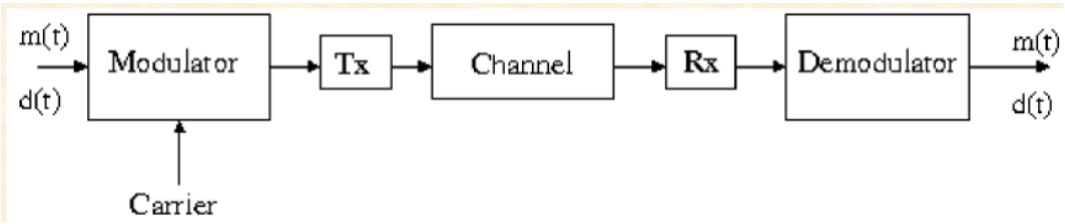
۱. Modulation and Demodulation

در فرایند مدولاسیون، سیگنال پیام، غالبا در باند پایه، که حاوی اطلاعات است، پارامتری از سیگنال حامل که دارای فرکانس بسیار بالاتری از بیشترین فرکانس پیام را دارد، تغییر می دهد. سیگنال پیام را Modulating و سیگنال حاصل از عمل مدولاسیون را Modulated نامند. اگر سیگنال حامل را به صورت $v_c(t) = A_c \, \mathrm{Cos}(\omega_c t + \varphi)$ در نظر بگیریم، آنگاه با توجه به سیگنال حامل که دارای فرکانسی به مراتب بیش از بالاترین فرکانس باند پیام دارد، سه نوع مدولاسیون آنالوگ می توان داشت:

مدولاسیون دامنه ای(AM): دامنه حامل توسط پیام تغییر می کند. مدولاسیون فرکانسی(FM) : فرکانس حامل توسط پیام تغییر می کند. مدولاسیون فازی(PM) : فاز سیگنال حامل توسط پیام تغییر می کند.

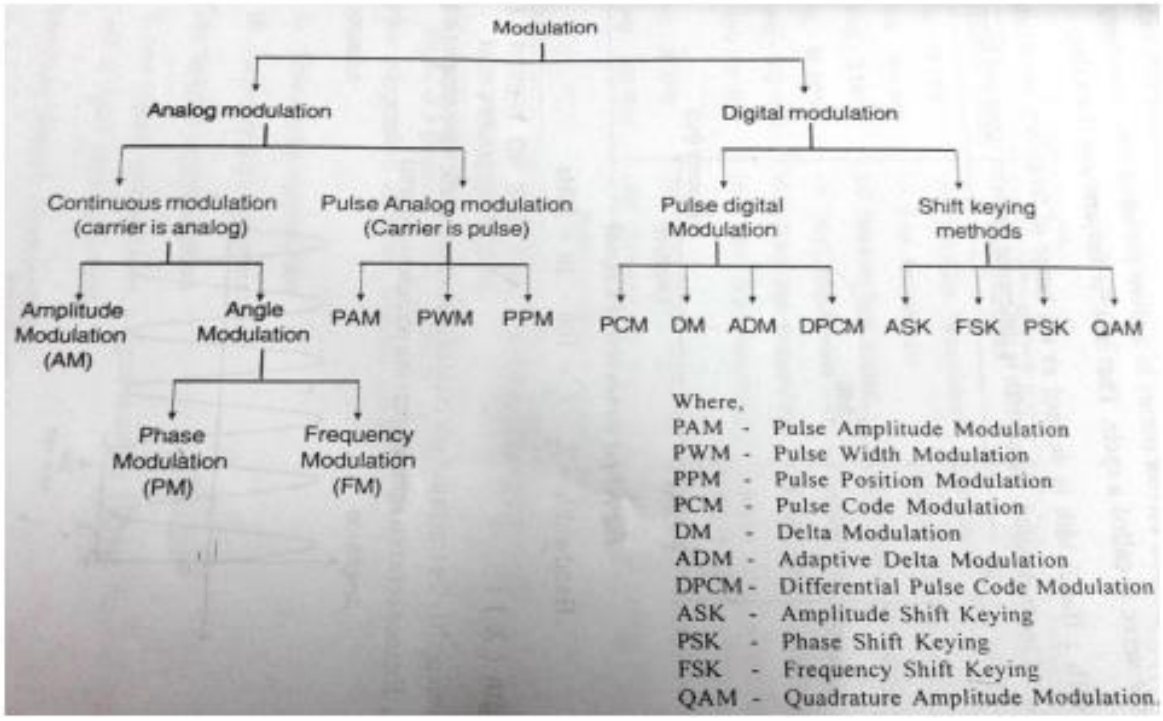


چرا مدولاسیون ضروری می باشد، نکات اصلی:

1. عملیاتی و پیاده سازی آنتن
2. انتقال کارآمد و راندمان بالاتر
3. کاهش تداخل و نویز
4. امکان مالتی پلکس کردن پیام ها

۲. Analogue Modulation (AM)

- موارد نمونه مدولاسیون دامنه ای آنالوگ عبارتند از: دوباند کناری با حامل(DSB-WC) ، دو باند کناری حذف حامل(DSB-SC) و تک باند کناری حذف حامل(SSB-SC) و باند کناری دنباله ای(VSB)
- موارد نمونه مدولاسیون فرکانس-فاز آنالوگ عبارتند از: مدولاسیون فرکانسی باند باریک(NBFM) ، مدولاسیون فرکانسی باند پهن(WBFM) مدولاسیون های فازی باند باریک و باند پهن(NBPM,WBPM)
- مدولاسیون پالسی مانند: مدولاسیون دامنه پالسی(PAM) ، مدولاسیون عرض پالسی(PWM) و مدولاسیون جای پالسی(PPM) .



سيستم مدولاسيون دامنه (AM)

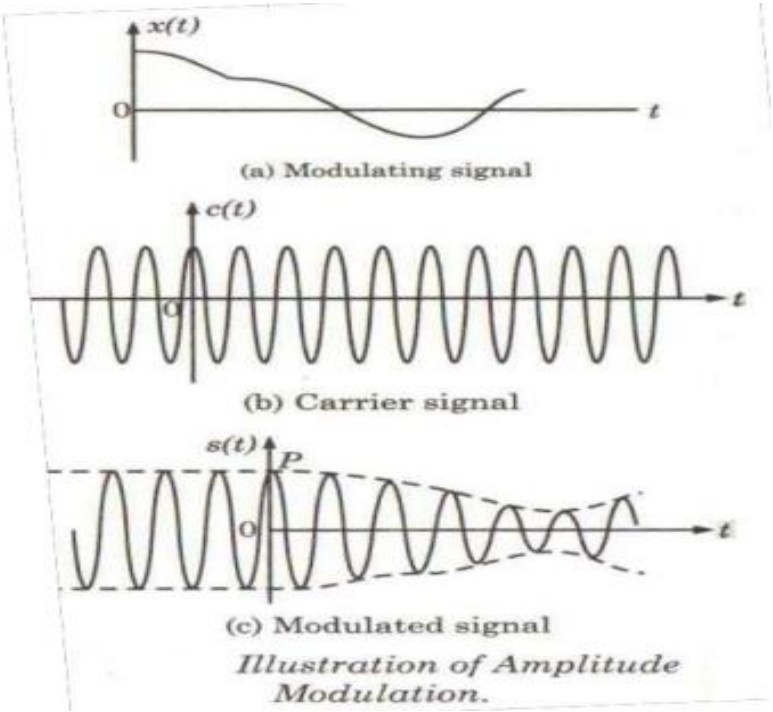


Illustration of Amplitude Modulation.

مدولاسیون تک- آهنگ

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$$

$$s(t) = A_c[1 + m\cos(2\pi f_m t)]Cos(2\pi f_c t)$$

فرض کنید مقادیر حداکثر و حداقل پوش سیگنال مدوله شده به ترتیب $A_{\max}$ و $A_{\min}$ باشند. در اینصورت مطابق تعریف شاخص مدولاسیون به صورت زیر تعریف می شود:

$$m = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} = \frac{A_m}{A_c}$$

طیف فرکانسی سیگنال AM

فرض کنید فرکانس حامل برابر با w_c و مولفه های فرکانسی باند کناری بالا (w_c+w_m) و پایین (w_c-w_m) باشند. بدین ترتیب پهنای باند برابر با :

$$B = (\omega_c + \omega_m) - (\omega_c - \omega_m) = 2\omega_m$$

و اگر طیف سیگنال مدوله شده را بخواهیم، با تبدیل فوریه سیگنال زیر:

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{2} mA_c \cos[2\pi(f_c + f_m)t] + \frac{1}{2} mA_c \cos[2\pi(f_c - f_m)t]$$

خواهیم داشت:

$$s(f) = \frac{1}{2} A_c[\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] + \frac{1}{4} mA_c[\delta(f - f_c - f_m) + \delta(f + f_c + f_m)]$$

$$+ \frac{1}{4} mA_c[\delta(f - f_c + f_m) + \delta(f + f_c - f_m)]$$

توان در باند های سیگنال AM – با توجه به سیگنال مدوله شده فوق، کل توان سیگنال برابر است با:

$$Pt = \frac{V^2{}_{car}}{R} + \frac{V^2{}_{LSB}}{R} + \frac{V^2{}_{USB}}{R}$$

$$P_C = \frac{V^2{}_{car}}{R} = \frac{\left(A_c/\sqrt{2}\right)^2}{R} = \frac{A_c{}^2}{2R}$$

$$P_{LSB} = \frac{V_{LSB}{}^2}{R} = \left(\frac{mA_c}{2\sqrt{2}}\right)^2 \frac{1}{R} = \frac{m^2 A_c{}^2}{8R} = \frac{m^2}{4} P_c$$

$$P_{USB} = \frac{V_{USB}{}^2}{R} = \left(\frac{mA_c}{2\sqrt{2}}\right)^2 \frac{1}{R} = \frac{m^2 A_c{}^2}{8R} = \frac{m^2}{4} P_c$$

در نتیجه توان متوسط کل:

$$P_t = P_c + P_{LSB} + P_{USB}$$

$$P_t = P_c + \frac{m^2}{4} P_c + \frac{m^2}{4} P_c$$

$$P_t = P_c\left(1 + \frac{m^2}{4} + \frac{m^2}{4}\right)$$

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

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

$$\frac{P_{SB}}{P_t} = \frac{m^2}{2 + m^2}$$

مثال

یک سیگنال صوتی به صورت $x(t) = ۱۵\text{Sin}۲\pi۲۰۰۰t$ داده شده است که با یک سیگنال حامل $x_c(t) = ۶۰\text{Sin}۲\pi۱۰^۵t$ به صورت مدولاسیون دامنه ای مدوله می شود. ضریب مدولاسیون، درصد مدولاسیون و طیف سیگنال مدوله شده را تعیین کنید.

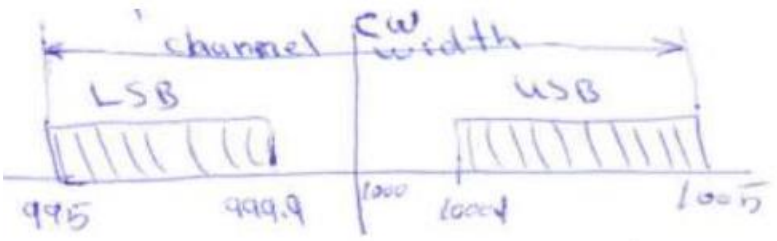
$$M.index = \frac{B}{A} = \frac{۱۵}{۶۰} = ۰.۲۵, \quad \Rightarrow \% = ۲۵٪$$

$$f_c = ۱۰^۵ = ۱۰۰KHz \quad f_m = ۲KHz$$

$$f_c + f_m = ۱۰۲KHz, \quad f_c - f_m = ۹۸KHz$$

مثال

در یک استادیوی پخش صوت، فرکانس حامل ۱۰۰۰KHz توسط صوتی با باند ۱۰۰Hx-۵KHz مدوله می شود. پهنای باند باند های کناری را در مدولاسیون دامنه ای پیدا کنید. پهنای باندهای کناری پایین و بالا چقدر هستند؟



(i) width of sideband = 5000 – 100 = 4900 Hz

(ii) max. freq. of USB = 1000 + 5 = 1005 KHz

min. freq. of USB = 1000 + 0.1 = 1000.1 KHz

(iii) max. freq. of LSB = 1000 – 0.1 = 999.9 KHz

min. freq. of LSB = 1000 + 5 = 995 KHz

(iv) width of channel = 1005 -995 = 10 KHz

مثال

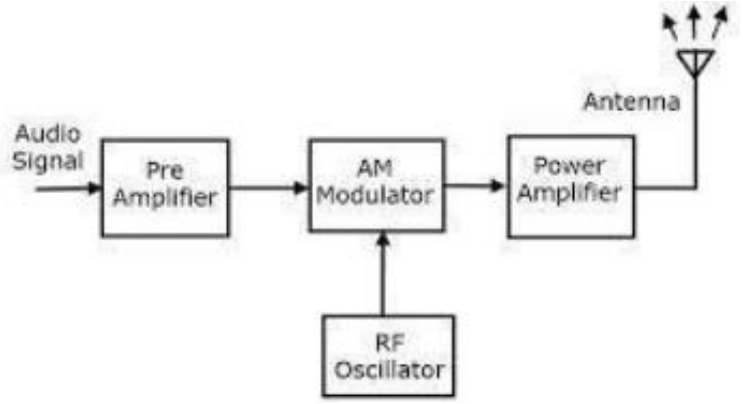
توان کل یک سیگنال AM ۲/۶۴ کیلووات است. فاکتور مدولاسیون ۸۰٪ است. توان حامل و هر یک از باند های کناری را محاسبه کنید.

$$P_c = P_T(\frac{2}{2+m^2}) = 2.64\times10^3(\frac{2}{2+0.8^2}) = 2000w$$

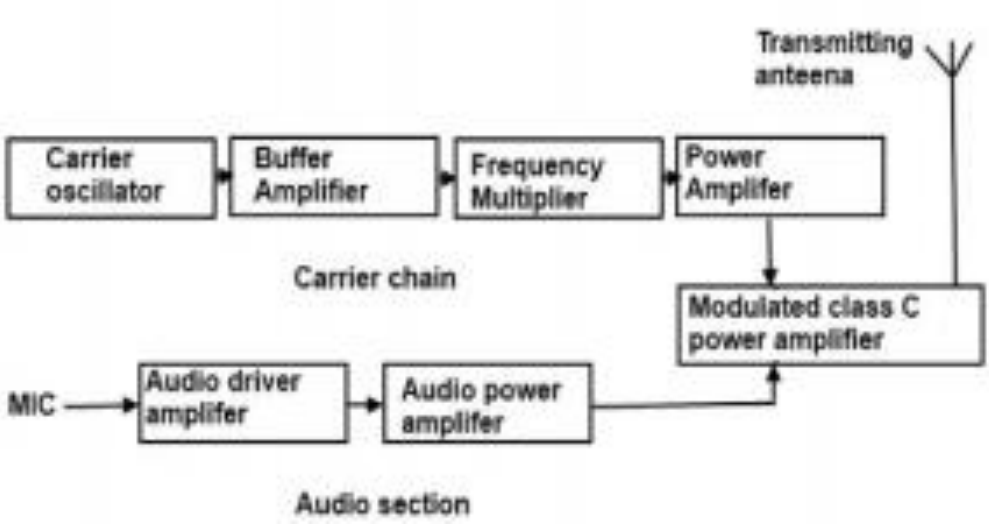
$$P_{USB} = P_{LSB} = \frac{1}{2}P_{SB} = \frac{m^2}{4}P_c = \frac{0.8^2}{4}\times2000 = 320w$$

تولید سیگنال مدوله شده AM

Low Level Am



High Level AM

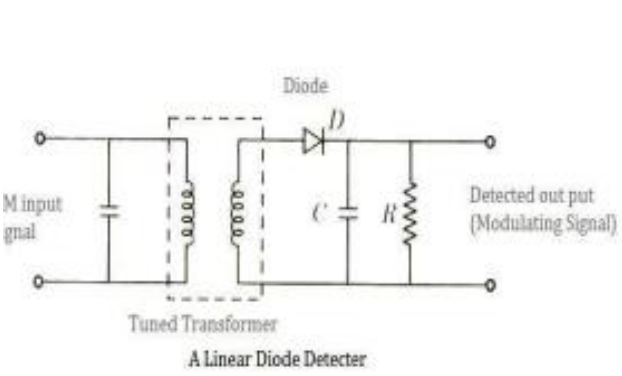


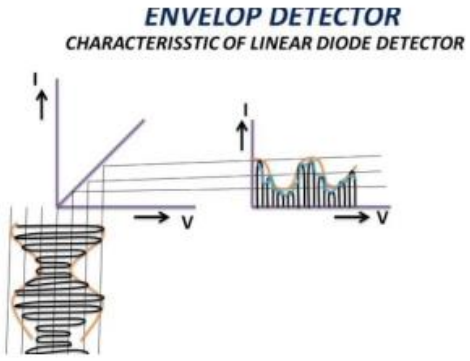
دمدولاسیون AM

1. **Linear Detector (Envelope)**
2. **Square Law Detector**

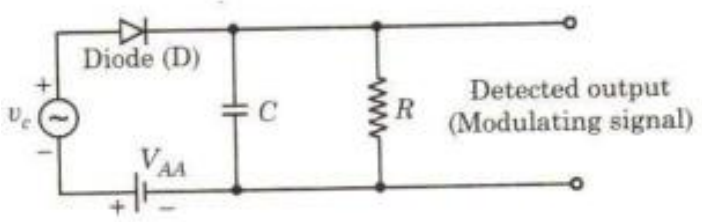
آشکارساز پوش

این اشکارساز معمولا در گیرنده های تجاری مورد استفاده قرار می گیرد. برای آشکارسازی سیگنال AM سطح بالا، یک دیود برای آشکارسازی در ناحیه خطی مشخصه V-I آن کار می کند. در واقع مدار آشکارساز دیود خطی به کار رفته ساده و کم هزینه هست. در شکل زیر این آشکارساز و عمل آن را می بینید.





آشکارساز مربعی



Basic circuit of square law diode detector.

سیگنال مدوله شده را به صورت زیر دز نظر بگیرید.

$$V= A(1+ Ma \cos w_m t) \cos w_c t$$

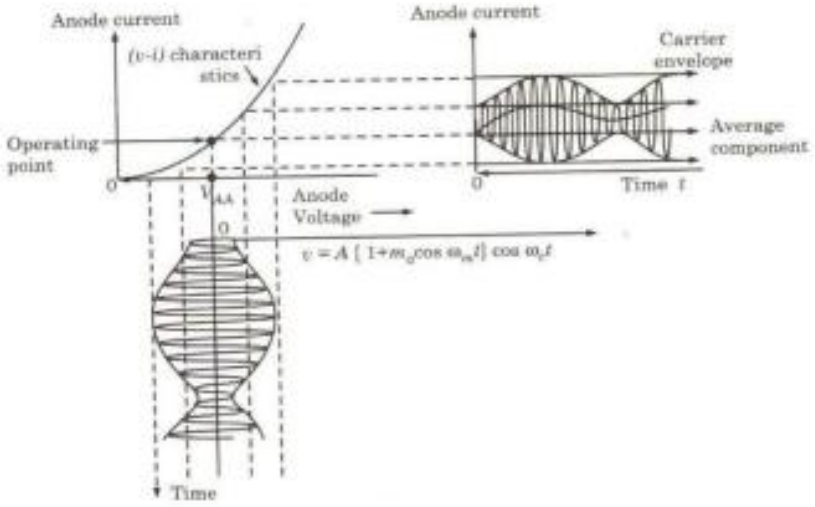
اگر جریان دیود از طریق مقاومت بار، I باشد، خروجی کلی بر اساس قانون مربعی متناسب با ولتاژ برابر است با:

$$I= aV+bV^2$$

با جایگزینی تابع ولتاژ خواهیم داشت:

$$I = a[A\cos w_c t + AMa\cos w_m t \cos w_c t]+b[A\cos w_c t + AMa\cos w_m t \cos w_c t]^2$$

که با عبور از فیلتر پایین گذر و حذف مولفه های فرکانس بالاتر، فقط فرکانس حاوی پیام به دست می آید.

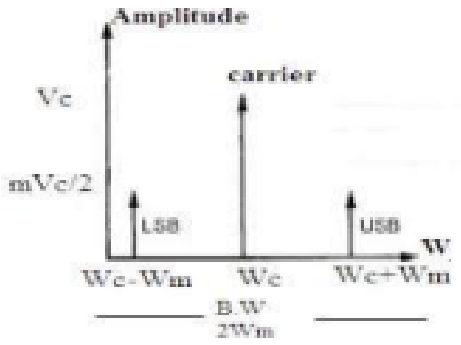


V-I Characteristics

مدولاسیون دو باند کناری با حذف حامل DSB-SC

همانگونه که دیدیم سیگنال AM دارای دو باند بالا و پائین و یک سیگنال حامل هست. سیگنال حامل که دارای توان قابل توجهی هست، حاوی اطلاعات پیام در ارسال نیست و برای صرفه جویی در توان حذف می شود. این نوع مدولاسیون را دو باند- حامل حذف (DSB-SC) می نامند. یک بار دیگر سیگنال اصلی را ببینید:

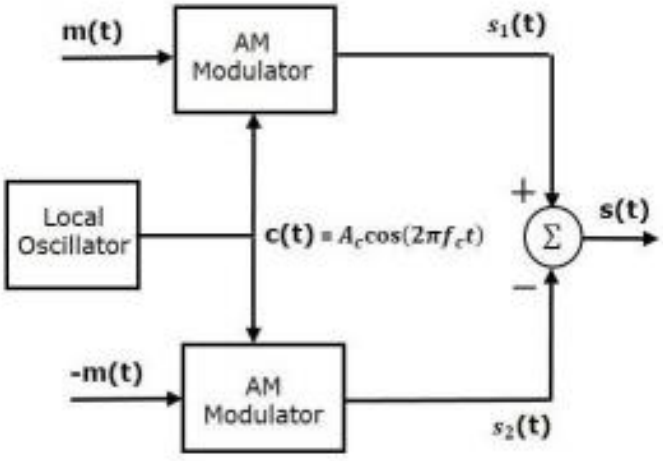
$$M(t)= Ac[1+m(t)] \cos w_c t$$
$$= Ac \cos w_c t + m(t)\, Ac \cos w_c t$$



بدین ترتیب سیگنال بدون حامل چنین خواهد شد.

$$v_c(t) = m(t) A_c \cos \omega_c t$$

این سیگنال را با استفاده از یک مدولاتور ضربی، یعنی ضرب پیام در سیگنال حامل، می توان تولید کرد، که در شکل زیر نشان داده شده است.



Balanced Modulator

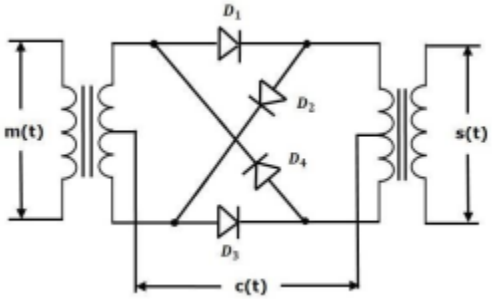
$S_1(t) = Ac[1+m(t)] \cos w_c t$

$S_2(t) = Ac[1-m(t)] \cos w_c t$

$S(t) = S_1(t) - S_2(t)$

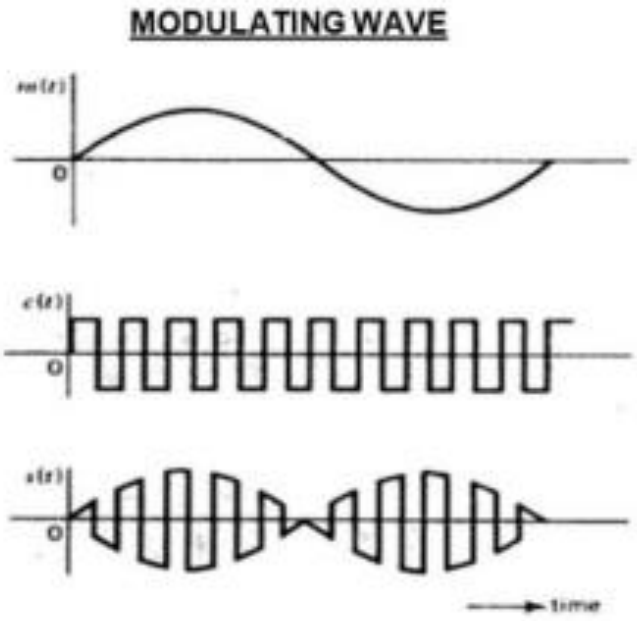
$= Ac[1+m(t)] \cos w_c t - Ac[1-m(t)] \cos w_c t$

$= 2\, m(t)\, Ac \cos w_c t$

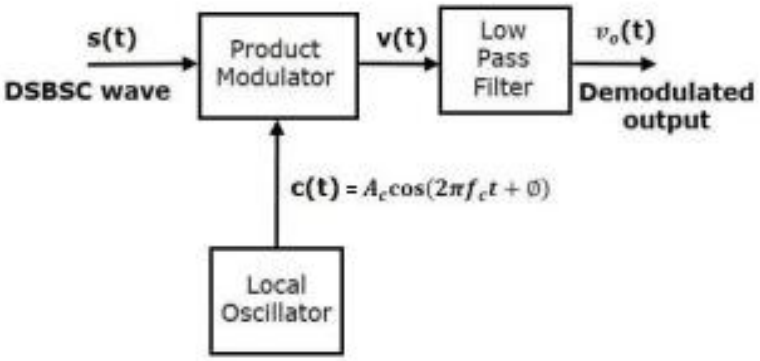


Ring Modulator

مدار یک مدولاتور حلقه نشان داده شده است که در آن ۴ دیود D۱,D۲,D۳,D٤ میان مبدل های اولیه T۱ و ثانویه T۲ قرار گرفته اند. مبدل از نوع باند صوتی است در حالی که مبدل ثانویه از نوع باند رادیویی می باشد. یک مولد موج مربعی حامل میان دو نقطه میانی دو مبدل قرار گرفته است. موج های پیام، حامل و سیگنال مدوله شده نشان داده شده اند.



دمودلاسیون دوباندکناری-حذف حاملDSB-SC

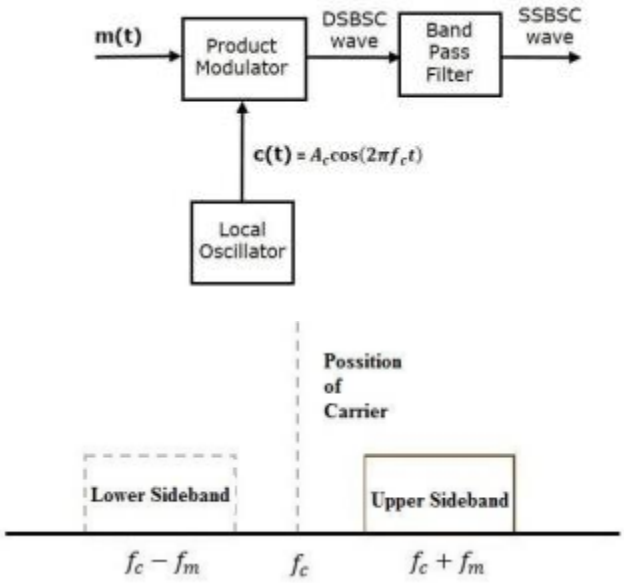


$$s(t) = [m(t)\,\mathrm{Cos}\,\omega_c t]\,\mathrm{Cos}\,\omega_c t$$
$$= \frac{1}{2} m(t)[1 + \mathrm{Cos}\,2\omega_c t] = m(t)/2 + m(t)/2[\mathrm{Cos}\,2\omega_c t]$$

که پس از عبور از یک فیلتر پائین گذر پیام آشکار می شود.

مدولاسیون تک باند کناری با حذف حامل(SSB-SC)

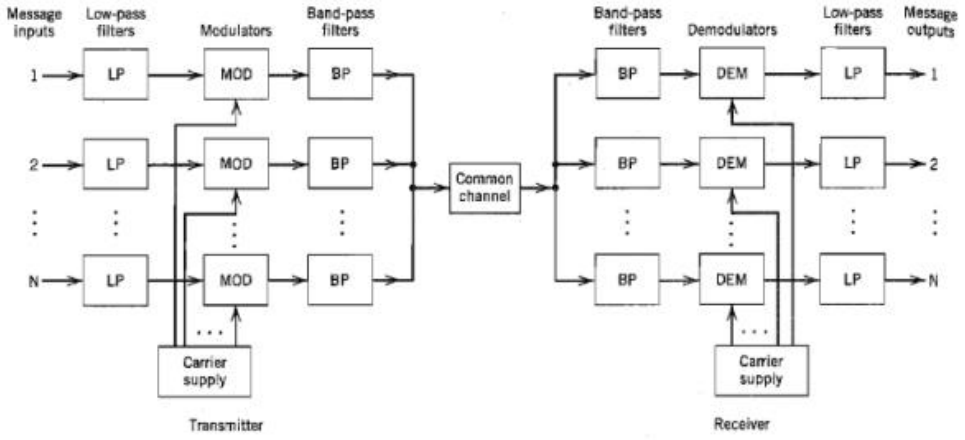
ابتدا به روش گفته شده فوق مدولاسیون (DSB-SC) تولید شده و سپس با استفاده از یک فیلتر میانگذر، باند کناری بالا یا پائین انتخاب می شود. همانگونه که در شکل نشان داده شده است.



مدولاسیون تک باند کناری دنباله دار (Vestigial Single Sideband) ، مشابه تک باند کناری با فیلتر میانگذر با پهنای باند کمی بیشتر است.

تکنیک مالتی پلکسینگ فرکانسی(FDM)

وقتی در یک مسیر ارتباطی بیش از یک پیام ارسال می شود باید به نحوی پیام ها کنار هم قرار گرفته و به صورت یک پیام ترکیبی جدید ارسال شود. فرض کنی بخواهیم در یک شبکه مخابراتی بین شهری همزمان ۳۰۰ کاربر به صورت تلفنی مکالمه کنند. یک روش به صورت آنالوگ و استفاده از مدولاسیون تک باند کناری با حذف حامل است. به صورت ساده با یک نوسانساز اصلی، حامل های لازم تهیه و پیام ها با مدولاسیون انتقال یافته و در یک باند چیده می شوند. این عمل را مالتی پلکسینگ حوزه فرکانس یا FDM نامند. جدا سازی پیام ها در مقصد دوباره با استفاده از مدولاسیون و فیلتر کردن صورت می گیرد. این فرایند ها در مبدا و مقصد در شکل زیر نشان داده شده اند. عوامل مهم در این روش ها پایداری نوسانسازها و فیلترینگ مناسب می باشد.



مثال

می خواهیم سه کانال تلفنی با پهنای باند ۴KHz را با استفاده از تکنیک مالتی پلکس فرکانسی(FDM) ابتدا به صورت باند پایه درآورده و سپس با روش SSB با یک حامل ۹۶KHz ارسال کنیم. طیف سیگنال باند پایه و بلوک دیاگرام انجام باند پایه را دقیقا رسم کنید. طیف ارسالی پس از مدولاسیون شامل چه فرکانس هایی می شود؟

مثال

اگر بخواهیم شکل سیگنال با طیف X(f) را به صورت Y(f) در آوریم، با استفاده از روش مدولاسیون دامنه ای چگونه می توان آن را انجام داد؟ بلوک دیاگرام سیستم را با ذکر مقادیر جزئیات آن رسم کنید.

