سیستم های فیزیکی - کاردانی الکترونیک

صفحه

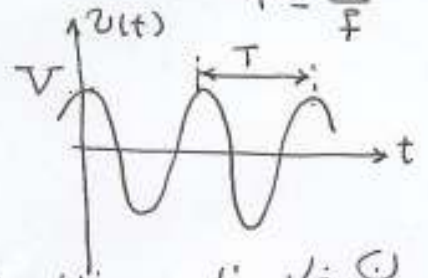
۱- حوزه زمان و فرکانس ۱
۲- مدولاسیون ۴
۳- سیستم های فیزیکی آنالوگ ۷
۴- فیلترها ۱۴
۵- اسیلاتورها ۱۵
۶- ضرب کننده های آنالوگ ۱۶
۷- گیرنده سوپرهترودین ۱۹
۸- مدولاسیون های زاویه ای ۲۲
۹- PLL ۲۶
۱۰- مدولاسیون های دیجیتال ۴۲
۱۱- عملیات انتگرال ۴۰

از: مولائی (آموزشکده شمسی پور تهران)

سیستم های مخابراتی

حوزه زمان و حوزه فرکانس

برای نمایش امواج در حوزه زمان، یک موج سینوسی به صورت $v(t)=V\cos(2\pi ft+\phi)$ دارای دامنه V، فرکانس f ($\omega=2\pi f$) و با شروع ϕ را در نظر می‌گیریم. با یک اسیلوسکوپ می‌توان شکل موج را در حوزه زمان بررسی کرد.



چنانچه تعداد امواج سینوسی که با هم ترکیب می‌شوند، بیشتر گردد، پیچیدگی شکل موج بیشتر می‌شود و برای بررسی دقیق‌تر شکل موج نیاز به بررسی در حوزه فرکانس است. در حوزه فرکانس، طیف امواج تشکیل دهنده موج مشخص می‌شود. طیف امواج در حوزه فرکانس یا "طیف فرکانسی" را می‌توان با استفاده از اسیلوسکوپ آنالایزر یا اسپکترم آنالایزر مشاهده و بررسی کرد.

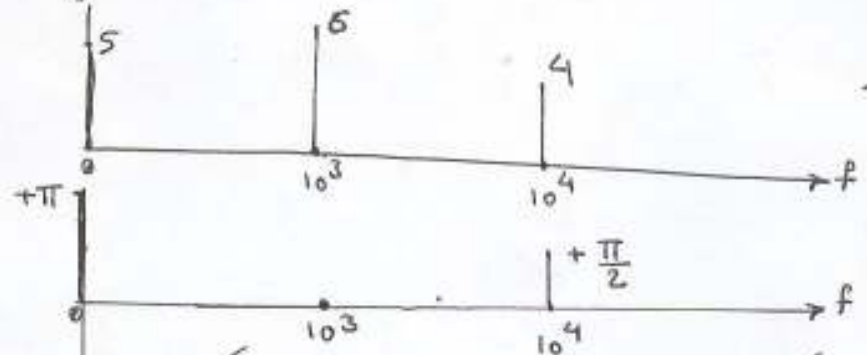
جهت نمایش سیگنال در حوزه فرکانس نیاز به دو نمودار مقدار و فاز می‌باشد که محور افقی هر دو فرکانس می‌باشد. برای نمایش سیگنال سعی می‌کنیم تا شکل را به صورت $V\cos(2\pi f_1 t+\phi)$ درآوریم تا نمایش آن به صورت "طیفی" در حوزه فرکانس میسر گردد.

مثال ۱) سیگنال $v(t)=6\cos 2\pi 10^3 t+4\sin 2\pi 10^4 t-5$ را در حوزه فرکانس به صورت طیفی نمایش دهید.

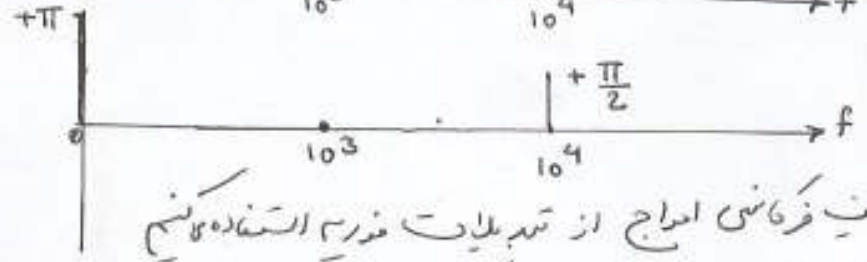
$$v(t)=6\cos 2\pi 10^3 t+4\cos\left(2\pi 10^4 t+\frac{\pi}{2}\right)+5\cos(\cdot t+\pi)$$

(یادآوری: $-\cos\alpha=\cos(\alpha+\pi)$, $\sin\alpha=\cos(\alpha+\frac{\pi}{2})$)

حوزه فرکانس: نمودار مقدار



نمودار فاز

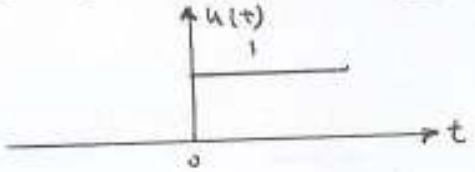


برای بدست آوردن شکل طیفی امواج از تبدیلات فوریه استفاده می‌کنیم. توابع پریودیک (متناوب) دارای سری فوریه و توابع غیر پریودیک دارای تبدیل فوریه هستند.

تعریف تابع ضربه واحد (دیراک یا دلتا یا ایمپالس) δ

$$u(t)=\begin{cases}1 & t\geq 0\\ 0 & t<0\end{cases}$$

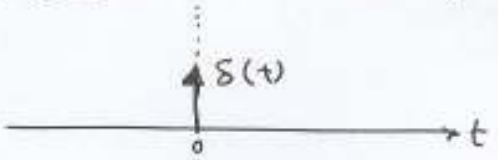
تابع پله واحد



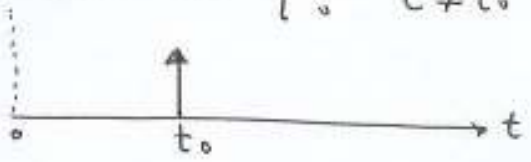
تابع ضربه واحد $\delta(t)$ مشتق تابع پله واحد $u(t)$ می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\delta(t) = \begin{cases} 1 & t=0 \\ 0 & t\neq 0 \end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t)\,dt = 1$$



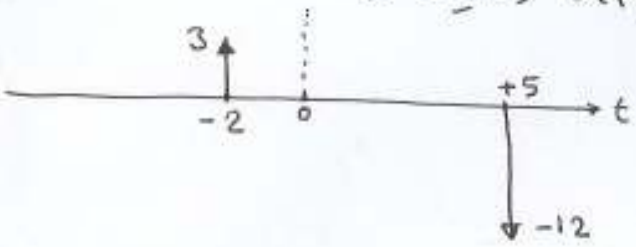
$$\delta(t-t_0) = \begin{cases} 1 & t=t_0 \\ 0 & t\neq t_0 \end{cases}$$



$$A\,\delta(t+t_1) = \begin{cases} A & t=-t_1 \\ 0 & t\neq -t_1 \end{cases}$$

مثال: تابع $v(t) = 3(\delta(t+2) - 4\delta(t-5))$ را رسم کنید.

$$v(t) = 3\delta(t+2) - 12\delta(t-5)$$



تبدیل فوریه

تبدیل فوریه سیگنال $x(t)$ در حوزه زمان با $X(f)$ در حوزه فرکانس نمایش داده می‌شود:

$$V(f) = \mathcal{F}[v(t)] \quad , \quad X(f) = \mathcal{F}[x(t)]$$

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\cdot e^{-j2\pi ft}\,dt = |X(f)|\cdot e^{j\angle X(f)}$$

(نمودار فاز ← $\angle X(f)$، نمودار مقدار ← $|X(f)|$)

تعدادی از تبدیل فوریه‌های مهم:

① $v(t) = 1^V \xleftrightarrow{\mathcal{F}} V(f) = \delta(f)$

② $v(t) = e^{j2\pi f_1 t} \xrightarrow{\mathcal{F}} V(f) = \delta(f-f_1)$

③ $v(t) = e^{-j2\pi f_1 t} \longrightarrow V(f) = \delta(f+f_1)$

با توجه به رابطه $e^{j\theta} = \cos\theta + j\sin\theta$ می‌توان $\cos\theta$ را از رابطه زیر به دست آورید.

$$\cos\theta = \frac{1}{2}(e^{j\theta} + e^{-j\theta}) \quad , \quad \sin\theta = \frac{1}{2j}(e^{j\theta} - e^{-j\theta}) \qquad \text{(فرمول اویلر)}$$

از ملزومی با توجه به خاصیت خطی بودن تبدیل فوریه می‌توان نوشت:

$$v(t) = A\cos 2\pi f_1 t = \frac{A}{2}(e^{j2\pi f_1 t} + e^{-j2\pi f_1 t})$$

↓ تبدیل فوریه

$$V(f) = \frac{A}{2}\delta(f-f_1) + \frac{A}{2}\delta(f+f_1)$$

یعنی تبدیل فوریه $\cos 2\pi f_1 t$ در حوزه فرکانس به دو تابع ضربه واحد در $+f_1$ و $-f_1$ تبدیل می‌گردد.

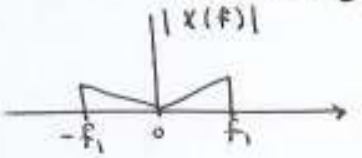
بعضی خواص تبدیل فوریه

۱- خطی بودن: اگر $x(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} X(f)$ و $y(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} Y(f)$ آنگاه تبدیل فوریه $ax(t)+by(t)$ را می‌توان به صورت $aX(f)+bY(f)$ نوشت.

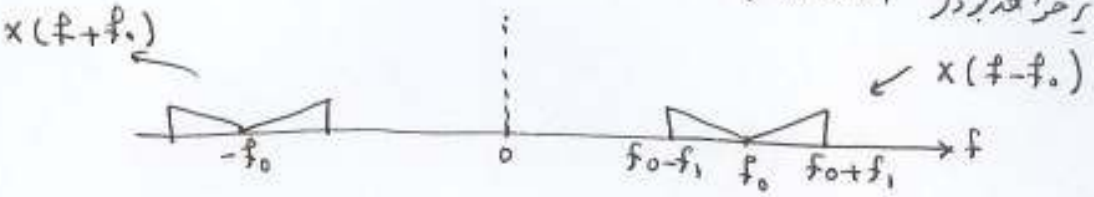
۲- خاصیت جابجایی: اگر $x(t) \xrightarrow{\mathcal{F}} X(f)$ باشد آنگاه

$$x(t)\cos 2\pi f_1 t \xrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{2}\left[X(f-f_1)+X(f+f_1)\right]$$

یعنی اگر تبدیل فوریه $x(t)$ در حوزه فرکانس شکل پیوسته زیر در حوزه فرکانس باشد



چنانچه $x(t)$ را در حوزه زمان در $\cos 2\pi f_0 t$ ضرب کنیم شکل طیف فرکانسی سیگنال $x(t)\cos 2\pi f_0 t$ به صورت زیر خواهد بود ($f_0 \gg f_1$)



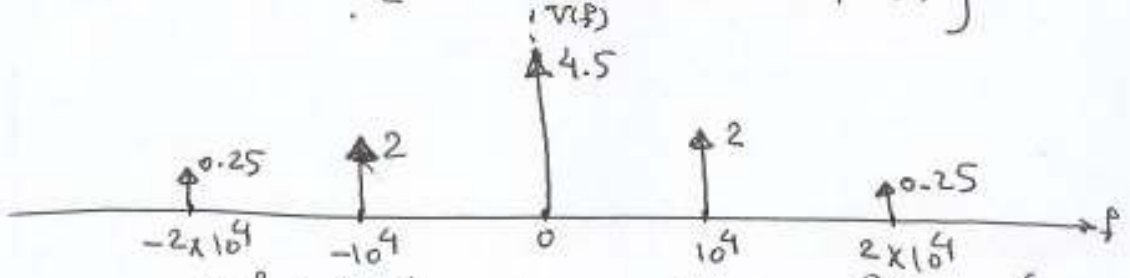
یادآوری:

$$\left.\begin{aligned}\cos(a+b)&=\cos a\cdot\cos b-\sin a\cdot\sin b\\ \cos(a-b)&=\cos a\cdot\cos b+\sin a\cdot\sin b\end{aligned}\right\}\rightarrow \cos a\cdot\cos b=\frac{1}{2}\left[\cos(a+b)+\cos(a-b)\right]$$

$$\cos^2 a=\frac{1}{2}(1+\cos 2a)$$

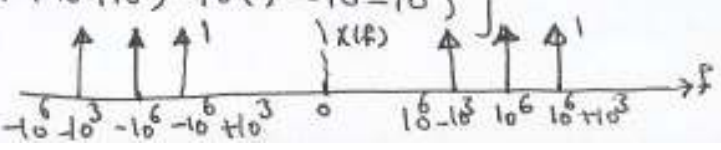
مثال) تابع $v(t)=(2+\cos 2\pi 10^4 t)^2$ را در حوزه فرکانس رسم کنید.

$$v(t)=2^2+(\cos 2\pi 10^4 t)^2+2(2)\cos 2\pi 10^4 t$$
$$v(t)=4+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\cos 2\pi 2\times 10^4 t+4\cos 2\pi 10^4 t$$
$$v(t)=4.5\cos 0t+0.5\cos 2\pi 2\times 10^4 t+4\cos 2\pi 10^4 t$$
$$V(f)=4.5\,\delta(f)+\frac{0.5}{2}\left[\delta(f-2\times 10^4)+\delta(f+2\times 10^4)\right]+\frac{4}{2}\left[\delta(f-10^4)+\delta(f+10^4)\right]$$



مثال) تابع $x(t)=\left[2+4\cos 2\pi 10^3 t\right]\times\cos 2\pi 10^6 t$ را در حوزه فرکانس رسم کنید.

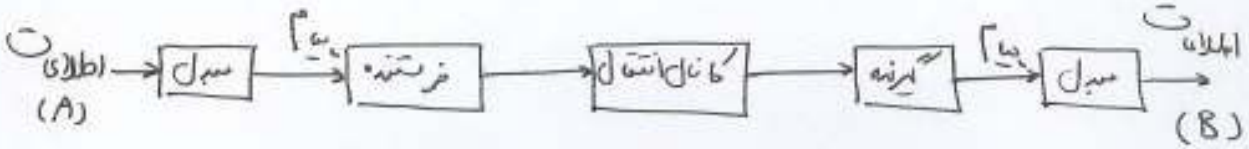
$$x(t)=2\cos 2\pi 10^6 t+4\cos 2\pi 10^6 t\times\cos 2\pi 10^3 t$$
$$x(t)=2\cos 2\pi 10^6 t+2\cos 2\pi(10^6+10^3)t+2\cos 2\pi(10^6-10^3)t$$
$$X(f)=\left[\delta(f+10^6)+\delta(f-10^6)\right]+\left[\delta(f+10^6+10^3)+\delta(f-10^6-10^3)\right]+\left[\delta(f+10^6-10^3)+\delta(f-10^6+10^3)\right]$$



سیستم های مخابراتی - مدولاسیون (Modulation)

هدف از یک سیستم مخابراتی ارسال اطلاعات از نقطه ای به نقطه دیگری باشد، اطلاعات می تواند صوت، تصویر، متن، داده و ... باشد. برای اینکه اطلاعات توسط سیستم های الکترونیکی منتقل گردد لازم است که اطلاعات را به شکل الکتریکی (آنالوگ یا دیجیتال) تبدیل کنیم که شکل الکتریکی اطلاعات را پیام (Message) می گوییم و عمل تبدیل اطلاعات به پیام توسط مبدل ها مثلاً صوت توسط میکروفون به پیام الکتریکی تبدیل می گردد.

عناصر یک سیستم مخابراتی



انواع سیستم مخابراتی از نظر جهت انتقال اطلاعات

۱- یکطرفه (Simplex): در این سیستم نقطه A همیشه ارسال کننده اطلاعات و B همیشه دریافت کننده اطلاعات می باشد و از طرف A به طرف B همیشه جهت اطلاعات ارسال می گردد به هیچ وجه از B به A اطلاعاتی ارسال نمی گردد مثل سیستم های فرستنده و گیرنده تلگرافی یا برنامه های تلویزیونی و رادیویی موجود.

۲- دو طرفه (DUPLEX): در این سیستم جهت انتقال اطلاعات دو طرفه می باشد که چنانچه انتقال اطلاعات به صورت همزمان باشد به آن دو طرفه کامل (FULL-duplex) یا ارتباط سنکرون و در صورتیکه انتقال اطلاعات در هر دو طرف به صورت غیرهمزمان انجام گیرد دو طرفه ناقص (HALF-Duplex) یا ارتباط آسنکرون می گویند.

در بسیاری از سیستم های مخابراتی جهت ایجاد سازگاری بین پیام و مشخصات کانال انتقال مجبور به تغییر شکل پیام در فرستنده هستیم که این عمل را مدولاسیون و سیستم هایی که این عمل را انجام می دهند به عنوان مدولاتور می شناسیم و جهت بازیابی پیام در بخش گیرنده نیاز به عمل دمدولاسیون و سیستم دمدولاتور داریم.

از آنجائیکه پیام به شکل پیوسته (آنالوگ) و داده ها دیجیتالی می توانند باشد و نوع سیگنال حامل (carrier) کاملاً بستگی به نوع کانال انتقال دارد، سیستم های مخابراتی را میتوان از نظر نوع پیام و نوع کانال انتقال (کریر) به صورت جدول زیر تقسیم بندی کرد.

معمولاً کانال های انتقال باندهای باند زیاد میتوانند به عنوان کانال های انتقال دیجیتال یا کریر دیجیتال در نظر گرفته شوند.

نوع پیام	نوع کدر (کانال انتقال)	نوع سیستم مخابراتی	مثال
۱- آنالوگ	آنالوگ (پیوسته)	آنالوگ (C.W.)	FM, AM و ...
۲- دیجیتال	آنالوگ	پالسی	PSK, FSK و ...
۳- آنالوگ	دیجیتال	دیجیتال	PWM, PCM و ...
۴- دیجیتال	دیجیتال	دیجیتالی خوشمند - شبکه ها	LAN, ...

سیستم های مخابراتی آنالوگ اولین سیستم های مخابراتی مورد استفاده بشر بوده است که به سیستم های کدر پیوسته (C.W.) یا continues wave نیز موسوم است. از آنجائیکه کانال انتقال می تواند انواع مختلفی داشته باشد دو نوع معمول آن محیط سیمی (wired) و محیط بی سیم (wireless) که در حالت بی سیم غالباً از امواج الکترومغناطیس استفاده می گردد نام برد.

در سیستم های مخابراتی آنالوگ در محیط سیمی می توان به سیستم های تلفن شهری جهت ارتباط افراد با کلیدگیر اشاره نمود که در آغاز استفاده از پرهای بافته شده جهت ارتباط بوده است. همچنین برای سیستم های تجاری ارسال صوت و تصویر از سیستم های مخابرات آنالوگ استفاده شده است.

با پیدایش اطلاعات دیجیتالی و لزوم استفاده از کانال انتقال موجود در آن زمان، نیاز به انتقال سیگنال های دیجیتالی از کانال های انتقال با پهنای باند کم (آنالوگ) مورد توجه قرار گرفت که مدولاتورهای FSK و PSK که در آن در حالت "0" و "1" به فرکانس های آنالوگ در محدوده پهنای باند کانال انتقال تبدیل و ارسال می شده است می توان اشاره نمود.

با عرضه خطوط انتقال با پهنای باند زیاد و عدم محدودیت بشر در استفاده از کانال های انتقال، بشر را به سمت تبدیل پیام آنالوگ به دیجیتال و انتقال آن واداشت که مدولاتورهای PCM از آن نوعند. با فراگیر شدن کامپیوتر و لزوم ارتباطات کامپیوترها و انتقال داده ها از خطوط انتقال بحث شبکه های دیجیتالی یا شبکه های کامپیوتری بعنوان سیستم های جدید فراگیر مخابراتی مطرح و پیشرفت سریعی در بر داشته است. بطوریکه علاوه بر ارتباط کامپیوترها در این شبکه ها دیگر سیستم های مخابراتی نیز به سمت استفاده از این شبکه ها در حال تغییر ساختاری می باشند و با توجه به استفاده از نرم افزار در کنار سیستم های ارتباطی به عنوان شبکه های هوشمند در حال توسعه و استفاده هستند.

سیستم های مخابرات آنالوگ

در این سیستم ها پیام آنالوگ به صورت $v_m(t) = V_m \cos 2\pi f_m t$ که اندیس m بیانگر پیام (message) بر کمیت آنالوگ به صورت $v_c(t) = V_c \cos 2\pi f_c t$ با اندیس c بیانگر کریر (carrier) تأثیر گذاشته و ارسال می گردد. علت های استفاده از مدولاسیون و تغییر شکل پیام در مخابرات جایی سیستم های مخابرات آنالوگ را می توان به شرح ذیل بیان نمود:

۱- طول عملی آنتن:

جهت انتقال پیام به کمک امواج الکترومغناطیس نیاز به آنتن جهت ارسال و دریافت در نقطه مقابل داریم و طول موثر آنتن نسبت مستقیم با طول موج (λ) سیگنال ارسالی یا دریافتی توسط آنتن دارد از آنجایی که $\lambda = \frac{v}{f}$ که در آن v سرعت انتشار امواج الکترومغناطیس (حدوداً 3×10^8 m/s) یا سرعت نور و f فرکانس سیگنال می باشد، فرض کنید که تصمیم به ارسال فرکانس 1 KHz از طریق آنتن را داریم. در این صورت $\lambda = \frac{3\times10^8}{1\times10^3}$ یا $\lambda = 3\times10^5$ m یا سیصد هزار کیلومتر می باشد چنانچه از آنتن هایی با طول موثر مثلاً $\frac{\lambda}{10}$ استفاده کنیم در این صورت نیاز به داشتن آنتنی با طول 30 K.m (سی کیلومتر)!؟! داریم که همین طول آنتن در جهت گیرنده نیز باید رعایت گردد که عملاً غیرممکن و نشدنی است.

لذا با انتقال پیام به فرکانس های بالاتر مثلاً به فرکانس 10 MHz می توانیم $\lambda = \frac{3\times10^8}{10\times10^6}$ یا $\lambda = 30^m$ یا $\frac{\lambda}{10} = 3^m$ (سه متر) طول آنتن معقولی جهت ارسال و دریافت داشته باشیم.

۲- استفاده بهینه از پهنای باند

به کمک مدولاسیون می توانیم با تخصیص فرکانس حامل متفاوت به ایستگاه های مختلف، امکان وجود ایستگاه های متعدد در یک محیط را داشته باشیم.

۳- غلبه بر نویز

جهت مقابله با نویز و غلبه بر نویز می توان به کمک مدولاسیون این عمل را انجام داد.

۴- مالتی پلکس نمودن

به کمک مالتی پلکس می توان فرآیند ترکیب چند پیام برای انتقال همزمان روی یک کانال را مورد استفاده قرار داد و این عمل را در دو محیط کانال انتقال سیمی (TDM) و بی سیم (FDM) انجام داد.

در صورتیکه کریر (حامل) که یک موج پیوسته است بصورت $V_c \cos(2\pi f_c t + \varphi)$ در نظر گیریم، پیام می‌تواند بر روی دامنه (V_c)، فرکانس (f_c) و یا فاز (φ) کریر تأثیر گذارد. چنانچه دامنه کریر متناسب با حضور پیام تغییر کند، مدولاسیون حاصل را دامنه A.M. (Amplitude Modulation) و اگر فرکانس کریر متناسب با حضور پیام تغییر کند، مدولاسیون F.M. (Frequency Mod.) و اگر فاز کریر متناسب با حضور پیام تغییر کند، مدولاسیون فاز یا P.M. مشهورند. که دو مدولاسیون اخیر یعنی F.M. و P.M. به عنوان مدولاسیونهای غیرخطی یا زاویه‌ای نیز نامیده می‌شوند.

در ادامه به بررسی، نحوه تولید، نحوه بازیابی پیام (آشکارسازی)، شکل موج سیگنال مدوله شده در حوزه زمان و فرکانس، پهنای باند مورد نیاز، توان ارسالی و دیگر نکات سیستم‌های مخابرات آنالوگ می‌پردازیم.

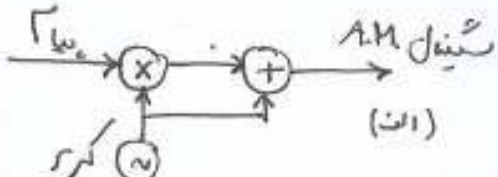
سیستم‌های مخابرات آنالوگ

۱- خطی (دامنه)
- AM استاندارد (AM-FC)
- DSB (با باند جانبی دوگانه) Double side Band (AM با کریر حذف شده)
- SSB (با باند جانبی تکی) single side Band
- V.S.B. (با باند جانبی اضافی)

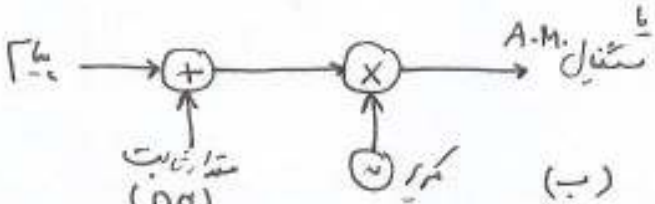
۲- غیرخطی (زاویه)
- F.M. (فرکانسی) Freq. Mod.
- P.M. (فازی) phase Mod.

مدولاسیون AM استاندارد:

سیستم تولید AM:



$$x_{AM}(t) = (\text{پیام} \times \text{کریر}) + \text{کریر}$$

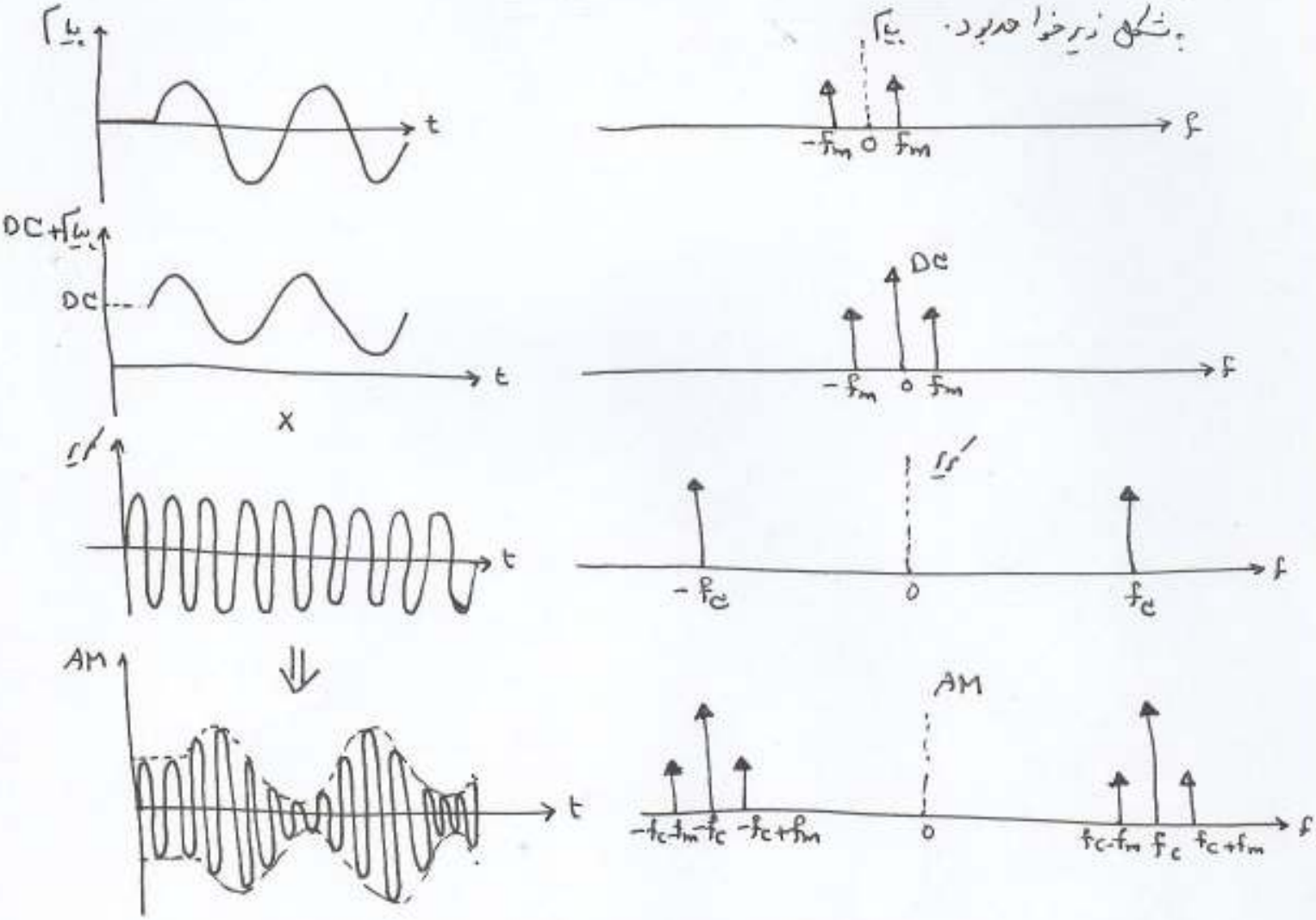


$$x_{AM}(t) = (\text{پیام} + K) \times \text{کریر}$$

شکل ریاضی سیگنال AM در حوزه ی t به شکل کلی زیر می باشد.

$$x_{AM}(t) = K(1 + M\cos w_m t)\cdot \cos w_c t$$

که در آن K دامنه سیگنال کریر بدون اعمال پیام در حوزه ی t و M ضریب مدولاسیون که همیشه $M \geq 1$ و $\cos w_m t$ پیام، $\cos w_c t$ کریر می باشد. شکل AM در حوزه ی زمان و فرکانس به شکل زیر خواهد بود.



$$x_{AM}(t) = K\cdot\cos w_c t + \frac{K\cdot M}{2}\cos(w_c + w_m)t + \frac{K\cdot M}{2}\cos(w_c - w_m)t$$

کریر — سایدباند بالا — سایدباند پائین

همانطور که در شکل سیگنال AM در حوزه ی زمان مشاهده گردید دامنه کریر متناسب با حضور سیگنال پیام (دامنه و فرکانس پیام) تغییر نموده و پیک های کریر در سیگنال AM که حاوی اطلاعات پیام می باشد اصطلاحاً "پوش" گفته می شود. در حوزه فرکانس سیگنال AM شامل کریر و پیام انتقال یافته به فرکانس بالاتر و همزمان سایدباند بالا و سایدباند پائین ظاهر می گردد.

پهنای باند مورد نیاز جهت ارسال سیگنال پیام با فرکانس f_m برابر است با Bandwidth

$$B.W. = f_{max} - f_{min} = (f_c + f_m) - (f_c - f_m) = 2f_m$$

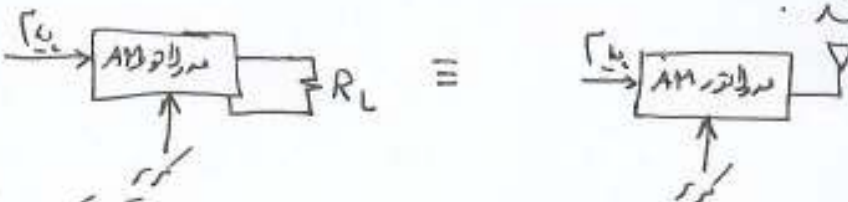
یعنی برای ارسال فرکانس پیام با فرکانس مثلاً 10 kHz نیاز به پهنای باند دو برابر یعنی 20 kHz در سیستم مدولاسیون AM داریم.

توان ارسالی و راندمان

به طور کلی توان ac سینوسی به صورت $A\cos\omega t$ در مقاومت R به صورت :

$$P_{ac} = \frac{v_e^2}{R} = \frac{(V/\sqrt{2})^2}{R} = \frac{V^2}{2R}$$

که V همان دامنه در سینوسی می باشد. ($V=A$) از آنجائیکه خروجی مدولاتور AM در نهایت از طریق آنتن متصل شده به مدولاتور ارسال می گردد، آنتن متصل شده به مدولاتور دارای مقاومتی (امپدانسی) به میزان مشخص می باشد.



سیگنال AM دارای سه مولفه کریر، سایدباند بالا و سایدباند پائین می باشد که رابطه توان به صورت :

$$x_{AM}(t) = K.\cos\omega_c t + \frac{K.m}{2}\cos(\omega_c+\omega_m)t + \frac{K.m}{2}\cos(\omega_c-\omega_m)t$$

$$P_t = P_c + P_{USB} + P_{L.S.B}$$

توان کل = توان کریر + توان سایدباند بالا + توان سایدباند پائین

$$P_t = \frac{K^2}{2R_L} + \frac{K^2.m^2/4}{2R_L} + \frac{K^2.m^2/4}{2R_L}$$

$$P_t = \frac{K^2}{2R_L} + \frac{K^2.m^2}{4R_L} = P_c + P_{SB}$$

$$P_t = P_c + \frac{m^2}{2}P_c = P_c\left(1+\frac{m^2}{2}\right)$$

از آنجائیکه سایدباندها حامل اطلاعات و مفید محسوب می گردند تعریف راندمان به صورت زیر میباشد :

$$\text{راندمان } \eta = \frac{\text{توان مفید}}{\text{توان کل}} = \frac{P_{SB}}{P_t} = \frac{\frac{m^2}{2}\cdot P_c}{(1+\frac{m^2}{2})P_c} = \frac{m^2}{2+m^2}$$

از آنجائیکه حداکثر $m=1$ می باشد لذا حداکثر η برابر $\frac{1}{3}$ یا 33٪ می باشد.

$$m_{max}=1 \rightarrow \eta_{max} = \frac{(1)^2}{2+(1)^2} = \frac{1}{3} = \%33$$

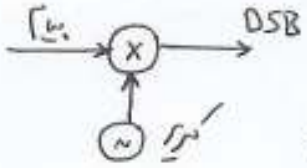
مثال) دکمه فرستنده تلگرافی کریر با توان 400 وات با ضریب مدولاسیون 0.75 ارسال میگردد، مقدار توان کل فرستنده چه مقدار خواهد بود؟

$$P_t = P_c\left(1+\frac{m^2}{2}\right)$$

$$P_t = 400\left(1+\frac{0.75^2}{2}\right) = 512,5 \text{ watt}$$

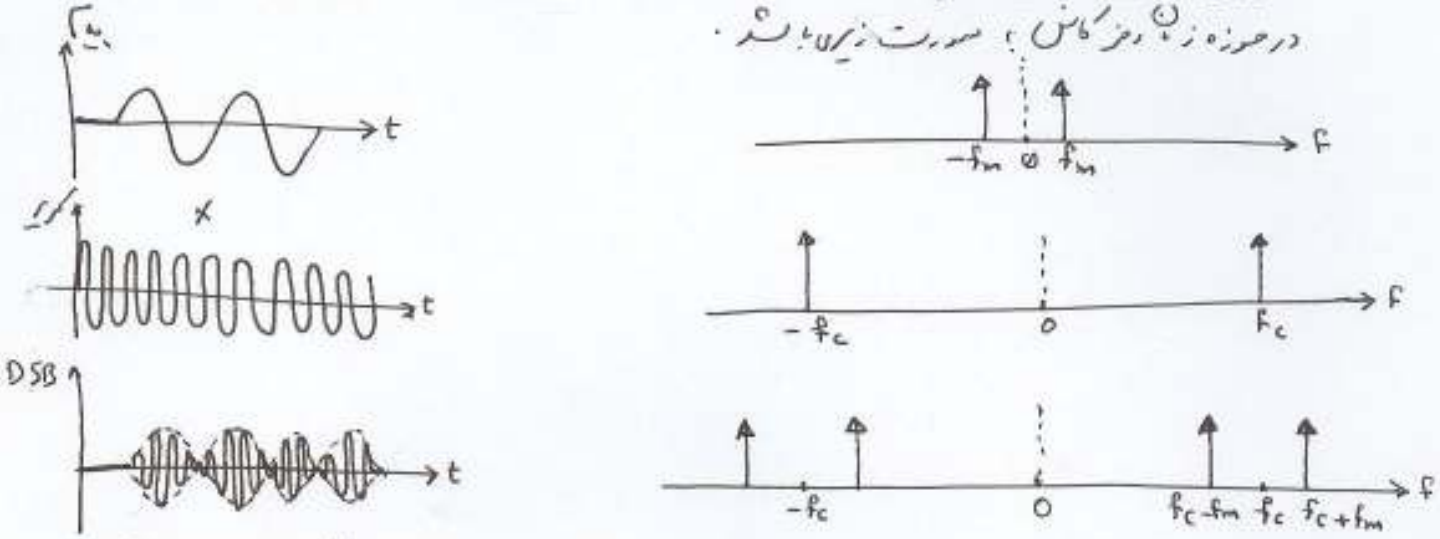
یعنی از توان کل فرستنده 512,5 وات، 400 وات صرف ارسال کریر و باقی صرف ارسال سایدباندها (پیام) می شود و راندمان $\eta = \frac{0.75^2}{2+0.75^2} = \%22$ می باشد.

جهت افزایش راندمان و جلوگیری از ارسال کریر، اقدام به حذف کریر در سیگنال AM می‌نماییم که مدولاسیون AM با کریر حذف شده یا DSB می‌باشد.



$$x_{DSB}(t) = K \cdot \cos\omega_c t \cdot \cos\omega_m t$$

در این نوع مدولاسیون دامنه ضریب مدولاسیون معنا نداشته و شکل موج در حوزه زمان و مکان، مشابه زیر می‌باشد.



$$x_{DSB}(t) = \frac{K}{2}\cos(\omega_c+\omega_m)t + \frac{K}{2}\cos(\omega_c-\omega_m)t$$

سایدباند بالا — سایدباند پائین

$$B.W. = f_{max} - f_{min} = (f_c+f_m) - (f_c-f_m) = 2f_m$$

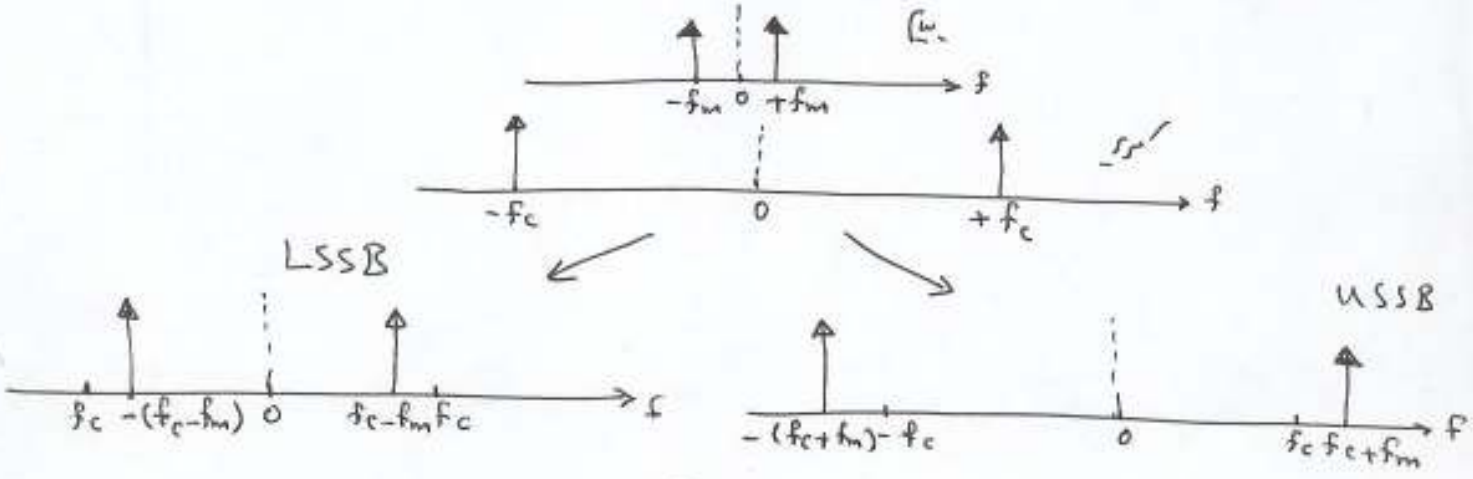
$$P_t = P_{USB} + P_{LSB} \quad , \quad \eta = \frac{P_{SB}}{P_t} = 1 \text{ یا } \%100$$

همچنان می‌توان برای صرفه جویی در توان ارسالی اقدام به ارسال فقط یکی از سایدباندها نمود که در این صورت مدولاسیون SSB بوجود می‌آید که دو نوع SSB با سایدباند بالا یا USSB و SSB با سایدباند پائین (یا LSSB) را می‌توان در محل استفاده نمود.

$$x_{USSB}(t) = K\cdot\cos(\omega_c+\omega_m)t$$

$$x_{LSSB}(t) = K\cdot\cos(\omega_c-\omega_m)t$$

شکل موج SSB در حوزه زمان اطلاعات خاصی را با خود ندارد و در حوزه زمان کاربردی ندارد ولی طیف فرکانسی در حوزه مکان بیانگر SSB و خواص آن می‌باشد.

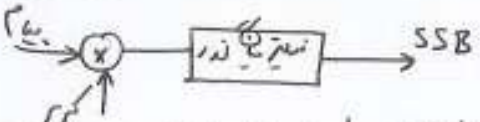


روشهای تولید SSB

تولید SSB به آسانی تولید DSB و AM نیست زیرا برای رسیدن به رابطه $\cos(\omega_c - \omega_m)t$ از پیام گیر

روشهای زیر وجود دارند:

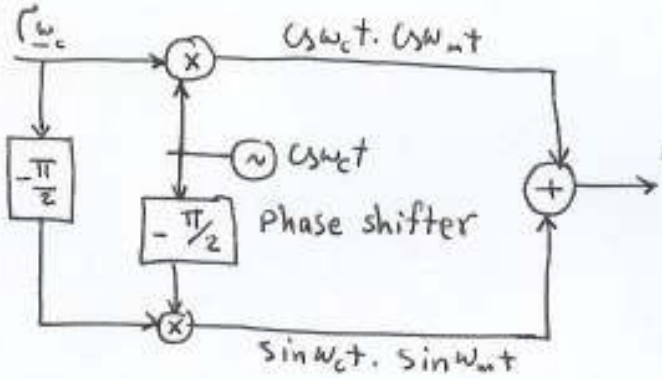
الف) روش فیلتر: در این روش ابتدا سیگنال DSB تولید شده و سپس با قرار دادن یک فیلتر دقیق میان گذر، فقط یکی از باندها عبور می‌کند.



ب) روش فازی: برای رهایی از فیلتر میان گذر دقیق می‌توان با بسط رابطه SSB از سیستم دیگری استفاده کرد.

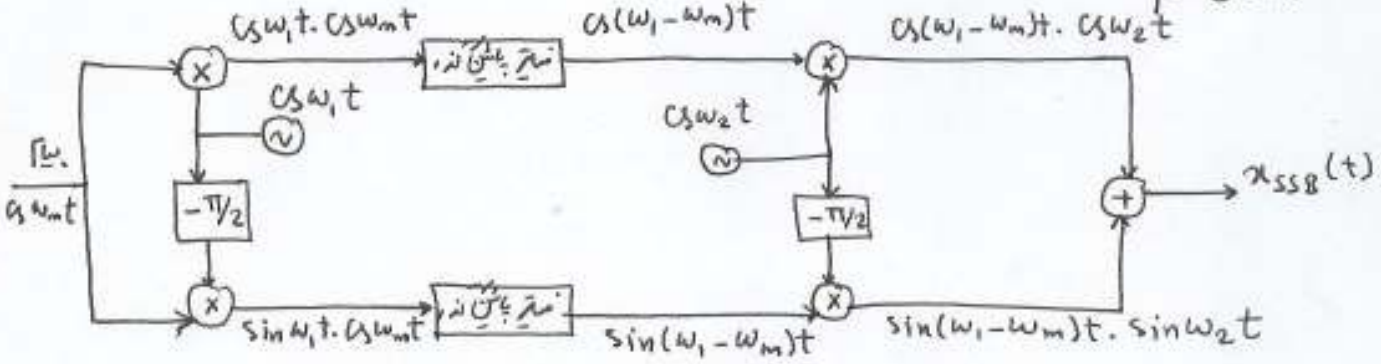
$$x_{LSSB}(t) = \cos(\omega_c - \omega_m)t = \cos\omega_c t.\cos\omega_m t + \sin\omega_c t.\sin\omega_m t$$

, $\sin\alpha = \cos(\alpha - \frac{\pi}{2})$



در این سیستم نیاز به فیلتر دقیق نیست و مدار اختلاف فاز دهنده در یک فرکانس ثابت سیستم ساده‌ای است (اختلاف فاز دهنده در سیگنال کریر) ولی ساخت اختلاف فاز دهنده‌ای که فرکانس آن در حال تغییر است (در سیگنال پیام) نیازمند مدارات پیچیده‌ای است

ج) روش سوم



$$x_{SSB}(t) = \cos(\omega_1 - \omega_m)t.\cos\omega_2 t + \sin(\omega_1 - \omega_m)t.\sin\omega_2 t$$

$$= \cos\left[(\omega_1 - \omega_m) - \omega_2\right]t = \cos\left[(\omega_1 - \omega_2) - \omega_m\right]t$$

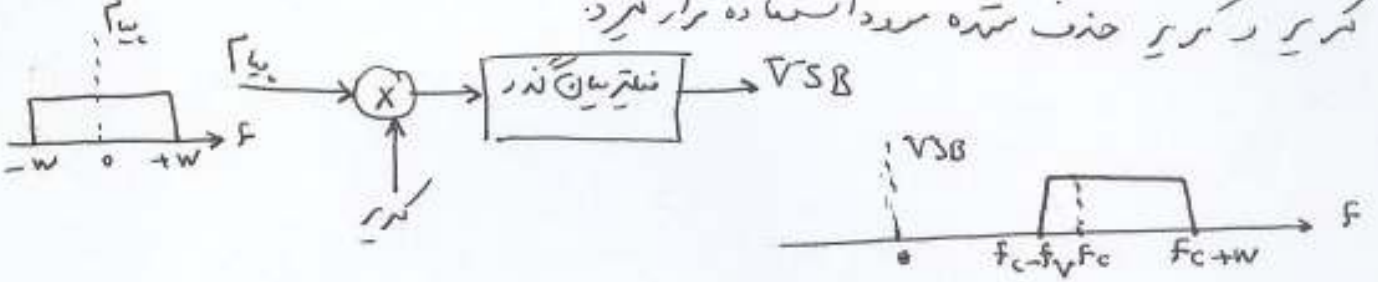
$\omega_c \triangleq \omega_1 - \omega_2$ اختلاف فرکانس ω_1 و ω_2 به عنوان فرکانس کریر فرض می‌کنیم

$$x_{SSB}(t) = \cos(\omega_c - \omega_m)t \quad \text{SSB.}$$

یادآوری: $\cos\alpha.\cos\beta + \sin\alpha.\sin\beta = \cos(\alpha - \beta)$

مدولاسیون VSB

برای ارسال پیامهایی با پهنای باند زیاد همانند تصویر بت کاهش استفاده پهنای باند میتوان از مدولاسیون SSB استفاده نمود، از طرفی فرکانسهای خیلی کم پیام مثل فرکانس صفر در این نوع پیامها بسیار مهم میباشند و در صورت استفاده از SSB احتمال تخریب پیام که منجر به از دست دادن تصویر میگردد، وجود دارد لذا با استفاده از مدولاسیون VSB، پهنای باند از مقدار کمتر هم بیشتر میگردد، و معمولاً در ارسال تصاویر کاربرد دارد و میتواند در صورت وجود فیلتر کریر حذف شده مورد استفاده قرار گیرد.

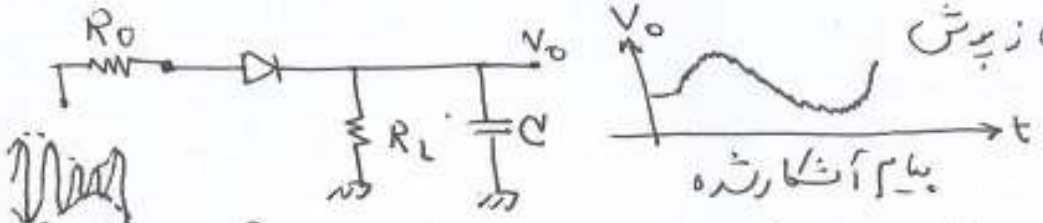


$$W < BW = W + f_v < 2W$$

روشهای دمدولاسیون (آشکارسازی)، مدولاسیونهای دامنه

آشکارسازی مدولاسیونهای AM دو گروه به صورت ۱- پوش (غیر همدوس) و ۲- فازی (همدوس) صورت میگیرد. روش پوش از مدارات ساده‌تر و فقط برای مدولاسیونهای دامنه‌ای امکان پذیر است که دارای کریر (مثل AM استاندارد و VSB+ همراه کریر) باشد، روش آشکارساز فازی از مدارات پیچیده‌تری استفاده می‌کند و برای تمامی انواع مدولاسیونها قابل استفاده می‌شود.

آشکارساز پوش



جهت طراحی آشکارساز پوش می‌بایست سه شرط زیر برقرار باشد

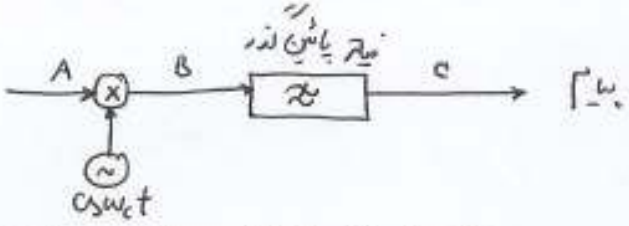
$$T_c = \frac{1}{f_c} \quad \text{کریر}$$

$$T_m = \frac{1}{f_m} \quad \text{پیام}$$

$$\begin{cases} R_0 \cdot C \ll T_c \\ R_L \cdot C \gg T_c \\ R_L \cdot C \ll T_m \end{cases} \qquad C_1 \ll C \ll C_2 \qquad C = \sqrt{C_1 \cdot C_2}$$

که مقدار خازن برای بهترین آشکارسازی از روابط فوق استخراج می‌گردد.

آشکارساز فرودی



$$A: x_{AM}(t) = K(1+m\cos w_m t)\cdot \cos w_c t$$

$$x_B(t) = K(1+m\cos w_m t).\cos w_c t \times \cos w_c t$$

$$= \frac{K}{2}(1+m\cos w_m t) + \frac{K}{2}(1+m\cos w_m t).\cos 2w_c t$$

$$= \frac{K}{2} + \frac{mK}{2}\cos w_m t + \frac{K}{2}\cos 2w_c t + \frac{mK}{4}\cos(2w_c+w_m)t + \frac{mK}{4}\cos(2w_c-w_m)t$$

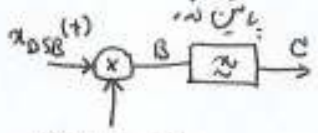
با عبور دادن فیلتر پایین گذر در خروجی (نقطه C) پیام آشکار شده ظاهر می شود.

$$x_c(t) = \frac{K}{2} + \frac{mK}{2}\cos w_m t$$

سیستم فوق را می توان برای DSB، SSB و VSB نیز مورد استفاده قرار داد.

چون نوسان گیرنده تولید شده در فرستنده و گیرنده از یک منبع تولید نمی شوند، لذا احتمال اختلاف فرکانس و فاز بین گیرنده فرستنده و گیرنده وجود دارد.

الف) چنانچه بین گیرنده فرستنده و گیرنده به اندازه ϕ اختلاف فاز داشته باشند



$$B: K\cos w_c t.\cos w_m t \times \cos(w_c t+\phi)$$

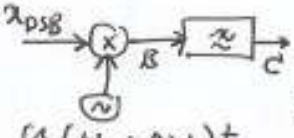
$$= \frac{K}{2}\cos w_m t\left[\cos(2w_c t+\phi) + \cos\phi\right]$$

$$= \frac{K}{2}\cos w_m t.\cos\phi + \frac{K}{2}\cos w_m t.\cos(2w_c t+\phi)$$

$$\boxed{x_c(t) = \frac{K}{2}\cos w_m t.\cos\phi}$$ بعد از فیلتر

پیام آشکار شده با اندازه $\cos\phi$ تضعیف شده اگر $\phi=0$ پیام بدون تضعیف آشکار و چنانچه $\phi=90^\circ$ باشد $\cos\phi=0$ و باعث حذف شدن و آشکار نشدن پیام در خروجی می گردد.

ب) چنانچه بین گیرنده فرستنده و گیرنده به اندازه Δf اختلاف فرکانس داشته باشند



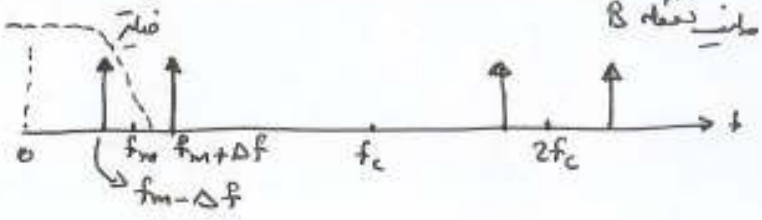
$$B: K\cos w_c t.\cos w_m t \times \cos(w_c+\Delta w)t$$

$$= \frac{K}{2}\cos w_m t\left[\cos(2w_c+\Delta w)t + \cos\Delta w t\right]$$

$$= \frac{K}{2}\cos w_m t.\cos\Delta w t + \frac{K}{2}\cos(2w_c+\Delta w)t.\cos w_m t$$

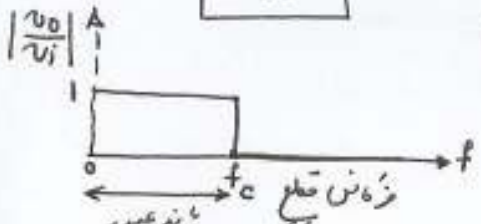
$$\boxed{x_c(t) = \frac{K}{4}\cos(w_m-\Delta w)t}$$

پیام آشکار شده با اندازه Δf تغییر فرکانس داده است.



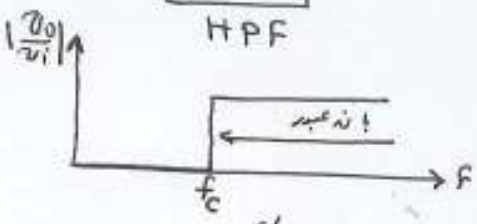
سیستم های مخابراتی - فیلترها

LPF



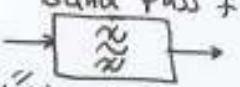
فیلتر پایین گذر

High pass filter

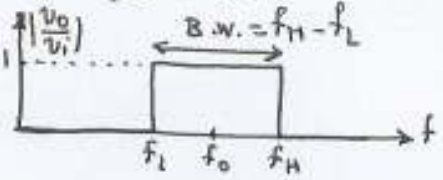


فیلتر بالا گذر

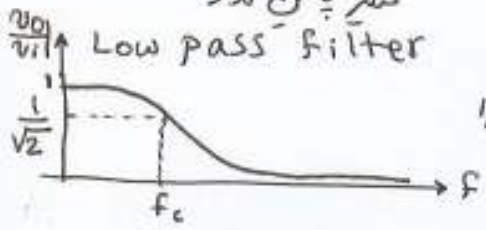
Band pass filter

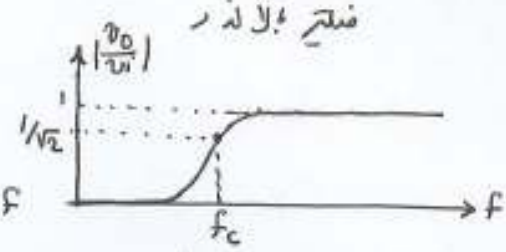


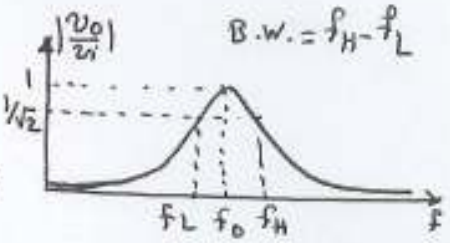
(یا میان گذر) B.P.F.

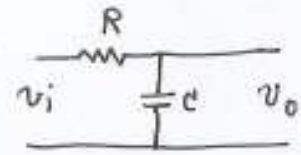


Low pass filter









$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{1/j\omega C}{1/j\omega C + R}$$

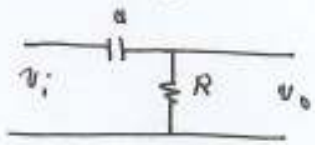
$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

$$\left|\frac{v_o}{v_i}\right| = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 R^2 C^2}}$$

$$\omega_c = \frac{1}{RC} \Rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$ فرکانس قطع cut

$$\left|\frac{v_o}{v_i}\right| = \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{\omega}{\omega_c})^2}}$$ نمودار

$$\angle \frac{v_o}{v_i} = 0 - \tan^{-1}\frac{\omega}{\omega_c} = -\tan^{-1}\frac{\omega}{\omega_c}$$ نمودار فاز



$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{R}{R + 1/j\omega C}$$

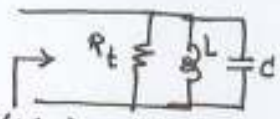
$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{j\omega RC}{j\omega RC + 1}$$

$$\left|\frac{v_o}{v_i}\right| = \frac{\omega RC}{\sqrt{1+\omega^2 R^2 C^2}}$$

$$\omega_c = \frac{1}{RC} \Rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$\left|\frac{v_o}{v_i}\right| = \frac{\omega/\omega_c}{\sqrt{1+(\frac{\omega}{\omega_c})^2}}$$ نمودار

$$\angle \frac{v_o}{v_i} = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\frac{\omega}{\omega_c}$$



$$Y(j\omega) = 1/Z(j\omega)$$

$$Y(j\omega) = G_t + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C$$

$$Y(j\omega) = G_t + j(\omega C - \frac{1}{\omega L})$$

فرکانس f_0 تشدید مقدار موهومی = 0

$$\omega_0 C - \frac{1}{\omega_0 L} = 0$$

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

$$\text{یا } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$Y(j\omega) = G_t + j\omega_0 C(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})$$

$$Y(j\omega) = G_t\left[1 + j\omega_0 R_t C(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})\right]$$

$$Q_t \triangleq \omega_0 . R_t . C$$

$$Y(j\omega) = G_t[1 + jQ_t(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})]$$

$$Z(j\omega) = \frac{R_t}{1 + jQ_t(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})}$$

$$|Z(j\omega)| = \frac{R_t}{\sqrt{1+Q_t^2(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})^2}}$$ نمودار

$$\angle Z(j\omega) = -\tan^{-1} Q_t(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega})$$ نمودار فاز

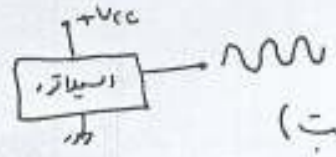
$$B.W. = f_H - f_L = \frac{f_0}{Q_t}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

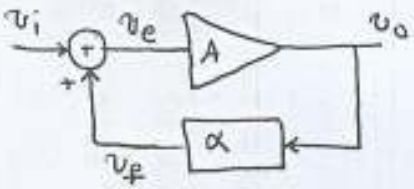
$$Q_t = R_t . C . \omega_0 = \frac{R_t}{L\omega_0}$$

سیستم های مخابراتی - اسیلاتورها

تعریف اسیلاتور: سیستمی که دارای خروجی متناوب و پایدار است بدون اینکه هیچ نوع ورودی داشته باشد.



اجزا یک اسیلاتور حداقل شامل یک تقویت کننده و یک تضعیف کننده به صورت زیر می باشد. (فیدبک مثبت)



$$v_o = A \cdot v_e \quad , \quad v_f = \alpha \cdot v_o \quad , \quad v_e = v_i + v_f$$

$$v_o = A(v_i + v_f) = A \cdot v_i + A \cdot \alpha \cdot v_o$$

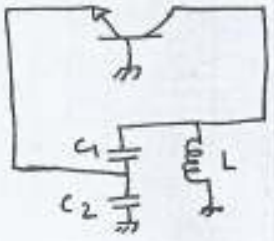
$$v_o(1 - A \cdot \alpha) = A \cdot v_i$$

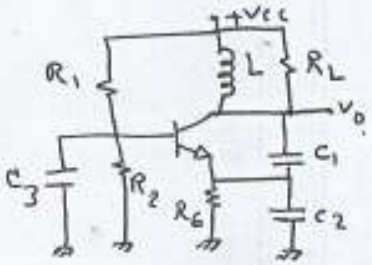
$$v_o = \frac{A}{1 - A \cdot \alpha} \cdot v_i$$

با توجه به اینکه در اسیلاتور $v_i = 0$ می باشد جهت سفادار شدن v_o میبایستی نسبت $\frac{A}{1 - A \cdot \alpha}$ بینهایت گردد، لذا شرط اولیه برای این $1 - A \cdot \alpha = 0$ باید باشد که این شاری با سفای $A \cdot \alpha = 1$ و $\angle A\alpha = 0$ می باشد.

اشکال مختلف اسیلاتور (LC) سینوسی

کولپیتس

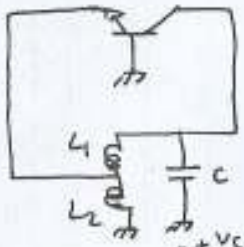


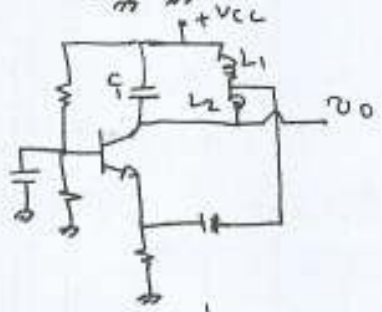


$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C_t}}$$

$$C_t = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

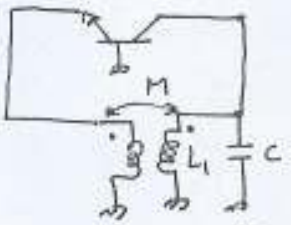
هارتلی

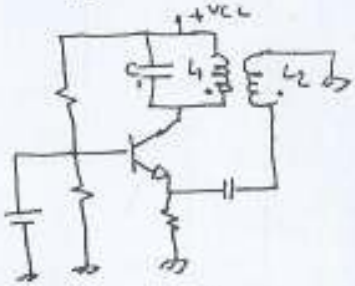




$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_t \cdot C_1}}$$

$$L_t = L_1 + L_2$$





$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_1 \cdot C_1}}$$

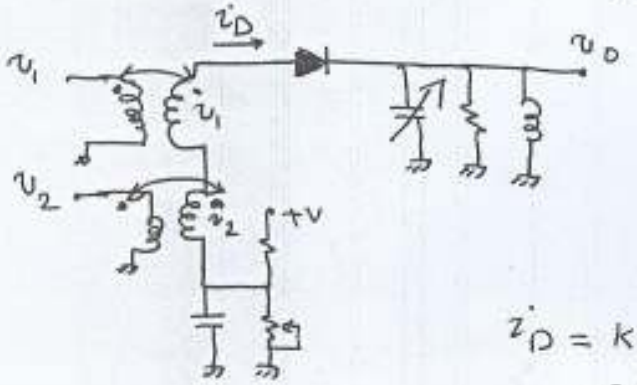
سیستم های مخابراتی - ضرب کننده های آنالوگ

و جمع کننده ← ⊗ ← ضرب کننده های مدولاسیون : بلوک های

اشاره داشتیم در این قسمت به روش و مدارهایی که میتوانند عمل ضرب کننده (تقریبا) را انجام دهند اشاره می گردد.

۱- استفاده از المان غیرخطی (دیود، ترانزیستور)

برای اینکه دو سیگنال v_1 و v_2 به صورت آنالوگ در یکدیگر ضرب شوند لازم است ابتدا دو سیگنال را جمع و از مدلی المانی که رابطه بین جریان و ولتاژ آن رابطه ای غیرخطی باشد حاصلضرب $v_1 \times v_2$ را استخراج نمود.



$$i_D = k(v_D)^2$$

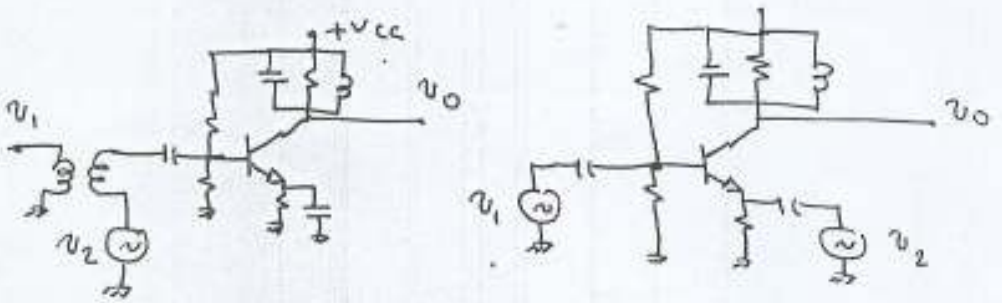
$$v_D = v_1 + v_2 + V_D$$

$$i_D = k(v_1 + v_2 + V_D)^2$$

$$i_D = k.v_1^2 + k.v_2^2 + k.V_D^2 + 2k\,v_1.v_2 + 2k\,v_1.V_D + 2k.v_2V_D$$

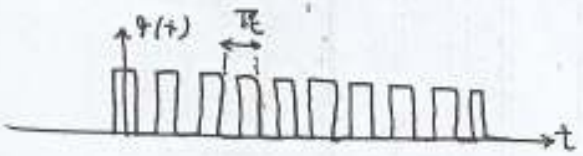
با فرض v_1 بعنوان کریر و v_2 بعنوان پیام و قرار دادن ضرایب خروجی بالای ولتاژ کریر در خروجی خواهیم داشت: $v_o = k'.v_1(1 + m.v_2)$ که معادل مدولاسیون AM می باشد.

هم چنین از مدارات زیر می توان بصورت مدار فوق بعنوان یک ضرب کننده استفاده نمود

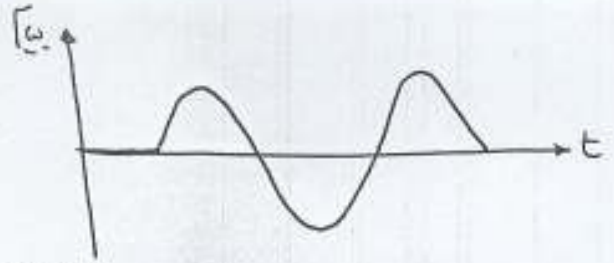


۲- روش chopper

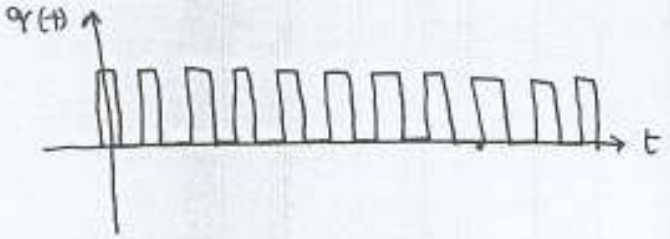
دیگر روش ضرب دو سیگنال نمونه برداری از سیگنال پیام و جدا کردن حاصلضرب پیام در کریر می باشد در این حالت پیام را در سیگنال $\varphi(t)$ دوره ای ضرب کرده که $\varphi(t)$ شامل یک قطار پالس با پهنای τ و دوره تناوب T_c که فرکانس آن برابر فرکانس کریر و حامل سیگنال می باشد.



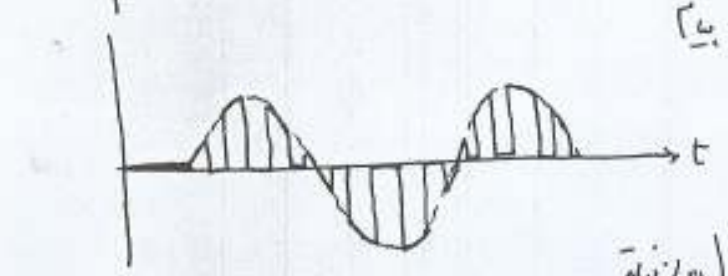
$$\varphi(t) = a_0 + a_1\cos\omega_c t + a_2\cos 3\omega_c t + \cdots$$



$K\cos\omega_m t$

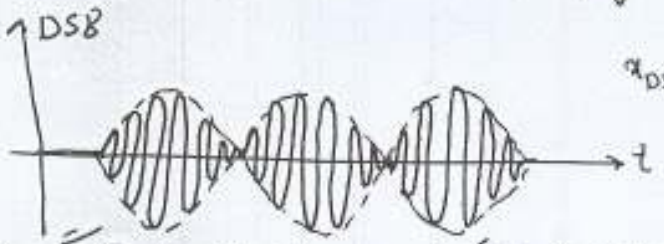


$$q(t) = a_0 + a_1\cos\omega_c t + a_2\cos 3\omega_c t + \cdots$$



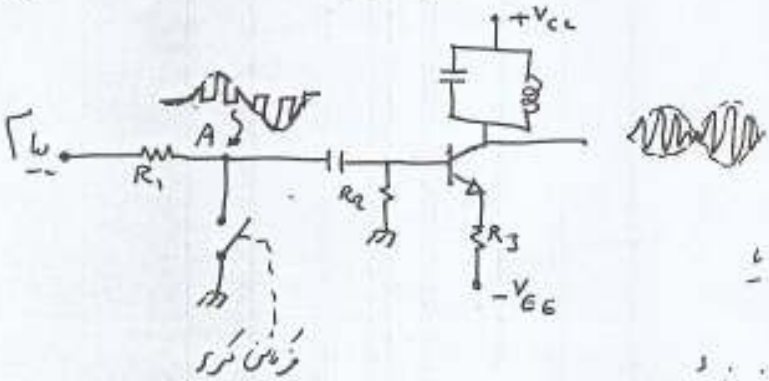
$$\text{ورودی} \times q(t)$$
$$= a_0 \cdot K\cos\omega_m t + a_1 K \cdot \cos\omega_c t \cdot \cos\omega_m t + a_3 K \cdot \cos 3\omega_c t \cdot \cos\omega_m t + \cdots$$

بعد از فیلتر ↓



$$a_{DSB}(t) = a_1 K \cdot \cos\omega_c t \cdot \cos\omega_m t$$

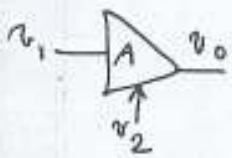
اصول فیلتر را: روشهای متنوعی میتوان بیادسازی کرد که یکی از این روشها استفاده از آنالوگ سوئیچ برای نمونه برداری می باشد.



آنالوگ سوئیچ ها را میتوان با ترانزیستور BJT و FET و یا از آنالوگ سوئیچ CMOS مثل 4016 یا 4066 استفاده کرد.

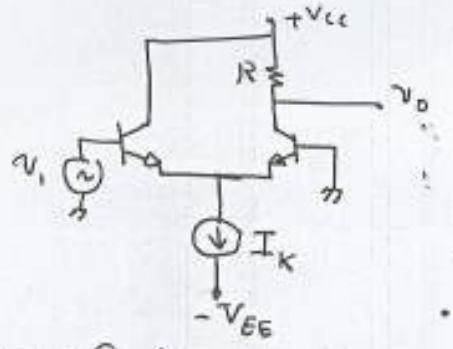
چنانکه در نقطه A مقداری DC اضافه نمائیم خروجی دیگر دو طرفی مرجع نبوده و AM استاندارد داشته باشیم.

۳- استفاده از ضرب کننده آنالوگ (تقویت کننده بهره متغیر)



$$v_0 = A \cdot v_1$$
$$A = K \cdot v_2 \rightarrow v_0 = K \cdot v_1 \cdot v_2$$

در این روش با تقویت یک سیگنال و وابسته کردن ضریب تقویت به سیگنال دوم، بدست می‌شود حاصلضرب دو سیگنال در خروجی ظاهر گردد.



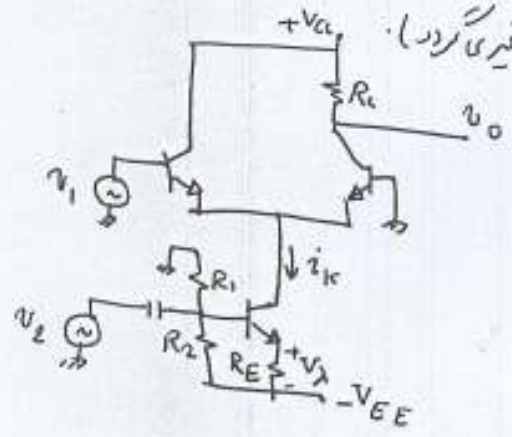
در تقویت کننده تفاضلی زیر رابطه خروجی و v_1 به صورت زیر بدست آمد:

$$v_0 = g_m \cdot R \cdot v_1$$

که $g_m \cdot R$ ضریب تقویت تفاضلی مدار است.

$$g_m = \frac{I_K}{4V_T} \quad (V_T = 25^{mV} \text{ و } I_K \text{ برحسب } mA)$$

می‌بینید در رابطه ضریب تقویت چنانکه ابتدا بیان شد I_K تابعی از سیگنال v_2 خواهد بود بنابراین یک ضرب کننده آنالوگ (تقویت کننده بهره متغیر) گردید.



$$v_0 = \frac{i_k}{4V_T} \cdot R_c \cdot v_1$$

$$i_K = I_K + i_k = \frac{V_\lambda}{R_E} + \frac{v_2}{R_E}$$

$$v_0 = \frac{R_c}{4V_T \cdot R_E}(V_\lambda + v_2) \cdot v_1$$

$$v_0 = \frac{V_\lambda}{R_E} \cdot \frac{R_c}{4V_T}\left(1 + \frac{v_2}{V_\lambda}\right) \cdot v_1$$

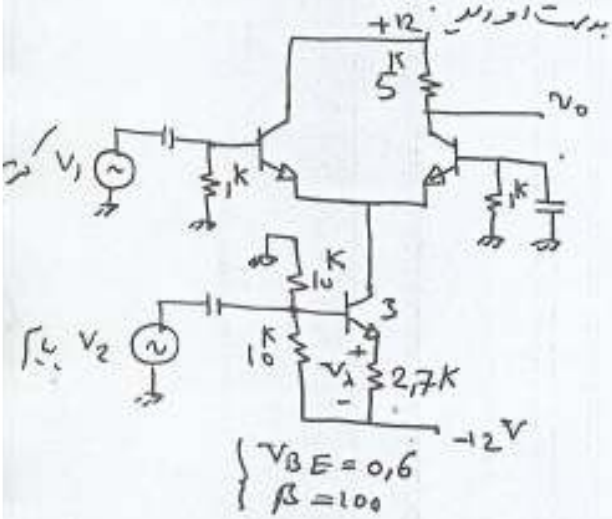
$$v_0 = \frac{I_K \cdot R_c}{4V_T}\left(1 + \frac{v_2}{V_\lambda}\right) \cdot v_1$$

چنانچه v_1 را $\cos\omega_c t$ و v_2 را $\cos\omega_m t$ در نظر بگیریم خروجی یک مدولاتور AM است بنابراین داریم:

$$v_0 = \frac{I_K}{4V_T} R_c\left(1 + \frac{V_m}{V_\lambda}\cos\omega_m t\right) \cdot V_c \cos\omega_c t$$

در این رابطه $\frac{V_m}{V_\lambda}$ یا m ضریب مدولاسیون AM می‌باشد.

مثال) در مدار زیر رابطه خروجی، ضریب مدولاسیون را بدست آورید.



$$v_1 = 100^{mV}\cos 10^6 t$$
$$v_2 = 4^V \cos 10^3 t$$

$$V_{B3} = -12 \times \frac{10}{10+10} = -6^V$$
$$V_{E3} = -6 - 0,6 = -6,6$$
$$V_\lambda = V_{E3} - (-12) = 5,4^V$$
$$I_K = \frac{V_\lambda}{R_E} = \frac{5,4}{2,7K} = 2^{mA}$$

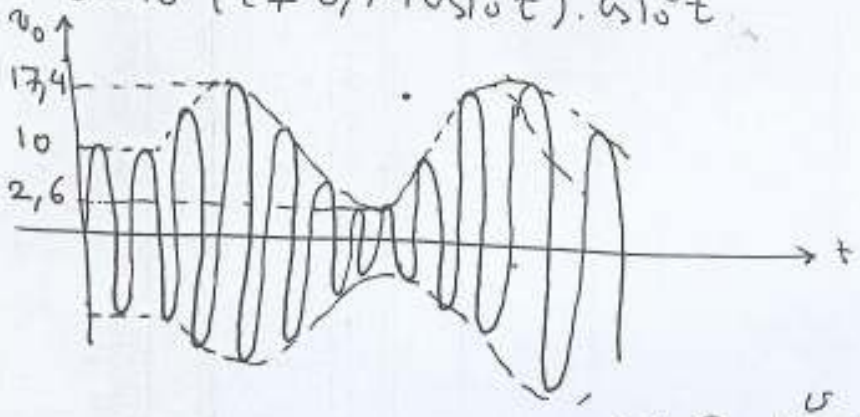
$$v_0 = \frac{I_K}{4V_T} R_c(1 + m\cos\omega_m t) \cdot V_c \cos\omega_c t$$

$$m = \frac{V_m}{V_\lambda} = \frac{4}{5,4} = 0.74$$

$$v_0 = \frac{5 \times 2^{mA}}{100^{mV}} (1 + 0,74 \cos 10^3 t) \cdot 100^{mV} \cos 10^6 t$$

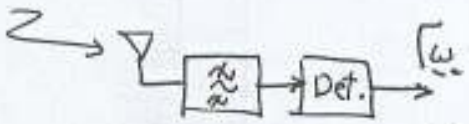
$$v_0 = 100 \times 100^{mV} (1 + 0,74 \cos 10^3 t) \cos 10^6 t$$

$$v_0 = 10^{V} (1 + 0,74 \cos 10^3 t) \cdot \cos 10^6 t$$

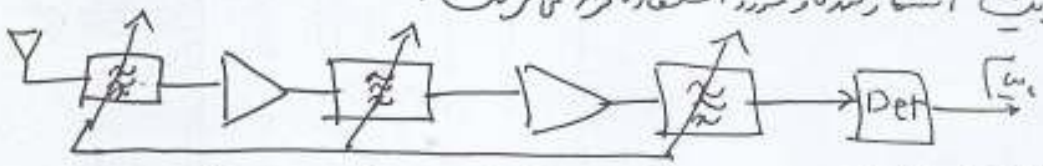


سیستم های مخابراتی ـ گیرنده های سوپر هترودین

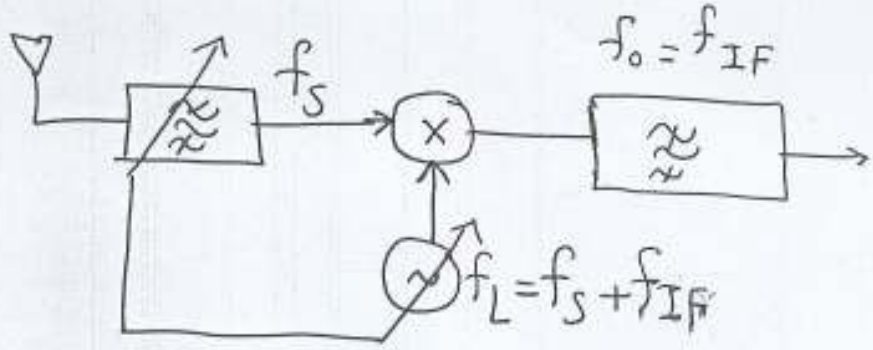
اصلی ترین وظیفه گیرنده انتخاب سیگنال مورد نظر و آشکار سازی آن است. شکل اولیه بیام در گیرنده ها به شکل



تا قبل از جنگ جهانی دوم از گیرنده های سوپرهترودین TRF (Tuned Radio Frequency) مورد استفاده قرار می گرفت که سیگنال دریافتی پس از چند طبقه فیلتر و تقویت آشکار شده و مورد استفاده قرار می گرفت.

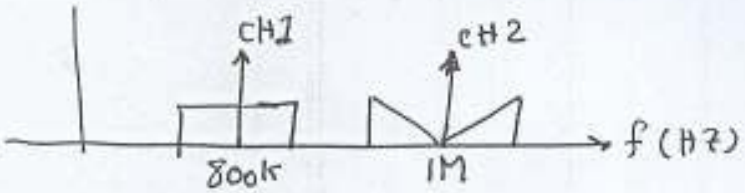


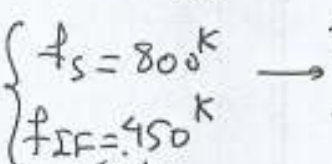
سیستم های TRF نیازمند فیلترهای میان گذر با فرکانس رزونانس متغیری بودند که می بایست در کل باند مورد نظر پهنای باند ثابت داشته باشد. همچنین آشکارساز باید برای تمام فرکانس های باند طراحی و مورد استفاده قرار می گرفت و استفاده از چنین گیرنده هایی بسیار مشکل و پیچیده بود. در سوپرهترودین با تغییر در سیستم گیرنده TRF و با قرار دادن اسیلاتور محلی Local oscillator و هماهنگ کردن فرکانس تولیدی این اسیلاتور با فیلتر میان گذر ورودی سعی می کردند که تمامی سیگنال های انتخابی در ورودی را به فرکانس ثابت و مشخص میانی IF (Intermediate Freq.) تبدیل نمایند.



(Tuner)

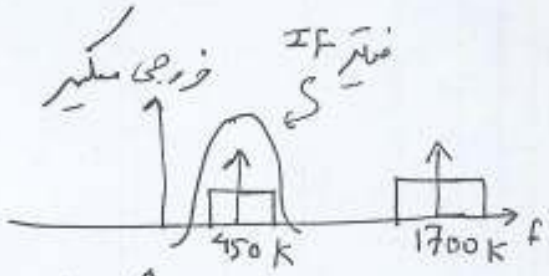
متداول‌ترین گیرنده‌های رادیو تلویزیونی همیشه با فرکانس f_{IF} از ورودی تولید می‌کنند و با میکسر در فرکانس f_L و f_S در خروجی ضرب کننده (میکسر) حاصل جمع و حاصل تفاضل $f_L + f_S$ و $f_L - f_S$ یا $2f_S + f_{IF}$ و f_{IF} ظاهر می‌شود با قرار دادن فیلتر خروجی بر روی فرکانس f_{IF} در خروجی کلیه ایستگاه‌ها در یافتی f_{IF} تبدیل می‌گردند.

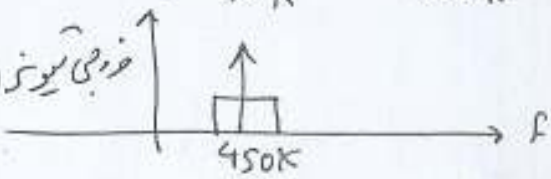




فرض ①

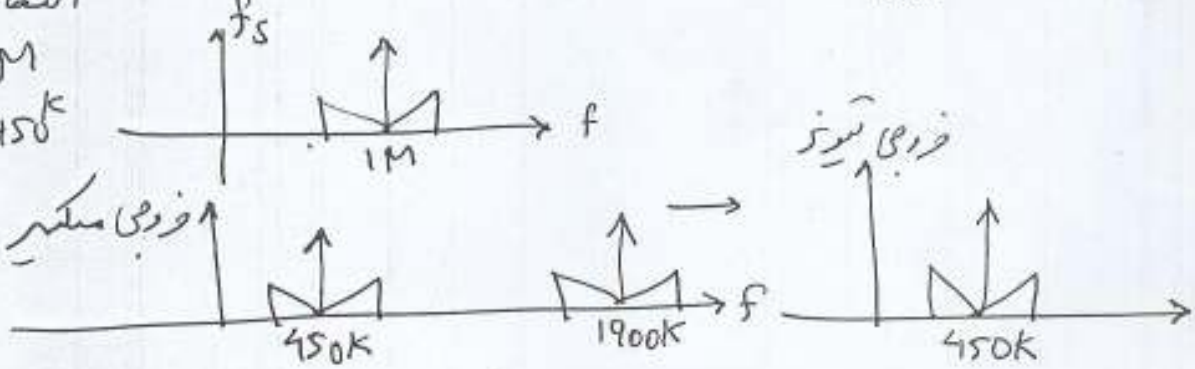
$f_L = 800 + 450 = 1250^{KHz}$





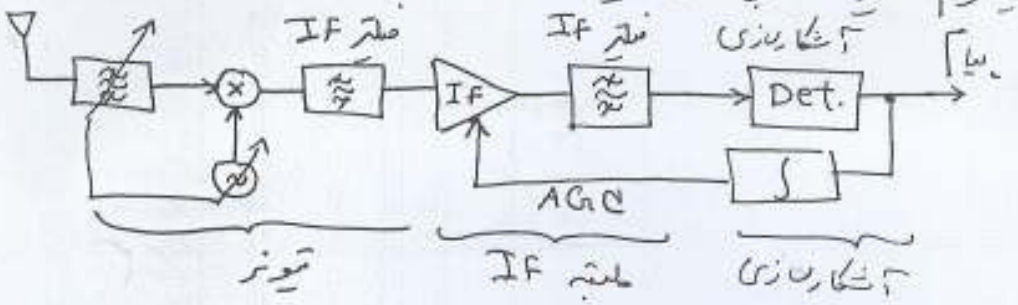
② انتخاب کانال

$f_S = 1M$
$f_{IF} = 450^K$

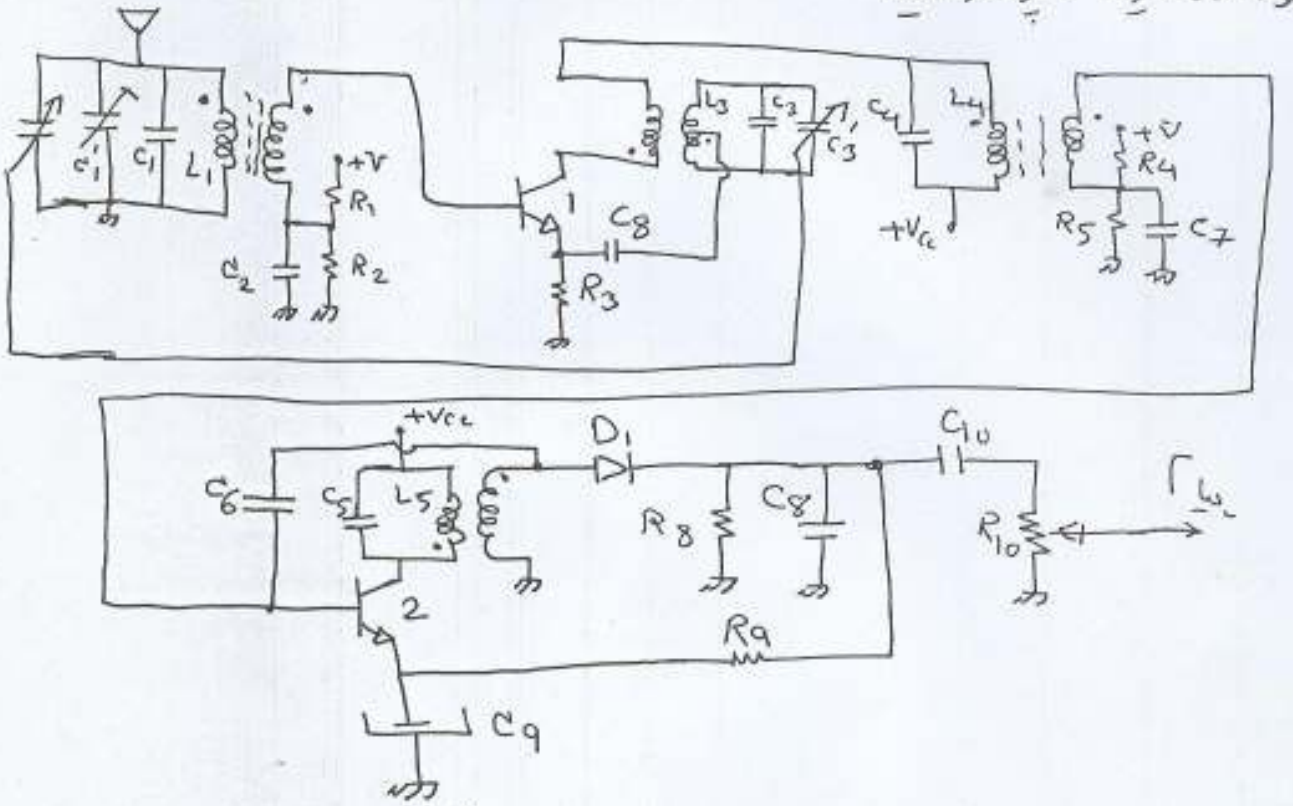


در نظر گرفته شده است که f_{IF} ثابت باشد و ایستگاه‌های انتخابی به فرکانس ثابت منتقل و مدارات بعد از آن تقویت کننده، فیلتر و آشکارساز می‌توانند یک فرکانس ثابت را پردازش کنند.

بلوک دیاگرام گیرنده سوپر هترودین



نمونه مدار گیرنده سوپر هترودین



C'_1, C_1, L_1 : انتخاب ایستگاه در ورودی گیرنده (فیلتر میانگذر)

R_1 و R_2 جهت بایاس Q_1 و C_2 جهت بای پاس اثر R_1 و R_2

Q_1 : فتن مکنیر، اسیلاتور محلی و تقویت کننده RF

L_3 و C_3 : مدار تولید فرکانس اسیلاتور محلی

L_4 و C_4 : فیلتر IF خروجی تیونر

R_4 و R_5 : جهت بایاس Q_2 و C_7 بای پاس R_4 و R_5

Q_2 : تقویت IF

L_5 و C_5 : فیلتر IF خروجی تقویت IF

C_6 : خازن مکنیر خروجی جهت ازبین بردن خازن داخلی کلکتور-بیس Q_2 جهت جلوگیری از به نوسان افتادن تقویت کننده

سیستم مخابراتی - مدولاسیون های غیرخطی (FM و PM)

همانطور که قبلاً ذکر شد، اطلاعات سیگنال را میتوان با متغیرهای هامل ایجاد نمود
در بخش مدولاسیونهای دامنه، سیگنال پیام موجب تغییر دامنه موج کریر میگردد،
در این فصل تأثیر سیگنال پیام بر فرکانس و زاویه کریر را بررسی میکنیم.

$$v_c(t) = V_c \cos(2\pi f_c t + \phi)$$

تأثیر سیگنال پیام بر فرکانس یا فاز کریر را مدولاسیون غیرخطی یا زاویه ای گویند چنانکه
فرکانس کریر در اثر تغییر پیام، تغییر کند مدولاسیون فرکانسی F.M. (Freq. Mod.)
و اگر پیام موجب تغییر فاز کریر گردد مدولاسیون فاز P.M. (Phase Mod.)
گفته میشود.

ساده کردن رابطه $V\cos(\omega_c t + \phi)$ را که نتیجه حاصله $V\cos\theta$ استفاده
میکرده ایم؛ عبارتی رابطه بین سرعت زاویه ای و زاویه θ عبارت است از

$$\omega_i = \frac{d\theta}{dt} \quad \text{یا} \quad \theta = \int \omega_i \, dt$$

و چون ω_i همیشه مقدار ثابت ω_c بوده است در رابطه $V\cos\theta$ از رابطه
$V\cos(\omega_c t + \phi)$ استفاده میکرده ایم.

چنانچه پیام موجب تغییر فرکانس لحظه ای شود میتوان نوشت:

$$\omega_i = \omega_c + K \cdot \underbrace{V_m \cos\omega_m t}_{\text{پیام}}$$

که $K_1 V_m = \Delta f$ حداکثر انحراف فرکانسی و $K = 2\pi K_1$

اگر بخواهیم رابطه موج FM را بدست آوریم باید مقدار θ را بدست آوریم

$$\theta = \int \omega_i \, dt = \int \omega_c \, dt + \int K V_m \cos\omega_m t \, dt$$

$$= \omega_c t + \frac{2\pi \Delta f}{\omega_m} \sin\omega_m t$$

$$= \omega_c t + m_f \sin\omega_m t$$

که $m_f = \frac{\Delta f}{f_m}$ شاخص یا ضریب مدولاسیون فرکانسی نامیده میشود

لذا رابطه FM به صورت زیر خواهد بود

$$\boxed{x_{FM}(t) = V_c \cos(\omega_c t + m_f \sin\omega_m t)}$$

طیف فرکانسی FM

با بسط رابطه FM داریم:

$$x_{FM}(t) = V_c \cos(\omega_c t + m_f \sin\omega_m t)$$
$$= V_c \cos\omega_c t \cdot \cos(m_f \sin\omega_m t) - V_c \sin\omega_c t \cdot \sin(m_f \sin\omega_m t)$$

چنانچه $m_f \ll 1$ باشد و با توجه به $\cos x = 1$ و $\sin x = x$ برای $x \ll 1$ (خیلی کوچک)

اگر $m_f \ll 1 \longrightarrow x_{NBFM}(t) = V_c \cos\omega_c t - m_f \cdot \sin\omega_c t \cdot \sin\omega_m t$

که به حالت باندباریک FM (یا N.B.F.M) معروف است (Narrow band)

که کاربردهای تله متری دارد. ولی اگر $m_f \ll 1$ نباشد دارای مشخصات دیگری

از تحلیل وسط‌های پیش جهت بررسی مساله استفاده نکرد.

$$\cos(m_f \sin\omega_m t) = J_0(m_f) + 2\sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(m_f) \cos 2n\omega_m t$$

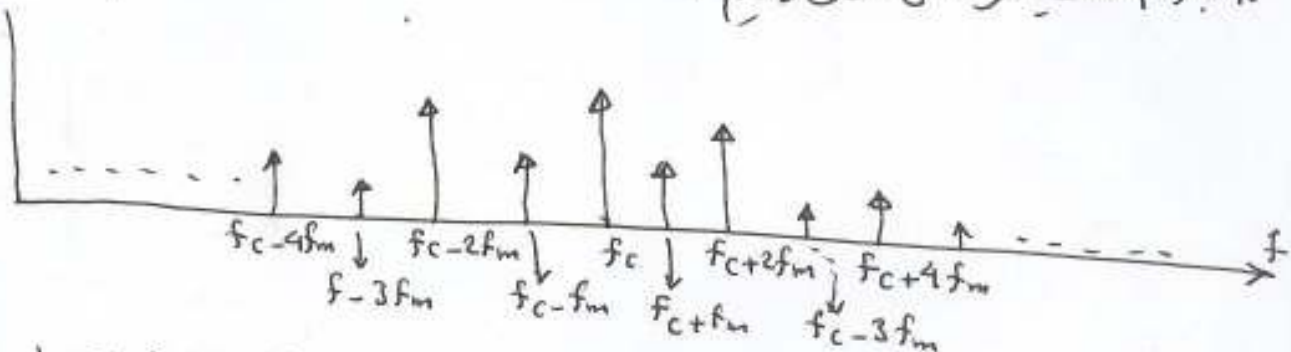
$$\sin(m_f \sin\omega_m t) = 2\sum_{n=0}^{\infty} J_{2n+1}(m_f) \sin(2n+1)\omega_m t$$

لذا بسط سری FM به صورت زیری باشد.

$$x_{FM}(t) = V_c \cdot \cos\omega_c t \cdot \cos(m_f \sin\omega_m t) - V_c \sin\omega_c t \cdot \sin(m_f \sin\omega_m t)$$

$$= J_0(m_f) \cdot V_c \cos\omega_c t$$
$$+ V_c J_1(m_f)\left[\cos(\omega_c+\omega_m)t - \cos(\omega_c-\omega_m)t\right]$$
$$+ V_c J_2(m_f)\left[\cos(\omega_c+2\omega_m)t + \cos(\omega_c-2\omega_m)t\right]$$
$$+ V_c J_3(m_f)\left[\cos(\omega_c+3\omega_m)t - \cos(\omega_c-3\omega_m)t\right]$$
$$+ \quad - - - -$$
$$\vdots$$

که با رسم طیف فرکانسی فرق داریم:

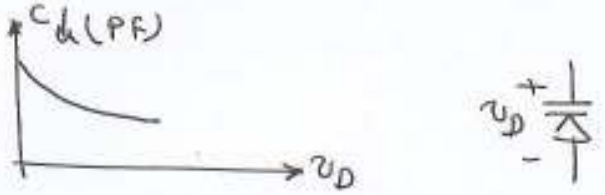


همانطور که در بالا دیده می‌شود پهنای باند FM به صورت تئوری بینهایت است ولی در عمل فقط باید باندهایی در نظر گرفته می‌شود که دامنه آنها ۲ تا ۳٪ ماکزیمم دامنه کریر باشد.

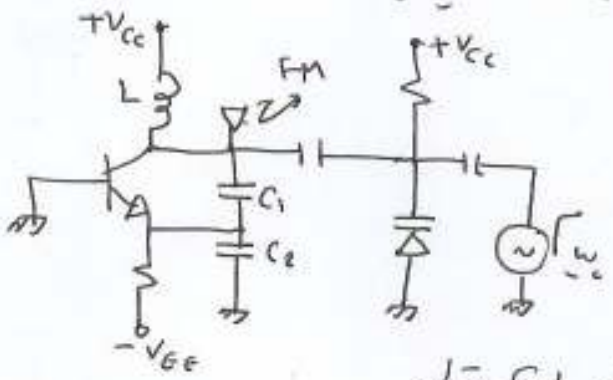
در عمل برای m_f های بزرگتر از 6 از رابطه $BW = 2(f_m + \Delta f)$ یا $B.W. = 2f_m(1+m_f)$ استفاده می‌شود.

روشهای ایجاد مدولاسیون F.M.

معمولاً برای ایجاد مدولاسیون F.M. از مدارهای نوسانی که در آن فرکانس آنها متناسب با تغییرات ولتاژ تغییر می‌کند استفاده می‌شود مثل دیود در کلپتز.



با قرار دادن خطفات در مدار نوسانی اسیلاتورها می‌توان FM را تولید کرد.



$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C_t}}$$

$$C_t = \left(\frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2}\right) + C_{do}$$

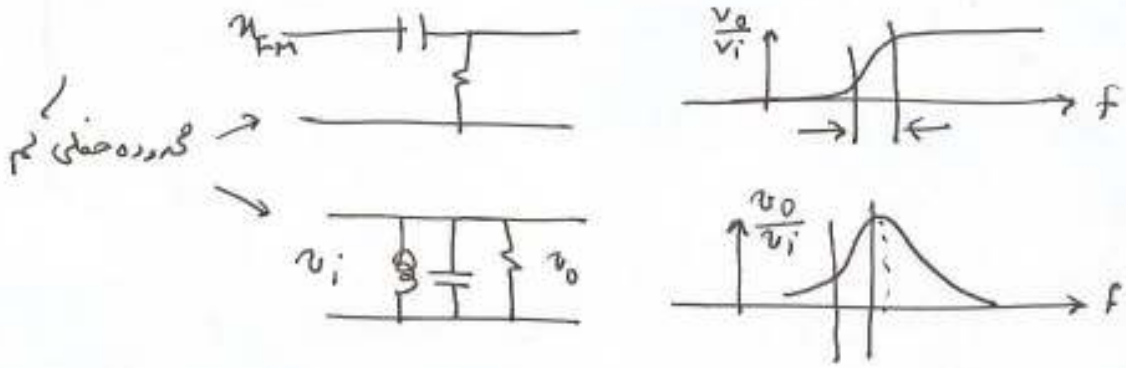
با تغییر پیام ولتاژ C_d و با تغییر C_d مقدار فرکانس نوسان اسیلاتور تغییر می‌نماید.

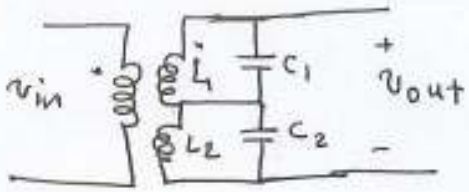
خروجی F.M

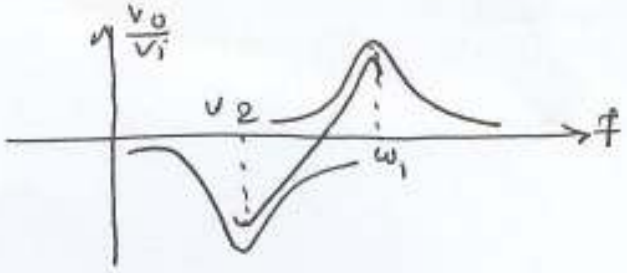
آشکارسازی FM

برای آشکارسازی FM براساس مشتق گرفتن از سیگنال FM که از آن سیگنال مدولاسیون AM بوجود می‌آید و سپس با آشکارسازی پوش می‌توان به پیام رسید.

مدارهایی که می‌توانند بعنوان مشتق گیر استفاده شوند عبارتند از:

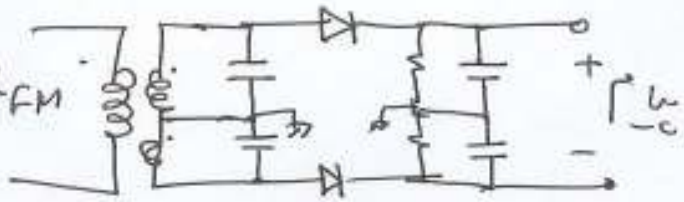




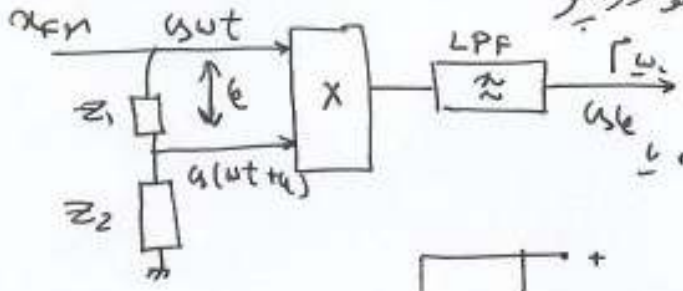


$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} \quad , \quad \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$$

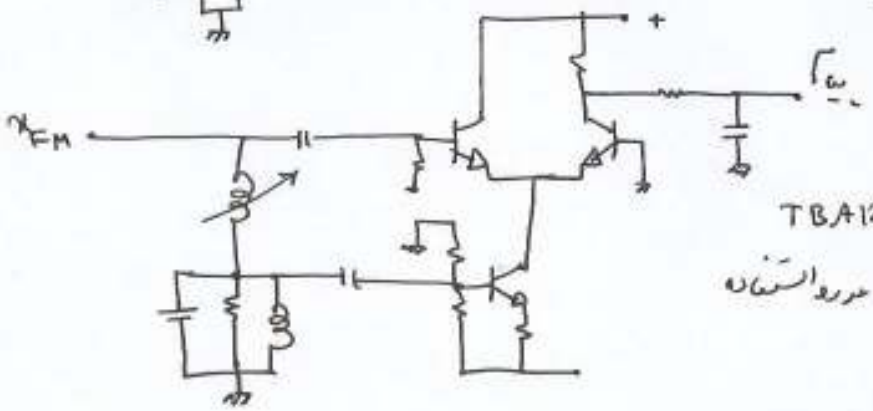
نتیجه مثبت میشه که تغییرات فرکانس را در محدوده خطی با شیب خوبی می‌تونه تغییرات ولتاژ تبدیل کنه به این نوع آشکارساز شیب (slope) گفته می‌شود.



آشکارساز FM : روش کوادراچر



در این روش ابتدا تغییر فاز ایجاد تغییر فاز تبدیل شده و تغییر فاز به تغییر دامنه یا عبارتی پیام تبدیل می‌گردد.

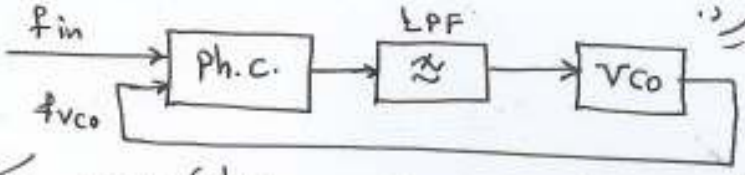


این روش در مدار مجتمع TBA120 بعنوان آشکارسازی FM مورد استفاده قرار گرفته است.

از دیگر روشهای آشکارسازی : روش PLL است که در فصل بعدی توضیح داده خواهد شد.

سیستم حلقه قفل شونده با فاز - Phase locked Loop (PLL)

حلقه PLL یا چیست؟ کاربرد وسیع در سیستم‌های الکترونیکی و مخابراتی که از اجزاء زیر تشکیل شده است و بررسی قرار می‌گیرد:



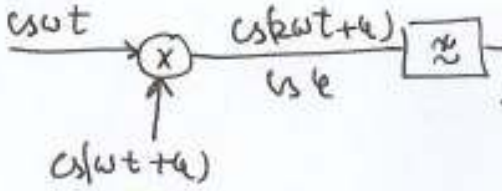
از کاربردهای مهم PLL می‌توان به آشکارسازی FM، دمدولاسیون FSK و ترکیب کننده‌های فرکانسی (synthesizer) و ... اشاره نمود.

آشکارساز فاز (phase detector)؛ مقایسه کننده فاز (phase comprator)

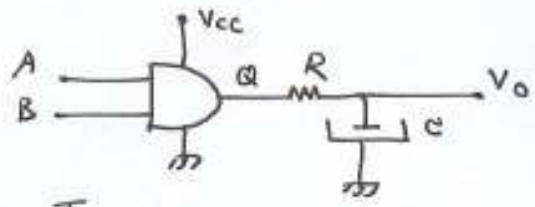
با توجه به دو نوع PLL آنالوگ و PLL دیجیتال در این قسمت اجزاء PLL دیجیتال را بررسی می‌کنیم

آشکارساز فاز (مقایسه کننده فاز) سیستمی که اختلاف فاز بین دو سیگنال که هم فرکانس هستند را به ولتاژ DC تبدیل می‌نماید.

مقایسه کننده فاز آنالوگ

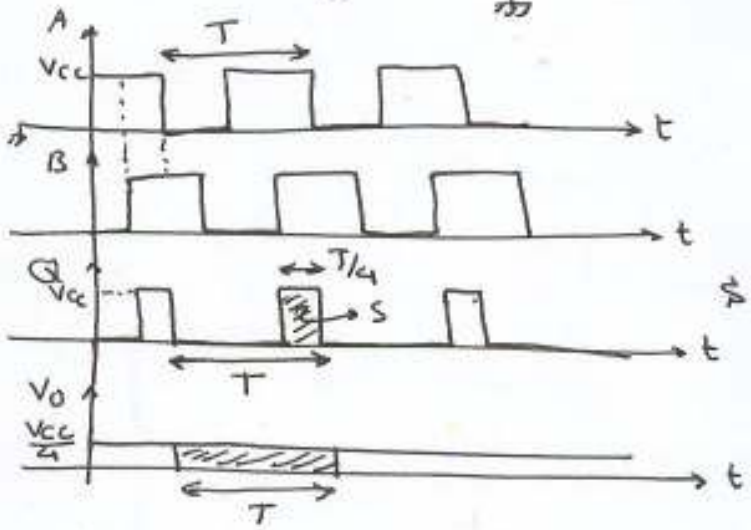


مقایسه کننده فاز دیجیتال گیت (AND)



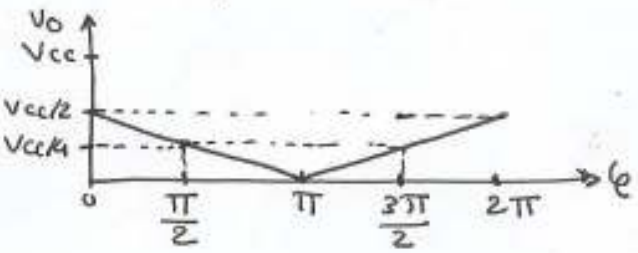
A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

ورودی B با اندازه $\frac{\pi}{2}(90^\circ)$ از ورودی A عقب تر است



$S = Vcc \times \frac{T}{4}$

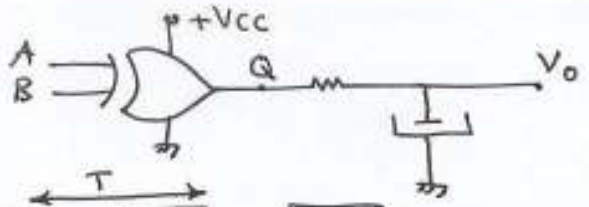
φ	Vo
0	Vcc/2
$\frac{\pi}{2}$	Vcc/4
π	0
$\frac{3\pi}{2}$	Vcc/4
2π	Vcc/2



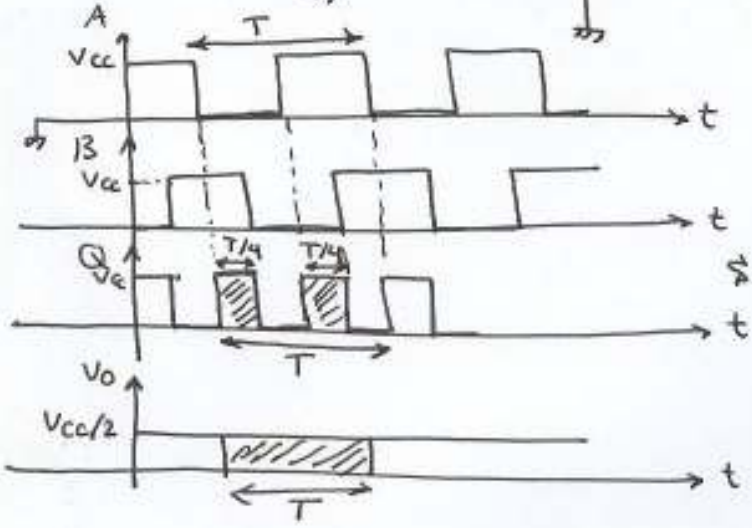
رابطه فاز $V_o = \frac{-Vcc}{2\pi}(\varphi - \pi)$

حساسیت مقایسه کننده فاز $K = \frac{Vcc}{2\pi}$ V/rad

مقایسه گر فاز (EX-OR)



A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

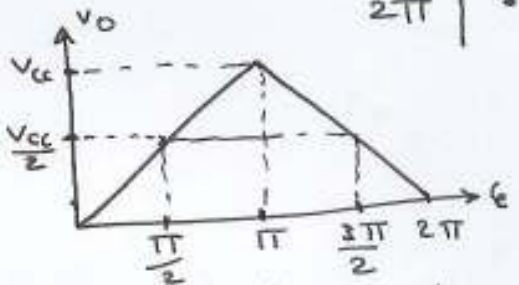


$\bar{v} = 2 \times \frac{T}{4} \times V_{cc}$

θ	V_o
0	0
$\frac{\pi}{2}$	$V_{cc}/2$
π	V_{cc}
$\frac{3\pi}{2}$	$V_{cc}/2$
2π	0

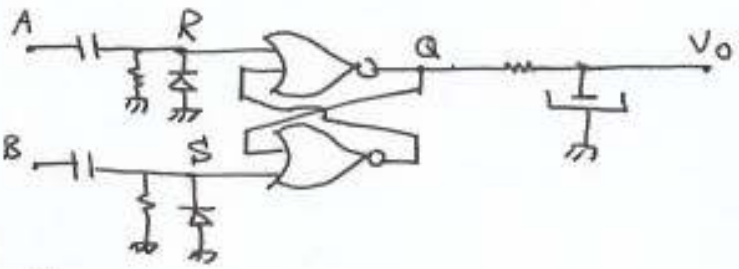
$$V_o = \frac{V_{cc}}{\pi}(\theta)$$

$$k = \frac{V_{cc}}{\pi}$$

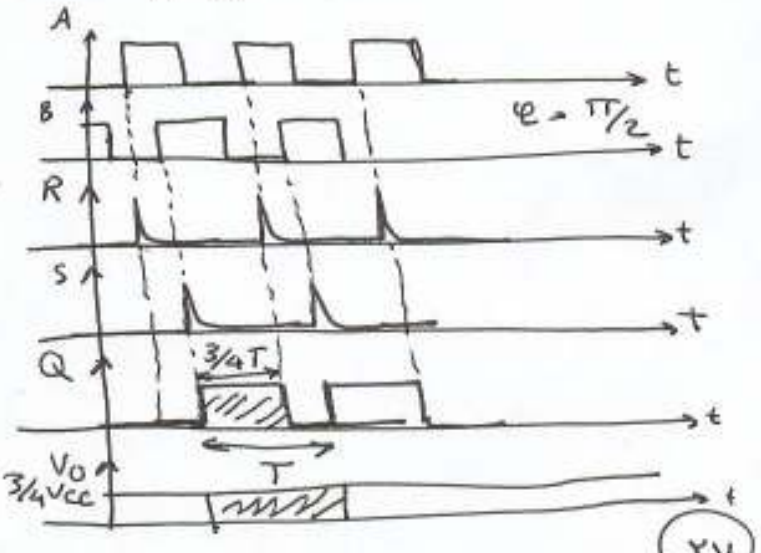


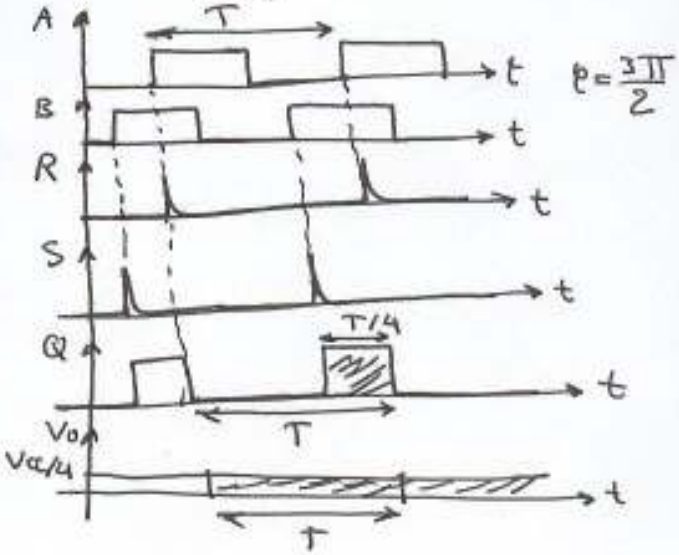
دو نوع آشکارساز بالا از نوع I (بلوکی) می باشند. EX-OR حساسیت k دو برابر حساسیت گیت AND می باشد. این نوع آشکارساز اختلاف فاز بین دو موج را مشخص می کند ولی قادر به تشخیص تقدم یا تأخر فاز دو موج نسبت به یکدیگر نمی باشد یعنی در اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$ و $\frac{3\pi}{2}$ و تأخر فازی موج A از B $\frac{\pi}{2}$ است در صورتیکه در حالت $\frac{3\pi}{2}$ A از B 90° جلوتر و در حالت $\frac{\pi}{2}$ A از B 90° عقب تر می باشد.

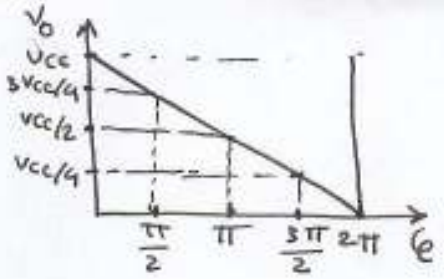
آشکارساز نوع II (لچ)



R	S	Q(t)
0	0	Q(t-1)
0	1	1
1	0	0
1	1	0





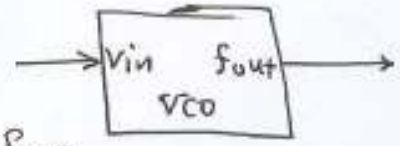


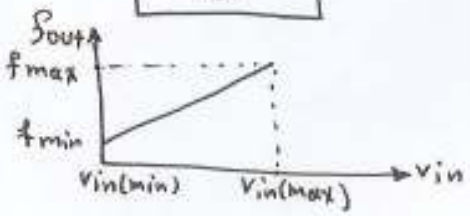
θ	V_O
0	0 یا V_{cc}
$\pi/2$	$\frac{3}{4}V_{cc}$
π	$\frac{1}{2}V_{cc}$
$\frac{3\pi}{2}$	$\frac{1}{4}V_{cc}$
2π	0 یا V_{cc}

$$V_O = -\frac{V_{cc}}{2\pi}(\theta - 2\pi)$$

همانطور که در دو حالت مشاهده میگردد ولتاژ خروجی بین دو حالت $\frac{\pi}{2}$ و $\frac{3\pi}{2}$ متفاوت است یعنی در این نوع آشکارساز تقدم و تأخر فاز کاملاً قابل تشخیص میباشد.

VCO اسیلاتور کنترل شونده با ولتاژ
Voltage controlled oscillator

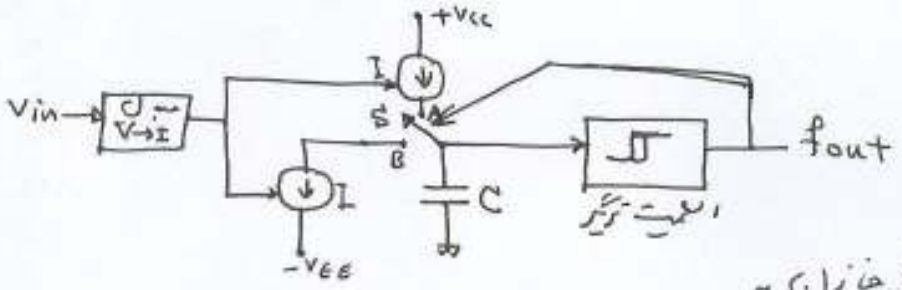




VCO اسیلاتوری است که فرکانس خروجی آن تابعی از ولتاژ ورودی میباشد.

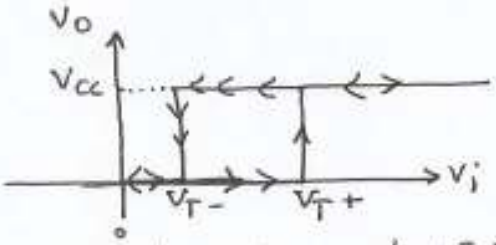
$$K_{VCO} = \frac{f_{max} - f_{min}}{V_{i(max)} - V_{i(min)}} \quad \left[\frac{kHz}{V}\right]$$

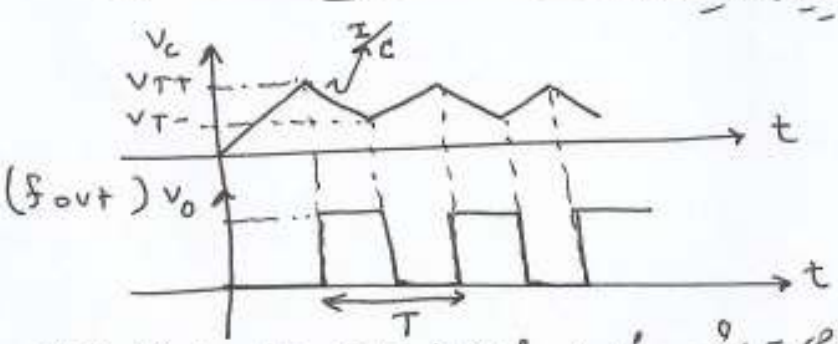
اصول کار VCO



چنانچه خازن را با منبع جریان ثابت کنیم ولتاژ خازن بصورت خطی تغییر خواهد کرد. از طرفی اگر ولتاژ خازن به ورودی مدار اسمیت تریگری با مشخصات زیر اعمال گردد و زمانیکه خروجی اسمیت تریگر در وضعیت "A" و چنانچه خروجی اسمیت تریگر در حالت V_{cc} بود کلید S در وضعیت B تغییر وضعیت دهد در این حالت شکل موج خازن و خروجی بصورت شکل زیر خواهد بود.

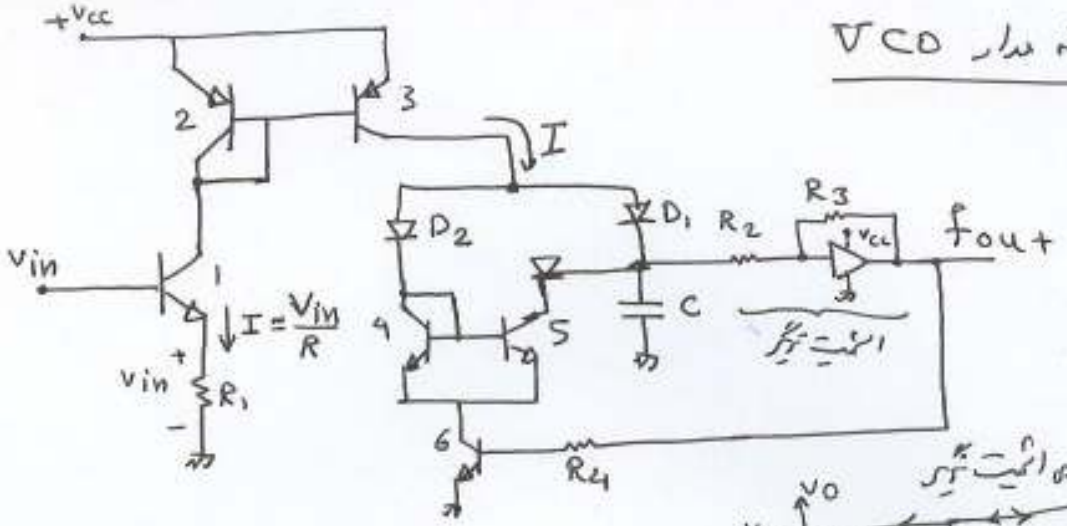
$$V_o = \frac{I}{C} \cdot t$$



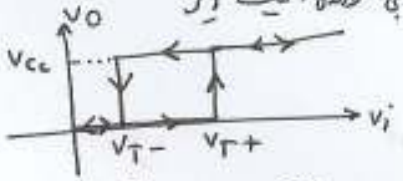


همانطور که مشاهده میگردد فرکانس خروجی با شیب شارژ و دشارژ خازن و مقدار V_T^- و V_T^+ اسمیت تریگر رابطه است اگر تغییرات V_{in} یا I تبدیل گردد، تغییر I موجب تغییر f خروجی میشود این خاصیت VCO نامیده و استفاده فرکانس خروجی با تغییرات ولتاژ ورودی پیدا خواهد بود.

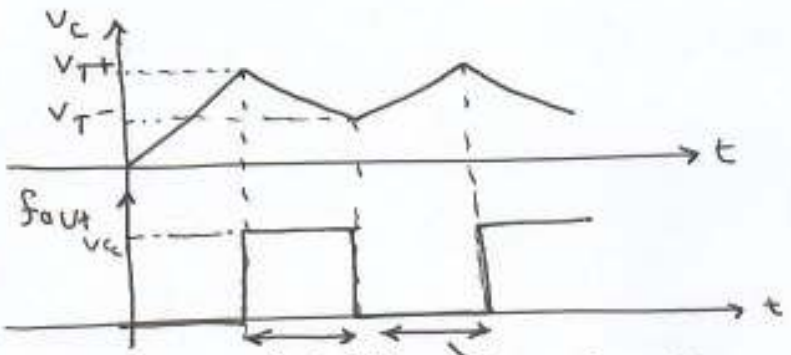
مدار VCO



مشخصه خروجی حسی اشمیت تریگر



با توجه به دیاگرام صفحه قبل، V_{in} از طریق ترانزیستور Q_1 و مقاومت R_1 جریان I تبدیل و این جریان عیناً از طریق Q_3 و در ابتدا به لحاظ وجود خازن و زمین بودن خروجی اشمیت تریگر مرجب قطع باقی ماندن Q_6، Q_4 و Q_5 و وصل بودن دیود D_1 می‌شود که مرجب شارژ خازن C می‌گردد. محض رسیدن ولتاژ خازن C به مقدار V_{T+} خروجی اشمیت تریگر V_{cc} شده و مرجب به اشباع رفتن Q_6 و به تبع کاهش ولتاژ کلکتور Q_4 و وصل شدن D_2 و قطع شدن D_1 خواهد شد و جریان I از مسیر کلکتور Q_4 و Q_6 باعث عبور همین جریان از کلکتور Q_5 و شارژ خازن به سرعت خطی خواهد بود و این روند تکرار و f_{out} و V_{in} وابسته می‌باشد.

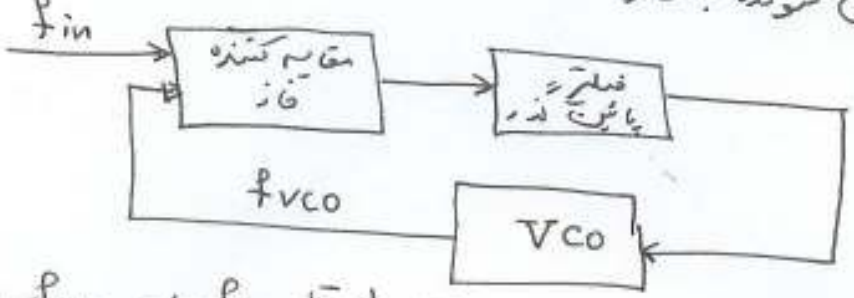


D_1: off
D_2: ON
Q_4, Q_5, Q_6: ON
خازن با I شارژ می‌گردد.

D_1: ON
D_2: off
Q_6: off → (Q_4, Q_5: off)
خازن با I شارژ می‌گردد.

Phase locked Loop - PLL

حلقه قفل شونده با فاز

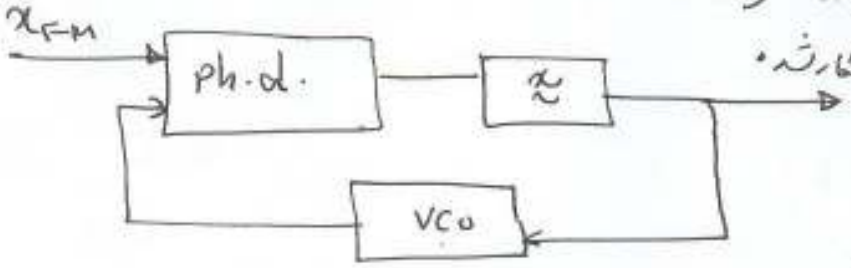


حالت نوسان آزاد (free running) : در این حالت $f_{vco} \neq f_{in}$ بوده و فرکانس تولیدی VCO فرکانس ورودی را تولید نمی کند.

حالت قفل (Lock) : در این حالت $f_{vco} = f_{in}$ بوده و بین این دو اختلاف فاز وجود دارد.

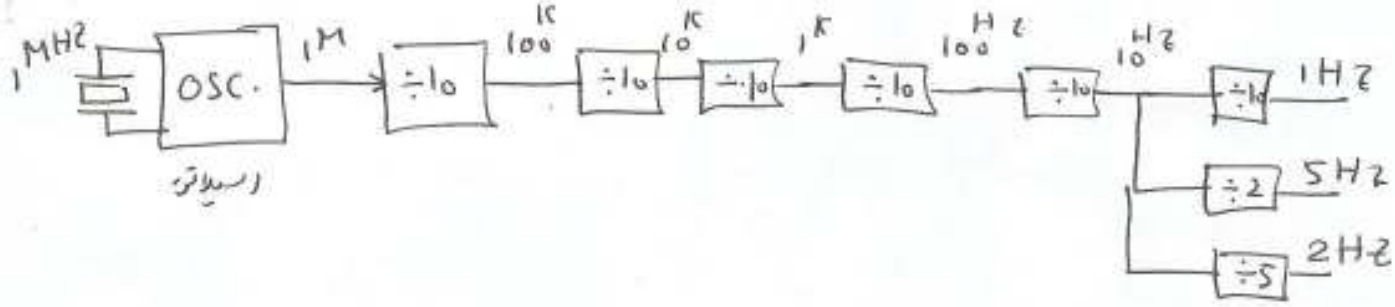
کاربردهای PLL :

آشکارسازی FM : با استفاده از PLL یک سیگنال FM را دمدوله می کنند و گرفتن خروجی از فیلتر پائین گذر به طوری که محدوده قفل PLL در محدوده انحراف فرکانسی ورودی قرار دارد.

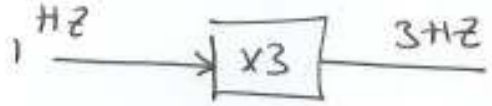


ترکیب کننده فرکانسی (synthesizer)

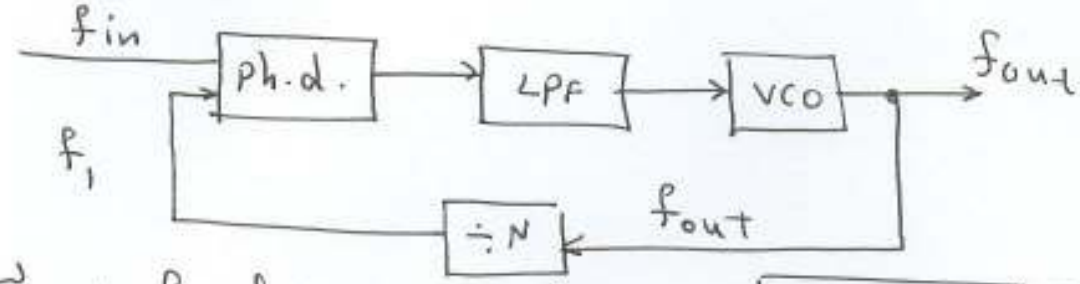
معمولاً برای تولید فرکانس 1Hz، 2Hz، 5Hz با دقت کریستال می توان از تقسیم کننده های زیر استفاده نمود.



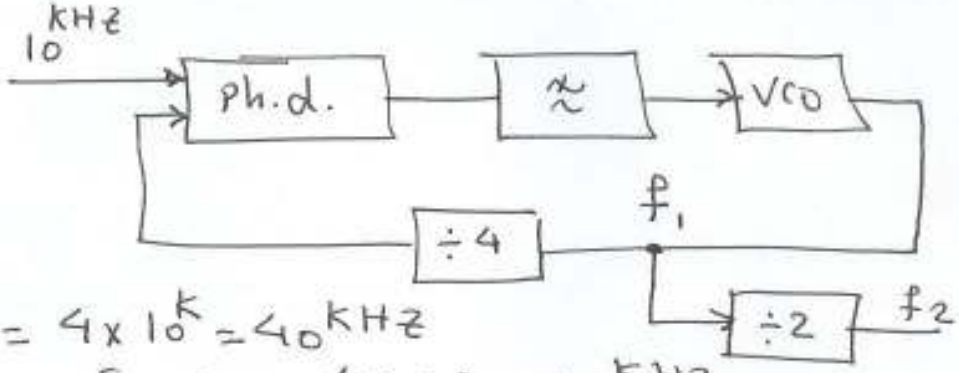
ولی چنانچه بخواهیم فرکانس 3^{Hz} را با روش فوق دیگر تقسیم نمایم تقسیم کننده‌های با عدد غیر صحیح یا به عبارتی ضرب کننده داریم که این عمل با کمک سیستم‌های سنتز سایزر انجام پذیرفته است.



کاربرد تقسیم کننده $(N \div)$ را در حلقه PLL قرار دهیم.



در حالت قفل: $f_1 = f_{in}$ ، $f_1 = \frac{f_{out}}{N}$ → $f_{out} = N \times f_{in}$



$f_1 = 4 \times 10^{K} = 40^{KHz}$

$f_2 = f_1 \div 2 = 40 \div 2 = 20^{KHz}$

از دیگر کاربردهای PLL می‌توان به آشکارسازی مدولاسیون FSK اشاره نمود.

سیستم‌های مخابراتی - مدولاسیون‌های دیجیتال

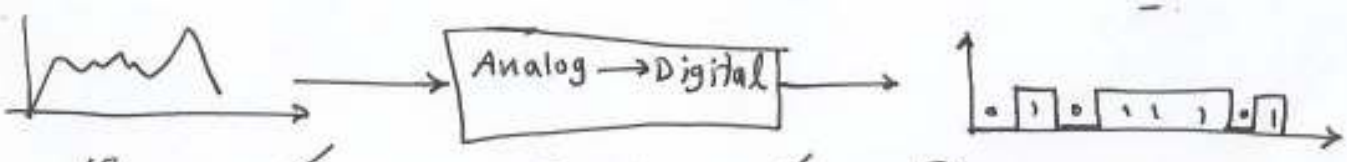
در فصل مدولاسیون‌ها دانسته و فرکانس پ سیستم‌های مخابرات آنالوگ پرداختیم و دیدیم پیام و حامل هر دو ماهیت آنالوگ داشتند ولی چنانچه یکی از دو یا هر دو پیام، حامل ماهیت دیجیتال داشته باشند سیستم‌های مخابراتی دیگری مورد بررسی قرار می‌گیرند.

داده‌های ذخیره‌شده در یک کامپیوتر، فرم "0" و "1"ها هستند، معمولاً برای انتقال داده‌ها از یک نقطه به نقطه دیگر (داخل و یا خارج از کامپیوتر) آنها را به شکل سیگنال دیجیتال درمی‌آورند، این عمل به نام تبدیل دیجیتال به دیجیتال یا کدبندی داده‌های دیجیتال، شکل سیگنال دیجیتال مورد نظر است.

گاهی اوقات لازم است که یک سیگنال آنالوگ (مانند صدا در یک مکالمه تلفنی) را به دلایلی به یک سیگنال دیجیتال تبدیل کنیم، این عمل به نام تبدیل آنالوگ به دیجیتال یا دیجیتالی نمودن یک سیگنال آنالوگ معروف است.

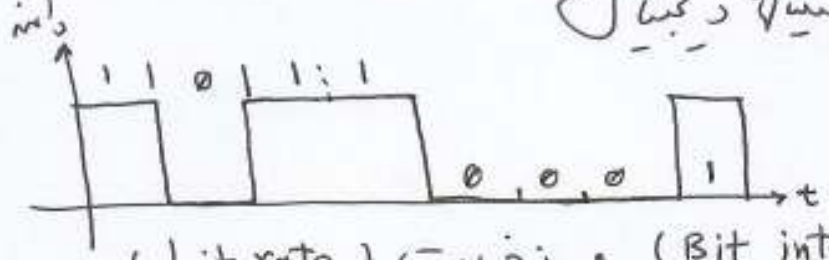
زمانی می‌خواهیم سیگنال دیجیتالی که از کامپیوتر بیرون می‌آید را از طریق مخابراتی که برای انتقال سیگنال آنالوگ طراحی شده است، ارسال کنیم. به عنوان مثال، برای ارسال داده‌ها از یک محل به محل دیگر با استفاده از خط تلفن (معمولی) سیگنال دیجیتال تولید شده توسط کامپیوتر باید به یک سیگنال آنالوگ تبدیل شود، این عمل به نام تبدیل دیجیتال به آنالوگ یا مدوله کردن یک سیگنال دیجیتال معروف است.

تبدیل آنالوگ به دیجیتال



در این تبدیل، اطلاعات موجود در یک موج پیوسته را به صورت یک سری پالس‌های دیجیتالی (0 ها و "1"ها) تبدیل می‌کنیم.

سیستم های مخابراتی - سیگنال دیجیتال



فاصله زمانی بیت (Bit interval) و نرخ بیت (bit rate)

اکثر سیگنال های دیجیتال ، غیر متناوب بوده و بنابراین برای توصیف آنها ، پریود یا فرکانس مناسب نمی باشد . لذا دو عبارت جدید یعنی فاصله زمانی بیت (Bit Interval) (به جای پریود) و نرخ بیت (به جای فرکانس) را برای توصیف سیگنال های دیجیتال به کار می بریم . فاصله زمانی بیت ، زمان لازم برای ارسال یک بیت است و نرخ بیت ، تعداد فاصله زمانی بیت در طول یک ثانیه است . این بدان معناست که نرخ بیت ، تعداد بیت های ارسالی در طول یک ثانیه است که معمولاً برحسب بیت در ثانیه (bit per second) bps یا b/s بیان می شود.

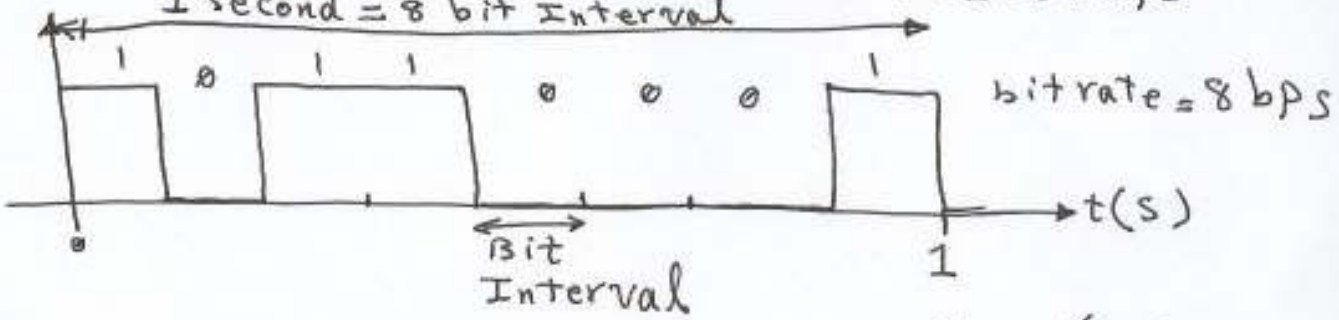
مثال) نرخ بیت یک سیگنال دیجیتالی برابر 2000 bps است فاصله زمانی هر بیت چقدر است ؟

$$\text{Bit Interval} = \frac{1}{\text{bit rate}} = \frac{1}{2000}$$

$$= 500 \times 10^{-6}\ s = 500\ \mu s$$

مثال) فاصله بیت یک سیگنال دیجیتالی برابر با 40 میکروثانیه است ، نرخ بیت چقدر است ؟

$$\text{Bit rate} = \frac{1}{\text{Bit Interval}} = \frac{1}{40 \times 10^{-6}} = 25000\ bps = 25 \times 10^{3} = 25\ Kbps$$

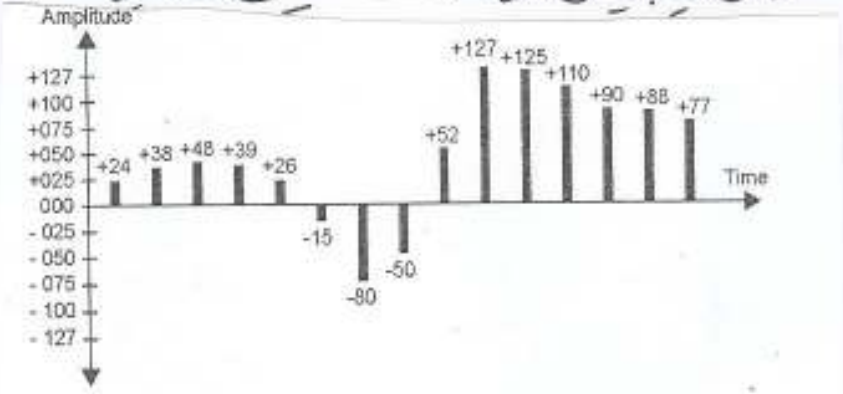


تجزیه و تحلیل یک سیگنال دیجیتال

یک سیگنال دیجیتال را می توان به تعداد نامحدودی از شکل موج های ساده سینوسی به نام هارمونیک (Harmonic) تجزیه کرد و هرکدام دامنه ، فرکانس

و فاز مشخص دارند. این بدان معناست که وقتی یک سیگنال دیجیتال را در امتداد یک محیط انتقال ارسال می‌کنیم، در واقع تعداد بی‌نهایت سیگنال ساده را ارسال می‌کنیم. برای دریافت یک کپی دقیق از سیگنال دیجیتال، باید تمام مولفه‌های فرکانسی از طریق محیط انتقال به درستی منتقل شوند. اگر بعضی از مولفه‌ها از طریق محیط انتقال منتقل نشوند، دریافت‌کننده با خرابی سیگنال مواجه خواهیم شد. از آنجا که هیچ محیط انتقال عملی (مانند کابل) قادر به کل رنج فرکانسی نیست همواره با خرابی سیگنال مواجه هستیم.

گروهی طیف فرکانسی یک سیگنال حاوی تعداد بی‌نهایت فرکانس با دامنه‌های مختلف است، اگر صرفاً آن مولفه‌هایی که دامنه‌هایشان مهم است را ارسال کنیم هنوز می‌توانیم سیگنال دیجیتال را با دقت صحیحی در گیرنده مجدداً تولید کنیم.

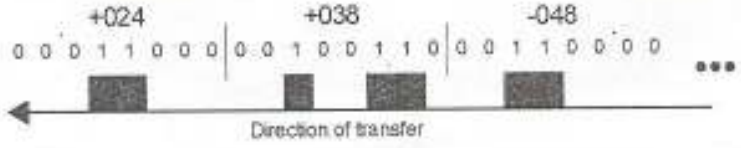


شکل ۵-۱۷ : سیگنال PAM کوانتیزه شده

+024	00011000	-015	10001111	+125	01111101
+038	00100110	-080	11010000	+110	01101110
+048	00110000	-050	10110010	+090	01011010
+039	00100111	+052	00110110	+088	01011000
+026	00011010	+127	01111111	+077	01001101

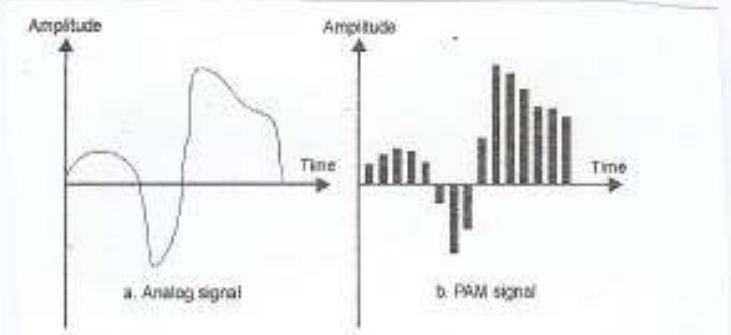
Sign bit
+ is 0 - is 1

شکل ۵-۱۸ : کوانتیزه کردن با استفاده از علامت و دامنه



(Pulse Amplitude Modulation) PAM

در این مدولاسیون سیگنال اصلی با فاصله زمانهای مساوی نمونه برداری می‌شود



(Pulse code Modulation) PCM

مدولاسیون PCM پالسهای تولید شده توسط PAM را اصلاح کرده و یک سیگنال کاملاً دیجیتالی تولید می‌کند. PCM برای انجام این کار ابتدا پالسهای PAM را کوانتیزه می‌کند. کوانتیزیشن (Quantization) به تخصیص مقادیر صحیح واقع در یک رنج مشخص، به مقادیر نمونه برداری شده می‌باشد.

نرخ نمونه برداری (sampling rate)

با استفاده از PCM می‌توانیم با برداشتن بی‌نهایت نمونه، شکل موج را دقیقاً بازسازی کنیم و یا اینکه می‌توانیم با برداشتن فقط ۳ نمونه، جهت تغییرات سیگنال را به صورت تقریبی نشان دهیم. بدیهی است که با دنبال هدفی برای تعداد نمونه‌ها بین دو حد باز نشده‌ای باشیم. بنابراین سوال این است: چه تعداد نمونه کفایت می‌کند؟

در واقع وسیله گیرنده به منظور بازسازی یک سیگنال آنالوگ، به مقدار بسیار کمی از اطلاعات نیاز دارد. طبق قضیه نایکوئیست (Nyquist teorem): به منظور حصول اطمینان از صحت تولید مجدد یک سیگنال آنالوگ با استفاده از PAM یا PCM، نرخ نمونه برداری باید حداقل دو برابر بالاترین فرکانس سیگنال آنالوگ باشد.

بنابراین اگر بخواهیم صدای تلفنی با حداکثر فرکانس 4000Hz را نمونه برداری کنیم، نرخ نمونه برداری برابر $2 \times f_{max} = 8000$ نمونه در ثانیه نیاز نداریم.

تعداد بیت در هر نمونه:

پس از آنکه نرخ نمونه برداری را تعیین کردیم، باید تعداد بیت ارتی برای هر نمونه را تعیین کنیم این کار بستگی به سطح دقت مورد نیاز دارد. تعداد بیت طوری انتخاب می‌شود که بتوان دامنه سیگنال اصلی را با دقت مطلوب، تقریباً بازسازی نمود.

مثال) سیگنالی نمونه برداری شده است. هر نمونه به حداقل 12 سطح از دقت نیاز دارد، به ازای هر نمونه، چند بیت باید ارسال شود؟

$2^n \geq$ تعداد سطح $\longrightarrow n = 4$ bit

نرخ بیت (bit rate)

نرخ بیت = نرخ نمونه برداری × تعداد بیت در هر نمونه

مثال - می‌خواهیم صدای انسان ($0 - 4000^{Hz}$) را به صورت دیجیتالی درآوریم، نرخ بیت و نرخ صحت بیت در هر نمونه را بدست آورید.

نرخ نمونه برداری $= 2 \times 4000 = 8000$ samples/second

نرخ بیت $= 8000 \times 8 = 64000$ b/s $= 64$ Kbps

ظرفیت خط انتقال (رابطه شانون)

جهت تعیین ماکزیمم ظرفیت خط انتقال طبق رابطه شانون از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$H = B.W. \log_2 (1 + \frac{S}{N})$$

H ↓ bps — $B.W$ ↓ Hz

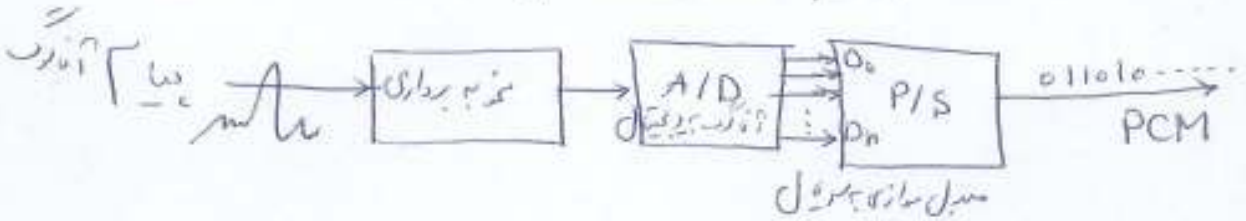
که در رابطه B.W پهنای باند خط انتقال بر حسب Hz و $\frac{S}{N}$ عدد سنت توان سیگنال (P_S) به توان نویز (P_N) در خط انتقال می‌باشد

مثال) خط انتقالی با پهنای باند 4000 Hz و نسبت $\frac{S}{N} = 1023$ چه تعداد بیت در ثانیه می‌تواند انتقال دهد؟

$$H = B.W \log_2(1 + \frac{S}{N}) = 4000 \times \log_2(1+1023)$$

$$H = 4000 \log_2 1024 = 4000 \log_2^{10} = 4000 \times 10 \times \log_2^1$$

$$H = 40000 \text{ bps} = 40 \text{ kbps}$$



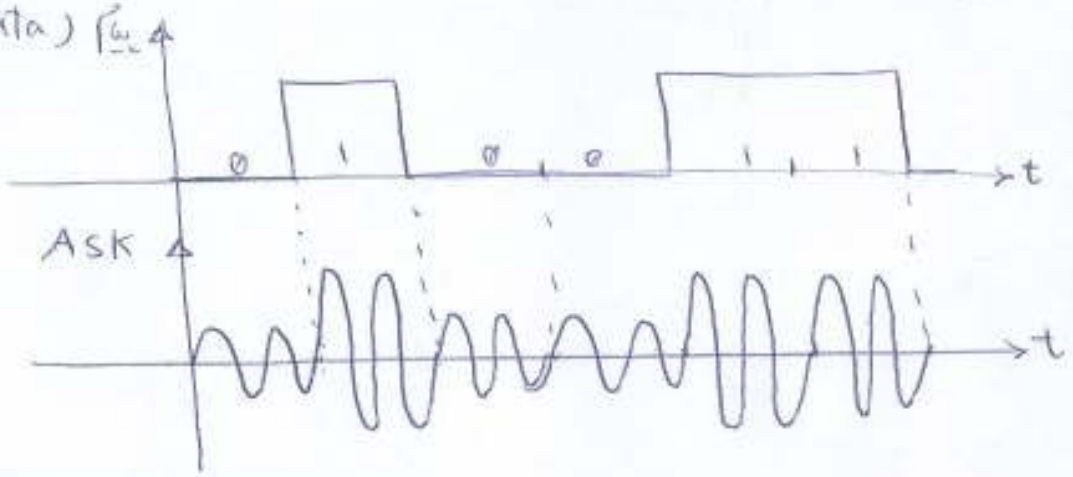
تبدیل دیجیتال به آنالوگ (مدولاسیون دیجیتال به آنالوگ)

چنانچه بخواهیم داده‌های دیجیتالی را بعنوان مثال از یک کامپیوتر به کامپیوتر دیگری از طریق یک خط تلفن ارسال کنیم، از آنجایی که خطوط تلفن جهت انتقال سیگنال‌های آنالوگ طراحی شده‌اند می‌بایست داده‌ها را به شکل سیگنال آنالوگ درآورد.

سه نوع مدولاسیون ASK، FSK، PSK و بالاخره QAM که ترکیبی از ASK و PSK می‌باشد جهت مدولاسیون بالا استفاده می‌گردد.

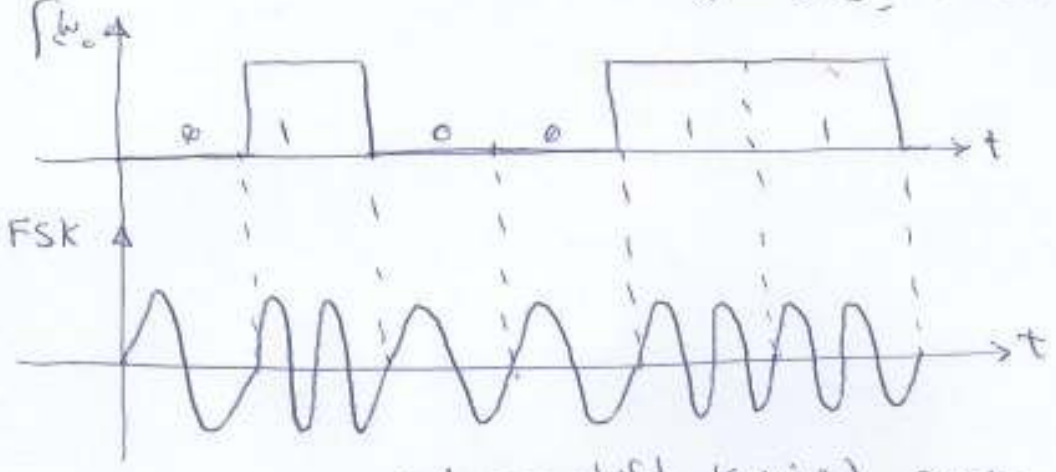
مدولاسیون ASK (Amplitude shift keying)

در ASK برای نمایش یا بیت 1 یا 0 دامنه سیگنال حامل تغییر داده می‌شود. زمانی که دامنه تغییر می‌کند، هم فرکانس و هم فاز ثابت نگه داشته می‌شود.



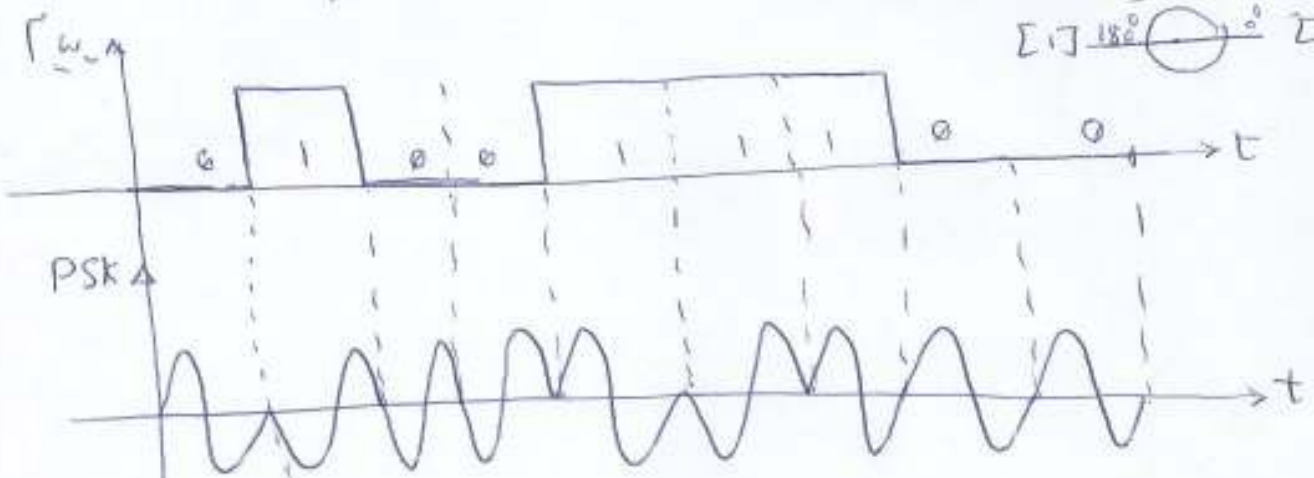
مدولاسیون FSK (Frequency shift keying)

در FSK برای نمایش بیتی ۱ و ۰ فرکانس حامل سیگنال تغییر داده می‌شود. (دامنه و فاز تغییر نمی‌کند)

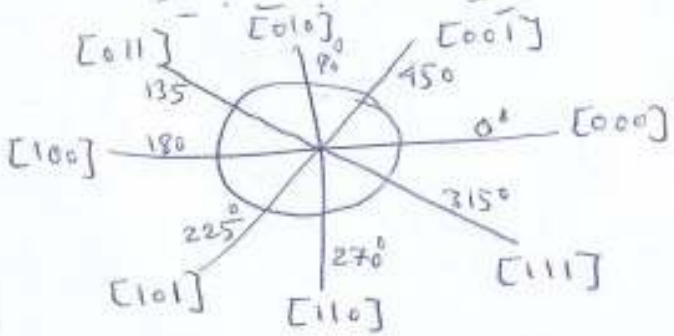


مدولاسیون PSK (phase shift keying)

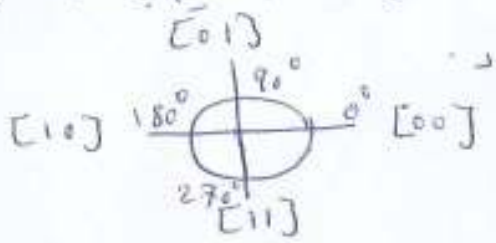
در PSK سیگنال را برای نمایش بیتی ۱ و ۰ تغییری دهیم، وقتی‌که برای تغییر ۰ یا ۱ فاز تغییری نکند و دامنه و فرکانس ثابت باقی می‌ماند.



PSK را می‌توان با تقسیم بر فازهای کوچکتر در هر تغییر تعداد بیت بیشتری را ارسال کرد.



در هر تغییر ۳ بیت ارسال می‌گردد.

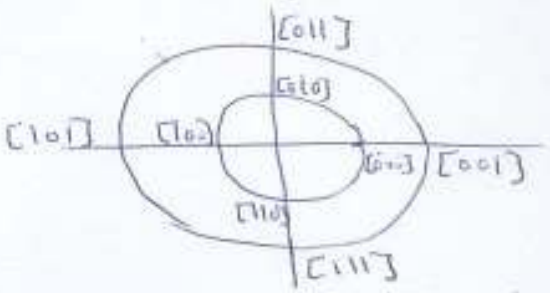


(در هر تغییر ۲ بیت ارسال می‌گردد)

مدولاسیون QAM (Quadrature Amplitude Mod.)

مدولاسیون QAM که در آن ترکیب مدولاسیون ASK و PSK می‌توان

در Modem ها از این روش استفاده می‌گردد، نام برد.



2 Amplitudes - 4 phases

در این مدولاسیون هم دامنه و هم فاز با

ازای شدتاً ۳ بیت تغییری کند می‌تواند

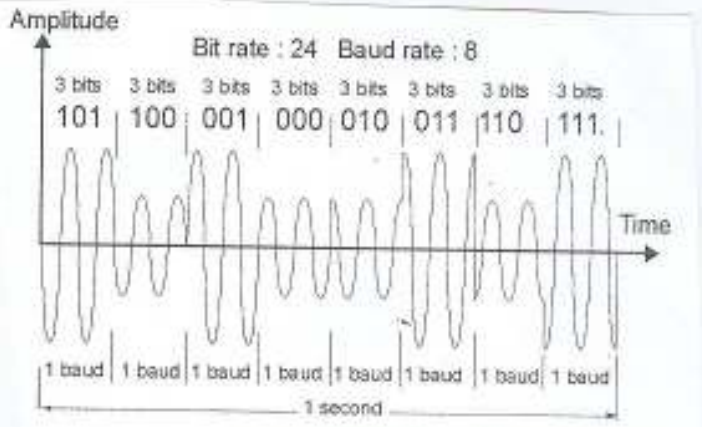
که در شکل نشان داده‌ی شود فاز ۰° با

دامنه بهتر برای سه بیت [۰۰۰] و فاز ۰°

با دامنه بیشتر برای سه بیت [۰۰۱] به کار

می‌رود. تعداد حالات ممکن QAM زیادست و از نظر تئوری هر مقدار تغییر قابل

اندازه گیری در دامنه را می‌توان با هر مقدار تغییر قابل اندازه گیری در فاز ترکیب کرد.



حل (QAM)

سیستم‌های مخابراتی - محیط انتقال

محیط انتقال را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم کرد:

۱- هدایت شده (سیمی)

۲- هدایت نشده (بی‌سیم)

محیط انتقال هدایت شده: کابل‌هایی که محیط هدایت سیگنال از یک وسیله به وسیله دیگر است، شامل کابل زوج سیم به هم تابیده (Twisted Pair)، کابل کواکسیال (coaxial) و کابل فیبر نوری می‌باشد. سیگنالی که در امتداد هر یک از این محیط‌ها حرکت می‌کند، هدایت شده است و محدودیت‌های فیزیکی محیط انتقال، به سیگنال انتقالی اعمال می‌شوند. زوج سیم به هم تابیده شده و کواکسیال از هادی سیمی (مسی) استفاده می‌کنند که سیگنال را به شکل جریان الکتریکی در بافت و منتقل می‌کند. فیبر نوری یک کابل شیشه‌ای یا پلاستیکی است که سیگنال را به شکل نور، در بافت و منتقل می‌کند.

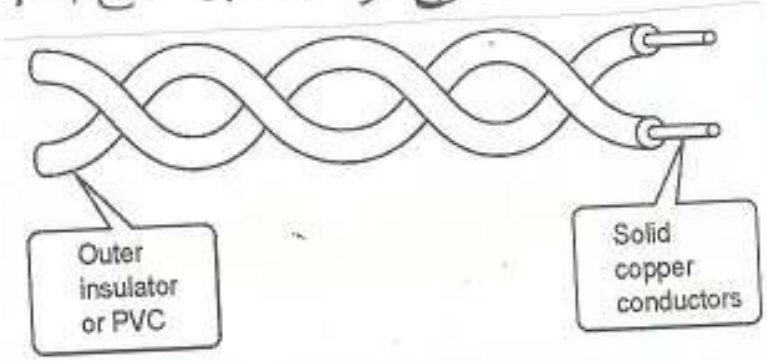
کابل زوج سیم به هم تابیده شده

به دو فرم بدون حفاظ UTP (unshielded T.P.) و کابل با حفاظ STP (shielded Twisted Pair) می‌باشد.

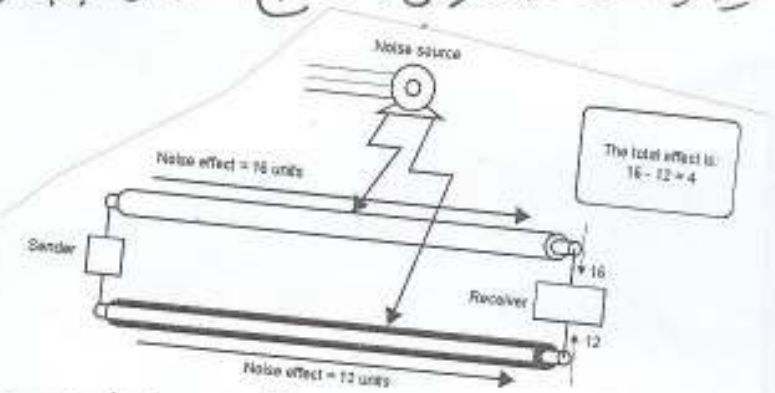
UTP

در استفاده امروزی کابل UTP متداول‌ترین نوع محیط فیزیکی برای LAN است. UTP برای انتقال داده‌ها و انتقال صدا محیط مناسبی است. یک زوج سیم مسی و هر کدام با رنگ، پلاستیکی خود را دارند.

پهنای باند کابل زوج به هم تابیده شده



در گذشته از دو سیم مسطح موازی برای فرستادن سیگنال استفاده می‌شد. با این وجود تداخل الکترومغناطیس از سوی وسایلی نظیر یک موتور، می‌تواند روی این سیم‌ها نویز ایجاد کند. اگر دو سیم موازی باشند، سیمی که به منبع نویز نزدیک‌تر است تداخل بیشتری می‌گیرد و سهم سیمی که دورتر است و تأثیر بیشتری در آن القا می‌شود و نتیجه آن که غیر یکنواختی بار الکتریکی و اعوجاج سیگنال بوجود می‌آید.



با این وجود اگر دو سیم در فواصل مساوی به دور هم تابیده شوند (مثلاً ۲ تا ۱۲ دور در هر سی سانتی‌متر) هر سیم به اندازه نصف از زمان منبع نویز نزدیکتر است و هم اندازه نصف دیگر زمان، از منبع دورتر می‌باشد. لذا با تابیدن سیم‌ها، مجموع اثر تداخل در هر دو سیم یکسان می‌شود. البته تابیدن سیم‌ها سبب حذف نویز به طور کامل نمی‌شود ولی به مقدار قابل توجهی آن را کاهش می‌دهد.

انجمن صنایع الکترونیک EIA (Electronic Industries Association)

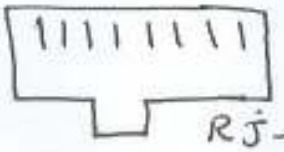
استانداردهایی را برای درجه‌بندی کابل‌های UTP براساس کیفیت آنها ارائه کرده است. گروه‌ها (category) توسط کیفیت کابل تعیین می‌شوند و ۱ نشان دهنده کمترین کیفیت و ۷ نشان دهنده بالاترین کیفیت است.

CAT-1 : ابتدایی‌ترین کابل سیم زوج به هم تابیده شده است که در سیستم‌های تلفن به کار رفته است. که بیشتر برای ارسال صدا و سرعتهای کم انتقال داده استفاده می‌گردد.

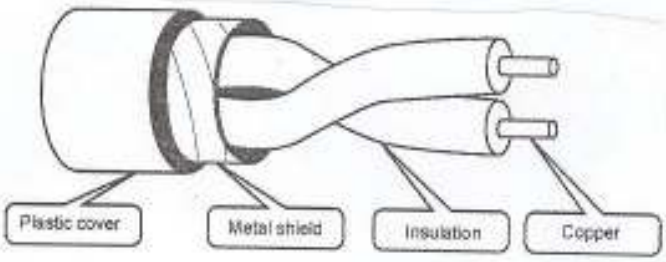
CAT-2 : درجه بالاتر بعدی است که برای انتقال صدا و داده‌ها تا سرعت 4Mbps مناسب است.

CAT-3 : برای انتقال داده‌ها تا سرعت 10 Mbps (مگابیت بر ثانیه)
CAT-4 : " انتقال داده‌ها تا سرعت 16 Mbps
CAT-5 : برای انتقال داده‌ها تا سرعت 100 Mbps
CAT-6 : برای انتقال داده‌ها تا سرعت 150 Mbps

UTP ها معمولاً توسط اتصالات RJ-45 که حاوی هشت اتصال می‌باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد.



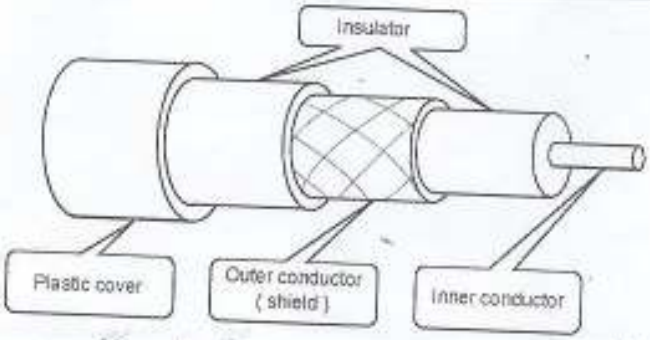
کابل STP :
کابل STP حاوی یک پوشش یا تارهای سیمی، هم‌تابیده فلزی است که هرزوج از هادی‌ها پیچیده شده را در بر می‌گیرد.



پوشش فلزی مانع از نفوذ نویز الکترومغناطیس می‌شود. این پوشش فلزی هم‌چنین می‌تواند پدیده‌ای به نام Crosstalk را که درواقع اثر نامطلوب یک کانال انتقال روی کانال دیگر است، را حذف کند.
کیفیت STP و کانکتورهای به کار رفته برای آن شبیه UTP است ولی حفاظ باید به زمین وصل شود. نیاز مندیهای خاص و مواد به کار رفته STP را گرانتر از UTP می‌کند، ولی حساسیت آن نسبت به نویز می‌کاهد.

کابل هم محور (کواکسیال)
کابل کواکسیال (یا Coax) شبیه به کابل زوج سیم هم‌تابیده شده، سیگنال‌های باز گستره بالاتری را حمل می‌کنند.

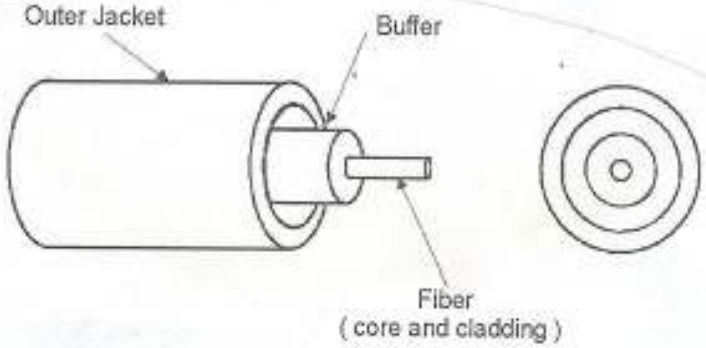
در این کابل ۲ جای دو سیم، Coax حاوی یک هادی سفتی مرکزی مسی است و یک پوشش عایق آن را در بر می‌گیرد. سپس روی این پوشش عایق، یک هادی خارجی از جنس مفتول فلزی، تارهای بافته شده از مس قرار می‌گیرد. پوشش فلزی خارجی، هم به عنوان پوششی در مقابل نویز و هم از عنوان یک هادی که مدار را کامل می‌کند، عمل می‌نماید. این هادی بیرونی را نیز یک پوشش عایق در بر می‌گیرد و کل کابل توسط یک پوشش پلاستیکی محافظت می‌شود.



کابل‌های کواکسیال با شماره‌گذاری RG xxx نامگذاری می‌گردند. حرف RG مخفف مجموعه مشخصه‌های فیزیکی و الکتریکی کابل است، که شامل ضخامت هادی داخلی، ضخامت و نوع عایق داخلی، ساختار هدایت خارجی، اندازه، نوع پوشش و امپدانس کابل می‌گردد. به عنوان مثال RG-59 با مشخصه 75^{Ω} در انتقال سیگنال تلویزیون کاربرد دارد و RG-58 با مشخصه 50^{Ω} در شبکه‌های کامپیوتری استفاده می‌شود.

فیبر نوری (Fiber optic)

نور شکلی از انرژی الکترومغناطیس است و در خلاء با سرعت $300'000\ km/s$ حرکت می‌کند هر چه چگالی محیطی که نور از داخل آن عبور می‌کند افزایش یابد، سرعت نور کاهش می‌یابد.



ساختمان یک فیبر نوری متشکل از مغزی (Core) که توسط یک لایه بافر و یک پوشش خارجی تشکیل می‌گردد. مغزی از جنس شیشه یا پلاستیک بوده و پوشش خارجی از مواد مختلفی مثل تفلون، پوشش پلاستیکی، زره فلزی و ... می‌توان ساخت هریک از این مواد برای کاربرد و اهداف خاصی به کار می‌روند و انتخاب جنس بستگی به محل نصب دارد.

فیبرهای نوری از نظر انتشار به دو نوع single mode و multi mode تقسیم می‌شوند در نوع multimode سیگنال بصورت نور با برخورد به بدنه های داخلی مغزی به حرکت می‌کند، ساخت این نوع فیبر با قطر زیادتر آسان‌تر از نوع single می‌باشد، در نوع single قطر مغزی بسیار کم بوده و سیگنال نوری بصورت مستقیم حرکت می‌کند لذا می‌تواند تا فواصل دورتری نسبت به multimode از تضعیف کمتری برخوردار بوده ولی ساخت این نوع فیبر کمی مشکل‌تر و هزینه آن گرانتر می‌باشد.

نوع فیبرها معمولاً براساس قطر core/cladding یا بعبارتی پوشش/مغزی ارائه می‌گردد مثلاً فیبر نوع 62.5/125 که قطر مغزی 62.5 میکرون (میکرومتر) و قطر پوشش 125 میکرون می‌باشد.

در فیبرهای مولتی مد جهت ارسال اطلاعات از دیودهای LED و در فیبرهای Singlemode از LED های لیزری جهت ارسال و در طرف گیرنده جهت تبدیل سیگنال به الکتریکی از فتودیودهای مربوطه استفاده می‌گردد جهت داشتن ارتباط دو طرفه (Duplex) نیاز به دو رشته فیبر یکی برای ارسال و دیگری برای دریافت وجود دارد.

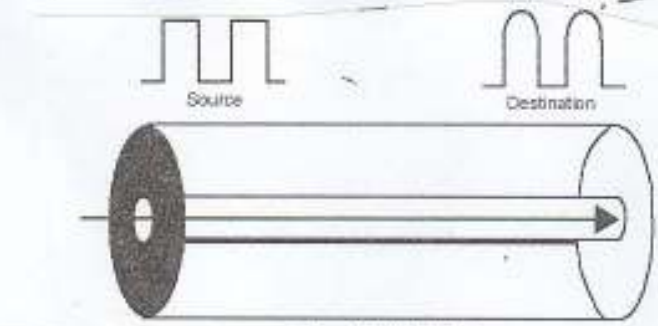
مزایای فیبر نوری

مزایای اصلی که کابل فیبر نوری بر زوج سیم تابیده شده و کابل کواکسیال دارد مقاومت آن در مقابل نویز (S/N بالا)، تضعیف کم سیگنال

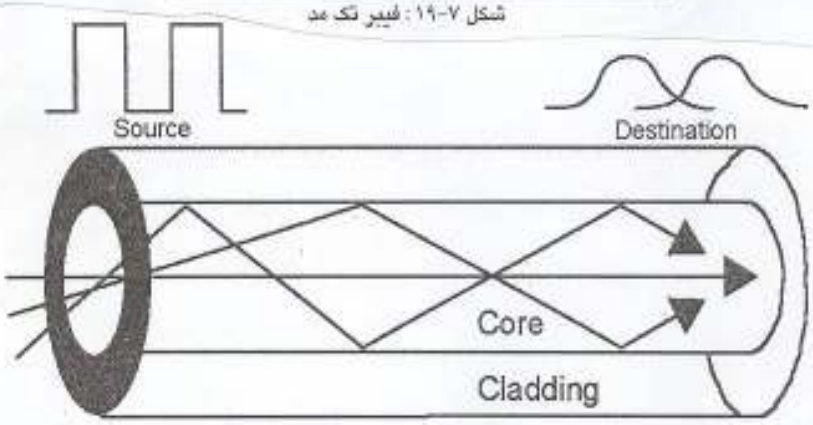
وپهنای باند بیشتر است.

با توجه به پهنای باند بالا و مقاومت زیاد در مقابل نویز می‌توان داده‌های دیجیتال را با سرعت بسیار بالاتری نسبت به کابل مسی در فیبر نوری منتقل نمود.

معایب عمده کابل‌های فیبر نوری هزینه نصب و نگهداری آنها می‌باشد.



شکل ۷-۱۹: فیبر تک مد



محیط انتقال هدایت نشده (wireless)

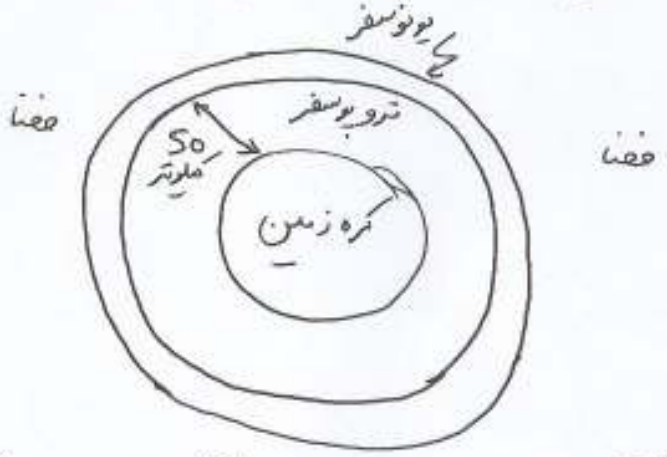
محیط هدایت نشده یا مخابرات بی‌سیم، بدون استفاده از یک هدایت کننده فیزیکی، امواج الکترومغناطیس را منتقل می‌کند، سیگنال از طریق هوا (یا در بعضی موارد آب) منتشر می‌شوند و بنابراین هرکسی که وسیله‌ای برای دریافت آنها داشته باشد می‌تواند آنها را دریافت کند.

انواع انتشار

انتقال موج رادیویی از پنج نوع مختلف انتشار استفاده می‌کند

۱- سطحی (surface)
۲- تروپوسفریک (Tropospheric)
۳- یونوسفریک (Ionospheric)
۴- خط دید (Line of sight)
۵- فضا (space)

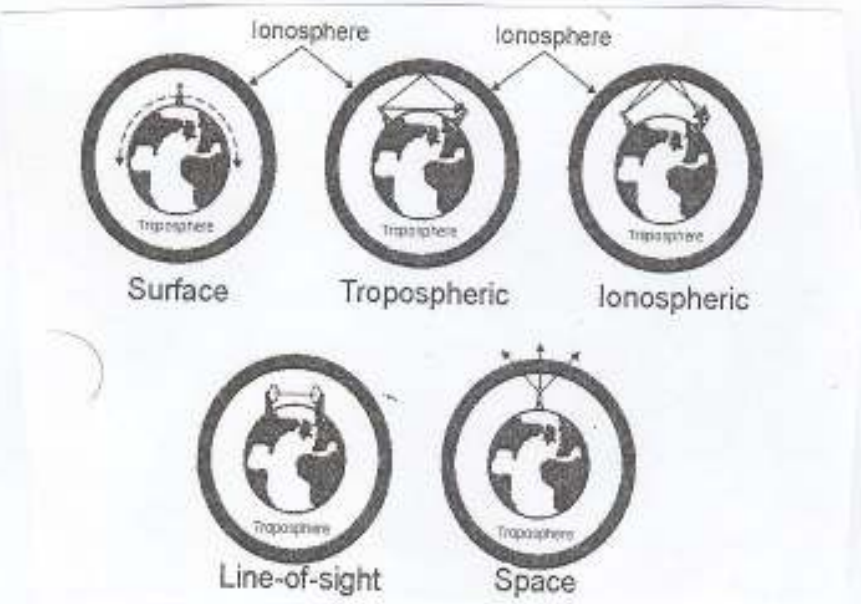
در تکنولوژی رادیویی، این طور در نظر گرفته می‌شود که زمین ترسوده‌ی لایه‌ی اتمسفر احاطه است. لایه تروپوسفر و لایه یونوسفر. تروپوسفر آن بخش از اتمسفر است که تا حدود پنجاه کیلومتری از سطح زمین ادامه دارد. در فرهنگ لغات رادیویی، لایه تروپوسفر حاوی چیزی است که ما معمولاً هوا می‌نامیم. ابر، باد، تغییرات دما و رطوبت آب و هوا همگی مواردی هستند که در لایه تروپوسفر مطرح هستند و هواپیماها نیز در این لایه حرکت می‌کنند. یونوسفر آن لایه از اتمسفر است که بالای تروپوسفر و پائین‌تر از فضا قرار دارد. این لایه فراسوی آن چیزی است که ما به عنوان اتمسفر می‌شناسیم و حاوی ذرات باردار الکتریکی است که آزادانه حرکت می‌کنند. (به همین دلیل نام آن را یونوسفر گذاشته‌اند)



انتشار سطحی: در انتشار سطحی، امواج رادیویی از پائین‌ترین بخش اتمسفر که در تماس با زمین است حرکت می‌کنند، در پائین‌ترین فرکانس‌ها، سیگنال‌ها در تمام جهات از آنتن فرستنده پخش می‌شوند و سطح انحنای زمین را دنبال می‌کنند. قدرت سیگنال بستگی به توان فرستنده دارد. انتشار سطحی در آب دریا نیز می‌تواند صورت پذیرد.

انتشار تروپوسفریک: این انتشار می‌تواند به دو طریق عمل کند. یا اینکه سیگنال می‌تواند در یک خط مستقیم از یک آنتن به آنتن دیگر (خواه دید) هدایت کرد یا اینکه می‌توان آن را تحت زاویه‌ای به داخل لایه‌های بالاتر تروپوسفر منتشر کرد و سپس سیگنال در اثر انعکاس در آن لایه‌ها مجدداً به سطح زمین برگردد. اولین روش مستلزم آن است که

محل فرستنده و گیرنده چنان باشد که در خط دید هم قرار داشته باشند ولذا فاصله آنها بسته به ارتفاع آنتن تا انحناء زمین محدود می‌شود. با یک رویش دوم می‌توان فاصله های بیشتری را پوشش داد.



انتشار یونوسفریک: در این انتشار امواج رادیویی با فرکانس بالاتر بجهت بالا به داخل لایه یونوسفر منتشر می‌شوند و از طریق این لایه بجهت زمین منعکس می‌شوند. تفاوت چگالی لایه های تروپوسفر و یونوسفر سبب می‌گردد تا سرعت موج رادیویی بالاتر رفته و جهت خود را تغییر دهد و در اثر انحنایی که می یابد مجدداً به سطح زمین برمی‌گردد. این نوع انتشال سبب می‌گردد تا با صرف توان کمتری فرستنده بتوان فاصله های بیشتری را پوشش داد.

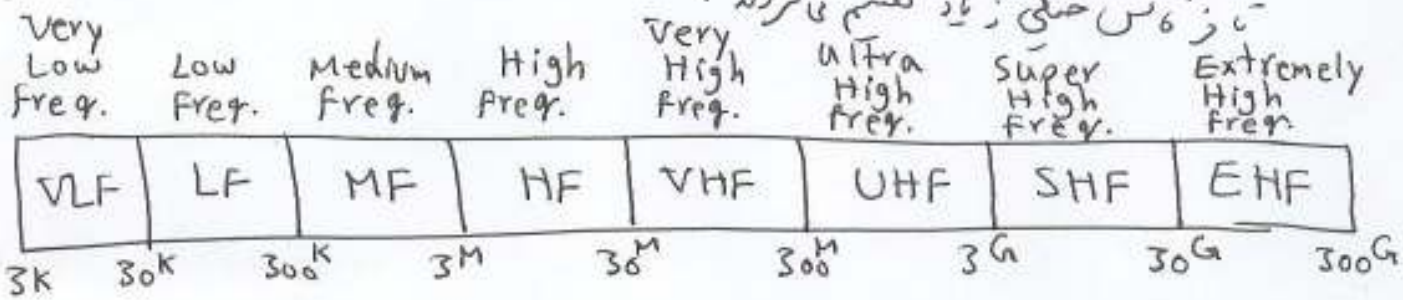
انتشار خط دید: در این انتشار، سیگنال‌های با فرکانس خیلی بالا به صورت خط راست مستقیم از یک آنتن به آنتن دیگر منتقل می‌شوند. آنتن باید جهت دار (Directional) باشند و همدیگر را ببینند و برای آنکه قدرت تأثیر انحناء زمین قرار نگیرند یا باید به اندازه کافی بلند باشند و یا اینکه به اندازه کافی به هم نزدیک باشند.

انتشار فضایی: در این انتشار به جای آنکه از انکسارهای اتمسفری استفاده کند، راه‌های ماهواره‌ای را به کار می‌برد. سیگنال منتشر شده توسط ماهواره‌ای که بیرون زمین در مدار خنثی است، دریافت می‌شود. ~~ماهواره‌های در~~

و مجدداً به سمت گیرنده مورد نظر واقع بر سطح زمین منتشر می‌شود. ارسال ماهواره‌ای در واقع ارسال خط دیدالبت با این تفاوت که از واسطه‌ای (به نام ماهواره) استفاده می‌شود. بهره آنتن ماهواره زیاد است و به دلیل فاصله زیاد ماهواره تا زمین، می‌تواند سطح تحت پوشش زیادی را پوشش دهد.

انتشار امواج فرکانسی:

آن بخش از طیف الکترومغناطیس که به عنوان امواج رادیویی تعریف شده است به هشت رنج به نام باند (Band) تقسیم شده است. این باندها از فرکانس‌های خیلی کم تا فرکانس خیلی زیاد تقسیم می‌گردند.



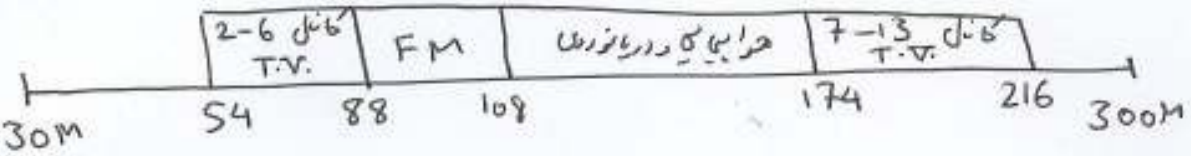
VLF: امواج VLF معمولاً از طریق هوادگاهی نیز از طریق آب دریا به صورت امواج سطحی منتشر می‌شوند. امواج VLF اکثراً برای امواج رادیویی دریانوردی با برد زیاد و نیز برای مخابره با زیردریایی به کار می‌روند.

LF: امواج LF به صورت سطحی منتشر می‌شوند. امواج LF برای امواج دریانوردی با برد زیاد و یا برای محل‌یاب‌های دریانوردی به کار می‌روند.

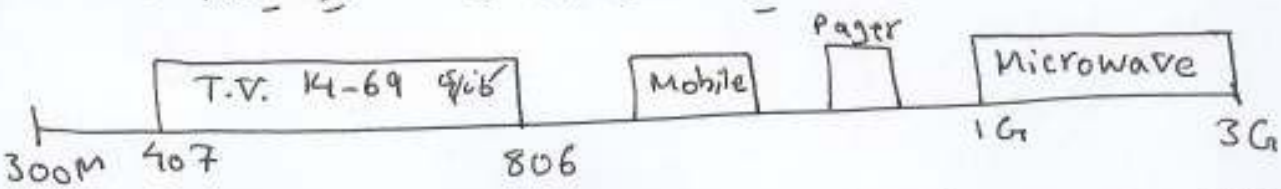
M.F: سیگنال‌های MF در لایه تروپوسفر منتشر می‌شوند و لایه یونوسفر این فرکانس‌ها را جذب می‌کند. کاربرد های ارسال MF شامل رادیو AM، رادیو ناوبری (باند تجاری MW در رادیوی AM) می‌باشد.

H.F: سیگنال‌های HF از انتشار یونوسفریک استفاده می‌کنند. این فرکانس‌ها وارد لایه یونوسفر می‌شوند و در آن تفاوت در چگالی سبب انعکاس و برگشت سیگنال به زمین می‌شود. کاربرد های سیگنال‌های HF شامل رادیو آماتور، بخش بین‌المللی (باند S.W. تجاری رادیو AM) مخابره نظامی، مخابره هواپیمایی با برد زیاد و مخابرات کشتی می‌باشد.

VHF : VHF از انتن رخطدید استفاده می‌کند. کاربردهای VHF شامل تلویزیون VHF، رادیوی FM، رادیو AM هوایپمایی و کمک دریانوردی هوایپمایی می‌باشد.



UHF: امواج UHF همواره از انتن رخطدید استفاده می‌کند. کاربردهای UHF شامل تلویزیون UHF، تلفن موبایل، Pager و لینکهای ماکروویو می‌باشد.



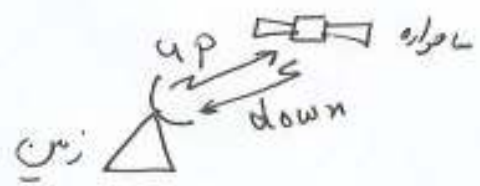
SHF: امواج SHF اکثراً با انتن رخطدید و در بعضی موارد با انتن رفضایی ارسال می‌گردند. استفاده از SHF شامل ماکروویو زمینی و ماهواره‌ای و نیز مخابرات رادار می‌باشد.

EHF: از انتن رفضایی استفاده می‌کند و کاربردهای آن اساساً علمی و شامل رادار، ماهواره و مخابرات آزمایشی می‌باشد.

باندهای فرکانسی برای مخابرات ماهواره‌ای

هر ماهواره‌ای روی دو باند فرکانسی مختلف سیگنالها را ارسال و دریافت می‌کند، ارسال از زمین به کمک ماهواره را با نام لینک بالارونده (Uplink) و ارسال از ماهواره به کمک زمینی، لینک پائین (DownLink) می‌نامند.

Band	DownLink	UpLink
C	3.7Gto 4.2GHz	6 to 6.42 GHz
Ku	11.7 to 12.2GHz	14 to 14.5 GHz
Ka	17.7 to 21GHz	27.5 to 31 GHz

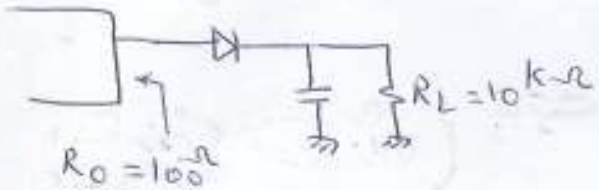


نمونه سوالات سیستم مخابراتی — ۲ صفحه — ص ۱ از ۲

۱- انواع مدولاسیون دامنه را از نظر پهنای باند، راندمان و نحوه آشکارسازی و کاربرد با هم مقایسه کنید.

۲- رابطه $v(t)=(4\cos 2\pi 10^6 t)^2+3\sin 2\pi 10^3 t$ را به صورت مزکاین نمایش دهید.

۳- آشکارساز سیگنال (پیرسن) مبدل مرجع



$x_{AM}(t)=5(1+0,4\cos 2\pi 10^4 t)\cos 2\pi 10^6 t$

طرح کنید.

۴- بهره کلی دامنه مدولاسیون را بنویسید.

۵- تفاوت آشکارساز پیرسن و مزی را بنویسید.

۶- چنانچه پیام $8^V\cos 2\pi 10^3 t$ بر کریر $2^V\cos 2\pi 10^6 t$ مدوله AM کند پهنای نوار و توان مدولاسیون چقدر است؟ راندمان و توان مصرفی در مقاومت بار متصل به مدولاتور 100Ω می باشد محاسبه کنید: رابطه AM و راندمان و توان مصرفی در مقاومت بار متصل به مدولاتور را بنویسید.

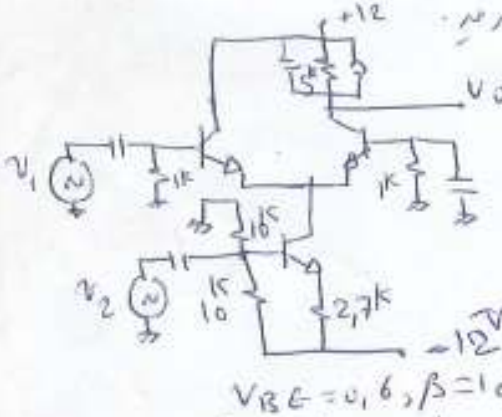
۷- انواع سیستم مخابراتی از نظر جهت انتقال اطلاعات را نام برده و تفاوت آنها را بیان نمائید.

۸- انواع سیستم مخابراتی با نوع پیام و کریر بازگرمینال در هر کدام بیان نمائید.

۹- بلوک دیاگرام تولید SSB به روش سلف را رسم و توابع هر بلوک را بنویسید.

۱۰- چنانچه بین کریر حذف شده و کریر نرمه در DSB اختلاف فاز وجود داشته باشد چه اشکالی در پیام آشکار شده بوجود می آید؟

۱۱- در مدار زیر رابطه خروجی و ضریب مدولاسیون را بدست آورید.



$V_1=75^{mV}\cos 10^6 t$

$V_2=4^V\cos 10^3 t$

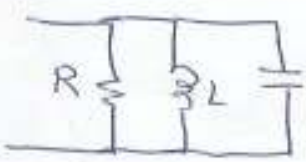
$V_{BE}=0,6 \quad \beta=100$

۱۲- بلوک دیاگرام گیرنده سوپرهترودین را رسم و هر بلوک را به طور مختصر توضیح دهید.

۱۳- در گیرنده سوپرهترودین با $f_{IF}=450^{KHz}$ کار می کند و $f_S=1^{MHz}$ تنظیم شده است مقدار فرکانس تصویر برای این ایستگاه را بدست آورید.

۱۴- چنانچه پیام $5\cos 2\pi 10^4 t$ بر روی کریر $10\cos 2\pi 10^8 t$ به صورت FM مدوله شده و مقدار $\Delta f=75^{KHz}$ باشد مطلوب است رابطه سیگنال FM و پهنای باند مورد نیاز.

۱۵- مقدار B.W. را در مدار زیر بدست آورید.



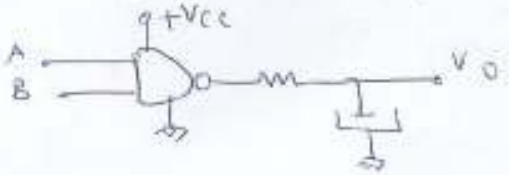
$C=10nF$
$L=1\mu H$
$R=10K\Omega$

B.W. = ?

۱۶- اس اس آشکارسازی FM را بنویسید و نمونه مداری برای آن رسم نمایید.

۱۷- آشکارسازی FM ؟ روش گواد را با رسم مدار توضیح دهید.

۱۸- بزرگ و کوچک خروجی برحسب اختلاف فاز را برای آشکارساز فاز زیر رسم کنید.



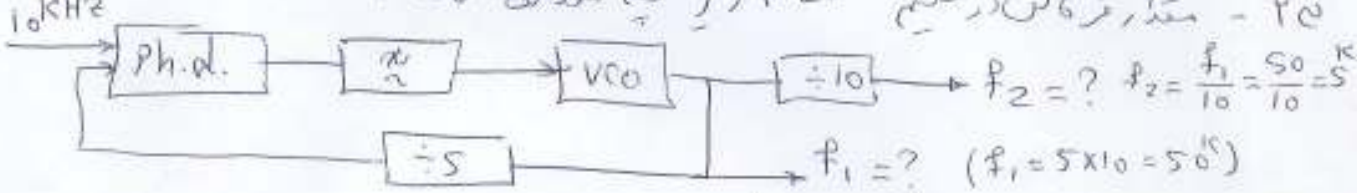
۱۹- تفاوت دو نوع آشکارساز نوع I (سطح) و نوع II (لبه) را بنویسید.

۲۰- محدوده تقسیم بندی باند فرکانسی را از 30 KHz تا 3 GHz بنویسید.

۲۱- تفاوت اتنا و یونوسفریک و تروپوسفریک را بنویسید.

۲۲- روشهای TDM و FDM را توضیح دهید.

۲۳- مقدار فرکانس در سیستم PLL زیر چه مقدار است؟



۲۴- PCM چیست و چه کاربردی دارد؟

۲۵- مدولاسیون FSK و PSK را توضیح دهید و کاربرد آن را بنویسید.

۲۶- در QAM چه شکلی داده ها بروی خط منتقل می شوند؟

۲۷- در خط انتقالی با $\frac{S}{N}=2047$ و B.W = 5KHz حداکثر سرعت انتقال داده چه مقداری است؟

۲۸- انواع شبکه های کامپیوتر از نظر تبادل اطلاعات را نام ببرید و خصوصیات هرکدام را بصورت مختصر بنویسید.

۲۹- انواع توپولوژی در شبکه های محلی را نام ببرید و نحوه چینش DTE ها در هر توپولوژی رسم کنید.

۳۰- تفاوت کابلهای UTP و STP را بنویسید.

۳۱- انواع کابل UTP و محدوده کاری آنها را بنویسید.

۳۲- ساختمان فیبر نوری را رسم کرده و تفاوت singlemode و multimode را بیان نمایید.

۳۳- چنانچه بخواهیم از خط انتقالی با ظرفیت 1 Mbps ، 16 کانال را بصورت TDM ارسال کنیم حداکثر فرکانس هر کانال چه مقداری میتواند باشد (مدولاسیون بصورت PCM است)

۳۴- چنانچه bit Interval بتواند 1 MS (میکروثانیه) باشد، نرخ بیت (Bit rate) بتواند چند bps باشد.

۳۵- چنانچه پیام دیتال را بخواهیم از طریق خط تلفن (کربن آنالوگ) ارسال کنیم از چه نوع مدولاسیونی استفاده می کنیم؟