$\frac{b(t)}{2}$ دارای دو بخش است که یک بخش آن DC است.

بخش DC در ورودی: $1mA \times Z(j0) = 1mA \times 10k = 10^4$

بخش AC: $1mA\cos 5\times10^4 t \times Z(j5\times10^4) = 1mA\cos 5\times10^4 t \times \frac{10k}{1+j} = 1mA\cos 5\times10^4 t \times \frac{10k}{\sqrt{2}} \angle -\frac{\pi}{4}$

$$= \frac{10}{\sqrt{2}}\cos\left(5\times10^4 t - \frac{\pi}{4}\right)$$

$$V_o(t) = 10 + \frac{10}{\sqrt{2}}\cos\left(5\times10^4 t - \frac{\pi}{4}\right)$$

محاسبه ریپل:

$$\frac{\Delta V_R}{10} = \frac{2\pi}{10^{-4}} \times \frac{1}{2\times10^4\times10^{-9}} \Longrightarrow \Delta V_R = \frac{\pi}{10} = 0.314V$$

شرط اعوجاج → برقرار $2RC \geq R.C.$

فصل 8: مدولاتورهای FM

یک سیگنال سینوسی را به صورت $V = A\cos\varphi_i(t)$ نشان می‌دهند.

فاز لحظه‌ای

رابطه فاز و فرکانس:

فرکانس لحظه‌ای $\omega_i(t) = \frac{d\varphi_i(t)}{dt}$

$$\varphi_i(t) = \int \omega_i(t)\,dt$$

در مدولاسیون FM پیام در فاز لحظه‌ای کیر قرار می‌گیرد.

$$\begin{cases} \omega_i(t) = \omega_0 + \Delta\omega f(t) \\ f(t) = \text{پیام نرمالیزه} \end{cases}$$

$$V_{FM}(t) = A\cos\varphi_i(t) = A\cos\int\omega_i(t)\,dt = A\cos[\omega_0 t + \Delta\omega\int f(t)\,dt]$$

روش های ضدای مدولاتور FM

1) روش غیر مستقیم ← سیگنال ساخته شده سینوسی نیست.

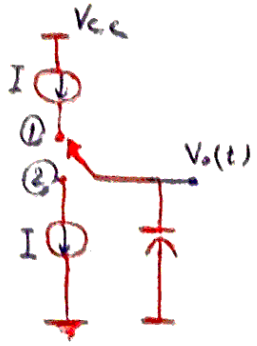
2) روش مستقیم ← از ابتدا سیگنال ساخته شده سینوسی است. در آن از نوسان ساز سینوسی استفاده می‌شود.

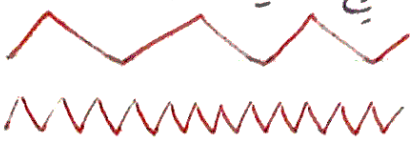
HAJIHOSEINI.IR

روش غیر مستقیم

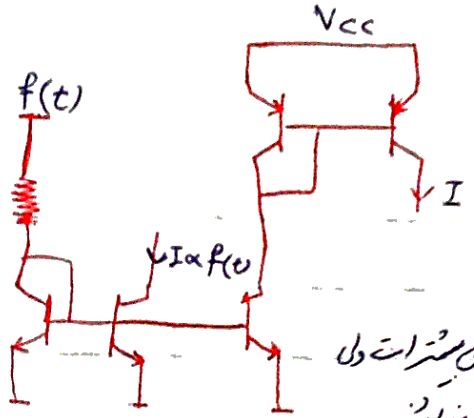
در این روش یک FM غیر سینوسی ساخته می‌شود و سپس با فیلتر، یکی از هارمونیک های آن را انتخاب می‌کنیم.

مثال) اگر خازن شارژ نیست، سوئیچ در وضعیت ① است.
پس از شارژ کامل سوئیچ به وضعیت ② می رود.
پس از دشارژ کامل، سوئیچ به وضعیت ① برمی گردد.





اگر I متناسب با پیام باشد، ولتاژ خازن سیگنال FM مدلاسیون خواهد بود.



تغییر بازه مکانی در این روش بیشتر است ولی
در خازن های فیزیکی قابل تغییر زیاد نباشد.
این روش نیاز به تعداد المان های زیاد و جریان مصرفی زیاد دارد.
تحلیل این روش ساده است.

روش مستقیم

خازن متغیر با ولتاژ درون نوسان ساز سینوسی قرار می‌گیرد.

دو راه برای ساخت خازن متغیر با ولتاژ وجود دارد:

1) با مدار آن را طراحی می‌کنیم. در این صورت به مدولاتور طراحی شده، مدولاتور راکتانس Reactance Modulator گفته می‌شود.

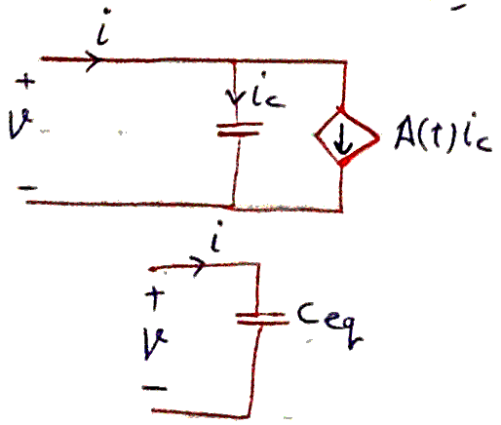
2) از خازن فیزیکی متغیر با ولتاژ استفاده می‌کنیم.

Varactor

قلم
HAJIHOSEINI.IR

مدولاتور رآکتانس

می‌توان نشان داد که ترکیب زیر معادل یک خازن متغیر با ولتاژ است.

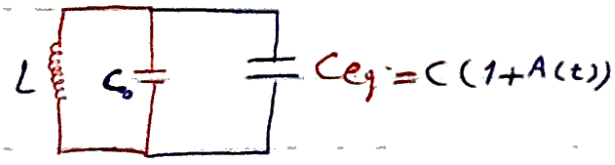


$$i = i_C + A(t)\,i_C$$
$$= C\frac{dv}{dt} + A(t)C\frac{dv}{dt}$$
$$= \underbrace{C(1+A(t))}_{C_{eq}}\frac{dv}{dt}$$

لازم است که $A(t)$ متناسب با پیام باشد.

$$A(t) = A_0 + A_1 f(t)$$

برای ساخت مدولاتور FM کافیست که C_{eq} را با خازن مدار تانک یک نوسان‌ساز موازی کنیم.



مدار تانک نوسان‌ساز اولیه

فرکانس لحظه‌ای نوسان‌ساز: $w_i(t) = \frac{1}{\sqrt{L(C_0 + C_{eq})}}$

$$= \frac{1}{\sqrt{L[C_0 + C(1+A(t))}}$$

$$\longrightarrow w_i(t) = \frac{1}{\sqrt{L[C_0 + C(1+A_0 + A_1 f(t))]}}$$

$w_i(t)$ با پیام تغییر می‌کند و آنالوگ به صورت مناسب.

مناسب $w_i(t) = w_0 + \Delta w\, f(t)$

برای این کار، نیاز به یک سری شرط و تقریب می‌باشد.

$$w_i(t) = \frac{1}{\sqrt{L[C_0 + C + CA_0 + CA_1 f(t)]}} = \underbrace{\frac{1}{\sqrt{L(C_0 + C + CA_0)}}}_{w_0 \text{ ثابت}} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{CA_1}{C_0 + C + CA_0} f(t)}}$$

قلم
HAJIHOSEINI.IR

$$\begin{cases} \dfrac{1}{\sqrt{1+x}} \simeq 1-\dfrac{1}{2}x \\ x \ll 1 \end{cases}$$

اگر در هنگام طراحی داشته باشیم $\dfrac{C A_1}{C_0+C+C A_0} \ll 1$ آنگاه:

$$\omega_i(t) = \omega_0 \left[1 - \frac{1}{2} \frac{C A_1}{C_0+C+C A_0} f(t)\right]$$

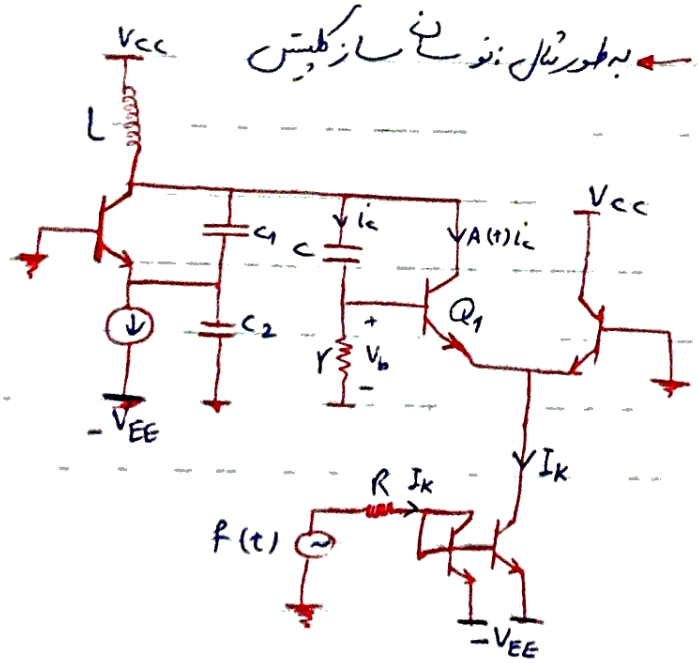
↳ فرکانس لحظه‌ای نوسان‌ساز (وقتی پیام اعمال است.)

$$\Delta\omega = \frac{1}{2} \frac{\omega_0 C A_1}{C_0+C+C A_0}$$

معنی در پیام در نظر گرفته می‌شود.

مدار عملی

ابتدا یک نوسان‌ساز نیاز داریم. ← به طور مثال نوسان‌ساز کلپیتس



باید مشخص کنیم $A(t)$ چیست.

$$V_b = i_c r$$

$$i_{c,Q_1} = A(t)\, i_c = g_{md} V_b = g_{md} r\, i_c$$

$$A(t) = g_{md} = \frac{I_k/4}{V_T}$$

$$I_k = \frac{f(t) - V_{BE(on)} + V_{EE}}{R} = \frac{V_{EE} - V_{BE(on)}}{R} + \frac{f(t)}{R} = I_{k_0} + I_{k_1} f(t)$$

$$\rightarrow A(t) = g_{md} r = \underbrace{\frac{r}{4V_T} I_{k_0}}_{A_0} + \underbrace{\frac{r}{4V_T} I_{k_1}}_{A_1} f(t)$$

فرکانس مدار

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L\left[C_1 \| C_2 + C + C A_0\right]}}$$

$$\Delta\omega = \frac{1}{2} \frac{\omega_0 C A_1}{C_0+C+C A_0}$$

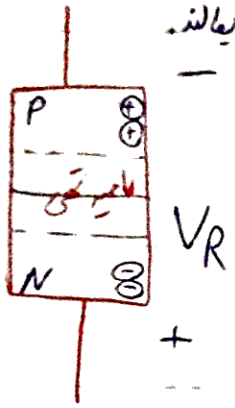
شرط

$$\frac{C A_1}{C_0+C+C A_0} \ll 1$$

قلم
HAJIHOSEINI.IR

طراحی مدولاتور FM با خازن متغیر با ولتاژ

نیاز به بورکتور می باشد که پیوند PN بایاس معکوس می توانند این نقش را ایفا کنند.



خازن پیوند در بایاس صفر → C_{j0}

مقدار متغیر با ولتاژ

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1+\frac{V_R}{V_\gamma}}}$$: برای بایاس معکوس

V_γ ← حدود 0.7 روشن شدن

مقدار ثابت

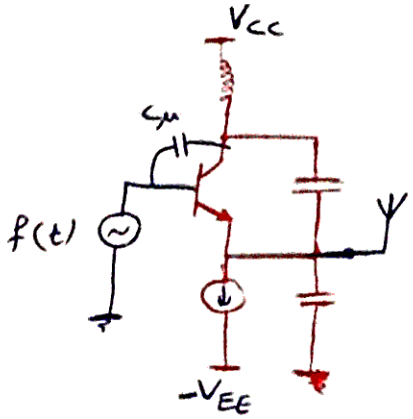
$$C_j \simeq 2C_{j0}$$: برای بایاس مستقیم

C_M

بورکتور را می توان از بازار تهیه کرد اما در ترانزیستوری در ناحیه فعال یک بورکتور می باشد ← پیوند بین کلکتور

بنابراین نیازی به بورکتور جداگانه نیست و یک نوسان ساز را براحتی می توان به مدولاتور FM تبدیل کرد.

مثال) تبدیل نوسان ساز کلپیتس به مدولاتور FM



استاد: آنتن یعنی 30cm سیم !!!!!

single Transmitter

FM Transmitter

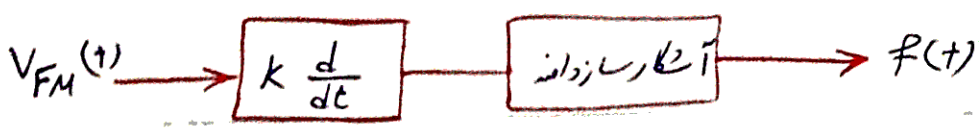
فصل نهم: آشکارسازهای FM

اگر از سیگنال FM مشتق بگیریم دیگر از فرکانس به دامنه منتقل می شود.

$$V_{FM}(t) = A\sin\left[\omega_0 + \Delta\omega \int f(t)\,dt\right]$$

$$\frac{dV_{FM}(t)}{dt} = A\left(\omega_0 + \Delta\omega f(t)\right)\cos\left[\omega_0 + \Delta\omega \int f(t)dt\right]$$

در نتیجه برای آشکارسازی سیگنال FM می توان از آشکارساز دامنه استفاده کرد.



قلم
HAJIHOSEINI.IR

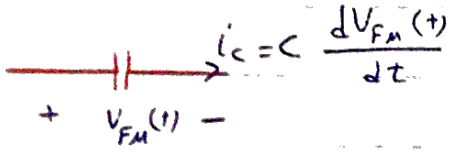
آشکارساز دامنه نمی‌تواند از نوع سنکرون باشد و فقط باید از نوع متوسط‌گیر یا پیک‌گیر باشد.

تفاوت آشکارسازهای FM در نحوه مشتق‌گیری است.

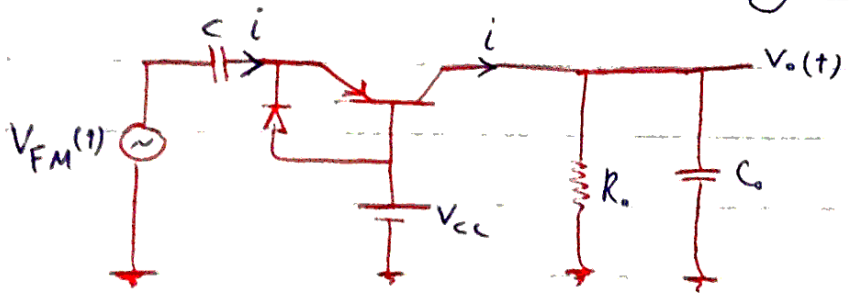
سه راه اصلی وجود دارد:

1) مشتق‌گیری با خازن
2) مشتق‌گیری در حوزه فرکانس
3) مشتق‌گیری با تأخیر زمانی

مشتق‌گیری با خازن



مثال) آشکارساز کلارک هس



تفاوت با نوع AM

1) مقاومت R حذف شده
2) خازن C، خازن کوپلاژ نیست بلکه خازن مشتق‌گیر است. (مقدار کمتری دارد)

$$\begin{cases} i = C \frac{d}{dt} V_{FM}(t) = CA(\omega_0 + \Delta\omega f(t)) \cos[\omega_0 + \Delta\omega \int f(t)dt] \\ \frac{1}{C\omega_0} \gg \frac{1}{g_m} \end{cases}$$

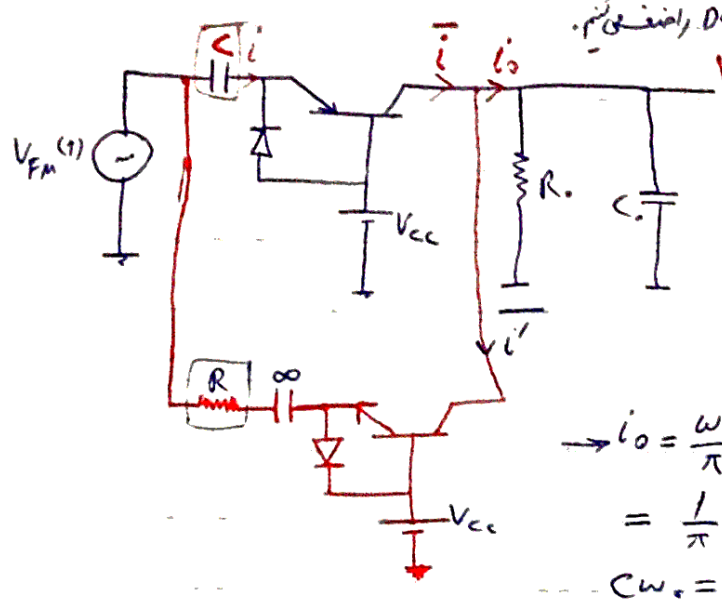
$$\bar{i} = \frac{1}{\pi} CA[\omega_0 + \Delta\omega f(t)] \longrightarrow V_o(t) = R_o \times \bar{i}$$

HAJIHOSEINI.IR

مشکل: $\Delta w \ll w_0$ است و یا م در مقایسه با بعد اچیز است.

$\left(\frac{\Delta w}{w_0} \simeq 0.005 \quad \text{مقدار عملی}\right)$

با قرار دادن یک آشکارساز دامنه مقدار DC را حذف می‌کنیم.



$$i' = \frac{1}{\pi}\frac{1}{R}A$$

$$i_0 = \bar{i} - \bar{i'}$$

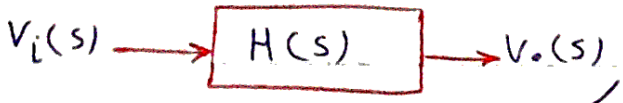
$$= \frac{1}{\pi} CA\left[w_0 + \Delta w f(t)\right] - \frac{1}{\pi}\frac{1}{R}A$$

$$\rightarrow i_0 = \frac{w_0}{\pi} CA - \frac{1}{\pi}\frac{1}{R}A + \frac{1}{\pi} CA\,\Delta w\, f(t)$$

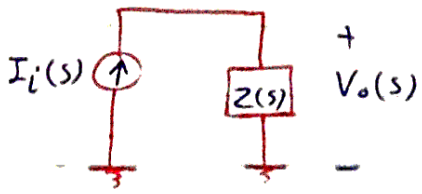
$$= \frac{1}{\pi} A\left[Cw_0 - \frac{1}{R}\right] + \frac{1}{\pi} CA\,\Delta w f(t)$$

$$Cw_0 = \frac{1}{R} \rightarrow \boxed{w_0 = \frac{1}{RC}}$$

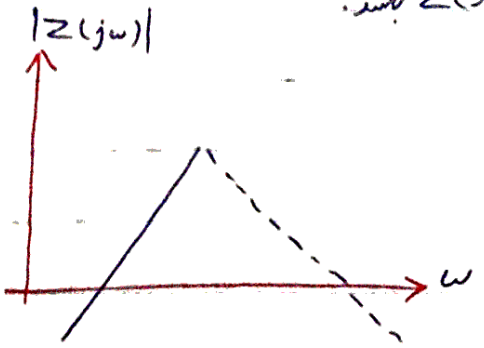
مشتق‌گیری در حوزه فرکانس



اگر بخواهیم $V_0(t)$ مشتق $V_i(t)$ باشد لازم است که: $H(s) \propto s$

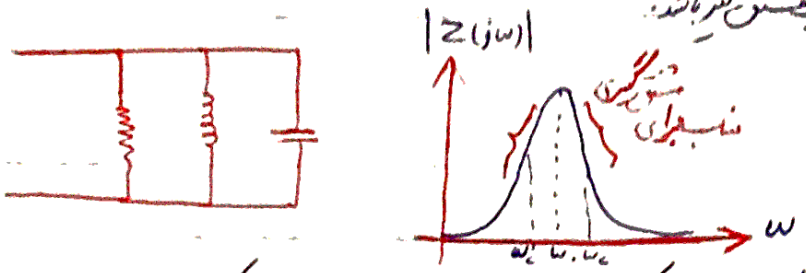


برای مشتق‌گیری لازم است که $Z(s) \propto s$ باشد.

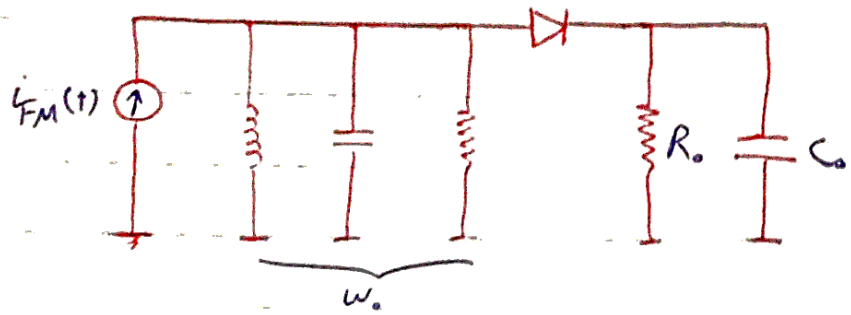


قلم
HAJIHOSEINI.IR

یک مدار RLC می‌تواند یک مشتق‌گیر باشد.



با یک تغییر کوچکی می‌توان آشکارساز پیک‌پویش را به آشکارساز FM تبدیل کرد.



$$i_{FM}(t) = I_1 \cos[w_c + \Delta w \int f(t)dt]$$

در نوع AM، مدار تشدید قبل از دیود تنظیم روی فرکانس کریر بود.

در نوع FM فرکانس کریر نباید با فرکانس تشدید برابر باشد تا مشتق‌گیری انجام شود.

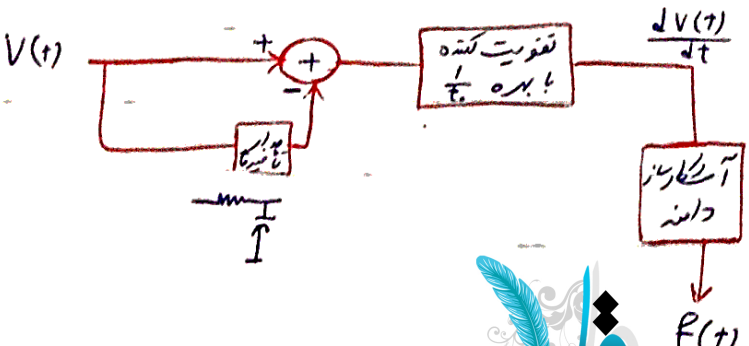
برای مشتق‌گیری خوب: (اثبات در کلاس)

$$\begin{cases} w_0 = w_c \pm \frac{\alpha}{\sqrt{2}} \\ 2\alpha \gg \frac{100}{3}\Delta w \end{cases}$$

$$V_0(t) = I_1 R \sqrt{\frac{2}{3}}\left[1 \pm \frac{f(t)}{25\sqrt{2}}\right]$$

مشتق‌گیری با تأخیر زمانی

$$\frac{dV(t)}{dt} = \lim_{t_0 \to 0} \frac{V(t) - V(t-t_0)}{t_0}$$



HAJIHOSEINI.IR