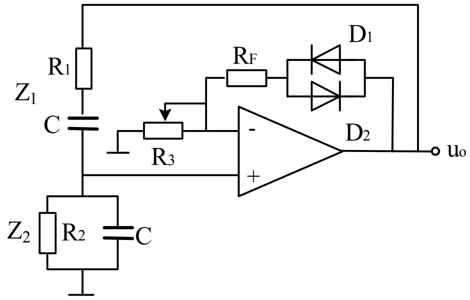
第十章　信号产生电路

10.1 证明：题 10.1 图所示 RC 振荡电路的振荡频率为 $f_o=\dfrac{1}{2\pi C\sqrt{R_1R_2}}$



题10.1图

证明：Z1= $R_1-j\dfrac{1}{\omega C}$， $Z_2=\dfrac{R_2(-j\dfrac{1}{\omega C})}{R_2-j\dfrac{1}{\omega C}}=\dfrac{R_2}{1+j\omega R_2C}$

以运放的同相端作为放大电路的输入端，反馈系数

$$\dot{F}=\frac{Z_2}{Z_1+Z_2}=\frac{\dfrac{R_2}{1+j\omega R_2C}}{R_1-j\dfrac{1}{\omega C}+\dfrac{R_2}{1+j\omega R_2C}}=\frac{j\omega R_2C}{1-\omega^2R_1R_2C^2+j\omega(R_1+2R_2)C}$$

电压放大倍数为大于零的为实数，即　$\varphi_{\dot{A}}$ =0。

因此，当$\varphi_{\dot{A}}+\varphi_{\dot{F}}=0$ 时、即$\varphi_{\dot{F}}=0$ 时，电路就有可能产生自激振荡。与$\varphi_{\dot{F}}=0$ 对应的关系式为

$$1-\omega^2R_1R_2C^2=0$$

即

$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{R_1R_2}C}$$

因此振荡频率为

$$f_0=\frac{\omega_0}{2\pi}=\frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2}C}$$

10.2 题 10.1 图中，R_1=2kΩ，R_2=1kΩ，R_3=5.1kΩ，R_F=10kΩ,R_3 大致调到多大时，电路才能起振？估算 R_3=4kΩ时输出电压的幅值。设二极管的正向压降为 0.6V。

解：$\dot{F}(j\omega_0)=\dfrac{R_2}{R_1+2R_2}=\dfrac{1}{2+2}=\dfrac{1}{4}$

$$A=1+\frac{R_F}{R_3}$$

由起振条件：AF≥1 得 $R_3\le\dfrac{R_F}{3}=3.3k\Omega$

即 R_3 大致调到 3.3kΩ时电路就能起振。设 R_3=4kΩ时，电路有稳定的正弦电压输出，则根据平衡条件，有

$$\frac{1}{4}\cdot(1+\frac{R_F+R_D}{R_3})=1,$$

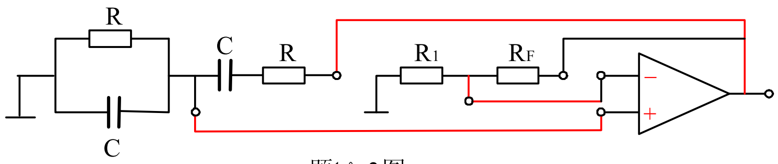
R_D=2kΩ

由于二极管上的压降为 0.6V，故有

$$\frac{U_{om}}{2+10+4}=\frac{0.6}{2}$$

U_{om}=4.8V

10.3 将题 10.3 图所示电路的相应端点连接起来，构成文氏电桥振荡电路。已知电容为 0.1uF，负温度系数电阻为 4kΩ，若要求振荡频率为 1.25kHz，试确定电阻 R 和 R_1 的阻值。



题10.3图

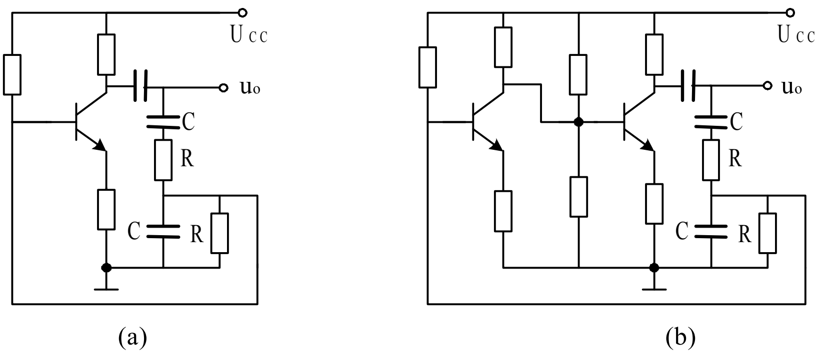
解：电路要求当输出电压增大、电阻温度增高时，放大倍数减小，因此，负温度系数电阻应是 R_F。由振荡频率公式 $f_0=\dfrac{1}{2\pi RC}$ 得

$$R=\frac{1}{2\pi f_0C}=\frac{1}{2\times3.14\times1.25\times10^3\times0.1\times10^{-6}}=1.27k\Omega$$

由平衡条件 $A=1+\dfrac{R_F}{R_1}=3$ 得

$$R_1=\frac{R_F}{2}=2k\Omega$$

10.4 试用相位平衡条件判断题 10.4 图所示电路能否产生自激振荡，并说明理由。

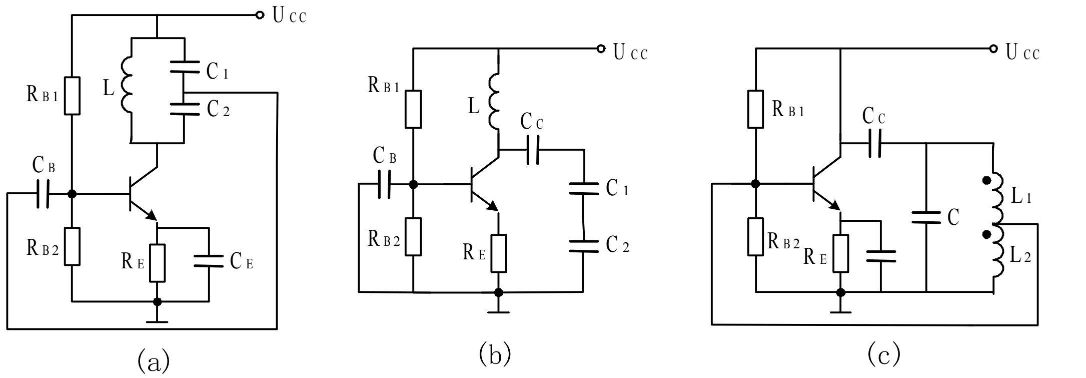


题10．4图

解：电路 a 不能产生自激振荡。因为$\omega = \frac{1}{RC}$时，$\varphi_{\dot{A}}$=180°，而$\varphi_{\dot{F}} = 0$，不满足相位平衡条件：$\varphi_{\dot{A}} + \varphi_{\dot{F}} = 0$；

电路 b 能产生自激振荡。当$\omega = \frac{1}{RC}$时，$\varphi_{\dot{A}}$=360°，$\varphi_{\dot{F}} = 0$，$\varphi_{\dot{A}} + \varphi_{\dot{F}} = 360°$，满足相位平衡条件。

10.5 题 10.5 所示电路中，C_B、C_C、C_E足够大，试问哪些电路不可能产生自激振荡，请加以改正，并写出振荡频率公式。



题10．5图

解：三个电路均不能产生自激振荡。

a 电路中，对并联谐振频率$\omega_0 = \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{LC_1C_2}}$，$\varphi_{\dot{A}}$=180°，而

$$\dot{F}=\frac{\frac{1}{j\omega_0 C_1}}{\frac{1}{j\omega_0 C}+\frac{1}{j\omega_0 C_2}}=\frac{C_2}{C_1+C_2}$$

即 $\varphi_{\dot{F}}=0$

因此，要使电路能自激振荡，需再接入一级反相放大电路，使 $\varphi_{\dot{A}}$=360°。

b 图电路中，u_B=0。电路不可能有交流输出，要产生自激振荡，应重新连线，改成电容三点式振荡电路，振荡频率 $\omega_0=\sqrt{\frac{C_1+C_2}{LC_1C_2}}$

c 图电路中，集电极交流接地，故无交流输出，加入放集电极电阻 R_C 并改变 L_2 的同名端，则对并联谐振频率

$$\omega_0=\sqrt{\frac{1}{(L_1+L_2-2M)C}}$$

有 $\varphi_{\dot{A}}$=180°，由

$$\dot{F}=\frac{\dot{U}_f}{\dot{U}_0}=\frac{j\omega_0 L_2\dot{I}_L-j\omega_0 M\dot{I}_L}{j\omega_0 L_1\dot{I}_L-j\omega_0 M\dot{I}_L+j\omega_0 L_2\dot{I}_L-j\omega_0 M\dot{I}_L}=\frac{L_2-M}{L_1+L_2-2M}$$

选取合适的 M，使 $\dot{F}$ 为负实数，即 $\varphi_{\dot{F}}=180°$，从而满足相位平衡条件。

10.6 在图 10.4.1 所示的方波产生电路中，已知 $R_1=R_2=R=20\,k\Omega$，C=0.01uF，U_Z=7V。计算矩形波的频率和 u_C 的幅值。

解：矩形波的振荡周期

$$T=2RC\ln(1+\frac{2R_1}{R_2})=2\times20\times10^3\times10^{-8}\ln(1+2)=4.4\times10^{-4}s$$

$$f=\frac{1}{T}=2.3\times10^3 H_Z$$

电容电压的幅值 $U_{cm}=U_+=\frac{R_1}{R_1+R_2}U_Z=\frac{1}{2}\times7=3.5V$

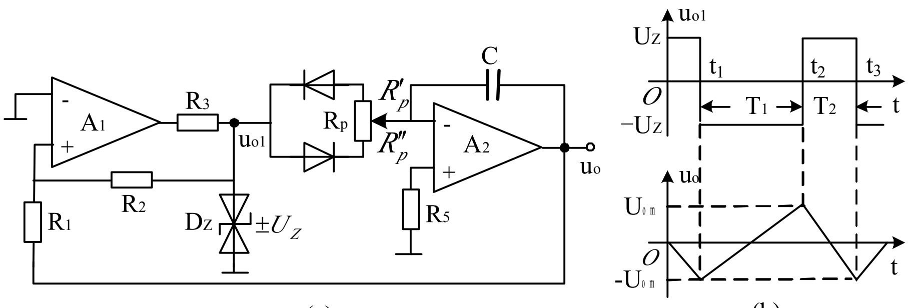
10.7 在图 10.4.4(a)所示电路的方波—三角波产生电路中，已知 U_Z=7V，$R_1=20\,k\Omega$，C=0.1uF，三角波的峰峰值为 14V，频率为 500H_Z，试确定 R_2、R_4 的阻值。

解：三角波峰值$U_{0m}=\frac{R_1}{R_2}U_Z=\frac{14}{2}=7V$，故 $R_2=R_1=20k\Omega$

由频率公式$f=\frac{R_2}{4R_1R_4C}$ 得

$$R_4=\frac{1}{4fC}=\frac{1}{4\times500\times10^{-7}}=5\times10^3\Omega$$

10.8 证明 图 10.4.5(a)所示锯齿波产生电路的周期公式(10.4.8)。



(a) (b)

图10.4.5 锯齿波产生电路及电压波形图

证明：运放 A_1 的同相端电位 $u_+=\frac{R_2U_b+R_1U_{01}}{R_1+R_2}$

当锯齿波的幅值为 $u_+=0$ 时，u_{O1} 跳变，此时，$u_0=-\frac{R_1}{R_2}u_{01}$ 即 $U_{0m}=\frac{R_1}{R_2}U_Z$

$t_1\leqslant t\leqslant t_2$ 时，电容放电，从 t_1 到 t_2，输出电压的变量为

$$\Delta u_0=\frac{1}{R''_pC}\int_{t_1}^{t_2}(-U_Z)dt=\frac{U_Z}{R''_pC}T_1=2U_{om}=\frac{2R_1}{R_2}U_Z$$

故 $$T_1=\frac{2R_1R''_PC}{R_2}$$

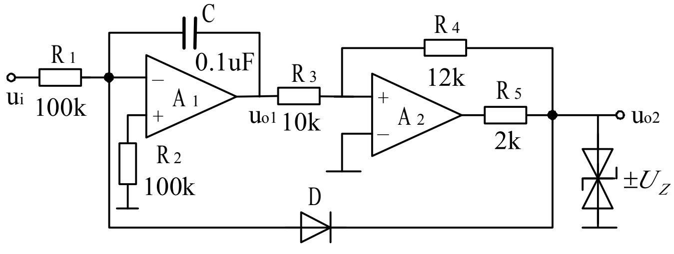
从 t_2 到 t_3，电容充电，输出电压的变量为

$$\Delta u_0=-\frac{1}{R'_pC}\int_{t_2}^{t_3}U_Zdt=\frac{U_Z}{R'_pC}T_2=-2U_{om}=-\frac{2R_1}{R_2}U_Z$$

$$T_2 = \frac{2R_1 R'_P C}{R_2}$$

故 $$T = T_1 + T_2 = \frac{2R_1(R''_P + R'_P)C}{R_2} = \frac{2R_1 R_P C}{R_2}$$

10.9 在题 10.9 图所示电路中，U_Z=6V，u_I 为小于 6V 的正电压，D 为理想二极管。(1) 分析电路的工作原理；（2）画出 u_{o1} 和 u_{o2} 的波形，标明电压幅值；（3）计算 u_I=5V 时的振荡频率。



题10. 9图

解：把 A_1 放在 A_2 后就可看出，电路与图 10.4.6（a）所示的压控振荡电路完全相同，因此，u_{01} 和 u_{02} 的波形分别是锯齿波和方波，波形如图 10.4.6（b）所示，方波幅值为 6V，锯齿波幅值 U_m 满足方程：

$$\frac{R_4}{R_3 + R_4}U_m + \frac{R_3}{R_3 + R_4}U_Z = 0$$

解得

$$U_m = \frac{R_3}{R_4}U_Z = \pm 0.5V$$

由电压控振荡器的频率公式（10.4.10）得

$$f = \frac{R_4}{2R_3 R_1 C}\frac{u_I}{U_Z} = \frac{12}{2\times 10\times 100\times 0.1}\times\frac{5}{6}kH_Z = 50H_Z$$

10.10 在图 10.4.6(a)所示的压控振荡电路中，若 u_I<0，电路应如何改动才能正常工作？当 u_I 变化时，三角波和矩形波的幅值是否变化，为什么？

解：$u_I<0$，$|u_I|<U_Z$，时，为使电路能正常工作，二极管 D 应反接，如图所示。这样，设通电后，$u_{O1}=+U_z$，则 D 导通，电容快速充电，u_O 由零快速下降至 $-U_{Om}$，U_{O1} 跳变为 $-U_z$，二极管截止；电容再通过 R_4 放电，u_O 线性上升，至 U_{Om} 后 u_{O1} 再跳度为 $+U_Z$，D 导通，电容快速充电。如此反复，产生周期信号。由于 u_O 的幅值由 R_1、R_2 和 U_Z 决定，因此，u_I 变化时，三角波和矩形波的幅值不会变化。