

## آزمایشگاه مجازی

### مربی محترم

توصیه می‌شود، با استفاده از نرم افزار مولتی سیم یا هر نوع نرم افزار دیگر، طیف فرکانسی AM را روی دستگاه طیف نمای موجود در نرم افزار شبیه سازی کنید و برای هنرجویان نمایش دهید.

## فکر کنید :

آیا مقدار  $m$  از رابطه  $\frac{b-a}{b+a}$  قابل محاسبه است؟ نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

## پاسخ

همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، دامنه حامل برابر با  $5^\circ$  ولت و دامنه پیام برابر با  $3^\circ$  ولت است. در اثر مدولاسیون دامنه حامل در نیم سیکل مثبت پیام از  $5^\circ$  ولت به  $5^\circ + 3^\circ = 8^\circ$  ولت افزایش و در نیم سیکل منفی از  $5^\circ$  ولت به  $5^\circ - 3^\circ = 2^\circ$  ولت کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر سیگنال پیام به طور لحظه‌ای با دامنه حامل جمع می‌شود. بنابراین، داریم:

$$E_c = 5^\circ \text{ V} \quad \text{دامنه حامل}$$

$$E_m = 3^\circ \text{ V} \quad \text{دامنه پیام}$$

$$m = \frac{E_m}{E_c} = \frac{3^\circ}{5^\circ} = 0.6 \quad \text{ضریب مدولاسیون}$$

**توجه:** دامنه حامل و پیام را می‌توانید برحسب پیک، پیک توپیک یا مؤثر قرار دهید. دقت کنید اگر  $E_c$  را برحسب پیک انتخاب کردید باید  $E_m$  نیز برحسب پیک انتخاب شود.

## مثال ۳-۵

درصد مدولاسیون را برای شکل ۳-۲ در مثال ۳-۴ به دست آورید:

$$M = m_p = \frac{E_m}{E_c} \times 100$$

$$M = m_p = \frac{3^\circ}{5^\circ} \times 100 = 60\%$$

— در صورتی که علاوه بر سیگنال پیام، سیگنال دیگری روی موج حامل سوار شود حالت مدولاسیون تداخلی یا inter modulation رخ می‌دهد که برای سیگنال مدوله شده اشکال به وجود می‌آورد. به طور کلی برای مدولاسیون سه درجه بندی به شرح زیر تعریف می‌شود.

— مدولاسیون کمتر از صد درصد

less than hundred percent modulation

## ۳-۱۱- شاخص و درصد مدولاسیون: (Modulation index)

۳-۱۱-۱- **تعریف شاخص مدولاسیون:** نسبت دامنه سیگنال پیام به سیگنال حامل را شاخص مدولاسیون یا ضریب مدولاسیون می‌نامند. اگر دامنه ماکزیم حامل  $E_c$  و دامنه ماکزیم پیام  $E_m$  باشد، شاخص مدولاسیون برابر است با:

$$m = \frac{E_m}{E_c} = \frac{\text{دامنه پیام}}{\text{دامنه حامل}} = \text{شاخص مدولاسیون} \quad 3-6$$

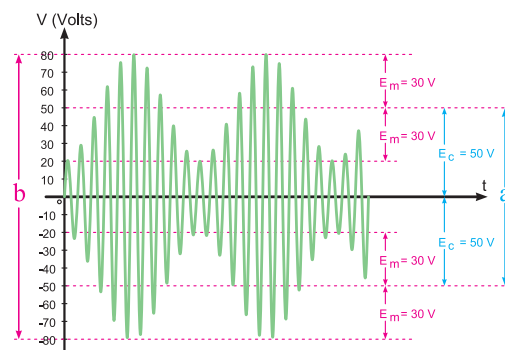
## ۳-۱۱-۲- درصد مدولاسیون

(Percent of Modulation): چون ضریب مدولاسیون در عمل کوچک تر از واحد انتخاب می‌شود، برای سادگی در محاسبات معمولاً آن را برحسب درصد مدولاسیون بیان می‌کنند. درصد مدولاسیون را با  $M$  یا  $m_p$  نشان می‌دهند (رابطه ۳-۷).

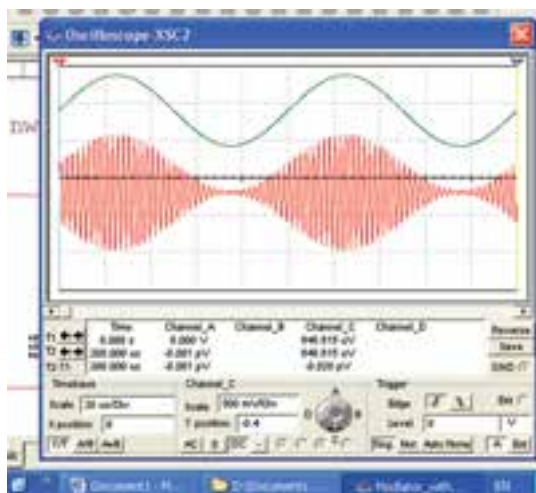
$$M = m_p = \frac{E_m}{E_c} \times 100 \quad 3-7$$

## مثال ۳-۴

ضریب مدولاسیون را با توجه به شکل ۳-۲ به دست آورید.



شکل ۳-۲- محاسبه ضریب مدولاسیون

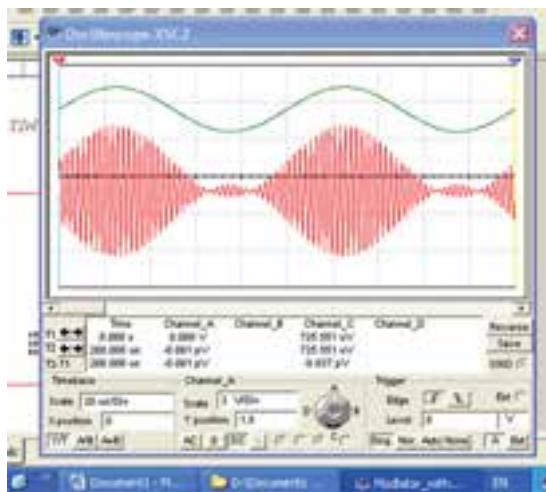
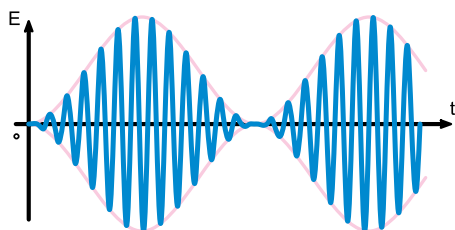


شکل ۳-۲۲- مدولاسیون ۱۰۰٪

### ۳-۱۱-۵- مدولاسیون بیشتر از صد درصد

(More than hundred percent modulation): در

صورتی که دامنه پیام بیشتر از دامنه حامل باشد، مدولاسیون بیشتر از صد درصد حاصل خواهد شد (شکل ۳-۲۳). این نوع مدولاسیون عملاً قابل قبول نیست، زیرا هنگام بازسازی سیگنال پیام درگیرنده، قسمتی از آن حذف می‌شود. به عبارت دیگر در سیگنال پیام اعوجاج به وجود می‌آید.



شکل ۳-۲۳- مدولاسیون بیشتر از ۱۰۰٪

– مدولاسیون صد درصد

one hundred percent modulation

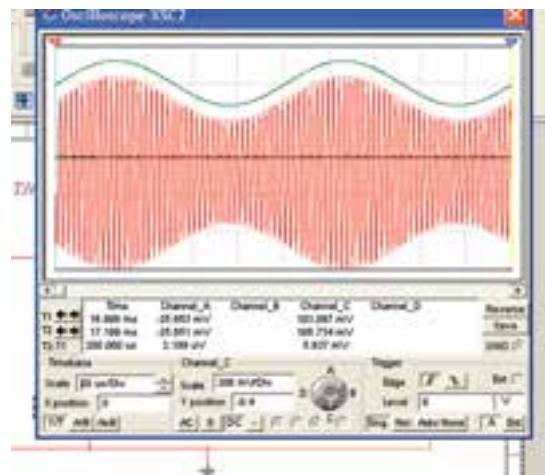
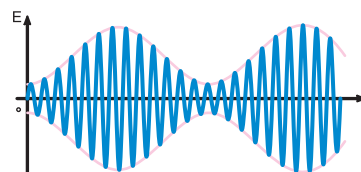
– مدولاسیون بیشتر از صد درصد

more than hundred percent modulation

### ۳-۱۱-۳- مدولاسیون کمتر از صد درصد

(Less than hundred percent modulation): در این

نوع مدولاسیون، دامنه حامل هرگز به صفر نمی‌رسد. به عبارت دیگر دامنه پیام کمتر از حامل است (شکل ۳-۲۱).

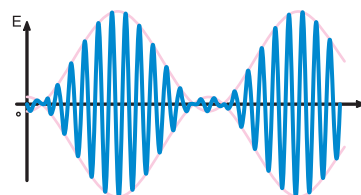


شکل ۳-۲۱- مدولاسیون کمتر از ۱۰۰٪

### ۳-۱۱-۴- مدولاسیون صد درصد

(one hundred percent modulation): در این

درجه‌بندی از مدولاسیون، دامنه سیگنال حامل در یک لحظه کوتاه به صفر می‌رسد، (شکل ۳-۲۲). این شرایط هنگامی پدید می‌آید که دامنه حامل و دامنه پیام با هم برابر باشند.



## نکته مهم

توصیه می‌شود، مربی محترم با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف این مثال را شبیه‌سازی کند و به دانش آموزان نشان دهد.

## ۳-۱۲- الگوی پرسش

کامل کردنی:

۱- معادله موج مدوله شده AM به صورت  $e_m = (E_c + \dots) \sin \omega_c t$  است.

کوتاه پاسخ:

۲- فرمول شاخص مدولاسیون را بنویسید.

چهار گزینه‌ای:

۳- در مورد مدولاسیون AM کدام گزینه صحیح است؟

(۱) دامنه کریر متناسب با فرکانس پیام تغییر می‌کند.

(۲) سرعت تغییر فرکانس کریر متناسب با دامنه پیام است.

(۳) دامنه کریر متناسب با دامنه پیام تغییر می‌کند.

(۴) سرعت تغییر دامنه کریر متناسب با دامنه پیام است.

تشریحی:

۴- مشخصه‌های سیگنال حامل و پیام را با ذکر معادلات

آن نام ببرید.

۵- امواج با مدولاسیون ۱۰۰٪، کمتر از ۱۰۰٪ و بیشتر

از ۱۰۰٪ را شرح دهید.

۶- ضریب مدولاسیون را تعریف کنید و تفاوت آن را با

درصد مدولاسیون بنویسید.

۷- به چه دلیل از مدولاسیون بیشتر از ۱۰۰٪ نمی‌توان

استفاده کرد؟

۸- تعدادی شکل موج سیگنال AM با دامنه‌های مختلف

ترسیم کنید و میزان شاخص مدولاسیون را به دست آورید.

## ۳-۱۳- طیف فرکانسی سیگنال AM

در صورتی که یک سیگنال AM با فرکانس حامل  $F_c$  و پیام

به صورت  $F_m$  و ضریب مدولاسیون  $m$  را به ورودی دستگاه طیف نما متصل کنیم، روی صفحه دستگاه طیف نما فرکانس‌هایی به شرح زیر ظاهر می‌شود:

فرکانس حامل  $F_c$

مجموع فرکانس‌های حامل و پیام  $F_c + F_m$

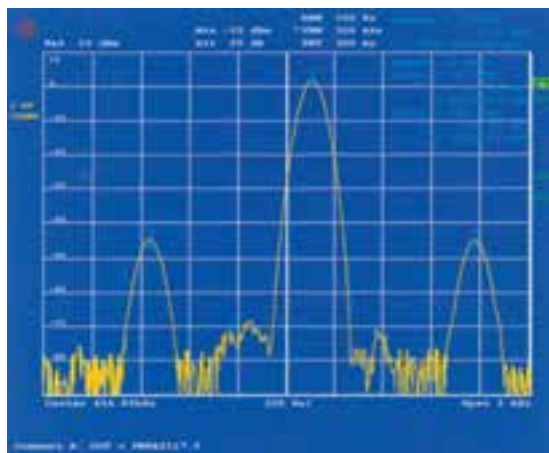
تفاضل فرکانس‌های حامل و پیام  $F_c - F_m$

مجموعه فرکانس‌های فوق را طیف فرکانسی سیگنال AM

می‌نامند. در طیف فرکانسی دامنه سیگنال حامل برابر با  $E_c$  و دامنه

فرکانس‌های  $F_c + F_m$  و  $F_c - F_m$  هر کدام برابر با است  $\frac{mE_c}{2}$

است<sup>۱</sup>. شکل ۲۴-۳ طیف فرکانسی سیگنال AM را نشان می‌دهد.



شکل ۲۴-۳ طیف فرکانسی AM

همان طور که مشاهده می‌شود، فرکانس‌های مجموع  $(F_c + F_m)$  و تفاضل  $(F_c - F_m)$  در دو طرف فرکانس حامل قرار دارند. فرکانس مجموع را فرکانس کناری بالا (Upper Side Frequency) USF و فرکانس تفاضل را فرکانس کناری پایین (Lower Side Frequency) LSF می‌نامند.

## مثال ۳-۶

یک سیگنال حامل با فرکانس  $75^\circ$  کیلوهرتز توسط یک موج سینوسی خالص با فرکانس ۳ کیلوهرتز مدوله می‌شود. مقادیر فرکانس‌های موجود در طیف فرکانسی را به دست آورید. کدام فرکانس، فرکانس کناری بالا و کدام فرکانس، فرکانس کناری پایین است؟

۱- مقادیر فرکانس و دامنه طیف فرکانسی با استفاده از روابط ریاضی قابل محاسبه است.

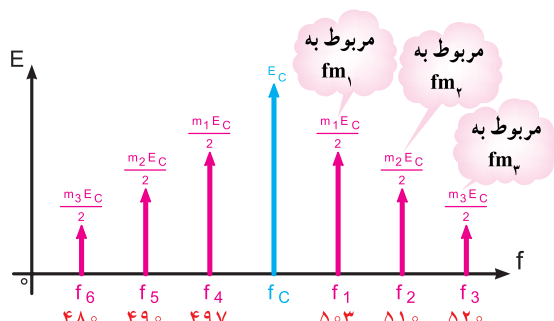
دامنه فرکانس‌های کناری، بستگی به ضریب مدولاسیون  $m$  و  $E_c$  دارد. طیف سیگنال مدوله شده حاوی هفت فرکانس به شرح زیر است:

$F_c \Rightarrow$  فرکانس حامل

$F_1, F_2, F_3 \Rightarrow$  فرکانس‌های کناری بالا

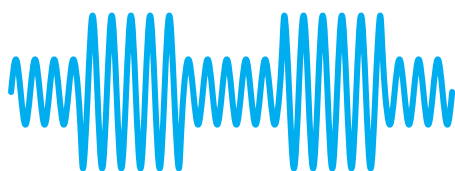
$F_4, F_5, F_6 \Rightarrow$  فرکانس‌های کناری پایین

در شکل ۲۶-۳ طیف فرکانسی نشان داده شده است.

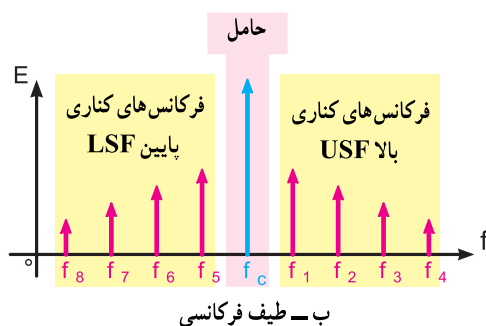


شکل ۲۶-۳: طیف فرکانسی حاصل از سیگنال پیام مرکب

اگر سیگنال پیام یک سیگنال غیرسینوسی، مثلاً مربعی باشد، در این حالت در باندهای کناری بالا و پایین مجموعه‌ای از طیف فرکانسی را، که از ترکیب هارمونیک‌های موج غیرسینوسی به وجود می‌آید، خواهیم داشت. در شکل ۲۷-۳ طیف فرکانسی یک موج مدوله شده را، که پیام آن یک سیگنال مربعی است مشاهده می‌کنید.



الف - سیگنال مدوله شده AM



ب - طیف فرکانسی

شکل ۲۷-۳: طیف فرکانسی حاصل از مدولاسیون موج مربعی

$$F_c = 750 \text{ KHz}$$

$$F_m = 3 \text{ KHz}$$

$$F_c + F_m = 750 \text{ KHz} + 3 \text{ KHz} = 753 \text{ KHz}$$

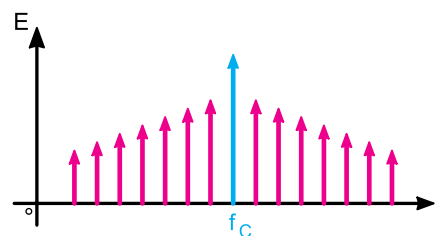
$$F_c - F_m = 750 \text{ KHz} - 3 \text{ KHz} = 747 \text{ KHz}$$

$$\text{LSF} = 747 \text{ KHz} \quad \text{فرکانس کناری پایین}$$

$$\text{USF} = 753 \text{ KHz} \quad \text{فرکانس کناری بالا}$$

در صورتی که پیام از چند سیگنال سینوسی جداگانه تشکیل شده باشد، برای هر سیگنال سینوسی، فرکانس‌های کناری بالا و پایین مستقل به وجود می‌آید. در این حالت مجموعه‌ای از طیف فرکانسی پدید می‌آید.

شکل ۲۵-۳ مجموعه طیف فرکانسی را نشان می‌دهد.



شکل ۲۵-۳: مجموعه طیف فرکانسی

## مثال ۷-۳

سیگنال پیامی شامل فرکانس‌های  $F_{m_1} = 3 \text{ KHz}$ ،  $F_{m_2} = 10 \text{ KHz}$  و  $F_{m_3} = 20 \text{ KHz}$  است. در صورتی که این سیگنال‌ها را روی حامل  $F_c = 500 \text{ KHz}$  مدوله کنیم و سیگنال مدوله شده را به دستگاه طیف‌نما بدهیم چه فرکانس‌هایی روی صفحه دستگاه ظاهر می‌شود؟ فرکانس‌های کناری بالا و فرکانس‌های کناری پایین کدام‌اند؟ دامنه طیف فرکانسی بستگی به چه عواملی دارد؟

$$F_1 = F_c + F_{m_1} = 500 + 3 = 503 \text{ KHz}$$

$$F_2 = F_c + F_{m_2} = 500 + 10 = 510 \text{ KHz}$$

$$F_3 = F_c + F_{m_3} = 500 + 20 = 520 \text{ KHz}$$

$$F_4 = F_c - F_{m_1} = 500 - 3 = 497 \text{ KHz}$$

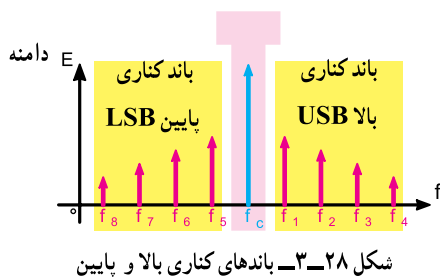
$$F_5 = F_c - F_{m_2} = 500 - 10 = 490 \text{ KHz}$$

$$F_6 = F_c - F_{m_3} = 500 - 20 = 480 \text{ KHz}$$

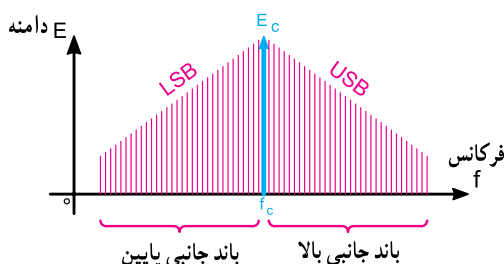
### ۳-۱۵- باندهای کناری سیگنال AM

همان طور که در مثال ۳-۷ بیان شد، در صورتی که سیگنال مدوله کننده (پیام) از چند سیگنال سینوسی تشکیل شده باشد، در صورت انجام مدولاسیون هر یک از سیگنال ها به تنهایی یک طیف فرکانسی را به وجود می آورد. در این حالت تعداد فرکانس های کناری بالا و پایین بیشتر از یک فرکانس می شود و باند فرکانسی را تشکیل می دهد. از مجموع فرکانس های پیام و حامل، باند کناری بالا (Upper Side Band) (USB) و از تفاضل فرکانس های پیام و حامل، باند کناری پایین (Lower Side Band) (LSB) شکل می گیرد (شکل ۳-۲۸).

اگر تعداد فرکانس های پیام آن قدر زیاد شود که مؤلفه های فرکانس های کناری بالا و پایین به هم بچسبند، باند فرکانسی پیوسته تشکیل می شود (شکل ۳-۲۹).



شکل ۳-۲۸- باندهای کناری بالا و پایین



شکل ۳-۲۹- باند فرکانسی پیوسته

#### ۳-۱۵-۱- پهنای باند (Band width) سیگنال

**مدوله شده:** پهنای باند عبارت از محدوده فرکانس هایی است که در فاصله بین کمترین فرکانس کناری پایین و بیشترین فرکانس کناری بالا قرار می گیرد. پهنای باند از رابطه ۳-۸ به دست می آید.

$$BW = F_{USB} - F_{LSB}$$

۳-۸

که در آن

### آزمایشگاه مجازی

توصیه می شود، با استفاده از دستگاه طیف نمای موجود در نرم افزار آموزشی، طیف فرکانسی شکل ۳-۲۵ را نمایش دهید.

### ۳-۱۴- الگوی پرشش

۱- در صورتی که سیگنال مدوله کننده یک سیگنال سینوسی ساده باشد، طیف فرکانسی موج مدوله شده را رسم کنید.

۲- فرکانس های USB و LSF را تعریف کنید.

۳- در صورتی که  $E_c = 10V$ ,  $F_c = 600KHz$  و  $m = 0.3$  باشد، مقدار دامنه فرکانس های کناری بالا و پایین چند ولت است؟ مقدار فرکانس های کناری بالا و پایین، در صورتی که  $F_m = 2KHz$  باشد، برابر با چند کیلوهرتز است؟

۴- طیف فرکانسی حاصل از مدولاسیون سه سیگنال سینوسی با یک حامل را رسم کنید.

۵- در صورتی که سیگنال پیام یک سیگنال غیرسینوسی باشد به چه دلیل در سیگنال AM یک طیف فرکانسی تشکیل می شود؟

۶- طیف فرکانسی حاصل از مدولاسیون موج مربعی با یک سیگنال حامل را رسم کنید. سپس در صورت تمایل طیف فرکانسی را با مقادیر دل خواه از طریق نرم افزار به دست آورید.

صحیح یا غلط

۷- دامنه فرکانس های کناری در طیف موج مدوله شده

AM برابر با  $\frac{E_m}{4}$  است. ☐ صحیح ☐ غلط

چهار گزینه ای

۸- اگر پیامی با فرکانس ۱۲ کیلوهرتز روی حاملی با فرکانس ۷۰۰ کیلوهرتز به صورت AM مدوله شود، فرکانس LSF چند کیلوهرتز است؟

۶۸۸ (۱) ۷۰۰ (۲)

۷۱۲ (۳) ۷۲۴ (۴)

چون دامنه  $E_c$  نیز در طیف فرکانسی AM ظاهر می شود  
بنابراین موج مدوله شده AM دارای توانی بیشتر از توان موج  
حامل قبل از انجام مدولاسیون است. مقدار کل توان از رابطه  
۳-۱۲ به دست می آید.

رابطه ۳-۱۲

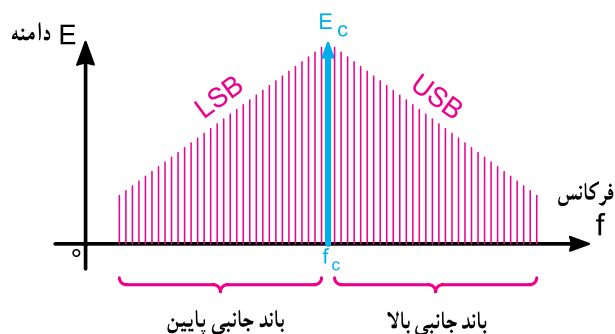
$$P_T = \frac{E_{c_e}^2}{R} + \frac{E_{LSF_e}^2}{R} + \frac{E_{USF_e}^2}{R}$$

توان کل  
موج AM
توان موج  
حامل
توان فرکانس  
جانبی پایین
توان فرکانس  
جانبی بالا

$E_{c_e}$ ،  $E_{LSF_e}$ ،  $E_{USF_e}$  مقادیر مؤثر هستند

در محاسبه توان تمام ولتاژها مؤثر در نظر گرفته می شوند و  
R مقاومتی نظیر مقاومت آنتن است که توان در آن تلف می شود.  
با توجه به رابطه ۳-۱۲ اثبات می شود که در سیگنال مدوله  
شده AM، حدود ۶۳ درصد توان در سیگنال حامل و ۳۷ درصد  
توان در باندهای کناری قرار دارد. با توجه به این که موج حامل  
موجود در سیگنال مدوله شده فاقد اطلاعات مربوط به پیام است،  
اگر بتوانیم قسمتی از توان موج AM را که در آن پیام وجود  
دارد بفرستیم در مصرف توان صرفه جویی می شود. این عمل از  
طریق فراهم آوردن انواع روش های ارسال امواج AM امکان پذیر  
می شود.

از آن جایی که معمولاً پیام ارسالی سینوسی خالص نیست  
لذا امواج مدوله شده AM غالباً دارای طیف فرکانسی اند. بنابراین  
به جای ارسال فرکانس جانبی بالا و پایین، باند فرکانس بالا و پایین  
ارسال می شود. شکل ۳-۳۱ موقعیت فرکانس حامل و باند جانبی  
بالا و پایین را نشان می دهد.



شکل ۳-۳۱- نمایش موقعیت فرکانس حامل و باند جانبی بالا و پایین

پهنای باند برحسب هرتز، کیلوهرتز یا مگاهرتز  $BW =$

بالا ترین فرکانس باند کناری بالا  $F_{USB} =$

پایین ترین فرکانس باند کناری پایین  $F_{LSB} =$

پهنای باند را با روش دیگری نیز می توان محاسبه کرد. با

فرمول پهنای باند شروع می کنیم:

$$BW = F_{USB} - F_{LSB}$$

$$F_{USB} = F_c + F_m \max \quad 3-9$$

$$F_{LSB} = F_c - F_m \max \quad 3-10$$

معادلات ۳-۹ و ۳-۱۰ را در معادله ۳-۸ قرار می دهیم:

$$BW = (F_c + F_m \max) - (F_c - F_m \max)$$

$$BW = 2F_m \max \quad 3-11$$

با توجه به معادله ۳-۱۱ در می یابیم که پهنای باند دو برابر  
بیشترین فرکانس پیام است. به عبارت دیگر، در سیگنال AM  
پهنای باند دو برابر فرکانس پیام است. در فرستنده های AM  
تجارتی پهنای باند را ده کیلوهرتز در نظر می گیرند. بنابراین، سیگنال  
پیام نباید از ۵ کیلوهرتز بیشتر شود. بدین ترتیب بیشترین فرکانس  
پیام در فرستنده های AM برابر ۵ کیلوهرتز است.

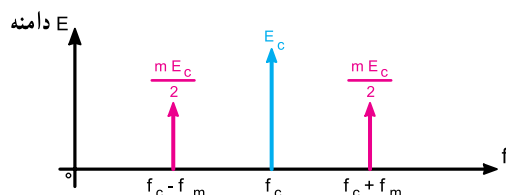
### مثال ۳-۸

اگر فرکانس سیگنال حامل در یک فرستنده رادیویی ۱°  
مگاهرتز باشد و بخواهیم آن را با فرکانس ۵ کیلوهرتز مدوله کنیم،  
پهنای باند سیگنال AM ارسالی چه قدر خواهد شد؟

$$Bw = 2F_m = 2 \times 5 \text{ kHz} = 10 \text{ kHz}$$

### ۳-۱۶- توان در موج مدوله شده AM

همان طور که نشان داده شد، طیف فرکانسی موج مدوله شده  
AM با پیام به صورت سینوسی خالص، شامل موج حامل مدوله نشده  
و دو مؤلفه فرکانس های جانبی بالا و پایین است. شکل ۳-۳۰ موج  
حامل و فرکانس های جانبی بالا و پایین را نشان می دهد.

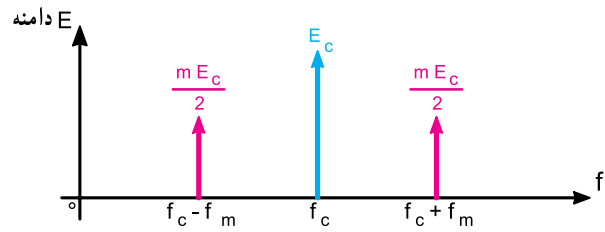


شکل ۳-۳۰- نمایش موج حامل و فرکانس های جانبی بالا و پایین



### ۱۷-۳- انواع روش های ارسال در مدولاسیون AM

همان طور که نشان داده شد در تولید موج AM با سیگنال سینوسی خالص فرکانس حامل با دو فرکانس جانبی ایجاد می شود. شکل ۳-۳۲ طیف موج مدوله شده AM را نشان می دهد.



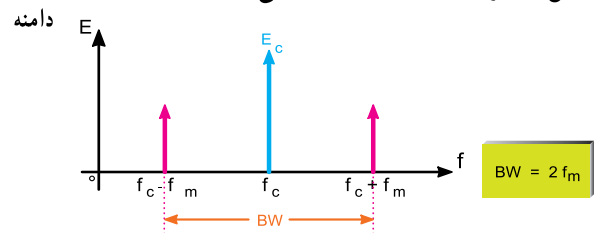
شکل ۳-۳۲ طیف موج مدوله شده AM

در صورتی که هنگام ارسال موج مدوله شده قسمت هایی از سیگنال های موجود در سیگنال AM، مثلاً فرکانس حامل حذف شود پنج روش ارسال، به شرح زیر به وجود می آید:

#### ۱-۱۷-۳- ارسال مدولاسیون دامنه به صورت کامل

AM-FC (Amplitude Modulation-full Carrier): در

این روش هر دو فرکانس جانبی بالا و پایین و سیگنال حامل ارسال می شود. این روش مدولاسیون در فرستنده رادیویی تجارتي به کار می رود. پهنای باند در این روش  $2F_m$  است. شکل ۳-۳۳ فرکانس حامل و فرکانس های جانبی بالا و پایین و پهنای باند را در روش ارسال به صورت DSBFC نشان می دهد.



شکل ۳-۳۳ طیف موج مدوله شده به روش AM-FC

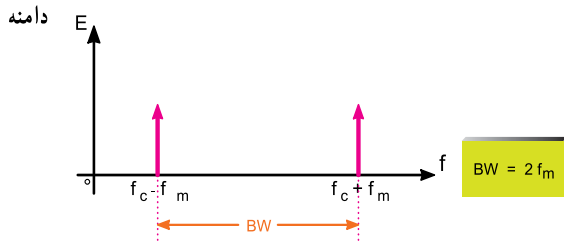
#### ۲-۱۷-۳- ارسال مدولاسیون دامنه به روش دو باند

کناری AM-SC یا DSB با حذف سیگنال حامل

(Amplitude Modulation-Suppressed Carrier)

**Double side Band:** در این روش فقط باندهای کناری بالا و پایین ارسال می گردد و سیگنال حامل حذف می شود. پهنای باند در این روش نیز برابر با  $2F_m$  است. شکل ۳-۳۴ طیف فرکانس

در این روش را نشان می دهد.



شکل ۳-۳۴ طیف موج مدوله شده به روش DSB

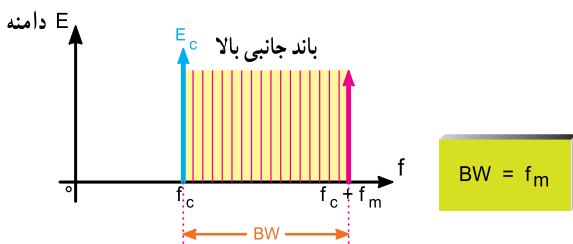
#### ۳-۱۷-۳- ارسال مدولاسیون دامنه به روش یک

باند کناری SSB (Single Side Band): چون در هر یک

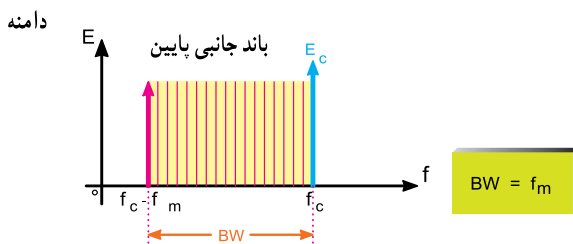
از باندهای جانبی بالا و پایین کلیه اطلاعات وجود دارد، برای صرفه جویی در توان، افزایش راندمان و کاهش پهنای باند، می توان فقط یکی از باندهای جانبی و حامل را ارسال نمود این روش ارسال مدولاسیون را به اختصار SSB می نامند.

شکل های ۳-۳۵ و ۳-۳۶ یکی از باندهای جانبی را در

روش ارسال مدولاسیون به صورت SSB، نشان می دهد.



شکل ۳-۳۵ باند جانبی بالا به روش SSB در طیف موج مدوله شده



شکل ۳-۳۶ باند جانبی پایین در طیف موج مدوله شده به روش SSB

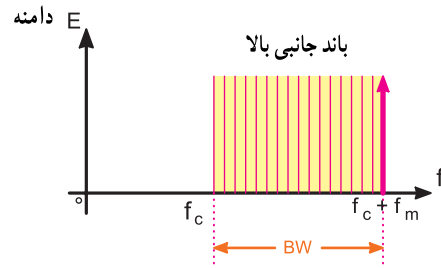
در مدولاسیون SSB پهنای باند موج مدوله شده برابر

با  $F_m$  است.

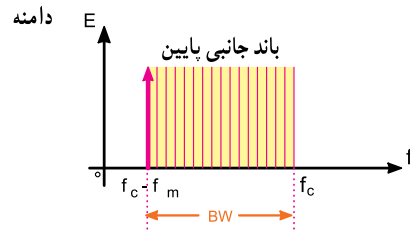
$$BW = f_m$$

#### ۳-۱۷-۴- ارسال مدولاسیون AM با باندکناری

**مستقل (Independent-Side Band) ISB:** در این روش ارسال مدولاسیون فقط یکی از باندهای جانبی بالا یا پایین را ارسال می‌نماید و سیگنال حامل را حذف می‌کند. شکل ۳-۳۷ و ۳-۳۸ طیف این روش ارسال را نشان می‌دهد. پهنای باند در این روش نیز برابر  $F_m$  است.  $BW = f_m$



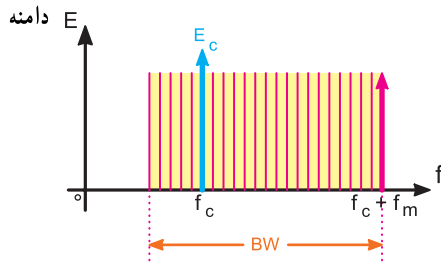
شکل ۳-۳۷- باند جانبی بالا بدون حامل



شکل ۳-۳۸- باند جانبی پایین بدون حامل

#### ۳-۱۷-۵- ارسال مدولاسیون AM به روش

**(Vestigial Side Band) VSB:** در این روش ارسال، تمام باند جانبی بالا و قسمتی از باند جانبی پایین را ارسال می‌کنند. شکل ۳-۳۹ طیف موج مدوله شده به صورت VSB را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳۹- طیف موج مدوله شده به روش VSB

از این روش ارسال مدولاسیون، در ارسال تصاویر تلویزیون استفاده می‌شود.

پهنای باند در این روش اندکی بیشتر از  $F_m$  است.  $BW > f_m$

در جدول ۳-۳ انواع مدولاسیون AM طیف موج مدوله شده و پهنای باند و کاربرد هر نوع مدولاسیون آورده شده است.

جدول ۳-۳

نوع مدولاسیون AM	طیف موج مدوله شده	پهنای باند BW	کاربرد
AM - FC		$2f_m$	فرستنده‌های رادیویی محلی
DSB یا AM - SC		$2f_m$	در مواردی که محدودیت در تولید انرژی در فرستنده وجود دارد؛ مانند بی‌سیم پلیس
SSB		$f_m$	در مواردی که محدودیت پهنای باند وجود دارد؛ مانند ارتباطات ناوبری دریایی، رادیو آماتوری و نظامی
ISB		$f_m$	در مواردی که محدودیت توان و پهنای باند وجود دارد؛ مانند مخابرات نقطه به نقطه و رادیو تلفنی
VSB		اندکی بیشتر از $f_m$	در فرستنده تلویزیونی

منابع اطلاعات این قسمت کتاب سیستم‌های مخابرات الکترونیکی تألیف جرج کندی است.



## ۳-۱۸- الگوی پرشی

۱- انواع روش‌های ارسال در مدولاسیون AM را نام ببرید.

۲- لغات انگلیسی هریک از کلمات اختصاری AM-SC، AM-FC، VSB، DSB-SSB را بنویسید و معنا کنید.

۳- پهنای باند روش‌های مختلف مدولاسیون AM را با هم مقایسه کنید.

۴- روش ارسال در مدولاسیون VSB دارای چه پهنای باندی است؟ از این روش در فرستنده رادیویی استفاده می‌کنند یا در فرستنده تلویزیونی؟

### چهارگزینه‌ای

۵- در کدام نوع ارسال مدولاسیون AM، پهنای باند موج مدوله شده اندکی بیشتر از سیگنال  $f_m$  است؟

۱) ISB ۲) DSB ۳) SSB ۴) VSB

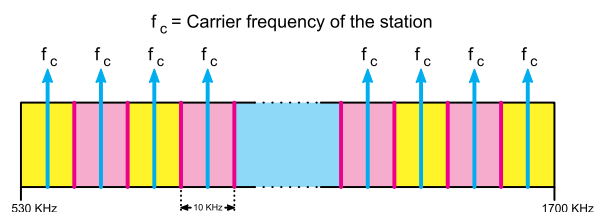
### صحیح یا غلط

۶- در مواردی که محدودیت توان و پهنای باند وجود دارد، از روش ارسال مدولاسیون ISB استفاده می‌شود.

☐ صحیح ☐ غلط

## ۳-۱۹- تعداد ایستگاه رادیویی

با توجه به مسئله پهنای باند در فرستنده‌های رادیویی تعداد ایستگاه‌های رادیویی محدود می‌شود. اگر پهنای باند سیگنال AM را  $10\text{ kHz}$  در نظر بگیریم این بدین معناست که هر ایستگاه AM،  $10\text{ kHz}$  را اشغال می‌کند. شکل ۳-۴۰ نشان می‌دهد چگونه در فاصله  $530$  تا  $1700$  کیلوهرتز چندین ایستگاه رادیویی کنار هم قرار گرفته‌اند.



شکل ۳-۴۰- تقسیم بندی فاصله  $530$  تا  $1700$  کیلوهرتز به چندین ایستگاه رادیویی

## مثال ۳-۹

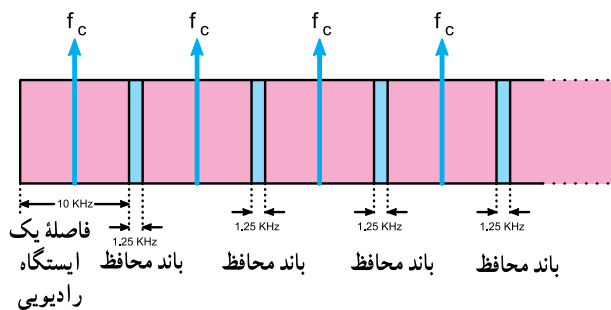
در باند فرکانسی ۱ تا ۲ مگاهرتز چند ایستگاه رادیویی AM می‌توان جای داد؟ (بدون باند محافظ)

$$\text{تعداد ایستگاه‌ها} = \frac{\text{باند فرکانس رادیویی}}{\text{پهنای باند سیگنال AM}} = \frac{(2 \times 10^6 - 1 \times 10^6) \text{ Hz}}{(10 \times 10^3) \text{ Hz}} = 100$$

$$\text{تعداد ایستگاه‌ها} = \frac{1 \times 10^6}{10 \times 10^3} = 100$$

با توجه به مثال ۳-۹ ملاحظه می‌شود که می‌توانیم صد ایستگاه رادیویی را در فاصله فرکانسی ۱ تا ۲ مگاهرتز داشته باشیم. عملاً برای جلوگیری از تداخل بین ایستگاه‌ها باید باند محافظ (Guard Band) نیز در نظر گرفته شود. بدین ترتیب تعداد ایستگاه‌ها کمتر از صد می‌شود. مقدار باند محافظ در AM برابر  $1/25\text{ kHz}$  است.

شکل ۳-۴۱ چند ایستگاه رادیویی را همراه با باند محافظ نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴۱- چند ایستگاه رادیویی همراه با باند محافظ

## مثال ۳-۱۰

در فاصله  $750$  تا  $1200$  کیلوهرتز چند ایستگاه رادیویی با باند محافظ جای می‌گیرد؟

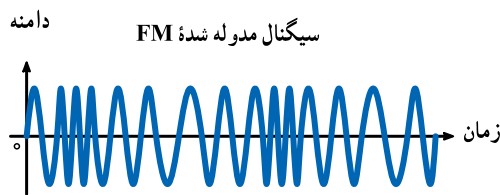
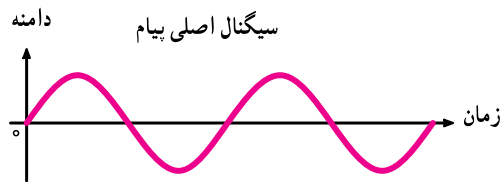
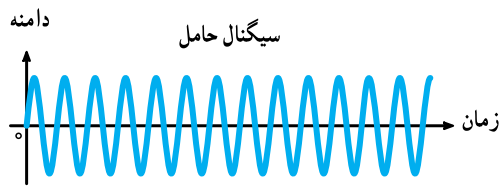
$$\text{تعداد ایستگاه} = \frac{\text{باند فرکانسی رادیویی}}{\text{باند محافظ + پهنای باند سیگنال AM}} = \frac{(1200 - 750) \text{ kHz}}{(10 + 1/25) \text{ kHz}} = 40$$

### پاسخ

$$\text{تعداد ایستگاه رادیویی} = \frac{(1200 - 750) \text{ kHz}}{(10 + 1/25) \text{ kHz}} = 40$$

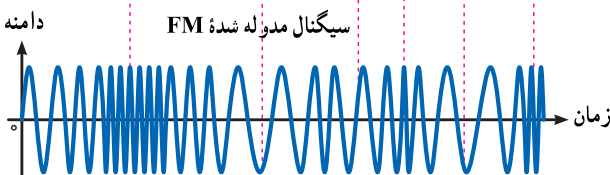
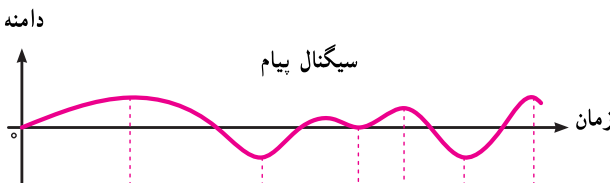
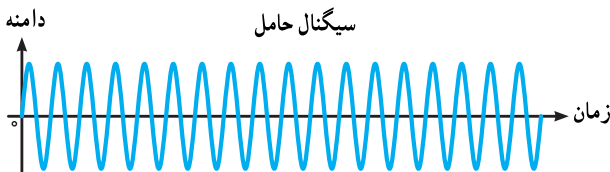
## ۲۰-۳- الگوی پرسش

دامنه سیگنال پیام، فرکانس حامل افزایش می‌یابد (فشرده می‌شود) و با کاهش دامنه پیام، فرکانس حامل کم می‌شود.



شکل ۳-۴۲ مدولاسیون FM با پیام سینوسی

شکل ۳-۴۳ یک پیام غیر سینوسی را که روی حامل به صورت FM مدوله شده است نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴۳ مدولاسیون FM با پیام غیر سینوسی

۱- در صورتی که بیشترین فرکانس صوتی برابر با  $2/5$  کیلوهرتز باشد، پهنای باند سیگنال AM ارسالی چند کیلوهرتز است؟

۲- پهنای باند فرستنده‌های AM تجارتي چند کیلوهرتز است؟

۳- در فاصله ۶۰۰ کیلوهرتز تا ۱۸۰۰ کیلوهرتز چند ایستگاه رادیویی می‌توان جای داد؟ (بدون باند محافظ)

۴- در باند MW (۵۳۵ تا ۱۶۰۵ kHz) چند ایستگاه رادیویی AM با باند محافظ جای می‌گیرد؟

۵- با استفاده از یک سیگنال AM که فرکانس حامل و پیام آن مشخص است، طیف فرکانسی را برای انواع روش‌های ارسال با مقیاس مناسب ترسیم کنید. انتخاب فرکانس دلخواه است.

کامل کردنی :

۶- باند محافظ در ایستگاه رادیویی AM .... کیلوهرتز است.

چهار گزینه‌ای :

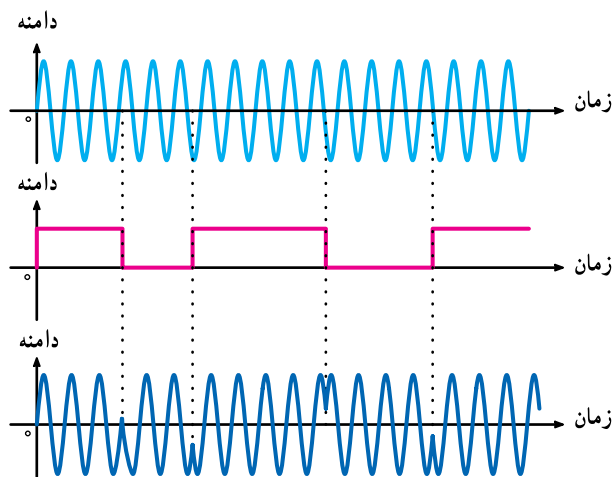
۷- اگر پهنای باند سیگنال AM، ۱۰ کیلوهرتز باشد در فاصله ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلوهرتز چند ایستگاه رادیویی بدون باند محافظ جای می‌گیرد؟

(۱) ۲۰ (۲) ۳۰ (۳) ۴۰ (۴) ۸۰

## ۲۱-۳- اشاره‌ای به مدولاسیون فرکانس (frequency modulation)

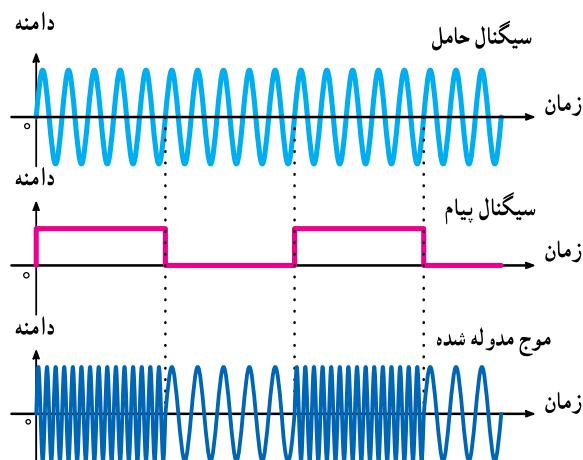
در صورتی که فرکانس سیگنال حامل، متناسب با تغییرات دامنه پیام تغییر کند مدولاسیون فرکانس ایجاد می‌شود. در این حالت سرعت تکرار تغییرات فرکانس موج حامل متناسب با فرکانس پیام خواهد بود. مدولاسیون فرکانس را با FM نشان می‌دهند. در شکل ۳-۴۲ مدولاسیون FM با پیام سینوسی را نشان داده‌ایم. همان‌طور که مشاهده می‌شود؛ هنگامی که دامنه پیام صفر است، فرکانس موج مدوله شده برابر با موج حامل می‌شود. با افزایش

سه نوع مدولاسیون AM ، FM و PM از انواع مدولاسیون های پیوسته یا آنالوگ اند. در صورتی که حامل یا پیام موج مربعی باشد، مدولاسیون دیجیتال و پالسی شکل می گیرد. چون هدف ما در این بخش کتاب تحلیل مدار گیرنده های رادیویی است، تأکید بر مدولاسیون های آنالوگ و بیشتر روی AM خواهیم داشت.



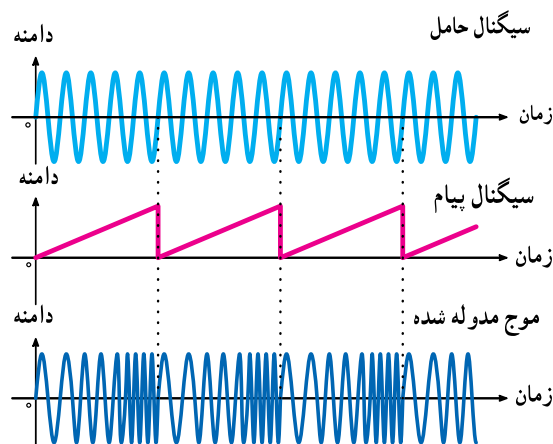
شکل ۳-۴۶ مدولاسیون فاز

شکل ۳-۴۴ پیام مربعی که روی حامل سینوسی به صورت FM مدوله شده است را نشان می دهد.



شکل ۳-۴۴ مدولاسیون FM با سیگنال پیام مربعی

شکل ۳-۴۵ پیام دندانانه اره ای که روی حامل سینوسی به صورت FM مدوله شده است را نشان می دهد.



شکل ۳-۴۵ مدولاسیون FM با سیگنال پیام دندانانه اره ای

### تحقیق برای هنرجویان علاقه مند

در صورت امکان با استفاده از نرم افزارهایی که در دسترس دارید، شکل موج انواع مدولاسیون ها را با پیام مربعی و سینوسی، بازسازی و مشاهده کنید.

### ۳-۲۳ الگوی پرش

کامل کردنی :

۱- در مدولاسیون فرکانس دامنه حامل ..... است و فرکانس حامل متناسب با ..... پیام تغییر می کند.

چهار گزینه ای :

۲- در مدولاسیون فاز ..... حامل متناسب با ..... پیام تغییر می کند.

(۱) فرکانس - دامنه (۲) فاز - دامنه

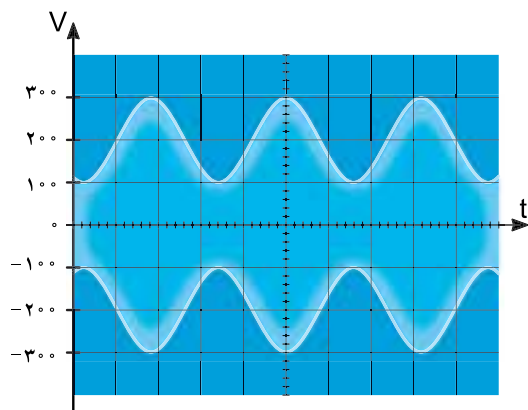
(۳) فاز - فرکانس (۴) دامنه - فاز

۳- مدولاسیون دامنه، فرکانس و فاز را تعریف کنید.

### ۳-۲۲ مدولاسیون فاز (Phase Modulation)

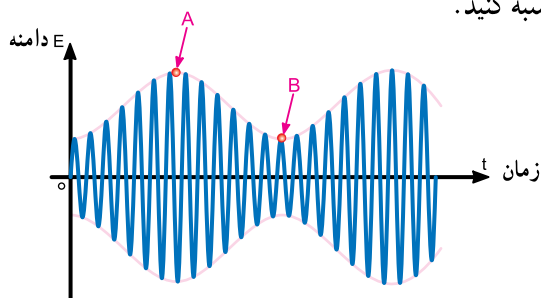
اگر فاز سیگنال حامل متناسب با دامنه سیگنال پیام تغییر کند مدولاسیون فاز به وجود می آید. در این حالت سرعت تکرار تغییرات فاز برابر با فرکانس پیام خواهد بود. مدولاسیون فاز از پاره ای جهات مشابهت هایی با مدولاسیون FM دارد. مدولاسیون فاز را با PM نشان می دهند (شکل ۳-۴۶).

۶- در شکل ۳-۴۹ ضرب مدولاسیون را محاسبه کنید.



شکل ۳-۴۹

۷- اگر در شکل ۳-۵۰ دامنه موج مدوله شده در نقطه A سه برابر دامنه موج مدوله شده در نقطه B باشد و پیام دارای دامنه ۵۰ میلی‌ولت باشد، درصد مدولاسیون و دامنه حامل را محاسبه کنید.



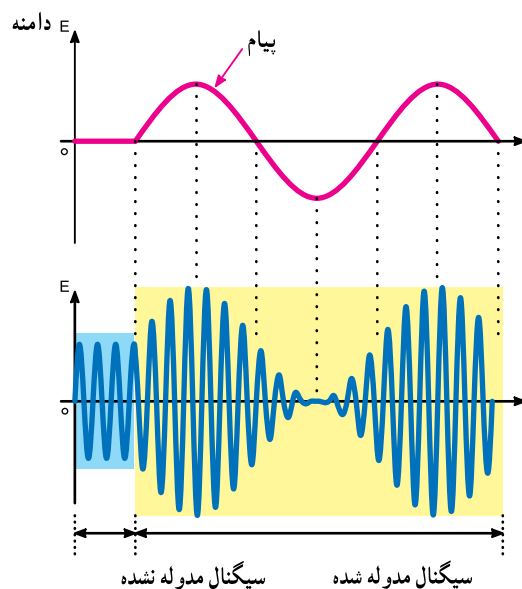
شکل ۳-۵۰

### ۳-۲۴- اشاره‌ای به مدولاسیون پالس (Pulse Modulation):

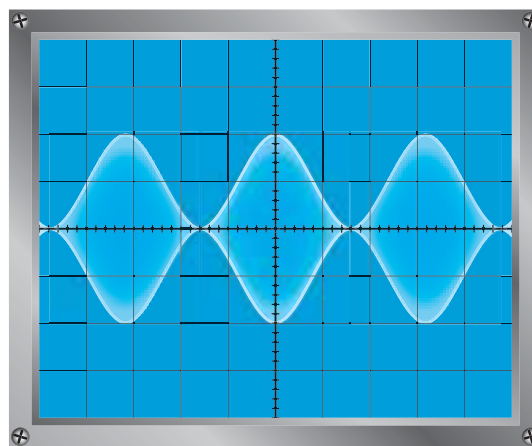
علاوه بر مدولاسیون آنالوگ، مدولاسیون‌های دیگری نیز وجود دارد که آن را مدولاسیون‌های پالسی می‌نامند. در فصل دهم، درباره مدولاسیون‌های پالسی بحث خواهیم کرد.

۴- شکل موج سیگنال AM، FM و PM را با موج پیام مربعی ترسیم کنید.

۵- در هر یک از شکل‌های ۳-۴۷ و ۳-۴۸ درصد مدولاسیون چه قدر است؟



شکل ۳-۴۷



شکل ۳-۴۸