

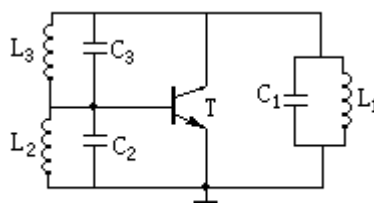
第 5 章习题解答

5-1 若反馈振荡器满足起振和平衡条件，则必然满足稳定条件，这种说法是否正确？为什么？

解： 不正确。因为满足起振条件和平衡条件后，振荡由小到大并达到平衡。但当外界因素（温度、电源电压等）变化时，平衡条件受到破坏。若不满足稳定条件，振荡器就不会回到平衡状态，最终导致停振。

5-3 题图 5-3 表示三回路振荡器的交流等效电路，假定有以下六种情况，即：

- (1) $L_1C_1 > L_2C_2 > L_3C_3$;
- (2) $L_1C_1 < L_2C_2 < L_3C_3$;
- (3) $L_1C_1 = L_2C_2 = L_3C_3$;
- (4) $L_1C_1 = L_2C_2 > L_3C_3$;
- (5) $L_1C_1 < L_2C_2 = L_3C_3$;
- (6) $L_2C_2 < L_3C_3 < L_1C_1$ 。



题图 5-3

试问哪几种情况可能振荡？等效为哪种类型的振荡电路？其振荡频率与各回路的固有谐振频率之间有什么关系？

解： (1) 由于

$$L_1C_1 > L_2C_2 > L_3C_3$$

因此

$$\frac{1}{\sqrt{L_3C_3}} > \frac{1}{\sqrt{L_2C_2}} > \frac{1}{\sqrt{L_1C_1}}$$

即

$$\omega_3 > \omega_2 > \omega_1$$

当 $\omega_3 > \omega_0 > \omega_2 > \omega_1$ 时， L_2C_2 与 L_1C_1 均呈容性， L_3C_3 呈感性，电路成为电容反馈三端电路，可以振荡。

(2) 当 $L_1C_1 < L_2C_2 < L_3C_3$ 时，可取 $\omega_3 < \omega_0 < \omega_2 < \omega_1$ ，电路成为电感反馈三端电路，可以振荡。

(3) $L_1C_1 = L_2C_2 = L_3C_3$ ，不能振荡。

(4) $L_1C_1 = L_2C_2 > L_3C_3$

$\omega_0 > \omega_1$ ，ce 为容性；

$\omega_0 > \omega_2$ ，be 为容性；

$\omega_0 < \omega_3$ ，cb 为感性。

因为 $\omega_3 > \omega_2 = \omega_1$ ， ω_0 可同时满足上述条件，电路成为电容反馈三端电路，可以振荡。

(5) $L_1C_1 < L_2C_2 = L_3C_3$

若电路为电容反馈三端电路，则应满足下列条件：

$$L_1 C_1 = L_2 C_2 > L_3 C_3$$

若电路为电感反馈三端电路，则应满足下列条件：

$$L_1 C_1 = L_2 C_2 < L_3 C_3$$

但上述条件均不能满足，因而电路不能振荡。

$$(6) L_2 C_2 < L_3 C_3 < L_1 C_1$$

若电路为电容三端电路，则应满足下列条件：

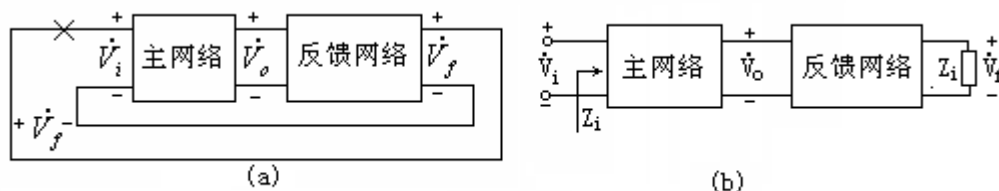
$$L_1 C_1 > L_2 C_2 > L_3 C_3$$

若电路为电感三端电路，则应满足

$$L_1 C_1 < L_2 C_2 < L_3 C_3$$

但上述条件均不能得出 $L_2 C_2 < L_3 C_3 < L_1 C_1$ ，故不能振荡。

5-4 在一个由主网络和反馈网络组成的闭环环路中，如题图 5-4 所示。 $T(j\omega)$ 是如何确定



题图 5-4

的？试写出满足振荡器三条件时 $T(\omega_{osc})$ 、 $\varphi_T(\omega_{osc})$ 与二网络之间的关系式。

解： 在题图 5-4 (a) 所示闭环环路中的×处断开，断开点的右侧加电压 \dot{V}_i ，左侧接放大器的输入阻抗 Z_i ，如题图 5-4 (b) 所示，分别求出放大器的增益

$$A(j\omega) = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} \text{ 和反馈网络反馈系数 } B_f(j\omega) = \frac{\dot{V}_f}{\dot{V}_o}, \text{ 则}$$

$$T(j\omega) = A(j\omega) \times B_f(j\omega) = A(\omega) e^{j\varphi_A} B_f(\omega) e^{j\varphi_f}$$

由此得，振荡器的起振条件为

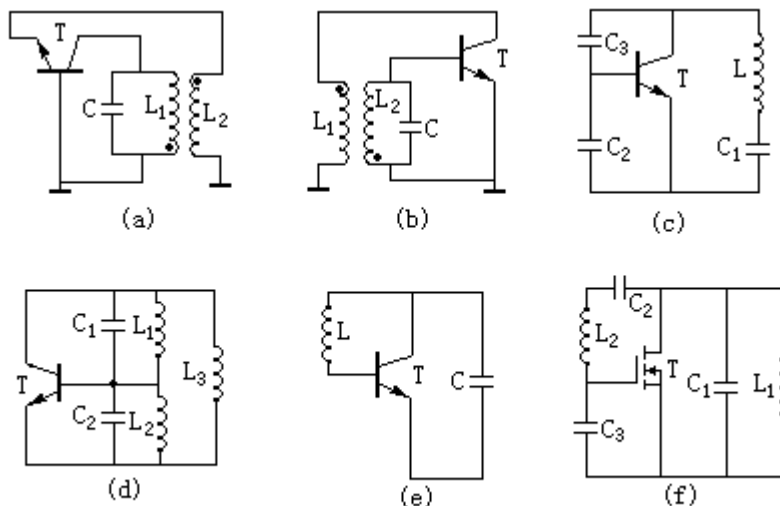
$$T(\omega_{osc}) = A(\omega_{osc}) B_f(\omega_{osc}) > 1, \quad \varphi_T(\omega_{osc}) = \varphi_A(\omega_{osc}) + \varphi_f(\omega_{osc}) = 0$$

平衡条件为

$$T(\omega_{osc}) = A_v(\omega_{osc}) B_f(\omega_{osc}) = 1, \quad \varphi_T(\omega_{osc}) = \varphi_f(\omega_{osc}) + \varphi_A(\omega_{osc}) = 0$$

$$\text{稳定条件为: } \left. \frac{\partial T(\omega_{osc})}{\partial \dot{V}_i} \right|_{V_{iA}} < 0, \quad \left. \frac{\partial \varphi_T(\omega)}{\partial \omega} \right|_{\omega=\omega_{osc}} < 0$$

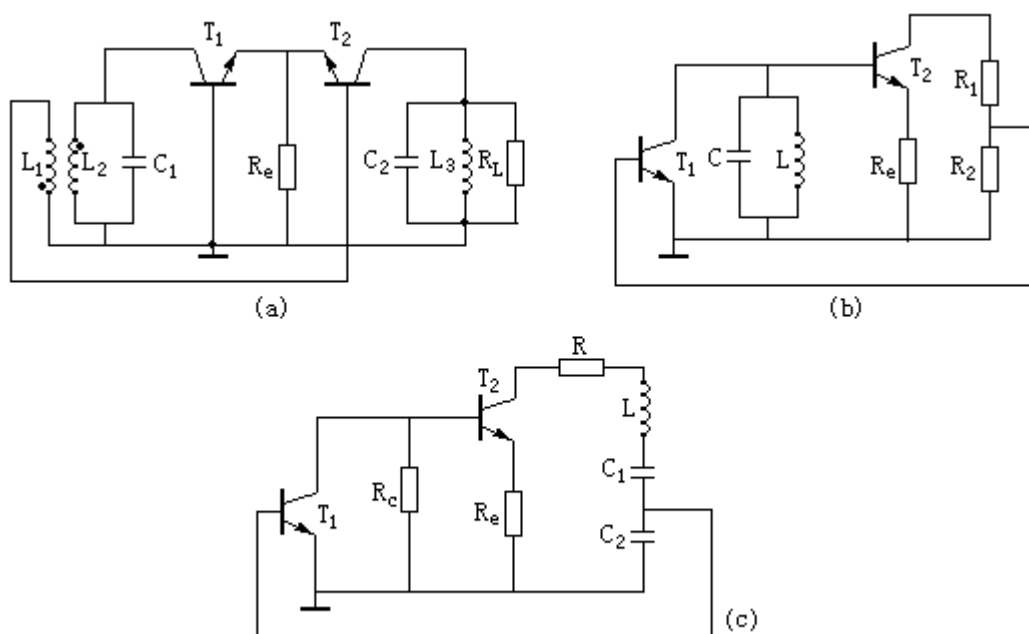
5-5 试判断题图 5-5 所示交流通路中，哪些可能产生振荡，哪些不能产生振荡，若能产生振荡，则说明属于哪种振荡电路。



题图 5-5

解： (a) 不振。同名端接反，不满足正反馈；
 (b) 能振。变压器耦合反馈振荡器；
 (c) 不振。不满足三端式振荡电路的组成法则；
 (d) 能振。当 $\omega_1 < \omega_{osc} < \omega_2$ (ω_1 、 ω_2 分别为 L_1C_1 、 L_2C_2 回路的谐振频率)，即 L_1C_1 回路呈容性， L_2C_2 回路呈感性，组成电感三点式振荡电路；
 (e) 能振。计入结电容 $C_{b'e}$ ，组成电容三端式振荡电路；
 (f) 能振。当 ω_1 、 $\omega_2 < \omega_{osc}$ (ω_1 、 ω_2 分别为 L_1C_1 并联谐振回路、 L_2C_2 串联谐振回路的谐振频率) 时， L_1C_1 回路呈容性， L_2C_2 回路呈感性，组成电容三点式振荡电路。

5-9 试运用反馈振荡原理，分析题图 5-9 所示各交流通路能否振荡。



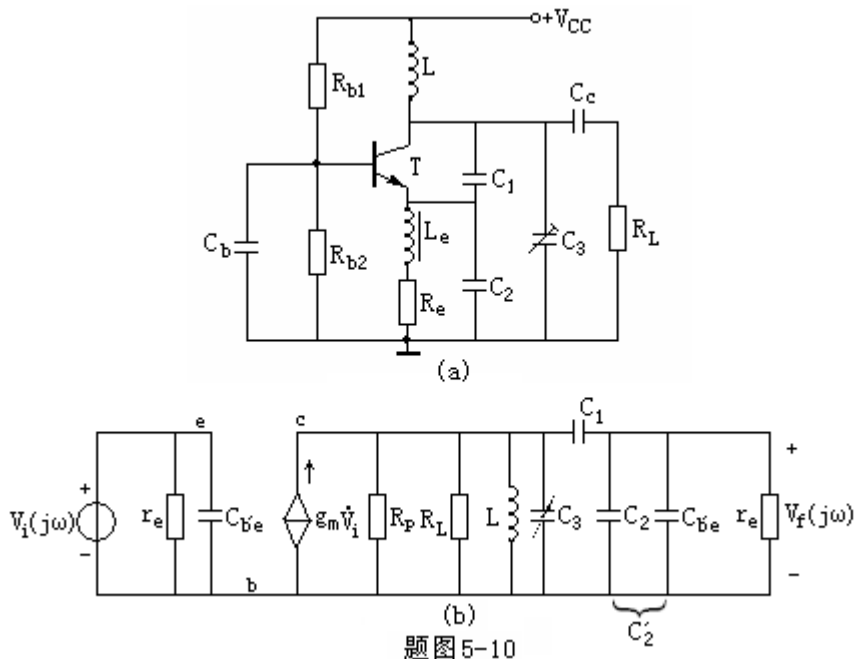
题图 5-9

解： 题图 5-9 (a) 电路中当 T_2 基极上加正极性电压时，经跟随器 T_2 和共基放大器 T_1 ，得到的反馈电压为负极性，构成负反馈。不满足正反馈条件，不振。

题图 5-9 (b) 满足正反馈条件，LC 并联回路保证了相频特性负斜率，因而满足相位稳定条件，电路可振。

题图 5-9 (c) 不满足正反馈条件，因为反馈电压 \dot{V}_f 比 \dot{V}_{i1} 滞后一个小于 90° 的相位，不满足相位平衡条件。

5-10 在题图 5-10 所示的电容三端式振荡电路中，已知 $L=0.5\mu\text{H}$, $C_1=51\text{pF}$, $C_2=3300\text{pF}$, $C_3=12\sim 250\text{pF}$, $R_L=5\text{k}\Omega$, $g_m=30\text{mS}$, $C_{be}=20\text{pF}$, β 足够大。 $Q_0=80$ ，试求能够起振的频率范围，图中 C_b 、 C_c 对交流呈短路， L_c 为高频扼流圈。



题图 5-10

解： 在发射极 L_c 处拆环后，混合 π 型等效电路如题图 5-10 (b) 所示。

根据振幅起振条件知 $g_m > \frac{1}{p} g'_L + p g_i$ ，式中 $p = \frac{C_1}{C_1 + C'_2}$ 其中 $C'_2 = C_2 + C_{be} =$

3320pF , $p=0.015$, $g_i = \frac{1}{r_e} = g_m = 30\text{mS}$ 。

代入振幅起振条件，得 $g'_L < 0.443\text{mS}$

根据 $g'_L = \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_p}$ 得 $R_p > \frac{1}{0.443 \times 10^{-3} \text{S} - 2 \times 10^{-4} \text{S}} = 4.115\text{k}\Omega$ 则能满足振荡

则能满足振荡起振条件的振荡频率为 $\omega = \frac{R_p}{LQ_0} > 102.9 \text{rad/s}$

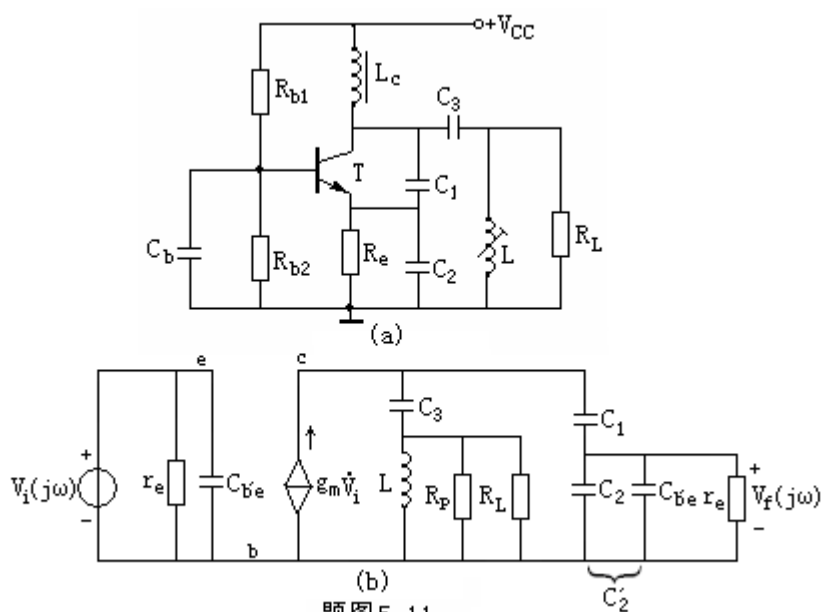
由图示电路可知，电路总电容 $C_{\Sigma} = C_3 + \frac{C_1 C_2'}{C_1 + C_2'}$ 。

当 $C_3 = 12\text{pF}$ 时， $C_{\Sigma} = 62.23\text{pF}$ ， $\omega_{o\max} = \frac{1}{\sqrt{LC_{\Sigma}}} = 179.2 \times 10^6 \text{ rad/s}$ 。

当 $C_3 = 250\text{pF}$ 时， $C_{\Sigma} = 300\text{pF}$ 。

可见该振荡器的振荡角频率范围 $\omega_{\min} \sim \omega_{\max} = (102.9 \sim 179.2) \times 10^6 \text{ rad/s}$ ，即振荡频率范围 $f_{\min} \sim f_{\max} = 16.38 \sim 28.52\text{MHz}$ 。

5-11 题图 5-11(a)所示为克拉泼振荡电路，已知 $L = 2\mu\text{H}$ ， $C_1 = 1000\text{pF}$ ， $C_2 = 4000\text{pF}$ ， $C_3 = 70\text{pF}$ ， $Q_0 = 100$ ， $R_L = 15\text{k}\Omega$ ， $C_{b'e} = 10\text{pF}$ ， $R_e = 500\Omega$ ，试估算振荡角频率 ω_{osc} 值，并求满足起振条件时的 $I_{EQ\min}$ 。设 β 很大。



题图 5-11

解： 振荡器的交流等效电路如图 (b) 所示。由于 $C_1 \gg C_3$ ， $C_2 \gg C_3$ ，因而振荡角频率近似为

$$\omega_{osc} \approx \frac{1}{\sqrt{LC_3}} = 84.52 \times 10^6 \text{ rad/s}$$

已知

$$R_p = \omega_{osc} L Q_0 = 16.9\text{k}\Omega$$

$$R'_L = R_L // R_p = 7.95\text{k}\Omega, \quad C'_2 = C_2 + C_{b'e} = 4010\text{pF}$$

求得

$$C_{1,2} = \frac{C_1 + C_2'}{C_1 + C_2'} = 800.4 \text{ pF}$$

$$p_2 = \frac{C_3}{C_3 + C_{1,2}} = 0.08, \quad R_L'' \approx p_2^2 R_L' = 50.88 \Omega$$

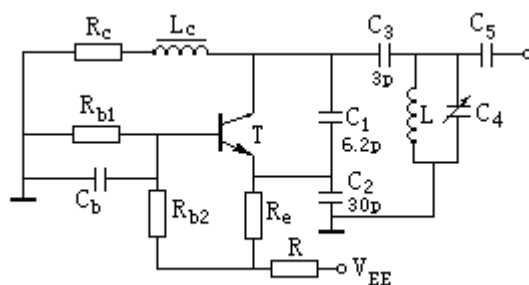
又

$$B_f = p = \frac{C_1}{C_1 + C_2'} = 0.2, \quad g_i = \frac{1}{R_e} + \frac{1}{r_e} = \frac{1}{R_e} + \frac{I_{EQ}}{V_T} \approx \frac{I_{EQ}}{V_T} = g_m$$

根据振幅起振条件, $g_m > \frac{1}{p} g_L'' + p g_i$, 即 $\frac{I_{EQ}}{V_T} > \frac{g_L''}{p(1-p)}$, 求得 $I_{EQ} > 3.21 \text{ mA}$ 。

5-13 某振荡器电路如题图 5-13 所示。

- (1) 试说明各元件的作用;
- (2) 当回路电感 $L = 1.5 \mu \text{ H}$ 时, 要使振荡频率为 49.5 MHz , 则 C_4 应调到何值?



题图 5-13

解: (1) 这是一个西勒振荡电路: C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 与 L 为振荡回路; R_{b1} 与 R_{b2} 为偏置电阻, C_b 为旁路电容; L_c 为高频扼流圈, R_c 为集电极负载电阻; R_e 与 R 为发射极偏置电阻; C_5 为输出隔直电容。

(2) C_1 、 C_2 与 C_3 的串联值为

$$C = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 C_2 + C_2 C_3 + C_3 C_1} = \frac{6.2 \times 30 \times 3}{6.2 \times 30 + 30 \times 3 + 3 \times 6.2} \text{ pF} = 1.89 \text{ pF}$$

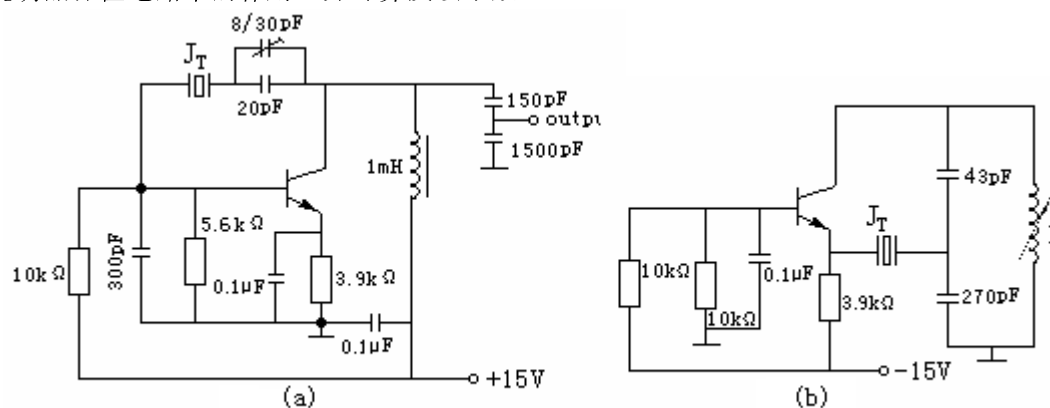
$$49.5 \times 10^6 \text{ Hz} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L(C + C_4)}}$$

$$= \frac{1}{2\pi \times \sqrt{1.5 \times 10^{-6} \times (1.89 + C_4) \times 10^{-12}}} \text{ Hz}$$

解上式, 得

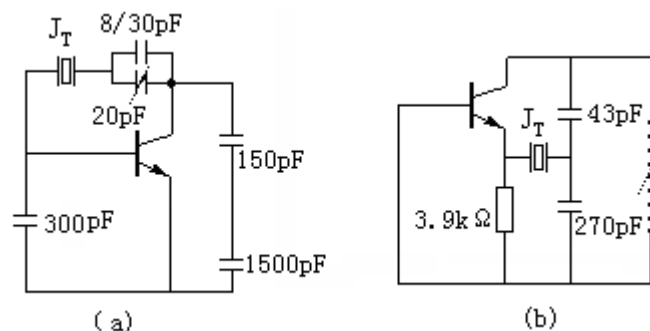
$$C_4 = 5 \text{ pF}$$

5-15 题图 5-15 (a)、(b) 分别为 10MHz 和 25MHz 的晶体振荡器，试画出交流等效电路，说明晶体在电路中的作用，并计算反馈系数。



题图 5-15

解： 题图 5-15 的交流等效电路分别如图 (a)、(b) 所示，图 (a) 中晶体等效为电感，反馈系数 $F=150/300=0.5$ ，图 (b) 中晶体管等效为短路元件，反馈系数 $F=43/270=0.16$ 。



5-18 已知石英晶体振荡电路如题图 5-18 (a) 所示。

- (1) 画出振荡器的交流等效电路。并指出电路的振荡形式；
- (2) 若把晶体换为 1MHz，该电路能否起振，为什么？
- (3) 求振荡器的振荡频率；
- (4) 指出该电路采用的稳频措施。

解： (1) 交流等效电路如题图 5-18 (b) 所示，该电路属于皮尔斯（克拉泼）电路。
(2) 若把晶体换为 1MHz，要想电路起振，ce 间必须呈现容性，4.7μH 和 330pF 并联回路的谐振频率为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{4.7 \times 10^{-6} \times 330 \times 10^{-12}}} \text{ Hz}$$

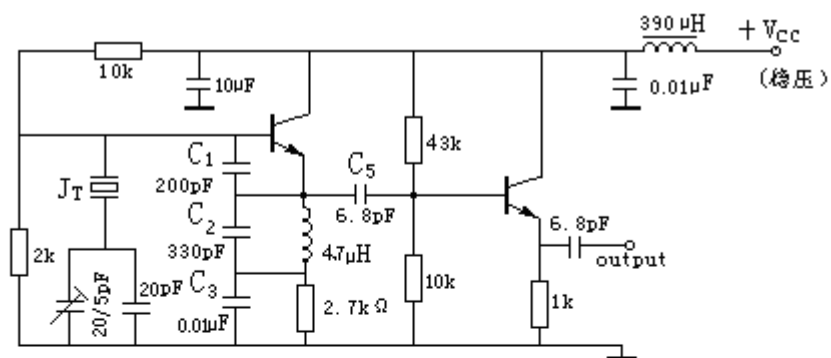
$$= \frac{1}{6.28 \times 39.4} \times 10^9 \text{ Hz} = 4.04 \times 10^6 \text{ Hz} = 4 \text{ MHz}$$

4MHz=f₀>1MHz，回路对于 1MHz 呈现感性，不满足 LC 三端振荡器相位平衡的判断法则，所以把晶体换为 1MHz 后，该电路不能起振。

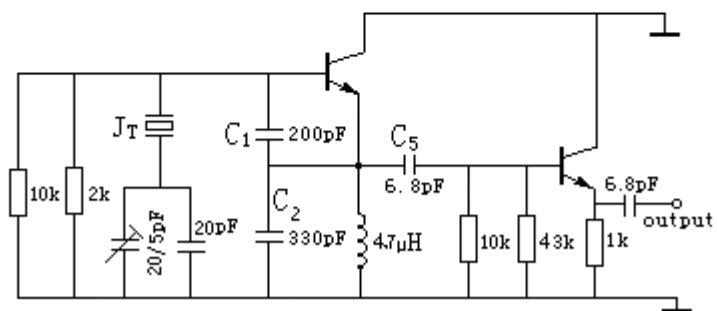
(3) 因为图中已标明石英晶体的标称频率为 7MHz，所以该振荡器的工作频率即为 7MHz。

- (4) 该电路采用的稳频措施：
 - ① 采用晶体振荡的克拉泼电路；
 - ② 振荡与射极跟随器是松耦合；
 - ③ 用射极跟随器进行隔离；

④ 电源进行稳压，以保晶体管参数的稳定性。



题图 5-18 (a)



题图 5-18 (b)