第二章　非线性器件的分析方法

2.1　概述

2.2　指数律特性分析

2.3　折线律特性分析

2.4　差分特性分析

2.5　平方律特性和钳位平方律特性

2.6　时变参量分析法

2.6 时变参量分析法

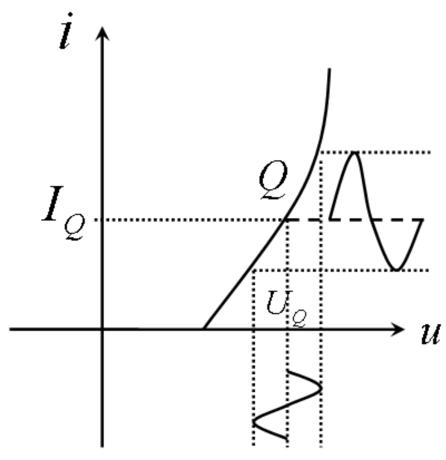
适用场合：非线性器件同时受到**两个不同信号的激励**

$$\begin{cases} \text{大幅度正弦信号（如载波信号）：} & U_1 \cos \omega_1 t \\ \text{小幅度信号：} & u_2(t) \end{cases}$$

且满足准线性条件：$U_1 >> U_2$

1. 工作点不变

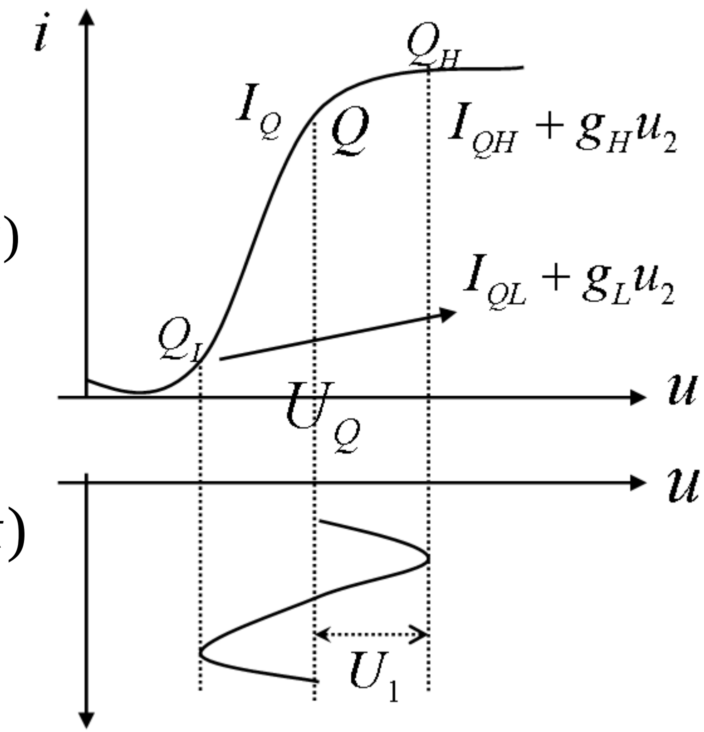
$$\begin{cases} u = U_Q + u_2(t) \\ i = I_Q + g u_2(t) \end{cases}$$



2. 工作点变化

$$u = U_Q + U_1 \cos \omega_1 t + u_2(t)$$
$$= U_Q(\omega_1 t) + u_2(t)$$

I_Q 随 U_Q 变化，Δi 与 $u_2(t)$ 成正比



2.6 时变参量分析法

中国科学技术大学 University of Science and Technology of China

时变参量分析法思想：把 $U_Q+U_1\cos\omega_1 t$ 看作非线性器件的偏置电压（即工作点是时变的），而把小幅度的输入信号 $u_2(t)$ 看作是激励。也就是说，对小信号而言，器件是线性的。

设：$u=(U_Q+U_1\cos\omega_1 t)+u_2(t)=U_Q(\omega_1 t)+u_2(t)$

则有：$i=I_Q(\omega_1 t)+g(\omega_1 t)u_2(t)$

$I_Q(\omega_1 t)$ –时变工作点电流；

$g(\omega_1 t)$ –时变电导或时变跨导。

$I_Q(\omega_1 t)$，$g(\omega_1 t)$均受控于$u_1(t)$，与$u_1(t)$有着相同的重复周期，与$u_2(t)$无关。

Fourier级数展开：

$$I_Q(\omega_1 t)=I_{Q0}+I_{Q1}\cos\omega_1 t+\ldots+I_{Qn}\cos n\omega_1 t+\ldots$$

$-I_{Qn}$时变工作电流的k次谐波幅度。

$$g(\omega_1 t)=g_0+g_1\cos\omega_1 t+\ldots+g_n\cos n\omega_1 t+\ldots$$

$-g_n$时变电导的k次谐波幅度。

2.6 时变参量分析法

中国科学技术大学 University of Science and Technology of China

则有：$i = I_Q(\omega_1 t) + g(\omega_1 t)u_2(t)$

$$= I_{Q0} + I_{Q1}\cos\omega_1 t + \ldots + I_{Qn}\cos n\omega_1 t + \ldots$$

$$+(g_0 + g_1\cos\omega_1 t + \ldots + g_n\cos n\omega_1 t + \ldots)u_2(t)$$

若：$u_2(t) = U_2\cos\omega_2(t)$

响应电流频率成分：$n\omega_1, \omega_2, n\omega_1 \pm \omega_2$

输出电压包含哪些频率分量则取决于滤波器。

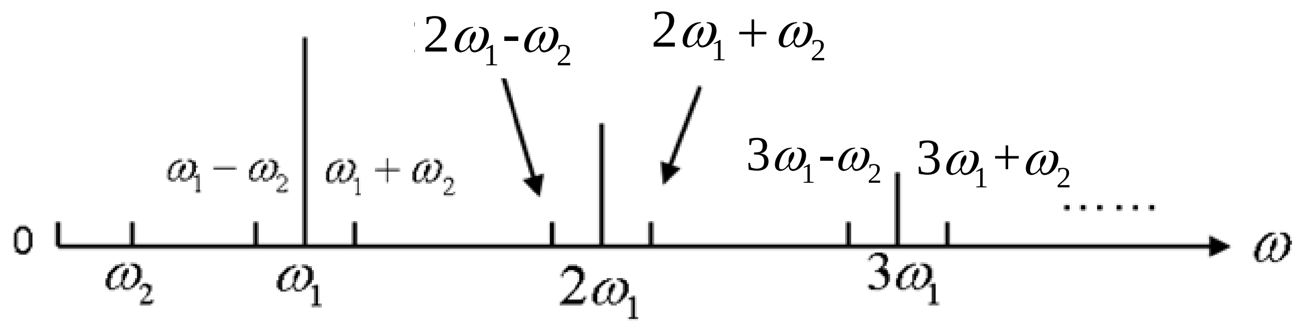
时变电导计算公式：

$$g = \left.\frac{di}{du}\right|_{u=U_Q+U_1\cos\omega_1 t}$$

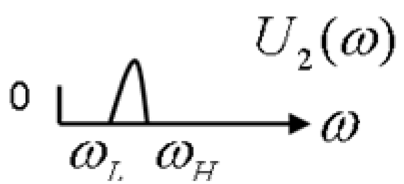
(1）$\omega_1 >> \omega_2$ （调幅）

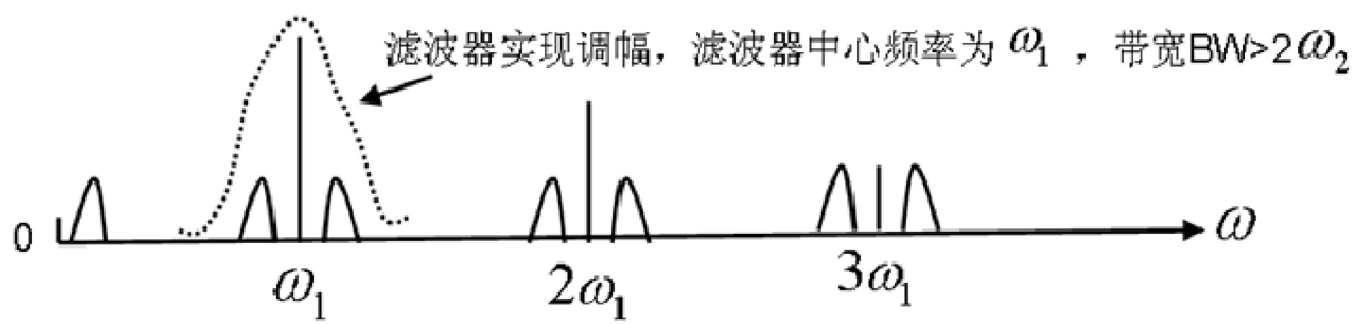
$u_2(t)-$单一频率信号

$u_1(t)-$高频载波



$u_2(t)-$音频信号





一般调幅波频率成份： ω_1 $\omega_1+\omega_2$ $\omega_1-\omega_2$

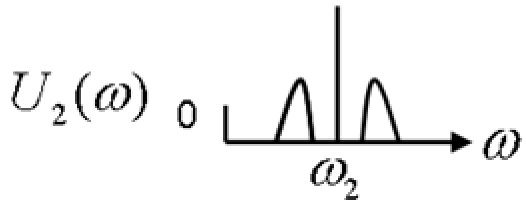
幅值： I_{Q1} $\frac{1}{2}g_1U_2$ $\frac{1}{2}g_1U_2$

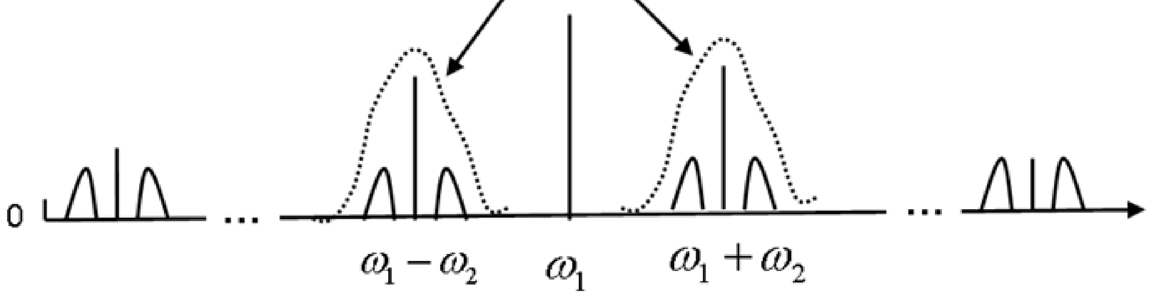
g_1-时变电导基波分量

2.6 时变参量分析法

中国科学技术大学 University of Science and Technology of China

（2）$\omega_1 \approx \omega_2$（混频）





混频信号频率成份：

$\omega_1+\omega_2$（上混频） 或 $\omega_1-\omega_2$（下混频）

幅值： $\frac{1}{2}g_1U_2$

对混频而言，只需要知道g_1

例题1：计算指数律晶体管的时变跨导基波分量

解：$u_{BE}=U_{BE}+U_1\cos\omega_1 t,\quad i_C=\alpha i_E=\alpha I_{ES}\exp(\frac{u_{BE}}{U_r})$

$$g(t)=\frac{\partial i_C}{\partial u_{BE}}\bigg|_{u_{BE}=U_{BE}+U_1\cos\omega_1 t}=\frac{\alpha I_{ES}}{U_r}\exp(\frac{U_{BE}+U_1\cos\omega_1 t}{U_r})$$

$$=\frac{\alpha I_{E0}}{U_r}(1+2\sum_{n=1}^{\infty}\frac{I_n(x)}{I_0(x)}\cos n\omega_1 t)$$

$$\therefore g_1=\frac{\alpha I_{E0}}{U_r}\cdot\frac{2I_1(x)}{I_0(x)}=G_{m1}(x)x\qquad G_{m1}(x)=\frac{\alpha I_{E0}}{U_r}\cdot\frac{2I_1(x)}{xI_0(x)}$$

2.6 时变参量分析法

例题2：图中结型FET：

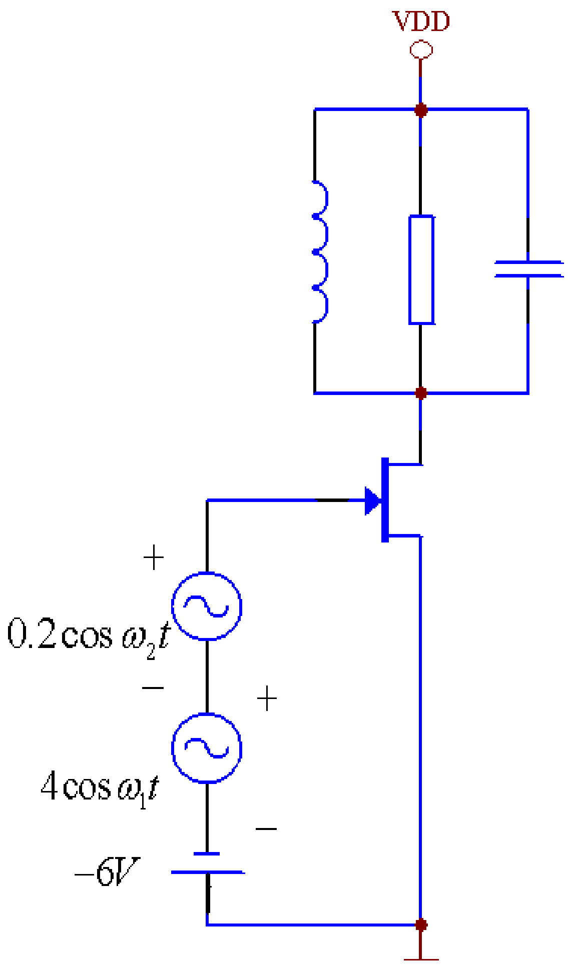
$$U_P = -4V, I_{DSS} = 16mA$$

$$u_{GS} = -6 + 4\cos\omega_1 t + 0.2\cos\omega_2 t (V)$$

，计算漏极电流中频率为

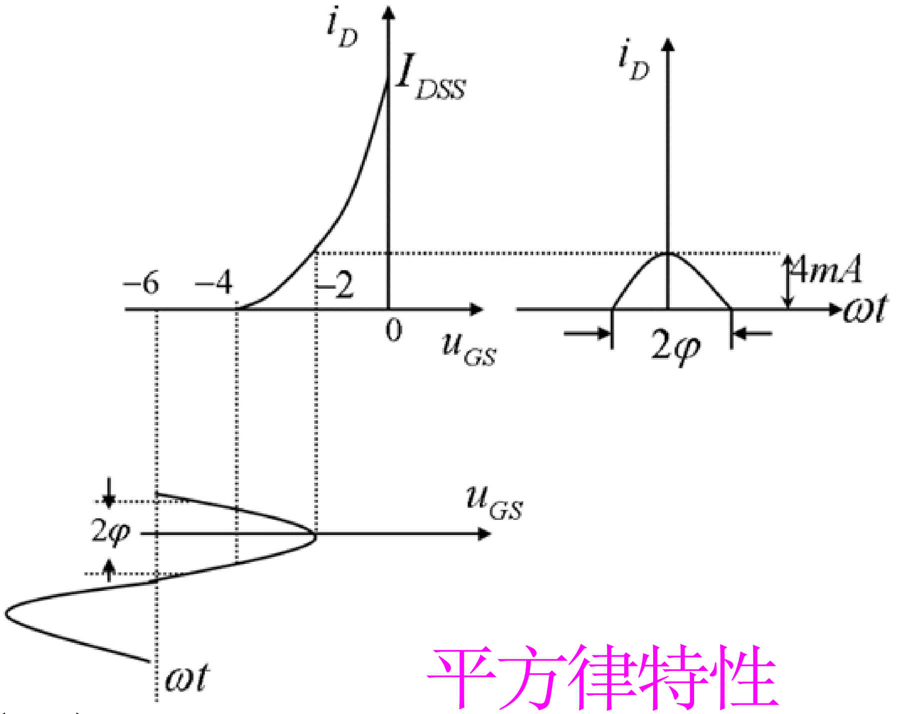
$\omega_1 - \omega_2$ 的电流幅度 I_{IF}

和 ω_1 的电流幅度 I_{D1}



解：

$$i_D = I_{DSS}(1-\frac{u_{GS}}{U_P})^2$$



平方律特性

（1）求 I_{D1}

$$u_{GS} = -6 + 4\cos\omega_1 t$$

$i_D(\omega_1 t)$为正弦平方脉冲。

$$\begin{cases} \varphi = arc\cos\frac{U_P - U_Q}{U_1} = \arccos\frac{-4-(-6)}{4} = \frac{\pi}{3} \\ I_{DP} = 16(1-\frac{-2}{-4})^2 = 4mA \\ \therefore I_{D1} = I_{DP}\alpha_1(\varphi) = 0.321\times 4 = 1.284mA \end{cases}$$

（2）求 I_{IF}

折线律特性

$$g(\omega_1 t)=\frac{di_D}{du_{GS}}=\begin{cases}\dfrac{2I_{DSS}}{-U_P}(1-\dfrac{u_{GS}}{U_P})\\ 0\end{cases}=\begin{cases}8(1-\dfrac{u_{GS}}{-4})\\ 0\end{cases}$$

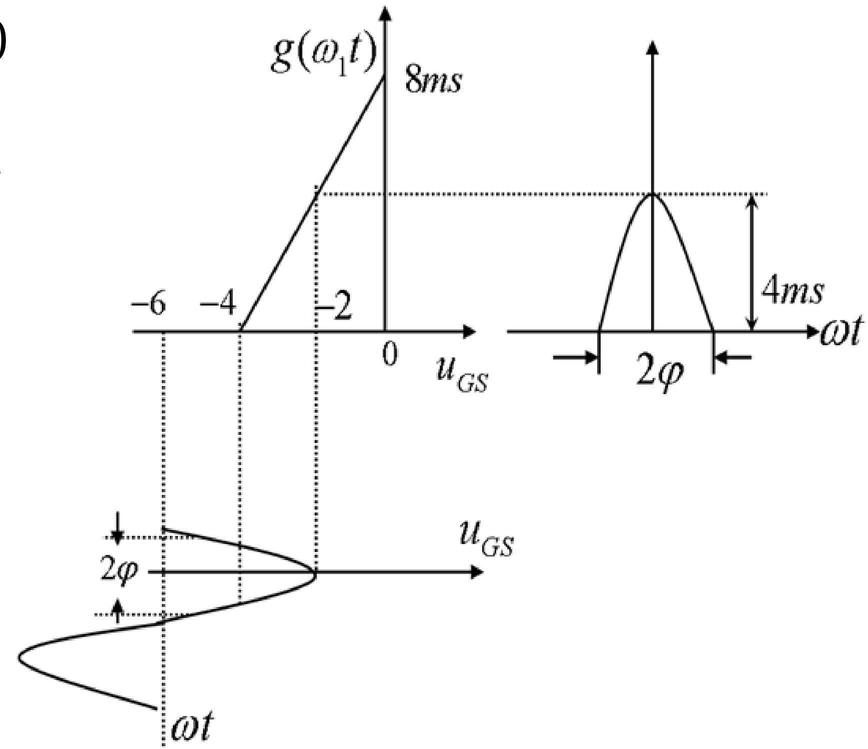
$$=\begin{cases}8+2u_{GS}\big|_{u_{GS}=-6+4\cos\omega_1 t}\\ 0\end{cases}=\begin{cases}-4+8\cos\omega_1 t\\ 0\end{cases}$$

$\therefore g(\omega_1 t)$为通角为$\varphi=\dfrac{\pi}{3}$的正弦脉冲

$$g_P=4ms$$

$$g_1=g_P\alpha_1(\varphi)=4\alpha_1(60^0)$$

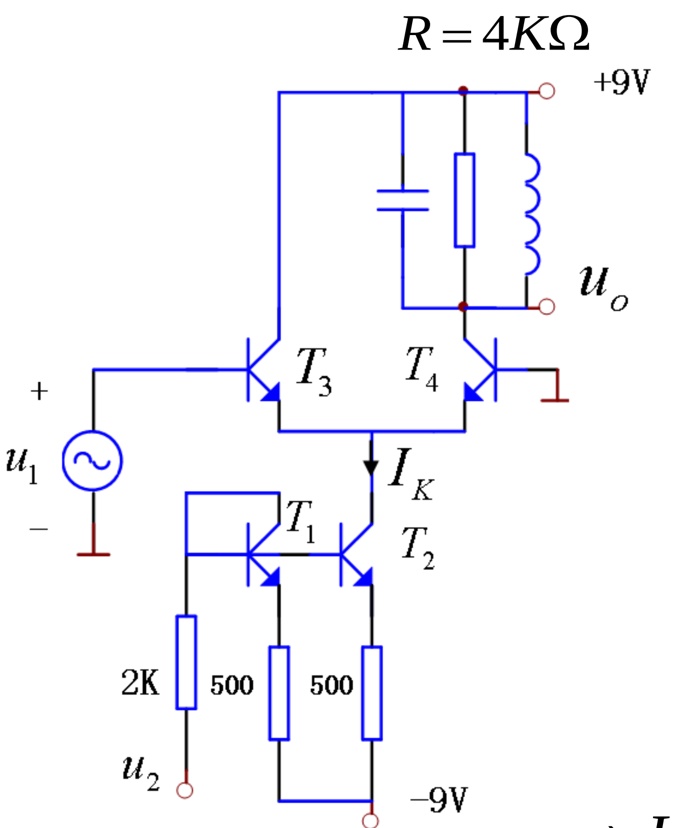
$$=4\times 0.391=1.564ms$$



$$I_{IF}=\frac{1}{2}g_1U_2=\frac{1}{2}\times 1.564\times 0.2=0.1564mA$$

例题3. 在图示电路中， $\alpha = 0.96$ ，$u_1 = 104\cos 10\pi\times10^6 t(mV)$

$u_2 = 5\cos 2\pi\times10^3 t(V)$，输出回路谐振于5MHz，回路带宽为10KHz，求 u_o



解：T_1, T_2组成恒流源，T_3, T_4组成差分电路

$$\omega_1 = 5MHz，\quad \omega_2 = 1KHz$$

$\therefore \omega_1$与$\omega_1 \pm \omega_2$均在RLC滤波器的通带范围内。

对受u_2控制的恒流源有：

$$u_2 - \frac{I_K}{\alpha}\cdot 2 - 0.7 - \frac{I_K}{\alpha}\cdot 0.5 + 9 = 0$$

$$\Rightarrow I_K = 0.96 * \frac{u_2 + 8.3}{2 + 0.5} = 3.2 + 1.92\cos 2\pi\times10^3 t(mA)$$

2.6 时变参量分析法

T_3, T_4为差分电路，设在u_1的激励下，产生的电流为i，则有：

$$x = \frac{U_1}{U_r} = \frac{104}{26} = 4 \qquad i = \frac{I_K}{2}\tanh\left(\frac{x}{2}\cos\omega_1 t\right),$$

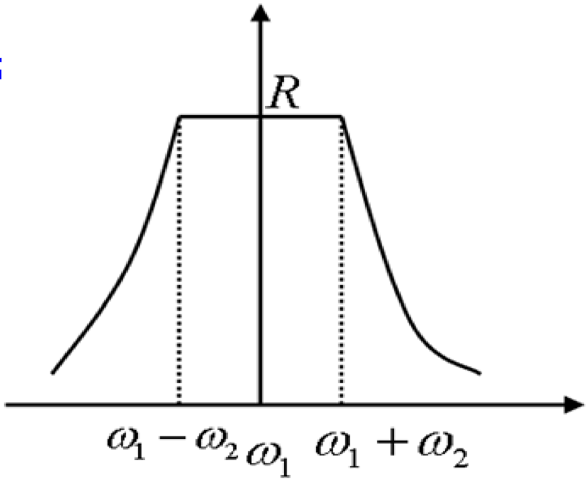
$$I_1 = \alpha I_K a_1(4) = 0.96 \times (3.2 + 1.92\cos 2\pi \times 10^3 t) \times 0.55897 mA$$

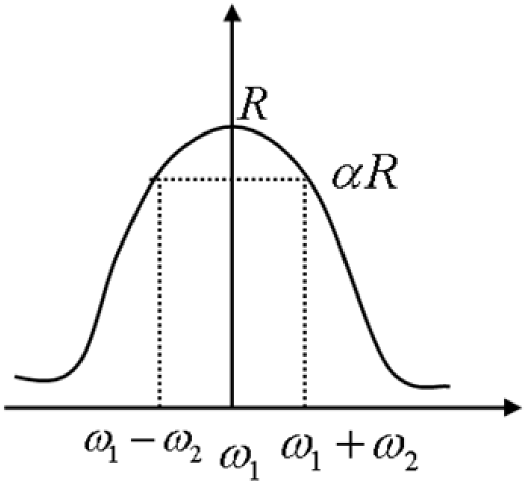
$$\therefore u_o = 9 + I_1 R\cos\omega t$$

$$= 9 + 4 \times 0.96 \times 0.55897 \underline{(3.2 + 1.92\cos 2\pi \times 10^3 t)\cos 10\pi \times 10^6 t}$$

$$= 9 + 6.87(1 + 0.6\cos 2\pi \times 10^3 t)\cos 10\pi \times 10^6 t$$

注意： 当线性滤波器的带宽不同时，不同频率分量对应的负载阻抗是不同的





2.6　时变参量分析法

作　业

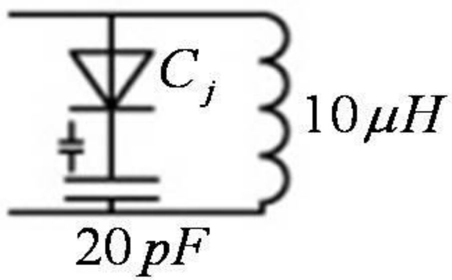
- 2.12，2.13（例题）

习题解答

习题1.4(C)：设非线性电容特性为：$C_j = 20(1+0.25u)^{-0.5}(\mathrm{pF})$，$u$ 在1~3V范围内变化，试画出图示接法下，回路的谐振频率 f 与 u 的关系。

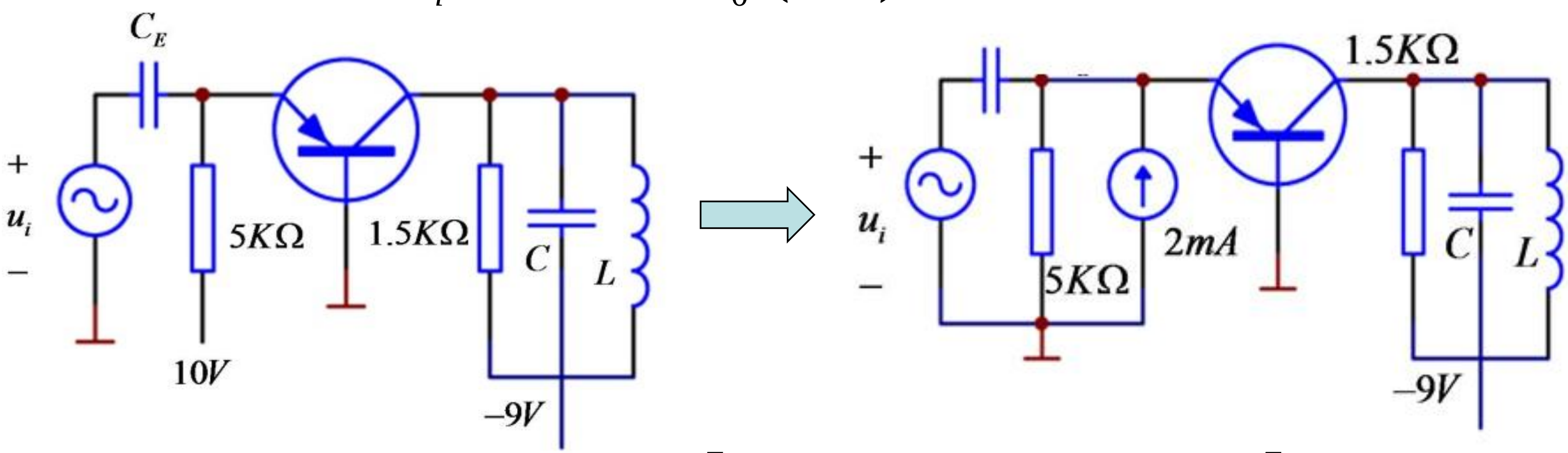
解答：

$$\begin{cases} C = C_j串20 = \dfrac{C_j \times 20}{C_j + 20} \\ f = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \end{cases}$$



$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{10\times10^{-6}\times 20串\left[20(1+0.25u)^{-0.5}\right]\times10^{-12}}} HZ$$

习题2.4：图示电路中，$\alpha=0.98$，$I_{ES}=2\times10^{-13}mA$ 晶体管集电极回路调谐于输入信号频率上，$u_i=260\cos\omega_0 t(mV)$，$Q_T=50$，计算输出电压表达式。



解答：

$$10=5I_{EQ}+U_r\ln\frac{I_{EQ}}{I_{ES}}=5I_{EQ}+0.026\ln\frac{I_{EQ}}{2\times10^{-13}}$$

近似处理：

$$10=5I_{EQ}+0.7 \qquad G_{m1}=\alpha\frac{I_{E0}}{U_r}\frac{2I_1(x)}{xI_0(x)}=g_{mQ}\frac{2I_1(x)}{xI_0(x)}$$

$$\therefore u_o=-9+G_{m1}U_iR_L\cos\omega_0 t$$