

# فصل

## فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی FM

### هدف کلی

### آشنایی با طبقات تشکیل‌دهنده فرستنده و گیرنده رادیویی FM

کل زمان اختصاص داده شده به فصل: ۹ ساعت آموزشی

### زمان پیشنهادی

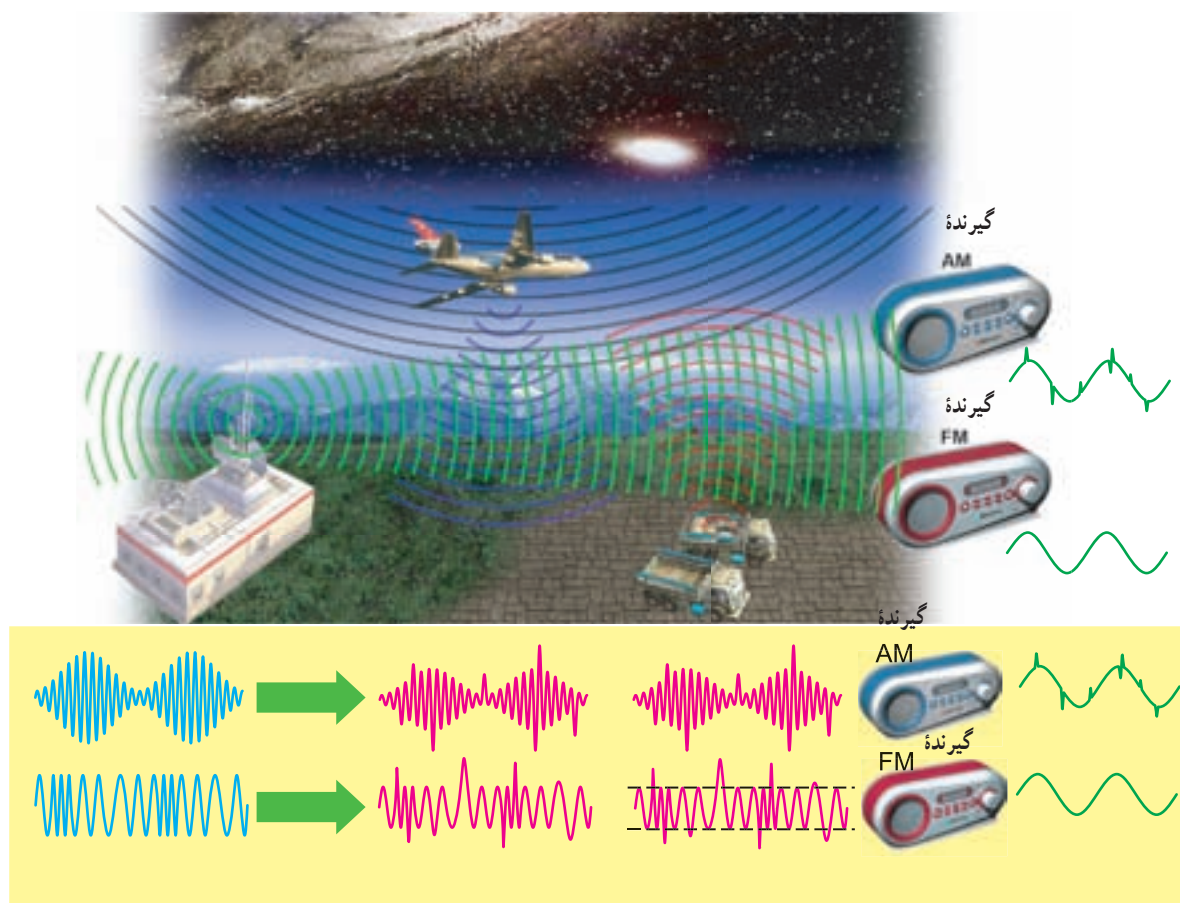
### هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود که:

- ۱- مزایای سیگنال FM را نسبت به AM شرح دهد. ۱۰'
- ۲- اساس کار مدولاتور FM را توضیح دهد. ۲۰'
- ۳- انحراف فرکانس ( $F_D$ ) را توضیح دهد. ۱۰'
- ۴- مقدار  $F_L$  و  $F_H$  را در مدولاسیون FM محاسبه کند. ۱۰'
- ۵- سرعت تغییرات سیگنال FM را شرح دهد. ۱۰'
- ۶- ضریب مدولاسیون FM را محاسبه کند. ۱۰'
- ۷- بهنای باند و طیف فرکانس FM را شرح دهد. ۱۵'
- ۸- بلوک دیاگرام فرستنده FM را رسم کند. ۱۰'
- ۹- کار هر بلوک در فرستنده FM را شرح دهد و با سایر بلوک‌ها مقایسه کند. ۱۵'
- ۱۰- چند برابرکننده فرکانس را شرح دهد. ۱۰'
- ۱۱- FM استریو را توضیح دهد. ۱۰'
- ۱۲- مدارهای تأکیدکننده و تضعیف‌کننده فرکانس بالا را شرح دهد. ۱۵'
- ۱۳- مدار مجتمع فرستنده FM را با استفاده از برگه اطلاعات شناسایی کند. ۱۰'
- ۱۴- بلوک دیاگرام گیرنده FM را رسم کند. ۱۰'
- ۱۵- کار هر بلوک گیرنده FM را شرح دهد و آن‌ها را با هم مقایسه کند. ۲۵'
- ۱۶- آشکارساز FM کوبن سیدنس را شرح دهد. ۳۵'
- ۱۷- یک یا چند نمونه آی‌سی گیرنده FM را شناسایی و کار پایه‌های آن را توضیح دهد. ۳۵'
- ۱۸- آشکارساز FM مونو (مدار مجتمع) را تشریح کند. ۳۰'
- ۱۹- یک یا چند نمونه مدار مجتمع گیرنده چندموج AM و FM را با استفاده از کتاب اطلاعات شناسایی کند. ۳۰'
- ۲۰- مدار سکوت را در گیرنده FM شرح دهد. ۱۰'
- ۲۱- با استفاده از نرم‌افزارهای مولتی‌سیم یا مشابه آن، مدارهای شبیه‌سازی شده مدولاتور FM را مشاهده کند و در صورت امکان، آن مدارها را شبیه‌سازی کند. ۷۵'
- ۲۲- در فرایند اجرای آموزش متناسب با شرایط و محتوا، آزمون‌های تشخیصی، تکوینی و پایانی را پاسخ دهد.

## ۷-۱- مزایای سیگنال FM نسبت به AM

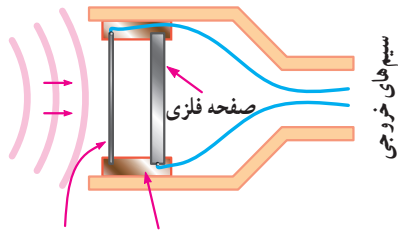
در فصل سوم شکل موج سیگنال FM را مورد بررسی قرار دادیم، همان طور که ملاحظه کردید، تغییر دامنه پیام باعث تغییر فرکانس حامل می شود. چون تغییرات فرکانس حامل نشان دهنده تغییرات دامنه پیام است، لذا نویز پذیری سیگنال FM نسبت به AM فوق العاده کم تر خواهد شد زیرا نویز روی دامنه سیگنال مدوله شده اثر می گذارد. در شکل ۷-۱ ارتباط بین فرستنده و گیرنده رادیویی AM و FM را ملاحظه می کنید. در این تصویر نحوه تأثیر نویز خارجی بر مدولاسیون AM نشان داده شده است.

یکی از انواع مدولاسیون که در فرستنده های رادیویی به کار می رود مدولاسیون FM است. این نوع مدولاسیون، به دلیل پیچیدگی های خاصی که دارد، در موارد ویژه مورد استفاده قرار می گیرد. ضمن این که مدولاسیون FM دارای مزایای خاصی است که کاربرد آن را اجتناب ناپذیر می کند. در این قسمت به تحلیل فرستنده ها و گیرنده های FM می پردازیم.



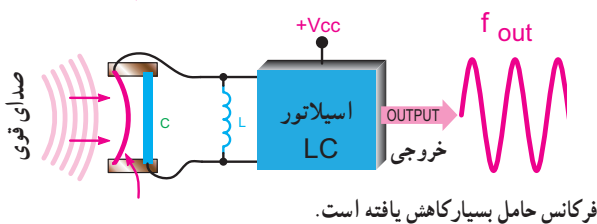
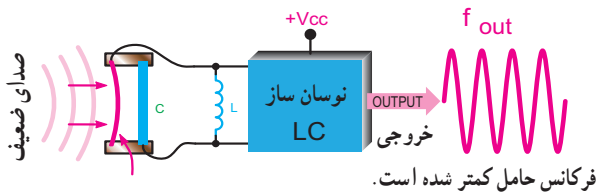
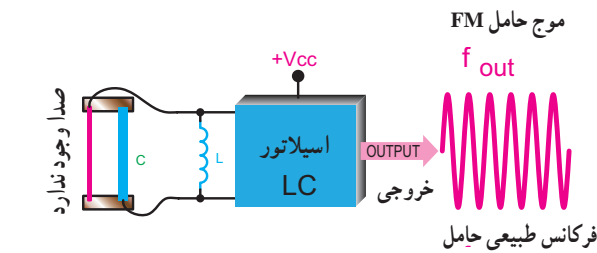
شکل ۷-۱- اثر نویز روی سیگنال های AM و FM

با تغییر هر یک از کمیت‌های  $L$  و  $C$  می‌توان فرکانس خروجی اسیلاتور را تغییر داد. اگر به جای خازن  $C$  از یک میکروفون خازنی طبق شکل ۴-۷ استفاده کنیم، چون در اثر برخورد صوت به میکروفون فاصله  $d$  تغییر می‌کند، براساس رابطه  $C = \frac{KA}{d}$ ، ظرفیت خازن  $C$  نیز تغییر می‌کند، در این شرایط اسیلاتور به مدولاتور FM تبدیل می‌شود.



شکل ۴-۷- ساختمان یک میکروفون خازنی  
ماده عایق دیافراگم (صفحه) نازک فلزی

تغییر ظرفیت میکروفون خازنی براساس تغییر فاصله دو جوشن آن صورت می‌گیرد. برای مثال با کم شدن  $d$ ، مقدار  $C$  زیاد و طبق رابطه  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  مقدار  $f$  کم می‌شود. در شکل ۵-۷ چگونگی تغییر فرکانس اسیلاتور را متناسب با تغییرات ظرفیت خازنی میکروفون خازنی ملاحظه می‌کنید.

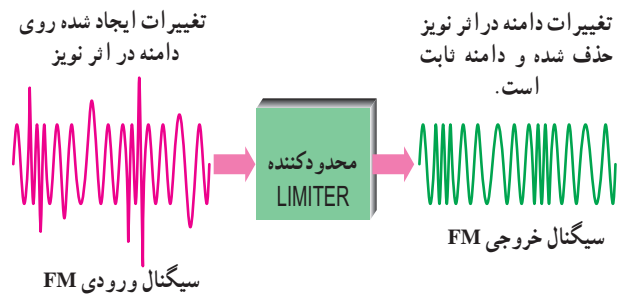


شکل ۵-۷- تغییر فرکانس حامل در اثر تغییر ظرفیت میکروفون خازنی

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، اثر نویز در خروجی گیرنده AM به صورت افزایش لحظه‌ای روی دامنه سیگنال صوتی به شکل پالس‌های بلند دیده می‌شود. در صورتی که در خروجی گیرنده FM هیچ‌گونه اثری از نویز وجود ندارد. در تلویزیون صوت با مدولاسیون FM و تصویر با مدولاسیون AM ارسال می‌شود. به همین سبب است که نویز روی تصویر تلویزیون اثر می‌گذارد، در صورتی که روی صوت تلویزیون تقریباً اثری ندارد.

یکی از روش‌های کاهش نویز در گیرنده‌های FM وجود مدارهای محدودکننده دامنه است. در این مدارها به سبب محدود کردن دامنه سیگنال‌های FM، اثر نویز تقریباً حذف می‌شود.

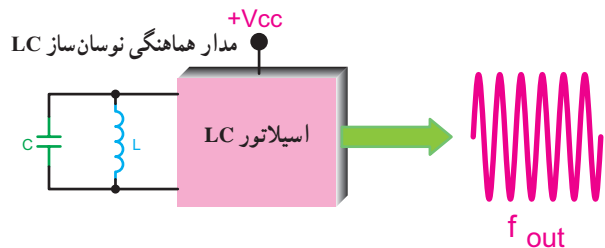
در شکل ۲-۷ سیگنال‌های ورودی و خروجی یک محدودکننده نشان داده شده است. مدار محدودکننده می‌تواند یک محدودکننده دیودی یا مشابه آن باشد.



شکل ۲-۷- بلوک دیاگرام یک محدودکننده با سیگنال‌های ورودی و خروجی

## ۲-۲- اساس کار مدولاتورهای FM

شکل ۳-۷ یک اسیلاتور فرکانس بالا با مدار هماهنگ LC را نشان می‌دهد. در این اسیلاتور فرکانس خروجی از رابطه  $f_{out} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  به دست می‌آید.



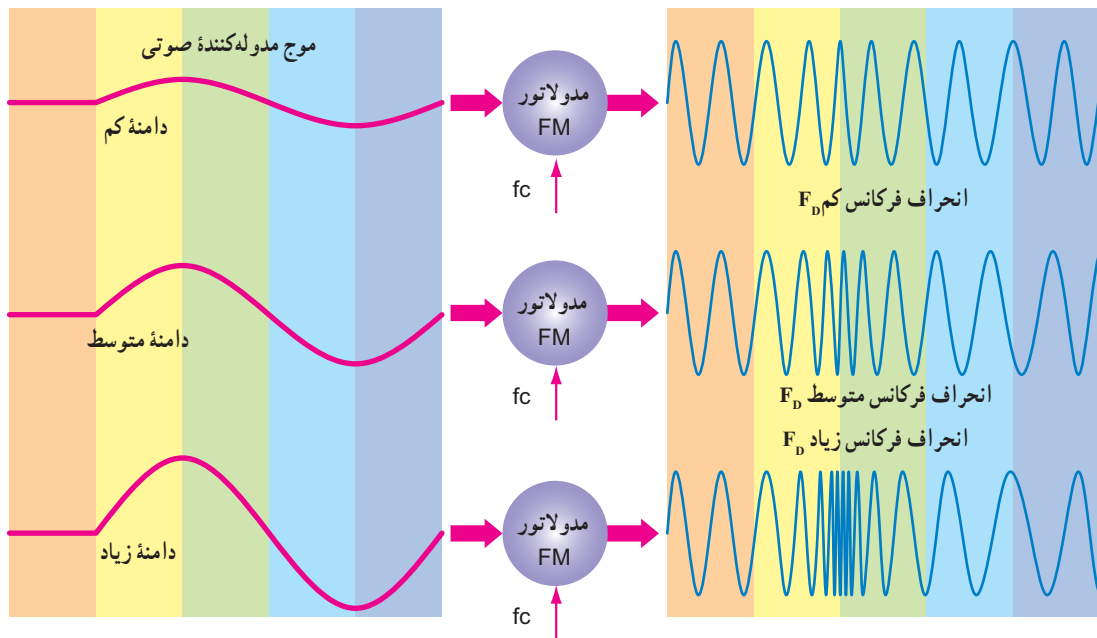
شکل ۳-۷- اسیلاتور LC

فرکانس، انحراف فرکانس می‌نامند. انحراف فرکانس حامل به علت تغییرات دامنه سیگنال مدوله کننده یعنی پیام است. همان‌طور که در شکل ۷-۶ ملاحظه می‌کنید، دامنه سیگنال مدوله کننده در محدوده‌های کم، متوسط و زیاد باعث تغییرات  $f_D$  در محدوده‌های کم، متوسط و زیاد می‌شود. بنابراین، مقدار انحراف فرکانس در مدولاسیون فرکانس متناسب با دامنه سیگنال مدوله کننده است.

در این مدار، صدای قوی با دامنه زیاد باعث کاهش فاصله دو جوشن خازن و افزایش ظرفیت خازنی آن می‌شود. بنابراین براساس رابطه  $f_{out} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  فرکانس مدار کاهش می‌یابد. در صورتی که صدا ضعیف با دامنه کم باشد عکس حالت بالا رخ می‌دهد و فرکانس خروجی اسپلاتور زیاد می‌شود.

### ۷-۳- انحراف فرکانس $F_D$ (Frequency Deviation)

تغییر فرکانس حامل را، نسبت به مقدار طبیعی آن در مدولاسیون



شکل ۷-۶- ارتباط دامنه سیگنال مدوله کننده با انحراف فرکانس ( $F_D$ )

است  $(f_{CS} = 2f_D)$ . مثلاً اگر انحراف فرکانس مساوی ۵ کیلوهرتز باشد حداکثر تغییرات فرکانس مدولاتور مساوی ۱۰ کیلوهرتز خواهد شد. اگر فرکانس بالای حامل را با  $f_H$  و فرکانس پایین حامل را با  $f_L$  نشان دهیم، آن‌گاه خواهیم داشت:

$$f_H = f_C + f_D \quad \text{فرکانس بالای حامل}$$

$$f_L = f_C - f_D \quad \text{فرکانس پایین حامل}$$

حداکثر تغییرات فرکانس مدولاتور ( $f_{CS}$ ) با استفاده از مقادیر  $f_L$  و  $f_H$  محاسبه می‌شود.

$$f_{CS} = f_H - f_L = f_C + f_D - (f_C - f_D) = 2f_D$$

در شکل ۷-۷ تغییرات فرکانس مدولاتور FM را متناسب با تغییرات دامنه سیگنال مدوله کننده در ۵ نقطه از دامنه سیگنال پیام مشاهده می‌کنید. در نقاط ۱، ۳ و ۵ که دامنه سیگنال مدوله کننده (پیام) برابر با صفر است، فرکانس مدولاتور مساوی با  $f_C$  می‌شود.

در نقطه ۲ که دامنه سیگنال مدوله کننده حداکثر است فرکانس مدولاتور نیز حداکثر خواهد شد. در نقطه ۴ که دامنه سیگنال مدوله کننده حداقل است، فرکانس مدولاتور نیز حداقل می‌شود.

حداکثر تغییرات فرکانس حامل (Frequency Swing) را با  $f_{CS}$  نشان می‌دهند. مقدار  $f_{CS}$  مساوی دو برابر انحراف فرکانس ( $f_D$ )

## پاسخ:

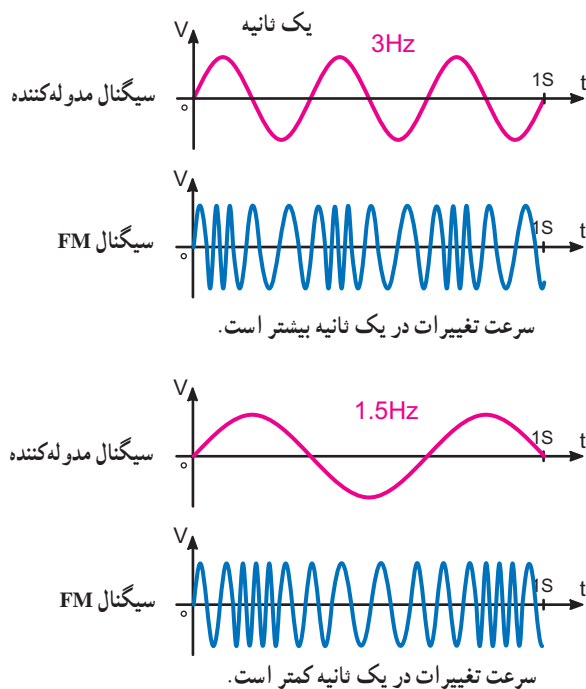
$$f_{CS} = 2f_D = 2 \times 20 = 40 \text{ کیلوهرتز}$$

$$f_H = f_C + f_D = 1000 + 20 = 1020 \text{ کیلوهرتز}$$

$$f_L = f_C - f_D = 1000 - 20 = 980 \text{ کیلوهرتز}$$

## ۴-۷- سرعت تغییرات سیگنال FM (Rate of change)

سرعت تغییرات سیگنال FM بستگی به فرکانس سیگنال مدوله کننده دارد. هر قدر فرکانس سیگنال مدوله کننده بیشتر باشد، سرعت تغییرات سیگنال FM نیز بیشتر می شود. در شکل ۸-۷ فرکانس سیگنال صوتی و سرعت تغییرات سیگنال FM برای دو حالت ۳ هرتز و ۱/۵ هرتز نشان داده شده است.

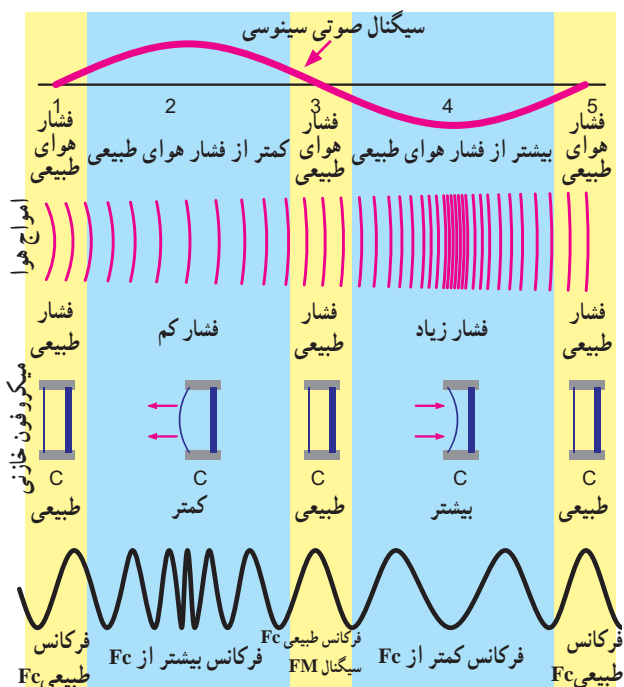


شکل ۸-۷ اثر سیگنال مدوله کننده بر سرعت تغییرات سیگنال FM

## ۵-۷- شاخص مدولاسیون سیگنال FM (Modulation index)

شاخص مدولاسیون یا ضریب مدولاسیون برای سیگنال FM از رابطه صفحه بعد به دست می آید:

با توجه به نکته مهم صفحه ۴۳ یادآور می شود که بازشدگی مولکول های هوا ناشی از نیم سیکل مثبت و فشرده گی مولکول های هوا ناشی از نیم سیکل منفی، فرضی است. لذا مطابق شکل ۲۳-۱ می توان بازشدگی را در اثر نیم سیکل منفی و فشرده گی را در اثر نیم سیکل مثبت در نظر گرفت.



شکل ۷-۷ ارتباط فرکانس صوتی با کاربرد سیگنال FM

## مثال ۱-۷

فرکانس حامل یک سیگنال FM برابر با ۱۰۰ مگاهرتز است در صورتی که انحراف فرکانس آن مساوی ۲۰ کیلوهرتز باشد:

الف - حداکثر تغییرات فرکانس را محاسبه کنید.

ب - مقادیر فرکانس  $f_H$  و  $f_L$  را به دست آورید.

## انحراف فرکانس

فرکانس سیگنال مدوله کننده (پیام) = شاخص مدولاسیون

$$m_i = \frac{f_D}{f_m}$$

### مثال ۲-۷

در یک سیگنال FM، حداکثر تغییرات فرکانس مساوی ۱۰ کیلوهرتز است. اگر فرکانس سیگنال مدوله کننده مساوی ۸ کیلوهرتز باشد، شاخص مدولاسیون چه قدر است؟

### پاسخ:

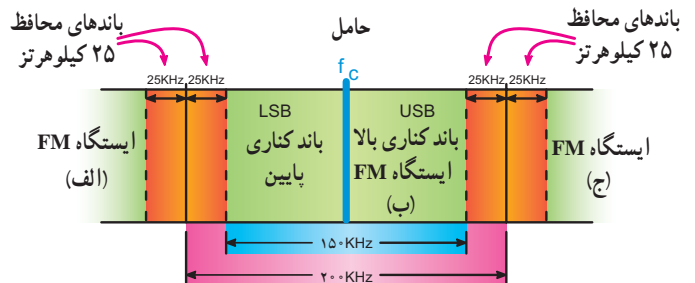
$$f_{CS} = 2f_D \Rightarrow 10 = 2f_D \Rightarrow f_D = 5 \text{ kHz}$$

$$m_i = \frac{f_D}{f_M} = \frac{5}{8} = 0.625$$

## ۷-۶- پهنای باند هر ایستگاه در FM

FM تجارتي در محدوده فرکانسی ۸۸-۱۰۸ مگاهرتز قرار دارد. پهنای باند هر ایستگاه رادیویی معمولاً ۱۵ کیلوهرتز و باند محافظ بالا و پایین آن هر کدام ۲۵ کیلوهرتز است. در شکل ۹-۷ پهنای باند یک ایستگاه رادیویی FM و باند محافظ آن نشان داده شده است. به این پهنای باند سیگنال FM با باند وسیع (Wide Band) می گویند. پهنای باند FM به دو دلیل زیر افزایش می یابد:

- پهنای باند پیام در FM نسبت به AM بیشتر است. (در AM، ۵ کیلوهرتز و در FM، ۱۵ کیلوهرتز است)
- در FM تغییرات ولتاژ دامنه پیام به تغییرات فرکانس تبدیل می شود و باندهای کناری متعددی را به وجود می آورد.



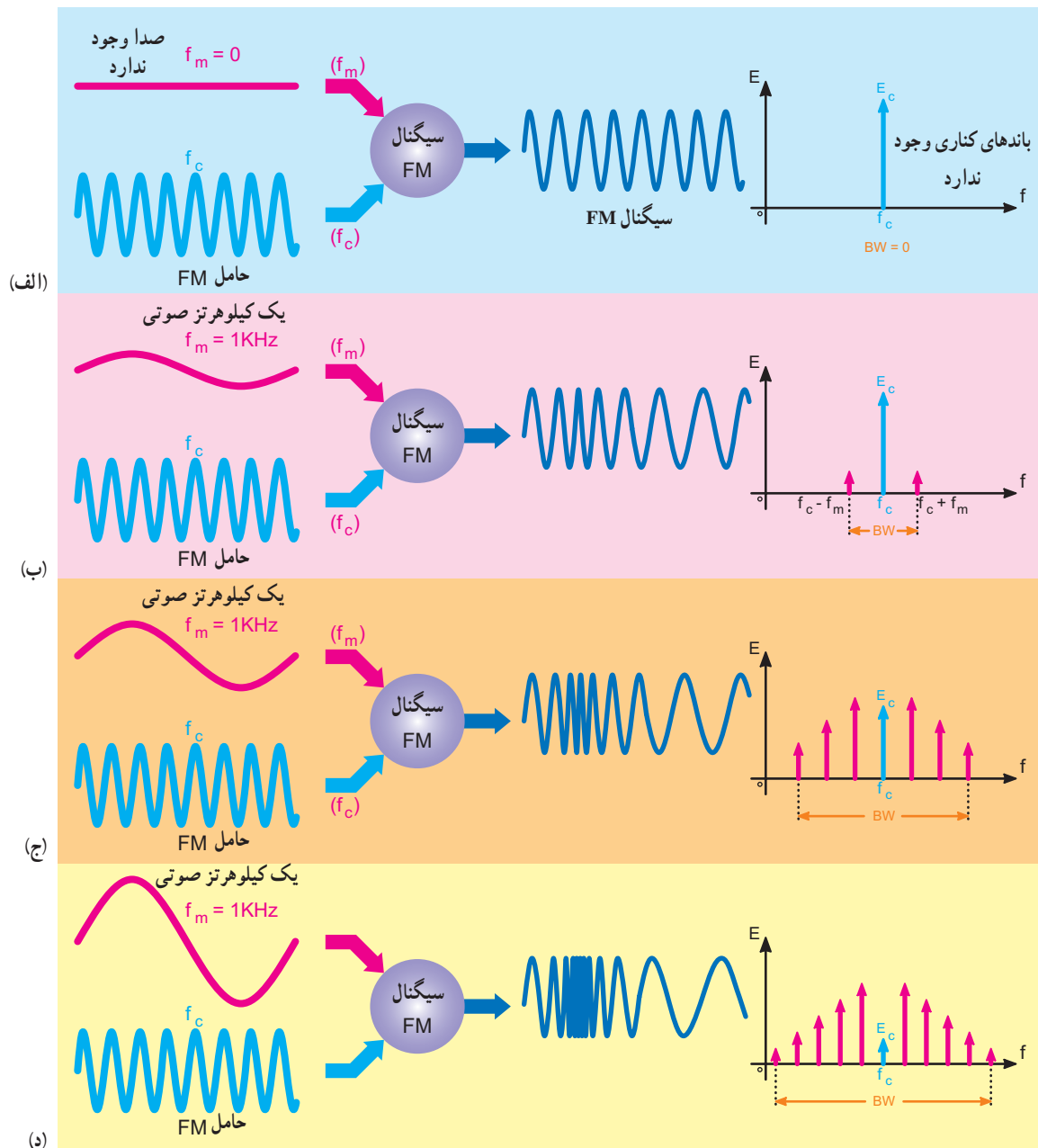
شکل ۹-۷- پهنای باند یک ایستگاه رادیویی FM و باند محافظ آن

## ۷-۷- طیف فرکانسی سیگنال FM

با اتصال سیگنال FM به ورودی یک دستگاه طیف نما، می توان طیف فرکانسی سیگنال FM را مشاهده کرد. در شکل ۱۰-۷ طیف فرکانسی سیگنال FM را، که در آن دامنه سیگنال پیام متغیر و فرکانس آن مساوی ۱ کیلوهرتز است، مشاهده می کنید. در حالت الف، چون دامنه سیگنال مدوله کننده مساوی صفر است، انحراف فرکانس نیز مساوی صفر می شود ( $f_D = 0$ ).

با توجه به رابطه  $m_i = \frac{f_D}{f_m}$  مقدار شاخص مدولاسیون صفر خواهد شد. در این حالات در طیف فرکانسی سیگنال FM فقط فرکانس کاری وجود دارد و هیچ گونه باند کناری ظاهر نمی شود. در حالت «ب» دامنه سیگنال پیام باعث تغییر در فرکانس کاری شده است و مانند طیف فرکانس AM، علاوه بر فرکانس کاری، دو فرکانس کناری  $f_c + f_D$  و  $f_c - f_D$  به وجود آمده است.

در حالت های «ج و د»، افزایش دامنه سیگنال پیام، موجب افزایش تعداد فرکانس های کناری و کاهش دامنه کاری شده است. با افزایش تعداد فرکانس های کناری پهنای باند نیز افزایش یافته است. رابطه افزایش فرکانس های کناری با افزایش دامنه کاری، با استفاده از توابع بسل در ریاضیات مهندسی قابل بیان است که خارج از برنامه آموزشی متوسطه است.



شکل ۱۰-۷- باندهای کناری و پهنای باند سیگنال FM

### مثال ۳-۷

در یک سیگنال FM با انحراف فرکانس  $3^\circ$  کیلوهرتز اگر فرکانس سیگنال مدوله کننده مساوی  $1^\circ$  کیلوهرتز باشد، شاخص مدولاسیون چه قدر است؟ شاخص مدولاسیون چه نقشی در پهنای باند و طیف فرکانسی  $f_m$  دارد توضیح دهید.

**پاسخ:**

$$m_i = \frac{f_D}{f_m} = \frac{3^\circ}{1^\circ} = 3$$

افزایش شاخص مدولاسیون موجب افزایش پهنای باند و تعداد طیف فرکانسی می شود.

## ۷-۸- درصد مدولاسیون

### (Modulation Percent)

درصد مدولاسیون برای یک سیگنال FM طبق تعریف از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$M_{FM} = \frac{\text{فرکانس انحراف واقعی}}{\text{ماکزیم فرکانس انحراف تعریف شده}} \times 100 = \frac{f_D(\text{actual})}{f_D(\text{Max})} \times 100$$

### مثال ۷-۴

در یک فرستنده FM تجارتي اگر انحراف فرکانس مساوی ۲۰ کیلوهرتز باشد، درصد مدولاسیون چه قدر است؟

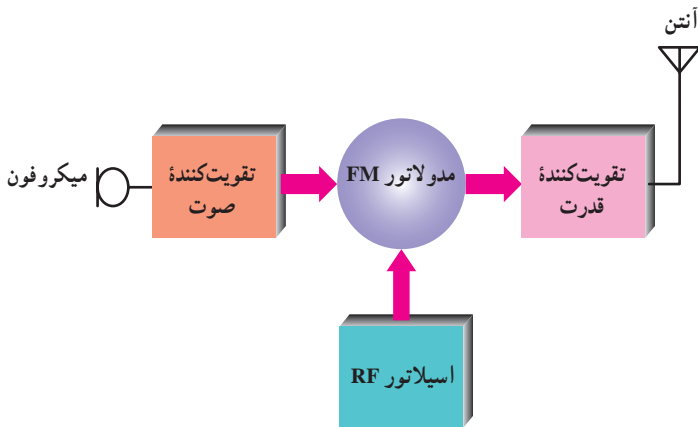
پاسخ:

$$M_{FM} = \frac{20}{75} \times 100 = 26.67\%$$

برای یک فرستنده FM تجارتي ماکزیم انحراف فرکانس مساوی ۷۵ کیلوهرتز است.

## ۷-۱۰- فرستنده FM (FM Transmitter)

فرستنده FM تشابه زیادی با فرستنده AM دارد. اختلاف اساسی بین فرستنده FM و AM در نوع مدولاسیون است. در شکل ۷-۱۱ بلوک دیاگرام یک فرستنده رادیویی FM نشان داده شده است.



شکل ۷-۱۱- بلوک دیاگرام فرستنده رادیویی FM

در این بلوک دیاگرام، میکروفون ارتعاشات مکانیکی را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند تقویت کننده صوتی، عمل تقویت دامنه سیگنال خروجی میکروفون را انجام می‌دهد. در بلوک مدولاتور FM و اسیلاتور RF، فرکانس اسیلاتور براساس تغییرات دامنه و فرکانس صوت تغییر می‌کند و سیگنال FM تولید می‌شود. قسمت تقویت کننده توان نیز قدرت لازم را برای فرستنده تأمین می‌کند.

## ۷-۱۱- چند برابر کننده فرکانس

### (Frequency Multiplier)

می‌دانیم باند رادیویی FM در محدوده فرکانس ۸-۱۰۸ می‌گهرتز قرار دارد. به سبب بالا بودن فرکانس، امکان ایجاد تغییر ناخواسته در فرکانس اسیلاتور و تغییر ایستگاه در این محدوده فرکانسی وجود دارد. برای رفع این مشکل، در فرستنده FM از اسیلاتورهای فرکانس پایین استفاده می‌کنند و با استفاده از مدارهای چند برابر کننده فرکانس، فرکانس اسیلاتور را به محدوده FM می‌رسانند.

تحقیق کنید: انحراف فرکانس در سیگنال

FM مونو و استریو تجاری چند کیلوهرتز است؟ نتایج را با ذکر منابع به کلاس ارائه دهید.

## ۷-۹- FM باند باریک (Narrow Band FM)

در FM باند باریک پهنای باند مشابه AM از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$BW_{FM(\text{Narrow})} = 2f_m$$

تذکر: ثابت شده است که در FM باند باریک ضریب مدولاسیون کمتر از  $\frac{1}{3}$  است.

### مثال ۷-۵

برای یک سیگنال FM باند باریک، اگر فرکانس سیگنال مدوله کننده مساوی ۶ کیلوهرتز باشد مقدار پهنای باند را محاسبه کنید.

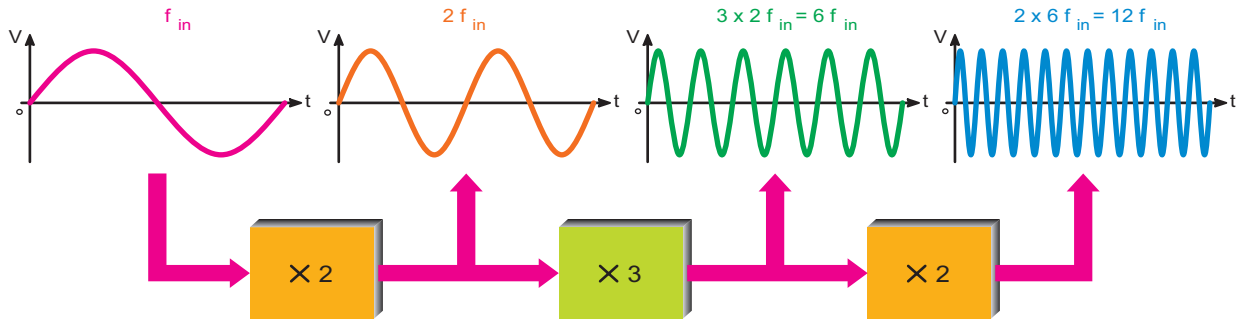
پاسخ:

$$BW_{FM(\text{Narrow})} = 2f_m = 2 \times 6 = 12 \text{ KHz}$$



چند برابرکننده چندطبقه استفاده شود.  
در شکل ۷-۱۲ به منظور افزایش فرکانس به میزان دوازده برابر، سه بلوک چند برابرکننده فرکانس به کار رفته است.

در شکل ۷-۱۲ سیگنال‌های ورودی و خروجی مدارهای دو برابرکننده و سه برابرکننده فرکانس نشان داده شده است. در عمل ممکن است برای افزایش فرکانس سیگنال حامل از مدارهای



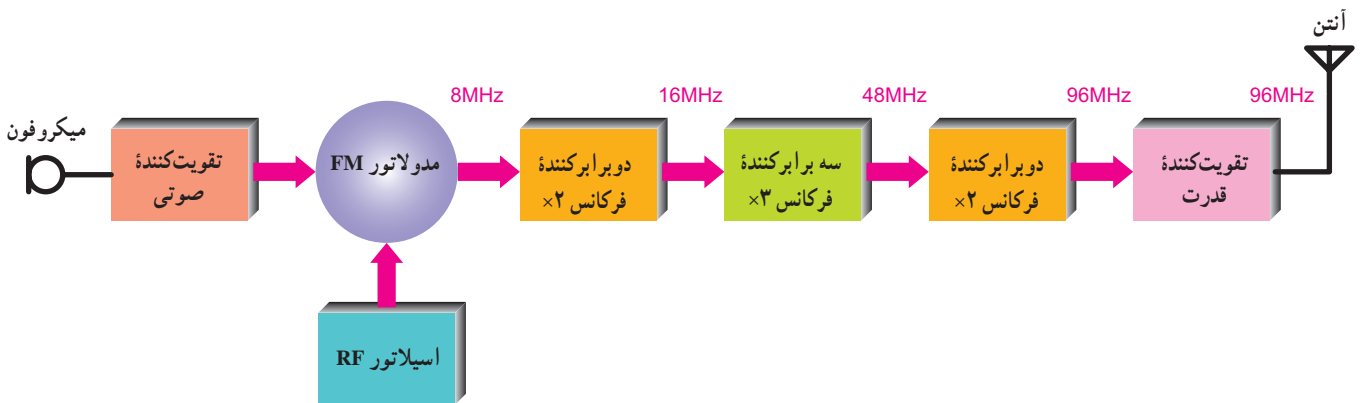
شکل ۷-۱۲- چند برابرکننده سه طبقه

مشاهده می‌کنید. در این حالت فرکانس اسپلاتور از ۸ مگاهرتز به ۹۶ مگاهرتز افزایش یافته است.

$$f_c(\text{out}) = 2 \times 3 \times 2 \times 8 = 96 \text{ MHz}$$

### ۷-۱۲- یک نمونه بلوک دیگرام فرستنده FM

در شکل ۷-۱۳ یک نمونه بلوک دیگرام فرستنده FM را، که در آن چند طبقه چند برابرکننده فرکانس به کار رفته است،



شکل ۷-۱۳- فرستنده FM با چند برابرکننده‌های فرکانس اسپلاتور

انحراف فرکانس  $\times$  ضریب افزایش طبقات = انحراف فرکانس در طبقه خروجی  
چند برابرکننده

$$f_D(\text{out}) = N_f \cdot f_D$$

ضریب افزایش طبقات چند برابرکننده با حاصل ضرب ضرایب مربوط به طبقات چند برابرکننده‌های فرکانس برابر است.

### ۷-۱۳- رابطه انحراف فرکانس و ضریب افزایش چند برابرکننده‌های فرکانس

اگر ضریب افزایش چند برابرکننده‌های فرکانس را  $N_f$  و فرکانس انحراف سیگنال FM را با  $F_D$  نشان دهیم مقدار انحراف فرکانس در طبقه خروجی فرستنده FM از رابطه زیر به دست می‌آید.

## مثال ۶-۷

در شکل ۷-۱۳ اگر مقدار  $f_c$  بعد از مدولاتور FM برابر با  $7/5$  مگاهرتز و  $f_D$  برابر با  $6$  کیلوهرتز باشد مقادیر فرکانس کاری خروجی و انحراف فرکانس خروجی را به دست آورید.

$$N_f = 2 \times 2 \times 3 = 12$$

$$f_c(\text{out}) = N_f \times 7/5 = 90 \text{ MHz}$$

$$f_D(\text{out}) = N_f \times f_D = 12 \times 6 = 72 \text{ KHz}$$

**پاسخ:**

## جهت دانش آموزان علاقه‌مند

تحقیق کنید باند VHF II در چه محدوده‌ای قرار دارد و با کدام یک از باندهای فرکانسی که تاکنون آشنا شده‌اید انطباق دارد؟

در یک آشکارساز FM، نسبت سیگنال به نویز در فرکانس‌های پایین، بزرگتر از این نسبت در فرکانس‌های بالاست. اگر سیگنال مدوله‌کننده قبل از مدولاسیون به وسیله فیلتری پردازش شود نسبت سیگنال به نویز موج دمدوله شده در تمام فرکانس‌ها یکسان خواهد بود. در فرستنده FM سیگنال مدوله‌کننده قبل از مدولاسیون توسط یک فیلتر بالا گذر به نام پیش تأکید پردازش می‌شود این فیلتر، فرکانس‌های بالاتر را با دامنه بیشتر عبور می‌دهد. درگیرنده FM برای جلوگیری از ایجاد اعوجاج در سیگنال دمدوله شده، باید توسط یک فیلتر پایین گذر به نام باز تضعیف، فرکانس‌های بالاتر را تضعیف نمود در شکل ۷-۱۵ مدارهای پیش تأکید و باز تضعیف و پاسخ فرکانسی هر یک نشان داده شده است.

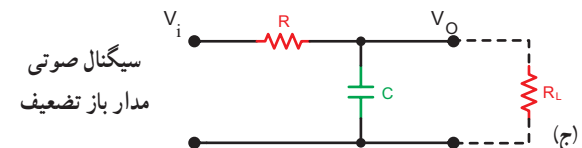
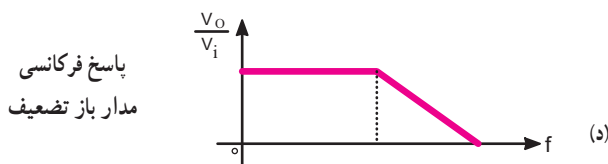
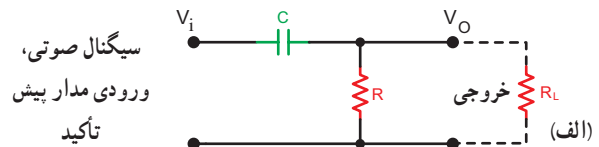
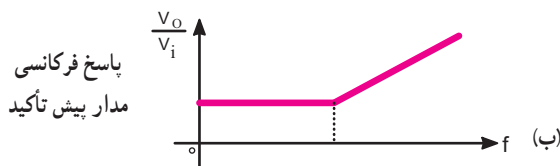
## ۷-۱۴- مدارهای پیش تأکید (Pre Emphasis) و باز تضعیف (De Emphasis)

در مدولاسیون FM، نویز به‌طور خطی با فرکانس افزایش می‌یابد و باعث اعوجاج (distortion) در سیگنال FM می‌شود. برای جلوگیری از نویز از مدار پیش تأکید فرکانس بالا استفاده می‌شود تا ضریب مدولاسیون در فرکانس بالا افزایش یافته و باعث کاهش نویز شود.

در شکل ۷-۱۴ قسمتی از بلوک دیاگرام فرستنده FM با استفاده از مدار پیش تأکید نشان داده شده است.



شکل ۷-۱۴- قسمتی از فرستنده FM با پیش تأکید فرکانس بالا



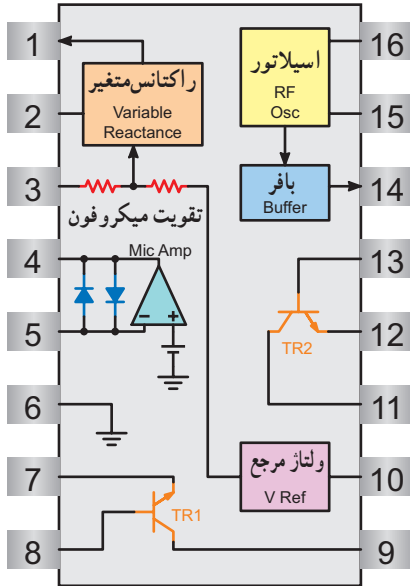
شکل ۷-۱۵- مدارهای پیش تأکید و باز تضعیف و پاسخ فرکانسی آنها

## ۷-۱۵- فرستنده FM با آی سی

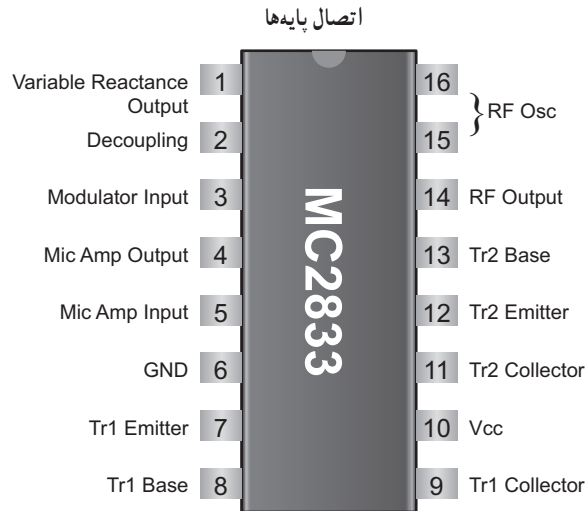
را مشاهده می کنید.

در شکل های ۷-۱۶- ب و ۷-۱۶- ج شماره پایه های آی سی و بلوک دیاگرام داخل آی سی رسم شده است.

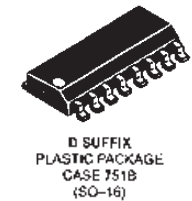
یک نوع فرستنده FM با آی سی دارای شماره فنی MC۲۸۳۳ است. در شکل ۷-۱۶- الف شکل ظاهری آی سی



ج- بلوک دیاگرام مدار داخلی آی سی



ب- شماره پایه های آی سی



الف

شکل ۷-۱۶

همواره کار تیمی نتایج بهتری را برای گروه به همراه دارد. سعی کنید مطالب درسی را به صورت گروهی و مشارکتی فرا بگیرید.

متغیر

پایه ۳: ورودی مدولاتور

پایه ۴: خروجی تقویت کننده صوتی

پایه ۵: ورودی تقویت کننده صوتی

پایه ۶: زمین

پایه ۷: امیتر ترانزیستور تقویت کننده خطی

خروجی (TR<sub>۱</sub>)

پایه ۸: بیس ترانزیستور تقویت کننده خطی

خروجی (TR<sub>۲</sub>) به عنوان ورودی تقویت کننده

### ۷-۱۵-۱- مدار فرستنده FM با آی سی: در

شکل ۷-۱۷ مدار کامل یک فرستنده FM با آی سی MC۲۸۳۳ نشان داده شده است.

این آی سی با ولتاژ تغذیه ۲/۸۷ تا ۹ ولت کار می کند.

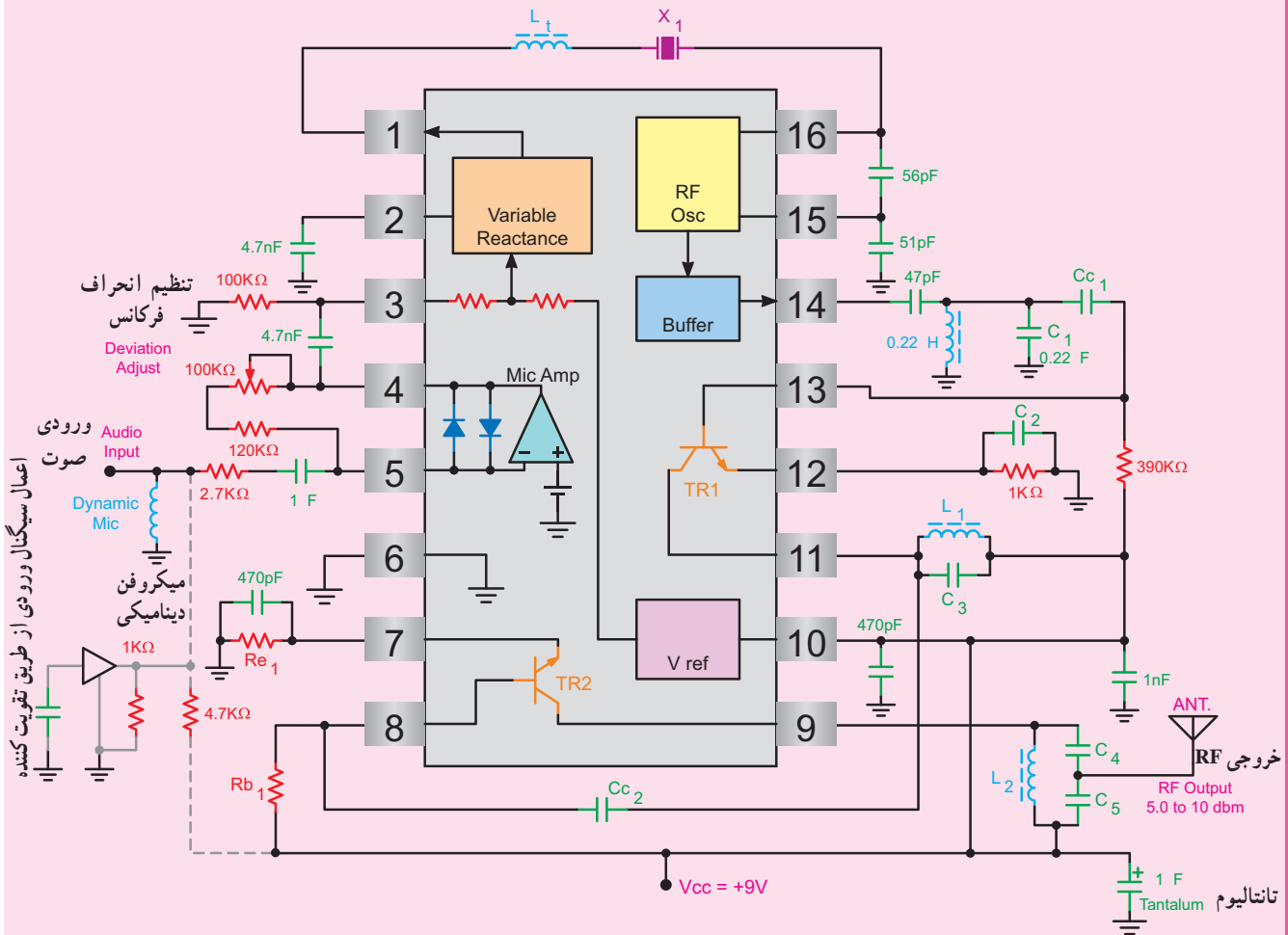
وظایف هر یک از پایه های آی سی به شرح زیر است:

پایه ۱: خروجی مدار راکتانس متغیر

پایه ۲: دی کپلینگ مربوط به مدار راکتانس

پایه ۹ : کلکتور ترانزیستور تقویت کننده خطی خروجی (TR<sub>۱</sub>) به عنوان خروجی تقویت کننده پایه ۱۰ : ولتاژ V<sub>CC</sub> که مقدار آن بین ۲/۸ ولت تا ۹ ولت است.  
 پایه ۱۱ : کلکتور ترانزیستور چند برابر کننده فرکانس (TR<sub>۱</sub>) به عنوان خروجی پایه ۱۲ : امیتر ترانزیستور چند برابر کننده فرکانس (TR<sub>۱</sub>)

پایه ۱۳ : بیس ترانزیستور چند برابر کننده فرکانس (TR<sub>۱</sub>) به عنوان ورودی تقویت کننده پایه ۱۴ : خروجی RF که سیگنال مدوله شده FM از این پایه دریافت می شود.  
 پایه ۱۵ : اسپلاتور محلی که از نوع VCO است.  
 پایه ۱۶ : اسپلاتور محلی که از نوع VCO است.



شکل ۱۷-۷. مدار کامل یک فرستنده FM با آی سی MC2833

برای اطلاعات بیشتر در مورد آی سی می توانید به سایت های مرتبط از قبیل a. data sheet مراجعه کنید.

## ۱۶-۷- الگوی پرش

کیلوهرتز اگر فرکانس سیگنال مدوله کننده ۱۵ کیلوهرتز باشد،  
شاخص مدولاسیون کدام است؟

- ۶ (۱)      ۴ (۲)  
۳ (۳)      ۲ (۴)

۱- مزایای FM نسبت به AM کدام اند؟  
۲- چگونه تولید سیگنال FM با استفاده از میکروفون  
خازنی را شرح دهید.

۳- فرق بین شاخص مدولاسیون FM و AM در چیست؟

۴- در محدوده FM تجارتی چند ایستگاه رادیویی وجود دارد؟

۵- در FM باند باریک، پهنای باند از چه رابطه‌ای محاسبه می‌شود؟

۶- به چه دلیل در فرستنده FM از مدارات ضرب‌کننده فرکانس استفاده می‌شود؟

۷- مدارهای پیش‌تأکید و بازتضعیف چه نوع فیلترهایی هستند؟

۸- سبب استفاده از مداربازتضعیف در سیستم گیرنده رادیویی FM چیست؟

۹- با توجه به شکل ۷-۱۷ وظایف ترانزیستورهای (TR<sub>p</sub>) و (TR<sub>r</sub>) را در آی‌سی MC۲۸۳۳ به اختصار شرح دهید.

۱۰- با توجه به شکل ۷-۱۷ شماره پایه‌های مربوط به تغذیه آی‌سی MC۲۸۳۳ کدام اند؟ آی‌سی با چه ولتاژی تغذیه می‌شود؟

۱۱- به چه دلیل در فرستنده FM از تأکیدکننده فرکانس بالا استفاده می‌شود؟

### صحیح یا غلط

۱۲- در مدولاسیون FM شاخص مدولاسیون برابر است با فرکانس سیگنال مدوله کننده

انحراف فرکانس

صحیح □      غلط □

کوتاه پاسخ

۱۳- در مدولاسیون فرکانس، رابطه حداکثر تغییر فرکانس حامل (f<sub>CS</sub>) و انحراف فرکانس (f<sub>D</sub>) را بنویسید.

چهارگزینه‌ای

۱۴- در یک سیگنال FM با حداکثر تغییر فرکانس ۹۰

## ۱۷-۷- گیرنده FM (FM Receiver)

گیرنده FM شباهت زیادی به گیرنده AM دارد. اختلاف اساسی بین گیرنده‌های FM و AM، در فرکانس‌های حامل و مدارهای آشکارساز آن‌هاست. در شکل ۷-۱۸ بلوک دیاگرام یک گیرنده رادیویی FM نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۷-۱۸ تفاوت گیرنده‌های FM و AM در فرکانس IF، محدودکننده دامنه، تضعیف‌کننده فرکانس بالا، مدار کنترل‌کننده اتوماتیک فرکانس (Automatic Frequency control) و پهنای باند آن‌هاست، نقش هر یک از بلوک‌ها در گیرنده رادیویی FM به شرح زیر است:

۱- ۷-۱۷- تقویت‌کننده RF: کار این طبقه، انتخاب و تقویت فرکانس ایستگاه موردنظر و جلوگیری از ورود فرکانس‌های ناخواسته است.

۲- ۷-۱۷- اسپلاتور محلی: کار اسپلاتور محلی تولید یک سیگنال سینوسی است که فرکانس آن به اندازه ۱۰/۷ مگاهرتز از سیگنال حامل ورودی بیشتر است.

$$f_{LO} = f_{IF} + f_{RF}$$

۳- ۷-۱۷- مخلوط‌کننده: مخلوط‌کننده، فرکانس اسپلاتور محلی را با فرکانس حامل دریافتی مخلوط می‌کند و مجموع و تفاضل آن‌ها را در خروجی ظاهر می‌نماید.

۴- ۷-۱۷- تقویت‌کننده‌های IF: تقویت‌کننده‌های IF برای تقویت فرکانس میانی ۱۰/۷ مگاهرتز به کار می‌روند.

۵- ۷-۱۷- محدودکننده دامنه: مدار محدودکننده دامنه، یک سیگنال FM را حذف می‌کند. بدین ترتیب سیگنال نویز حذف می‌شود.

۶- ۷-۱۷- آشکارساز FM: این مدار برای پیاده کردن

۹-۱۷-۷- تقویت‌کننده‌های صوتی: این تقویت‌کننده‌ها دامنه ولتاژ و جریان سیگنال صوتی را تقویت می‌کنند.

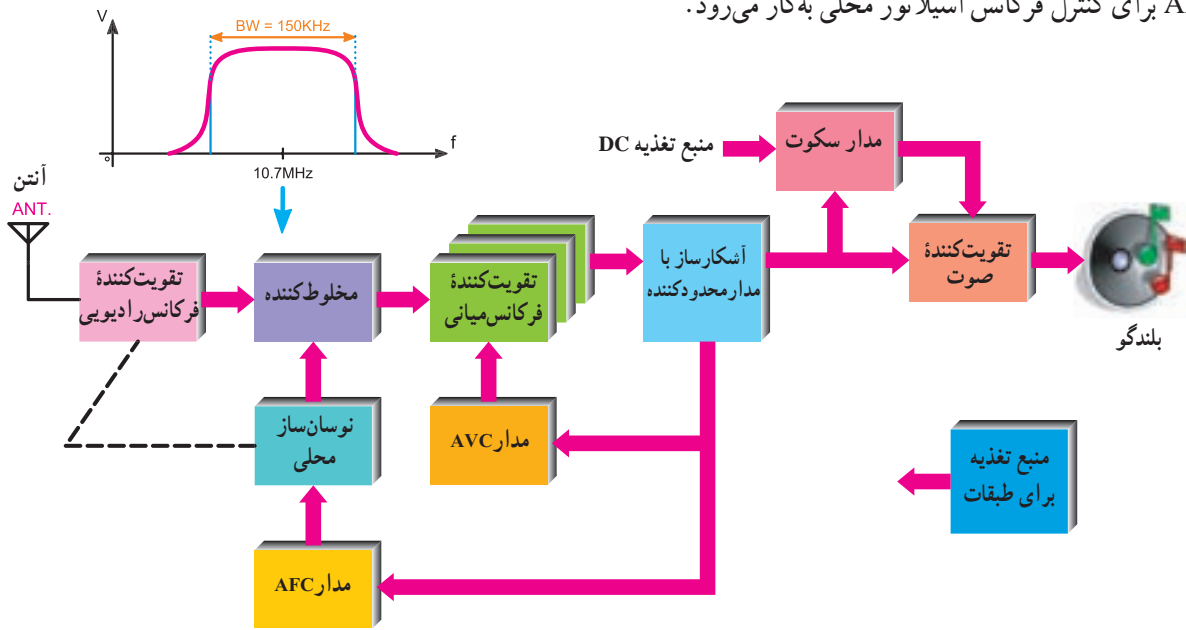
۱۰-۱۷-۷- بلندگو: سیگنال صوتی را به ارتعاشات مکانیکی تبدیل می‌کند.

۱۱-۱۷-۷- منبع تغذیه: ولتاژ AC را به DC تبدیل و تمام قسمت‌های مختلف گیرنده را تغذیه می‌کند.

سیگنال صوتی از سیگنال حامل است و تغییرات فرکانس را به تغییرات دامنه تبدیل می‌کند.

۷-۱۷-۷- تضعیف‌کننده فرکانس بالا: این مدار برای جبران اثر مدار تأکیدکننده فرکانس بالا به کار می‌رود و فرکانس بالای صوتی را کمی تضعیف می‌کند.

۸-۱۷-۷- کنترل اتوماتیک فرکانس (AFC): مدار AFC برای کنترل فرکانس اسیلاتور محلی به کار می‌رود.



شکل ۱۸-۷- بلوک دیاگرام عمومی یک گیرنده رادیویی FM

تفاوت عمده‌ای در بلوک دیاگرام این دو نوع گیرنده وجود ندارد. تنها تفاوت موجود در طراحی مدار و انتخاب عناصر الکترونیکی است. زیرا این قطعات باید بتوانند در فرکانس مورد نظر کار کنند. هم‌چنین علاوه بر بلوک‌های گیرنده AM دو بلوک AFC و مدار سکوت نیز در برگیرنده FM وجود دارد.

مدار سکوت یک کلید الکترونیکی است که به منظور حذف نویز در خروجی گیرنده FM هنگام جست و جوی ایستگاه و زمانی که گیرنده روی ایستگاه تنظیم نشده است به کار می‌رود و خط تغذیه طبقه قدرت را قطع می‌کند چون در FM دامنه پیام به تغییرات فرکانسی تبدیل می‌شود، باید فرکانس حامل به طور خودکار کنترل شود. لذا بلوک AFC نیز کنترل فرکانس اسیلاتور محلی را به عهده دارد.

## ۱۸-۷- مقایسه گیرنده FM با AM

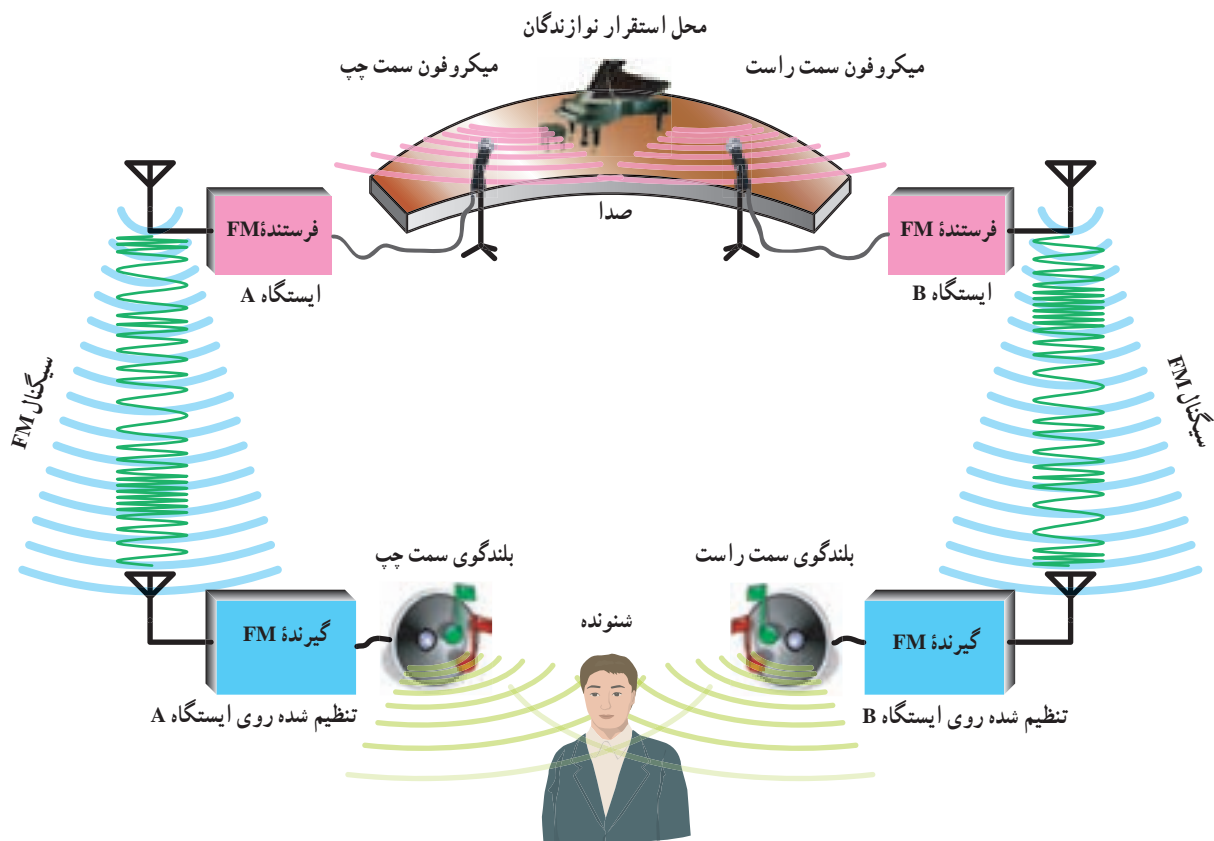
اگر گیرنده‌های رادیویی یک موج FM را با AM مقایسه کنیم، تفاوت‌هایی به شرح زیر دارند:

(الف) باند فرکانسی ایستگاه‌های فرستنده FM در محدوده ۸۸ مگاهرتز تا ۱۰۸ مگاهرتز است.

(ب) فرکانس IF گیرنده‌های رادیویی FM برابر ۱۰/۷ مگاهرتز است.

(ج) مدار آشکارساز FM با مدار آشکارساز AM کاملاً متفاوت است.

(د) نوع سیگنال دریافتی توسط گیرنده FM به صورت FM است. در صورتی که بلوک دیاگرام در شکل ۱۸-۷ را با بلوک دیاگرام شکل ۳۴-۶ مقایسه کنید مشاهده می‌کنید که هیچ‌گونه



شکل ۱۹-۷- طرح کلی فرستنده و گیرنده FM استریو

استریو نشان داده شده است.

در بخش استریو، به منظور سازگاری با گیرنده‌های FM مونو معمولاً، سیگنال‌های L و R به‌طور مستقیم ارسال نمی‌شوند بلکه مجموع سیگنال‌های L+R و تفاضل سیگنال‌های L-R را می‌فرستند تا سازگاری بین سیستم‌ها مهیا شود.

در این شرایط گیرنده‌های FM مونو می‌توانند بدون تغییر، صدا را دریافت کنند. بنابراین علت ارسال سیگنال‌های L+R و L-R به جای سیگنال‌های L و R، هماهنگی و سازگاری بین سیستم‌های مونو و استریو است.

### جهت دانش‌آموزان علاقه‌مند

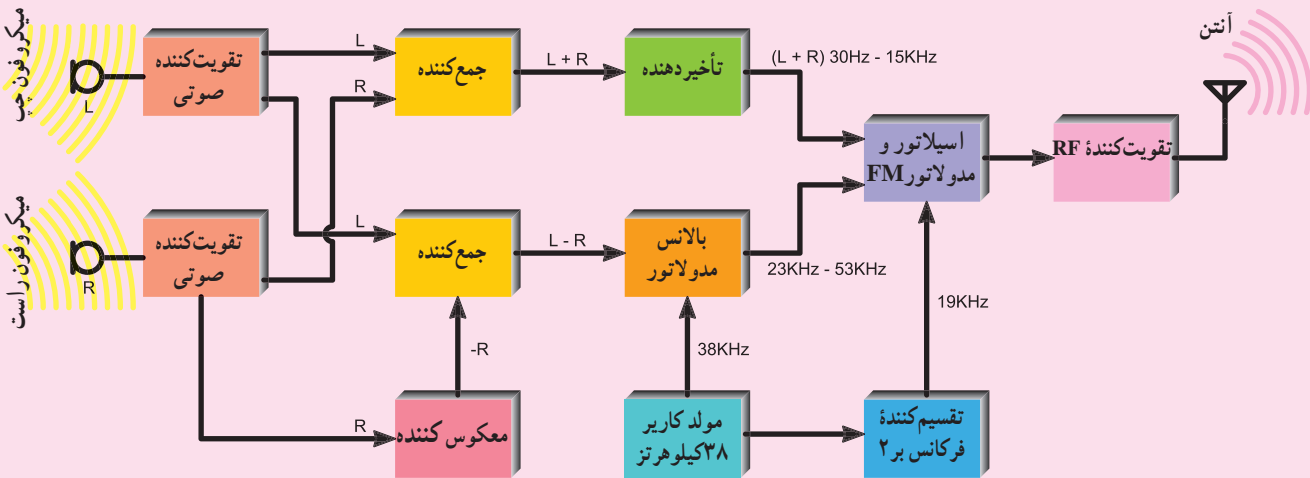
نحوه تنظیم اتوماتیک جست و جوی ایستگاه، درگیرنده‌های رادیویی FM چگونه صورت می‌گیرد؟ (به صورت بلوکی)

**FM استریو:** در سیستم استریو فونیک، صدا به‌وسیله دو میکروفون دریافت و توسط دو بلندگو پخش می‌شود. بنابراین این سیستم دو کانال صوتی لازم دارد، این دو کانال با توجه به محل میکروفون‌ها، از دید شنونده‌ای که روبه‌روی محل تولید صدا قرار می‌گیرد. کانال چپ (L) و کانال راست (R) نامیده می‌شود. در شکل ۱۹-۷ طرح کلی فرستنده و گیرنده FM

## ۷-۱۹- بلوک دیاگرام فرستنده FM استریو

در شکل ۷-۲۰ بلوک دیاگرام فرستنده FM

استریو نشان داده شده است.



شکل ۷-۲۰- بلوک دیاگرام فرستنده FM استریو

در مسیر سیگنال  $L+R$  استفاده شده است. استفاده از  $L-R$  تأخیر دهنده برای آن است که دو سیگنال  $L+R$  و  $L-R$  هم زمان به مدار مدولاتور FM برسند.

## ۷-۲۰- طیف فرکانس سیگنال FM استریو

در شکل ۷-۲۱ طیف فرکانس سیگنال FM استریو نشان داده شده است.

سیگنال  $L+R$  در محدوده فرکانس  $30^\circ$  هرتز تا  $15^\circ$  کیلوهرتز قرار دارد سیگنال  $L-R$  دارای دو باند فرکانس USB و LSB است که محدوده فرکانس آن از  $23^\circ$  کیلوهرتز تا  $53^\circ$  کیلوهرتز است. سیگنال راهنما با فرکانس  $19^\circ$  کیلوهرتز است و فرکانس  $38^\circ$  کیلوهرتز نیز حذف شده است.

علت ارسال سیگنال راهنما این است که در طیف سیگنال FM استریو حوالی  $19^\circ$  کیلوهرتز خالی است لذا اگر فرکانس  $38^\circ$  کیلوهرتز ارسال می شد برای جدا کردن آن از باندهای کناری  $L-R$  یعنی USB و LSB که تنها  $3^\circ \pm$  هرتز از آن فاصله دارند، فیلترهای گران قیمتی مورد نیاز بود.

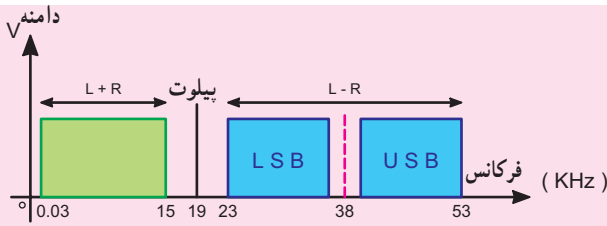
در سیستم استریو، سیگنال  $L-R$  ابتدا به صورت AM و سپس به صورت FM مدوله می شود.

در فرستنده FM استریو، سیگنال  $L+R$  به طور مستقیم ارسال می شود ولی سیگنال  $L-R$  روی یک کاریر  $38^\circ$  کیلوهرتز به صورت DSB-SC-AM مدوله می شود. برای همزمان کردن نوسان ساز محلی گیرنده با نوسان ساز حامل فرستنده یک سیگنال راهنما (Pilot) با فرکانس  $19^\circ$  کیلوهرتز از فرستنده ارسال می شود.

برای تولید سیگنال  $L-R$  ابتدا سیگنال R را از یک معکوس کننده عبور می دهند تا  $-R$  ایجاد شود سپس به کمک یک مدار جمع کننده  $L-R$  تولید می شود. سیگنال  $L+R$  مستقیماً از جمع دو سیگنال L و R به دست می آید. بالانس مدولاتور یک مدولاتور AM است که سیگنال  $L-R$  را روی کاریر  $38^\circ$  کیلوهرتز مدوله می کند و کاریر اصلی ( $38^\circ$  کیلوهرتز) را بعد از مدولاسیون حذف می نماید. سپس سیگنال پایلوت  $19^\circ$  کیلوهرتز را همراه با سیگنال AM ارسال می نماید.

به منظور همزمانی بین سیگنال  $L+R$  و سیگنال خروجی بالانس مدولاتور از یک مدار تأخیر دهنده





شکل ۲۱-۷- طیف فرکانس سیگنال FM استریو

### ۲۱-۷- بلوک دیاگرام گیرنده FM استریو

در شکل ۲۴-۷ بلوک دیاگرام گیرنده FM استریو نشان داده شده است.

در گیرنده FM استریو، بعد از آشکارسازی سیگنال‌های  $L + R$  و  $L - R$ ، سیگنال پیلوت توسط فیلترهایی جدا سازی می‌شود و سیگنال  $L - R$  با مدولاسیون DSB-SC به یک آشکارساز AM اعمال می‌شود. همزمان با سیگنال کاربر ۳۸ کیلوهرتز سیگنال  $L - R$  تولید می‌شود.

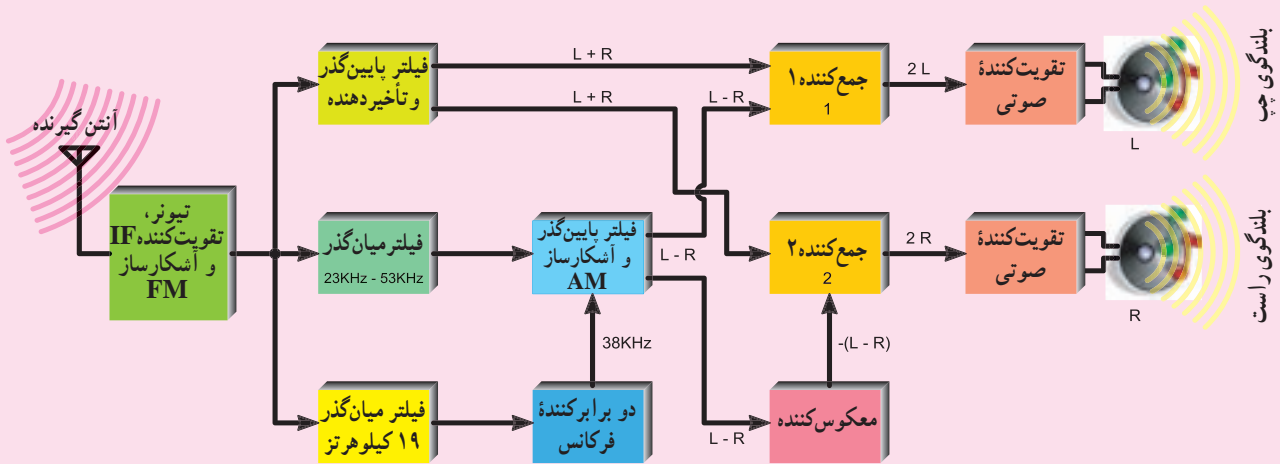
توسط دو مدار جمع کننده، سیگنال راست و چپ به وجود می‌آیند.

در خروجی جمع کننده ۱ داریم:

$$L + R + (L - R) = 2L$$

در خروجی جمع کننده ۲ داریم:

$$(L - R) - (L - R) = 2R$$



شکل ۲۲-۷- بلوک دیاگرام گیرنده FM استریو

را عبور می‌دهند و سیگنال راهنما و باند  $L - R$  را حذف می‌کنند ولی در گیرنده استریو، سیگنال‌های  $L + R$  و  $L - R$  (مدوله شده) و با جمع و تفریق آن‌ها سیگنال‌های  $L$  و  $R$  به دست می‌آید.

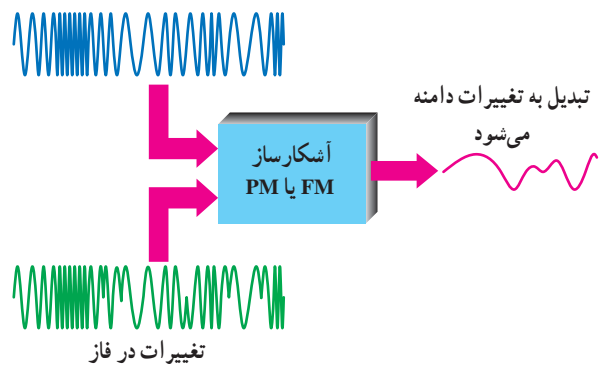
سیگنال‌های راست و چپ بعد از تقویت به بلندگوهای راست و چپ اعمال می‌شوند.

باید توجه داشت که در FM مونو، سیگنال‌های بالای ۱۵ کیلوهرتز ارسال نمی‌شوند و تقویت کننده صوتی تنها  $L + R$

## ۷-۲۲- آشکارسازهای FM

در آشکارسازهای FM، برای پیاده کردن پیام از روی کاربر، ابتدا توسط مدارهای هماهنگی، تغییر دامنه در سیگنال FM داده می‌شود، سپس با استفاده از آشکارساز دامنه، پیام از روی کاربر پیاده می‌شود، در شکل ۷-۲۳ سیگنال‌های ورودی و خروجی آشکارساز FM نشان داده شده است.

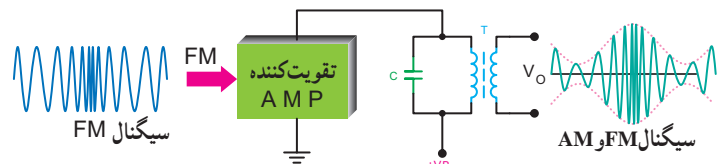
تغییرات فرکانس



شکل ۷-۲۳- آشکارساز FM یا PM

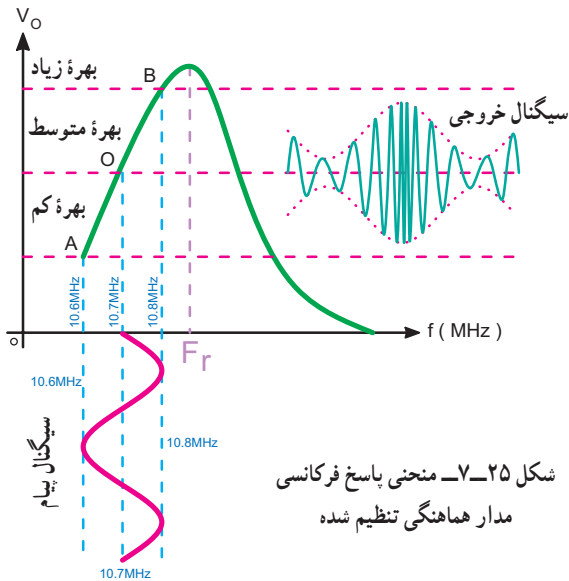
سیگنال ورودی با مدولاسیون FM یا PM است ولی سیگنال خروجی پیام است. ساده‌ترین نوع آشکارساز FM، آشکارساز شیب (Slope Detector) است. این آشکارساز به دلیل سادگی‌اش فقط جهت تفهیم بهتر آشکارسازی FM مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد ولی به دلیل غیرخطی بودن منحنی پاسخ فرکانسی آن، عملاً استفاده نمی‌شود.

۷-۲۲-۱- آشکارساز شیب: طبق شکل ۷-۲۴ ابتدا سیگنال FM به یک تقویت‌کننده با مدار هماهنگ تنظیم شده (Tuned Amplifier) اعمال می‌شود. در ورودی تقویت‌کننده دامنه سیگنال مدوله شده ثابت است. ولی در خروجی مدار هماهنگ علاوه بر تغییرات فرکانس، تغییرات دامنه نیز پدید می‌آید.



شکل ۷-۲۴- مدار آشکارساز شیب تنظیم شده روی فرکانس بیشتر از ۱۰/۷ مگاهرتز

در شکل ۷-۲۵ منحنی پاسخ فرکانسی مدار هماهنگی تنظیم شده همراه با سیگنال‌های ورودی و خروجی آن نشان داده شده است. ترکیب سیگنال FM و AM دارای فرکانس مرکزی ۱۰/۷ مگاهرتز است. انحراف این فرکانس مرکزی حداکثر به ۱۰/۸ مگاهرتز و حداقل به ۱۰/۶ مگاهرتز می‌رسد.

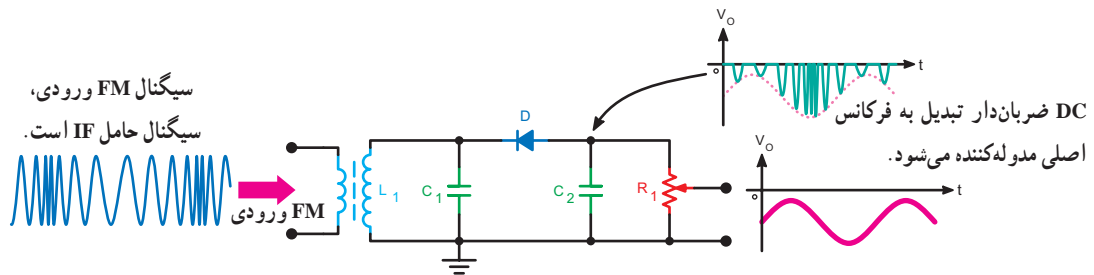


شکل ۷-۲۵- منحنی پاسخ فرکانسی مدار هماهنگی تنظیم شده

حال به بررسی دقیق منحنی‌های شکل ۷-۲۵ می‌پردازیم. می‌دانیم در مدارهای تشدید موازی و در فرکانس رزونانس، امپدانس ماکزیمم بوده و بهره و لثاژ نیز حداکثر است. هر قدر از فرکانس رزونانس دور شویم مقدار امپدانس مدار تانک کاهش می‌یابد و موجب کم شدن بهره می‌گردد. مدار رزونانس شکل ۷-۲۴ روی فرکانس رزونانس بالاتر از فرکانس IF (بالاتر از ۱۰/۸ مگاهرتز) سیگنال مدوله شده، تنظیم شده است. بدین سبب در فرکانس  $IF = 10/7$  MHz مقدار متوسط بهره را خواهیم داشت. پهنای باند سیگنال FM با باند محافظ برابر با ۰/۲ مگاهرتز است که ۱/۸ مگاهرتز بالاتر از فرکانس IF و ۱/۸ مگاهرتز پایین‌تر از فرکانس IF قرار دارد.

در فرکانس  $10/7 + 10/8 = 10/8$  مگاهرتز مقدار بهره افزایش یافته و در فرکانس  $10/6 - 10/8 = 10/7$  MHz مقدار بهره کاهش می‌یابد. با توجه به تغییرات سیگنال پیام شکل ۷-۲۵ که یک موج سینوسی در نظر گرفته شده است، در فرکانس  $IF = 10/7$  مگاهرتز

پاسخ فرکانسی نیز انجام داد. در شکل ۷-۲۶ یک نمونه مدار آشکارساز شیب نشان داده شده که در آن فرکانس رزونانس مدار هماهنگی کمتر از فرکانس ۱۰/۶ مگاهرتز است. فرکانس رزونانس مدار هماهنگی از رابطه  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$  به دست می آید. عناصر مدار  $D, C_2, R_1$  و مدار یک آشکار AM است که سیگنال ورودی آن، سیگنال FM با دامنه متغیر است. با تغییر مقاومت  $R_1$  می توان دامنه سیگنال خروجی را تغییر داد خازن  $C_2$  فرکانس IF را به شاسی بای پاس می کند. در این مدار از شیب صعودی منحنی پاسخ فرکانسی مطابق شکل ۷-۲۵ برای تهیه سیگنال مرکب (AM, FM) استفاده شده است.



شکل ۷-۲۶- مدار آشکارساز شیب تنظیم شده روی فرکانس کمتر از ۱۰/۷ مگاهرتز

بلوک یک تقویت کننده IF است که علاوه بر تقویت دامنه سیگنال به مقدار زیاد، آنرا محدود نیز می نماید. در خروجی تقویت کننده (VA) یک سیگنال تقریباً مربعی شکل وجود دارد که به صورت FM مدوله شده است. یادآور می شویم که در مدولاسیون FM پیام روی فرکانس حامل اثر می گذارد، لذا با محدود کردن دامنه سیگنال FM، پیام حذف نمی شود. خروجی تقویت کننده IF از دو مسیر وارد مدار ضرب کننده، که در این جا یک گیت آند (AND) است، می شود.

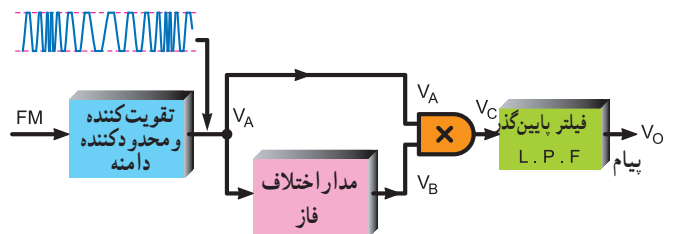
**ب) مدار اختلاف فاز (تأخیر دهنده):** در این بلوک مدار اختلاف فاز طوری تنظیم می شود که در فرکانس IF اختلاف فاز بین خروجی و ورودی برابر با ۹۰ درجه شود، اگر فرکانس ورودی کمتر از IF شود اختلاف فاز بیشتر از ۹۰ درجه و اگر فرکانس ورودی بیشتر از IF شود اختلاف فاز کمتر از ۹۰ درجه می شود.

**ج) مدار ضرب کننده:** در این مدار، خروجی زمانی وجود

دامنه پیام مساوی صفر و در فرکانس ۱۰/۸ مگاهرتز دامنه پیام ماکزیمم و در فرکانس ۱۰/۶ مگاهرتز دامنه پیام می نیمم است. با توجه به منحنی  $V_o$ ، طبق شکل ۷-۲۵، ملاحظه می شود که با افزایش فرکانس (نسبت به فرکانس IF) دامنه زیاد می شود و با کاهش آن دامنه کاهش می یابد. با اعمال سیگنال  $V_o$  به یک آشکارساز AM می توان پیام را دریافت نمود. در صورت خطی بودن قسمت AB از منحنی پاسخ فرکانسی مدار رزونانس، تغییرات دامنه متناسب با تغییرات فرکانس خواهد بود. بدیهی است که در صورت خطی نبودن این قسمت از منحنی در سیگنال خروجی اعوجاج ظاهر می شود. کلیه موارد فوق را می توان روی شیب منفی منحنی

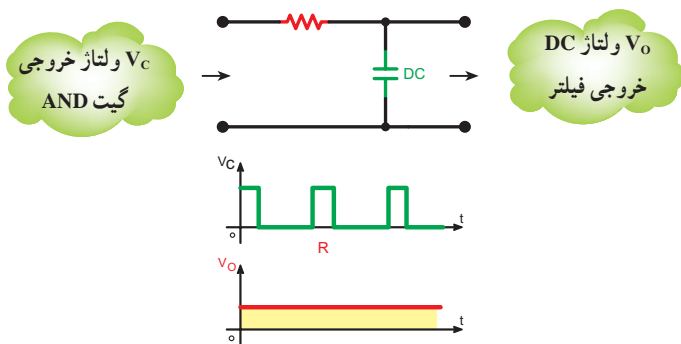
### ۷-۲۲-۲- آشکارساز کوین سیدنس (Coincidence):

آشکارساز کوین سیدنس یکی از آشکارسازهای FM است که ابتدا تغییرات فرکانس را به تغییرات فاز و سپس تغییرات فاز را به تغییرات دامنه (پیام) تبدیل می نماید. بلوک دیاگرام این آشکارساز در شکل ۷-۲۷ نشان داده است.



شکل ۷-۲۷- بلوک دیاگرام آشکارساز کوین سیدنس

همان طور که در شکل مشاهده می شود در این آشکارساز جمعاً ۴ بلوک وجود دارد که به تشریح نحوه کار هر بلوک می پردازیم.  
**الف) تقویت کننده و محدود کننده دامنه:** این

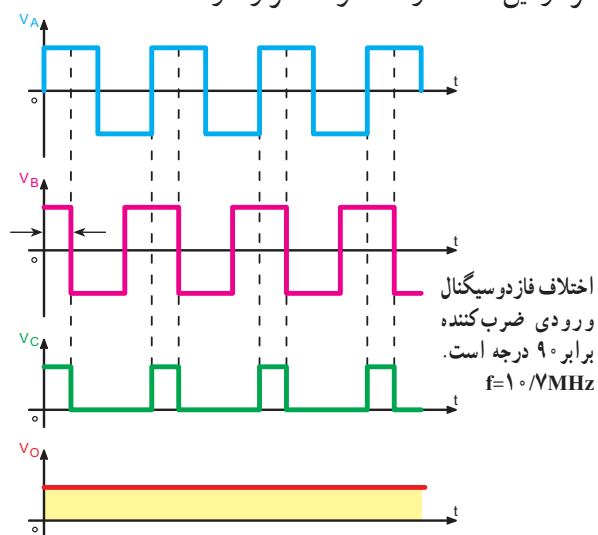


شکل ۷-۳۰ مدار فیلتر پایین‌گذر (انتگرال‌گیر) و سیگنال‌های

ورودی و خروجی آن

در مدار آشکار ساز کوین سیدنس شکل ۷-۲۷، به ازای فرکانس ورودی برابر IF مقدار ولتاژ DC خروجی در حد متوسط قرار می‌گیرد. حال آن‌که در فرکانس‌های بالاتر از IF ولتاژ خروجی زیاد و در فرکانس‌های کمتر از IF ولتاژ خروجی کم می‌شود.

در شکل ۷-۳۱ شکل موج‌های نقاط مختلف مدار آشکار ساز کوین سیدنس با حفظ رابطه زمانی در فرکانس IF ترسیم شده است.  $V_A$  و  $V_B$  ورودی گیت ضرب‌کننده در فرکانس IF، اختلاف فاز  $90^\circ$  درجه،  $V_C$  خروجی گیت ضرب‌کننده و  $V_O$  خروجی فیلتر پایین‌گذر در فرکانس IF است. مقدار ولتاژ DC در خروجی فیلتر در این حالت در حد متوسط قرار دارد.

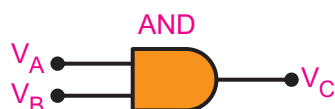


شکل ۷-۳۱ شکل موج‌های نقاط مختلف آشکار ساز در حالت  $f = 10.7 \text{ MHz}$

در شکل ۷-۳۲ اختلاف فاز بین سیگنال‌های ورودی گیت از  $90^\circ$  درجه بیشتر شده، لذا عرض پالس خروجی گیت کم و ولتاژ DC خروجی نیز کاهش یافته است. به عبارت دیگر ولتاژ خروجی در حد کم قرار دارد.

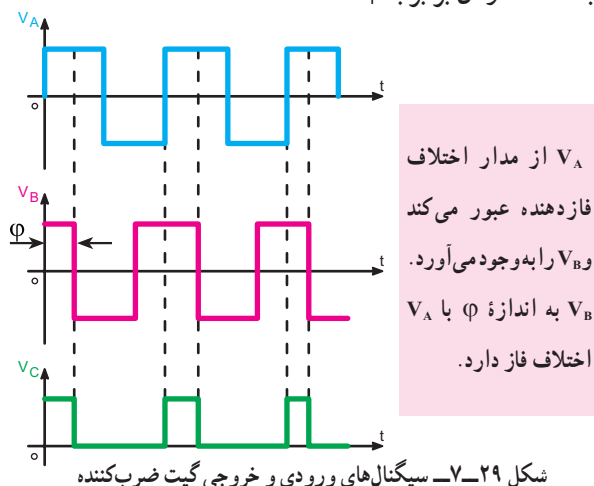
دارد که هر دو ورودی ( $V_A, V_B$ ) وجود داشته باشند. اگر دامنه سیگنال در ورودی گیت منفی باشد خروجی آن ( $V_C$ ) صفر خواهد شد. در شکل ۷-۲۸ جدول صحت و شمای فنی گیت ضرب‌کننده آمده است.

$V_A$	$V_B$	$V_C$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



شکل ۷-۲۸ جدول صحت و شمای فنی گیت ضرب‌کننده

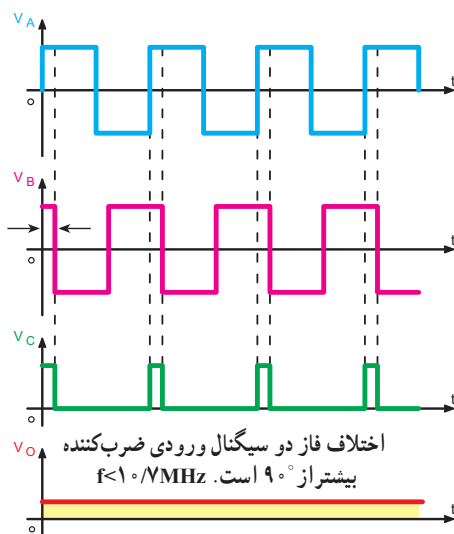
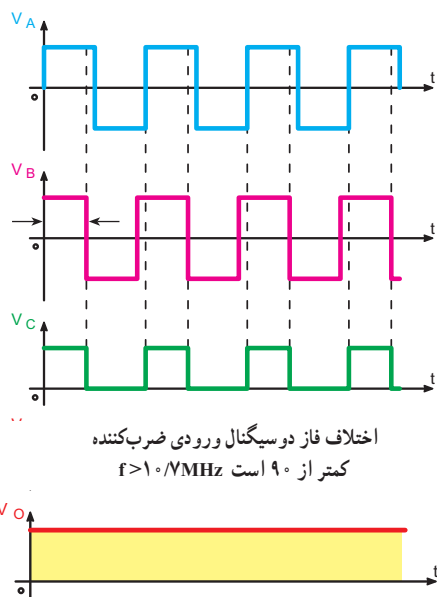
سیگنال‌های ورودی و خروجی گیت ضرب‌کننده در شکل ۷-۲۹ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که سیگنال‌ها به‌ازای یک فرکانس معین رسم شده‌اند، که زاویه اختلاف فاز ایجاد شده در آن برابر با  $\phi$  است.



شکل ۷-۲۹ سیگنال‌های ورودی و خروجی گیت ضرب‌کننده

د) فیلتر پایین‌گذر (انتگرال‌گیر): در این بلوک مدار RC به‌صورت مدار انتگرال‌گیر عمل می‌کند. مدار فیلتر پایین‌گذر RC و شکل موج‌های خروجی و ورودی این مدار را در شکل ۷-۳۰ مشاهده می‌کنید.

به عبارت دیگر ولتاژ DC خروجی در حد زیاد قرار دارد.

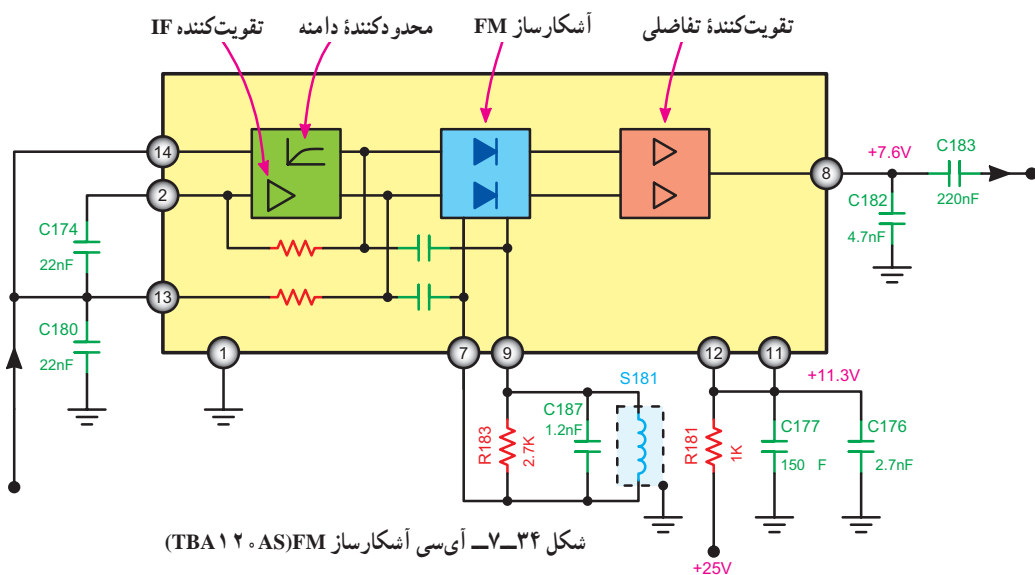


شکل ۷-۳۲- شکل موج‌های نقاط مختلف آشکارساز در حالت  $f < 10^7 \text{ MHz}$

در شکل ۷-۳۳ سیگنال‌ها به‌ازای  $\phi < 90^\circ$  و  $f > 10^7 \text{ MHz}$

رسم شده‌اند، در این حالت، ولتاژ DC خروجی افزایش یافته است

شکل ۷-۳۳- شکل موج‌های نقاط مختلف آشکارساز در حالت  $f > 10^7 \text{ MHz}$



در مسیر غیرمستقیم، مدار اختلاف فاز بین پایه‌های ۷ و ۹ واقع شده است. سیگنال خروجی آشکارساز به یک تقویت‌کننده تفاضلی می‌رود و بعد از تقویت از پایه ۸ آی‌سی خارج می‌شود. ولتاژ تغذیه آی‌سی از طریق مقاومت R181 به پایه ۱۲ آن اعمال می‌شود. مدارات داخلی آی‌سی روی شکل نام‌گذاری شده است. آی‌سی TBA120 AS یک آشکارساز FM از نوع مونو و شماره سریال عمومی آن به‌صورت TBA120 است.

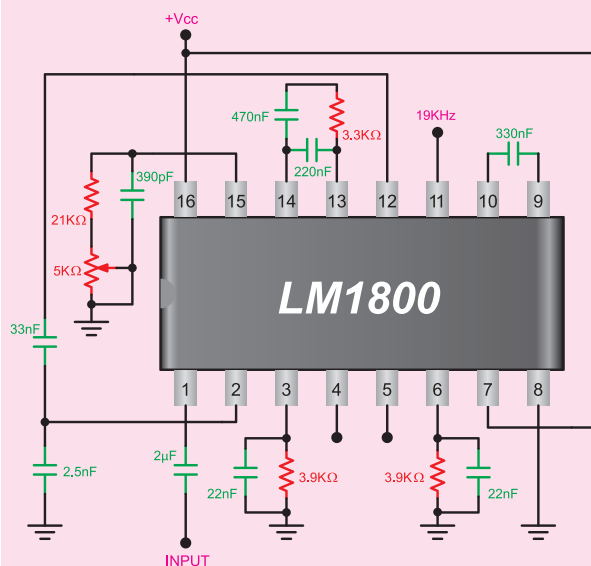
### ۷-۲۲-۳- آی‌سی آشکارساز FM مونو: در شکل

۷-۳۴ مدار داخلی آی‌سی TBA120 AS به‌صورت بلوک دیاگرام نشان داده شده است.

سیگنال FM با فرکانس میانی از پایه ۱۴ به آی‌سی اعمال می‌شود پس از تقویت، دامنه آن محدود می‌شود و از دو مسیر وارد آشکارساز FM می‌گردد: یکی مسیر مستقیم و دیگری مسیر غیرمستقیم که از مدار اختلاف فاز RLC عبور می‌کند.

### ۷-۲۲-۴- آی سی آشکارساز FM استریو: در

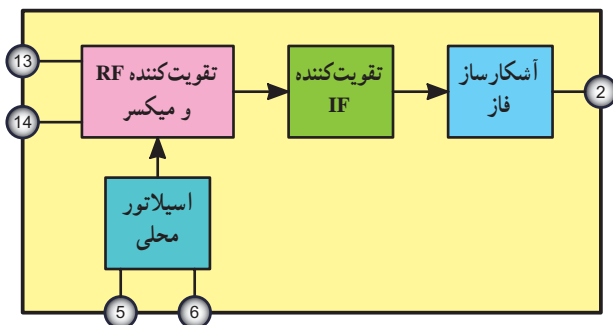
شکل ۷-۳۵ آی سی آشکارساز FM استریو نشان داده شده است. این آی سی از نوع LM1800 است. سیگنال FM از پایه شماره ۱ وارد آی سی می شود و پس از تقویت و آشکارسازی از پایه شماره ۵ خروجی (مربوط به سمت راست سیستم استریو) و از پایه شماره ۴ خروجی (مربوط به سمت چپ سیستم استریو) دریافت می شود. ولتاژ تغذیه آی سی از پایه شماره ۱۶ به آن اعمال می شود.



شکل ۷-۳۵- آی سی آشکارساز FM استریو

### ۷-۲۴- آی سی TDA7000

این آی سی در گیرنده های FM باند باریک مورد استفاده قرار می گیرد (شکل ۷-۳۶).



شکل ۷-۳۶- آی سی FM

اجزای تشکیل دهنده این آی سی عبارتند از:

تقویت کننده RF - میکسر - اسیلاتور محلی - تقویت کننده IF و آشکارساز فاز.

امواج RF از پایه های ۱۳ و ۱۴ وارد آی سی می شود و پس از تقویت وارد میکسر می گردد. پایه های ۵ و ۶ آی سی به مدار هماهنگ اسیلاتور محلی متصل است.

### ۷-۲۳- الگوی پرسش

- ۱- در شکل ۷-۱۸ وظیفه مدار AFC چیست؟
- ۲- اختلاف اساسی دو گیرنده رادیویی FM و AM در چیست؟
- ۳- در شکل ۷-۲۹ مدار اختلاف فاز روی چه فرکانسی تنظیم شده است؟
- کامل کردنی
- ۴- فرکانس IF در گیرنده های FM برابر... است.
- صحیح یا غلط
- ۵- تضعیف کننده فرکانس بالا در گیرنده های رادیویی FM وجود دارد.

غلط  صحیح

چهارگزینه ای

- ۶- فیلتر به کار رفته در آشکارساز کوبن سیدنس از کدام نوع است؟

HPF (۱) LPF (۲)  
BPF (۳) BRF (۴)

و پایه ۶ به مدار هماهنگ اسیلاتور محلی اتصال دارد. این مدار شامل المانهای  $C_{17}$ ،  $L_2$  و  $D_1$  است. ولتاژ بایاس دیود خازنی  $D_1$  به وسیله پتانسیومتر خطی  $P_2$  قابل تنظیم است با تغییر این پتانسیومتر فرکانس اسیلاتور محلی تنظیم می‌شود. دامنه سیگنال صوتی توسط ولوم غیرخطی  $P_1$  قابل تنظیم است آی‌سی شماره ۲ یک رگولاتور ۵ ولتی است، که در این نقشه از آی‌سی LM7805 استفاده شده است.

سیگنال صوتی پس از تقویت توسط آی‌سی شماره ۳ (LM386) به بلندگو اعمال می‌شود. پایه ۲ ورودی و پایه ۵ خروجی این آی‌سی است. ولتاژ تغذیه آی‌سی LM386 از پایه ۶ به آن اعمال می‌شود.

پایه ۲ خروجی آشکارساز فاز است که سیگنال صوتی از آن دریافت می‌شود.

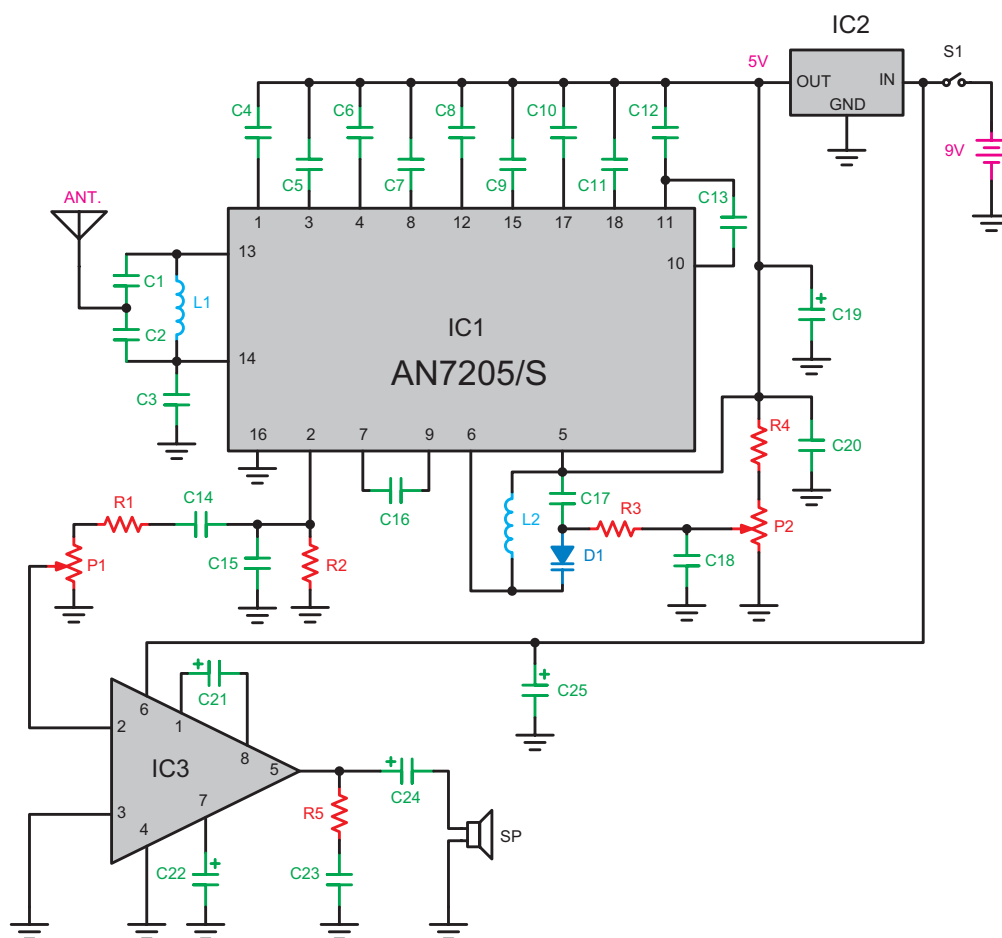
## ۷-۲۵- گیرنده رادیویی FM

در شکل ۷-۳۷ مدار کامل گیرنده رادیویی FM نشان داده شده است.

در این گیرنده آی‌سی شماره ۱ سیگنال رادیویی FM را از پایه‌های ۱۳ و ۱۴ دریافت می‌کند و پس از تبدیل آن به فرکانس IF و عمل آشکارسازی سیگنال صوتی را به وجود می‌آورد.

سیگنال صوتی پس از تقویت و عبور از مدار سکوت (Mute) از پایه ۲ آی‌سی خارج می‌شود.

پایه ۵ به ولتاژ  $+V_{CC}$  متصل است. همچنین پایه‌های ۵



شکل ۷-۳۷- گیرنده رادیویی FM با آی‌سی

## ۷-۲۶- الگوی پرسش

جست وجوی ایستگاه زمانی که گیرنده روی ایستگاه ..... است به کار می رود.

- (۱) فرستنده - تنظیم شده  
 (۲) فرستنده - تنظیم نشده  
 (۳) گیرنده - تنظیم شده  
 (۴) گیرنده - تنظیم نشده

۱- وظیفه مدار سکوت در گیرنده FM چیست؟ توضیح

دهید.

۲- در شکل ۷-۳۷ مسیر تغذیه دیود  $D_1$  را مشخص

کنید.

۳- در شکل ۷-۳۷ ولتاژ تغذیه آی سی های ۱ و ۳ چگونه

تأمین می شود.

صحیح یا غلط

۴- آی سی TDAY۰۰۰ در گیرنده های FM باند باریک

مورد استفاده قرار می گیرد.

صحیح  غلط

کامل کردنی

۵- اجزای تشکیل دهنده آی سی TDAY۰۰۰ عبارت اند

از:

.....، .....، .....

چهارگزینه ای

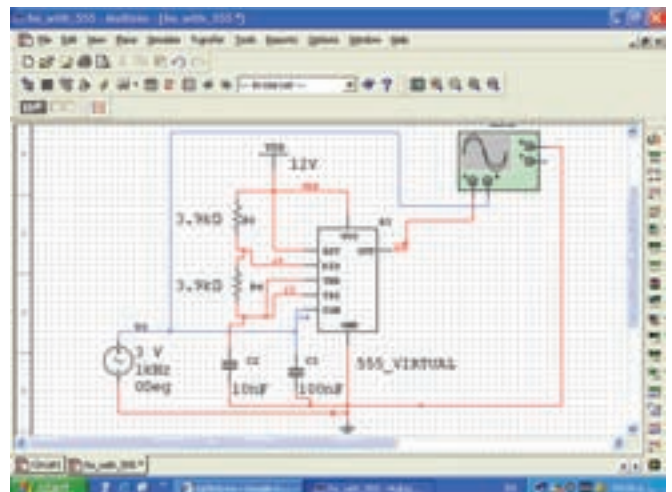
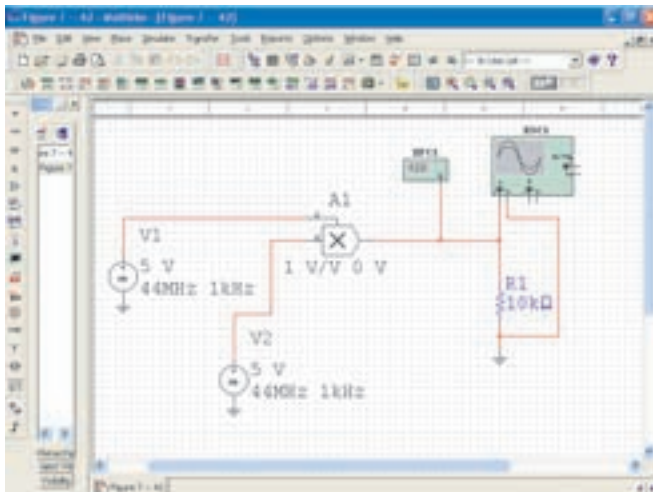
۶- مدار سکوت در FM..... به کار می رود و هنگام

### جهت دانش آموزان علاقه مند

با مراجعه به منابع مختلف از جمله سایت های اینترنتی مرتبط، نمونه های دیگری از آی سی های گیرنده و فرستنده های رادیویی را پیدا کنید.

### فعالیت فوق برنامه

توصیه می شود، با استفاده از نرم افزارهایی نظیر مولتی سیم، مدارهای مدولاتور FM و ضرب کننده را مطابق شکل ۷-۳۸ شبیه سازی کنید و شکل موج خروجی را ببینید و با تغییر سیگنال ورودی تغییرات ایجاد شده در شکل موج را مشاهده کنید.



شکل ۷-۳۸- مدارهای شبیه سازی شده مدولاتور و ضرب کننده