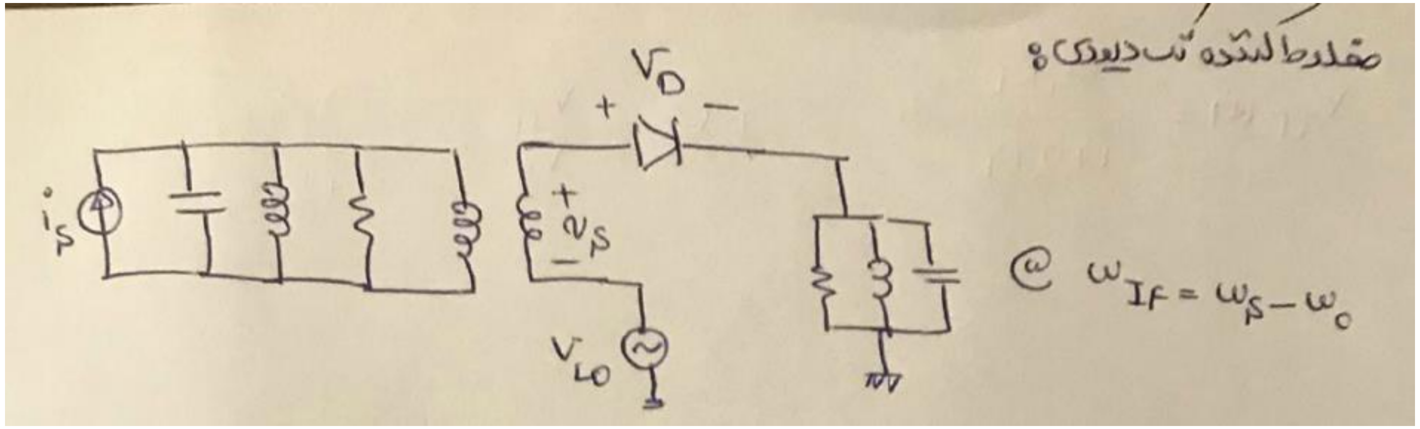
مدار های مخابراتی

حل تمرین دکتر اسدی

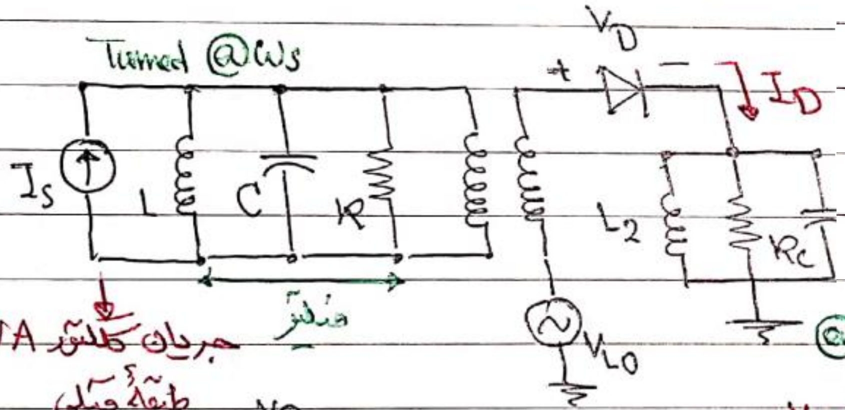
نسرین کریمی – مهدی یادگاری
دانشگاه شهید بهشتی – آبان ماه ۱۴۰۰

مخلوط کننده تک دیودی

- ✓ تحقق میکسر بدون وجود عنصر غیر خطی میسر نیست.
- ✓ ساده ترین عنصر غیرخطی از بین ادوات نیمه هادی دیود است.



- ✓ دو ورودی: سیگنال اسیلاتور محلی + سیگنال RF ای که از منبع Is گرفته می شود.
- ✓ علت وجود فیلتر bandpass در خروجی: بتوان $\omega_{IF} = \omega_s - \omega_o$ را تحقق بخشید.
- ✓ علت وجود فیلتر bandpass در ورودی: احیانا LNA درصورت وجود هارمونیک ها، تنها ws در RF را عبور می دهد.
- ✓ وجود ترانسفورماتور به دلیل ایزولاسیون بین سیگنال محلی ساز و RF. (بصورت مستقیم به هم متصل نیستند.)

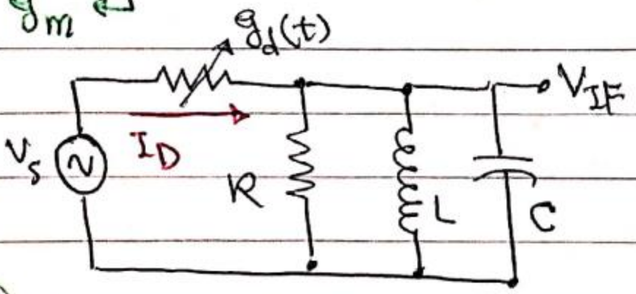


$$I_D = I_0\left[e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1\right] \quad , \quad g_d = \frac{\partial I_D}{\partial V_D} \overset{V_{LO}=V_1\cos(\omega_{LO}t)}{=\!=\!=} \frac{I_0}{V_T}\cdot \exp\left\{\frac{V_1\cdot\cos(\omega_{LO}t)}{V_T}\right\}$$

$$x = \frac{V_1}{V_T} \Rightarrow g_d = \frac{I_0}{V_T}\cdot\exp[x\cdot\cos(\omega_{LO}t)] \Rightarrow$$

$$g_d = \frac{I_0}{V_T}\left[I_0(x) + 2I_1(x)\cdot\cos(\omega_{LO}t) + 2I_2(x)\cdot\cos(2\omega_{LO}t) + \cdots\right]$$

g_m ↲



@ ω_s

$$I_D = g_d(t)\left[V_S - V_{IF}\right]$$

$$= g_m\left[I_0(x) + 2I_1\cos(\omega_{LO}t) + \cdots\right]\cdot\left[V_S\cdot\cos(\omega_1 t) - V_{IF}\cdot\cos(\omega_{IF}t)\right] \Rightarrow$$

$$I_D = \left[g_0 + 2g_1 \cdot \cos(\omega_{LO} t) + 2g_2 \cdot \cos(2\omega_{LO} t) + \cdots\right]\left[V_S \cdot \cos(\omega_s t) - V_{IF} \cdot \cos(\omega_{IF} t)\right]$$

$$= g_0 \cdot V_S \cdot \cos(\omega_s t) + 2g_1 V_S \cdot \cos(\omega_s t) \cdot \cos(\omega_{LO} t) - g_0 \cdot V_{IF} \cdot \cos(\omega_{LO} - \omega_s)t$$

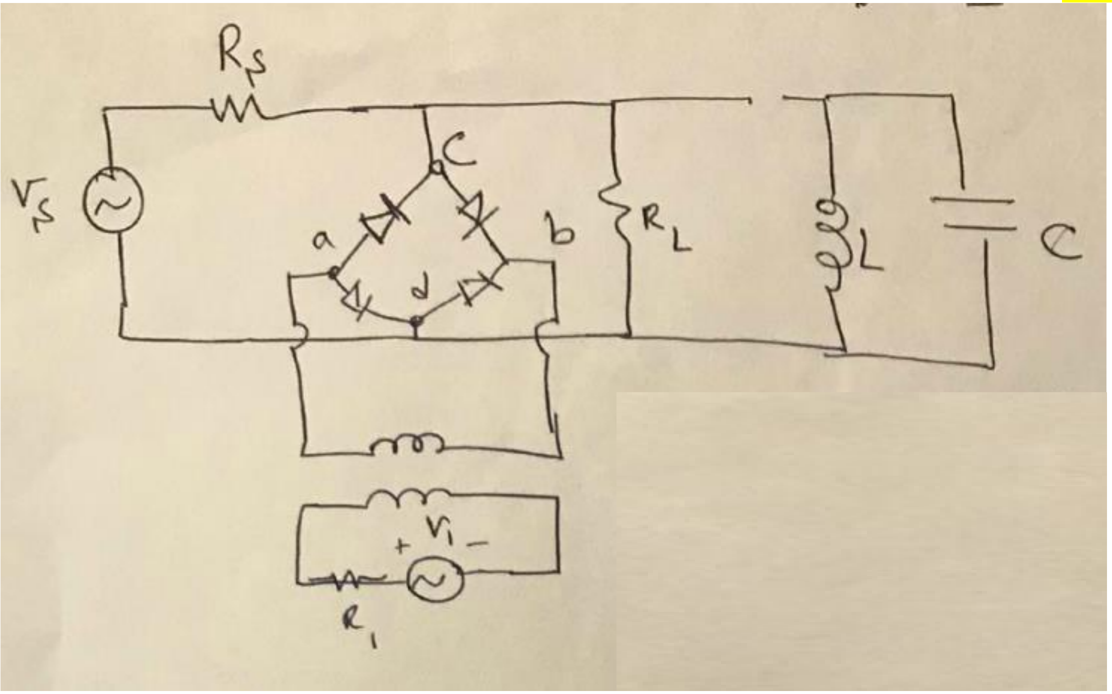
$$- 2g_1 V_{IF} \cdot \cos(\omega_{LO} t) + \cos(\omega_{LO} - \omega_S)t + \cdots \Rightarrow$$

$$I_D = g_1 V_S \cos(\omega_{LO} - \omega_S)t - g_0 \cdot V_{IF} \cdot \cos(\omega_{LO} - \omega_S)t \Rightarrow$$

$$V_{IF}(t) = \left[g_1 V_S \cdot R_L - g_0 V_{IF}(t) \cdot R_L\right] \cdot \cos(\omega_{LO} - \omega_S)t \Rightarrow$$

$$V_{IF}(t) = \frac{g_1 g_L}{1 + g_0 R_L} \cdot V_S \cdot \cos(\omega_{IF} t)$$

مخلوط کننده متوازن دیودی



$$S(\cancel{\cos}\,t) = \frac{1}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin\frac{n\pi}{2}}{\frac{n\pi}{2}} \cos n\omega_0 t$$

$$\Rightarrow v_o = \frac{R_L}{R_L+R_s} \cdot S(t) \cdot v_s \cos\omega_s t$$

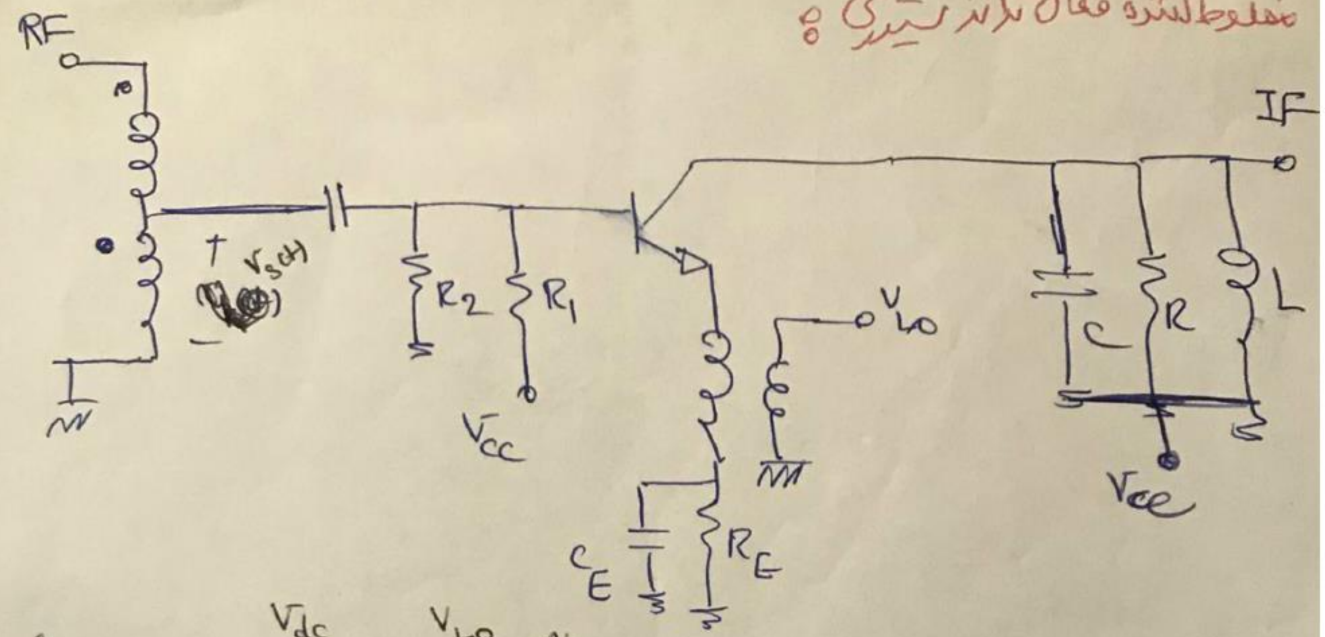
$$\Rightarrow V_o = \frac{R_L}{R_L+R_s} \cdot v_s \cos\omega_s t \times \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi}\cos\omega_0 t - \frac{2}{3\pi}\cos 3\omega_0 t + \cdots\right.$$

$$\Rightarrow v_o = \frac{R_L}{R_L+R_s} \cdot \frac{v_s}{\pi} \cos(\omega_0 \pm \omega_s)t$$

a>b : Diode ON
a<b : Diode OFF

مخلوط کننده فعال ترانزیستوری

مخلوط کننده فعال ترانزیستوری :



$$i_c(t) = I_s \cdot e^{\frac{V_{dc}}{V_T}} \cdot e^{\frac{V_{LO}}{V_T}} \cdot e^{\frac{v_s}{V_T}}$$

$v_s = v_{RF}$

$$\begin{cases} v_{LO} = V_{LO}\cos\omega_0 t & \text{LO سیگنال} \\ v_s = V_s\cos\omega_s t & \text{RF سیگنال} \end{cases}$$

$$x = \frac{V_{LO}}{V_T}, \quad y = \frac{V_s}{V_T}$$

$$i_c(t) = I_s \cdot e^{\frac{V_{dc}}{V_T}} \left[I_0(x) + 2\sum_{n=1}^{\infty} I_n(x) \cos n\omega_0 t \right] \cdot \left[I_0(y) + 2\sum_{m=1}^{\infty} I_m(y) \cos m\omega_s t \right]$$

$$\Rightarrow i_c(t) = \underbrace{I_s \cdot e^{\frac{V_{dc}}{V_T}} \cdot I_0(x) \cdot I_0(y)}_{I_{dc}} \left[1 + 2\sum_{n=1}^{\infty} \frac{I_n(x)}{I_0(x)} \cos n\omega_0 t \right]$$

$$\left[1 + 2\sum_{m=1}^{\infty} \frac{I_m(y)}{I_0(y)} \cos m\omega_s t \right]$$

$$\Rightarrow i_c(t) = I_{dc} \left[1 + 4 \frac{I_1(x)}{I_0(x)} \frac{I_1(y)}{I_0(y)} \cos \omega_0 t \cos \omega_s t + \cdots \right]$$

$$\Rightarrow i_c(t) = I_{dc} \left[1 + 4 \frac{I_1(x)}{I_0(x)} \frac{I_1(y)}{I_0(y)} \cos \omega_0 t \cos \omega_s t + \cdots \right]$$

درصورتیکه v_s سیگنال کوچک باشد یعنی $y < 0.5$ ←

$$\begin{cases} I_0(y) \simeq 1 \\ \dfrac{I_1(y)}{I_0(y)} \simeq \dfrac{y}{2} \end{cases}$$

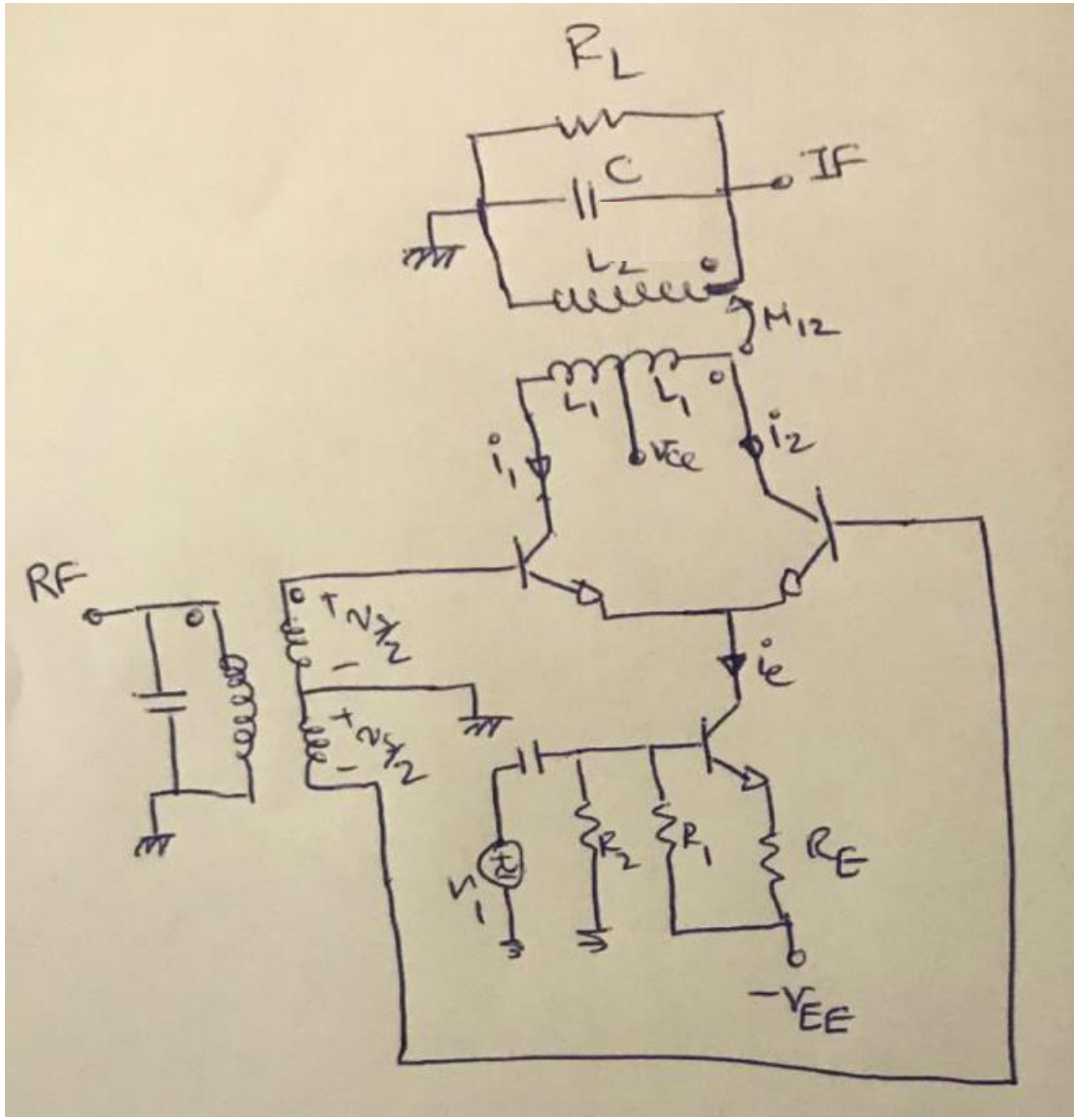
$$\left\{\begin{array}{l} I_{dc} = I_s \cdot e^{\frac{V_{dc}}{V_T}} \cdot I_0(y) \cdot I_0(x) \\[2ex] I_{RF} = 2 I_{dc} \dfrac{I_1(y)}{I_0(y)} \simeq y\, I_{dc} = g_m v_{RF} \quad , y = \dfrac{V_{RF}}{V_T} , \; g_m = \dfrac{I_{dc}}{V_T} \\[2ex] I_{LO} = 2 I_{dc} \dfrac{I_1(x)}{I_0(x)} = V_{LO} \cdot g_m \cdot \dfrac{2 I_1(x)}{x I_0(x)} \quad , \; x = \dfrac{V_{LO}}{V_T} , \; g_m = \dfrac{I_{dc}}{V_T} \\[2ex] I_{IF} = 2 I_{dc} \dfrac{I_1(x)}{I_0(x)} \cdot \dfrac{I_1(y)}{I_0(y)} \simeq y\, I_{dc} \dfrac{I_1(x)}{I_0(x)} \end{array}\right.$$

$$g_c = \frac{I_{IF}}{V_{RF}} = y\, I_{dc} \cdot \frac{I_1(x)}{I_0(x)} \cdot \frac{1}{V_{RF}} = \underbrace{\frac{\cancel{V_{RF}}}{V_T} \cdot I_{dc}}_{g_m} \cdot \frac{I_1(x)}{I_0(x)} \cdot \frac{1}{\cancel{v_{RF}}}$$

$$\rightarrow g_c = g_m \cdot \frac{I_1(x)}{I_0(x)}$$

$$\rightarrow v_0 = V_{cc} - g_c \cdot v_{RF} \cdot R_L \cdot \cos(\omega_s - \omega_0)t$$

مخلوط کننده دیفرانسیل



$$i_e = I_{E_0} + G_1 V_1 \cos\omega_0 t \quad , \quad I_{E_0} \cong \frac{V_{EG} - V_{BE}}{R_E}$$

$$G_1 = \frac{1}{R_E + 1/g_{in}} \quad \rightarrow G_1 \cong \frac{1}{R_E}$$

$$i_{out} = i_1 - i_2 = i_e \, tgh\left(\frac{x}{2}\right)$$

$$i_{out} = \left(I_{E_0} + G_1 V_1 \cos\omega_0 t\right)\left(a_1(x)\cos\omega_s t + a_3(x)\cos 3\omega_s t + \cdots\right)$$

$$\rightarrow I_{IF} = \frac{G_1 V_1}{2} a_1(x) = \frac{G_1 V_1 a_1(x)}{2x} \cdot \frac{v_s}{V_T}$$