فصل ۷

فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی FM

هدف کلی

آشنایی با طبقات تشکیل‌دهندهٔ فرستنده و گیرندهٔ رادیویی FM

کل زمان اختصاص داده شده به فصل: ۹ ساعت آموزشی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود که: **زمان پیشنهادی**

۱ــ مزایای سیگنال FM را نسبت به AM شرح دهد. ..... ۱۰′

۲ــ اساس کار مدولاتور FM را توضیح دهد. ..... ۲۰′

۳ــ انحراف فرکانس (F_D) را توضیح دهد. ..... ۱۰′

۴ــ مقدار F_H و F_L را در مدولاسیون FM محاسبه کند. ..... ۱۰′

۵ ــ سرعت تغییرات سیگنال FM را شرح دهد. ..... ۱۰′

۶ ــ ضریب مدولاسیون FM را محاسبه کند. ..... ۱۰′

۷ــ پهنای باند و طیف فرکانس FM را شرح دهد. ..... ۱۵′

۸ ــ بلوک دیاگرام فرستندهٔ FM را رسم کند. ..... ۱۰′

۹ــ کار هر بلوک در فرستندهٔ FM را شرح دهد و با سایر بلوک‌ها مقایسه کند. ..... ۱۵′

۱۰ــ چند برابرکنندهٔ فرکانس را شرح دهد. ..... ۱۰′

۱۱ــ FM استریو را توضیح دهد. ..... ۱۰′

۱۲ــ مدارهای تأکیدکننده و تضعیف‌کنندهٔ فرکانس بالا را شرح دهد. ۱۵′

۱۳ــ مدار مجتمع فرستندهٔ FM را با استفاده از برگهٔ اطلاعات شناسایی کند. ..... ۱۰′

۱۴ــ بلوک دیاگرام گیرندهٔ FM را رسم کند. ..... ۱۰′

۱۵ــ کار هر بلوک گیرندهٔ FM را شرح دهد و آن‌ها را با هم مقایسه کند. ..... ۲۵′

۱۶ــ آشکارساز FM کوین سیدنس را شرح دهد. ..... ۳۵′

۱۷ــ یک یا چند نمونه آی‌سی گیرندهٔ FM را شناسایی و کار پایه‌های آن را توضیح دهد. ..... ۳۵′

۱۸ــ آشکارساز FM مونو (مدار مجتمع) را تشریح کند. ..... ۳۰′

۱۹ــ یک یا چند نمونه مدار مجتمع گیرندهٔ چندموج AM و FM را با استفاده از کتاب اطلاعات شناسایی کند. ..... ۳۰′

۲۰ــ مدار سکوت را در گیرندهٔ FM شرح دهد. ..... ۱۰′

۲۱ــ 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.

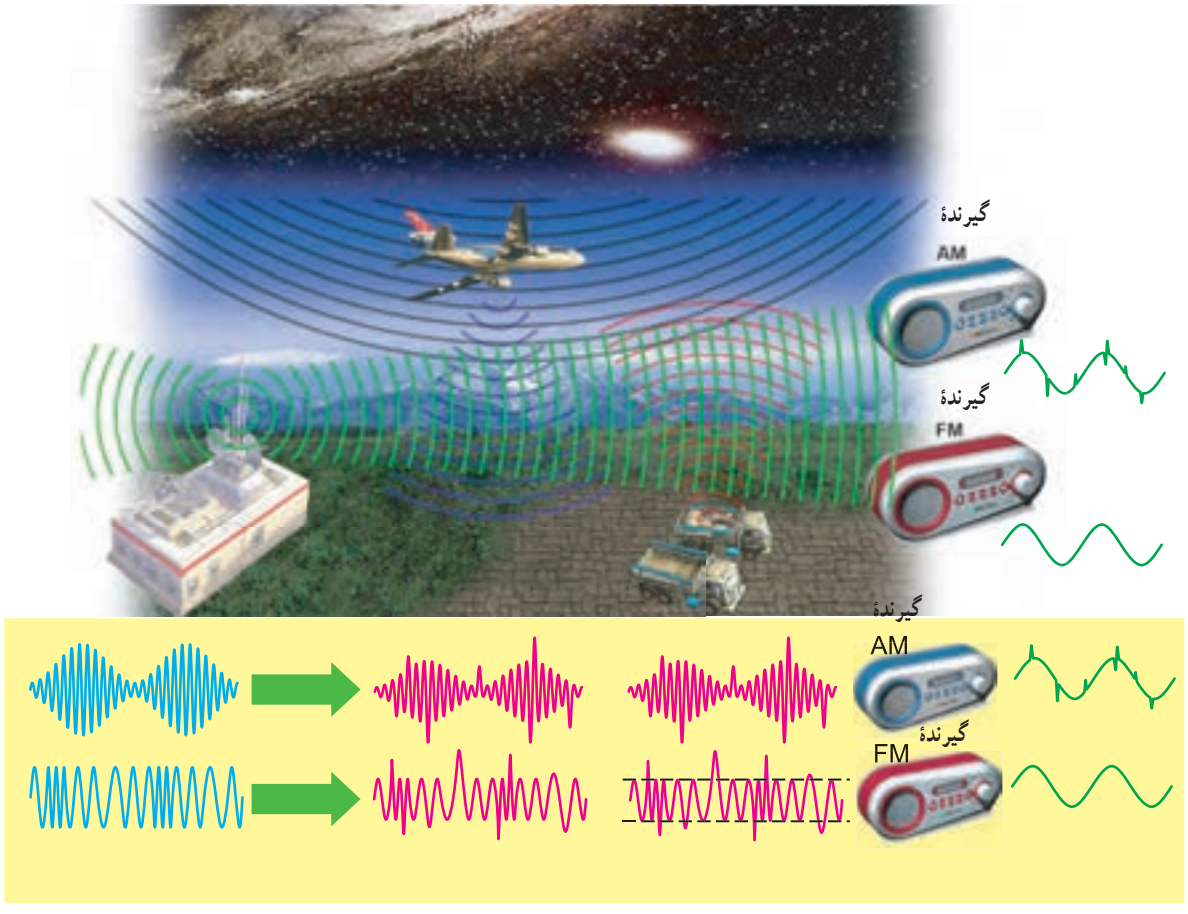
۲۲ــ در فرایند اجرای آموزش متناسب با شرایط و محتوا، آزمون‌های تشخیصی، تکوینی و پایانی را پاسخ دهد. ..... ۷۵′

پیشگفتار

یکی از انواع مدولاسیون که در فرستنده‌های رادیویی به‌کار می‌رود مدولاسیون FM است. این نوع مدولاسیون، به‌دلیل پیچیدگی‌های خاصی که دارد، در موارد ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضمن این‌که مدولاسیون FM دارای مزایای خاصی است که کاربرد آن را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. در این قسمت به تحلیل فرستنده‌ها و گیرنده‌های FM می‌پردازیم.

۱ـ۷ـ مزایای سیگنال FM نسبت به AM

در فصل سوم شکل موج سیگنال FM را مورد بررسی قرار دادیم، همان‌طور که ملاحظه کردید، تغییر دامنهٔ پیام باعث تغییر فرکانس حامل می‌شود. چون تغییرات فرکانس حامل نشان‌دهندهٔ تغییرات دامنهٔ پیام است، لذا نویزپذیری سیگنال FM نسبت به AM فوق‌العاده کمتر خواهد شد زیرا نویز روی دامنهٔ سیگنال مدوله شده اثر می‌گذارد. در شکل ۱ــ۷ ارتباط بین فرستنده و گیرندهٔ رادیویی AM و FM را ملاحظه می‌کنید. در این تصویر نحوهٔ تأثیر نویز خارجی بر مدولاسیون AM و FM نشان داده شده است.

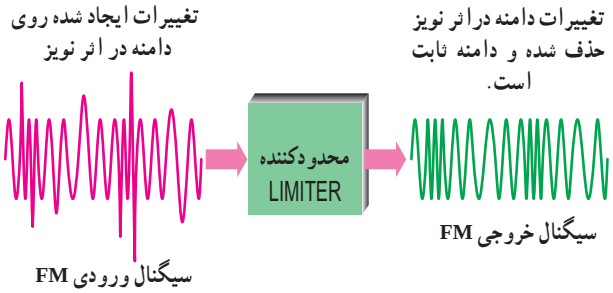


شکل ۱ــ۷ــ اثر نویز روی سیگنال‌های FM و AM

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، اثر نویز در خروجی گیرندهٔ AM به صورت افزایش لحظه‌ای روی دامنهٔ 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 محدودکنندهٔ دامنه است. در این مدارها به سبب محدود کردن دامنهٔ سیگنال‌های FM، اثر نویز تقریباً حذف می‌شود.

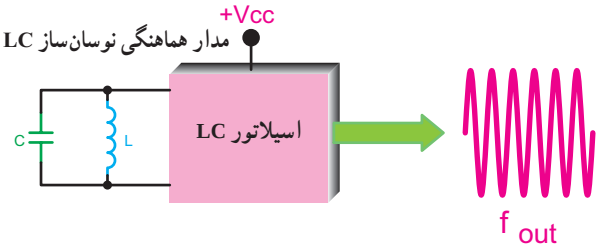
درشکل ۲ــ۷ سیگنال های ورودی و خروجی یک محدودکننده نشان داده شده است. مدار محدودکننده می‌تواند یک محدود کنندهٔ دیودی یا مشابه آن باشد.



شکل ۲ــ۷ــ بلوک دیاگرام یک محدود کننده با سیگنال‌های ورودی و خروجی

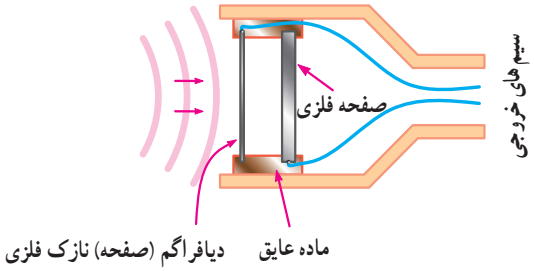
۲ـ۷ـ اساس کار مدولاتورهای FM

شکل ۳ــ۷ یک اسیلاتور فرکانس بالا با مدار هماهنگ LCرا نشان می‌دهد. در این اسیلاتور فرکانس خروجی از رابطه $f_{out}=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ به‌دست می آید.



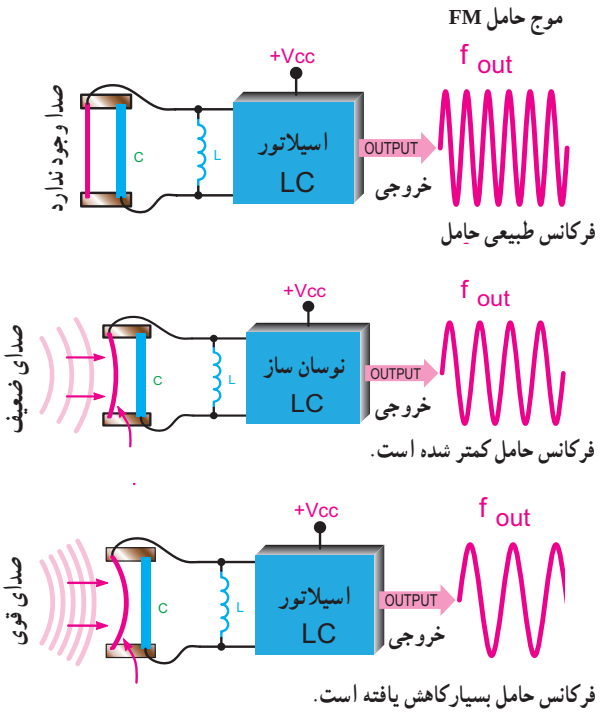
شکل ۳ــ۷ــ اسیلاتورLC

با تغییر هر یک از کمیت‌های L و C می‌توان فرکانس خروجی اسیلاتور را تغییر داد. اگر به جای خازن C از یک میکروفون خازنی‌طبق شکل ۴ــ۷ استفاده کنیم، چون در اثر برخورد صوت به میکروفون فاصلهٔ d تغییر می کند، براساس رابطهٔ $C=\frac{KA}{d}$ ، ظرفیت خازن C نیز تغییر می‌کند، دراین شرایط اسیلاتور به مدولاتور FM تبدیل می‌شود.



شکل ۴ــ۷ــ ساختمان یک میکروفون خازنی

تغییرظرفیت میکروفون خازنی براساس تغییر فاصله دو جوشن آن صورت می‌گیرد. برای مثال با کم شدن d، مقدار C زیاد و طبق رابطهٔ $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ مقدار F کم می‌شود. در شکل ۵ ــ۷ چگونگی تغییر فرکانس اسیلاتور را متناسب با تغییرات ظرفیت خازنی میکروفون خازنی ملاحظه می کنید.

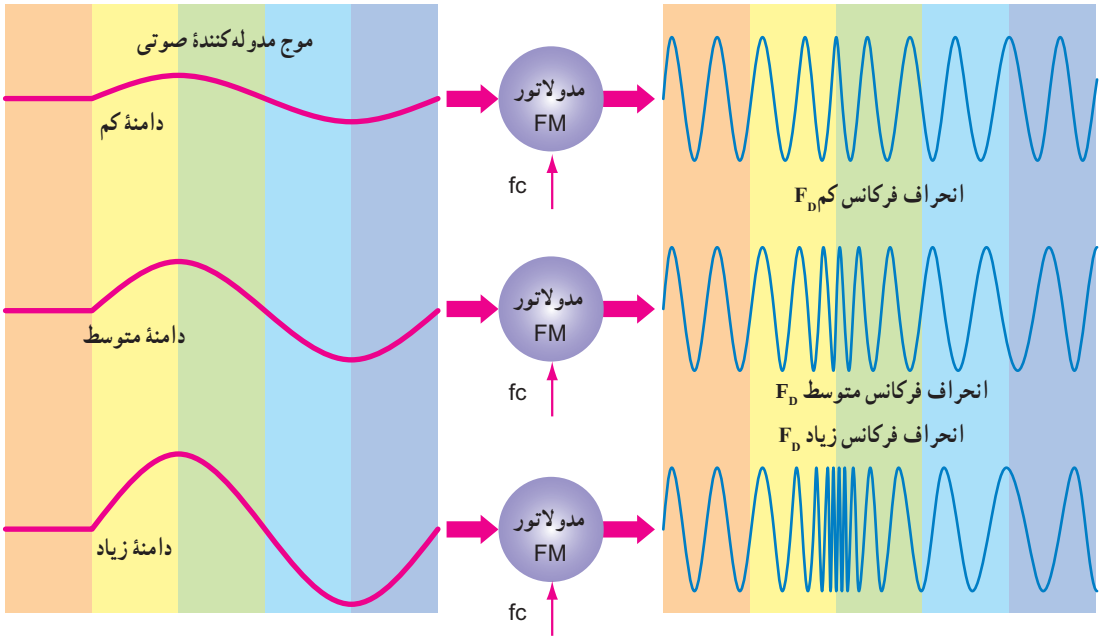


شکل۵ ــ۷ــ تغییر فرکانس حامل در اثر تغییر ظرفیت میکروفون خازنی

دراین مدار، صدای قوی (با دامنهٔ 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 دامنهٔ کم) باشد عکس حالت بالا رخ می‌دهد و فرکانس خروجی اسیلاتور زیاد می‌شود.

۳ـ۷ـ انحراف فرکانس F_D (Frequency Deviation)

تغییر فرکانس حامل را، نسبت به مقدار طبیعی آن در مدولاسیون فرکانس، انحراف فرکانس می‌نامند. انحراف فرکانس حامل به علت تغییرات دامنهٔ سیگنال مدوله کننده یعنی پیام است. همان‌طور که در شکل ۶ـ۷ ملاحظه می‌کنید، دامنهٔ سیگنال مدوله‌کننده 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 دامنهٔ سیگنال مدوله کننده است.



شکل ۶ـ۷ـ ارتباط دامنهٔ سیگنال مدوله‌کننده با انحراف فرکانس (F_D)

در شکل ۷ـ۷ تغییرات فرکانس مدولاتور FM را متناسب با تغییرات دامنه سیگنال مدوله‌کننده در ۵ نقطه از دامنه سیگنال پیام مشاهده می‌کنید. در نقاط ۱، ۳ و ۵ که دامنهٔ سیگنال مدوله‌کننده (پیام) برابر با صفر است، فرکانس مدولاتور مساوی با f_C می‌شود.

در نقطهٔ ۲ که دامنهٔ سیگنال مدوله‌کنندهٔ حداکثر است فرکانس مدولاتور نیز حداکثر خواهد شد. در نقطهٔ ۴ که دامنهٔ سیگنال مدوله‌کننده 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) 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:

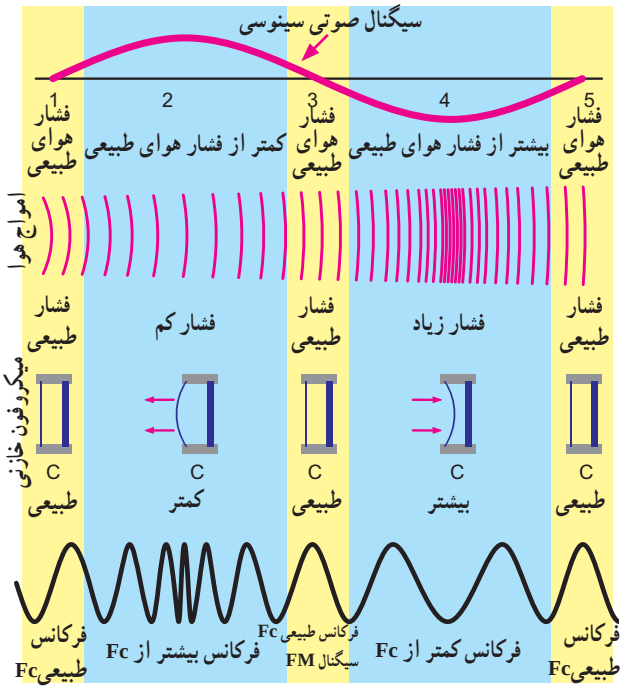
فرکانس بالای حامل $f_H=f_C+f_D$

فرکانس پایین حامل $f_L=f_C-f_D$

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

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

با توجه به نکتهٔ مهم صفحهٔ ۴۱ یادآور می‌شود که بازشدگی مولکول‌های هوا ناشی از نیم سیکل مثبت و فشردگی مولکول‌های هوا ناشی از نیم‌سیکل منفی، فرضی است. لذا مطابق شکل ۲۵ــ۱می‌توان بازشدگی را در اثر نیم‌سیکل منفی و فشردگی را در اثر نیم‌سیکل مثبت در نظر گرفت.



شکل ۷ــ۷ــ ارتباط فرکانس صوتی با کاریر سیگنال FM

مثال ۱ـ۷

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

الف ــ حداکثر تغییرات فرکانس را محاسبه کنید.

ب ــ مقادیر فرکانس f_H و f_L را به‌دست آورید.

پاسخ:

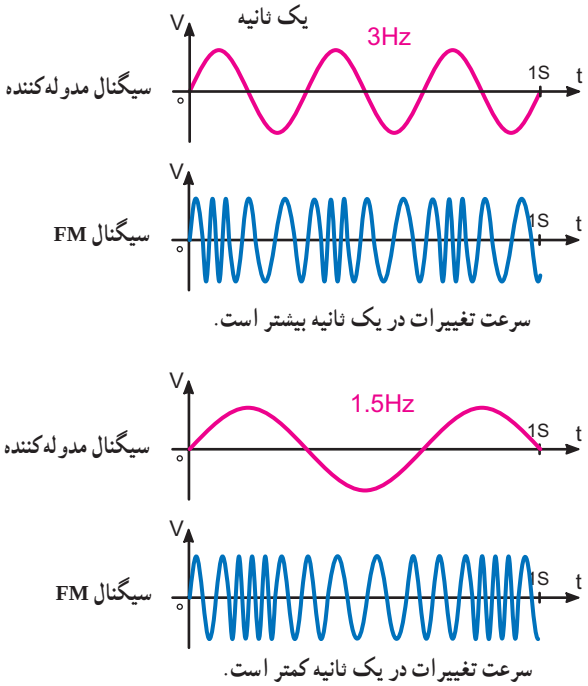
$f_{CS}=2f_D=2\times20=40$ کیلوهرتز

$f_H=f_C+f_D=100+0/02=100/02$ مگاهرتز

$f_L=f_C-f_D=100-0/02=99/98$ مگاهرتز

۴ـ۷ـ سرعت تغییرات سیگنال FM (Rate of change)

سرعت تغییرات سیگنال FM بستگی به فرکانس سیگنال مدوله‌کننده دارد. هر قدر فرکانس سیگنال مدوله‌کننده بیشتر باشد، سرعت تغییرات سیگنال FM نیز بیشتر می‌شود. در شکل ۸ ــ۷ فرکانس سیگنال صوتی و سرعت تغییرات سیگنال FM برای دو حالت ۳ هرتز و۱/۵ هرتز نشان داده شده است.



شکل ۸ ــ۷ــ اثر سیگنال مدوله‌کننده بر سرعت تغییرات سیگنال FM

۵ـ۷ـ شاخص مدولاسیون سیگنال FM (Modulation index)

شاخص مدولاسیون یا ضریب مدولاسیون برای سیگنال FM از رابطهٔ صفحهٔ بعد به‌دست می‌آید :

$$\text{شاخص مدولاسیون} = \frac{\text{انحراف فرکانس}}{\text{فرکانس سیگنال مدوله کننده (پیام)}}$$

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

مثال ۲ـ۷

در یک سیگنال FM، حداکثر تغییرات فرکانس مساوی ۱۰ کیلوهرتز است. اگر فرکانس سیگنال مدوله‌کننده مساوی ۸ کیلوهرتز باشد، شاخص مدولاسیون چه‌قدر است؟

پاسخ:

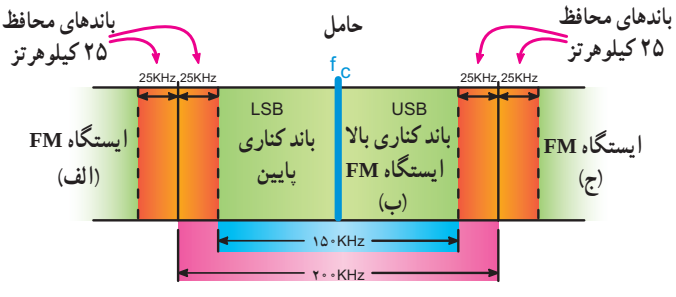
$$f_{CS} = ۲f_D \Rightarrow ۱۰ = ۲f_D \Rightarrow f_D = ۵kHz$$

$$m_i = \frac{f_D}{f_m} = \frac{۵}{۸} = ۰/۶۲۵$$

۶ـ۷ـ پهنای باند هر ایستگاه در FM

FM تجارتی در محدودهٔ فرکانسی ۱۰۸ـ ۸۸ مگاهرتز قرار دارد. پهنای باند هر ایستگاه رادیویی معمولاً ۱۵۰ کیلوهرتز و باند محافظ بالا و پایین آن هر کدام ۲۵ کیلوهرتز است. در شکل ۹ـ۷ 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) می‌گویند. پهنای باند FM به دو دلیل زیر افزایش می‌یابد:

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



شکل ۹ـ۷ـ پهنای باند یک ایستگاه رادیویی FM و باند محافظ آن

۷ـ۷ـ طیف فرکانسی سیگنال FM

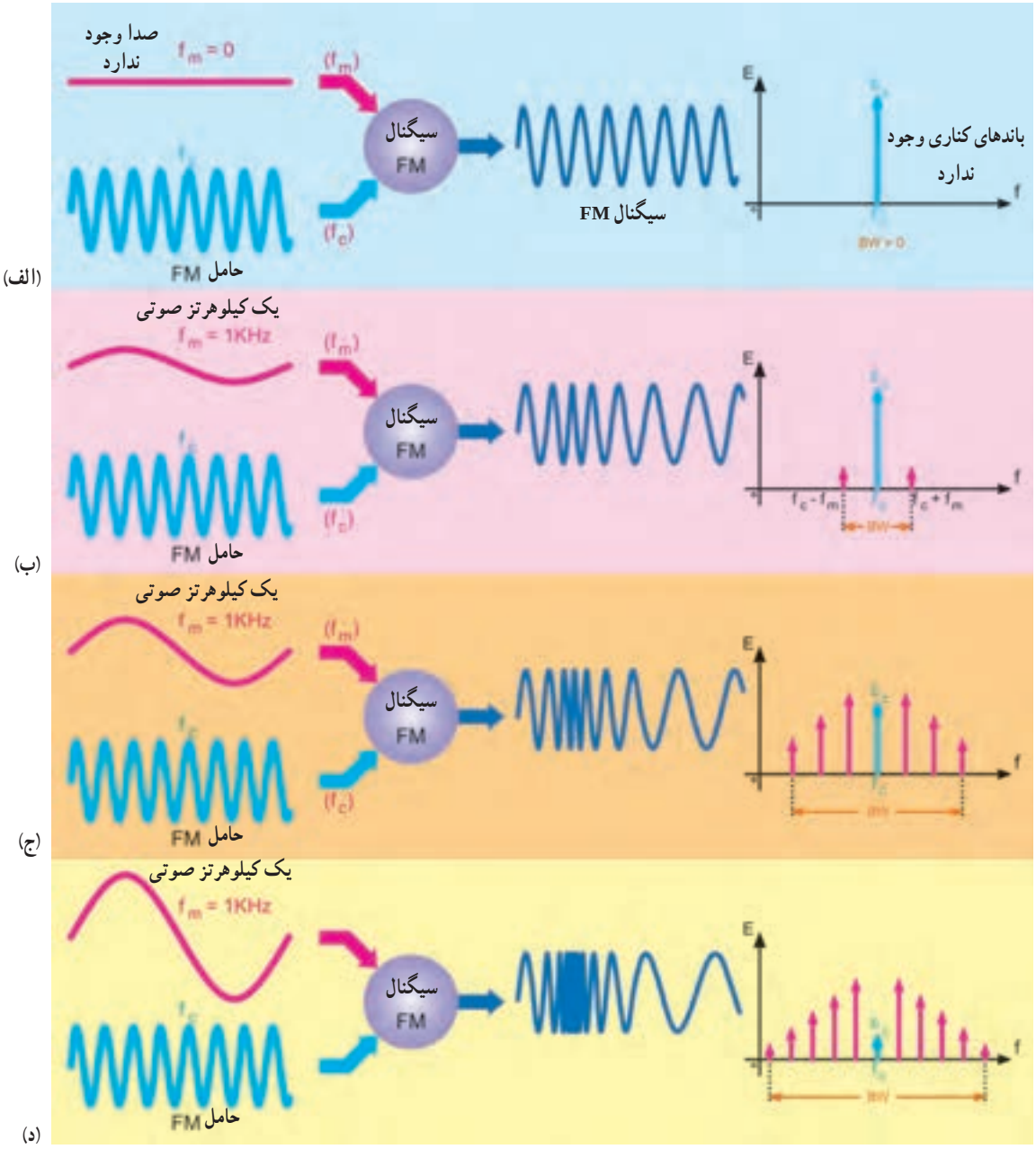
با اتصال سیگنال FM به ورودی یک دستگاه طیف‌نما، می‌توان طیف فرکانسی سیگنال FM را مشاهده کرد. در شکل ۱۰ـ۷ طیف فرکانسی سیگنال FM را، که در آن دامنهٔ سیگنال پیام متغیر و فرکانس آن مساوی ۱ کیلوهرتز است، مشاهده می‌کنید.

در حالت الف، چون دامنه سیگنال مدوله‌کننده مساوی صفر است، انحراف فرکانس نیز مساوی صفر می‌شود ($f_D = ۰$).

با توجه به رابطهٔ $m_i = \frac{f_D}{f_m}$ مقدار شاخص مدولاسیون صفر خواهد شد. در این حالات در طیف فرکانسی سیگنال FM فقط فرکانس کاریر وجود دارد و هیچ‌گونه باند کناری ظاهر نمی‌شود.

در حالت «ب» دامنهٔ سیگنال پیام باعث تغییر در فرکانس کاریر شده است و مانند طیف فرکانس AM، علاوه بر فرکانس کاریر، دو فرکانس کناری f_C+f_D و f_C-f_D به‌وجود آمده است.

در حالت‌های «ج و د»، افزایش دامنهٔ سیگنال پیام، موجب افزایش تعداد فرکانس‌های کناری و کاهش دامنهٔ کاریر شده است. با افزایش تعداد فرکانس‌های کناری پهنای باند نیز افزایش یافته است. رابطهٔ افزایش فرکانس‌های کناری با افزایش دامنهٔ کاریر، با استفاده از توابع بِسِل در ریاضیات مهندسی قابل بیان است که خارج از برنامهٔ آموزشی متوسطه است.



شکل ۱۰ــ۷ــ باندهای کناری و پهنای باند سیگنال FM

مثال ۳ـ۷

در یک سیگنال FM با انحراف فرکانس ۳۰ کیلوهرتز اگر فرکانس سیگنال مدوله‌کننده مساوی ۱۰ کیلوهرتز باشد، شاخص مدولاسیون چه‌قدر است؟ شاخص مدولاسیون چه نقشی در پهنای باند و طیف فرکانسی f_m دارد توضیح دهید.

پاسخ:

$$m_i = \frac{f_D}{f_m} = \frac{۳۰}{۱۰} = ۳$$

افزایش شاخص مدولاسیون موجب افزایش پهنای باند و تعداد طیف فرکانسی می‌شود.

۸ ـ۷ـ درصد مدولاسیون (Modulation Percent)

درصد مدولاسیون برای یک سیگنال FM طبق تعریف از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$M_{FM}=\frac{\text{فرکانس انحراف واقعی}}{\text{ماکزیمم فرکانس انحراف تعریف شده}}\times ۱۰۰=\frac{f_D(actual)}{f_D(Max)}\times ۱۰۰$$

مثال ۴ـ۷

در یک فرستندهٔ FM تجارتی اگر انحراف فرکانس مساوی ۲۰ کیلوهرتز باشد، درصد مدولاسیون چه‌قدر است؟

پاسخ :

$$M_{FM}=\frac{۲۰}{۷۵}\times ۱۰۰=۲۶/۶۷٪$$

برای یک فرستندهٔ FM تجارتی ماکزیمم انحراف فرکانس مساوی ۷۵ کیلوهرتز است.

تحقیق کنید : انحراف فرکانس در سیگنال FM مونو و استریوی تجاری چند کیلوهرتز است؟ نتایج را با ذکر منابع به کلاس ارائه دهید.

۹ـ۷ـ FM باند باریک (Narrow Band FM)

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

$$BW_{FM(Narrow)}=۲f_m$$

تذکر : ثابت شده است که در FM باند باریک ضریب مدولاسیون کمتر از $\frac{۱}{۲}$ است.

مثال ۵ ـ۷

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

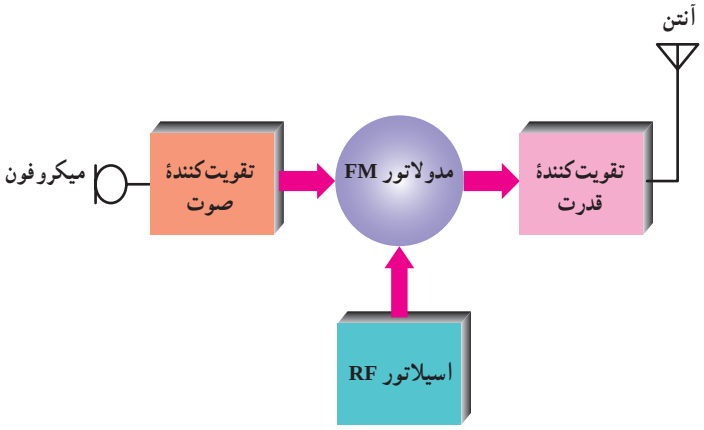
پاسخ :

$$BW_{FM(Narrow)}=۲f_m=۲\times ۶=۱۲KHz$$

۱۰ـ۷ـ فرستندهٔ FM (FM Transmitter)

فرستنده FM تشابه زیادی با فرستنده AM دارد. اختلاف اساسی بین فرستندهٔ FM و AM در نوع مدولاسیون است.

در شکل ۱۱ـ۷ بلوک دیاگرام یک فرستندهٔ رادیویی FM نشان داده شده است.



شکل ۱۱ـ۷ـ بلوک دیاگرام فرستندهٔ رادیویی FM

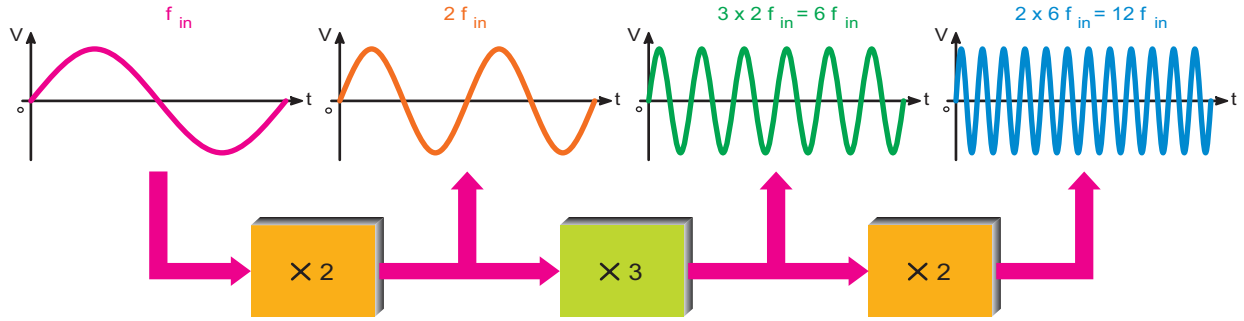
در این بلوک دیاگرام، میکروفون ارتعاشات مکانیکی را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند. تقویت‌کنندهٔ صوتی، عمل تقویت دامنهٔ سیگنال خروجی میکروفون را انجام می‌دهد. در بلوک مدولاتور FM و اسیلاتور RF، فرکانس اسیلاتور براساس تغییرات دامنه و فرکانس صوت تغییر می‌کند و سیگنال FM تولید می‌شود. قسمت تقویت‌کنندهٔ توان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

۱۱ـ۷ـ چند برابرکنندهٔ فرکانس (Frequency Multiplier)

می‌دانیم باند رادیویی FM در محدودهٔ فرکانس ۱۰۸ ـ ۸۸ مگاهرتز قرار دارد. به سبب بالا بودن فرکانس، امکان ایجاد تغییر ناخواسته در فرکانس اسیلاتور و تغییر ایستگاه در این محدودهٔ فرکانسی وجود دارد. برای رفع این مشکل، در فرستنده FM از اسیلاتورهای فرکانس پایین استفاده می‌کنند و با استفاده از مدارهای چند برابرکنندهٔ فرکانس، فرکانس اسیلاتور را به محدودهٔ FM می‌رسانند.

در شکل ۱۲ــ۷ سیگنال‌های ورودی و خروجی مدارهای دو برابرکننده و سه برابرکنندهٔ فرکانس نشان داده شده است. در عمل ممکن است برای افزایش فرکانس سیگنال حامل از مدارهای چند برابرکنندهٔ چندطبقه استفاده شود.

در شکل ۱۲ــ۷ به منظور افزایش فرکانس به میزان دوازده برابر، سه بلوک چند برابرکنندهٔ فرکانس به کار رفته است.

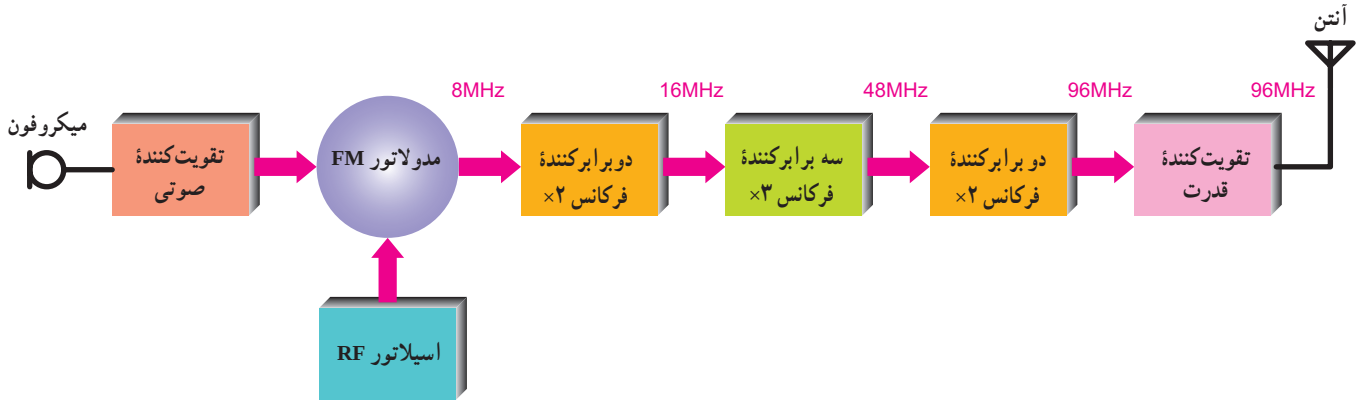


شکل ۱۲ــ۷ــ چند برابرکنندهٔ سه طبقه

۱۲ـ۷ـ یک نمونه بلوک دیاگرام فرستنده FM

در شکل ۱۳ــ۷ یک نمونه بلوک دیاگرام فرستندهٔ FM را، که در آن چند طبقهٔ چند برابرکنندهٔ فرکانس به کار رفته است، مشاهده می‌کنید. در این حالت فرکانس اسیلاتور از ۸ مگاهرتز به ۹۶ مگاهرتز افزایش یافته است.

$$f_C(out)=۲\times۳\times۲\times۸=۹۶\ MHz$$



شکل ۱۳ــ۷ــ فرستندهٔ FM با چند برابرکننده‌های فرکانس اسیلاتور

۱۳ـ۷ـ رابطهٔ انحراف فرکانس و ضریب افزایش چند برابرکننده‌های فرکانس

اگر ضریب افزایش چند برابرکننده‌های فرکانس را با N_f و فرکانس انحراف سیگنال FM را با F_D نشان دهیم مقدار انحراف فرکانس در طبقهٔ خروجی فرستندهٔ FM از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید.

انحراف فرکانس در طبقهٔ خروجی = انحراف فرکانس × ضریب افزایش طبقات چند برابرکننده

$$f_D(out) = N_f \cdot f_D$$

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

مثال ۶ـ۷

در شکل ۱۳ـ۷ اگر مقدار f_C بعد از مدولاتور FM برابر با ۷/۵ مگاهرتز و f_D برابر با ۶ کیلوهرتز باشد مقادیر فرکانس کاریر خروجی و انحراف فرکانس خروجی را به دست آورید.

پاسخ :

$$N_f = ۲\times۲\times۳=۱۲$$

$$f_C(out) = N_f\times ۷/۵=۹۰\,MHz$$

$$f_D(out) = N_f\times f_D=۱۲\times۶=۷۲KHz$$

۱۴ـ۷ـ 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.

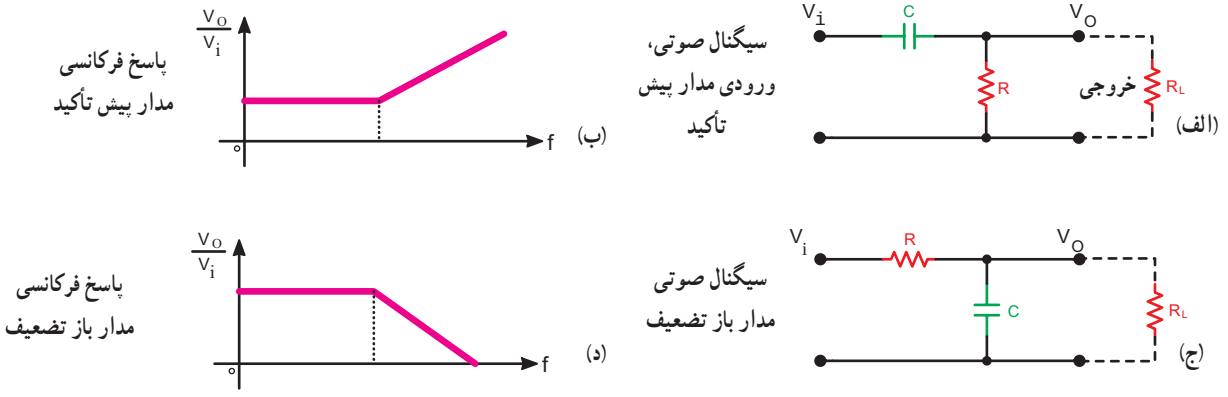
در شکل ۱۴ـ۷ قسمتی از بلوک دیاگرام فرستنده FM با استفاده از مدار پیش‌تأکید نشان داده شده است.

شکل ۱۴ـ۷ـ قسمتی از فرستندهٔ FM با پیش‌تأکید فرکانس بالا

برای هنرجویان علاقه‌مند

تحقیق کنید باندVHF 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 به‌وسیلهٔ فیلتری پردازش شود نسبت سیگنال به نویز موج دمدوله شده در تمام فرکانس‌ها یکسان خواهد بود. در فرستندهٔ FM سیگنال مدوله‌کننده قبل از مدولاسیون توسط یک فیلتر بالا گذر به‌نام پیش تأکید پردازش می‌شود. این فیلتر، فرکانس‌های بالاتر را با دامنهٔ بیشتر عبور می‌دهد. درگیرندهٔ FM برای جلوگیری از ایجاد اعوجاج در سیگنال دمدوله شده، باید توسط یک فیلتر پایین‌گذر به‌نام باز تضعیف، فرکانس‌های بالاتر را تضعیف نمود در شکل ۱۵ـ۷ مدارهای پیش تأکید و باز تضعیف و پاسخ فرکانسی هر یک نشان داده شده است.

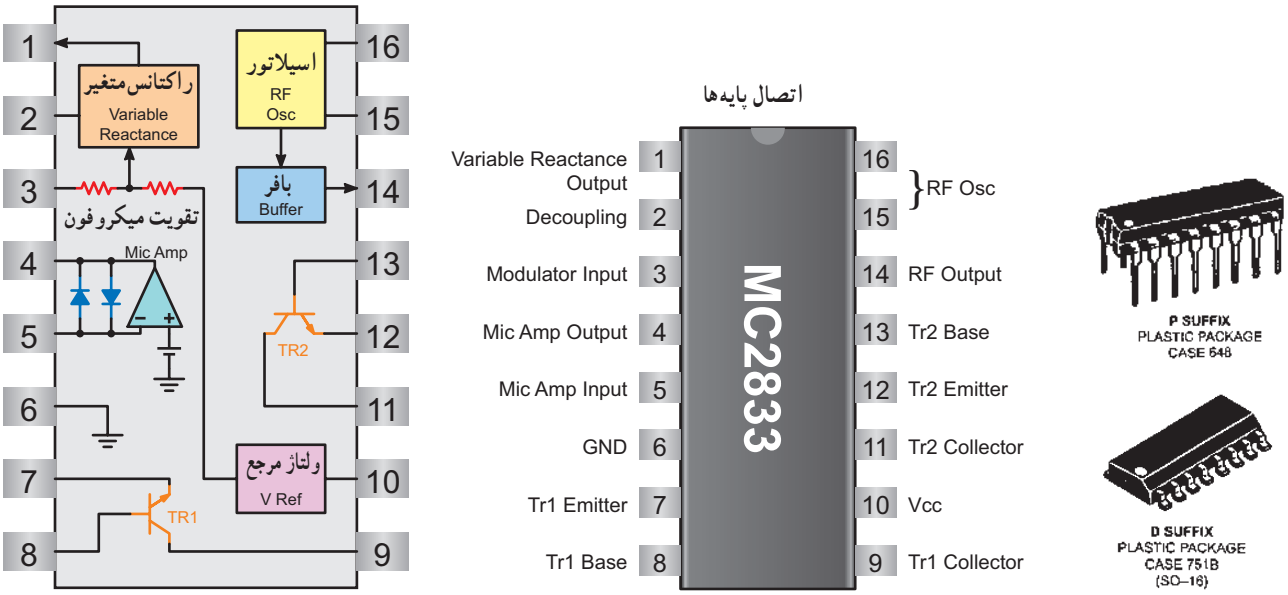


شکل ۱۵ـ۷ـ مدارهای پیش تأکید و باز تضعیف و پاسخ فرکانسی آنها

۱۵ـ۷ـ فرستندهٔ FM با آی سی

یک نوع فرستندهٔ FM با آی سی دارای شمارهٔ فنی MC۲۸۳۳ است. در شکل ۱۶ـ۷ـ الف شکل ظاهری آی‌سی را مشاهده می کنید.

در شکل‌های ۱۶ـ۷ـ ب و ۱۶ـ۷ـ ج شمارهٔ پایه‌های آی‌سی و بلوک دیاگرام داخل آی سی رسم شده است.



الف ــ ب ــ ج

شکل ۱۶ـ۷

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

برای مطالعه

۱ـ۱۵ـ۷ـ مدار فرستندهٔ FM با آی سی: در شکل۱۷ـ ۷ مدار کامل یک فرستندهٔ FM با آی‌سی MC۲۸۳۳ نشان داده شده است.

این آی‌سی با ولتاژ تغذیهٔ ۲/۸V تا ۹ ولت کار می کند.

وظایف هر یک از پایه‌های آی‌سی به شرح زیر است :

پایهٔ ۱ : خروجی مدار راکتانس متغیر

پایهٔ ۲ : دی‌کوپلینگ مربوط به مدار راکتانس متغیر

پایهٔ ۳ : ورودی مدولاتور

پایهٔ ۴ : خروجی تقویت کنندهٔ صوتی

پایهٔ ۵ : ورودی تقویت کنندهٔ صوتی

پایهٔ ۶ : زمین

پایهٔ ۷ :امیترترانزیستورتقویت کنندهٔ خطی خروجی ($TR_۲$)

پایهٔ ۸ : بیس ترانزیستور تقویت کنندهٔ خطی خروجی ($TR_۲$) به عنوان ورودی تقویت کننده

پایهٔ ۹ : کلکتور ترانزیستور تقویت کنندهٔ خطی خروجی ($TR_۲$) به‌عنوان خروجی تقویت‌کننده

پایهٔ ۱۰ : ولتاژ V_{CC} که مقدار آن بین ۲/۸ ولت تا ۹ ولت است.

پایهٔ ۱۱ : کلکتور ترانزیستور چند برابرکنندهٔ فرکانس ($TR_۱$) به عنوان خروجی

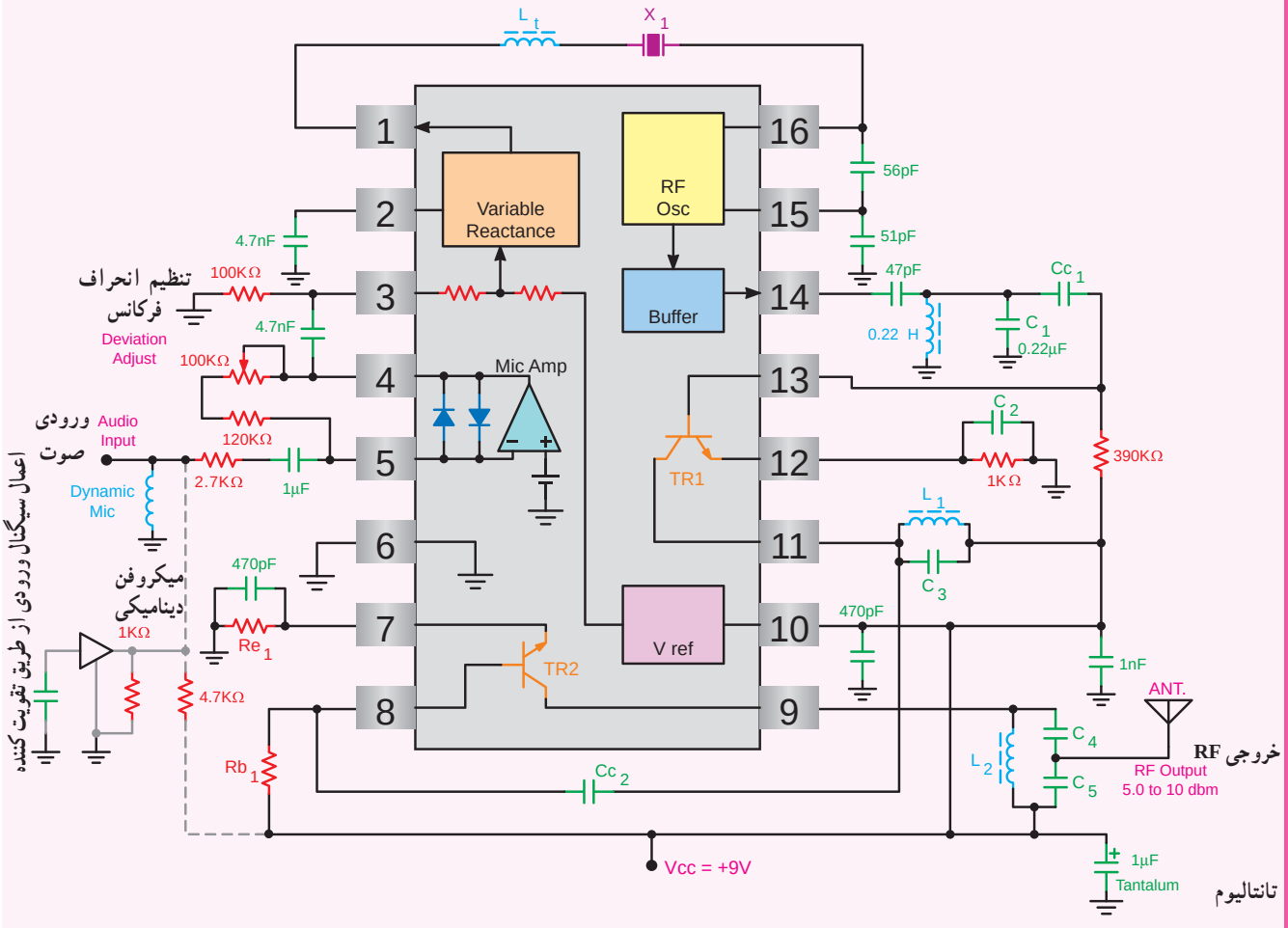
پایهٔ ۱۲ : امیتر ترانزیستور چند برابر کنندهٔ فرکانس ($TR_۱$)

پایهٔ ۱۳ : بیس ترانزیستور چند برابر کنندهٔ فرکانس ($TR_۱$) به عنوان ورودی تقویت‌کننده

پایهٔ ۱۴ : خروجی RF که سیگنال مدوله شده FM از این پایه دریافت می‌شود.

پایهٔ ۱۵ :اسیلاتور محلی که از نوع VCO است.

پایهٔ ۱۶ : اسیلاتور محلی که از نوع VCO است.



شکل ۱۷ــ۷ــ مدار کامل یک فرستندهٔ FM با آی‌سی MC ۲۸۳۳

برای اطلاعات بیشتر در مورد آی‌سی می‌توانید به سایت‌های مرتبط از قبیل alldatasheet.com مراجعه کنید.

۱۶ـ۷ـ الگوی پرسش

۱ــ مزایای FM نسبت به AM کدام‌اند؟

۲ــ چگونگی تولید سیگنال FM با استفاده از میکروفون خازنی را شرح دهید.

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

۴ــ در محدودهٔ FM تجارتی چند ایستگاه رادیویی وجود دارد؟

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

۶ ــ به چه دلیل در فرستندهٔ FM از مدارات ضرب‌کنندهٔ فرکانس استفاده می‌شود؟

۷ ــ مدارهای پیش تأکید و بازتضعیف چه نوع فیلترهایی هستند؟

۸ ــ سبب استفاده از مداربازتضعیف در سیستم گیرندهٔ رادیویی FM چیست؟

۹ــ به چه دلیل در فرستندهٔ FM از تأکیدکننده فرکانس بالا استفاده می‌شود؟

صحیح یا غلط

۱۰ــ در مدولاسیون FM شاخص مدولاسیون برابر است با $\frac{\text{فرکانس سیگنال مدوله‌کننده}}{\text{انحراف فرکانس}}$

صحیح ☐ غلط ☐

کوتاه پاسخ

۱۱ــ در مدولاسیون فرکانس، رابطهٔ حداکثر تغییر فرکانس حامل (f_{CS}) و انحراف فرکانس (f_D) را بنویسید.

چهارگزینه‌ای

۱۲ــ در یک سیگنال FM با حداکثر تغییر فرکانس ۹۰ کیلوهرتز اگر فرکانس سیگنال مدوله کننده ۱۵ کیلوهرتز باشد، شاخص مدولاسیون کدام است؟

۱) ۶ ۲) ۴

۳) ۳ ۴) ۲

۱۷ـ۷ـ گیرنده FM (FM Receiver)

گیرندهٔ FM شباهت زیادی به گیرندهٔ AM دارد. اختلاف اساسی بین گیرنده‌های FM و AM، در فرکانس‌های حامل و مدارهای آشکارساز آن‌هاست. در شکل ۱۸ــ۷ بلوک دیاگرام یک گیرندهٔ رادیویی FM نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۱۸ــ۷ تفاوت گیرنده‌های FM و AM در فرکانس IF، محدودکنندهٔ دامنه، تضعیف‌کنندهٔ فرکانس‌بالا، مدار کنترل‌کنندهٔ اتوماتیک فرکانس (Automatic Frequency control) و پهنای باند آن‌هاست، نقش هر یک از بلوک‌ها در گیرندهٔ رادیویی FM به شرح زیر است :

۱ـ ۱۷ـ۷ـ تقویت‌کنندهٔ RF: کار این طبقه، انتخاب و تقویت فرکانس ایستگاه موردنظر و جلوگیری از ورود فرکانس‌های ناخواسته است.

۲ـ ۱۷ـ۷ـ اسیلاتور محلی: کار اسیلاتور محلی تولید یک سیگنال سینوسی است که فرکانس آن به‌اندازهٔ ۱۰/۷ مگاهرتز از سیگنال حامل ورودی بیشتر است. $f_{LO}=f_{If}+f_{RF}$

۳ـ ۱۷ـ۷ـ مخلوط کننده : مخلوط کننده ، فرکانس اسیلاتور محلی را با فرکانس حامل دریافتی مخلوط می‌کند و مجموع و تفاضل آن‌ها را در خروجی ظاهر می‌نماید.

۴ـ ۱۷ـ۷ـ تقویت‌کننده‌های IF: تقویت‌کننده‌های IF برای تقویت فرکانس میانی ۱۰/۷ مگاهرتز به‌کار می‌روند.

۵ ـ ۱۷ـ۷ـ محدودکنندهٔ دامنه: مدار محدودکننده دامنه، پیک سیگنال FM را حذف می‌کند. بدین ترتیب سیگنال نویز حذف می‌شود.

۶ـ ۱۷ـ۷ـ آشکارساز FM: این مدار برای پیاده کردن سیگنال صوتی از سیگنال حامل است و تغییرات فرکانس را به تغییرات دامنه تبدیل می‌کند.

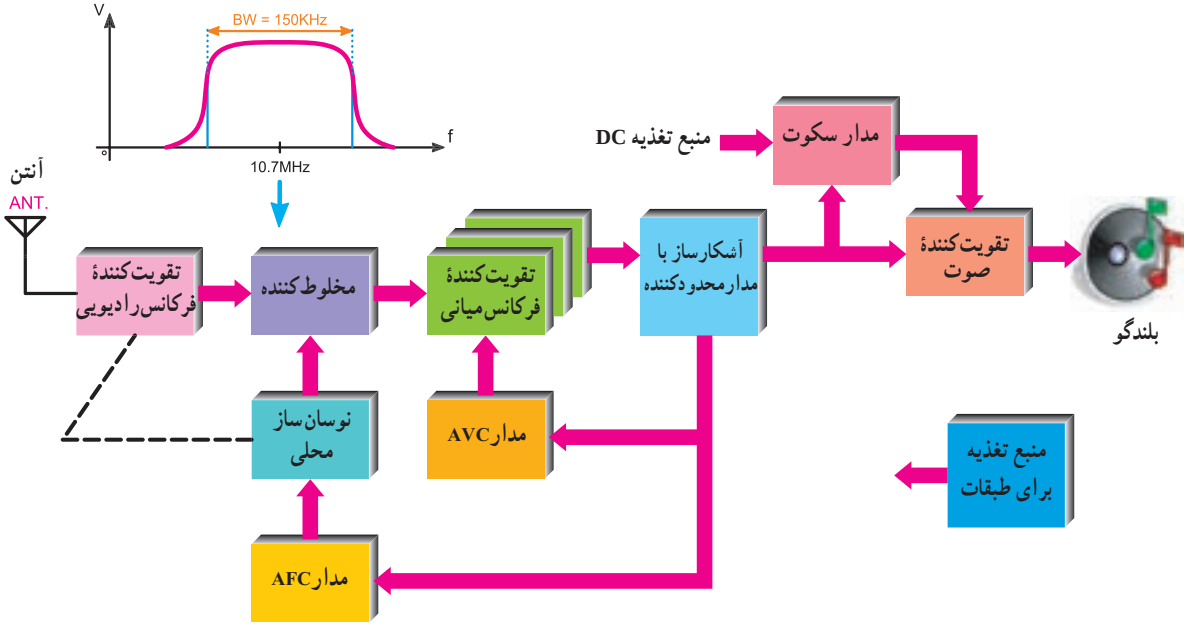
۷ـ ۱۷ـ۷ـ تضعیف‌کنندهٔ فرکانس بالا: این مدار برای جبران اثر مدار تأکیدکنندهٔ فرکانس بالا به‌کار می‌رود و فرکانس بالای صوتی را کمی تضعیف می‌کند.

۸ ـ ۱۷ـ۷ـ کنترل اتوماتیک فرکانس (AFC): مدار AFC برای کنترل فرکانس اسیلاتور محلی به‌کار می‌رود.

۹ـ۱۷ـ۷ـ تقویت‌کننده‌های صوتی: این تقویت‌کننده‌ها دامنه ولتاژ و جریان سیگنال صوتی را تقویت می‌کنند.

۱۰ـ۱۷ـ۷ـ بلندگو: سیگنال صوتی را به ارتعاشات مکانیکی تبدیل می‌کند.

۱۱ـ ۱۷ـ۷ـ منبع تغذیه: ولتاژ AC را به DC تبدیل و تمام قسمت‌های مختلف گیرنده را تغذیه می‌کند.



شکل ۱۸ــ۷ــ بلوک دیاگرام عمومی یک گیرنده رادیویی FM

۱۸ـ۷ـ مقایسهٔ گیرندهٔ FM با AM

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

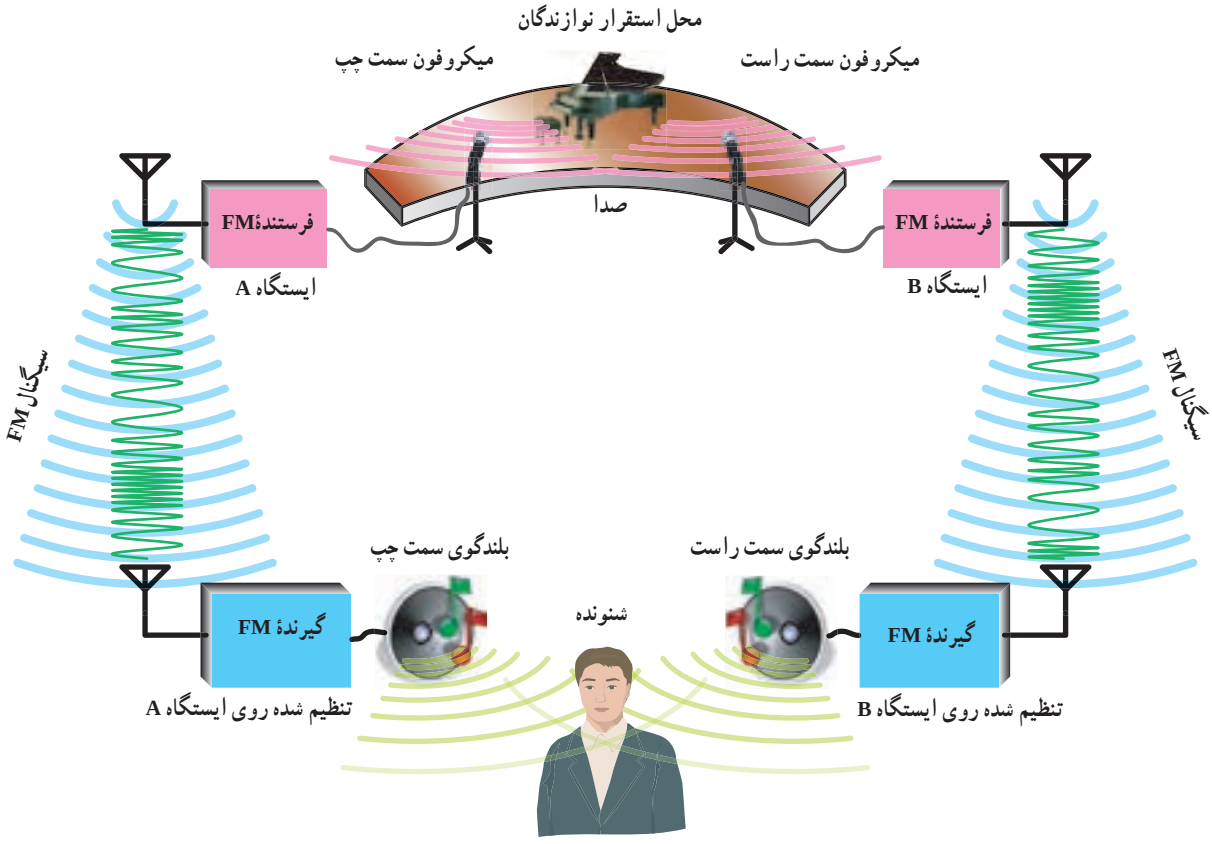
الف) باند فرکانسی ایستگاه‌های فرستندهٔ FM در محدودهٔ ۸۸ مگاهرتز تا ۱۰۸ مگاهرتز است.

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 گیرندهٔ FM به صورت FM است. در صورتی که بلوک دیاگرام در شکل ۱۸ــ۷ را با بلوک دیاگرام شکل ۳۴ــ۶ مقایسه کنید مشاهده می‌کنید که هیچ‌گونه 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 موردنظر کار کنند. هم‌چنین علاوه بر بلوک‌های گیرندهٔ AM دو بلوک AFC و مدار سکوت نیز در گیرنده FM وجود دارد.

مدار سکوت یک کلید الکترونیکی است که به‌منظور حذف نویز در خروجی گیرندهٔ FM هنگام جست‌و جوی ایستگاه و زمانی که گیرنده روی ایستگاه تنظیم نشده است به‌کار می‌رود و خط تغذیهٔ طبقهٔ قدرت را قطع می‌کند. چون در FM دامنهٔ پیام به تغییرات فرکانسی تبدیل می‌شود، باید فرکانس حامل به‌طور خودکار کنترل شود. لذا بلوک AFC نیز کنترل فرکانس اسیلاتور محلی را به عهده دارد.



شکل ۱۹ــ۷ــ طرح کلی فرستنده و گیرندهٔ FM استریو

برای هنرجویان علاقه‌مند

نحوهٔ تنظیم اتوماتیک جست‌وجوی ایستگاه، درگیرنده‌های رادیویی FM چگونه صورت می‌گیرد؟ (به صورت بلوکی)

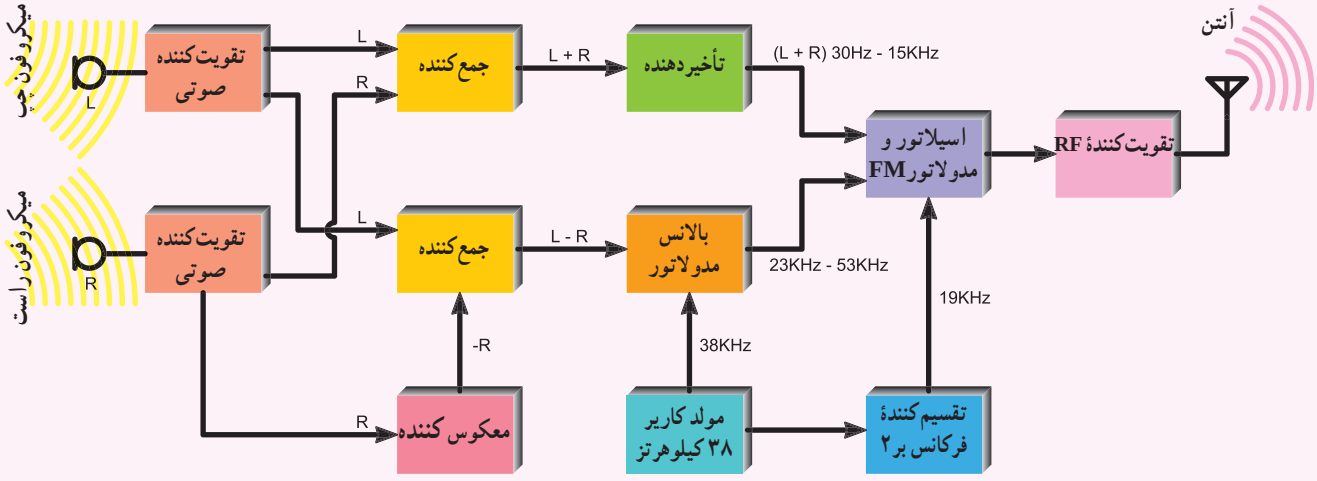
FM استریو: در سیستم استریوفونیک، صدا به‌وسیله دو میکروفون دریافت و توسط دو بلندگو پخش می‌شود. بنابراین این سیستم دو کانال صوتی لازم دارد، این دو کانال با توجه به محل میکروفون‌ها، از دید شنونده‌ای که روبه‌روی محل تولید صدا قرار می‌گیرد، کانال چپ (L) و کانال راست (R) نامیده می‌شود. در شکل ۱۹ــ۷ طرح کلی فرستنده و گیرندهٔ FM استریو نشان داده شده است.

در پخش 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.

۱۹ـ۷ـ بلوک دیاگرام فرستندهٔ FM استریو

در شکل ۲۰ـ۷ بلوک دیاگرام فرستندهٔ FM استریو نشان داده شده است.



شکل ۲۰ـ۷ـ بلوک دیاگرام فرستندهٔ FM استریو

در سیستم استریو، سیگنال L−R ابتدا به صورت AM و سپس به صورت FM مدوله می‌شود.

در فرستندهٔ FM استریو، سیگنال L+R به‌طور مستقیم ارسال می‌شود ولی سیگنال L−R روی یک کاریر ۳۸ کیلوهرتز به صورت DSB-SC-AM مدوله می‌شود. برای همزمان کردن نوسان‌ساز محلی گیرنده با نوسان‌ساز حامل فرستنده یک سیگنال راهنما (Pilot) با فرکانس ۱۹ کیلوهرتز از فرستنده ارسال می‌شود.

برای تولید سیگنال L−R ابتدا سیگنال R را از یک معکوس‌کننده عبور می‌دهند تا R− ایجاد شود سپس به کمک یک مدار جمع‌کننده L−R تولید می‌شود. سیگنال L+R مستقیماً از جمع دو سیگنال L و R به‌دست می‌آید. بالانس مدولاتور یک مدولاتور AM است که سیگنال L−R را روی کاریر ۳۸ کیلوهرتز مدوله می‌کند و کاریر اصلی (۳۸ کیلوهرتز) را بعد از مدولاسیون حذف می‌نماید. سپس سیگنال پایلوت ۱۹ کیلوهرتز را همراه با سیگنال AM ارسال می‌نماید.

به منظور همزمانی بین سیگنال L+R و سیگنال خروجی بالانس مدولاتور از یک مدار تأخیر دهنده در مسیر سیگنال L+R استفاده شده است. استفاده از تأخیردهنده برای آن است که دو سیگنال L+R و L−R هم زمان به مدار مدولاتور FM برسند.

۲۰ـ۷ـ طیف فرکانس سیگنال FM استریو

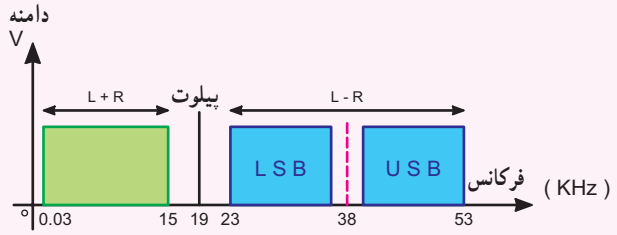
در شکل ۲۱ـ۷ طیف فرکانس سیگنال FM استریو نشان داده شده است.

سیگنال L+R در محدودهٔ فرکانس ۳۰ هرتز تا ۱۵ کیلوهرتز قرار دارد سیگنال L−R دارای دو باند فرکانس USB و LSB است که محدودهٔ فرکانس آن از ۲۳ کیلوهرتز تا ۵۳ کیلوهرتز است.

سیگنال راهنما با فرکانس ۱۹ کیلوهرتز است و فرکانس ۳۸ کیلوهرتز نیز حذف شده است.

علت ارسال سیگنال راهنما این است که در طیف سیگنال FM استریو حوالی ۱۹کیلو هرتز خالی است لذا اگر فرکانس ۳۸ کیلوهرتز ارسال می‌شد برای جدا کردن آن از باندهای کناری L−R یعنی USB و LSB که تنها ۳۰± هرتز از آن فاصله دارند، فیلترهای گران قیمتی موردنیاز بود.

برای مطالعه

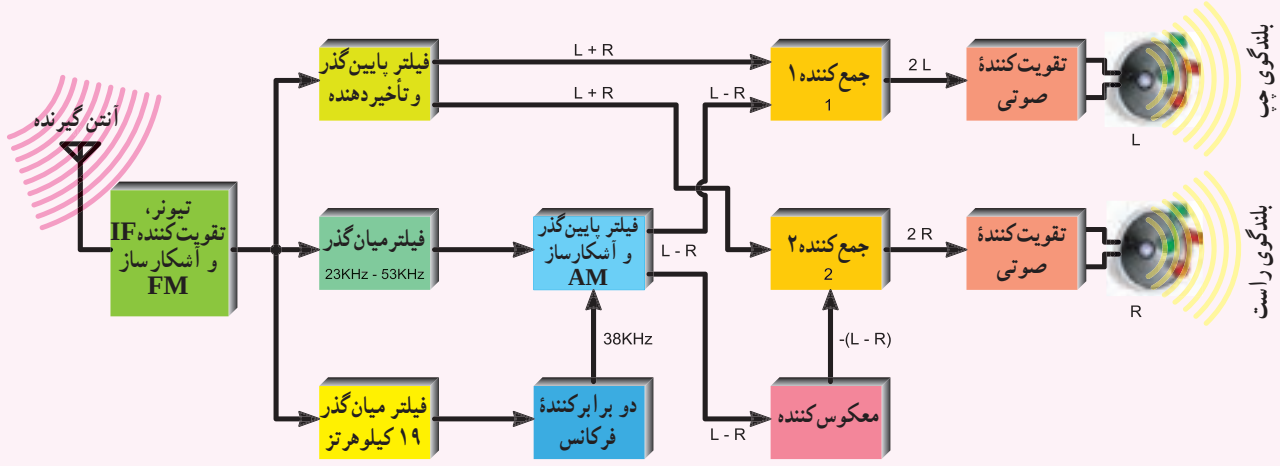


شکل ۲۱ــ۷ــ طیف فرکانس سیگنال FM استریو

۲۱ـ۷ـ بلوک دیاگرام گیرندهٔ FM استریو

در شکل ۲۲ــ۷ بلوک دیاگرام گیرندهٔ FM استریو نشان داده شده است.

در گیرندهٔ FM استریو، بعد از آشکارسازی سیگنال‌های L + R و L – R، سیگنال پیلوت توسط فیلترهایی جداسازی می‌شود و سیگنال L – R با مدولاسیون DSB–SC به یک آشکارساز AM اعمال می‌شود. همزمان با سیگنال کاریر ۳۸ کیلوهرتز سیگنال L – R تولید می‌شود.



شکل ۲۲ــ۷ــ بلوک دیاگرام گیرندهٔ FM استریو

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 تقویت‌کنندهٔ صوتی تنها L + R را عبور می‌دهند و سیگنال راهنما و باند L – R را حذف می‌کنند ولی در گیرندهٔ استریو، سیگنال‌های L – R و L + R (مدوله شده) و با جمع و تفریق آن‌ها سیگنال‌های L و R به‌دست می‌آید.

توسط دو مدار جمع‌کننده، سیگنال راست و چپ به‌وجود می‌آیند.

در خروجی جمع‌کنندهٔ ۱ داریم :

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

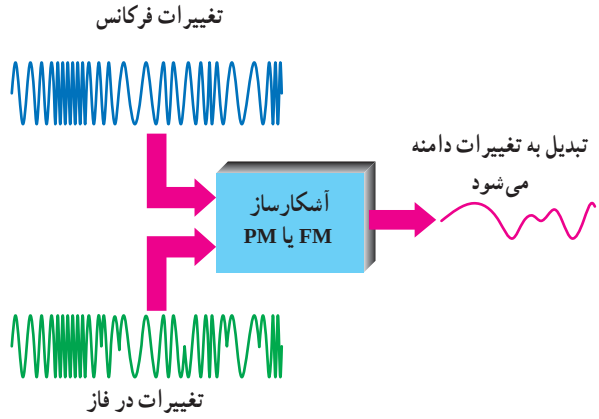
در خروجی جمع‌کنندهٔ ۲ داریم :

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

برای مطالعه

۲۲ـ۷ـ آشکارسازهای FM

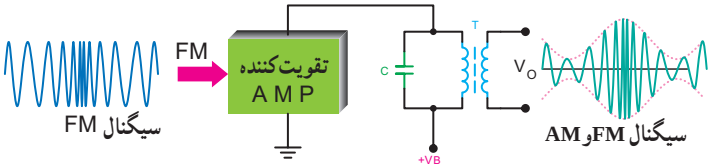
در آشکارسازهای FM، برای پیاده کردن پیام از روی کاریر، ابتدا توسط مدارهای هماهنگی، تغییر دامنه در سیگنال FM داده می‌شود، سپس با استفاده از آشکارساز دامنه، پیام از روی کاریر پیاده می‌شود، در شکل ۲۳ـ۷ سیگنال‌های ورودی و خروجی آشکارساز FM نشان داده شده است.



شکل ۲۳ـ۷ـ آشکارساز FM یا PM

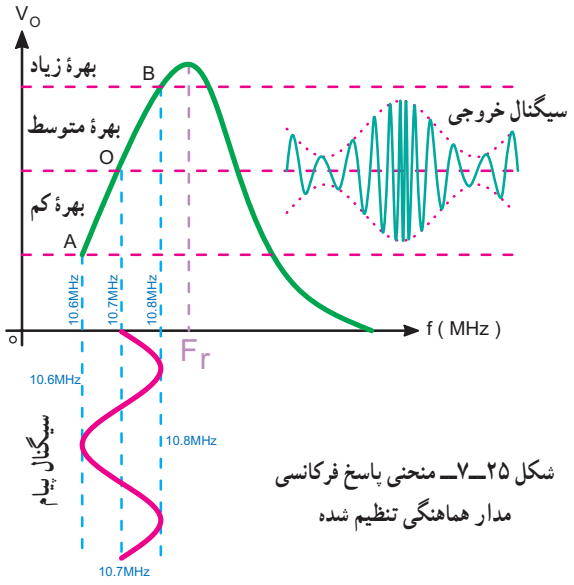
سیگنال ورودی با مدولاسیون FM یا PM است ولی سیگنال خروجی پیام است. ساده‌ترین نوع آشکارساز FM، آشکارساز شیب (Slope Detector) است. این آشکارساز به دلیل سادگی‌اش فقط جهت تفهیم بهتر آشکارسازی FM مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد ولی به دلیل غیرخطی بودن منحنی پاسخ فرکانسی آن، عملاً استفاده نمی‌شود.

۱ـ۲۲ـ۷ـ آشکارساز شیب: طبق شکل ۲۴ـ۷ ابتدا سیگنال FM به یک تقویت‌کننده با مدار هماهنگ تنظیم شده (Tuned Amplifier) اعمال می‌شود. در ورودی تقویت‌کنندهٔ دامنه سیگنال مدوله شده ثابت است. ولی در خروجی مدار هماهنگ علاوه بر تغییرات فرکانس، تغییرات دامنه نیز پدید می‌آید.



شکل ۲۴ـ۷ـ مدار آشکارساز شیب تنظیم شده روی فرکانس بیشتر از ۱۰/۷ مگاهرتز

در شکل ۲۵ـ۷ 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 ۱۰/۷مگاهرتز است. انحراف این فرکانس مرکزی حداکثر به ۱۰/۸مگاهرتز و حداقل به ۱۰/۶ مگاهرتز می‌رسد.



شکل ۲۵ـ۷ـ منحنی پاسخ فرکانسی مدار هماهنگی تنظیم شده

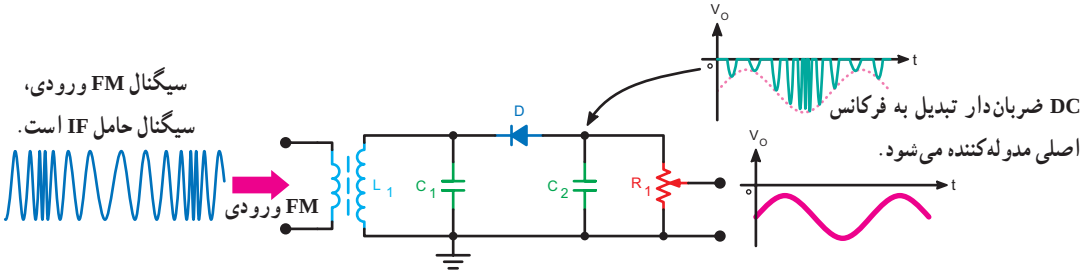
حال به بررسی دقیق منحنی‌های شکل ۲۵ـ۷ می‌پردازیم. می‌دانیم در مدارهای تشدید موازی و در فرکانس رزونانس، امپدانس ماکزیمم بوده و بهرهٔ ولتاژ نیز حداکثر است. هر قدر از فرکانس رزونانس دور شویم مقدار امپدانس مدار تانک کاهش می‌یابد و موجب کم شدن بهره می‌گردد. مدار رزونانس شکل ۲۴ـ۷ روی فرکانس رزونانس بالاتر از فرکانس IF (بالاتر از ۱۰/۸ مگاهرتز) سیگنال مدوله شده، تنظیم شده است. بدین سبب در فرکانس IF =۱۰/۷MHz مقدار متوسط بهره را خواهیم داشت.

پهنای باند سیگنال FM با باند محافظ برابر با ۰/۲ مگاهرتز است که ۰/۱ مگاهرتز بالاتر از فرکانس IF و ۰/۱ مگاهرتز پایین‌تر از فرکانس IF قرار دارد.

در فرکانس ۱۰/۸=۱۰/۷+۰/۱ مگاهرتز مقدار بهره افزایش یافته و در فرکانس MHz ۱۰/۶=۱۰/۷−۰/۱ مقدار بهره کاهش می‌یابد. با توجه به تغییرات سیگنال پیام شکل ۲۵ـ۷ که یک موج سینوسی درنظر گرفته شده است، در فرکانس IF=۱۰/۷ مگاهرتز

دامنهٔ پیام مساوی صفر و در فرکانس ۱۰/۸ مگاهرتز دامنهٔ پیام ماکزیمم و در فرکانس ۱۰/۶ مگاهرتز دامنهٔ پیام می‌نیمم است. با توجه به منحنی V_o، طبق شکل ۲۵ــ۷، ملاحظه می‌شود که با افزایش فرکانس (نسبت به فرکانس IF) دامنه زیاد می‌شود و با کاهش آن دامنه کاهش می‌یابد. با اعمال سیگنال V_o به یک آشکارساز AM می‌توان 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 می‌شود.

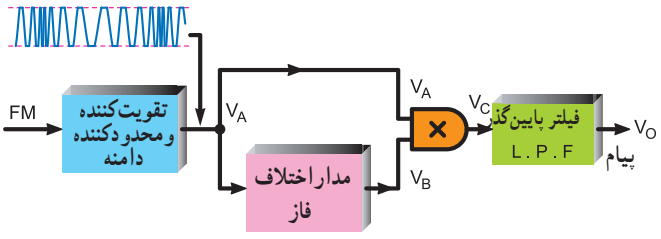
کلیهٔ موارد فوق را می‌توان روی شیب منفی منحنی پاسخ فرکانسی نیز انجام داد. در شکل ۲۶ــ۷ یک نمونه مدار آشکارساز شیب نشان داده شده که در آن فرکانس رزونانس مدار هماهنگی کمتر از فرکانس ۱۰/۶ مگاهرتز است. فرکانس رزونانس مدار هماهنگی از رابطهٔ $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$ به‌دست می‌آید. عناصر مدار D، C_2 و R_1مدار یک آشکار AM است که سیگنال ورودی آن، سیگنال FM با دامنهٔ متغیر است. با تغییر مقاومت R_1 می‌توان دامنهٔ سیگنال خروجی را تغییر داد. خازن C_2 فرکانس IF را به شاسی بای پاس می‌کند. در این مدار از شیب صعودی منحنی پاسخ فرکانسی مطابق شکل ۲۵ــ۷ برای تهیه سیگنال مرکب (AM ،FM) استفاده شده است.



شکل ۲۶ــ۷ــ مدار آشکارساز شیب تنظیم شده روی فرکانس کمتر از ۱۰/۷ مگاهرتز

۲ـ۲۲ـ۷ـ 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 می‌نماید. بلوک دیاگرام این آشکارساز در شکل ۲۷ــ۷ نشان داده است.



شکل ۲۷ــ۷ــ بلوک دیاگرام آشکارساز کوین‌سیدنس

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود در این آشکارساز جمعاً ۴ بلوک وجود دارد که به تشریح نحوهٔ کار هر بلوک می‌پردازیم.

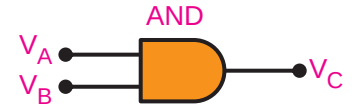
الف) تقویت‌کننده و محدودکنندهٔ دامنه : این بلوک یک تقویت‌کنندهٔ IF است که علاوه بر تقویت دامنهٔ سیگنال به مقدار زیاد، آن‌را محدود نیز می‌نماید. در خروجی تقویت‌کننده (VA) یک سیگنال تقریباً مربعی شکل وجود دارد که به صورت FM مدوله شده است. یادآور می‌شویم که در مدولاسیون FM پیام روی فرکانس حامل اثر می‌گذارد، لذا با محدود کردن دامنهٔ سیگنال FM، پیام حذف نمی‌شود. خروجی تقویت‌کنندهٔ IF از دو مسیر وارد مدار ضرب‌کننده، که در این‌جا یک گیت‌اَند (AND) است، می‌شود.

ب) مدار اختلاف فاز (تأخیردهنده) : در این بلوک مدار اختلاف فاز طوری تنظیم می‌شود 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 می‌شود.

ج) مدار ضرب‌کننده : در این مدار، خروجی زمانی وجود

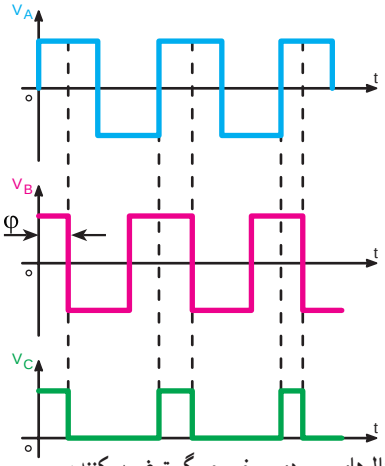
دارد که هر دو ورودی (V_A ,V_B) وجود داشته باشند. اگر دامنهٔ سیگنال در ورودی گیت منفی باشد خروجی آن (V_C) صفر خواهد شد. در شکل ۲۸ــ۷ جدول صحت و شمای فنی گیت ضرب‌کننده آمده است.

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



شکل ۲۸ــ۷ــ جدول صحت و شمای فنی گیت ضرب‌کننده

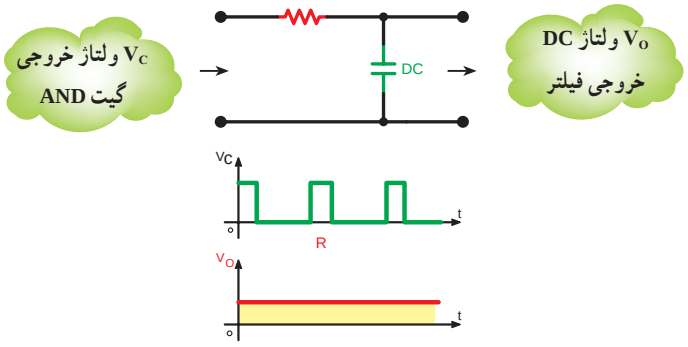
سیگنال‌های ورودی و خروجی گیت ضرب‌کننده در شکل ۲۹ــ۷ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که سیگنال‌ها به‌ازای یک فرکانس معین رسم شده‌اند، که زاویهٔ اختلاف فاز ایجاد شده در آن برابر با φ است.



V_A از مدار اختلاف فازدهنده عبور می‌کند و V_B را به وجود می‌آورد. V_B به اندازهٔ زاویه φ با V_A اختلاف فاز دارد.

شکل ۲۹ــ۷ــ سیگنال‌های ورودی و خروجی گیت ضرب‌کننده

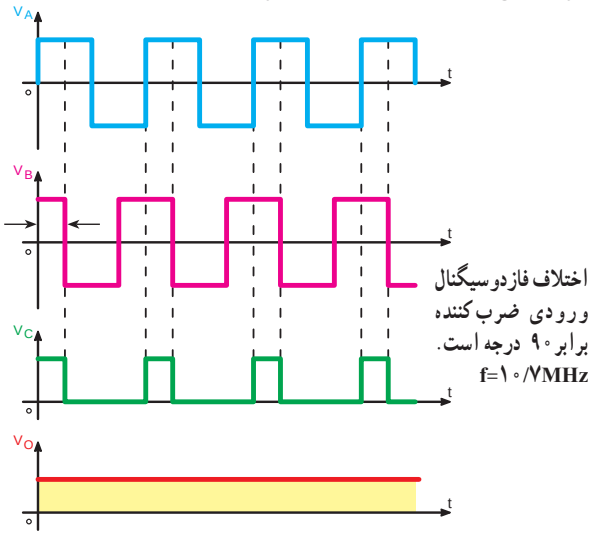
د) فیلتر پایین‌گذر (انتگرال‌گیر) : در این بلوک مدار RC به‌صورت مدار انتگرال‌گیر عمل می‌کند. مدار فیلتر پایین‌گذر RC و شکل موج‌های خروجی و ورودی این مدار را در شکل ۳۰ــ۷ مشاهده می‌کنید.



شکل ۳۰ــ۷ــ مدار فیلتر پایین‌گذر(انتگرال‌گیر) و سیگنال‌های ورودی و خروجی آن

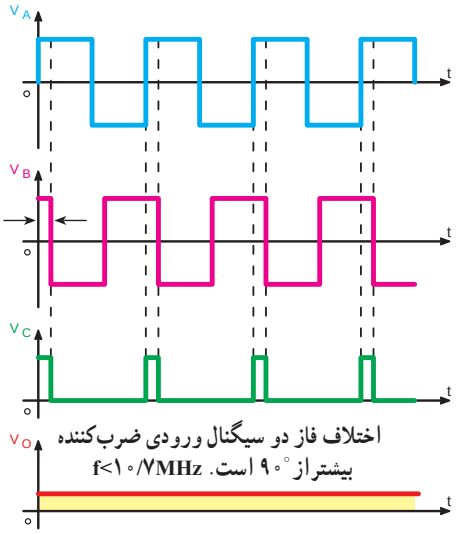
در مدار آشکار سازکوین سیدنس شکل ۲۷ــ۷، به ازای فرکانس ورودی برابرIF مقدار ولتاژ DC خروجی در حد متوسط قرار می‌گیرد. حال آن‌که در فرکانس‌های بالاتر از IF ولتاژ خروجی زیاد و در فرکانس‌های کمتر از IF ولتاژ خروجی کم می‌شود.

در شکل ۳۱ــ۷ شکل موج‌های نقاط مختلف مدار آشکارساز کوین سیدنس با حفظ رابطهٔ زمانی در فرکانس IF ترسیم شده است. V_A و V_B ورودی گیت ضرب‌کننده در فرکانس IF، اختلاف فاز ۹۰ 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 ۳۱ــ۷ــ شکل موج‌های نقاط مختلف آشکارساز درحالت f=۱۰/۷MHz

در شکل ۳۲ــ۷ اختلاف فاز بین سیگنال‌های ورودی گیت از ۹۰درجه 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.



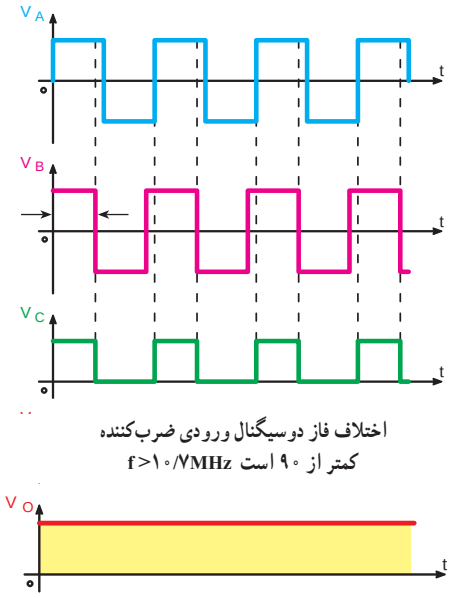
شکل ۳۲ــ۷ــ شکل موج‌های نقاط مختلف آشکارساز درحالت f<۱۰/۷MHz

در شکل ۳۳ــ۷ سیگنال‌ها به‌ازای $\varphi > 90^\circ$ و f>۱۰/۷MHz رسم شده‌اند، در این حالت، ولتاژ DC خروجی افزایش یافته است.

۳ـ۲۲ـ۷ـ آی‌سی آشکارساز FM مونو: در شکل ۳۴ــ۷ مدار داخلی آی‌سی TBA۱۲۰AS به‌صورت بلوک دیاگرام نشان داده شده است.

سیگنال FM با فرکانس میانی از پایهٔ ۱۴ به آی‌سی اعمال می‌شود پس از تقویت، دامنهٔ 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.

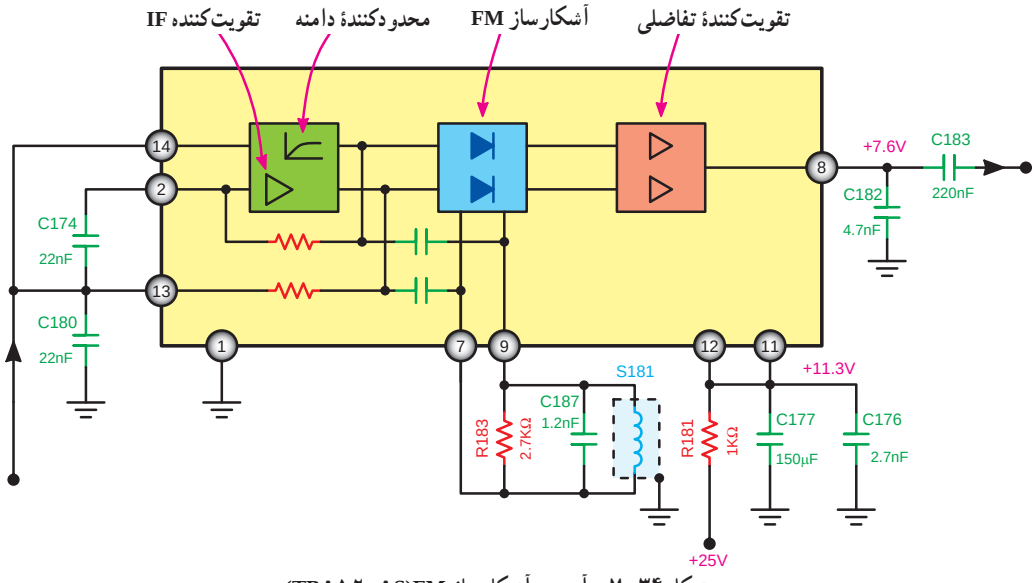
به عبارت دیگر ولتاژ DC خروجی در حد زیاد قرار دارد.



شکل ۳۳ــ۷ــ شکل موج‌های نقاط مختلف آشکارساز درحالت f>۱۰/۷MHz

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 پایهٔ ۸ آی‌سی خارج می‌شود.

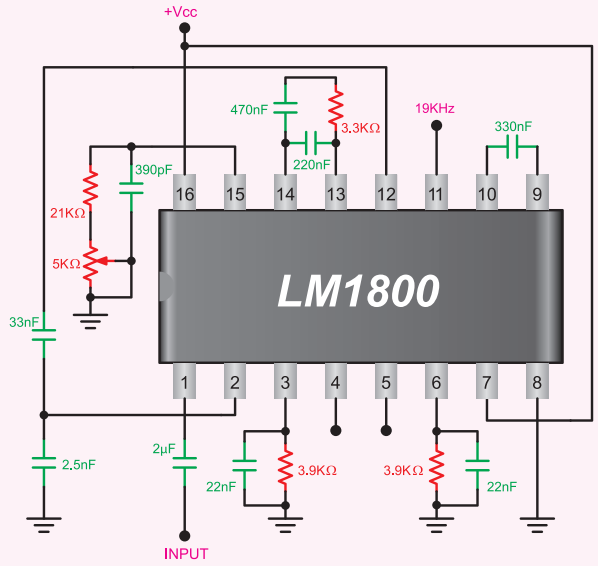
ولتاژ تغذیهٔ آی‌سی از طریق مقاومت R۱۸۱ به پایهٔ ۱۲ آن اعمال می‌شود. مدارات داخلی آی‌سی روی شکل نام‌گذاری شده است. آی‌سی TBA۱۲۰AS یک آشکارساز FM از نوع مونو و شمارهٔ سریال عمومی آن به‌صورت TBA۱۲۰ است.



شکل ۳۴ــ۷ــ آی‌سی آشکارساز FM(TBA۱۲۰AS)

برای مطالعه

۴ـ۲۲ـ۷ـ آی‌سی آشکارساز FM استریو: در شکل ۳۵ـ۷ آی‌سی آشکارساز FM استریو نشان داده شده است. این آی‌سی از نوع LM۱۸۰۰ است. سیگنال FM از پایهٔ شمارهٔ ۱ وارد آی‌سی می‌شود و پس از تقویت و آشکارسازی از پایهٔ شمارهٔ ۵ خروجی (مربوط به سمت راست سیستم استریو) و از پایهٔ شمارهٔ ۴ خروجی (مربوط به سمت چپ سیستم استریو) دریافت می‌شود. ولتاژ تغذیهٔ آی‌سی از پایه شمارهٔ ۱۶ به آن اعمال می‌شود.



شکل ۳۵ـ۷ـ آی‌سی آشکارساز FM استریو

۲۳ـ۷ـ الگوی پرسش

۱ـ در شکل ۱۸ـ۷ وظیفه مدار AFC چیست؟

۲ـ اختلاف اساسی دو گیرندهٔ رادیویی FM و AM در چیست؟

۳ـ در شکل ۲۹ـ۷ مدار اختلاف فاز روی چه فرکانسی تنظیم شده است؟

کامل کردنی

۴ـ فرکانس IF در گیرنده‌های FM برابر . . . . است.

صحیح یا غلط

۵ـ تضعیف کنندهٔ فرکانس بالا در گیرنده‌های رادیویی FM وجود دارد.

صحیح ☐ غلط ☐

چهارگزینه‌ای

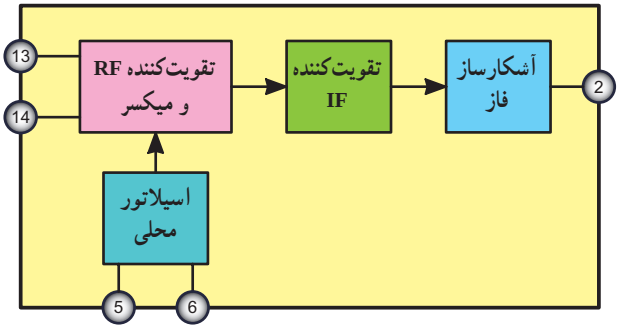
۶ـ فیلتر به کار رفته در آشکارساز کوین سیدنس از کدام نوع است؟

۱) HPF ۲) LPF

۳) BPF ۴) BRF

۲۴ـ۷ـ آی‌سی TDA۷۰۰۰

این آی‌سی درگیرنده‌های FM باند باریک مورد استفاده قرار می‌گیرد(شکل ۳۶ـ۷).



شکل ۳۶ـ۷ـ آی‌سی FM

اجزای تشکیل دهندهٔ این آی‌سی عبارت‌اند از :

تقویت کنندهٔ RF ـ میکسر ـ اسیلاتور محلی ـ تقویت کنندهٔ IF و آشکارساز فاز.

امواج RF از پایه‌های ۱۳ و ۱۴ وارد آی‌سی می‌شود و پس از تقویت وارد میکسر می‌گردد. پایه‌های ۵ و ۶ آی‌سی به مدار هماهنگ اسیلاتور محلی متصل است.

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

۲۵-۷- گیرندهٔ رادیویی FM

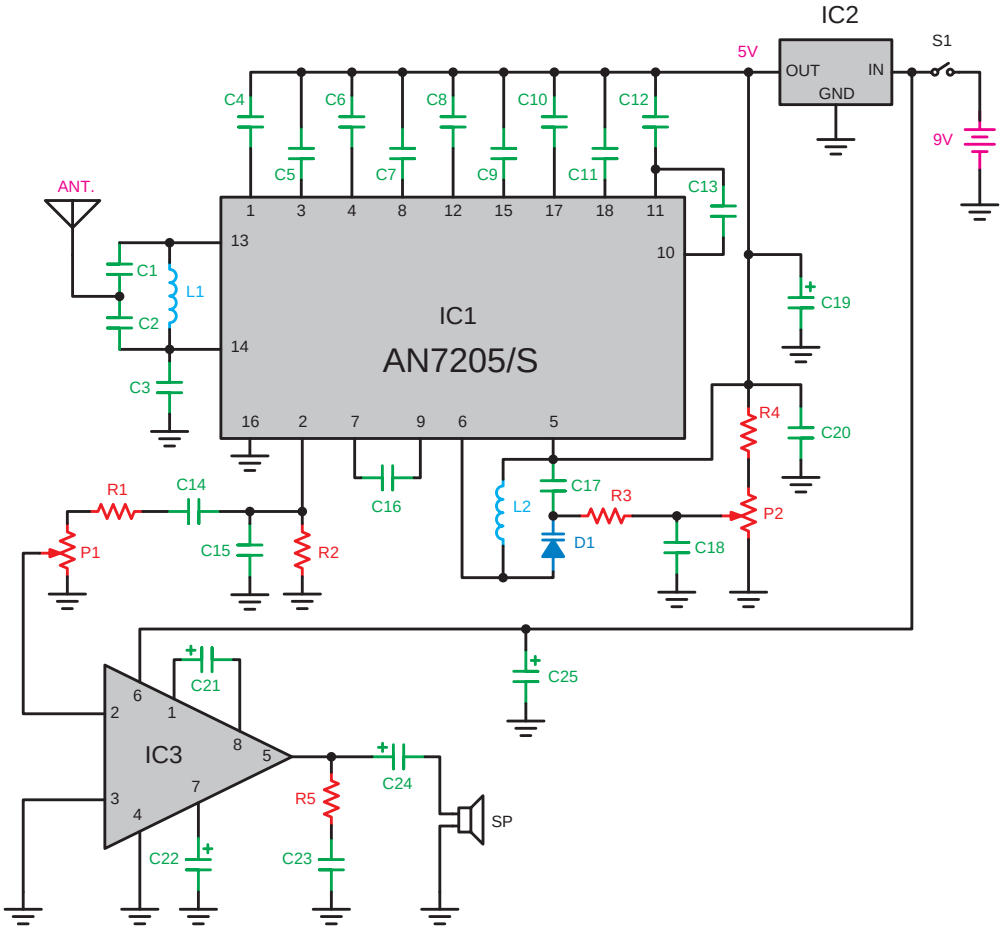
در شکل ۳۷ـ۷ مدار کامل گیرندهٔ رادیویی FM نشان داده شده است.

در این گیرنده آی‌سی شمارهٔ 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 به‌وجود می‌آورد.

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

پایهٔ ۵ به ولتاژ $+V_{CC}$ متصل است. هم‌چنین پایه‌های ۵ و ۶ به مدار هماهنگ اسیلاتور محلی اتصال دارد. این مدار شامل المان‌های $C_{۱۷}$، $L_۲$ و $D_۱$ است. ولتاژ بایاس دیود خازنی $D_۱$ به‌وسیلهٔ پتانسیومتر خطی $P_۲$ قابل تنظیم است. با تغییر این پتانسیومتر فرکانس اسیلاتور محلی تنظیم می‌شود. دامنهٔ سیگنال صوتی توسط ولوم غیرخطی $P_۱$ قابل تنظیم است. آی‌سی شمارهٔ ۲ یک رگولاتور ۵ ولتی است، که در این نقشه از آی‌سی LM۷۸۰۵ استفاده شده است.

سیگنال صوتی پس از تقویت توسط آی‌سی شمارهٔ ۳ (LM۳۸۶) به بلندگو اعمال می‌شود. پایهٔ ۲ ورودی و پایهٔ ۵ خروجی این آی‌سی است. ولتاژ تغذیهٔ آی‌سی LM۳۸۶ از پایهٔ ۶ به آن اعمال می‌شود.



شکل ۳۷ـ۷ـ گیرندهٔ رادیویی FM با آی‌سی

۲۶-۷- الگوی پرسش

۱ــ وظیفهٔ مدار سکوت در گیرندهٔ FM چیست؟ توضیح دهید.

۲ــ در شکل ۳۷ــ۷ مسیر تغذیهٔ دیود D_1 را مشخص کنید.

۳ــ در شکل ۳۷ــ۷ ولتاژ تغذیهٔ آی‌سی‌های ۱ و ۳ چگونه تأمین می‌شود؟

صحیح یا غلط

۴ــ آی‌سی TDA۷۰۰۰ در گیرنده‌های FM باند باریک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

صحیح ☐ غلط ☐

کامل کردنی

۵ــ اجزای تشکیل دهندهٔ آی‌سی TDA۷۰۰۰ عبارت‌اند از :

..... ، ..... ، .....

چهارگزینه‌ای

۶ــ مدار سکوت در ..... FM به‌کار می‌رود و هنگام جست‌وجوی ایستگاه زمانی که گیرنده روی ایستگاه ..... است به‌کار می‌رود.

۱) فرستنده ــ تنظیم‌شده ۲) فرستنده ــ تنظیم نشده

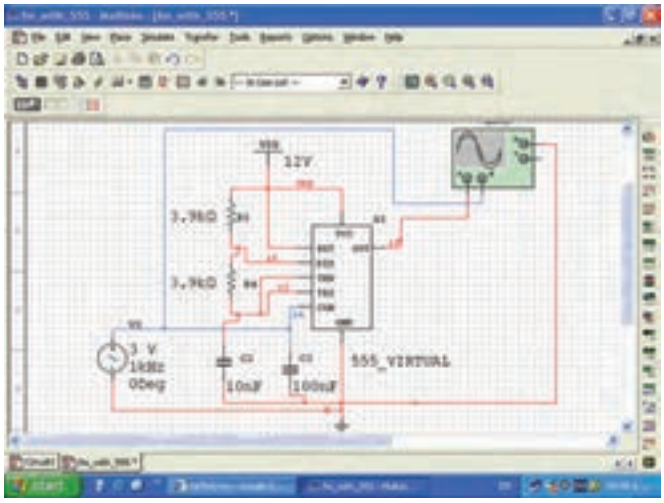
۳) گیرنده ــ تنظیم شده ۴) گیرنده ــ تنظیم نشده

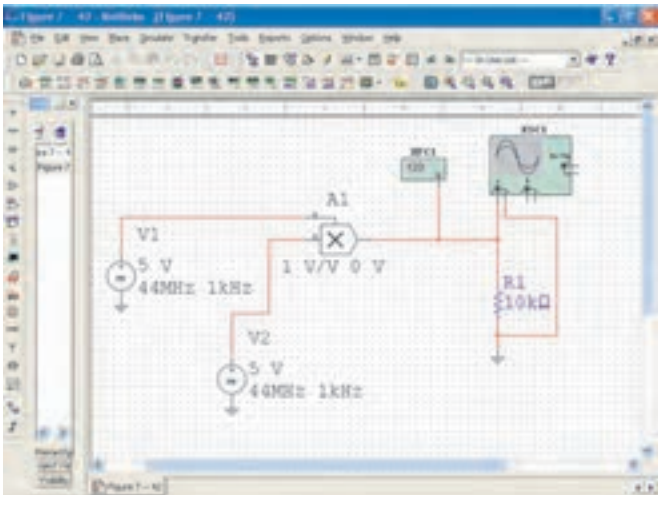
برای هنرجویان علاقه‌مند

با مراجعه به منابع مختلف از جمله سایت‌های اینترنتی مرتبط، نمونه‌های دیگری از آی‌سی‌های گیرنده و فرستنده‌های رادیویی را پیدا کنید.

فعالیت فوق برنامه

توصیه می‌شود، با استفاده از نرم‌افزارهایی نظیر مولتی سیم، مدارهای مدولاتور FM و ضرب‌کننده را مطابق شکل ۳۸ــ۷ شبیه‌سازی کنید و شکل موج خروجی را ببینید و با تغییر سیگنال ورودی تغییرات ایجاد شده در شکل موج را مشاهده کنید.





شکل ۳۸ــ۷ــ مدارهای شبیه‌سازی شده مدولاتور و ضرب‌کننده