

制作不易，如有不对，请联系。

目录

一、基础知识.....	5	13.应用.....	11
1.电阻.....	5	4.三极管.....	11
1.品牌.....	5	1.原理.....	12
2.分类.....	5	2.输入特性曲线.....	12
3.频率特性.....	5	3.输出特性.....	12
4.选型.....	5	4.特性.....	12
5.0 欧电阻.....	5	5.分类.....	12
6.热敏电阻.....	5	6.应用.....	12
7.光敏电阻.....	6	5.MOS 管.....	12
8. 压敏电阻.....	6	1.原理.....	12
9.应用.....	6	2.输出特性曲线.....	12
2.电容.....	6	3.特点.....	13
1.品牌.....	6	4.参数.....	13
2.作用.....	6	5.寄生电容.....	13
3.特性.....	7	6.寄生二极管.....	13
4.分类.....	7	7.判别 GDS.....	13
5.陶瓷电容.....	7	8.应用.....	14
6.铝电解电容.....	7	6.电感.....	14
7.安规电容.....	7	1.原理.....	14
8.超级电容.....	8	2.作用.....	14
9.选型.....	8	3.高频特性.....	14
10.频率特性.....	8	4.直流偏置特性.....	15
11.组合滤波.....	9	5.参数.....	15
12.测试.....	9	6.电感损耗.....	15
3.二极管.....	9	7.功率电感.....	15
1.PN 结.....	9	8.贴片电感.....	15
2.伏安特性曲线.....	9	9.共模电感.....	16
3.温度影响.....	9	10.差模电感.....	16
4.电击穿与热击穿.....	9	7.TTL、CMOS、LVDS.....	16
5.参数.....	9	1.TTL.....	16
6.肖特基二极管.....	10	2.CMOS.....	16
7. TVS 瞬态抑制二极管.....	10	3.LVDS.....	16
8. ESD 静电保护二极管.....	11	8.OC 门、OD 门、开漏、推挽、图腾柱.....	16
9.稳压二极管.....	11	1.OC 门.....	16
10.整流二极管.....	11	2.OD 门.....	16
11.发光二极管.....	11	3.开漏输出.....	17
12.通用二极管.....	11	4.推挽输出.....	17
		5.图腾柱驱动电路.....	17
		9.集成运放.....	17
		1.组成.....	17

2.特点	18	1 概念	24
3.用途	18	2 参数	24
4.工作原理	18	3 磁珠损耗	24
5.单电源供电和双电源供电	18	4 频率特性	24
6.参数	19	5 应用	25
7.负反馈	19	6 选型	25
8.正反馈	19	2.磁环	25
9.虚短与虚断	19	1.选型	25
10.应用	19	12.电机	25
1.电压跟随器	19	1.特点	25
2.反向比例电路	19	1.分类	25
3.同向比例电路	20	2.有刷与无刷	25
4.积分电路	20	3.同步和异步	25
5.差分放大	20	4.直流与交流	25
11.比较器电路	20	2.直流有刷电机	25
12.滤波器	20	3.直流无刷电机	26
1 种类	20	4.步进电机	26
2 作用	21	5. 伺服电机	27
3 时域和频域	21	6. 舵机	27
4 滤波电路	21	13.晶振 锁相环	27
13.IIR 与 FIR 滤波器区别	21	1.晶振	27
14.零点漂移（温漂）	21	1.晶体与晶振	27
15.共发射、共集电极、共基极	21	2.外部晶振与内部晶振对比	27
10.光耦、蜂鸣器、继电器、可控硅	22	3.参数	27
1.光耦	22	4.PCB 注意	28
1 技术理论	22	2.锁相环	28
2 分类	22	14.AD/DA	28
3 作用	22	1.ADC 电路基础知识	28
4 参数	22	1.定义	29
2.蜂鸣器	22	2.参数	29
1 技术理论	22	3.分类	29
2 压电式与电磁式蜂鸣器	23	2.DAC 电路基础知识	30
3 有源与无源蜂鸣器	23	1.参数	30
3.继电器	23	2.分类	30
1 技术理论	23	3.选型	30
2 分类	23		
3 名词解释	23		
4 继电器参数	23		
4.可控硅	24		
1 技术理论	24		
2 应用领域	24		
3 工作原理	24		
11.磁珠、磁环	24		
1.磁珠	24		

一、高频面试知识	31
1.问题汇总	31
2.模电	32
1. 0 欧电阻作用	32
2. 选择电阻时要考虑什么	32
3. 压敏电阻原理	32
4. PTC 热敏电阻作为电源电路保险丝的工作原理	32
5. 电容滤波、旁路、去耦、储能、隔直通交	32
6. 电容充电与放电	33
7. 钽电容、陶瓷电容、铝电解电容优缺点	33
8. 为何电源的滤波电路常常是大电容配合小电容滤波	33
9. 电容的高频等效模型、频率特性、阻抗表达式	33
10. 二极管的伏安特性曲线	33
11. 发光二极管压降、红、绿	33
12. TVS 二极管 与 稳压二极管对比	34
13. 三极管的伏安特性曲线	34
14. MOS 管输出特性曲线	34
15. MOS 管与 BJT 区别	34
16. 磁珠和电感区别	35
17. 电感、磁珠、电容滤波区别	35
18. 电感和电容的滤波概念	35
19. LC 滤波和 RC 滤波	35
20. 某磁珠的参数为 100R@100MHz，请解释参数的含义。	35
21. OC/OD 门为什么要上拉	35
22. 开漏输出、推挽输出	35
23. 常用逻辑电平、TTL 与 COMS 电平可以直接互连吗	36
24. 有源滤波器和无源滤波器的区别	36
25. 串扰和振铃	36
26. 反馈电路的概念，列举他们的应用	36
27. 负反馈对放大电路性能的影响	36
28. 在放大电路中，抑制温漂的方法包括下列哪些方法	36
29. 虚断、虚短概念	37
30. 共射、共集、共基电路特点	37
31. 光耦作用	37
32. 有源与无源蜂鸣器区别	37
33. 锁相环组成和原理	37
34. AD/DA 选型需要考虑什么	38
3.数电	38
1. 什么是竞争与冒险现象、如何消除	38
2. 什么是同步逻辑和异步逻辑	38
3. setup time 和 hold time 概念	38
4. 亚稳态、怎么解决	38
5. ROM、RAM、SRAM、DRAM、SDRAM	38

6.IIR 与 FIR 滤波器区别	39
4.电路	39
1. 基尔霍夫定理的内容	39
2. 单片机上电后没有运转，首先要检查什么	39
3. 控制单端阻抗为 50 欧姆、75 欧姆的信号有哪些、差分阻抗为 90 欧姆、100 欧姆、120 欧姆的信号有哪些	39
4. EDA 软件 (如 PROTEL)进行设计 (包括原理图和 PCB 图) 到调试出样机的整个过程	40

B站：若忘即安-

一、基础知识

1.电阻

1.品牌

厚声、风华、三星、罗姆、松下、KOA

2.分类

插件：碳膜电阻 金属膜 薄膜电阻和厚膜电阻

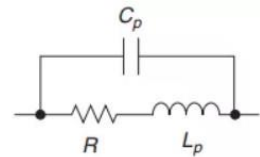
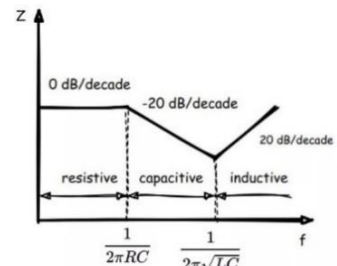
贴片：电阻标识 3 位数字 $\pm 5\%$ 精度 103 $10 \times 10^3 = 10 \times 1000 = 10000\Omega = 10K\Omega$
 4 位数字 $\pm 1\%$ 精度 1002 $100 \times 10^2 = 100 \times 100 = 10000 = 10K$

封装与尺寸与耐压：

0402	1/16W	1*0.5mm	50V
0603	1/10W	1.6*0.8mm	50V
0805	1/8W	2*1.2mm	150V

3.频率特性

在频率小于 f_1 时，呈电阻特性，在 f_1 和 f_2 之间，呈容性，减小阻抗，频率大于 f_2 时，呈感性，增加阻抗。



4.选型

阻值：E24 (5%精度) E96 (1%精度)

精度：T: $\pm 0.01\%$ A: $\pm 0.05\%$ B: $\pm 0.1\%$ D: $\pm 0.5\%$ F: $\pm 1\%$ J: $\pm 5\%$ K: $\pm 10\%$

额定电压：电阻的额定耐压值。 $P = U^2/R$ $V = \sqrt{(P \times R)}$

材质不同，薄膜要比厚膜要低。封装越大，额定电压升高。

额定功率：额定功率是在额定环境温度（70℃）中可以连续工作状态下的最大功率值。

选用的额定功率大于实际消耗功率的 3-4 倍。当电阻工作在高温 70℃ 以上时候，需要考虑到电阻额定功率的降额。

封装：一般电子产品 0402, 0603。

电阻温度系数 TCR：表示电阻当温度改变 1 摄氏度时，电阻值的相对变化。

温度系数 = $(R - R_a) / [R_a \times (T - T_a)] \times 1000000$

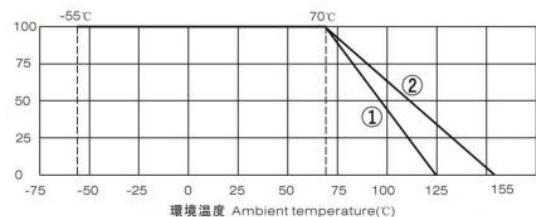
R_a : 基准温度条件下的阻值

T_a : 基准温度 20℃

R : 任意温度条件下的阻值

T : 任意温度

一般常用电阻温度系数的范围为：-200~500ppm/℃



5.0 欧电阻

小于 50m 欧。作用：1、方便测试电流 2、跳线 3、模拟地，数字地分开 4、占个位置（可换成其它阻值的电阻，也可换成磁珠） 5、做电路保护，充当低成本熔丝 过流能力可达到 20-60A；

6.热敏电阻

1.PTC 正温度系数电阻

PTC 一般串联在电路中使用，用来限制电路电流，一种过流保护器件。电流通过元件后引起温度升高，PTC 阻值会增加，阻值增加从而限制了电流的增加，周而复始，PTC 充当的是开关的作用。



应用：加热器、电机启动。

2.NTC 负温度系数电阻

阻值（0 功率阻值在 25℃）

$$R \geq \frac{\sqrt{2}E}{I_{max}}$$

E：交流输入有效值（直流电），Imax:最大容许启动电流，也就是浪涌电流。Imax 可以取 100 倍的额定电流；对于电热丝、灯泡，Imax 可以取 30 倍的额定电流；

B 常数：热敏电阻的材料常数，又叫热敏指数。

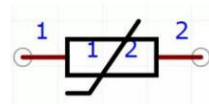
最大稳态电流：在环境温度为 25℃时，允许施加在功率型 NTC 热敏电阻上的最大连续电流。该值必须要大于实际电源回路的工作电流。

应用：

1. **限流，防浪涌。**NTC 在电路中**串联**。（电源上电有可能当刚上电的时候，正好是峰值 310V。）
2. **测量温度。**作为温度传感器。NTC 的阻值随温度升高一直在下降，将阻值变化转化为电压变化，然后 ADC 采样，根据电压推算出温度。
3. **短路保护**（而 PTC 发热，电阻大，不能高温环境用）

7.光敏电阻

光强，电阻减小。



8. 压敏电阻

压敏电阻并不是电阻，而是一种具有瞬态电压抑制功能的元件，效果同 TVS。

作用：用于输入端**防雷保护，浪涌**，具有**抑制瞬态过电压保护**的功能。**并联**在电路使用。

原理：正常电压状态下，阻值无穷大，相当于开路。当超过其阈值电压时，其阻值迅速降低，导通大电流，保护后级电路。

应用：热敏电阻应用在小功率场合，多少功率算是小功率：通常 70W 以下差不多。

9.应用

限流、恒流、分压、取样、阻抗匹配（RS485）、上拉（IIC）、下拉（确保浮空，低电平）

2.电容

1.品牌

国外：村田 muRata、松下 PANASONIC、三星 SAMSUNG、太诱 TAIYO YUDEN

国内：国巨 YAGEO(中国台湾)、风华 FH、宇阳科技 EYANG、信昌电陶 PSA

2.作用

1.滤波（滤除杂波、尖峰电压，使电压平滑）

第一种：利用电容的充、放电功能，电压高于电容电压时充电，当电压低于电容电压时电容放电，由于充放电需要时间，电容两端电压不能突变，所以起到滤波作用，使输出电压趋于平滑。

第二种：利用电容通高频特性，当经过电容的噪声频率越高时，容抗越小，将电容对地放置，高频噪声就会经过电容到地。容值越大，容抗越小，越保证输出电压的稳定性，纹波小。

2.旁路（bypass）（输入信号）

滤除输入信号中的高频成分，电容一般比较小，小电容滤高频。

3.去耦（Coupling）（信号的输出端的滤波电容）

滤除系统自身产生的干扰，防止耦合到下一级系统。滤除低频噪声，电容一般比较大。

4.隔直通交

当直流电源电流过电容时，电容器会在短时间内迅速充电，当电容器的电压达到直流电源的电压，就会停止充电，此时无法再通过电容器向负载供电。（电容器在直流电路中被视为断路）

5.储能：当电容两端加上电压时，电容会迅速充满电，满电电压=电源电压。电容等效一个小电池的功能。当电源电压降低或消失时，电容会像电池一样，把电放给电路延续保持供电电压和时间。

6.自举

3.特性

两个电容 C_1 和 C_2 并联，等效电容为 C_1+C_2 。

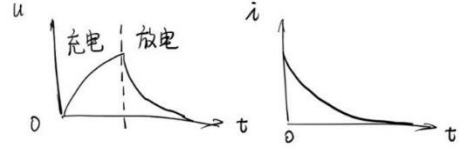
1.本质：储能、充电与放电，在电路设计注意充放电电流。充放电公式： $I = C \cdot (du/dt)$ 。

电容充放电有个过程，电容两端电压不能突变，如果突变将产生很大的充放电电流。

2.电容量： $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 增大容量：①使用介电常数高的介质 ②增大极板间的面积③减小极板间的距离。

3.通高频阻低频：交流电能通过电容，频率 f 越高，容抗越小，高频噪声放到地。

4.电容降压：在交流回路中存在着一定的阻抗，称之为容抗。也就是说利用此特性可在交流电中用于降压。但千万要注意必须是无极性电容，有极性的电容只能用于直流回路中。



4.分类

电容分为陶瓷电容和电解电容。电解电容（有极性）分为铝电解电容和钽电容。

5.陶瓷电容

MLCC（Multi-layer Ceramic Capacitors）片式多层陶瓷电容器 [贴片电容] 无极性

1.机械强度：硬而脆。封装越大，越容易产生机械应力，产生裂纹，从而电容容量变小或者是短路。

2.热脆性：MLCC 内部应力很复杂，所以耐温度冲击的能力很有限。

3.温度补偿型（I类）：NP0 C0G

一般电容量都很小。电容容值几乎不会随着温度变化而变化。

主要应用于适用于谐振回路、高频电路中。缺点是电容量不能做得很大（由于介电系数相对小）

4.高介电常数型（II类）：X7R、X5R、Y5V、Z5U

性能较稳定。应用中、低频电路中作隔直、耦合、旁路和滤波。

直流偏压特性：高介电常数电容器施加的直流电压越大，实际静电容量越低。容值越高的电容，直流偏压特性越明显。

6.铝电解电容

1.静电容量：铝电解电容器的静电容量值是在 20°C ， $120\text{Hz}/0.5\text{V}$ 。

①温度升高，静电容量也会升高；温度降低，静电容量也会降。

②频率越高，静电容量越小；频率越低，静电容量越大。

2.漏电流：当施加直流电压时，电介质氧化层允许很小的电流通过，称为漏电流。当温度升高时，漏电流增加；温度降低，漏电流减少。

3.频率特性 ESR 参数 $X_c = 1/(2\pi fC)$

频率升高，容量越大，则 ESR 值越小。额定电压越大，ESR 值越小。

4.额定纹波电流：纹波电流比较大导致内部发热严重，导致电容器失效。

ESR 越小，额定纹波电流越大。封装越大，额定纹波电流越大。

5.寿命：电容工作温度每升高 10°C ，电容寿命减小一倍。

7.安规电容

一般为插件。安规起到电源滤波作用，如果没有这些电容，可能产品会出 EMC 方面的问题，无法通过相关认证。确保安全就是要确保安规电容在失效后不能是短路的状态。

X 电容（ μF 级）**火线和零线之间的电容** 在电路中滤除差模干扰，等级 X1、X2、X3

Y 电容（ nF 级）**零线与地之间的电容，火线与地之间的电容**。在电路中滤除共模干扰信号，信号对大地的干扰。等级 Y1、Y2、Y3、Y4。

8. 超级电容

容值大，耐压较低，工作温度范围较窄。 $1\mu\text{F}=1000\text{nF}=1000\ 000\text{pF}$

	铝电解电容	钽电容	陶瓷电容
电容量	0.1μF-3F	0.1 μF -1000 μF	0.5pF-100μF
耐压	5V-500V	2V-50V	2V-1000V
ESR 等效串联电阻	几十毫欧至 2.5 欧	几十毫欧至几百毫姆	几毫欧至几百毫姆
ESL 等效串联电感	不超过 100nH	2nH 左右	1-2nH
工作频率范围	低频滤波, 小于 600KHZ	中低频滤波, 几百 KHZ 至几 MHz	高频滤波, 几 MHz 至几 GHz
薄弱点	窄温度范围, 电解液会挥发, 纹波电流导致发热	必须降额使用否则电光闪烁, 飞花四溅	易受温度、冲击导致裂纹
建议	不同材料温度特性差异巨大	15V 以上直流电压滤波不建议使用, 浪涌冲击失效显著	布线不要放在应力区, 避开高温区域

钽电容容量较大，ESR 小，体积小，耐温好（对于铝电解电容）。缺点：价格高、耐压不高、容量越大耐压越低。

陶瓷电容无极性，耐压好，耐温好，ESR 小。缺点：容值小，韧性差，容值大耐压高的贵。

铝电解电容容量大，价格便宜，耐压高，ESR 高。缺点：体积大，耐温差（电解液挥发），阻抗大（发热，容量下降），温度范围窄，高频特性差（ESL 大，谐振频率低，高频容量小）。

薄膜电容耐压高，频率特性好，高压场合优选。

丝印：铝电解电容有丝印的方向是负极；钽电解电容正好相反，有丝印的地方是正极。

9. 选型

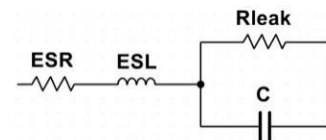
1. 容值：在室温 25°C ，在一定频率和幅度的交流信号下测得的容量。

2. 耐压（额定工作电压）：额定电压留有大概 70% 的裕量。耐压值高的，一般尺寸会更大。

3. 漏电流：绝缘电阻越大，漏电流越小

4. 插件或 SMD 5. 谐振频率 6. 损耗因数 7. 品质因数 Q

8. 温漂：温度系数，越小越好



10. 频率特性

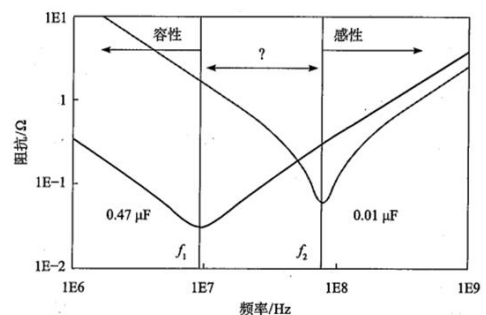
ESR（等效串联电阻）：（较大的 ESR 会产生较大的损耗功率、对滤波有影响）电容的 ESR 越小越好。

Rleak：取决于电容的泄露特性，绝缘电阻。

ESL（等效串联电感）：取决于电容的类型和封装。

容抗 $X_c = 1 / (2\pi f C)$ 感抗 $X_L = 2\pi f L$

$$\text{复阻抗 } Z = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$



电容在低频表现电容的阻抗特性，滤波效果渐强；在谐振点上，阻抗最小，呈电阻。电容在高频表现为电感的阻抗特性。电容用于滤波，需要最小阻抗，在谐振频率处滤波效果最好的。

小电容滤高频（自谐振频率高），大电容滤低频（自谐振频率低）。

11.组合滤波

①一种是使用一个大电容和一个小电容并联

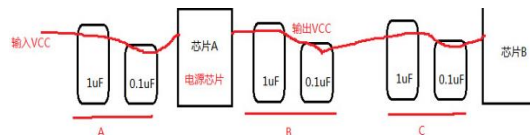
并联后总体阻抗曲线都会保持原来的变化趋势，因此，数值上会比任意一个电容都小。

②还有一种是使用多个相同的电容并联。

多个相同的电容并联后，阻抗曲线整体形状不变，但是各个频点的整体阻抗变小。

输入电源先大后小（小的靠近电源 IC），输出电源也是先大后小（大的靠近电源 IC）

原因：靠近电源芯片的电容会流过更大的纹波电流。



12.测试

数字电桥

3.二极管

1.PN 结

在硅（锗）中掺入磷、锑等五价元素，得到 P 型半导体。对 Si 掺入 As 后形成的 N 型半导体。

正偏（导通）：多数载流子的扩散运动，不利于少数载流子的漂移运动。扩散电流 >> 漂移电流。

反偏（截止）：少数载流子的漂移运动，不利于多数载流子的扩散运动。漂移电流 >> 扩散电流。

PN 结显示出单向电性。多数载流子正向通过 PN 结时就需要克服内电场的作用，需要约 0.7 伏的外加电压，这是 PN 结正向导通的门电压。

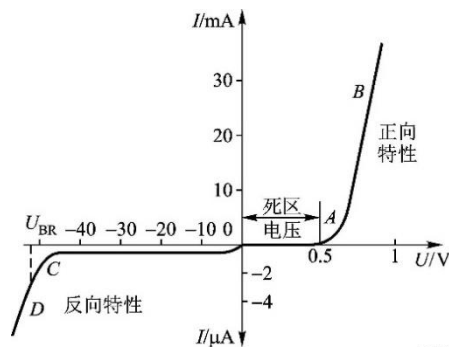
2.伏安特性曲线

(1) 不加电压时，电流=0；

(2) 正向电压小于 U_{on} 电流=0；大于 U_{on} , i 随 u 增长。

硅管的 V_{th} 约为 0.7V，锗管的 V_{th} 约为 0.3V

(3) 反向电压小于 $|u_{br}|$ 电流很小（漏电流）大于 $|U_{br}|$ 急剧增加。 **U_{BR} ：反向击穿电压。**



3.温度影响

温度升高导致正向特性左移（导通电压降低，正向压降降低），反向特性下移（反向电流增加）。

4.电击穿与热击穿

电击穿可逆（稳压管），反向电流和反向电压过大。

温度上升直到过热使 PN 结击穿的现象叫热击穿（不可逆）

5.参数

平均整流电流 I_o ：电流值大小通常为 I_F 的一半。

I_F 最大整流电流： I_F 的数值由二极管允许的温升所限定。

I_{FSM} 正向浪涌电流：允许流过的瞬间电流。

I_R 漏电流：加上反向电压时，流过管子的反向电流。 I_R 越小越好。反向电流越小，说明二极管的单

向导电性越好。反向电流是由少数载流子形成，所以 **IR 受温度影响**，温度越高，漏电流越大。

正向导通压降

VRM 最高反向工作电压

UBR 反向击穿电压：如果反向电压继续升高，当超过 UBR 以后，反向电流急剧增大，这种现象称为击穿。击穿后不再具有单向导电性。反向击穿并不意味着二极管损坏。

最高工作频率 fm：最高工作频率主要决定于结电容和反向恢复时间，具体谁看谁影响大，比如肖特基由结电容决定。

CT 结电容：结电容的大小决定二极管的频率特性。（原因：频率越高，电容的阻抗越低，信号都从电容直接过去了，无截止作用）

结电容有两种，分别是**势垒电容**和**扩散电容**。

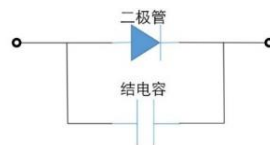
二极管在**反偏**时，势垒电容起主要作用，而**正偏**时，扩散电容起主要作用。

随着反向电压的上升，结电容值会减小。PN 结其电荷量的多少是受外加电压影响的。

trr 反向恢复时间：二极管从正向电压变成反向电压时，电流不能瞬间截止，需要延时一点时间。决定了二极管的开关速度。（原因：频率越高，电压翻转越快）

1、反向电源电压越小，反向恢复电流越小，电荷耗尽越慢，反向恢复时间越长。

2、正向电流越大，存储的电荷越多，耗尽时间越长，反向恢复时间越长。



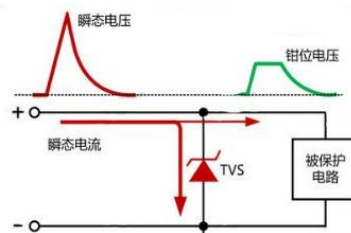
6. 肖特基二极管

金属与半导体结，金属得到电子。形成的势垒会非常的薄。只有一种载流子，那就是电子。

特点：开关频率高，反向恢复时间极短(小到几纳秒)，正向压降低，正向导通压降仅 0.4V 左右。

缺点：耐压比较低（反向击穿电压），漏电流稍大些。

用途：多用作高频、低压、大电流。整流二极管、续流二极管、保护二极管。



7. TVS 瞬态抑制二极管

又称**雪崩击穿二极管**。在电路中并联。单向 TVS 一般适用于直流电路，双向 TVS 一般适用于交流电路。TVS 管在电路中一般工作于**反向截止区**。

原理：当两端高能量冲击时，它以极高的速度使其阻抗骤然降低，同时吸收一个大电流，将其两端的电压钳位在一个预定的数值上，从而确保后面的电路元件。钳位电压低于电路中其它器件的最高耐压，因此起到了对其它元器件的保护作用。

参数

Vrwm：指的是**最高工作电压**，在此阶段 TVS 为不导通状态。

Vbr@It：击穿电压。表示 TVS 管测试电流 I_t 导通的标志电压，即从此点开始 TVS 进入雪崩击穿。

Vc@Max Ipp：钳位电压。在特定的 I_{pp} 电流时，浪涌经过 TVS 钳位住的电压。最大钳位电压 V_c 要小于等于电路中最大的工作电压。

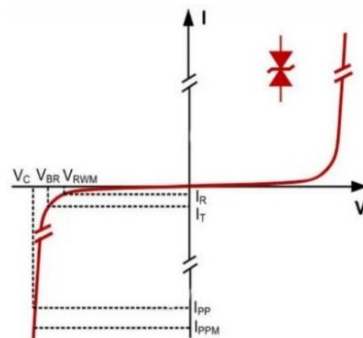
C：指的是极间电容。在高速信号上，需要选择小的电容。其电压越低，电容值越大。

IPP：峰值脉冲电流，给定脉冲电流波形的峰值。其峰值脉冲电流应大于瞬态浪涌电流

选型：

1、 V_{rwm} 大于等于被保护信号的正常工作电压， V_{rwm} 比被保护信号的工作电压越大，漏电流越小；TVS 的 V_{rwm} 越低，对应的钳位电压 V_c 越低，对信号的保护作用越好。

2、交流信号选择双向 TVS，直流信号选择单向 TVS，多路保护选择 TVS 阵列。



- 3、根据被保护的信号速率，选择合适的结电容。
- 4、根据被保护信号能承受的最大电压，在 TLP 曲线中选择合适的钳位电压。

8. ESD 静电保护二极管

主要功能是防止静电，防止瞬间的高压。

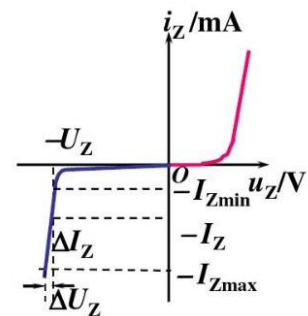
ESD 二极管功能是防静电，主要应用于板级保护。如 **USB 线**，结电容比较低。

TVS 二极管功能是防浪涌过电压，主要应放在电源的输入端吸收浪涌。电容值比较高。

9. 稳压二极管

又叫齐纳二极管。正向偏置状态为普通二极管的特性。

原理：当反向电压临近反向电压的临界值时，开始导通，反向电流骤然增大，称为击穿，反向电阻骤然降至很小值。二极管两端的电压却基本上稳定在击穿电压。



参数

V_Z：稳压值，高于 V_Z，电压稳定在 V_Z，低于 V_Z，稳压管不工作，电路处于开路状态。

耗散功率 (P_Z) 稳定电流 (I_Z) 动态电阻 (R_Z) 反向漏电流 (I_R)

稳压二极管使用一般串联一个电阻做限流电阻。稳压二极管的功率比较小。

通过串联就可获得更高的稳定电压，两个 5V 稳压管串联起来，就能起到 10V 稳压的效果。

10. 整流二极管

交流电转变为直流电，反向电阻接近于无穷大。 **电流大，频率低。**

选型参数：最大整流电流、最大反向工作电流、截止频率及反向恢复时间等参数

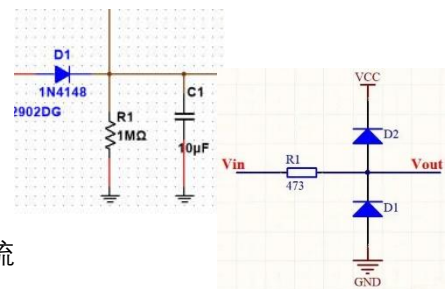
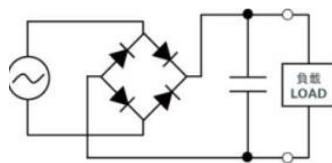
11. 发光二极管

发光强度与电流成正比，红、黄、绿的电压是 1.7—2.0V；蓝色的压降为 3.1-3.3V

插件正常发光时的额定电流约为 20mA 贴片 LED 几 mA 串联限流电阻

12. 通用二极管

电流小、工作频率高。



13. 应用

1. **防反作用**（单向导电的特性）

2. **整流作用**（交流电转换单向直流电）全波整流 半波整流

3. **稳压作用**（稳压二极管）

4. **续流作用**（肖特基）

5. **检波作用**（二极管导通，输出电压加在电容 C1 上，电容两端充电完毕，当输入电压低于先前输入电压时，二极管处于反偏截止状态，此时，电容两端的电压基本保持不变；若再输入信号，输入电压幅度必须高于电容两端的电压（即加在二极管的正向电压），二极管才能导通。）

6. **电压钳位作用**

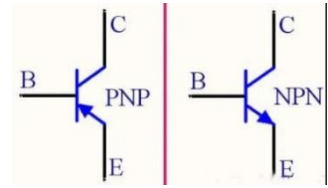
ADC 检测电路中会用两个二极管进行钳位保护。

4. 三极管

1.原理

具有电流放大作用(受温度影响大) 电流驱动

NPN 基极 **b** 杂质浓度低 **E** 发射 自由电子多 **C** 集电极面积大浓度低
发射结加正向电压，发射区向基区注入电子，形成 I_e ；自由电子扩散到基极形成 I_b ；集电结收集由基区扩散过来的电子，漂移形成 I_c 。



2.输入特性曲线

U_{ce} 一定， U_{be} 与 I_b 关系。与二极管的正向伏安特性相同。

3.输出特性

i_B 不变时， I_C 与 V_{CE} 之间的关系 发射结为 0.6 — 0.7V。

截止区

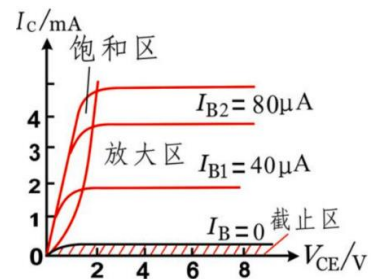
发射结反偏，集电结反偏。 $U_{be} < U_{on}$ 且 $U_{ce} > U_{be}$ 。 $I_b = 0$ ， $I_c = 0$ 。

放大区

发射结正偏，集电结反偏。 $U_{be} > U_{on}$ 且 $U_{ce} > U_{be}$ ，集电极加反向电压导通后， I_b 控制 I_c ， I_c 与 I_b 近似于线性关系 $I_c = \beta I_b$

饱和区

发射结正偏，集电结正向。即 $U_{be} > U_{on}$ 且 $U_{ce} < U_{be}$ 。当三极管的集电结电流 I_C 增大到一定程度时，再增大 I_b ， I_c 也不会增大，超出了放大区，进入了饱和区。此时 I_c 不仅仅与 I_b 有关，而且随 U_{ce} 的增大而增大 $I_c < \beta I_b$ 。



4.特性

温度 温度越高，放大倍数越大。

5.分类

按半导体材料：硅三极管、锗三极管 按工作频率：高频管、低频管 按功率：功率管、开关管

6.应用

开关（截止区和饱和区） 控制继电器输出 电平转换 反相

5.MOS 管

1.原理

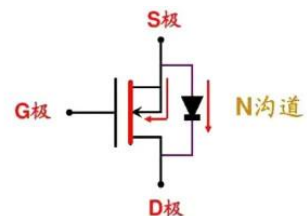
金属-氧化物半导体场效应晶体管

G: gate 栅极; S: source 源极; D: drain 漏极

P 沟道型和 N 沟道型管（箭头指向 G 极的是 N 沟道）

增强型管：栅极-源极电压 V_{gs} 为零时 I_{ds} 电流也为零；

耗尽型管：栅极-源极电压 V_{gs} 为零时 I_{ds} 电流不为零。



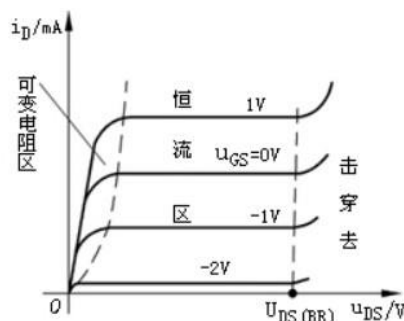
2.输出特性曲线

(1) $V_{GS} < V_{GS(th)}$ 时，夹断区(截止区)。不能导电，处在截止状态。电流 I_D 为 0，管子不工作。

(2) $V_{GS} > V_{GS(th)}$ ，且 $V_{DS} < V_{GS} - V_{GS(th)}$ ，可变电阻区（非饱和区）， I_d 随着 V_{DS} 的增加，导电沟道已产生但没有完全形成，相当就是一个由 V_{GS} 控制的可变电阻。

(3) $V_{GS} \geq V_{GS(th)}$ ，且 $V_{DS} > V_{GS} - V_{GS(th)}$ ，恒流区（饱和区，放大区）。当 $V_{GS} > V_{GS(th)}$ ， U_{DS} 为常量， V_{GS} 越大， I_d 越大。 V_{GS} 越高， $R_{DS(ON)}$ 值就越低。温度越高， $R_{DS(ON)}$ 值也就越高。

(4)击穿区： V_{DS} 过大，mos 损坏



3.特点

- 1.输入阻抗非常高，因为 MOS 管栅极有绝缘膜氧化物。
- 2.导通电阻低，可以做到几个毫欧的电阻。
- 3.开关速度快，开关损耗低，特别适应 PWM 输出模式。
- 4.MOS 管栅极很容易被静电击穿，栅极输入阻抗大，感应电荷很难释放，高压很容易击穿绝缘层。
- 5.由于 MOSFET 是电压驱动器件，要开通 MOSFET，必须对栅极施加高于栅极阈值电压 V_{th} 。
- 6.处于稳态开启或关断状态时，MOSFET 栅极驱动基本无功耗。
- 7.MOS 导通后电流方向可以双向流动，可以从 d 到 s，也可以从 s 到 d。

4.参数

$V_{GS(th)}$ 开启电压：N 沟道：导通时 $V_g > V_s, V_{GS} > V_{GS(th)}$ 时导通；

P 沟道：导通时 $V_g < V_s, V_{GS} < V_{GS(th)}$ 时导通。

$V_{GS(最大栅源电压)}$ ：栅极能够承受的最大电压。

$R_{DS(on)}$ (漏源电阻)：导通时漏源间的最大阻抗，决定了 MOS 管导通时的消耗功率，尽可能的小。

I_D (导通电流)：漏源间所允许通过的最大电流

V_{DSS} (漏源击穿电压)：栅源电压 V_{GS} 为 0 时，场效应管正常工作所能承受的最大漏源电压

g_{fs} (跨导)：漏极输出电流的变化量与栅源电压变化量之比

5.寄生电容

(控制 mos 管导通与截止，本质控制 C_{gs} 电容充放电，如果要求快速导通，驱动源提供大的驱动电流，提供电容大的充放电。会影响开关速度)

G 级并联电阻

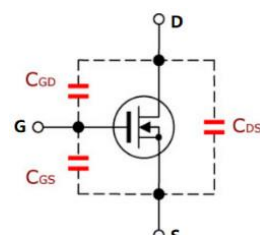
在 GS 级加上一个电阻，用来释放寄生电容的电流。

G 级串联电阻

形成一个 RC 充放电电路，可以减小瞬间电流值，不至于损毁 MOS 管的驱动芯片。抑制振荡；会减缓 MOS 管的开关速度；固定电平。

米勒效应的就是米勒电容 (C_{gd}) 米勒效应指其输入输出之间的分布电容 C_{gd}

在反相放大的作用下，使得等效输入电容值放大的效应，米勒效应会形成米勒平台。有了米勒平台，MOS 管的开启时间变长，MOS 管的导通损耗必定会增大。



输入电容 $C_{iss} = C_{gs} + C_{gd}$

输出电容 $C_{oss} = C_{ds} + C_{gd}$

反向传输电容 $C_{rss} = C_{gd}$

6.寄生二极管

做防反接。N 是 S 到 D。P 沟道，由 D 极指向 S 极。

正接会导通，反接截止，对于 NMOS，当 S 极接正，D 极接负，寄生二极管会导通，反之截止；对于 PMOS 管，当 D 极接正，S 极接负，寄生二极管导通，反之截止。

7.判别 GDS

G、D、S(一般顺序)

万用表调至二极管档，将红表笔接在 MOS 的 S 极，黑表笔接在 D 极。

如果这时候万用表显示 0.4V~0.9V（二极管特性）电压值，说明这很可能是一个 NMOS；如果没有读数，表会显示 1，开路，说明这很可能是一个 PMOS。

8.应用

1.作开关管用

2.防反接用

3.作电平转换用

4.全桥驱动电机

6.电感

1.原理

1.本质

电感是**阻碍电流的变化，储能**。当线圈通过电流后，在线圈中形成磁场感应，感应磁场又会产生感应电流来阻碍线圈中电流的变化，这种电流与线圈的相互作用关系称为电的感抗，也就是电感。

电感的**磁芯**决定了电感的饱和电流，磁滞损耗等。

2.储能

$E_L = \frac{1}{2} * L * I^2$ E 为电感储存的能量，L 为电感量(H)，I 为(任意给定时刻)流过电感的电流。

电感的储能是要有电流流过的。能量转换到了寄生电容里面，因为寄生电容都很小，所以会产生比较高的电压，也是因为寄生电容的存在，所以实际电路不会产生无限高压。

3.电感电流无法突变

$u = \frac{d\psi}{dt} = \frac{d(L*i)}{dt} = L * \frac{di}{dt}$ 。电流的变化率和电感电压是成正比的。

电感两端加恒定电压时、电流线性增大或者减小（斜率不变）。电感电压比电流相位超前 90°。

4.感应电压

电感线圈产生自感时，感应电流通过负载维持电流变化，将产生**感应电压**。感应电压的大小取决于感应电流与负载，感应电流与负载越大，感应电压越大，反之越小。

感应电动势与所加电压相等，方向相反，等于-U，负号表示感应电动势要阻止电流变化。

2.作用

1.通低频阻高频：电感的感抗 $X_L = 2\pi fL$ 。当频率 f 大，感抗就大，对高频信号阻碍作用越大。

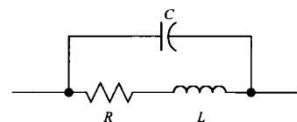
2.通直流隔交流：电感相当于导线，与导线的区别是电感会产生磁场；（直流电时，f=0Hz，所以电感感抗 Z=0）。阻交流，注意，是阻碍。

3.阻碍电流的变化，电感阻碍电流变化，让电流变化变缓，保持器件工作电流的稳定。

4.滤波：在高频时，电感的感抗会增加，噪声会碰到巨大的阻碍，导致信号被反射回去。

3.高频特性

自谐振频率 $f_{SRF} = f_o = \frac{1}{2 * \sqrt{L * C}}$

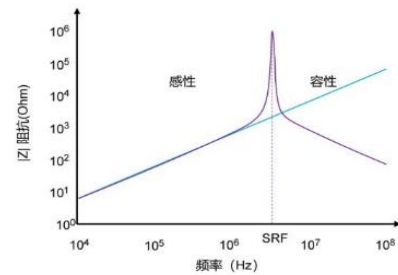


电感越小，谐振频率越高；电感越大，那么匝数越多，所以谐振频率也低。

$$\text{阻抗 } Z = \frac{j\omega L + R}{(1 - \omega^2 LC) + j\omega RC} \quad \text{模值 } |Z| = \sqrt{\frac{(\omega L)^2 + R^2}{(1 - \omega^2 LC)^2 + (\omega RC)^2}}$$

在 SRF 左侧，电感主要呈感性，在谐振频率 SRF 处，阻抗达到最大，而在 SRF 右侧，主要呈容性。

电感滤波时，只需要其感性的作用，越接近于理想电感越好，信号频率要远小于谐振频率，（使信号频率小于谐振频率的十分之一）。



电容用于滤波，需要最小阻抗，所以电容是在谐振频率处滤波效果最好的。

4.直流偏置特性

直流偏压特性，一般指是电感量会随电流的增大而减小。在电源转换器的应用中，此特性很重要。一旦超过饱和电流，铁氧体铁芯的磁导率会陡降，而铁粉芯则可缓慢降低。

5.参数

类型

高频电感：高频信号滤波，小功率 LC 滤波

功率电感：LC 滤波，升压

共模电感：滤除共模信号

差模电感：滤除差模信号

电感值：标称值是在没有外加直流偏置的条件。①线长越长，电感越大。②线越细，电感越大。

DCR 直流阻抗：通过直流电时的阻抗值。

根据 $P=I^2 \cdot R$ ，DCR 越小越好。电感感量越大，导线的匝数越多，线长越长，DCR 越大。同等电感量，导线会越粗，DCR 越小。

饱和电流：流过电感的电流导致感值降为 70%时，此时的电流为饱和电流。

不要让电感的最大电流值（瞬间值）超过其饱和电流。会产生磁性体的磁饱和现象。

温升电流 I_{rms} ：一般指电感自我温升温度不超过 40°C时的电流。通常额定电流大于等于温升电流。

额定电流 I_{rat} ：包含上面两个电流。电感通过的最大电流要小于手册中的额定电流的 80%。额定电流规定了电流值的上限，通过的直流电流超过该值时，无法保障质量。

自谐振频率 SRF：在谐振点处，电感的阻抗最大，有效电感为零。

Q 值（品质因数）：电感器质量的参数。

线圈对交流电流产生阻抗，交流频率越高感抗则越大。**Q 值是感抗与其等效损耗电阻之比。**

$(Q=2\pi fL/R)$ 。Q = 无功功率/有功功率。其 Q 值越大，线圈的损耗越小，效率越高。

精度：一般电感：误差值 20%，M；误差值 10%，K。精密电感：误差值为 5%，J 误差值为 1%，F。

屏蔽特性：一体成型 > 普通全屏蔽型 > 树脂屏蔽型。

6.电感损耗

线圈损耗：DCR，ACR

磁芯损耗：磁滞损耗，涡流损耗，剩余损耗

7.功率电感

一般用在 DC-DC 电路变换中，其中又可以细分为屏蔽式电感与一体成型电感。

特点：感值高，功率大，饱和电流大，封装尺寸相对较大。

应用：低频 LC 滤波，升压

补充：带屏蔽的功率电感比非屏蔽的 EMI 效果好些，但价格稍贵些。

8.贴片电感

特点：感值小，功率小，饱和电流小，封装尺寸小

应用：高频信号滤波

9.共模电感

构成：两组直径与圈数相同的线圈，方向相反的绕制在同一个铁芯上，引出 4 个引脚。

作用：滤除共模干扰信号，降低 EMI，用于抑制高速信号线产生的电磁波向外辐射发射。

共模信号：大小相等、方向相同的信号

10.差模电感

构成：一组线圈绕制在铁芯上，引出 2 个引脚。

作用：滤除差模干扰信号，降低 EMI，一般成对出现。用于滤波、升压。

差模信号：大小相等、方向相反的信号。

7.TTL、CMOS、LVDS

常用的逻辑电平

逻辑电平：有 TTL、CMOS、LVTTTL、ECL、PECL、GTL；RS232、RS422、LVDS 等。

其中 TTL 和 CMOS 的逻辑电平：5V 系列 (5V TTL、5V CMOS) 3.3V 系列 2.5V 系列和 1.8V 系列。

U_{oh} -> 输出高电平， U_{ol} -> 输出低电平；

U_{ih} -> 输入高电平， U_{il} -> 输入低电平。

1.TTL

TTL 集成电路主要由 BJT 晶体管构成，如 STC 单片机，驱动能力强，功耗高。

输出模式： $U_{oh} \geq 2.4V$ ， $U_{ol} \leq 0.4V$ ；

输入模式： $U_{ih} \geq 2.0V$ ， $U_{il} \leq 0.8V$ ；

2.CMOS

CMOS 集成电路主要由 MOS 管构成，如 STM32 单片机，功耗低，驱动能力弱，使用最广泛。

输出模式： $U_{oh} \approx V_{CC}$ ， $U_{ol} \approx GND$ ；

输入模式： $U_{ih} \geq 0.7V_{CC}$ ， $U_{il} \leq 0.2V_{CC}$ ；（ V_{CC} 为电源电压， GND 为地）

5V 电源电压情况下，COMS 电路可以直接驱动 TTL，而 TTL 电路则不能直接驱动 CMOS 电路。

区别

- 1) TTL 电路是电流控制器件，而 CMOS 电路是电压控制器件。
- 2) TTL 电路的速度快，传输延迟时间短(5-10ns)，但是功耗大。COMS 电路的速度慢，传输延迟时间长(25-50ns)，但功耗低，也就是说 TTL 电路的延迟比 CMOS 电路要小。COMS 电路本身的功耗与输入信号的脉冲频率有关，频率越高，芯片集越热，这是正常现象。
- 3) TTL 器件供电电压一般 5V，CMOS 为 1.8V—2.5V—3.3V—5V

3.LVDS

Low-Voltage Differential Signaling 为降低电磁辐射，同时提高开关速度又推出 LVDS 电平标准。

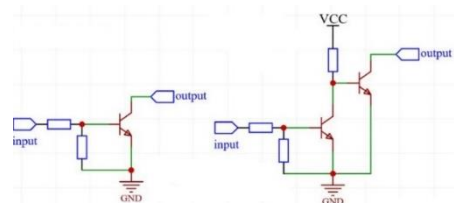
差分对输入输出，内部有一个恒流源 3.5-4mA，在差分线上改变方向来表示 0 和 1。通过外部的 100 欧匹配电阻(并在差分线上靠近接收端)转换为 $\pm 350mV$ 的差分电平，中心电平一般在 1.2V 左右。

8.OC 门、OD 门、开漏、推挽、图腾柱

1.OC 门

OC 门：Open Collector，又称集电极开路，三极管的 C 集电极开路的电路。

2.OD 门



OD 门：Open Drain，漏极开路门，OD 门是针对场效应管而言，MOS 管的 D 漏极开路的电路。MOS 管在很多场合性能要比晶体管要好。开漏输出可以泛指 OC 门和 OD 门电路。

分析原理：

input 输入高电平，output 输出低电平；

input 输入低电平，output 呈现高阻态，电平不确定。

OC 门 input 为高电平的时候，output 实际输出不是 0V，

因为三极管存在饱和压降，一般小功率三极管大概在 0.2~0.3V，所以 output 其实为 0.3V 左右。

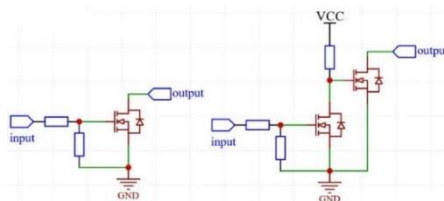
OD 门 input 为高电平的时候，output 几乎等于 0V，因为 MOS 管的导通阻抗很低。

OC/OD 门电路不具备输出高电平的能力，是需要外接上拉电阻的。1K~10K 都是没问题的。上拉电阻过大，会影响信号切换的速度，上拉电阻过小，回路电流越大，会更加功耗，甚至烧坏 OC/OD 门。

线与逻辑

两个或者多个 输出端 (output) 直接连接就可以实现与逻辑功能。

I2C 总线就是 OC/OD 门，也是因为这种 IO 的高阻态输出和线与逻辑才能让 I2C 总线能够有一个 master，多个 slave。一个输出高，一个输出低，电流经过电阻流向低。



3.开漏输出

开漏输出，其实就是上面说的 OD 门。对于开漏输出来说，输出部分的 PMOS 不工作，只有 NMOS 工作。对于单片机使用软件 I2C 进行设备通讯，IO 口模式就需要设置为开漏输出，通过外接上拉电阻进行通信。

4.推挽输出

推挽输出是一种使用一对选择性地从相连负载灌电流或者拉电流的器件的电路。推挽电路使用两个参数相同的三极管或 MOSFET，以推挽方式存在于电路中。电路工作时，两只对称的开关管每次只有一个导通，所以导通损耗小、效率高。

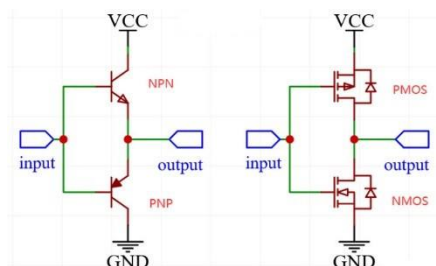
当 input 输出高电平时，上面的 NPN 导通，下面的 PNP 截止，output 输出高电平；

当 input 输出低电平时，上面的 NPN 截止，下面的 PNP 导通，output 输出低电平；

当 input 输出高电平时，上面的 PMOS 截止，下面的 NMOS 导通，output 输出低电平；

当 input 输出低电平时，上面的 PMOS 导通，下面的 NMOS 截止，output 输出高电平；

MOS 管和三极管的高低电平是相反的。

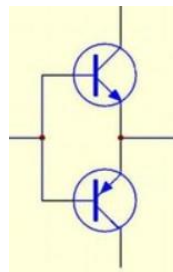


5.图腾柱驱动电路

图腾柱其实就是推挽输出的两个三极管电路。

上管为 NPN，C 极(集电极)接正电源，下管为 PNP，C 极(集电极)接地。

作用：用来匹配电压，或者提高 IO 口的驱动能力。



9.集成运放

集成电路是采用专门的制造工艺，在半导体单晶硅上，把晶体管、场效应管、二极管、电阻和电容等元器件以及它们之间的连线所组成的电路制作在一起，使其具有特定功能的芯片。

1.组成

集成运放由**输入级**、**中间级**、**输出级**和**偏置电路**四部分构成。

- ①**输入级**：输入级又称前置级，通常是一个双端输入的高性能差分放大电路。一般要求输入阻抗高，差模放大倍数大，抑制共模信号能力强，静态电流小，对整个集成运放的性能参数至关重要。
- ②**中间级**：中间级是集成运放的主放大器，其作用是使集成运放具有较强的放大能力，多采用共射（晶体管）（或共源（MOS管））放大电路，其电压放大倍数可达几千倍。
- ③**输出级**：输出级具有输出电压线性范围宽、输出阻抗小（即带载能力强）、非线性失真小等特点，通常采用互补输出电路。
- ④**偏置电路**：偏置电路用于设置集成运放各级放大电路的静态工作点。

2.特点

- ①开环差模放大倍数（增益）超级大
- ②差模输入电阻超级大
- ③输出电阻超级小

3.用途

- | | | |
|-----------|------------|---------|
| 1.加减乘除 | 2.积分/微分 | 3.电压跟随器 |
| 4.电压比较器 | 5.同向/反向放大器 | 6.差分放大器 |
| 7. I/V 转换 | 8.精密电流源 | 9.波形发生器 |

4.工作原理

信号输入：

当输入信号从“-”端口输入放大器时，输出信号与输入信号反相；
当输入信号从“+”端口输入放大器时，输出信号与输入信号同相；
当两个输入端口同时输入信号时，运算放大器实现减数运算，输出信号与较大的一方同相。

理想运放：

一个理想的运算放大器具备下列特性：

无限大的输入阻抗、等于零的输出阻抗、无限大的开环回路增益、无限大的共模排斥比的部分、无限大的频宽。

线性区： $V_{out} = \text{开环增益} \times (V_{in+} - V_{in-})$ ，

图中斜率就是开环增益，开环增益为差模开环放大倍数，非常高，可达几十万倍。集成运放的线性区非常窄。假如运放的正输入端的电压高于负输入端的电压，即便只高一点点，由于开环增益无限大，能够输出的最大正电压。

非线性区：输出电压要么 U_{om} ，要么 $-U_{om}$ ，达到饱和，一般用于比较器。

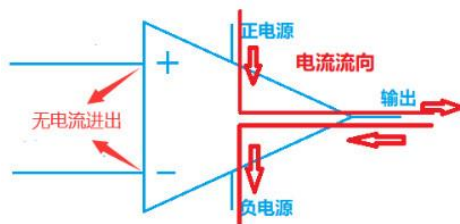
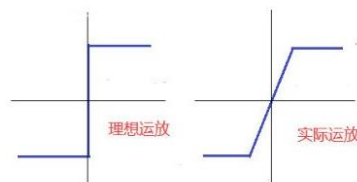
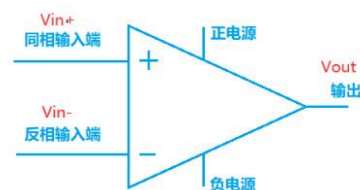
电流流向

运放的输入端是没有电流流入或者流出的，但是输出端是可以经过电流的。输入端有着无限大的输入阻抗。（电流通过正电源流向输出，或者通过输出流向负电源）输出端的这些电流是由运放的供电端提供的（电流是从电压高的地方流向电压低的地方）。

5.单电源供电和双电源供电

最开始运放都是双电源供电，一个正电源一个负电源且绝对值相同。应变便携设备低功耗的需求，减少电源个数降低电源电压的节能需求。

总结：单的都能用双的，双的用单的会有问题。



1: 在放大直流信号时，单电双电源供电都可以。

2: 在放大交流信号时，采用正负双电源供电都可以正常工作；对于单电源运放，表现为无法对信号的负半周放大，要采用单电源，就需要所谓的“偏置”。

区别

双电源的总动态范围、输出电压/电流、精度、负载抗干扰性优于单电源运放。

a) 供电电压的区别 b) 单电源供电的同向输入放大器要求输入电压不能为负 c) 单电源供电的反向输入放大器要求输入电压不能为正 d) 单电源供电要放大交流信号必须提供合适的偏置电压。

6.参数

极限参数：供电电压范围、输入电压范围、工作温度、存储温度

关键参数：输入偏置电流 I_b 、输入失调电流 I_{os} 、输入失调电压 V_{os} 、输入失调电压的温度漂移（简称输入失调电压温漂） $\Delta V_{os}/\Delta T$ 、电源电压抑制比 PSRR、共模抑制比 CMRR、共模输入电压 V_{cm} 、轨到轨、开环增益(Aol)、增益带宽积(GBW)、单位增益带宽、输入阻抗 R_{in}

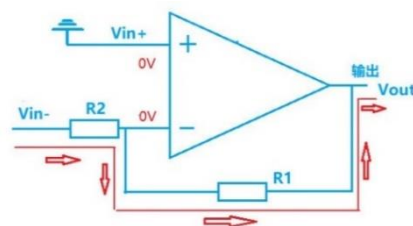
7.负反馈

把输出端的电压，引入到负输入端，形成了一个负反馈电路。

分析

V_{in+} 如果大于 V_{in-} ，那么 V_{out} 就会不断升高，但此时 V_{out} 通过与 V_{in-} 相连，会导致 V_{in-} 也不断升高，直到 V_{in-} 基本等于 V_{in+} ， V_{out} 不再继续升高的时候，电路就形成一个稳定状态。

【因为运放输入端没有电流流入，所以电流要么从 V_{in-} 流向 V_{out} ，要么从 V_{out} 流向 V_{in-} 一条线路上，所以 R_2 的电流和 R_1 的电流永远是相等的又因为最终负输入端的电压会等于 $0V$ 。】



8.正反馈

负反馈降低了电路的放大能力，但能够改善电路的放大性能，减小了波动，电路稳定性更好。

正反馈提高了电路的放大能力，在正反馈中，输入和输出信号的相位相似，因此两个信号相加，适用于振荡电路中。

9.虚短与虚断

虚短： V_{in+} 基本等于 V_{in-} 的。分析的时候就当成短路了一样来分析，但不是真正的短路。

虚断：虚断，其实也就指的是运放的输入端没有电流流入和流出。把两个输入端想象成断开的，称为虚断。运放的输入阻抗非常非常高，电流可以忽略。

10.应用

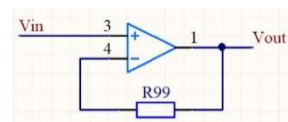
1.电压跟随器

$$V_{out} = V_- \approx V_+ = V_{in} \quad \Rightarrow \quad V_{out} \approx V_{in}$$

电压跟随的时候反馈电阻要加上。原因：可以防止干扰，让电路更稳定。

电阻：几百欧姆到

10K 之内。



2.反向比例电路

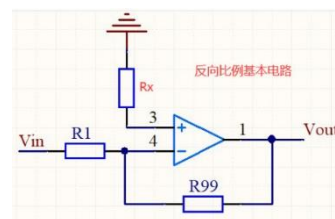
$$V_+ \text{ 接 GND} \Rightarrow V_- \approx V_+ = 0$$

$$R_1 \text{ 和 } R_{99} \text{ 上电流一样: } \Rightarrow (V_{in} - V_-) / R_1 = (V_- - V_{out}) / R_{99}$$

$$\Rightarrow V_{out} = -(R_{99} / R_1) * V_{in}$$

R_x 称之为直流平衡电阻，设计电阻大小： $R_x = R_1 \parallel R_{99}$

原因：为了使内部的差分放大器尽量处于平衡状态，提高电路的共模抑制比和减小零漂。



两个输入端电位始终近似为零（同相端接地，反相端虚地），只有差模信号，抗干扰能力强

3.同向比例电路

在同相放大器电路中，输入信号是加在正相输入端，且输入波形和输出波形的相位是相同的。

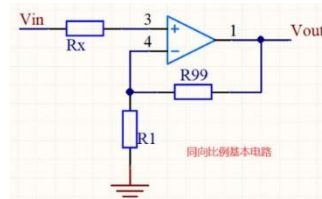
$$V_+ = V_{in}$$

$$R_1 \text{ 和 } R_{99} \text{ 电流相等: } (V_{out} - V_-) / R_{99} = (V_- - 0) / R_1$$

$$\Rightarrow V_{out} = [1 + (R_{99} / R_1)] V_{in}$$

$$R_x = R_1 // R_{99}$$

输入阻抗和运放的输入阻抗相等，接近无穷大。



4.积分电路

电容上的电压等于流过其电流的积分

$$V_{out} = -1 / C \int i_5 dt$$

C5 电流 和 R1 电流相等

$$\Rightarrow i_5 = i_1 = V_{in} / R$$

$$\Rightarrow V_{out} = - (1 / RC) \int V_{in} dt$$

用途：

①将方波变成三角波

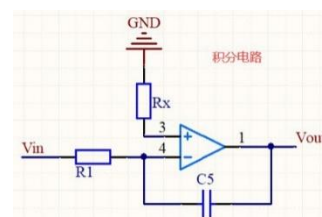
②去除高频干扰

③移相

④在模数转换中，将电

压量变为时间量

在使用积分电路的时候，为了防止低频信号增益过高，常在电容上并联一个电阻。



5.差分放大

虚短: $V_- = V_+$

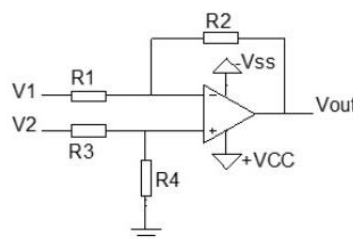
$$\text{虚断: } \frac{V_2 - V_+}{R_3} = \frac{V_+ - 0}{R_4}, \quad \frac{V_1 - V_-}{R_1} = \frac{V_- - V_{out}}{R_2}$$

$$R_1 // R_2 = R_3 // R_4, \quad R_1 = R_3, \quad R_2 = R_4$$

$$\frac{V_2 - V_+}{R_1} - \frac{V_1 - V_+}{R_1} = \frac{V_+}{R_2} - \frac{V_+ - V_{out}}{R_2}$$

$$\Rightarrow \frac{V_2 - V_1}{R_1} = \frac{V_{out}}{R_2}$$

$$\Rightarrow V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$



放大差模信号，抑制共模信号。利用电路参数的对称性和负反馈作用，有效地稳定静态工作点，被广泛用于直接耦合电路和测量电路的输入级。

11.比较器电路

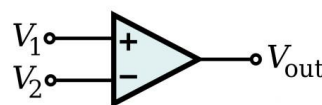
理论上一个开环组态（无负反馈）的运放可以发挥低端比较器的作用。

当正相输入端（V+）的电压高于反相输入端（V-）时，由于运放较高的开环增益，在输出端输出一个正向饱和电压+Usat。

当反相输入端（V-）的电压高于正相输入端（V+）时，在输出端输出一个反向饱和电压-Usat。

过零比较器：输出会在输入电压经过零点时从低转换到高或从高转换到低。

电压比较器：将过零比较器的一个输入端从接地改接到一个固定电压值上，就得到电压比较器。



12.滤波器

1 种类

按所处理的信号可分为**模拟的**和**数字**

按所采用的元器件可分为**有源**和**无源**

按通过信号的频段可分为：**低通滤波器（LPF）** **高通滤波器（HPF）** **带通滤波器（BPF）** **带阻滤波器（BEF）** **全通滤波器（APF）**

按频率特性在截止频率 f_p 附近形状的不同可分为 **Butterworth** , **Chebyshev** 和 **Bessel** 等。

2 作用

- 1、将有用的信号与噪声分离，提高信号的抗干扰性及信噪比；
- 2、滤掉不感兴趣的频率成分，提高分析精度；
- 3、从复杂频率成分中分离出单一的频率分量。

3 时域和频域

时域信号：幅值随时间变化的信号。

频域信号：幅值随频率变化的信号。

动态信号从时间域变换到频率域主要通过傅立叶级数和傅立叶变换实现。周期信号靠傅立叶级数，非周期信号靠傅立叶变换。时域越宽，频域越短。

任何周期函数波形，都可以看作是不同振幅，不同相位正弦波的叠加。

不同频率的正弦波称为频率分量。时间差除周期再乘 2π ，就得到了相位差。相位谱是从下面看。

4 滤波电路

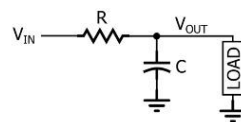
滤波电路分为**无源滤波**和**有源滤波**两种，无源滤波即 **R、L、C** 组成，有源滤波器是在无源 **RC** 滤波器的基础上增加了运放。

RC 低通滤波器：将一个电阻与信号路径串联，并将一个电容与负载并联，可以产生 RC 低通响应。

原理：电容 C 具有隔直通交的特性，高频分量经过电阻 R 后直接对地短接，只有低频的输入分量才会输出到后端。

截止频率

RC 低通滤波器的截止频率实际上是输入信号幅度降低 3dB 的频率(选择该值是因为幅度降低 3dB 对应于功率降低 50%)。因此，截止频率也称为 -3 dB 频率。
幅频和相频特性



$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$A(f) = |H(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\tau 2\pi f)^2}} \quad \phi(f) = -\arctg(2\pi f \tau)$$

$$H(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{j\omega C}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{j\omega RC + 1}$$

13.IIR 与 FIR 滤波器区别

FIR 滤波器：有限单位冲激响应滤波器，没有反馈回路，稳定性更强，输出取决于当前输入数据和历史输入数据。实时滤波，不需要等待前一个信号的滤波输出。

IIR 滤波器：无限脉冲响应滤波器，有反馈回路，稳定性弱一点，取决于当前输入数据、历史输入数据、历史输出数据，存在一定时间延迟，没有 FIR 快，需要等待上一个信号的滤波输出。

14.零点漂移（温漂）

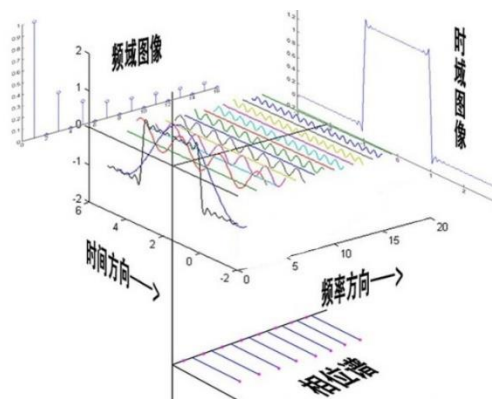
- ① 电源电压稳定性：决定了静态工作点 Q
- ② 元器件的老化变性：器件老化，阻值改变
- ③ 温度变化：三极管是半导体元器件，很容易受温度的影响，参数会改变

解决：恒温措施；补偿法：采用热敏元件来抵消放大器的变化；采用直流负反馈稳定静态工作点。

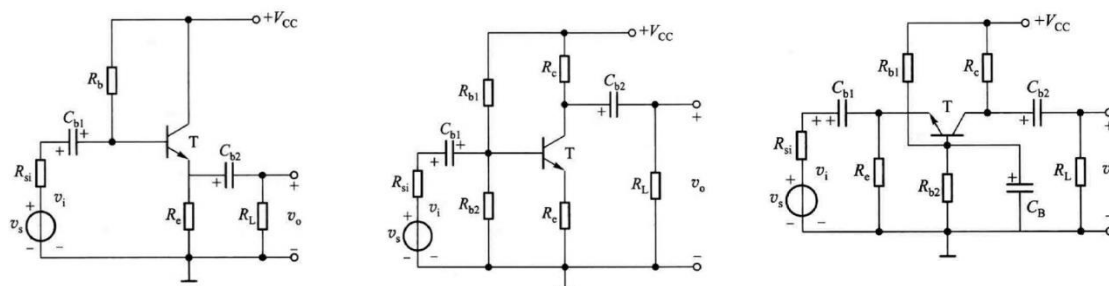
15.共发射、共集电极、共基极

共射极放大电路：信号由基极输入，集电极输出。具有放大电流和电压的作用。输入电阻大小居中，输出电阻较大，频带较窄，适用于一般放大。

共集电极放大电路：信号由基极输入，发射极输出，只有电流放大作用，没有电压放大输入电阻高，输出电阻低，具有电压跟随的特点，常用于多级放大电路的输入级和输出级。



共基极电路：信号由发射极输入，集电极输出，只有电压放大作用，输入电阻小，输出电阻低和电压放大倍数与共射电路相当，高频特性好，适用于宽频带放大电路。



10.光耦、蜂鸣器、继电器、可控硅

1.光耦

1 技术理论

光耦是以光为媒介来传输电信号的器件，通常把发光器（红外线发光二极管 LED）与受光器（光敏半导体管或光敏电阻）封装在同一个管壳内。当输入端加电信号时发光器发出光线，受光器接收光线之后就产生电流，从输出端流出，从而实现“电—光—电”控制。

2 分类

光耦分为两种一种为非线性光耦，另一种为线性光耦。

非线性光耦的电流传输特性曲线是非线性的，这类光耦适合于开关信号的传输，不适合于传输模拟量。常用的 4N 系列光耦属于非线性。

线性光耦的电流传输特性曲线接近直线，并且小信号时性能较好，能以线性特性进行隔离控制。常用的线性光耦是 PC817A-C 系列。

3 作用

- 1.输入输出间互相隔离，主要用于通信和控制时传输信号的隔离。
- 2.光耦在传输信号的能有效地抑制尖脉冲和各种杂波干扰。
- 3.光耦的响应速度极快,其响应延迟时间在 us 级,更快的有 ns 级。
- 4.光耦起到很好的安全保护作用,即使当外部设备出现故障,或者输入信号线短接时,也不会影另一设备，同时光的输入回路和输出回路之间可以承受几千伏的高压。

4 参数

输入端压降 VF：V 是指在给定的工作电流下，LED 本身的压降

允许功耗 Pd：LED 所能承受的最大功耗值。超过此功耗，可能会损坏 LED

输入电流 If：是指 LED 正常发光时所流过的正向电流值

输出端最大电流 Ic：光敏三极管集电极所流过的电流，通常表示其最大值。

集电极-发射极电压 Vce：集电极-发射极所能承受的电压

电流传输比 CTR：指光敏三极管和发光管的电流比最小值。稳定工作： $I_c/I_f \geq CTR \Rightarrow I_f * CTR \geq I_c$

隔离电压：输入和输出端之间之间的隔离电压，一般可超过 1kV，有的甚至可以达到 10kV 以上。

2.蜂鸣器

1 技术理论

蜂鸣器是一种一体化结构的电子讯响器。

按组成结构，分**压电式蜂鸣器**与**电磁式蜂鸣器**

按工作方式，分**有源蜂鸣器**与**无源蜂鸣器**

2 压电式与电磁式蜂鸣器

压电式蜂鸣器

以压电陶瓷的压电效应，来带动金属片的振动而发声；一般建议为 9V 以上。压电的有些规格，可以达到 120dB 以上，较大尺寸的也很容易达到 100dB。

电磁式的蜂鸣器

用电磁的原理，通电时将金属振动膜吸下，不通电时依振动膜的弹力弹回。用 1.5V 就可以发出 85dB 以上的音压了。电磁式蜂鸣器的音压一般最多到 90dB。

3 有源与无源蜂鸣器

注意：这里的源不是指电源，而是指**震荡源**。有源蜂鸣器内部带震荡源，所以只要一通电就会叫；而无源内部不带震荡源，所以如果用直流信号无法令其鸣叫。必须用 2K-5K 的方波去驱动它。

无源蜂鸣器：**便宜、声音频率可控、PWM 波驱动。有线圈，需要续流二极管。**

有源蜂鸣器：**驱动简单，程序控制方便。有源蜂鸣器分正负极，不能接反。**

3.继电器

1 技术理论

继电器 (Relay) 是一种电子控制器件，它具有控制系统（又称输入回路）和被控制系统（又称输出回路），通常应用于自动控制电路中它实际上是用较小的电流去控制较大电流的一种“自动开关”。

2 分类

常用继电器分为**电磁继电器**与**固态继电器**。

电磁继电器

基本原理：利用电磁效应来控制机械触点达到通断目的，给带有铁芯线圈通电-线圈电流产生磁场-磁场吸附衔铁动作通断触点，整个过程是“小电流-磁-机械-大电流这样一个过程；

优点：价格便宜，驱动简单，隔离效果好；**缺点：**体积大，寿命相对短（机械触点）。

固态继电器

优点：寿命长（无触点），驱动简单，隔离效果好；

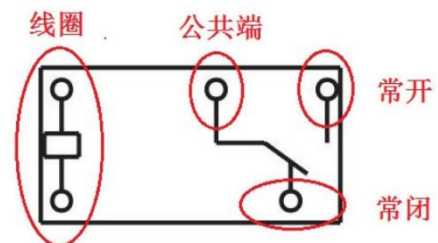
缺点：体积大，成本高。

3 名词解释

常开端：线圈不通电时两触点是断开的，通电后，两个触点就闭合。以合字的拼音字头“H”表示。

常闭端：线圈不通电时两触点是闭合的，通电后两个触点就断开。用断字的拼音字头“D”表示。

公共端：开关输入，比如接 12V，24V，220V 等。



4 继电器参数

额定工作电压：继电器正常工作时线圈所需要的电压。可以是交流电压，也可以是直流电压。

直流电阻：电磁继电器：线圈的直流电阻，可以通过万能表测量。 固态继电器：输入回路的阻抗。

吸合电流：是指继电器能够产生吸合动作的最小电流。在正常使用时，给定的电流必须略大于吸合电流，这样继电器才能稳定地工作。

释放电流：是指继电器产生释放动作的最大电流。当继电器吸合状态的电流减小到一定程度时，继电器就会恢复到未通电的释放状态。这时的电流远远小于吸合电流。

触点切换电压和电流：继电器允许加载的电压和电流。它决定了继电器能控制电压和电流的大小。

触点寿命：由于固态继电器无触点，这个主要针对电磁继电器，指触电弹片的切换次数，理论一般可达百万次。

4.可控硅

1 技术理论

可控硅，SCR，晶闸管，可控硅整流元件的简称，是一种具有三个 PN 结的四层结构的大功率半导体器件。具有体积小、调压、无触点开关等。

2 应用领域

整流（交流-直流）

逆变（直流-交流）

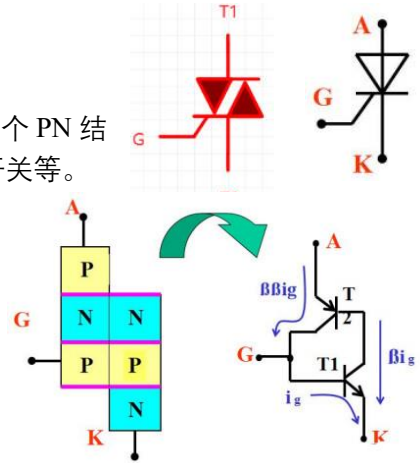
变频（交流-交流）

斩波（直流-直流）

此外还可作无触点开关等 适用于一些大功率场合的开关控制

3 工作原理

原理：起初，可控硅处于截止状态当 G 级有一个高电平，下面的 NPN 三极管导通导致 2 点处的电平被拉低，从而导致上面的 PNP 三极管导通，上面的三极管导通后，正向电压会加在 1 点处（G 那根信号线上），使得下面 NPN 能够一直保持导通状态，形成一个稳定的回路。这个时候 G 点不需要额外的高电平信号，可控硅也能导通。



UAK>0、UGK>0 时— T1 导通— T2 导通— T1 进一步导通形成正反馈—晶闸管迅速导通

晶闸管导通后，去掉 U_{gk} ，依靠正反馈，晶闸管仍维持导通状态；

晶闸管截止的条件：

- (1) 晶闸管开始工作时， U_{AK} 加反向电压，或不加触发信号（即 $U_{GK}=0$ ）；
- (2) 晶闸管正向导通后，令其截止，必须减小 U_{AK} ，或加大回路电阻，使晶闸管中电流的正反馈效应不能维持。

结论

- ①晶闸管具有单向导电性（正向导通条件：A、K 间加正向电压，G、K 间加触发信号）；
- ②晶闸管一旦导通，控制极失去作用。若使其关断，必须降低 U_{AK} 或加大回路电阻，把阳极电流减小到维持电流以下。

11.磁珠、磁环

1.磁珠

1 概念

磁珠，英文 Ferrite bead，缩写 **FB**，铁氧体磁珠滤波器。是一种电感型 EMI 静噪滤波器。

磁珠对高频信号具有较高的阻碍作用，用于抑制信号线、电源线上的高频噪声和尖峰干扰，还具有吸收静电脉冲的能力。消除传输线结构（电路）的噪声。吸收噪声并转换为热能。

2 参数

阻抗：标称阻抗 100R@100MHz，在 100MHz 频率下，磁珠的阻抗是 100R。阻抗越大，抑制噪声的效果越好。不同的信号经过磁珠时，表现的阻抗不同。

DCR：直流阻抗。用于电源线时 DCR 会导致电源线上的压降，导致 IC 工作异常。DCR 阻抗越小，封装越大。DCR 一般越小越好，对信号的衰减越小。磁珠的直流电阻要小于电感的直流电阻。

额定电流(Ir)：指磁珠正常工作时允许的最大电流。

直流重叠特性：当磁珠的温度超过 85℃ 时，它的额定电流也会急剧下降，因此在使用磁珠时，务必关注磁珠的温度做降额处。超过额定电流 20% 的直流偏置电流，使用铁氧体磁珠。

3 磁珠损耗

主要为铁芯损耗，铁芯损耗=磁滞损耗+涡流损耗。

4 频率特性

等效为一个电感和一个电阻串联。

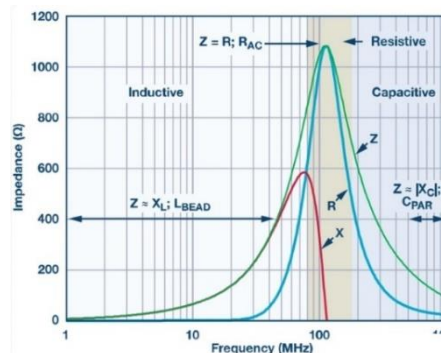
当在低频时，磁珠表现为感性，起反射噪声的作用；当在高频时，磁珠表现为阻性，吸收噪声并转变为热能的作用。

5 应用

隔离模拟和数字电源

6 选型

- ①当用于滤除噪声时，噪声的频带范围要大于转折点的频率，磁珠呈阻性，吸收噪声并转化为热能；
- ②当用于信号滤波时，信号频带的范围要小于转折点的频率，磁珠呈感性，从而减少信号的衰减。



2.磁环

磁环，又称**铁氧体磁环**。常用的抗干扰元件，对于高频噪声有很好的抑制作用，一般使用铁氧体材料（Mn-Zn）制成。一般在低频时阻抗很小，当信号频率升高磁环表现的阻抗急剧升高。

1.选型

阻抗：不同的信号经过磁环时，表现的阻抗不同，选型时，通过示波器测量干扰频率，再选择此干扰频率下，阻抗较高的磁环。

尺寸：磁环通过用于导线，选用的尺寸确保导线可以穿过。

12.电机

1.特点

1.分类

- 1.电机分类：直流电机（有刷和无刷）、交流电机（同步、异步、三相和单相）、步进电机
- 2.电机参数：额定电压、额定电流、额定功率、额定转速、定扭矩等
- 3.电机控制：开环控制、闭环控制、PID 控制、PWM 控制等。
- 4.电机驱动：电机驱动器、电机控制器、电机驱动模块等。

2.有刷与无刷

有刷和无刷就是**有无碳刷**；

有刷电机工作时需要**线圈和换向器旋转，磁钢和碳刷不转**，线圈电流方向的交替变化是随电机转动的换相器和电刷来完成的。**无刷电机电子换向，线圈不动，磁极转动**。通常用霍尔元件感应永磁体位置，进而控制电流的方向，达到换向作用。

3.同步和异步

定子和转子速度是否一致；

同步电机使用电磁场旋转同步技术，永磁体或电磁铁会跟着旋转磁场以相同速度运动，使转子和电磁场的旋转速度保持同步。需要外部的控制器来提供同步信号。

异步电机（感应电机）可以通过改变供电频率来调节转速，也可以通过外部变频器来控制。

4.直流与交流

直流给电机两根线供电，电机就可以旋转，给正电压，电机正转，给相反电压，电机反转；电压越大，电机转得越快，电压越小，转速也变小。**交流分为同步和异步**。

2.直流有刷电机

有刷直流电机（BDC）是一种直流电机，有刷电机的定子上安装有固定的主磁极和电刷，转子上安装有电枢绕组和换向器。

原理：直流电源的电通过电刷和换向器进入电枢绕组，产生电枢电流，电枢电流产生的磁场与主磁场相互作用产生电磁转矩，使电机旋转带动负载。

直流（有刷）电机目前主要使用 **PWM 调速**。

驱动

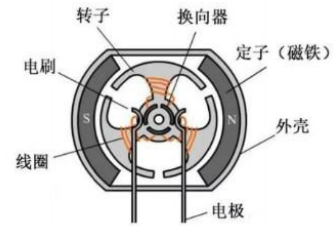
1.只能打开或关闭，不能变速与换向，用继电器，BJT 或 MOS 开关控制通断即可。

2.可以打开或关闭，可以变速，但不能换向，用 PWM 控制电子开关即可(图腾柱)

3.可以打开或关闭，可以变速，也可以换向，用 PWM 控制桥路

优点：①、价钱比较便宜②、方便控制，只需施加直流电压即可使电机转动

缺点：①电刷会随着时间的推移而磨损。②电刷和换向器之间的电弧中会导致电噪声。③部件之间存在摩擦，而这些摩擦会产生热量。寿命短。



3.直流无刷电机

直流无刷电机由**电动机主体**和**驱动器**组成。为了检测电动机转子的极性，在电动机内装有位置传感器。**驱动器**由功率电子器件和集成电路等构成。

直流电经过电力电子线路的**逆变**(直流变交流)，它的驱动电流是不折不扣的交流。

控制器：使用专用的电子控制器来监测和控制电机的转速、电流和方向。

驱动电流

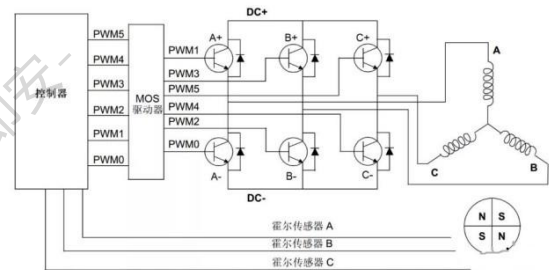
一种是梯形波(方波)，把方波驱动的叫**做无刷直流电机(BLDC)**；

一种是正弦，把正弦波驱动的叫**做永磁同步电机(PMSM)（实际上就是伺服电机）**

BLDC 电机比 PMSM 电机造价便宜一些，驱动控制方法简单一些。

优点①、无电刷、低干扰②、噪音低，运转顺畅③、寿命长，低维护成本

缺点：①、价格贵②、驱动复杂 霍尔传感器模式



4.步进电机

步进电机是一种将**电脉冲信号转变为角位移或线位移**的开环控制电机。通过控制**脉冲个数来控制角位移量**，从而达到**准确定位**的目的；同时可以通过控制**脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度**，从而达到**调速**的目的。

优点：控制简单，低速扭矩大，成本低；

缺点：步进电机存在空载启动频率，所以步进电机可以低速正常运转，但若高于一定速度时就无法启动，并伴有尖锐的啸叫声；同时，步进电机是开环控制，控制精度和速度都没有伺服电机那么高。**开环控制：**通过逐步输入脉冲信号来驱动电机，每个脉冲使电机转动一个固定的步距。

闭环控制：结合位置反馈传感器，实现更精确的位置控制和运动规划。

单极性 4 相 5 线步进电机

优点：

①、精度高，适合定位要求高的场合②、可靠性好，寿命长

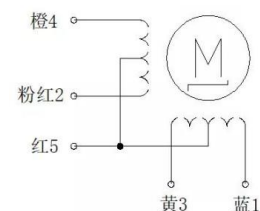
缺点：

①、如果控制不当容易产生共振；②、难以运转到较高的转速。

驱动方式

①、单四拍 A-B-C-D-A-循环往复

特点：步距角*2/减速比，电流最小，扭矩最小



②、双四拍 AB-BC-CD-DA-AB-循环往复 特点：步距角*2/减速比，电流最大，扭矩最大

③、八拍 A-AB-B-BC-C-CD-D-DA-A-循环往复 特点：步距角/减速比，电流居中，扭矩居中

双极性 2 相 4 线步进电机

优点：

①精度高，适合定位要求高的场合 ②、可靠性好，寿命长

缺点：

①如果控制不当容易产生共振②、难以运转到较高的转速。

驱动方式：

1、单四拍 A+ B+ A- B-循环往复

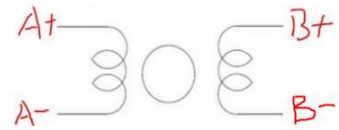
特点：步距角*2/减速比，电流最小，扭矩最小

2、双四拍 A+B+, B+A-, A-B-, B-A+循环往复

特点：步距角*2/减速比，电流最大，扭矩最大

3、八拍 A+, A+B+, B+, B+A-, A-, A-B-, B-, B-A+循环往复

特点：步距角/减速比，电流居中，扭矩居中



5. 伺服电机

能将输入的电压信号(或者脉冲数)转换为电机轴上的机械输出量，拖动被控制元件，从而达到控制目的。一般地，要求转矩能通过控制器输出的电流进行控制；电机的反应要快、体积要小、控制功率要小。伺服电机主要应用在各种运动控制系统中，尤其是随动系统。

伺服电机步距角由编码器决定，所以控制精度非常高。

伺服电机有直流和交流之分。

绝大部分的伺服电机是指交流永磁同步伺服电机或者直流无刷电机。

优点：可使控制速度，位置精度非常准确，效率高，寿命长。

缺点：控制复杂，价格昂贵，需要专业人士才能控制。

6. 舵机

舵机是一种常见的伺服电机，由小型直流电机、控制电路板、电位计和齿轮组构成。

•模拟舵机：无 MCU 微控制器，电路为模拟电路，同样的舵机之间会有性能差异

•数字舵机：有 MCU 控制器，一般内部采用算法优化，性能比模拟舵机好

13.晶振 锁相环

1.晶振

晶振为单片机工作产生时钟频率，不同子系统需要不同频率时，用锁相环提供所需要的时钟频率。

1.晶体与晶振

1.晶振=振荡器=有源晶振=oscillator 电路上一一般简写为 XO

晶体=谐振器=无源晶振=crystal 电路上一一般简写为 XTAL

2.晶体为无源的，一般两个管脚，需要起振电路（如 MCU 外接晶体+起振电容 C1、C2）才起振；

晶振为有源的 4 引脚，里面包含了晶体+起振电路，只需供电便可产生震荡信号。

3.晶体、晶振的区别就是在于有没有时钟电路；当用外部晶体时，MCU 内部提供时钟电路，构成有源晶振；当用外部有源晶振时，直接将时钟输出引脚接到 MCU。

2.外部晶振与内部晶振对比

外：f 精度高，受温度影响小，低功耗。

内：f 精度低，受温度影响大，成本低，在不涉及串口通信和精度要求不高时可以使用。

3.参数

标称频率 (Normal Frequency)：晶振的标准频率，26MHz, 32.768KHz 等。

负载电容 CL：负载电容是指晶振正常工作震荡所需要的电容。

为使晶体能够正常工作，需要在晶体两端外接电容，来匹配达到晶体的负载电容。

负载电容的值由如下公式计算： $CL = C1 * C2 / (C1 + C2) + CS$ ，CL 为晶振的负载电容值，CS 为电路板的寄生电容，一般取 3-5pf。取 $C1 = C2$ ，公式可简化成： $CL = C1 / 2 + CS$ 。

一般情况下，增大负载电容值，会使震荡频率下降；减小负载电容值，会使震荡频率上升。

频率误差（Frequency Tolerance）或频率稳定度（Frequency Stability），相对标称频率的变化量。单位 ppm 来表示，即百万分之一，此值越小表示精度越高。

4.PCB 注意

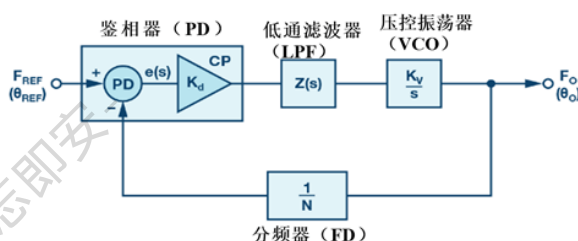
1. 两个匹配电容尽量靠近晶振摆放。
2. 晶振由石英晶体构成，容易受外力撞击或跌落的影响，所以在布局时，最好不要放在 PCB 边缘，尽量靠近芯片摆放。
3. 晶振的走线需要用 GND 保护好，并且远离敏感信号如 RF、CLK 信号以及高速信号。

2.锁相环

PLL(phase-locked loop)，即锁相环。外部的输入信号与内部的振荡信号同步，利用锁相环路就可以实现这个目的。是一种反馈控制电路。

锁相环 PLL 是由一个鉴相器（PD）、低通滤波器（LPF）和压控振荡器（VCO）组成。

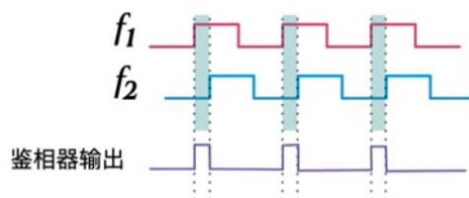
压控振荡器的输出经过采集并分频，和基准信号同时输入鉴相器，鉴相器通过比较上述两个信号的频率差，然后输出一个直流脉冲电压，经过环路滤波器滤除误差信号中的谐波和杂波成分，使 VCO 频率改变，经过很短的时间，VCO 的输出就会稳定在某一期望值。



鉴相器（PD）

检测输出信号和输入信号的相位差。

一个晶振的输入信号，一个就是 VCO 的输出，鉴相器会把两个信号进行比较，如果这两个信号存在相位差异。比如 f_2 滞后 f_1 ，则鉴相器就会在存在差异的这一段进行输出。鉴相器不停的调制输出的电压，这样就会使得两个相位快速保持一致。 $f_r > f_o$ 时，此时的相位比较器的输出 PD 会产生正脉冲信号，使 VCO 的振荡器频率提高。相反地，如果 $f_r < f_o$ 时，会产生负脉冲信号。



低通滤波器（LPF）

由于鉴相器输出信号是矩形波，高低电平之间存在突变，因此这里就需要加一个滤波器，使得信号变得很平滑。滤除掉来自 PLL 电路中鉴相器输出电压 $V_d(t)$ 中的高频成分和噪声分量。

PD 脉波信号经过滤波器(LoopFilter)的积分，便可以得到直流电压 V_R ，可以控制 VCO 电路。

压控振荡器（VCO） Voltage Controlled Oscillator

指输出频率与输入控制电压有对应关系的振荡电路。由于控制电压的变化，VCO 振荡频率会提高。结果使得 $f_r = f_o$ 相位成为一致时，PD 端子会成为高阻抗状态，使 PLL(锁相环)被锁栓(Lock)。

反馈分频器

那么 PLL 是如何实现倍频的呢？其实就是对输出 f_o 作 N 分频，即 f/N ，将分频后的频率送入鉴相器中与参考频率进行比较。当 PLL 进入锁定状态时，输出频率 f_o 就实现了倍频，此时 $f_o = N * f_i$ 。

14.AD/DA

1.ADC 电路基础知识

1.定义

ADC 是将模拟信号转换为数字信号。

ADC 的原理：通过**采样-保持-量化**以及编码电路，将输入的连续波形的模拟信号变换成间断的数字型号。模拟量可以是电压、电流等电信号，也可以是压力、温度、湿度、位移、声音等非电信号。并将电压转换成一个通常为 10-16 位的二进制数。

采样：把随时间连续变化的模拟量转换为时间离散的模拟量。根据奈奎斯特定理， f_s 为采样频率， f_s 与输入信号的最高频率 f_{max} 之间必须满足 $f_s \geq 2f_{max}$ 。

采样率：1M 采样率去采集 1K 信号，一个周期有 1000 个点。

保持：让采样后的数值保存到下一步转换。每次取得的模拟信号转换为数字信号都需经过一定的时间，为后面的量化编码体提供一个稳定值。必须要通过一个保持电路，保持一段时间。

量化：把输入信号幅度连续变化的范围分为有限个不重叠的子区间，每个子区间用对应的一个确定数值表示，从而将连续输入信号变为有限个离散值电平的近似信号。

编码：编码就是将量化过后的电压幅值用对应的二进制码对应进行表示。

2.参数

分辨率 (Resolution)：可以用表示每个模拟信号值的位数（二进制）来表示。

eg：12 位 ADC，显示 0-4095 这些整数，0~3.3V。1V 电压，ADC 返回的数值是 1241。

分辨率越高，就可以将满量程里的电平分出更多份数，得到的结果就越精确。

精度 (Precision) 对于给定模拟输入，实际数字输出与理论预期数字输出之间的接近度（误差值是多少）。通常一个 12 位的 ADC 只能当作 8-9 位的理想 ADC 来用，8-9 位就是 ADC 的采样精度。

转换速率(Conversion Rate)：指完成从模拟信号到数字信号 **AD** 的一次转换所需时间的倒数。

积分型 AD 的转换时间是毫秒级，属低速 AD；逐次比较型 AD 是微秒级，属中速 AD；全并行/串并行型 AD 可达到纳秒级。为了保证转换的正确完成，采样速率 (Sample Rate) 必须小于或等于转换速率。转换速率常用单位是 ksp/s 和Msp/s，表示每秒采样千/百万次 (kilo / Million Samples per Second)。

量化误差 (Quantizing Error)：量化过程引起的误差，指由于 AD 的有限分辨率而引起的误差，其通常是 1 个或半个最小数字量的模拟变化量，表示为 1LSB、1/2LSB。

偏移误差(Offset Error)：输入信号为零时输出信号不为零的值，可外接电位器调至最小。

满刻度误差(Full Scale Error)：满度输出时对应的输入信号与理想输入信号值之差。

线性度(Linearity)：实际转换器的转移函数与理想直线的最大偏移，但不包括上述三种误差。

器件的信噪比 (SNR)：和动态范围多数时候被定义为同一个值，即：动态范围 = SNR = RMS 满量程/RMS 噪声 并且经常使用 dB 作为单位，即动态范围 (dB) = SNR (dB) = $20 \times \log_{10} (\text{RMS 满量程} / \text{RMS 噪声})$

最低有效位(One least significant bit, LSB)：又称最小分辨率，满量程值除以 ADC 的分辨率就是 LSB。4 位的 ADC，数字量最高可以表示 2 的 4 次方也就是 16，满量程 5V，那么最小的分辨率就是 $5/16=0.31V$ 。LSB 越小表明 ADC 的精度越高。

无杂散动态范围 (SFDR)

3.分类

间接 ADC 是先将输入模拟电压转换成时间或频率，然后再把这些中间量转换成数字量。常用的有双积分型 ADC。

直接 ADC 则直接转换成数字量，常用的有并联比较型 ADC 和逐次逼近型 ADC。

并联比较型 ADC：

采用各量级同时并行比较，各位输出码也是同时并行产生，所以转换速度快。并联比较型 ADC 的缺点是成本高、功耗大。

逐次逼近型 ADC (SAR)：

它产生一系列比较电压 V_R ，但它是逐个产生比较电压，逐次与输入电压分别比较，以逐渐逼近的方式进行模数转换。（二分法搜索）特点：精度、速度、价格适中。

双积分型 ADC:

它先对输入采样电压和基准电压进行两次积分，获得与采样电压平均值成正比的时间间隔，同时用计数器对标准时钟脉冲计数。它的优点是抗干扰能力强，稳定性好；主要缺点是转换速度低。

2.DAC 电路基础知识

数模转换器即 D/A 转换器，或简称 DAC，是指将数字信号转变为模拟信号的电子元件。

1.参数

分辨率：分辨率是模拟输出电压可被分离的等级数， n 位 DA 分辨率一般为 $1/2^n$ 。位数越高，分辨率越高。

转换速度：用来描述数字量转换模拟量的时间。用来衡量此指标的参数有，建立时间和转换速率。

精度

2.分类

电压型 DAC 可分为：权电阻网络型、T 型电阻网络型和树形开关网络型等；

电流型 DAC 有权电流型电阻网络和倒 T 型电阻网络等。

电压输出型(如 TLV5618)

虽然电压输出型 DAC 可直接从电阻阵列输出电压，但一般采用内置输出放大器以低阻抗输出。直接输出电压的器件仅用于高阻抗负载，由于无输出放大器部分的延迟，故常作为高速 DAC 使用。

电流输出型(如 THS5661A)

电流输出型 DAC 很少直接利用电流输出，大多外接电流-电压转换电路得到电压输出，后者有两种方法：一是只在输出引脚上接负载电阻而进行电流-电压转换，二是外接运算放大器。

乘算型(如 AD7533)

DAC 中有使用恒定基准电压的。乘算型 DAC 一般不仅可以进行乘法运算，而且可以作为使输入信号数字化地衰减的衰减器及对输入信号进行调制的调制器使用。

3.选型

① 精度

② 速度：应根据输入信号的最高频率来确定，保证转换器的转换速率要高于系统要求的采样频率。

③ 通道：有的单芯片内部含有多个 A/D、D/A 模块，可同时实现多路信号的转换

④ 数字接口方式：接口有并行/串行之分，串行又有 SPI、I2C、SM 等多种不同标准。

一、高频面试知识

1.问题汇总

1.模电

- 1.0 欧电阻作用
- 2.选择电阻时要考虑什么
- 3.压敏电阻原理、作用
4. PTC 热敏电阻作为电源电路保险丝的工作原理
- 5.电容滤波、旁路、去耦、储能、隔直通交
- 6.电容充电与放电曲线
- 7.钽电容、陶瓷电容、铝电解电容优缺点
- 8.为何电源的滤波电路常常是大电容配合小电容滤波
- 9.电容的高频等效模型、频率特性、阻抗表达式
- 10.二极管的伏安特性曲线
- 11.发光二极管压降、红、绿
- 12.TVS 二极管与稳压二极管对比
- 13.三极管的输出 I 特性曲线
- 14.MOS 管输出特性曲线
- 15.MOS 管与 BJT 区别
- 16.磁珠和电感相同点和区别
- 17.电感、磁珠、电容滤波区别
- 18.电感和电容的滤波概念
- 19.LC 滤波和 RC 滤波
- 20.某磁珠的参数为 $100R@100MHz$ ，请解释参数的含义。
- 21.OC/OD 门为什么要上拉
- 22.开漏输出和推挽输出
- 23.常用逻辑电平、TTL 与 COMS 电平可以直接互连吗
- 24.有源滤波器和无源滤波器的区别
- 25.串扰和振铃
- 26.反馈电路的概念，列举他们的应用？
- 27.负反馈对放大电路性能的影响
- 28.在放大电路中，抑制温漂的方法包括下列哪些方法
- 29.虚断、虚短概念
- 30.共射、共集、共基电路特点
- 31.光耦作用
- 32.有源与无源蜂鸣器区别
- 33.锁相环组成和原理
- 34.AD/DA 选型需要考虑什么

2.数电

- 1.什么是竞争与冒险现象，如何消除
- 2.什么是同步逻辑和异步逻辑
- 3.setup time 和 hold time 概念
- 4.亚稳态、怎么解决

5. ROM、RAM、SRAM、DRAM、SDRAM

6.IIR 与 FIR 滤波器区别

3.电路

1、基尔霍夫定理的内容

2.单片机上电后没有运转，首先要检查什么

3.控制单端阻抗为 50 欧姆、75 欧姆的信号有哪些、差分阻抗为 90 欧姆、100 欧姆、120 欧姆的信号有哪些

4.EDA 软件 (如 PROTEL)进行设计 (包括原理图和 PCB 图) 到调试出样机的整个过程

2.模电

1.0 欧电阻作用

小于 50m 欧。作用：1、方便测试电流 2、跳线 3、模拟地，数字地分开 4、占个位置（可换成其它阻值的电阻，也可换成磁珠） 5、做电路保护，充当低成本熔丝 过流能力可达到 20-60A；

2.选择电阻时要考虑什么

主要考虑电阻的封装、功率、精度、阻值和耐压值等。

3.压敏电阻原理

压敏电阻并不是电阻，而是一种具有瞬态电压抑制功能的元件，效果同 TVS。

作用：用于输入端防雷保护，浪涌，具有抑制瞬态过电压保护的功能。并联在电路使用。

原理：正常电压状态下，阻值无穷大，相当于开路。当超过其阈值电压时，其阻值迅速降低，导通大电流，保护后级电路。

应用：热敏电阻应用在小功率场合，多少功率算是小功率：通常 70W 以下差不多。

4.PTC 热敏电阻作为电源电路保险丝的工作原理

当电源输入电压增大或负载过大导致电流异常增大的时候，PTC 热敏电阻因为温度增大而使其等效电阻迅速增大，从而使输出电压下降，减小输出电流。当故障去除，PTC 热敏电阻恢复到常温，其电阻又变的很小，电源电路恢复到正常工作状态。

5.电容滤波、旁路、去耦、储能、隔直通交

1.滤波（滤除杂波、尖峰电压，使电压平滑）

第一种：利用电容的充、放电功能，电压高于电容电压时充电，当电压低于电容电压时电容放电，由于充放电需要时间，电容两端电压不能突变，所以起到滤波作用，使输出电压趋于平滑。

第二种：利用电容通高频特性，当经过电容的噪声频率越高时，容抗越小，将电容对地放置，高频噪声就会经过电容到地。容值越大，容抗越小，越保证输出电压的稳定性，纹波小。

2.旁路 (bypass) (输入信号)

滤除输入信号中的高频成分，电容一般比较小，小电容滤高频。

3.去耦 (Coupling) (信号的输出端的滤波电容)

滤除系统自身产生的干扰，防止耦合到下一级系统。滤除低频噪声，电容一般比较大。

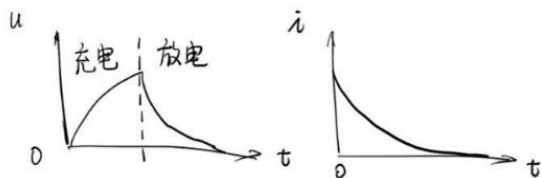
4.隔直通交

当直流电源电流过电容时，电容器会在短时间内迅速充电，当电容器的电压达到直流电源的电压，就会停止充电，此时无法再通过电容器向负载供电。（电容器在直流电路中被视为断路）

5.储能：当电容两端加上电压时，电容会迅速充满电，满电电压=电源电压。电容等效一个小电池的功能。当电源电压降低或消失时，电容会像电池一样，把电放给电路延续保持供电电压和时间。

6.电容充电与放电

在电路设计注意充放电电流。充放电公式： $I = C \cdot (du/dt)$ 。



7.钽电容、陶瓷电容、铝电解电容优缺点

钽电容容量较大，ESR 小，体积小，耐温好（对于铝电解电容）。缺点：价格高、耐压不高、容量越大耐压越低。

陶瓷电容无极性，耐压好，耐温好，ESR 小。缺点：容值小，韧性差，容值大耐压高的贵。

铝电解电容容量大，价格便宜，耐压高，ESR 高。缺点：体积大，耐温差（电解液挥发），阻抗大（发热，容量下降），温度范围窄，高频特性差（ESL 大，谐振频率低，高频容量小）。

8.为何电源的滤波电路常常是大电容配合小电容滤波

由于制作材料的不同，各种电容的等效参数也不同。一般来说，电解电容和钽电容的谐振频率比较低，对低频噪声的滤波效果比较好；贴片电容谐振频率比较高，对高频噪声的滤波效果比较好。对于电源电路，由于整个 PCB 板上的噪声都加到了它的上面，包括了低频噪声和高频噪声。要对电源噪声实现比较好的滤波效果，滤波电路必须在较宽的频率范围内对噪声呈现低阻抗，单独用一种电容是达不到这种效果的，必须采取大的电解电容（或钽电容）并联贴片小电容的方式。

9.电容的高频等效模型、频率特性、阻抗表达式

ESR（等效串联电阻）：（较大的 ESR 会产生较大的损耗功率、对滤波有影响）电容的 ESR 越小越好。

Rleak：取决于电容的泄露特性，绝缘电阻。

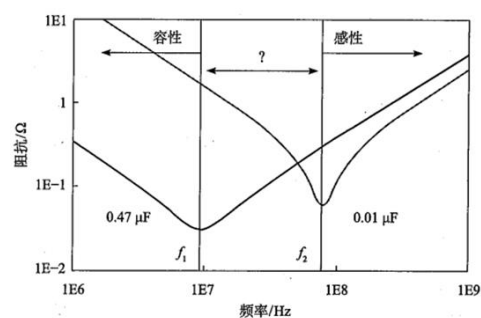
ESL(等效串联电感)：取决于电容的类型和封装。

容抗 $X_c = 1 / (2 \pi f C)$

感抗 $X_L = 2 \pi f L$

$$\text{复阻抗 } Z = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

电容在低频表现电容的阻抗特性，滤波效果渐强；在谐振点上，阻抗最小，呈电阻。电容在高频表现为电感的阻抗特性。电容用于滤波，需要最小阻抗，在谐振频率处滤波效果最好的。



10.二极管的伏安特性曲线

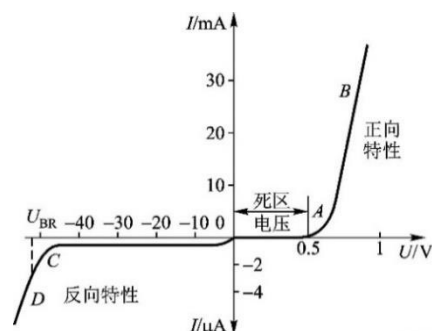
(1) 不加电压时，电流=0；

(2) 正向电压小于 U_{on} 电流=0；大于 U_{on} ， i 随 u 增长。

硅管的 V_{th} 约为 0.7V，锗管的 V_{th} 约为 0.3V

(3) 反向电压小于 $|u_{br}|$ 电流很小（漏电流）大于 $|U_{br}|$ i 急剧增加。**UBR：**反向击穿电压。

11.发光二极管压降、红、绿



贴片 LED 压降

- 红色的压降为 1.82-1.88V，电流 5-8mA
- 绿色的压降为 1.75-1.82V，电流 3-5mA
- 橙色的压降为 1.7-1.8V，电流 3-5mA
- 兰色的压降为 3.1-3.3V，电流 8-10mA
- 白色的压降为 3-3.2V，电流 10-15mA

12.TVS 二极管 与 稳压二极管对比

- 1.TVS 二极管正常工作在**截止区**。齐纳二极管正常工作在**反向击穿区域**，
- 2.TVS 保护瞬间的非常高的异常电压，用于保护电路。
- 稳压管保护电路中出现的小波动电压，使得电压平稳，用于稳压电路。
- 3.TVS 二极管的击穿电流低，齐纳二极管相对大一点。

13.三极管的伏安特性曲线

I_B 不变时， I_C 与 V_{CE} 之间的关系 发射结为 0.6 — 0.7V。

截止区

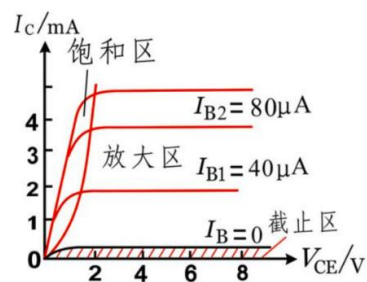
发射结反偏，集电结反偏。 $U_{be} < U_{on}$ 且 $U_{ce} > U_{be}$ 。 $I_b = 0$ ， $I_c = 0$ 。

放大区

发射结正偏，集电结反偏。 $U_{be} > U_{on}$ 且 $U_{ce} > U_{be}$ ，集电极加反向电压导通后， I_b 控制 I_c ， I_c 与 I_b 近似于线性关系 $I_c = \beta I_b$

饱和区

发射结正偏，集电结正向。即 $U_{be} > U_{on}$ 且 $U_{ce} < U_{be}$ 。当三极管的集电极电流 I_C 增大到一定程度时，再增大 I_b ， I_c 也不会增大，超出了放大区，进入了饱和区。此时 I_c 不仅仅与 I_b 有关，而且随 U_{ce} 的增大而增大 $I_c < \beta I_b$ 。



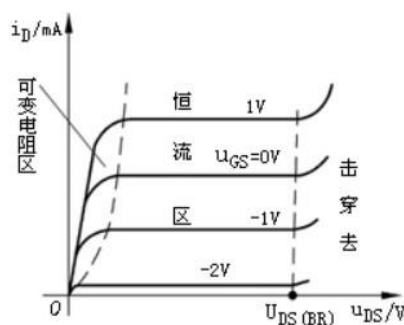
14.MOS 管输出特性曲线

(1) $V_{GS} < V_{GS(th)}$ 时，**夹断区(截止区)**。不能导电，处在截止状态。电流 I_D 为 0，管子不工作。

(2) $V_{GS} > V_{GS(th)}$ ，且 $V_{DS} < V_{GS} - V_{GS(th)}$ ，**可变电阻区(非饱和区)**， I_D 随着 V_{DS} 的增加，导电沟道已产生但没有完全形成，相当就是一个由 V_{GS} 控制的可变电阻。

(3) $V_{GS} \geq V_{GS(th)}$ ，且 $V_{DS} > V_{GS} - V_{GS(th)}$ ，**恒流区(饱和区，放大区)**。当 $V_{GS} > V_{GS(th)}$ ， U_{DS} 为常量， V_{GS} 越大， I_D 越大。 V_{GS} 越高， $R_{DS(ON)}$ 值就越低。温度越高， $R_{DS(ON)}$ 值也就越高。

(4) **击穿区**： V_{DS} 过大，mos 损坏



15.MOS 管与 BJT 区别

- 1.工作性质：三极管是通过电流控制电流，mos 管是通过电压控制电流。
- 2.导电极性：MOS 管单极性（多子导电）、晶体管双极性（多子与少子导电）。
- 3.温度：场效应管比晶体管温度稳定性好（少子受温度影响大）。
- 4.输入阻抗：场效应管输入电阻很大，低噪声。三极管输入阻抗小，损耗大。
- 5.电极互换：场效应管可以 D 到 S，S 到 D。栅极也可正可负。
- 6.驱动：MOS 管作为电源开关，大电流开关电路、高频高速电路。三极管用来数字电路开关控制。

7.电流大小： MOS 管应用普遍，可以在很小电流和很低电压下工作。

8.频率特性： 场效应管的频率特性不如三极管。

16.磁珠和电感区别

磁珠，能量转换（消耗）器件，消耗高频能量，抑制高频噪声，降低 EMI 辐射值。某一些高频电路如 RF、振荡电路、DDR SDRAM 等都需要在电源输入部分加磁珠。

电感，储能元件，用于电源滤波回路，主要解决传导干扰问题。高频电感主要用于中低频滤波电路，功率电感主要用 DC-DC 电路中。

17.电感、磁珠、电容滤波区别

电感的滤波是反射式滤波。电感滤波将电能转换为磁能，磁能通过两种方式影响电路，一种是重新转换成电能，表现为噪声，另一种方式为向外部辐射，表现为 EMI。

磁珠是将电能转换为热能，不会对电路产生二次干扰。

电容滤波属电压滤波，是直接储存脉动电压来平滑输出电压：输出电压高，接近交流电压峰值：适用于小电流，电流越小滤波效果越好。电容的频率和阻抗成反比，电容通高频。

18.电感和电容的滤波概念

电感通低频滤高频，电容通高频滤低频。

电容滤波属电压滤波，是直接储存脉动电压来平滑输出电压：输出电压高，接近交流电压峰值：适用于小电流，电流越小滤波效果越好。

电感滤波属电流滤波，是靠通过电流产生电磁感应来平滑输出电流，输出电压低，低于交流电压有效值：适用于大电流，电流越大滤波效果越好。

19.LC 滤波和 RC 滤波

RC 滤波器属于低通滤波器，运放输入端、开关电源的 SW 处均有。由于电阻 R 消耗能量，**RC 滤波一般只用于信号滤波**，不用于电源滤波。电阻取值一般 10 欧，电容取值一般几百 pF 内。

LC 滤波器属于低通滤波器，电源的 BUCK,BOOST 拓扑、电机类设备的电源部分等均有。由于 LC 不消耗能量，**LC 滤波一般用于电源滤波，也可以用于信号滤波。**

20.某磁珠的参数为 100R@100MHz，请解释参数的含义。

在 100MHz 频率下的阻抗值是 100 欧姆。

21.OC/OD 门为什么要上拉

OC/OD 门电路不具备输出高电平的能力，是需要外接上拉电阻的。1K ~ 10K 都是没问题的。上拉电阻过大，会影响信号切换的速度，上拉电阻过小，回路电流越大，会加功耗，甚至烧坏 OC/OD 门。

22.开漏输出、推挽输出

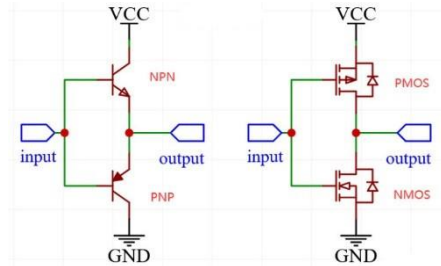
开漏输出，其实就是 OD 门。对于开漏输出来说，输出部分的 PMOS 不工作，只有 NMOS 工作。I2C 进行设备通讯，IO 口模式就需要设置为开漏输出，通过外接上拉电阻进行通信。

推挽输出是一种使用一对选择性地从相连负载灌电流或者拉电流的器件的电路。推挽电路使用两个参数相同的三极管或 MOSFET，以推挽方式存在于电路中。电路工作时，两只对称的开关管每次只有一个导通，所以导通损耗小、效率高。

当 input 输出高电平时，上面的 NPN 导通，下面的 PNP 截止，output 输出高电平；

当 input 输出低电平时，上面的 NPN 截止，下面的 PNP 导通，output 输出低电平；

当 input 输出高电平时，上面的 PMOS 截止，下面的 NMOS 导通，output 输出低电平；
 当 input 输出低电平时，上面的 PMOS 导通，下面的 NMOS 截止，output 输出高电平；
 MOS 管和三极管的高低电平是相反的。



23.常用逻辑电平、TTL 与 COMS 电平可以直接互连吗

答：常用的电平标准，低速的有 RS232、RS485、RS422、TTL、CMOS、LVTTTL、LVCMOS、ECL、ECL、LVPECL 等，高速的有 LVDS、GTL、PGTL、CML、HSTL、SSTL 等。TTL 和 CMOS 不可以直接互连，由于 TTL 是在 0.3-3.6V 之间，而 CMOS 则是有在 12V 的有在 5V 的。CMOS 输出接到 TTL 是可以直接互连。TTL 接到 CMOS 需要在输出端口加一上拉电阻接到 5V 或者 12V

24.有源滤波器和无源滤波器的区别

无源滤波器：这种电路主要有无源元件 R、L 和 C 组成

有源滤波器：集成运放和 R、C 组成，具有不用电感、体积小、重量轻等优点。

集成运放的开环电压增益和输入阻抗均很高，输出电阻小，构成有源滤波电路后还具有一定的电压放大和缓冲作用。但集成运放带宽有限，所以目前的有源滤波电路的工作频率难以做得很高。

25.串扰和振铃

串扰：串扰是指一个信号被其它信号干扰，作用原理是电磁场耦合。信号线之间的互感和互容会引起线上的噪声。容性耦合引发耦合电流，而感性耦合引发耦合电压。

振铃：是因为信号线本身阻抗不匹配导致信号发生反射和叠加，从而使信号出现了振荡波形。

26.反馈电路的概念，列举他们的应用

反馈是将放大器输出信号(电压或电流)的一部分或全部，回收放到放大器输入端与输入信号进行比较(相加或相减)，并用比较所得的有效输入信号去控制输出。

作用：负反馈可以用来稳定输出信号或者增益，也可以扩展通频带，特别适合于自动控制系统。正反馈可以形成振荡，适合振荡电路和波形发生电路。

电压负反馈的特点：电路的输出电压趋向于维持恒定。

电流负反馈的特点：电路的输出电流趋向于维持恒定。

27.负反馈对放大电路性能的影响

- ①稳定放大倍数（以牺牲放大倍数换来的）
- ②对输入电阻的影响：串联负反馈增大输入电阻；并联负反馈减小输入电阻
电压负反馈减小输出电阻；电流负反馈增大输出电阻
- ③展宽频带
- ④减小非线性失真

28.在放大电路中，抑制温漂的方法包括下列哪些方法

输入电压为零而输出电压的变化不为零的现象称为零点漂移现象，由于由温度变化所引起的半导体器件参数的变化是产生零点漂移现象的主要原因，因此也称零点漂移为温度漂移，简称温漂。

抑制温漂的方法如下：

- (1)在电路中引入直流负反馈

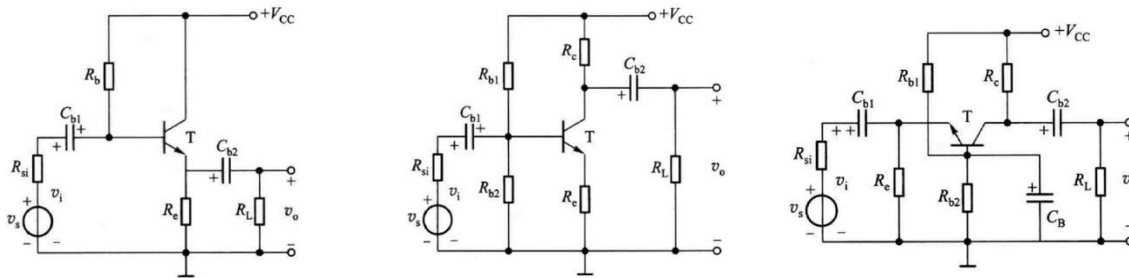
- (2)采用温度补偿的方法，利用热敏元件来抵消放大管的变化
 (3)采用特性相同的管子，使他们的温漂相互抵消，构成“差分放大电路”

29.虚断、虚短概念

虚短： V_{in+} 基本等于 V_{in-} 的。分析的时候就当成短路了一样来分析，但不是真正的短路。

虚断：虚断，其实也就指的是运放的输入端没有电流流入和流出。把两个输入端想象成断开的，称为虚断。运放的输入阻抗非常非常高，电流可以忽略。

30.共射、共集、共基电路特点



共射极放大电路：信号由基极输入，集电极输出。具有放大电流和电压的作用。输入电阻大小居中，输出电阻较大，频带较窄，适用于一般放大。

共集电极放大电路：信号由基极输入，发射极输出，只有电流放大作用，没有电压放大输入电阻高，输出电阻低，具有电压跟随的特点，常用于多级放大电路的输入级和输出级。

共基极电路：信号由发射极输入，集电极输出，只有电压放大作用，输入电阻小，输出电阻低和电压放大倍数与共射电路相当，高频特性好，适用于宽频带放大电路。

31.光耦作用

- 1.输入输出间互相隔离，主要用于通信和控制时传输信号的隔离。
- 2.光耦在传输信号的能有效地抑制尖脉冲和各种杂波干扰。
- 3.光耦的响应速度极快,其响应延迟时间在 μs 级,更快的有 ns 级。
- 4.光耦起到很好的安全保护作用,即使当外部设备出现故障,或者输入信号线短接时,也不会影另一设备，同时光的输入回路和输出回路之间可以承受几千伏的高压。

32.有源与无源蜂鸣器区别

这里的源不是指电源，而是指**震荡源**。有源蜂鸣器内部带震荡源，所以只要一通电就会叫；而无源内部不带震荡源，所以如果用直流信号无法令其鸣叫。必须用 2K-5K 的方波去驱动它。

无源蜂鸣器：便宜、声音频率可控、PWM 波驱动。有线圈，需要续流二极管。

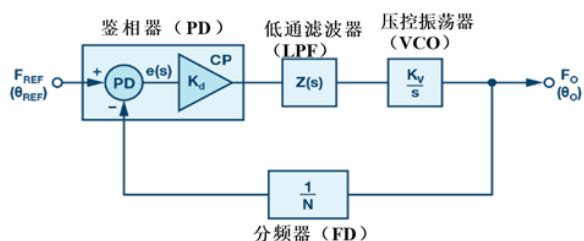
有源蜂鸣器：驱动简单，程序控制方便。有源蜂鸣器分正负极，不能接反。

33.锁相环组成和原理

PLL(phase-locked loop)，即锁相环。外部的输入信号与内部的振荡信号同步，利用锁相环路就可以实现这个目的。是一种反馈控制电路。

锁相环 PLL 是由一个鉴相器 (PD)、低通滤波器 (LPF) 和压控振荡器 (VCO) 组成。

压控振荡器的输出经过采集并分频，和基准信号同时输入鉴相器，鉴相器通过比较上述两个信号的频率差，然后输出一个直流脉冲电压，经过环



路滤波器滤除误差信号中的谐波和杂波成分，使 VCO 频率改变，经过很短的时间，VCO 的输出就会稳定在某一期望值。

34.AD/DA 选型需要考虑什么

AD 选型：精度和速度，有几路通道，什么输出的比如 SPI 或者并行的，差分还是单端输入的，输入范围是多少。

DA 选型：主要是精度和输出，比如是电压输出还是电流输出等等。

- ① 精度：与系统中所测量控制的信号范围有关，但估算时还要考虑到其他因素，转换器位数应该比总精度要求的最低分辨率高一位。常见的 A/D、D/A 器件有 8 位, 10 位, 12 位, 14 位, 16 位等。
- ② 速度：应根据输入信号的最高频率来确定，保证转换器的转换速率要高于系统要求的采样频率。
- ③ 通道：有的单芯片内部含有多个 A/D、D/A 模块，可同时实现多路信号的转换；常见的多路 A/D 器件只有一个公共的 A/D 模块，由一个多路转换开关实现分时转换。
- ④ 数字接口方式：接口有并行/串行之分，串行又有 SPI、I2C、SM 等多种不同标准。数值编码通常是二进制，也有 BCD（二~十进制）、双极性的补码、偏移码等。
- ⑤ 模拟信号类型：通常 AD 器件的模拟输入信号都是电压信号，而 D/A 器件输出的模拟信号有电压和电流两种。根据信号是否过零，还分成单极性（Unipolar）和双极性（Bipolar）。

3.数电

1.什么是竞争与冒险现象、如何消除

在组合逻辑中，由于输入信号通路中经过了不同的延时，导致到达该门的时间不一致叫竞争。产生毛刺叫冒险。

解决方法：一是接入滤波电容，二是引入选通脉冲，三是增加冗余项（只能消除逻辑冒险而不能消除功能冒险）。

2.什么是同步逻辑和异步逻辑

同步电路利用时钟脉冲使其子系统同步运作，而异步电路不使用时钟脉冲做同步。

异步电路主要是组合逻辑电路，其逻辑输出与任何时钟信号都没有关系，译码输出产生的毛刺通常是可以监控的。

同步电路是由时序电路(寄存器和各种触发器)和组合逻辑电路构成的电路，其所有操作都是在严格的时钟控制下完成的。这些时序电路共享同一个时钟 CLK，而所有的状态变化都是在时钟的上升沿(或下降沿)完成的。

3.setup time 和 hold time 概念

建立时间：触发器在时钟上升沿到来之前，其数据输入端的数据必须保持不变的最小时间。

保持时间：触发器在时钟上升沿到来之后，其数据输入端的数据必须保持不变的最小时间。

4.亚稳态、怎么解决

原因：违反时序约束，输出状态介于 0 与 1 两个有效状态之间。

危害：毛刺、振荡、逻辑混乱、复位失败。

发生场合：跨时钟域信号传输；复位电路；异步信号采集。（异步系统）

消除方法：采用同步器；采用响应更快的触发器；降低时钟频率。

5.ROM、RAM、SRAM、DRAM、SDRAM

类型	作用	特点	发展
RAM 随机存取存储器	是与 CPU 直接交换数据的内部存储器，也叫主存（内存）。它可以随时读写，而且速度很快，通常作为操作系统或其他正在运行中的程序的临时数据存储空间。	电源关闭时 RAM 不能保留数据	SDRAM、DRAM、DDR
ROM：只读存储器	ROM 所存数据，一般是装入整机前事先写好的，整机工作过程中只能读出，而不像随机存储器那样能快速地、方便地加以改写。	ROM 所存数据稳定，断电后数据也不会改变。	flash、HDD、SSD

RAM，可分为 SRAM（静态随机存储器）和 DRAM（动态随机存储器）

类型	作用	特点
SRAM 静态随机存储器	它是一种具有静止存取功能的内存， 不需要刷新电路 即能保存它内部存储的数据	优点是速度快，不必配合内存刷新电路，提高整体的工作效率。缺点是集成度低，功耗较大，相同容量体积较大，而且价格较高，少量用于关键性系统提高效率。
DRAM 动态随机存储器	DRAM 只能将数据保持很短的时间。为了保持数据，DRAM 使用电容存储，所以必须隔一段时间刷新（refresh）一次	必须刷新 ，后面衍生出 DDR, DDR2, DDR3, DDR4

SDRAM 即同步动态随机存取存储器。同步是指其时钟频率与对应控制器（CPU/FPGA）的系统时钟频率相同，内部的命令的发送与数据的传输都以它为基础。动态是指存储阵列需要不断的刷新来保证数据不丢失；随机是指数据随机指定地址进行数据读写。

6.IIR 与 FIR 滤波器区别

FIR 滤波器：有限单位冲激响应滤波器，没有反馈回路，稳定性更强，输出取决于当前输入数据和历史输入数据。实时滤波，不需要等待前一个信号的滤波输出。

IIR 滤波器：无限脉冲响应滤波器，有反馈回路，稳定性弱一点，取决于当前输入数据、历史输入数据、历史输出数据，存在一定时间延迟，没有 FIR 快，需要等待上一个信号的滤波输出。

4.电路

1.基尔霍夫定理的内容

基尔霍夫定律包括电流定律和电压定律

电流定律：在集总电路中，任何时刻，对任一节点，所有流出节点的支路电流的代数和恒等于零。

电压定律：在集总电路中，任何时刻，沿任一回路，所有支路电压的代数和恒等于零。

2.单片机上电后没有运转，首先要检查什么

答：①检查电源是否正常，若装有复位芯片，也需查看复位芯片是否工作正常；②检查硬件复位电路是否正常；③查看外部晶振是否启振，一般用示波器 X10 挡位，应选取较高带宽；④查看 BOOT 位设置启动方式是否正确。

3.控制单端阻抗为 50 欧姆、75 欧姆的信号有哪些、差分阻抗为 90 欧姆、100 欧姆、120 欧姆的信号有哪些

一般的高频信号线均为 50 欧姆~60 欧姆。75 欧姆主要是视频信号线。USB 信号线差分阻抗为 90 欧姆，以太网差分信号 线差分阻抗为 100 欧姆。RS422、RS485、CAN 差分信号的差分阻抗为 120 欧姆。

4.EDA 软件 (如 PROTEL)进行设计 (包括原理图和 PCB 图) 到调试出样机的整个过程

(1)原理图设计 (2)PCB 设计 (3)投板 (4)元器件焊接 (5)模块化调试 (6)整机调试 。

(1)原理图设计

注意适当加入旁路电容与去耦电容；

注意适当加入测试点和 0 欧电阻以方便调试时测试用；

注意适当加入 0 欧电阻、电感和磁珠（专用于抑制 信号线、电源线上的高频噪声和尖峰干扰）以实现抗干扰和阻抗匹配；

(2) PCB 设计阶段 自己设计的元器件封装要特别注意以防止板打出来后元器件无法焊接；FM 部分走线要尽量短而粗，电源和地线也 要尽可能粗；旁路电容、晶振要尽量靠近芯片对应管脚；注意美观与使用方便；

(3) 投板 说明自己需要的工艺以及对制板的要求；

(4) 元器件焊接 防止出现虚焊、漏焊、搭焊等；

(5) 模块化调试 先调试电源模块，然后调试控制模块，然后再调试其它模块；上电时动作要迅速，发现不会出现短路时在彻底接通 电源；调试一个模块时适当隔离其它模块；各模块的技术指标一定要大于客户的要求；

(6) 整机调试 由于整机调试时仍然会出现很多问题，而且这些问题往往更难解决，如提高灵敏度等