

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

جزوه کلاسی درس مدارهای مخابراتی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

استاد دکتر مریم جلدی

نیمسال دوم سال تحصیلی 94-95

باتشکر از آقای مرتضی چشمی

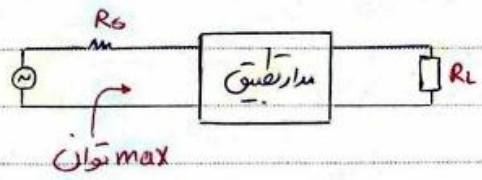
تهیه کننده: محسن درویش کسا

شماره دانشجویی 9212912871

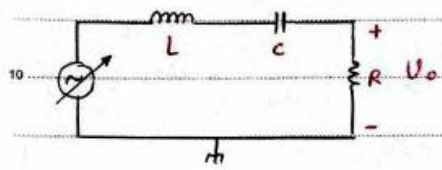
۱. مدارهای تطبیق امپدانس:

Lumped Element circuits

Distributed Element circuits عناصر استریپ و موجگیرها



مدار سیم پیچ RLC سری:



$$Z = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \rightarrow Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

سرپایه سیم پیچ، خازن و کپاسیتورها در برابر هم خنثی می‌شوند

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$\omega \rightarrow \infty \rightarrow$ سلف مدار باز $\omega \rightarrow 0 \rightarrow$ خازن مدار باز

$$H(s) = \frac{V_o}{V_s} = \frac{R}{R + sL + \frac{1}{sC}}$$

$$H(s) = \frac{\left(\frac{R}{L}\right) s}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q_s} s + \omega_0^2}$$

$$Q_s = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{1}{RC\omega_0} \quad Q_s = \frac{\omega L}{R} = \frac{\omega C}{R}$$

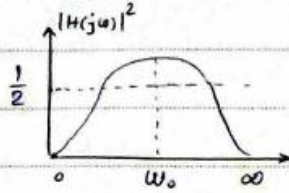
ضریب کیفیت مدار سیم پیچ

$$H(j\omega) = \frac{j \frac{R}{L} \omega}{\omega_0^2 - \omega^2 + j \frac{\omega \omega_0}{Q_s}} = \frac{1}{1 + j Q_s \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

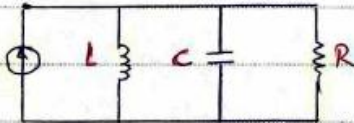
$$|H(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + Q_s^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2} \quad \angle H(j\omega) = -\tan^{-1} \left(Q_s \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right) \right)$$

P4PCO

$$|H(j\omega)|^2 \leq 1$$



$$|H(j\omega)|^2 = \frac{1}{2} = \frac{1}{1 + Q_s^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2} \rightarrow BW = \omega_1 - \omega_2 = \frac{\omega_0}{Q_s}$$



مدار تسبیح RLC موازی

$$Y = G + Cs + \frac{1}{Ls} = G + \frac{1}{j\omega L} + jC\omega \rightarrow Y = G + j\left(C\omega - \frac{1}{L\omega}\right) \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

فرکانس تسبیح RLC موازی مساوی فرکانس سری است.

$$Z(j\omega) = \frac{1}{Y(j\omega)} = \frac{R}{1 + jQ_p\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} \rightarrow Q_p = \frac{R}{L\omega_0} = RC\omega_0$$

if $\omega \rightarrow 0 \rightarrow L\omega \rightarrow 0 \Rightarrow Z(j\omega) = 0$ مدار اتصال کوتاه و اندرزی به مقاومت نمی رسد.

if $\omega = \omega_0 \Rightarrow Z(j\omega_0) = R$ ول اندرزی به بار می رسد.

if $\omega \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{1}{C\omega} \rightarrow 0 \Rightarrow Z(j\omega) = 0$ مدار اتصال کوتاه و اندرزی به مقاومت نمی رسد.

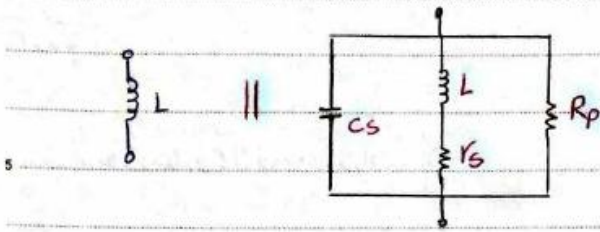
$$H(s) = \frac{I_o}{I_s}$$

باتصال مدار تسبیح به حالت سری با سیخ فرکانسی برای هر دو حالت برابر است و فقط بابت

$$BW = \omega_1 - \omega_2 = \frac{\omega_0}{Q_p}$$

ضریب R تفاوت دارند.

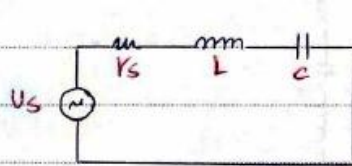
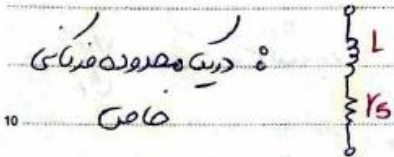
تلفات عناصر ذخیره کننده انرژی:



R_s : مقاومت سری هم‌ها

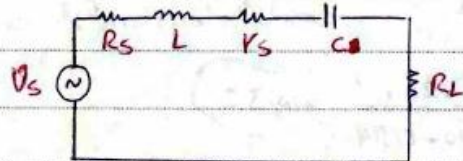
R_p : مقاومت ناشی از هسته

C_s : خازن ناشی از دورهای سیم پیچ



unloaded
 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
 $Q_u = \frac{2\omega_0}{R_s}$

در عمل انداز سری با مقاومت R_s (مقاومت سیم پیچ) و توسط بار R_L انجام می‌شود.



$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

$Q_t = \frac{L\omega_0}{R_s + R_s + R_L}$ (total), $Q_u = \frac{2L\omega_0}{R_s}$
 $Q_u > Q_t$

$\frac{1}{Q_t} = \frac{R_s}{L\omega_0} + \frac{R_s}{L\omega_0} + \frac{R_L}{L\omega_0} \rightarrow \frac{1}{Q_t} = \frac{1}{Q_s} + \frac{1}{Q_u} + \frac{1}{Q_L}$
 ضریب تلفات ناشی از بار
 ضریب تلفات ناشی از سیم پیچ
 ضریب تلفات ناشی از هسته

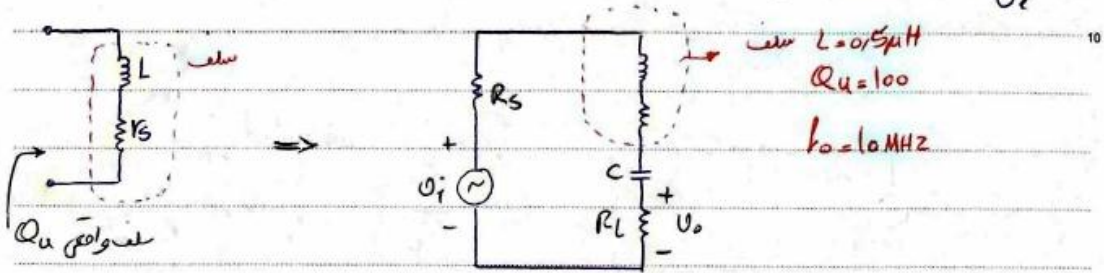
مسئله: یک سلف $0.5 \mu H$ با ضریب $Q_u = 100$ در فرکانس 10 MHz در مدار تسدید سریک به کار رفته

است

الف) مقدار خازن لازم چه قدر است؟

ب) با فرض مقاومت بار و منبع برابر $R_t = 50 \Omega$ مدار و پهنای باند؟

ج) $\frac{V_o}{V_i}$ در فرکانس تسدید؟



الف) $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \rightarrow \omega_0^2 = \frac{1}{LC} \rightarrow C = \frac{1}{L\omega_0^2} \rightarrow C = \frac{1}{0.5 \times 10^{-6} \times (2\pi \times 10^7)^2} = 507.1 \text{ pF}$

ب) $Q_t = \frac{L\omega_0}{R_s + R_L + R_s} \rightarrow Q_t = \frac{0.5 \times 10^{-6} \times 2\pi \times 10^7}{50 + 50 + 0.314} = 0.313$

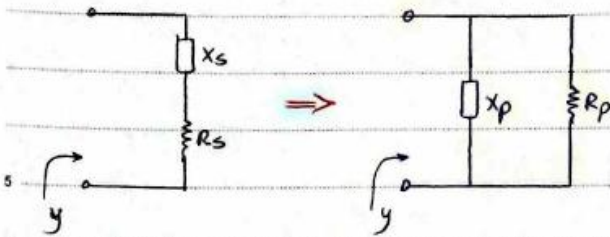
$Q_u = \frac{L\omega_0}{R_s} \rightarrow R_s = \frac{L\omega_0}{Q_u} = \frac{0.5 \times 10^{-6} \times 2\pi \times 10^7}{100} = 0.314 \Omega$

$Q_t = \frac{\omega_0}{BW} \rightarrow BW = 200.64 \text{ rad/s}$

ج) * در فرکانس تسدید مجموع LC اتصال کوتاه تقسیم و ω_0

$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_L}{R_L + R_s + R_s} = 0.498$

تبدیل مدار سربسته سری به موازی و بالعکس :



مدار معکوس: $y = \frac{1}{R_s + jX_s} \times \frac{R_s - jX_s}{R_s - jX_s} = \frac{R_s - jX_s}{R_s^2 + X_s^2} = \frac{R_s}{R_s^2 + X_s^2} - j \frac{X_s}{R_s^2 + X_s^2}$

مدار معکوس: $\frac{1}{R_p} + \frac{1}{jX_p} = \frac{1}{R_p} - j \frac{1}{X_p}$

$\Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \frac{R_s}{R_s^2 + X_s^2} &= \frac{1}{R_p} \rightarrow R_p = \frac{R_s^2 + X_s^2}{R_s} = R_s \left(1 + \frac{X_s^2}{R_s^2}\right) \rightarrow R_p = R_s \left(1 + Q_s^2\right) \\ \frac{X_s}{R_s^2 + X_s^2} &= \frac{1}{X_p} \rightarrow X_p = \frac{R_s^2 + X_s^2}{X_s} = X_s \left(\frac{R_s^2}{X_s^2} + 1\right) \rightarrow X_p = \left(1 + \frac{1}{Q_s^2}\right) X_s \end{aligned} \right.$

$Q_s \gg 1 \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} X_p &= X_s \\ R_p &= R_s Q_s^2 \end{aligned} \right.$

مثال: اندازه گیری مسخحات یک سلف واقعی با مدار معادل سلف زبر، مقادیر $\omega_0 = 10 \text{ M rad/s}$

کتاب BW = 500k و $k = 1$ را نشان می دهد عناصر مدار معادل موازی سلف را بدست آورید.



* در فرکانس تسدید ← مدار LC سری اتصال کوتاه و مدار LC موازی مدار باز

برای مدار سمت راست (RLC موازی) در ω_0 ← مدار باز

$$\rightarrow |Z(j\omega)| = R_p \rightarrow R_p = 1k\Omega$$

$$Q_p = \frac{\omega_0}{BW} \rightarrow Q_p = \frac{10 \times 10^6}{500 \times 10^3} = 20$$

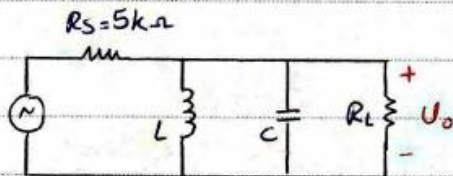
$$Q_p = \frac{R_p}{L\omega_0} \rightarrow L = \frac{R_p}{Q_p \omega_0} \rightarrow L_p = \frac{10^3}{20 \times 10^7} = 5\mu H$$

$$L_c = \frac{1}{\omega_0^2} \rightarrow C = \frac{1}{L\omega_0^2} = \frac{1}{5 \times 10^{-6} \times (10^7)^2} = 2nF$$

مثال: در مدار سمت راست $f_0 = 10.7MHz$ و پهنای باند $BW = 220kHz$ با فرض شرایط ایده‌آل برای سلف

و خازن (الف) مقادیر عناصر مدار برای انتقال حداکثر توان از منبع به بار (ب) چنانچه سلف به

بار رفته دارای $Q_u = 100$ باشد این تلفات سلف بر اساس فرآیند مدار (ج)



* برای انتقال حداکثر توان در فرآیند سلف $R_s = R_L$ 20

* فرآیند سلف موازی انتقال موازی LC ← مدار باز

انتقال حداکثر توان از R_s به R_L ← $R_L = R_s$

$$BW = 220kHz$$

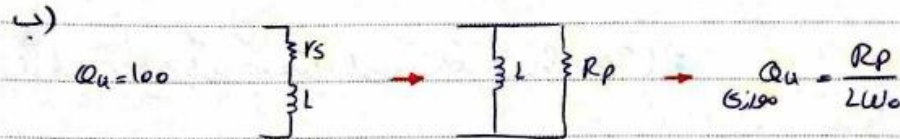
$$f_0 = 10.7MHz$$

$$R_t = R_L \parallel R_s = 5 \parallel 5 = 2.5k\Omega$$

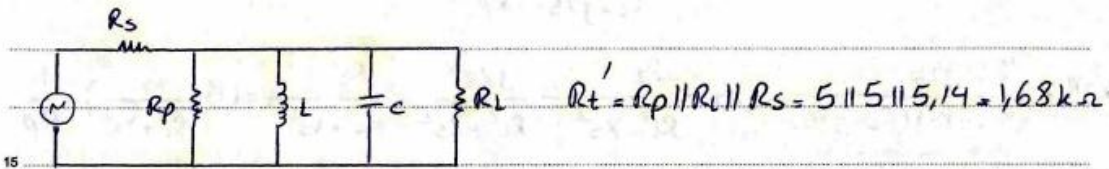
$$Q_t = \frac{R_t}{\omega_0 L} \rightarrow L = \frac{R_t}{Q_t \omega_0} \rightarrow L = \frac{2,5 \times 10^3}{48,63 \times 2\pi \times 10,7 \times 10^6} = 0,765 \mu\text{H}$$

$$Q_t = \frac{P_o}{BW} = \frac{10,7 \times 10^6}{220 \times 10^3} = 48,63$$

$$LC = \frac{1}{\omega_0^2} \rightarrow C = \frac{1}{L \omega_0^2} \rightarrow C = 289,5 \text{ pF}$$

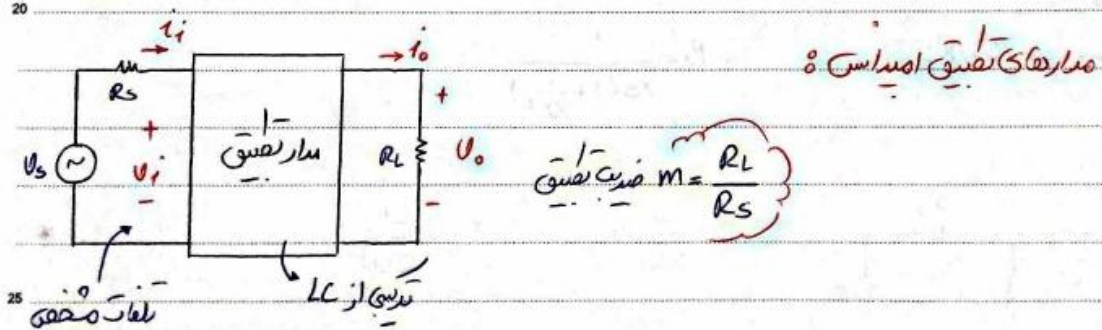


$$\rightarrow R_p = Q_u L \omega_0 = 100 \times 0,765 \times 10^{-6} \times 2\pi \times 10,7 \times 10^6 \rightarrow R_p = 5,14 \text{ k}\Omega$$



$$Q_t' = \frac{R_t'}{L \omega_0} = \frac{1,68 \times 10^3}{0,765 \times 10^{-6} \times 2\pi \times 10,7 \times 10^6} \rightarrow Q_t' = 32,68$$

$$BW' = \frac{P_o}{Q_t'} = 327,4 \text{ kHz}$$



بدلیل قرار گرفتن L و C در مدار تطبیق توان ورودی برابر با توان خروجی است

$V_i I_i = V_o I_o$

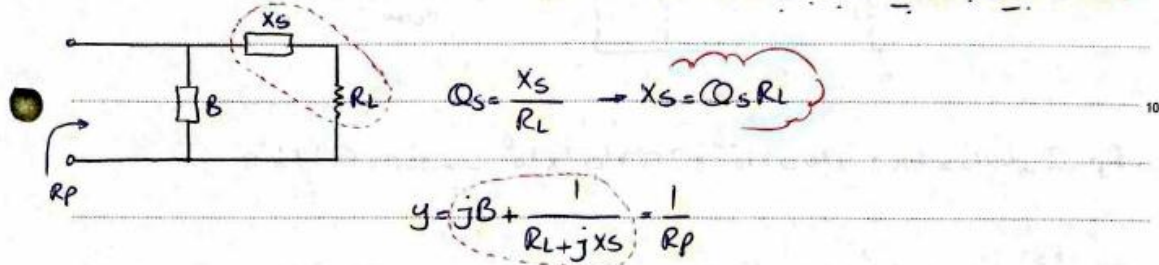
PAPCO

$$\begin{cases} U_i I_i = U_o I_o \\ R_s = \frac{U_i}{I_i} \\ R_L = \frac{U_o}{I_o} \end{cases} \quad \left. \begin{array}{l} U_i \text{ و } U_o \\ I_i \text{ و } I_o \end{array} \right\} \rightarrow m = \frac{R_L}{R_s} = \left(\frac{U_o}{U_i} \right)^2$$

* زوئی انی رابطه را در نظر می گیریم نه مقدارها بیاروحت در نظر می گیریم

مدار تصویق امپدانس بار و عنصر:

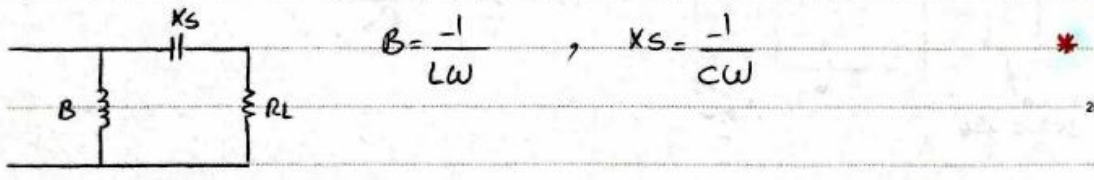
1) مدار تصویق بار توسط ترانس باریندکته $(R_p > R_L)$:

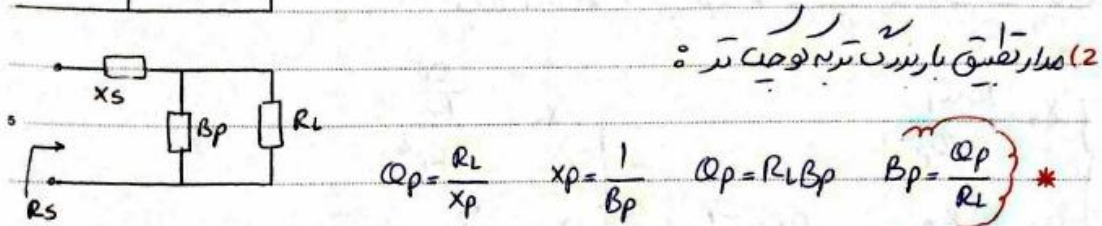
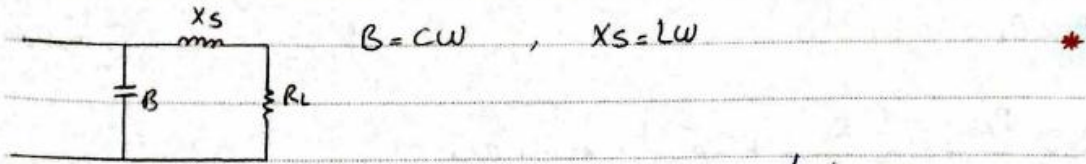


$$jB + \frac{R_L - jX_s}{(R_L + jX_s)(R_L - jX_s)} = jB + \frac{R_L}{R_L^2 + X_s^2} - \frac{jX_s}{R_L^2 + X_s^2} = \frac{R_L}{R_L^2 + X_s^2} + j\left(B - \frac{X_s}{R_L^2 + X_s^2}\right) = \frac{1}{R_p}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{R_L}{R_L^2 + X_s^2} = \frac{1}{R_p} \rightarrow R_p = \frac{R_L^2 + X_s^2}{R_L} \rightarrow Q_s R_L \\ B = \frac{X_s}{R_L^2 + X_s^2} \rightarrow R_p = R_L (1 + Q_s^2) \quad \textcircled{1} \end{cases} \quad R_p > R_L$$

$$\rightarrow X_s = Q_s R_L \quad \textcircled{2} \quad \rightarrow B = \frac{1}{X_s (1 + \frac{1}{Q_s^2})} \quad \textcircled{3}$$





$$Q_p = \frac{R_L}{X_p} \quad X_p = \frac{1}{B_p} \quad Q_p = R_L B_p \quad B_p = \frac{Q_p}{R_L} *$$

$$R_L = \frac{Q_p}{B_p} **$$

$$R_s = jX_s + \frac{1}{jB_p + \frac{1}{R_L}} \rightarrow jX_s + \frac{jB_p - \frac{1}{R_L}}{-B_p^2 - (\frac{1}{R_L})^2}$$

$$R_s = j \left(X_s - \frac{B_p}{B_p^2 + (\frac{1}{R_L})^2} \right) + \frac{\frac{1}{R_L}}{B_p^2 + (\frac{1}{R_L})^2}$$

$$R_s = \frac{\frac{1}{R_L}}{B_p^2 + (\frac{1}{R_L})^2} \rightarrow \frac{\frac{1}{R_L}}{(\frac{Q_p}{R_L}) + (\frac{1}{R_L})^2} \rightarrow \frac{\frac{1}{R_L}}{\frac{Q_p^2 + 1}{R_L^2}} = \frac{R_L}{Q_p^2 + 1} = R_s \rightarrow R_s < R_L$$

$$X_s = \frac{B_p}{B_p^2 + (\frac{1}{R_L})^2} \rightarrow X_s = \frac{R_L Q_p}{1 + Q_p^2}$$

* X, R مقادیر ادمیتانس و G, B مقادیر ادمیتانس هستند

$R_p > R_L$ مدار تصویق بار کوچک تر بزرگ تر :

$$R_p = R_L (1 + Q_s^2) \rightarrow \frac{R_p}{R_L} = (1 + Q_s^2) \quad m = 1 + Q_s^2$$

$$B = \frac{1}{X_s (1 + \frac{1}{Q_s^2})} \quad I$$

$$R_s < R_L$$

مقدار تقویت بار بزرگتر از کوچک:

$$R_s = \frac{R_L}{1 + Q_p^2} \rightarrow \frac{R_L}{R_s} = 1 + Q_p^2 \quad m = 1 + Q_p^2$$

$$\begin{cases} X_s = \frac{R_L Q_p}{1 + Q_p^2} \\ Q_p = R_L B_p \rightarrow R_L = \frac{Q_p}{B_p} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} X_s = \frac{Q_p^2}{B_p} \\ X_s = \frac{X_p}{1 + Q_p^2} \quad \text{II} \end{cases}$$

$$m = \frac{\text{مقاومت بزرگتر}}{\text{مقاومت کوچکتر}}$$

$$(2) \text{ مقدار } Q \text{ را به دست آورید} \quad m = 1 + Q^2$$

(3) عنصری که نزدیک بار قرار گرفته را به دست می آوریم.

$$\text{if } R_s > R_L \rightarrow X_s = R_L Q \quad \text{مقاومت بزرگتر}$$

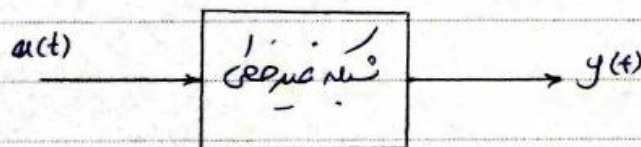
$$\text{if } R_s < R_L \rightarrow X_p = \frac{R_L}{Q} \quad \text{مقاومت کوچکتر}$$

(4) شرایط تندی (I, II)

$$\text{if } R_s > R_L \quad X_s' = X_s(1 + Q^2), \quad X_p = -X_s'$$

$$\text{if } R_s < R_L \quad X_p' = \frac{X_p}{1 + Q^2}, \quad X_s = -X_p'$$

فصل دوم: بررسی شرایط عنصر فعال



عددی است برای ترانزیستور من دهنده نقطه کار است

$$y(t) = a_0 + a_1 u(t) + a_2 u^2(t) + a_3 u^3(t) + \dots = \sum_{n=0}^{+\infty} a_n u^n(t)$$

تک فرکانس (Single Tone) ورودی
دو فرکانس (Two Tone) ورودی

$$u(t) = A \cos \omega t \quad \text{ورودی تک فرکانس}$$

$$y(t) = a_0 + a_1 A \cos \omega t + a_2 A^2 \cos^2 \omega t + a_3 A^3 \cos^3 \omega t$$

فرض می شود $a_n = 0, n \geq 4$

$$\cos^2 \omega t = \frac{1 + \cos 2\omega t}{2}$$

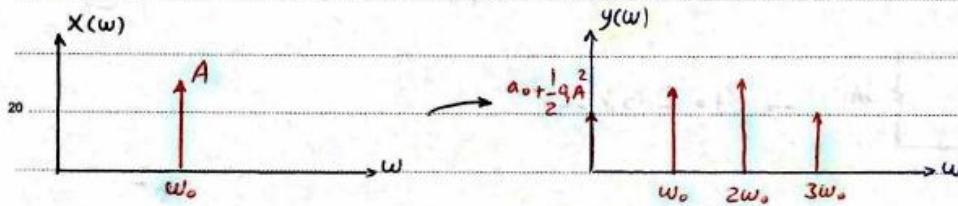
مولفه با فرکانس ω

$$y(t) = a_0 + \frac{1}{2} a_1 A^2 + A \left(a_1 + \frac{3}{4} a_3 A^2 \right) \cos \omega t + \frac{1}{2} a_2 A^2 \cos 2\omega t$$

مولفه dc

مولفه با فرکانس 2ω

$$+ \frac{1}{4} a_3 A^3 \cos 3\omega t \quad \text{مولفه با فرکانس } 3\omega$$



عمردهای

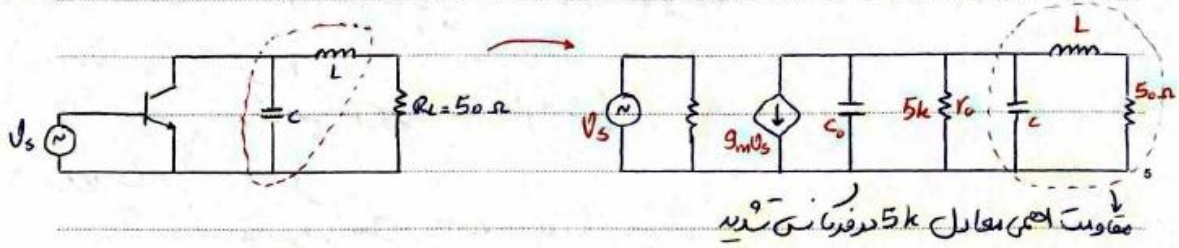
حوزه فرکانس

کاربرد عمده‌ای برای ضرب شده ها

مثال: امپدانس خروجی ترانزیستور (مقاومت $5k\Omega$ موازی با خازن $C_0 = 5pF$ است برای)

انتقال حداکثر توان از خروجی ترانزیستور به بار 50Ω از مدار زید در فرکانس $10.7 MHz$ استفاده

ساده است. عناصر مدار تصویق را حساب کنید. جریان نقطه بار 2,5mA است.



مقاومت اهمی معادل 5k در فرکانس سده

$$m = \frac{\text{مقاومت بزرگتر}}{\text{مقاومت کوچکتر}} = \frac{5k}{50\Omega} = 100 \quad \omega = \frac{L\omega}{R} \leftarrow \text{برای}$$

ضریب کیفیت نامی از مدار تصویق $m = Q^2 + 1 \rightarrow Q = 9,95$

$$Q = \frac{L\omega}{R_L} \rightarrow L = \frac{QR_L}{\omega} = \frac{9,95 \times 50}{2\pi \times 10,7 \times 10^6} = 7,403 \mu H$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \rightarrow C_t = \frac{1}{7,403 \times 10^{-6} \times (2\pi \times 10,7 \times 10^6)^2} = 29,91 pF$$

مربوط به تمام تلفات و بار

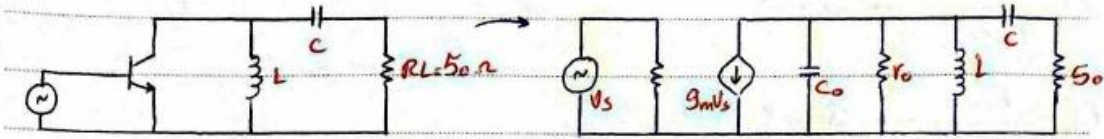
مجموع اتصال موازی C و C0 $C_t = C_0 + C \rightarrow C = 29,91 - 5 = 24,91 pF$



در حالت سده

$$Q = \frac{R_t}{L\omega_0} = 510,2 \quad BW = \frac{f_0}{Q_t} = 2,13 MHz$$

سوال: صورت سوال من سوال اصل



$$m = \frac{5k}{50} = 100, \quad m = Q^2 + 1 \rightarrow Q = 9,95$$

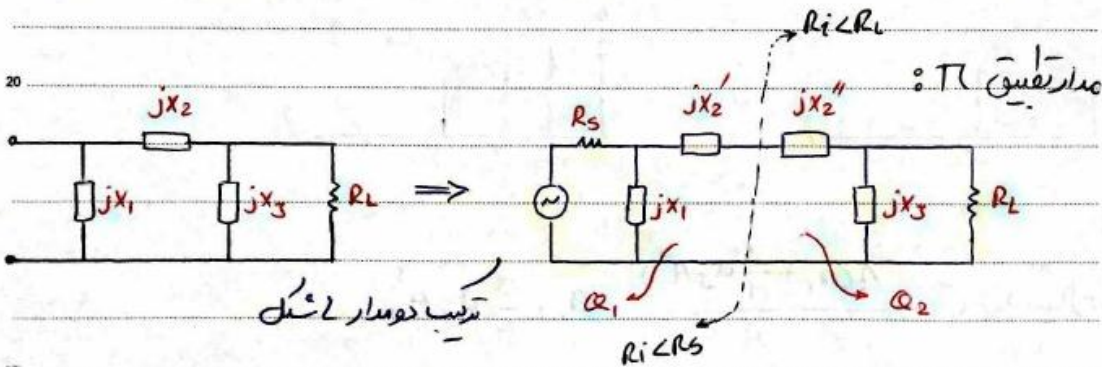
$$Q = \frac{1}{RC\omega} \rightarrow C = \frac{1}{R_L Q \omega} = \frac{1}{50 \times 9,95 \times 2\pi \times 10,7 \times 10^6} = 29,91 \text{ pF}$$

$$10. C_t = C_o \parallel C = 29,91 + 5 = 34,91 \text{ pF} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC_t}} \rightarrow L = ?$$

$$Q_t = \frac{1}{R_t C_t \omega_0} \quad \left. \begin{array}{l} r_o \parallel C_t \parallel L \end{array} \right\} R_{eq} = 5k \leftarrow \text{در صورتی که غیر از این نیست}$$

$$Q_t = 5,86 \quad BW = \frac{f_0}{Q_t} = \frac{10,7 \text{ MHz}}{5,86} = 1,8259 \text{ MHz}$$

$$\left. \begin{array}{l} BW_1 = 2,13 \text{ MHz} \\ BW_2 = 1,82 \text{ MHz} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} Q_{t1} = 5,102 \\ Q_{t2} = 5,86 \end{array} \right.$$



در صورتی که R_i و R_L برابر تصدیق داده شود در صورتی که $R_i < R_S$ و $R_i < R_L$ صرفاً

تعداد انتقال شود.

$R_i = \frac{R_L}{1+Q_2^2} \rightarrow Q_2 = ?$

از Q_1 شروع می کنند

$R_i = \frac{R_S}{1+Q_1^2} \rightarrow Q_1 = ?$

بر اساس Q_1 از رابطه ۲ مقدار R_i به دست می آید. بررسی می کنیم آیا $R_i < R_L$ است یا نه؟

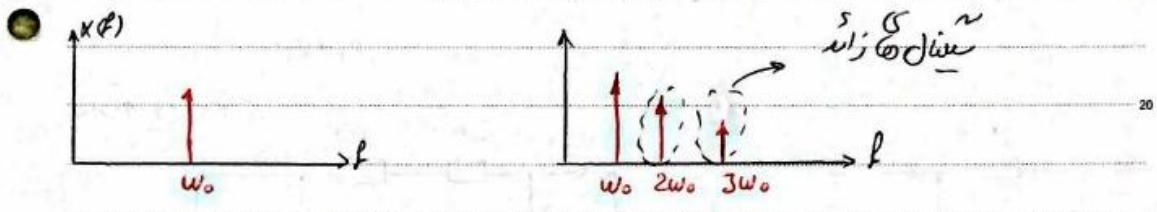
اگر نبود Q_1 را بزرگ تر انتخاب می کنیم.

و از $Q_1 = \frac{R_S}{X_1}$ به دست می آید $X_2 \leftarrow \frac{X_2'}{R_i} = Q_1$

و $Q_2 = \frac{R_L}{R_i} = 1+Q_2^2$ و از $X_3 \leftarrow Q_2 = \frac{R_L}{X_3}$ به دست می آید.

ماتریس ۳ در ۳ را در نظر می گیریم $y(t) = \sum_{n=0}^{+\infty} a_n u^n(t)$ $u = A \cos \omega t$

$y(t) = a_0 + \frac{1}{2} a_1 A^2 + A(a_1 + \frac{3}{4} a_3 A^2) \cos \omega t + \frac{1}{2} a_2 A^2 \cos 2\omega t + \frac{1}{4} a_3 A^3 \cos 3\omega t$



بررسی می کنیم $G = \frac{A(a_1 + \frac{3}{4} a_3 A^2)}{A} = a_1 + \frac{3}{4} a_3 A^2$

بر حسب db \rightarrow $\text{بر حسب db} = 20 \log G$

تقریب خطی \rightarrow a_1 بررسی می کنیم

* $a_3 > 0$ نین افرایشی ، $a_3 < 0$ نین کافی

* $A > 0$ هواره a_n هامی تواند متقی یا مثبت باشد.

ورودی با دو مؤلفه ضربانی : $x(t) = A(\cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t)$

$x(t)$ را در $y(t)$ قرار می دهیم و از تبدیل های ضرب به جمع استفاده می کنیم.

$y(t) = a_0 + \frac{1}{2} a_1 A_1^2 + \frac{1}{2} a_3 A_2^2 + a_1 (A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t)$ مؤلفه dc

$+ \frac{1}{2} a_2 (A_1^2 \cos 2\omega_1 t + A_2^2 \cos 2\omega_2 t)$ تغیبات ندره و ورودی

$+ \frac{a_2}{2} A_1 A_2 [\cos(\omega_1 + \omega_2)t + \cos(\omega_1 - \omega_2)t]$

$+ a_3 \left\{ [A_1^3 \left(\frac{1}{2} \cos \omega_1 t + \frac{1}{4} \cos 2\omega_1 t + \frac{1}{4} \cos 3\omega_1 t \right) + \dots$

$\dots + A_2^3 \left(\frac{3}{4} \cos \omega_2 t + \frac{1}{4} \cos 3\omega_2 t \right) + A_1^2 A_2 \left[\frac{3}{2} (\cos \omega_2 t + \frac{3}{4} \cos(2\omega_1 + \omega_2)t$

$+ \frac{3}{4} \cos(2\omega_1 - \omega_2)t] + A_2^2 A_1 \left[\frac{3}{2} \cos \omega_1 t + \frac{3}{4} \cos(2\omega_2 + \omega_1)t$

$+ \frac{3}{4} \cos(2\omega_2 - \omega_1)t] \right\}$

* A_1^2 یا $A_1 A_2$ اعطای مرتبه دوم

* A_1^3 اعطای مرتبه سوم

$x(t) = A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t$: (two tone) ورودی یارو کولف ضربانی

$y(t) = a_0 + a_1 x(t) + a_2 x^2(t) + a_3 x^3(t)$

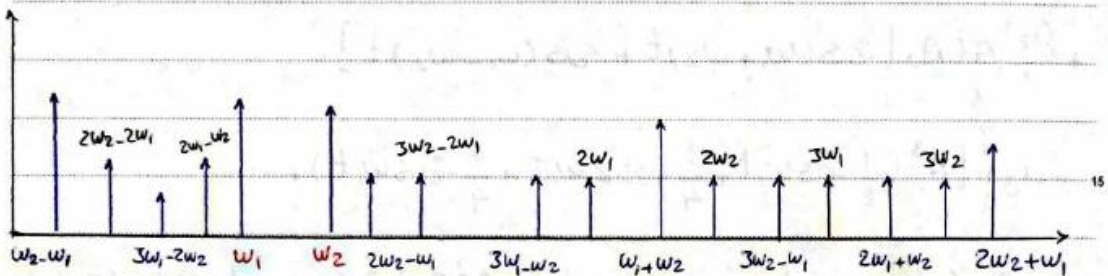
$= DC + a_1 (A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t) + \frac{a_2}{2} A_1 A_2 [\cos(\omega_1 + \omega_2)t + \cos(\omega_1 - \omega_2)t]$

انتقال مورد نظر
اعوجاج مرتبه ۲

$+ a_3 A_1^2 A_2 \times \frac{3}{4} \cos(2\omega_1 - \omega_2)t$

اعوجاج مرتبه سوم

$+ a_3 A_2^2 A_1 \times \frac{3}{4} \cos(2\omega_2 - \omega_1)t$



$2\omega_2 - \omega_1 < \omega_2 \rightarrow \omega_2 < \omega_1$ با فرض $\omega_2 > \omega_1$

20 بهره برداری اعوجاج مرتبه سوم $(\omega_1 \pm \omega_2)$ بهره، نسبت به $A_1 \cos \omega_1$ منبج (ناربر دروسه)

$G_c = \frac{\omega_1 \pm \omega_2 \text{ دامنه کولف}}{A_1 \text{ دامنه ورودی}} = \frac{\frac{a_2}{2} A_1 A_2}{A_1} = \frac{a_2}{2} A_2$

بهره انتقال سید

$\frac{3}{4} a_3 A_2^2 A_1$ ← اعوجاج مرتبه سوم } $2\omega_1 \pm \omega_2$
 $\frac{3}{4} a_3 A_1^2 A_2$ } $2\omega_2 \pm \omega_1$

$$\left. \begin{aligned} \omega_1 &= 5 \text{ Mrad/s} \\ \omega_2 &= 5.5 \text{ Mrad/s} \\ 2\omega_1 - \omega_2 &= 4.5 \\ 2\omega_2 - \omega_1 &= 6 \end{aligned} \right\}$$

* برای حذف اعوجاج مرتبه دوم $(2\omega_1 - \omega_2)$ $\rightarrow a_3 = 0$ توان سه مرتبه باشد غیر صافی

سیگنال ورودی خاصی توسط (صافی ریب A_1, A_2)

اعوجاج مرتبه ۳

$$10 \quad \Sigma MR = \frac{2\omega_1 + \omega_2}{\text{دانه سیگنال سه مرتبه دوم}} = \frac{\frac{3}{4} a_3 A_1 A_2}{\text{دانه سیگنال مطلوب خروجی}} = \frac{3}{4} \frac{a_3}{a_1} A_1 A_2$$

حفظ شود

if $\left. \begin{aligned} \omega_1 &= \omega_2 \\ A_1 &= A_2 \end{aligned} \right\} \rightarrow \Sigma MR = \frac{3}{4} \frac{a_2}{a_1} A^2$

بررسی از نظر توان :

15 $a(t) = A(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)$ (ورودی)

$P_i = \frac{1}{2} A^2$ توان ورودی در ω_1 $P_o = \frac{1}{2} A a_1^2 = a_1^2 P_i$ توان خروجی در ω_1

20 $\frac{3}{4} a_3 A^3 \rightarrow$ سیگنال اضافی مرتبه ۳

$P_d = \frac{1}{2} \left(\frac{3}{4} A a_3 \right)^2 = \frac{9}{16} a_3^2 A^6 = \frac{9}{4} a_3^2 \left(\frac{A^6}{8} \right) = \frac{9}{4} a_3^2 P_i^3 / P_d \propto P_i^3$

3p (Intercept point) : مقادیر توانی از سیگنال ورودی است که توان سیگنال مورد نظر خروجی

25 $\omega_1 - \omega_2$ با اعوجاج مرتبه سوم برابر است $\Sigma MR = 1$

$\frac{1}{2} A^2$ توان ورودی
 $A(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)$

مثال: درخت مدار غیر خطی، رابطه $y = 25a_1 - 2a_1^3$ را بنویسید. $a_0, a_2 = 0$

الف) بهره سیگنال خروجی چقدر است. ب) تقریب سیگنال خروجی نقطه ای تقریب می شود.

بهره نسبت به حالت خطی 1dB افت کند، حد آستانه ورودی را مشخص کنید. ج) بزرگی

بهره سیگنال $x(t) = \cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t$ دامنه هر دو سیگنال اضافی چقدر است. د) P_{I} مدار را مشخص کنید.

بهره سیگنال خروجی سیگنال ورودی به اندازه ای کوچک باشد که توان های مرتبه بزرگتر

از آن یعنی $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ قابل صرف نظر باشد. بهره سیگنال خروجی

در حالت سیگنال کوچک $y = 25a_1$ $25 \rightarrow 10 \log 25 = 27,95 \text{ dB}$

ب) در مرحله اول بهره را در حالت خطی بدست می آوریم.

بزرگی بدست آوردن بهره در حالت خطی $x = A \cos \omega t$ و عبارت y را به صورت توان های

مرتبه 1 بنویسید. $y = 25A \cos \omega t - 2(A \cos \omega t)^3$

$= 25A \cos \omega t - 2A^3 \cos^3 \omega t = A(25 \cos \omega t - \frac{3}{2} A^2 \cos \omega t) - \frac{1}{2} A^3 \cos 3\omega t$

ساده به توان های مرتبه اول

بهره \leftarrow ضرایب $\cos \omega t$

بهره سیگنال بزرگ $= \frac{A(25 - \frac{3}{2} A^2)}{A} = 25 - \frac{3}{2} A^2$

مرتبه بزرگ سیگنال کوچک و بزرگ $= 27,95 - 1 = 26,95 \text{ dB} = 10 \log (25 - \frac{3}{2} A^2)$

(فصل یا غیر خطی)

$2,695 = \log (25 - \frac{3}{2} A^2) \rightarrow 25 - \frac{3}{2} A^2 = 10^{2,695} \rightarrow A \leq 1,346$

Subject:

Year: Month: Date: ()

$$y = 25a_1 - 2a_1^3$$

(8)

$$\left. \begin{array}{l} a_0 = 0 \\ a_1 = 25 \\ a_2 = 0 \\ a_3 = 2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} a_1(t) = \cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t \\ a_1(t) = A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t \\ A_1 = A_2 = 1 \end{array}$$

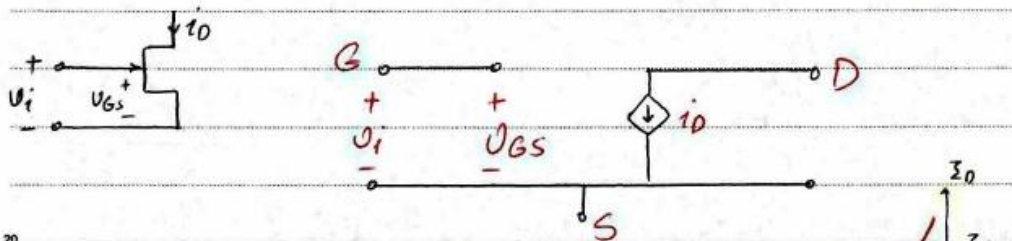
جواب سوال 2 $\omega_1 - \omega_2 \rightarrow \frac{3}{4} a_3 A_1^2 A_2^2$ جواب سوال 3 $\omega_1 \rightarrow \frac{3}{4} a_3 = \frac{3}{2}$

$$\Sigma p_s e \rightarrow \Sigma MR_{s1}$$

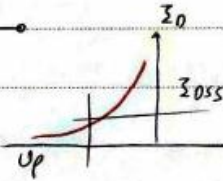
$$\Sigma MR = \frac{3}{4} \frac{a_3}{a_1} A^2 = 1 \rightarrow A = 4,08$$

$$\Sigma p = \frac{1}{2} A^2 = \frac{1}{2} (4,08)^2 = 8,32 \rightarrow \Sigma p = 9,2 \text{ dB}$$

بررسی شرایط کار در یک jFET



jFET در حالت کار، $I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2$



در حالت کار، $I_{DQ} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p}\right)^2$

$$I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GSQ} + V_i}{V_p}\right]^2 = I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p} - \frac{V_i}{V_p}\right]^2$$

R4PCO

$$= I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p} \right]^2 + I_{DSS} \left[\frac{V_i}{V_p} \right]^2 - 2 I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p} \right) \frac{V_i}{V_p}$$

$$= I_{DSS} \left[1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p} \right]^2 + I_{DSS} \left[\frac{V_i}{V_p} \right]^2 - 2 I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p} \right) \frac{V_i}{V_p}$$

$$= I_{DQ} - \frac{2 I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p} \right) V_i}{V_p} + \frac{I_{DSS} V_i^2}{V_p^2}$$

$g_{m\alpha}$

$$a_0 = I_{DQ}$$

$$I_D = I_{DQ} + g_{m\alpha} V_i + \frac{I_{DSS} V_i^2}{V_p^2}$$

$$a_1 = g_{m\alpha}$$

$$a_2 = \frac{I_{DSS}}{V_p^2}$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2, \quad V_{GS} = V_{GSQ} + V_i$$

$$i_D \propto i_{AC} = I_{DSS} \left[\left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p} \right)^2 + \frac{V_i^2}{V_p^2} + 2 \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p} \right) \left(\frac{V_i}{V_p} \right) \right]$$

15. مهم ترین نکته: $a_3 = 0$ سیگنال های اضافه مرتبه سوم را نداریم.

ضرایب عنصری خطی

$$i_D = I_{DQ} + g_{m\alpha} V_i + \frac{I_{DSS} V_i^2}{V_p^2}$$

$$\frac{1 + \cos 2\omega t}{2}$$

if $V_i = V_i \cos \omega t$ $i_D = I_{DQ} + g_{m\alpha} V_i \cos \omega t + \frac{I_{DSS} V_i^2 \cos^2 \omega t}{V_p^2}$

$$i_D = \left(I_{DQ} + \frac{I_{DSS}}{V_p^2} \right) + g_{m\alpha} V_i \cos \omega t + \frac{I_{DSS} V_i^2 \cos 2\omega t}{2V_p^2}$$

دانشه جریان در فرکانس اصلی (ω)

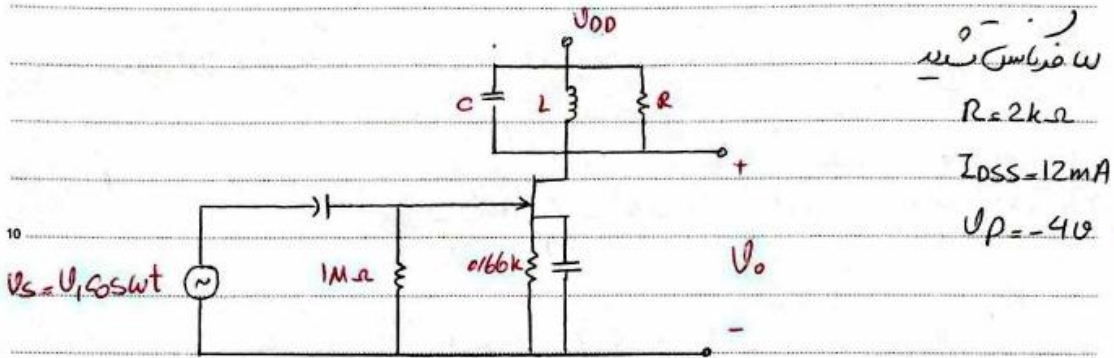
پاسخیت FET در شرایط سیگنال

بزرگ (یعنی در نظر گرفتن تقریب

$$i_{D1} = \frac{g_{mQ} U_1}{1} = g_{mQ} U_1$$

به دست آوردن بهره یا صرف نظر کردن بهره سینال کوچک از توان های مرتبه بالاتر از 1

مثال: در مدار سلف زیر جریان نقطه کار بهره سینال کوچک و توان خروجی را مشخص کنید.



مرحله اول: به دست آوردن نقطه کار در مدار غیر خطی (JFET, BJT)

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2 = 12 \text{ mA} \left(1 + \frac{V_{GS}}{4}\right)^2 \quad I_{GS} = 0$$

$$\rightarrow V_{GS} + R_S I_D = 0 \rightarrow V_{GS} = -0.166 I_D \quad (2)$$

$$I_D = 3 \text{ mA} \quad g_{mQ} = \frac{2 I_{DSS}}{|V_p|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right) = \frac{2 \times 12 \text{ mA}}{4} \left(1 + \frac{-2}{4}\right) = 3$$

$$i_D = \left(I_D + \frac{I_{DSS} U_1^2}{2V_p^2}\right) + g_m U_1 \cos \omega t + \frac{I_{DSS} U_1^2 \cos 2\omega t}{2V_p^2}$$

$$i_D = \left(3 \text{ mA} + \frac{3}{8} U_1^2\right) + 3 U_1 \cos \omega t + \frac{3}{8} U_1^2 \cos 2\omega t$$

$$V_o = V_{DD} - 2i_D \quad \text{در حالت سلف و C و L برابر است فقط جهت فرکانس \omega}$$

از رابطه جریان i_D از قسمت فروری عبور می کند خان C_1 مقاومت 466Ω را انتقال تواندهی کند

مدار RLC به علت فرانس ω فقط ضریب $\cos \omega t$ را عبور می دهد.

مثال: حد تقریب سیگنال کوچیک در مورد FET از چنان تعریف می شود که هارموی دوم 10%

دانه هارموی اول باشد چنانکه دامنه فروری حقیقت راست؟

$$V_{GSQ} = \frac{V_p}{2}$$

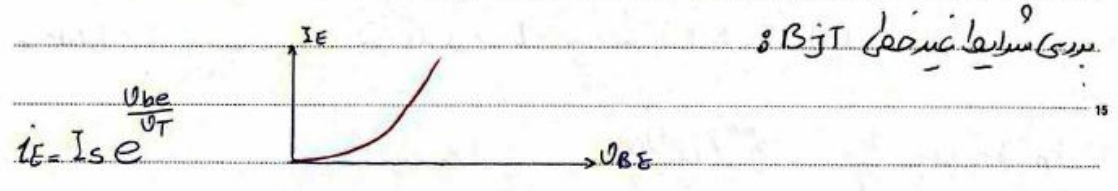
$$V_p = -4V$$

دانه هارموی دوم $\frac{I_{DSS} V_1^2}{20p^2}$

دانه هارموی اول $g_{m0} V_1$

$$\frac{I_{DSS} V_1^2}{20p^2} = \frac{I_{DSS} V_1}{20p^2 \cdot 2 \frac{I_{DSS} (1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p})}{10p}} = \frac{1}{100}$$

$$V_1 = 0.08V = 80mV$$



به دلیل رابطه نهای جریان امپد، ترانزیستور به صورت یک عنصر غیر خطی عمل می کند.

هدف به دست آوردن هارموی های جریان امپد با فرقی فروری سینوسی در فرانس ω

$$V_{be} = V_{dc} + V_1 \cos \omega t \quad i_E = I_S e^{\frac{V_{be}}{V_T}}$$

تابع متناوب با دوره تناوب ω

$$i_E(t) = I_S e^{\frac{V_{dc}}{V_T}} \times e^{\frac{V_1 \cos \omega t}{V_T}}$$

ضرایب با سری فوریه سینوسی

$$e^{a \cos \omega t} = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos n \omega t$$

$$I_0(a) = \int_{-\pi}^{\pi} e^{a \cos \omega t} d\varphi, \quad I_n(a) = \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} e^{a \cos \omega t} \cos n \varphi d\varphi$$

$$C_0 = I_0, \quad C_n = 2I_n(\omega)$$

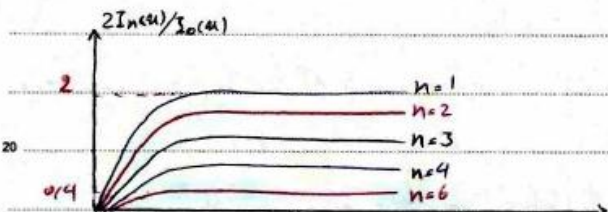
$$\rightarrow I_E(t) = I_S e^{\frac{V_{DC}}{V_T}} \left[I_0(\omega) + \sum_{n=1}^{\infty} 2I_n(\omega) \cos n\omega t \right]$$

$$I_E(t) = \underbrace{I_S e^{\frac{V_{DC}}{V_T}}}_{I_{EQ}} I_0(\omega) \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2I_n(\omega)}{I_0(\omega)} \cos n\omega t \right]$$

خروجی در فرکانس ω معادل \rightarrow در BJT ورودی تک فرکانس

$$I_E(t) = I_{EQ} \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2I_n(\omega)}{I_0(\omega)} \cos n\omega t \right]$$

n	$\frac{2I_1(\omega)}{I_0(\omega)}$	$\frac{2I_2(\omega)}{I_0(\omega)}$	$\frac{2I_3(\omega)}{I_0(\omega)}$...	$\frac{2I_5(\omega)}{I_0(\omega)}$
0	0	0	0		0
0.2	0.19901	0.00993	0.00033		0
0.4	⋮				
0.6	0.189278	0.12144	0.03502		0.000073
0.8	1.89720	1.62056	1.24976	...	



دانه جریان ورودی اصلی \rightarrow بهره سیگنال بزرگ \rightarrow GM
 دانه سیگنال ورودی

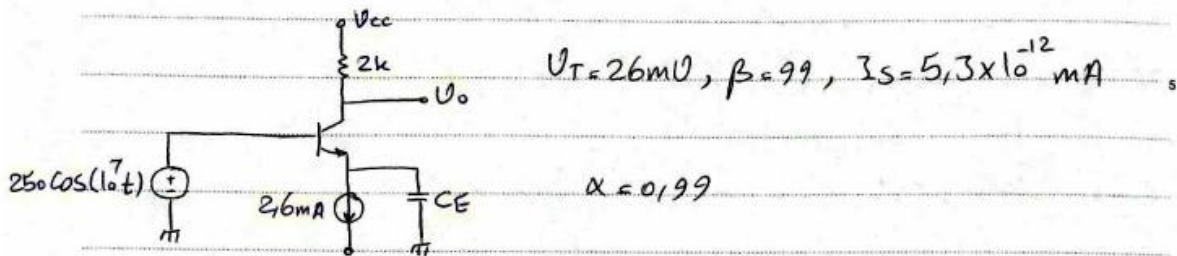
$$25 \quad \frac{I_{C1}}{V_1} = \frac{\alpha I_{E1}}{V_1} \rightarrow \text{جریان امپدور در خروجی اصلی} = \frac{\alpha I_{EQ}}{V_T} \frac{2I_1(\omega)}{I_0(\omega)} = g_m \frac{2I_1(\omega)}{I_0(\omega)}$$

$$\rightarrow \frac{\text{بهره سیگنال بزرگ}}{\text{بهره سیگنال کوچک}} = \frac{GM}{g_m} \frac{2I_1(\omega)}{I_0(\omega)}$$

$\alpha \frac{I_{EQ}}{V_T}$ بهره سیگنال کوچک \rightarrow g_m

مسئله: در مدار شکل مقابل انفا) عبارت نامیل و سیگنال خروجی را تا هارمونیک سوم مستخرج کنید

ج) بار ولتاژ متر با رانیت $R=2k\Omega$ ، $C=1000pF$ ، $L=6\mu H$ است. و سیگنال خروجی ؟



$$I_{EQ} = 2,6 \text{ mA} \quad (1)$$

$$i_E(t) = I_{EQ} \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2I_n(\alpha)}{I_0(\alpha)} \cos n\omega t \right] \quad \alpha = ? \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{V_1}{V_T} = \frac{250 \text{ mV}}{26 \text{ mV}} = 9,62 \quad \alpha = 9,62 \rightarrow \frac{2I_1(9,6)}{I_0(9,6)} = 1,89$$

$$\frac{2I_2(9,6)}{I_0(9,6)} = 1,607 \quad , \quad \frac{2I_3(9,6)}{I_0(9,6)} = 1,217$$

$$V_o = V_{CC} - 2^k \times i_C = V_{CC} - 2 \times \alpha i_E(t)$$

تا هارمونیک سوم سیگنال تا $\cos 3\omega t$ محاسبات انجام شود

$$i_C(t) = (2,574 + 4,864 \cos \omega t + 4,136 \cos 2\omega t + 3,13 \cos 3\omega t) \text{ mA}$$

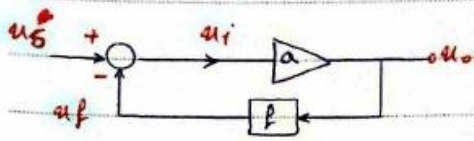
$$V_o(t) = V_{CC} - 5,148 - 9,736 \cos \omega t - 7,272 \cos 2\omega t - 6,26 \cos 3\omega t$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{10 \times 10^{-6} \times 10^3 \times 10^{-12}}} = 10^7 \quad (ج)$$

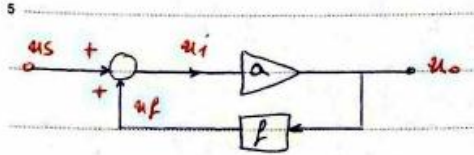
سیگنال فقط هارمونیک اول یعنی $\omega = 10^7$ را عبوری در نظر

$$\rightarrow V_o(t) = -9,736 \cos \omega t \quad (ج)$$

فصل ۳: نوسان سازهای سینوسی



ضریب منفی: $A = \frac{u_o}{u_s} = \frac{a}{1+af}$



ضریب مثبت: $A = \frac{u_o}{u_s} = \frac{a}{1-af}$

استخراج تابع انتقال برابر صفر شود - بهره بسیار بزرگ - با سیگنال با دامنه کم، سیگنال

بزرگ در خروجی داریم $1+af=0 \rightarrow af=+1 \rightarrow T=+1$

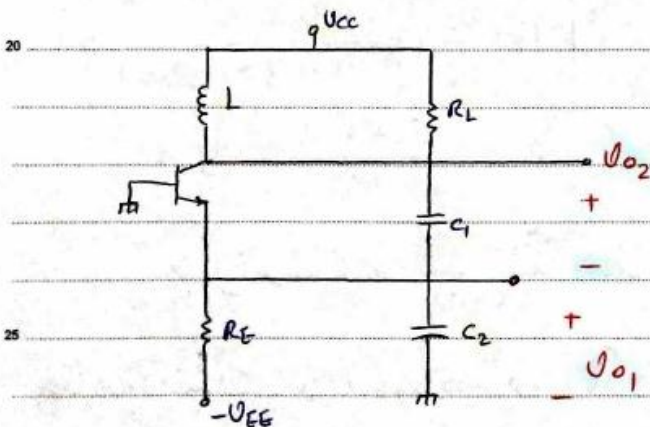
ضریب منفی: $|T|=1, \angle T = \pm 180^\circ$

ضریب مثبت: $|T|=1, \angle T = 360^\circ$

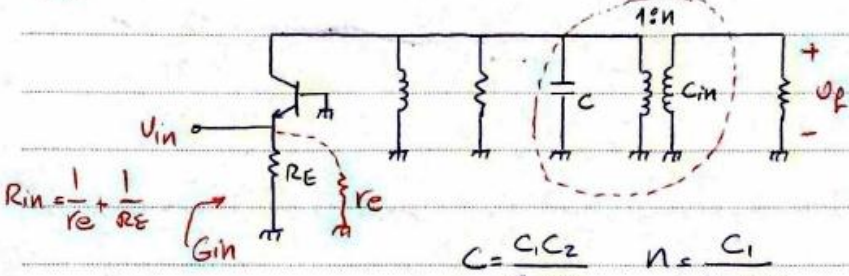
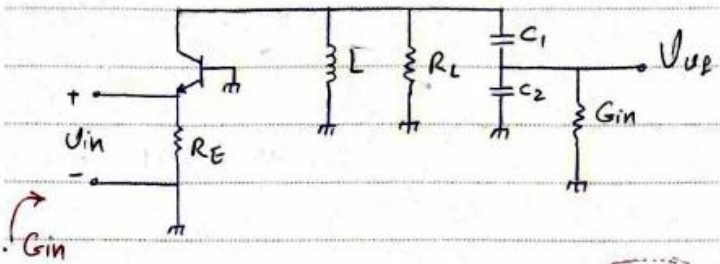
باید برای فرکانس نوسان:

$S = \left| \frac{d\phi}{d\omega} \right|_{\omega=\omega_0}$, $\phi(\omega) = \angle T(j\omega)$

نوسان ساز کولبیتس: (BJT):



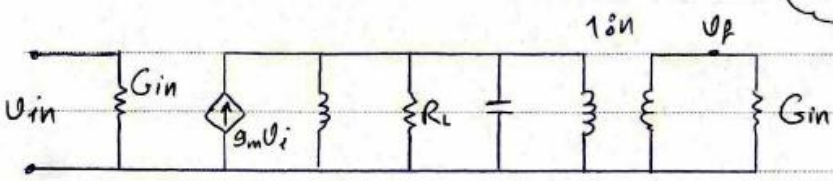
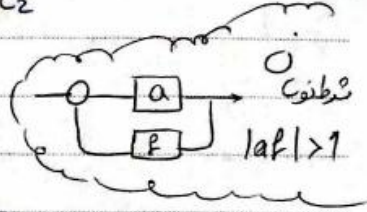
مدار معادل صفحه باز (ac):



$$R_{in} = \frac{1}{r_e} + \frac{1}{R_E}$$

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad n = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad |T(j\omega)| = \left| \frac{V_o}{V_i} \right| > 1$$



$$G_{in} = g_m + G_E$$

فرکانس سود $\alpha = 1$

$$V_c = g_m V_i \times \frac{1}{G_L + n^2 G_{in}}$$

$$V_o = n V_c = \frac{n g_m \alpha V_i}{G_L + n^2 (G_E + g_m \alpha)} \quad |T| = \left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{n g_m \alpha}{G_L + n^2 (G_E + g_m \alpha)} > 1$$

$$n g_m \alpha > G_L + n^2 (G_E + g_m \alpha) \quad g_m \alpha > \frac{G_L + n^2 G_E}{n} + n g_m \alpha$$

$$g_m \alpha (1-n) > \frac{G_L + n^2 G_E}{n} \quad g_m \alpha > \frac{G_L + n^2 G_E}{n(1-n)}$$

سرعت اماره نویسی $|T| > 1$ در حالت نویسی سرعت سیگنال بزرگ

$$G_m = \frac{G_L + n^2 G_E}{n(1-n)}$$

PAPCO

در فوسان ساز ولولیسین سئل زیر با عناصر $V_T = 26 \text{ mV}$, $L_1 = 10 \mu\text{H}$, $C_1 = 1013 \text{ pF}$, $R_E = 20 \text{ k}$

عبارت قابل نوسانات در خروجی را بنویسید؟ $C_2 = 79 \text{ nF}$, $R_L = 6 \text{ k}$, $V_{EE} = V_{CC} = 10 \text{ V}$

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{79 \text{ nF} \times 1013 \text{ pF}}{79 \text{ nF} + 1013 \text{ pF}} = 1 \text{ nF} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 10^7 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

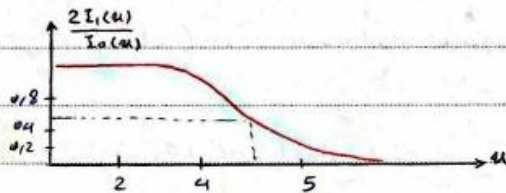
$$n = \frac{C_1}{C_1 + C_2} = 0.0125 \quad g_{mQ} = \frac{I_C}{V_T}$$

بانویسن $I_{EQ} = \frac{-0.7 + 10}{20 \text{ k}} = 0.1465 \text{ mA}$

$$g_{mQ} = \frac{I_C}{V_T} \approx \frac{I_{EQ}}{V_T} = \frac{0.1465}{26} = 17.85 \text{ M}\Omega \quad G_m = \frac{G_L + n^2 G_E}{n(1-n)}$$

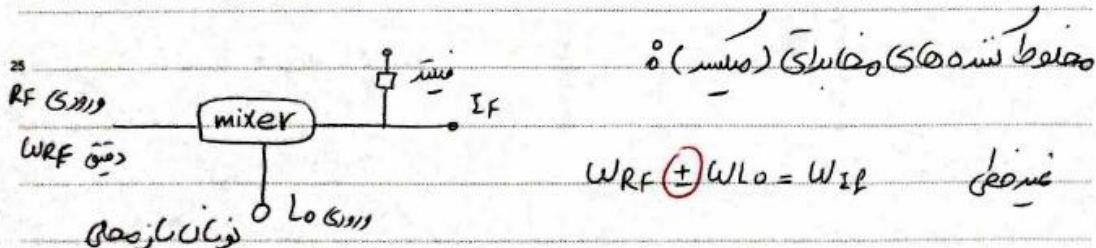
$$\frac{G_m}{g_{mQ}} = \frac{G_L + n^2 G_E}{g_{mQ} n(1-n)} = \frac{2I_1(\omega)}{I_0(\omega)} \rightarrow \text{از صحت و تقارن فرقی بجت}$$

$$\frac{G_L + n^2 G_E}{n(1-n)g_{mQ}} = \frac{0.1 + 0.0125^2 \times 0.105}{0.0125(1-0.0125) \times 17.88} = 0.1448$$



$$u = \frac{V_i}{V_T} \rightarrow V_i = 26 \times 3.8 = 98.8 \text{ mV}$$

$$|V_{O2}| = \frac{V_i}{n} = \frac{98.8 \text{ mV}}{0.0125} = 7.904 \text{ در فوسان ریزانسی}$$



۱- سیگنال در محل آنتن و با فرکانس W_{RF} توسط تقویت کننده وارد غیر خطی آن می‌گردد

$\frac{W_{RF}}{2}$ انتقال یافته و سپس توسط $W_{IF} = \text{Mixer}$ انتقال می‌یابد

۲- سیگنال ورودی $\frac{W_{LO}}{2}$ توسط سربار غیر خطی mixer به W_{LO} منتقل می‌شود.

۳- سیگنال ورودی دریافت شده توسط آنتن در فرکانس $W_{IF} = W_{LO} + W_{RF}$ با رسیدن

به ورودی mixer علاوه بر سیگنال مورد نظر در فرکانس W_{IF} منتقل می‌شود

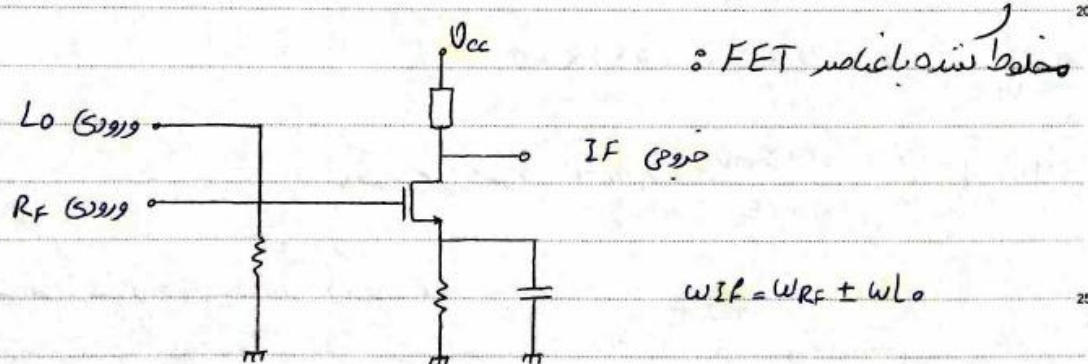
$$W_{IF} - W_{LO} = W_{RF} \quad \begin{matrix} 4,2 \\ 2 \\ 2,2 \end{matrix}$$

۴- چنانچه خروجی نوسان ساز شامل هارمونی دوم باشد $(2W_{LO})$ این مؤلفه‌ها می‌توانند با

سیگنال ورودی با فرکانس $W_{IF} \pm 2W_{LO}$ مخلوط شود سیگنال با فرکانس W_{IF} تولید شود

الف) ضریب خروجی IF باید با دقت مناسب انتخاب شود (هم چنین تقویت کننده R_F باید

خطی باشد تا هارمونی‌های اضافه را تولید نکند.



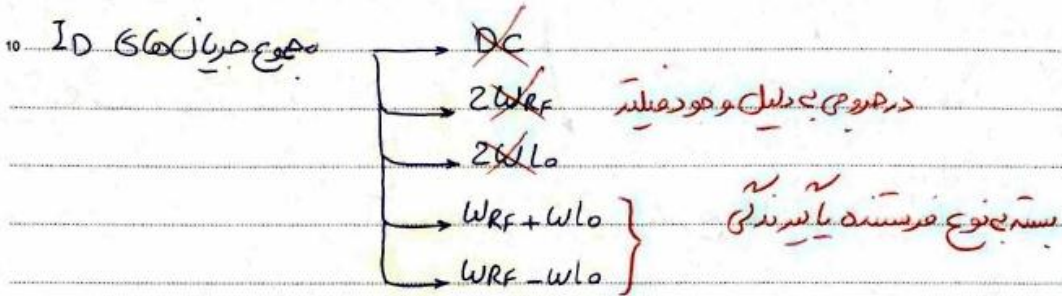
$$I_D = \frac{I_{DSS}}{V_p^2} V_i^2 \quad \text{فصل عملی}$$

$$V_i = V_1 \cos \omega_1 t \quad V_i(t) = V_{RF}(t) + V_{LO}(t) = V_{RF} \cos \omega_{RF} t + V_{LO} \cos \omega_{LO} t$$

$\omega_1 \rightarrow DC, 2\omega_1$
 $\cos^2 = \frac{1 + \cos 2\omega}{2}$

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{V_p^2} (V_{RF} \cos \omega_{RF} t + V_{LO} \cos \omega_{LO} t)^2$$

$$= \frac{I_{DSS}}{V_p^2} \left(\frac{1 + \cos 2\omega_{RF} t}{2} V_{RF}^2 + \frac{1 + \cos 2\omega_{LO} t}{2} V_{LO}^2 + 2 V_{RF} V_{LO} \cos(\omega_{RF} + \omega_{LO}) t + 2 V_{RF} V_{LO} \cos(\omega_{RF} - \omega_{LO}) t \right)$$



15

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{V_p^2} V_{RF} V_{LO} \cos(\omega_{RF} + \omega_{LO}) t$$

$$\text{میزان انتقال} = \frac{I_D(\omega_{RF} \pm \omega_{LO})}{V_{RF}} \quad \text{دامنه ها را در نظر می گیریم} = \frac{I_{DSS}}{V_p^2} V_{LO}$$

20

$$\text{از فصل عملی} \rightarrow g_{m@} = \frac{2 I_{DSS}}{|V_p|}$$

$$\rightarrow G_c = \frac{g_{m@}}{2|V_p|} V_{LO} \quad \text{میزان انتقال FET در حالت میسر}$$

Bjt mixer با استفاده از Bjt

25 ورودی به اتصال بین بیس و امیتر وصل می شود

$$V_i(t) = V_{be}(t) = V_{dc} + V_{RF} \cos \omega_{RF} t + V_{L0} \cos \omega_{L0} t$$

تعریف $a_1 = \frac{V_i}{V_T}$ و $a_2 = \frac{V_{L0}}{V_T}$

$$V_{be}(t) = V_{dc} + V_{RF} \cos \omega_{RF} t + a_1 V_T \cos \omega_{L0} t$$

$$I_c = \alpha I_E = \alpha I_s e^{\frac{V_{be}}{V_T}}$$

$$I_c(t) = \alpha I_s e^{\frac{V_{dc}}{V_T}} e^{(\frac{V_{RF}}{V_T}) \cos \omega_{RF} t} e^{a_1 \cos \omega_{L0} t}$$

فرض در حالتی خاص به سیال

$(e^{\alpha} \sim 1 + \alpha, \alpha \text{ ضعیف})$ RF بسیار کوچک باشد.

در α خیلی بزرگ - با توانی بسیار توسعه یافته I_0, I_1, I_2

$$I_c(t) = \alpha I_s e^{\frac{V_{dc}}{V_T}} \left[1 + \frac{V_{RF}}{V_T} \cos \omega_{RF} t \right] \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 I_n(a_1)}{I_0(a_1)} \cos \omega_{L0} t \right]$$

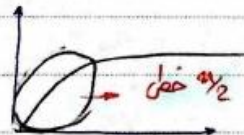
توسعه حسابات مربوط به FET: فقط عبارت مربوط به خروجی اول را می نویسیم بانی فرض

که در خروجی فقط ω_{RF} فیلتر می شود

$$\rightarrow I_c(t) = \frac{I_{c0}}{V_T} V_{RF} \frac{I_1(a_1)}{I_0(a_1)} \cos(\omega_{L0} \pm \omega_{RF}) t$$

از فصل قبل $\rightarrow I_c(t) = g_m V_{RF} \frac{I_1(a_1)}{I_0(a_1)} \times \cos(\omega_{L0} \pm \omega_{RF}) t$

$$G_c = \frac{I_c(t)}{V_{RF}} = g_m \frac{I_1(a_1)}{I_0(a_1)}$$



$$\rightarrow \frac{G_c}{g_m} = \frac{I_1(a_1)}{I_0(a_1)}$$

$$\rightarrow \frac{G_c}{g_m} \approx \frac{a_1}{2}$$

$$a_1 = \frac{I_1(a_1)}{I_0(a_1)} \quad a_1 < 2$$

Subject:

Year: Month: Date: ()

$$i_c(t) = g_m \alpha V_{RF} \frac{I_n(u)}{I_0(u)} \cos n(\omega_0 \pm \omega_{RF}) t$$

سایه‌های صوتی (صاف)

دری قابل مکتب Bjt

$$I_c(t) = e^{\frac{V_{dc}}{V_T}} \alpha I_s I_0(u) I_0(y) \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2I_n(u)}{I_0(u)} \cos n\omega_{RF} t \right]$$

$$\left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2I_n(u)}{I_0(u)} \cos n\omega_0 t \right] \left(1 + \frac{2I_1(y)}{I_0(y)} \cos \omega_{RF} t + \frac{2I_2(y)}{I_0(y)} \cos 2\omega_{RF} t + \dots \right)$$

$$\left(1 + \frac{2I_1(u)}{I_0(u)} \cos \omega_0 t + \frac{2I_2(u)}{I_0(u)} \cos 2\omega_0 t + \dots \right)$$

10

$$I_{dc} = \alpha I_s e^{\frac{V_{dc}}{V_T}} I_0(u) I_0(y)$$

مولفه DC از عبارت صاف:

مولفه DC نسبت به زمان تغییرات ندارد

$$I(\omega_0) = I_{dc} \frac{2I_1(u)}{I_0(u)} \leftarrow \text{مولفه بافرانس } \omega_0$$

$$I(\omega_{RF}) = I_{dc} \frac{2I_1(y)}{I_0(y)} \leftarrow \text{مولفه بافرانس } \omega_{RF}$$

$$I(\omega_0 \pm \omega_{RF}) \leftarrow \text{مولفه بافرانس } \omega_0$$

20

$$I(\omega_0 \pm \omega_{RF}) = I_{dc} \frac{2I_1(u)}{I_0(u)} \frac{I_1(y)}{I_0(y)} \leftarrow \text{از ضرب مولفه } \omega_{RF} \text{ و مولفه } \omega_0 \text{ و در ادامه}$$

از تبدیل ضرب به جمع

در مکتب Bjt به دست می آید نسبت به ورودی RF رابطه‌ی جی با سیم با سیم

$$\frac{I_1(y)}{I_0(y)} \approx y \text{ ؟} \rightarrow \text{تبدیل}$$

PAPCO

$$\frac{I_1(y)}{I_0(y)} \approx \frac{y}{2} \left[1 - \frac{y^2}{8} + \frac{y^4}{16} \right]$$

برای رسیدن به شرط بالا باید بتوان از توان های y^2 ، y^4 صرف نظر کرد.

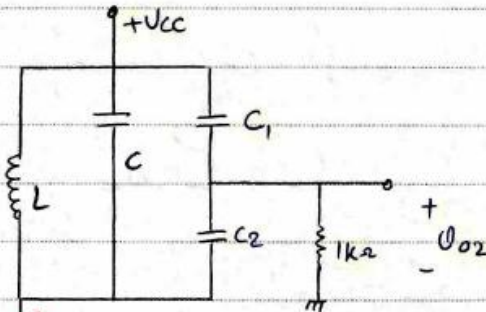
$$\frac{y^2}{8} \ll 0.02 \rightarrow \text{شرط بالا برقرار می شود} \rightarrow y \ll 0.4$$

$$y = \frac{V_{RF}}{V_T} \quad \text{تعریف شده} \quad V_{RF} \ll 10.4 \text{ mV}$$

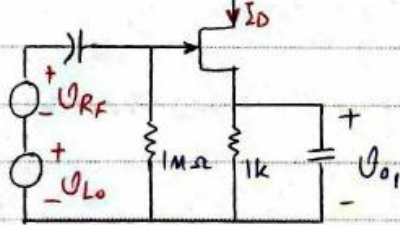
$$\rightarrow I(\omega_{Lo} \pm \omega_{RF}) \approx I_{DC} \frac{2I_1(y)}{I_0(y)} \frac{y}{2}$$

$V_{RF}(t) = (10 \text{ mV}) \cos \omega_{RF} t$, $\omega_{RF} = 2\pi (1.6 \text{ MHz})$ در ولتاژ سیگنال زبر، با دو ورودی با هم مشخصات

$V_{Lo}(t) = (2 \text{ V}) \cos \omega_{Lo} t$, $\omega_{Lo} = 2\pi (215.5 \text{ MHz})$ ولتاژ خروجی را تعیین کنید.



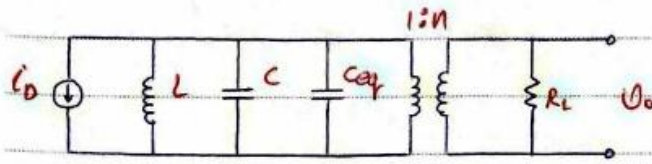
$$\begin{cases} I_{DQ} = 3 \text{ mA} \\ V_{GSQ} = -3 \text{ V} \end{cases}$$



$$\begin{cases} L = 70 \mu\text{H} \\ C_1 = C_2 = 2000 \text{ pF} \\ C = 748 \text{ pF} \\ I_{DSS} = 12 \text{ mA} \\ V_p = -6 \text{ V} \end{cases}$$

Subject:

Year: Month: Date: ()



سیم مدار معادل قسمت درین:

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}, \quad n = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

$$C_t = C_{eq} + C = C + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 1748 \text{ pF}, \quad L = 70 \text{ } \mu\text{H}$$

$$n = \frac{C_1}{C_1 + C_2} = 0.5, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \rightarrow f_0 = 455 \text{ kHz}, \quad R_L = 1$$

$$R_t = \frac{R_L}{n^2} \rightarrow R_t = \frac{1}{\frac{1}{4}} = 4 \rightarrow Q_t = 19.98$$

مدار قسمت یابی مدار اصلی ← میسر ← $\omega_{Lo} \pm \omega_{Rf}$

اما مدار رزونانسی قسمت بالا به صورت یک فیلتر ← فرکانس در $\omega_{Lo} - \omega_{Rf}$ ← $\left(\frac{1}{\sqrt{LC}}\right)$

نهایتاً جریان در $\omega_{Lo} - \omega_{Rf}$ در مدار G میسر

$$G_c = \frac{I_{DSS} V_{Lo}}{10 \text{ p}^2} = \frac{12 \text{ mA}}{(6)^2} \times 2 = 0.66 \text{ } \Omega^{-1}$$

$$I_D(t) = G_c V_{Rf} \cos(\omega_{Rf} - \omega_{Lo})t = (6.66 \text{ mA}) \cos(2\pi \times 455 \text{ kHz} \times t)$$

$$V_{o2} = V_{CC} - R_t I_D = V_{CC} - 4 \times 6.66 \cos(2\pi \times 455 t)$$

$$\rightarrow V_{o2} = V_{CC} - 26.64 \cos(2\pi \times 455 \text{ kHz} \times t)$$

مثال: در میسر سیگنال زیر با فرضی جریان تقطه کار 1mA برای ترانزیستور و ورودی ω_{Lo} داده

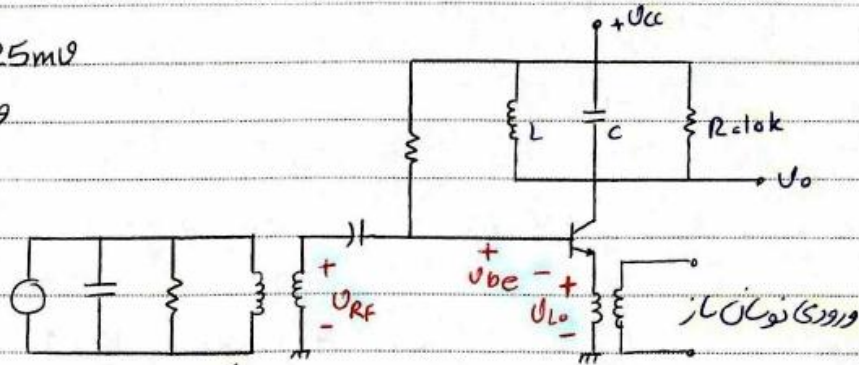
ساده و صورت $V_{Rf}(t) = (10 \text{ mV}) \cos \omega_{Rf} t$, $V_{Lo}(t) = (100 \text{ mV}) \cos \omega_{Lo} t$ و با فرضی این که

P4PCO

فیلتر خروجی در فرکانس ω_{RF} - ولتاژ تقسیم شده باشد عبارت و سازه خروجی را مشخص کنید.

$V_T = 25\text{mV}$

$\beta = 99$



باتوجه به توصیف بودن دامنه‌ها از تقریب اول برای حل مدارات مبدل Bjt استفاده می‌کنیم

$$I_c(t) = I_{CQ} \left[1 + \frac{V_{RF}}{V_T} \cos \omega_{RF} t \right] \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2I_n(\omega)}{I_0(\omega)} \cos n\omega t \right]$$

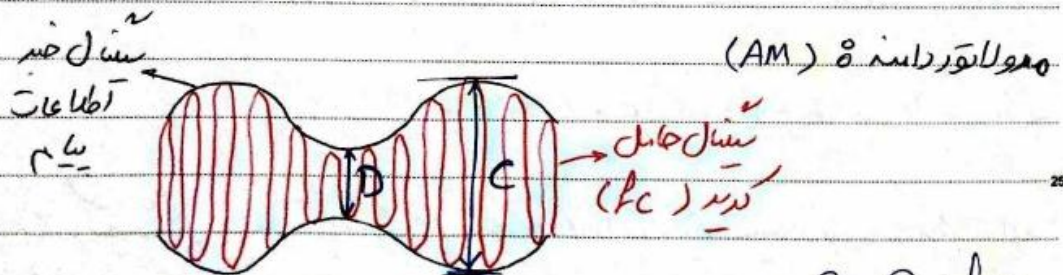
$a_1 = \frac{V_{L0}}{V_T} \rightarrow$ *دستور محاسبه a_1* $= \frac{100\text{mV}}{25\text{mV}} = 4$

$G_c = g_m \frac{I_1(\omega)}{I_0(\omega)} = \frac{I_{CQ}}{V_T} \left(\frac{I_1(\omega)}{I_0(\omega)} \right) = \frac{1\text{mA}}{25\text{mV}} \times \frac{1,7607}{2} = 34,5\text{mm}^{-1}$

جدول فرکانس ω با نمودار

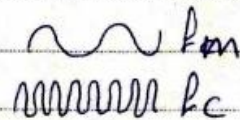
$I_c(\omega_{RF} - \omega_{L0}) = G_c V_{RF} = 34,56 \times (10\text{mV}) = 345,6\mu\text{A}$

$V_o(t) = V_{CC} - R I_c(\omega_{L0} - \omega_{RF}) t = V_{CC} - 3,456 \cos(\omega_{L0} - \omega_{RF})$



$m = \frac{C-D}{C+D}$

$f_c \gg f_m$



$A_m \cos(2\pi f_m t) \rightarrow$ سیگنال پیام

دامنه فرکانسی ← کرب (حامل) فاز

خروجی مبدل ← دقیقاً موج سینوسی

خروجی مدولاتور ← موج شبه سینوسی

ضریب مبدل نسبت به t

$a_c(t) = A [1 + m f(t)] \cos \omega_c t$ خروجی مدولاتور AM

دامنه سیگنال حامل

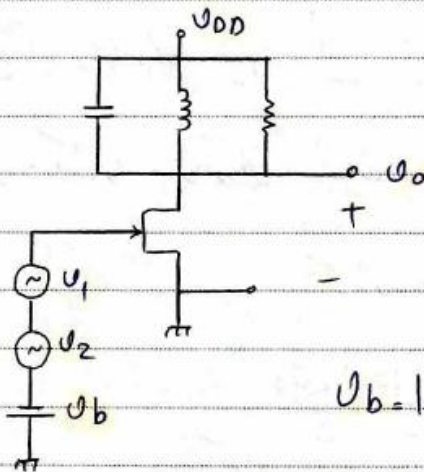
سیگنال پیام

فرکانس حامل

ضریب مدولاسیون

احتمالاً به صورت تابع \cos

مدولاتور AM با JFET :



نسبت مربوط به JFET

$U_b = |U_p|$

$U_{GS} = U_1 + U_2 - U_b \rightarrow I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{U_{GS}}{U_p} \right]^2$

$\rightarrow I_D = I_{DSS} \left[1 - \frac{U_1(t) + U_2(t) - |U_p|}{U_p} \right]^2$

$I_D = I_{DSS} \left[\frac{U_1(t) + U_2(t)}{U_p} \right]^2$

$a_c(t) = A [1 + m f(t)] \cos \omega_c t$

$$I_0 = \frac{I_{DSS}}{V_p^2} (V_1(t)^2 + V_2(t)^2 + 2V_1(t)V_2(t))$$

مولتیپل AM

$$I_0 = 2 \frac{I_{DSS}}{V_p^2} 2V_1(t)V_2(t) \leftarrow \text{فیلتر موجود در درین}$$

$$I_0 = \frac{2I_{DSS}}{V_p^2} A [1 + m f(t)] V_2 \cos \omega_c t$$

AM سیگنال

$$I_0 = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2$$

برای این که بتوانیم از رابطه استفاده کنیم باید

باید FET در ناحیه درم عمل کند

$$(1) \text{ FET } [V_1(t) + V_2(t)] \geq 0 \text{ قطع نباشد}$$

$$(2) \text{ FET } [V_1(t) + V_2(t)] \leq |V_p| + V_0 \text{ در بایاس مستقیم قرار نگیرد}$$

15 برای دستیابی به حداکثر دامنه در خروجی مقدار A و V_2 به دست می آید

شرط های بالا را در حالت تاوی می نویسیم

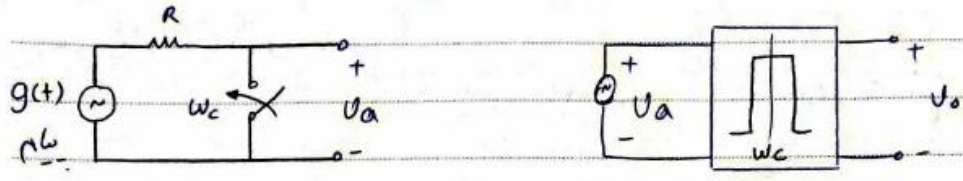
$$V_2 = \frac{(1-m)}{2} (|V_p| + V_0), \quad A = \frac{|V_p| + V_0}{2}$$

$$v_c(t) = A [1 + m f(t)] \cos \omega_c t = A \cos \omega_c t + A m f(t) \cos \omega_c t$$

مولاتوردانسته سوئیچت:

25 مدار بربری شده قبل از آنکه $A \cos \omega_c t$ (یعنی دریم) است که شامل اطلاعات

اصلی نیست \leftarrow آنرا قبل از این عمل نباشد \leftarrow DSB



$$U_a(t) = g(t) \times S(t), \quad S(t) = \begin{cases} \text{on} & S(t) > 0 \\ 1 & \\ \text{off} & S(t) < 0 \\ 0 & \end{cases}$$

$$S(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cos \omega_c t - \frac{2}{3\pi} \cos 3\omega_c t + \dots$$

$$U_a(t) = \frac{1}{2} g(t) + \frac{2}{\pi} g(t) \cos \omega_c t - \frac{2}{3\pi} g(t) \cos 3\omega_c t + \dots$$

مثال: در هر ولتاژ دامنه سیگنال زیر با بسط فورييه $g(t)$ (1,175V) حد اکثر فرکانس $\omega_m = 2,5 \times 10^5 \text{ rad/sec}$

این عناصر را برای ضریب مولاسیون 5 و حد اکثر دامنه خروجی تعیین کنید (ب دامنه سیگنال)

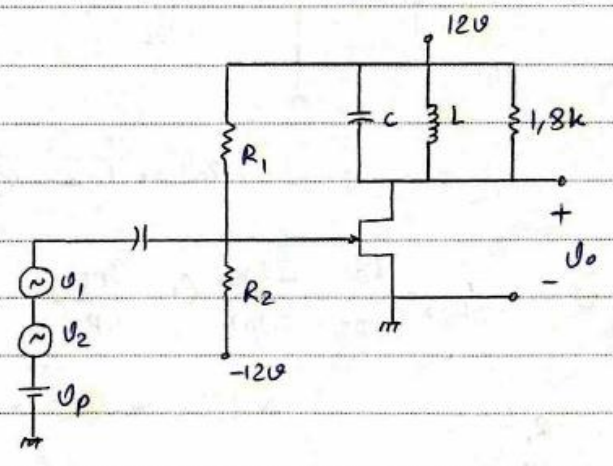
15 حل لازم و عناصر را با هم انتخاب کنید. $U_p = -4V, I_{DSS} = 10 \mu A, \omega_c = 10^7 \text{ rad/sec}$

$$I_D = 4 \mu A \quad U_2(t) = U_2 \cos \omega_c t$$

20 $A, U_2 \rightarrow$ تعیین

$$A = \frac{|U_p| + U_0}{2}$$

$$25 \quad U_2 = \frac{10 \mu A}{2} (|U_p| + U_0)$$



$$U_2 = \frac{10 - 0,5}{2} (4 + 0,7) = 1,175 V$$

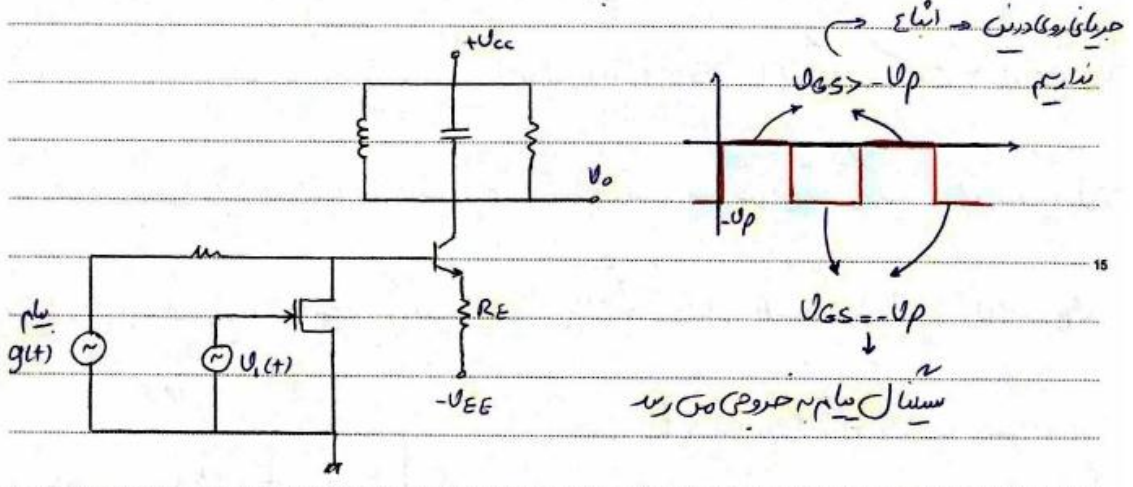
$$A = \frac{4 + 0,7}{2} = 2,35 V$$

$$\left. \begin{matrix} |BW \\ |f_o \end{matrix} \right\} \rightarrow \left\{ L, C, BW=2 \quad \omega_m = 5 \times 10^5 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right.$$

$$BW = \frac{1}{RC} \rightarrow C = 11,11 \times 10^{-10} F \quad L = \frac{1}{\omega_o^2} \rightarrow L = ?$$

$$\left. \begin{matrix} R_1 + R_2 = \frac{24^u}{4 \mu A} = 6 M\Omega \\ 12 - R_1(4 \mu A) = -V_p + V_A \end{matrix} \right\} \begin{matrix} R_1 = 2,5 M\Omega \\ R_2 = 3,4 M\Omega \end{matrix}$$

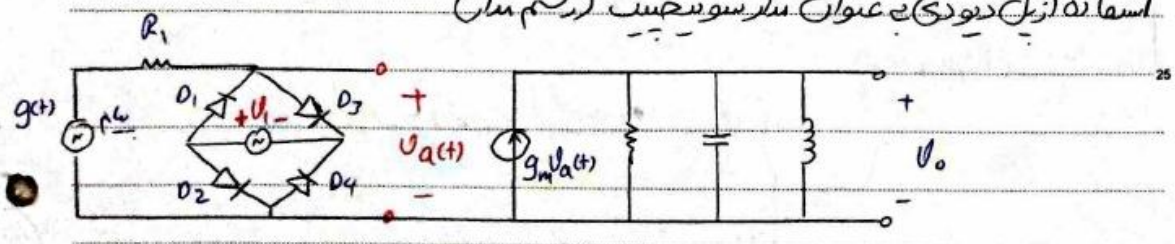
استفاده از یک FET به عنوان سوئیچ برای پاسخ اولسون AM (رسم مل)

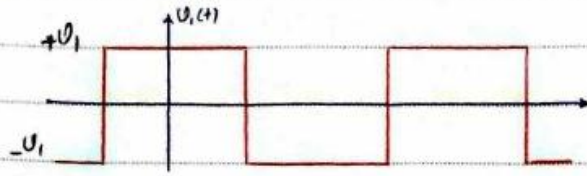


20 $r_{ds} = 0$ و $V_{GS} = 0$ در تقریباً

$$g_{oss} = \frac{I_D}{V_{DS}} = \frac{2 I_{DSS}}{|V_p|} \left(1 - \frac{V_{DS}}{V_p} \right) \rightarrow r_{ds} = \frac{1}{g_{oss}}$$

استفاده از یک دیود (رسم مل) به عنوان سوئیچ

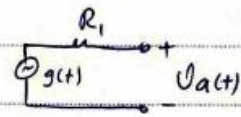




5 مقدار منبع کشنده در هر نیمه دیندی $U_a = 0 \leftarrow \text{on} = D_1 - D_4 \leftarrow +U_1$



10 $U_a(t)$ مناسب با $g(t)$ (پیام) خواهیم داشت \rightarrow
 منبع کشنده برابر U_1



15

20

25