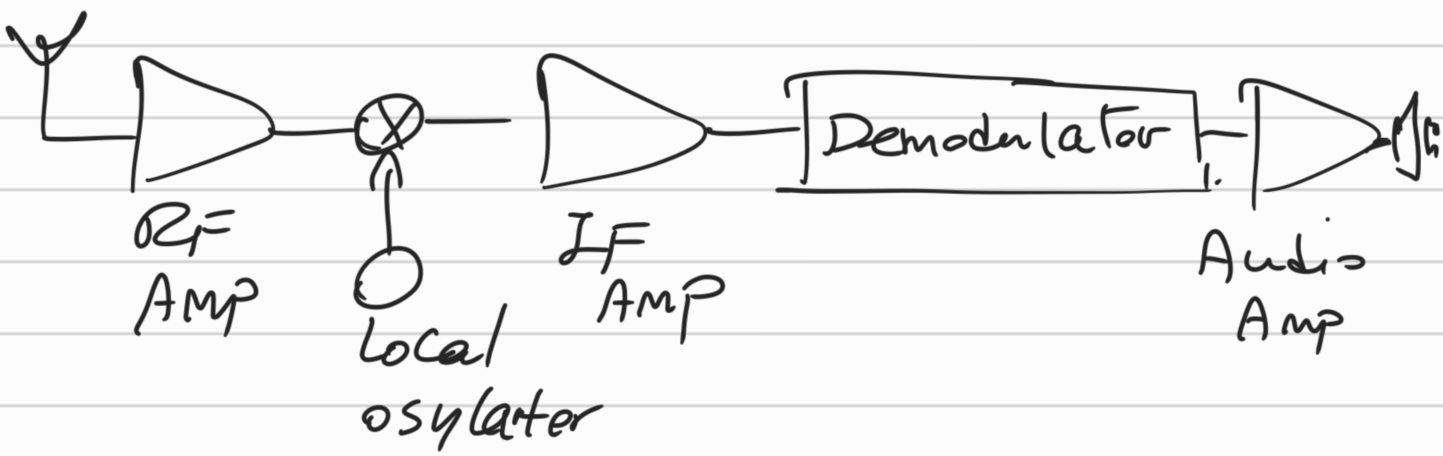
آشکارسازی دامنه:

مدارهایی هستند که پیام سوار شده بر روی حامل را در مدولاسیون‌های خطی را آشکار می‌کنند. این مدارها در گیرنده‌های رادیویی بعد از تقویت کننده‌ی میانی IF قرار می‌گیرند.



$$v(t) = V_m (1 + m f(t)) \cos \omega_0 t \qquad AM$$

$$v(t) = V_m f(t) \cos \omega_0 t \qquad DSB$$

باند بالا

$$v(t) = \frac{V_m}{2} \left[f(t) \cos \omega_0 t \mp \hat{f}(t) \sin \omega_0 t \right] \qquad SSB$$

باند پایین

تبدیل هیلبرت $f(t)$

آشکارساز سنکرون:

هر کدام مدولاسیون‌ها فوق اگر در یک موج هم فاز و هم فرکانس با حامل ضرب بشود پس از فیلتر شدن سیگنال باند پایه، پیام خواهد بود.

آشکارساز سنکرون

مدولاسیون AM :

$$k v(t) \cdot V_1 \cos w_0 t = k V_m V_1 (1+m f(t)) \cos^2 w_0 t$$

$$= k V_m V_1 (1+m f(t)) \left(\frac{1+\cos 2w_0 t}{2}\right)$$

پس از اعمال فیلتر پایین گذر

$$v_{out}(t) = \frac{k}{2} V_m V_1 [1+m f(t)]$$

مدولاسیون DSB :

$$k v(t) V_1 \cos w_0 t = k V_1 V_m f(t) \cos^2 w_0 t$$

$$= k V_1 V_m f(t) \left(\frac{1+\cos 2w_0 t}{2}\right)$$

پس از اعمال فیلتر پایین گذر

$$v_{out}(t) = \frac{k}{2} V_1 V_m f(t)$$

مدولاسیون SSB :

$$k v(t) V_1 \cos w_0 t = \frac{k}{2} V_1 V_m f(t) \cos^2 w_0 t \mp \frac{k}{2} V_1 V_m f(t) \cos w_0 t \sin w_0 t$$

$$= \frac{k}{2} V_1 V_2 f(t) \left(\frac{1+\cos 2w_0 t}{2}\right) \mp \frac{k}{4} V_1 V_m f(t) \sin 2w_0 t$$

پس از اعمال فیلتر

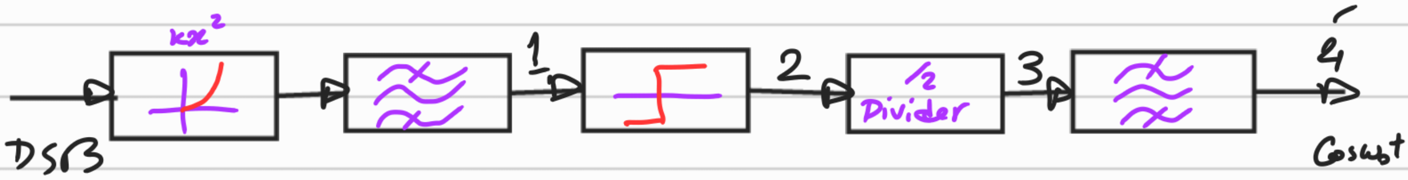
$$v_{out} = k/4\, V_1 V_2 f(t)$$

شکل اصلی ساخت آشکارساز سنکرون تولید موج هم فاز و هم فرکانس با کاریر سیگنال مدوله شده است.

تولید موج حامل سنکرون از سیگنال DSB : اگر متوسط پیام $f(t)$ صفر باشد

با توجه به اینکه متوسط $v(t) = V_m f(t)\cos\omega_0 t$ مثل $f(t)$ است

و میانگین توان دوم $f(t)$ غیر صفر است سیستم زیر برای یافتن موج حامل سنکرون پیشنهاد می‌گردد.



$$kv^2(t) = \frac{k}{2} V_m^2 f^2(t) (1+\cos 2\omega_0 t)$$

عبور از فیلتر میان‌گذر

$$V_{out_1} = \frac{k}{2} V_m^2 \overline{f^2(t)} \cos 2\omega_0 t$$

پس از عبور از اشمیت تریگر:

$$V_{out_2} = A \sqcap (2\omega_0 t)$$

تابع مربعی

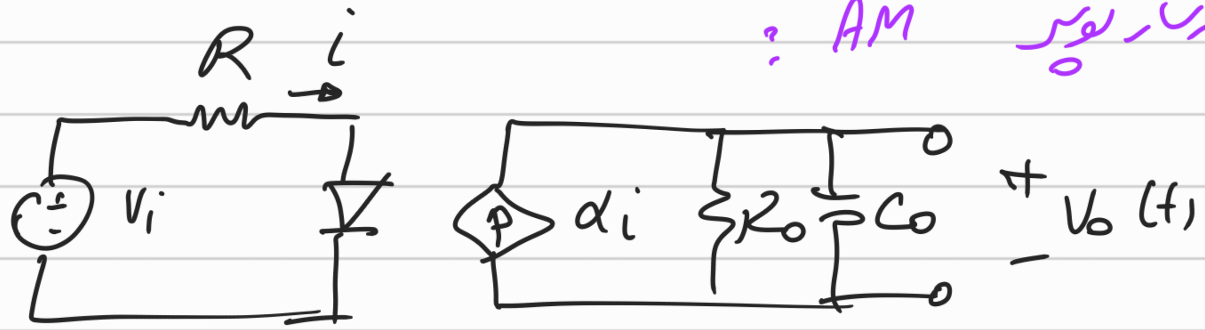
اگر از یک تقسیم کننده فرکانس عبور کند

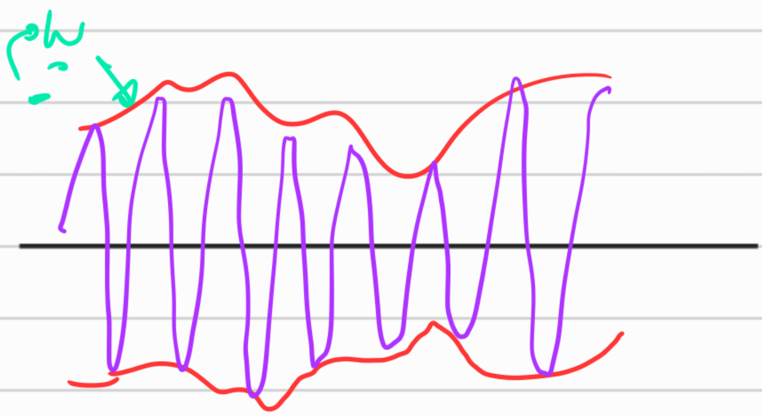
$$V_{out\,3} = A \sqcap (\omega_0 t)$$

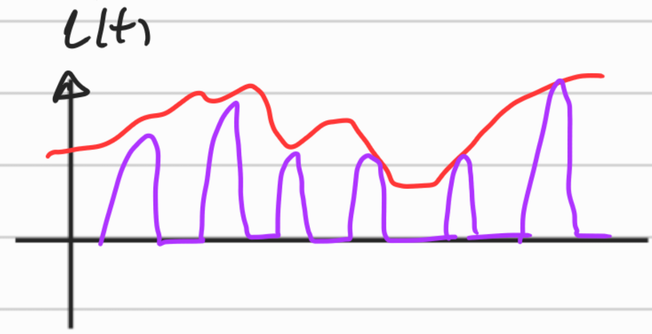
پس از عبور از فیلتر میان‌گذر

$$V_{out\,4} = \frac{4}{\pi} A \cos\omega_0 t$$

آشکارساز پوش AM :







جریان دیود

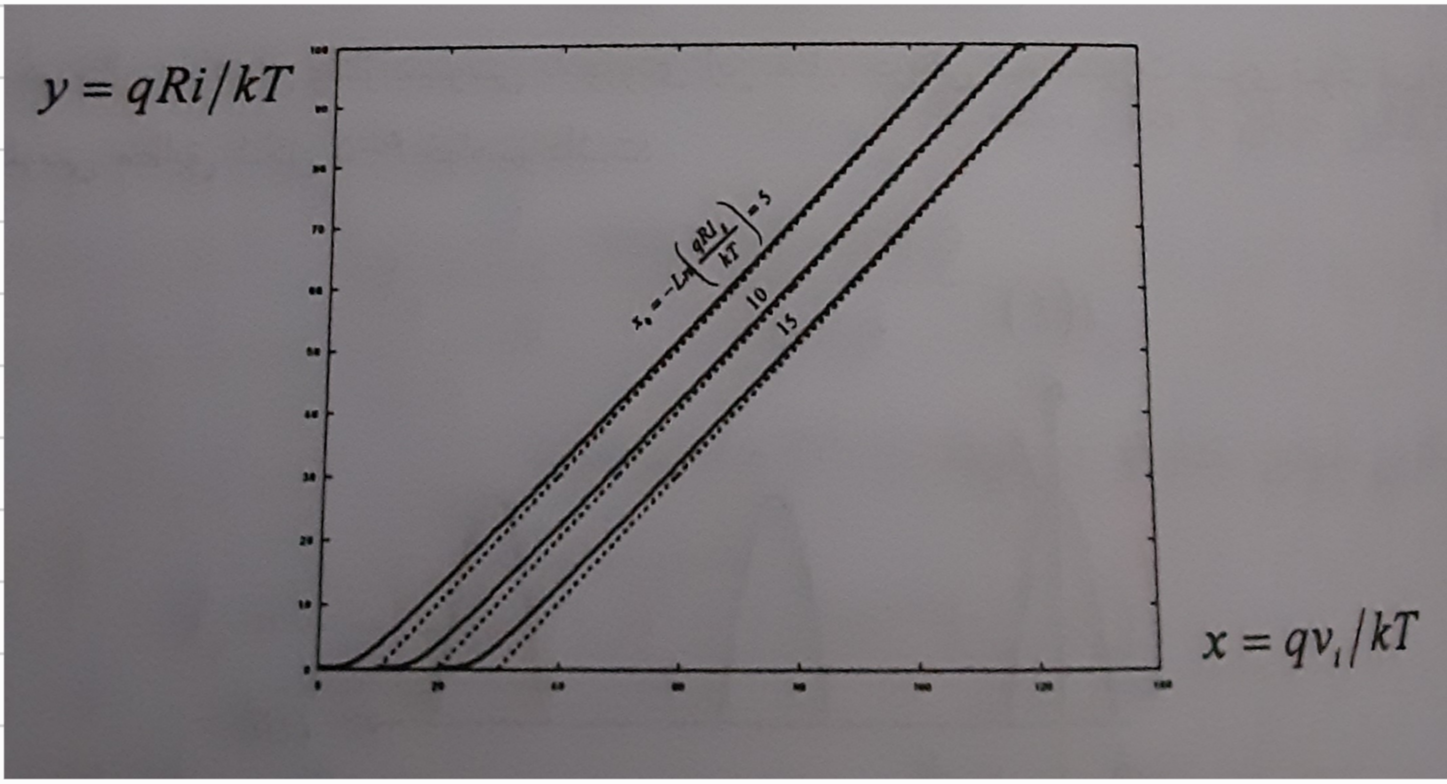
اگر ولتاژ v_i خیلی بزرگتر از افت روی دیود باشد جریان i تقریباً برابر با $v_i(t)/R$ است. ولی چنانچه دامنه ولتاژ v_i نزدیک به افت دیود باشد رفتار غیرخطی دیود باید در نظر گرفته شود.

$$v_i(t) = Ri(t) + \frac{KT}{q}\ln\frac{i(t)}{I_s}$$

$$\frac{v_i(t)}{V_T} = \frac{Ri(t)}{V_T} + \ln\frac{Ri}{V_T} - \ln\frac{RI_s}{V_T}$$

به نوع دیود و I_s بستگی دارد

ورودی نرمال شده $x = y + \ln y - x_0$



در این نمودار نقاط برخورد خطوط شکسته با محور x ها در $x_0 = 5 - \ln \frac{RI_s}{V_T}$ می باشد

سپس منحنی خطی را می توان بصورت زیر تقریب زد:

$$y = \frac{Ri}{V_T} = \begin{cases} x - 5 + \ln(RI_s/V_T) & x > x_0 \\ 0 & x \le x_0 \end{cases}$$

ولتاژ آستانه روی دیود برابر است با:

$$V_0 = V_T\left(5 - \ln \frac{RI_s}{V_T}\right)$$

برای یک دیود ژرمانیم با مقاومت سری $1k\Omega$ ، $I_s = 2\times10^{-7} A$

$V_0 = 256 mV$

به ازای مقاومت سری 1Ω $V_0 = 436 mV$ است.

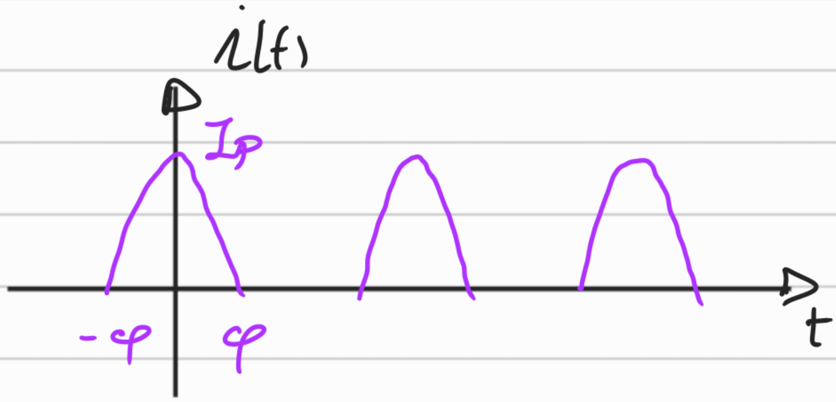
برای یک دیود سیلیکون با مقاومت سری $1k\Omega$ و $I_s = 2\times10^{-12}\,A$

$V_0 = 556\,mV$

با یک مقاومت سری ده اهمی

$V_0 = 735\,mV$

جریان $i(t)$ که توسط دیود تعیین می‌گردد بصورت زیر خواهد شد.



$v_i(t) = V_1 \cos\omega_0 t$

$$i(t) = \begin{cases} (v_i(t) - V_0)/R & v_i(t) > V_0 \\ 0 & v_i(t) \le V_0 \end{cases}$$

$$I_p = \frac{V_1 - V_0}{R} \quad , \quad \varphi = \cos^{-1}\frac{V_0}{V_1}$$

ضرایب سری فوریه $i(t)$

$$I_n = \frac{1}{\pi}\int_{-\varphi}^{\varphi} i(t)\cos n\omega_0 t \, d\omega$$

$$I_0 = \frac{I_p}{\pi}\cdot\frac{\sin\varphi - \varphi\cos\varphi}{1-\cos\varphi}$$

$$I_1 = \frac{I_p}{\pi} \cdot \frac{\varphi - \cos\varphi \cdot \sin\varphi}{1-\cos\varphi}$$

$$I_n = \frac{2I_p}{\pi} \cdot \frac{\cos\varphi \sin n\varphi - n\sin\varphi \cos n\varphi}{n(n^2-1)(1-\cos\varphi)}$$

مؤلفه DC با جابجایی کردن φ می‌شود:

$$I_0 = \frac{V_0}{\pi R}\left[\sqrt{(V_1/V_0)^2-1} - \cos^{-1}(V_0/V_1)\right]$$

اگر V_1/V_0 خیلی بزرگ باشد

$$I_0 \simeq \frac{V_0}{\pi R}\left(V_1/V_0 - \pi/2\right) \qquad V_1/V_0 \gg 1$$

$$I_0 \simeq \frac{V_1}{\pi R} - \frac{V_0}{2R}$$

اگر تغییرات سوئیچ نسبت به ما بزرگ لازم باشد V_1 به آرامی تغییر کند I_0 نیز

تغییرات آرامی دارد.

اگر

$$v_i(t) = V_1(1+mf(t))\cos\omega_0 t$$

$$I_0(t) = \frac{V_1(1+mf(t))}{\pi R} - \frac{V_0}{2R}$$

ولتاژ خروجی

$$v_0(t) = \frac{\alpha V_1(1+mf(t))R_0}{\pi R} - \alpha\frac{V_0 R_0}{2R}$$

برای آنکه بین ولتاژ خروجی و پوش ولتاژ ورودی رابطه خطی برقرار باشد

از جمله دوم در $v_0(t)$ بتوان صرفنظر کرد.

$$\frac{\cancel{\alpha} V_1(1+mf(t))\cancel{R_0}}{\pi \cancel{R}} \gg \frac{\cancel{\alpha} V_0 \cancel{R_0}}{2\cancel{R}}$$

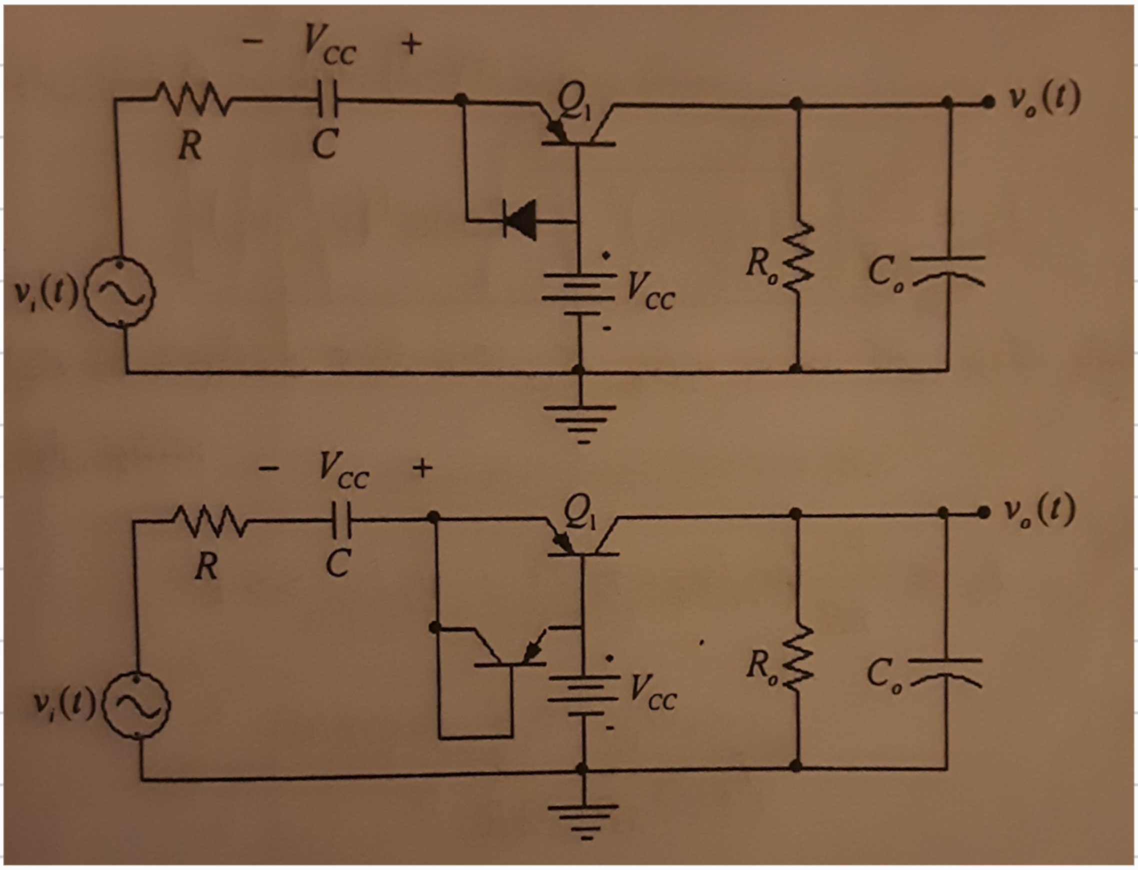
$$\frac{V_1(1-m)}{V_0} \gg \pi/2 \longrightarrow V_1 \geq \frac{4V_0}{1-m}$$

اگر $V_0 \simeq 0.7$ و اندیس مدولاسیون $m = 0.8$ باشد لازم است

$$V_1 \geq \frac{4\times 0.7}{1-0.8} = \frac{2.8}{0.2} \longrightarrow V_1 \geq 14 \text{ volt}$$

افزایش دامنه ولتاژ سیگنال مدوله شده تا این سطح کار دشواری است لذا سعی می شود از دیود ژرمانیم به جای سیلیکون استفاده شود تا دامنه ولتاژ V_1 را بتوان کمتر نمود.

تحقق عملی آشکارساز میانگین نویس ۳



در مدار پایینی ترانزیستور BJT جایگزین دیود در مدار شده است.

خازن C به کمک منبع DC ، V_{cc} شارژ می گردد (از مسیر دیود)

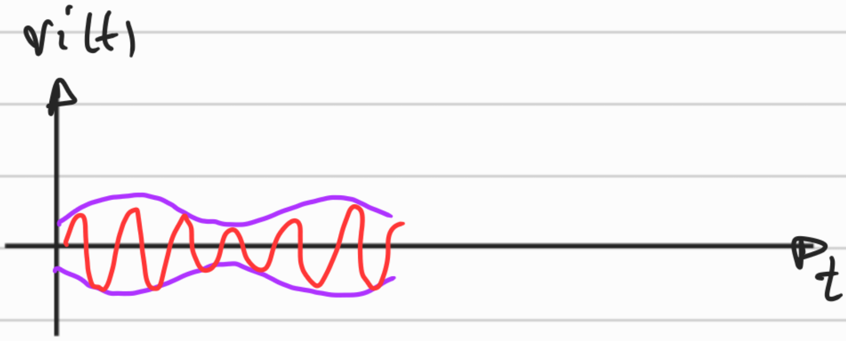
با توجه به اینکه بیس Q_1 ولتاژ V_{cc} دارد اگر ولتاژ ورودی $V_i(t)$ صفر باشد

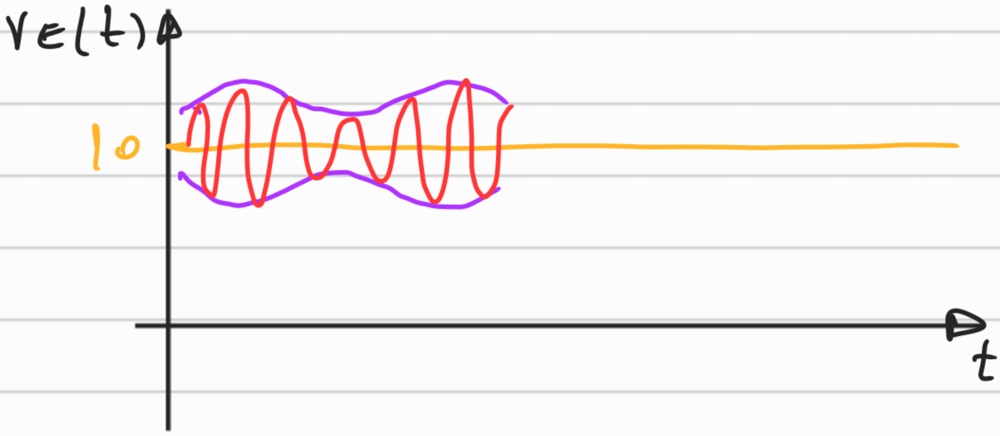
ولتاژ امیتر Q_1 صفر و Q_1 در آستانه وصل است.

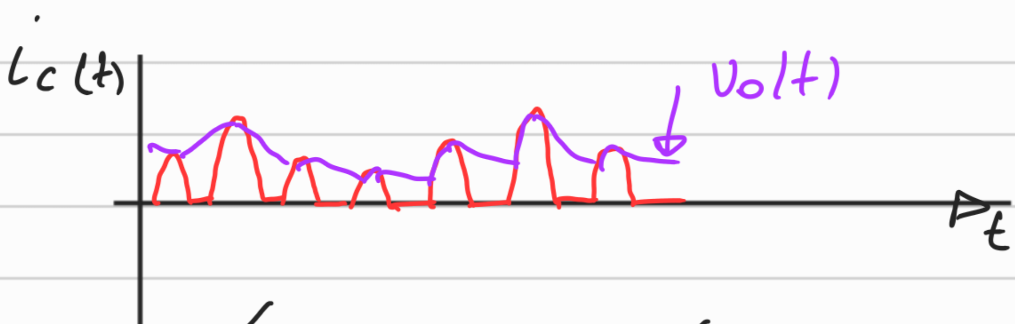
اگر $V_i(t)$ مثبت شود Q_1 روشن

اگر $V_i(t)$ منفی شود Q_1 خاموش

پوشش ولتاژ توسط مدار R_oC_o استخراج می‌گردد.







مثال) آشکارساز مناسب پوشش را برای سیگنال AM به فرم زیر طراحی کنید.

$$v_i(t) = 2\left[1 + 0.6\cos 10^3 t\right]\cos 10^8 t$$

حل:

$$v_1 \ge \frac{4v_o}{1-m} \longrightarrow v_o \le \frac{v_1(1-m)}{4} = \frac{2(1-0.6)}{4} = 0.2$$

سپس باید از یک دیود ژرمانیم استفاده کرد.

$$V_o = V_T\left(5 - \ln \frac{RI_s}{V_T}\right)$$

$$0.2 = 25mV\left(5 - \ln \frac{RI_s}{25mV}\right) \rightarrow RI_s \geq 1.76\times10^{-3} \text{ volt}$$

اگر یک دیود در نظر بگیریم با $I_s = 2\times10^{-7}\,A$ (انتخاب کنیم $R = 8.8\,k\Omega$

خازن C باید تغییرات ولتاژ را بخوبی به ترانزیستور منتقل نماید.

$$\frac{1}{\omega_0 C} << R$$ از $$\frac{1}{\omega_0 C} = \frac{R}{100} = 88\Omega \Rightarrow$$

$C = 114pF$

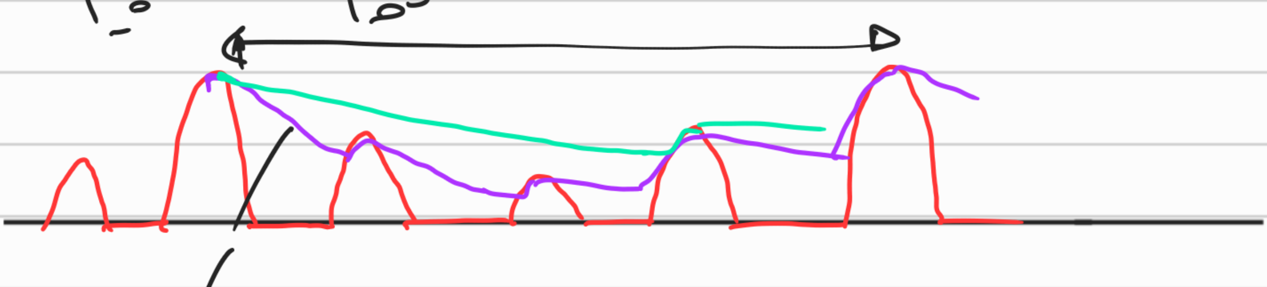
برای اینکه ترانزیستور به اشباع نرود باید ولتاژ خروجی کمتر از Vcc باشد.

$$V_P = \alpha\left(\frac{(1+m)V_1}{\pi R} - \frac{V_o}{2R}\right)R_o \leq V_{cc}$$

اگر $V_{cc} = 10$ Volt $\rightarrow R_o \leq 98.5\,k\Omega$

اگر $R_o = 80k\Omega$ انتخاب شود.

تناوب پیام $\frac{1}{10^3} = 10^{-3}$

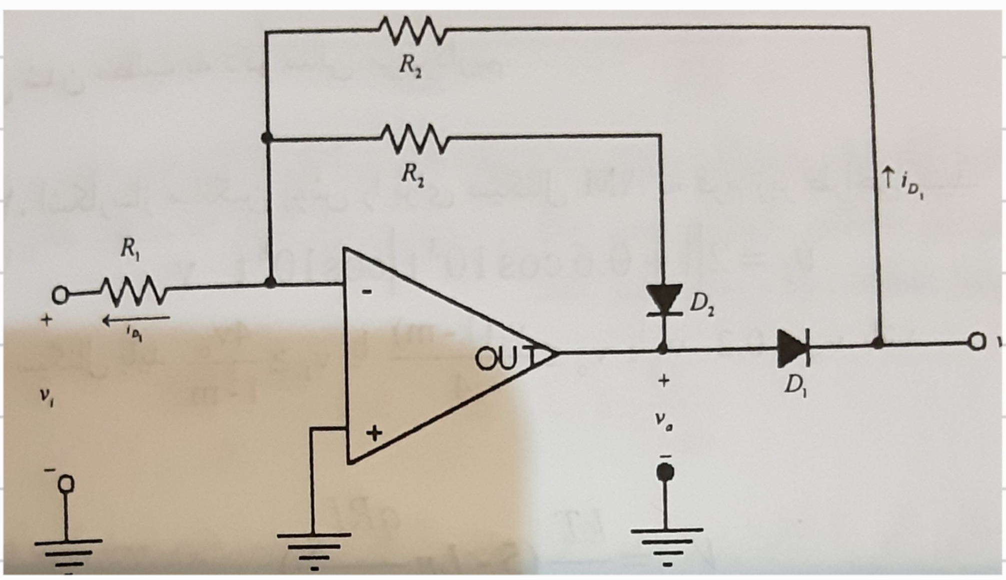


اگر ثابت زمانی R_oC_o از حدی بیشتر شود خروجی نمی‌تواند از پوش پیروی کند.

$$\frac{1}{R_oC_o} > 10^3_4 \Rightarrow C_o < 12.5\times10^{-9}$$

$C_o = 10nF$ انتخاب می‌کنیم کمتر باید بگیریم

آشکارساز دامنه با یکسو کننده عملیاتی:

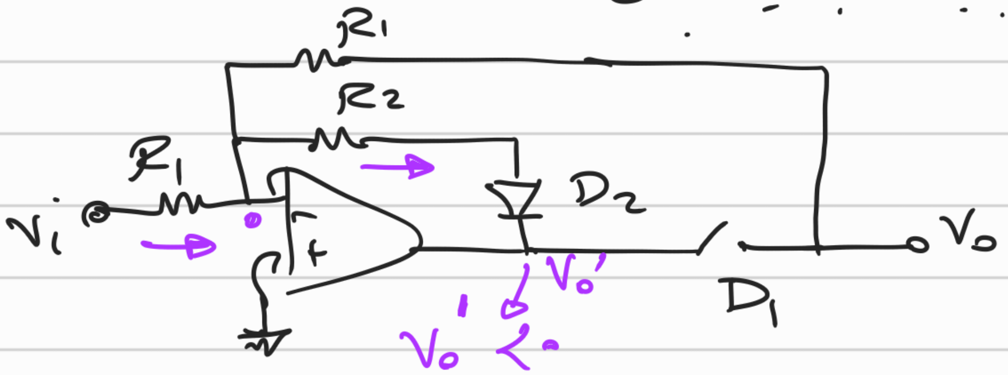


برای آشکارسازی یک مدار ترانزیستوری قبلی نیاز داریم که دامنه موج مدوله شده ورودی در حدود چند ولت باشد.

مدار فوق می‌تواند با دامنه‌های ولتاژ کوچک هم عمل یکسوسازی را انجام دهد. البته باید پهنای باند OpAmp بالاتر از فرکانس موج ورودی باشد.

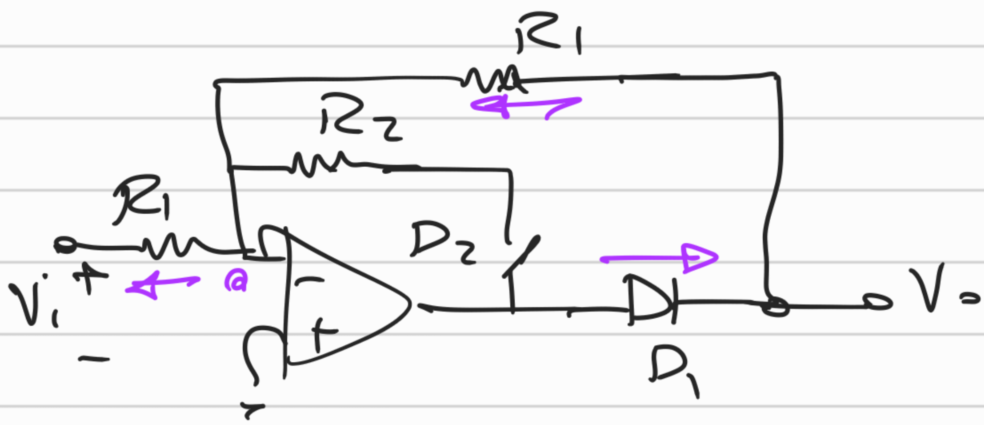
باتوجه به وجود فیدبک منفی $V^- = V^+ = 0$ است.

$V_i > 0$

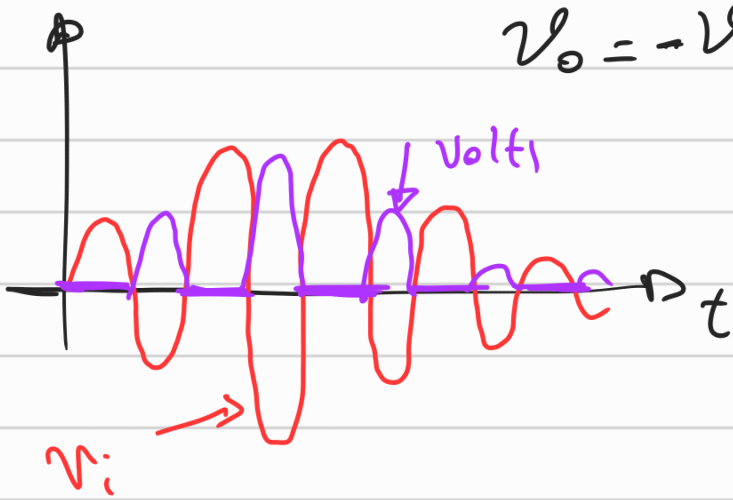


$\longrightarrow V_o = 0$

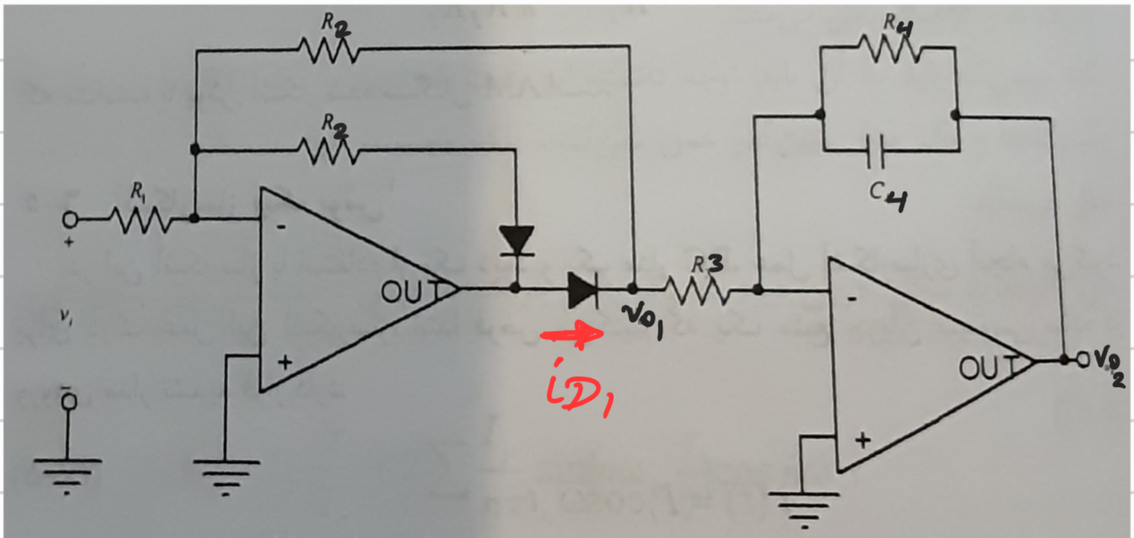
$V_i < 0$



$V_o = -V_i$



آشکارساز پوش میانگین با یک تقویت کننده عملیاتی :



طبقه بعد از یکسوساز یک فیلتر پایین گذر است که پوش سیگنال یکسو شده را استخراج می کند .

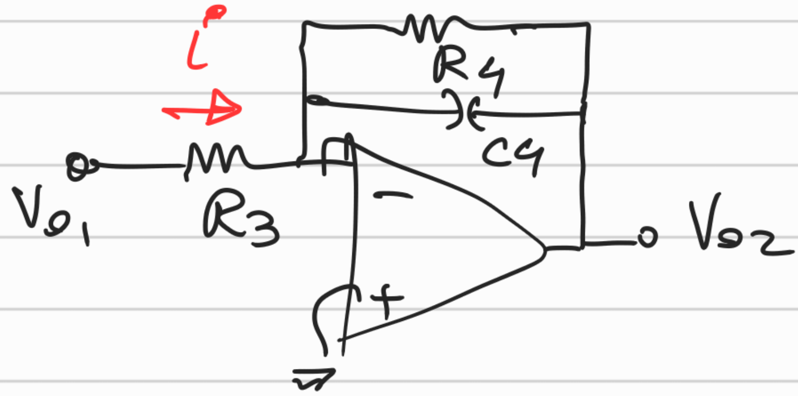
$$i_{D_1} = \begin{cases} -\dfrac{v_i}{R_1} & v_i < 0 \\ 0 & v_i > 0 \end{cases}$$

$$v_i(t) = V_1\left(1+mf(t)\right)\cos\omega_0 t$$

$$v_{o_1}(t) = \begin{cases} -\dfrac{R_2}{R_1} V_1\left(1+mf(t)\right)\cos\omega_0 t & v_i < 0 \\ 0 & v_i > 0 \end{cases}$$

$$v_{o_1}(t) = -\frac{R_2}{R_1} V_1\left(1+mf(t)\right) S(t) \cos\omega_0 t$$

$$v_{o_1}(t) = -\frac{R_2}{R_1} V_1\left(1+mf(t)\right)\cos\omega_0 t \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi}\cos\omega_0 t - \frac{2}{3\pi}\cos 3\omega_0 t + \cdots\right]$$



$$i(j\omega) = \frac{V_{o1}(j\omega)}{R_3}$$

$$V_{o2}(j\omega) = \frac{-\,i(j\omega)}{1/R_4 + j\omega C_4} = \frac{-V_{o1}(j\omega)}{\frac{R_3}{R_4} + j\omega C_4 R_3}$$

$$H(j\omega) = \frac{V_{o2}(j\omega)}{V_{o1}(j\omega)} = \frac{-R_4/R_3}{1 + j\omega C R_4}$$

پاسخ فرکانسی فیلتر

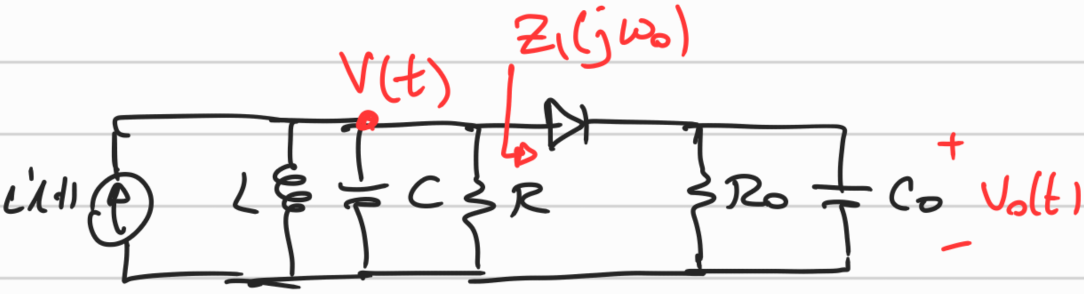
است $\omega_h = \frac{1}{R_4 C}$ که یک فیلتر پایین گذر با پهنای باند C_4

و گر این پهنای باند بزرگتر از پهنای باند پیام $f(t)$ باشد همه مؤلفه‌های پیام عبور می‌کند و مؤلفه‌های بالاتر حذف می‌گردد.

$$V_{o2}(t) = -\frac{R_2}{R_1 \pi} V_1 (1 + m f(t)) \left(-R_4/R_3\right)$$

$$V_{o2}(t) = \frac{R_2 R_4}{\pi R_1 R_3} (1 + m f(t))$$

آشکارساز پیک پوش :

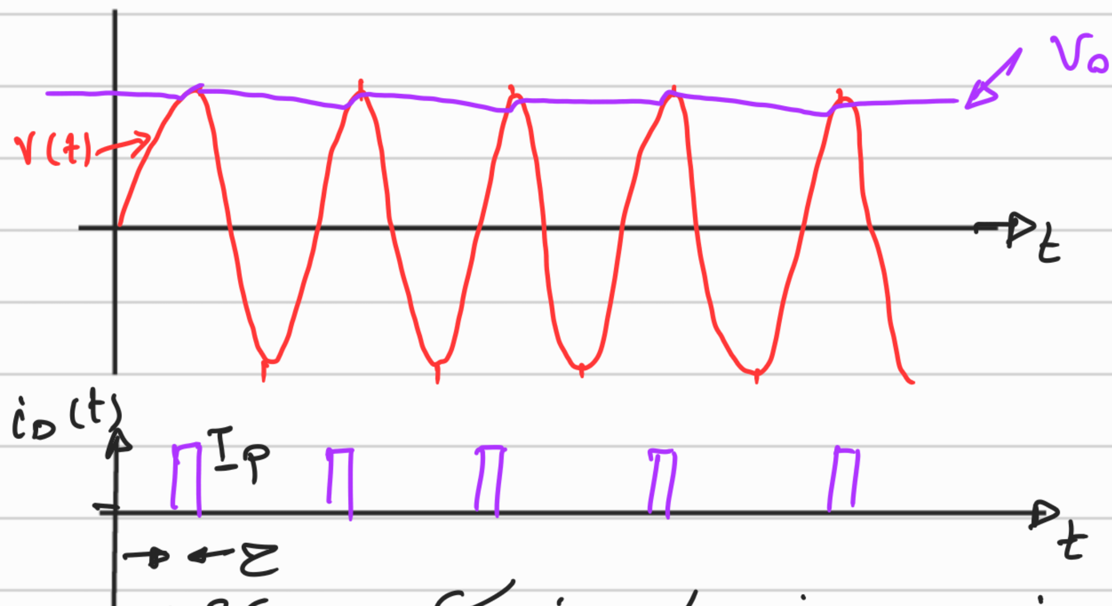


فرض کنید منبع جریان $i(t)$ یک موج سینوسی در فرکانس کاریر است .

$$i(t) = I_1 \cos\omega_0 t$$

مدار تشدید در فرکانس ω_0 تنظیم شده است .

در لحظاتی که ولتاژ آند دیود بیشتر از کاتد دیود شود



چون ثابت زمانی R_oC_o نسبت به دوره تناوب کاریر خیلی بزرگ است ولتاژ خروجی

حول ولتاژ پیک ورودی باقی می‌ماند .

مدار دیود و C_o , R_o به عنوان آشکارساز پیک ولتاژ ورودی عمل می‌کند .

$$i_D(t) = I_p \frac{\tau}{T_0} + 2I_p \frac{\tau}{T_0} \cos\omega_0 t + \cdots$$

$$i_D(t) = I_{D0}\left(1 + 2\cos\omega_0 t + \dots\right)$$

دامنه جریان هارمونیکی دیود دو برابر جریان I_{dc} آن است.

ولتاژ خروجی مقدار dc است.

$$v_o(t) = I_{D0} R_o = V_1$$

$$I_{D0} = V_1 / R_o$$

امپدانس دیده شده از ورودی دیود در فرکانس ω_0 برابر است با:

$$Z_1(j\omega_0) = \frac{V_1}{2 I_p \frac{\tau}{T_0}} = \frac{V_1}{2 I_{D0}} = \frac{V_1}{\frac{2V_1}{R_o}} = \frac{R_o}{2}$$

امپدانس دیده شده از منبع $i(t)$ در فرکانس ω_0 برابر است با:

$$Z_T(j\omega_0) = R \,\|\, \frac{R_o}{2}$$

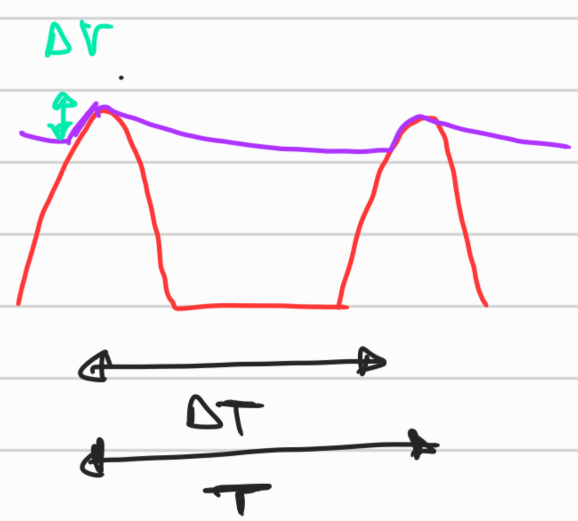
در این تحقیق از افت ولتاژ دو سر دیود صرف نظر شده است.

برای محاسبه مقدار ریپل در خروجی:

شارژ $q^+ = C_o \Delta V$

دشارژ $q^- = I_{C_o} \Delta T \simeq \frac{V_o}{R_o} T$

$$q^+ = q^-$$



$$C_0 \Delta V = \frac{V_0}{R_0} T \quad \text{یا} \quad \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{T}{R_0 C_0} = \frac{2\pi}{R_0 C_0 \omega_0}$$

نسبت تضاریس به ولتاژ خروجی

مثال: اگر $R = 50k\Omega$, $C = 10pF$, $L = 10\mu H$

$i(t) = 2\cos 10^8 t$ mA , $C_0 = 10pF$, $R_0 = 100k\Omega$,

حل:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 10^8 \text{ rad/sec}$$

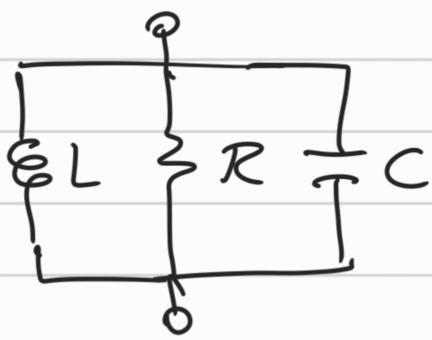
$$Z_T(j\omega_0) = R \parallel R_0/2 = 50k\Omega \parallel \frac{100k\Omega}{2} = 25k\Omega$$

$$V_1 = i(t) \times Z_T = 50 \cos 10^8 t$$

$$V_0 = V_\ell = 50 \text{ Volt}$$

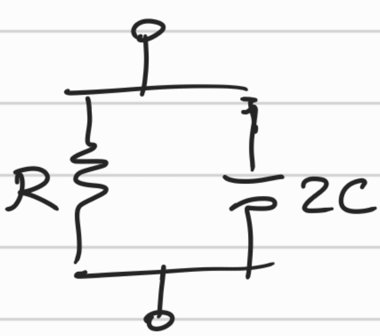
$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{2\pi}{R_0 C_0 \omega_0} = 0.0628 \quad \text{یا} \quad \Delta V = 3.14 \text{ volt}$$

مدار معادل پاشنگر: حال منبع جریان ورودی را سیگنال مدوله شده AM در نظر می‌گیریم. برای یافتن منظور از مدار معادل پاشنگر استفاده می‌کنیم.



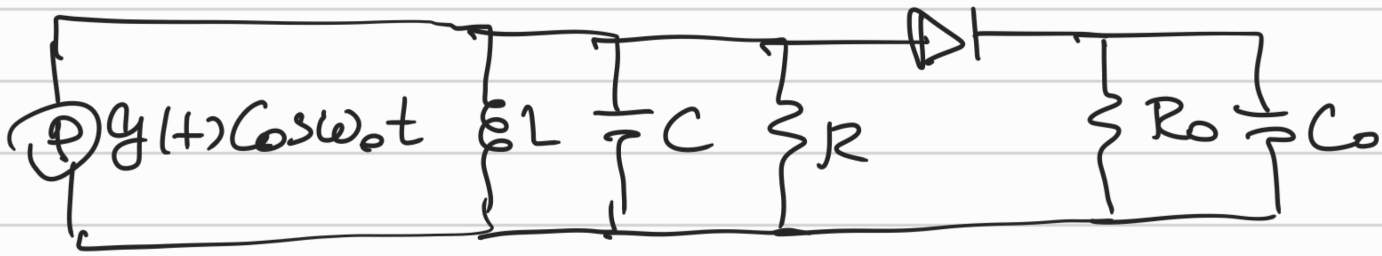
در فرکانس تشدید ω_0 موج حامل امپدانس R را می‌بیند و باند کناری در فرکانس $\omega_0+\Delta\omega$ امپدانس Z را می‌بیند.

$$Z = \frac{R}{1+j2Q\,\Delta\omega/\omega_0} = \frac{R}{1+j2RC\Delta\omega}$$

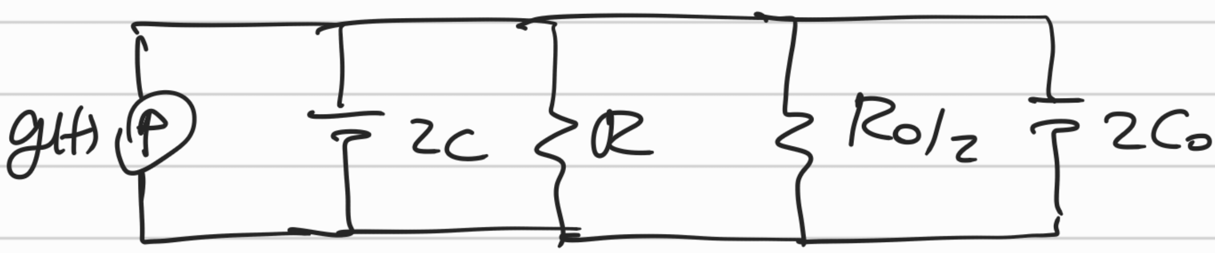


مدار معادل پایین‌گذر: در فرکانس dc امپدانس R را می‌بینیم و برای فرکانس $\Delta\omega$ امپدانسی می‌بینیم برابر با Z در مدار تشدید اولیه.

$$Z = \frac{R}{1+j2RC\Delta\omega}$$

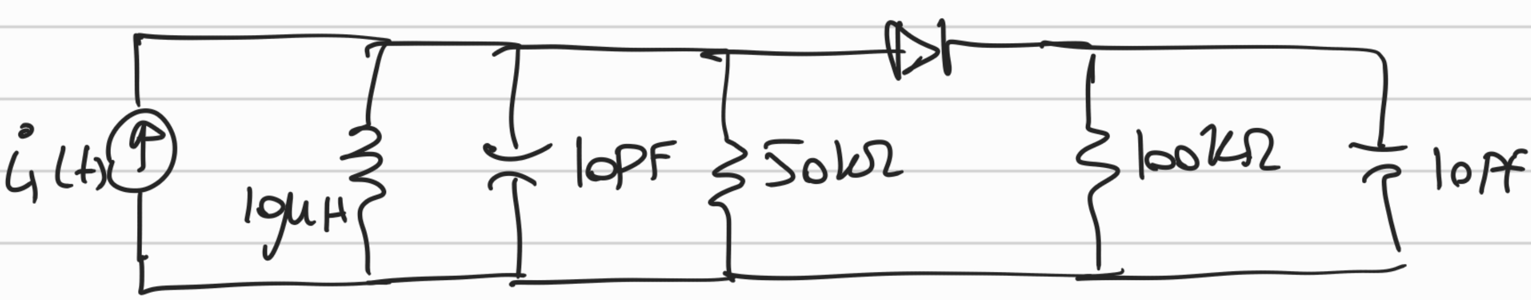


مدار معادل پایین‌گذر



مثال: در مدار زیر ولتاژ ورودی و خروجی را به ازای جریان AM داده شده محاسبه کنید.

$$i_i(t) = 2(1+0.4\cos 10^6 t)\cos 10^8 t \ \text{mA}$$



مدار معادل پایین‌گذر

$$i_2(t) = 2(1 + 0.4 \times \cos 10^6 t)\ \text{mA}$$

$$Z_T(j\omega) = \frac{R \| R_o/2}{1 + j(R \| R_o/2)(2C + 2C_o)\omega} = \frac{25k}{1 + j10^{-6}\omega}$$

$$Z_T(j0) = 25k\Omega \quad , \quad Z_T(j10^6) = \frac{25}{\sqrt{2}} \angle -\pi/4$$

$$V_o = I_0 \cdot Z_T(j0) + I_1 \cdot Z_T(j10^6)$$

$$v_o(t) = 50 + 14.14 \cos(10^6 t - \pi/4)$$

$$v_o(t) = 50\left[1 + 0.283 \cos(10^6 t - \pi/4)\right]$$

ملاحظه می‌گردد که باندهای کناری به مقدار $0.4 - 0.283 = 0.117$
کاهش می‌یابد

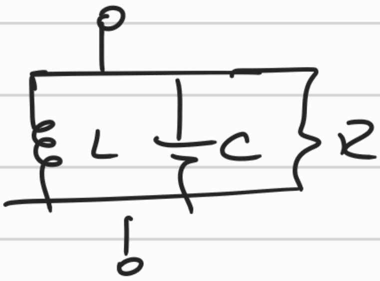
ولتاژ ورودی برابر است با :

$$v_o(t) = 50\left[1 + 0.283 \cos(10^6 t - \pi/4)\right] \cdot \cos 10^8 t \quad \text{Volt}$$

برای اینکه خروجی آشکارساز پوش ورودی را دنبال کند می بایست پهنای باند مدار RC خروجی از نصف پهنای باند مدار RLC ورودی بیشتر باشد.

$$\frac{1}{R_0C_0} > \frac{1}{2RC} \Longrightarrow R_0C_0 < 2RC$$

اگر این شرط محقق نشود پدیده ناتوانی دنبال کردن پوش را خواهیم داشت.



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

$$Z(j\omega) = \frac{R}{1 + jR(\omega C - 1/\omega L)}$$

$Q = \omega_0 RC = \frac{R}{\omega_0 L}$

$\omega = \omega_0 + \Delta\omega$

$$= \frac{R}{1 + jR\left((\omega_0 + \Delta\omega)C - \frac{1}{(\omega_0+\Delta\omega)L}\right)}$$

$$= \frac{R}{1 + jR\left(\omega_0\left(1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)C - \frac{1}{\omega_0\left(1+\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)L}\right)}$$

$$= \frac{R}{1 + j\left(\left(1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)R\omega_0 C - \frac{R}{\omega_0\left(1+\frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right)L}\right)}$$

$$= \frac{R}{1 + jQ\left(\left(1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0}\right) - \frac{1}{1+\frac{\Delta\omega}{\omega_0}}\right)}$$

$$= \frac{R}{1 + jQ\left(1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0} - \left(1 - \frac{\Delta\omega}{\omega_0} + \cdots\right)\right)}$$

$$Z(j\omega) \simeq \frac{R}{1 + jQ\left(\frac{2\Delta\omega}{\omega_0}\right)} = \frac{R}{1 + j2Q\Delta\omega/\omega_0}$$

, $\omega = \omega_0 + \Delta\omega$

$$Q = RC\omega_0$$

$$Z(j\omega) = \frac{R}{1 + j2Q\frac{\Delta\omega}{\omega_0}} = \frac{R}{1 + j\,2RC\,\Delta\omega}$$

معادل پایین گذر