*	0	1	开路
0	*	*	0	接地

(b) 56dz.com

这个特殊的 R - S 触发器有 2 个特点：(1) 两个输入端的触发电平要求一高一低：置零端 R 即阈值端 TH 要求高电平，而置位端 \overline{S} 即触发端 \overline{TR} 则要求低电平。(2) 两个输入端的触发电平，也就是使它们翻转的阈值电压值也不同，当 VC 端不接控制电压时，对 TH (R) 端来讲， $> 2/3 V_{DD}$ 是

高电平 1， $< 2/3 V_{DD}$ 是低电平 0；而对 \overline{TR} (\overline{S}) 端来讲， $> 1/3 V_{DD}$ 是高电平 1， $< 1/3 V_{DD}$ 是低电平 0。如果在控制端 (V_C) 加上控制电压 V_C ，这时上触发电平就变成 V_C 值，而下触发电平则变成 $1/2 V_C$ 。可见改变控制端的控制电压值可以改变上下触发电平值。

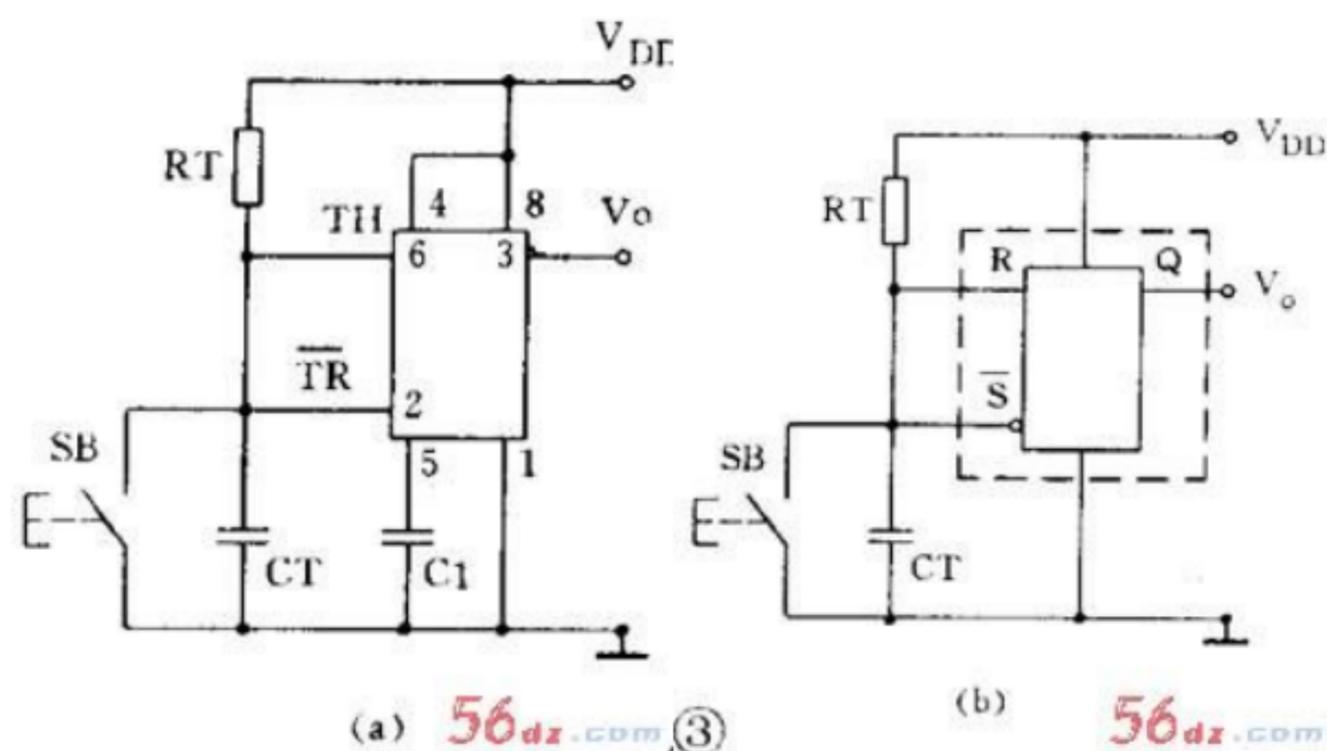
经过简化，555 电路可以等效成一个触发器，它的功能表见图 2 (b)。

555 集成电路有双极型和 CMOS 型两种。CMOS 型的优点是功耗低、电源电压低、输入阻抗高，但输出功率较小，输出驱动电流只有几毫安。双极型的优点是输出功率大，驱动电流达 200 毫安，其它指标则不如 CMOS 型的。

此外还有一种 556 双时基电路，14 脚封装，内部包含有两个相同的时基电路单元。555 的应用电路很多，大体上可分为 555 单稳、555 双稳和 555 无稳三类。555 单稳电路单稳电路有一个稳态和一个暂稳态。555 的单稳电路是利用电容的充放电形成暂稳态的，因此它的输入端都带有定时电阻和定时电容，常见的 555 单稳电路有两种。

(1) 人工启动型单稳

将 555 电路的 6、2 端并接起来接在 RC 定时电路上，在定时电容 C_T 两端接按钮开关 SB ，就成为人工启动型 555 单稳电路，见图 3 (a)。用等效触发器替代 555，并略去与单稳工作无关的部分后画成等效图 3 (b)。下面分析它的工作：

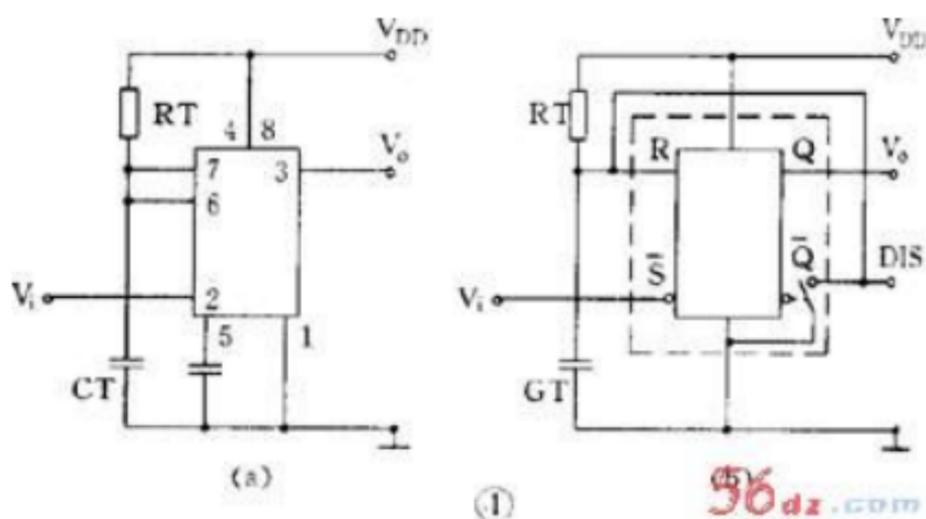


稳态：接上电源后，电容 C_T 很快充到 V_{DD} ，从图 3 (b) 看到，触发器输入 $R=1$ ， $\overline{S}=1$ ，从功能表查到输出 $V_o=0$ ，这是它的稳态。

暂稳态：按下开关 S_B ， C_T 上电荷很快放到零，相当于触发器输入 $R=0$ ， $\bar{S}=0$ ，输出立即翻转成 $V_o=1$ ，暂稳态开始。开关放开后，电源又向 C_T 充电，经时间 t_d 后， C_T 上电压升到 $> 2/3 V_{DD}$ 时，输出又翻转成 $V_o=0$ ，暂稳态结束。 t_d 就是单稳电路的定时时间或延时时间，它和定时电阻 R_T 和定时电容 C_T 的值有关； $t_d=1.1R_T C_T$ 。

(2) 脉冲启动型单稳

把 555 电路的 6、7 端并接起来接到定时电容 C_T 上，用 2 端作输入就成为脉冲启动型单稳电路，见图 4 (a)。电路的 2 端平时接高电平，当输入接低电平或输入负脉冲时才启动电路。用等效触发器替代 555 电路后可画成图 4 (b)。这个电路利用放电端使定时电容能快速放电。下面分析它的工作状态：



稳态：通电后， $R=1$ ， $\bar{S}=1$ ，输出 $V_o=0$ ，DIS 端接地， C_T 上电压为 0 即 $R=0$ ，输出仍保持 $V_o=0$ ，这是它的稳态。

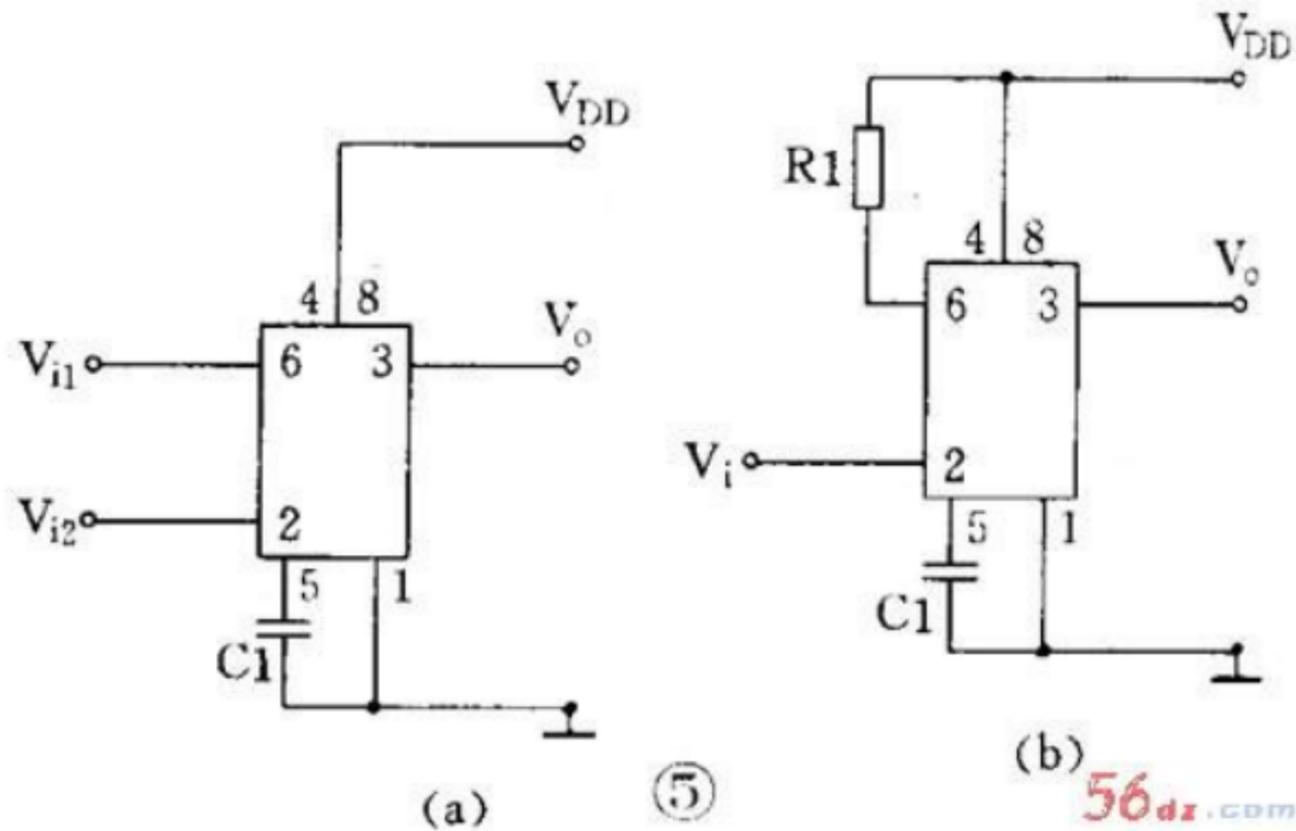
暂稳态：输入负脉冲后，输入 $\bar{S}=0$ ，输出翻转成 $V_o=1$ ，DIS 端开路，电源通过 R_T 向 C_T 充电，暂稳态开始。经过 t_d 后， C_T 上电压升到 $> 2/3 V_{DD}$ ，这时负脉冲已经消失，输入又成为 $R=1$ ， $\bar{S}=1$ ，输出又翻转成 $V_o=0$ ，暂稳态结束。这时内部放电开关接通，DIS 端接地， C_T 上电荷很快放到零，为下一次定时控制作准备。电路的定时时间 $t_d=1.1R_T C_T$ 。

这两种单稳电路常用作定时延时控制。

555 双稳电路

常见的 555 双稳电路有两种。

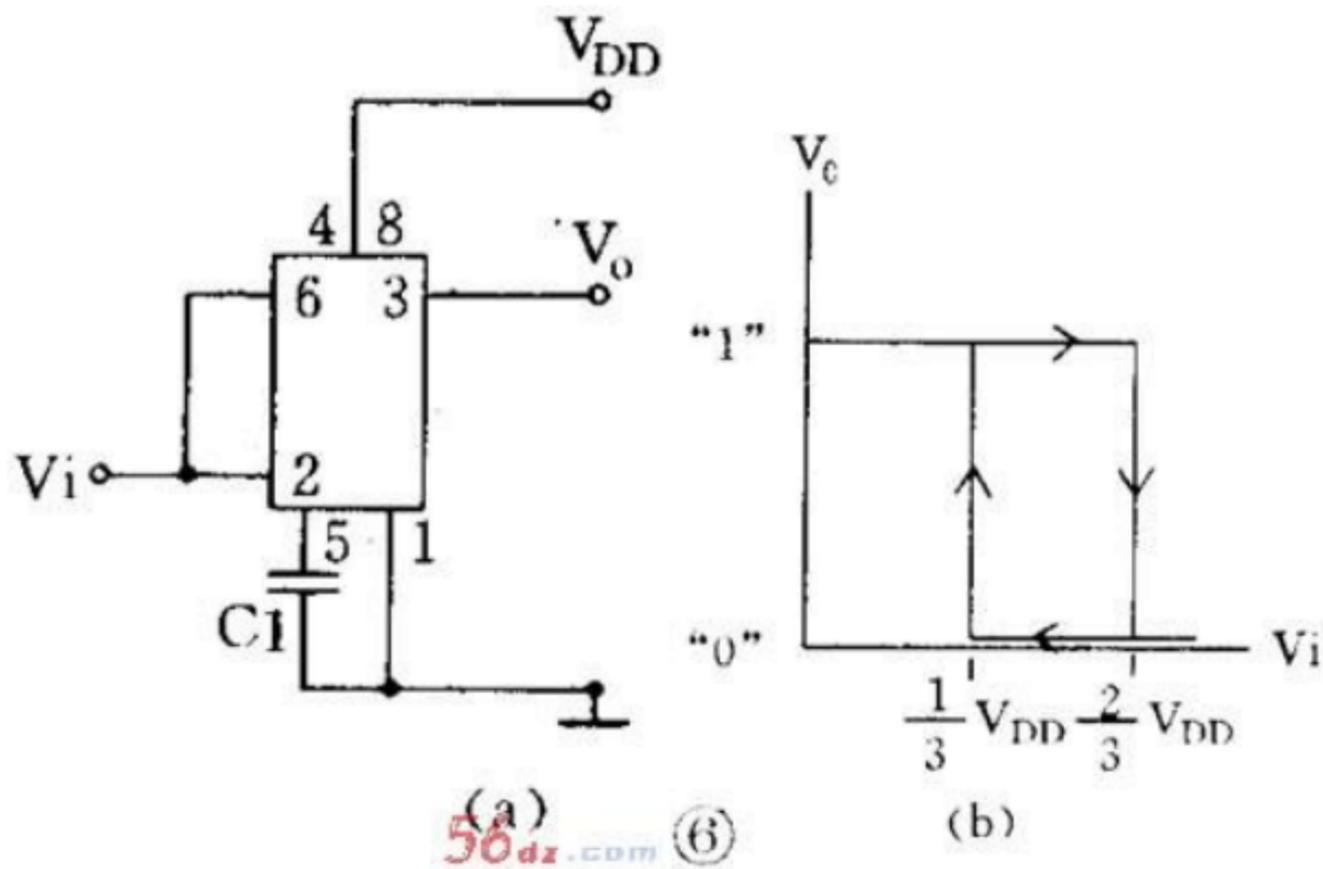
(1) R-S 触发器型双稳把 555 电路的 6 、 2 端作为两个控制输入端，7 端不用，就成为一个 R - S 触发器。要注意的是两个输入端的电平要求和阈值电压都不同，见图 5 (a)。有时可能只有一个控制端，这时另一个控制端要设法接死，根据电路要求可以把 R 端接到电源端，见图 5 (b)，也可以把 S 端接地，用 R 端作输入。



有两个输入端的双稳电路常用作电机调速、电源上下限告警等用途，有一个输入端的双稳电路常作为单端比较器用作各种检测电路。

(2) 施密特触发器型双稳

把 555 电路的 6 、 2 端并接起来成为只有一个输入端的触发器，见图 6 (a)。这个触发器因为输出电压和输入电压的关系是一个长方形的回线形，见图 6 (b)，所以被称为施密特触发器。从曲线看到，当输入 $V_i = 0$ 时输出 $V_o = 1$ 。当输入电压从 0 上升时，要升到 $> 2/3 V_{DD}$ 以后， V_o 才翻转成 0。而当输入电压从最高值下降时，要降到 $< 1/3 V_{DD}$ 以后， V_o 才翻转成 1。所以输出电压和输入电压之间是一个回线形曲线。由于它的输入有两个不同的阈值电压，所以这种电路被用作电子开关，各种控制电路，波形变换和整形的用途。

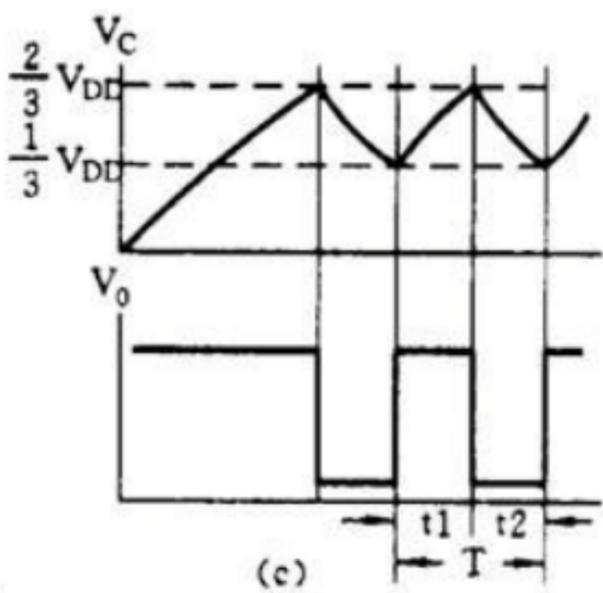
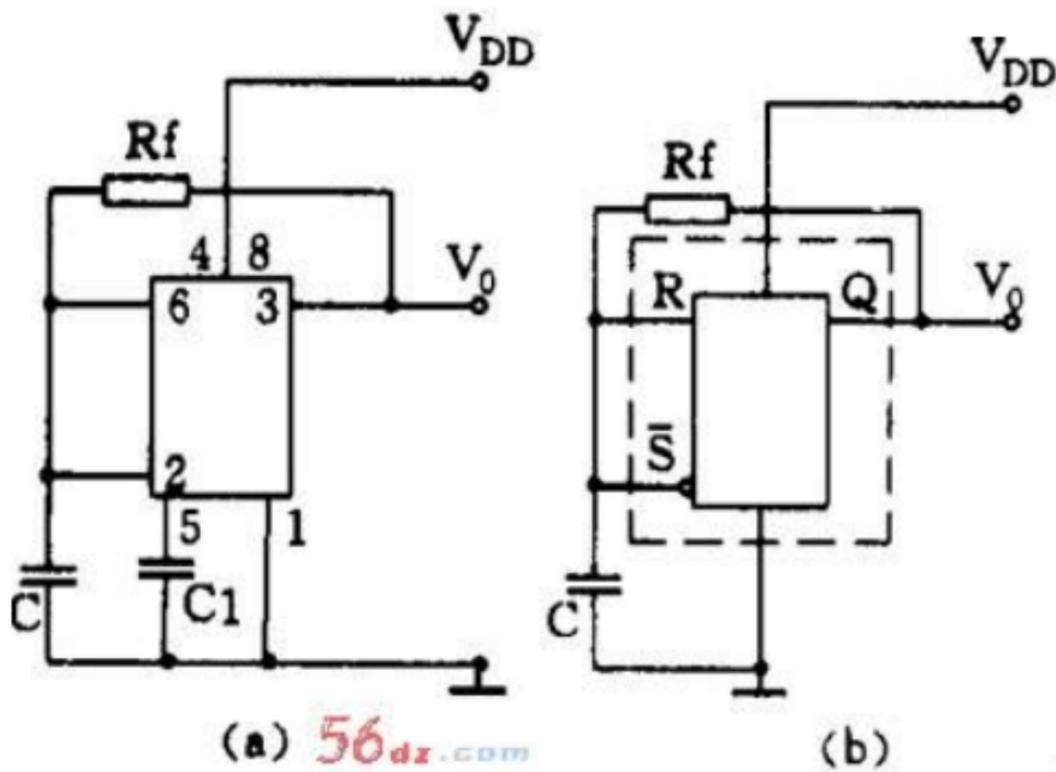


555 无稳电路

无稳电路有 2 个暂稳态，它不需要外触发就能自动从一种暂稳态翻转到另一种暂稳态，它的输出是一串矩形脉冲，所以它又称为自激多谐振荡器或脉冲振荡器。555 的无稳电路有多种，这里介绍常用的 3 种。

(1) 直接反馈型 555 无稳

利用 555 施密特触发器的回滞特性，在它的输入端接电容 C ，再在输出 V_o 与输入之间接一个反馈电阻 R_f ，就能组成直接反馈型多谐振荡器，见图 7 (a)。用等效触发器替代 555 电路后可画成图 7 (b)。现在来看看它的振荡工作原理：

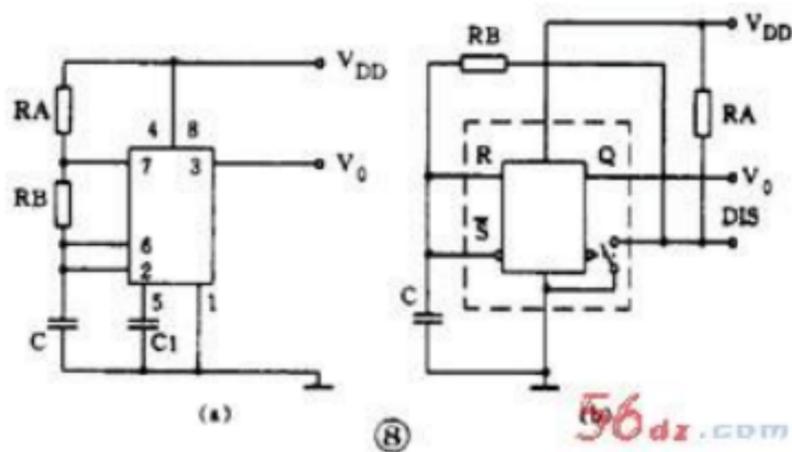


⑦

刚接通电源时， C 上电压为零，输出 $V_0=1$ 。通电后电源经内部电阻、 V_0 端、 R_f 向 C 充电，当 C 上电压升到 $> \frac{2}{3} V_{DD}$ 时，触发器翻转 $V_0=0$ ，于是 C 上电荷通过 R_f 和 V_0 放电入地。当 C 上电压降到 $< \frac{1}{3} V_{DD}$ 时，触发器又翻转成 $V_0=1$ 。电源又向 C 充电，不断重复上述过程。由于施密特触发器有 2 个不同的阈值电压，因此 C 就在这 2 个阈值电压之间交替地充电和放电，输出得到的是一串连续的矩形脉冲，见图 7 (c)。脉冲频率约为 $f=0.722 / R_f C$ 。

(2) 间接反馈型无稳

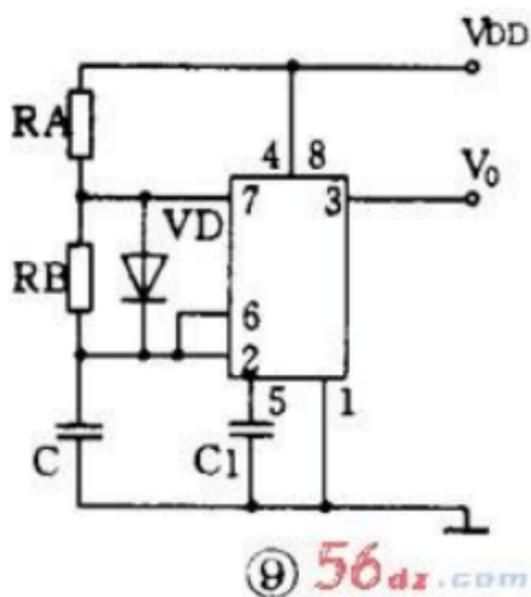
另一路多谐振荡器是把反馈电阻接在放电端和电源上，如图 8 (a)，这样做使振荡电路和输出电路分开，可以使负载能力加大，频率更稳定。这是目前使用最多的 555 振荡电路。



这个电路在刚通电时， $V_0=1$ ，DIS 端开路，C 的充电路径是：电源 V_{DD} R_A DIS R_B C，当 C 上电压上升到 $> 2/3 V_{DD}$ 时， $V_0=1$ ，DIS 端接地，C 放电，C 放电的路径是：C R_B DIS 地。可以看到充电和放电时间常数不等，输出不是方波。 $t_1=0.693 (R_A + R_B) C$ 、 $t_2=0.693 R_B C$ ，脉冲频率 $f=1.443 / (R_A + 2R_B) C$

(3) 555 方波振荡电路

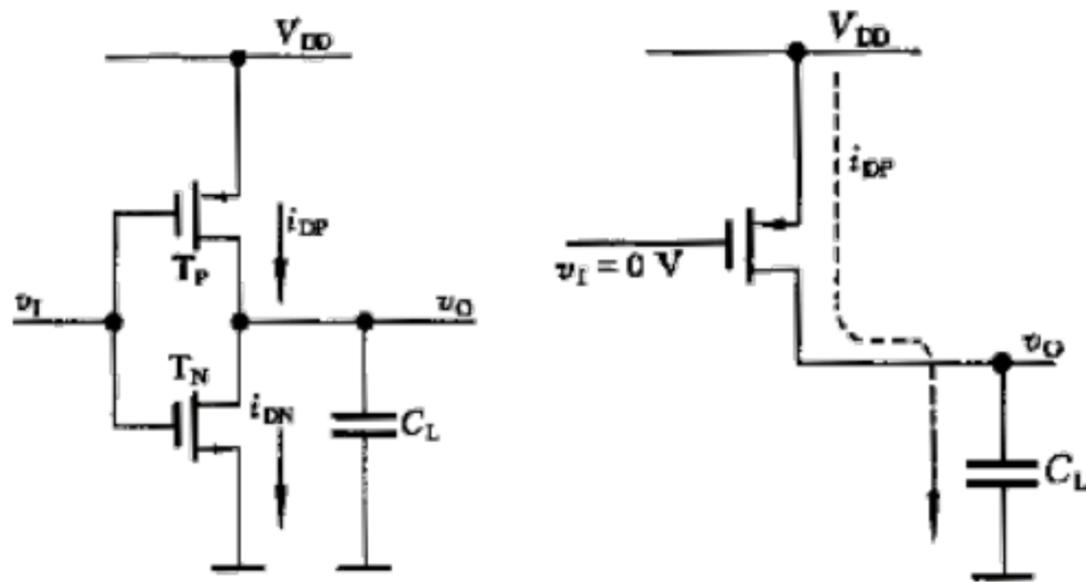
要想得到方波输出，可以用图 9 的电路。它是在图 8 的电路基础上在 R_B 两端并联一个二极管 VD 组成的。当 $R_A=R_B$ 时，C 的充放电时间常数相等，输出就得到方波。方波的频率为 $f=0.722 / R A C (R_A=R_B)$



在这个电路的基础上，在 R_A 和 R_B 回路内增加电位器以及采用串联或并联二极管的方法可以得到占空比可调的脉冲振荡电路。

555 脉冲振荡电路常被用作交流信号源，它的振荡频率范围大致在零点几赫到几兆赫之间。因为电路简单可靠，所以使用极广。

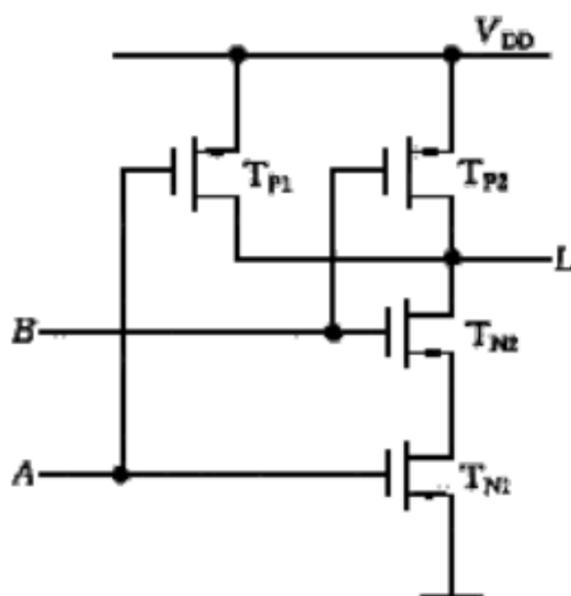
CMOS反相器在电容负载情况下，它的开通时间与关闭时间是相等的，这是因为电路具有互补对称的性质。下图表示当 $v_i=0V$ 时， T_N 截止， T_P 导通，由 V_{DD} 通过 T_P 向负载电容 C_L 充电的情况。由于 CMOS反相器中，两管的 g_m 值均设计得较大，其导通电阻较小，充电回路的时间常数较小。类似地，亦可分析电容 C_L 的放电过程。CMOS反相器的平均传输延迟时间约为 10ns。



13.2 CMOS 逻辑门电路

1. 与非门电路

下图是 2 输入端 CMOS与非门电路，其中包括两个串联的 N 沟道增强型 MOS管和两个并联的 P 沟道增强型 MOS管。每个输入端连到一个 N 沟道和一个 P 沟道 MOS管的栅极。当输入端 A、B 中只要有一个为低电平时，就会使与它相连的 NMOS管截止，与它相连的 PMOS管导通，输出为高电平；仅当 A、B 全为高电平时，才会使两个串联的 NMOS管都导通，使两个并联的 PMOS管都截止，输出为低电平。

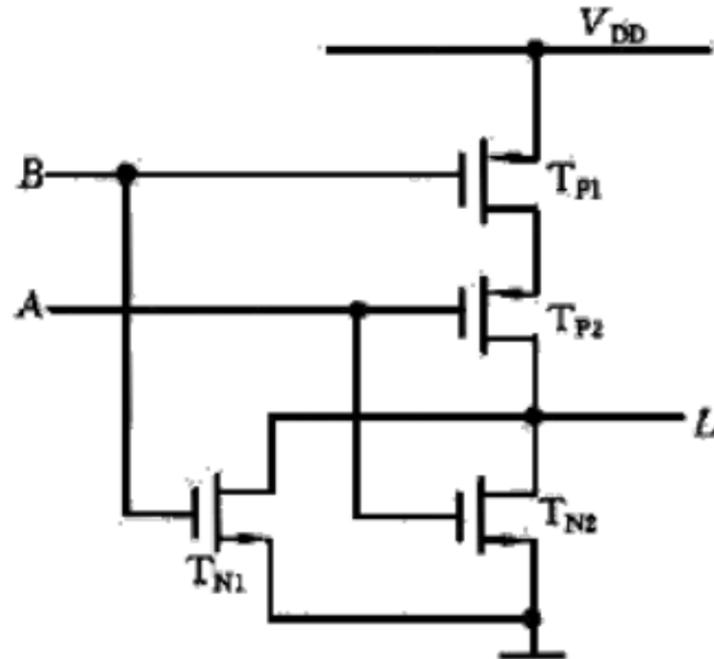


因此，这种电路具有与非的逻辑功能，即 $L = \overline{A \cdot B}$

n 个输入端的与非门必须有 n 个 NMOS管串联和 n 个 PMOS管并联。

2. 或非门电路

下图是 2 输入端 CMOS 或非门电路。其中包括两个并联的 N 沟道增强型 MOS 管和两个串联的 P 沟道增强型 MOS 管。



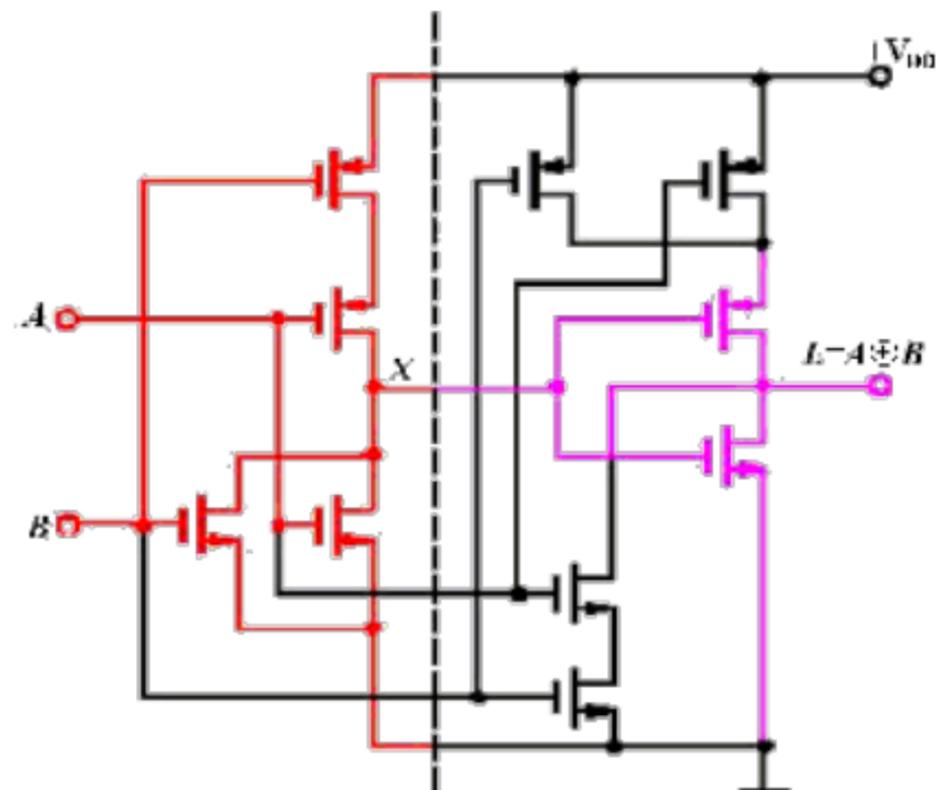
当输入端 A、B 中只要有一个为高电平时，就会使与它相连的 NMOS 管导通，与它相连的 PMOS 管截止，输出为低电平；仅当 A、B 全为低电平时，两个并联 NMOS 管都截止，两个串联的 PMOS 管都导通，输出为高电平。

因此，这种电路具有或非的逻辑功能，其逻辑表达式为 $L = \overline{A + B}$

显然，n 个输入端的或非门必须有 n 个 NMOS 管并联和 n 个 PMOS 管串联。

比较 CMOS 与非门和或非门可知，与非门的工作管是彼此串联的，其输出电压随管子个数的增加而增加；或非门则相反，工作管彼此并联，对输出电压不致有明显的影 响。因而或非门用得较多。

13.3. 异或门电路

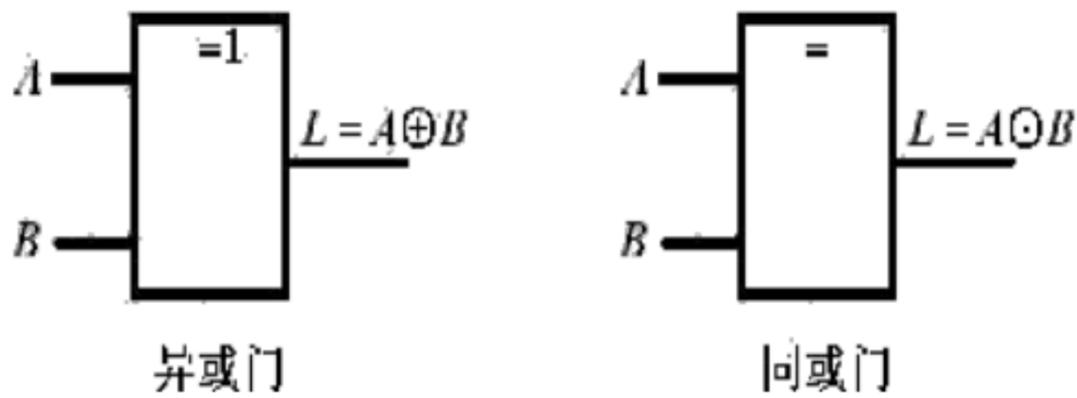


上图为 CMOS 异或门电路。它由一级或非门和一级与或非门组成。或非门的输出 $X = \overline{A+B}$ 。而与或非门的输出 L 即为输入 A、B 的异或

$$\begin{aligned}
 L &= \overline{A \cdot B + X} \\
 &= \overline{A \cdot B + \overline{A+B}} \\
 &= \overline{A \cdot B + \overline{A} \cdot \overline{B}} \\
 &= A \oplus B
 \end{aligned}$$

如在异或门的后面增加一级反相器就构成异或非门，

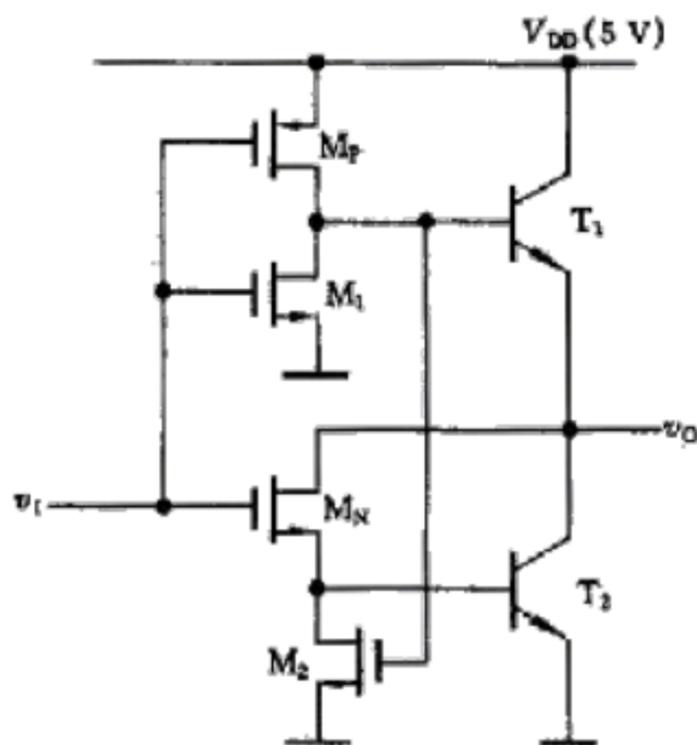
由于具有 $\overline{L} = A \cdot B + \overline{A} \cdot \overline{B}$ 的功能，因而称为同或门。异或门和同或门的逻辑符号如下图所示。



13.4 BiCMOS 门电路

双极型 CMOS 或 BiCMOS 的特点在于，利用了双极型器件的速度快和 MOSFET 的功耗低两方面的优势，因而这种逻辑门电路受到用户的重视

1. BiCMOS 反相器

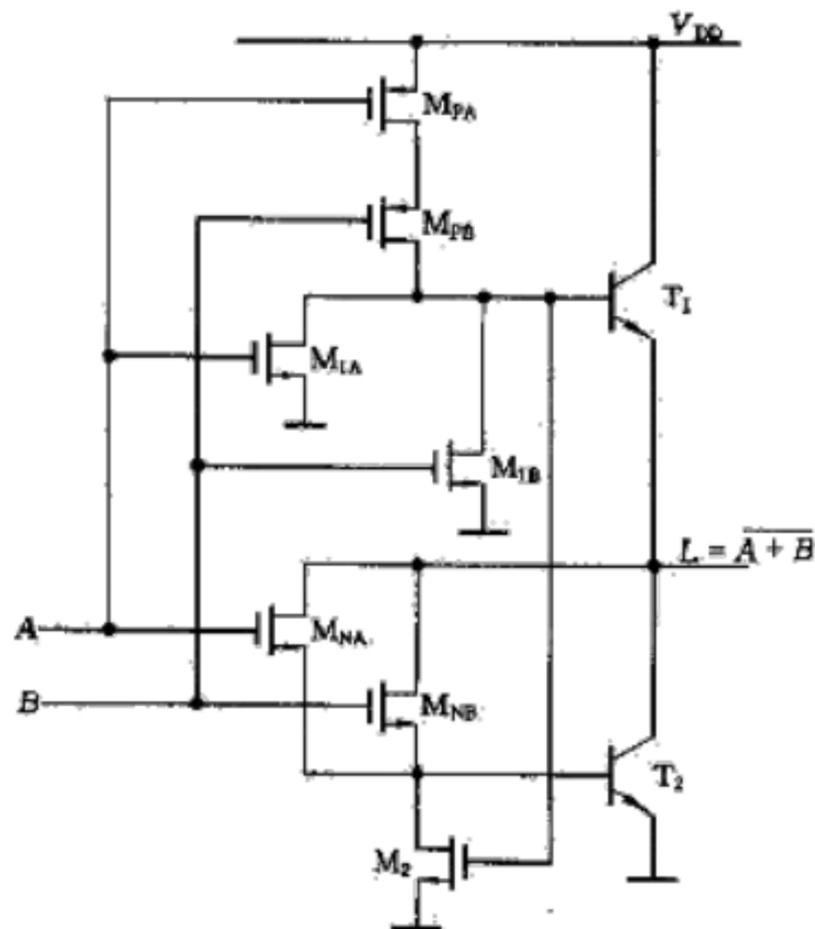


上图表示基本的 BiCMOS反相器电路，为了清楚起见，MOSFE用符号 M表示 BJT用 T表示。T₁和 T₂构成推拉式输出级。而 M_p、M_n、M_{1A}、M_{1B}所组成的输入级与基本的 CMOS反相器很相似。输入信号 v_i同时作用于 M_p和 M_n的栅极。当 v_i为高电压时 M_p导通而 M_n截止；而当 v_i为低电压时，情况则相反，M_n导通，M_p截止。当输出端接有同类 BiCMOS门电路时，输出级能提供足够大的电流为电容性负载充电。同理，已充电的电容负载也能迅速地通过 T₂放电。

上述电路中 T₁和 T₂的基区存储电荷亦可通过 M_p和 M_n释放，以加快电路的开关速度。当 v_i为高电压时 M_p导通，T₁基区的存储电荷迅速消散。这种作用与 TTL门电路的输入级中 T₁类似。同理，当 v_i为低电压时，电源电压 V_{DD}通过 M_n以激励 M_p使 M_p导通，显然 T₂基区的存储电荷通过 M_p而消散。可见，门电路的开关速度可得到改善。

2. BiCMOS门电路

根据前述的 CMOS门电路的结构和工作原理，同样可以用 BiCMOS技术实现或非门和与非门。如果要实现或非逻辑关系，输入信号用来驱动并联的 N沟道 MOSFET而 P沟道 MOSFE则彼此串联。正如下图所示的 2 输入端或非门。

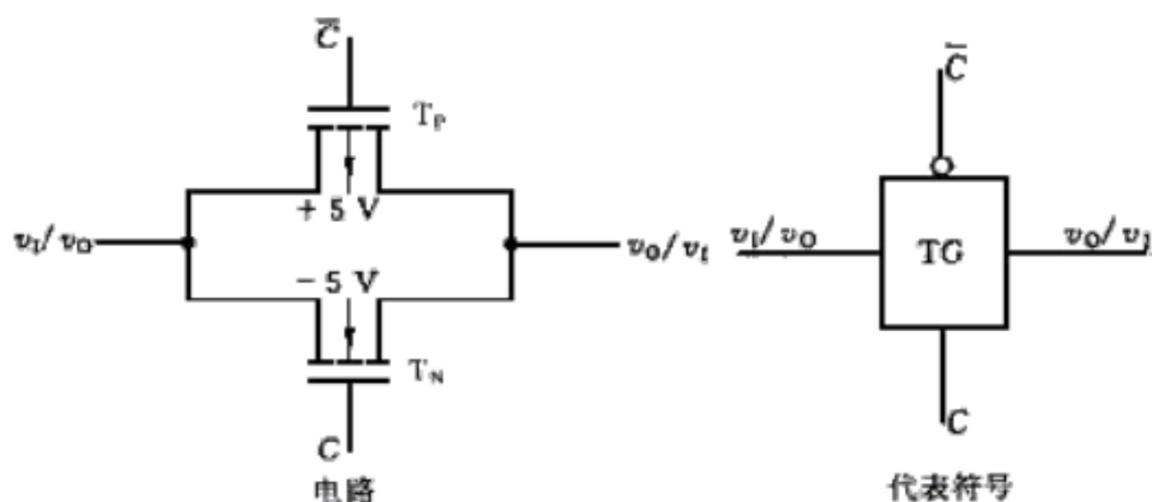


当 A 和 B 均为低电平时，则两个 MOSFET M_{nA}和 M_{nB}均导通，T₁导通而 M_{pA}和 M_{pB}均截止，输出 L 为高电平。与此同时，M_p通过 M_{pA}和 M_{pB}被 V_{DD}所激励，从而为 T₂的基区存储电荷提供一条释放通路。

另一方面，当两输入端 A 和 B 中之一为高电平时，则 M_{pA}和 M_{pB}的通路被断开，并且 M_{nA}或 M_{nB}导通，将使输出端为低电平。同时，M_{pA}或 M_{pB}为 T₁的基极存储电荷提供一条释放道路。因此，只要有一个输入端接高电平，输出即为低电平。

13.5、CMOS 传输门

MOSFE的输出特性在原点附近呈线性对称关系，因而它们常用作模拟开关。模拟开关广泛地用于取样——保持电路、斩波电路、模数和数模转换电路等。下面着重介绍 CMOS传输门。



所谓传输门 (TG) 就是一种传输模拟信号的模拟开关。 CMOS传输门由一个 P 沟道和一个 N 沟道增强型 MOSFE 并联而成，如上图所示。 T_P 和 T_N 是结构对称的器件，它们的漏极和源极是可互换的。 设它们的开启电压 $|V_{T1}|=2V$ 且输入模拟信号的变化范围为 $-5V$ 到 $+5V$ 。为使衬底与漏源极之间的 PN 结任何时刻都不致正偏，故 T_P 的衬底接 $+5V$ 电压，而 T_N 的衬底接 $-5V$ 电压。两管的栅极由互补的信号电压 ($+5V$ 和 $-5V$) 来控制，分别用 C 和 \bar{C} 表示。

传输门的工作情况如下：当 C 端接低电压 $-5V$ 时 T_N 的栅压即为 $-5V$ ， v_i 取 $-5V$ 到 $+5V$ 范围内的任意值时， T_N 均不导通。同时， T_P 的栅压为 $+5V$ ， T_P 亦不导通。可见，当 C 端接低电压时，开关是断开的。

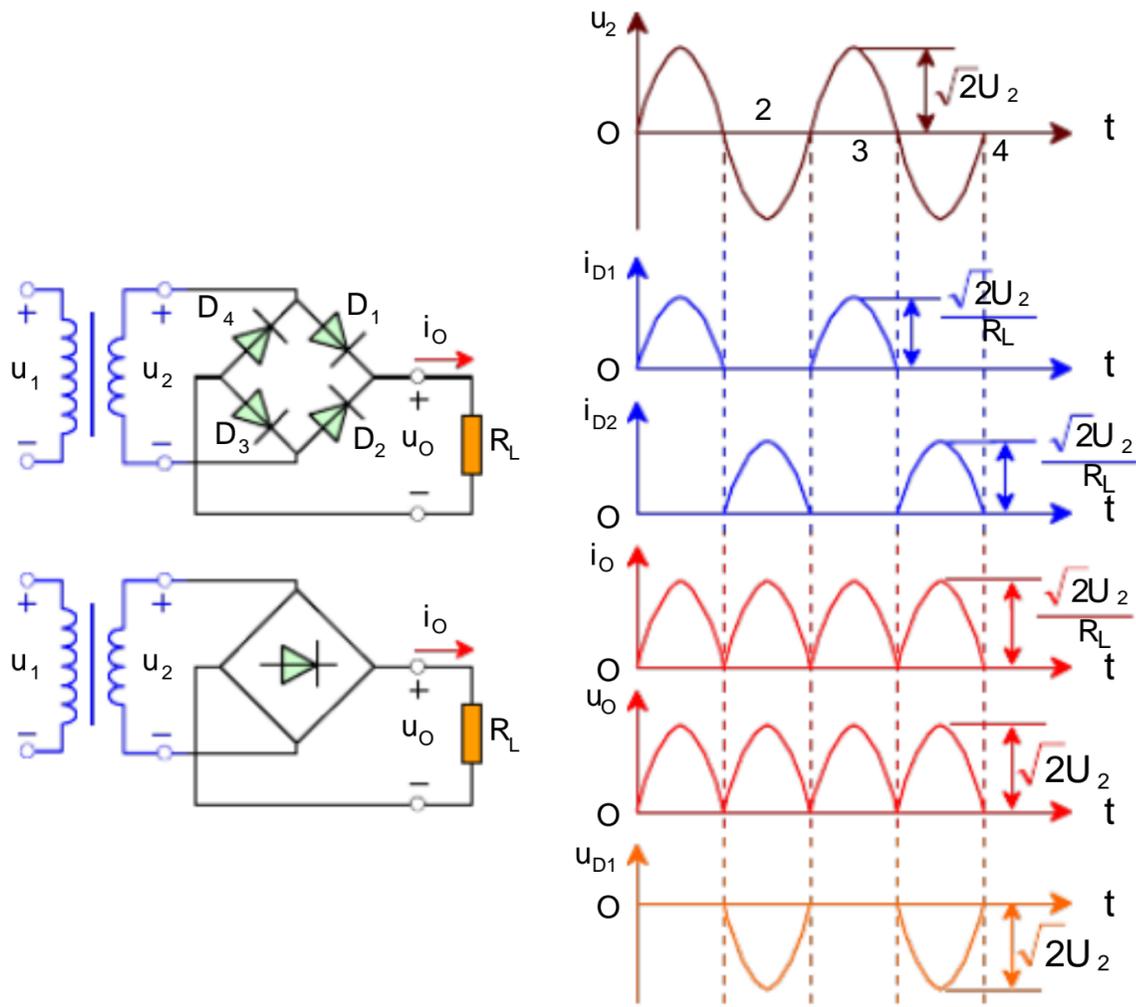
为使开关接通，可将 C 端接高电压 $+5V$ 。此时 T_N 的栅压为 $+5V$ ， v_i 在 $-5V$ 到 $+3V$ 的范围内， T_N 导通。同时 T_P 的栅压为 $-5V$ ， v_i 在 $-3V$ 到 $+5V$ 的范围内 T_P 将导通。

由上分析可知，当 $v_i < -3V$ 时，仅有 T_N 导通，而当 $v_i > +3V$ 时，仅有 T_P 导通当 v_i 在 $-3V$ 到 $+3V$ 的范围内， T_N 和 T_P 两管均导通。进一步分析还可看到，一管导通的程度愈深，另一管的导通程度则相应地减小。换句话说，当一管的导通电阻减小，则另一管的导通电阻就增加。由于两管系并联运行，可近似地认为开关的导通电阻近似为一常数。这是 CMOS传输门的优点。

在正常工作时，模拟开关的导通电阻值约为数百欧，当它与输入阻抗为兆欧级的运放串接时，可以忽略不计。

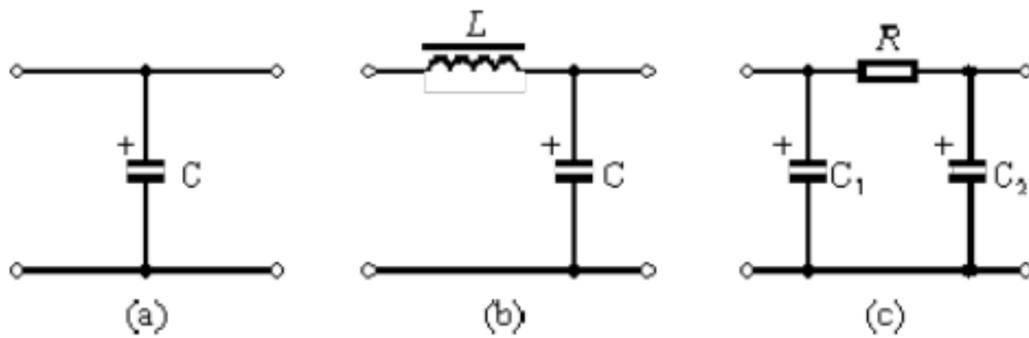
CMOS传输门除了作为传输模拟信号的开关之外，也可作为各种逻辑电路的基本单元电路。

13.6 整流电路



桥式整流电路

13.7 滤波电路



(a) C 型滤波电路 (b) 倒 L 型滤波电路 (c) 型滤波电路

图 1

(3) 几种常见的桥式整流滤波电路：

A 电容滤波电路：

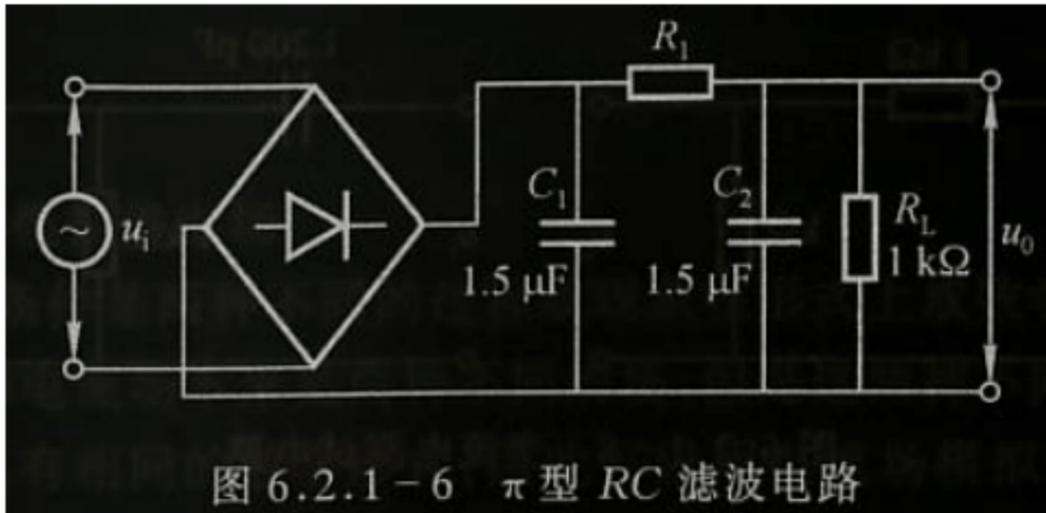
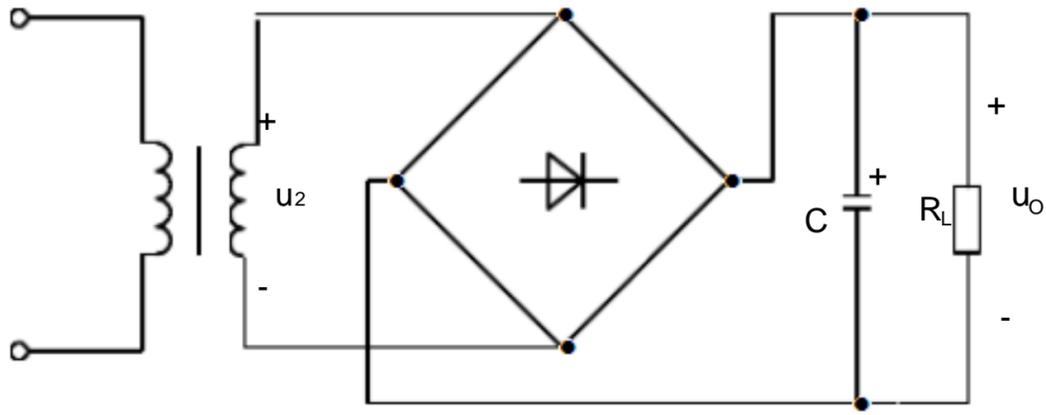
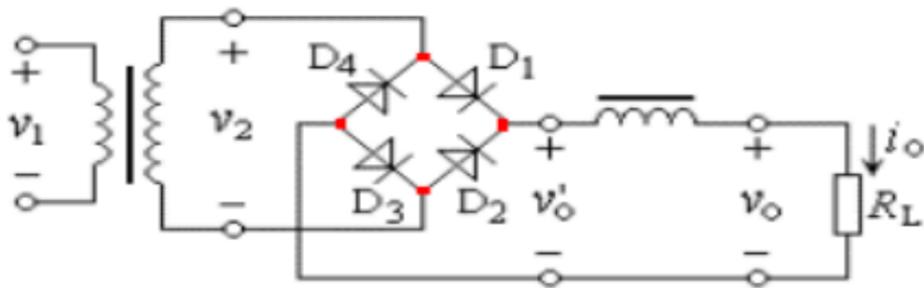


图 6.2.1-6 π 型 RC 滤波电路

B 电感滤波电路



13.8. 反馈电路

1. 正反馈：是指反馈回来的信号增强输入信号（常用与振荡电路）；

负反馈：是指反馈回来的信号削弱原输入信号（用与放大电路）。

2. 判别正负反馈的方法——瞬时极性法

"瞬时极性法"是用来判断正反馈还是负反馈的。我们在放大器输入端的基极施加一个信号电压 V_i ，设某一瞬时该信号的极性为正信号，用 "+" 表示，经三极管 V 的集电极倒相后变为负信号，用 "-" 来表示。发射极与基极同相位，仍为 "+" 信号，多级放大器在这一瞬时的极性依次类推，假设在这一瞬时反馈电阻 R_F 的反馈信号使输入信号加强，则为正反馈，使得输入信号削弱，则为负反馈。

4. 负反馈放大电路的四种类型：

A 电压串联负反馈

B

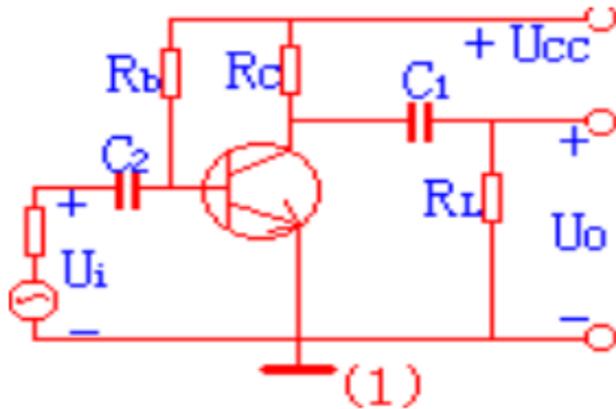
电压并联负反馈

C 电流串联负反馈

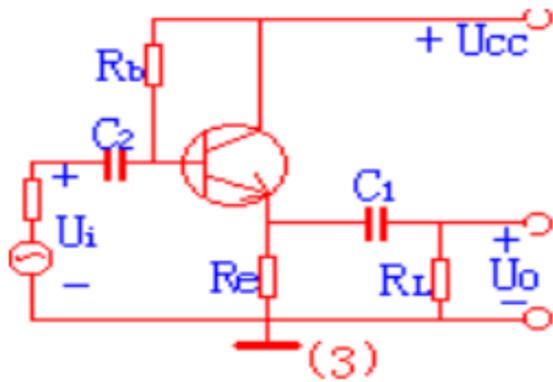
D 电流并联负反馈

13.9 放大电路

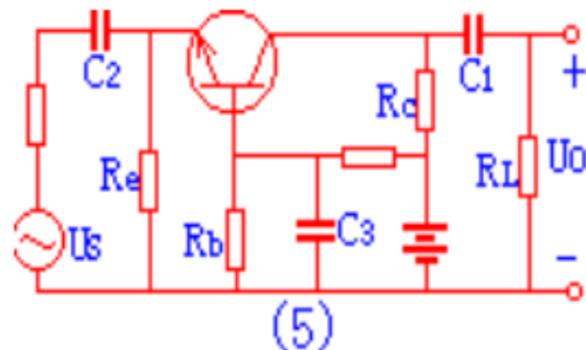
三种基本组态的放大电路图：



(1) 共发射极放大电路



(3) 共基极放大电路



(5) 共集电极放大电路

注意：放大电路共发射极时， A_i 和 A_u 都比较大，但是输出电压和输入电压的相位相反；共基极时， A_i 比较大，但是 A_u 较小，输出电压与输入电压同相，并且具有跟随关系，它可作为输入级，输出级或起隔离作用的中间级；共集电极时， A_i 较小， A_u 较大，输出电压与输入电压同相，多用于宽频带放大等。

对于多级放大电路：在多级放大器中，由于各级之间是串联起来的，后一级的输入电阻就是前级的负载，所以，多级放大器的总电压放大倍数等于各级放大倍数的乘积，即 $A_{u_{np}} = A_{u1} A_{u2} \dots A_{un}$

注意：若反馈信号取自输出电压信号，则称为电压反馈；若反馈信号取自输出电流信号，则称为电流反馈。（通常，采用将负载电阻短路的方法来判别电压反馈和电流反馈。具体方法是：若将负载电阻 R_L 短路，如果反馈作用消失，则为电压反馈；如果反馈作用存在，则为电流反馈。）

若反馈信号与输入信号在基本放大电路的输入端以电压串联的形式迭加，则称为串联反馈；若反馈信号与输入信号在基本放大电路的输入端以电流并联的形式迭加，则称为并联反馈。

13.10 振荡电路

1、电感三点式振荡器

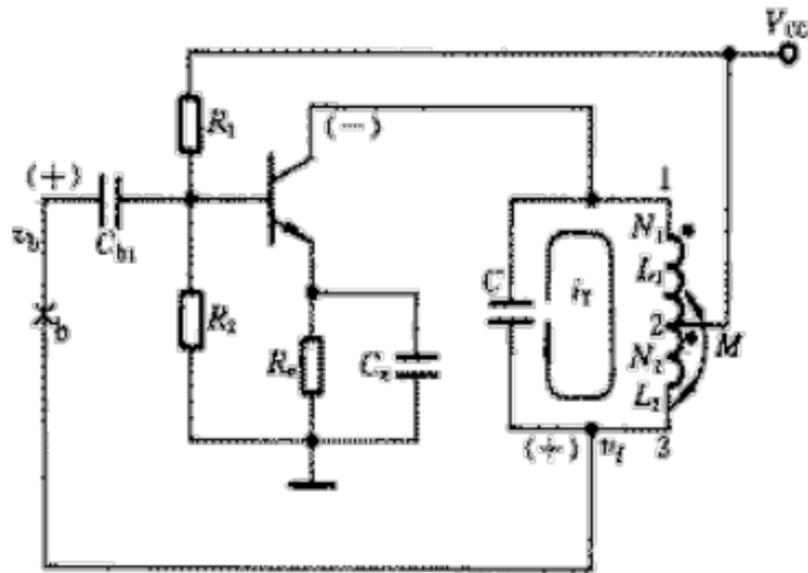


图 9.12

考虑 L_1 、 L_2 间的互感，电路的振荡频率可近似表示为

$$f_o \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2 + 2M)C}}$$

2、电容三点式振荡器

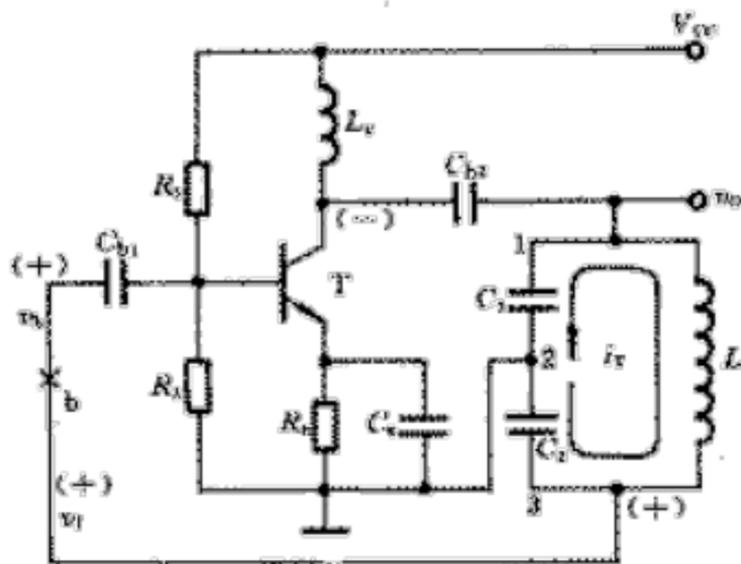


图 9.14

$$f_o \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$$

振荡频率：

555 电路读图要点及举例

555 集成电路经多年的开发，实用电路多达几十种，几乎遍及各个技术领域。但对初学者来讲，常见的电路也不过是上述几种，因此在读图时，只要抓住关键，识别它们是不难的。

从电路结构上分析，三类 555 电路的区别或者说它们的结构特点主要在输入端。因此当我们拿到一张 555 电路图时，在大致了解电路的用途之后，先看一下电路是 CMOS 型还是双极型，再看复位端 (\overline{MR}) 和控制电压端 (V_C) 的接法，如果复位端 (\overline{MR}) 是接高电平、控制电压端 (V_C) 是接一个抗干扰电容的，那就可以按以下的次序先从输入端开始进行分析：

(1) 6 、 2 端是分开的

7 端悬空不用的一定是双稳电路。如有两个输入的则是双限比较器；如只有一个输入的则是单端比较器。这类电路一般都是作电子开关、控制和检测电路的用途。

7 、 6 端短接并接有电阻电容、取 2 端作输入的一定是单稳电路。它的输入可以用开关人工启动，也可以用输入脉冲启动，甚至为了取得较好的启动效果在输入端带有 RC 微分电路。这类电路一般用作定时延时控制和检测的用途。

(2) 6 、 2 端短接的

输入没有电容的是施密特触发器电路。这类电路常用作电子开关、告警、检测和整形的用途。

输入端有电阻电容而 7 端悬空的，这时要看电阻电容的接法：(a) R 和 C 串联接在电源和地之间的是单稳电路，R 和 C 就是它的定时电阻和定时电容。(b) R 在上 C 在下，R 的一端接在 V_0 端上的是直接反馈型无稳电路，这时 R 和 C 就是决定振荡频率的元件。

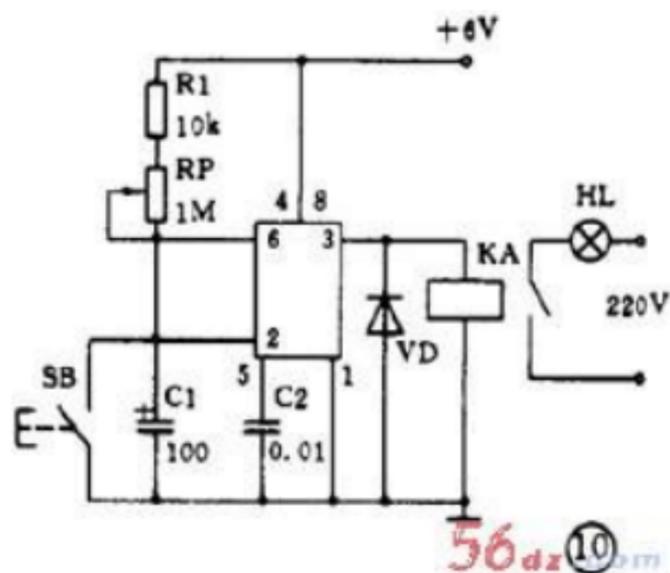
7 端也接在输入端，成“ $R_A - 7 - R_B - 6、2 - C$ ”的形式的就是最常用的无稳电路。这时 R_A 和 R_B 及 C 就是决定振荡频率的元件。这类电路可以有很多种变型：如省去 R_A ，把 7 端接在 V_0 上；或者在 R_B 两端并联二极管 VD 以获得方波输出，或者用电阻和电位器组成 R_A 和 R_B ，而且在 R_A 和 R_B 两端并联有二极管以获得占空比可调的脉冲波等等。这类电路是用途最广的，常用于脉冲振荡、音响告警、家电控制、电子玩具、医疗电器以及电源变换等用途。

(3) 如果控制电压 (V_C) 端接有直流电压，则只是改变了上下两个阈值电压的数值，其它分析方法仍和上面的相同。

只要按上述步骤细心分析核对，一定能很快地识别 555 电路的类别和了解它的工作原理。下面的问题就比较好办了，例如定时时间、振荡频率等都可以按给出的公式进行估算。

例 1 相片曝光定时器

图 10 是用 555 电路制成的相片曝光定时器。从图看到，输入端 6、2 并接在 RC 串联电路中，所以这是一个单稳电路，R1 和 RP 是定时电阻，C1 是定时电容。

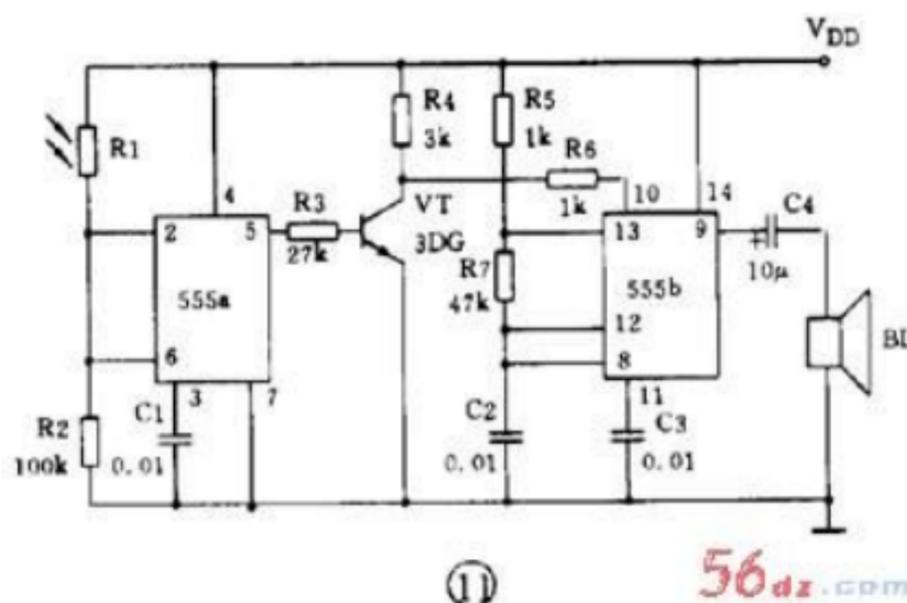


电路在通电后，C1 上电压被充到 6 伏，输出 $V_0=0$ ，继电器 KA 不吸动，常开接点是打开的，曝光灯 HL 不亮。这是它的稳态。

按下 SB 后，C1 快速放电到零，输出 $V_0=1$ ，继电器 KA 吸动，点亮曝光灯 HL，暂稳态开始。SB 放开后电源向 C1 充电，当 C1 上电压升到 4 伏时，暂稳态结束，定时时间到，电路恢复到稳态。输出翻转成 $V_0=0$ ，继电器 KA 释放，曝光灯熄灭。电路定时时间是可调的，大约是 1 秒 ~ 2 分钟。

例 2 光电告警电路

图 11 是 555 光电告警电路。它使用 556 双时基集成电路，有两个独立的 555 电路。前一个接成施密特触发器，后一个是间接反馈型无稳电路。图中引脚



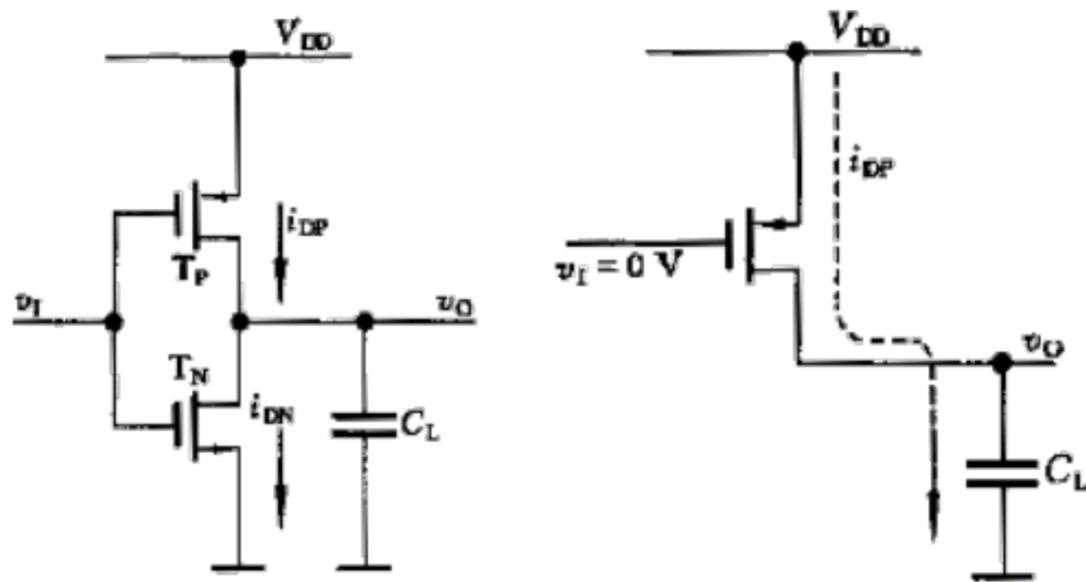
号码是 556 的引脚号码。

图中 R1 是光敏电阻，无光照时阻值为几~几十兆欧，所以 555a 的输入相当于 $R=0$ 、 $S=0$ ，输出 $V_O=1$ ，三极管 VT 导通，VT 的集电极电压只有 0.3 伏，加在 555b 的复位端 (MR)，使 555b 处于复位状态，即无振荡输出。

当 R1 受光照后，阻值突然下降到只有几~几十千欧，于是 555a 的输入电压升到上阈值电压以上，输出翻转成 $V_O=0$ ，VT 截止，VT 集电极电压升高，555b 被解除复位状态而振荡，于是扬声器 BL 发声告警。555b 的振荡频率大约是 1 千赫。

如果把整个装置放入公文包内，那么当打开公文包时，这个装置会发声告警而成为防盗告警装置

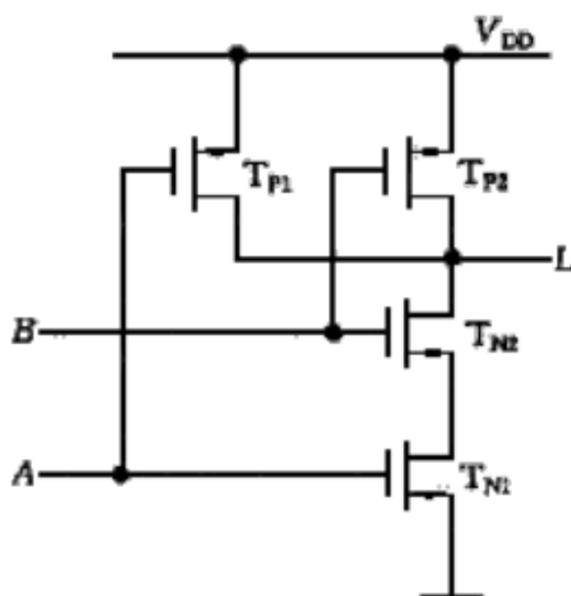
CMOS反相器在电容负载情况下，它的开通时间与关闭时间是相等的，这是因为电路具有互补对称的性质。下图表示当 $v_i=0V$ 时， T_N 截止， T_P 导通，由 V_{DD} 通过 T_P 向负载电容 C_L 充电的情况。由于 CMOS反相器中，两管的 g_m 值均设计得较大，其导通电阻较小，充电回路的时间常数较小。类似地，亦可分析电容 C_L 的放电过程。CMOS反相器的平均传输延迟时间约为 10ns。



13.2 CMOS 逻辑门电路

1. 与非门电路

下图是 2 输入端 CMOS与非门电路，其中包括两个串联的 N 沟道增强型 MOS管和两个并联的 P 沟道增强型 MOS管。每个输入端连到一个 N 沟道和一个 P 沟道 MOS管的栅极。当输入端 A、B 中只要有一个为低电平时，就会使与它相连的 NMOS管截止，与它相连的 PMOS管导通，输出为高电平；仅当 A、B 全为高电平时，才会使两个串联的 NMOS管都导通，使两个并联的 PMOS管都截止，输出为低电平。

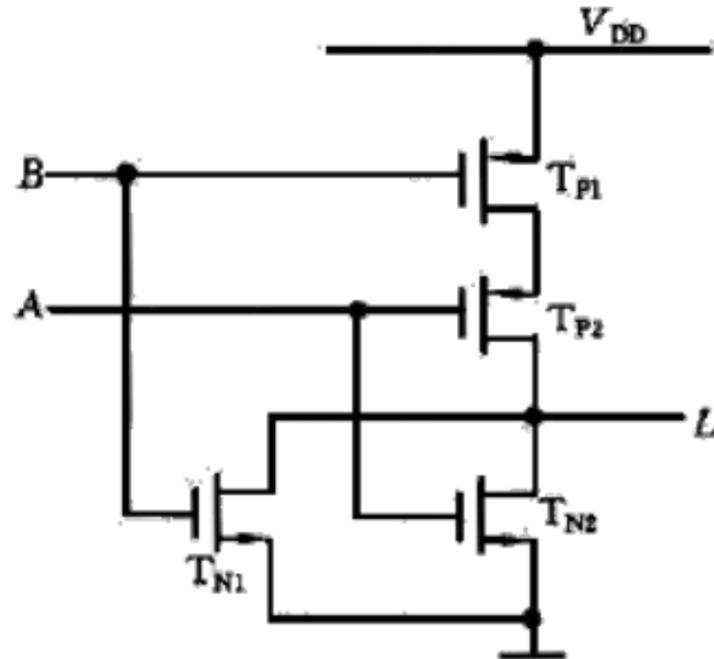


因此，这种电路具有与非的逻辑功能，即 $L = \overline{A \cdot B}$

n 个输入端的与非门必须有 n 个 NMOS管串联和 n 个 PMOS管并联。

2. 或非门电路

下图是 2 输入端 CMOS 或非门电路。其中包括两个并联的 N 沟道增强型 MOS 管和两个串联的 P 沟道增强型 MOS 管。



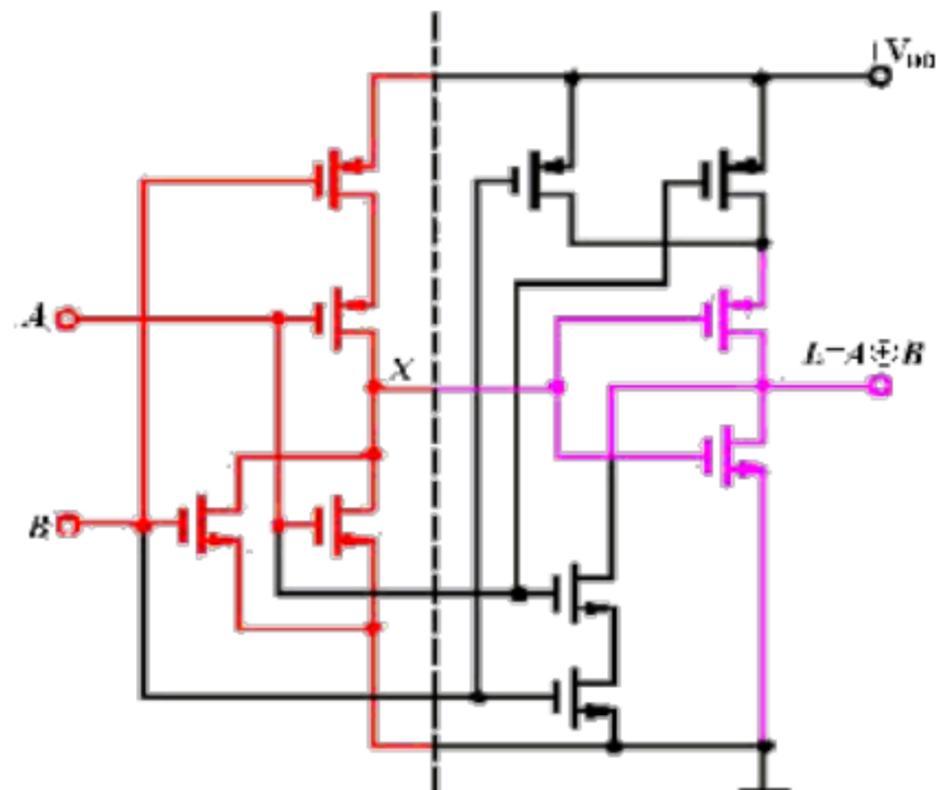
当输入端 A、B 中只要有一个为高电平时，就会使与它相连的 NMOS 管导通，与它相连的 PMOS 管截止，输出为低电平；仅当 A、B 全为低电平时，两个并联 NMOS 管都截止，两个串联的 PMOS 管都导通，输出为高电平。

因此，这种电路具有或非的逻辑功能，其逻辑表达式为 $L = \overline{A + B}$

显然，n 个输入端的或非门必须有 n 个 NMOS 管并联和 n 个 PMOS 管串联。

比较 CMOS 与非门和或非门可知，与非门的工作管是彼此串联的，其输出电压随管子个数的增加而增加；或非门则相反，工作管彼此并联，对输出电压不致有明显的影 响。因而或非门用得较多。

13.3. 异或门电路

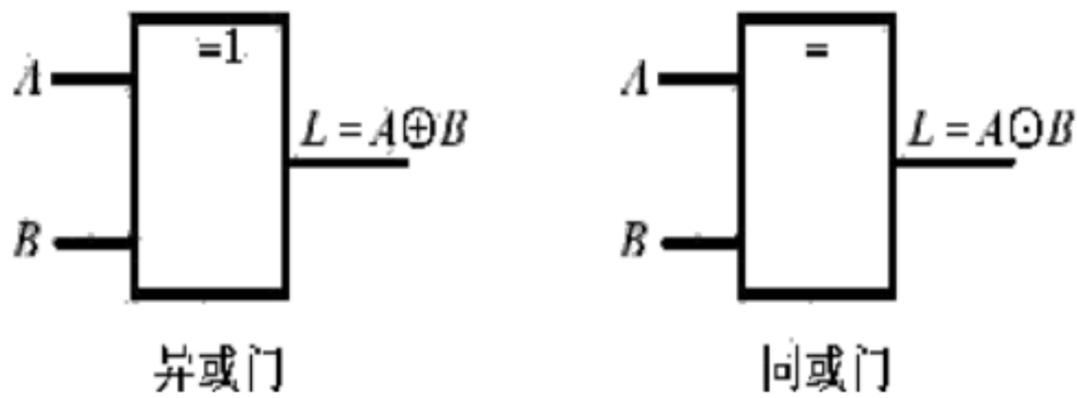


上图为 CMOS 异或门电路。它由一级或非门和一级与或非门组成。或非门的输出 $X = \overline{A+B}$ 。而与或非门的输出 L 即为输入 A、B 的异或

$$\begin{aligned}
 L &= \overline{A \cdot B + X} \\
 &= \overline{A \cdot B + \overline{A+B}} \\
 &= \overline{A \cdot B + \overline{A} \cdot \overline{B}} \\
 &= A \oplus B
 \end{aligned}$$

如在异或门的后面增加一级反相器就构成异或非门，

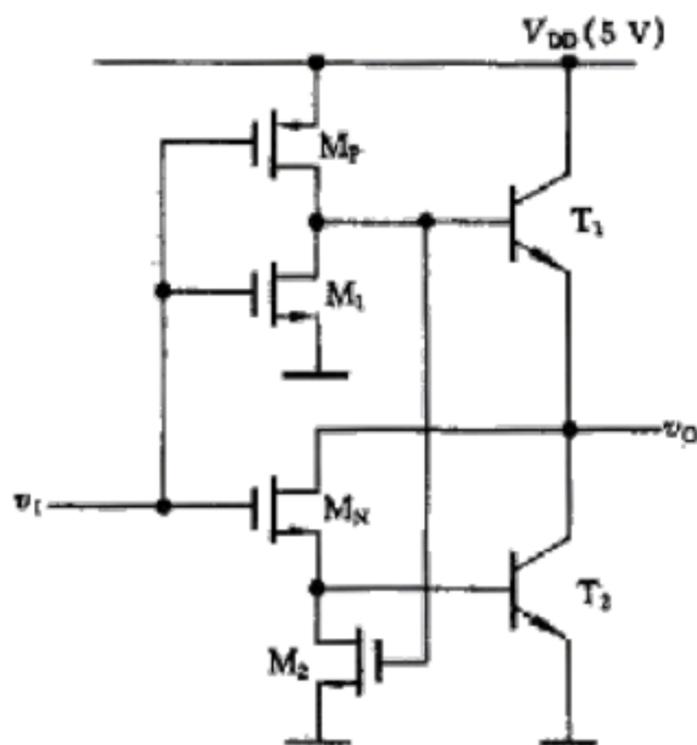
由于具有 $\overline{L} = A \cdot B + \overline{A} \cdot \overline{B}$ 的功能，因而称为同或门。异或门和同或门的逻辑符号如下图所示。



13.4 BiCMOS 门电路

双极型 CMOS 或 BiCMOS 的特点在于，利用了双极型器件的速度快和 MOSFET 的功耗低两方面的优势，因而这种逻辑门电路受到用户的重视

1. BiCMOS 反相器

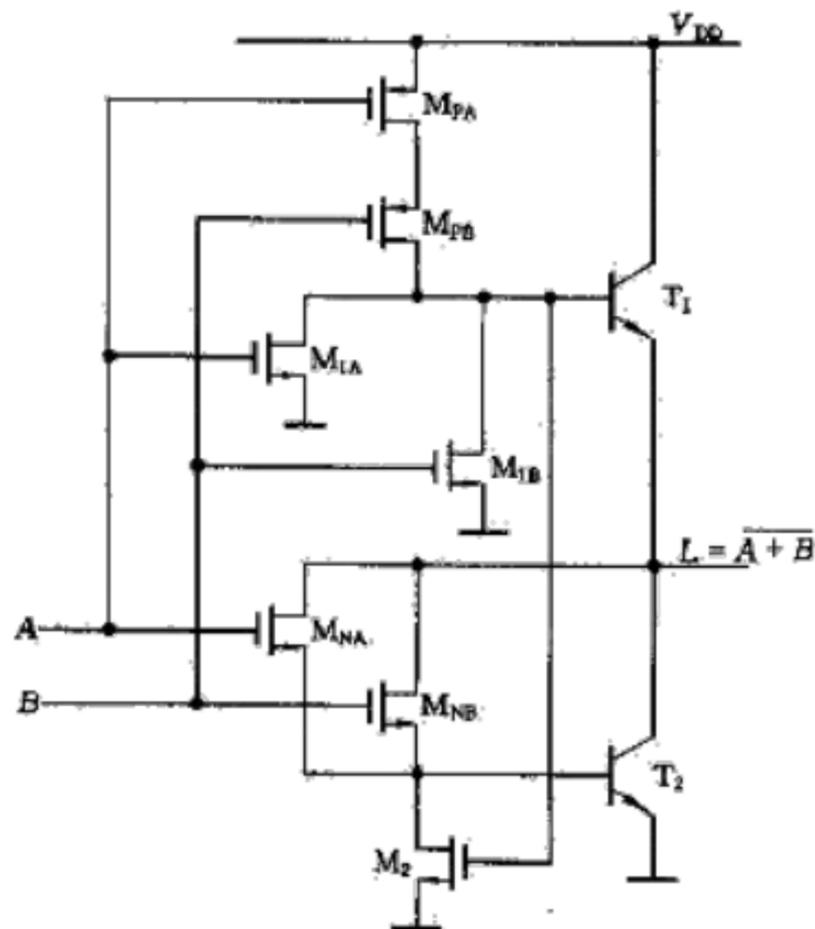


上图表示基本的 BiCMOS反相器电路，为了清楚起见，MOSFE用符号 M表示 BJT用 T表示。T₁和 T₂构成推拉式输出级。而 M_p、M_n、M_{1A}、M_{1B}所组成的输入级与基本的 CMOS反相器很相似。输入信号 v_i同时作用于 M_p和 M_n的栅极。当 v_i为高电压时 M_p导通而 M_n截止；而当 v_i为低电压时，情况则相反，M_n导通，M_p截止。当输出端接有同类 BiCMOS门电路时，输出级能提供足够大的电流为电容性负载充电。同理，已充电的电容负载也能迅速地通过 T₂放电。

上述电路中 T₁和 T₂的基区存储电荷亦可通过 M_p和 M_n释放，以加快电路的开关速度。当 v_i为高电压时 M_p导通，T₁基区的存储电荷迅速消散。这种作用与 TTL门电路的输入级中 T₁类似。同理，当 v_i为低电压时，电源电压 V_{DD}通过 M_p以激励 M_n使 M_n导通，显然 T₂基区的存储电荷通过 M_n而消散。可见，门电路的开关速度可得到改善。

2. BiCMOS门电路

根据前述的 CMOS门电路的结构和工作原理，同样可以用 BiCMOS技术实现或非门和与非门。如果要实现或非逻辑关系，输入信号用来驱动并联的 N沟道 MOSFET而 P沟道 MOSFE则彼此串联。正如下图所示的 2 输入端或非门。

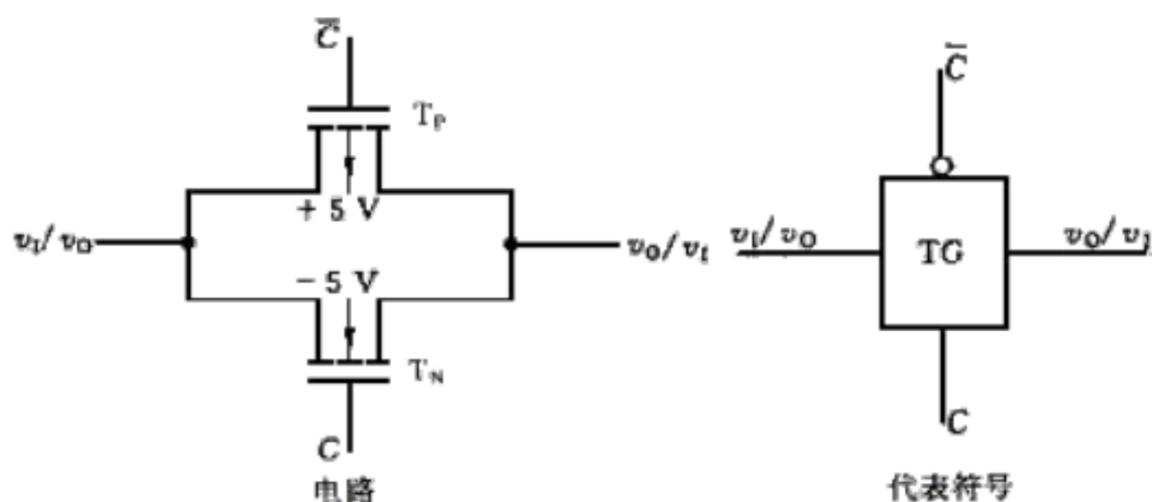


当 A 和 B 均为低电平时，则两个 MOSFET M_p和 M_n均导通，T₁导通而 M_{NA}和 M_{NB}均截止，输出 L 为高电平。与此同时，M_p通过 M_{PA}和 M_{PB}被 V_{DD}所激励，从而为 T₂的基区存储电荷提供一条释放通路。

另一方面，当两输入端 A 和 B 中之一为高电平时，则 M_{PA}和 M_{PB}的通路被断开，并且 M_{NA}或 M_{NB}导通，将使输出端为低电平。同时，M_{NA}或 M_{NB}为 T₁的基极存储电荷提供一条释放道路。因此，只要有一个输入端接高电平，输出即为低电平。

13.5、CMOS 传输门

MOSFE的输出特性在原点附近呈线性对称关系，因而它们常用作模拟开关。模拟开关广泛地用于取样——保持电路、斩波电路、模数和数模转换电路等。下面着重介绍 CMOS传输门。



所谓传输门 (TG) 就是一种传输模拟信号的模拟开关。 CMOS传输门由一个 P 沟道和一个 N 沟道增强型 MOSFE 并联而成，如上图所示。 T_P 和 T_N 是结构对称的器件，它们的漏极和源极是可互换的。 设它们的开启电压 $|V_T|=2V$ 且输入模拟信号的变化范围为 $-5V$ 到 $+5V$ 。为使衬底与漏源极之间的 PN 结任何时刻都不致正偏，故 T_P 的衬底接 $+5V$ 电压，而 T_N 的衬底接 $-5V$ 电压。两管的栅极由互补的信号电压 ($+5V$ 和 $-5V$) 来控制，分别用 C 和 \bar{C} 表示。

传输门的工作情况如下：当 C 端接低电压 $-5V$ 时 T_N 的栅压即为 $-5V$ ， v_i 取 $-5V$ 到 $+5V$ 范围内的任意值时， T_N 均不导通。同时， T_P 的栅压为 $+5V$ ， T_P 亦不导通。可见，当 C 端接低电压时，开关是断开的。

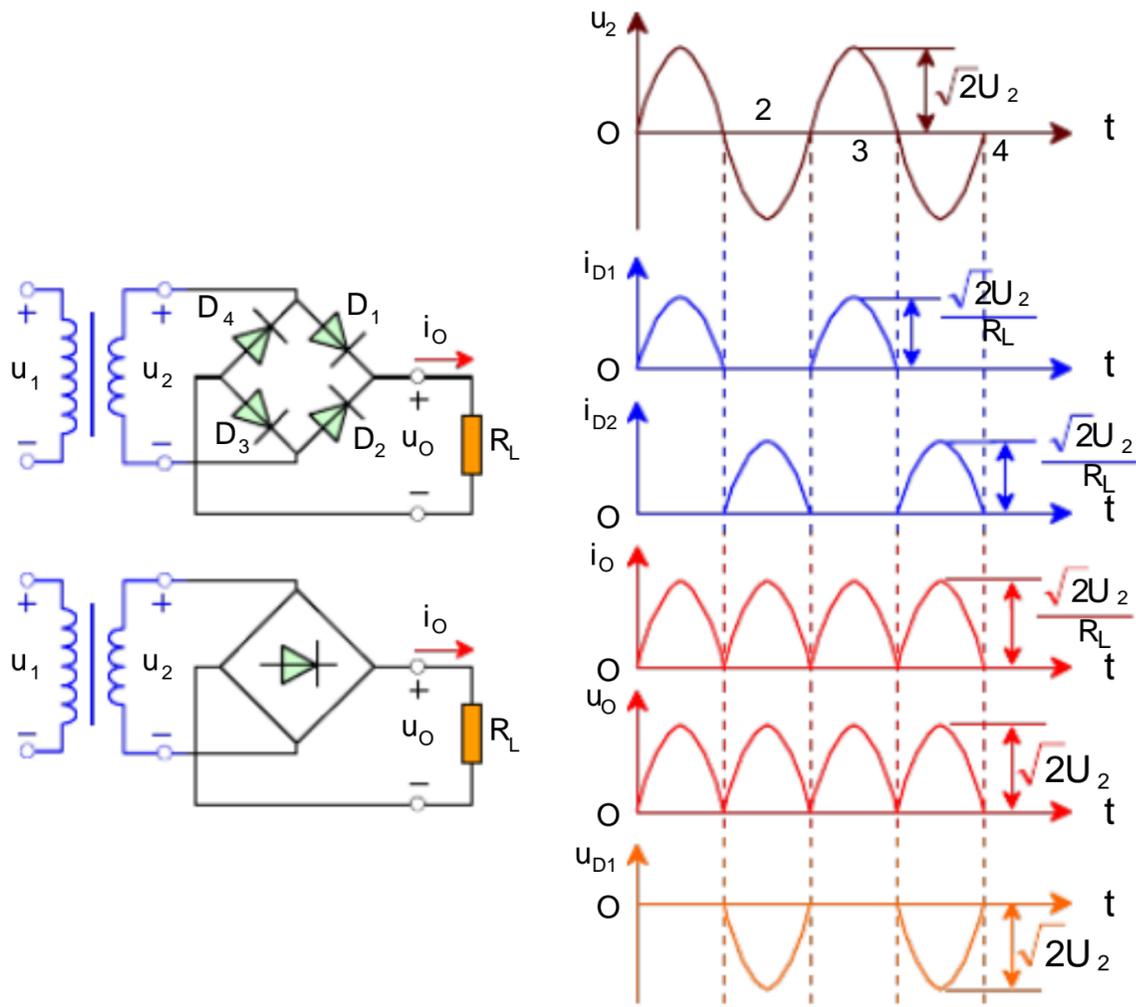
为使开关接通，可将 C 端接高电压 $+5V$ 。此时 T_N 的栅压为 $+5V$ ， v_i 在 $-5V$ 到 $+3V$ 的范围内， T_N 导通。同时 T_P 的栅压为 $-5V$ ， v_i 在 $-3V$ 到 $+5V$ 的范围内 T_P 将导通。

由上分析可知，当 $v_i < -3V$ 时，仅有 T_N 导通，而当 $v_i > +3V$ 时，仅有 T_P 导通当 v_i 在 $-3V$ 到 $+3V$ 的范围内， T_N 和 T_P 两管均导通。进一步分析还可看到，一管导通的程度愈深，另一管的导通程度则相应地减小。换句话说，当一管的导通电阻减小，则另一管的导通电阻就增加。由于两管系并联运行，可近似地认为开关的导通电阻近似为一常数。这是 CMOS传输门的优点。

在正常工作时，模拟开关的导通电阻值约为数百欧，当它与输入阻抗为兆欧级的运放串接时，可以忽略不计。

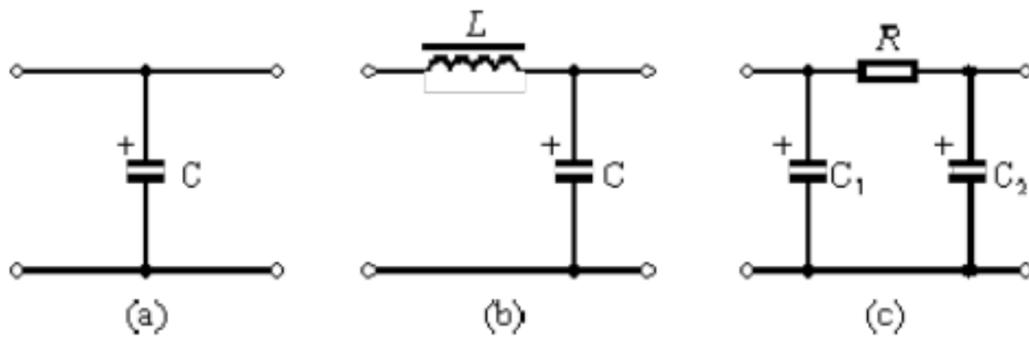
CMOS传输门除了作为传输模拟信号的开关之外，也可作为各种逻辑电路的基本单元电路。

13.6 整流电路



桥式整流电路

13.7 滤波电路



(a) C 型滤波电路 (b) 倒 L 型滤波电路 (c) 型滤波电路

图 1

(3) 几种常见的桥式整流滤波电路：

A 电容滤波电路：

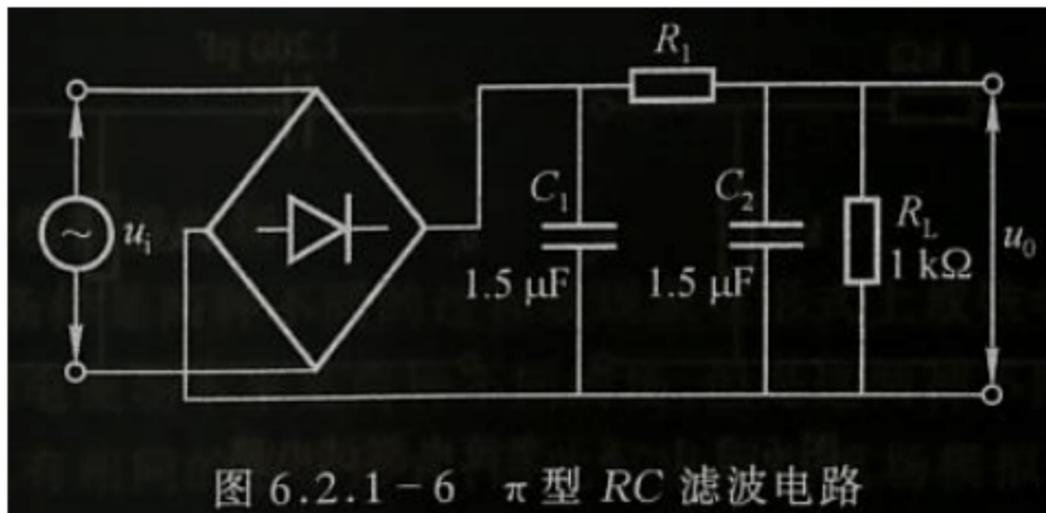
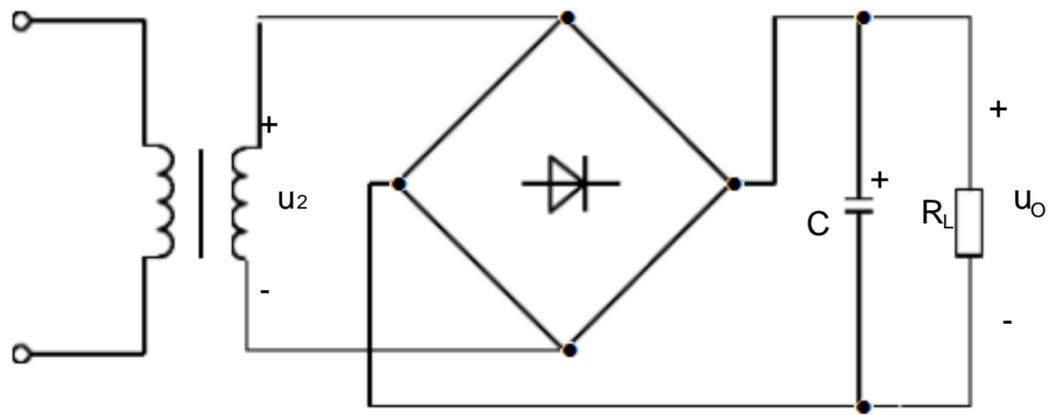
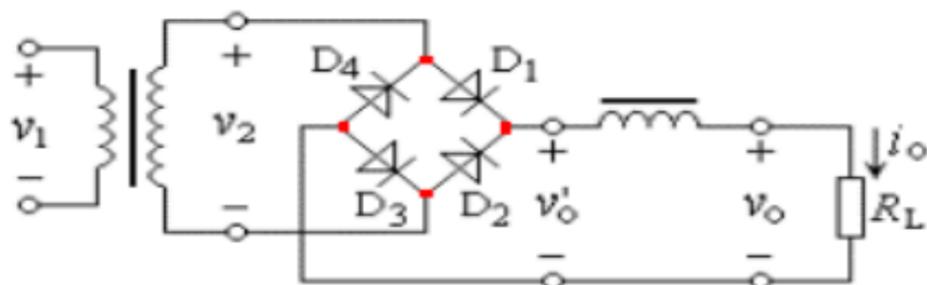


图 6.2.1-6 π 型 RC 滤波电路

B 电感滤波电路



13.8. 反馈电路

1. 正反馈：是指反馈回来的信号增强输入信号（常用与振荡电路）；

负反馈：是指反馈回来的信号削弱原输入信号（用与放大电路）。

2. 判别正负反馈的方法——瞬时极性法

"瞬时极性法"是用来判断正反馈还是负反馈的。我们在放大器输入端的基极施加一个信号电压 V_i ，设某一瞬时该信号的极性为正信号，用 "+" 表示，经三极管 V 的集电极倒相后变为负信号，用 "-" 来表示。发射极与基极同相位，仍为 "+" 信号，多级放大器在这一瞬时的极性依次类推，假设在这一瞬时反馈电阻 R_F 的反馈信号使输入信号加强，则为正反馈，使得输入信号削弱，则为负反馈。

5. 负反馈放大电路的四种类型：

A 电压串联负反馈

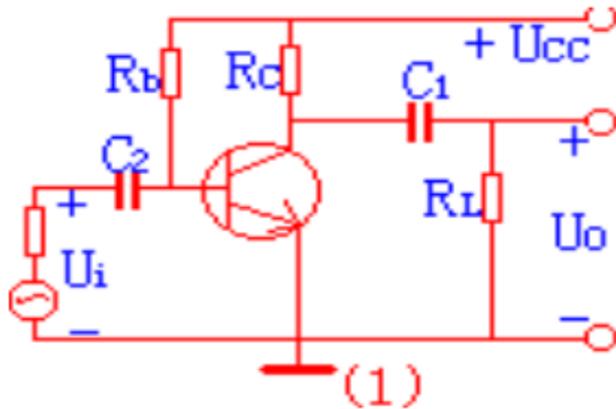
B 电压并联负反馈

C 电流串联负反馈

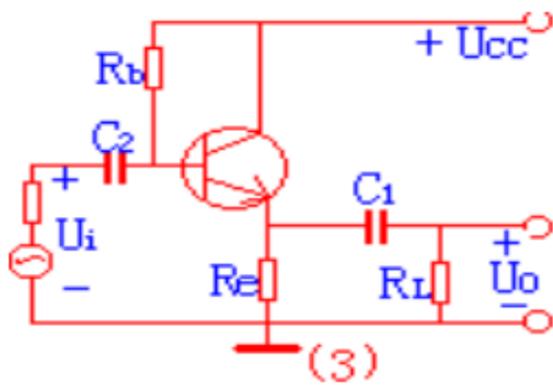
D 电流并联负反馈

13.9 放大电路

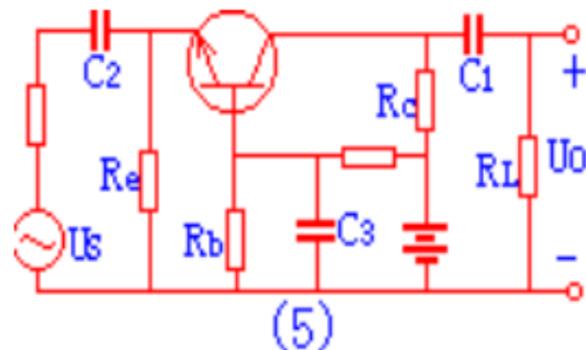
三种基本组态的放大电路图：



(1) 共发射极放大电路



(3) 共基极放大电路



(5) 共集电极放大电路

注意：放大电路共发射极时， A_i 和 A_u 都比较大，但是输出电压和输入电压的相位相反；共基极时， A_i 比较大，但是 A_u 较小，输出电压与输入电压同相，并且具有跟随关系，它可作为输入级，输出级或起隔离作用的中间级；共集电极时， A_i 较小， A_u 较大，输出电压与输入电压同相，多用于宽频带放大等。

对于多级放大电路：在多级放大器中，由于各级之间是串联起来的，后一级的输入电阻就是前级的负载，所以，多级放大器的总电压放大倍数等于各级放大倍数的乘积，即 $A_{u_{np}} = A_{u1} A_{u2} \dots A_{un}$

注意：若反馈信号取自输出电压信号，则称为电压反馈；若反馈信号取自输出电流信号，则称为电流反馈。（通常，采用将负载电阻短路的方法来判别电压反馈和电流反馈。具体方法是：若将负载电阻 R_L 短路，如果反馈作用消失，则为电压反馈；如果反馈作用存在，则为电流反馈。）

若反馈信号与输入信号在基本放大电路的输入端以电压串联的形式迭加，则称为串联反馈；若反馈信号与输入信号在基本放大电路的输入端以电流并联的形式迭加，则称为并联反馈。

13.10 振荡电路

1、电感三点式振荡器

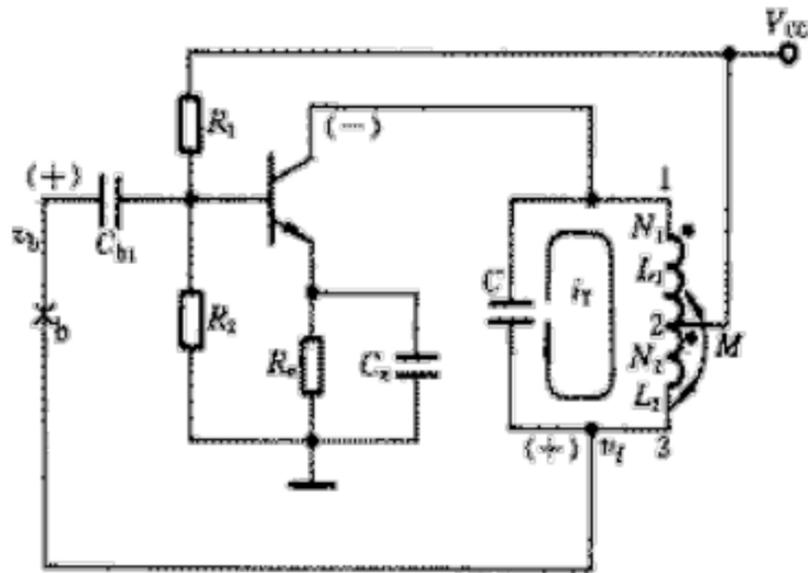


图 9.12

考虑 L_1 、 L_2 间的互感，电路的振荡频率可近似表示为

$$f_o \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2 + 2M)C}}$$

2、电容三点式振荡器

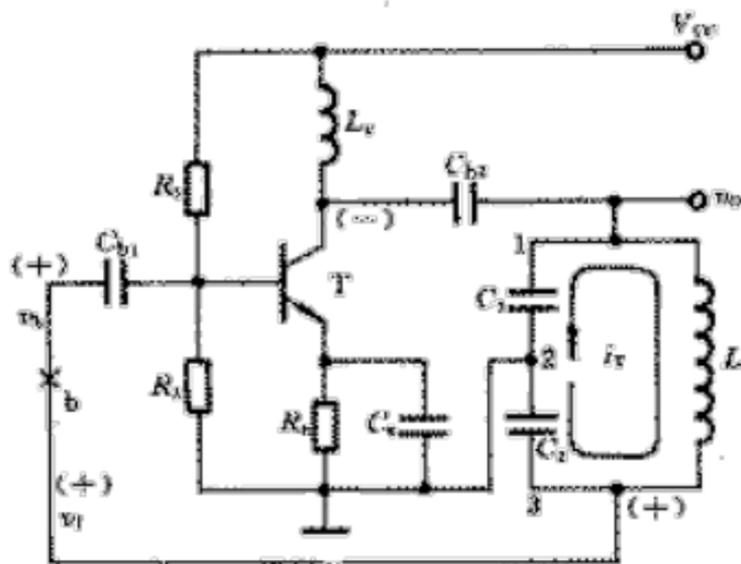


图 9.14

$$f_o \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}}$$

振荡频率：