习题 1

1.1 （a）先将VD_2断开，则VD_1因承受正向电压导通，此时，可计算出VD_2阳极与阴极之间的开路电压为：$-15V-(-0.6)V=-14.4V$。所以VD_2处于截止状态。

同理，将VD_1断开，则VD_2因承受反向电压而截止，此时，可计算出VD_1阳极与阴极之间的开路电压为$12V$。所以VD_1处于导通状态。

综上所述，VD_1处于导通状态，VD_2处于截止状态，因而$U_{01}=-0.6V$。

（b）先将VD_1断开，则VD_2因承受正向电压导通，此时，可计算出VD_1阳极与阴极之间的开路电压为：$0.6V-6V=-5.4V$。所以VD_1处于截止状态。

同理，将VD_2断开，则VD_1因承受正向电压导通，此时，可计算出VD_2阳极与阴极之间的开路电压为：$6V+0.6V=6.6V$。所以VD_2处于导通状态。

综上所述，VD_1处于截止状态，VD_2处于导通状态，因而$U_{02}=-5.4V$。

（c）将VD断开，此时，可计算出VD阳极与阴极之间的开路电压为：$-5V-(-4)V=-1V$。所以VD处于截止状态，因而$U_{03}=-4V$。

（d）先将VD_1断开，则VD_2因承受正向电压导通，此时，可计算出VD_1阳极与阴极之间的开路电压为：$-6V-(-3.6)V=-2.4V$。所以VD_1处于截止状态。

同理，将VD_2断开，则VD_1因承受正向电压导通，此时，可计算出VD_2阳极与阴极之间的开路电压为：$-3V-(-6.6)V=3.6V$。所以VD_2处于导通状态。

综上所述，VD_1处于截止状态，VD_2处于导通状态，因而$U_{04}=-3.6V$。

1.2 （a）当$u_i>E$时，二极管VD承受正向电压导通，$u_{01}=E$。

当$u_i\le E$时，二极管VD承受反向电压截止，$u_{01}=u_i$。

（b）当$u_i<E$时，二极管VD承受正向电压导通，$u_{02}=E$。

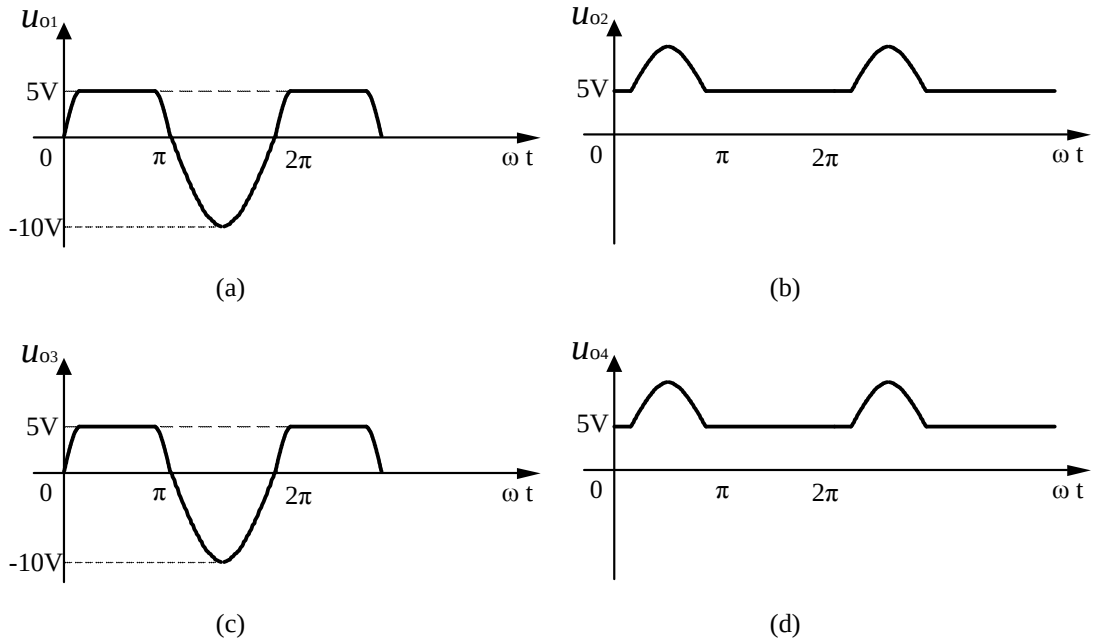
当$u_i\ge E$时，二极管VD承受反向电压截止，$u_{02}=u_i$。

（c）当$u_i<E$时，二极管VD承受正向电压导通，$u_{03}=u_i$。

当$u_i \geq E$时，二极管VD承受反向电压截止，$u_{03} = E$。

（d）当$u_i > E$时，二极管VD承受正向电压导通，$u_{04} = u_i$。

当$u_i \leq E$时，二极管VD承受反向电压截止，$u_{04} = E$。

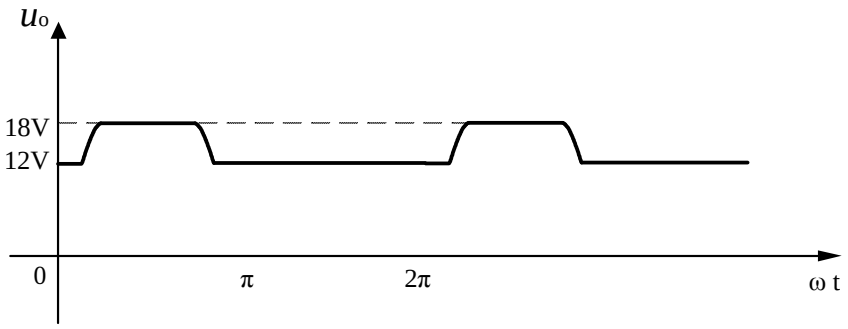


1.3 分析电路可知：

当$u_i \leq 12V$时，VD_1截止，VD_2导通，此时，$u_o = 12V$；

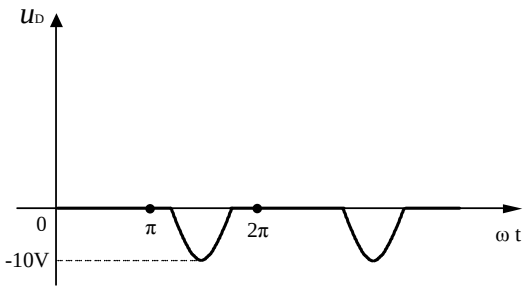
当$u_i \geq 18V$时，VD_1导通，VD_2截止，此时，$u_o = 18V$；

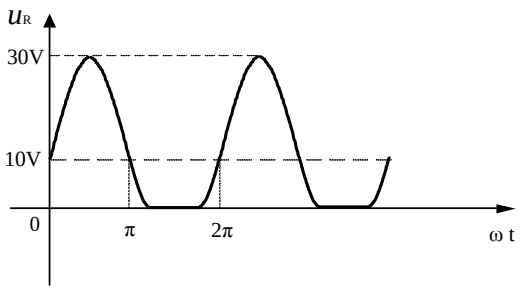
当$12V < u_i < 18V$时，VD_1、VD_2均导通，此时，$u_o = u_i$。



1.4 当$u_i > -E$时，VD承受正向电压导通，此时，$u_D = 0$，$u_R = u_i + E$；

当$u_i < -E$时，VD承受反向电压截止，此时，$u_D = u_i + E$，$u_R = 0$。





1.5 （1）$U_A=10V$，$U_B=0$，VD_A首先承受正向电压导通，导致VD_B承受反向电压截止。

$$U_F=\frac{1}{2}U_A=\frac{1}{2}\times 10V=5V$$

$$I_{VD_A}=I_R=\frac{U_A}{2k\Omega}=\frac{10V}{2k\Omega}=5mA$$

$$I_{VD_B}=0$$

（2）$U_A=10V$，$U_B=8V$，VD_A首先承受正向电压导通，此时，输出端F的电位

$$U_F=\frac{1}{2}U_A=\frac{1}{2}\times 10V=5V$$

因而，VD_B承受正向电压导通。重新计算输出端F的电位

$$U_F=6V$$

$$I_{VD_A}=\frac{U_A-U_F}{1k\Omega}=\frac{10V-6V}{1k\Omega}=4mA$$

$$I_{VD_B}=\frac{U_B-U_F}{1k\Omega}=\frac{8V-6V}{1k\Omega}=2mA$$

$$I_R=I_{VD_A}+I_{VD_B}=6mA$$

（3）$U_A=10V$，$U_B=10V$，分析电路可知，此时VD_A、VD_B同时导通。

$$U_F=\frac{20}{3}V$$

$$I_{VD_A}=\frac{U_A-U_F}{1k\Omega}=3.33mA$$

$$I_{VD_B}=\frac{U_B-U_F}{1k\Omega}=3.33mA$$

$$I_R=I_{VD_A}+I_{VD_B}=6.66mA$$

1.6 由稳压管的工作原理，对各电路分析可知：

（a）当$u_i<0$时，VD_{Z1}、VD_{Z2}均正向导通，此时，$u_{o1}=0$；

当$0\le u_i\le 4V$时，VD_{Z1}、VD_{Z2}均因其两端电压小于各自的稳压值，因而不能正常工作于

稳压区，此时通过稳压管的电流几乎为零，$u_{o1}=u_i$；

当$u_i>4V$时，VD_{Z2}正常工作于稳压区，将u_{o1}稳定在$4V$，即$u_{o1}=4V$。此时，VD_{Z1}因两端电压小于稳压值，不能正常工作于其稳压区。

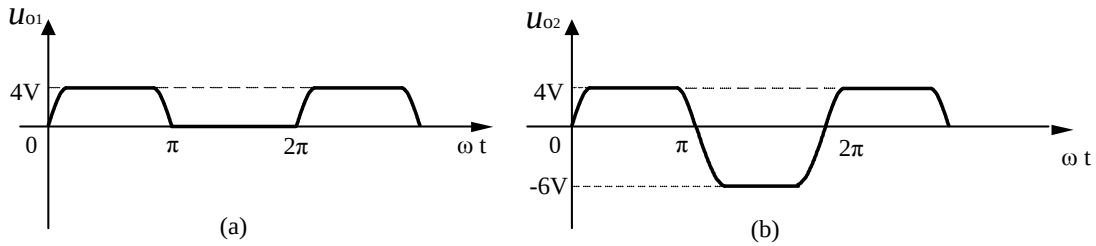
（b）当$u_i<-6V$时，VD_{Z2}正向导通，VD_{Z1}正常工作于稳压区，将其两端电压稳定在$6V$，此时，$u_{o2}=-6V$；

当$-6V\le u_i\le 0$时，VD_{Z2}正向导通，但此时VD_{Z1}因其两端电压小于稳压值，因而不能正常工作于稳压区，此时通过稳压管VD_{Z1}的电流几乎为零，$u_{o2}=u_i$；

当$0<u_i\le 4V$时，VD_{Z1}正向导通，同理，此时VD_{Z2}因其两端电压小于稳压值，因而不能正常工作于稳压区，此时通过稳压管VD_{Z2}的电流几乎为零，$u_{o2}=u_i$；

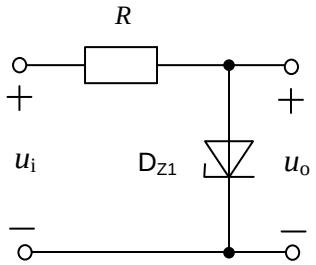
综上所述，当$-6V\le u_i\le 4V$时，$u_{o2}=u_i$。

当$u_i>4V$时，VD_{Z1}正向导通，VD_{Z2}工作在稳压区，将VD_{Z2}两端电压稳定在$4V$，此时，$u_{o2}=4V$。

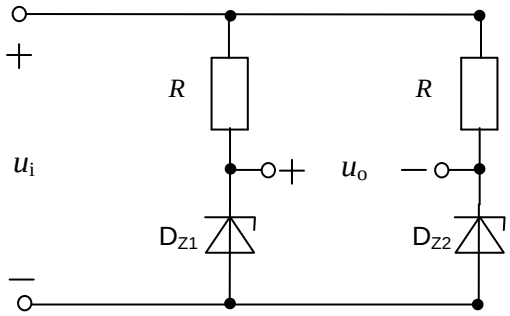


1.7 稳压管在正常工作时，必须串联一个适当的限流电阻。假定两个稳压管分别为D_{Z1}、D_{Z2}，各自的稳压值分别对应$5.5V$、$8.5V$。

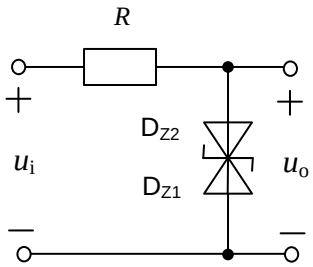
（1）要得到$0.5V$稳定电压，可利用稳压管的正向压降，如下图所示。



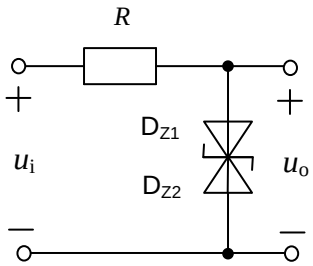
（2）要得到$3V$稳定电压，可利用两个稳压管的稳压值之差，如下图所示。



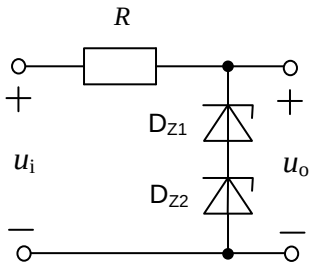
（3）要得到$6V$ 稳定电压，可利用稳压管D_{Z1}的稳压值与D_{Z2}的正向压降之和，如下图所示。



（4）要得到$9V$ 稳定电压，可利用稳压管D_{Z2}的稳压值与D_{Z1}的正向压降之和，如下图所示。



（5）要得到$14V$ 稳定电压，可利用稳压管D_{Z1}的稳压值与D_{Z2}的稳压值之和，如下图所示。



1.8 分析电路可知，稳压管两端的开路电压为：

$$U_{z0}=\frac{R_L}{R_L+R}U_I$$

（1） 当$R_L=1k\Omega$时，将已知数据代入上式可得

$$U_{z0}=\frac{1k\Omega}{1k\Omega+510\Omega}\times 20V=13.25V>U_z=9V$$

由此可知，稳压管正常工作在稳压区。

此时，$I_R=\frac{U_I-U_z}{R}=\frac{20V-9V}{510\Omega}=21.6mA$

$$I_L=\frac{U_z}{R_L}=\frac{9V}{1k\Omega}=9mA$$

$$I_z=I_R-I_L=21.6mA-9mA=12.6mA$$

（2）稳压管的功耗$P_z=U_zI_z=U_z\left(\frac{U_I-U_z}{R}-\frac{U_z}{R_L}\right)$，上式中，$U_z$不变，当$U_I$越大，$R_L$越大，$P_z$越大。所以，当$U_I=(1+10\%)\times 20V=22V$、$R_L$=∞时，稳压管的功耗$P_z$最大，且$P_z$=229.4$mW$。可以看出，$P_z<P_{z\max}=250mW$，故稳压管仍处于正常工作状态。

（3）如果U_I保持不变，要使得稳压管正常工作，最小稳定电流 $I_{Z\min}=5mA$。此时，$I_L=I_R-I_{Z\min}=\frac{U_I-U_Z}{R}-I_{Z\min}=\frac{20V-9V}{510\Omega}-5mA=16.6mA$，即当$I_L$高于$16.6mA$时电路将失去稳压能力。

（4）分析过程同上，如果R_L保持不变，要使得稳压管正常工作，最小稳定电流 $I_{Z\min}=5mA$。此时，应满足$I_Z\geq I_{Z\min}$，又$I_Z=I_R-I_L=\frac{U_I-U_Z}{R}-\frac{U_Z}{R_L}$，则有

$I_Z=\frac{U_I-9V}{510\Omega}-\frac{9V}{1k\Omega}\geq 5mA=I_{Z\min}$，求得$U_Z\geq 16.14V$。即当$I_L$高于$16.6mA$时电路将失去稳压能力。

1.9 由已知条件，各三极管均工作于放大区，此时，发射结正向偏置，集电结反向偏置。对于 NPN 型硅管，$U_{BE}=0.7V$、$U_{BC}<0$；对于 NPN 型锗管，$U_{BE}=0.2V$、$U_{BC}<0$；对于 PNP 型硅管，$U_{BE}=-0.7V$、$U_{BC}>0$；对于 PNP 型锗管，$U_{BE}=-0.2V$、$U_{BC}>0$。另外，对于 NPN 型三极管，各电极对参考点的电位为正值，相反，对于 PNP 型三极管，各电极对参考点的电位为负值。

(a) PNP 锗管，1 为集电极，2 为发射极，3 为基极；

(b) NPN 硅管，1 为基极，2 为发射极，3 为集电极；

(c) PNP 硅管，1 为发射极，2 为集电极，3 为基极；

(d) NPN 锗管，1 为集电极，2 为发射极，3 为基极

1.10 判断三极管的工作状态，首先需明确三点：

当发射结正向偏置，集电结反向偏置，三极管工作于放大区；
当发射结反向偏置，集电结反向偏置，三极管工作于截止区；
当发射结正向偏置，集电结正向偏置，三极管工作于饱和区；

(a) $U_{BE}=0.7V-0=0.7V$、$U_{BC}=0.7V-5V=-4.3V$、$U_{CE}=5V-0=5V$，此时$U_{CE}>U_{BE}$，发射结正向偏置，集电结反向偏置，说明该三极管处于放大区。

(b) $U_{BE}=2V-12V=-10V$，此时$U_{BE}<0.7V$，发射结反向偏置，说明该三极管处于截止区。

(c) $U_{BE}=-5.3V-(-6)=0.7V$、$U_{BC}=-5.3V-0=-5.3V$、$U_{CE}=0-(-6)V=6V$，此时$U_{CE}>U_{BE}$，发射结正向偏置，集电结反向偏置，说明该三极管处于放大区。

(d) $U_{BE}=10.7V-10V=0.7V$、$U_{BC}=10.7V-10.3V=0.4V$、$U_{CE}=10.3V-10V=0.3V$，此时$U_{CE}<U_{BE}$，发射结正向偏置，集电结正向偏置，说明该三极管处于饱和区。

(e) $U_{BE}=0.3V-0=0.3V$，此时$U_{BE}>-0.3V$，发射结反向偏置，说明该三极管处于截止区。

(f) $U_{BE}=4.7V-5V=-0.3V$、$U_{BC}=4.7V-4.7V=0V$、$U_{CE}=4.7V-5V=-0.3V$，此时$U_{CE}=U_{BE}$，发射结正向偏置，集电结偏置电压为零，说明该三极管处于临界饱和状态。

(g) $U_{BE}=-1.3V-(-1)V=-0.3V$、$U_{BC}=-1.3V-(-10)V=8.7V$、$U_{CE}=-10V-(-1)V=-9V$，此时$|U_{CE}|>|U_{BE}|$，发射结正向偏置，集电结反向偏置，说明该三极管处于放大区。

(h) $U_{BE}=11.7V-12V=-0.3V$、$U_{BC}=11.7V-8V=3.7V$、$U_{CE}=8V-12V=-4V$，此时$|U_{CE}|>|U_{BE}|$，发射结正向偏置，集电结反向偏置，说明该三极管处于放大区。

错误!文档中没有指定样式的文字。.1 (a)分析电路可知：$U_{BE}<0$，发射结反向偏置，该三极管处于截止区。$I_C\approx 0$、$U_{CE}=10V$。

(b)分析电路可知：$U_{BE}>0$、$U_{BC}<0$，发射结正向偏置，集电结反向偏置，说明该三极

管处于放大区。

基极电流 $I_B=\dfrac{E-U_{BE}}{R_B}=\dfrac{2V-0.7V}{20k\Omega}=0.065mA$，

集电极电流 $I_C\approx\beta I_B=50\times0.065mA=3.25mA$，

$U_{CE}=10V-I_C\cdot R_C=10V-3.25mA\times2k\Omega=3.5V$。

(c)分析电路可知：$U_{BE}<0$，说明该三极管可以工作于放大区或饱和区，假设三极管处于放大区。

则基极电流 $I_B=\dfrac{E-U_{BE}}{R_B}=\dfrac{-10V-(-0.7)V}{20k\Omega}=-0.465mA$，

集电极电流 $I_C\approx\beta I_B=50\times(-0.465)mA=-23.25mA$，

$U_{CE}=-10V-I_C\cdot R_C=-10V-(-23.25)mA\times2k\Omega=36.5V>10V$（不符合题意）。

上述结论说明，三极管处于饱和区。饱和时的管压降U_{CE}记为U_{CES}，对于硅管，U_{CES}典型值为$-0.3V$。则有：$I_C=\dfrac{-10V-U_{CES}}{R_C}=\dfrac{-10V-(-0.3)V}{2k\Omega}=-4.85mA$，

$U_{CE}=U_{CES}=-0.3V$。

(d)分析电路可知：$U_{BE}<0$、$U_{BC}>0$，发射结正向偏置，集电结反向偏置，说明该三极管处于放大区。

基极电流 $I_B=\dfrac{E-U_{BE}}{R_B}=\dfrac{-10V-(-0.7)V}{20k\Omega}=-0.465mA$，

集电极电流 $I_C\approx\beta I_B=50\times(-0.465)mA=-23.25mA$，

$U_{CE}=-10V$。

错误!文档中没有指定样式的文字。.2 依题意可知，三极管正常工作需同时满足以下三个条件：

$I_C<I_{CM}$、$U_{CE}I_C<P_{CM}$、$U_{CE}<U_{(BR)CEO}$，否则，三极管不能正常工作。

(1) $I_C=15mA<I_{CM}$、$U_{CE}I_C=6V\times15mA=90mW<P_{CM}$、$U_{CE}=6V<U_{(BR)CEO}$，同时满足上述三个条件，说明三极管能正常工作。

(2) $I_C=40mA>I_{CM}$，集电极的电流超出其最大允许电流，该三极管不能正常工作。

(3) $I_C = 15mA < I_{CM}$、$U_{CE}I_C = 10V \times 15mA = 150mW > P_{CM}$，集电极的功率损耗超出其最大允许功率损耗$P_{CM}$，该三极管不能正常工作。

错误!文档中没有指定样式的文字。.3 根据 N 沟道耗尽型 MOS 管的工作原理，其工作于恒流区时，转移特性可近似表示为：$I_D = I_{DSS}\left(1-\frac{U_{GS}}{U_{GS(off)}}\right)^2$，其中$U_{GS} \geq U_{GS(off)}$。代入各已知条件可得：$U_{GS} = -2V$。

由电路图可知，栅极电位$V_G = 0$，则源极电位$V_S = 2V$，又已知$I_S = I_D = 2mA$，

则$R_S = \frac{V_S - 0}{I_S} = \frac{2V - 0}{2mA} = 1k\Omega$。

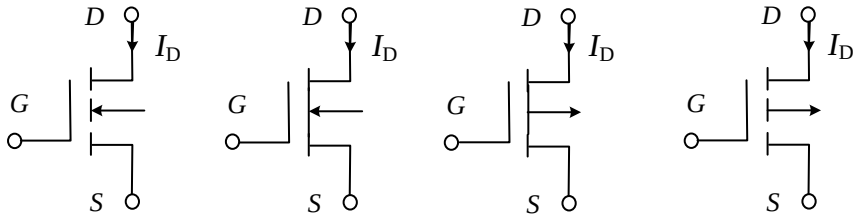
错误!文档中没有指定样式的文字。.4 根据各型 MOS 管的特性曲线可知：

(a)对于 N 沟道增强型 MOS 管，$U_{GS} > 0$，且当$U_{GS} > U_{GS(th)}$时才形成导电沟道，对应各图可知，(a)符合该特点，说明(a)场效应管为 N 沟道增强型 MOS 管，且有$U_{GS(th)} = 2V$。

(b)对于 N 沟道耗尽型 MOS 管，当$U_{GS} = 0$时，原有的导电沟道在U_{DS}作用下可以形成电流I_D，此时的漏极电流称为饱和漏极电流。当U_{GS}由零变为负值时，导电沟道变薄，I_D减小。当U_{GS}反向增大到一定值时，导电沟道将消失，$I_D = 0$，此时栅源电压U_{GS}的值为夹断电压，对应各图可知，(b)符合该特点，说明(b)场效应管为 N 沟道耗尽型 MOS 管，且有$I_{DSS} = 5mA$、$U_{GS(off)} = -4V$。

(c)对于 P 沟道耗尽型 MOS 管，当$U_{GS} = 0$时，原有的导电沟道在U_{DS}作用下可以形成电流I_D，此时的漏极电流称为饱和漏极电流。当U_{GS}由零变为正值时，导电沟道变薄，I_D减小。当U_{GS}正向增大到一定值时，导电沟道将消失，$I_D = 0$，此时栅源电压U_{GS}的值为夹断电压，对应各图可知，(c)符合该特点，说明(c)场效应管为 P 沟道耗尽型 MOS 管，且有$I_{DSS} = -6mA$、$U_{GS(off)} = 4V$。

(d)对于 P 沟道增强型 MOS 管，$U_{GS} < 0$，且当$U_{GS} < U_{GS(th)}$时才形成导电沟道，对应各图可知，(c)符合该特点，说明(c)场效应管为 P 沟道增强型 MOS 管，且有$U_{GS(th)} = -5V$。



（a） （b） （c） （d）

错误!文档中没有指定样式的文字。.5 已知$\left|U_{GS(th)}\right|=4V$，$\left|U_{GS(off)}\right|=4V$。

（a）对于 N 沟道增强型 MOS 管，分析可知：

$U_{GS}=8V-1V=7V>U_{GS(th)}=4V$，

$U_{DS}=3V-1V=2V<U_{GS}-U_{GS(th)}=7V-4V=3V$，由此可知，该场效应管工作于可变电阻区。

（b）对于 N 沟道耗尽型 MOS 管，分析可知：

$U_{GS}=0-2V=-2V>U_{GS(off)}=-4V$，

$U_{DS}=8V-2V=6V>U_{GS}-U_{GS(th)}=-2V-(-4)V=2V$，由此可知，该场效应管工作于线性放大区，也即恒流区。

（c）对于 P 沟道增强型 MOS 管，分析可知：

$U_{GS}=-6V-0=-6V<U_{GS(th)}=-4V$，

$U_{DS}=0>U_{GS}-U_{GS(th)}=-6V-(-4)V=-2V$，由此可知，该场效应管工作于可变电阻区。

（d）对于 P 沟道耗尽型 MOS 管，分析可知：

$U_{GS}=3V-(-2)V=5V>U_{GS(off)}=4V$，由此可知，该场效应管工作于截止区。

错误!文档中没有指定样式的文字。.6 略。

错误!文档中没有指定样式的文字。.7 略。

错误!文档中没有指定样式的文字。.8 略。

习题 2

2.1

$$\dot{U}_i=\frac{r_i}{r_i+R_S}\dot{U}_s\Rightarrow r_i=2k\Omega$$

2.2

$$\begin{cases}\dot{U}_{oo}=4\text{V}\\ \dot{U}_{o}=\dfrac{R_{L}}{r_{o}+R_{L}}\dot{U}_{oo}\end{cases}\Rightarrow r_{o}=2\text{k}\Omega$$

2.3

(a)不能；集电结正偏，输入交流短路；增加基极电阻 R_B；

(b)不能；无基极偏置电流；将基极电阻 R_B 改接在基极与地之间；

(c)不能；输出交流短路，无交流输出；添加集电极电阻 R_C；

(d)不能；输出交流短路，无交流输出；删除 C_E 或将输出改接至集电极。

2.4

(1)由图可知 $U_{CC}=12\text{V}, I_{BQ}=40\mu\text{A}, I_{CQ}=2\text{mA}, U_{CEQ}=6\text{V}$；

(2)由图可知 $R_B=\dfrac{U_{CC}-U_{BE}}{I_B}=282.5\text{k}\Omega, \tan\beta=-1\Big/R_C=-\dfrac{1}{3}\Rightarrow R_C=3\text{k}\Omega$；

(3)由图可知 $U_{omax}=\dfrac{\min\left\{U_{CE}-U_{CES}, R_L' I_C\right\}}{\sqrt{2}}=\dfrac{\min\left\{6-0.3, 2\times 2\right\}}{\sqrt{2}}=2.83\text{V}$；

(4)由图可知 $I_{Bmax}=40\mu\text{A}$

2.5

$$(1)\ I_B=\frac{U_{CC}-U_{BE}}{R_B}=\frac{12-0.6}{200}=57\mu\text{A}$$
$$I_C=\beta I_B=40\times 57=2.28\text{mA}$$
$$U_{CE}=U_{CC}-I_C R_C=12-2.28\times 3=5.16\text{V}$$

$$(2)\ R_B=\frac{U_{CC}-U_{BE}}{I_B}=\beta\frac{U_{CC}-U_{BE}}{I_C}=\beta R_C\frac{U_{CC}-U_{BE}}{U_{CC}-U_{CE}}=\frac{12-0.6}{12-9}\times 40\times 3=456\text{k}\Omega$$

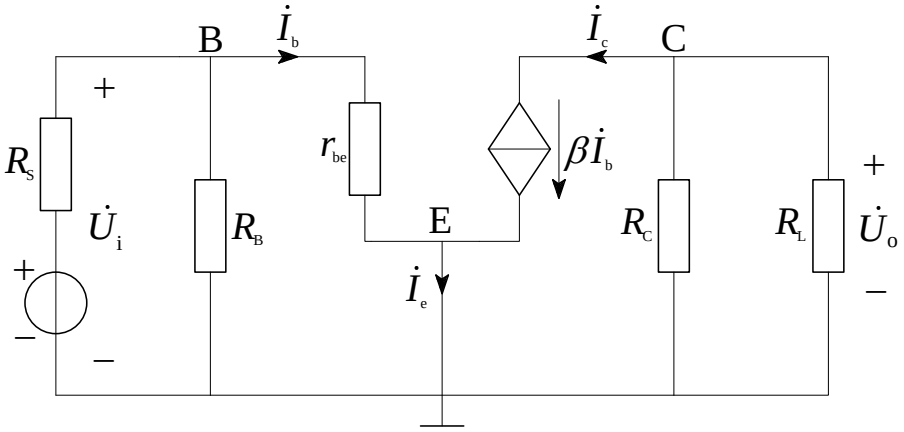
$$(3)\ I_C=1.5\text{mA}=\beta I_B=\beta\frac{U_{CC}-U_{BE}}{R_B}\Rightarrow R_B=\beta\frac{U_{CC}-U_{BE}}{I_C}=\frac{12-0.6}{1.5}\times 40=304\text{k}\Omega$$

$$I_{CS}=\frac{U_{CC}-U_{CES}}{R_C}\approx\frac{12-0.3}{3}<4\text{mA}<15\text{mA}\qquad\therefore\text{不能}$$

(4)由静态平衡点对应方程易知 I_B, I_C 不变，U_{CE} 减小。

2.6

(1)微变等效电路如下：



$(2)(3)\, r_{be} = 200 + \dfrac{26}{I_B} = 656\Omega$

$$r_i = r_{be} // R_B \approx r_{be} = 656\Omega, r_o = R_C = 3\text{k}\Omega$$

$$A_u = -\frac{\beta R'_L}{r_{be}} = -\frac{\beta\left(R_L // R_C\right)}{r_{be}} = -\frac{40\times 1.5}{0.656} = -91.46$$

$$A_{us} = \frac{r_i}{r_i + R_S} A_u = \frac{0.656}{0.656+1}\times(-91.46) = -36.23$$

$(4)\, I_C$ 减小， I_B 减小， r_{be} 增大， A_u 减小。

2.7

$$(1)\, I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B + (1+\beta) R_E} = \frac{24 - 0.6}{510 + 51\times 1} = 41.7\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 50\times 41.7 = 2.09\text{mA}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C\left(R_C + R_E\right) = 24 - 2.09\times 4 = 15.64\text{V}$$

$$r_{be} = 200 + \frac{26}{I_B} = 823.5\Omega$$

$$A_u = -\frac{\beta\left(R_C // R_E\right)}{r_{be}} = -\frac{50\times 1.5}{0.8253} = -90.88$$

$$U_{omax} = \min\left\{U_{CE} - U_{CES}, R'_L I_C\right\} = \min\left\{15.64 - 0.3, 2.09\times 1.5\right\} = 3.135\text{V}$$

$$U_{imax} = \frac{U_{omax}}{|A_u|} = 34.50\text{mV}$$

(2)由第一问易知

$$U_{omax} = \min\left\{U_{CE} - U_{CES}, R'_L I_C\right\} = \min\left\{U_{CC} - \frac{\beta\left(U_{CC} - U_{BE}\right)\left(R_E + R_C\right)}{R_B + (1+\beta) R_E} - U_{CES}, \frac{\beta\left(U_{CC} - U_{BE}\right) R'_L}{R_B + (1+\beta) R_E}\right\}$$

显然当输出电压取最大值时有

$$U_{CC}-\frac{\beta\left(U_{CC}-U_{BE}\right)\left(R_E+R_C\right)}{R_B+\left(1+\beta\right)R_E}-U_{CES}=\frac{\beta\left(U_{CC}-U_{BE}\right)R'_L}{R_B+\left(1+\beta\right)R_E}$$

$\therefore R_B$=224.00kΩ

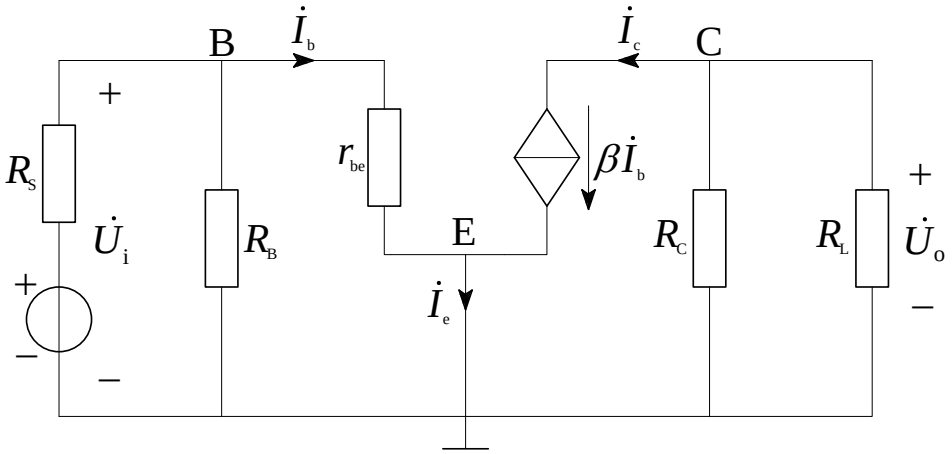
2.8

$$(1)\ I_B=\frac{U_{EE}-U_{BE}}{R_B}=\frac{-12+0.7}{300}=-37.67\mu A$$

$$I_C=\beta I_B=100\times 37.67=-3.77mA$$

$$U_{CE}=U_{EE}+I_C R_C=-12+3.77\times 2=-4.46V$$

(2)微变等效电路如下所示：



$$(3)\ r_{be}=200+\frac{26}{I_B}=0.890k\Omega$$

$$r_i=R_B//r_{be}\approx r_{be}=890\Omega$$

$$r_o=R_C=3k\Omega$$

$$A_u=\frac{-\beta R'_L}{r_{be}}=-\frac{100\times\left(3//4\right)}{0.89}=-149.8$$

(4)此三极管为 PNP 型，输出特性曲线位于第三象限，易知题目中出现的失真为截止失真；可以通过减小 R_B 阻值消除此失真。

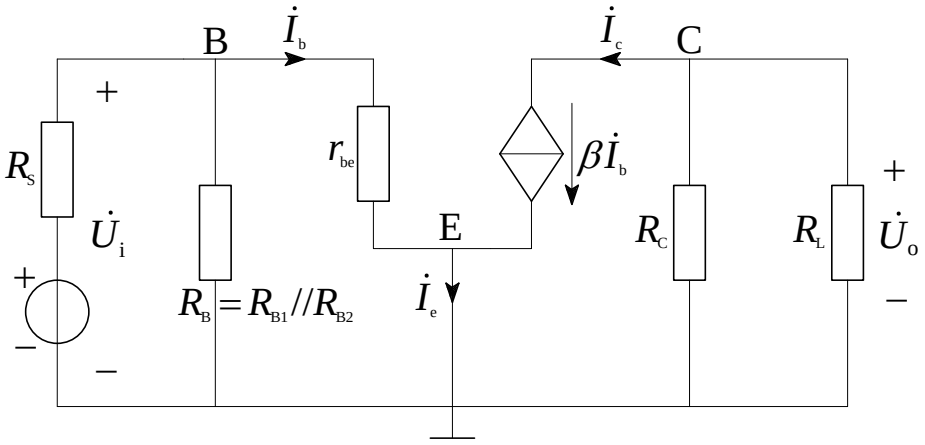
2.9

$$(1)\ I_C\approx I_E=\frac{U_B-U_{BE}}{R_E}=\frac{-16\times\frac{20}{20+60}+0.7}{2}=-1.65mA$$

$$I_B=\frac{I_E}{\beta+1}=\frac{-1.65}{61}=-27.05\mu A$$

$$U_{CE}=-U_{CC}+I_C\left(R_C+R_E\right)=-16+1.65\times\left(2+3\right)=-7.75V$$

(2)微变等效电路如下：



$$(3)\, r_{be} = 200 + \frac{26}{I_B} = 1.16\text{k}\Omega$$

$$r_i = R_B // r_{be} = R_{B1} // R_{B2} // r_{be} = 1.08\text{k}\Omega$$

$$r_o = R_C = 3\text{k}\Omega$$

$$A_u = \frac{-\beta R'_L}{r_{be}} = -\frac{60 \times (3//6)}{1.16} = -103.45$$

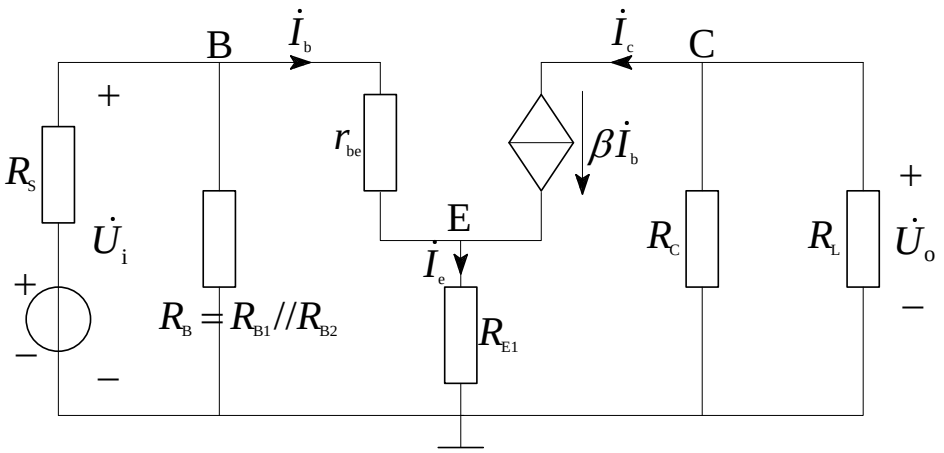
2.10

$$(1)\, I_C \approx I_E = \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} = \frac{12 \times \dfrac{10}{10+33}}{1.3+0.2} = 1.39\text{mA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1.39}{50} = 27.8\mu\text{A}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C (R_C + R_E) = 12 - 1.39 \times (1.5+3) = 5.75\text{V}$$

(2)微变等效电路如下所示：



$$(3)\,r_{be}=200+(1+\beta)\frac{26}{I_E}=1.15\text{k}\Omega$$

$$r_i=R_{B1}//R_{B2}//\left[r_{be}+(1+\beta)R_{E1}\right]=33//10//(1.15+51\times0.2)=4.579\text{k}\Omega$$

$$r_o=R_C,R'_L=R_C//R_L=3//5.1=1.89\text{k}\Omega$$

$$A_u=\frac{-\beta R'_L}{r_{be}+(1+\beta)R_{E1}}=-\frac{50\times1.89}{11.35}=-8.33$$

$$(4)U_o=U_sA_{us}=U_sA_u\frac{r_i}{r_i+R_S}=-15\times8.33\times\frac{4.579}{4.579+0.6}=110.47\text{mV}$$

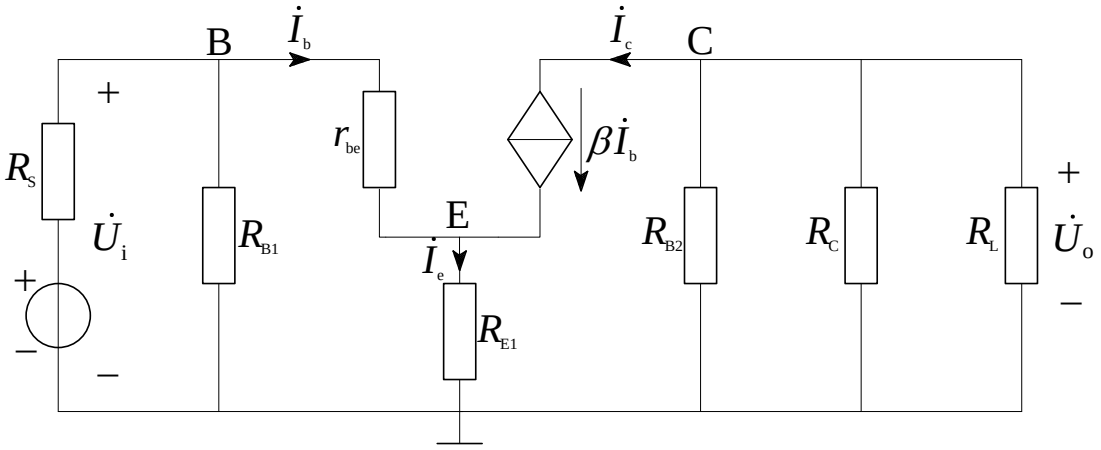
2.11

$$(1)I_B=\frac{U_{CC}-U_{BE}}{R_{B1}+R_{B2}+(1+\beta)(R_{E1}+R_{E2})+(1+\beta)R_C}=\frac{12-0.7}{75+5+41\times5}=39.6\mu\text{A}$$

$$I_C=\beta I_B=40\times39.6=1.58\text{mA},I_E=(1+\beta)I_B=1.62\text{mA}$$

$$U_{CE}=U_{CC}-I_E(R_{E1}+R_{E2}+R_C)=12-1.62\times5=3.9\text{V}$$

(2)电路的微变等效电路如下所示：



$$(3)\,r_{be}=200+\frac{26}{I_B}=0.856\text{k}\Omega$$

$$r_i=R_{B1}//\left[r_{be}+(1+\beta)R_{E1}\right]=75//(0.856+41\times0.1)=4.65\text{k}\Omega$$

$$r_o=R_C//R_{B2}=3.9//5=2.19\text{k}\Omega$$

$$A_u=\frac{-\beta R'_L}{r_{be}+(1+\beta)R_{E1}}=-\frac{40\times(2.19//3.9)}{4.956}=-11.32$$

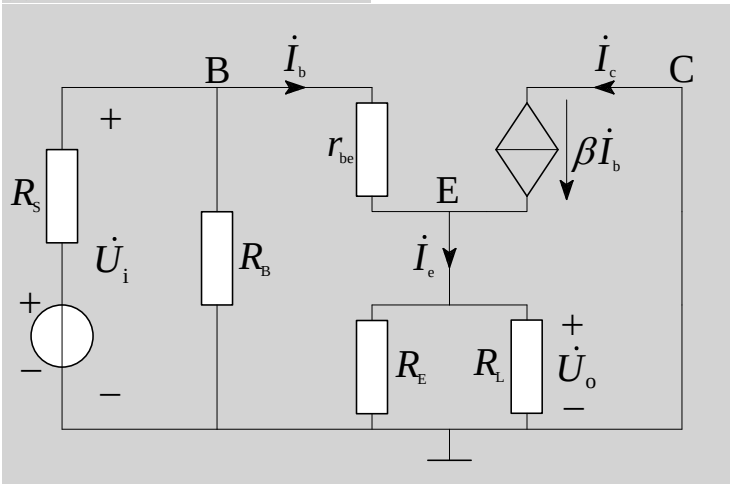
2.12

$$(1)I_B=\frac{U_{CC}-U_{BE}}{R_B+(1+\beta)R_E}=\frac{20-0.7}{200+61\times4}=43.5\mu\text{A}$$

$$I_E\approx I_C=\beta I_B=60\times43.5=2.61\text{mA}$$

$$U_{CE}=U_{CC}-I_ER_E=20-2.61\times4=9.56\text{V}$$

(2)电路的微变等效电路如下：



$$(3)\ r_{be}=200+\frac{26}{I_B}=0.798\text{k}\Omega$$

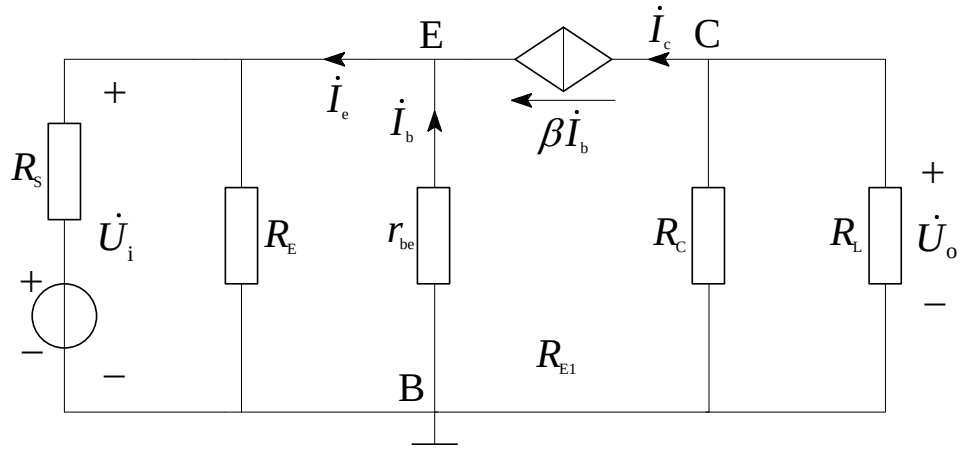
$$r_i=R_B//\left[r_{be}+(1+\beta)(R_E//R_L)\right]=200//\left[0.798+61\times\frac{4}{3}\right]=58.22\text{k}\Omega$$

$$r_o\approx\frac{R_S+r_{be}}{\beta}=14.9\Omega$$

$$A_u=\frac{-(1+\beta)(R_E//R_L)}{r_{be}+(1+\beta)(R_E//R_L)_L}=-\frac{61\times\frac{4}{3}}{0.798+61\times\frac{4}{3}}=-0.99$$

2.13

$$(1)\ I_E=\frac{U_B-U_{BE}}{R_E}=\frac{U_{CC}\dfrac{R_{B2}}{R_{B1}+R_{B2}}-U_{BE}}{R_E}=2\text{mA}\Rightarrow R_E=4.7\text{k}\Omega$$



$$(3)\, r_{be} = 200 + (1+\beta)\frac{26}{I_E} = 0.863\text{k}\Omega$$

$$r_i = R_E // \frac{r_{be}}{1+\beta} \approx \frac{r_{be}}{1+\beta} = \frac{0.863}{51} = 16.9\Omega$$

$$r_o = R_C = 3\text{k}\Omega$$

$$A_u = \frac{\beta(R_C // R_L)}{r_{be}} = \frac{50\times 1.5}{0.863} = 86.91$$

2.14

(1)依题意有

$$\begin{cases} I_D = I_{DSS}\left(1-\dfrac{U_{GS}}{U_{GS(off)}}\right)^2 \\ U_{DD} - I_D R_D = U_D \end{cases} \Rightarrow I_D = 0.25\text{mA}, U_{GS} = -0.5\text{V}$$

$$\therefore R_1 = -\frac{U_{GS}}{I_D} = \frac{0.5}{0.25} = 2\text{k}\Omega$$

$$U_{DS} = U_{DD} - I_D(R_D + R_1 + R_2) = 24 - 0.25\times(56+2+4) = 8.5\text{V}$$

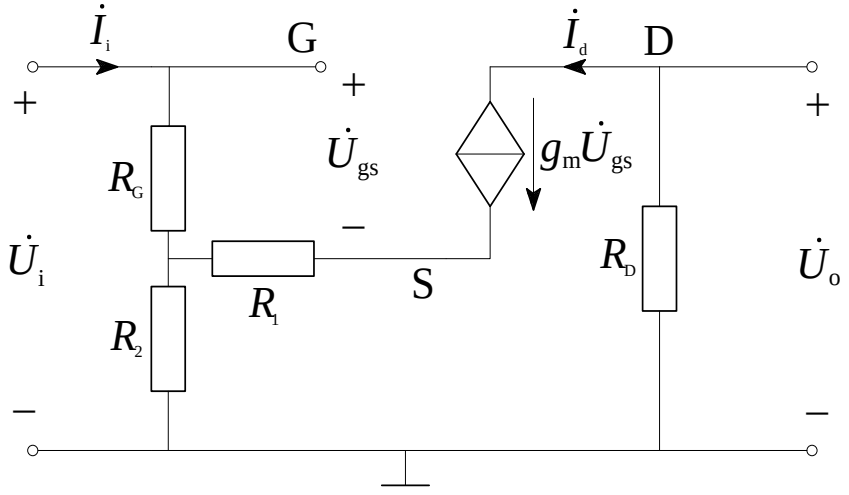
(2)MOS 管工作与放大状态有

$$U_{DS} > U_{GS} - U_{GS(off)}$$

$$\therefore U_{DS} = U_{DD} - I_D(R_D + R_1 + R_2) > 0.5\text{V} \therefore R_2 < 36\text{k}\Omega$$

故 R_2 最大取 $36\text{k}\Omega$

(3)微变等效电路如下所示：



$$g_{\mathrm{m}}=\frac{dI_{\mathrm{D}}}{dU_{\mathrm{GS}}}=-\frac{2I_{\mathrm{DSS}}}{U_{\mathrm{GS(off)}}}\left(1-\frac{U_{\mathrm{GS}}}{U_{\mathrm{GS(off)}}}\right)=-\frac{2\times1}{-1}\times\left(1+\frac{-0.5}{1}\right)=1\mathrm{mS}$$

$$A_{\mathrm{u}}=\frac{\dot{U}_{\mathrm{o}}}{\dot{U}_{\mathrm{i}}}=\frac{-g_{\mathrm{m}}\dot{U}_{\mathrm{gs}}R_{\mathrm{D}}}{\dot{U}_{\mathrm{gs}}+g_{\mathrm{m}}\dot{U}_{\mathrm{gs}}\left(R_1+R_2\right)}=\frac{-56}{1+\left(2+4\right)}=-8$$

$$\dot{I}_{\mathrm{i}}R_{\mathrm{G}}-g_{\mathrm{m}}\dot{U}_{\mathrm{gs}}R_1=\dot{U}_{\mathrm{gs}}\Rightarrow\dot{I}_{\mathrm{i}}=\frac{\dot{U}_{\mathrm{gs}}+g_{\mathrm{m}}\dot{U}_{\mathrm{gs}}R_1}{R_{\mathrm{G}}}$$

$$\dot{U}_{\mathrm{i}}=\dot{U}_{\mathrm{gs}}+g_{\mathrm{m}}\dot{U}_{\mathrm{gs}}\left(R_1+R_2\right)$$

$$r_{\mathrm{i}}=\frac{\dot{U}_{\mathrm{i}}}{\dot{I}_{\mathrm{i}}}=R_{\mathrm{G}}\frac{1+g_{\mathrm{m}}\left(R_1+R_2\right)}{1+g_{\mathrm{m}}R_1}=\frac{7}{3}R_{\mathrm{G}}=2.33\mathrm{M}\Omega$$

$$r_{\mathrm{o}}=R_{\mathrm{D}}=56\mathrm{k}\Omega$$

2.15

(1)将 $R_{\mathrm{G}},R_{\mathrm{G1}},R_{\mathrm{G2}}$ 三个电阻有由 Y 型解法转换为 Δ 型接法

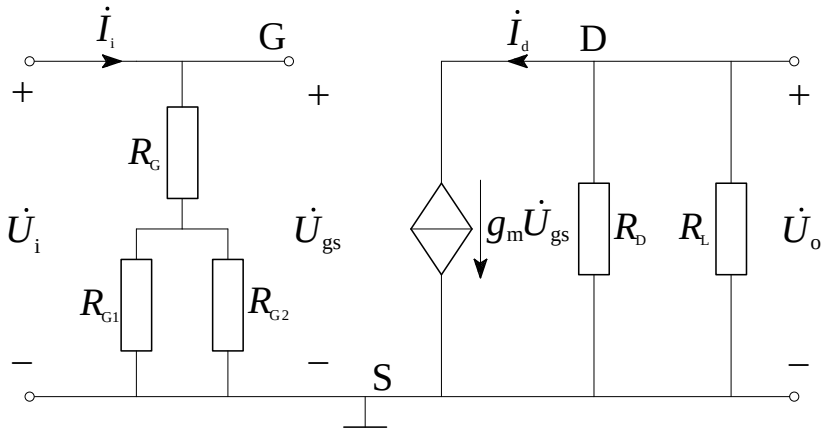
易知 U_{G} 是 $\frac{R_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{G1}}+R_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{G2}}+R_{\mathrm{G1}}R_{\mathrm{G2}}}{R_{\mathrm{G1}}}$ 和 $\frac{R_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{G1}}+R_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{G2}}+R_{\mathrm{G1}}R_{\mathrm{G2}}}{R_{\mathrm{G2}}}$ 两电阻的分压

$$U_{\mathrm{G}}=U_{\mathrm{DD}}\frac{R_{\mathrm{G2}}}{R_{\mathrm{G1}}+R_{\mathrm{G2}}}=30\times\frac{1}{5}=6\mathrm{V}$$

$$\begin{cases}I_{\mathrm{D}}=I_{\mathrm{DSS}}\left(1-\dfrac{U_{\mathrm{GS}}}{U_{\mathrm{GS(off)}}}\right)^2\\U_{\mathrm{S}}=I_{\mathrm{D}}R_{\mathrm{S}}\end{cases}\Rightarrow I_{\mathrm{D}}=3.65\mathrm{mA},U_{\mathrm{GS}}=U_{\mathrm{G}}-U_{\mathrm{S}}=-1.3\mathrm{V}$$

$$U_{\mathrm{DS}}=U_{\mathrm{DD}}-I_{\mathrm{D}}\left(R_{\mathrm{S}}+R_{\mathrm{D}}\right)=30-3.65\times\left(2+4\right)=8.1\mathrm{V}$$

(2)微变等效电路如下所示：



$$(3)\,g_{\mathrm{m}}=\frac{dI_{\mathrm{D}}}{dU_{\mathrm{GS}}}=-\frac{2I_{\mathrm{DSS}}}{U_{\mathrm{GS(off)}}}\left(1-\frac{U_{\mathrm{GS}}}{U_{\mathrm{GS(off)}}}\right)=-\frac{2\times 8}{-4}\times\left(1+\frac{-1.3}{4}\right)=2.7\mathrm{mS}$$

$$A_{\mathrm{u}}=\frac{\dot{U}_{\mathrm{o}}}{\dot{U}_{\mathrm{i}}}=\frac{-g_{\mathrm{m}}\dot{U}_{\mathrm{gs}}\left(R_{\mathrm{D}}//R_{\mathrm{L}}\right)}{\dot{U}_{\mathrm{gs}}}=-2.7\times\left(4//20\right)=-9$$

$$r_{\mathrm{i}}=R_{\mathrm{G}}+R_{\mathrm{G1}}//R_{\mathrm{G2}}=10+0.48=10.48\mathrm{M\Omega}$$

$$r_{\mathrm{o}}=R_{\mathrm{D}}=4\mathrm{k\Omega}$$

$$(4)\,A_{\mathrm{u}}=\frac{\dot{U}_{\mathrm{o}}}{\dot{U}_{\mathrm{i}}}=\frac{-g_{\mathrm{m}}\dot{U}_{\mathrm{gs}}\left(R_{\mathrm{D}}//R_{\mathrm{L}}\right)}{\dot{U}_{\mathrm{gs}}+g_{\mathrm{m}}\dot{U}_{\mathrm{gs}}R_{\mathrm{S}}}=-\frac{9}{1+2.7\times 2}=-1.41$$

2.16

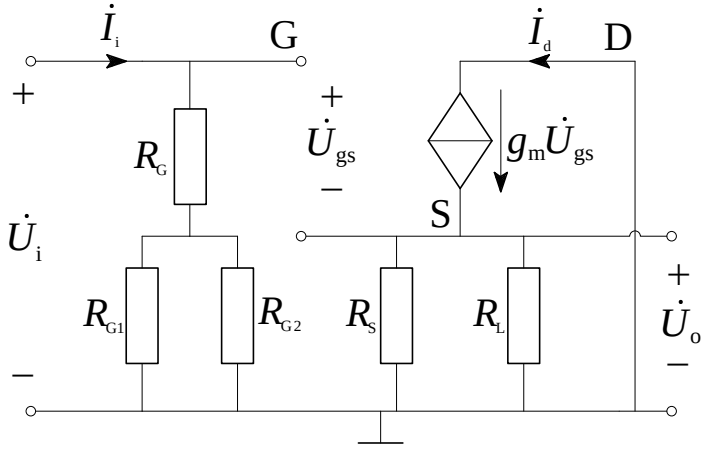
(1)同 2.15 一样，先对电阻进行等效变形

$$U_{\mathrm{G}}=U_{\mathrm{DD}}\frac{R_{\mathrm{G2}}}{R_{\mathrm{G1}}+R_{\mathrm{G2}}}=24\times\frac{5}{8}=15\mathrm{V}$$

$$\begin{cases}I_{\mathrm{D}}=I_{\mathrm{DO}}\left(\dfrac{U_{\mathrm{GS}}}{U_{\mathrm{GS(off)}}}-1\right)^2\\ U_{\mathrm{S}}=I_{\mathrm{D}}R_{\mathrm{S}}\end{cases}\Rightarrow I_{\mathrm{D}}=1.15\mathrm{mA},U_{\mathrm{GS}}=U_{\mathrm{G}}-U_{\mathrm{S}}=3.5\mathrm{V}$$

$$U_{\mathrm{DS}}=U_{\mathrm{DD}}-I_{\mathrm{D}}R_{\mathrm{S}}=24-1.15\times 10=12.5\mathrm{V}$$

(2)电路的微变等效电路如下：



$$g_{\mathrm{m}}=\frac{dI_{\mathrm{D}}}{dU_{\mathrm{GS}}}=-\frac{2I_{\mathrm{DO}}}{U_{\mathrm{GS(off)}}}\left(1-\frac{U_{\mathrm{GS}}}{U_{\mathrm{GS(off)}}}\right)=-\frac{2\times 2}{2}\times\left(1-\frac{3.5}{2}\right)=1.5\mathrm{mS}$$

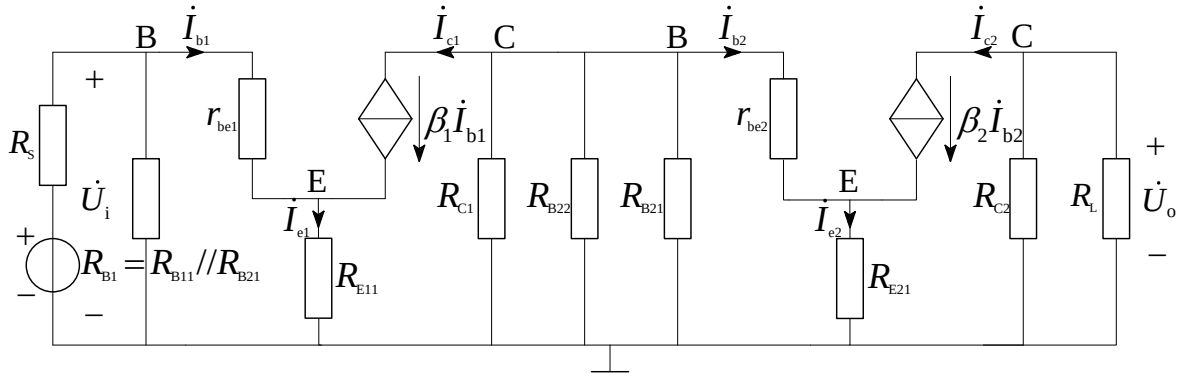
$$A_{\mathrm{u}}=\frac{\dot{U}_{\mathrm{o}}}{\dot{U}_{\mathrm{i}}}=\frac{g_{\mathrm{m}}\dot{U}_{\mathrm{gs}}\left(R_{\mathrm{S}}//R_{\mathrm{L}}\right)}{\dot{U}_{\mathrm{gs}}+g_{\mathrm{m}}\dot{U}_{\mathrm{gs}}\left(R_{\mathrm{S}}//R_{\mathrm{L}}\right)}=\frac{1.5\times 5}{1+1.5\times 5}=0.88$$

$$r_{\mathrm{i}}=R_{\mathrm{G}}+R_{\mathrm{G1}}//R_{\mathrm{G2}}=100+1.875=101.875\mathrm{M\Omega}$$

$$r_{\mathrm{o}}=R_{\mathrm{S}}//\frac{1}{g_{\mathrm{m}}}=10//\frac{1}{1.5}=0.625\mathrm{k\Omega}$$

2.17

(1)电路的微变等效电路如下：



$R_{L1}=R_{B21}//R_{B22}//\left[r_{be2}+(1+\beta_2)R_{E21}\right]=1.45//0.8\times51)=0.19\text{k}\Omega$

$(2)r_i=R_{B1}//\left[r_{be1}+(1+\beta_1)R_{E11}\right]=2.48//(1.2+51\times0.015)=1.10\text{k}\Omega$

$r_o=R_{C2}=2.7\text{k}\Omega$

$$A_{u1}=-\frac{\beta_1(R_{C1}//R_{L1})}{r_{be1}+(\beta_1+1)R_{E11}}=-\frac{50\times0.611}{1.2+51\times0.015}=-15.55$$

$$A_{u2}=-\frac{\beta_2(R_{C2}//R_L)}{r_{be2}+(\beta_2+1)R_{E21}}=-\frac{50\times1.765}{0.8+51\times0.015}=-56.39$$

$$A_u=A_{u1}A_{u2}=876.86$$

2.18

$$(1)I_{C1}\approx I_{E1}=\frac{U_{B1}-U_{BE1}}{R_{E1}}=\frac{12\times\frac{20}{20+30}-0.6}{4}=1.05\text{mA}$$

$$I_{B1}=\frac{I_{E1}}{\beta_1+1}=\frac{1.05}{51}=20.6\mu\text{A}$$

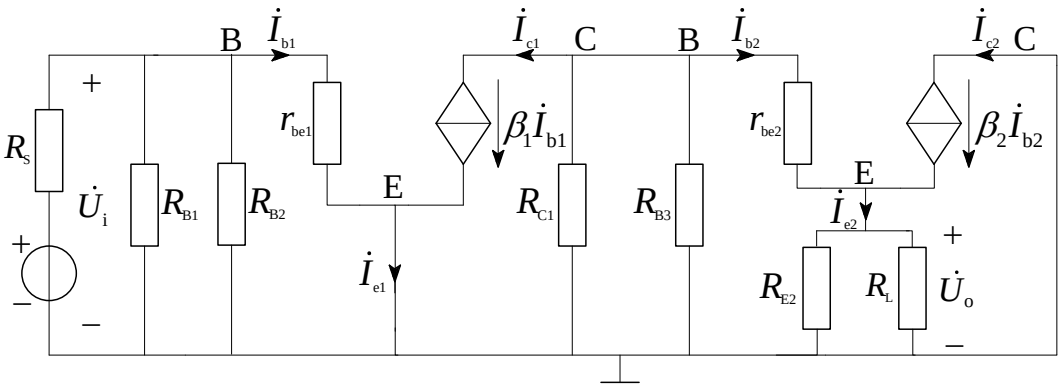
$$U_{CE1}=U_{CC}-I_{C1}(R_{C1}+R_{E1})=12-1.05\times(4+4)=3.6\text{V}$$

$$I_{B2}=\frac{U_{CC}-U_{BE2}}{R_{B3}+(\beta_2+1)R_{E2}}=\frac{12-0.6}{130+51\times3}=40.3\mu\text{A}$$

$$I_{E2}=(1+\beta_2)I_{B2}=51\times40.3=2.06\text{mA}$$

$$U_{CE2}=U_{CC}-I_{E2}R_{E2}=12-2.06\times3=5.82\text{V}$$

(2)电路的微变等效电路如下：



$$r_{be1}=200+\frac{26}{I_{B1}}=1.46\text{k}\Omega$$

$$r_{be2}=200+\frac{26}{I_{B2}}=0.845\text{k}\Omega$$

$$r_i=r_{i1}=R_{B1}//R_{B2}//r_{be1}=12//1.46=1.30\text{k}\Omega$$

$$r_{o1}=R_{C1}=4\text{k}\Omega$$

$$r_{i2}=R_{B3}//\left[r_{be2}+\left(R_{E2}//R_L\right)\left(\beta_2+1\right)\right]=130//51=36.63\text{k}\Omega$$

$$r_o=r_{o2}=\frac{r_{be2}+r_{o1}//R_{B3}}{\beta_2}=\frac{0.845+3.88}{50}=94.5\Omega$$

$$A_{u1}=-\frac{\beta_1\left(R_{C1}//r_{i2}\right)}{r_{be1}}=\frac{50\times3.61}{1.46}=123.63$$

$$A_{u2}=-\frac{\left(1+\beta_2\right)\left(R_{E2}//R_L\right)}{r_{be2}+\left(1+\beta_2\right)\left(R_{E2}//R_L\right)}=\frac{51\times1}{0.845+51}=0.98$$

$$A_u=A_{u1}A_{u2}=121.21$$

(3)射极输出器基本不放大电压而放大电流，增大电路输出功率，输出电阻较低具有很强的带载能力。

2.19

$$(1)\,I_{B1}=\frac{U_{CC}-U_{BE1}}{R_{B1}+\left(\beta_1+1\right)R_{E1}}=\frac{24-0.6}{1000+51\times27}=9.93\mu\text{A}$$

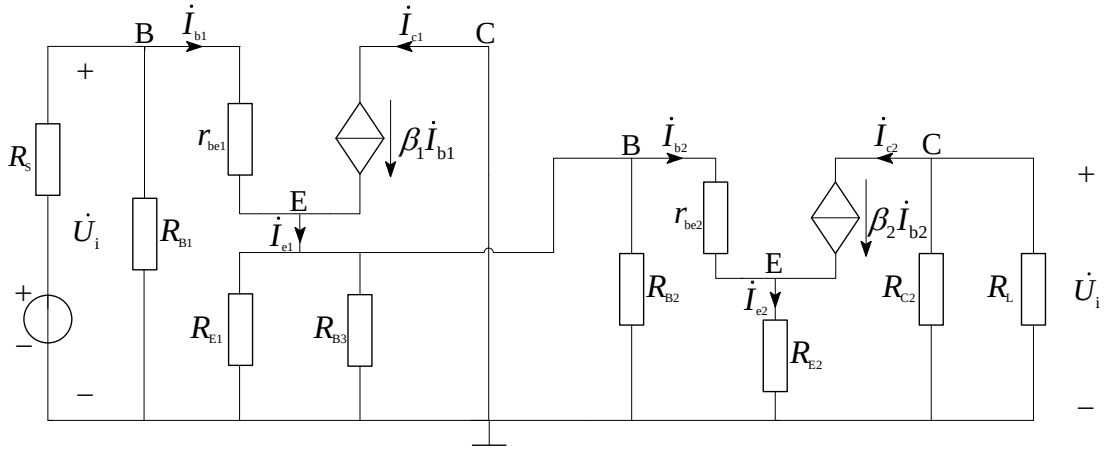
$$I_{C1}=\beta_1I_{B1}=50\times9.93=0.496\text{mA}$$

$$U_{CE1}=U_{CC}-I_{E1}R_{E1}=24-0.00993\times51\times27=10.33\text{V}$$

$$I_{C2}\approx I_{E2}=\frac{U_{B2}-U_{BE2}}{R_{E2}+R_{E3}}=\frac{24\times\dfrac{43}{82+43}-0.6}{7.5+0.51}=0.956\text{mA}$$

$$I_{B2}=\frac{I_{E2}}{\left(1+\beta_2\right)}=\frac{0.956}{51}=18.7\mu\text{A}$$

$$U_{CE2}=U_{CC}-I_{C2}\left(R_C+R_{E1}+R_{E2}\right)=24-0.956\times\left(10+7.5+0.51\right)=6.78\text{V}$$



$$r_{be1}=200+\frac{26}{I_{B1}}=2.82\text{k}\Omega$$

$$r_{be2}=200+\frac{26}{I_{B2}}=1.59\text{k}\Omega$$

$$r_{i2}=R_{B2}//R_{B3}//\left[r_{be2}+R_{E2}\left(\beta_2+1\right)\right]=28.208//27.6=13.95\text{k}\Omega$$

$$r_i=r_{i1}=R_{B1}//\left[r_{be1}+\left(\beta_1+1\right)\left(R_{E1}//r_{i2}\right)\right]=1000//\left(2.82+51\times9.20\right)=320.66\text{k}\Omega$$

$$r_o=r_{o2}=R_C=10\text{k}\Omega$$

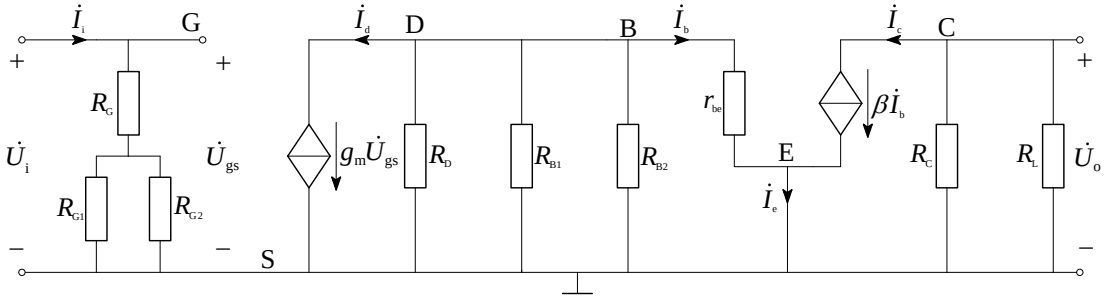
$$A_{u1}\approx1$$

$$A_{u2}=-\frac{\beta_2\left(R_C//R_L\right)}{r_{be2}+\left(1+\beta_2\right)R_{E2}}=\frac{50\times\frac{40}{3}}{1.59+51\times0.51}=-12.08$$

$$A_u=A_{u1}A_{u2}=-12.08$$

2.20

电路的微变等效电路如下所示：



$$r_i = r_{i1} = R_G + R_{G1}//R_{G2} = 100 + 40 = 140\text{k}\Omega$$

$$r_{i2} = R_{B1}//R_{B2}//r_{be} = 18.75//1.5 = 1.39\text{k}\Omega$$

$$r_o = r_{o2} = R_C = 3\text{k}\Omega$$

$$A_{u1} = \frac{\dot{U}_{o1}}{\dot{U}_{i1}} = \frac{-g_m \dot{U}_{gs}\left(R_D//r_{i2}\right)}{\dot{U}_{gs}} = -1.5\times\left(1.39//20\right) = -1.95$$

$$A_{u2} = -\frac{\beta\left(R_C//R_L\right)}{r_{be}} = -\frac{80\times 2}{1.5} = -106.67$$

$$A_u = A_{u1}A_{u2} = 208.01$$

2.21

$$(1)\, I_B R_B + U_{BE} + 2I_B\left(1+\beta\right)R_E + \left(-U_{EE}\right) = 0 \Rightarrow I_B = \frac{15-0.7}{2.7+2\times 101\times 27} = 2.62\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 100\times 2.62 = 0.262\text{mA}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C - 2I_B\left(1+\beta\right)R_E - \left(-U_{EE}\right)$$

$$= 30 - 0.262\times 36 - 2\times 0.00262\times 101\times 27 = 6.28\text{V}$$

$$(2)\, r_{be} = 200 + \frac{26}{I_B} = 10.12\text{k}\Omega$$

$$A_{ud} = -\frac{\beta\left(R_C // \frac{R_L}{2}\right)}{r_{be}+R_B} = -\frac{100\times\left(36//9\right)}{10.12+2.7} = -56.16$$

$$r_i = 2\left(r_{be}+R_B\right) = 2\times 12.82 = 25.64\text{k}\Omega$$

$$r_o = 2R_C + R_L = 2\times 36 = 72\text{k}\Omega$$

2.22

$$(1)\, I_B R_B + U_{BE} + I_B\left(1+\beta\right)\times 500\Omega + 2I_B\left(1+\beta\right)R_E + \left(-U_{EE}\right) = 0 \Rightarrow I_B = \frac{12-0.6}{10+2\times 101\times 10.25} = 5.48\mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 100\times 5.48 = 0.548\text{mA}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C - I_B\left(1+\beta\right)\left(2R_E + 500\Omega\right) - \left(-U_{EE}\right)$$

$$= 24 - 0.548\times 10 - 0.00548\times 101\times 20.5 = 7.17\text{V}$$

$$(2)\, r_{be} = 200 + \frac{26}{I_B} = 4.94\text{k}\Omega$$

$$A_{ud} = -\frac{\beta R_C}{2\left[r_{be}+R_B+500\Omega\left(1+\beta\right)\right]} = -\frac{100\times 10}{2\times\left(4.94+10+0.5\times 101\right)} = -7.64$$

$$A_{uc} = -\frac{\beta R_C}{r_{be}+R_B+\left(500\Omega+2R_E\right)\left(1+\beta\right)} = -\frac{100\times 10}{4.94+10+20.5\times 101} = -0.48$$

(3)根据题意 $u_{Id} = 10\text{mV}, u_{Ic} = 5\text{mV}$

考虑共模分量时有 $u_O = 10\times\left(-7.64\right) - 5\times 0.48 = -78.8\text{mV}$

不考虑共模分量时有 $u_O = 10\times\left(-7.64\right) = -76.4\text{mV}$

2.23

$(1) I_{E1} = I_{E2} = \frac{1}{2} = 0.5\text{mA}$

$I_{B2} = I_{B1} = \frac{I_{E1}}{1+\beta_1} = \frac{0.5}{51} = 98.04\mu\text{A}$

$U_{CE1} = U_{CC} + U_{BE1} = 6.6\text{V}$

$U_{CE2} = U_{CC} + U_{BE2} - I_C R_C = 4.6\text{V}$

$I_{E3} = \frac{U_{B3} - U_{BE2}}{R_E} = \frac{4-0.6}{0.6} = 5.67\text{mA}$

$I_{B3} = \frac{I_{E3}}{1+\beta_3} = \frac{4-0.6}{0.6} = 0.11\text{mA}$

$U_{CE3} = U_{CC} - I_E R_E = 6 - 5.67 \times 0.6 = 2.60\text{V}$

$(2) r_{be1} = r_{be2} = 200 + \frac{26}{I_{B1}} = 0.46\text{k}\Omega$

$r_{be3} = 200 + \frac{26}{I_{B3}} = 0.44\text{k}\Omega$

$A_{ud} = -\frac{\beta_1 R_C // r_{i3}}{2r_{be}} = -\frac{50 \times (2 // 31.04)}{2 \times 0.46} = -102.12$

$A_{uc} = 0$

$A_u = \frac{\beta_3 R_E}{r_{be3} + \beta_3 R_E} \approx 1$

$u_{Id} = 10\text{mV}$

$u_O = u_{Id} A_{ud} A_u = 1021.2\text{mV}$

2.24

(1)在放大电压不失真的前提下，设放大倍数为α，则输出电压幅值为αU_{im}

$P_o = \frac{(\alpha U_{im})^2}{2R_L} = \frac{36\alpha^2}{2 \times 8} = 2.25\alpha^2\text{W}$

$P_E = \frac{2U_{CC}\alpha U_{im}}{\pi R_L} = \frac{2 \times 9 \times 6\alpha}{3.14 \times 8} = 4.30\alpha\text{W}$

$\eta = \frac{P_o}{P_E} = \frac{2.25\alpha^2}{4.30\alpha} \times 100\% = 52.3\alpha\%$

$$(2)P_{o\max}=\frac{(U_{CC}-U_{CES})^2}{2R_L}=\frac{64}{2\times 8}=4\text{W}$$

$$P_{E\max}=\frac{2U_{CC}(U_{CC}-U_{CES})}{\pi R_L}=\frac{2\times 9\times 8}{3.14\times 8}=5.73\text{W}$$

$$\eta_{\max}=\frac{\pi}{4}\frac{U_{CC}-U_{CES}}{U_{CC}}=\frac{3.14\times 8}{4\times 9}\times 100\%=69.78\%$$

2.25

(1)静态时，负载电阻 R_L 中的电流为 $\dfrac{2U_{CC}-\dfrac{2U_{CC}(R_3+R_1)}{R_1+R_2+R_3}}{R_L}$，若不符合要求，需调节 R_2 的大小；

(2)如果波形出现交越失真，则增加 R_2 的阻值以增加偏压达到改善失真的目的；

(3)两二极管反接起稳压作用，可能会使电路工作与甲类工作状态；

(4)电路元件开路，电路相当于一个三极管放大电路。

2.26

(1)在放大电压不失真的前提下，设放大倍数为 α，则输出电压幅值为 αU_{im}

$$P_o=\frac{(\alpha U_{im})^2}{2R_L}=\frac{36\alpha^2}{2\times 8}=2.25\alpha^2\text{W}$$

$$P_E=\frac{U_{CC}\alpha U_{im}}{\pi R_L}=\frac{18\times 6\alpha}{3.14\times 8}=4.30\alpha\text{W}$$

$$\eta=\frac{P_o}{P_E}=\frac{2.25\alpha^2}{4.30\alpha}\times 100\%=52.3\alpha\%$$

$$(2)P_{o\max}=\frac{\left(\frac{U_{CC}}{2}-U_{CES}\right)^2}{2R_L}=\frac{64}{2\times 8}=4\text{W}$$

$$P_{E\max}=\frac{2\frac{U_{CC}}{2}\left(\frac{U_{CC}}{2}-U_{CES}\right)}{\pi R_L}=\frac{2\times 9\times 8}{3.14\times 8}=5.73\text{W}$$

$$\eta_{\max}=\frac{\pi}{4}\frac{\frac{U_{CC}}{2}-U_{CES}}{\frac{U_{CC}}{2}}=\frac{3.14\times 8}{4\times 9}\times 100\%=69.78\%$$

习题 3

3.1 （1） $A_{uf}=\frac{A_{ud}}{(1+A_{ud}\cdot F)}=\frac{400}{1+400\times 0.01}=80$

（2） $A_{ouf1}=\frac{A_{ud}\cdot(1+10\%)}{1+(A_{ud}\cdot(1+10\%)\cdot F)}=\frac{440}{1+440\times 0.01}=81.48$

$A_{ouf2}=\frac{A_{ud}\cdot(1-10\%)}{1+(A_{ud}\cdot(1-10\%)\cdot F)}=\frac{360}{1+360\times 0.01}=78.26$

$\Delta f_1=\frac{A_{ud}-A_{ouf1}}{A_{ud}}\times 100\%=-1.85\%$

$\Delta f_2=\frac{A_{ud}-A_{ouf2}}{A_{ud}}\times 100\%=2.17\%$

3.2 (1) R_6 为反馈元件假设 u_I 端为正，u_F 电压为正，是负反馈。u_F 与 u_I 串联，是串联反馈。当 u_o 为 0 时候，u_F 存在，是电流反馈。综合得电流串联负反馈。

(2) R_5 和 R_6 为反馈元件。净输入信号 $i_D=i_I-i_F$ 减小，为负反馈。由于反馈信号与输入信号均加在反向输入端，是并联反馈。当 u_o 为 0 时候，u_F 存在，是电流反馈。综合得电流并联负反馈。

(3) R_2 和放大器 A_2 组成的支路为反馈支路。净输入信号 $i_D=i_I-i_F$ 减小，为负反馈。由于反馈信号与输入信号均加在反向输入端，是并联反馈。当 u_o 为 0 时候，u_F 不存在，是电压反馈。综合得电压并联负反馈。

(4) R_2，R_3，R_4 和放大器 A_2 组成的支路为反馈支路。净输入信号 $u_D=u_I-u_F$，为负反馈。u_F 和 u_I 在输入回路串联相减，产生净输入信号 u_D，所以是串联反馈。当 u_o 为 0 时候，u_F 不存在，是电压反馈。综合的电压串联负反馈。

3.3(1)R_{F1} 为反馈元件。根据电位判断，净输入信号 u_{be} 在减小，为负反馈。输入信号加载基极，反馈信号引回在发射极，为串联反馈。当 u_o 为 0 时候，u_F 不存在，是电压反馈。综合得电压串联负反馈。

(2) 根据电位判断，净输入信号 u_{be} 在增大，为正反馈。输入信号加载基极，反馈信号引回在发射极，为串联反馈。当 u_o 为 0 时候，u_F 不存在，是电压反馈。综合得电压串联正反馈。

(3) 根据电位判断，净输入信号 u_{be} 在减小，为负反馈。输入信号加载基极，反馈信号引回在发射极，为串联反馈。当 u_o 为 0 时候，u_F 不存在，是电压反馈。综合得电压串联负反馈。

(4) 根据电位判断，净输入信号 u_{be} 在减小，为负反馈。输入信号加载基极，反馈信号引回在基极，为并联反馈。当 u_o 为 0 时候，u_F 不存在，是电压反馈。综合得电压并联负反馈。

3.4

串联负反馈使电路的输入电阻增加；并联负反馈使电路的输入电阻减小；电压负反馈使电路的输出电阻减小；电流负反馈使电路的输出电阻增加。电压反馈能稳定输出电压，电流反馈能稳定电流。所以得：

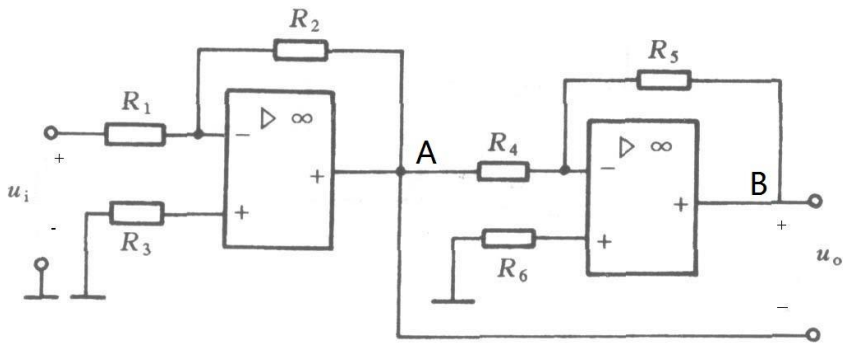
(1)电压串联负反馈。

(2)电流并联负反馈。

(3)电压并联负反馈。

(4)电流串联负反馈。

3.5



(1) 集成运算放大器输入级是差分放大电路，要求两边参数对称以保持静态平衡。

$$R_3 = R_1 // R_2 = \frac{10}{11} = 0.91k\Omega$$

$$R_6 = R_4 // R_5 = \frac{100}{20} = 5k\Omega$$

(2) $u_o = u_B - u_A = -\frac{R_5}{R_4}u_A - u_A = -2u_A$

$$u_A = -\frac{R_2}{R_1}u_I = -10u_I$$

由上面两个等式相比得：$\frac{u_o}{u_I} = -2\times(-10) = 20$

(3)$u_I = 1\text{V}$ 得 $u_A = -10\text{V}$， $u_B = 10\text{V}$

$|u_A| < 15\text{V}$ 且 $|u_B| < 15\text{V}$，所以可以正常工作。

3.6

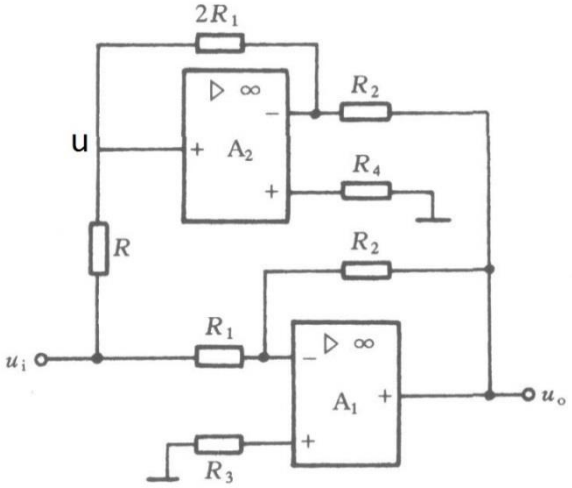
$u = -\frac{2R_1}{R_2}u_O$ （1）

$u_O = -\frac{R_2}{R_1}u_I$（2）

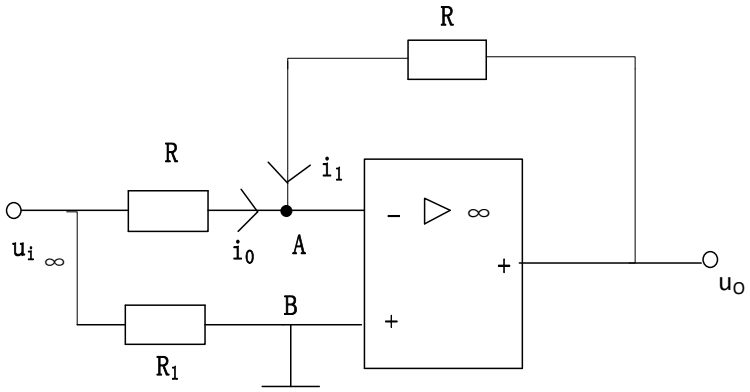
由（1）、（2）得$u = 2u_I$

$i_I = \frac{u-u_I}{R_1} = \frac{u_I}{R}$ 得 $R_I = \frac{u_I}{i_I} = \frac{R_1R_2}{R-R_1}$

要使输入电阻 R_I 最大，则 $R = R_1$。

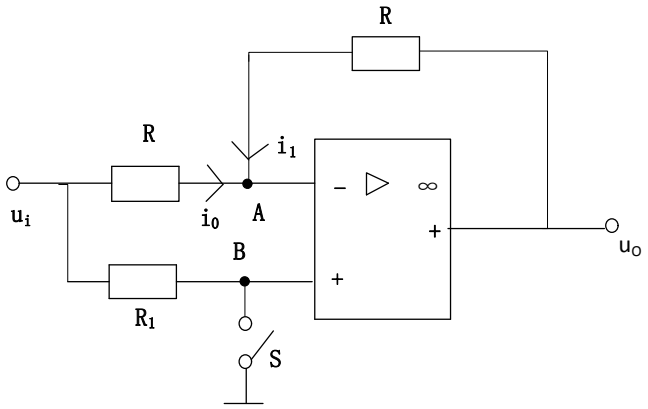


3.7(1)



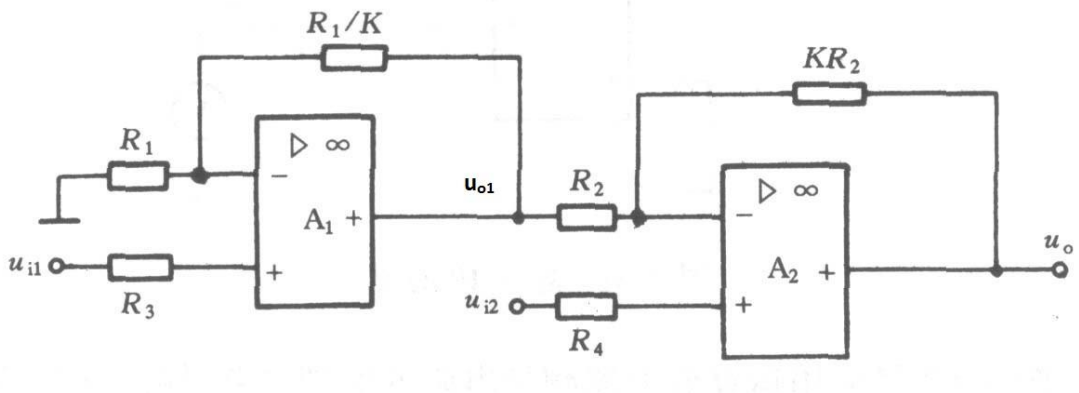
$i_0 = -i_1$ 得 $\frac{u_I}{R} = -\frac{u_o}{R}$，推导得 $\frac{u_o}{u_I} = -1$

(2)



$u_I = u_A = u_B$ 得 $i_0 = i_1 = 0$，所以 $u_I = u_A = u_o$。得 $\frac{u_o}{u_I} = 1$

3.8



对于 A1：对于 A1 有 $u_+ = u_- = u_{i1}$

$$u_{o1} = (1+\frac{1}{k})u_{i1}$$

对于 A2：将 u_{o1} 与 u_{i2} 分开求解，利用叠加原理。

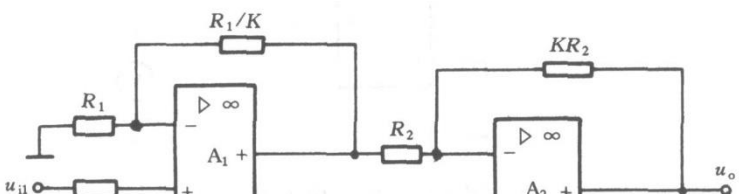
$$u_o^1 = -\frac{kR_2}{R_2}u_{o1} = -(1+k)u_{i1}$$

$$u_o^2 = (1+k)u_{i2}$$

$$u_o = u_{o1} + u_{o2} = (1+k)(u_{i2} - u_{i1})$$

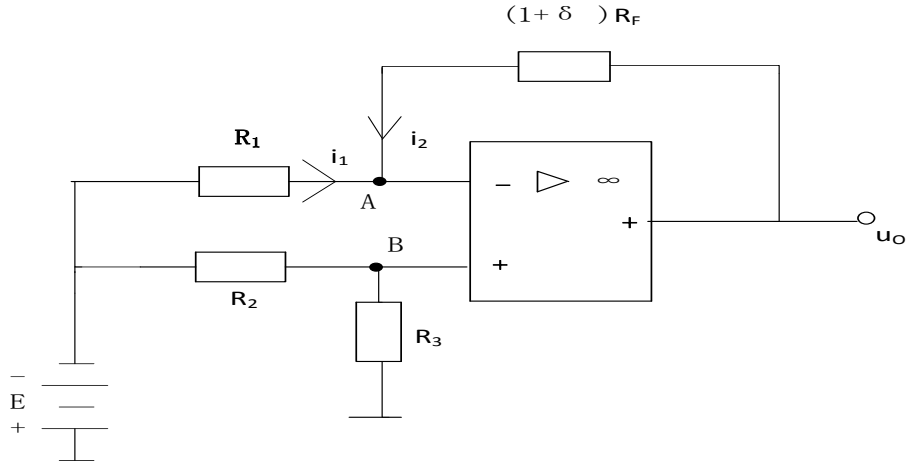
3.9 $u_o = \left| -\frac{R_F}{R_i}u \right| = \frac{R_F}{R_i}u$ 得

$R_i = \frac{R_F \cdot u}{u_o}$ 则依次得 $R_{11} = 10M\Omega$， $R_{12} = 2M\Omega$， $R_{13} = 1M\Omega$， $R_{14} = 0.2M\Omega$，



$R_{15} = 0.1M\Omega$

3.10



$$u_A = u_B = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot E = \frac{R_F}{R + R_F} \cdot E$$

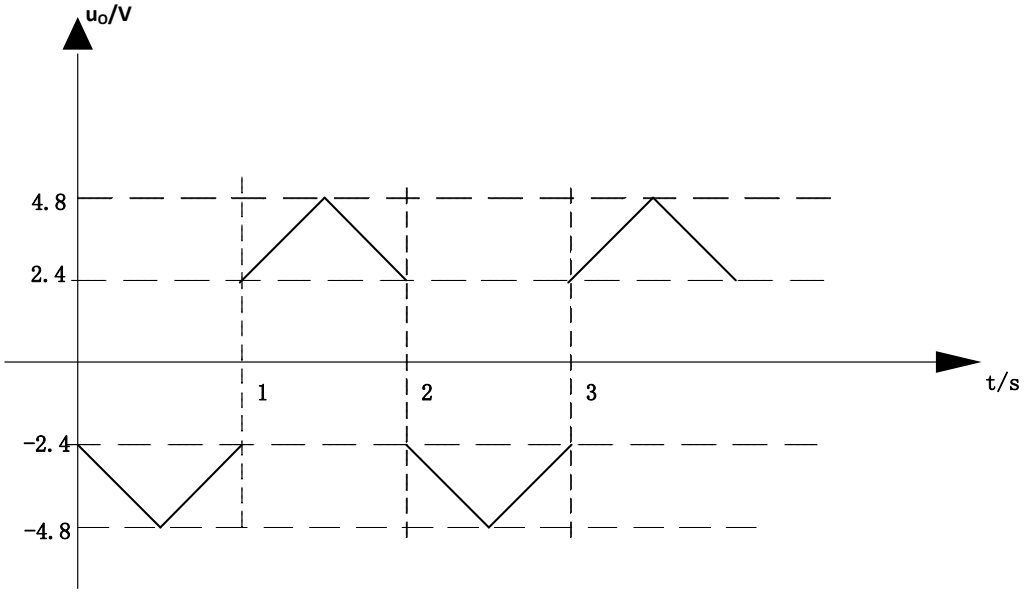
由 $i_1 = -i_2$ 得 $\frac{E - u_A}{R_1} = -\frac{u_O - u_A}{(1+\delta)R_F}$

$$u_O = -\frac{\delta R_F E}{R + R_F}$$

3.11

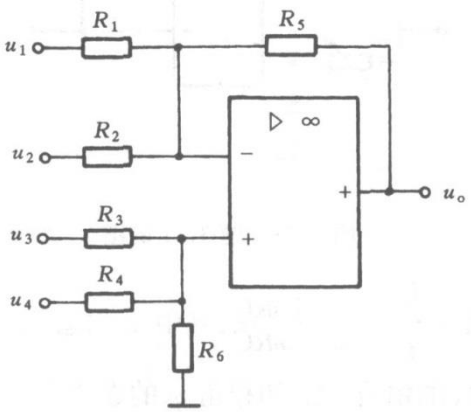
由叠加定理得：

$u_O = -4(u_{i1} + u_{i2})$



u_o的波形图

3.12



反向端：$u_{o1}=-R_5(\frac{u_1}{R_1}+\frac{u_2}{R_2})=-4.5V$

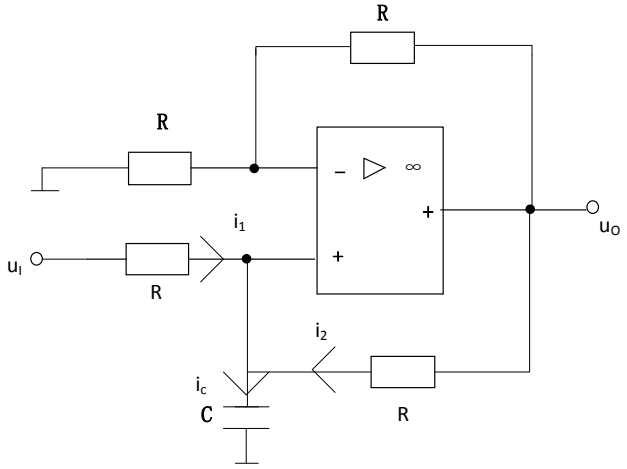
同向端：$\frac{u_+}{R_6}=\frac{u_3-u_+}{R_3}+\frac{u_4-u_+}{R_4}$ 得出

$$u_+=(\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_6})(\frac{u_3}{R_3}+\frac{u_4}{R_4})$$

$$u_{o2}=(1+\frac{R_5}{R_1//R_2})u_+=(1+\frac{R_5}{R_1//R_2})(\frac{1}{R_3}+\frac{1}{R_4}+\frac{1}{R_6})(\frac{u_3}{R_3}+\frac{u_4}{R_4})=-4.5V$$

叠加得：$u_o=u_{o1}+u_{o2}=-9V$

3.13



由 $i_C = i_1 + i_2 = \frac{u_I - u_+}{R} + \frac{u_o - u_+}{R}$ 和 $u_C = u_+ = u_- = \frac{u_o}{2}$ 得

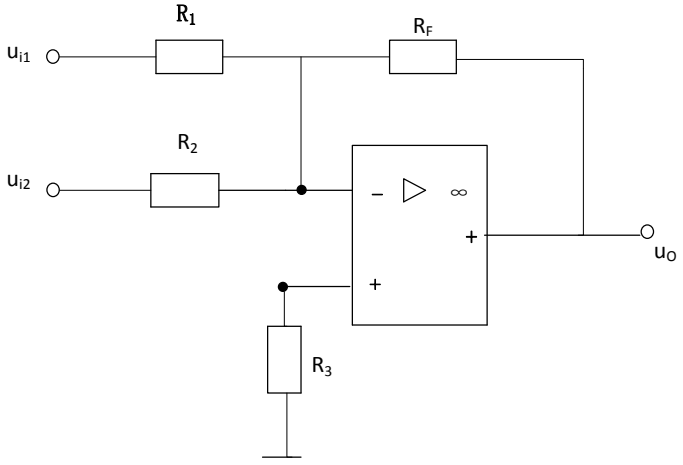
$$i_C = \frac{u_I}{R}$$

$$u_c = \frac{1}{C}\int i_c dt = \frac{1}{RC}\int u_I dt = \frac{u_o}{2}$$

所以 $u_o = \frac{2}{RC}\int u_I dt$

3.14

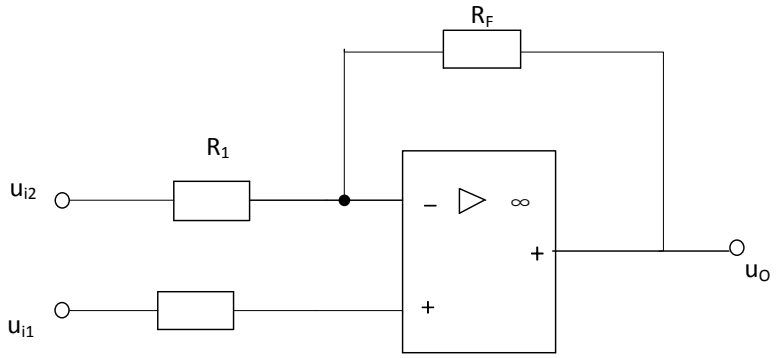
(1)



$$u_O = -(\frac{u_{i1}}{R_1} + \frac{u_{i2}}{R_2})R_F$$

$\frac{R_F}{R_1} = 1$，$\frac{R_F}{R_2} = 0.2$ 得 $R_1 = 100k\Omega$，$R_2 = 500k\Omega$

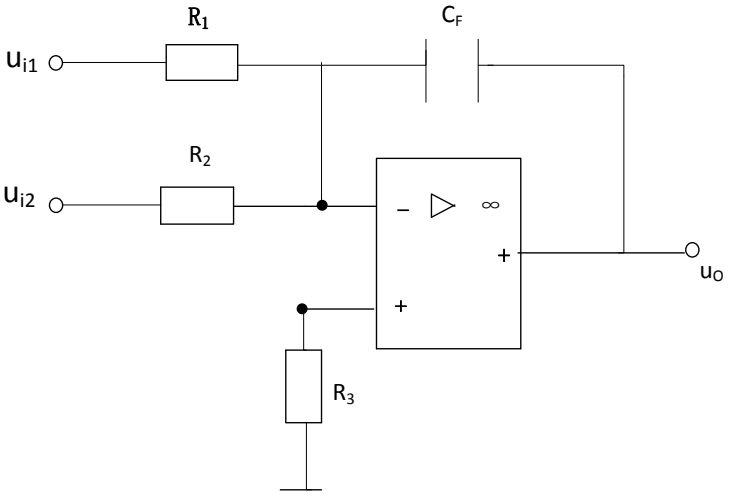
(2)



$$u_O = (1+\frac{R_F}{R_1})u_{i1} + (-\frac{R_F}{R_1})u_{i2}$$

$$R_1 = R_F = 10k\Omega$$

(3)

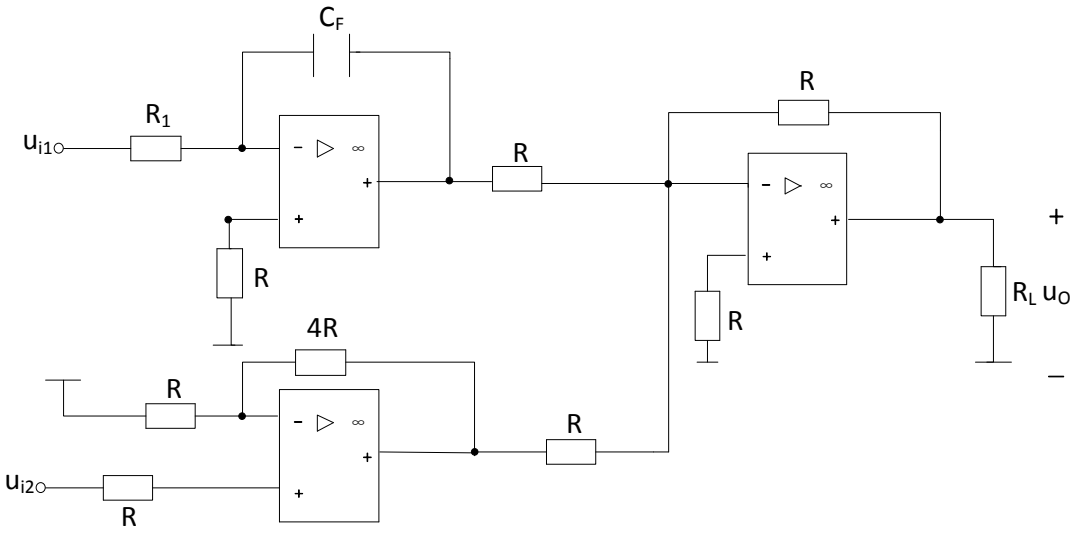


$$u_O = -\frac{1}{C_F}\int i_C dt = -\frac{1}{C_F}\int (\frac{u_{i1}}{R_1} + \frac{u_{i2}}{R_2})dt$$

$$\frac{1}{R_1 C_F} = 10\,,\quad \frac{1}{R_2 C_F} = 5$$

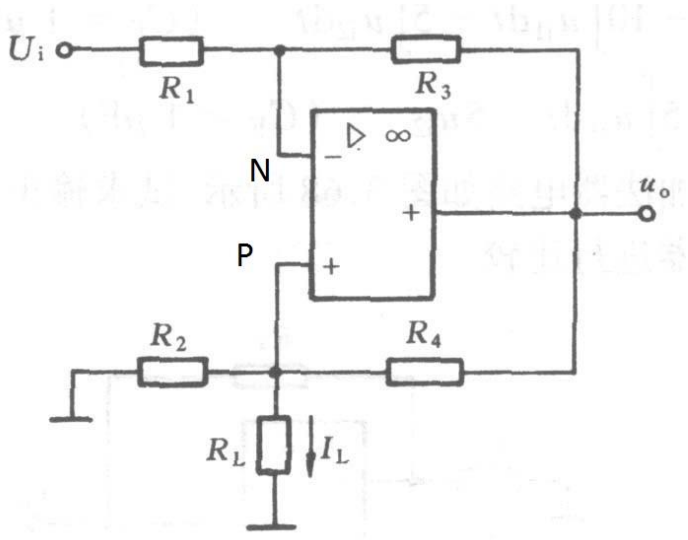
$$R_1 = 0.1k\Omega\,,\quad R_2 = 0.2k\Omega$$

(4)



$\frac{1}{R_1 C_F} = 5$ 得 $R_1 = 0.2k\Omega$

3.15



虚短路得：$u_N = u_P$

虚断路得：$i_{R_1} = i_{R_3}$，$\frac{u_I - u_N}{R_1} = \frac{u_N - u_O}{R_3}$

N 点电位：$u_N = (\frac{u_I}{R_1} + \frac{u_O}{R_3})R_N$，其中 $R_N = R_1 // R_3$

P 点电位：$u_P = \left(\frac{u_O}{R_4} - I_L\right) \cdot (R_2 // R_4)$

由于 N 点与 P 点电位相等得：

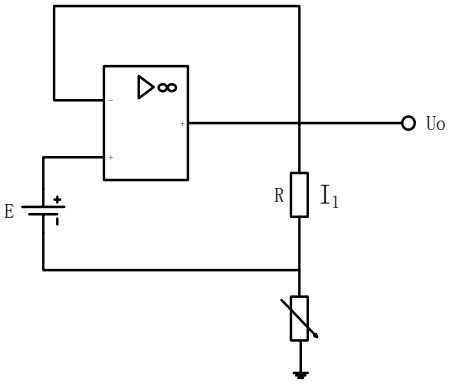
$$\frac{R_3}{R_1+R_3}u_I+\frac{R_1}{R_1+R_3}u_O=\frac{R_2}{R_2+R_4}u_O-I_L\frac{R_2R_4}{R_2+R_4}$$

由于 $\frac{R_3}{R_1}=\frac{R_4}{R_2}$ 得 $\frac{R_3}{R_1+R_3}=\frac{R_4}{R_2+R_4}$ ， $\frac{R_1}{R_1+R_3}=\frac{R_2}{R_2+R_4}$

所以 $I_L=-\frac{u_I}{R_2}$

3.16 解:

$\because U_+=U_-=U_o$,以图中 R 为正方向



$\therefore U_{\mathrm{R}}=U_o-U_1=E$

$\therefore I_R=\frac{U_R}{R}=\frac{E}{R}$

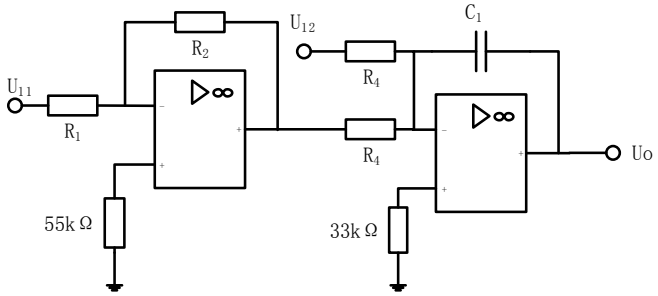
$\because I_1=0A$

$\therefore I_1=I_R+I_1=\frac{E}{R}$

功能可以是一个恒流源

解题思路：利用理想运算放大器的特性 $U_-=U_+$ ， $i_-=i_+=0$ 求出各节点的电压和电流，求出总电流。

3.17 解：



$$U_1=-\frac{R_2}{R_1}U_{11}$$
$$=-\frac{100k\Omega}{100k\Omega}\cdot 1V=-1V$$

$$I_1=\frac{U_{12}}{R_3}+\frac{U_1}{R_4}=\frac{0.5V}{50k\Omega}+\frac{-1V}{100k\Omega}$$
$$=0.01mA+(-0.01mA)=0mA$$

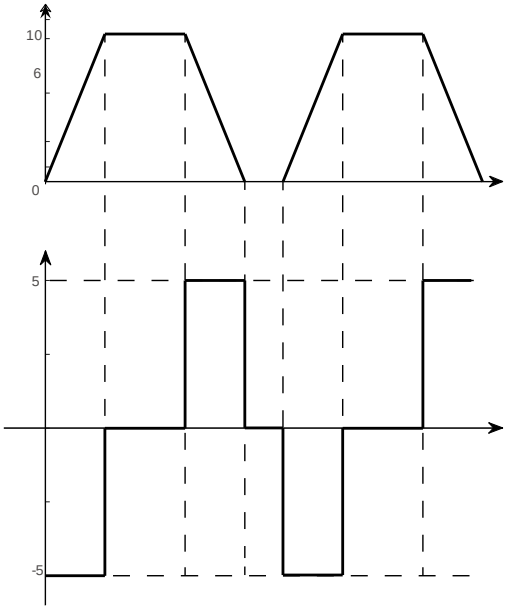
$$U_0=\frac{1}{C_1}\int_{-\infty}^{t}I_1dt=0$$

解题思路：电路分两部分。第一个放大器为反比例放大器，第二个放大器为一个积分器。再利用理想运算放大器的性质，求出通过电容 C 的电流，积分得到 U_0

3.18

解： $U_0=-RC\frac{du_i}{dt}=-1M\Omega\cdot 0.5\mu F\frac{du_i}{dt}=-0.5\frac{du_i}{dt}$

解题思路：利用微分器的 U_0,U_i 的方程，求出 $\frac{du_i}{dt}$ 与 U_0 的线性关系。



3.19

解：$\because U_+ = U_- = U_1$

$\therefore U_2 = U_1$

$\because U_{+2} = U_{-2} = 0V$

$\therefore U_3 = 0$

$\therefore I_3 = \dfrac{\Delta U_3}{R_3} = \dfrac{U_1 - U_3}{R_3} = \dfrac{U_1}{R_3}$

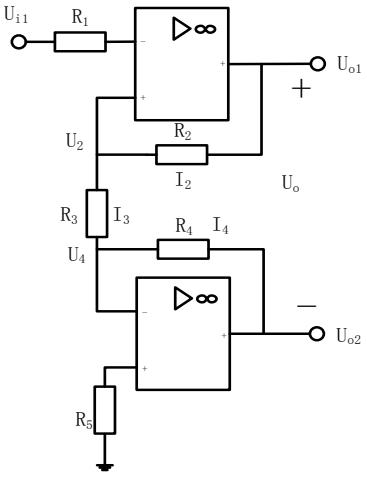
$\because I_{-1} = 0$

$\therefore \Delta U_2 = \dfrac{R_2}{R_3} U_1$

同理，$\Delta U_4 = \dfrac{R_4}{R_3} U_1$

$U_0 = \Delta U_2 + \Delta U_3 + \Delta U_4$

$= \dfrac{R_2 + R_4 + R_3}{R_3} U_1$



解题思路：由理想运算放大器的虚断特性，求的 R_3 两端的电压和电流，再利用虚短特性，求出 R_2, R_4 的电流就可以求出 U_0 .

3.20

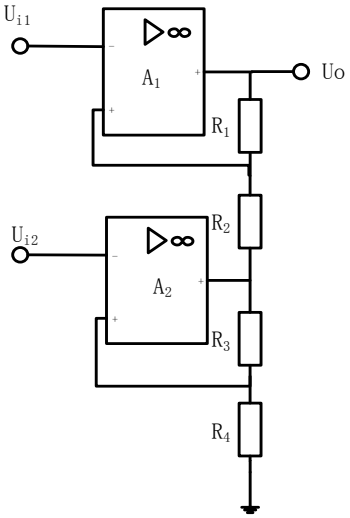
解：(1)$\because A_2$ 组成一个正相比例放大器

$$\therefore U_2=\frac{R_3}{R_4}U_{12}+U_3=(1+\frac{R_3}{R_4})U_{i2}$$

$$I_2=\frac{1}{R_2}(U_{i1}-U_2)=\frac{1}{R_2}[U_{i1}-(1+\frac{R_3}{R_4})U_{i2}]$$

$$U_0=U_{i1}+\frac{R_1}{R_2}[U_{i1}-(1+\frac{R_3}{R_4})U_{i2}]$$

$$=(1+\frac{R_1}{R_2})U_{i1}-(\frac{R_1}{R_2}+\frac{R_3R_1}{R_4R_2})U_{i2}$$



(2)$\because R_1=R_4,R_2=R_3$

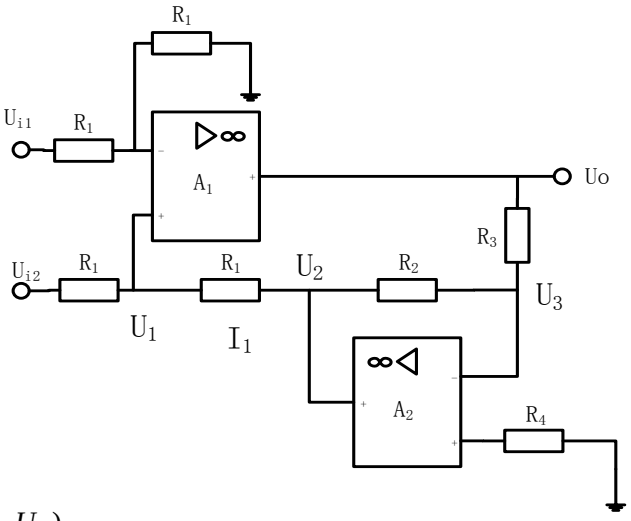
$$\therefore U_0=(1+\frac{R_1}{R_2})U_{i1}-(1+\frac{R_1}{R_2})U_{i2}$$

第二种结构共模抑制能力强。

解题思路：电路分两部分，A_2 组成一个方向比例放大器，可直接计算出输出，A_1 组成一个相减器。

3.21

解：$U_1=U_{+1}=U_{-1}=\frac{R_1}{2R_1}U_{i1}=\frac{1}{2}U_{i1}$



$\because A_2$ 组成一个反相比例放大器

$$\therefore U_2=-\frac{R_2}{R_3}U_0$$

$$I_1=\frac{U_{i2}-U_1}{R_1}=\frac{U_{i2}-\frac{1}{2}U_{i1}}{R_1}$$

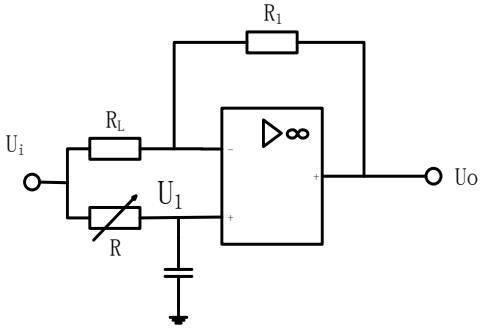
由方程$\frac{U_1-U_2}{R_1}=I_1$ 得

$$\frac{\frac{1}{2}U_{i1}+\frac{R_2}{R_3}U_0}{R_1}=\frac{U_{i2}-\frac{1}{2}U_{i1}}{R_1}\Rightarrow U_0=\frac{R_3}{2R_2}(U_{i2}-U_{i1})$$

解题思路：A_2 组成一个反相比例放大器，由此求出U_2点与U_0 的关系,再由A_1的$U_+=U_-$的关系得到$U_1=U_{i1},U_{i2}$关系，由R_1 电压电流的关系建立方程。

3.22

解：(1)$\because U_+=\frac{\frac{1}{j\omega C}}{R+\frac{1}{j\omega C}}\dot{U}_i=\frac{1}{1+j\omega RC}\dot{U}_i$



$$U_-=\frac{R_1}{2R_1}(\dot{U}_i-\dot{U}_0)=\frac{1}{2}(\dot{U}_i-\dot{U}_0)$$

根据理想变压器的性质$U_+=U_-$

$$\frac{1}{1+j\omega RC}\dot{U}_i=\frac{1}{2}(\dot{U}_i-\dot{U}_0)\Rightarrow A_f=\frac{\dot{U}_0}{\dot{U}_i}=\frac{1-j\omega RC}{1+j\omega RC}$$

(2) $$A_f=\frac{(1-j\omega RC)^2}{(1+j\omega RC)(1-j\omega RC)}=\frac{1-(\omega RC)^2-2j\omega RC}{1+(\omega RC)^2}$$

$$=[1+2(\omega RC)^2]\angle\arctan\frac{2}{\omega RC}$$

(3) R=0 ~ R

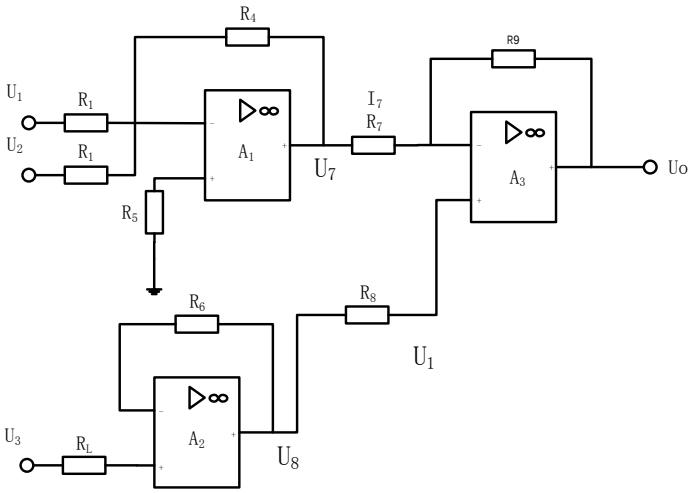
$\therefore R\to 0_+$时，$\phi=0$

$R\to\dfrac{1}{\omega C_+}$ 时，$\phi=90^\circ$

$R\to\dfrac{1}{\omega C_-}$ 时，$\phi=-90^\circ$

解题思路：

3.23



解：$\because i_-=i_+=0$

$\therefore U_8=U_-=U_+=U_3$

A_1 组成加法器

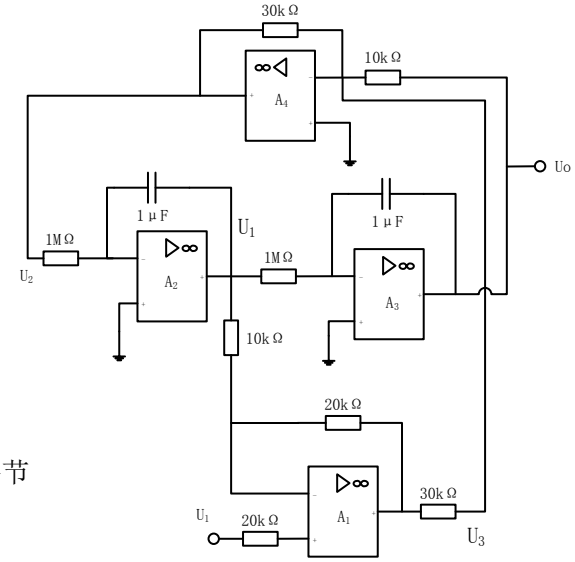
$$U_7=-\frac{R_4}{R_1}\dot{U}_1-\frac{R_4}{R_2}U_2$$

$$U_+=U_8$$

$$\therefore U_0=U_8-R_9\frac{U_7-U_8}{R_7}=U_3+\frac{R_9}{R_7}(\frac{R_4}{R_1}U_1+\frac{R_4}{R_2}U_2+U_3)$$

解题思路：

3.24



解：$\because A_1$，A_4 是一个加法器，A_2,A_3 为积分器

$\therefore$ 得方程组

$$\begin{cases}U_0=-\int u_1dt\\U_1=-\int u_2dt\\U_2=-3U_0-U_i\\U_3=-2U_1-U_i\end{cases}$$

$$U_i=\ddot{U}_0-2\dot{U}_0+3U_0$$

解题思路：将电路分成四部分，然后分别求出各节点的电压，列出方程，解出U_i,U_0 关系

3.25

解：$U_i < U_R$ 时，A 的输出上限电压，$U_1 > 0$

VD 反向导通，U_{0_1} 在一个稳定的电压

VT 导通，报警指示灯亮，

$U_i > U_R$ 时，A 输出下限电压，$U_1 < 0$

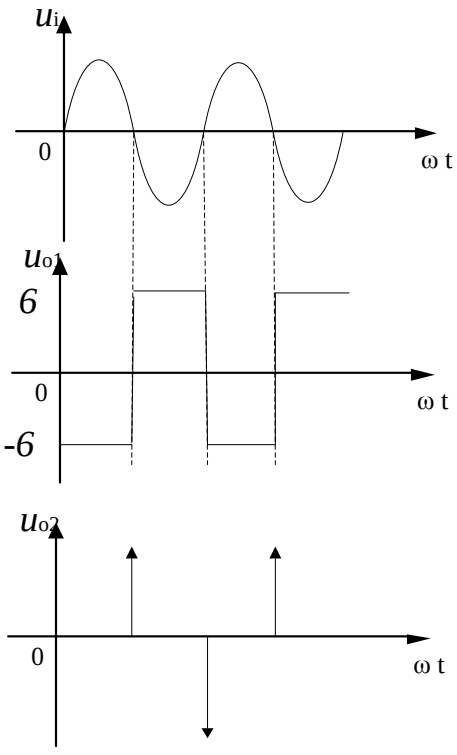
$U_{o_1} = -0.7\text{V}$

VT 不导通，不亮

VD 恒压，R_3 作用是限流电阻

3.26

解：A_1 是个反向放大器，因为 VD_Z 的存在，所以 U_{O1} 为幅值正负 6V 的方波，A_2 是一个微分电路，在 U_{O1} 幅值发生翻转时候产生尖脉冲。图如下所示：

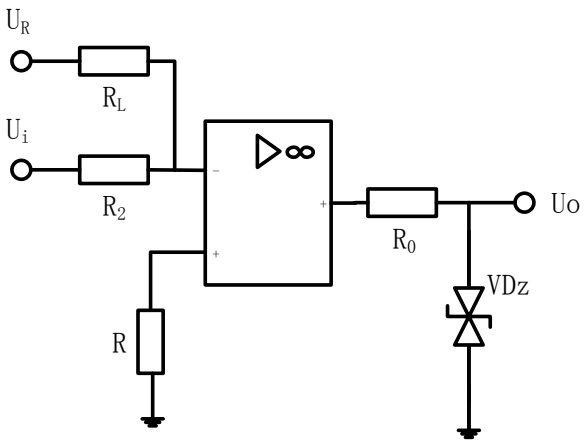


3.27

解：
$$U_+ = U_i + \frac{U_R - U_i}{R_1 + R_2} R_2$$
$$= \frac{R_2 U_R - R_1 U_i}{R_1 + R_2}$$

$\therefore R_2 U_R - R_1 U_i > 0$

$U_i < \frac{R_2}{R_1} U_R, U_0 = -6.7V$



$\therefore R_2U_R - R_1U_i < 0$

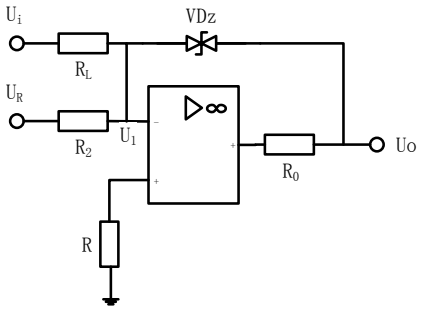
$U_i > \dfrac{R_2}{R_1}U_R, U_0 = 6.7V$

$$U_0 = \begin{cases} +6.7V & U_i > \dfrac{R_2}{R_1}U_R \\ -6.7V & U_i < \dfrac{R_2}{R_1}U_R \end{cases}$$

3.28

解：由叠加定理的

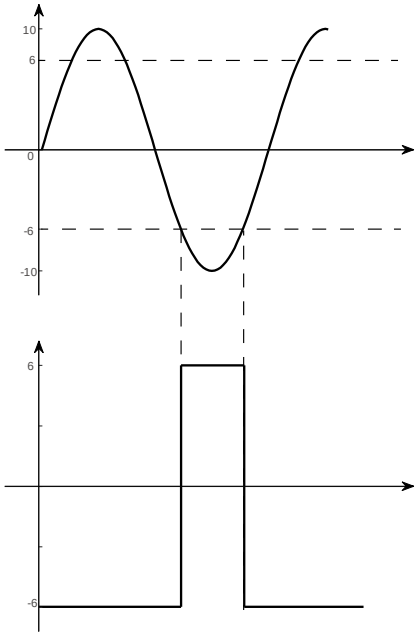
$$U_1 = \frac{R_1}{R_1+R_2}U_i + \frac{R_2}{R_1+R_2}U_R$$
$$= \frac{1}{2}U_i + \frac{1}{2}\times 6$$



令 $U_1 = 0 \Rightarrow U_i = -6V$

∴ 门限电压为 U_T -6V

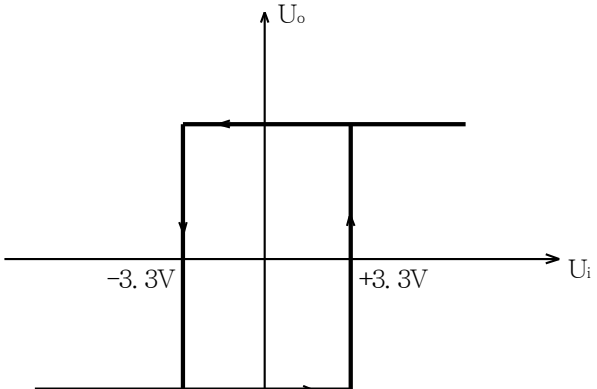
$U_H = 6V, U_L = -6V$



3.29

解：上门限：

$$U_{TH1} = \frac{R_f}{R_2+R_f}U_R + \frac{R_2}{R_2+R_f}U_Z$$
$$= \frac{4}{3} + \frac{6}{3} = \frac{10}{3}V$$



下门限：

$$U_{TH2}=\frac{R_2}{R_2+R_f}U_R-\frac{R_f}{R_2+R_f}U_Z$$

$$=\frac{2}{3}+(-\frac{12}{3})=-\frac{10}{3}V$$

3.30

解：当$U_Z=6V$ 时

$U_3=U_Z=6V$

$$I_3=\frac{U_3}{R_3}=\frac{U_Z}{R_3}$$

$$U_H=(R_2+R_3)\frac{U_3}{R_3}$$

$$=1.5\times 6V=9V$$

同理$U_H=9V$

当$U_H=9V$ 时，

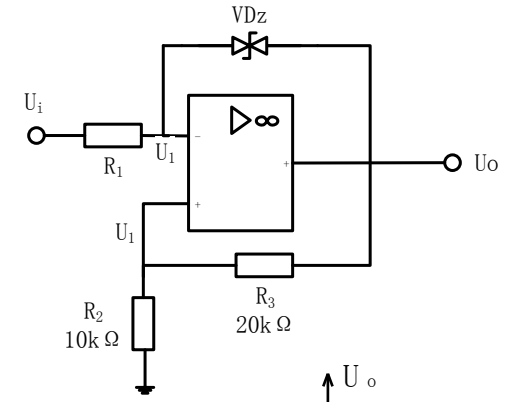
$U_1=3V=U_{TH}$

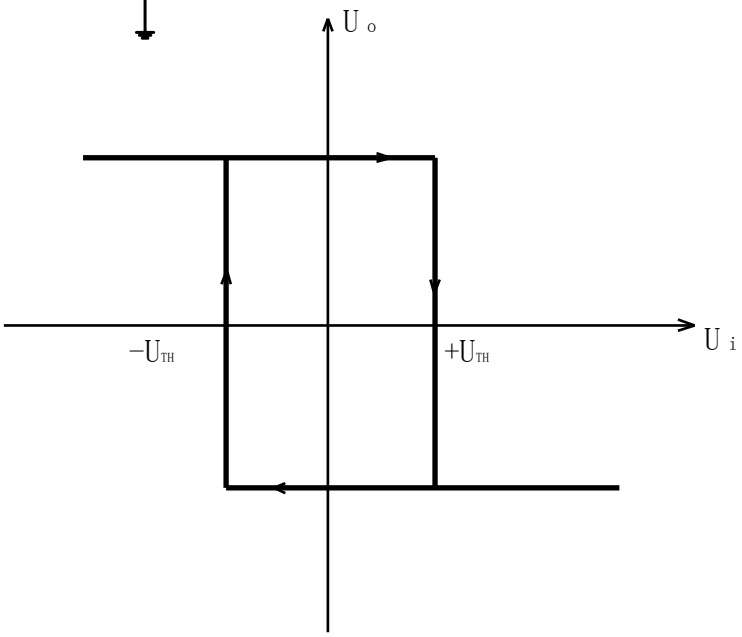
∴ 上门限电压为 3V

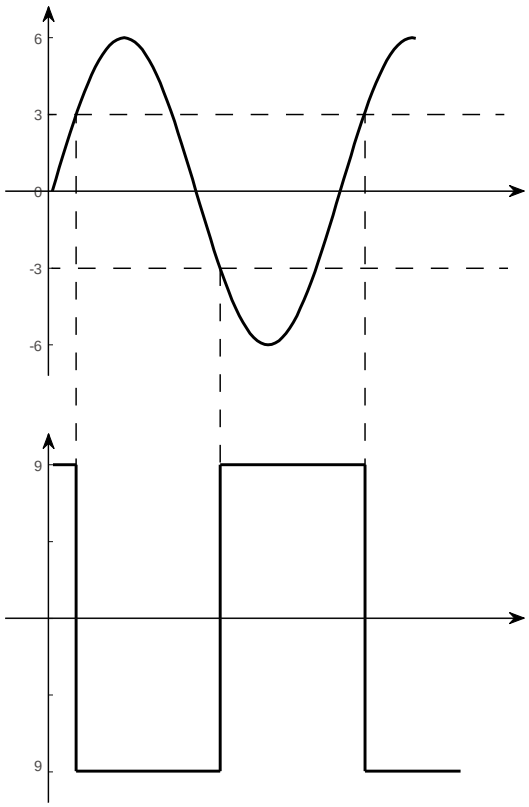
当$U_L=9V$ 时

$U_1=-3V=U_{TL}$

∴ 下门限电压为-3V







习题 4

4.1 分析单相全波整流电路可得：

变压器二次电流的有效值 $I=\sqrt{\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi}\left(I_m\sin\omega t\right)^2 d\omega t}=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$

输出平均电流 $I_o=\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi}I_m\sin\omega t d\omega t=\frac{2I_m}{\pi}$

由上两式可得：$\frac{I}{I_o}=\frac{\frac{I_m}{\sqrt{2}}}{\frac{2I_m}{\pi}}=\frac{\pi}{2\sqrt{2}}=1.11$

4.2 （1）无滤波电容时，负载整流电路的平均值

$U_o=\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi}\sqrt{2}U\sin\omega t d\omega t=\frac{2\sqrt{2}U}{\pi}=0.9U$

有滤波电容时，输出电压的平均值

$U_o=1.2U$

（2）无滤波电容时，截止二极管两端所承受的最高反向电压

$U_{DRM}=2\sqrt{2}U$

有滤波电容时，截止二极管两端所承受的最高反向电压

$U_{DRM}=2\sqrt{2}U$

（3）VD_1 虚焊则电路的整流部分为半波整流电路，当滤波电容足够大，半波整流电容滤波的输出电压为 U，故 U_o 通常大于正常值的一半。

（4）不能正常工作。电压为正半周时，VD_1 和 VD_2 都截止，无电压输出，当为负半周时，VD_1 和 VD_2 同时导通，变压器二次绕组被断路，二极管或者变压器被烧坏。

（5）电源为负半周时，变压器二次绕组被断路，二极管或者变压器被烧坏。

（6）无论电源在正半周还是负半周，变压器的二次绕组都被短路，二极管或者变压器被烧毁。

（7）电路正常工作。不同的是输出电压极性为“上负下正”。由于电路采用电容滤波。

4.3 根据电容滤波电路的输出电压 U_o 与变压器二次侧电压 U_2 的关系式是否满足 $U_o=1.2U_2$，即可判断电路是否工作正常。

（1）$U_o=28V$，即 $U_o=\sqrt{2}U_2$，此时，桥式整流电容滤波电路空载，即电路中负载 R_L 开路。

（2）$U_o=18V$，即 $U_o=0.9U_2$，此时为无电容滤波的桥式整流电路，即电路中滤波电容 C 开路。

（3）$U_o=24V$，即 $U_o=1.2U_2$，此时为有电容滤波的桥式整流电路，电路工作正常。

（4）$U_o=9V$，即 $U_o=0.45U_2$，此时为无电容滤波的单相半波整流电路，即电路中有 $1\sim3$ 个二极管和滤波电容同时开路。

4.4 分析电路可知，VD_1 与 R_{L1} 构成的是单相半波整流电路，VD_2、VD_3 与 R_{L2} 构成的是单相全波整流电路，令变压器二次侧电压分别为 U_1、U_2、U_3。

（1）$U_{o1}=-\dfrac{1}{2\pi}\int_0^{\pi}\sqrt{2}U_1\sin\omega td\omega t=-\dfrac{\sqrt{2}U_1}{\pi}=-0.45U_1=-0.45\times100V=-45V$，方向为上负下正。

$U_{o2}=\dfrac{1}{\pi}\int_0^{\pi}\sqrt{2}U_2\sin\omega td\omega t=\dfrac{2\sqrt{2}U_2}{\pi}=0.9U_2=0.9\times10V=9V$，方向为上正下负。

（2）对于 VD_1 与 R_{L1} 构成的单相半波整流电路，二极管只导通半周，导通角为 π，因而通过二极管的电流平均值即为负载电流，即有

$$I_{VD_1}=I_{R_{L1}}=\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi}\frac{\sqrt{2}U_1}{R_{L1}}\sin\omega td\omega t=\frac{\sqrt{2}U_1}{\pi R_{L1}}=\frac{\sqrt{2}\times 100V}{\pi\times 10k\Omega}=4.5mA$$

二极管VD_1在截止时承受的反向电压为U_1的最大值即$U_{DRM}=\sqrt{2}U_1=141V$

对于单相全波整流电路，VD_2与VD_3各导通半周，导通角为π，因而通过每个二极管的电流平均值为负载电流的一半，即有

$$I_{VD_2}=I_{VD_3}=\frac{1}{2}I_{R_{L2}}=\frac{1}{2}\times\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi}\frac{\sqrt{2}U_2}{R_{L2}}\sin\omega td\omega t=\frac{\sqrt{2}U_2}{\pi R_{L2}}=\frac{\sqrt{2}\times 10V}{\pi\times 100\Omega}=45mA$$

二极管VD_2与VD_3在截止时承受的反向电压为U_2的最大值即$U_{DRM}=2\sqrt{2}U_2=28.2V$

4.5 分析电路可知：

在u_1正半周，u_{21}、VD_1与R_1构成整流电路，u_{22}、VD_3与R_2构成整流电路；

在u_1负半周，u_{22}、VD_2与R_1构成整流电路，u_{21}、VD_4与R_2构成整流电路。

（1）$U_{01}=U_{02}=\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi}\sqrt{2}U_{21}\sin\omega td\omega t+\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi}\sqrt{2}U_{22}\sin\omega td\omega t=0.45\left(U_{21}+U_{22}\right)$

（2）每个二极管承受的最大反向电压$U_{DRM}=\sqrt{2}\left(U_{21}+U_{22}\right)$

二极管VD_1仅在u_{21}的正半周工作，且与负载R_1构成整流电路，则有

$$I_{VD_1}=\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi}\frac{\sqrt{2}U_{21}}{R_1}\sin\omega td\omega t=\frac{\sqrt{2}U_{21}}{\pi R_1}=0.45\frac{U_{21}}{R_1}$$

二极管VD_2仅在u_{22}的负半周工作，且与负载R_1构成整流电路，则有

$$I_{VD_2}=\frac{1}{2\pi}\int_{\pi}^{2\pi}\frac{\sqrt{2}U_{22}}{R_1}\sin\omega td\omega t=\frac{\sqrt{2}U_{22}}{\pi R_1}=0.45\frac{U_{22}}{R_1}$$

二极管VD_3仅在u_{22}的正半周工作，且与负载R_2构成整流电路，则有

$$I_{VD_3}=\frac{1}{2\pi}\int_0^{\pi}\frac{\sqrt{2}U_{22}}{R_2}\sin\omega td\omega t=\frac{\sqrt{2}U_{22}}{\pi R_2}=0.45\frac{U_{22}}{R_2}$$

二极管VD_4仅在u_{21}的负半周工作，且与负载R_2构成整流电路，则有

$$I_{VD_4}=\frac{1}{2\pi}\int_{\pi}^{2\pi}\frac{\sqrt{2}U_{21}}{R_2}\sin\omega td\omega t=\frac{\sqrt{2}U_{21}}{\pi R_2}=0.45\frac{U_{21}}{R_2}$$

综上所述，每个二极管承受的最大反向电压相等，通过的平均电流是否相等取决于U_{21}与

U_{22}、R_1与R_2是否相等。

（3）负载电流 $I_{01}=\dfrac{U_{01}}{R_1}=0.45\dfrac{U_{21}+U_{22}}{R_1}$

负载电流 $I_{02}=\dfrac{U_{02}}{R_2}=0.45\dfrac{U_{21}+U_{22}}{R_2}$

公共地线中的电流 $I_N=I_{01}-I_{02}=0.45\left(U_{21}+U_{22}\right)\left(\dfrac{1}{R_1}-\dfrac{1}{R_2}\right)$

由上两式可知，负载电流I_{01}和I_{02}是否相等取决于R_1与R_2是否相等，同理，公共地线中的电流I_N是否等于零也取决于R_1与R_2是否相等。

4.6 假设稳压管正常工作，即能使输出电压稳定，则分析电路可知，应满足关系式：

$$I=I_Z+I_0$$

即有

$$\frac{U_I-U_Z}{R}=I_Z+\frac{U_Z}{R_L}$$

上式中，$U_I=\left(24\sim30\right)V$，$I_{Z\min}\le I_Z\le I_{Z\max}$，上式经变形后有：$I_Z=\dfrac{U_I-U_Z}{R}-\dfrac{U_Z}{R_L}$

代入各已知数据可得：$5mA\le\dfrac{\left(24\sim30\right)V-12V}{1.2k\Omega}-\dfrac{12}{R_L}\le19mA$

分析上式可知，当$U_I=30V$时，稳压管的最大电流$I_Z=15mA\le I_{Z\max}=19mA$，上式中，右边的不等式关系恒成立。

当$U_I=24V$时，要使得稳压管的最小电流$I_Z=10-\dfrac{12}{R_L}\ge I_{Z\min}=5mA$，则$R_L\ge2.4k\Omega$。

综上所述：（1）如果负载电阻R_{L}在$3\mathrm{k}\Omega\sim\infty$之间变化，输出电压能稳定。

（2）如果$R_{\mathrm{L}}\le2\mathrm{k}\Omega$，输出电压不能稳定。

4.7 分析该串联型稳压电路可得：

三极管VT_1的基极电位$V_{B1}=-6V+U_{BE}=-6.2V$

通过调节该基极电极的位置即可调节电路的输出电压。由此可知：

（1）当基极电极的位置在最上面位置时

$$V_0=\frac{50\Omega+560\Omega+750\Omega}{560\Omega+750\Omega}V_{B1}=-6.44V$$

当基极电极的位置在最下面位置时

$$V_0=\frac{50\Omega+560\Omega+750\Omega}{750\Omega}V_{B1}=-11.24V$$

该电路的输出电压范围为$(-6.44\sim-11.24)V$

（2）当基极电极的位置在中点位置时

$$V_0=\frac{50\Omega+560\Omega+750\Omega}{280\Omega+750\Omega}V_{B1}=-8.19V$$

$$V_{B1}=-6.2V$$

$$V_{C1}=U_0+U_{BE2}+U_{BE3}=-8.19V-0.2V-0.2V=-8.59V$$

（3）分析电路可知，当负载电阻R_L减小时，输出电压U_O减小， 这使得放大管VT_1的静态工作点发生偏移，由三极管的输出特性曲线及负载线可知，静态工作点由线性区向截至区偏移，此时，放大管VT_1的集电极电流减小，又因V_{C1}电位不变（题目要求在（2）的基础上），即流经R_C的电流保持不变，则可知，调整管VT_2、VT_3电流增大。

当负载电阻R_L减小到一定值时，输出电压U_O减小至最低，此时，放大管VT_1的静态工作点偏移至截至区时，电路不能实现稳压功能。处于截止区的放大管VT_1的集电极相当于断开，则流经R_C的电流全部由VT_2、VT_3构成的达林顿结构的电路提供。

分析电路可知：

流经R_C的电流$I_{R_C}=\frac{V_{C1}-U_I}{R_C}=\frac{(-8.59)V-(-24)V}{6.2\text{k}\Omega}=2.49mA$

调整管VT_2的发射极的电流$I_{E2}=(1+\beta_2)(1+\beta_3)I_{R_C}=21\times51\times2.49mA=2.66A$

流经R的电流$I_R=\frac{U_Z-U_O}{R_C}=\frac{(-6)V-(-8.19)V}{620\Omega}=3.53mA$

流经R_1、R_2支路的电流$I_{R1}=\frac{-U_O}{R_1+R_2}=\frac{-(-8.19)V}{(50+560+750)\Omega}=6.02mA$

由上述的计算结果可知，$I_L\approx I_{E_2}=2.66A$。即当I_L增大到$2.66A$，电路不能稳压。

（4）稳压电路输出电压U_O不能趋向无穷大，因为要使得稳压管正常工作，其稳定电流$I<I_{Z\max}$。当VT_2出现饱和导通时，U_O达到最大值且最大值为$U_I=-24V$。

4.8 （1）分析电路可知，要实现运放组成的串联型稳压电路的功能，应使得运算放大器的输

出信号在线性范围内，则必须在输出端与反相输入端之间接入电路元件构成负反馈，再根据三极管的电流方向可知，由运放、VT 及 R_1 构成的电路即为负反馈回路。由此，可以判断，该运放的上端为反相输入端，下端为同相输入端。

（2）该稳压电路的分析主要涉及运算放大器的“虚短”概念，即 $u_+ = u_-$ 。

分析电路可知，$u_+ = \dfrac{R_4}{R_3 + R_4} U_Z$，$u_- = \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} U_o$

令上面两式相等，即

$$\frac{R_4}{R_3 + R_4} U_Z = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_o$$

得到：

$$U_o = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot U_Z$$

当 $R_4 = 2k\Omega$、$R_3 = 3k\Omega$、$R_1 = 5k\Omega$、$R_2 = 10k\Omega$，$U_{o\max} = 3.6V$ 。

当 $R_4 = 3k\Omega$、$R_3 = 2k\Omega$、$R_1 = 6k\Omega$、$R_2 = 9k\Omega$，$U_{o\max} = 6V$ 。

输出电压 U_O 的调节范围为 $(3.6 \sim 6)V$ 。

4.9 由三端集成稳压器的工作原理可知：电阻 R 两端的电压 $U_R = 5V$ 。

因此，负载 R_L 上的电流 $I_O = I_W + \dfrac{U_R}{R} = 4.5mA + \dfrac{5V}{100\Omega} = 54.5mA$

负载 R_L 上的电流 $U_{R_L} = I_O R_L = 54.5mA \times 200\Omega = 10.9V$

输出电压 $U_O = U_R + U_{R_L} = 5V + 10.9V = 15.9V$

4.10 （1）整流滤波后的电压 $U_I = 15V$，因电网电压波动 $\pm 10\%$，则 U_I 的电压范围为 $(13.5 \sim 16.5)V$ 。对 R、VD_Z、R_1 组成的电路部分进行分析可知，流过限流电阻 R 的电流 $I_R = \dfrac{U_I - U_Z}{R}$，则流过稳压管 VD_Z 的电流 $I_{VD_Z} = I_R - \dfrac{U_Z}{R_1}$ 。

又已知稳压管的允许电流为 $(5 \sim 40)mA$，则有：

$$I_{Z\min} \le \frac{U_I - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_1} \le I_{Z\max}$$

代入已知数据可得：$5mA \le \dfrac{(13.5 \sim 16.5)V - 5V}{R} - \dfrac{5V}{10k\Omega} \le 40mA$

解得：$(209.9\sim284)\Omega\le R\le(1.55k\sim2.09k)\Omega$

对于电网电压的波动，可知限流电阻 R 的取值范围为$(284\sim1.55k)\Omega$。

（2）假设电路下方接地参考。

当三端集成稳压器 7805 的引脚 3 所接电位器移至最上方时，引脚 3 的电位$V_3=U_Z=5V$，

又$U_{23}=+5V$，因此$U_O=U_{20}=U_{23}+U_{30}=5V+5V=10V$。

当三端集成稳压器 7805 的引脚 3 所接电位器移至最下方时，引脚 3 的电位$V_3=0$，则

$U_O=U_{20}=U_{23}+U_{30}=5V+0=5V$。

因此输出电压U_O的调整范围为$(5\sim10)V$。

（3）当电网电压波动 $+10\%$ 时，$U_{I\max}=(1+10\%)U_I=16.5\text{V}$。

$U_{12\max}=V_{1\max}-V_{2\min}=U_{I\max}-U_{O\min}=16.5V-5V=11.5V$

三端稳压器的最大功耗$P_{\max}=U_{12\max}I_{O\max}=11.5V\times1A=11.5W$。

4.11 根据电阻性负载的单相半波可控整流电路的工作原理，

U_O与α之间的关系为

$$U_O=\frac{1}{2\pi}\int_\alpha^\pi\sqrt{2}U\sin\omega td\omega t=\frac{\sqrt{2}}{2\pi}U(1+\cos\alpha)=0.45U\frac{1+\cos\alpha}{2}$$

负载电流的平均值为

$$I_O=\frac{U_O}{R_L}=0.45\frac{U}{R_L}\frac{1+\cos\alpha}{2}$$

流过晶闸管的电流有效值为

$$I_t=\sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_\alpha^\pi\left(\frac{\sqrt{2}U}{R_L}\sin\omega t\right)^2d\omega t}=\frac{U}{R_L}\sqrt{\frac{1}{4\pi}\sin2\alpha+\frac{\pi-\alpha}{2\pi}}$$

又导通角与控制角的关系式为$\theta+\alpha=\pi$

已知$U_O=50V$， $I_O=30A$，$U=220V$，联立以上各式，并代入已知数据，可得：

导通角$\theta=90.58°$，流过晶闸管的电流有效值$I_t=66.42A$。

选取晶闸管时，一般取额定电压为正常工作时晶闸管所承受峰值电压的$2\sim3$倍，即

$$U_N=(2\sim3)U_m=(2\sim3)\times\sqrt{2}\times220V=(622.25\sim933.28)V$$

额定正向平均电流一般取计算结果的$1.5\sim2$倍，即

$$I_F=(1.5\sim 2)\frac{I_t}{1.57}=(63.46\sim 84.62)A$$

4.12 根据电阻性负载的单相半控桥式整流电路的工作原理，

U_O与α之间的关系为

$$U_O=\frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi}\sqrt{2}U\sin\omega t d\omega t=\frac{\sqrt{2}}{\pi}U(1+\cos\alpha)=0.9U\frac{1+\cos\alpha}{2}$$

负载电流的有效值为

$$I_2=\sqrt{\frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi}\left(\frac{\sqrt{2}U}{R_L}\sin\omega t\right)^2 d\omega t}=\frac{U}{R_L}\sqrt{\frac{1}{2\pi}\sin 2\alpha+\frac{\pi-\alpha}{\pi}}$$

流过每个晶闸管的电流的有效值为

$$I_t=\sqrt{\frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi}\left(\frac{\sqrt{2}U}{R_L}\sin\omega t\right)^2 d\omega t}=\frac{U}{\sqrt{2}R_L}\sqrt{\frac{1}{2\pi}\sin 2\alpha+\frac{\pi-\alpha}{\pi}}=\frac{1}{\sqrt{2}}I_2$$

又导通角与控制角的关系式为$\theta+\alpha=\pi$

联立以上各式，并代入已知数据，可得：

晶闸管的导通角$\theta=66.80°$，负载电流$I_2=10A$，晶闸管电流的有效值$I_t=13.11A$。

选取晶闸管时，一般取额定电压为正常工作时晶闸管所承受峰值电压的$2\sim 3$倍，即

$$U_N=(2\sim 3)U_m=(2\sim 3)\times\sqrt{2}\times 220V=(622.25\sim 933.28)V$$

额定正向平均电流一般取计算结果的$1.5\sim 2$倍，即

$$I_F=(1.5\sim 2)\frac{I_t}{1.57}=(12.53\sim 16.70)A$$

4.13 分析电路可知，

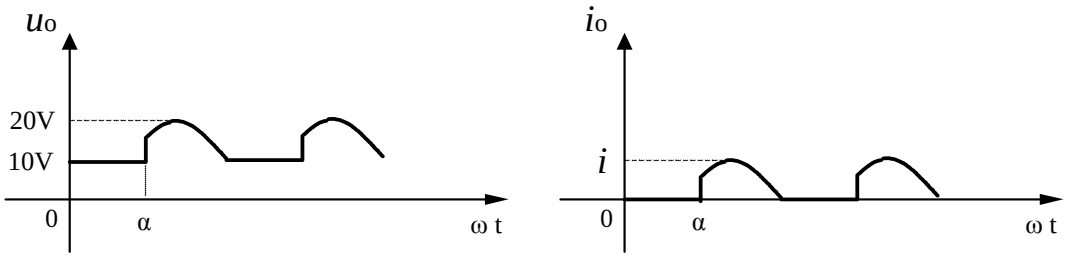
当$|u|>E$且VT_1控制极触发信号给定，则输出电压$u_o=|u|-E$

输出电流$i_o=\dfrac{|u|-E}{R_L}$

当$|u|<E$时，无论VT_1控制极触发信号是否已给定，输出电压$u_o=E$

输出电流$i_o=0$

在信号u的正半周，VT_1与VD_2构成整流电路；在信号u的负半周，VT_2与VD_1构成整流电路。



习题 5

5.1

$1011: 2^0+2^1+2^3=11$

$11001: 2^0+2^3+2^4=25$

$101101: 2^0+2^2+2^3+2^5=45$

$1000101: 2^0+2^2+2^6=69$

5.2

利用长除法求解

$$
\begin{array}{r|l}
2 & 35 \quad \cdots\cdots\ 1 \\
2 & 17 \quad \cdots\cdots\ 1 \\
2 & 8 \quad \cdots\cdots\ 0 \\
2 & 4 \quad \cdots\cdots\ 0 \\
2 & 2 \quad \cdots\cdots\ 0 \\
 & 1
\end{array}
$$

$\therefore 35=100011$

同理 $742=1011100110$， $264=100001000$， $146=10010010$。

5.3

$0111\vdots1001=79$

$1000\vdots0101\vdots1000=858$

$0011\vdots0110=36$

5.4

$(1)\ U_{BE}=0\text{V}\Rightarrow U_B=0\text{V}$

$$\frac{U_{IL(min)}-U_B}{R_K}=\frac{U_B+12\text{V}}{R_B}\Rightarrow U_{IL(min)}=3\text{V}$$

$(2)\ U_{BE}=0.7\text{V}\Rightarrow U_B=0.7\text{V}$

$$\frac{12\text{V}-U_{CES}}{R_C}=\beta\left(\frac{U_{IH(max)}-U_B}{R_K}-\frac{U_B+12\text{V}}{R_B}\right)\Rightarrow U_{IH(max)}=5.63\text{V}$$

5.5

TTL 门实际使用过程中有多余的输入端不用时，一般不应悬空，以防外界干扰信号侵入。与非门有多余输入端时应采取以下几种处理方法：（1）将其经$1\sim3\text{k}\Omega$的电阻接至正电源端；（2）接高电平；（3）与其他信号输入端并接使用。或非门的多余输入端应接低电平或接地。

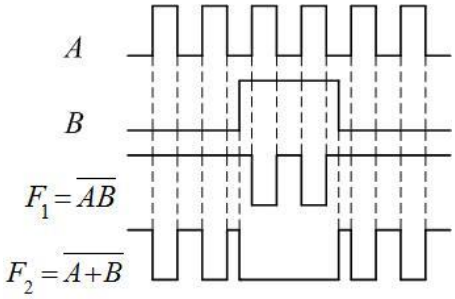
5.6

正逻辑下与门$F=AB$，负逻辑下有$\overline{F}=\overline{AB}=\overline{A}+\overline{B}$，表示或门的逻辑关系；

正逻辑下或门$F=A+B$，负逻辑下有$\overline{F}=\overline{A+B}=\overline{A}\,\overline{B}$，表示与门的逻辑关系；

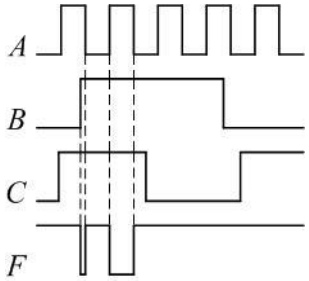
正逻辑下非门$F=\overline{A}$，负逻辑下有$\overline{F}=\overline{\overline{A}}$，表示非门的逻辑关系。

5.7

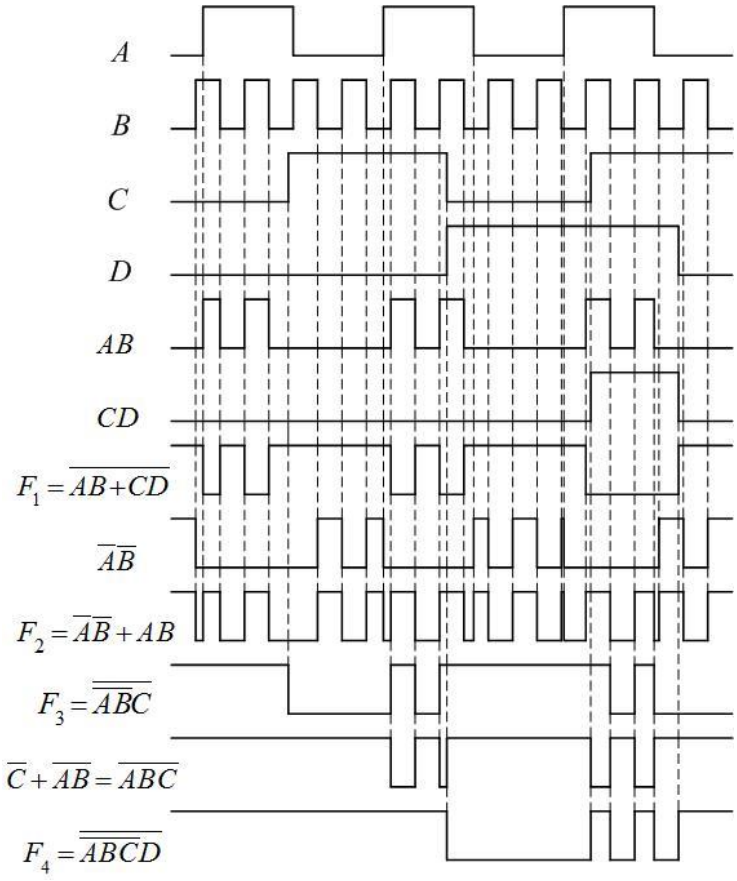


5.8

$$\begin{aligned}F&=\overline{AB\times BC}\\&=\overline{AB}+\overline{BC}\\&=\overline{A}+\overline{B}+\overline{C}\end{aligned}$$



5.9



5.10

(1)逻辑电路为与非门，输入全为高电平，输出 F_1 为低电平；

(2)逻辑电路为与非门，输入有低电平 $\left(R<0.7\text{k}\Omega\right)$ 存在，输出 F_2 为高电平；

(3)逻辑电路为低电平有效三态门，使能端输入为高电平，输出 F_3 呈高组态；

(4)逻辑电路为高电平有效三态门，使能端输入为低电平，输出 F_4 呈高组态；

(5)逻辑电路为或非门，输入有高电平 $\left(R>2\text{k}\Omega\right)$ 存在，输出 F_5 为低电平；

(6)逻辑电路为或非门，输入有高电平存在，输出 F_6 为低电平；

(7)逻辑电路为与非门，输入全为高电平，输出 F_7 为低电平；

(8)逻辑电路为与或非门，由给定的两输入端信息，可知第一级与门中必有至少一个高电平输出到第二级的或非门中，因而使或非门输入存在高电平，输出 F_8 为低电平。

5.11

(1)逻辑电路为与非门，输入有低电平存在，输出 F_1 为高电平；

(2)逻辑电路为或非门，输入有高电平存在，输出 F_2 为低电平；

(3)逻辑电路为与或非门，第一级输入为一对高电平和一对低电平，可知第二级或非门输入有高电平存在，输出 F_3 为低电平；

(4)逻辑电路为 OD 门，实现“线与”逻辑，输出在所有 OD 门输出都为高电平时为高电平，显然题目情况中并不满足，故输出 F_4 为低电平。

5.12

依据题意有 $U_{\mathrm{NH}}=U_{\mathrm{OH}}-U_{\mathrm{ON}}=2.6\mathrm{V}-1.8\mathrm{V}=0.8\mathrm{V}$

$$U_{\mathrm{NL}}=U_{\mathrm{OFF}}-U_{\mathrm{OL}}=0.9\mathrm{V}-0.4\mathrm{V}=0.5\mathrm{V}$$

$$N=\min\left[\left\lfloor\frac{I_{\mathrm{OL(max)}}}{I_{\mathrm{IL}}}\right\rfloor,\left\lfloor\frac{I_{\mathrm{OH(max)}}}{I_{\mathrm{IH}}}\right\rfloor\right]=\min\left[\left\lfloor\frac{10\mathrm{m}A}{1\mathrm{m}A}\right\rfloor,\left\lfloor\frac{1\mathrm{m}A}{80\mu A}\right\rfloor\right]=\min[10,13]=10$$

5.13

记电压表读数为 U_1

(1) $U_{\mathrm{A}}=0.3\mathrm{V}$ 时，即使能端 $\overline{EN}=0$，G_1 为正常的 与非门工作状态，输入都是低电平，输出高电平，即 $U_1=3.6\mathrm{V}$，开关 S 断开，G_2 的两输入端均为电平，故输出 $U_{\mathrm{O}}=0.3\mathrm{V}$；

(2) $U_{\mathrm{A}}=0.3\mathrm{V}$ 时，即使能端 $\overline{EN}=0$，G_1 为正常的与非门工作状态，输入都是低电平，输出高电平，即 $U_1=3.6\mathrm{V}$，开关 S 闭合，G_2 的两输入端均为高电平，故输出 $U_{\mathrm{O}}=0.3\mathrm{V}$；

(3) $U_{\mathrm{A}}=3.6\mathrm{V}$ 时，即使能端 $\overline{EN}=1$，G_1 呈高组态，电压表无读数，即 $U_1=0\mathrm{V}$，开关 S 断开，G_2 的两输入端均为低电平，故输出 $U_{\mathrm{O}}=0.3\mathrm{V}$；

(4) $U_{\mathrm{A}}=3.6\mathrm{V}$ 时，即使能端 $\overline{EN}=1$，G_1 呈高组态，对电路其余部分无影响，开关 S 闭合，G_2 的两输入端均为高电平，故输出 $U_{\mathrm{O}}=0.3\mathrm{V}$，$\mathrm{G}_2$ 中 $\mathrm{VT}_2,\mathrm{VT}_5$ 导通，VT_1 的基级电位 U_{B1} 被钳位在 $2.1\mathrm{V}$，$U_{\mathrm{BE1}}=0.7\mathrm{V}$，$\therefore U_1=2.1-0.7=1.4\mathrm{V}$。

5.14

(1) $F = \overline{A}\overline{B} + A\overline{B} + \overline{A}B + AB$

$= \left(\overline{A} + A\right)\overline{B} + \left(\overline{A} + A\right)B$

$= \overline{B} + B$

$= 1$

(2) $F = AB + \overline{A}B\overline{C} + \overline{A}BC$

$= AB + \overline{A}B\left(\overline{C} + C\right)$

$= \left(A + \overline{A}\right)B$

$= B$

(3) $F = \left(A + AB\right)\left(\overline{A} + \overline{A}B\right)$

$= A\overline{A}$

$= 0$

(4) $F = ABC + AC\overline{D} + A\overline{C} + CD$

$= ABC + AC\overline{D} + ACD + \overline{A}CD + A\overline{C}$

$= ABC + AC + A\overline{C} + \overline{A}CD$

$= A + \overline{A}CD$

$= A + CD$

(5) $F = A + \overline{B + \overline{C}}\left(A + \overline{B} + C\right)\left(A + B + C\right)$

$= A + \overline{B}C\left(A + A\overline{B} + AC + AB + \overline{B}C + BC + C\right)$

$= A + \overline{B}C\left(A + C\right)$

$= A + \overline{B}C$

(6) $F = A\overline{C}\overline{D} + BC + \overline{B}D + A\overline{B} + \overline{A}C + \overline{B}\overline{C}$

$= A\overline{C}\overline{D} + BC + \left(A\overline{B} + \overline{A}C + \overline{B}CD\right) + \left(\overline{B}\overline{C}D + \overline{B}\overline{C}\right)$

$= A\overline{C}\overline{D} + BC + A\overline{B} + \overline{A}C + \overline{B}\overline{C}$

$= A\overline{C}\overline{D} + BC + \left(A\overline{B}C + A\overline{B}\overline{C}\right) + \left(\overline{A}\overline{B}C + \overline{A}\overline{B}\overline{C}\right)$

$= A\overline{C}\overline{D} + BC + \left(A\overline{B} + \overline{A}\overline{B}\right)$

$= A\overline{C}\overline{D} + \left(BC + \overline{B}\right)$

$= A\overline{C}\overline{D} + C + \overline{B}$

$= A\overline{D} + \overline{B} + C$

(1) $A+B+C=(A+B)(\overline{A}+B)+(C+D)(C+\overline{D})+(A+\overline{E})(A+E)$

$=\overline{A}B+AB+B+C+C\overline{D}+D+A+AE+A\overline{E}$

$=A+B+C$

(2) $A+B=(AB+A\overline{B}+\overline{A}B)+(A+B+C+\overline{A}\overline{C})$

$=(A+\overline{A}B)[A+B+C+(1-A)(1-C)]$

$=(A+B)(A+B+C+1-A-C+AC)$

$=(A+B)(1+B+AC)$

$=A+B$

(3) $AB\oplus\overline{A}C=\overline{AB}\,\overline{A}C+AB\overline{\overline{A}C}$

$=(\overline{A}+\overline{B})\overline{A}C+AB(A+\overline{C})$

$=\overline{A}C+\overline{A}\overline{B}C+AB+AB\overline{C}$

$=\overline{A}C+AB$

(4) $BC+AD=(B+A)(B+D)(A+C)(C+D)$

$=(B+BD+AB+AD)+(AC+AD+C+CD)$

$=(B+AD)(C+AD)$

$=BC+AD+ABD+ACD$

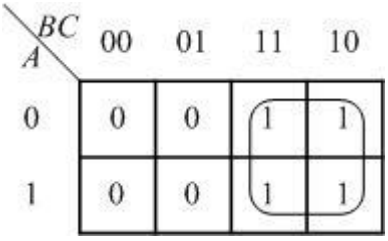
$=BC+AD$

5.16

(1) $F=AB+\overline{A}BC+\overline{A}B\overline{C}$

$=ABC+AB\overline{C}+ABC+ABC$

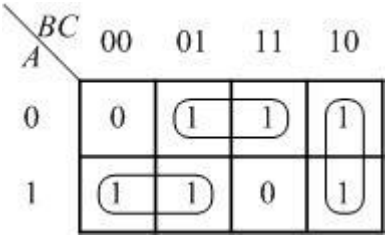
卡诺图如下所示：

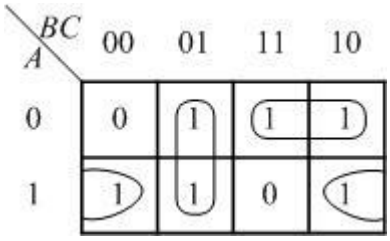


$\therefore F=B$

(2) $F=A\overline{B}+B\overline{C}+\overline{A}C+\overline{A}B+\overline{B}C+A\overline{C}$

卡诺图如下所示：



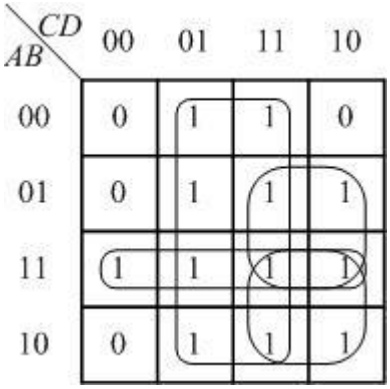


$\therefore F = A\overline{B} + \overline{A}C + B\overline{C}$ 或 $F = \overline{A}B + A\overline{C} + \overline{B}C$

$(3)\ F = (A+B)C + (\overline{B}+\overline{C})D + (A+C)B$

$= AC + BC + \overline{B}D + \overline{C}D + AB$

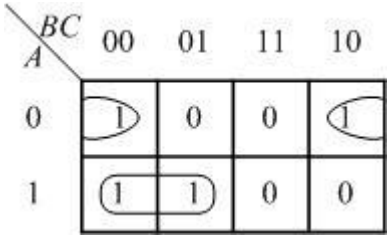
卡诺图如下所示：



$\therefore F = AC + AB + BC + D$

$(4)\ F(A,B,C) = \sum(0,2,4,5)$

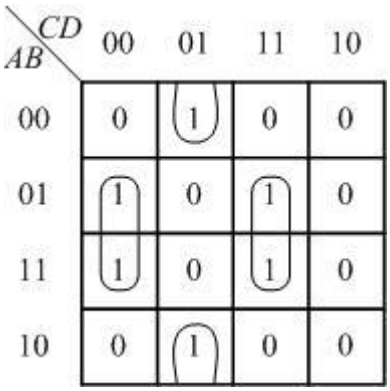
卡诺图如所示：



$\therefore F = A\overline{B} + \overline{A}\overline{C}$

$(5)\ F(A,B,C,D) = \sum(1,4,7,9,12,15)$

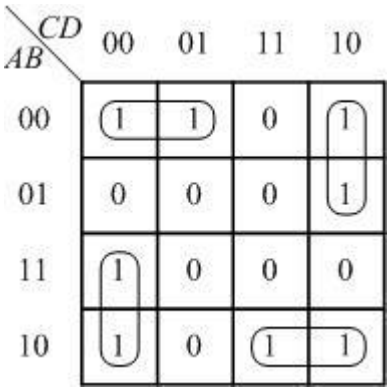
卡诺图如下所示：



$$\therefore F = BCD + \overline{B}\overline{C}D + B\overline{C}\overline{D}$$

$$(6)\ F(A,B,C,D) = \sum(0,1,2,6,8,10,11,12)$$

卡诺图如下所示：



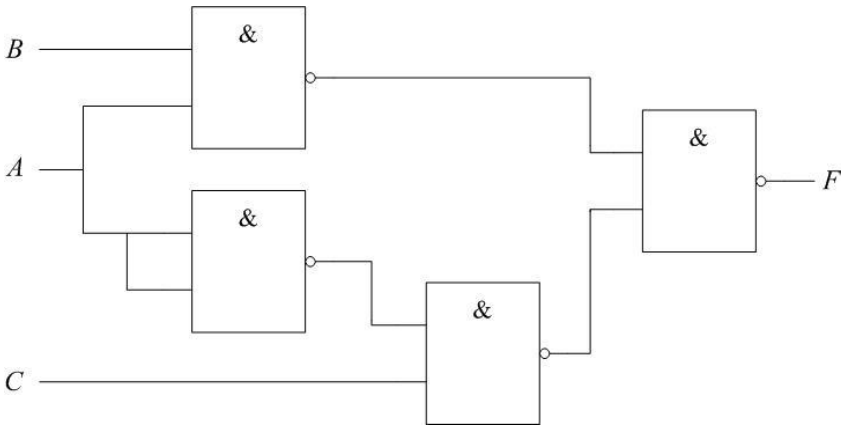
$$\therefore F = \overline{A}\overline{B}\overline{C} + \overline{A}C\overline{D} + A\overline{C}\overline{D} + A\overline{B}C$$

5.17

$$(1)\ F = AB + \overline{A}C$$

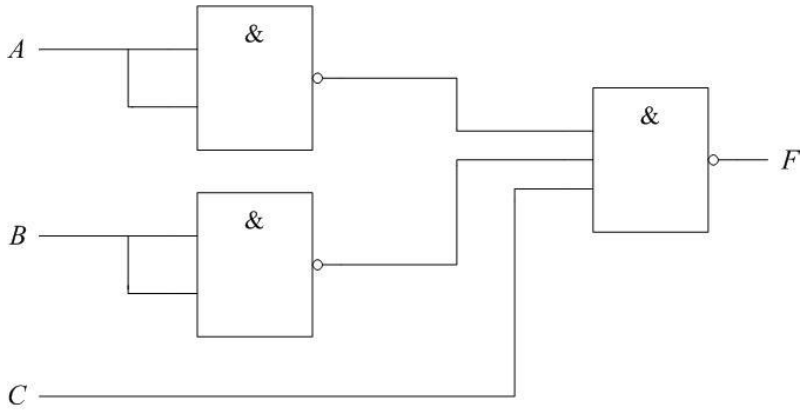
$$= \overline{\overline{AB}\,\overline{\overline{A}C}}$$

逻辑电路图如下所示：



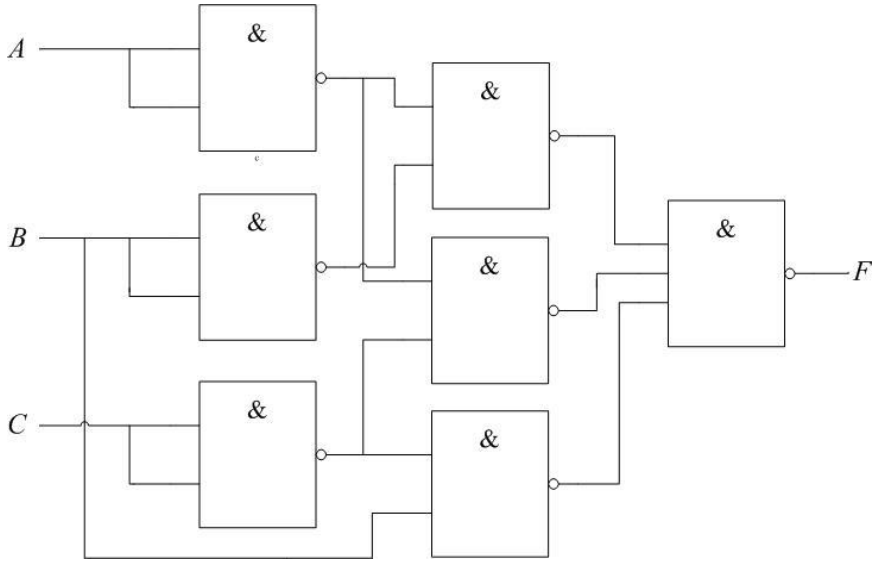
$$(2)\ F = A + B + \overline{C}$$
$$= \overline{\overline{A}\,\overline{B}C}$$

逻辑电路图如下所示：



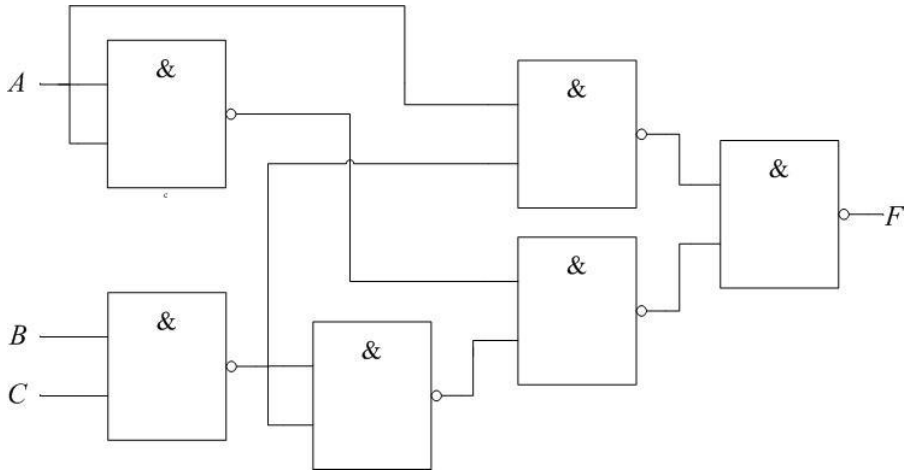
$$(3)\ F = \overline{A}\,\overline{B} + \left(\overline{A} + B\right)\overline{C}$$
$$= \overline{A}\,\overline{B} + \overline{A}\,\overline{C} + B\overline{C}$$
$$= \overline{\overline{A}\,\overline{B}}\;\overline{\overline{A}\,\overline{C}}\;\overline{B\overline{C}}$$

逻辑电路图如下所示：



$$(4)\ F = A\overline{B} + A\overline{C} + \overline{A}BC$$
$$= A\left(\overline{B} + \overline{C}\right) + \overline{A}BC$$
$$= A\overline{BC} + \overline{A}BC$$
$$= \overline{A\overline{BC}}\;\overline{\overline{A}BC}$$

逻辑电路图如下所示：



5.18

$$\begin{aligned}(\mathrm{a})\ F &= \overline{\overline{A\overline{B}}A+\overline{A\overline{B}}B}\\ &= \overline{\overline{A\overline{B}}A}\,\overline{\overline{A\overline{B}}B}\\ &= \left(AB+\overline{A}\right)\left(AB+\overline{B}\right)\\ &= AB+\overline{A}\,\overline{B}\\ &= A\odot B\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\mathrm{b})\ F &= (A+B)+(B+C)+(A+C)\\ &= A+B+C\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\mathrm{c})\ F &= \overline{\overline{A\overline{B}}+\overline{A}\overline{B}}\\ &= \overline{A\overline{B}}\,\overline{\overline{A}\overline{B}}\\ &= \left(\overline{A}+\overline{B}\right)(A+B)\\ &= \overline{A}B+A\overline{B}\\ &= A\oplus B\end{aligned}$$

5.19

$$\begin{aligned}F &= \overline{\overline{A}B}\,\overline{A\overline{B}}\\ &= \overline{\overline{A}B+A\overline{B}}\\ &= \overline{A\oplus B}\\ &= A\odot B\end{aligned}$$

电路表达了同或的逻辑关系。

5.20

(a)当 A 的输入状态为低电平时，$\mathrm{VT}_{\mathrm{P1}}$ 导通；当 B 的输入状态为低电平时，或非门输出为高电平，此时 $\mathrm{VT}_{\mathrm{P2}}$ 截止而 VT_{N} 导通，电路输出 F 为低电平，当 B 的输入状态为高电平时，或

非门输出为低电平，此时 VT_{P2} 导通而 VT_N 截止，电路输出 F 为高电平。当 A 的输入状态为高电平时， VT_{P1} 截止，或非门输出为低电平， VT_N 截止，此时电路呈高组态。

综上可知， $A=0$ 时，呈高组态； $A=1$ 时，电路的输出 $F=B$ 。

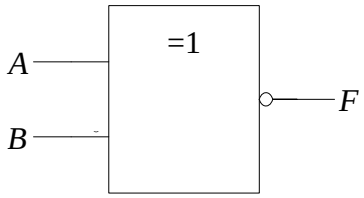
(a) 当 B 的输入状态为低电平时， VT_{N2} 截止，与非门输出为高电平， VT_P 截止，此时电路呈高组态。当 B 的输入状态为高电平时， VT_{N2} 导通；当 A 的输入状态为低电平时，与非门输出为高电平，此时 VT_P 截止而 VT_{N1} 导通，电路输出 F 为低电平，当 A 的输入状态为高电平时，与非门输出为低电平，此时 VT_P 导通而 VT_{N1} 截止，电路输出 F 为高电平。

综上可知， $B=0$ 时，呈高组态； $B=1$ 时，电路的输出 $F=A$ 。

5.21

由题意易知 $F=AB+\overline{A}\overline{B}=A\odot B$

逻辑电路图如下：



5.22

真值表如下所示：

S_0	S_1	S_2	F
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

电路的逻辑关系有：

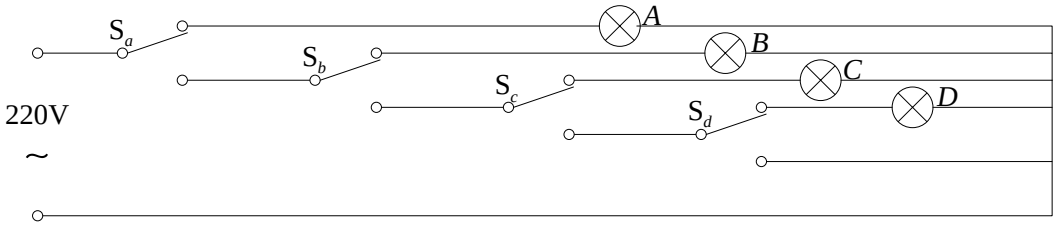
$$\begin{aligned}F&=\overline{S_0}S_1\overline{S_2}+S_0\overline{S_1}\overline{S_2}+S_0S_1S_2+\overline{S_0}\overline{S_1}S_2\\&=\left(\overline{S_0}S_1+S_0\overline{S_1}\right)\overline{S_2}+\left(S_0S_1+\overline{S_0}\overline{S_1}\right)S_2\\&=\left(S_0\oplus S_1\right)\overline{S_2}+\left(S_0\odot S_1\right)S_2\\&=S_0\oplus S_1\oplus S_2\end{aligned}$$

5.23

根据题意有

$$\begin{cases} F_{\mathrm{A}} = a \\ F_{\mathrm{B}} = \bar{a}b \\ F_{\mathrm{C}} = \bar{a}\bar{b}c \\ F_{\mathrm{D}} = \bar{a}\bar{b}\bar{c}d \end{cases}$$

电路图如下所示：



5.24

由题意可知 $F = A(BC + BD + CD) = ABCD + A\bar{B}CD + AB\bar{C}D + ABC\bar{D}$

真值表如下所示：

A	B	C	D	F
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1

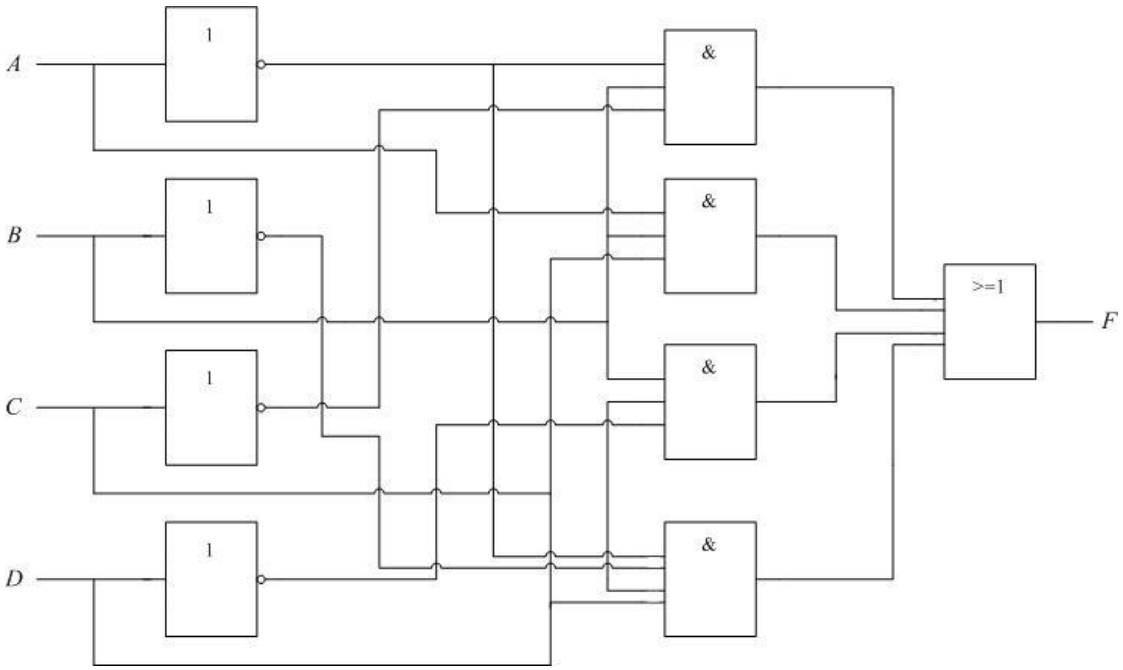
5.25

由题意可知 $F(A,B,C,D) = \sum(3,4,5,6,13,14,15)$，对应的卡诺图如下所示：

AB \ CD	00	01	11	10
00	0	0	(1)	0
01	(1	1)	0	(1
11	0	(1	1)	(1
10	0	0	0	0

$\therefore F=\overline{A}\overline{B}CD+\overline{A}B\overline{C}+ABD+BC\overline{D}$

逻辑电路图如下：

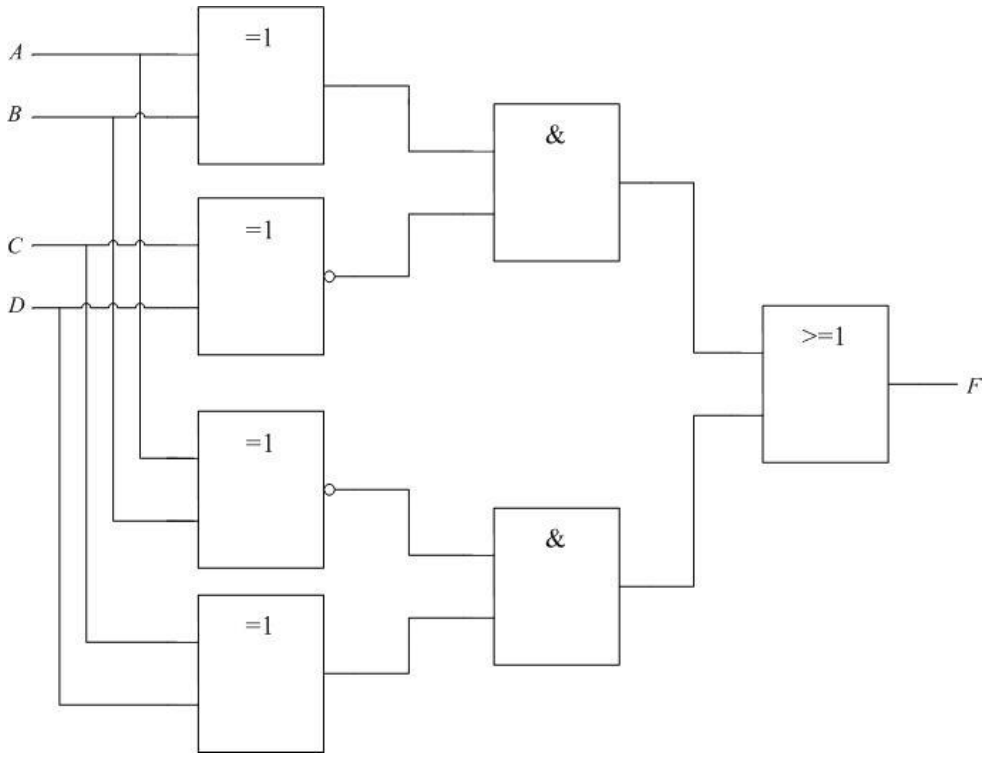


5.26

依题意有 $F=\overline{A}BCD+A\overline{B}CD+AB\overline{C}D+ABC\overline{D}+A\overline{B}\overline{C}\overline{D}+\overline{A}B\overline{C}\overline{D}+\overline{A}\overline{B}C\overline{D}+\overline{A}\overline{B}\overline{C}D$

化简有 $F=(A\oplus B)(C\odot D)+(A\odot B)(C\oplus D)$

逻辑电路如下



5.27

根据题意列出真值表

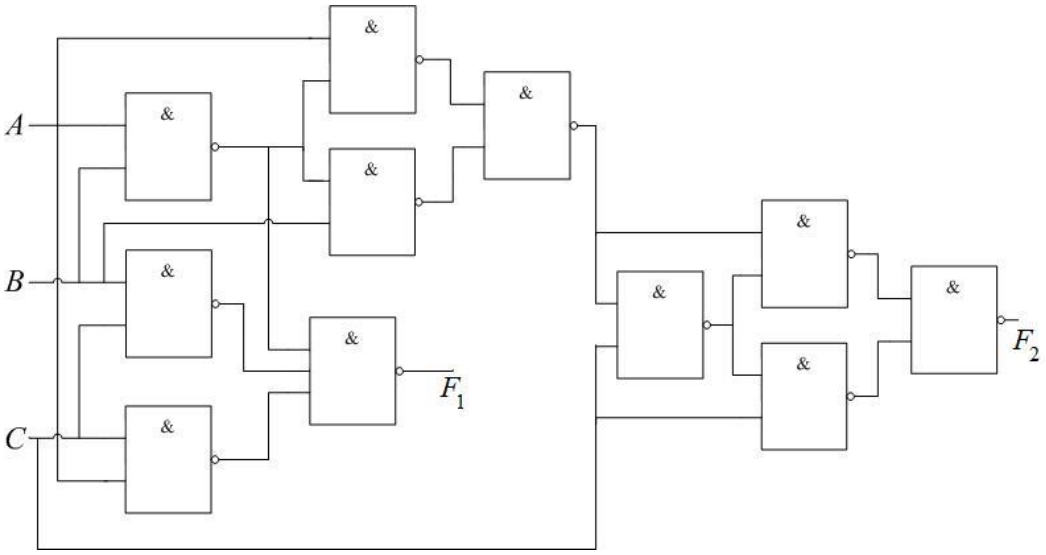
A	B	C	F_1	F_2
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

$$
\begin{aligned}
F_1 &= \overline{A}BC + A\overline{B}C + AB\overline{C} + ABC \\
&= \left(ABC + AB\overline{C}\right) + \left(ABC + \overline{A}BC\right) + \left(ABC + A\overline{B}C\right) \\
&= AB + BC + AC \\
&= \overline{\overline{AB}\,\overline{BC}\,\overline{AC}}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
F_2 &= \overline{A}\,\overline{B}C + A\overline{B}\,\overline{C} + \overline{A}B\overline{C} + ABC \\
&= \overline{A}\left(B \oplus C\right) + A\left(B \odot C\right) \\
&= A \oplus B \oplus C
\end{aligned}
$$

另 $A \oplus B = \overline{A\overline{AB}\,B\overline{AB}}$

易知逻辑电路如下

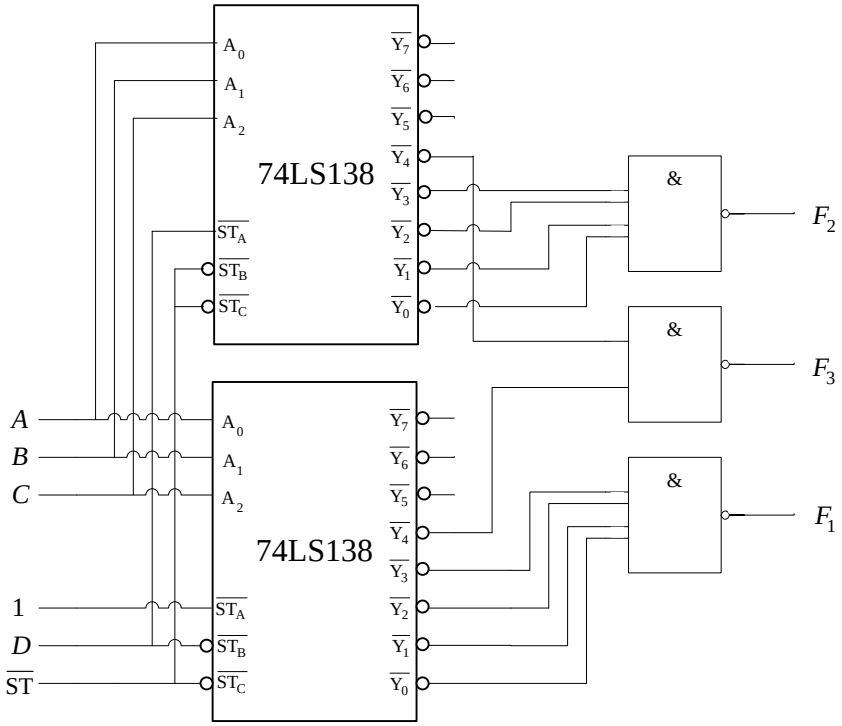


5.28

由真值表易知

$$\begin{cases} F_1=\sum(0,1,2,3) \\ F_2=\sum(5,6,7,8) \\ F_3=\sum(4,9) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_1=\overline{\overline{Y_0}\,\overline{Y_1}\,\overline{Y_2}\,\overline{Y_3}} \\ F_2=\overline{\overline{Y_8}\,\overline{Y_9}\,\overline{Y_{10}}\,\overline{Y_{11}}} \\ F_3=\overline{\overline{Y_4}\,\overline{Y_{12}}} \end{cases}$$

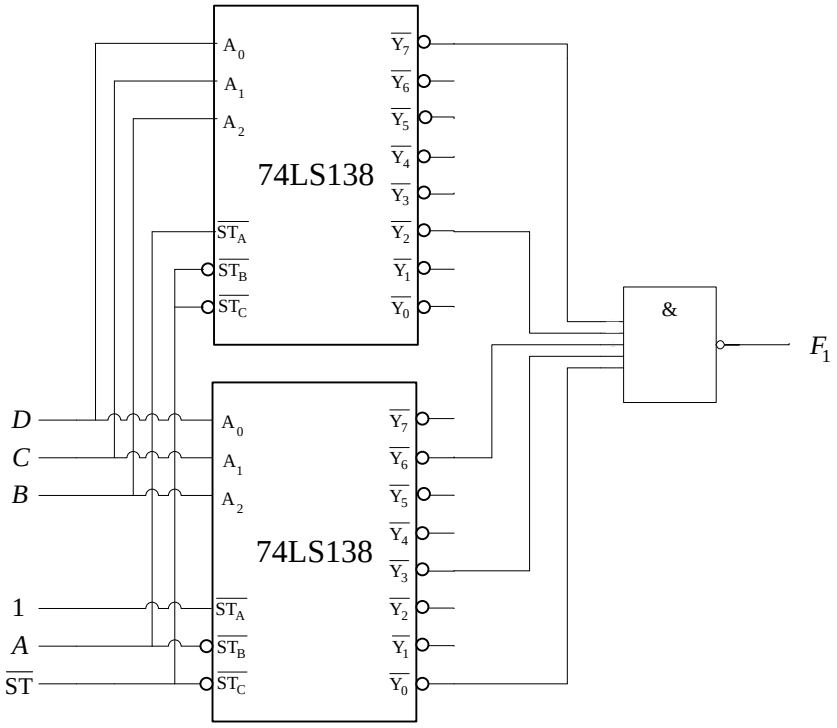
译码电路如下



5.29

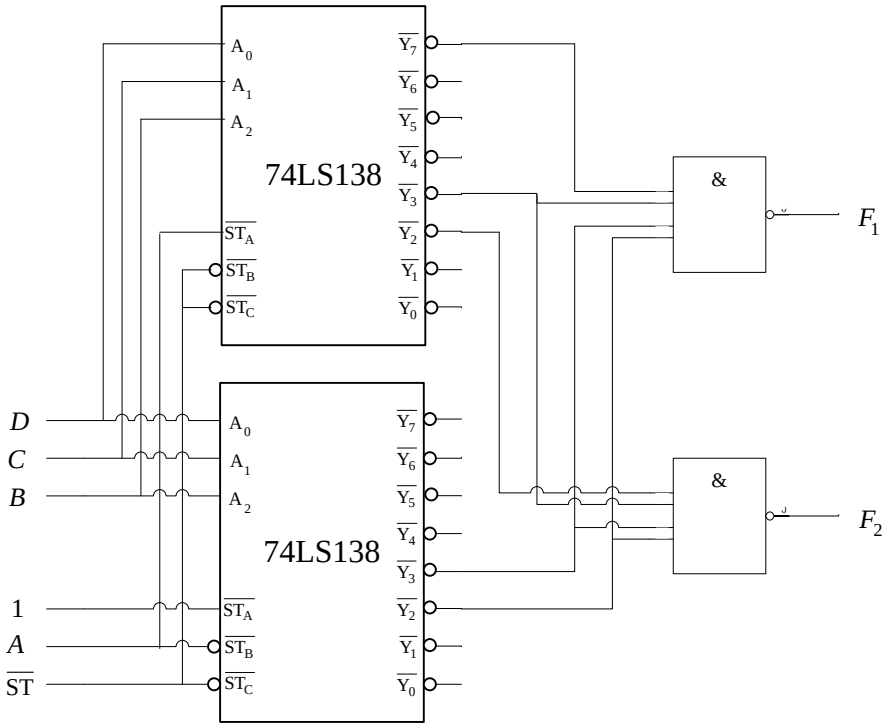
$$(1)\ F=\sum(0,3,6,10,15)=\overline{\overline{Y_0}\,\overline{Y_3}\,\overline{Y_6}\,\overline{Y_{10}}\,\overline{Y_{15}}}$$

电路图如下所示：



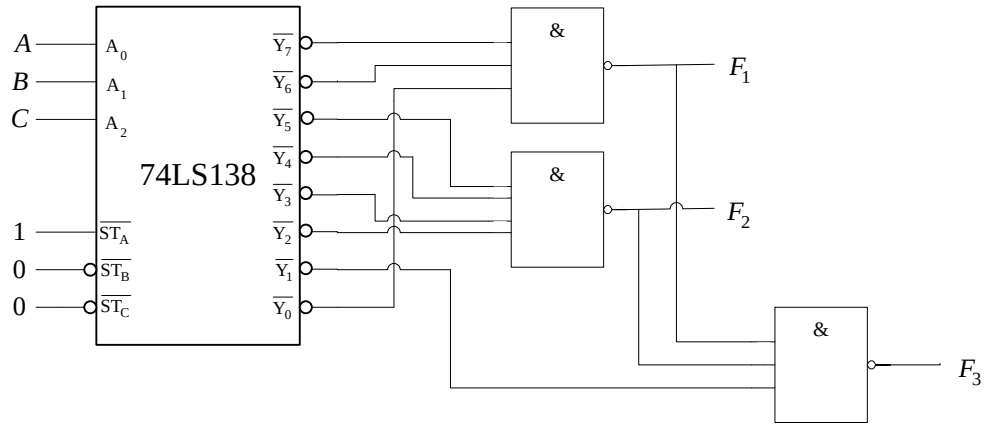
$$(2)\ \begin{cases} F_1 = A\overline{B}CD + \overline{A}\overline{B}C + ACD \\ F_2 = A\overline{B}C + A\overline{B}CD + \overline{A}\overline{B}C \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_1 = \sum(2,3,11,15) \\ F_2 = \sum(2,3,10,11) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_1 = \overline{\overline{Y_2}\,\overline{Y_3}\,\overline{Y_{11}}\,\overline{Y_{15}}} \\ F_2 = \overline{\overline{Y_2}\,\overline{Y_3}\,\overline{Y_{10}}\,\overline{Y_{11}}} \end{cases}$$

电路图如下所示：



$$(3)\ \begin{cases} F_1 = AB + \overline{A}\overline{B}\overline{C} \\ F_2 = A + B + C \\ F_3 = \overline{A}B + A\overline{B} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_1 = \sum(0,6,7) \\ F_2 = \sum(0,1,2,3,4,5,6,7) \\ F_3 = \sum(2,3,4,5) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_1 = \overline{\overline{Y_0}\,\overline{Y_6}\,\overline{Y_7}} \\ F_2 = \overline{\overline{Y_0}\,\overline{Y_1}\,\overline{Y_2}\,\overline{Y_3}\,\overline{Y_4}\,\overline{Y_5}\,\overline{Y_6}\,\overline{Y_7}} = 1 \\ F_2 = \overline{\overline{Y_2}\,\overline{Y_3}\,\overline{Y_4}\,\overline{Y_5}} \end{cases}$$

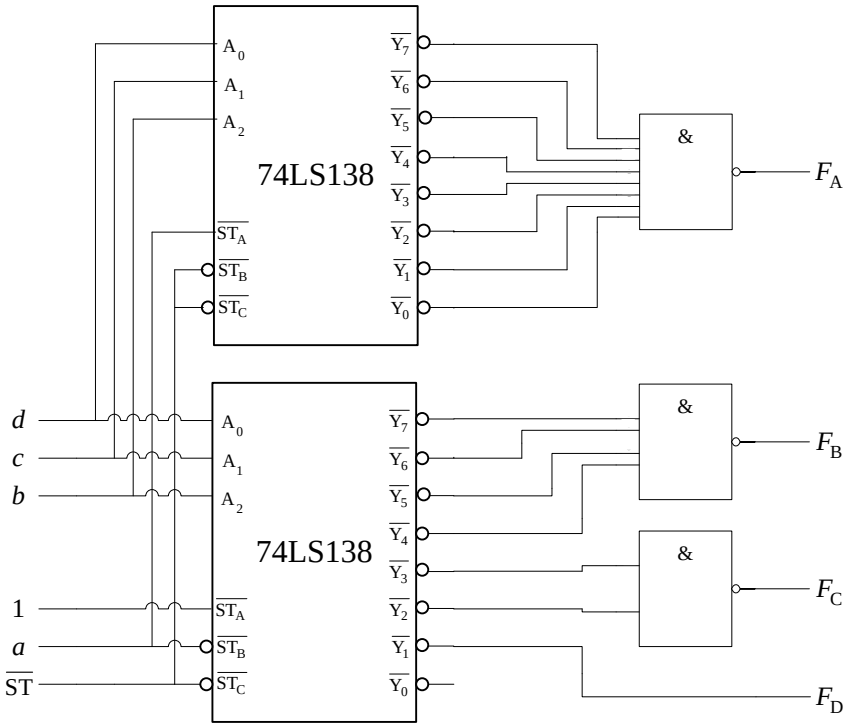
电路图如下所示：



5.30

$$\begin{cases} F_A = a \\ F_B = \overline{a}b \\ F_C = \overline{a}\overline{b}c \\ F_D = \overline{a}\overline{b}\overline{c}d \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_A = \sum m(8,9,10,11,12,13,14,15) \\ F_B = \sum m(4,5,6,7) \\ F_C = \sum m(2,3) \\ F_D = m_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_A = \overline{\overline{Y_8}\,\overline{Y_9}\,\overline{Y_{10}}\,\overline{Y_{11}}\,\overline{Y_{12}}\,\overline{Y_{13}}\,\overline{Y_{14}}\,\overline{Y_{15}}} \\ F_B = \overline{\overline{Y_4}\,\overline{Y_5}\,\overline{Y_6}\,\overline{Y_7}} \\ F_C = \overline{\overline{Y_2}\,\overline{Y_3}} \\ F_D = \overline{Y_1} \end{cases}$$

易知电路图如下所示：



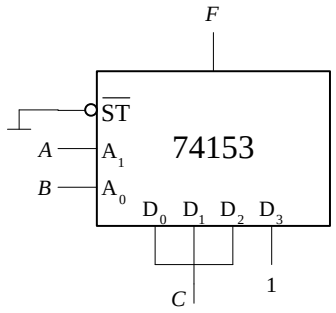
5.31

$(1)\ F = AB + C$

$= AB + \overline{A}BC + A\overline{B}C + \overline{A}\overline{B}C$

$= m_3 + (m_0 + m_1 + m_2)C$

电路图如下所示：

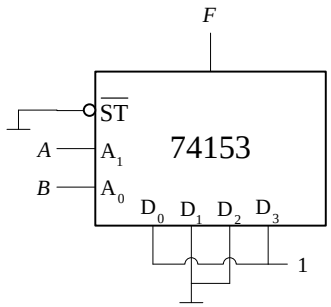


$(2)\ F = A \odot B$

$= \overline{A}\overline{B} + AB$

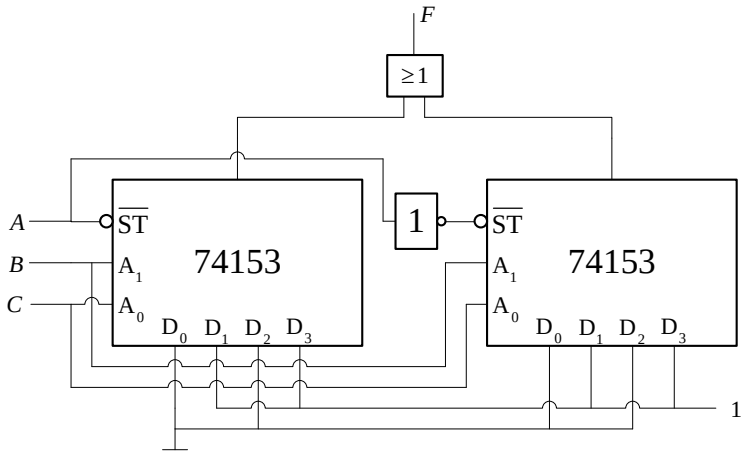
$= m_0 + m_3$

电路图如下所示：



$(3)\ F = \sum m(1,3,5,7)$

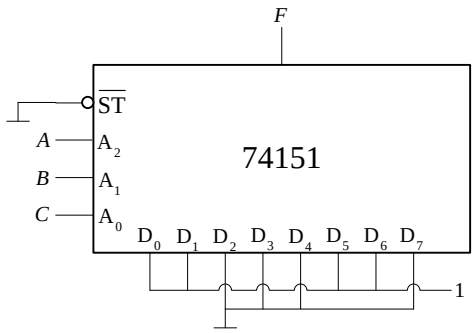
电路图如下所示：



5.32

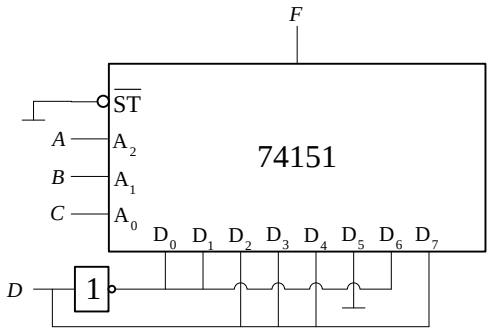
$$(1)\ F=\overline{A}\,\overline{B}+A\left(B\overline{C}+\overline{B}C\right)$$
$$=\overline{A}\,\overline{B}C+\overline{A}B\overline{C}+AB\overline{C}+A\overline{B}C$$
$$=\sum m(0,1,5,6)$$

电路图如下所示：



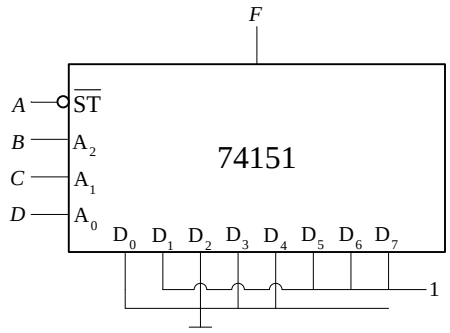
$$(2)\ F=\sum m(0,2,5,7,9,12,15)$$
$$=\overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C}\,\overline{D}+\overline{A}\,\overline{B}C\,\overline{D}+\overline{A}B\overline{C}D+\overline{A}BCD+A\overline{B}\,\overline{C}D+AB\overline{C}\,\overline{D}+ABCD$$
$$=\left(\overline{A}B\overline{C}+\overline{A}BC+A\overline{B}\,\overline{C}+ABC\right)D+\left(\overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C}+\overline{A}\,\overline{B}C+AB\overline{C}\right)\overline{D}$$
$$=\left(m_2+m_3+m_4+m_7\right)D+\left(m_0+m_1+m_6\right)\overline{D}$$

电路图如下所示：



$$(3)\ F=ABC+A\overline{C}D$$
$$=ABCD+ABC\overline{D}+AB\overline{C}D+A\overline{B}\,\overline{C}D$$
$$=A\left(BCD+BC\overline{D}+B\overline{C}D+\overline{B}\,\overline{C}D\right)$$
$$=A\sum m(1,5,6,7)$$

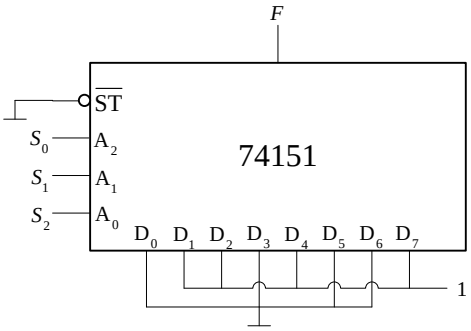
电路图如下所示：



5.33

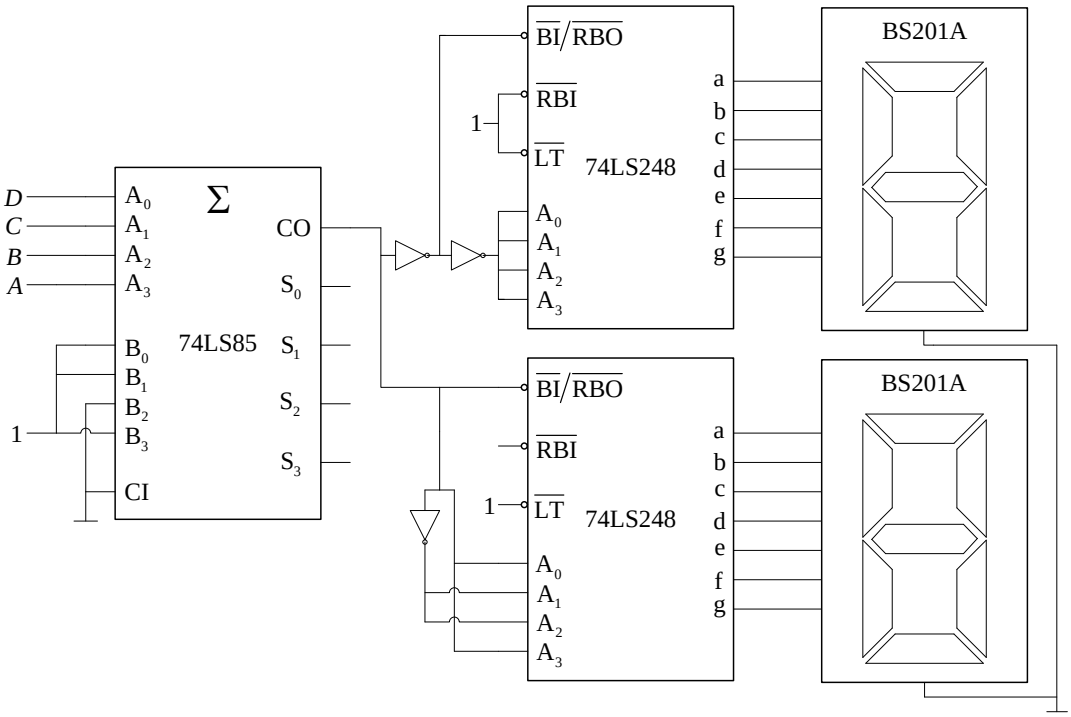
$$F = \overline{S}_0 S_1 \overline{S}_2 + S_0 \overline{S}_1 \overline{S}_2 + S_0 S_1 S_2 + \overline{S}_0 \overline{S}_1 S_2$$
$$= \sum m(1,2,4,7)$$

电路图如下所示：

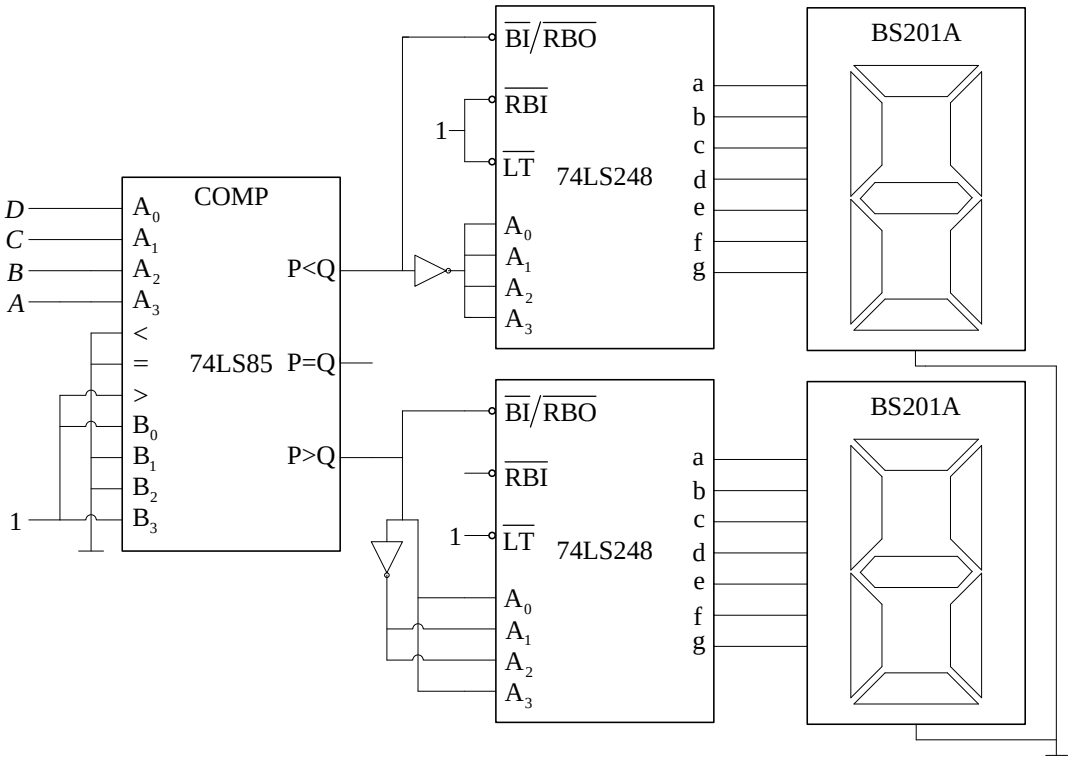


5.34

利用加法器 7483 设计的电路如下：



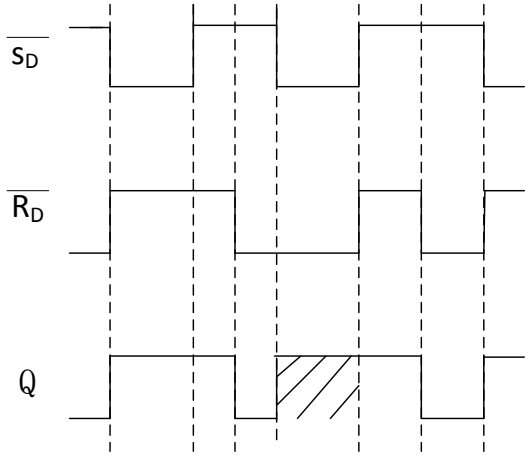
利用比较器 74LS85 设计的电路如下：



习题 6

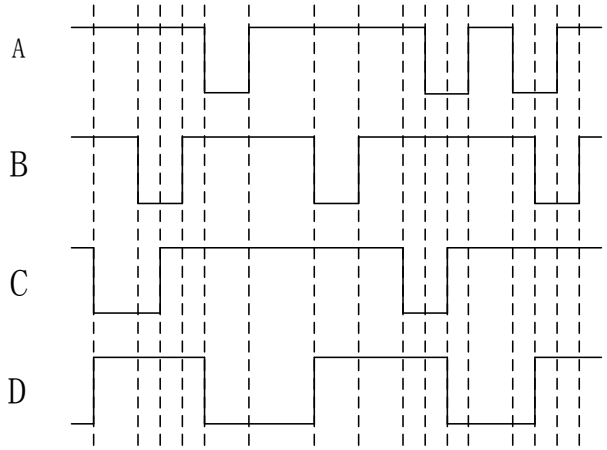
6.1

解：触发器的初始状态为“0”和“1”两种情况下，输出端 Q 的波形如下图所示；其中阴影区表示状态不定。



6.2

解：输出端 Q 的波形如下图所示：



6.3

解：该电路的真值表如下：

S	R	Q^{n+1}
0	0	Q^n
0	1	0
1	0	1
1	1	不定

逻辑功能分析：

当$S=0$，$R=0$时，若触发器原态为 1 态，即$Q^n=1$，$\overline{Q^n}=0$，Q^n反馈到 G1 门的输入端，使 G1 门的输出为 0；同时$\overline{Q^n}=0$反馈到 G2 门的输入端，使 G2 门输出为 1。这样触发器维持原状态不变。当触发器原态为 0 时，有同样结论。所以$S=0$，$R=0$时，$Q^{n+1}=Q^n$。

当$S=0$，$R=1$时，无论触发器原态如何必使 G2 门输出端为 0，反馈到 G1 门输入端，使 G1 门输出为 1，所以当$S=0$，$R=1$时，$Q^{n+1}=0$。

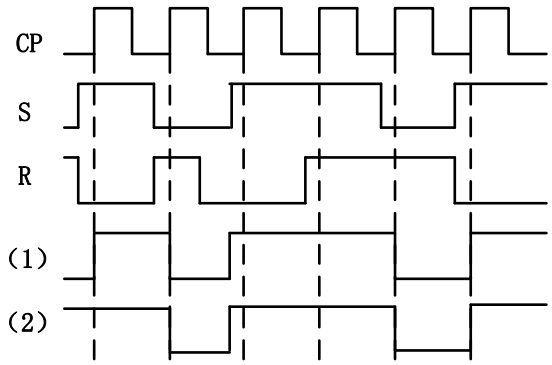
当$S=1$，$R=0$时，无论触发器初始状态如何，必使 G1 门输出为 0，反馈到 G2 门输入端使 G2 门输出为 1。所以当$S=1$，$R=0$时，$Q^{n+1}=1$。

当$S=1$，$R=1$时，必有$Q^{n+1}=1$，$\overline{Q^{n+1}}=1$，若输入状态再变成$S=0$，$R=0$（脉冲同时消失），这时Q与$\overline{Q}$将在“0”与“1”之间震荡。

6.4

触发器的初始状态为“0”和“1”时，Q 端的波形分别如图（1）和（2）所示。

（注：CP=1，R=1，S=1 时，输出端均为 1，此时若 CP 变为 0，输出视为不定。）



6.5

解：真值表如下：

CP	S	R	Q^{n+1}
0	X	X	Q^n
1	0	0	Q^n
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	不定

逻辑功能分析：

当$CP=0$时，G_3与G_4门被封锁，输出高电平，所以 S 和 R 输入端的信号不起作用，触发器保持原状态不变。

当$CP=1$时，G_3与G_4解除了封锁，则 S 和 R 输入端的信号可以通过G_3与G_4门作用到基本 RS 触发器的输入端。此时，触发器的状态有以下几种可能。

$S=0, R=0$时,此时G_3与G_4门被封锁,与$CP=0$的效果一样,触发器保持原状态不变，即$Q^{n+1}=Q^n$。

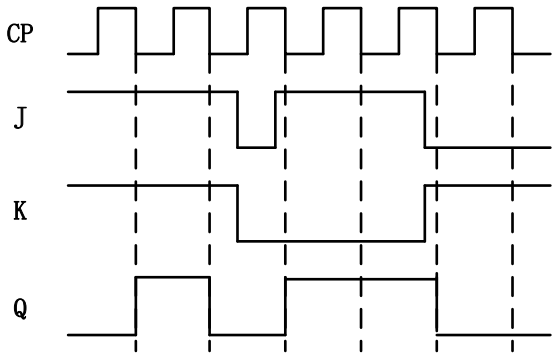
$S=1, R=0$时，此时与G_4门封锁，G_4门输出高电平，G_3门输出低电平，故无论触发器原来状态如何，必有$Q^n=1$，触发器置“1”。

$S=0, R=1$时，此时G_3门封锁，G_3门输出高电平，G_4门输出低电平，故无论触发器原来状态如何。必有$Q^{n+1}=0$，触发器置“0”。

$S=1, R=1$时，此时G_3与G_4门输出均为低电平，故触发器$Q^{n+1}=\overline{Q}^{n+1}=1$。当时钟脉冲消失后，触发器状态不定，因此为禁用的输入状态。

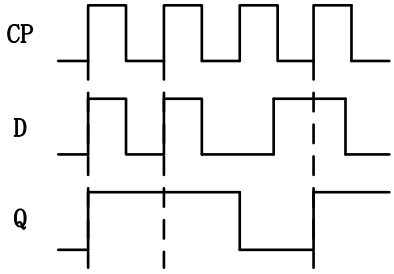
6.6

解：触发器初始状态 Q 为“0”时，主从 JK 触发器输出端 Q 的波形如下：



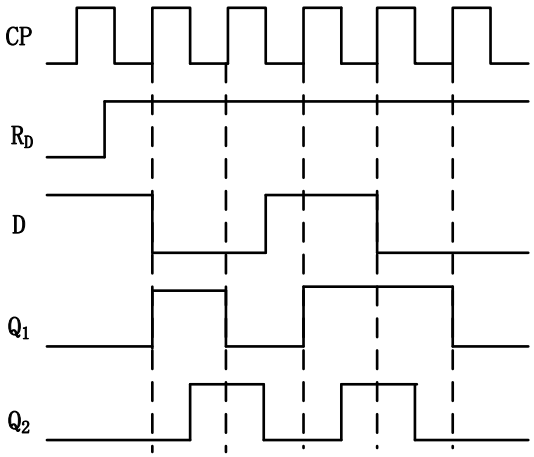
6.7

解：初始状态为“0”，D 触发器输出端 Q 的波形如下:



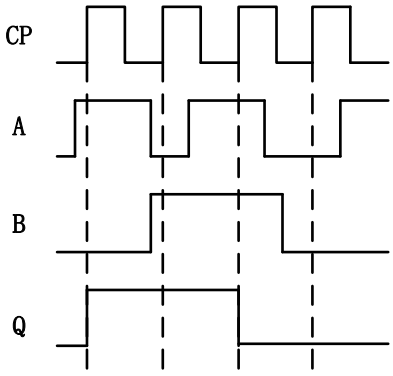
6.8

解:当各触发器的初始状态均为“0”时，Q_1 端和 Q_2 端的输出波形如下图所示：



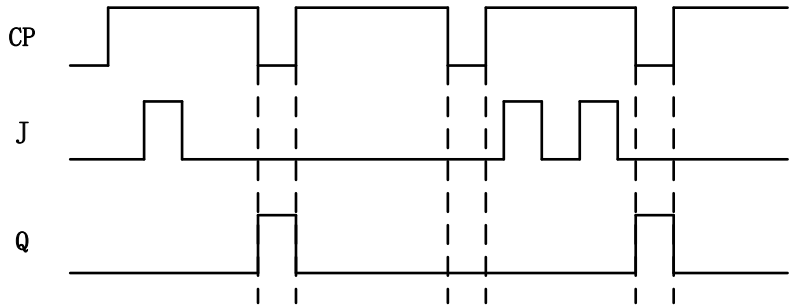
6.9

解：输出端 Q 的波形如下：



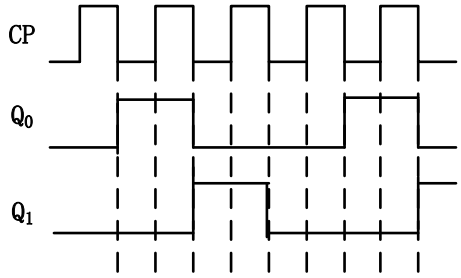
6.10

解：



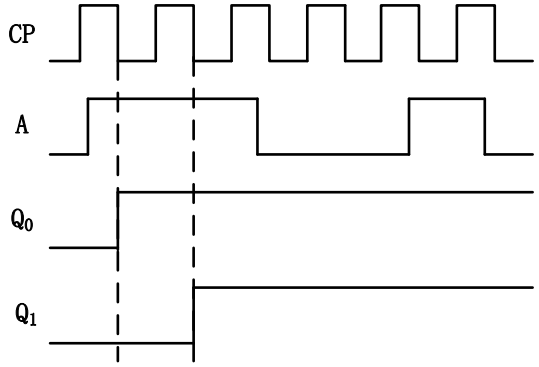
6.11

解：Q_0 和 Q_1 端输出波形分别如下：



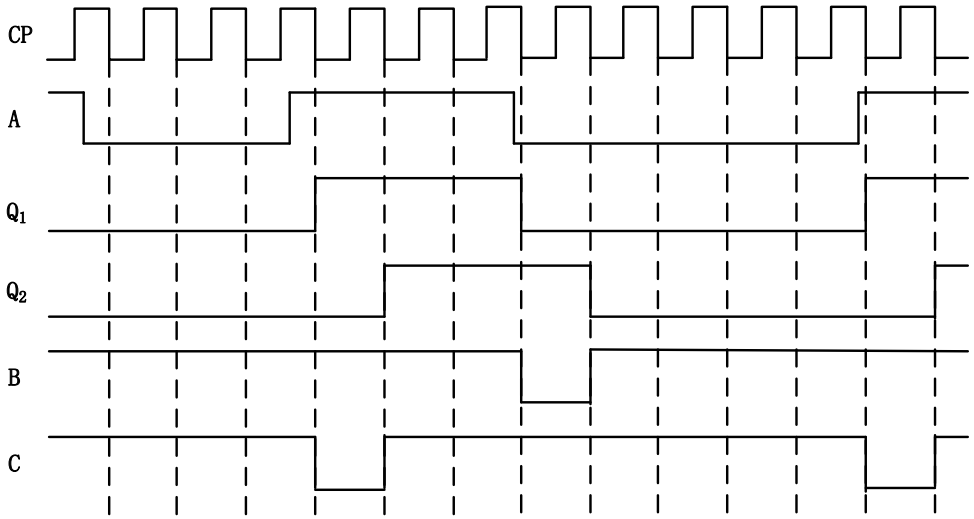
6.12

解：Q_0 和 Q_1 端输出波形分别如下：



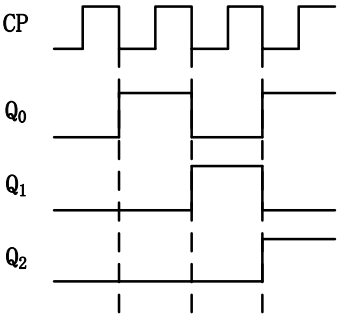
6.13

解：B 和 C 的输出波形分别如下：



6.14

解：（1）如果串行存入码‘101’，输出 Q_0、Q_1、Q_2 的波形图如下：



串行输入时，并行输入控制端应是低电平，以保证每个触发器在串行输入过程中不发生置位或复位操作。

（2）并行存入码 A=1，B=0，C=0 时，并行输入控制端应置高电平。

由逻辑图可知，A 与并行输入控制信号经与非门输出低电平，此低电平作用于最左边 JK 触发器置位输入端，使其发生置位操作，从而输出端 Q_0 输出 1。

B 与并行输入控制信号经与非门输出高电平，该高电平与并行输入信号再经与非操作得到低电平信号，此低电平作为中间 JK 触发器的复位信号使其发生复位操作，从而 Q_1 输出 0。

同理 Q_2 输出 0。

这样数码“100”便存入了寄存器中。

6.15

解：触发器初态为 $Q_2Q_1Q_0=000$，得状态转换表如下：

CP	Q_2^n	Q_1^n	Q_0^n	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	$Q_0^{n+!}$
0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0
2	0	1	0	0	1	1
3	0	1	1	1	0	0
4	1	0	0	0	0	1

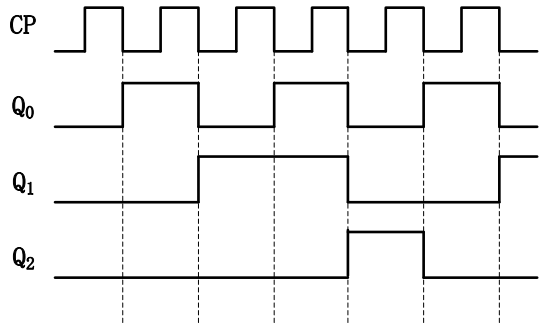
状态表：

CP	Q_2	Q_1	Q_0

0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	0	0	1

由状态表知，这是一个四进制计数器。

Q 端波形：



6.16

解：用直接观察法，可得状态转换表如下：

CP	Q_2^n	Q_1^n	Q_0^n	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	$Q_0^{n+!}$	CP_2	CP_1	CP_0
0	0	0	0	0	0	1	↓		↓
1	0	0	1	0	1	0	↓	↓	↓
2	0	1	0	0	1	1	↓		↓
3	0	1	1	1	0	0	↓	↓	↓
4	1	0	0	0	0	0	↓		↓

状态表:

CP	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	0	0	0

由状态表可知，这是一个五进制加法计数器。

6.17

解：用直接观察法得状态转换表如下：

CP	Q_2^n	Q_1^n	Q_0^n	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	$Q_0^{n+!}$
0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0
2	0	1	0	0	1	1
3	0	1	1	1	0	0
4	1	0	0	0	0	0

所有，状态表为：

CP	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	0	0	0

由状态表可知，这是一个五进制加法计数器。

6.18

解：状态转换表如下：

CP	Q_2^n	Q_1^n	Q_0^n	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	$Q_0^{n+!}$
0	0	0	0	0	1	1
1	0	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	0
3	1	1	0	1	0	1
4	1	0	1	0	0	0

状态表为：

CP	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0
1	0	1	1
2	1	1	1
3	1	1	0
4	1	0	1
5	0	0	0

可以看成一个五进制计数器。

6.19

解：状态转换表如下：

CP	Q_2^n	Q_1^n	Q_0^n	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	$Q_0^{n+!}$
0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	1
2	0	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	0
4	1	1	0	1	0	0
5	1	0	0	0	0	0

状态表为：

CP	Q_2	Q_1	Q_0

0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	1
3	1	1	1
4	1	1	0
5	1	0	0
6	0	0	0

可以看成一个六进制扭环计数器。

6.20 解：

这是一个异步计数器，各触发器的驱动方程如下：

$$FF_0=\begin{cases}J_0=\overline{Q_0Q_3}\\K_0=\overline{Q_0Q_3}\end{cases}\qquad CP_0=CP$$

$$FF_1=\begin{cases}J_1=1\\K_1=1\end{cases}\qquad CP_1=Q_0$$

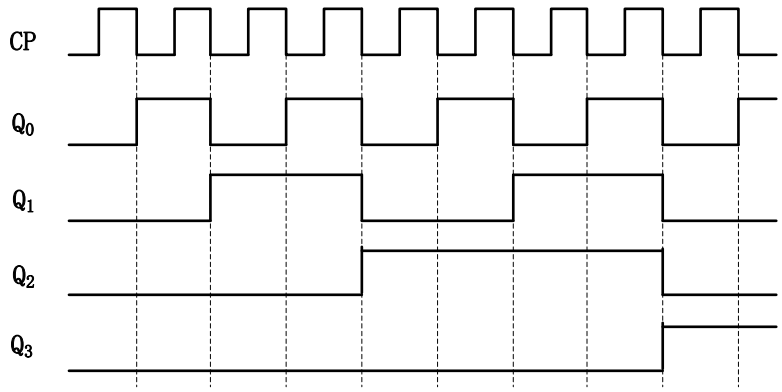
$$FF_2=\begin{cases}J_2=1\\K_2=1\end{cases}\qquad CP_2=Q_1$$

$$FF_3=\begin{cases}J_3=1\\K_3=1\end{cases}\qquad CP_3=Q_2$$

CP	Q_3^n	Q_2^n	Q_1^n	Q_0^n	Q_3^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	Q_0^{n+1}	CP_3	CP_2	CP_1	CP_0
0	0	0	0	0	0	0	0	1				↓
1	0	0	0	1	0	0	1	0			↓	↓
2	0	0	1	0	0	0	1	1				↓
3	0	0	1	1	0	1	0	0		↓	↓	↓
4	0	1	0	0	0	1	0	1				↓
5	0	1	0	1	0	1	1	0			↓	↓
6	0	1	1	0	0	1	1	1				↓
7	0	1	1	1	1	0	0	0	↓	↓	↓	↓
8	1	0	0	0	1	0	0	1				↓
9	1	0	0	1	0	0	0	0				↓

由状态转换表可知，该计数器计数到 9 时自动停止，若要重新开始计数，须在复位端 $\overline{R_D}$ 加一个低电平。

各输出 Q 端波形如下：



6.21

解：各触发器的驱动方程为：

$$Q_1^{n+1} = \overline{Q_2}^n$$

$$Q_2^{n+1} = Q_1^n$$

输出方程为：

$$F_A = \overline{Q_2}\,\overline{Q_1}$$

$$F_B = \overline{Q_2} Q_1$$

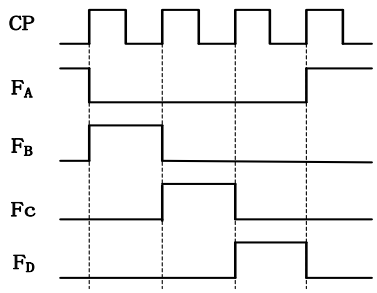
$$F_C = Q_2 Q_1$$

$$F_D = Q_2 \overline{Q_1}$$

状态表如下：

CP	Q_2	Q_1	F_D	F_C	F_B	F_A
0	0	0	0	0	0	1
1	0	1	0	0	1	0
2	1	1	0	1	0	0
3	1	0	1	0	0	0
4	0	0	0	0	0	1

F_A、F_B、F_C、F_D的波形如下：



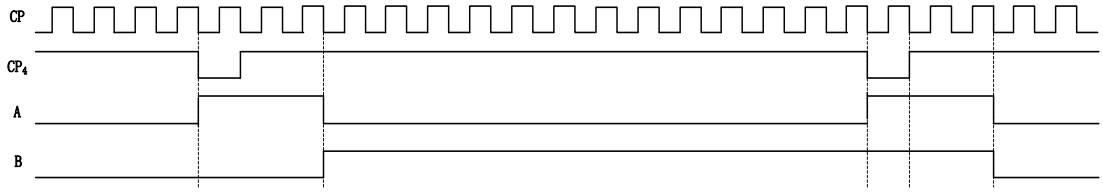
6.22

解：由逻辑电路图知：

触发器 FF_4 的时钟信号 $CP_4=\overline{\overline{Q_3}Q_2}\,\overline{\overline{Q_1}Q_0}$，复位信号 $R_4=\overline{\overline{Q_3}Q_2Q_1Q_0}$。

所以，当 $Q_3Q_2Q_1Q_0=0100$ 时，即 CP 的第 4 个脉冲到来时，CP_4 产生一个下降沿，FF_4 输出翻转。当 $Q_3Q_2Q_1Q_0=0111$，即 CP 的第 7 个脉冲到来时，FF_4 输出复位。

控制信号 A、B 波形如下：



由波形图可知，控制信号 A 的脉宽为 3 个 CP 周期，即 3ms，B 的脉宽为 16 个 CP 周期即 16ms。

6.23

解：(a)由电路图知，当 Q_3 端出现 1 时，$R_{0(1)}=R_{0(2)}=1$，发生复位，该计数器状态表如下：

CP	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	0	0	0	0

所以该计数器为八进制计数器。

（b）由逻辑电路图知，$R_{0(1)}=Q_0$，$R_{0(2)}=Q_2$。

当 $Q_1Q_0=11$ 时，计数器发生复位，该计数器状态表如下：

CP	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	1	0	0	0
5	0	0	0	1
6	0	0	1	1
7	0	0	0	0

这是一个七进制计数器。

6.24

解:前一片 74LS290 的 Q_0 和 CP_1 相连构成十进制计数器。后一片 74LS290 的 Q_0 和 CP_1 相连，且 $R_{0(1)}=Q_1$、$R_{0(2)}=Q_2$，即当 $Q_2Q_1=11$ 时发生复位，所以后一片 74LS290 构成 6 进制计数器。

又 Q_3 作为后一片的计数脉冲，每当 Q_3 由 1 变为 0，即前一片计数由 9 变为 0 时，后一片 74LS290 开始计一个数，后一片计数到 5 之后，Q_3 再来一个下降沿，后一片计数器发生复位。所以整个计数器的计数范围为 0~59，为 60 进制计数器。

6.25

解：（a）由逻辑电路图可知，$\overline{LD}=\overline{Q_3Q_1}$，所以当 $Q_3Q_1=11$ 时，再来一个计数脉冲，计数器将输出预置数 0011，状态表如下：

CP	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	1	1
1	0	1	0	0
2	0	1	0	1
3	0	1	1	0
4	0	1	1	1
5	1	0	0	0
6	1	0	0	1
7	1	0	1	0
8	0	0	1	1

所以为八进制计数器。

（b）有电路图知：$\overline{CR}=\overline{Q_3Q_1}$，所以当 $Q_3Q_1=11$ 时，计数器发生复位。

状态表如下：

CP	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	0	0	0	0

所以为十进制计数器。

6.26

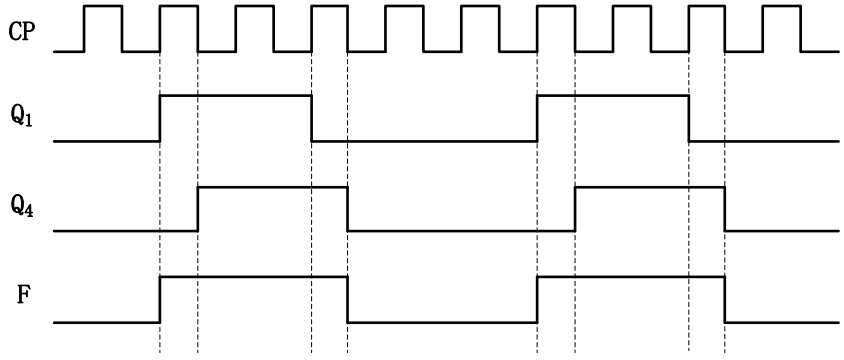
解：由电路图知，预置数为：10111110，即 190。当第二个 74LS161 进位输出 1 时，即计数器输出为 FF(255)，两个 74LS161 发生预置数操作。所以计数范围为 190~255，为 66 进制计数器。

6.27

解：由电路图知，$\overline{CR}=\overline{Q_0Q_2}$， $F=\overline{\overline{Q_1}\,\overline{Q_4}}=Q_4+Q_1$,计数器 74LS161 的状态表如下：

CP	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	0	0	0

在 CP 作用下，Q_1、Q_4、F 的输出波形如下：



由波形图可看出 F 为方波，且周期为 CP 周期的 5 倍，频率为 CP 的 0.2 倍。

6.28

解：因为$M_1M_0=01$，所以寄存器为右移寄存器。

状态转换表如下：

CP	Q_3^n	Q_2^n	Q_1^n	Q_0^n	Q_3^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	Q_0^{n+1}
0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	1	0	1
3	0	1	0	1	1	0	1	1
4	1	0	1	1	0	1	1	1
5	0	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	0
7	1	1	1	0	1	1	0	0
8	1	1	0	0	1	1	0	0
9	1	0	0	0	0	0	0	0

由状态转换表可知，这是一个十进制计数器。

6.29

解：计数器 74LS161 当输出 $Q_3Q_2Q_1Q_0=1111$ 时，$\overline{LD}=0$，下一个脉冲到来时，输出预置数 $Q_3Q_2Q_1Q_0=0110$，状态转换表如下：

CP	Q_3^n	Q_2^n	Q_1^n	Q_0^n	F^n	Q_3^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	Q_0^{n+1}	F^{n+1}
0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1
3	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0
4	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0
5	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
6	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1
7	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0
8	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1

输出 F 的序列为 1101000101。