



الکترونیک (۳)

فصل چهارم

اسیلاتورها

درس: دکتر رحمتی

<http://ee.iust.ac.ir/rahmati/>

آدرس Email و Website برای تکالیف و...:

rahmati@iust.ac.ir

<http://ee.iust.ac.ir/rahmati/>

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

1



انواع اسیلاتورها

1- سینوسی (سیگنال ژنراتور)

2- مربعی (پالس)

3- دندانه اره ای (رمپ)

درس: دکتر رحمتی

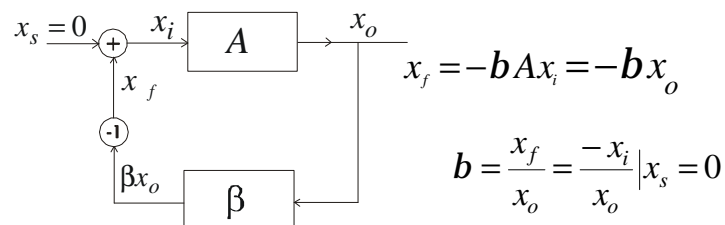
اسیلاتورها

2



اسیلاتورهای سینوسی

اگر در یک تقویت کننده خطی، $\beta A = 1$ - شود، در فرکانس خاصی که این حالت رخ می دهد، خروجی سینوسی است.



3

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



خصوصیات اسیلاتورها

- در اسیلاتورها $x_s = 0$ نداریم. ($x_s = 0$)
- سیگنال برگشتی (x_f) با سیگنال ورودی (x_i) هم فاز، هم فرکانس و هم دامنه است.
- بنابراین در مورد یک مدار باید بررسی شود که آیا امکان برابر شدن فاز، فرکانس و دامنه وجود دارد یا خیر.

4

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



معیار بارک هاوزن (Barkhausen)

در دستگاه کارتزین:

$$-bA(jw)=1$$

$$\text{Im}[-bA(jw)]=0$$

$$\text{Re}[-bA(jw)]=1$$

در دستگاه قطبی:

$$\angle T=0$$

$$|T|=1$$

با حل معادلات فوق هم فرکانس نوسان و هم شرط نوسان بدست می آید.

5

اسیلاتورها

درس: دکتر رحمتی



معیار بارک هاوزن از لحاظ تئوری شرط درست و کاملی است ولی از لحاظ عملی مشکل وجود دارد.

لذا بصورت زیر عمل می شود:

- ابتدا مقدار $-bA(jw)$ را کمی بیشتر از یک در نظر می گیرند. سپس مکانیسم نظارتی ایجاد می کنند (با کنترل A یا β) تا دامنه خروجی به مقدار مطلوب که رسید، ثابت بماند.

6

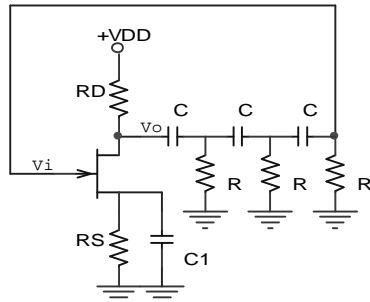
اسیلاتورها

درس: دکتر رحمتی



مثال ۱:

بررسی کنید آیا مدار زیر می‌تواند اسیلاتور باشد (از خازن‌های داخلی FET صرف نظر شود).



درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

7



حل:

از آنجایی که سیگنال روی درین نسبت به سیگنال روی گیت در حالت سورس مشترک، 180° اختلاف فاز دارد، اگر شبکه RC نیز 180° اختلاف فاز ایجاد کند، سیگنال ورودی و خروجی هم فاز می‌شوند. فیدبک در این مثال از نوع ولتاژ سری است. بنابراین خواهیم داشت:

$$b = \frac{-V_f}{V_o} = \frac{-1}{(1-5a^2) - ja(6-a^2)} \quad a = \frac{1}{wRC}$$

$$A = \frac{V_o}{V_i} \cong -g_m (r_d \parallel R_D)$$

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

8



$$T = -bA(j\omega) = \frac{-g_m r_D}{(1-5a^2) - ja(6-a^2)}$$

$$\text{Im}[T] = 0 \Rightarrow a(6-a^2) = 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} a = 0 \rightarrow \text{not acceptable} \\ (6-a^2) = 0 \Rightarrow a = \sqrt{6} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2pRC\sqrt{6}} \end{cases} \quad \text{فرکانس نوسان}$$

$$\text{Re}[T] = 1 \Rightarrow g_m R_D = 29 \quad \text{شرط نوسان}$$

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

9

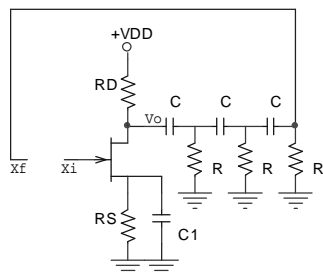


شرط اینکه چنین مداری به نوسان درآید این است که $g_m R_D > 29$ باشد.

این نوع اسیلاتورها "**Phase-shift Osc.**" نام دارند.

چون پیدا کردن نوع فیدبک در این نوع مسائل مشکل است، روش دیگری را برای تحلیل مدار بررسی می کنیم:

حلقه فیدبک را در نقطه ای می شکنیم (معمولا در ورودی تقویت کننده)



$$T = \frac{x_f}{x_i}$$

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

10



X_i سیگنال ورودی به تقویت کننده و X_f سیگنال برگشتی است. X_i و X_f هر دو از یک جنس هستند و T دیمانسیون ندارد.

نوع سیگنال ورودی با توجه به نوع تقویت کننده قابل تشخیص است. به عنوان مثال سیگنال ورودی به یک تقویت کننده FET حتما ولتاژ است پس X_i از جنس ولتاژ است.

در مثال قبل:

$$T = \frac{V_f}{V_i} = \frac{V_f}{V_o} \times \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{(1-5a^2) - ja(6-a^2)} \times (-g_m r_D)$$

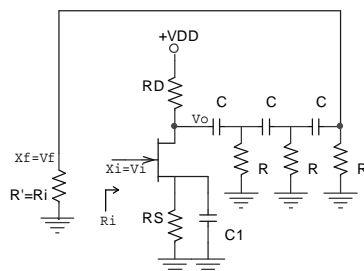
11

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



باید توجه کرد که با قطع کردن حلقه فیدبک ممکن است تعادل مدار به هم بخورد. برای اینکه پس از قطع تعادل مدار به هم نخورد منبع ولتاژی برابر مقدار V_i به ورودی اعمال می‌کنیم و برای ثابت ماندن V_f یک مقاومت برابر مقاومت ورودی تقویت کننده در مدار قرار می‌دهیم. (مطابق شکل)



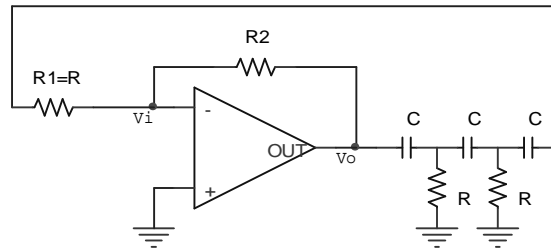
12

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



مثال ۲: با فرض ایده آل بودن OpAmp فرکانس و شرط نوسان را برای اسلاتور زیر پیدا کنید.



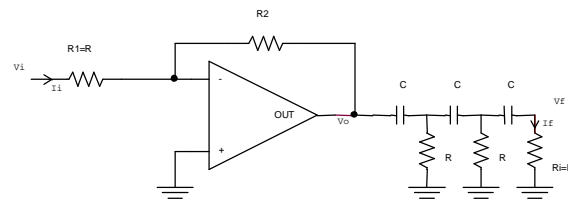
حل:

با استفاده از روشی که توضیح داده شد، مدار را صورت زیر تغییر می‌دهیم:

13

درس: دکتر رحمتی

اسلاتورها



$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$T = \frac{V_f}{V_i} = \frac{V_f}{V_o} \times \frac{V_o}{V_i}$$

$$\Rightarrow T = -\frac{R_2/R_1}{(1-5a^2) - ja(6-a^2)}$$

$$\text{Im}[T] = 0 \Rightarrow a(6-a^2) = 0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} a = 0 \rightarrow \text{not acceptable} \\ (6-a^2) = 0 \Rightarrow a = \sqrt{6} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}} \end{cases} \quad \text{فرکانس نوسان}$$

$$\text{Re}[T] = 1 \quad \frac{R_2}{R_1} \geq 29 \quad \text{شرط نوسان}$$

14

درس: دکتر رحمتی

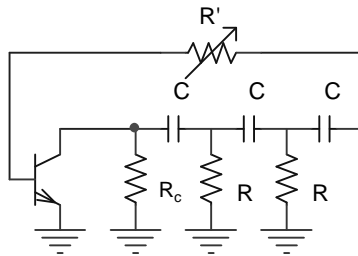
اسلاتورها



مثال ۳:

در مدار زیر از h_{ie} و h_{oe} صرف نظر شود و R' طوری انتخاب شود که $h_{ie} + R' = R$ فرکانس و شرط نوسان را برای اسلاتور زیر پیدا کنید. برای ساده شدن محاسبات

$$\frac{R_c}{R} = K \quad \text{و} \quad \frac{1}{wRC} = a \quad \text{در نظر بگیرید.}$$



15

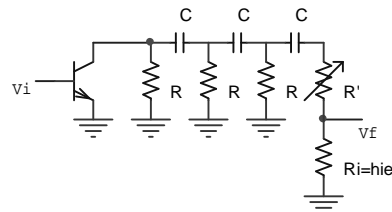
دیس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



حل:

با قطع حلقه فیدبک مدار به صورت زیر تغییر خواهد یافت:



با قرار دادن مدار معادل ترانزیستور و نوشتن معادلات KVL، T بصورت زیر بدست می آید:

$$T = \frac{I_f}{I_i} = \frac{-h_{fe}K}{[1 + 3K - (5 + K)a^2] - ja[6 + 4K - a^2]}$$

16

دیس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



فرکانس نوسان $\text{Im}[T] = 0 \Rightarrow 6 + 4K - a^2 = 0 \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2pRC} \times \frac{1}{\sqrt{6 + 4K}}$

شرط نوسان $\text{Re}[T] \geq 1 \Rightarrow \frac{h_{fe}}{4K + 23 + \frac{29}{K}} \geq 1 \Rightarrow h_{fe} \geq 4K + 23 + \frac{29}{K}$

اگر از مدار معادل r_p استفاده کنیم، شرط نوسان بصورت زیر بدست خواهد آمد:

$$g_m \geq \frac{1}{r_p} \left(4K + 23 + \frac{29}{K} \right)$$

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

17



برای بدست آوردن مینیمم h_{fe} قابل قبول باید از تابع h_{fe} نسبت به k مشتق بگیریم و آن را مساوی صفر قرار دهیم.

$$\frac{dh_{fe}}{dk} = 0 \Rightarrow \begin{cases} k = \frac{\sqrt{29}}{2} \\ h_{fe} = 44.54 \end{cases} \quad k = \frac{\sqrt{29}}{2}$$

بنابراین مینیمم h_{fe} باید از ۴۴،۵۴ بیشتر باشد تا این مدار نوسان کند.

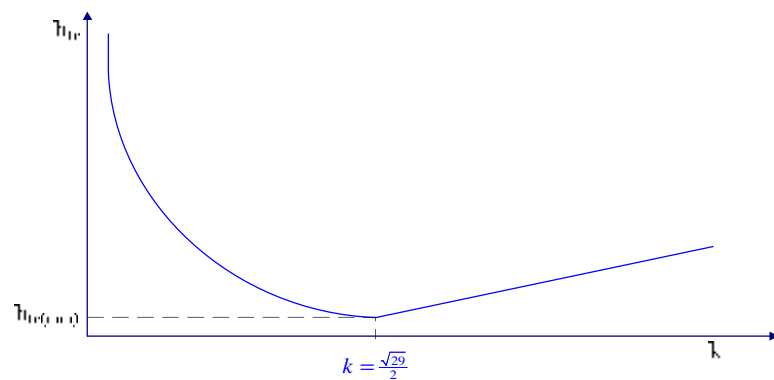
درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

18



تغییرات h_{fe} نسبت به k



19

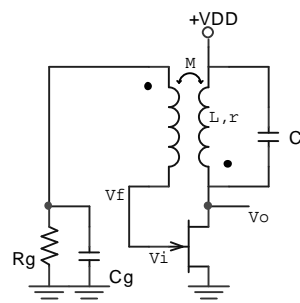
درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



مثال ۴:

بررسی کنید آیا تقویت کننده زیر می تواند به عنوان یک اسیلاتور عمل کند؟ (با فرض $R_g C_g \gg T_0$. همچنین از خازن های داخلی ترانزیستور صرف نظر کنید)



20

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



حل:

$x_f, x_i \Leftarrow R_i = \infty$ هر دو ولتاژ هستند.

مدار سورس مشترک است، پس خروجی و ورودی (در گیت) 180° با هم اختلاف فاز دارند. از طریق ترانس نیز 180° اختلاف فاز ایجاد می‌شود، در نتیجه سیگنال ورودی و سیگنال برگشتی هم فاز هستند و امکان نوسان وجود دارد.

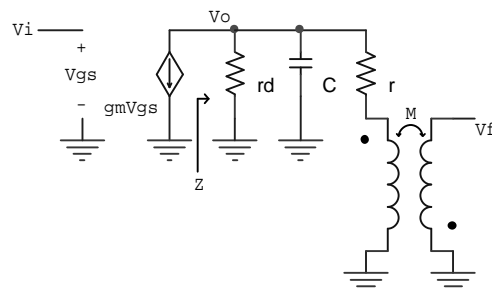
21

اسیلاتورها

درس: دکتر رحمتی



با استفاده از مدار معادل FET و قطع حلقه فیدبک خواهیم داشت:



$$T = \frac{V_f}{V_i} = \frac{V_f}{V_o} \times \frac{V_o}{V_i}$$

22

اسیلاتورها

درس: دکتر رحمتی



$$\begin{cases} V_f = -j\omega M I = -\frac{j\omega M V_o}{r + j\omega L} \\ V_o = -g_m V_{gs} Z = -g_m V_i Z \end{cases} ; \quad Z = r_d \| (-j\omega C) \| (r + j\omega L) \quad ; \quad g_m r_d = m$$

$$\Rightarrow \frac{V_f}{V_o} = -\frac{j\omega M}{r + j\omega L}$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{-m(r + j\omega L)}{r + r_d - \omega^2 L C r_d + j\omega(L + r C r_d)}$$

$$\Rightarrow T = \frac{\omega M m}{\omega(L + r C r_d) - j(r + r_d - \omega^2 L C r_d)}$$



$$\text{Im}[T] = 0 \Rightarrow r + r_d - \omega^2 L C r_d = 0 \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \times \sqrt{1 + \frac{r}{r_d}}$$

$$r_d \gg r \Rightarrow f_0 \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{فرکانس نوسان}$$

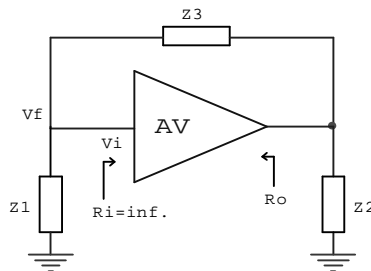
$$\text{Re}[T] \geq 1 \Rightarrow g_m \geq \frac{L + r C r_d}{M r_d} \quad \text{شرط نوسان}$$

این نوع اسیلاتورها را "اسیلاتورهای رزونانسی" می نامند، زیرا فرکانس رزونانس را مدار تانک یا مدار رزونانس تعیین می کند.



مثال ۵:

در مدار زیر فرض می‌کنیم Z_1 و Z_2 و Z_3 هر کدام می‌توانند فقط یک سلف و یا یک خازن باشند.
الف) آیا تقویت کننده فوق می‌تواند اسیلاتور باشد؟
ب) تحت چه شرایطی، شرط نوسان ارضا می‌شود؟



25

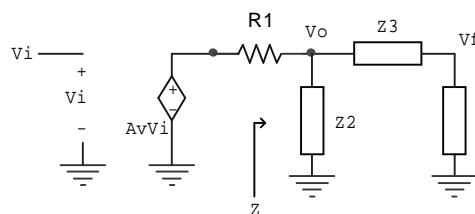
درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



حل:

$x_f, x_i \Leftarrow R_i = \infty$ هر دو ولتاژ هستند.



$A_v = A_V|_{\text{خارجی مدار باز}}$

$$T = \frac{V_f}{V_i} = \frac{V_f}{V_o} \times \frac{V_o}{V_i}$$

26

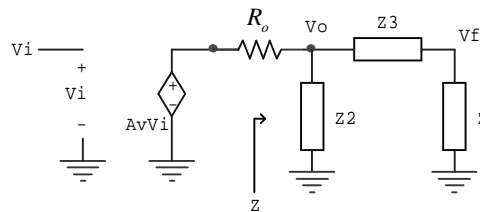
درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



حل:

$x_f, x_i \leftarrow R_i = \infty$ هر دو ولتاژ هستند.



خروجی مدار باز $A_v = A_V$

$$T = \frac{V_f}{V_i} = \frac{V_f}{V_o} \times \frac{V_o}{V_i}$$

27

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



$$V_o = A_v V_i \times \frac{Z}{Z + R_0} \quad Z = \frac{Z_2(Z_1 + Z_3)}{Z_1 + Z_2 + Z_3}$$

$$\frac{V_f}{V_o} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_3} \quad \begin{cases} Z_1 = jx_1 \\ Z_2 = jx_2 \\ Z_3 = jx_3 \end{cases}$$

$$\Rightarrow T = \frac{x_1 x_2 A_v}{x_2(x_1 + x_3) - jR_0(x_1 + x_2 + x_3)}$$

$$\text{Im}[T] = 0 \Rightarrow \begin{cases} R_0 = 0 \rightarrow \text{not acceptable} \\ x_1 + x_2 + x_3 = 0 \rightarrow \end{cases}$$

28

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



باید دو سلف و یک خازن و یا دو خازن و یک سلف داشته باشیم تا مجموع X هایشان بتواند صفر شود.

فرکانس نوسان اسیلاتور همان فرکانس رزونانس خواهد بود.

$$x_1 + x_3 = -x_2 \quad \text{شرط نوسان}$$

در فرکانس رزونانس

$$\text{Re}[T] = 1 \Rightarrow A_v = -\frac{x_2}{x_1}$$

29

اسیلاتورها

درس: دکتر رحمتی

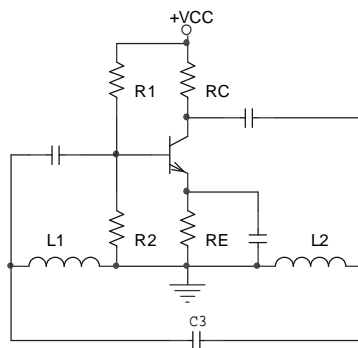


اگر بهره تقویت کننده مثبت باشد، x_1, x_2 نباید از یک جنس باشند یعنی باید یکی سلف و دیگری خازن باشد. و اگر A_v تقویت کننده منفی باشد، x_1, x_2 باید از یک جنس باشند.

به عنوان مثال می توان به دو اسیلاتور زیر اشاره کرد:

اسیلاتور Hartley

یک تقویت کننده امیتر مشترک (دارای A_v منفی) با دو سلف و یک خازن است.



30

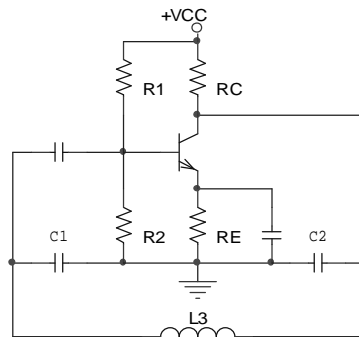
اسیلاتورها

درس: دکتر رحمتی



اسیلاتور Colpitts

یک تقویت کننده امیتر مشترک (A_v منفی) با دو خازن و یک سلف است. (در این حالت به یکی از خازن های کوپلاژ نیازی نیست)



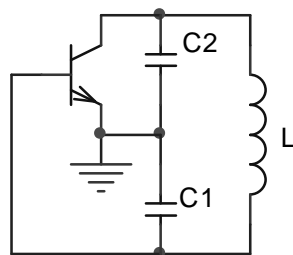
درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

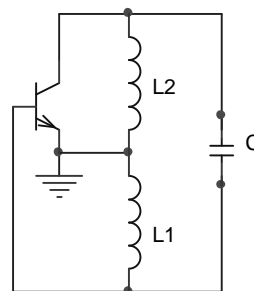
31



اسیلاتورهای هارتلی و کوپیتز را می توان بدون مقاومتهای بایاس در نظر گرفت که مدارهای آن به صورت زیر است:



Colpitts



Hartley

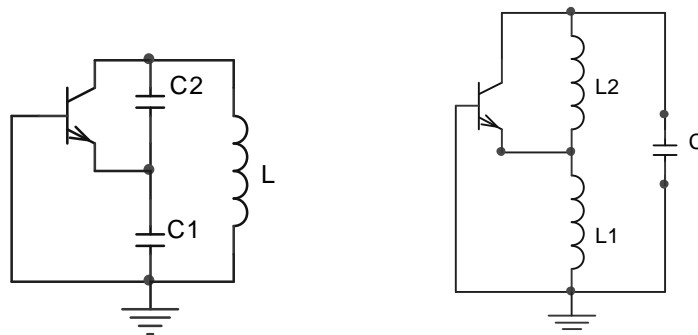
درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

32



مدارهای قبل اگر برای ترانزیستور بیس مشترک هم
رسم شود به فرم زیر خواهد بود:



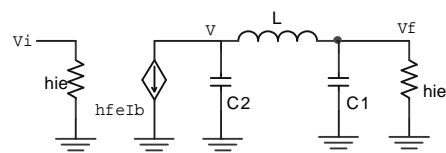
درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

33



برای اسیلاتور Colpitts در حالت آمیتر مشترک خواهیم داشت:



$$T = \frac{V_f}{V_i}$$

$$\begin{cases} h_{fe} \frac{V_i}{h_{ie}} + SC_2 V + \frac{V - V_f}{SL} = 0 \\ \frac{V_f}{h_{ie}} + V_f SC_1 + \frac{(V_f - V)}{SL} = 0 \Rightarrow V_f \left(\frac{1}{h_{ie}} + SC_1 + \frac{1}{SL} \right) SL = V \end{cases}$$

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

34



$$\frac{h_{fe}}{h_{ie}} V_i + V_f \left(\frac{1}{h_{ie}} + SC_1 + \frac{1}{SL} \right) S^2 LC_2 + V_f \left(\frac{1}{h_{ie}} + SC_1 + \frac{1}{SL} \right) - \frac{V_f}{SL} = 0$$

$$\frac{h_{fe}}{h_{ie}} V_i + V_f \left(\frac{S^2 LC_2}{h_{ie}} + S^3 LC_1 C_2 + SC_2 + \frac{1}{h_{ie}} + SC_1 \right) = 0$$

$$\frac{h_{fe}}{h_{ie}} V_i + V_f \left[\frac{-w^2 LC_2}{h_{ie}} - jw^3 LC_1 C_2 + jw(C_1 + C_2) + \frac{1}{h_{ie}} \right] = 0$$

$$h_{fe} V_i = V_f [w^2 LC_2 + jw^3 LC_1 C_2 h_{ie} - jwh_{ie} (C_1 + C_2) - 1]$$

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

35



$$\frac{V_f}{V_i} = \frac{h_{fe}}{w^2 LC_2 - 1 + jwh_{ie} [w^2 LC_1 C_2 - (C_1 + C_2)]}$$

$$w_0^2 = \frac{C_1 + C_2}{LC_1 C_2} = \frac{1}{LC} \quad ; \quad C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$\frac{V_f}{V_i} \geq 1 \Rightarrow \frac{h_{fe}}{\frac{C_1 + C_2}{C_1} - 1} \geq 1 \Rightarrow h_{fe} \geq \frac{C_2}{C_1}$$

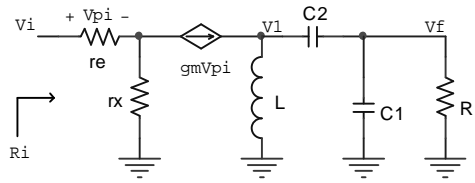
درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

36



برای اسیلاتور Colpitts در حالت بیس مشترک خواهیم داشت:



$$R_i = r_e \left(1 + \frac{r_x}{r_p}\right) \quad V_p = \frac{V_i}{R_i} \times r_e \Rightarrow R_i V_p = V_i r_e$$

$$\begin{cases} g_m V_p = \frac{V_1}{j\omega L} + (V_1 - V_f) j\omega C_2 \Rightarrow jg_m V_p \omega L = V_1 + V_f \omega^2 C_2 L - V_1 \omega^2 C_2 L \\ \Rightarrow V_1 = \frac{jg_m \omega L V_p - \omega^2 C_2 L V_f}{1 - \omega^2 C_2 L} \\ \frac{V_f}{R_i} + j\omega C_1 V_f + (V_f - V_1) j\omega C_2 = 0 \end{cases}$$

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

37



$$V_f + j\omega R_i C_1 V_f + V_f j\omega C_2 R_i + \frac{g_m \omega^2 L C_2 R_i V_p + j\omega^3 C_2^2 L R_i V_f}{1 - \omega^2 C_2 L} = 0$$

$$V_f [1 + j\omega R_i (C_1 + C_2) - \omega^2 C_2 L - j\omega^3 L R_i C_1 C_2] = -g_m \omega^2 L C_2 R_i V_p$$

$$R_i V_p = V_i r_e \Rightarrow$$

$$T = \frac{V_f}{V_i} = \frac{g_m \omega^2 L C_2 r_e}{\omega^2 C_2 L - 1 + j\omega R_i [\omega^2 C_1 C_2 L - (C_1 + C_2)]}$$

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

38



فرکانس نوسان $\text{Im}[T] = 0 \Rightarrow w_0^2 = \frac{C_1 + C_2}{LC_1C_2} = \frac{1}{LC}$; $C = \frac{C_1C_2}{C_1 + C_2}$

$$\text{Re}[T] = \frac{g_m r_e \frac{C_1 + C_2}{C_1}}{\frac{C_1 + C_2}{C_1} - 1} = \frac{g_m r_e (C_1 + C_2)}{C_2} \geq 1$$

$$\Rightarrow g_m r_e \geq \frac{C_2}{C_1 + C_2} \Rightarrow g_m \frac{1}{g_p + g_m} \geq \frac{C_2}{C_1 + C_2} \Rightarrow \frac{g_p}{g_m} \leq \frac{C_1}{C_2}$$

$$\Rightarrow h_{fe} \geq \frac{C_2}{C_1} \quad \text{شرط نوسان}$$

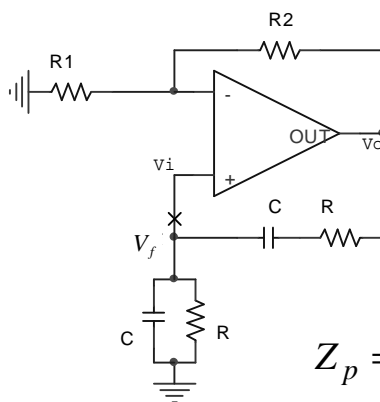
درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

39



اسیلاتور (Wien Bridge)



$$V_f = \frac{Z_p}{Z_p + Z_s} V_o$$

$$V_o = (1 + \frac{R_2}{R_1}) V_i$$

$$Z_p = \frac{R}{1 + jwRC}, \quad Z_s = \frac{wRC - j}{wC}$$

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

40



$$V_f = \frac{(1 + R_2/R_1)}{3 + j(\omega RC - 1/\omega RC)} V_i$$

$$T = \frac{V_f}{V_i} = \frac{(1 + R_2/R_1)}{3 + j(\omega RC - 1/\omega RC)}$$

$$\text{Im}[T] = 0 \Rightarrow \omega_0 RC = \frac{1}{\omega_0 RC} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$\text{Re}[T] = 1 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 2 \quad Z_p = \frac{R}{1 + j} \quad Z_s = \frac{1 - j}{(1/R)} = (1 - j)R$$

$$b = -\frac{V'_f}{V_o} = -\frac{Z_p}{Z_p + Z_s} = -\frac{1}{3}$$

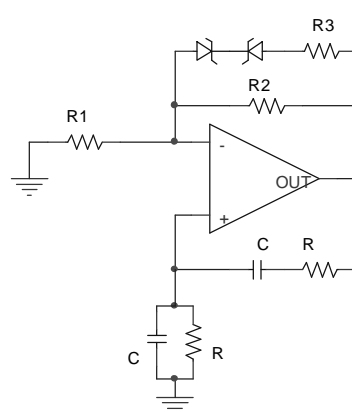
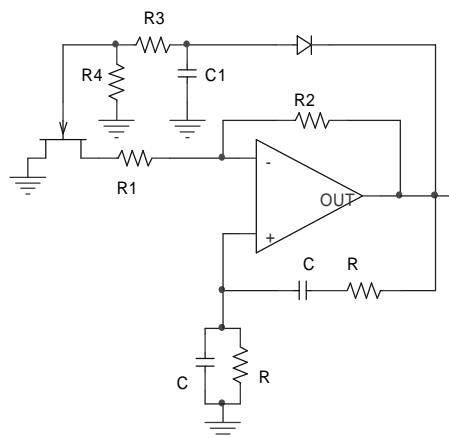
درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

41



برای تثبیت دامنه علاوه بر روش‌های قبل از مدارات زیر هم می‌توان استفاده نمود.



درس: دکتر رحمتی

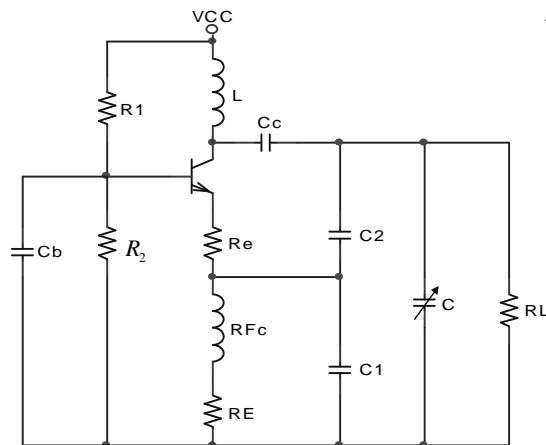
اسیلاتورها

42



مثال:

می‌خواهیم اسیلاتوری مطابق شکل زیر طراحی نماییم که دامنه ۱۰ ولت در دو سر بار ایجاد نماید. همچنین در این ولتاژ حداکثر قدرت نیز به بار منتقل شود.



$$\omega_o = 10^7 \text{ Rad / s}$$

$$R_L = 2k \Omega$$

$$Q_L = 25.1$$

$$L = 10 \text{ mH}$$

$$C_2 = 560 \text{ pF}$$

$$R_E = 680 \Omega$$

$$R_e = 22 \Omega$$

$$b = 100$$

43

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



$$Q_L = \frac{L\omega}{r} \Rightarrow r = \frac{L\omega}{Q_L} = \frac{10 \times 10^{-6} \times 10^7}{25.1} = 3.98 \Omega$$

$$R_p = (1 + Q^2)r \Rightarrow R_p = 2514 \Omega$$

$$R_{\text{tank}} = R_p \parallel n^2 R_i = \frac{22n^2 \times 2514}{22n^2 + 2514} = R_t$$

$$\text{For maximum power transfer } R_i = R_L \Rightarrow 2000 = \frac{55308n^2}{22n^2 + 2514} \Rightarrow n = 21$$

$$h_{fe} \geq \frac{C_2}{C_1} \quad \text{شرط نوسان در بیس مشترک}$$

44

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



$$n = \frac{C_1 + C_2}{C_2} = 21 \Rightarrow C_1 = 20C_2 \Rightarrow \boxed{C_1 = 11.2 \text{ nF}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2p\sqrt{LC_t}} \text{ or } w_0^2 = \frac{1}{LC_t} \Rightarrow C_t = \frac{1}{Lw_0^2} = \frac{1}{10 \times 10^{-6} \times 10^{14}} \Rightarrow \boxed{C_t = 1 \text{ nF}}$$

$$C_t = C + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \Rightarrow C = C_t - \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 10^3 - \frac{560 \times 11200}{560 + 11200} \Rightarrow$$

$$\boxed{C = 466 \text{ pF}}$$

$$V_{op} = V_{CBQ} \geq 10 \text{ Volts}$$

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتور ہا

45



$$I_{CQ} = \frac{V_{CBQ}}{R_{ac}} = \frac{V_{CBQ}}{R_L \parallel R_t} = \frac{10}{1} \Rightarrow \boxed{I_{CQ} = 10 \text{ mA}}$$

$$V_{CC} = V_{CBQ} + V_{BEQ} + I_{CQ}(R_e + R_E) = 10.7 + 10(22 + 680) \times 10^3 \Rightarrow \boxed{V_{CC} = 17.72 \text{ Volts}}$$

$$I_{BQ} = \frac{10}{100} = 0.1 \text{ mA}$$

$$\begin{cases} R_2(10I_{BQ}) = I_{CQ}(R_e + R_E) + V_{BEQ} \Rightarrow R_2 = 7.62 \text{ K}\Omega \\ R_1 = \frac{10}{11 \times 0.1} \Rightarrow R_1 = 9.09 \text{ K}\Omega \end{cases}$$

$$\begin{cases} R_2(5I_{BQ}) = I_{CQ}(R_e + R_E) + V_{BEQ} \Rightarrow R_2 = 15 \text{ K}\Omega \\ R_1 = \frac{10}{6I_{BQ}} \Rightarrow R_1 = 16.67 \text{ K}\Omega \end{cases}$$

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتور ہا

46



اسیلاتورهای کریستالی

این نوع اسیلاتورها از لحاظ روش تحلیل با بقیه تفاوتی ندارند ولی باید مدار معادل کریستال را بدست آورد.

کریستال کوارتز ساختمان منظمی دارد بعلاوه ساختار آن حالت فیزیکی دارد و با اعمال نیروی میدان الکتریکی تغییر شکل می دهد. با حذف میدان الکتریکی کریستال به حالت قبل بر می گردد. با عوض شدن جهت میدان (نیرو) جهت تغییر شکل عوض می شود. اگر این نیرو با فرکانس خاصی اعمال شود کریستال به نوسان در می آید.

47

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



معادلات نوسان در کریستال، معادلات دیفرانسیل مرتبه دوم هستند و مشابه مدار RLC می باشند که در این تناظر:

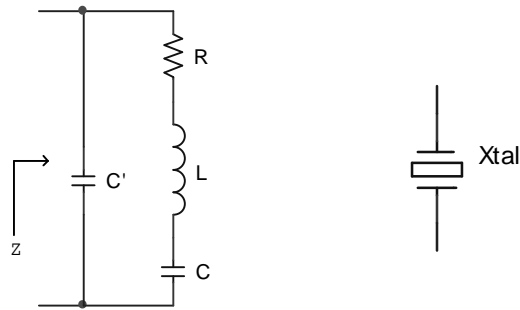
“ ضریب میرایی $R \equiv$ ، جرم $L \equiv$ و “ ضریب فنر $C \equiv$ است.

پارامترهای R ، L و C فوق واقعی نیستند، یعنی قابل اندازه گیری با دستگاه های الکتریکی نیستند. این پارامترها متناظر با پارامترهای مکانیکی یک کریستال هستند و باید آنها را از طریق متحد قرار دادن معادلات الکتریکی فوق با معادلات مکانیکی کریستال بدست آورد.

48

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها



صفحات کریستال خاصیت خازنی دارند که قابل اندازه گیری است و در مدار معادل با خازن C' نشان داده شده است.

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

49



مدار فوق دارای ضریب کیفیت بزرگی (Q) است چون R در مقابل X_L و X_C مقدار ناچیزی است و قابل صرف نظر کردن است.

با صرف نظر از R داریم:

$$Z = -\frac{j}{\omega C'} \times \frac{\omega^2 - \omega_s^2}{\omega^2 - \omega_p^2}$$

$$\omega_s^2 = \frac{1}{LC}, \quad \omega_p^2 = \frac{1}{L} \left(\frac{1}{C} + \frac{1}{C'} \right)$$

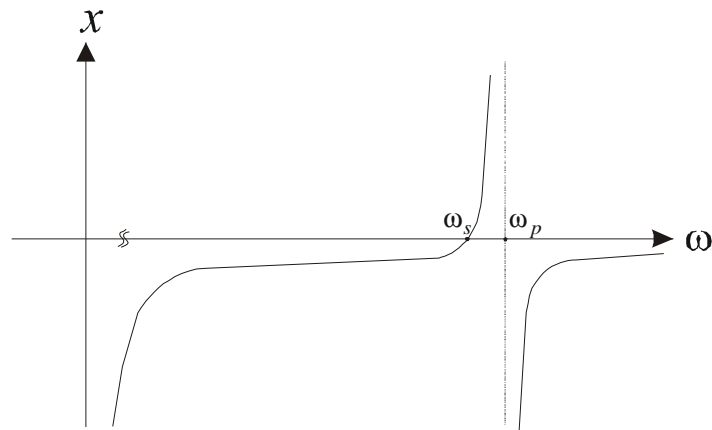
درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها

50



$w_p, w_s \Leftarrow C \ll C'$ خیلی به هم نزدیک هستند و $w_s < w_p$ است.



کریستال در فاصله بین w_p, w_s خاصیت سلفی دارد.

51

اسیلاتورها

درس: دکتر رحمتی



معمولا کریستال را در فرکانس های نزدیک به w_p و کمی کمتر از آن استفاده می کنند، در نتیجه می توان از آن به عنوان یک سلف بزرگ استفاده کرد.

همچنین می توان از کریستال در اسیلاتورهای کولپیتز به عنوان سلف به همراه دو خازن دیگر و یا به عنوان یکی از سلف های اسیلاتور هارتلی استفاده کرد.

52

اسیلاتورها

درس: دکتر رحمتی



پارامترهای کریستال از پایداری خوبی برخوردار هستند و به شرایط محیطی (دما، ولتاژ و ...) بستگی چندانی ندارند. بنابراین از آنجا که فرکانس نوسان اسیلاتور باید به عواملی بستگی داشته باشد که دارای ثبات بیشتری هستند، اسیلاتورهای کریستالی دارای ثبات فرکانسی خوبی هستند.

$q = \angle T \rightarrow$ در مختصات قطبی

یکی از عواملی است که ثبات فرکانسی را تعیین می کند $\rightarrow \frac{dq}{dw}$

53

اسیلاتورها

درس: دکتر رحمتی



اگر $q = 0$ باشد اسیلاتور نوسان می کند و اگر در اثر عوامل مختلف q تغییر کند باید w نیز تغییر کند تا دوباره $q = 0$ شود. در نتیجه هر چه $\frac{dq}{dw}$ در فرکانس نوسان بیشتر باشد، ثبات فرکانسی اسیلاتور بیشتر خواهد بود چون Δw کمتری برای تغییر q لازم است.

در مدار اسیلاتور کریستالی $\left. \frac{dq}{dw} \right|_{w=w_p} = \infty$ است، در نتیجه دارای ثبات فرکانسی خوبی است.

54

اسیلاتورها

درس: دکتر رحمتی



پایان

55

درس: دکتر رحمتی

اسیلاتورها