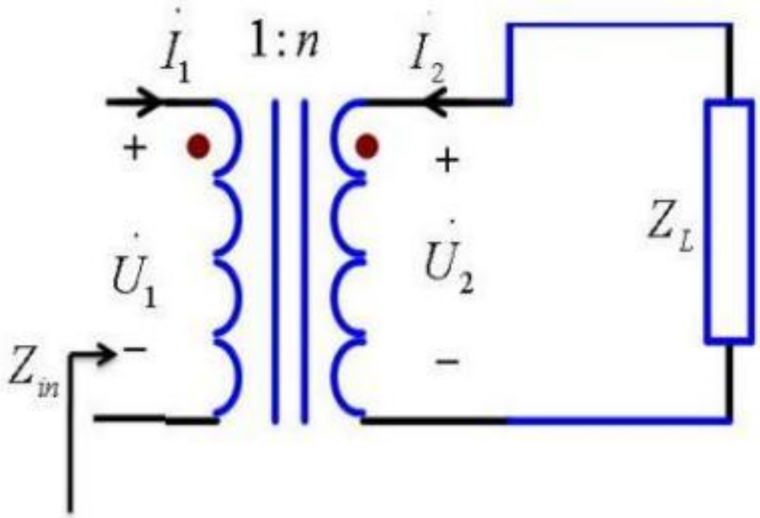
非线性电子线路习题课

第4章

1. 理想变压器的阻抗变换：



$\dot{U}_2 = n\dot{U}_1$ 变压关系

$\dot{I}_2 = -\frac{1}{n}\dot{I}_1$ 变流关系

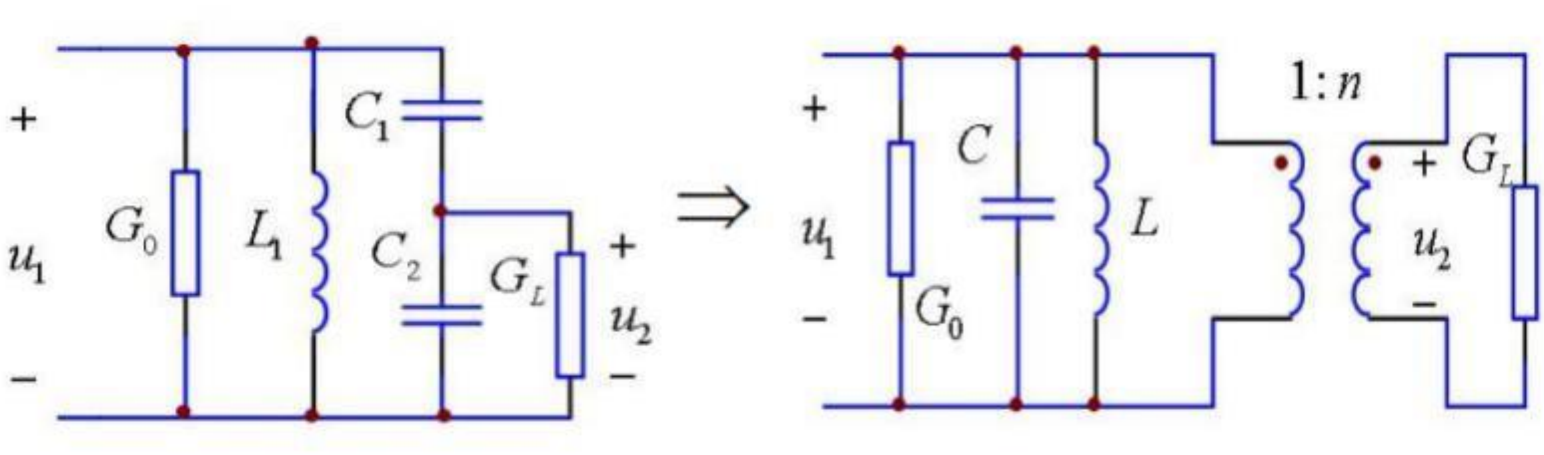
$Z_{in} = \frac{1}{n^2}Z_L\ (G_{in} = n^2 G_L)$ 变阻抗关系

Z_{in} – 从初级看进去的等效电阻

Z_L – 次级线圈所接纯电阻

$\dot{U}_1\dot{I}_1 = \dot{U}_2\dot{I}_2$ 能量守恒

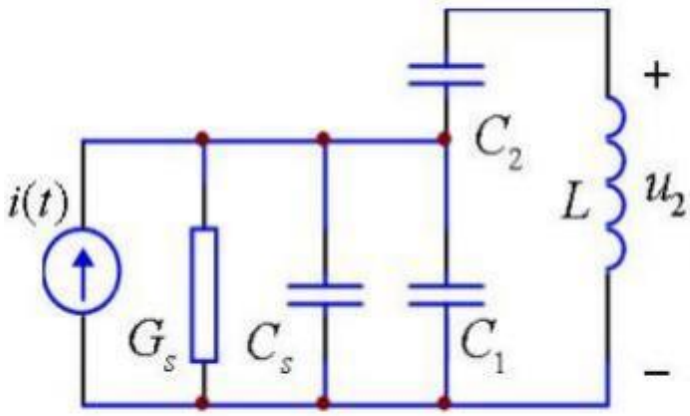
2. 电容分压式部分接入阻抗变换：



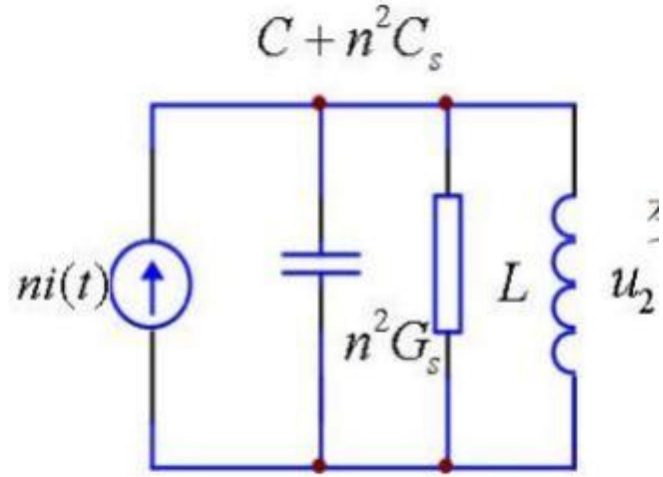
$$
\begin{cases}
Q^* = \dfrac{\omega_0 C_2}{G_L}, \quad C = \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}, \quad n = \dfrac{C}{C_2}, \\
L = L_1, \quad \omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}, \quad Q_T = \dfrac{\omega_0 C}{G_0 + n^2 G_L}
\end{cases}
$$

部分接入法有利于减少外接阻抗对回路有载Q值或谐振频率的影响

3. 受控源阻抗变换：

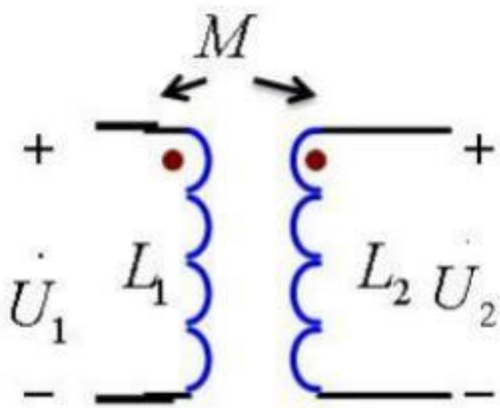


$\Rightarrow$



$$n=\frac{C}{C_1}<1 \qquad C=\frac{C_1C_2}{C_1+C_2} \qquad \omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}$$

4. 带互感的全耦合变压器：



互感式

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

$$\dot{U}_2 = n\dot{U}_1$$

$$n = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} = \frac{M}{L_1}(k = 1)$$ 全耦合变压器

4.7 一可变频率振荡器如图 E4.7 所示。已知：$L=0.1\text{mH}$，$C_1=300\text{pF}$，$C_2=20\text{pF}$，$C_3=12\sim250\text{pF}$。

(1) 标出变压器的同名端。

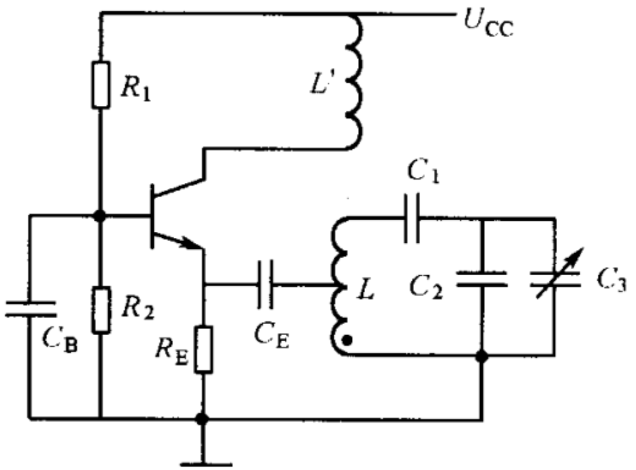
(2) 假定在变动范围内，电路均能起振，求振荡频率范围。 【Ans.：1.335MHz～2.960MHz】

(1) 上端为同名端

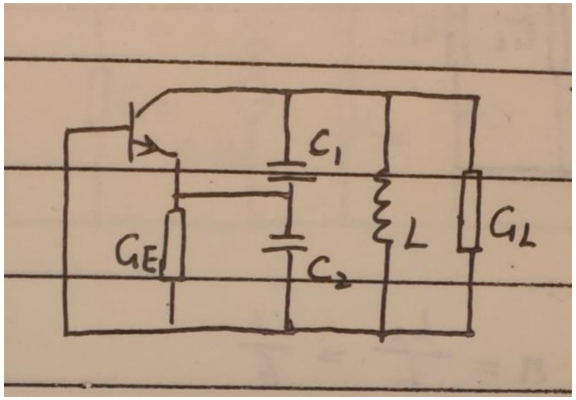
(2) $C_{23} = C_2 + C_3 \in [32, 270]\,\text{pF}$

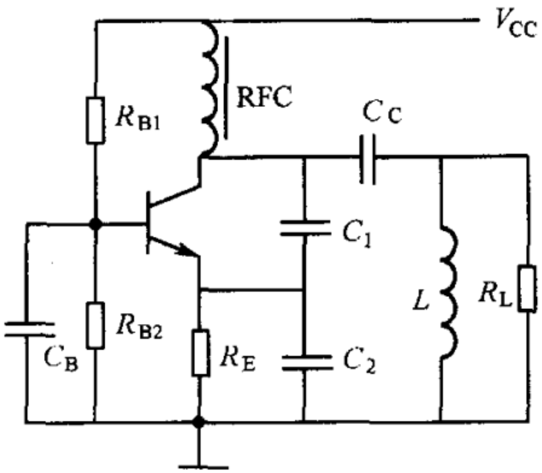
$C_{总} = C_1 串 C_{23} = \dfrac{C_1 C_{23}}{C_1 + C_{23}} \in [28.92, 142.11]\,\text{pF}$

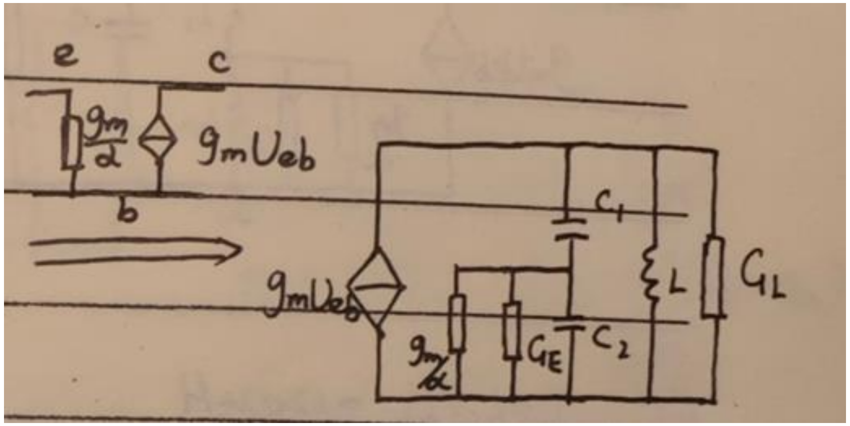
$\therefore f = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC_{总}}} \in [1.33\,\text{MHz}, 2.96\,\text{MHz}]$



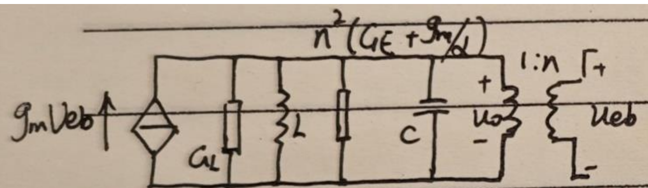
4.9 图 E4.9 所示的一般电容三点式电路中，已知 $C_1=100\text{pF}$，$C_2=1000\text{pF}$，$R_E=1.2\text{k}\Omega$，$R_L=200\Omega$，电感量 $L=1\mu\text{H}$，其 $Q_0=100$。晶体管 $\beta=50$。试问此电路的振荡频率约为何值？为保证满足起振的幅度条件，I_{EQ} 应大于何值？ 【Ans.：16.69MHz，0.44mA】







4.9 图 E4.9 所示的一般电容三点式电路中，已知 $C_1 = 100\text{pF}$，$C_2 = 1000\text{pF}$，$R_E = 1.2\text{k}\Omega$，$R_L = 200\Omega$，电感量 $L = 1\mu\text{H}$，其 $Q_0 = 100$。晶体管 $\beta = 50$。试问此电路的振荡频率约为何值？为保证满足起振的幅度条件，I_{EQ} 应大于何值？ 【Ans.：16.69MHz，0.44mA】



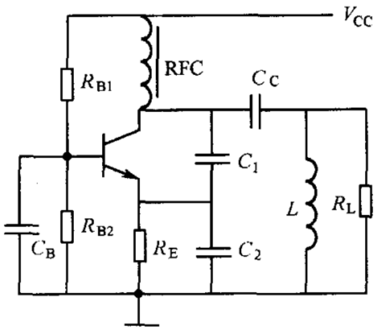
$$g_{mQ} = \frac{\alpha I_{EQ}}{U_T} = \frac{\beta}{1+\beta}\frac{I_{EQ}}{U_T} = 0.98\frac{I_{EQ}}{U_T}, \quad C = \frac{C_1C_2}{C_1+C_2} = 90.9\text{pF}, \ f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 16.69\text{MHz}$$

$$g_\Sigma = G_L + n^2\left(G_E + \frac{g_m}{\alpha}\right), \quad n = \frac{C_1}{C_1+C_2} \approx 0.091$$

$$AF = \frac{U_f}{U_{eb}} = \frac{nU_o}{U_{eb}} = \frac{n g_m}{g_\Sigma} > 1 \Rightarrow g_m > \frac{G_L + n^2 G_E}{n(1-n/\alpha)} = 60.65\text{mS} = g_{m,min} < g_{mQ}$$

∴起振条件满足 $g_{m,min} = 60.65\text{mS} < g_{mQ} = \frac{\alpha I_{EQ}}{U_T}$

$$\therefore I_{EQ} > \frac{g_{m,min} U_T}{\alpha} = 1.61\text{mA}$$



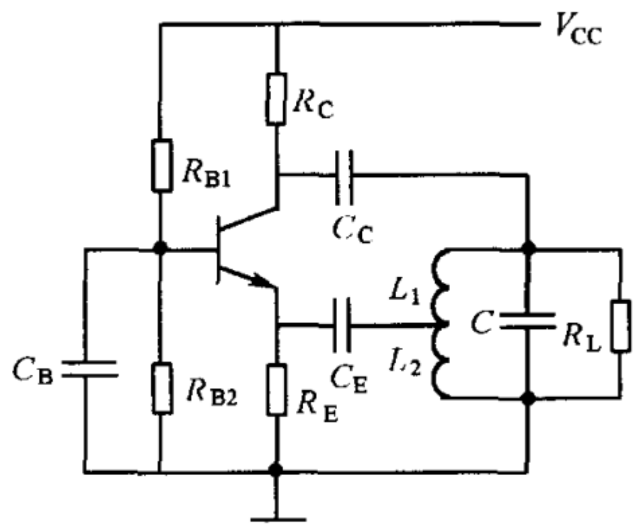
4.10　图 E4.10 所示的电路中，给定：晶体管 $\alpha=0.98$，$V_{CC}=6V$，C_E，C_B，C_C 均为 $0.01\mu F$。其他电路元件值为：$C=510pF$，$R_L=1k\Omega$，$R_{B1}=8.1k\Omega$，$R_{B2}=5k\Omega$，$R_E=1k\Omega$，$L_1=100\mu H$，$L_2=20\mu H$，且其 Q_0 值均为 100，$R_C=2k\Omega$。

(1) 试推导起振幅度条件。【Ans.：$g_m>11.05mA$】

(2) 计算负载 R_L 上正弦电压的频率和幅度。【Ans.：$U_{R_L}=1.602V$，$f_{osc}=643.35kHz$】

$$V_{BB}=\frac{R_{B2}}{R_{B1}+R_{B2}}\times V_{CC}=\frac{5}{5+8.1}\times 6=2.29V$$

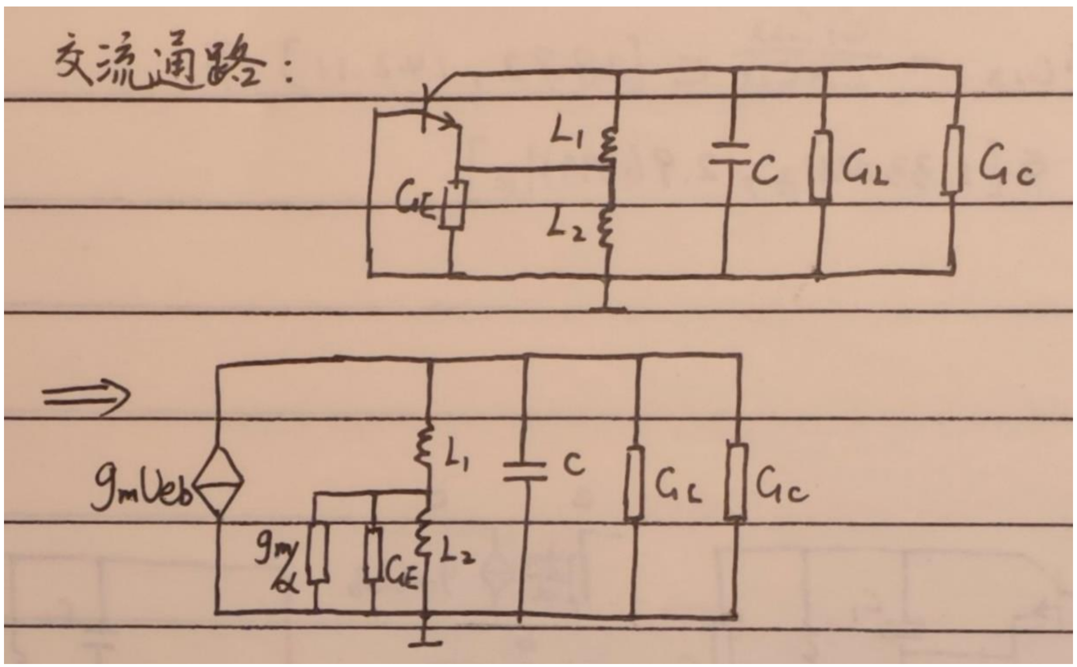
$$I_{EQ}=\frac{V_{BB}-0.7}{R_E}=1.59mA$$

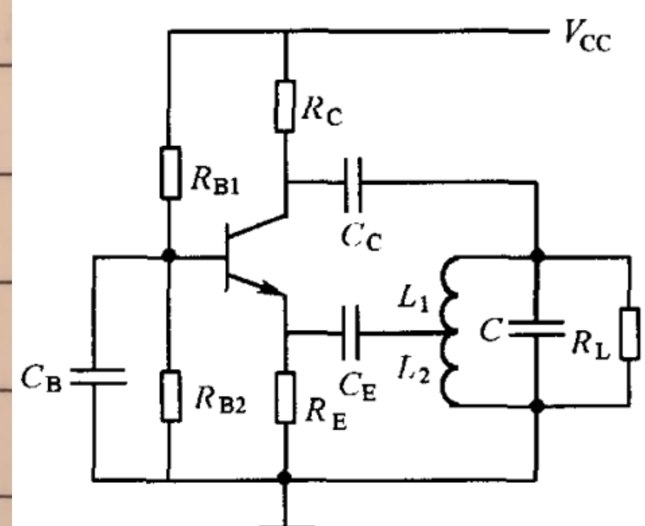


4.10 图 E4.10 所示的电路中，给定：晶体管 $\alpha=0.98$，$V_{CC}=6V$，C_E，C_B，C_C 均为 $0.01\mu F$。其他电路元件值为：$C=510pF$，$R_L=1k\Omega$，$R_{B1}=8.1k\Omega$，$R_{B2}=5k\Omega$，$R_E=1k\Omega$，$L_1=100\mu H$，$L_2=20\mu H$，且其 Q_0 值均为 100，$R_C=2k\Omega$。

(1) 试推导起振幅度条件。 【Ans.：$g_m>11.05mA$】

(2) 计算负载 R_L 上正弦电压的频率和幅度。 【Ans.：$U_{R_L}=1.602V$，$f_{osc}=643.35kHz$】





Chapter 4

4.10 图 E4.10 所示的电路中，给定：晶体管 $\alpha=0.98$，$V_{CC}=6\text{V}$，C_E，C_B，C_C 均为 $0.01\mu\text{F}$。其他电路元件值为：$C=510\text{pF}$，$R_L=1\text{k}\Omega$，$R_{B1}=8.1\text{k}\Omega$，$R_{B2}=5\text{k}\Omega$，$R_E=1\text{k}\Omega$，$L_1=100\mu\text{H}$，$L_2=20\mu\text{H}$，且其 Q_0 值均为 100，$R_C=2\text{k}\Omega$。

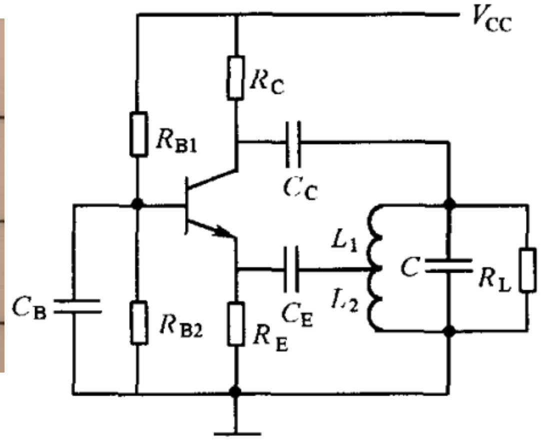
(1) 试推导起振幅度条件。【Ans.：$g_m>11.05\text{mA}$】

(2) 计算负载 R_L 上正弦电压的频率和幅度。【Ans.：$U_{R_L}=1.602\text{V}$，$f_{osc}=643.35\text{kHz}$】

$$L=L_1+L_2=120\mu\text{H},\quad n=\frac{L_2}{L}=\frac{1}{6}$$

$$g_\Sigma=G_C+G_L+n^2(g_m/\alpha+G_E)$$

$$AF>1\Rightarrow g_m>\frac{n^2G_E+G_C+G_L}{n(1-n/\alpha)}=11.05\text{mS}$$



4.10 图 E4.10 所示的电路中，给定：晶体管 $\alpha=0.98$，$V_{CC}=6V$，C_E，C_B，C_C 均为 $0.01\mu F$。其他电路元件值为：$C=510pF$，$R_L=1k\Omega$，$R_{B1}=8.1k\Omega$，$R_{B2}=5k\Omega$，$R_E=1k\Omega$，$L_1=100\mu H$，$L_2=20\mu H$，且其 Q_0 值均为 100，$R_C=2k\Omega$。

(1) 试推导起振幅度条件。 【Ans.：$g_m>11.05mA$】

(2) 计算负载 R_L 上正弦电压的频率和幅度。 【Ans.：$U_{R_L}=1.602V$，$f_{osc}=643.35kHz$】

$g_{mQ} = \frac{\alpha I_{EQ}}{U_T} = 56.44mS$，$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 643.35kHz$.

$G_{m1}(x) = g_{m\min} = 11.05mS$，此时 $\frac{G_{m1}(x)}{g_{mQ}} = \frac{11.05}{56.44} = 0.196$

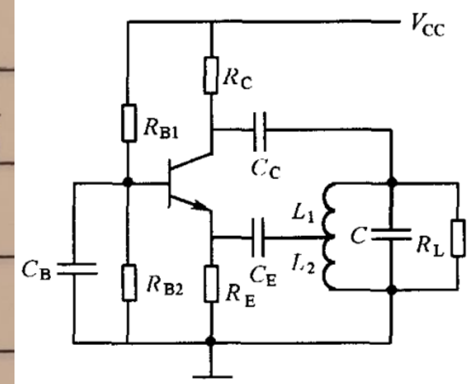
$x_\lambda = \frac{2.29-0.7}{0.026} = 61.15$

$x=11$，$\frac{G_{m1}(x)}{g_{mQ}} = \left[1+\frac{8.894}{61.15}\right]\times 0.17335 = 0.19856$

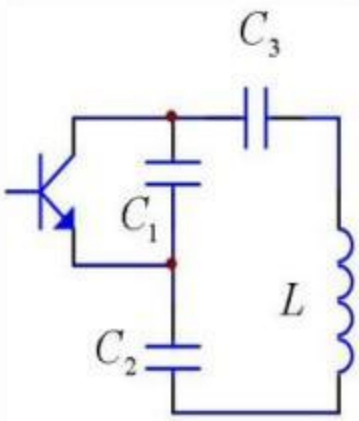
$x=12$，$\frac{G_{m1}(x)}{g_{mQ}} = 0.18526$

当 $\frac{G_{m1}(x)}{g_{mQ}} = 0.196$ 时，内插法得 $x \approx 11.2$

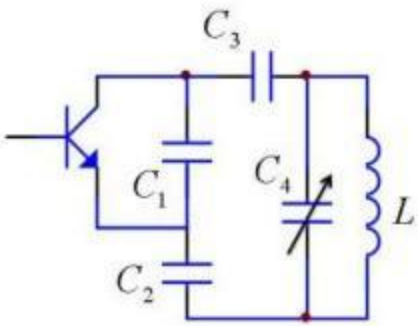
$x = \frac{nU_o}{U_T}$，$n=\frac{1}{6}$ $\therefore U_o = 1.75V$



3. 改进型电容三点式振荡电路



Clapp电路



Siller电路

(1) Clapp电路　$C_3 << C_1, C_2$

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}\approx\frac{1}{C_3}$$

$$f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\approx\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_3}}$$

$$n_1=\frac{C}{C_1}\approx\frac{C_3}{C_1}\text{小}\qquad n_2=\frac{C}{C_2}\approx\frac{C_3}{C_2}\text{小}$$

$\because$ 极间电容接入效应为$n_1^2 C_{ce}, n_2^2 C_{b'e}$

$\therefore$ 极间电容的影响变小　$g_{m,\min}=\dfrac{G_L+n^2G_E}{n(1-n/\alpha)}$

(2) Siller电路：$C_3, C_4 << C_1, C_2$，通过C_4调节频率。

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_3+C_4)}}$$

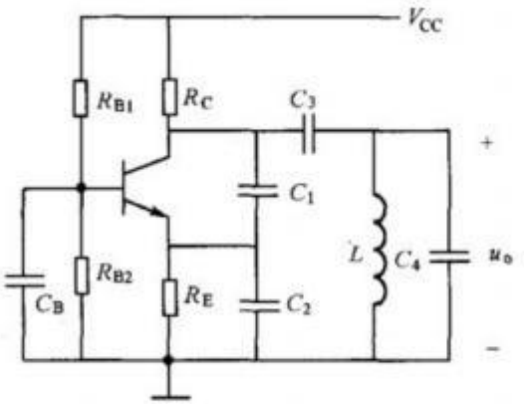
优点：改变C_4不影响任何其它接入系数。所有波段式电容三点式电路均采用此电路。

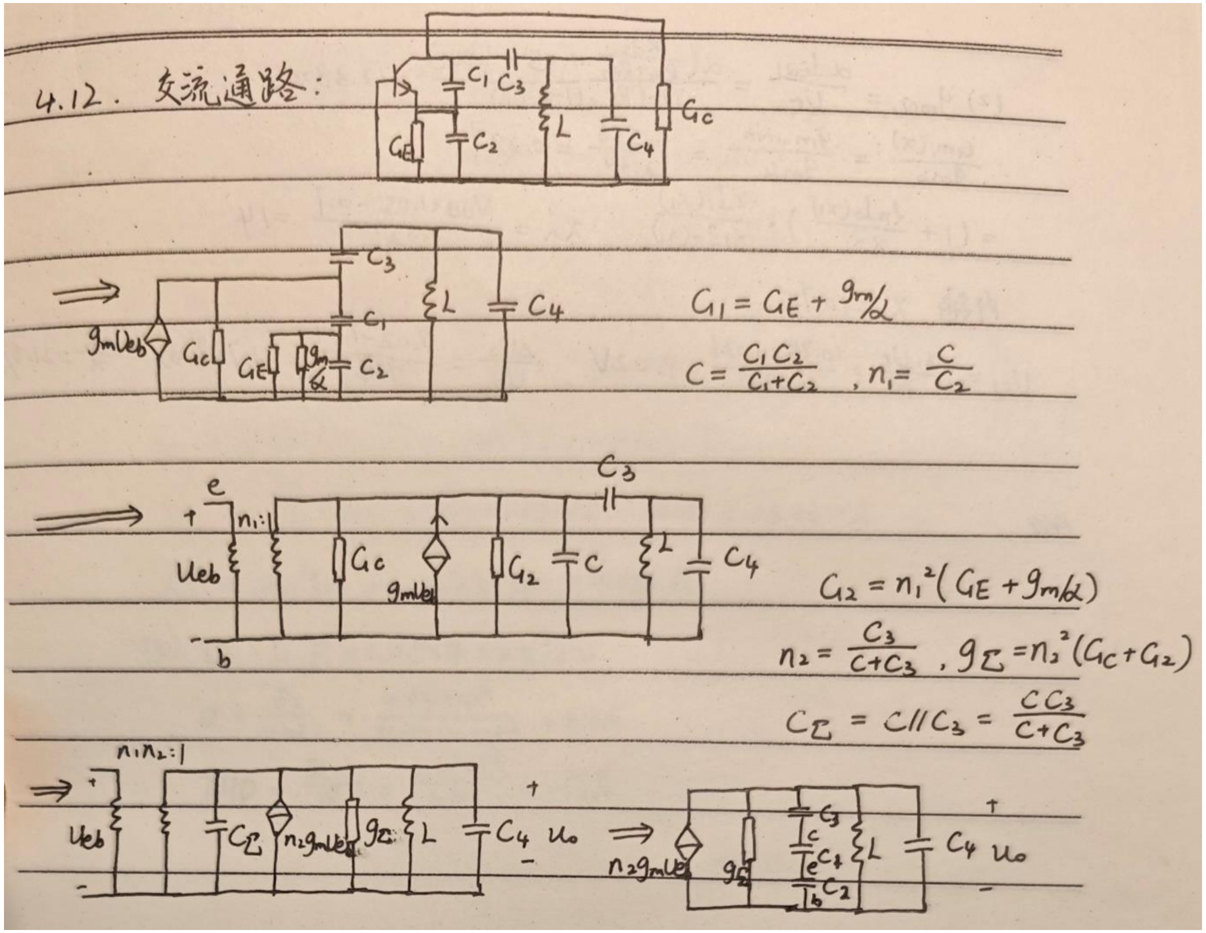
缺点：C_3减小时，接入系数变小，$g_{m,\min}$变大，环路增益T变小。在改变C_3调整频率时，有可能不满足起振幅度条件而停振。

4.12 设图 E4.12 所示的 Siller 电路中，晶体管 $\alpha=0.97$，$V_{CC}=12V$，$L=0.8\mu H$；$R_{B1}=39k\Omega$，$R_{B2}=3.6k\Omega$，$R_C=1.5k\Omega$，$R_E=1k\Omega$，$C_1=100pF$，$C_2=200pF$，$C_3=6.8pF$，$C_4=2.2pF$。

(1) 求输出电压的频率、幅度和 THD。【Ans.：$f_{osc}=61.5MHz$，$U_o=7.44V$，THD=0.2%】

(2) 若电源电压增大 5%，求输出电压的相对变化量 $\Delta U_o/U_o$。【Ans.：28.5%】





$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_3+C_4)}}=59MHz,\quad C=\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}=66.67pF,\quad C_\Sigma=\frac{66.67\times6.8}{66.67+6.8}=6.17pF$$

$$I_{EQ}=\left(\frac{R_{B2}}{R_{B1}+R_{B2}}\times V_{CC}-0.7\right)\Big/\left(R_E+(1-\alpha)R_B\right),\quad \text{其中 } R_B=R_{B1}/\!/R_{B2}=3.296k\Omega$$

$$=\frac{1.014-0.7}{1+0.03\times3.296}=0.2857mA$$

$$g_{mQ}=\frac{\alpha I_{EQ}}{U_T}=10.66mS$$

$$n_1=\frac{C_1}{C_1+C_2}=0.33,\quad n_2=\frac{C_3}{C+C_3}=0.0925,\quad g_\Sigma=n_2^2\left(G_C+n_1^2\left(G_E+\frac{g_m}{\alpha}\right)\right)$$

$$G_C=0.67mS,\ G_E=1mS,\quad A=\frac{U_o}{U_{eb}}=\frac{n_2g_mU_{eb}}{g_\Sigma}\cdot\frac{1}{U_{eb}}=\frac{n_2g_m}{g_\Sigma}$$

$$F=\frac{U_f}{U_o}=\frac{C_\Sigma}{C_2}=\frac{6.17}{200}=0.031,\quad |AF|\geq1$$

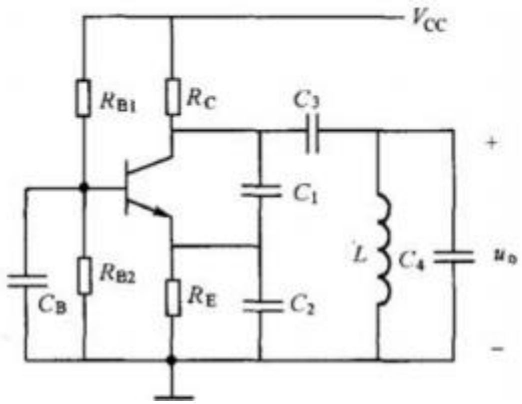
$$\therefore g_m\geq3.57mS,\quad g_{mQ}>g_{m,min}\text{，可以起振，稳定时 } G_{m1}(x)=g_{m,min}=3.57mS$$

$$\therefore\frac{G_{m1}(x)}{g_{mQ}}=\frac{3.57}{10.66}=0.335\quad \text{内插得 } x=8.84$$

$$\therefore U_o=\frac{xU_T}{F}=7.41V,\quad Q_o=\frac{\omega_{osc}(C_1/\!/C_2/\!/C_3+C_4)}{g_\Sigma/g_m}=\frac{2\times3.14\times59\times10^6\times(6.17+2.2)\times10^{-12}}{0.01\times10^{-3}}=310$$

$$THD=\frac{D(x)}{Q_o}=0.18\%$$

（2）若电源电压增大 5%，求输出电压的相对变化量 $\Delta U_o/U_o$。 【Ans.：28.5%】



(2) $g_{mQ_1} = \dfrac{\alpha I_{EQ1}}{U_T} = \dfrac{\alpha\left(\frac{R_{B2}}{R_{B1}+R_{B2}}\times 1.05 - U_{BEQ}\right)}{U_T(R_E+(1-\alpha)R_B)} = 12.38\,mS$

$\therefore \dfrac{G_{m1}(x)}{g_{mQ}} = \dfrac{g_{m,min}}{g_{mQ}'} = \dfrac{3.556}{12.38} = 0.287$

$= \left(1+\dfrac{\ln I_0(x_1)}{x x_1}\right)\cdot\dfrac{2I_1(x_1)}{x_1 I_0(x_1)}$ ， $x_1' = \dfrac{V_{BB}\times 1.05-0.7}{0.026} = 14$

内插 $x_1 = 10.75$

$U_{o1} = \dfrac{x_1 U_T}{F} = \dfrac{10.75\times 0.026}{0.031} = 9.02V$ ， $\dfrac{\Delta U_o}{U_o} = \dfrac{9.02-7.41}{7.41} = 21.73\%$ 或 $= \dfrac{\Delta x}{x} = 21.6\%$

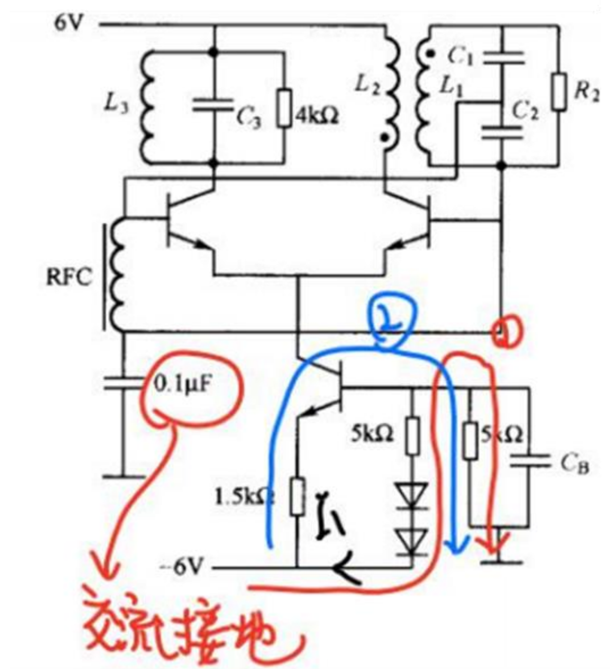
Chapter 4

4.13 一实际差分放大器振荡器如图 E4.13 所示，已知：$\omega_0 = 6\times10^6$ rad/s；$C_2 = 9C_1$，$L_2 = M = 24\mu H$，$L_1 = 120\mu H$，L_3C_3 回路亦调谐于 6×10^6 rad/s，各晶体管的 β 值足够大。

(1) 求差分放大器的偏置恒流源 I_K 的大小。【Ans.：2mA】

(2) 选择 R_2，使左管差动输入电压幅度为 104mV。【Ans.：4.65kΩ】

(3) 在(2)的基础上，求输出电压幅度 U_o 及其 THD。【Ans.：4.47V，0.13%】



4.13 (1) 由于β足够大，故 $I_K = I_C \approx I_E$

$0 - I_1\times5 - I_1\times5 - 0.7\times2 = -6$ ∴ $I_1 = 0.46mA$

$-6 + 1.5 I_E + 0.7 + I_1\times5 = 0$ ∴ $I_E = 2mA = I_K$

(2) $U_{左} = U_{L2} = 104mV$，$C_1//C_2 = \frac{C_1C_2}{C_1+C_2} = 0.9C_1 = 0.1C_2$

$U_{R2} = U_{C2}\cdot\frac{C_2}{C_1//C_2} = 1.04V$，$x = \frac{U_1'}{U_T} = 4$

$I_{c1} = I_K a_1(x) = 2\times0.5589 = 1.118mA = I_{L2}$

$I_{R2} = \frac{M}{L_1}\times I_{c2} = \frac{24}{120}\times1.118mA = 0.2236mA$

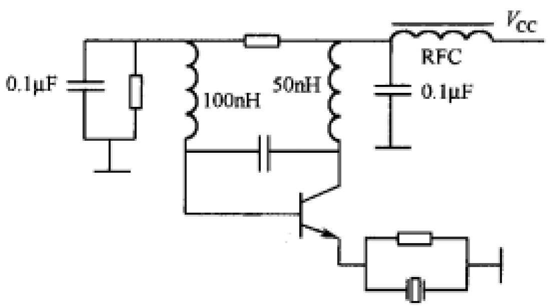
$R_2 = U_{R2}/I_{R2} = 1.04/0.2236 = 4.65k\Omega$

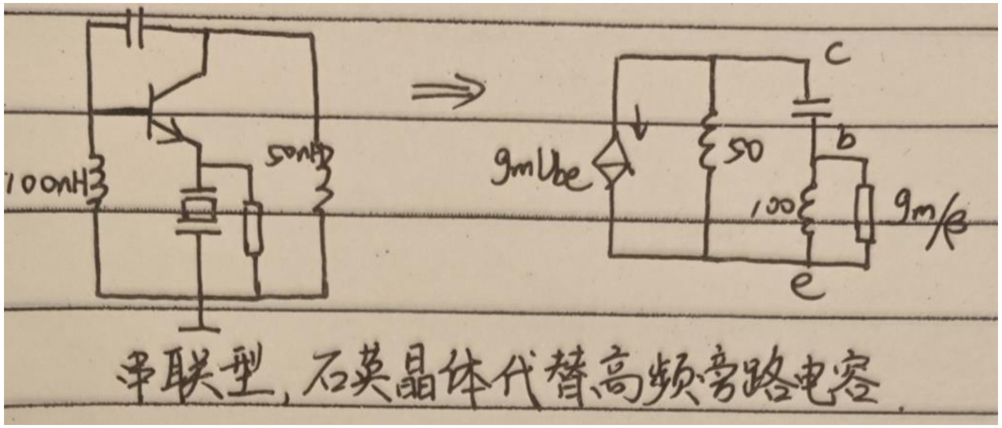
(3) $U_o = I_{c1}R = 1.118\times4 = 4.472V$

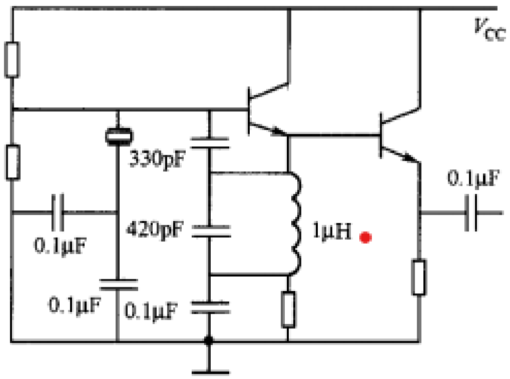
$Q = \frac{R_2}{\omega_0 L_1} = \frac{4.65\times10^3}{6\times10^6\times120\times10^{-6}} = 6.46$

$THD = \frac{D(x)}{Q} = \frac{0.06383}{6.46} = 0.99\%$

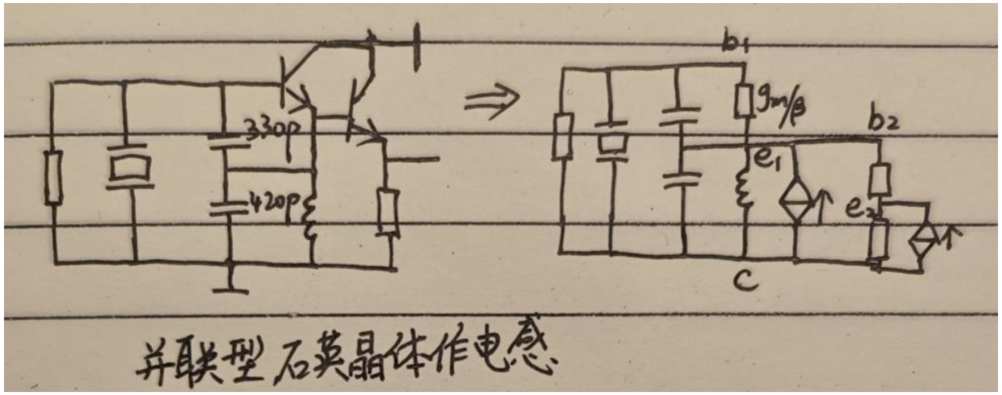
4.17 画出如图 E4.17 所示各电路的交流等效电路，并指明电路类型。



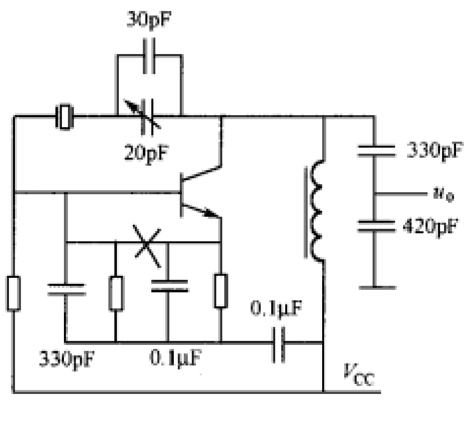




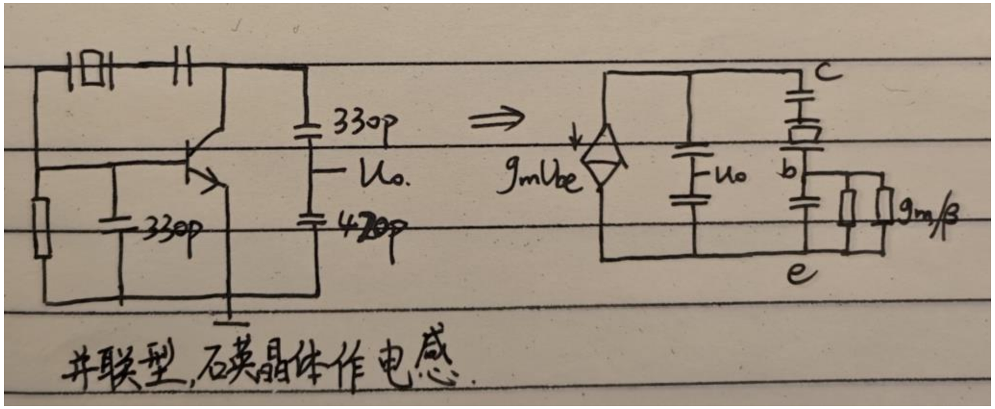
(b)

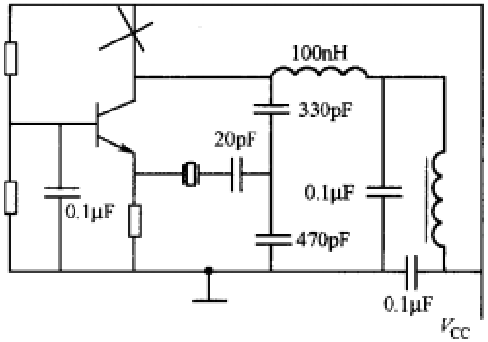


4.17 画出如图 E4.17 所示各电路的交流等效电路，并指明电路类型。

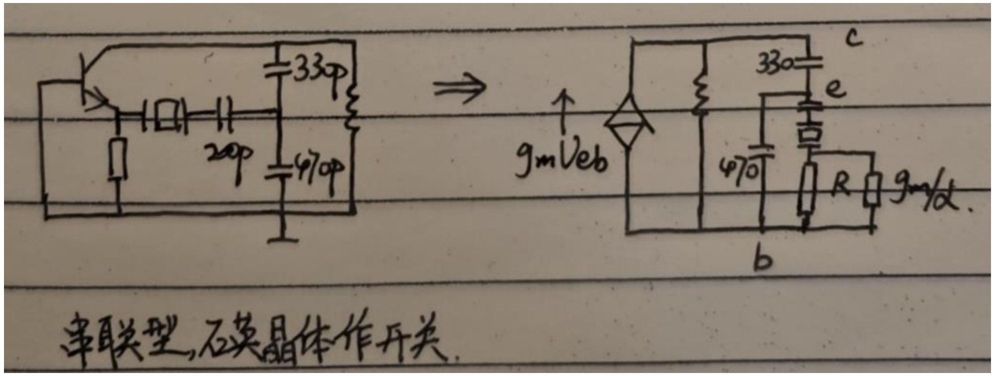


(c)

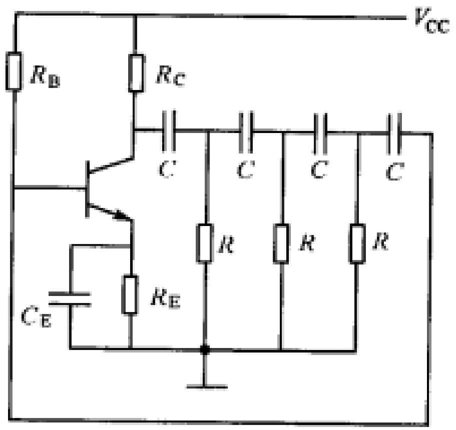




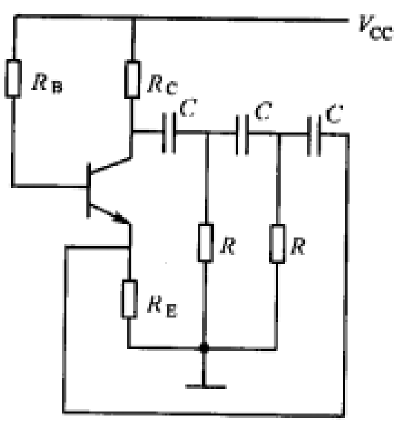
(d)



4.21 指出图 E4.20 所示中的电路哪些电路能振荡，哪些不能振荡，为什么？

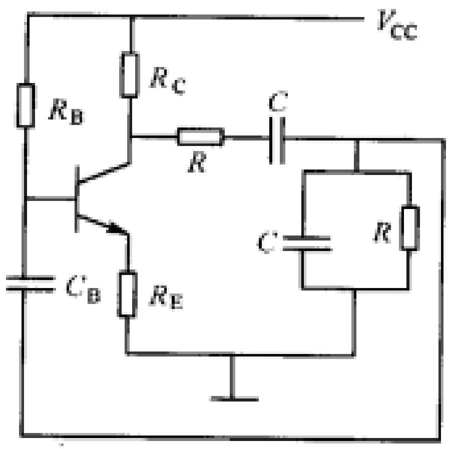


可以振荡，共射组态反相放大，相移180°，三级移相网络，每级60°，共360°



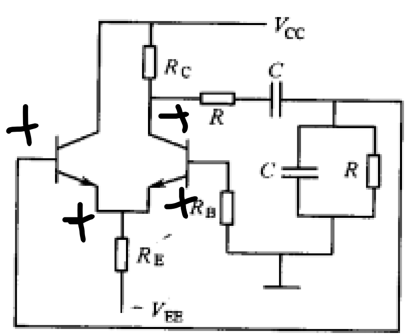
不可以，C和E同相，两级移相网络无法实现0°或360°

4.21 指出图 E4.20 所示中的电路哪些电路能振荡，哪些不能振荡，为什么？



(c)

不能，C与B之间相移180°，RC串并联网络相移在-90°到+90°之间



(d)

可以， RC串并联网络相移为0°时满足正反馈

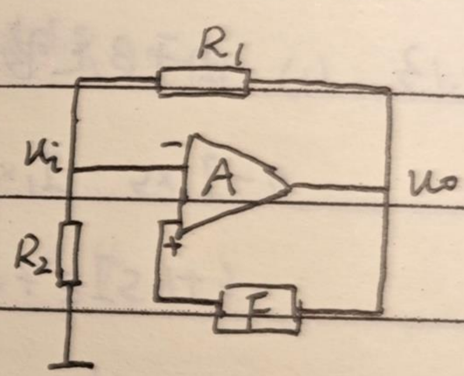
4.22 在图 E4.21 电路所示的文氏桥振荡器中，$C=0.01\mu F$，$R=10k\Omega$，$A_u=1000$，应如何选定 R_1，R_2 才能使电路振荡，并计算振荡频率。

4.22. $f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 1.592kHz$

$u_o = (1+\frac{R_1}{R_2})u_i \quad \therefore A_1 = 1+\frac{R_1}{R_2} = \frac{u_o}{u_i}$

$f=f_0$ 时，$F_{max} = \frac{1}{3}$

$A_1F>1 \Rightarrow \frac{R_1}{R_2}+1>3 \Rightarrow R_1>2R_2$



A、R_1、R_2构成同相比例运算电路；

$$A_f = 1+\frac{R_1}{R_2}$$

RC串并联网络起选频和反馈作用；

$$\omega_{osc} = \omega_0 = \frac{1}{RC} \qquad F = \frac{1}{3}$$