جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش
تهیه و تحقیق این کتاب است

مبانی مخابرات و رادیو

فنی و حرفه‌ای (رشته‌های الکترونیک ـ الکترونیک و مخابرات دریایی)

۴۶۶/۹

نظام جدید آموزش متوسطه

بسم الله الرحمن الرحیم

مبانی مخابرات و رادیو

رشته‌های الکترونیک ـ الکترونیک و مخابرات دریایی

زمینهٔ صنعت

شاخهٔ آموزش فنی و حرفه‌ای

شمارهٔ درس ۲۰۸۹

۶۲۱
/۳۸۲
و۸۴۹ص
۱۳۸۴

صمدی، سیدمحمود

مبانی مخابرات و رادیو / مؤلفان: سیدمحمود صمدی، یدالله رضازاده. ـ تهران: شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۸۴.

۲۶۷ ص.: مصور. ـ (آموزش فنی و حرفه‌ای: شمارهٔ درس ۲۰۸۹)

متون درسی رشته‌های الکترونیک ـ الکترونیک و مخابرات دریایی، زمینهٔ صنعت.

برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتابهای درسی رشتهٔ الکترونیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزشهای فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش.

۱. مخابرات. ۲. رادیو. الف. رضازاده، یدالله. ب. ایران. وزارت آموزش و پرورش. دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزشهای فنی و حرفه‌ای و کاردانش. ج. عنوان. د. فروست.

۱۳۸۴

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز:

پیشنهادات و نظرات خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی تهران ـ صندوق پستی شماره ۱۵/۱۸۷۴ دفتر برنامه‌ریزی و تألیف امور فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایید.

پست الکترونیکی	info@tvoced.sch.ir
آدرس الکترونیکی	www.tvoced.sch.ir

مجوز این کتاب درگروه‌های کم‌آموزان منتخب سراسر کشور در مورد ماده ۷۹ و گروه‌های سرگروه‌های آموزشی سراسر کشور در شهریورماه ۱۳۸۰ با نظارت اعضای شورای تخصصی برنامه‌ریزی و تألیف کتابهای درسی رشته الکترونیک جهت دوره آموزش متوسطه و واحدهای مورد بررسی و تجدید نظر قرار گرفت.

وزارت آموزش و پرورش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

[illegible] دفتر برنامه‌ریزی و تألیف امور فنی و حرفه‌ای و کاردانش

[illegible] مبانی مخابرات و [illegible] ۴۵۶/۹

مؤلفان: مهندس سیدمحمود حسینی، مهندس بهاالدین رضازاده

[illegible] و نظارت بر چاپ: اداره کل چاپ و توزیع کتابهای درسی

[illegible]: مجتبی یوجی

[illegible]: طرفه سپهری

[illegible]: علیرضا رضایی‌نژاد

[illegible] شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران: تهران: کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش)

تلفن: ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۶۵۱۸/۱۳۹۵

[illegible]: آرتمان اسلامی

[illegible]: ۱۳۸۲

حق چاپ محفوظ است.

شابک ۲-۱۹۷-۰۵-۹۶۴ ۱۶۲۰

ISBN 964-05-0197-2

شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آیید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدس سرّه الشریف»

قابل توجه هنرآموزان ارجمند و هنرجویان عزیز

نکاتی در مورد نحوه‌ی اجرای کتاب مبانی مخابرات و رادیو و ضمیمه آن در روش اجرایی سالی ــ واحدی

با توجه به روش اجرایی سالی ــ واحدی در دوره متوسطه در سال ۱۳۷۹ مقرر شد تا با در نظر گرفتن چارچوب تعیین شده تغییرات اساسی در برنامه‌های درسی هنرستان‌ها به‌وجود آید. در این راستا کتاب مبانی مخابرات و رادیو نیز در کمیسیون تخصصی رشته الکترونیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کار دانش به بحث گذاشته شد و بر این اساس، نیازها و جداول هدف ــ محتوای قبلی بازبینی و اصلاح گردید و سپس در گردهمایی هنرآموزان منتخب سراسر کشور در مرداد ماه ۱۳۷۹ مورد نقد و بررسی قرار گرفت.

جداول هدف ــ محتوای جدید کتاب مجدداً بازبینی و فصل‌های جدیدی به آن اضافه شد. به منظور اجرای آزمایشی و تسریع در چاپ، مطالب جدید به‌صورت ضمیمه به کتاب قبلی اضافه و در دو جلد جداگانه منتشر گردید.

در دی‌ماه سال ۱۳۸۰ کمیسیون تخصصی تصویب کرد که کتاب مبانی مخابرات و رادیو و ضمیمه آن برای سال بعد مشابه سال جاری ولی به‌صورت یک مجموعه چاپ و در اختیار هنرجویان قرار گیرد.

اصلاحات و تغییرات اساسی کتاب به اجرای آزمایشی آن و دریافت بازخورد از سوی همکاران محترم و جمع‌بندی نتایج حاصل از کارگاه ارزشیابی کتاب در تابستان ۱۳۸۳ موکول گردید.

لذا توصیه می‌شود به منظور اجرای مطلوب برنامه درسی و بهبود فرایند «یادگیری ــ یاددهی» همکاران محترم موارد ذکر شده در فصل‌های بخش ضمیمه را مورد توجه قرار دهند و نظرات اصلاحی خود را به لحاظ محتوای کتاب فعلی، اصلاح جداول هدف ــ محتوا و ... به این دفتر ارسال نمایند تا انشاالله در آینده مورد استفاده قرار گیرد.

قابل توجه هنرآموزان و هنرجویان محترم

کتاب مبانی مخابرات و رادیو که در دسترس شما قرار دارد براساس برنامه سالی ـ واحدی اجرا می‌شود. ضروری است به نکات زیر که مربوط به ضمیمه‌ی کتاب می‌باشد توجه فرمایید.

۱ـ صفحات ۱۹۸ الی ۲۲۸ بعد از فصل اول کتاب مبانی مخابرات و رادیو آموزش داده شود.

۲ـ صفحه ۲۲۹ در انتهای فصل نهم کتاب تدریس شود.

۳ـ صفحات ۲۳۰ الی ۲۵۵ که تحت عنوان فصل یازدهم آمده است قبل از فصل دهم کتاب آموزش داده شود.

۴ـ صفحات ۲۵۶ الی ۲۵۹ ادامه‌ی فصل دهم کتاب تدریس شود.

۵ ـ صفحات ۲۶۰ و ۲۶۱ ضمیمه‌ی فصل دوازدهم است.

قابل توجه هنرآموزان ارجمند:

در صورت بروز هرگونه ابهام می‌توانید از مجموعه جداول هدف محتوا رشته الکترونیک که در گردهمایی شهریور ماه ۱۳۸۰ اصفهان در اختیار نماینده‌ی هر استان قرار داده شده است استفاده نمایید.

نکته‌ی مهم: فصل یازدهم کتاب مبانی مخابرات و رادیو تحت عنوان «تکنیک‌های عیب‌یابی» به آزمایشگاه مبانی مخابرات و رادیو انتقال یافته است و در مبحث تئوری بیان نمی‌شود.

فهرست و بودجه بندی زمانی

شماره فصل	عنوان فصل	صفحه	بودجه بندی زمانی با ۱۰ درصد تولرانس
۱	دسته‌بندی فرکانسها و طیف فرکانسی	۷_۱۱	۱ تا ۹ ساعت
۲	خطوط انتقال، آنتن و انتشار امواج	۲۲_۴۳	۱ تا ۹ ساعت
۳	مدولاسیون و انواع آن	۴۴_۶۱	۱ تا ۹ ساعت
۴	مدارهای رزونانس و دسی بل	۶۲_۹۳	۱ تا ۴ ساعت
۵	امپلی‌فایرها، مدولاتورها و میکسرها	۹۴_۱۱۰	۱ تا ۱۲ ساعت + ۲ ساعت آزمون
۶	فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی	۱۱۱_۱۲۴	۱ تا ۷ ساعت
۷	کنترلر	۱۲۵_۱۳۶	۵ ساعت
۸	تقویت کننده IF، آشکارساز AM و AGC	۱۳۷_۱۴۵	۱ تا ۸ ساعت
۹	بررسی طیفات صوتی و منبع تغذیه	۱۴۶_۱۵۴	۳ ساعت
۱۰	بررسی نقشه رادیوهای یک موج و چند موج AM	۱۵۵_۱۷۱	۱ تا ۱۲ ساعت
۱۱	آشنایی با تکنیکهای عیب یابی	۱۷۲_۱۸۱	۱ تا ۸ ساعت + ۲ ساعت آزمون
۱۲	نقشه‌ها و سوالات تکمیلی	۱۸۲_۱۹۶	—

	ضمیمه کتاب	۱۹۷
۴	اصول کار تلفن های الکترومکانیکی	۱۹۸_۲۲۸
۱۱	مدولاسیون فرکانس (FM)	۲۳۰_۲۵۵
	واژه نامه	۲۵۶_۲۶۶
	فهرست منابع و مآخذ	۲۶۷

سخنی با همکاران

سپاس پروردگار یکتا را که به ما این توفیق عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی هرچند ناچیز در جهت پیشبرد اهداف آموزش فنی و حرفه ای کشور عزیزمان برداریم.

کتابی که هم اکنون در اختیار همکاران عزیز قرار دارد، برمبنای ریز برنامه درسی مبانی مخابرات ورادیو جهت دانش آموزان سال سوم رشته الکترونیک درنظام جدید آموزش متوسطه تألیف شده است.

برنامه ریزی نظام جدید متوسطه در شاخه صنعت توسط کمیسیون تخصصی رشته الکترونیک با همکاری کارشناسان ومسئولین آموزشی و دفاتر مشاوری ذیربط صورت گرفته است و مراحل تخستین برنامه ریزی تا مرحله تدوین و تألیف با توجه به نیازهای کشور، وضعیت روحی و سنی دانش آموزان و بافت فرهنگی جامعه ازتغییرات لازم جهت بهبود کمّی و کیفی کتاب برخوردار بوده است.

بر اساس برنامه ریزی های تدوین شده، ظرافتها و پیچیدگیهای خاص بلحاظ تدوین برنامه وتألیف کتاب حاصل آمده است، ازاین رو با گذری بر صفحات بعد بطور اختصار به تشریح مراحل تألیف محتوای کتاب می پردازیم.

ابتدا براساس ریز برنامه تفصیلی ساختار اصلی کتاب مشخص و دوازده فصل آموزشی تدوین گردید. درطی کلیه مراحل بطورمستمر با هنرآموزان شاغل در هنرستانها و اساتید فن در تماس بوده ایم و نقطه نظرهای آنان را جویا شده و نکات مثبت را بکار برده ایم که این مهم به نوعی حاصل تجربیات چندین ساله مدرسین درمقاطع مختلف شاخه فنی و حرفه ای بوده است.

پس از تصویب نهائی ساختار کتاب، سه فصل ازکتاب به عنوان الگو و نمونه اولیه تألیف وبراختیار کمیسیون تخصصی رشته الکترونیک قرار گرفت. کمیسیون مذکور پس ازمطالعه وبررسی دقیق، نظرات ورهنمودهای خود را جهت بهبود کیفی وکمی کتاب اعلام نمود که این رهنمودها درتألیف فصول بعدی کتاب مورداستفاده ومداقه قرار گرفت، نهایتاً پس از اتمام کلیه فصول، اصل دست نویس به کمیسیون تخصصی ارائه و با اصلاحاتی به تصویب رسید.

در تدوین مباحث و مطالب کتاب سعی شده است که با زبانی ساده و بیانی روان بدون داخل شدن به مباحث سنگین و پیچیده ریاضی و اغلب بر مبنای تحلیل فیزیکی، تدوین کتاب صورت پذیرد. در پاره ای از موارد نیز از فرمولهای ساده ریاضی استفاده شده است که این امر اجتناب ناپذیر بوده است.

در قسمتهای مختلف کتاب مطالبی را برای دانش آموزان علاقمند درنظر گرفته ایم که از نظر علمی در سطح بالاتری قرار دارد. ازاین رو این قسمتها را با عبارت «برای مطالعه در آغاز» و «برای مطالعه در پایان» مشخص کرده ایم که این موارد در امتحانات مورد ارزشیابی قرار نمی گیرد. به بیانی ساده تر از این قسمتها سوالات امتحانی طرح نمی شود و صرفاً جهت مطالعه و دانش افزائی است. لذا از همکاران عزیز درخواست می شود هنگام طرح سوالات امتحانی این نکته را مدنظر قرار دهند.

کتاب حاضر بر مبنای اهداف رفتاری تدوین شده و پس از اتمام تدریس از فراگیر انتظار می رود که بتواند مدارهای گیرنده رادیوئی یک موج و دو موج را از نظر سیگنالهای AC و DC، نقشه فنی و عیوبی که ممکن است در آن ظاهر شود مورد تجزیه وتحلیل قرار دهد. برای رسیدن به این هدف سعی شده است که اطلاعات مربوطه به ترتیب نیاز و تسلسل منطقی در هر فصل قرار داده شود.

بعنوان مثال فصول اول تا پنجم اطلاعات پایه ای مورد نیاز را در اختیار دانش آموزان قرار می دهد. در فصل ششم فرستنده و گیرنده رادیوئی بصورت بلوک دیاگرام تجزیه و تحلیل می شود. در فصل های هفتم تا دهم مدارهای گیرنده رادیوئی از روی نقشه بررسی می شود و فصل یازدهم اصول عیب یابی را بیان می کند و فصل پایانی یعنی فصل دوازدهم اختصاص به نقشه ها و سوالات تکمیلی دارد.

ما معتقدیم این کتاب را زمانی می توان با موفقیت آموزش داد که محتوای فصول و ارتباط بین آنها بطور دقیق و کامل درذهن معلم جای گرفته باشد. از این رو توصیه می شود همکاران عزیز قبل از شروع به تدریس کلیه قسمتهای کتاب را حداقل یکبار مورد مطالعه قرار دهند و طرح درس مناسب برای هر فصل تهیه کنند. بدیهی است که برنامه ریزی طرح درس بایستی برحسب درجه بندی زمانی ارائه شده در فهرست کتاب صورت پذیرد.

از آنجایی که هیچگونه فعالیتی خارج از کاستی نیست، این کتاب نیز ممکن است دارای نقایصی باشد. از این رو، بسیار خوشحال خواهیم شد تا راهنمودهای همکاران محترم، ما را در مسیری که برگزیده ایم یاور و رهنمون باشد.

در خاتمه از اعضای کمیسیون تخصصی رشته الکترونیک، همکاران دفتر آموزش فنی و دفتر تحقیقات و برنامه ریزی معاونت فنی و حرفه ای بخاطر همکاریهای صمیمانه که در بسیاری از موارد رهگشای ما بوده است، سپاسگزاری می نمائیم.

با آرزوی موفقیت

مولفان

۱- فهرست کتاب قسمتهایی برای مطالعه یا زمینه صوری داخل کادر مشخص شده است.

سخنی با دانش آموزان

دانش آموز عزیز

کتاب مبانی مخابرات و رادیو از سری کتابهای درسی است که به علت گسترده بودن طیف کاربردی آن از حساسیت و حذابیت ویژه ای برخوردار است . گستردگی موضوع بحثی است که هر یک از واژه های مندرج در فصول مختلف کتاب می تواند چندین واحد درسی را پوشش دهد . از این رو معمولاً سوالات بسیار زیادی را برای شما مطرح می سازد که امکان پاسخ دادن به کلیه سوالات در زمان محدود آموزش وجود ندارد .

هدف اصلی از تدوین این کتاب آموزش گیرنده های رادیویی است ، و برای رسیدن به این هدف لازم است مطالب درسی تعیین شده در فصول مختلف کتاب را بطور کامل فرا گیرید و از پرسش های خارج از چارچوب جلسات درسی بپرهیزید .

برای دانش آموزان علاقمند ، مطالب اضافی تحت عنوان « برای مطالعه » پیش بینی شده است که می توانند با مطالعه مباحث مذکور بر دانش های خود بیافزایند . یادآور می شود که از قسمتهایی که « برای مطالعه » در نظر گرفته شده است آزمون ارزشیابی بعمل نمی آید .

دانش آموزانی که به فراگیری مطالب اضافی بیش از مطالب عنوان شده در کتاب علاقمند هستند می توانند از مراجع و مآخذ داده شده در انتهای کتاب بهره جویند .

موفق باشید

مولفان

فصل اول

هدف کلی

هدف از تحریر این فصل، آموزش پاره ای از اصطلاحات مخابراتی و اجزای مورد استفاده در سیستم های مخابراتی، دسته بندی فرکانسها ومفهوم طیف فرکانسی است.

فصل دوم

هدف کلی

هدف از نگارش این فصل، بررسی مختصری درباره خطوط انتقال، امواج ساکن، آنتن وانتشار امواج رادیویی است.

فصل سوم

هدف کلی

هدف ازنگارش این فصل، آموزش مفاهیم اصلی مدولاسیون وعلل استفاده از آن در فرستنده ها وگیرنده های رادیویی است.

فصل چهارم

هدف کلی

هدف ازنگارش این فصل، آموزش مدارهای رزونانس وکاربرد آنهاست. همچنین واحد دسی بل، موارد کاربرد آن ونحوه استفاده ازآن را درسنجش و مقایسه توان، مورد بررسی ومطالعه قرار خواهیم داد.

فصل پنجم

هدف کلی

هدف از نگارش این فصل، آموزش اصول نوسانسازی، انواع نوسانسازها، مدولاتورها و میکسرها به منظور درک بهتر اصول کار فرستنده ها و گیرنده های رادیویی است.

فصل ششم

هدف کلی

در این فصل، فرستنده ها و گیرنده های رادیویی به صورت بلوک دیاگرامی مورد بررسی قرار می گیرند. هدف کلی این است که فراگیر با طبقات تشکیل دهنده انواع فرستنده ها و گیرنده های رادیویی آشنایی پیدا کند و ارتباط بین طبقات را با یکدیگر تجزیه وتحلیل کند، همچنین وظیفه هریک از طبقات را با توجه به ورودیها و خروجیهای آن مورد بررسی قرار دهد.

فصل هفتم

هدف کلی

دراین فصل، ابتدا مختصری درباره مدارهای هماهنگی ورودی گیرنده های رادیویی و عناصر تشکیل دهنده آن از قبیل کادر آنتن و خازن واریابل توضیح داده می شود، سپس مدارهای کنورتور یک ترانزیستوری و دو ترانزیستوری مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

فصل هشتم

هدف کلّی

هدف از نگارش این فصل، آموزش اصول کار مدارهای IF، آشکارساز و AGC در گیرنده های رادیویی و تحلیل اجزای مدار آن است.

فصل نهم

هدف کلّی

هدف از نگارش این فصل بررسی مدار داخلی یک نمونه آی‌سی (IC) تقویت کننده سیگنال صوتی به‌صورت بلوک دیاگرام و نمونه مدار منبع تغذیه است.

فصل دهم

هدف کلّی

هدف از نگارش این فصل، آموزش مدارهای داخلی گیرنده های رادیویی یک‌موج AM، دوموج MW و SW و سه‌موج MW و SW_1 و SW_2 با استفاده از نقشه های تجارتی و علمی آن است.

فصل یازدهم

هدف کلّی

هدف از نگارش این فصل، فراگیری اصول عیب‌یابی از طریق علمی و با استفاده از فلوچارت عیب‌یابی است.

فصل دوازدهم

هدف کلّی

هدف از نگارش این فصل، تنظیم سوالات متنوعی در ارتباط با نقشه‌های گوناگون گیرنده های رادیویی برای افراد علاقه‌مند است.

فصل اول

دسته بندی فرکانسها و طیف فرکانسی

هدفهای رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می رود که:

- اجزای یک سیستم مخابراتی را نام ببرد.
- ساده ترین سیستم مخابراتی را شرح دهد.
- اجزای یک سیستم مخابراتی ـ رادیویی را نام ببرد.
- نحوه کار یک سیستم مخابراتی را با اصول کار ترانسیور مانور مقایسه کند.
- علل دسته بندی فرکانسهای مختلف را شرح دهد.
- محدوده فرکانسی و دسته بندی های مختلف فرکانسی را با استفاده از نمودار تعیین کند.
- علایم اختصاری L، F، VLF، HF، VHF و UHF را شرح دهد.
- حوزه زمان و حوزه فرکانس را با ترسیم شکل شرح دهد.
- طیف فرکانسی را تعریف کند.
- اصول کار دستگاه طیف نما را شرح دهد.
- موارد کاربرد دستگاه طیف نما را بیان کند.
- کمیتهایی را که به صورت نمودار روی دستگاه طیف نما ظاهر می شوده نام ببرد.
- هارمونیک را تعریف کند.
- هارمونیکهای موجود در موج مربعی متقارن را تشریح کند.
- طیف فرکانسی حاصل از اعمال موج مربعی به ورودی دستگاه طیف نما را ترسیم کند.
- صوت را تعریف کند و نحوه انتشار آن را شرح دهد.
- مشخصه های بلندی، شدت، ارتفاع و طنین صوت را شرح دهد.
- محدوده فرکانسهای تولیدی توسط حنجره انسان را بیان کند.
- محدوده فرکانسهای شنوایی را شرح دهد.
- طیف فرکانسی صدای انسان را توضیح دهد.
- صدای بم و زیر را شرح دهد.

پیشگفتار

یکی از ساده ترین سیستمهای مخابراتی صدای انسان است. صدای انسان از طریق هوا منتشر می شود، دهان انسان به عنوان فرستنده[1] و گوش انسان به عنوان گیرنده[2] عمل می کند. صدای انسان را نمی توان به آسانی به فواصل دور منتقل کرد، به دلیل اینکه هر قدر صدا بلندتر باشد پیام[3] از حالت خصوصی خود خارج می شود.

در گذشته های دور، انسان برای ارتباط با یکدیگر از علایم مختلفی از قبیل دود، صدای طبل، صدای بوق و انعکاس نور از یک شیء درخشان مانند آینه استفاده می کرد. کاربرد این روش تاحدودی بعد مسافت را افزایش می داد ولی پیام همچنان به صورت غیر محرمانه باقی می ماند. با وجود تمام مشکلات موجود، سالهای متمادی، اجداد ما از این روشها برای ارتباط بین دو نقطه استفاده می کردند. مطمئناً در صورت تداوم روش کهن دیگر نمی توانستیم صحبتی از تمدن امروزی و مخابرات مدرن داشته باشیم. هنگامی که در سال ۱۸۳۸ میلادی الکساندر بل دانشمند آلمانی اولین پیام تلگرافی راه دور را تا فاصله ۲۲ کیلومتری مخابره کرد، آرزوی دیرینه بشر که رویایی بیش نبود تحقق یافت.

در زمانهای گذشته، اگر کسی ادّعا می کرد که در آینده خواهد توانست با فردی در فاصله بسیار دور مکالمه کند، بی تردید مورد تمسخر قرار می گرفت. ولی امروزه این موضوع به صورت مکالمات تلفنی راه دور به آسانی امکان پذیر است. همچنین اگر شخصی ادعا می کرد که می تواند وقایعی را که در فاصله یک هزار کیلومتری اتفاق می افتد، به طور همزمان اعلام کند، او را فردی عجیب وخارق العاده می پنداشتند و القابی نظیر پیشگو و جادوگر به او نسبت می دادند.

امروزه با استفاده از رادیوی جیبی یا تلویزیونهای کوچک[4] به آسانی می توانید از وقایع گوناگونی که در سرتاسر جهان رخ می دهد اطلاع حاصل کنید. در عصر حاضر، بشر بر محدودیتهای ناشی از فاصله در ارتباطات چیره شده است. انسان با استفاده از مغز و فکر خود دستگاههایی را ساخته است که می تواند گفتار و تصویر را به فواصل بسیار دور منتقل کند. این وسایل مورد استفاده همه جامعه قرار می گیرد، ولی تعداد بسیار کمی هستند که از نحوه کار این سیستمها اطلاع دارند.

بااستفاده از سیستمهای جدید مخابراتی محدودیتهای ناشی از صدا، چشم و گوش انسان در حد غیرقابل تصوری کاهش یافته است. اختراع دستگاههای سمعی و بصری سبب شده است که خیلی سریع و با هزینه بسیار کم بتوان اطلاعات صوتی و تصویری را ضبط و برای آینده ذخیره کرد.

مخابرات نوری، از دیگر پدیده های نوینی است که وارد صنعت مخابرات شده و به زودی جایگزین سیستمهای فعلی می شود. کشف ابر رسانا[5] ها نیز راه را برای رسیدن به سیستمهای جدید مخابراتی هموار می کند.

۱ـ۱ ـ اجزای سیستمهای مخابراتی و نحوه ارتباط رادیویی

هر سیستم مخابراتی دارای اجزائی به شرح زیر است:

الف ـ فرستنده

---

۱ ـ Transmitter
۲ ـ Reciever
۳ ـ Message به معنی پیام است
۴ ـ Portable پرتابل
۵ ـ Super Conductive فلزاتی که مقاومت الکتریکی آنها صفر است

ب ـ کانال ارتباطی[1]

ج ـ گیرنده

در شکل ۱ـ۱ ساده ترین سیستم مخابراتی نشان داده شده است. در این سیستم، فرستنده دهان انسان، کانال ارتباطی هوا و گیرنده، گوش انسان است.

در شکل ۲ـ۱ یک سیستم ارتباطی رادیویی ترسیم شده است. در این سیستم فرستنده رادیویی از طریق آنتن، امواج را در فضا پخش می کند. آنتن گیرنده، امواج رادیویی منتشر شده از فرستنده را از فضا دریافت می کنند. کانال ارتباطی در این سیستم، فضای بین فرستنده و گیرنده است. کانال ارتباطی معمولاً تحت تأثیر عوامل خارجی قرار می گیرد. هرگونه عامل خارجی را که موجب اختلال در سیستم شود نویز[2] یا اغتشاش می نامند.

شکل ۱ـ۱ ساده ترین سیستم مخابراتی

شکل ۲ـ۱ ـ سیستم ارتباطی رادیویی

---

1 ـ Channel

2 ـ Noise

۱ـ۱ـ۱ـ مقایسه یک ارتباط رادیویی با ترانسفورماتور: در درس گذشته اصول کار ترانسفورماتورها، به‌طور کامل تشریح شد. در ترانسفورماتورها، بدون هیچ اتصال الکتریکی، ولتاژ از اولیه توانس به ثانویه آن منتقل می‌شود، (شکل الف ـ ۳ـ۱). ترانسفورماتور را می‌توان مشابه یک سیستم مخابراتی ساده درنظر گرفت. بدین ترتیب که سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور، به عنوان فرستنده و سیم پیچ ثانویه به عنوان گیرنده است و هسته به عنوان کانال ارتباطی محسوب می‌شود.

در ترانسفورماتور ارتباط بین اولیه و ثانویه از طریق خطوط قوای مغناطیسی برقرار می‌شود. میزان ولتاژ القایی در ثانویه ترانسفورماتور بستگی به جنس هسته و میزان ضریب کوپلاژ آن دارد، درصورتی که هسته ترانس از جنس هوا باشد، بازهم ولتاژ اولیه به ثانویه القا می‌شود (شکل ب ـ ۳ـ۱).

شکل ۳ـ۱ ـ نحوه القای ولتاژ در ترانسفورماتور

نحوه انتقال امواج بین فرستنده و گیرنده را می‌توان مشابه القای ولتاژ درثانویه ترانسفورماتور با هسته هوا دانست. درارتباط رادیویی، کانال ارتباطی که فضای بین فرستنده و گیرنده است، در حقیقت، مشابه فضای بین اولیه و ثانویه ترانسفورماتور است. یادآور می‌شود که امواج ارسالی از آنتن فرستنده ازنوع امواجی است که رفتاری مشابه امواج نورانی دارد و با سرعت سیری تقریباً برابر با سرعت نور در فضا حرکت می‌کند.

۲ـ۱ـ خودآزمایی

۱ـ۲ـ۱ـ اولین و ساده‌ترین سیستم مخابراتی را شرح دهید.

۲ـ۲ـ۱ـ کانال ارتباطی را تعریف کنید.

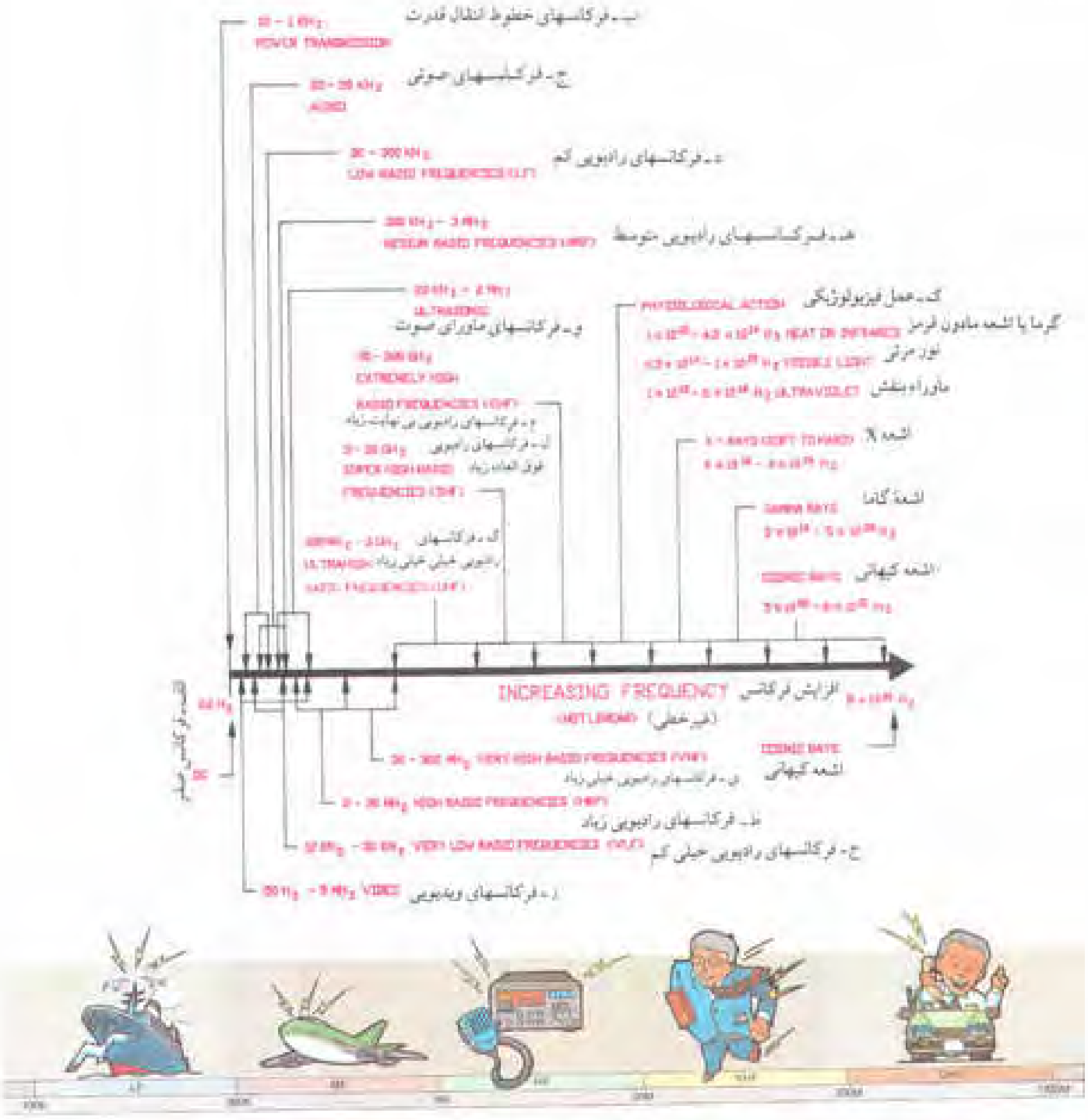
۳ـ۲ـ۱ـ به چه دلیل ترانسفورماتور با هسته هوا را می‌توان مشابه یک سیستم مخابراتی دانست؟ شرح دهید.

۴ـ۲ـ۱ـ اجزای یک سیستم مخابراتی ساده ورادیویی را نام ببرید.

۳ـ۱ـ دسته بندی فرکانسها

فرکانسهای مختلف درمدارهای الکتریکی و الکترونیکی، رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند. همین رفتار متفاوت است که برای هر مورد کاربرد ویژه‌ای را فراهم می‌کند. بدین سبب، فرکانسها را در طبقات متفاوت دسته بندی می‌کنند. در شکل ۴ـ۱ تقسیم بندی فرکانسهای مختلف[1] نشان داده شده است که به شرح آن می‌پردازیم.

۱ـ اعداد مندرج در جدول جنبه تشریفی داشته و بیشتر جهت آشنایی با استفاده از جدول یاد شده می‌باشد و دقت عددی فرکانسی را ایفا نمی‌کند.



امواج فوق العاده کوتاه کاربرد در مخابرات تلویزیونی رادیو آماتور مسافربر و تلفن سیار اتومبیل

امواج خیلی کوتاه کاربرد در FM، تلویزیون و تلفن بی‌سیم

امواج کوتاه کاربرد در مخابرات رادیویی عمومی

فرکانس رادیویی متوسط کاربرد در مخابرات رادیویی هوایی

فرکانس رادیویی کم کاربرد در مخابرات دریایی

شکل ۴ـ۱ـ دسته بندی فرکانسها

الف ـ سیگنال DC : که فرکانس آن صفر است و بیشتر به عنوان منبع انرژی در دستگاههای مختلف استفاده می شود.

ب ـ فرکانسهای ده هرتز تا یک کیلوهرتز : این فرکانسها در مولدهای قدرت و خطوط انتقال آن در نیروگاهها استفاده می شود.

ج ـ فرکانسهای صوتی : این فرکانسها درمحدوده ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز قرار دارد و محدوده گویش و شنوایی انسان را دربر می گیرد.

د ـ فرکانسهای رادیویی کم : این فرکانسها در محدوده ۳۰ کیلوهرتز تا ۳۰۰ کیلوهرتز قرار دارد و به LF مشهور است. این محدوده فرکانسی در گیرنده‌های قدیمی مورد استفاده قرار می گرفت.

هـ ـ فرکانسهای رادیویی متوسط : این فرکانسها درمحدوده ۳۰۰ کیلوهرتز تا ۳ مگاهرتز قرار دارد و باند موج متوسط را پوشش می دهد.

و ـ امواج اولتراسونیک یاماورای صوت : این امواج در محدوده ۲۰ کیلوهرتز تا ۲ مگاهرتز قرار دارد و بیشتر در دستگاههای کنترل از راه دور استفاده می شود.

ز ـ فرکانسهای تصویر یا ویدئو : این فرکانسها درمحدوده ۵۰ هرتز تا ۵ مگاهرتز قرار دارد و فرکانسهای تصویر یا ویدئو را در تلویزیون تشکیل می دهد.

ح ـ فرکانسهای رادیویی خیلی کم VLF : این فرکانسها در محدوده ۱۰ کیلوهرتز تا ۳۰ کیلوهرتز قرار دارد و امروزه به‌عنوان سیگنال رادیویی مورد استفاده قرار نمی گیرد.

ط ـ فرکانسهای رادیویی زیاد HF : این فرکانسها درمحدوده ۳ تا ۳۰ مگاهرتز قرار دارد و معمولاً موج کوتاه رادیو را تشکیل می دهد.

ی ـ فرکانسهای رادیویی خیلی زیاد VHF : این فرکانسها در محدوده فرکانسی ۳۰ مگاهرتز تا ۳۰۰ مگاهرتز قرار دارد و فرکانسهای رادیویی آماتوری و کانالهای تلویزیونی را تشکیل می دهد.

ک ـ فرکانسهای رادیویی خیلی خیلی زیاد : این فرکانسها درمحدوده ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳ گیگاهرتز[1] قرار دارد وکانالهای UHF تلویزیونی را تشکیل می دهد.

ل ـ فرکانسهای رادیویی فوق العاده زیاد SHF : محدوده فرکانسی این باند در حد فاصل ۳ گیگاهرتز تا ۳۰ گیگاهرتز قرار دارد.

م ـ فرکانسهای رادیویی بی نهایت زیاد EHF : این فرکانسها درمحدوده ۳۰ گیگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز قرار دارد. فرکانسهای SHF و EHF معمولاً باند میکروویو[2] را تشکیل می دهد.

ن ـ امواج نورانی : فرکانسهای بیشتر از ۱۰۰۰ گیگاهرتز ازمحدوده امواج رادیویی خارج شده و طیف امواج نورانی مرئی و غیرمرئی را تشکیل می دهد. بیشترین فرکانس را اشعه کیهانی دارد که در محدوده 5×10^{20} هرتز تا 8×10^{21} هرتز قرار می گیرد.

۱ـ۴ـ خودآزمایی

۱ـ۴ـ۱ـ چرا فرکانسها را در دسته بندیهای گوناگون قرار می دهند؟

۱ـ۴ـ۲ـ محدوده فرکانسهای صوتی چقدر است؟[3]

۱ـ۴ـ۳ـ محدوده فرکانسی امواج HF چیست و چه کاربردی دارد؟

۱ـ۴ـ۴ـ باند موج متوسط در چه محدوده فرکانسی قرار دارد؟

۱ـ۵ـ تجزیه و تحلیل شکل موج و طیف فرکانسی[4]

۱ـ۵ـ۱ـ حوزهٔ زمان ـ هرگاه امواج الکتریکی را بر

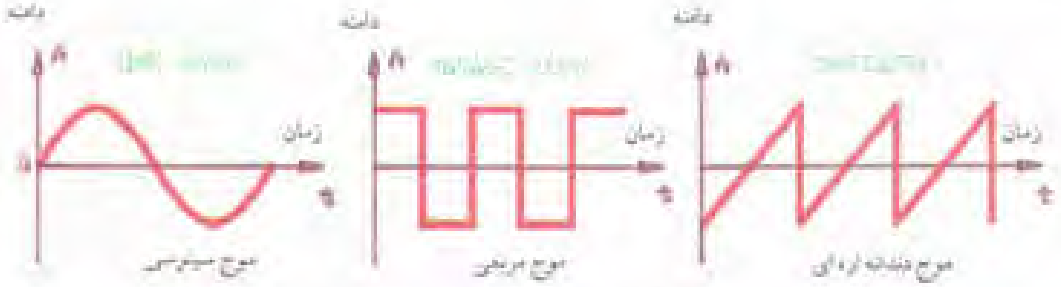
---

۱ ـ Giga Hertz گیگاهرتز برابر با یک هزار مگاهرتز است ۲ ـ Micro Wave

۳ ـ برای پاسخ به سئوالات ۱ـ۴ـ۲ و ۱ـ۴ـ۳ به جدول شکل ۱ـ۱ مراجعه کنید.

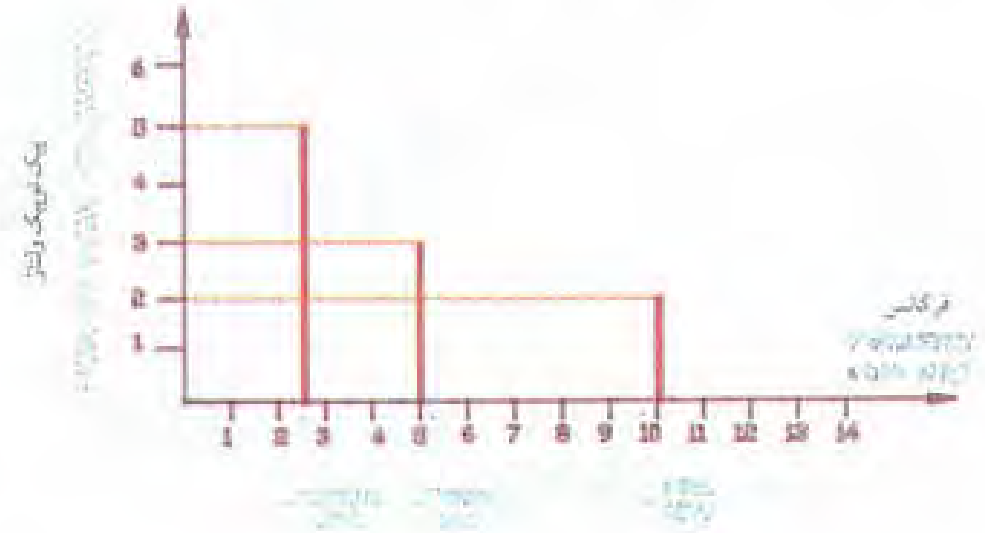
۴ ـ Frequency Spectrum

اساس تغییرات دامنه، برحسب زمان ترسیم کنیم، آن را در حوزه زمان نمایش داده‌ایم. در این حالت محور افقی برحسب زمان و محور قائم برحسب دامنه درجه بندی می‌شود. در شکل ۵ـ۱ سه سیگنال متناوب سینوسی، مربعی و دندانه اره‌ای در حوزه زمان ترسیم شده است.



شکل ۵ـ۱ ـ نمایش انواع متناوب در حوزه زمان

۲ـ۵ـ۱ـ حوزه فرکانس ـ در صورتی که بخواهیم چند سیگنال سینوسی را روی یک دستگاه محورهای مختصات نشان دهیم، از حوزه فرکانس استفاده می‌کنیم. در حوزه فرکانس محور افقی برحسب فرکانس و محور قائم برحسب دامنه درجه بندی می‌شود. در شکل ۶ـ۱ سه سیگنال سینوسی با فرکانسهای ۲۵۰ کیلوهرتز، ۵۰۰ کیلوهرتز و یک مگاهرتز که دامنه هریک به ترتیب ۵ ولت، ۳ ولت و ۲ ولت است را در حوزه فرکانس نشان داده‌ایم. ارتفاع هر خط قائم نشان دهنده دامنه سیگنال و تقاطع هر خط قائم با محور افقی، فرکانس آن را نشان می‌دهد. هر خط قائم را یک مولفه می‌نامند. مجموعه فرکانسهای نشان داده شده روی یک محور مختصات در حوزه فرکانس را در اصطلاح طیف فرکانسی می‌گویند.



شکل ۶ـ۱ ـ نمایش چند فرکانس روی یک دستگاه محورهای مختصات

۱ـ۶ـ خودآزمایی

۱ـ۶ـ۱ـ ترسیم امواج در حوزه زمان را با رسم شکل شرح دهید.

۱ـ۶ـ۲ـ ترسیم امواج در حوزه فرکانس را با رسم شکل توضیح دهید.

۱ـ۶ـ۳ـ محورهای افقی در حوزه زمان و حوزه فرکانس برحسب چیست؟

۱ـ۶ـ۴ـ طیف فرکانسی را با توجه به حوزه فرکانس تعریف کنید.

۱ـ۷ ـ دستگاه طیف نما[1]

دستگاه طیف نما وسیله‌ای است که توسط آن می‌توان مجموعه‌ای از طیف فرکانسی را مشاهده و اندازه گیری کرد. در شکل ۱ـ۷ تصویر ظاهری یک دستگاه طیف نما را ملاحظه می‌کنید. این دستگاه، به منظور مشاهده وجداسازی مجموعه فرکانسهایی که به طور همزمان به ورودی آن داده می‌شود به کار می‌رود. هر دستگاه از تعدادی فیلتر بسیار حساس تشکیل شده است. هر فیلتر می‌تواند فرکانس معینی را به طور دقیق از خود عبور دهد.

شکل ۱ـ۷ـ نمای ظاهری دستگاه طیف نما

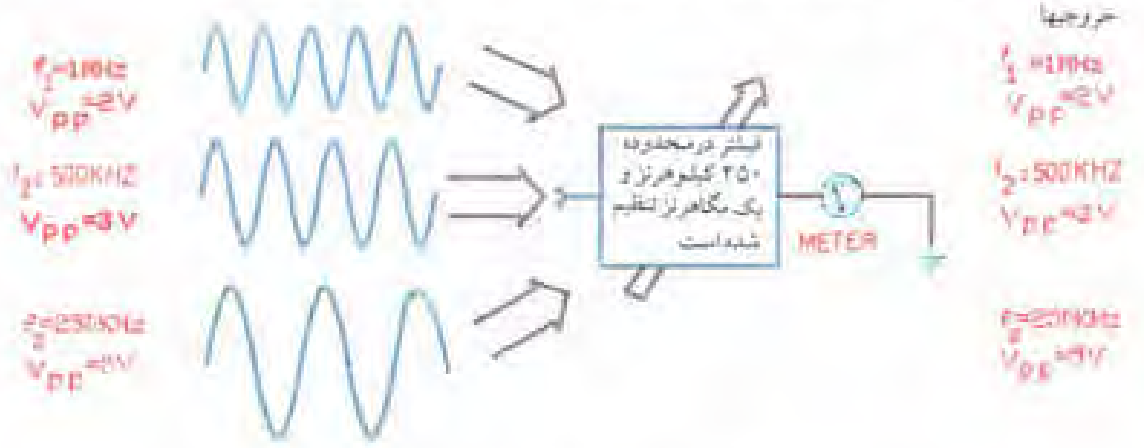
چنانچه فرکانس یا فرکانسهای مشخصی به ورودی فیلتر اعمال شود و فیلتر روی آن فرکانس تنظیم شده باشد، دستگاه طیف نما آن فرکانس را نمایش می‌دهد. در شکل ۱ـ۸ اصول کار دستگاه طیف نما به طور ساده نشان داده شده است.

---

۱ ـ Spectrum Analyzer

شکل ۸ـ۱. اصول کار دستگاه طیف نما

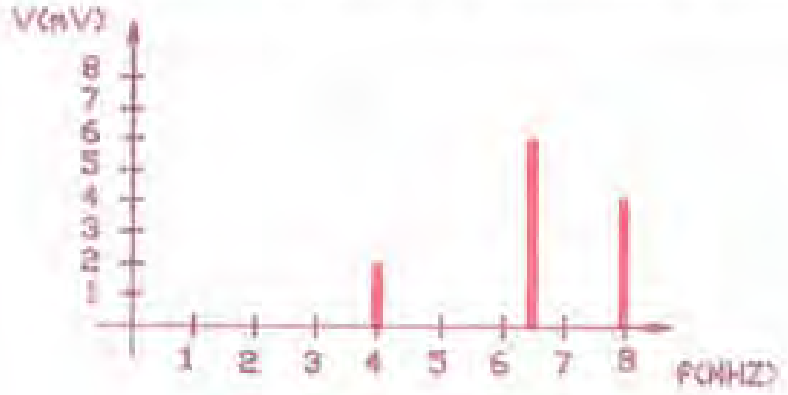
فیلتر دستگاه طیف نما را می توان طوری تنظیم کرد که چند سیگنال سینوسی خالص را از یکدیگر جدا کند و به صورت مؤلفه هایی از فرکانس، روی صفحه نمایش دهد. مثلاً اگر سیگنالهایی طبق شکل ۹ـ۱ به ورودی دستگاه متصل شود، در صورتی که فیلترهای دستگاه طیف نما، بین ۲۵۰ کیلوهرتز و ۱ مگاهرتز تنظیم شده باشد، دستگاه هر سه کمیّت را طبق شکل ۶ـ۱ روی صفحه نشان می دهد.



شکل ۹ـ۱. نحوه نمایش چند سیگنال سینوسی روی صفحه طیف نما

برای نمایش سیگنالهای خروجی شکل ۹ـ۱ روی یک دستگاه محورهای مختصات، لازم است آنها را در حوزه فرکانس نمایش دهیم. در دستگاه طیف نما، این عمل به طور اتوماتیک توسط مدارهای الکترونیکی انجام می شود. خواندن مقادیر، از روی دستگاه طیف نما، مشابهت زیادی با خواندن مقادیر فرکانس و ولتاژ از روی صفحه اسیلوسکوپ دارد. دستگاه طیف نما، مقادیر ولتاژ و فرکانس را در حوزه فرکانس نشان می دهد. در شکل ۶ـ۱ مقادیر به دست آمده از روی صفحه طیف نما را ملاحظه می کنید. درصورتی که سیگنال ورودی سینوسی یا کسینوسی باشد، دستگاه طیف نما فقط یک مؤلفه را نشان می دهد و زاویه فاز هر مؤلفه روی آن نوشته می شود.

مثال ۱ـ۱ـ یک دستگاه طیف نما اطلاعات مندرج در شکل ۱۰ـ۱ را به ما می دهد، تعیین کنید:



شکل ۱۰ـ۱

۱ـ تعداد سیگنالهای سینوسی و مقادیر فرکانسهای آنها را.
۲ـ کدام سیگنال سینوسی دارای بیشترین دامنه است.
۳ـ کدام سیگنال سینوسی دارای کمترین دامنه است.

پاسخ:
۱ـ سه سیگنال سینوسی با فرکانسهای ۴ مگاهرتز، ۶/۵ مگاهرتز و ۸ مگاهرتز
۲ـ موج سینوسی ۶/۵ مگاهرتز دامنه ای برابر با ۶ میلی ولت دارد که بیشترین دامنه است.
۳ـ موج سینوسی ۴ مگاهرتزی دارای دامنه ای برابر با دو میلی ولت است که کمترین دامنه است.

۱۰ـ۸ ـ خودآزمایی

۱ـ۸ـ۱ـ کاربرد دستگاه طیف نما را شرح دهید.

۲ـ۸ـ۱ـ ساختمان داخلی دستگاه طیف نما را به اختصار بنویسید.

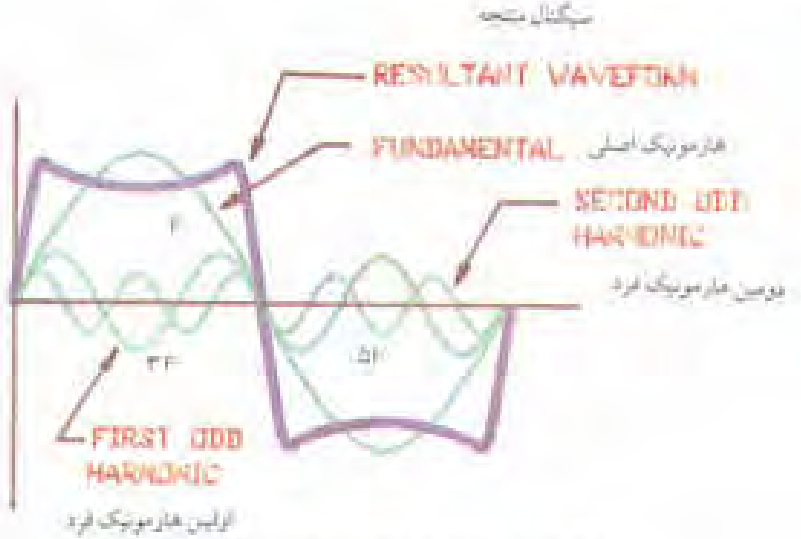
۳ـ۸ـ۱ـ نمودارهای روی دستگاه طیف نما، چه پارامترهایی را نشان می دهد؟

۱۰ـ۹ ـ نمایش موج مربعی روی دستگاه طیف نما

در صورتی که یک موج مربعی با فرکانس یک مگاهرتز به ورودی دستگاه تزریق کنیم، تعدادی مولفه سیگنال سینوسی، روی صفحه دستگاه ظاهر می شود. فرکانس این امواج، به ترتیب برابر با ۱مگاهرتز، ۳مگاهرتز، ۵ مگاهرتز، ۷مگاهرتز و... است. این فرکانسها مضرب فردی از فرکانس اصلی هستند. مضربهای زوج از فرکانس اصلی را در اصطلاح هارمونیک[1] می نامند. چون در موج مربعی هارمونیکها مضربهای فردی از فرکانس اصلی هستند آنها را هارمونیک فرد می گویند. هر موج مربعی خالص، از بی نهایت هارمونیک فرد تشکیل شده

۱ ـ Harmonic به معنی هم آهنگ بودن است.

است. از مجموع لحظه ای دامنه های هارمونیکها، سیگنال اصلی به دست می آید. در شکل ۱۱ـ۱ موج مربعی با سه هارمونیک آن نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود به علت کسالی نبودن تعداد هارمونیکها موج مربعی دارای اعوجاج است.



شکل ۱۱ـ۱ـ موج مربعی و هارمونیکهای فرد آن

برای به دست آوردن مقدار دامنه هریک از هارمونیکها، از رابطه ۱ـ۱ استفاده می کنیم[1]. این رابطه فقط برای موج مربعی مقادیر قابل استفاده است.

$$V_n = \frac{2V_{pp}}{n.\pi} \qquad 1-1$$

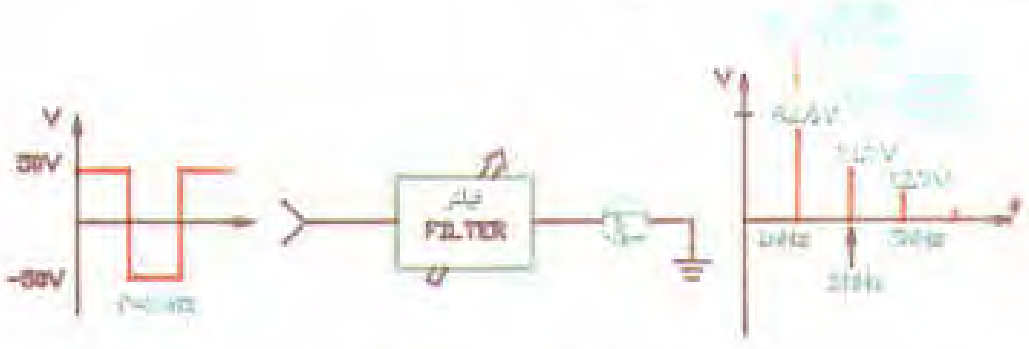
که در آن دامنه ولتاژ هارمونیک n ام $= V_n$

ولتاژ پیک تو پیک موج مربعی $= V_{pp}$

عدد ثابت $\pi = 3/14159$

شماره هارمونیک $n =$

در صورتی که موج مربعی روی یک ولتاژ DC سوار شده باشد، مقدار ولتاژ DC نیز به هارمونیکها اضافه می شود. در شکل ۱۲ـ۱ طیف فرکانسی موج مربعی مورد بحث، ترسیم شده است.



شکل ۱۲ـ۱ـ طیف فرکانسی موج مربعی

۱ـ این رابطه بر اساس بسط سری فوریه Fourier Series به دست می آید که از بحث ما خارج است.

با توجه به توضیحات فوق درمی یابیم که هرموج غیرسینوسی از ترکیب تعدادی موج سینوسی به وجود می آید. این امواج، توسط دستگاه طیف نما، از یکدیگر قابل تفکیک است. هرقدر شماره هارمونیک افزایش می یابد، مقدار دامنه آن کم می شود.

۱۰ـ۱ـ خودآزمایی

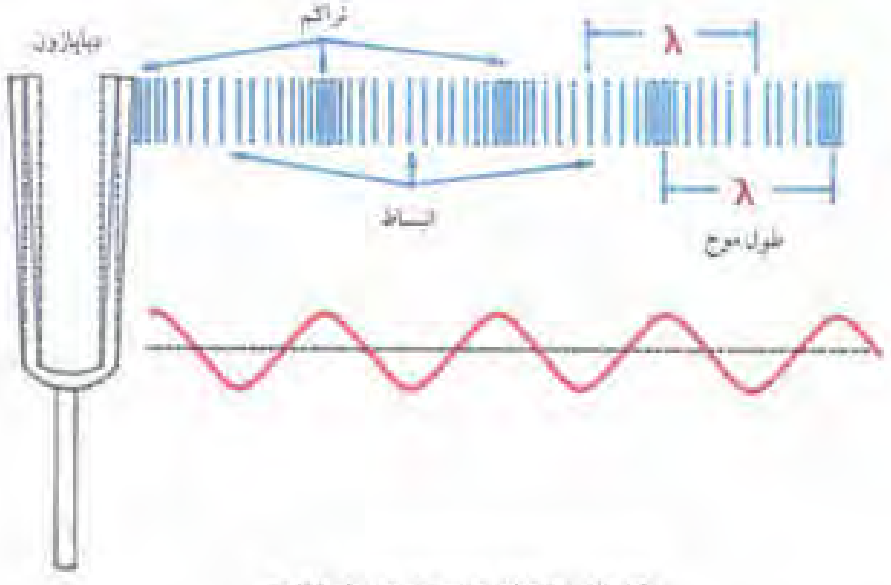
۱ـ۱۰ـ۱ـ هارمونیک را تعریف کنید.

۲ـ۱۰ـ۱ـ موج مربعی متقارن، دارای چه هارمونیکهایی است؟

۱۱ـ۱ـ طیف فرکانسی صوت

۱ـ۱۱ـ۱ـ **صوت چیست؟** صوت مجموعه ای از ارتعاشات مکانیکی است. ارتعاشات صوتی توسط یک ماده قابل ارتعاش تولید می شود. اگر به یک کاسه فلزی یا بلوری ضربه‌ای وارد کنید به ارتعاش درمی آید و صدای ارتعاشات شنیده می شود. لرزشهای به وجود آمده در اثر حرکت اتومبیل را می توانید از طریق لمس کردن شیشه های ساختمان که در حال لرزش است حس کنید.

۲ـ۱۱ـ۱ـ **صوت چگونه منتشر می شود؟** حرکت صوت شبیه امواج آب است. ارتعاشات صوتی با ملکولهای هوا برخورد می کند و از ملکولی به ملکول دیگر منتقل می شود و حرکتی مشابه امواج آب به وجود می آورد. برخورد ملکولها و جابه جایی آنها آن قدر ادامه می یابد تا ضعیف شود. به عبارت دیگر انرژی صوتی به صورت موج در هوا منتشر می شود و هوا را به تناوب متراکم می کند. شکل ۱۳ـ۱ نحوه انتشار صوت منتشر شده از یک دیاپازون[1] را در هوا نشان می دهد. ارتعاشات تولید شده توسط دیاپازون را که یک سیگنال سینوسی خالص است تون صوتی[2] می نامند. همان طور که مشاهده می شود، هنگامی که دامنه صوت بیشترین مقدار مثبت را دارد، در ملکولهای هوا بیشترین فشردگی (تراکم) و در یک منفی کمترین فشردگی (انبساط) ایجاد می شود.



شکل ۱۳ـ۱ـ ارتعاش تون صوتی توسط دیاپازون

۱ـ دیاپازون یک وسیله U شکل است که با ضربه زدن به آن فرکانسهای مختلف تولید می شود.

۲ ـ Audio Tone

۳ـ۱۱ـ۱ـ بلندی صوت: اگر به یک طرف فلزی یا یک تار مرتعش ضربه ای وارد کنیم و آن را به ارتعاش درآوریم، پس از مدتی احساس می کنیم که صوت ضعیف می شود. شدت و ضعف دامنه صوت را که توسط حس شنوایی تشخیص داده می شود، بلندی صوت می نامند. در صورتی که صوت یک تون سینوسی ساده باشد، دامنه میگذال صوتی را بلندی صوت می نامند. هرقدر مقدار این دامنه بیشتر باشد صدا بلندتر است.

۴ـ۱۱ـ۱ـ انرژی صوت: همهٔ امواج از جمله امواج صوتی انرژی را از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل می کنند. اگر فرکانس و دامنه موج صوتی، دارای مقدار معینی باشد، انرژی آن نیز، مقدار مشخصی خواهد بود. مقدار انرژی به فرکانس منبع و ویژگیهای محیطی که صوت در آن منتشر می شود بستگی دارد: در صورتی که افت انرژی در محیط صفر باشد، اندازهٔ انرژی موج برابر است با مقدار کاری که منبع انجام داده است. مقدار انرژی صوتی در واحد زمان را توان صوتی می نامند. مقدار انرژی صوتی و توان صوتی با انرژی و توان مکانیکی قابل مقایسه است.

۵ـ۱۱ـ۱ـ شدت صوت: مقدار توان صوتی در واحد سطح را شدت صوت می گویند. شدت صوت بر حسب میکروواتِ بر متر مربع یا وات بر سانتی متر مربع سنجیده می شود. برای آشنایی بیشتر با شدت صوت به ذکر شدت صوت، برای چهار نوع صدای مختلف می پردازیم:

الف ـ آستانه شنوایی انسان 10^{-6} میکروواتِ بر متر مربع است که به عنوان مبنای سنجش صوت مورد استفاده قرار می گیرد.

ب ـ صدای نفس کشیدن 10^{-5} میکروواتِ بر متر مربع است.

ج ـ آستانه دردناکی که موجب آزار گوش می شود برابر با 10^{6} میکروواتِ بر متر مربع است.

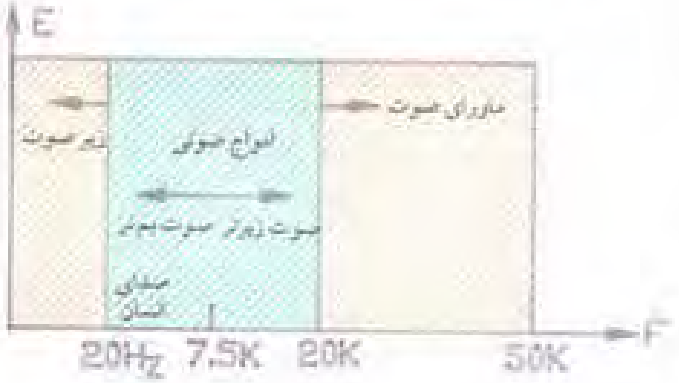
د ـ صدای غرش هواپیما در لحظه بلند شدن برابر با 10^{8} میکروواتِ بر متر مربع است.

۶ـ۱۱ـ۱ـ ارتفاع یا آهنگ صوت: گوش انسان می تواند صداهای ساده ای را که با یک شدت احساس می شوند، از یکدیگر تمیز دهد. تفکیک صداها با استفاده از اصطلاحات زیر و بم صورت می گیرد. عاملی که زیر و بم صوت را تعیین می کند، ارتفاع صوت نامیده می شود. ارتفاع صوت بستگی به فرکانس صوت دارد. هرقدر فرکانس صوت بیشتر باشد صدا زیرتر و هرقدر فرکانس صوت کمتر باشد صدا بم تر است. مثلاً صدای طبل بم، و صدای سنج زیر است.

۷ـ۱۱ـ۱ـ طنین صوت: هرگاه دو تار مرتعش A و B را که طول یکسانی دارند با یک شدت به ارتعاش درآوریم، تون صوتی یکسانی را تولید می کنند. درصورتی که این تارهای صوتی هرکدام به طور جداگانه روی یک ابزار موسیقی مثلاً ویلن و تار نصب شود به طوری که شرایط هر دو از نظر کشش و طول یکسان باشد، با ارتعاش هریک از تارها صدای متفاوتی تولید می شود. این تفاوت مربوط به عاملی به نام طنین صوت است. صوت حاصل از یک تار صوتی یا یک دیاپازون دارای ویژگی طنین نیست. طنین صوت زمانی به وجود می آید که فرکانس اصلی با هارمونیکهای آن ترکیب شود. اصوات انسانها دارای طنینهای متفاوت هستند، چراکه از ترکیب یک فرکانس اصلی و تعدادی هارمونیک به وجود می آید. محدوده فرکانسهای قابل تولید توسط حنجرهٔ انسان در فاصله صد هرتز تا حداکثر ۷/۵ کیلوهرتز است. ابزار موسیقی می توانند فرکانسهایی در محدوده ۳۰ هرتز تا ۱۵ کیلوهرتز تولید کنند. محدودهٔ فرکانسهای شنوایی انسان در فاصله ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز قرار دارد. محدودهٔ فرکانسهای صوتی تولیدی وشنوایی در حیوانهای مختلف فرق می کند؛ مثلاً: دلفین می تواند فرکانس ۱۵۰ هرتز تا ۱۵۰ کیلوهرتز را بشنود و فرکانس ۷ کیلوهرتز تا ۱۲۰ کیلوهرتز را تولید کند. به همین دلیل حیوانات می توانند ارتعاشات قبل از وقوع زلزله را احساس و اعلام خطر کنند.

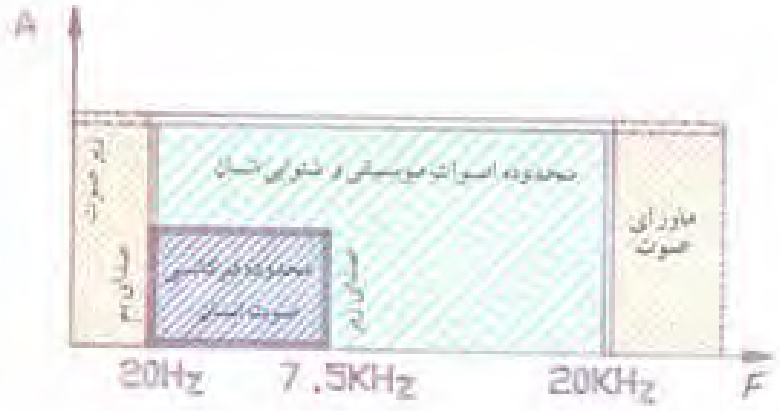
۸ـ۱۱ـ۱ـ محدودهٔ فرکانس صوتی و طیف آن :

درصورتی که صدای انسان را پس از تبدیل کردن به انرژی الکتریکی به ورودی دستگاه طیف نما وصل کنیم، طیف فرکانسی صوت روی صفحه ظاهر می شود و متناسب با ترکیب صوت، فرکانسهای متفاوتی مشاهده می شود. به عنوان مثال چون صدای کودک و صدای ویلن زیراست از این رو در طیف فرکانسی آن تعداد مولفه های فرکانسی بالا، بیشتراست. درصورتی که در صداهای بم مانند صدای مردان و صدای طبل تعداد مولفه های فرکانسی کمتر است. درشکل ۱۴ـ۱ محدودهٔ طیف فرکانسی صوتی ماورای صوت و زیر صوت ترسیم شده است. فرکانسهای بالاتر از محدوده فرکانسی صوتی را فرکانسهای ماورای صوت و فرکانسهای کمتر را فرکانسهای مادون صوت یا زیر صوت می نامند.



شکل ۱۴ـ۱ـ محدوده طیف فرکانسی صوتی، زیر صوت و ماورای صوت

درشکل ۱۵ـ۱ محدودهٔ فرکانسی صوت انسان که درفاصله ۲۰هرتز تا ۷/۵ کیلوهرتز قرار دارد و محدوده فرکانسی اصوات موسیقی که در فاصله ۲۰ هرتز تا ۲۰کیلوهرتز قرار دارد ترسیم شده است. همان طور که ملاحظه می شود، هرقدر مقدار فرکانس افزایش یابد صدا زیرتر و هرقدر فرکانس کاهش یابد صدا بم تر می شود. محدوده شنوایی انسان نیز بین ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز قرار دارد که برای افراد مختلف متفاوت است.



شکل ۱۵ـ۱

همان طور که قبلاً متذکر شدیم، با اضافه شدن هارمونیکها به فرکانس اصلی، طنین صوت تغییر می کند. تفکیک صدای افراد از طریق طنین آن امکان پذیر است. در شکل الف ۱۶ـ۱ طیف فرکانسی صدای یک مرد (صدای بم) درشکل ب ۱۶ـ۱ طیف فرکانسی صدای یک کودک (صدای زیر) را که توسط طیف نما آنالیز شده است به عنوان نمونه ملاحظه می کنید.

الف ـ صدای مرد (بم)

ب ـ صدای کودک (زیر)

شکل ۱۶ـ۱ـ طیف فرکانسی صدای تولید شده توسط یک مرد و یک کودک

با بررسی شکل ۱۶ـ۱ درمی یابیم که در طیف فرکانسی صدای مرد، فرکانسهای زیاد وجود ندارد یا اگر وجود داشته باشد دامنه آن بسیار کم است درصورتی که در طیف فرکانسی صدای کودک فرکانسهای کم وجود ندارد یا در صورت موجود بودن، دامنه آن بسیار کم است. بنابراین هرقدر مقدار فرکانس افزایش یابد صدا زیرتر می شود.

۱۲ـ۱ـ خودآزمایی

۱ـ۱۲ـ۱ـ دقت صوت را شرح دهید.

۲ـ۱۲ـ۱ـ نحوه انتشار صوت چگونه است؟

۳ـ۱۲ـ۱ـ لون صوتی چیست؟ شرح دهید.

۴ـ۱۲ـ۱ـ بلندی صوت، شدت صوت، ارتفاع صوت و طنین صوت را تعریف کنید.

۵ـ۱۲ـ۱ـ شدت صوت را با چه واحدی اندازه می گیرند؟

۶ـ۱۲ـ۱ـ صدای نفس کشیدن دارای شدتی برابر باچند میکروولت بر مترمربع است؟

۷ـ۱۲ـ۱ـ محدوده فرکانسی گویش و شنوایی انسان چقدر است؟

۸ـ۱۲ـ۱ـ انرژی وتوان صوت راتعریف کنید.

فصل دوم

خطوط انتقال، آنتن و انتشار امواج

هدفهای رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می رود که:

- اصطلاحات خطوط انتقال، امواج ساکن و آنتن را تعریف کند.
- مفهوم دقیق هریک از اصطلاحات بالا را شرح دهد.
- مدار معادل ایده آل و غیر ایده آل خطوط انتقال را رسم کند. (برای مطالعه)
- اجزای تشکیل دهنده مدار معادل خطوط انتقال را شرح دهد. (برای مطالعه)
- خطوط انتقال دو سیمه و کابل کواکسیال را شرح دهد. (برای مطالعه)
- روابط امپدانس مشخصه خطوط انتقال دو سیمه و کابل کواکسیال را شرح دهد (برای مطالعه).
- مسائل مربوط به امپدانس مشخصه خطوط انتقال را حل و درباره نتایج حاصله بحث کند. (برای مطالعه)
- چگونگی تشکیل امواج ساکن بر روی مانع سخت و نرم را شرح دهد. (برای مطالعه)
- چگونگی تشکیل امواج ساکن در خطوط انتقال را تشریح کند. (برای مطالعه)
- چگونگی توزیع جریان و ولتاژ در خطوط انتقال را با رسم شکل شرح دهد. (برای مطالعه)
- میدانهای الکتریکی و مغناطیسی آنتن را با رسم شکل، شرح دهد.
- چگونگی تشعشع آنتن را با رسم شکل شرح دهد (برای مطالعه).
- آنتن دیپل را شرح دهد.
- منحنیهای توزیع ولتاژ و جریان و بارهای الکتریکی در آنتن دیپل را رسم کند.
- پلاریزاسیون و انواع آن را شرح دهد. (برای مطالعه)
- پرتو تشعشعی آنتن دیپل را رسم کند (برای مطالعه).
- مقاومت تابشی و توان تابشی آنتن را تعریف کند.
- اصطلاحات بهره آنتن و توان آنتن را توضیح دهد.
- طرز کار آنتن مارکنی را شرح دهد.
- آنتنهای دیپل خمیده، میله فریت و آنتن بشقابی را شرح دهد.
- امواج زمینی، آسمانی و فضایی را توضیح دهد.
- محدوده فرکانسی امواج زمینی، آسمانی و فضایی را بیان کند.

پیشگفتار

نگاهی به بام خانه های اطراف بیندازید. معمولاً روی هر بام یک آنتن تلویزیون قرار دارد. آیا هرگز فکر کرده اید این آنتنها چه نقشی دارند؟ شاید میله های کم اهمیتی باشند که بودن یا نبودن آنها تأثیری در کار تلویزیون ندارد! باکمی دقت درمی یابید که یک سیم روکش دار که در اصطلاح سیم آنتن یا خط انتقال نامیده می شود، آنتن را به دستگاه تلویزیون وصل می کند.

آیا هر نوع سیمی را می توان جایگزین سیم آنتن تلویزیون کرد؟ به سیم آنتن تلویزیون رنگی و تلویزیون سیاه و سفید توجه کنید. ساختمان آنها، با یکدیگر متفاوت است. سیم رابط دستگاههای الکتریکی مختلف از قبیل اتوی برقی، چراغ مطالعه و ... نیز باهم تفاوت دارد. علت این تفاوت در چیست؟ حتماً دلیل خاصی وجود دارد. برای درک بهتر مطلب آزمایش ساده ای را انجام دهید. تلویزیون را روشن کنید و آن را روی کانالی قرار دهید که دارای برنامه باشد. سیم آنتن را که از طریق یک فیش مخصوص به تلویزیون متصل است جدا کنید. چه اتفاقی می افتد؟ برنامه قطع می شود یا گیرنده دارای پرفک می شود. آنتن رادیوی اتومبیل را پایین بکشید. چه اتفاقی می افتد؟ رادیو خوب کار نمی کند.

روی تلویزیونهای کوچک، گیرنده های رادیویی خانگی و دستگاههای رادیو ضبط نیز آنتن میله ای وجود دارد. درصورتی که آنتن به طور صحیح تنظیم نشده باشد، کیفیت صوت یا تصویر مطلوب نخواهد بود. بنابراین آنتن نقش مهمی در دریافت یا انتشار امواج رادیویی دارد.

امواج رادیویی چگونه منتشر می شوند؟ آیا جابه جایی ملکولهای هوا، امواج رادیویی را منتقل می کند؟ عملاً این طور نیست. امواج رادیویی دارای مشخصات ویژه ای هستند که می توان آنها را مشابه امواج نوری دانست.

دراین فصل سعی خواهیم کرد به سوالاتی که در ارتباط با خطوط انتقال، آنتن و انتشار امواج مطرح می شود، به زبان ساده پاسخ دهیم.

یادآور می شود که بحث علمی درباره هریک از موارد عنوان شده دراین فصل هریک بتنهایی شامل چند واحد درسی است، ازاین رو محتوای این فصل بیشتر جنبه معرفی و آشنایی دارد. برای کسب اطلاعات بیشتر می توانید به مراجع مختلفی که در ارتباط باخطوط انتقال، آنتن وانتشار امواج است، مراجعه کنید.

۱ـ۲ـ خطوط انتقال و انواع آن

۱ـ۱ـ۲ـ خطوط انتقال[۱]: خطوط انتقال، برای انتقال انرژی الکتریکی ازیک نقطه به نقطهٔ دیگر به کار می روند. در فرستنده‌ها و گیرنده های رادیویی و تلویزیونی، این خطوط دستگاههای فرستنده وگیرنده را به آنتن مرتبط می کنند.

خطوط انتقال در فرکانسهای کم مانند سیمهای معمولی و در فرکانسهای بالا مانند مدارهای RLC عمل می کنند.

۲ـ۱ـ۲ـ انواع خط انتقال: برای اتصال آنتن به دستگاه فرستنده یاگیرنده از دو نوع خط انتقال استفاده می شود:

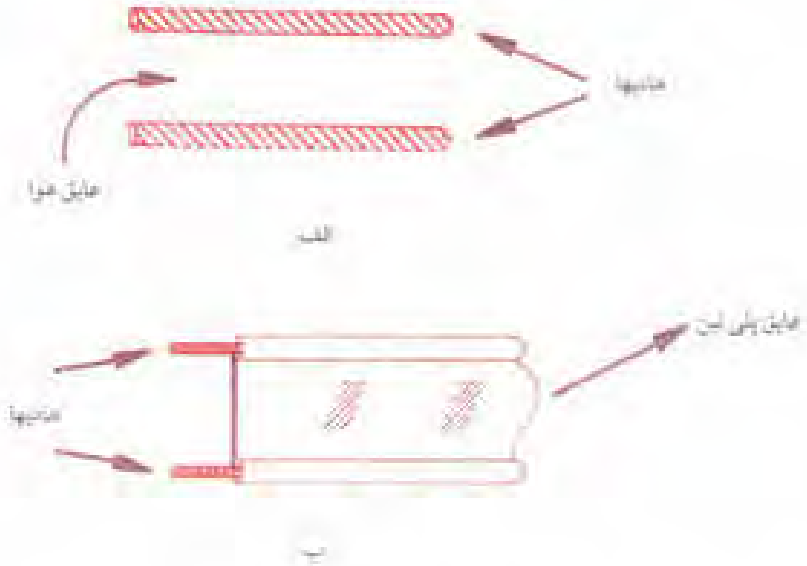
الف ـ خط انتقال دو سیمه[۲] یامتعادل

ب ـ خط انتقال هم‌محور[۳] (کابل کواکسیال یا نامتعادل)

خط انتقال دوسیمهـ خط انتقال دو سیمه از دو سیم موازی تشکیل شده است، که فاصله بین آنها را هوا یا یک ماده دی الکتریک می پوشاند. درشکل الف ۱ـ۲ یک نمونه خط انتقال دو سیمه با عایق هوا و در شکل ب ۱ـ۲ یک خط

---

۱ ـ Transmission Lines ۲ ـ Parallel Wire (balanced line) ۳ ـ Coaxial (unbalanced line)



شکل ۲ـ۱ـ خط انتقال دوسیمه

انتقال دو سیمه با عایق پلی تین[1] آمده است. از این خطوط به عنوان سیم رابط آنتن تلویزیون استفاده می شود.

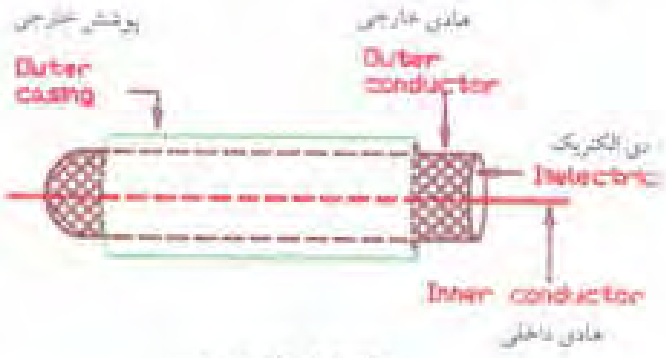
خط انتقال هم محور ـ خط انتقال هم محور را کابل کواکسیال یا خط انتقال نامتعادل نیز می نامند. این نوع کابل به عنوان سیم آنتن در تلویزیونهای سیاه و سفید و رنگی استفاده می شود. اجزای تشکیل دهنده کابلهای هم محور به شرح زیر است: (شکل ۲ـ۲)

الف ـ هادی داخلی که در مرکز کابل قرار دارد و محور کابل را تشکیل می دهد.

ب ـ هادی خارجی که معمولاً به صورت سیم بافته شده در سرتاسر کابل کشیده می شود. این سیم، به عنوان حفاظ الکتریکی یا شیلد[2] استفاده می شود. این حفاظ، مانع تأثیر میدانهای خارجی روی کابل یا میدانهای تولید شده توسط کابل روی دستگاههای دیگر می شود. در عمل، سیم حفاظ، به شاسی دستگاه وصل می شود.

ج ـ عایق بین دو هادی داخلی و خارجی که ضریب دی الکتریک آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

د ـ پوشش خارجی کابل که عایق است و از نظر مکانیکی کابل را حفاظت می کند.



شکل ۲ـ۲ ـ کابل هم محور

۲ـ۲ـ خودآزمایی

۱ـ۲ـ۲ـ خط انتقال را تعریف کنید.

---

۱ ـ Polythene

۲ ـ Shield

۲ـ۲ـ۲ـ چند نوع خط انتقال می شناسید؟ نام ببرید. ببرید.

۲ـ۲ـ۳ـ اجزای تشکیل دهنده کابل کواکسیال را نام ۲ـ۲ـ۴ـ خطوط انتقال متعادل و نامتعادل کدامند؟

(برای مطالعه، آغاز)

۳ـ۲ـ مدار معادل خط انتقال

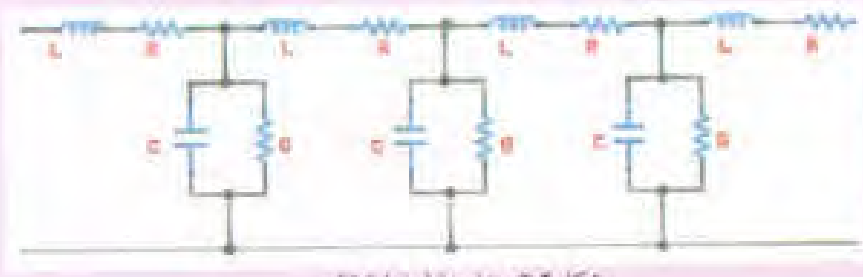
مدار معادل خط انتقال برمبنای واحد طول سنجیده می شود. برخلاف یک سیم معمولی، مدار معادل این خطوط، از مجموعه L و R به طور سری و مجموعه C و G به طور موازی تشکیل می شود.

مقاومت R مقدار مقاومت اهمی سری موجود در واحد طول خط است، که برابر با مجموع مقاومتهای اهمی هر دو سیم است. مقاومت اهمی هرسیم برابر با $\frac{R}{۲}$ ومقدار $R=\frac{R}{۲}+\frac{R}{۲}$ است. واحد R برحسب اهم برکیلومتر است. L اندوکتانس سری درواحد طول خط، تعریف می شود و برابر با مجموع اندوکتانسهای هر دو سیم درواحد طول است. اگر اندوکتانس هر خط را $\frac{L}{۲}$ درنظر بگیریم، مقدار $L=\frac{L}{۲}+\frac{L}{۲}$ خواهد شد. واحد L برحسب هانری برکیلومتر است. G قابلیت هدایت الکتریکی بین دو سیم، درواحد طول است. این هدایت به علت ایده آل نبودن عایق بین دو سیم به وجود می آید. واحد G برحسب زیمنس برکیلومتر یا مو[۱] برکیلومتر است.

C ظرفیت خازنی بین دو سیم درواحد طول خط تعریف می شود. واحد C فاراد برکیلومتر است. درشکل ۲ـ۳ مدارمعادل یک خط انتقال با استفاده از پارامترهای $\frac{R}{۲}$ و $\frac{L}{۲}$ و G و C رسم شده است.

شکل ۲ـ۳ـ مدار معادل خط انتقال

درشکل ۲ـ۳ اگر به جای $\frac{R}{۲}$ و $\frac{L}{۲}$ مقادیر معادل آنها یعنی R و L را قراردهیم مدار معادل شکل ۲ـ۴ بدست می آید.



شکل ۲ـ۴ـ مدارمعادل خط انتقال

۱ـ Mho

۱ـ۳ـ۲ـ مدار معادل خط انتقال ایده‌آل: در فرکانسهای بالا اگر $X_L >> R$ و $X_C << \frac{1}{G}$ باشد، مدار معادل خط انتقال بدون اتلاف به دست می‌آید. این مدار را مدار معادل خط انتقال ایده‌آل می‌نامند. در شکل ۵ـ۲ دو نوع مدار معادل خط انتقال ایده‌آل رسم شده است.

شکل ۵ـ۲ـ مدار معادل خط انتقال ایده‌آل

۴ـ۲ـ خودآزمایی

۱ـ۴ـ۲ـ مدار معادل کامل یک خط انتقال را رسم کنید.

۲ـ۴ـ۲ـ با افزایش فاصله بین دو سیم در یک خط انتقال، کدام یک از مقادیر R و L و C و G تغییر می‌کند؟ چرا؟

۳ـ۴ـ۲ـ در چه صورت می‌توان خط انتقال را ایده‌آل در نظر گرفت؟

۴ـ۴ـ۲ـ مدار معادل خط انتقال ایده‌آل را رسم کنید.

۵ـ۲ـ امپدانس مشخصه خط انتقال

امپدانس مشخصه خط انتقال ایده‌آل از رابطه ۱ـ۲[1] به دست می‌آید.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \qquad ۱ـ۲$$

Z_0 = امپدانس مشخصه خط انتقال برحسب اهم

L = اندوکتانس سری در واحد طول خط برحسب هانری بر کیلومتر

C = ظرفیت خازنی بین دو سیم در واحد طول خط برحسب فاراد بر کیلومتر

مثال ۱ـ۲ـ امپدانس مشخصه خط انتقال ایده‌آل را با فرض $L = ۰/۲\mu H$ و $C = ۴۰PF$ محاسبه کنید.

پاسخ:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{۰/۲\times۱۰^{-۶}(H)}{۴۰\times۱۰^{-۱۲}(F)}} = ۷۰/۷\Omega$$

۱ـ رابطه امپدانس مشخصه با استفاده از تئوری فیلترها محاسبه می‌شود. اثبات این رابطه، از حوزه بحث ما در این کتاب خارج است.

۱ـ۵ـ ۲ـ امپدانس مشخصه خط انتقال دو سیمه: امپدانس مشخصه خط انتقال دو سیمه به مشخصات فیزیکی آن بستگی دارد و از رابطه علمی ـ تجربی ۲ـ۲[۱] قابل محاسبه است.

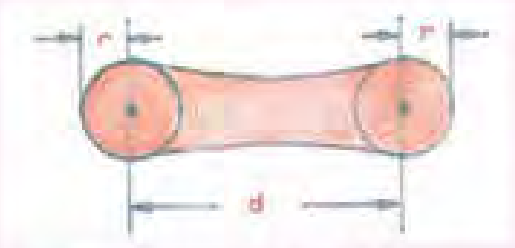
$$Z_O = ۲۷۶ \log \frac{d}{r} \qquad ۲ـ۲$$

Z_O امپدانس مشخصه خط انتقال برحسب اهم

d فاصله دومحور سیمها از یکدیگر برحسب سانتی متر

r شعاع هریک از سیمها بر حسب سانتی متر

درشکل ۶ـ۲ برش مقطع خط انتقال دو سیمه نشان داده شده است.

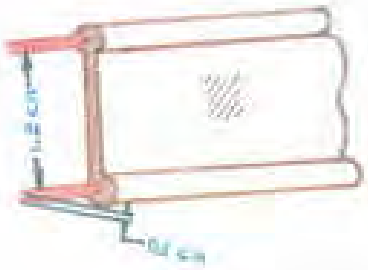


شکل ۶ـ۲ـ سطح مقطع خط انتقال دو سیمه

مثال ۲ـ۲ـ درشکل ۷ـ۲ سیم رابط آنتن تلویزیون سیاه و سفید ترسیم شده است. با توجه به مقادیر داده شده درشکل، امپدانس مشخصه سیم را حساب کنید.

$\log ۲ = ۰/۳$

$\log ۳ = ۰/۴۸$



شکل ۷ـ۲ـ سیم رابط آنتن تلویزیون

پاسخ:

$$Z_O = ۲۷۶ \log \frac{۱/۲}{۰/۱} = ۲۷۶ \log ۱۲ = ۲۷۶ \log (۳ \times ۴)$$

$$Z_O = ۲۷۶ (\log ۳ + \log ۴) = ۲۷۶ (\log ۳ + ۲ \log ۲)$$

$$Z_O = ۲۷۶ (۰/۴۸ + ۲ \times ۰/۳) = ۲۷۶ \times ۱/۰۸ = ۲۹۷/۸ \Omega \simeq ۳۰۰ \Omega$$

۱ـ رابطه ۲ـ۲ با استفاده از تئوری میدانها به دست می آید که در آن عدد ۲۷۶ امپدانس فضای آزاد بین دو سیم درنظر گرفته شده است. بررسی بیشتر این رابطه از بحث ما در این کتاب خارج است.

۲ـ۵ـ۲ـ امپدانس مشخصه کابل کواکسیال: امپدانس مشخصه خط انتقال هم محور به مشخصات فیزیکی کابل بستگی دارد و از رابطه ۳ـ۲ به دست می آید.

۳ـ۲

$$Z_0 = \frac{۱۳۸}{\sqrt{K}} \log \frac{D}{d}$$

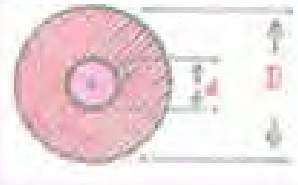
Z_0 = امپدانس مشخصه کابل کواکسیال برحسب اهم

K = ثابت دی الکتریک بین دو هادی

D = قطر هادی خارجی

d = قطر هادی داخلی

در شکل ۸ـ۲ برش مقطع یک کابل کواکسیال ترسیم شده است.



شکل ۸ـ۲ـ برش مقطع کابل کواکسیال

مثال ۳ـ۲ـ در یک کابل کواکسیال قطر هادی خارجی ۵ میلی متر و قطر هادی داخلی ۰/۵ میلی متر و ثابت دی الکتریک آن ۳/۳۸ است. امپدانس مشخصه کابل چند اهم است؟

پاسخ:

$$Z_0 = \frac{۱۳۸}{\sqrt{K}} \log \frac{D}{d}$$

$$Z_0 = \frac{۱۳۸}{\sqrt{۳/۳۸}} \log \frac{۵}{۰/۵} = \frac{۱۳۸}{\sqrt{۳/۳۸}} \log ۱۰$$

$$Z_0 = ۷۵ \times ۱ = ۷۵\Omega$$

۶ـ۲ـ خودآزمایی

۱ـ۶ـ۲ـ با توجه به واحدهای L و C نشان دهید امپدانس مشخصهٔ $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ برحسب اهم است.

۲ـ۶ـ۲ـ در خط انتقال دو سیمه با تغییر کدام یک از پارامترهای d و r می توان امپدانس مشخصه را به صفر رساند؟

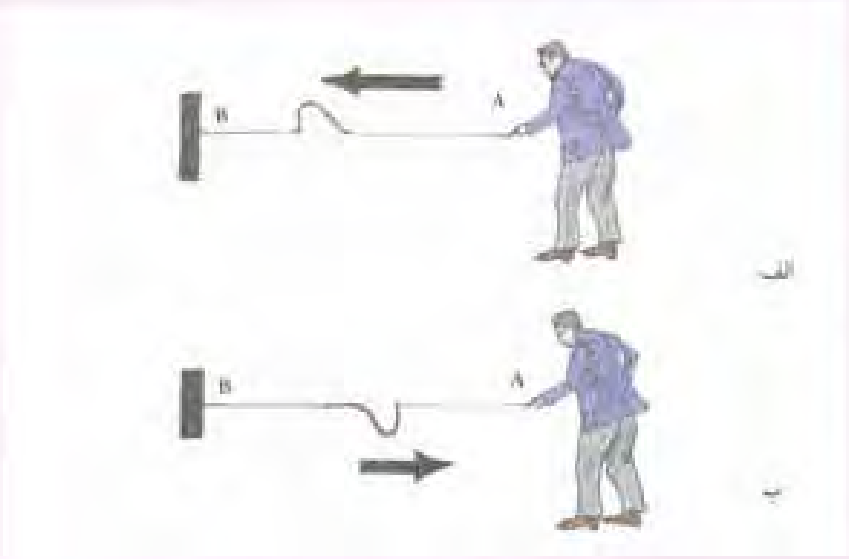
۳ـ۶ـ۲ـ در کابل کواکسیال اگر ضریب دی الکتریک K افزایش یابد، امپدانس مشخصه کابل چه تغییری می کند؟ چرا؟

۴ـ۶ـ۲ـ یک کابل هم‌محور با قطرهای خارجی ۶ میلی‌متر، دارای امپدانس مشخصه ۶۰ اهم است. اگر ثابت دی‌الکتریک آن ۱/۴ باشد قطر هادی داخلی آن را محاسبه کنید. جواب ۱/۶۳ میلی‌متر

۵ـ۶ـ۲ـ یک خط انتقال بدون اتلاف دارای خازن موازی ۱ نانوفاراد بر کیلومتر و سلف سری ۱۰ میکروهانری بر کیلومتر است. امپدانس مشخصه آن چقدر است؟ جواب ۱۰۰ اهم

۷ـ۲ـ امواج ساکن چیست؟

برای درک امواج ساکن، آزمایش ساده‌ای را انجام دهید. طنابی به طول AB انتخاب کنید. طبق شکل الف ۹ـ۲ انتهای A را در دست بگیرید و انتهای B را با میخی به دیوار متصل کنید. حال به نقطه A ضربه‌ای بزنید. این ضربه با سرعت ثابت در طول طناب از A به B منتشر می‌شود و به انتهای B طناب می‌رسد. در نقطهٔ B موج ناشی از ضربهٔ اولیه به مانع سخت برخورد می‌کند و منعکس می‌شود. از طرفی نقطه B ثابت است و نمی‌تواند جابه‌جا شود، بنابراین همواره به صورت گره باقی می‌ماند. در نقاط گره همیشه موج تابش و بازتابش در فاز مخالف هم قرار می‌گیرند و اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند. در شکل ب ۹ـ۲ ضربهٔ بازگشتی از B به A منعکس شده است.



شکل ۹ـ۲ ـ تابش و بازتابش ضربه در طول طناب

اگر انتهای A طناب را به طور منظم و در امتداد قائم به نوسان درآوریم، در نقاط دیگری از طول طناب، گره تشکیل می‌شود. (شکل ۱۰ـ۲)

علت به وجود آمدن گره‌های متعدد در طول طناب تأثیر دو موج تابش و بازتابش روی یکدیگر است.

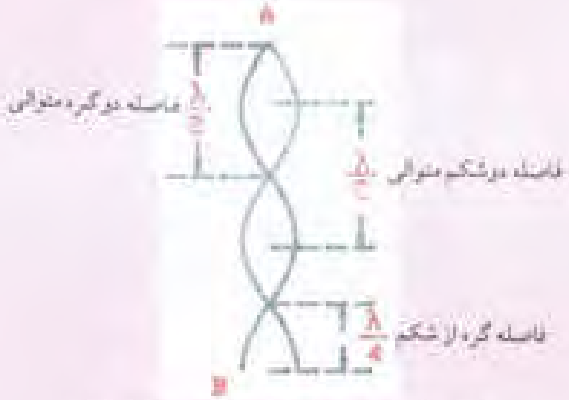
نقاط گره را نقاط ساکن می‌نامند. در بعضی از نقاط امواج تابش و بازتابش همفاز هستند. در این نقاط ارتعاشات با هم جمع و ارتعاشات شدیدتری را به وجود می‌آورند که به شکم معروف‌اند. نقاط شکم نیز در طول طناب همواره ثابت است. به علت پیدا شدن نقاط ساکن گره و شکم در طول طناب،

شکل ۱۰ـ۲ـ تشکیل نقاط گره و شکم درطول طناب

این گونه امواج را امواج ساکن[1] می نامند.

حال طناب AB را در امتداد قائم قرار می دهیم و انتهای B را آزاد می گذاریم. انتهای A طناب را در امتداد افقی به نوسان درمی آوریم. مشاهده می کنیم که نقطهٔ B نیز می تواند آزادانه حرکت کند. بنابراین، ارتعاش در این نقطه تغییر علامت نمی دهد. به عبارت دیگر در نقطهٔ B شکم ارتعاش شکل می گیرد. نقطهٔ B را مانع نرم می نامند.

اولین نقطه گره در فاصله معینی از انتهای B ظاهر می شود. نقاط گره و شکم متوالی طبق شکل ۱۱ـ۲ درطول طناب پدید می آیند. با استفاده از روابط مربوط به ارتعاشات در فیزیک می توان ثابت کرد که فاصله هر دو گره متوالی یا دو شکم متوالی مساوی $\frac{\lambda}{2}$ است. همچنین فاصله یک گره از اولین شکم بعد از گره مساوی $\frac{\lambda}{4}$ است.



شکل ۱۱ـ۲ـ تشکیل نقاط گره و شکم درطول طناب

۱ـ۷ـ۲ـ تارهای مرتعش: تارهای مرتعش موجود در آلات موسیقی نیز امواج ساکن تولید می کنند. تار مرتعش را طبق شکل الف ۱۲ـ۲ بین نقاط A و B طوری محکم می کنیم که تار کاملاً کشیده باشد. با اعمال ضربه، تار مرتعش می شود و دو گره در دو انتهای A و B و یک شکم در وسط آن به وجود می آید. در این حالت طول تار برابر با $\frac{\lambda}{2}$ است.

علت این است که ارتعاشات منتشر شده در طول تار پس از برخورد به نقاط ثابت A و B (موانع سخت) منعکس می شود و امواج ساکن را به وجود می آورد.

---

۱ ـ Standing Waves

اگر طبق شکل ب ۱۲ـ۲ وسط تار را نیز ثابت کنیم و تار را به ارتعاش درآوریم، در طول تار سه گره و دو شکم تشکیل می‌شود. در این حالت طول تار برابر با λ است.

شکل ۱۲ـ۲ـ تشکیل انواع ساکن بر تار مرتعش

۸ـ۲ـ خودآزمایی

۱ـ۸ـ۲ـ مفهوم امواج ساکن چیست؟ شرح دهید.

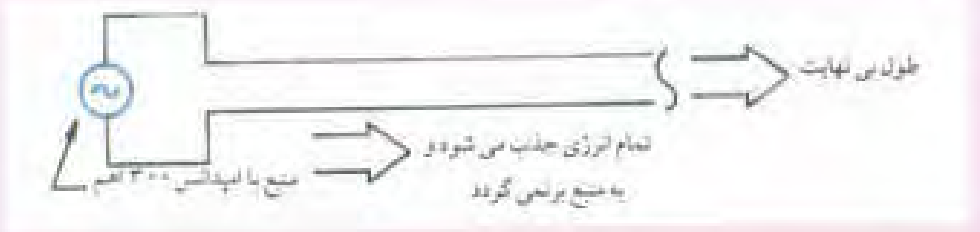
۲ـ۸ـ۲ـ چرا بر روی مایع سخت گره تشکیل می‌شود؟

۳ـ۸ـ۲ـ چرا بر روی مایع نرم شکم تشکیل می‌شود؟

۴ـ۸ـ۲ـ تار مرتعشی با ۲ گره و ۳ شکم رسم کنید.

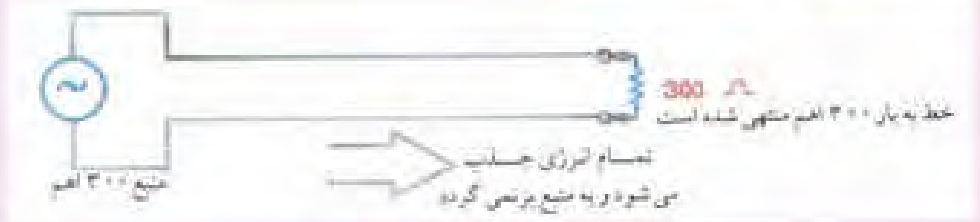
۹ـ۲ـ امواج ساکن در خطوط انتقال

رفتار امواج تابش، بازتابش و ساکن را در طول یک طناب بررسی کردیم. در این قسمت، به بررسی رفتار این امواج در خطوط انتقال می‌پردازیم. خط انتقالی با طول بینهایت و امپدانس مشخصه Z_0 را به یک منبع سیگنال رادیویی متصل می‌کنیم. شکل ۱۳ـ۲ امواج جریان و ولتاژ با سرعتی کمی کمتر از سرعت نور در طول خط انتقال حرکت می‌کنند. به عبارت دیگر توسط منبع سیگنال، توانی به خط انتقال داده می‌شود. چون طول سیم بی‌نهایت است، از این رو، تمام توان منبع در مسیر تلف می‌شود و هیچ توانی به منبع باز نمی‌گردد.



شکل ۱۳ـ۲ـ خط انتقال با طول بی نهایت

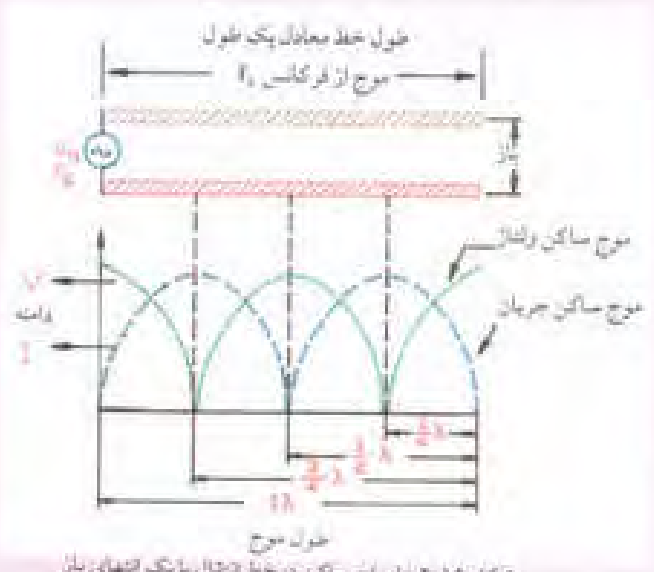
خط انتقالی با طول محدود و امپدانس مشخصه Z_0 را طبق شکل ۱۴ـ۲ به باری با امپدانس $R_L = Z_0$ اتصال می‌دهیم. در این مدار نیز تمام توان ارسالی توسط بار جذب می‌شود و هیچ توانی به سمت منبع برنمی‌گردد.



شکل ۱۴ـ۲ـ خط انتقال با طول محدود

در شکل ۱۴ـ۲ اگر $R_L \neq Z_0$ باشد، قسمتی از توان منبع توسط R_L جذب می شود و قسمت دیگر به منبع برمی گردد. در این حالت، امواج ساکن تولید می شود.

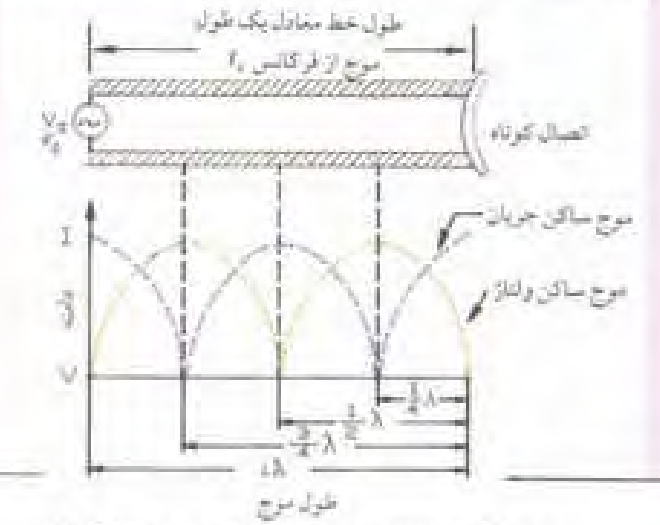
۱ـ۹ـ۲ـ خطوط انتقال با یک انتهای باز: منبع سیگنال رادیویی را به یک خط انتقال با طول λ که انتهای آن باز است متصل می کنیم، شکل ۱۵ـ۲. چون امپدانس مدار باز بی نهایت است، از این رو، امپدانس مشخصه خط انتقال با بار تطبیق نمی کند و امواج ساکن به وجود می آید. در محل بار، اولین گره جریان و اولین شکم ولتاژ را خواهیم داشت. زیرا جریان در این نقطه صفر و ولتاژ ماکزیمم است. خط انتقال با انتهای باز را می توان به مانع سخت تشبیه کرد. بدیهی است که در طول خط انتقال با طول λ تعداد ۳ گره جریان و ۳ شکم ولتاژ ایجاد می شود.



شکل ۱۵ـ۲ ـ امواج ساکن در خط انتقال با یک انتهای باز

۲ـ۹ـ۲ـ خطوط انتقال با یک انتهای اتصال کوتاه: اگر انتهای خط انتقال را طبق شکل ۱۶ـ۲ اتصال کوتاه کنیم، باز هم امواج ساکن در طول خط تولید می شود. در این حالت، در محل اتصال کوتاه اولین گره ولتاژ و اولین شکم جریان به وجود می آید. چرا که در انتهای خط، ولتاژ صفر و جریان حداکثر است.

اتصال کوتاه در انتهای خط را می توان به مانع نرم تشبیه کرد. در حالت اتصال کوتاه نیز، طول خط، مساوی λ در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۶ـ۲ ـ امواج ساکن در خط انتقال با انتهای اتصال کوتاه

۱۰ـ۲ـ خودآزمایی

۱ـ۱۰ـ۲ـ درچه مواردی بر روی خطوط انتقال امواج ساکن تولید نمی شود؟ شرح دهید.

۲ـ۱۰ـ۲ـ در خطوط انتقال با یک انتهای باز ، وضعیت ولتاژ و جریان در دوسر منبع و در انتهای باز چگونه است؟ شرح دهید .

۳ـ۱۰ـ۲ـ در یک خط انتقال با انتهای اتصال کوتاه و طول λ ، منحنیهای توزیع ولتاژ و جریان چگونه است؟ با رسم شکل شرح دهید.

۴ـ۱۰ـ۲ـ چه شباهتی بین خطوط انتقال با انتهای باز با اتصال کوتاه و موانع سخت ونرم وجود دارد؟ توضیح دهید.

(برای مطالعه، پایان)

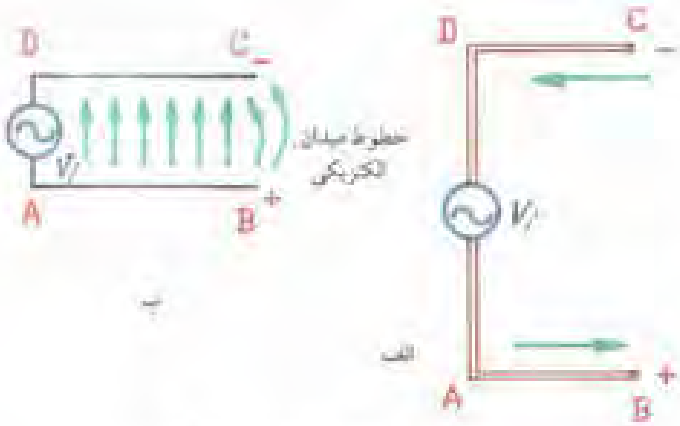
۱۱ـ۲ـ بررسی میدانهای الکتریکی و مغناطیسی در آنتن

در درس میدانی برق ۱ و ۲ با میدانهای الکتریکی و مغناطیسی آشنا شدید. در این قسمت با استفاده از آموخته های پیشین به بررسی کار آنتن می پردازیم.

۱ـ۱۱ـ۲ـ **تعریف آنتن:** آنتن وسیله ای است که برای دریافت یا انتشار امواج الکترومغناطیسی به کار می رود. خواص آنتن در حالت فرستندگی و گیرندگی شبیه به هم است و از قضیه همپاسخی[1] تبعیت می کند.

۲ـ۱۱ـ۲ـ **قضیهٔ همپاسخی:** همپاسخی به معنی پاسخ همگن یک مدار از نظر ورودی وخروجی است؛ یعنی اگر به ورودی یک مدار ولتاژ V داده شود و از خروجی آن جریان I دریافت شود، در صورت اعمال ولتاژ V به خروجی آن، باید جریان I از ورودی عبور کند، چنین مداری از قضیهٔ همپاسخی تبعیت می کند. مثال ساده ازمدارهای همپاسخی، ترانسفورماتور ایده آل یک به یک است.

۳ـ۱۱ـ۲ـ **میدان الکتریکی آنتن:** فرستنده رادیویی را به صورت منبع سینوسی V_i و آنتن را به صورت دو میلهٔ هادی یا دو سیم موازی که به دو سر منبع V_i اتصال دارند درنظر می گیریم. شکل الف ۱۷ـ۲، هنگامی که سیگنال ورودی نیم سیکل منفی را طی می کند، میلهٔ بالایی دارای بار منفی و میله پایینی دارای بار مثبت می شود، شکل ب ـ ۱۷ـ۲. در این حالت می توان دو میله را مشابه دو جوشن یک خازن درنظر گرفت که از طریق دی الکتریک هوا، از یکدیگر جدا شده اند. خطوط میدان الکتروستاتیک بین دو جوشن خازن از جوشن مثبت به سمت جوشن منفی رسم شده است. جهت جریان سیگنال درجهت خطوط میدان الکتریکی است که در شکل به صورت $\overrightarrow{ABCD}$ مشخص شده است.



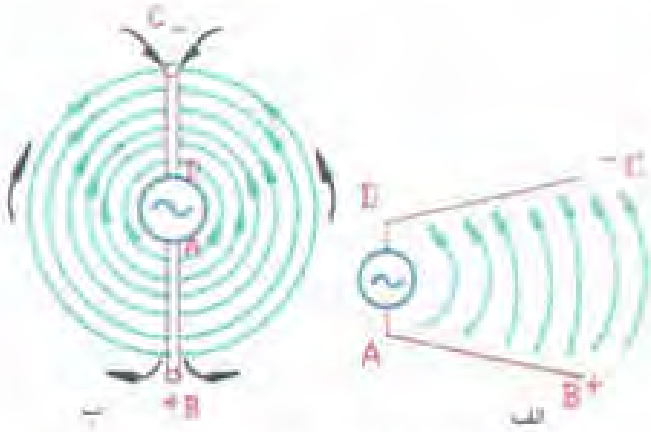
شکل ۱۷ـ۲ـ خطوط میدان الکتریکی آنتن

---

1 ـ Reciprocity

اگر فاصله دو انتهای باز میله های آنتن را بتدریج زیاد کنیم، خطوط میدان الکتریکی به سمت خارج آنتن خم می شوند و پس از طی مسیر منحنی وارد میله منفی می شوند. (شکل الف ۱۸ـ۲).

اگر میله های آنتن را در یک امتداد قرار دهیم، خطوط میدان الکتریکی به صورت دوایر متحدالمرکز، میله مثبت را ترک می کنند و وارد میله منفی می شوند. جهت خطوط میدان الکتریکی را برای حالتی که میله ها باز است در شکل ب ـ ۱۸ـ۲ نشان داده ایم. اگر دو قطب سیگنال V وارونه شود، میله AB منفی و میله CD مثبت خواهد شد. در این حالت خطوط میدان الکتریکی نیز معکوس می شود و جهت[1] جریان سیگنال در مسیر $\overline{DCBA}$ برقرار خواهد شد.



شکل ۱۸ـ۲ـ خطوط میدان الکتریکی آنتن

۴ـ۱۱ـ۲ـ میدان مغناطیسی در آنتن: هنگامی که جریان از میله های آنتن عبور می کند، در اطراف میله ها میدان مغناطیسی ایجاد می شود. در شکل ۱۹ـ۲ نمونه هایی از خطوط میدان مغناطیسی نشان داده شده است.

فلشهای رسم شده روی خطوط، جهت میدان مغناطیسی را نشان می دهند.

جهت خطوط میدان مغناطیسی را می توان به کمک

شکل ۱۹ـ۲ـ میدان مغناطیسی در آنتن

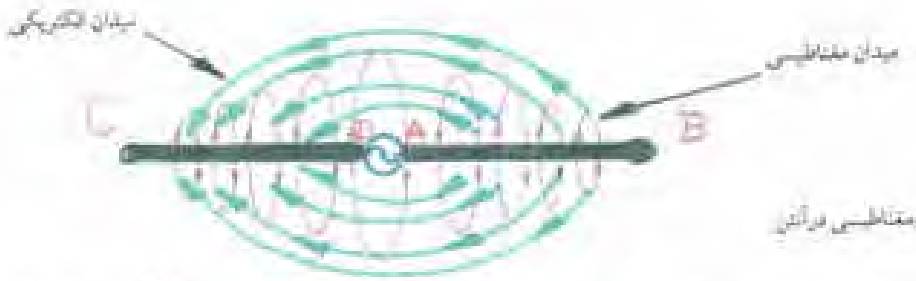
انگشتان دست راست نشان داد.

۵ـ۱۱ـ۲ـ قانون دست راست: اگر انگشت شست دست راست طوری قرار گیرد که جهت جریان را نشان دهد، سایر انگشتان خم شده جهت خطوط میدان مغناطیسی را نشان می دهند. (شکل ۲۰ـ۲).

شکل ۲۰ـ۲ـ جهت خطوط میدان مغناطیسی در آنتن

۶ـ۱۱ـ۲ـ میدان الکترومغناطیسی در آنتن: به میدانهای الکتریکی و مغناطیسی در آنتن توجه کنید. جهت این دو میدان همواره بریکدیگر عمود است. ترکیب میدانهای الکتریکی و مغناطیسی را میدان الکترومغناطیسی آنتن می گویند. در شکل ۲۱ـ۲ میدان الکترومغناطیسی آنتن نشان داده شده است.

۱ـ جهت قراردادی جریان مورد نظر است یعنی جریان از قطب مثبت به طرف قطب منفی در مدار خارجی جاری می شود.



شکل ۲۱ـ۲ـ میدان الکترومغناطیسی درآنتن

۷ـ۱۱ـ۲ـ آنتن دیپل[1] یا دوقطبی: اگر λ طول موج فرکانس ایستگاه رادیویی باشد و طول هریک از میله های آنتن دامـاوی $\frac{\lambda}{4}$ درنظربگیریم، طول آنتن مساوی $\frac{\lambda}{2}$ می شود.

این نوع آنتن را آنتن دیپل یا دوقطبی نیم مـوج می گویند. درشکل ۲۱ـ۲ آنتن نشان داده شده، از نوع دیپل است.

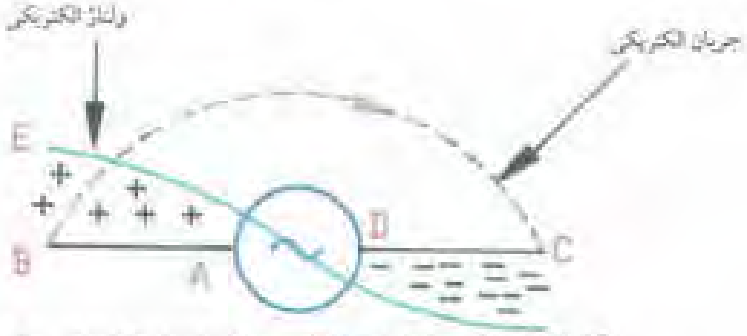
$$l_{AB} = l_{CD} = \frac{\lambda}{4}$$

۸ـ۱۱ـ۲ـ نحـوه توزیع ولتـاژ، جـریان و بارهای الکتـریکی درآنتن دیپل نیم مـوج: آنتن دیپل نیم موج را می توان به خطوط انتقال با طول $\frac{\lambda}{2}$ تشبیه کرد که از یک انتها باز شده اند و درانتهای دیگر به منبع سیگنال اتصال دارند. دراین حالت در دو انتهای میله های آنتن گره جریان و شکم ولتاژ تشکیل می شود.

درشکل ۲۲ـ۲ منحنیهای ولتاژ، جریان و توزیع بارهای الکتریکی درآنتن دیپل نیم موج ترسیم شده است.

توجه داشته باشید که منحنیهای جریان و ولتاژ با یکدیگر ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند.

جهت جریان درمیله های آنتن، در جهت $\overrightarrow{ABCD}$ درنظر گرفته شده است.



شکل ۲۲ـ۲ـ منحنیهای توزیع ولتاژ، جریان و بارهای الکتریکی درآنتن نیم موج

۱۲ـ۲ـ خودآزمایی

۱ـ۱۲ـ۲ـ اصل همباستی را بیان کنید.

۲ـ۱۲ـ۲ـ آنتن را تعریف کنید.

۳ـ۱۲ـ۲ـ چگونگی تولید میدانهای الکتریکی ومغناطیسی درآنتن حامل جریان را با رسم شکل شرح دهید.

۴ـ۱۲ـ۲ـ جهت خطوط میدان مغناطیسی دراطراف سیم راست حامل جریان را به کمک انگشتان دست راست نشان دهید.

۵ـ۱۲ـ۲ـ میدانهای الکتریکی ومغناطیسی آنتن باهم چه زاویه ای می سازند؟

۶ـ۱۲ـ۲ـ منحنیهای توزیع ولتاژ، جریان وبارهای الکتریکی در آنتن دیپل نیم موج را بارسم شکل نشان دهید.

۱ـ Dipole

۱۳ـ۲ـ تشعشع[1] در آنتن

در صورتی که جریانی با فرکانس زیاد از آنتن عبور کند، در اطراف آنتن میدان الکترومغناطیسی به وجود می‌آید. به علت زیاد بودن فرکانس قسمتی از این میدان می‌تواند آنتن را ترک کند. به این خاصیت تشعشع در آنتن می‌گویند.

مقدار انرژی الکترومغناطیسی که از آنتن پخش می‌شود، بستگی به طول موج جریان عبوری از آنتن دارد. میدانهای منتشر شده از آنتن با سرعت سیر نور در فضا پخش می‌شوند. این میدانها به امواج الکترومغناطیسی معروفند. جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی، عمود بر جهت میدانهای الکتریکی و مغناطیسی است.

۱ـ۱۳ـ۲ـ چگونگی تشعشع میدان مغناطیسی: همان طور که قبلاً بررسی شد، خطوط میدان مغناطیسی به صورت دوایری هستند که میله آنتن را احاطه کرده‌اند. میله آنتن از مرکز این دوایر می‌گذرد و بر سطح آنها عمود است. برای درک بهتر تشعشع میدان مغناطیسی به ذکر مثال می‌پردازیم. سنگی را به داخل آب بیندازید. دوایر برخورد سنگ با آب دوایر متحدالمرکزی تشکیل می‌شود که این دوایر بتدریج از محل برخورد سنگ با آب دور می‌شوند. تشعشع میدان مغناطیسی در آنتن را می‌توان به امواج منتشر شده دوایر افتادن سنگ به داخل آب تشبیه کرد. (شکل ۲۳ ـ ۲).

شکل ۲۳ـ۲ ـ انتشار امواج آب و امواج الکترومغناطیسی

۲ـ۱۳ـ۲ـ چگونگی تشعشع میدان الکتریکی: شکل ۲۴ـ۲ نحوه تشعشع میدان الکتریکی را در آنتن نشان می‌دهد. چگونگی تشعشع را می‌توان در چهار مرحله به شرح زیر خلاصه کرد:

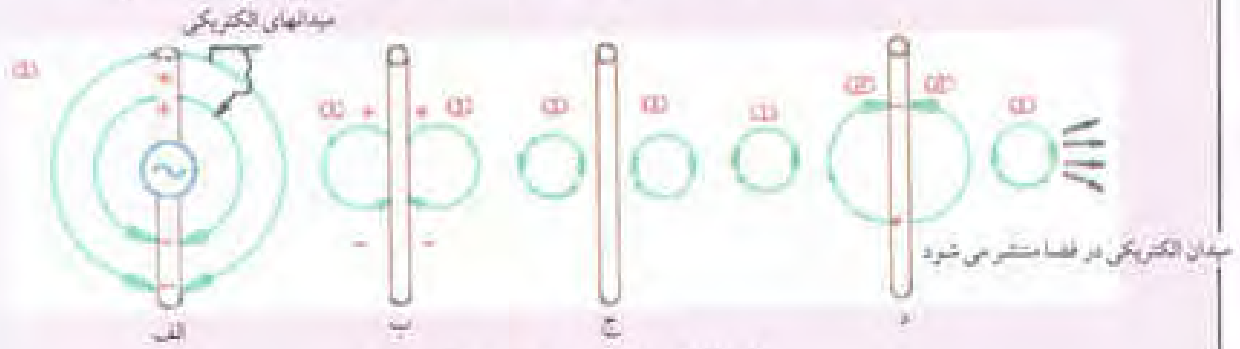
الف ـ ولتاژ ماکزیمم و میدان الکتریکی حداکثر است.

ب ـ در این مرحله ولتاژ کاهش می‌یابد و به صفر نزدیک می‌شود.

---

1 ـ Radiation

ج ـ دراین لحظه فاروناز منعکس می شود و قسمتی از میدان الکتریکی آنتن را ترک می کند.
د ـ دراین مرحله وناز به منیمم نزدیک می شود و جهت خطوط میدان الکتریکی نیز تغییر می کند.



شکل ۲۴ـ۲ـ چگونگی تشعشع میدان الکتریکی در آنتن

۳ـ۱۳ـ۲ـ جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی: جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی به نحوی است که درهریک از دو میدان الکتریکی و مغناطیسی به طورجداگانه عمود است.

به کمک انگشتان دست راست می توان جهت حرکت امواج الکترومغناطیسی را مشخص کرد.

۴ـ۱۳ـ۲ـ قانون دست راست: اگر انگشت شست دست راست درجهت میدان الکتریکی قرار گیرد وانگشت نشانه در جهت میدان مغناطیسی، انگشت وسط جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی را نشان می دهد (شکل ۲۵ـ۲).

شکل ۲۵ـ۲ـ جهت میدانهای الکتریکی و مغناطیسی و جهت انتشار امواج

۵ـ۱۳ـ۲ـ پلاریزاسیون[1]: درصورتی که میدان الکتریکی تشعشع شده از یک آنتن عمودی باشد، امواج الکترومغناطیسی دارای پلاریزاسیون عمودی است. اگرمیدان الکتریکی افقی باشد، امواج دارای پلاریزاسیون افقی است. چون جهت میدان الکتریکی همواره درجهت آنتن است، بنابراین آنتنهای عمودی دارای پلاریزاسیون عمودی و آنتنهای افقی دارای پلاریزاسیون افقی هستند.

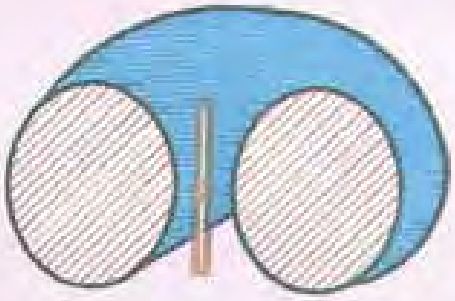
۶ـ۱۳ـ۲ـ پرتو تشعشعی آنتن: پرتو تشعشعی آنتن عبارت است از محدوده ای از فضا که آنتن از نظر

---

۱ ـ Polarization به معنی قطبی کردن است.

امواج رادیویی پوشش می دهد. بدیهی است که این محدوده، حجمی از فضا خواهد بود. این حجم می تواند به شکل کره یا شکل دیگری باشد. درصورتی که تشعشع آنتن در تمام جهات یکنواخت باشد، محدودهٔ تحت پوشش به شکل کره خواهد بود. پرتو تشعشعی آنتن با شکل آنتن تغییر می کند. پرتو تشعشعی آنتن نیم موج در شکل ۲۶ ـ ۲ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود برش مقطع پرتو تشعشعی آنتن نیم موج به صورت عدد هشت لاتین است.

تشعشع درجهت عمود برآنتن حداکثر و در امتداد آنتن حداقل است.



شکل ۲۶ـ۲ـ پرتو تشعشعی آنتن نیم موج

۱۴ـ۲ـ خودآزمایی

۱ـ۱۴ـ۲ـ چگونگی تشعشع میدان الکتریکی درآنتن نیم موج را با رسم شکل شرح دهید.

۲ـ۱۴ـ۲ـ بالارزا سیون آنتن را تعریف کنید.

۳ـ۱۴ـ۲ـ جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی را به کمک انگشتان دست راست نشان دهید.

۴ـ۱۴ـ۲ـ پرتو تشعشعی آنتن نیم موج را رسم کنید و مقادیر ماکزیمم ومینیمم میدان تشعشعی را مشخص کنید.

(برای مطالعه، پایان)

۱۵ـ۲ـ مشخصه های مهم آنتن

۱ـ۱۵ـ۲ـ مقاومت تابشی[1] آنتن: آنتن در فرکانس کار خود به صورت یک مقاومت R_r در مدار ظاهر می شود که به آن مقاومت تابشی آنتن گفته می شود.

۲ـ۱۵ـ۲ـ توان تابشی[2] آنتن: اگر جریان عبوری از آنتن I و مقاومت تابشی آن R_r باشد، توان تابشی ازرابطه ۴ـ۲ به دست می آید.

$$P = I^2 . R_r \qquad ۴ـ۲$$

۳ـ۱۵ـ۲ـ بهرهٔ آنتن[3]: یکی از متداولترین پارامترها درآنتن، بهرهٔ آنتن است. یک آنتن ممکن است مقدار زیادی ازتوان تابشی خود را دریک جهت بخصوص بفرستد. این حالت را سمت گرایی می گویند. بهرهٔ آنتن را درجهت

۱ ـ Radiation Resistance ۲ ـ Radiation - Power ۳ ـ Antenna Gain

مخصوص، بهرهٔ جهتی آنتن می نامند. بهرهٔ آنتن را می توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$\text{بهرهٔ آنتن} = \frac{\text{توان تابشی توسط آنتن اصلی}}{\text{توان تابشی توسط آنتن مرجع}}$$

آنتن مرجع عبارت از آنتنی است که به صورت یک منبع تابشی، تمام توان خود را در تمام جهات به طور یکنواخت و همگن بتاباند. به عبارت دیگر پرتو تشعشعی آن کروی باشد.

در محاسبه بهرهٔ آنتن، توان ورودی و توان آنتن مرجع یکسان درنظر گرفته می شود.

۴ـ۱۵ـ۲ـ امپدانس آنتن: همان طور که قبلاً بررسی شد، در یک آنتن نیم موج جریان در محل اتصال تغذیه حداکثر و در دو انتهای آن صفر است. درحالی که توزیع ولتاژ برعکس توزیع جریان است.

در آنتنهای عملی، مقادیر ولتاژ یا جریان در نقاط گره ولتاژ و جریان دقیقاً صفر نیست.

مقدار امپدانس آنتن نیم موج در وسط آنتن حدوداً برابر ۷۵ اهم و در دو انتهای آن تقریباً ۲۵۰۰ اهم است[1].

۱۶ـ۲ـ خودآزمایی

۱ـ۱۶ـ۲ـ مقاومت تابشی آنتن را تعریف کنید.

۲ـ۱۶ـ۲ـ توان تابشی آنتن را تعریف کنید.

۳ـ۱۶ـ۲ـ بهرهٔ آنتن چگونه محاسبه می شود؟

۴ـ۱۶ـ۲ـ امپدانس آنتن نیم موج در وسط آنتن و در دو انتهای آن چقدر است؟

۱۷ـ۲ـ انواع آنتن

۱ـ۱۷ـ۲ـ آنتن مارکنی[2]: آنتن مارکنی یک آنتن یک قطبی با طول $\frac{\lambda}{4}$ است که به طور عمودی بر روی زمین نصب می شود. زمین، انرژی تابیده شده بر خود را بازتاب می کند. در اثر این بازتاب امواج تصویر آنتن $\frac{\lambda}{4}$ در زمین ظاهر می شود که می توان آن را به عنوان یک آنتن فرضی درنظر گرفت که قرینهٔ آنتن اصلی نسبت به سطح زمین است. این آنتن فرضی را سایهٔ آنتن اصلی می نامند. در شکل الف ۲ـ۲۷ چگونگی تشکیل سایهٔ آنتن $\frac{\lambda}{4}$ و در شکل ب ۲ـ۲۷ منحنیهای توزیع ولتاژ و جریان در آن نشان داده شده است.

الف ـ تشکیل سایهٔ آنتن $\frac{\lambda}{4}$

ب ـ منحنیهای توزیع ولتاژ و جریان در آنتن $\frac{\lambda}{4}$

شکل ۲ـ۲۷

---

۱ ـ محاسبهٔ امپدانس آنتن، نیازمند اطلاعات جامعتری در زمینهٔ امواج دارد که از بحث ما خارج است.

۲ ـ Marconi Antenna

آنتن مارکنی را آنتن تصویری نیز می نامند. عملکرد این آنتن و تصویرش عیناً مشابه آنتن نیم موج است.

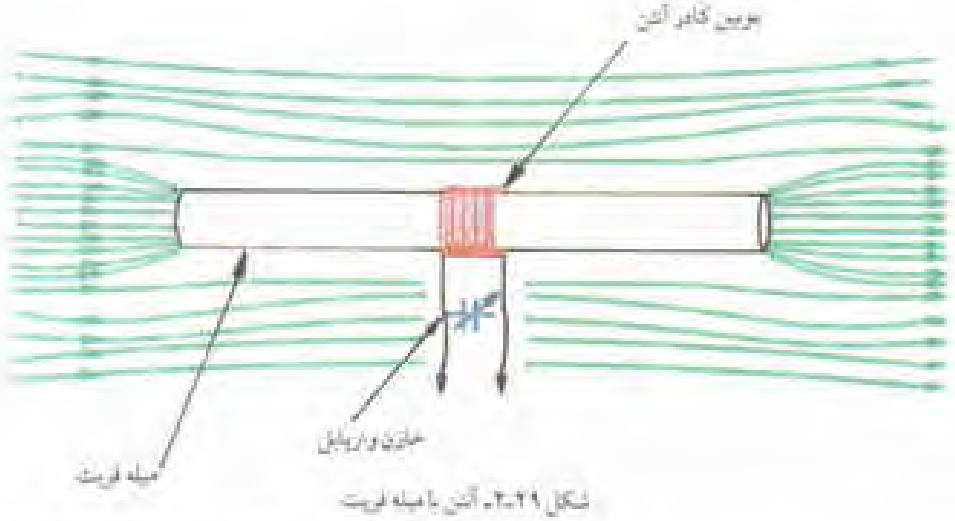
آنتن رادیوی اتومبیل یک نوع آنتن مارکنی است. بدنهٔ فلزی اتومبیل به عنوان زمین عمل می کند و اثر تصویر آنتن ظاهر می شود.

۲ـ۱۷ـ۲ـ آنتن دیپل نیم موج خمیده: آنتن دیپل خمیده یا تاشده از یک میله به طول λ[1] تشکیل شده است که پس از خم شدن آنتن طول $\frac{\lambda}{2}$ را تشکیل می دهد. (شکل ۲۸ـ۲). در وسط آنتن بریدگی کوچکی که در مقایسه با طول آنتن ناچیز است، وجود دارد. امپدانس آنتن دیپل خمیده در حدود ۳۰۰ اهم است. از این آنتن برای تطبیق خط انتقال دو سیمه ۳۰۰ اهمی در تلویزیون سیاه و سفید استفاده می شود.

۳ـ۱۷ـ۲ـ آنتن با میلهٔ فریت: آنتن با میلهٔ فریت در تمام گیرنده های رادیویی MW و SW به کار می رود.

فریت ماده ای با قابلیت نفوذ مغناطیسی زیاد است. آنتن با میلهٔ فریت آنتن کوچکی است که در داخل گیرنده های رادیویی جای می گیرد. این میله به عنوان یک هسته در بوبین کادر[2] آنتن قرار می گیرد. استفاده از بوبین با هستهٔ فریت دریافت امواج الکترومغناطیسی را آسان می کند (شکل ۲۹ـ۲). دریافت امواج الکترومغناطیسی زمانی حداکثر است که میلهٔ فریت و میدان مغناطیسی در یک جهت قرار گیرند.

شکل ۲۸ـ۲ـ آنتن دیپل خمیده



شکل ۲۹ـ۲ـ آنتن با میله فریت

۱ـ طول میله کمی بزرگتر از λ در نظر گرفته می شود، تا پس از خم شدن دقیقاً طول λ به دست آید.

۲ـ مجموعهٔ بوبین و میلهٔ فریت را ترانسفرماتور آنتن می نامند.

۲ـ۱۷ـ۲ـ آنتن بشقابی: آنتنهای بشقابی یا سهموی در فرکانسهای میکروویو (۱۰۰۰ مگاهرتز به بالا) به عنوان آنتنهای فرستنده یا گیرنده به کار می روند. به کمک آنتنهای بشقابی فرستنده می توان قدرت تشعشعی را در یک جهت معیّن افزایش داد. در شکل ۳۰ـ۲ چندنوع آنتن بشقابی رسم شده است.

اساس کار این نوع آنتنها را می توان به نحوه انتشار نور از چراغ اتومبیل تشبیه کرد.

شکل ۳۰ـ۲ـ آنتن بشقابی

۱۸ـ۲ـ خودآزمایی

۱ـ۱۸ـ۲ـ چگونگی توزیع ولتاژ و جریان در آنتن مارکنی را با رسم شکل شرح دهید.

۲ـ۱۸ـ۲ـ کاربرد آنتن دیپل خمیده را بنویسید.

۳ـ۱۸ـ۲ـ آنتن با میله فریت را شرح دهید.

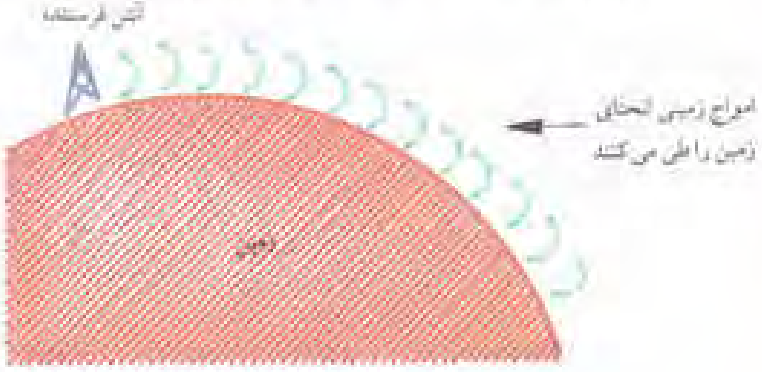
۴ـ۱۸ـ۲ـ آنتنهای بشقابی در چه فرکانسهایی کار می کنند؟

۵ـ۱۸ـ۲ـ طول آنتن دیپل خمیده چقدر است؟

۱۹ـ۲ـ انتشار امواج رادیویی

امواج رادیویی از مسیرهای متفاوتی فاصله بین فرستنده و گیرنده را طی می کنند که مهمترین آنها عبارتند از: امواج زمینی[1]، امواج آسمانی[2] و امواج فضایی[3].

۱ـ۱۹ـ۲ـ امواج زمینی: امواج زمینی امواجی هستند که در سطح زمین حرکت می کنند و انحنای زمین را طی می کنند. امواج زمینی به امواج سطحی نیز معروف اند. امواج زمینی موقعی وجود دارند که آنتنهای گیرنده و فرستنده نزدیک سطح زمین باشند (شکل ۳۱ـ۲). چون فرکانس این امواج کم است، لذا مسافت کمی را طی می کنند.

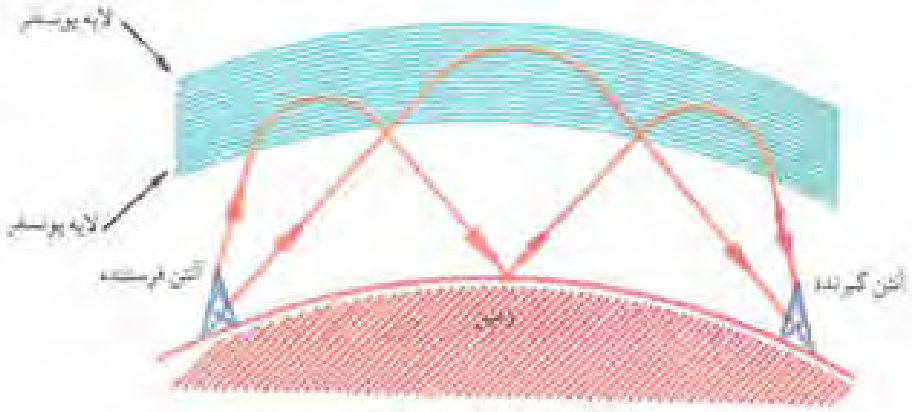


شکل ۳۱ـ۲ـ انتشار امواج زمینی

۲ـ۱۹ـ۲ـ امواج آسمانی: امواج آسمانی به امواجی گفته می شود که در اثر انعکاس توسط طبقات بالای اتمسفر

۱ـ Ground Waves ۲ـ Sky Waves ۳ـ Space Waves

به آنتن گیرنده می رسند. یکی از طبقات بالای آتمسفر طبقه یونسفر است که از ۸۰ کیلومتری سطح زمین شروع و تا ارتفاع ۴۰۰ کیلومتری ادامه دارد. ارتفاع طبقهٔ یونسفر در ساعات روز و شب متفاوت است. امواج آسمانی در طبقه یونسفر منعکس می شود. چگونگی انعکاس امواج آسمانی در شکل ۲ـ۳۲ آمده است.



شکل ۲ـ۳۲ـ امواج آسمانی

۳ـ۱۹ـ۲ـ امواج فضایی: امواج فضایی به امواجی گفته می شود که فاصله بین فرستنده و گیرنده را در ناحیه تروپسفر زمین طی می کنند.

تروپسفر به ناحیه ای از آتمسفر گفته می شود که از سطح زمین تا ارتفاع ۱۶ کیلومتری آن قرار دارد.

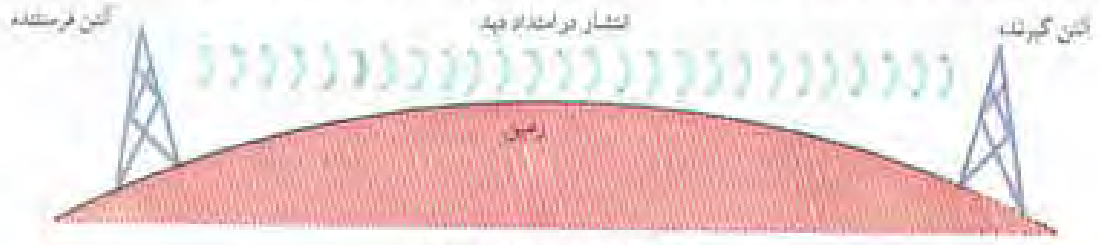
۴ـ۱۹ـ۲ـ محدودهٔ فرکانسی امواج رادیویی و نوع انتشار آنها: امواجی که فرکانس آنها بین ۳۰KHZ تا ۳۰۰KHZ قرار دارد به امواج زمینی معروف اند و با LF نشان داده می شوند و در رادیوهای با موج بلند استفاده می شوند.

امواجی که فرکانس آنها بین ۳۰۰KHZ تا ۳MHZ قرار دارد (MF) دارای مولفهٔ زمینی قوی و مولفهٔ آسمانی ضعیف هستند. امواجی که فرکانس آنها بین ۳MHZ تا ۳۰MHZ قرار دارد (HF) دارای مولفهٔ زمینی ضعیف و مولفهٔ آسمانی قوی هستند.

ازاین امواج در رادیوهای موج کوتاه استفاده می شود.

امواجی که فرکانس آنها بین ۳۰ مگاهرتز تا ۳۰۰۰ مگاهرتز قرار دارد (VHF و UHF) دارای مولفهٔ فضایی قوی هستند. به همین علت به امواج فضایی معروف اند.

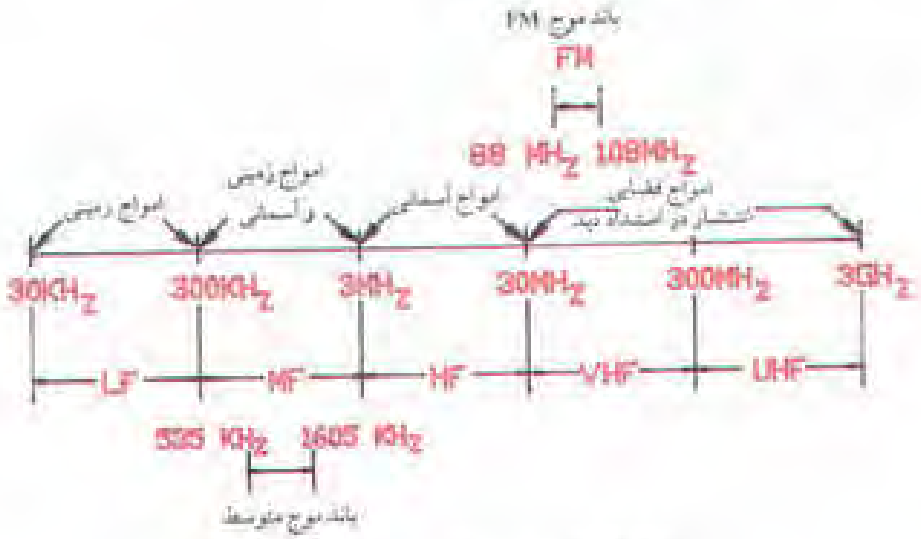
انتشار امواج فضایی به انتشار در امتداد[1] دید نیز معروف است، چرا که باید فرستنده و گیرنده در دید مستقیم یکدیگر قرار گیرند تا بتوانند ارتباط برقرار کنند. امواج فضایی در تلویزیون استفاده می شود. درشکل ۲ـ۳۳ چگونگی انتشار امواج فضایی آمده است.



شکل ۲ـ۳۳ـ انتشار امواج فضایی

---

۱ ـ Line of Sight



شکل ۲۰-۲۴ـ محدودهٔ فرکانسی امواج رادیویی و انتشار آنها

در شکل ۲۰-۲۴ محدودهٔ فرکانسی امواج رادیویی و نوع انتشار آنها نشان داده شده است.

موج متوسط که درمحدودهٔ فرکانسی ۵۲۵ کیلوهرتز تا ۱۶۰۵ کیلوهرتز قرار دارد به صورت امواج زمینی و آسمانی منتشر می شود.

موج FM نیز که درمحدودهٔ فرکانس ۸۸ مگاهرتز تا ۱۰۸ مگاهرتز واقع است، به صورت امواج فضایی منتشر می شود.

۵-۱۹-۲ـ پدیدهٔ فدینگ[1]: اگر امواج زمینی و آسمانی که از یک مرکز فرستنده منتشر می شوند همزمان به گیرنده رادیویی برسند ممکن است درصورت همفاز بودن باعث زیاد شدن صدای بلندگو شوند. این امواج اگر درفاز مخالف باشند باعث ضعیف شدن یا قطع صدای بلندگو می شوند. این پدیده به فدینگ معروف است.

۲۰-۲ـ خودآزمایی

۱-۲۰-۲ـ FM درچه محدوده ای از فرکانسهای رادیویی قرار دارد؟

۲-۲۰-۲ـ امواج زمینی کدام اند و محدوده فرکانسی آنها چقدر است؟

۳-۲۰-۲ـ کدام طبقه آتمسفر روی امواج آسمانی موثر است؟

۴-۲۰-۲ـ چرا انتشار امواج فضایی به انتشار دراستداد دید معروف است؟

---

۱ ـ Fading به معنی محو شدن است.

فصل سوم

مدولاسیون و انواع آن

هدفهای رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

- سیگنال صوتی را شرح دهد.
- نحوه انتشار صوت را در هوا توضیح دهد.
- دلایل استفاده از تقویت کننده را برای انتقال صوت به فواصل دور (در حدود ۵۰۰ متر) تشریح کند.
- دلایل عدم استفاده از آمپلی فایر و بلندگو را برای انتقال صوت به فواصل خیلی دور (بین دو شهر) شرح دهد.
- دلایل عدم استفاده از روش انتشار صوت به صورت امواج الکترومغناطیسی از آنتن را تجزیه و تحلیل کند.
- دلایل استفاده از مدولاسیون را شرح دهد.
- مشخصات سیگنال پیام و سیگنال حامل یا کاریر را با ذکر فرمول آن تجزیه و تحلیل کند.
- نحوه انجام عمل مدولاسیون را به طور عمومی و کلّی تشریح کند.
- مدولاسیون را تعریف کند.
- مدولاسیون AM، FM و PM را تعریف کند و شکل موج آن را ترسیم کند.
- معادله موج AM را بنویسد و مشخصات آن را تشریح کند. (برای مطالعه)
- شاخص مدولاسیون را تجزیه و تحلیل کند.
- سیگنالهای با مدولاسیون کمتر از صددرصد، بیشتر از صددرصد و صددرصد را با یکدیگر مقایسه کند (مدولاسیون و اینترمدولاسیون Intermodulation).
- روش اندازه گیری درصد مدولاسیون را شرح دهد.
- محدوده طول موج سیگنالهای صوتی و رادیویی را باهم مقایسه کند.
- طیف فرکانسی AM را در حوزه فرکانس ترسیم کند.
- هارمونیک را تعریف کند.
- طیف فرکانسی سیگنال AM را با سیگنال سینوسی ساده شرح دهد.
- طیف فرکانسی سیگنال AM را با استفاده از سیگنال مربعی و سیگنال صوتی شرح دهد.
- فرکانسهای کناری بالا و پایین را شرح دهد.
- پهنای باند را شرح دهد.

- باند کناری بالا و پایین را توضیح دهد.
- محدوده فرکانس صوتی رادیوی AM تجارتی را توضیح دهد.
- تعداد ایستگاههایی را که در یک باند فرکانسی رادیویی AM تجارتی جای می گیرد محاسبه کند.
- باند محافظ guard band را شرح دهد.

پیشگفتار

همان طور که در فصل اول تشریح شد، برای انتشار صوت به فواصل دور نیاز به شرایط و امکانات ویژه ای است. در این فصل به بررسی ماهیت صوت و نحوه انتقال آن به فواصل دور می پردازیم. سیگنال حاصل، انواع مدولاسیونها، ضریب مدولاسیون، علل استفاده از مدولاسیون، طیف فرکانسی سیگنال AM و پهنای باند سیگنال AM از مباحثی است که مورد بررسی اجمالی قرار خواهند گرفت.

۱ـ۳ـ سیگنال صوتی ونحوه انتقال آن

۱ـ۱ـ۳ـ همان طور که در فصل اول متذکر شدیم، امواج صوتی درمحدوده فرکانسی ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز قرار دارد. در این محدوده فرکانسی طول موج برابر است با:

$$\lambda_1 = \frac{C}{F_1} = \frac{۳۰۰\times۱۰^{۶}\ m/s}{۲۰\ HZ} = ۱۵۰۰۰۰۰۰\ m = ۱۵۰۰۰\ Km$$

طول موج برای کمترین فرکانس

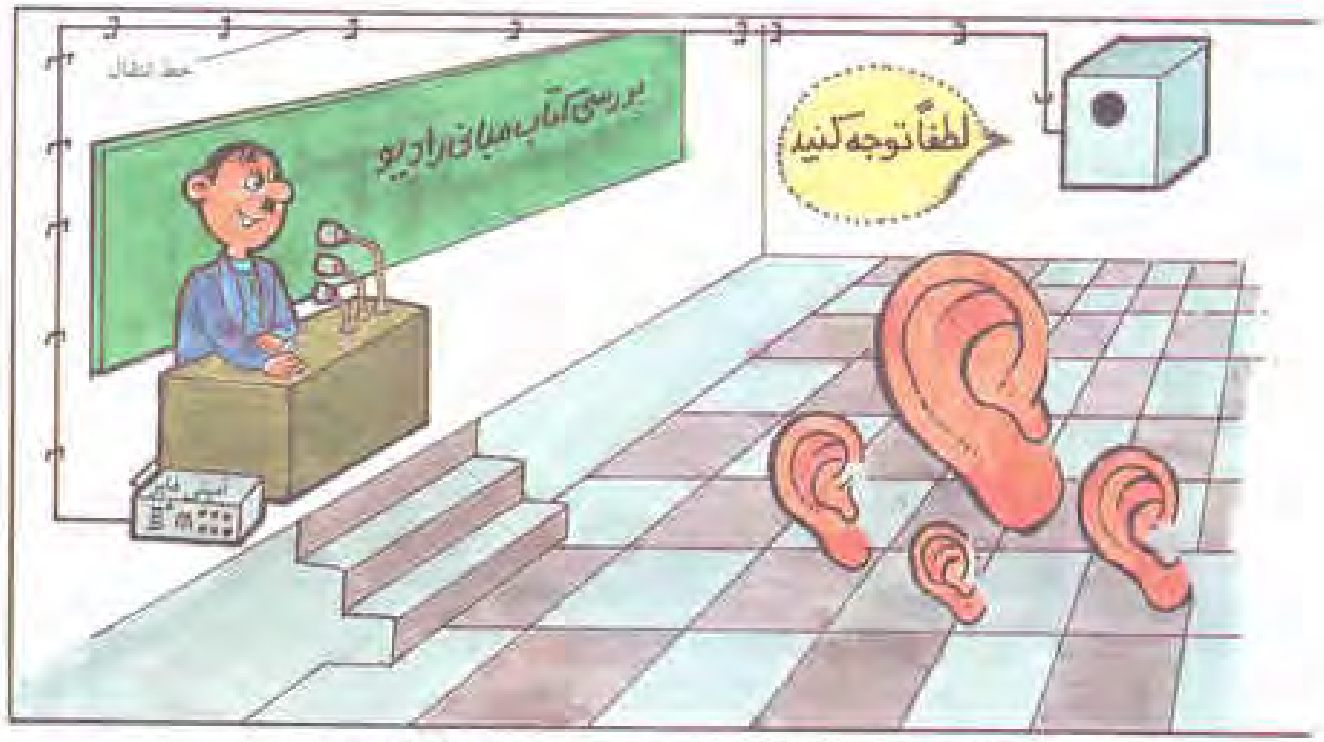
$$\lambda_2 = \frac{C}{F_2} = \frac{۳۰۰\times۱۰^{۶}\ m/s}{۲۰\times۱۰^{۳}\ HZ} = ۱۵\times۱۰^{۳}\ m = ۱۵Km$$

طول موج برای بیشترین فرکانس

برای انتشار امواج با طول موج زیاد، نیاز به محیط مادّی مانند هوا است. درواقع امواج صوتی ارتعاشات مکانیکی هستند. این ارتعاشات از طریق جابه جایی ملکولهای هوا از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل می شوند. نوسانهای ملکولهای هوا از طریق حفره گوش به پرده گوش برخورد می کند و صدا شنیده می شود. هر قدر دامنه تغییرات صوت (شدت صوت) بیشتر باشد ارتعاشات قویتر و صدا بلندتر است. سرعت حرکت صوت در هوا حدود ۳۴۰ متر در ثانیه است؛ یعنی اگر صوتی درنقطه A تولید شود پس از یک ثانیه در فاصله ۳۴۰ متری شنیده می شود. درشکل ۱ـ۳ نحوه انتشار صوت در هوا نشان داده شده است.

شکل ۱ـ۳ـ انتشار صوت از طریق ملکولهای هوا

فیزیولوژی جنجره انسان به گونه‌ای است که نمی‌تواند دامنه حاصل ازتارهای صوتی را از حد معینی افزایش دهد. این محدودیت باعث می شود که برای انتقال صوت به فواصل دور (حدوداً تا ۵۰۰متری) از دستگاههای تقویت کننده (آمپلی فایر) استفاده کنند. برای انتقال صوت از دستگاه آمپلی فایر به بلندگو به خط انتقال نیاز داریم. خط



شکل ۲ـ۳ ـ انتشار صوت از طریق دستگاه تقویت کننده، کابل و بلندگو برای فواصل زیاد

انتقالی که برای این منظور به کار می‌رود سیم یا کابل است، (شکل ۲ـ۳). استفاده از سیم یا کابل برای انتقال صوت به فواصل دور موجب افت ولتاژ وتوان درسیر می شود. ازطرف دیگر به دلایل متعدد کاربرد این سیستم مقرون به صرفه نیست و درپاره‌ای ازموارد ناممکن است. بدین ترتیب، در صورتی که پیام مورد نظر یک سیگنال صوتی باشد نمی توان آن را به فواصل خیلی دور (بین دوشهر) منتقل کرد برای اینکه:

الف ـ تلفات توان و ولتاژ زیاد می شود.

ب ـ بعلت طولانی بودن کابل، سیستم آسیب پذیرتر می شود.

ج ـ هزینه نصب وراه اندازی، تعمیرات ونگهداری آن زیاد است.

د ـ پخش صدا درمناطق مختلف موجب آزار مردم شده و آلودگی صدا را به وجود می آورد.

هـ ـ پیام نمی تواند محرمانه باشد.

۲ـ۳ ـ خودآزمایی

۱ـ۲ـ۳ـ در صورتی که فرکانس صوت برابر با ۴ کیلوهرتز باشد طول موج آن را حساب کنید.

۲ـ۲ـ۳ـ امواج صوتی به چه صورت به گوش انسان می رسد؟ شرح دهید.

۳ـ۲ـ۳ـ چه عاملی سبب بلندتر شدن صدا می شود؟

۴ـ۲ـ۳ـ سرعت صوت تقریباً چقدر است؟

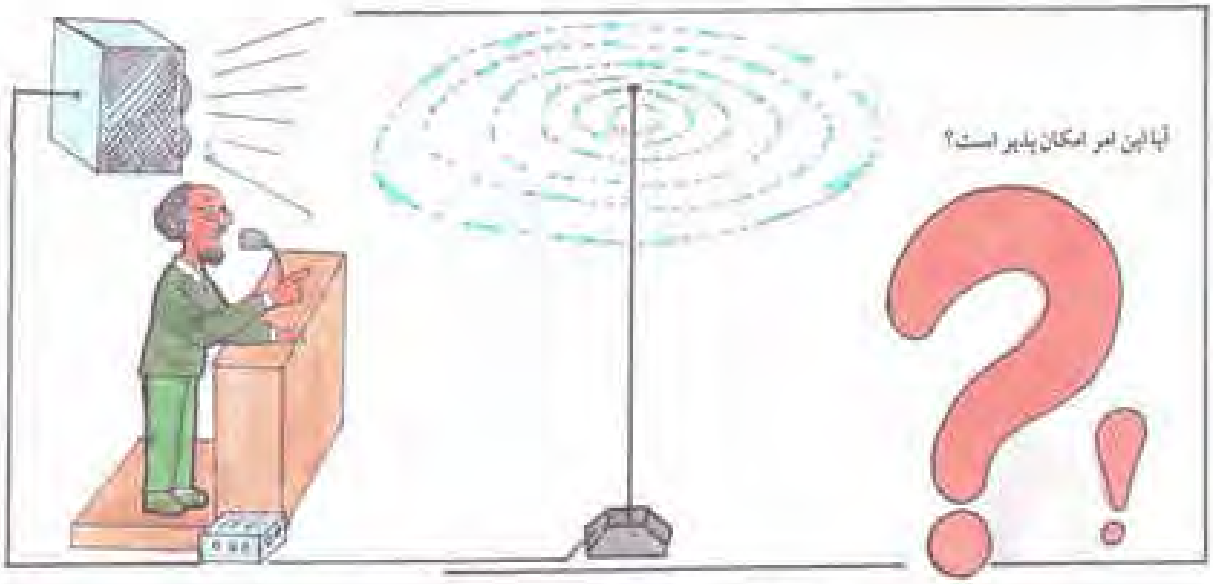
۵ـ۲ـ۳ـ به چه دلیل برای انتقال صوت به فواصل دور باید از آمپلی فایر استفاده کرد؟

۶-۲-۳- چرا نمی‌توان برای انتقال صوت به فواصل خیلی دور (بین دو شهر) از آمپلی فایر وبلندگو استفاده کرد؟ شرح دهید.

۳-۳- چگونه می توان سیگنال صوتی را به فواصل دورمنتقل کرد؟

به نظرمی رسد که ساده‌ترین روش برای انتقال سیگنالهای صوتی به فواصل دورتبدیل آن به امواج الکترومغناطیسی وانتشار آن از طریق آنتن باشد. برای تبدیل امواج صوتی به امواج الکترومغناطیسی، کافی است امواج صوتی را طبق شکل ۳-۳ تبدیل به امواج الکترومغناطیسی کنیم و آن را در فضا انتشار دهیم. به دلایل زیر نمی‌توان ازروش ذکر شده برای انتشار امواج صوتی استفاده کرد.

الف- طول موج امواج صوتی بسیار زیاد است؛ بنابراین نمی توان پس از تبدیل آن به امواج الکتریکی، آن را ازآنتن منتشر کرد. یکی از ملزومات اولیه برای تبدیل سیگنالهای الکتریکی به امواج الکترومغناطیسی زیاد بودن فرکانس آن است.



شکل ۳-۳- تبدیل امواج صوتی به امواج الکترومغناطیسی؟!

ب- درصورتی که انتشار امواج صوتی از آنتن ممکن باشد، برای انتشار نیاز به آنتن بسیار طویل است.

مثال ۱-۳- درصورتی که بخواهیم سیگنال صوتی با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز را بااستفاده ازآنتن $\frac{\lambda}{۴}$ منتشر کنیم طول آنتن چقدر می شود؟

پاسخ:

$$\lambda = \frac{C}{F} = \frac{۳۰۰۰۰۰\text{Km}}{۲۰۰۰۰} = ۱۵\text{Km} = ۱۵۰۰۰\text{m}$$

$$\text{طول آنتن} = L_{آ} = \frac{\lambda}{۴} = \frac{۱۵۰۰۰}{۴} = ۳۷۵۰ \quad \text{متر}$$

مهار کردن و نگهداری آنتنی به طول ۳۷۵۰ متر تقریباً ناممکن است.

ج ـ با فرض اینکه بتوان آنتن طویل را مورد استفاده قرار داد، به دلیل این که صوت، ترکیبی از فرکانسهای مختلف است، نیازبه آنتنهای متعدد با طولهای متفاوت دارد. مثلاً برای فرکانس ۲۰ کیلوهرتز نیاز به آنتنی به طول ۳۷۵۰ متر و برای فرکانس ۲۰ هرتز نیازبه آنتنی به طول ۳۷۵۰ کیلومتر است.

د ـ در صورتی که نیاز به آنتنهای متعدد را نیز بپذیریم، در هر لحظه بیش از یک ایستگاه رادیویی نمی توانیم داشته باشیم. چرا که به علت مشابهت طیف فرکانسی صوت انسانها با یکدیگر، تداخل به وجود می آید و صداها با هم مخلوط می شود.

پس با توجه به موارد بالا نتیجه می گیریم که اولاً هرگز نمی توان سیگنال صوتی را مستقیماً تبدیل به امواج کرد، ثانیاً مستقیماً امواج را در فضا انتشار داد. پس چه باید کرد؟ چگونه اولین پیام انسانی را که صداست به فواصل دور منتقل کنیم؟

آیا هرگز فکر کرده اید که اگر انسان بخواهد فاصله بین تهران تا مشهد را پیاده طی کند چه مدت طول می کشد؟ یا یک حساب سرانگشتی اگر سرعت راه رفتن را ۵ کیلومتر در ساعت و فاصله تهران تا مشهد را ۹۶۰ کیلومتر درنظر بگیریم زمان مورد نیاز برابر است با:

$$\frac{\text{فاصله}}{\text{سرعت}} = \text{زمان مسافرت با پای پیاده}$$

$$= \frac{960\,Km}{5\,Km/H} = 192 \text{ ساعت} = 8 \text{ شبانه روز}$$

حال اگر این فاصله را با اتومبیل طی کنیم و سرعت متوسط اتومبیل ۶۰ کیلومتر در ساعت باشد زمان مورد نیاز برابر خواهد شد با:

$$\frac{\text{فاصله}}{\text{سرعت}} = \text{زمان مسافرت با اتومبیل}$$

$$= \frac{960\,Km}{60\,Km/H} = 16 \text{ ساعت}$$

درصورتی که فاصله مزبور را با هواپیمایی طی کنیم که سرعت آن ۶۰۰ کیلومتر در ساعت باشد، در حدود ۱/۵ ساعت طول می کشد تا به مقصد برسیم. مشاهده می شود که سرعت وسیله نقلیه زمان جابه جایی را کم می کند. بنابراین، انتخاب وسیله نقلیه از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

چنانچه سیگنال صوتی را روی سیگنال دیگری که به عنوان وسیله نقلیه استفاده می شود سوار کنیم[1] می توانیم اشکالات مربوط به ارسال مستقیم را برطرف کنیم. به این عمل در اصطلاح عمومی مدولاسیون[2] می گویند. سیگنال پیام را سیگنال مدوله کننده[3] می گویند. سیگنالی که پیام روی آن سوار می شود سیگنال حامل، «کاریر»[4] یا سیگنال مدوله شونده[5] می نامند.

۴ـ۳ـ خودآزمایی

۱ـ۴ـ۳ـ چرا امواج صوتی را مستقیماً نمی توان به امواج الکترومغناطیسی تبدیل کرد؟

۲ـ۴ـ۳ـ درصورتی که فرکانس تون صوتی برابر با ۳ کیلوهرتز باشد طول آنتن $\frac{\lambda}{4}$ برای انتشار آن چقدر است؟

۳ـ۴ـ۳ـ در صورتی که انتشار امواج صوتی از آنتن به صورت مستقیم میسّر باشد، به چه دلیل نیاز به آنتنهای متعدد داریم؟

۵ـ۳ـ مزایای استفاده از سیگنال RF به عنوان حامل

در قسمتهای قبل گفتیم که به دلایل متعددی امکان

---

۱ ـ Modulation ۲ ـ Modulating Signal - Message ۳ ـ Carrier ۴ ـ Modulation Signal

انتشار سیگنال صوتی به طور مستقیم از آنتن وجود ندارد. حال می خواهیم ببینیم آیا استفاده از سیگنال RF مشکلات را حل می کند؟

الف ـ اشاره شد که به علت کم بودن فرکانس امواج صوتی نیاز به آنتنهای طویل است؛ درصورتی که به علت بالا بودن فرکانسهای RF طول آنتن کم می شود.

مثال ۲ـ۳ـ درصورتی که فرکانس حامل برابر با ۱۰۰ مگاهرتز باشد، طول آنتن $\frac{\lambda}{4}$ را به دست آورید.

پاسخ:

$$\lambda = \frac{C}{F} = \frac{3\text{-----}\times 10^{8}\ m/s}{1\text{--}\times 10^{8}\ HZ} = 3\ \text{متر}$$

$$l_{\frac{\lambda}{4}} = \frac{\lambda}{4} = \frac{3}{4} = 0/75m = 75\ \text{سانتی متر}$$

مثال ۲ـ۳ـ را با مثال ۱ـ۳ مقایسه کنید. درمثال ۱ـ۳ برای انتشار مستقیم سیگنال صوتی نیاز به آنتنی به طول ۳۷۵۰ متر است؛ درصورتی که با استفاده از سیگنال RF به عنوان حامل، طول آنتن به ۷۵ سانتی متر کاهش یافته است.

ب ـ احتیاج به آنتنهای متعدد نیز یکی از مشکلات انتشار مستقیم سیگنال صوتی بود، که درصورت استفاده از سیگنال RF این مسأله نیز برطرف می شود. برای این که سیگنال RF به عنوان وسیله نقلیه مستقلاً عمل می کند. دراین حالت، طول آنتن دقیقاً با طول موج سیگنال RF مرتبط می شود.

ج ـ تداخل ایستگاههای رادیویی مشکل دیگری بود که در انتشار سیگنال صوتی به صورت مستقیم به وجود می آمد. انتخاب سیگنالهای حامل متفاوت درمحدوده RF مشکل تداخل را نیز از بین می برد چراکه به علت زیاد بودن فرکانس RF می توان توسط فیلترهای مناسب فرکانسها را از یکدیگر تفکیک کرد. درجدول ۱ـ۳ مزایای استفاده از سیگنال RF به عنوان حامل، درمقایسه باانتشار مستقیم پیام آمده است.

جدول ۱ـ۳ـ مزایای استفاده از سیگنال RF به عنوان حامل

انتشار مستقیم	انتشار با استفاده از سیگنال RF
۱ ـ به علت کم بودن فرکانس سیگنال صوتی نیاز به آنتن طویل است.	۱ ـ به علت زیاد بودن فرکانس طول آنتن بشدت کاهش می یابد.
۲ ـ به علت تعدد فرکانسهای صوتی و وسیع بودن محدوده فرکانسی صوتی نیاز به آنتنهای متعدد می باشد.	۲ ـ استفاده از سیگنال RF به عنوان حامل اصلی انتشار، وابستگی طول آنتن به فرکانسهای صوتی از بین می رود.
۳ ـ به علت مشابه بودن باند فرکانس صوتی نمی توان بیش از یک ایستگاه رادیویی در منطقه داشت.	۳ ـ با استفاده از سیگنالهای حامل متفاوت می توان چندین ایستگاه رادیویی در منطقه دایر کرد.

۶ـ۳ـ خودآزمایی

۱ـ۶ـ۳ـ مزایای استفاده از سیگنال RF را به عنوان حامل بیان کنید.

۲ـ۶ـ۳ـ شکل موج سیگنال پیام و حامل را ترسیم و با هم مقایسه کنید.

۳ـ۶ـ۳ـ به چه دلیل باید فرکانس حامل را زیاد انتخاب کرد؟

۴ـ۶ـ۳ـ درصورتی که فرکانس حامل برابر با ۱۲۰۰ کیلوهرتز باشد، طول آنتن $\frac{\lambda}{4}$ را به دست آورید.

۷ـ۳ـ چگونگی عمل مدولاسیون

مثالی را درمورد مسافرت انسان با استفاده از روشهای مختلف بیان کردیم. این مثال فقط جهت درک بهتر مطلب عنوان شده بود. عمل مدولاسیون درمقایسه با مسافرت انسان عملی کاملاً متفاوت است. هنگامی که انسان درمبدأ سوار هواپیما می‌شود، درزمان سوار شدن هیچ تغییری درماهیت او پدید نمی‌آید. در مقصد نیز بدون تغییر در ذات و ماهیت از هواپیما پیاده می‌شود. درصورتی که در مدولاسیون همواره شکل سیگنال ارسالی با سیگنال حامل و پیام کاملاً متفاوت است؛ به عبارت دیگر، درهنگام انجام مدولاسیون یکی از مشخصه‌های سیگنال حامل متناسب با پیام تغییر می‌کند.

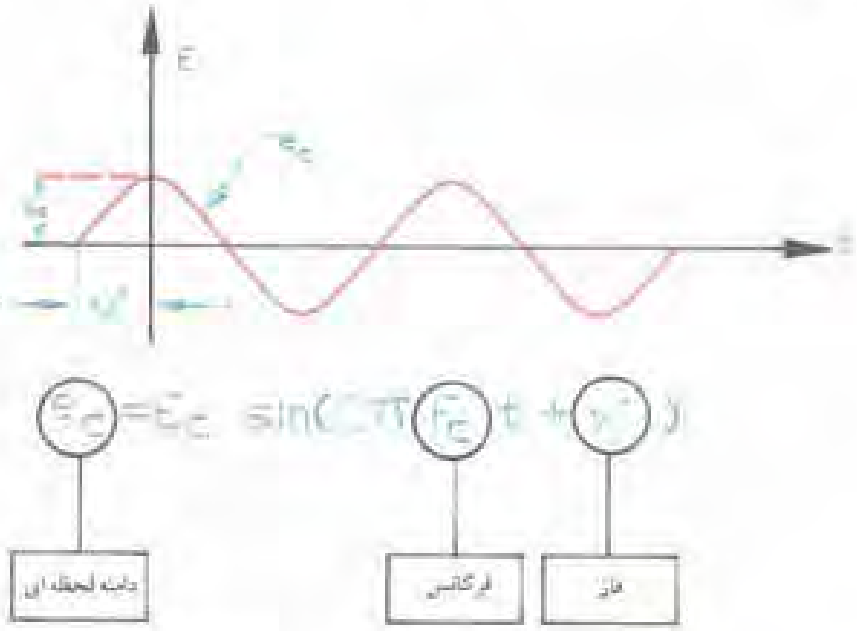
۱ـ۷ـ۳ـ **مشخصه‌های سیگنال حامل**: سیگنال حامل معمولاً به دو صورت مربعی یا سینوسی تولید می‌شود. در فرستنده‌های محلی معمولاً از سیگنال سینوسی به عنوان حامل استفاده می‌کنند. بنابراین بحث ما بیشتر درباره حامل سینوسی خواهد بود. می‌دانیم که هر سیگنال سینوسی دارای سه مشخصه اصلی به شرح زیر است:

۱ـ دامنه Amplitude

۲ـ فرکانس Frequency

۳ـ فاز Phase

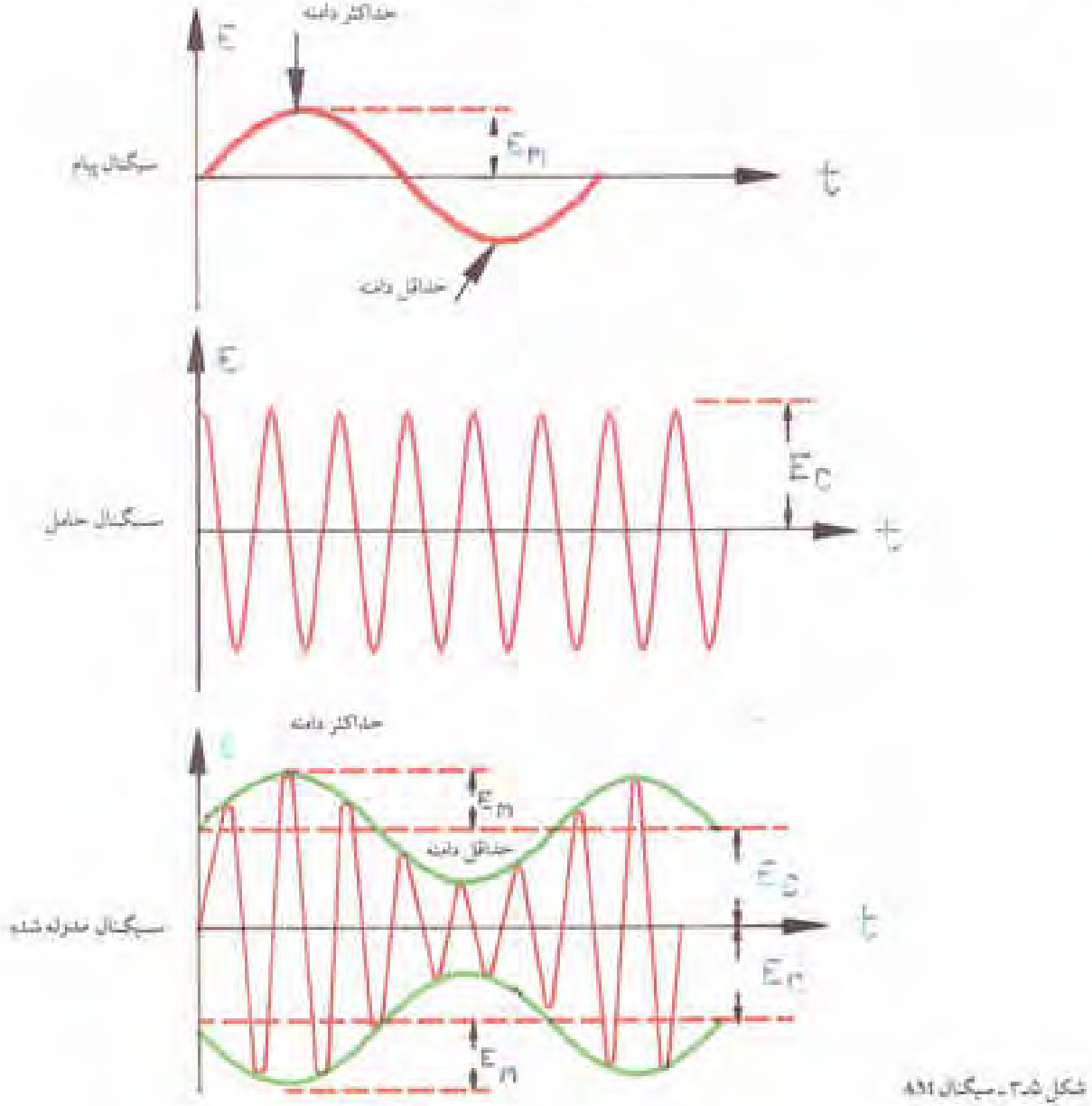
در شکل ۴ـ۳ سیگنال حامل را با ذکر معادله موج و مشخصه‌های اصلی آن مشاهده می‌کنید.



شکل ۴ـ۳ـ مشخصه‌های اصلی سیگنال حامل

۲ـ۷ـ۳ـ تعریف مدولاسیون: مدولاسیون عبارت است از کنترل یکی از مشخصه های اصلی حامل توسط پیام به طوری که گیرنده بتواند اطلاعات ارسال شده از قبیل صوت، موسیقی و ... را مجدداً بازسازی کند. چون سیگنال حامل یک سیگنال سینوسی با فرکانس بالاست بنابراین می توان سه مشخصه دامنه، فاز و فرکانس را با سیگنال پیام، تحت کنترل درآورد. بنابراین سه نوع مدولاسیون: دامنه، فاز و فرکانس شکل می گیرد.

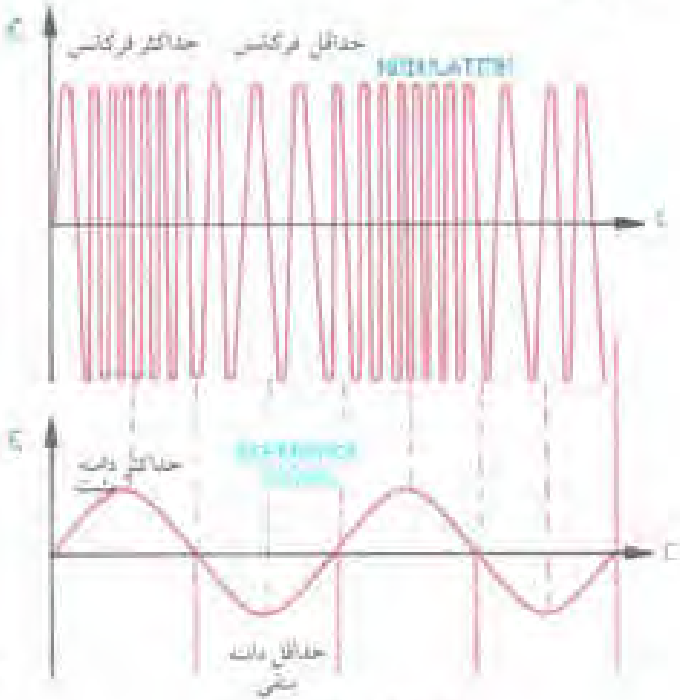
۳ـ۷ـ۳ـ مدولاسیون دامنه: هرگاه دامنه حامل، به صورت خطی متناسب با مقادیر لحظه ای دامنه پیام تغییر کند مدولاسیون دامنه به وجود می آید. در این حالت سرعت تکرار تغییرات دامنه حامل، متناسب با فرکانس پیام خواهد بود. مدولاسیون دامنه را با AM[1] نمایش می دهند که در شکل ۵ـ۳ سیگنال AM ترسیم شده است.



شکل ۵ـ۳ ـ سیگنال AM

۱ ـ Amplitude Modulation

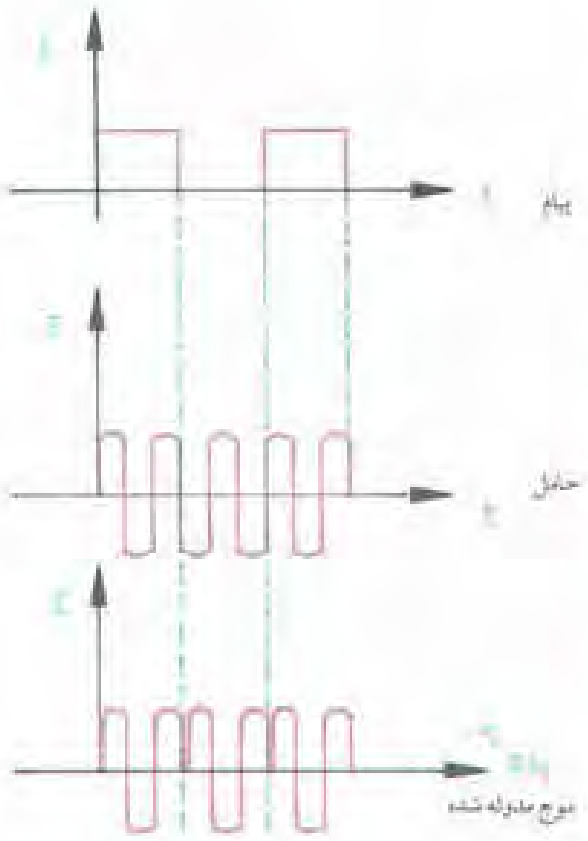
۴ـ۷ـ۳ـ مدولاسیون فرکانس: در صورتی که فرکانس سیگنال حامل، متناسب با تغییرات دامنه پیام تغییر کند مدولاسیون فرکانس ایجاد می‌شود. در این حالت سرعت تکرار تغییرات فرکانس متناسب با فرکانس پیام خواهد بود. مدولاسیون فرکانس را با FM[1] نشان می‌دهند، (شکل ۶ـ۳).



شکل ۶ـ۳ـ مدولاسیون FM

۵ـ۷ـ۳ـ مدولاسیون فاز: اگر فاز سیگنال حامل متناسب با دامنه سیگنال پیام تغییر کند مدولاسیون فاز به وجود می‌آید. در این حالت سرعت تکرار تغییرات فاز برابر با فرکانس پیام خواهد بود. مدولاسیون فاز از پاره‌ای جهات مشابهتهایی با مدولاسیون FM دارد. مدولاسیون فاز را با PM[2] نشان می‌دهند (شکل ۷ـ۳).

سه نوع مدولاسیون AM، FM و PM از انواع مدولاسیونهای پیوسته یا آنالوگ[3] هستند. درصورتی که حامل یا پیام موج مربعی باشد، مدولاسیون دیجیتال شکل



شکل ۷ـ۳ـ مدولاسیون فاز

می‌گیرد. چون هدف ما در این کتاب تحلیل مدار گیرنده‌های رادیویی است، مدولاسیون دیجیتال را مورد بحث قرار نمی‌دهیم و تأکید بر مدولاسیونهای آنالوگ و بیشتر روی AM خواهیم داشت.

۸ـ۳ـ خودآزمایی

۱ـ۸ـ۳ـ مشخصه‌های سیگنال حامل و پیام را با ذکر معادلات آن نام ببرید.

۲ـ۸ـ۳ـ مدولاسیون دامنه، فرکانس و فاز را تعریف کنید.

۳ـ۸ـ۳ـ شکل موج سیگنال AM، FM و PM را ترسیم کنید.

۱ـ Frequency Modulation ۲ـ Phase Modulation ۳ـ Analog

۹ـ۳ـ معادله سیگنال AM

درصورتی که معادله سیگنالهای حامل و پیام به صورت معادلات ۳ـ۳ و ۳ـ۴ باشد.

$e_m = E_m \sin \omega_m t$ ۳ـ۳ معادله سیگنال پیام

$e_c = E_c \sin \omega_c t$ ۳ـ۴ معادله سیگنال حامل

برای انجام مدولاسیون باید معادله سیگنال پیام را روی دامنه حامل اثر دهیم. معادله سیگنال مدوله شده به صورت معادله ۳ـ۵ خواهد شد:

$$e_c = E_c \sin \omega_c t$$

$$e_m = E_m \sin \omega_m t$$

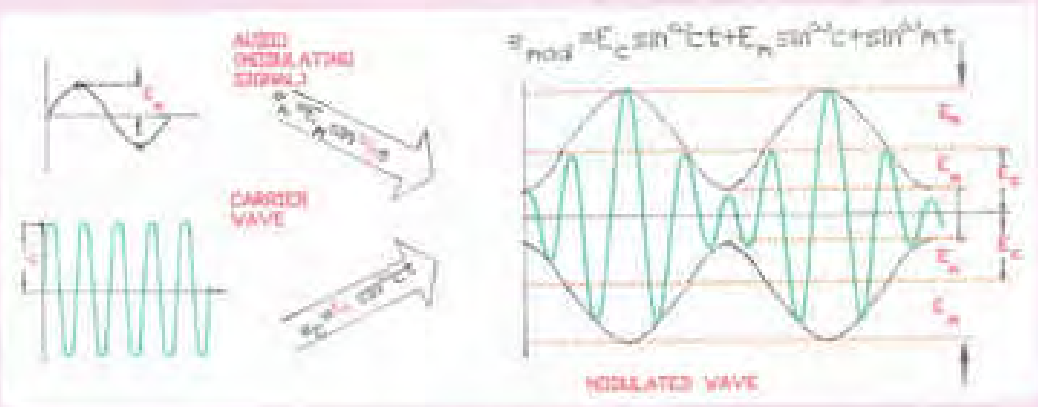
$$e_{mod} = (E_c + E_m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t \qquad ۳ـ۵$$

در شکل ۳ـ۸، سیگنال حامل، سیگنال پیام و سیگنال مدوله شده را ملاحظه می کنید. معادلات هر یک از سیگنالها در زیر آن نوشته شده است. اگر شکل ج ۳ـ۹ را مورد توجه قرار دهید مشاهده می کنید که دامنه سیگنال حامل دقیقاً با پیام تغییر کرده است.

تغییرات دامنه را در اصطلاح پوش مدولاسیون[۲] می نامند. فرم کلی معادله موج مدوله شده پس از ساده شدن به صورت معادله ۳ـ۶ درمی آید:

$$e_{mod} = E_c \sin \omega_c t + E_m \sin \omega_c t + \sin \omega_m t \qquad ۳ـ۶$$

مشاهده می شود که شکل موج مدوله شده AM و معادلات آن با معادله حامل و پیام کاملاً متفاوت است.



شکل ۳ـ۸ـ سیگنال مدوله شده AM

۱ ـ e_{mod} به معنی مقادیر لحظه ای سیگنال مدوله شده است

۲ ـ Modulation Envelope

۱۰ـ۳ـ خودآزمایی

۱ـ۱۰ـ۳ـ معادله سیگنال پیام و حامل را بنویسید.

۲ـ۱۰ـ۳ـ نحوه به دست آمدن معادله موج مدوله شده AM را با ذکر معادلات مربوطه شرح دهید.

۳ـ۱۰ـ۳ـ پوش مدولاسیون را تعریف کنید.

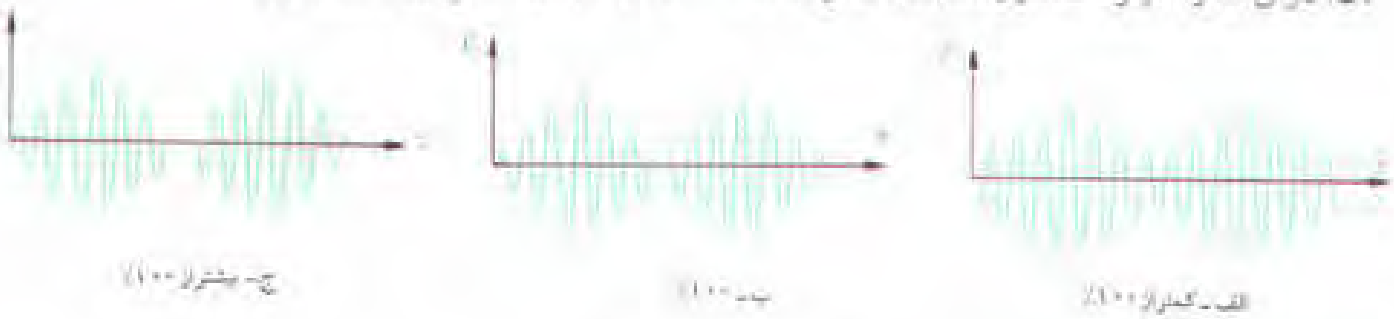
۴ـ۱۰ـ۳ـ سیگنال AM را ترسیم کرده و مقادیر E_{pp} و E_{cp} را روی آن مشخص کنید.

(برای مطالعه، پایان)

۱۱ـ۳ـ شاخص مدولاسیون[1]

به تصاویر داده شده در شکل ۹ـ۳ توجه کنید. در این شکل سه سیگنال AM نشان داده شده است. شکل الف ۹ـ۳ دارای مدولاسیون کمتری نسبت به شکل ب ۹ـ۳ است. در شکل ج ۹ـ۳ میزان مدولاسیون به اندازه ای است که در بعضی از قسمتها، سیگنال حامل حذف شده است.

با توجه به توضیحات فوق می توانیم برای مدولاسیون سه درجه بندی به شرح زیر داشته باشیم:



الف ـ کمتر از ۱۰۰٪ ب ـ ۱۰۰٪ ج ـ بیشتر از ۱۰۰٪

شکل ۹ـ۳ـ درجه بندی مدولاسیون

۱ـ۱۱ـ۳ـ **مدولاسیون کمتر از صددرصد**[2]: در این نوع مدولاسیون، دامنه حامل هرگز به صفر نمی رسد. به عبارت دیگر دامنه پیام کمتر از حامل است. (شکل الف ۹ـ۳).

۲ـ۱۱ـ۳ـ **مدولاسیون صددرصد**[3]: در این درجه بندی از مدولاسیون، دامنه سیگنال حامل در یک لحظه کوتاه به صفر می رسد. (شکل ب ۹ـ۳). این شرایط هنگامی پدید می آید که دامنه حامل و دامنه پیام با هم برابر باشد.

۳ـ۱۱ـ۳ـ **مدولاسیون بیشتر از صددرصد**[4]: در صورتی که دامنه پیام بیشتر از دامنه حامل باشد، مدولاسیون بیشتر از صددرصد حاصل خواهد شد (شکل ج ۹ـ۳). این نوع مدولاسیون عملاً قابل قبول نیست، زیرا هنگام بازسازی سیگنال پیام در گیرنده قسمتی از آن حذف می شود. به عبارت دیگر در سیگنال پیام اعوجاج[5] به وجود می آید.

۱ـ Modulation Index را شاخص یا ضریب مدولاسیون Modulation Factor نیز می نامند.

۲ـ Less than 100% Modulation

۳ـ 100% Modulation

۴ـ More than 100% Modulation or Overmodulation.

۵ـ اعوجاج به معنی کج و معوج شدن است و معنی کلمه distortion است.

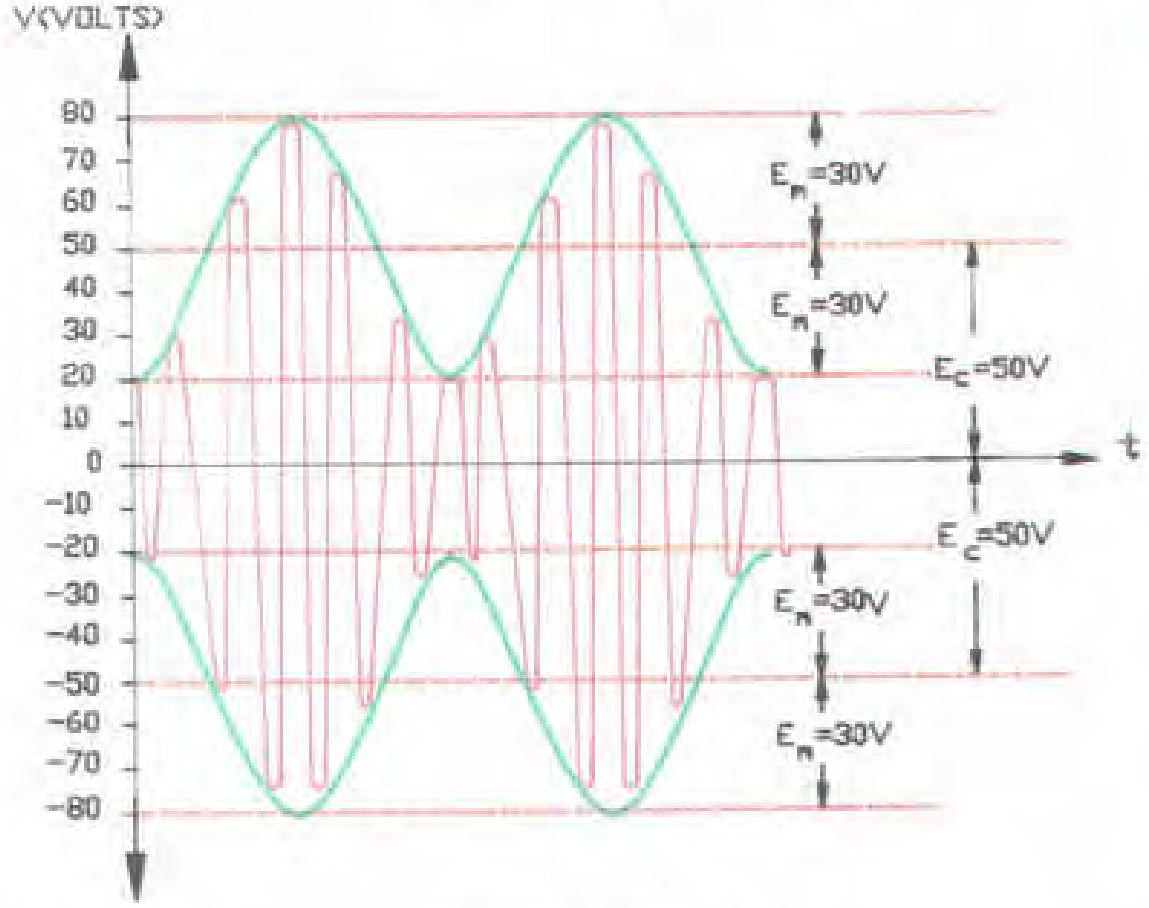
برای مقایسه درجه بندی مدولاسیون از شاخص مدولاسیون استفاده می کنیم. شاخص مدولاسیون را با m نشان می دهند.

۴ـ۱۱ـ۳ـ **تعریف شاخص مدولاسیون:** نسبت دامنه سیگنال پیام به سیگنال حامل را شاخص مدولاسیون یا ضریب مدولاسیون می نامند. اگر دامنه ماکزیمم حامل E_c و دامنه ماکزیمم پیام E_m باشد، شاخص مدولاسیون برابر است با:

۳ـ۷

$$\text{شاخص مدولاسیون} = m = \frac{E_m}{E_c} = \frac{\text{دامنه پیام}}{\text{دامنه حامل}}$$

مثال ۳ـ۳ـ ضریب مدولاسیون را با توجه به شکل ۳ـ۱۰ به دست آورید.



شکل ۳ـ۱۰ـ محاسبه ضریب مدولاسیون

پاسخ: همان طورکه درشکل مشاهده می‌شود، دامنه حامل برابر با ۵۰ولت ودامنه پیام برابر با ۳۰ ولت است. دراثر مدولاسیون دامنه حامل در نیم سیکل مثبت پیام از ۵۰ولت به $۵۰ + ۳۰ = ۸۰$ ولت افزایش و درنیم سیکل منفی از ۵۰ولت به $۵۰ - ۳۰ = ۲۰$ ولت کاهش می یابد؛ به عبارت دیگر سیگنال پیام به طور لحظه ای با دامنه حامل جمع می شود. بنابراین داریم:

دامنه حامل $E_c = ۵۰V$

دامنه پیام $E_m = ۳۰V$

ضریب مدولاسیون $m = \frac{E_m}{E_c} = \frac{۳۰}{۵۰} = ۰/۶$

توجه: دامنه حامل و پیام را می توانید برحسب پیک، پیک تو پیک یا موثر قرار دهید. دقت کنید اگر E_c را بر حسب پیک انتخاب کردید باید E_m نیز برحسب پیک انتخاب شود.

۵ـ۱۱ـ۳ـ درصد مدولاسیون[1]: چون ضریب مدولاسیون درعمل کوچکتر از واحد انتخاب می شود، برای سادگی درمحاسبات معمولاً آن را بر حسب درصد مدولاسیون بیان می کنند. درصد مدولاسیون را با M یا m_p نشان می دهند (رابطه ۸ـ۳).

$$M = m_p = \frac{E_m}{E_c} \times ۱۰۰$$ ۸ـ۳ درصد مدولاسیون

مثال ۴ـ۳ـ درصد مدولاسیون را برای شکل ۱۰ـ۳ در مثال ۳ـ۳ به دست آورید.

$$M = m_p = \frac{E_m}{E_c} \times ۱۰۰$$

پاسخ:

$$M = m_p = \frac{۳۰}{۵۰} \times ۱۰۰ = ۶۰٪$$

۱۲ـ۳ـ خودآزمایی

۱ـ۱۲ـ۳ـ امواج با مدولاسیون ۱۰۰٪، کمتر از ۱۰۰٪ و بیشتر از ۱۰۰٪ را شرح دهید.

۲ـ۱۲ـ۳ـ ضریب مدولاسیون را تعریف کنید و تفاوت آن را با درصد مدولاسیون بنویسید.

۳ـ۱۲ـ۳ـ به چه دلیل از مدولاسیون بیشتر از ۱۰۰٪ نمی توان استفاده کرد؟

۱۳ـ۳ـ طیف فرکانسی سیگنال AM

درصورتی که یک سیگنال AM با فرکانس حامل F_c و پیام به صورت تون صوتی با فرکانس F_m وضریب مدولاسیون m را به ورودی دستگاه طیف نما متصل کنیم، روی صفحه دستگاه طیف نما فرکانسهایی به شرح زیر ظاهر می شود:

فرکانس حامل $F_c =$

مجموع فرکانسهای حامل و پیام $F_c + F_m$

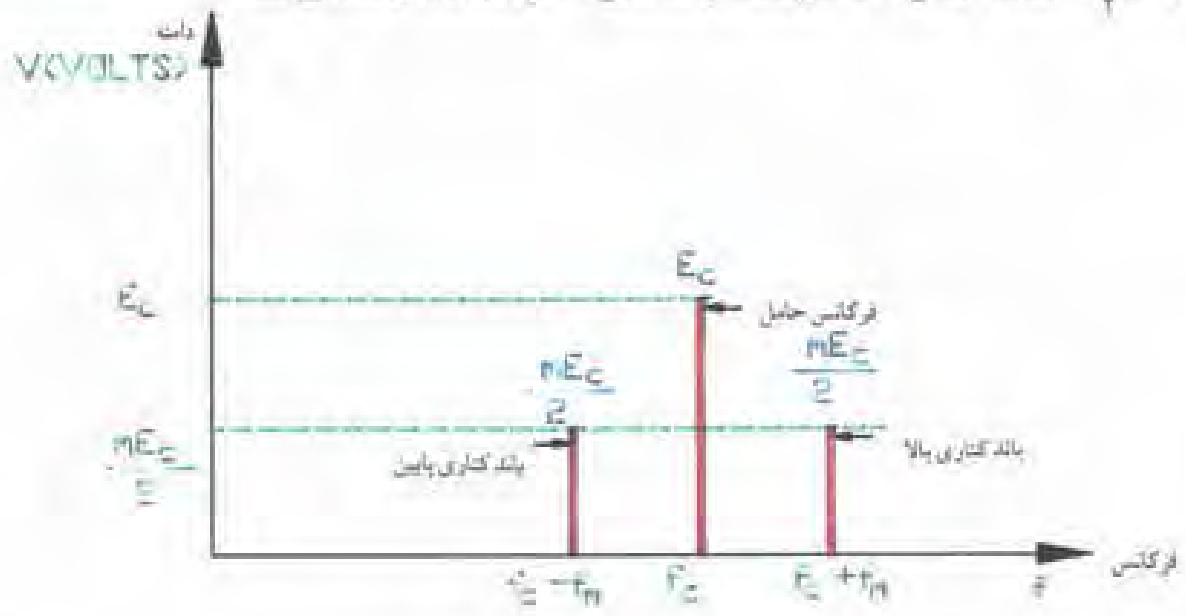
تفاضل فرکانسهای حامل و پیام $F_c - F_m$

مجموعهٔ فرکانسهای فوق را طیف فرکانسی سیگنال AM می نامند. درطیف فرکانسی دامنه سیگنال حامل برابر با E_c و دامنه فرکانسهای $F_c + F_m$ و $F_c - F_m$ هرکدام

---

1 ـ Percent of Modulation

برابر با $\frac{mE_c}{2}$ است[1]. شکل ۱۱ـ۳ طیف فرکانسی سیگنال AM را نشان می دهد.



شکل ۱۱ـ۳ـ طیف فرکانسی AM

همان طور که مشاهده می شود، فرکانسهای مجموع ($F_c + F_m$) وتفاضل ($F_c - F_m$) در دو طرف فرکانس حامل قرار دارند. فرکانس مجموع را فرکانس کناری بالا (USF)[2] و فرکانس تفاضل را فرکانس کناری پایین (LSF)[3] می نامند.

مثال ۵ـ۳ـ یک سیگنال حامل با فرکانس ۷۵۰ کیلوهرتز توسط یک موج سینوسی خالص با فرکانس ۳ کیلوهرتز مدوله می شود مقادیر فرکانسهای موجود در طیف فرکانسی را به دست آورید. کدام فرکانس، فرکانس کناری بالا وکدام فرکانس، فرکانس کناری پایین است؟

پاسخ:

$$F_c = 750KHZ$$
$$F_m = 3KHZ$$
$$F_c + F_m = 750KHZ + 3KHZ = 753KHZ$$
$$F_c - F_m = 750KHZ - 3KHZ = 747KHZ$$

LSF = ۷۴۷KHZ	فرکانس کناری پایین
USF = ۷۵۳KHZ	فرکانس کناری بالا

۱ـ منظور فرکانس و دامنه طیف فرکانسی با استفاده از روابط ریاضی قابل محاسبه است.

۲ـ USF اختصار کلمات Upper Side Frequency است. ۳ـ LSF اختصار کلمات Lower Side Frequency است.

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

مثال ۳ـ۶ـ سیگنال پیامی شامل فرکانسهای $F_{m1} = 3KHZ$ ، $F_{m2} = 10KHZ$ و $F_{m3} = 20KHZ$ است. در صورتی که این سیگنالها را روی حامل $F_c = 500KHZ$ مدوله کنیم و سیگنال مدوله شده را به دستگاه طیف نما بدهیم چه فرکانسهایی روی صفحه دستگاه ظاهر می شود؟ فرکانسهای کناری بالا و فرکانسهای کناری پایین کدام اند؟ دامنه طیف فرکانسی بستگی به چه عواملی دارد؟

پاسخ:

$$F_1 = F_c + F_{m1} = 500 + 3 = 503KHZ$$
$$F_2 = F_c + F_{m2} = 500 + 10 = 510KHZ$$
$$F_3 = F_c + F_{m3} = 500 + 20 = 520KHZ$$
$$F_4 = F_c - F_{m1} = 500 - 3 = 497KHZ$$
$$F_5 = F_c - F_{m2} = 500 - 10 = 490KHZ$$
$$F_6 = F_c - F_{m3} = 500 - 20 = 480KHZ$$

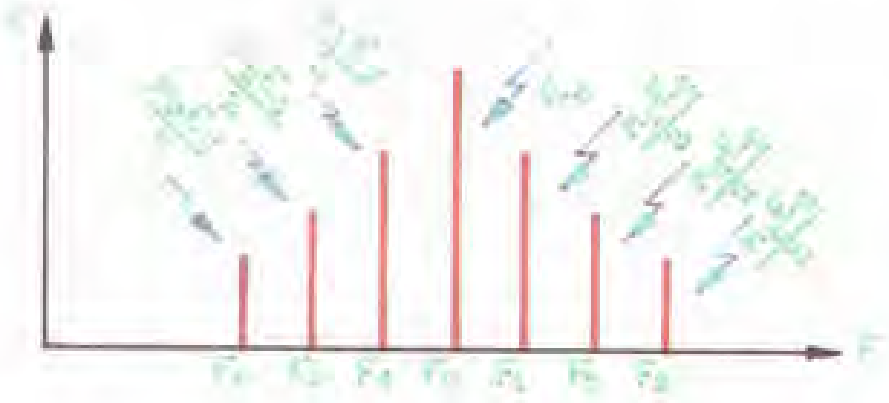
دامنه فرکانسهای کناری، بستگی به ضریب مدولاسیون m و E_c دارد. طیف سیگنال مدوله شده حاوی هفت فرکانس به شرح زیر است:

فرکانس حامل $\Rightarrow F_c$

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

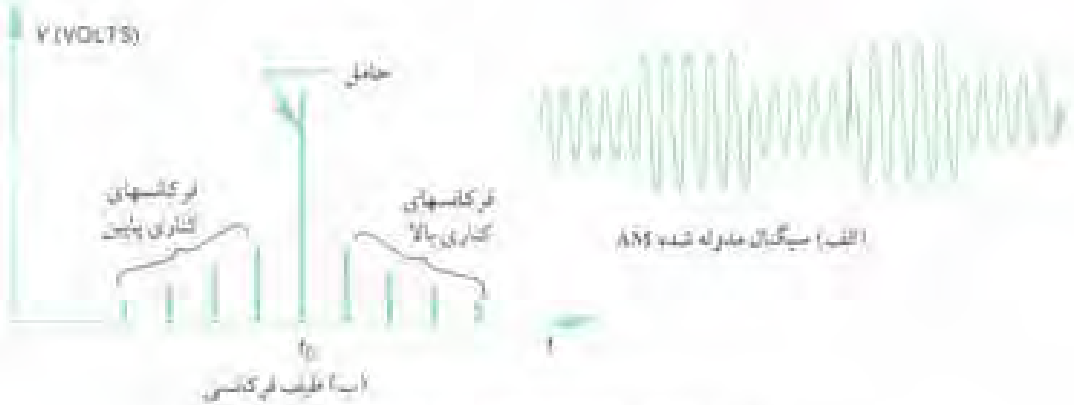
فرکانسهای کناری پایین $\Rightarrow F_4 ، F_5 ، F_6$

در شکل ۳ـ۱۲ طیف فرکانسی نشان داده شده است.



شکل ۳ـ۱۲ـ طیف فرکانسی حاصل از سیگنال پیام مرکب

اگر سیگنال پیام یک سیگنال غیر سینوسی مثلاً مربعی باشد، در این حالت در بالدهای کناری بالا و پایین مجموعه ای از طیف فرکانسی را که از ترکیب هارمونیکهای موج غیر سینوسی به وجود می آید، خواهیم داشت. در شکل ۱۳ـ۳ طیف فرکانسی یک موج مدوله شده را که پیام آن یک سیگنال مربعی است مشاهده می کنید.



شکل ۱۳ـ۳ـ طیف فرکانسی حاصل از مدولاسیون موج مربعی

۱۴ـ۳ـ خودآزمایی

۱ـ۱۴ـ۳ـ در صورتی که سیگنال مدوله کننده یک سیگنال سینوسی ساده باشد، طیف فرکانسی موج مدوله شده را رسم کنید.

۲ـ۱۴ـ۳ـ فرکانسهای USF و LSF را تعریف کنید.

۳ـ۱۴ـ۳ـ در صورتی که $F_c = 60\ KHZ$ ، $E_c = 10\ V$ و $m = 0/3$ باشد، مقدار دامنه فرکانسهای کناری بالا و پایین چند ولت است؟ مقدار فرکانسهای کناری بالا و پایین در صورتی که $F_m = 2KHZ$ باشد برابر با چند کیلوهرتز است؟

۴ـ۱۴ـ۳ـ طیف فرکانسی حاصل از مدولاسیون سه سیگنال سینوسی با یک حامل را رسم کنید.

۵ـ۱۴ـ۳ـ طیف فرکانسی حاصل از مدولاسیون موج مربعی با یک سیگنال حامل را رسم کنید.

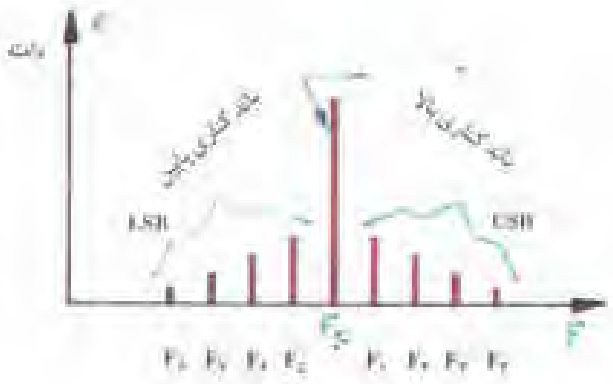
۱۵ـ۳ـ پهنای باند[1] سیگنال AM

همان طور که در مثال ۶ـ۳ بیان شد، در صورتی که سیگنال مدوله کننده (پیام) از چند سیگنال سینوسی تشکیل شده باشد، در صورت انجام مدولاسیون هریک از سیگنالها به تنهایی یک طیف فرکانسی را به وجود می آورد. در این حالت تعداد فرکانسهای کناری بالا و پایین بیشتر از یک فرکانس شده و باند فرکانسی را تشکیل می دهد. از مجموع فرکانسهای پیام و حامل باند کناری بالا USB[2] و از تفاضل فرکانسهای پیام و حامل باند کناری پایین LSB[3] شکل می گیرد (شکل ۱۴ـ۳).

۱ـ پهنای باند را Band Width می نامند و با BW نشان می دهند.

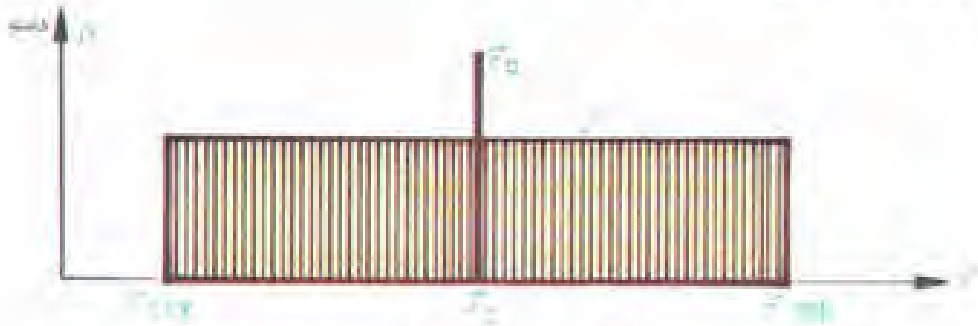
۲ـ باند کناری بالا USB مخفف Upper Side Band است.

۳ـ باند کناری پایین LSB مخفف Lower Side Band است.



شکل ۱۴ـ۳ـ باندهای کناری بالا و پایین

اگر تعداد فرکانسهای پیام آن قدر زیاد شود که حوزه‌های فرکانسهای کناری بالا و پایین به هم بچسبند، باند فرکانسی پیوسته تشکیل می شود (شکل ۱۵ـ۳).



شکل ۱۵ـ۳ـ باند فرکانسی پیوسته

۱ـ۱۵ـ۳ـ پهنای باند سیگنال مدوله شده: پهنای باند عبارت از محدوده فرکانسهایی است که در فاصله بین کمترین فرکانس کناری پایین و بیشترین فرکانس کناری بالا قرار می گیرد. پهنای باند از رابطه ۹ـ۳ به دست می آید.

$$BW = F_{USB} - F_{LSB} \qquad ۳ـ۹$$

که در آن

BW = پهنای باند بر حسب هرتز یا کیلوهرتز و یا مگاهرتز

F_{USB} = بالاترین فرکانس باند کناری بالا

F_{LSB} = پایینترین فرکانس باند کناری پایین

پهنای باند را با روش دیگری نیز می توان محاسبه کرد. با فرمول پهنای باند شروع می کنیم:

$$BW = F_{USB} - F_{LSB} \qquad ۳ـ۱۰$$

می دانیم

$$F_{USB} = F_c + F_{m\ max} \qquad ۳ـ۱۱$$

$$F_{LSB} = F_c - F_{m\ max} \qquad ۳ـ۱۲$$

معادلات ۱۱ـ۳ و ۱۲ـ۳ را در معادله ۱۰ـ۳ قرار می دهیم:

$$BW = (F_c + F_{m\ max}) - (F_c - F_{m\ max})$$

$$BW = 2F_{m\ max} \qquad ۳ـ۱۳$$

با توجه به معادله ۱۳ـ۳ درمی یابیم که پهنای باند دوبرابر بیشترین فرکانس پیام است. به عبارت دیگر، در سیگنال AM پهنای باند دوبرابر 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 ۷ـ۳ـ اگر فرکانس سیگنال حامل دریک فرستنده رادیویی ۱۰ مگاهرتز باشد و بخواهیم آن را با فرکانس ۵ کیلوهرتز مدوله کنیم، پهنای باند سیگنال AM ارسالی چقدر خواهد شد؟

$$BW = ۲F_m = ۲ \times ۵ = ۱۰KHZ$$

تعداد ایستگاههای رادیویی ـ باتوجه به مسأله پهنای باند در فرستنده های رادیویی تعداد ایستگاههای رادیویی محدود می شود.

مثال ۸ـ۳ـ دریاند فرکانسی ۱ تا ۲ مگاهرتز چند ایستگاه رادیویی AM می توان جای داد؟

$$\text{تعداد ایستگاهها} = \frac{\text{باند فرکانس رادیویی}}{\text{پهنای باند سیگنال AM}} = \frac{۲ \times ۱۰^۶ - ۱ \times ۱۰^۶ \ HZ}{۱۰ \times ۱۰^۳ \ HZ}$$

$$\text{تعداد ایستگاهها} = \frac{۱ \times ۱۰^۶}{۱۰ \times ۱۰^۳} = ۱۰۰$$

باتوجه به مثال ۸ـ۳ ملاحظه می شود که می توانیم عدد ایستگاه رادیویی رادرفاصله فرکانسی ۱ تا ۲ مگاهرتز داشته باشیم. عملاً برای جلوگیری از تداخل بین ایستگاهها باید باند محافظ[1] نیز درنظر گرفته شود. بدین ترتیب تعداد ایستگاهها کمتر از حد می شود. مقدار باند محافظ در AM برابر ۱/۲۵KHZ و در FM برابر ۵۰KHZ است.

۱۶ـ۳ـ خودآزمایی

۱ـ۱۶ـ۳ـ درصورتی که بیشترین فرکانس صوتی برابر با ۲/۵ کیلوهرتز باشد، پهنای باند سیگنال AM ارسالی چند کیلوهرتز است؟

۲ـ۱۶ـ۳ـ در صورتی که سیگنال پیام یک سیگنال غیرسینوسی باشد، به چه دلیل درسیگنال AM یک طیف فرکانسی تشکیل می شود؟

۳ـ۱۶ـ۳ـ پهنای باند فرستنده های AM تجارتی چند کیلوهرتز است؟

۴ـ۱۶ـ۳ـ در فاصله ۶۰۰ کیلوهرتز تا ۱۸۰۰ کیلوهرتز چند ایستگاه رادیویی می توان جای داد؟ (بدون باند محافظ)

---

۱ ـ Guard Band

فصل چهارم

مدارهای رزونانس و دسی بل

هدفهای رفتاری : در پایان این فصل از فراگیر انتظار می رود که:

ـ حساسیت را تعریف کند.

ـ نحوه افزایش میزان حساسیت را توضیح دهد.

ـ تقویت کننده های زنجیره ای را شرح دهد و علل استفاده از آن را بیان کند.

ـ بلوک دیاگرام تقویت کننده های زنجیره ای را تشریح کند.

ـ نویز را تعریف کند و منابع آن را نام ببرد.

ـ نسبت سیگنال به نویز را با ذکر مثال شرح دهد و محاسبه کند.

ـ ضریب تقویت یا گین ولتاژ، جریان و توان را شرح دهد.

ـ گین تقویت کننده چند طبقه را محاسبه کند.

ـ افت توان و ضریب تضعیف را تشریح کند.

ـ بل و دسی بل را شرح دهد و روابط بین آنها را بنویسد. (برای مطالعه)

ـ مقدار بل و دسی بل را با استفاده از نسبت دو توان محاسبه کند. (برای مطالعه)

ـ گین توان و ولتاژ و جریان را در یک تقویت کننده چند طبقه بر حسب دسی بل محاسبه کند. (برای مطالعه)

ـ مقدار گین تقویت کننده ها را هنگامی که ضریب تقویت ۲، ۴، ۸، ... برابر می شود بر حسب دسی بل به طور ذهنی محاسبه کند. (برای مطالعه)

ـ سطح صفر دی بی، دسی بل منفی و سطح 3db را شرح دهد و کاربرد آنها را بیان کند. (برای مطالعه)

ـ مقدار دسی بل را برای ضریب تضعیف ۲، ۴، ۸ و ... به طور ذهنی محاسبه کند. (برای مطالعه)

ـ با استفاده از نمودار، مقدار گین توان، ولتاژ و جریان را بر حسب db به دست آورد. (برای مطالعه)

ـ dbm را شرح دهد و موارد استفاده آن را بیان کند. (برای مطالعه)

ـ نحوه اندازه گیری db را با استفاده از مولتی متر شرح دهد. (برای مطالعه)

ـ موارد کاربرد دسی بل را با ذکر مثال شرح دهد. (برای مطالعه)

ـ مدارهای RLC سری و موازی را تجزیه و تحلیل کند. (برای مطالعه)

ـ تفاوت مدارهای RLC سری و موازی را شرح دهد. (برای مطالعه)

ـ مدارهای RLC سری و موازی را در حالت تشدید، زیر تشدید و بالای تشدید مقایسه کند. (برای مطالعه)

ـ فیلتر را تعریف کند و فیلترهای مکانیکی را با فیلترهای الکترونیکی مقایسه کند.

- فرکانس قطع، پهنای باند و ضریب کیفیت فیلترها را تعریف و محاسبه کند.
- فیلتر واقعی و فیلترایده آل را با یکدیگر مقایسه کند.
- انواع فیلترها را ازنظر عبور باند وکاربرد نام ببرد و مدار آن را ترسیم کند.
- محاسبات ساده فیلترهای میان گذر، بالاگذر، پایین گذر وحذف باند را انجام دهد.
- منحنیهای پاسخ فرکانسی فیلترهای عبور باند را از نظر تغییر مقدار Q ، R_S و R_P مورد تجزیه و تحلیل قراردهد.

پیشگفتار

مدارات هماهنگی و فیلترها از قسمت های اساسی مدارات مخابراتی هستند که کاربرد زیادی در فرستنده ها و گیرنده های رادیویی دارند. دراین فصل به بررسی اصول کار انواع فیلترها و موارد کاربرد آن ها در گیرنده های رادیویی می پردازیم.

۱ـ۴ـ حساسیت گیرنده های رادیویی

۱ـ۱ـ۴ـ حساسیت چیست؟ توانایی یک گیرنده درارتباط با دریافت حداقل سیگنال ورودی را حساسیت گیرنده می نامند. مقدار حساسیت گیرنده را برمبنای ضعیفترین سیگنال دریافتی که بتواند خروجی قابل استفاده ای را فراهم سازد اندازه گیری می کنند.

یکی از عیوب گیرنده های AM کم بودن حساسیت آن است. هنگامی که به وسیله یک گیرنده رادیویی نتوانیم ایستگاه رادیویی قوی را به خوبی دریافت کنیم، ایستگاه ضعیف نیز دریافت شدنی نخواهد بود. حساسیت چنین گیرنده ای بسیار کم است.

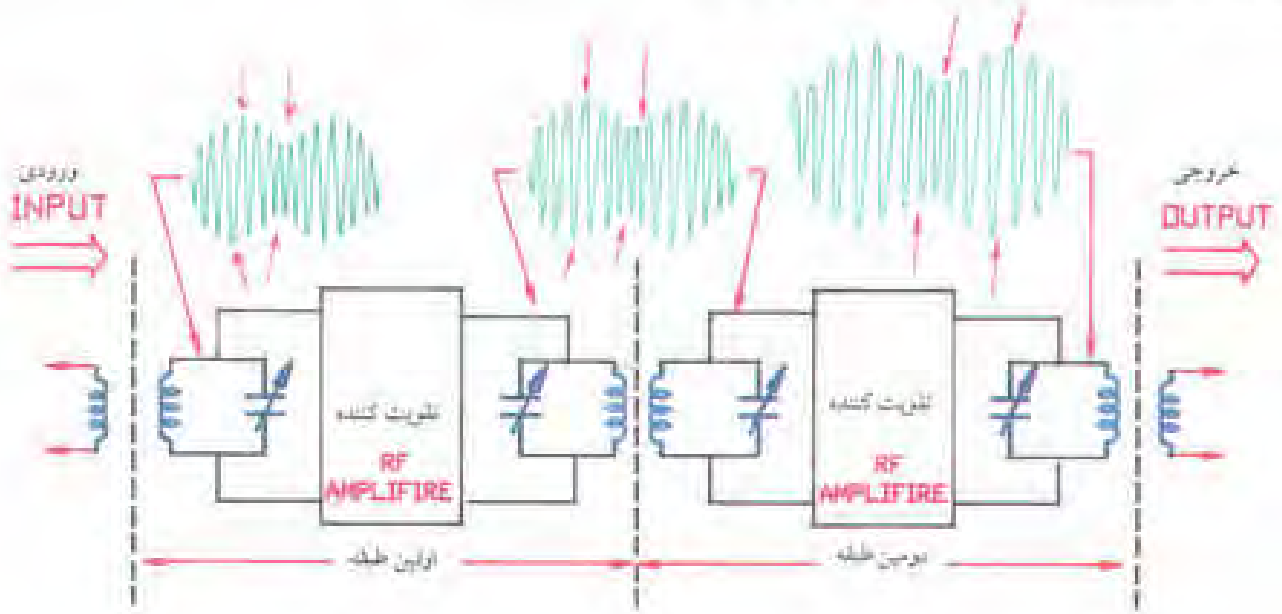
در گیرنده های مخابراتی برای افزایش حساسیت، تعداد طبقات تقویت کننده RF را افزایش می دهند. هرتقویت کننده رادیویی معمولاً دارای مدار هماهنگی در ورودی و خروجی است. با استفاده ازاین مدارهای هماهنگی می توان فرکانس رادیویی مورد نظر را انتخاب کرد. در شکل ۱ـ۴ یک نمونه تقویت کننده RF با مدار هماهنگی در ورودی وخروجی نشان داده شده است.

شکل ۱ـ۴ـ یک تقویت کننده رادیویی بامدار هماهنگی در ورودی وخروجی

۲ـ۱ـ۴ـ تقویت کننده های زنجیره ای[1] تقویت کننده های زنجیره ای را تقویت کننده های پشت سرهم یا کاسکاد نیز می نامند. در تقویت کننده های زنجیره ای خروجی یک تقویت کننده به ورودی طبقه بعد متصل

۱ـ Cascade

می شود. با استفاده از این روش میزان حساسیت گیرنده افزایش می یابد. متناسب با شرایط مورد نیاز، ممکن است تعدادی تقویت کننده به صورت زنجیره ای به هم متصل شوند. شکل ۲ـ۴ یک نمونه تقویت کننده زنجیره ای دو طبقه را نشان می دهد.



شکل ۲ـ۴ـ اتصال تقویت کننده‌ها به صورت زنجیره ای به منظور افزایش حساسیت

تقویت کننده های زنجیره ای را تقویت کننده چند طبقه نیز می نامند. برای این که در مجموع بیشتر از یک طبقه تقویت کننده استفاده می شود، با استفاده از این مدار می توان سیگنالهای خیلی ضعیف رادیویی را که از فواصل خیلی دور ارسال می شود دریافت و تقویت کرد.

یکی از پارامترهای مهم که باعث کاهش حساسیت تقویت کننده RF می شود نویز است. معمولاً نویز وارد سیستم شده و به همراه سیگنال اصلی تقویت می شود. ضمن این که نویز تولید شده در داخل سیستم نیز به آن افزوده می شود.

۲ـ۱ـ۴ـ تعریف نویز: در خروجی هر تقویت کننده علاوه بر سیگنال مورد نظر همیشه مقداری جریان یا ولتاژ ناخواسته وارد می شود. سیگنال ناخواسته را نویز می نامند.

۴ـ۱ـ۴ـ منابع نویز: نویز ممکن است از منابع مختلفی تولید شود. بعضی از این منابع طبیعی و بعضی مصنوعی هستند. نویز حاصل از رعد و برق نویز طبیعی و نویز ناشی از سیستمهای جرقه زنی در اتومبیل و موتورهای الکتریکی نویز مصنوعی است.

۵ـ۱ـ۴ـ نسبت سیگنال به نویز: نسبت توان سیگنال مورد نظر به توان نویز را نسبت سیگنال به نویز می گویند. نسبت سیگنال به نویز را با $\frac{S}{N}$[1] نمایش می دهند. با افزایش تعداد طبقات RF می توان نسبت سیگنال به نویز را افزایش داد. هر قدر نسبت سیگنال به نویز بیشتر باشد، دستگاه از نظر عدم تأثیر نویز دارای کیفیت مطلوبتری است.

۱ـ $\frac{S}{N} = \frac{\text{Signal}}{\text{Noise}}$

مثال ۱ـ۴ـ ولتاژ خروجی یک تقویت کننده RF برابر با ۰/۵ ولت و دامنه نویز خروجی آن ده میلی ولت است. اگر مقاومت بار خروجی برابر با R_L باشد، نسبت سیگنال به نویز $\frac{S}{N}$ را محاسبه کنید.

پاسخ:

$$\frac{S}{N}=\frac{(V_S)^2/R_L}{(V_N)^2/R_L}=\frac{V_S^2}{V_N^2}=(\frac{V_S}{V_N})^2$$

$$\frac{S}{N}=\frac{۰/۲۵}{(۱۰\times۱۰^{-۳})^2}$$

$$\frac{S}{N}=۲۵۰۰$$

۱ـ۴ـ۶ـ ضریب تقویت یا گین: نسبت ولتاژ، جریان یا توان خروجی به ولتاژ، جریان یا توان ورودی را در تقویت‌کننده‌ها ضریب تقویت یا گین ولتاژ، جریان یا توان می‌نامند. در روابط ۱ـ۴ تا ۳ـ۴ رابطه گین ولتاژ، جریان و توان داده شده است.

۱ـ۴ ضریب تقویت یا گین ولتاژ $G_V=\frac{V_{out}}{V_i}=\frac{V_2}{V_1}$

۲ـ۴ ضریب تقویت یا گین جریان $G_I=\frac{I_{out}}{I_i}=\frac{I_2}{I_1}$

۳ـ۴ ضریب تقویت یا گین توان $G_P=\frac{P_{out}}{P_i}=\frac{P_2}{P_1}$

۱ـ۴ـ۷ـ ضریب بهره یا گین تقویت کننده چند طبقه: در تقویت کننده‌های (تجهیره‌ای)، ضریب بهره یا گین (حاصل ضرب گین طبقات در یکدیگر به دست می‌آید. در رابطه ۴ـ۴ گین ولتاژ در رابطه ۵ـ۴ گین جریان و در رابطه ۶ـ۴ گین توان آمده است. در این روابط G_{VT}[1] ضریب بهره ولتاژ کل، G_{IT} ضریب بهره جریان کل G_{PT} ضریب بهره توان کل است.

۴ـ۴ $G_{VT}=G_{V1}\cdot G_{V2}\cdot G_{V3}\cdots\cdots G_{VN}$

۵ـ۴ $G_{IT}=G_{I1}\cdot G_{I2}\cdot G_{I3}\cdots\cdots G_{IN}$

۶ـ۴ $G_{PT}=G_{P1}\cdot G_{P2}\cdot G_{P3}\cdots\cdots G_{PN}$

مثال ۲ـ۴ـ یک تقویت کننده کاسکاد سه طبقه دارای ضریب تقویت توان $G_{P1}=۱۰۰$، $G_{P2}=۵۰$ و $G_{P3}=۱۰$ است. گین توان کل سیستم چقدر است؟

پاسخ:

$$G_{PT}=G_{P1}\cdot G_{P2}\cdot G_{P3}$$

$$G_P=۱۰۰\times۵۰\times۱۰$$

$$\boxed{G_T=۵۰۰۰۰}$$

مشاهده می‌شود که عدد به دست آمده عدد نسبتاً بزرگی است.

۱ـ در G_{VT}، حرف G مخفف Gain، حرف V مخفف Voltage و حرف T مخفف کلمه Total است.

۸ـ۱ـ۴ـ افت توان: در خطوط توزیع و انتقال قدرت در پریزها و سوکت‌ها و سوئیچ‌ها به علت بالا بودن توان و ثابت بودن مرکانس، مقدار افت توان و ولتاژ را به آسانی با استفاده از ولت متر و آمپرمتر اندازه گیری و محاسبه می کنند. در خطوط تلفنی مقدار توان تولیدی بسیار کم و مقدار مرکانس نیز دایماً در حال تغییر است. بنابراین با استفاده از دستگاههای اندازه گیری عملاً نمی توان کمیت های مورد نظر را اندازه گرفت و مقدار توان را محاسبه کرد. برای این گونه مدارها ضریب تضعیف را تعریف می کنند.

۹ـ۱ـ۴ـ ضریب تضعیف: اگر توان خروجی از توان ورودی کمتر باشد نسبت توان ورودی به خروجی ضریب تضعیف[1] نامیده می شود. ضریب تضعیف برای فیلترها خطوط انتقال و ... مورد استفاده قرار می گیرد؛ مثلاً اگر ضریب تضعیف ولتاژ مداری برابر ۱۰۰۰ باشد معنی آن این است که ولتاژ خروجی مدار به اندازه ۱۰۰۰ برابر تضعیف شده است. به عبارت دیگر ولتاژ خروجی $\frac{1}{1000}$ ولتاژ ورودی است.

مثال ۳ـ۴ـ در صورتی که توان صوتی تولید شده در یک خط تلفنی برابر با ۰/۰۰۰۱ وات باشد و در صورت انتقال این توان به فاصله ۱۴ کیلومتری مقدار آن به ۰/۰۰۰۰۰۰۱ (10^{-6}) وات کاهش یابد؛ ضریب تضعیف مدار را به دست آورید.

پاسخ:

$$\text{ضریب تضعیف} = \frac{\text{توان ابتدای خط}}{\text{توان انتهای خط}}$$

$$\text{ضریب تضعیف} = \frac{0/0001}{0/0000001}$$

یعنی توان در انتهای خط به نسبت ۱۰۰۰ برابر کاهش یافته است. ضریب تضعیف = ۱۰۰۰

نشان دادن ضریب تقویت و ضریب تضعیف در شرایطی که اعداد بزرگی هستند مشکلاتی را در محاسبات به وجود می آورند. برای غلبه بر این مشکلات از واحدهای دیگری از قبیل بل و دسی بل استفاده می کنند.

(برای مطالعه ـ آغاز)

۱۰ـ۱ـ۴ـ بل[2]: برای تبدیل اعداد بزرگی که از ضریب تقویت و ضریب تضعیف به دست می آید به اعداد کوچکتر، از واحدی به نام بل استفاده می کنند. در این روش، به جای استفاده از توانها به سوالد ضریب تقویت یا ضریب تضعیف، مقدار لگاریتم آنها را به کار می برند.

$$G_{pBel} = \log \frac{P_2}{P_1} \qquad ۴ـ۷$$

۱ـ Attenuation به معنی ضریب تضعیف است.

۲ـ Bell نام دانشمند آلمانی است که استفاده از این واحد را برای اولین بار توصیه کرد.

در رابطهٔ ۴.۷، G_{PBell} = معنی ضریب تقویت توان برحسب بل است. بنابه تعریف، بل مقدار ضریب تقویت یا ضریب تضعیف دریک سیستم است که مقدار آن برابر با لگاریتم نسبت توان، ولتاژ یا جریان است.

مثال ۴ـ۴ـ درصورتی که توان ورودی تقویت کننده‌ای برابر با ۱۰۰ میلی وات وتوان خروجی آن برابر با ۲۰۰ میلی وات باشد، ضریب تقویت توان آن را برحسب نسبت توان و بل به دست آورید.

پاسخ:

$$G_P = \frac{P_2}{P_1} = \frac{200}{100} = 2$$

گین برحسب نسبت توانها

$$\boxed{G_P = 2}$$

$$G_{PBell} = \log \frac{P_2}{P_1} = \log \frac{200}{100}$$

$$G_{PBell} = \log 2 \qquad \log 2 = 0/3010$$

گین برحسب بل

$$\boxed{G_{PBell} = 0/3010}$$

۴.۱۱ـ۱ـ۴ـ دسی بل[1]: چون واحد بل واحد بزرگی است برای راحتی در محاسبات از اجزاء آن که دسی بل است استفاده می کنند، رابطه ۴.۸.

$$1Bell = 10Decibel$$

$$G_{P(Bell)} = \log \frac{P_2}{P_1}$$

$$G_{P(Decibel)} = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \qquad 4.8$$

دسی بل را با db نشان می دهند. بنا براین رابطهٔ ۴.۸ را به صورت رابطه ۴.۹ نیز نشان می دهند.

$$G_{P(db)} = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \qquad 4.9$$

وقتی خواستند گین برحسب db برابر است با ده لگاریتم P_2 به P_1

مثال ۵ـ۴ـ مقدار گین تقویت کننده مثال ۴ـ۴ را برحسب دسی بل به دست آورید.

$$\log 2 = 0/3010$$

۱ـ دسی بل Decibel از اجزای بل ومقدار آن برابر با ۱/۱۰ بل است و به اختصار آن را با DB یا db نشان می دهند.

پاسخ: مسأله را به دو روش حل می کنیم:

روش اوّل

$$G_{P(db)} = ۱۰ \log \frac{P_۲}{P_۱}$$

$$G_{P(db)} = ۱۰ \log \frac{۲۰۰}{۱۰۰}$$

$$G_{P(db)} = ۱۰ \log ۲$$

$$G_{P(db)} = ۱۰ \times ۰/۳$$

$G_{P(db)} = ۳$ دسی بل

روش دوّم

$$۱Bell = ۱۰(db)$$

$$G_{P(Bell)} = ۰/۳۰۱۰۳$$

$$G_{P(db)} = ۱۰ \times G_{(Bell)}$$

$$G_{P(db)} = ۱۰ \times ۰/۳۰۱۰۳$$

$G_{P(db)} = ۳$ دسی بل

۱۲ـ۱ـ۴ـ محاسبه گین یک تقویت کننده چند طبقه: برای محاسبه گین یک تقویت کننده چند طبقه برحسب دسی بل کافی است روابط مربوط به نسبت توان را بنویسیم سپس مقدار $۱۰ \log$ آن را به دست آوریم.

مثال ۴ـ۴ـ در صورتی که یک تقویت کننده سه طبقه به ترتیب دارای گین $G_۱$، $G_۲$ و $G_۳$ باشد، مقدار گین کل را بر حسب نسبت توان و دسی بل به دست آورید.

پاسخ: مقدار گین برحسب نسبت توان برابر است با:

$$G_{PT} = G_۱ \cdot G_۲ \cdot G_۳$$

مقدار گین بر حسب db :

$$G_{PT(db)} = ۱۰ \log G_{PT}$$

$$G_{PT(db)} = ۱۰ \log G_۱ \cdot G_۲ \cdot G_۳$$

می دانیم لگاریتم حاصل ضرب برابر است با مجموع لگاریتم هریک از مضربها

$$G_{PT(db)} = ۱۰ (\log G_۱ + \log G_۲ + \log G_۳)$$

$$G_{PT(db)} = ۱۰ \log G_۱ + ۱۰ \log G_۲ + ۱۰ \log G_۳$$

اگر نتایج به دست آمده در مثال ۴ـ۴ را مورد بررسی قرار دهیم مشاهده می کنیم که در تقویت کننده های چند طبقه مقدار گین برحسب db از مجموع گین هر یک از طبقات به دست می آید. بنابراین یکی از مزایای

استفاده از دسی بل تبدیل شدن حاصل ضرب به حاصل جمع است که موجب کوچک شدن اعداد به دست آمده برای گین کل سیستم می‌شود.

مثال ۷-۴- یک تقویت کننده RF دو طبقه دارای ضریب بهره توان ۱۰۰ برای طبقه اول و ۱۰ برای طبقه دوم است. گین کل سیستم را برحسب نسبت توان و دسی بل به دست آورید.

پاسخ: مسأله را با دو روش حل می‌کنیم:

روش اول- مقدار ضریب بهره کل توان از حاصل ضرب گین هریک از طبقات به دست می‌آید.

$$G_{PT} = G_{P1} \cdot G_{P2}$$

$$G_{PT} = ۱۰ \times ۱۰۰ = ۱۰۰۰ \qquad \boxed{G_{PT} = ۱۰۰۰}$$

مقدار گین توان برحسب دسی بل برابر است با:

$$G_{PT(db)} = ۱۰ \log G_{PT}$$

$$G_{PT(db)} = ۱۰ \log ۱۰۰۰ \qquad \log ۱۰۰۰ = ۳$$

$$G_{PT(db)} = ۱۰ \times ۳ \qquad \boxed{G_{PT(db)} = ۳۰ db}$$

روش دوم- هر یک از گینها را به db تبدیل می‌کنیم:

$$G_{P۱(db)} = ۱۰ \log ۱۰۰ \qquad \log ۱۰۰ = ۲ \qquad G_{P۱(db)} = ۲۰ db$$

$$G_{P۲(db)} = ۱۰ \log ۱۰ \qquad \log ۱۰ = ۱ \qquad G_{P۲(db)} = ۱۰ db$$

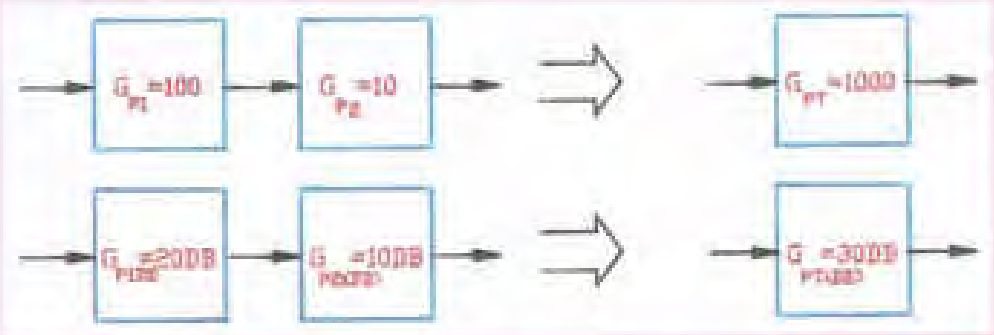
ازمجموع $G_{P۱(db)}$ و $G_{P۲(db)}$ مقدار گین کل به دست می‌آید.

$$G_{PT(db)} = G_{P۱(db)} + G_{P۲(db)}$$

$$G_{PT(db)} = ۱۰ + ۲۰ \qquad \boxed{G_{PT(db)} = ۳۰ \text{ دسی بل}}$$

بااستفاده ازهر دو روش یک نتیجه به دست می‌آید.

درشکل ۳-۴ مثال ۷-۴ برای دوحالت گین معمولی و گین برحسب دسی بل نشان داده شده است.



شکل ۳-۴- مقایسه گین برحسب نسبت دوتوان و دسی بل

نکته مهم: به علت کاربرد وسیع دسی بل در دستگاههای الکترونیکی استفاده از قانون زیر کاربرد دسی بل را آسان می کند.

> در صورتی که توان دو برابر شود مقدار گین به اندازه ۳ دسی بل افزایش می یابد.

مثال ۸ـ۴ـ در یک تقویت کننده، توان خروجی دو برابر توان ورودی است. مقدار گین بر حسب دسی بل چقدر است؟

پاسخ:

$$G_{(db)} = ۱۰ \log \frac{P_۲}{P_۱} \quad \Rightarrow \quad P_۲ = ۲P_۱$$

$$G_{(db)} = ۱۰ \log \frac{۲P_۱}{P_۱}$$

$$G_{(db)} = ۱۰ \log ۲ \quad \Rightarrow \quad \log ۲ = ۰/۳۰۱۰۳$$

$$G_{(db)} = ۱۰ \times ۰/۳۰۱۰۳ \quad \Rightarrow \quad \boxed{G_{(db)} = ۳ \text{ دسی بل}}$$

جدول ۱ـ۴ مقدار افزایش دسی بل را برحسب ۲ برابر شدن توان برای اعداد ۲، ۴، ۸ و ۱۶ نشان می دهد.

جدول ۱ـ۴ـ رابطه بین مقدار گین توان و دسی بل

نسبت توان خروجی به ورودی	دسی بل
۱	۰
۲	۳
۴	۶
۸	۹
۱۶	۱۲

۱۳ـ۱ـ۴ـ سطح ۳ دی بی: درصورتی که در یک تقویت کننده مقدار توان دو برابر شود مقدار دسی بل برابر با ۳ خواهد شد. این عدد را سطح ۳ دسی بل یا سطح ۳ دی بی (3db) می نامند.

۱۴ـ۱ـ۴ـ سطح صفر دی بل: در صورتی که ضریب بهره توان برابر با یک باشد، یعنی مقدار توان خروجی برابر با توان ورودی باشد، مقدار دسی بل برابر با صفر می شود برای این که:

$$G_{(P=db)} = ۱۰ \log \frac{P_۲}{P_۱} \quad \Rightarrow \quad P_۲ = P_۱$$

$$G_{P(db)} = 10\log 1 \qquad \Rightarrow \qquad \log 1 = 0$$

$$\boxed{G_{P(db)} = 0 \text{ دسی بل}}$$

مقدار صفر دی بی به عنوان سطح مقایسه برای دسی بل استفاده می شود.

۱۵-۱-۴- دسی بل منفی: هنگامی که در یک سیستم مقدار توان افت پیدا می کند مقدار ضریب بهره توان، کمتر از یک می شود. مثلاً وقتی امواج در فضا پخش می شوند و کانال فضا بر آنی را طی می کنند یا برصدت به آنتن گیرنده مقدار توان کاهش می یابد. افت توان را نیز می توان برحسب دسی بل نشان داد.

مثال ۹-۴- توان منتشر شده از آنتن فرستنده کوچکی ۳۲ میلی وات و توان دریافتی توسط آنتن گیرنده ۴ میلی وات است. مقدار ضریب بهره برحسب نسبت توان و دسی بل چقدر است؟

پاسخ:

$$G_P = \frac{P_2}{P_1}$$

$$G_P = \frac{4}{32} = \frac{1}{8} \qquad \Rightarrow \qquad G_P = \frac{1}{8}$$

$$G_{P(db)} = 10\log G_P \qquad \Rightarrow \qquad G_{P(db)} = 10\log\frac{1}{8}$$

$$G_{P(db)} = 10(\log 1 - \log 8)$$

$$G_{P(db)} = 10(\log 1 - \log 2^3)$$

$$G_{P(db)} = 10(0 - 3\log 2)$$

$$\boxed{G_{P(db)} = -9db}$$

مقدار گین برحسب دسی بل ۹- است که علامت منفی نشانگر تضعیف سیگنال و عدد ۹ نشان دهنده کاهش سیگنال به نسبت $\frac{1}{8}$ است. درصورتی که در یک مدار مقدار توان به نسبت $\frac{1}{2}$ کاهش یابد، مقدار گین برحسب دسی بل برابر با ۳- می شود. که این مقدار را افت ۳ دسی بل یا افت ۳ دی بی می نامند. یعنی با کاهش توان با ضریب $\frac{1}{2}$ مقدار دسی بل به اندازه 3db کاهش می یابد. در جدول ۲-۴ رابطه بین نسبت توان و دسی بل برای حالاتی که افت ولتاژ وجود دارد نشان داده شده است. کاهش توان به مقدار $\frac{1}{2}$ را افت ۳ دی بی می نامند.

جدول ۲-۴- رابطه بین نسبت دوتوان و دسی بل برای حالاتی که ضریب بهره کمتر از یک است

ضریب تضعیف	دسی بل	
۱	۰	
۲	-۳	افت ۳ دی بی
۴	-۶	
۸	-۹	
۱۶	-۱۲	

هنگامی که بین دو طبقه تطابق توان به وجود آید، نصف توان تولیدی به خروجی منتقل می شود. دراین حالت می گویند افت ۳db به وجود آمده است. از افت ۳db در فیلترها و تقویت کننده ها استفاده می شود.

۱۶ـ۱ـ۴ـ دسی بل برای ولتاژ و جریان: گین ولتاژ و جریان را نیز می توان با دسی بل سنجید. اگر در رابطه دسی بل به جای توان ورودی وتوان خروجی مقادیر معادل آن را بر حسب ولتاژ قرار دهیم، داریم:

$$G_{P(db)} = ۱۰ \log \frac{P_۲}{P_۱} \qquad ۴.۱۰$$

$$P_۱ = \frac{V_۱^۲}{R_۱} \qquad ۴.۱۱$$

$$P_۲ = \frac{V_۲^۲}{R_۲} \qquad ۴.۱۲$$

به جای $P_۱$ و $P_۲$ از روابط ۴.۱۱ و ۴.۱۲ در رابطه ۴.۱۰ قرار می دهیم و گین ولتاژ را به دست می آوریم:

$$G_{V(db)} = ۱۰ \log \frac{(V_۲)^۲/R_۲}{(V_۱)^۲/R_۱} \qquad ۴.۱۳$$

رابطه ۴.۱۳ را ساده می کنیم:

$$G_{V(db)} = ۱۰ \log (\frac{V_۲}{V_۱})^۲ (\frac{R_۱}{R_۲}) \qquad ۴.۱۴$$

در رابطه ۴.۱۴ حاصل ضرب را به مجموع تبدیل می کنیم:

$$G_{V(db)} = ۱۰ \log (\frac{V_۲}{V_۱})^۲ + ۱۰ \log \frac{R_۱}{R_۲}$$

$$G_{V(db)} = ۲۰ \log \frac{V_۲}{V_۱} + ۱۰ \log \frac{R_۱}{R_۲} \qquad ۴.۱۵$$

رابطه ۴.۱۵ گین ولتاژ را برحسب دسی بل نشان می دهد. درصورتی که مقاومتهای $R_۱ = R_۲$ باشد، داریم:

$$G_{V(db)} = ۲۰ \log \frac{V_۲}{V_۱} \qquad ۴.۱۶$$

مثال ۱۰ـ۴ـ درصورتی که ولتاژ خروجی تقویت کننده‌ای ۴ برابر ولتاژ ورودی آن باشد مقدار گین ولتاژ برحسب دسی بل چقدر است؟

پاسخ: $G_{V(db)} = ۲۰ \log \frac{V_۲}{V_۱} \quad \Rightarrow \quad G_V = \frac{V_۲}{V_۱} = ۴$

$$G_{V(db)} = ۲۰\log ۴$$
$$G_{V(db)} = ۲۰\log ۲^{۲}$$
$$G_{V(db)} = ۴۰\log ۲ \qquad \boxed{G_{V(db)} = ۱۲ \text{ دسی بل}}$$

مقدار دسی بل برای جریان عیناً مشابه ولتاژ محاسبه می شود که رابطه کلی آن درمعادله ۴.۱۶ نشان داده شده است.

$$G_{I(db)} = ۲۰\log\frac{I_۲}{I_۱} + ۱۰\log\frac{R_۲}{R_۱} \qquad ۴\text{-}۱۷$$

درصورتی که $R_۲ = R_۱$ باشد، داریم:

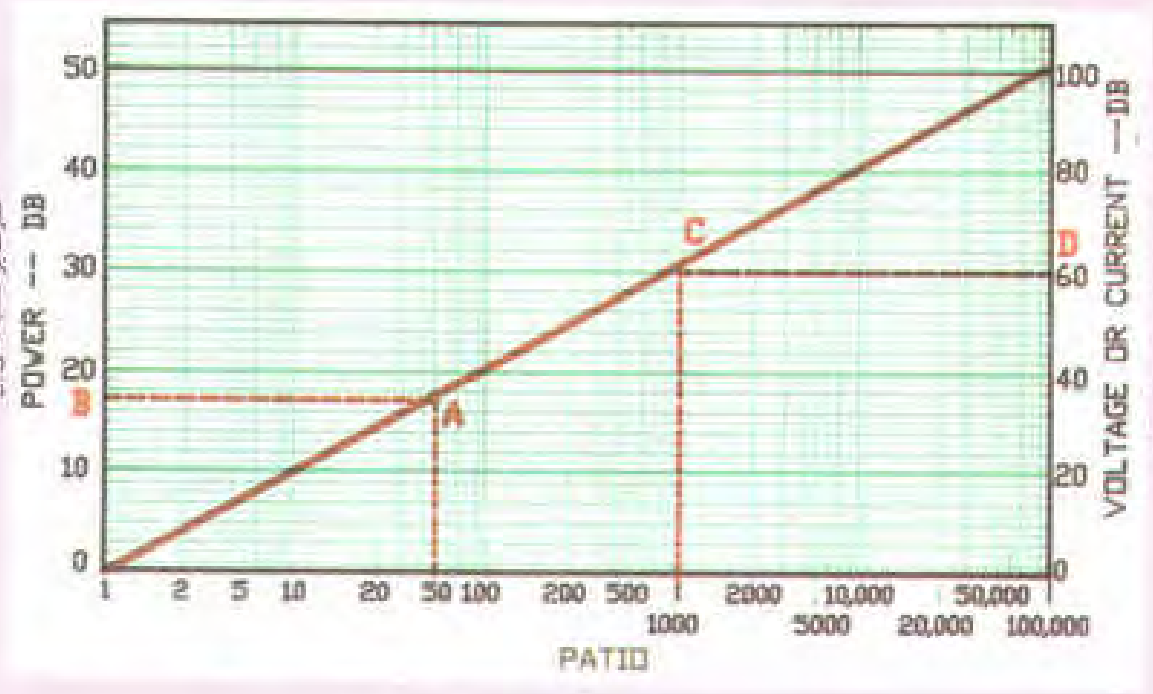
$$G_{I(db)} = ۲۰\log\frac{I_۲}{I_۱}$$

برای دسی بل ولتاژ و جریان نیز سطح صفر دی بی وجود دارد و به جای سطح $۳db$ به علت دو برابر شدن ضریب دسی بل سطح $۶db$ برای ولتاژ و جریان درنظر گرفته می شود یعنی هنگامی که ولتاژ خروجی ۲ برابر ولتاژ ورودی باشد مقدار دسی بل برابر با ۶ دی بی خواهد شد. درصورتی که ولتاژ خروجی کمتر از ولتاژ ورودی باشد مقدار دسی بل برای ولتاژ و جریان منفی خواهد شد. در جدول شماره ۴.۳ موارد فوق آمده است.

جدول ۴.۳- رابطه بین ضریب بهره ولتاژ یا جریان و دسی بل

ضریب بیشتر از یک		ضریب بهره کمتر از یک	
گین ولتاژ یا جریان	دسی بل	ضریب تضعیف	دسی بل
۱	۰	۱	۰
۲	۶	۲	-۶
۴	۱۲	۴	-۱۲
۸	۱۸	۸	-۱۸

۱۷-۱-۴- استفاده ازنمودار برای به دست آوردن دسی بل: به منظور محاسبه سریع مقدار دسی بل با استفاده از نمونه‌های توان، ولتاژ و جریان نمودارهایی ترسیم شده است که یک نمونه آن را در شکل ۴.۴ مشاهده می کنید. بااستفاده از این نمودار می توان مقدار دسی بل را از طریق ترسیمی به دست آورد. محور افقی برحسب نسبت ولتاژ، جریان یاتوان درجه بندی شده است. ازروی محور قائم در سمت چپ مقدار دسی بل توان و ازروی محور قائم درسمت راست مقدار دسی بل ولتاژ یاجریان را می توان به دست آورد.



شکل ۴ـ۴ـ نمودار تعیین db بر اساس نسبت توان، ولتاژ یا جریان

مثال ۱۱ـ۴ـ در صورتی که نسبت توان دریک تقویت کننده زنجیره‌ای برابر با ۵۰ باشد:

الف ـ مقدار دسی بل را با استفاده از نمودار شکل ۴ـ۴ به دست آورید.

پاسخ: ۵۰ را روی محور افقی مشخص می کنیم و از روی آن خطی موازی محور قائم می کشیم. از تقاطع خط قائم بانمودار (نقطهٔ A) خطی به موازات محور افقی می کشیم تا محور قائم در سمت چپ را در نقطه B قطع کند، مقدار دسی بل برابراست با:

$$G_{p(db)} = 17$$

ب ـ درصورتی که در تقویت کننده مورد نظر مقدار گین ولتاژ برابر ۱۰۰۰ باشد مقدار دسی بل را به دست آورید.

پاسخ: باروشی مشابه روش بالا نقطهٔ C را به دست می‌آوریم، سپس خطی موازی محور افقی می کشیم. نقطهD به دست می‌آید.

$$G_{V(db)} = 60db$$

درصورتی که مدار تضعیف کننده باشد، استفاده از نمودار امکان پذیر است، با این تفاوت که مقادیر به دست آمده را با علامت منفی منظور می کنیم، مثلاً اگر ضریب تضعیف توان دریک فیلتر برابر با ۵۰ باشد مقدار دسی بل برابر با ۱۷- واگرضریب تضعیف ولتاژ برابر با ۱۰۰۰ باشد مقدار دسی بل برابر با ۶۰-

خواهد شد.

۱۸ـ۱ـ۴ـ دسی بل برمبنای یک میلی وات یا dbm : dbm مقدار دسی بل مقدار را بر مبنای یک میلی وات ورودی بیان می کند و حرف m مشخص کننده میلی وات است.

$$G_{p(dbm)} = ۱۰ log \frac{P_۲}{۱mw} \qquad ۴_۱۸$$

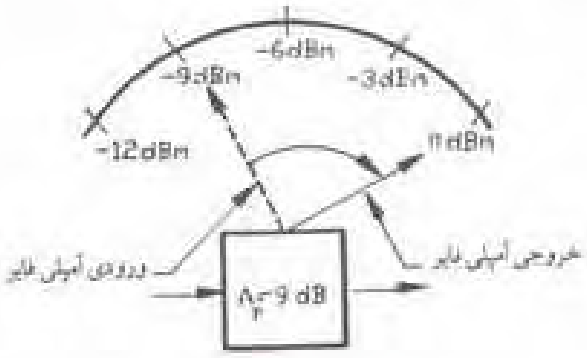
در صورتی که قدرت خروجی یک تقویت کننده برابر با ۲ وات باشد، مقدار dbm برابر است با :

$$G_{p(dbm)} = ۱۰ log \frac{۲۰۰۰}{۱}$$

$$G_{p(dbm)} = ۳۳ dbm$$

یکی از مزایای استفاده از dbm این است که اندازه گیری توان را با استفاده از دستگاههای اندازه گیری آسان می کند. بسیاری از دستگاههای اندازه گیری دارای درجه بندی dbm هستند. با استفاده از این درجه بندی توان ورودی و خروجی، بر مبنای یک میلی وات، اندازه گیری می شود.

مثال ۱۲ـ۴ـ با استفاده از یک دستگاه مولتی متر، طبق شکل ۵ـ۴، مقدار dbm ورودی و خروجی را اندازه می گیریم. اگر مقادیر اندازه گیری شده به ترتیب 9db- وصفر دی بی باشد، گین تقویت کننده را به دست آورید. امپدانس ورودی و خروجی یکسان درنظر گرفته شود.



شکل ۵ـ۴ـ اندازه گیری db توسط مولتی متر

پاسخ: چون مقدار دسی بل از 9dbm- به صفر dbm افزایش یافته است بنابراین گین دستگاه ۹ دی بی است.

$$G_{p(db)} = ۰ - (-۹) \quad \Rightarrow \quad \boxed{G_{p(db)} = ۹db}$$

۱۹ـ۱ـ۴ـ کاربرد دسی بل: می‌دانیم شنوایی انسان را برحسب میکروواوت برمتر مربع اندازه می‌گیرند. یکی از کاربردهای دسی بل اندازه‌گیری شنوایی انسان است مبنای سنجش شنوایی انسان را آستانه شنوایی درنظرمی گیرند. آستانه شنوایی انسان $۱۰^{-۶}$ میکروواوت برمترمربع است. یکی از موارد کاربرد دسی بل درسنجش صداهای تولید شده براساس شنوایی انسان است. مثلاً اگر صدایی بشدت آستانه شنوایی تولید شود مقدار دسی بل آن برابر خواهد شد با:

$$G_{A(db)} = ۱۰ \log \frac{P_۲}{P_۱} \quad \Rightarrow \quad P_۲ = P_۱ = ۱۰^{-۶}\ \mu w/m^۲$$

$$G_{A(db)} = ۱۰ \log ۱ \quad \Rightarrow \quad \boxed{G_{A(db)} = ۰ \quad \text{دسی بل}}$$

بااستفاده از مبنای سنجش شنوایی می‌توان مقدار دسی بل را برای صوتهایی با شدتهای متفاوت اندازه‌گیری کرد.

مثال ۱۳ـ۴ـ درصورتی که شدت صدای نفس کشیدن انسان $۱۰^{-۵}$ میکروواوت برمتر مربع باشد بااستفاده ازمبنای سنجش شنوایی مقدارگین را برحسب db به دست آورید.

$$P_۱ = ۱۰^{-۶}\ \mu w/m^۲$$

$$P_۲ = ۱۰^{-۵}\ \mu w/m^۲$$

$$G_{A(db)} = ۱۰ \log \frac{P_۲}{P_۱}$$

$$G_{A(db)} = ۱۰ \log \frac{۱۰^{-۵}}{۱۰^{-۶}}$$

$$G_{A(db)} = ۱۰ \log ۱۰ \qquad G_{A(db)} = ۱۰ \text{ دسی بل}$$

نتیجه می‌گیریم، هرقدرمقدار db صوت بیشترباشد، صدا شدیدتر است. یکی دیگر از علل استفاده از دسی بل برای سنجش شنوایی لگاریتمی بودن حساسیت گوش انسان است که سنجش شنوایی را آسانتر می‌کند.

از دسی بل درسنجش توان فرستنده در فواصل مختلف، راندمان بلندگوها میکروفونها، راندمان آنتن، سنجش نویز درکانال مخابراتی و دستگاهها استفاده می‌شود.

کاربرد عمومی دسی بل در فیلترها است که با استفاده از افت ۳db فرکانس قطع فیلتر را محاسبه می‌کنند.

۱ـ۸ مخفف Audio به معنی صوت است، GA به معنی گین صوت است.

۲۰ـ۱ـ۴ـ **نمایش دسی بل صفر، مثبت و منفی:** متذکر شدیم که درصورت مساوی شدن توان ورودی و خروجی مقدار دسی بل برابر با صفر می شود و درصورتی که خروجی بیشتر از ورودی شود ($P_2 > P_1$) مقدار دسی بل مثبت و اگر خروجی کمتر از ورودی شود ($P_2 < P_1$) مقدار دسی بل منفی خواهد شد.

اگر ورودی سیستم متغیر باشد می توانیم یکی از محورها را تغییرات دسی بل درنظرگیریم ومحور دیگر نسبت دو توان را نشان دهد. درشکل ۴ـ۶ نمایش تغییرات دسی بل دربرابر تغییرات نسبت توان ورودی وخروجی آمده است.

شکل ۴ـ۶ نمایش دسی بل مثبت و منفی روی یک محور

(برای مطالعه، پایان)

۲ـ۴ـ خودآزمایی

۱ـ۲ـ۴ـ رابطه مربوط به گین ولتاژ، جریان و توان را در تقویت کننده های چند طبقه بنویسید.

۲ـ۲ـ۴ـ نویز را تعریف کنید و نسبت سیگنال به نویز را شرح دهید.

۳ـ۲ـ۴ـ یک تقویت کننده کاسکاد ۴ طبقه دارای ضریب تقویت توان ۲، ۴، ۸ و ۱۶ است مقدار گین کل تقویت کننده را برحسب نسبت دو توان و دسی بل به دست آورید.

(برای مطالعه، آغاز)

۴ـ۲ـ۴ـ ضریب تضعیف را شرح دهید و موارد کاربرد آن را بنویسید.

۵ـ۲ـ۴ـ با استفاده از یک مولتی متر مقدار dbm خروجی و ورودی یک مدار به ترتیب $-10\,dbm$ و $-18\,dbm$ اندازه گیری شده است، مقدار گین مدار برحسب دسی بل چقدر است؟

۶ـ۲ـ۴ـ به چه دلیل از دسی بل برای سنجش شنوایی استفاده می کنند؟

۷ـ۲ـ۴ـ دسی بل مثبت ومنفی را چگونه نشان می دهند؟ شرح دهید.

۸ـ۲ـ۴ـ ۴ نمونه از کاربرد دسی بل را نام ببرید.

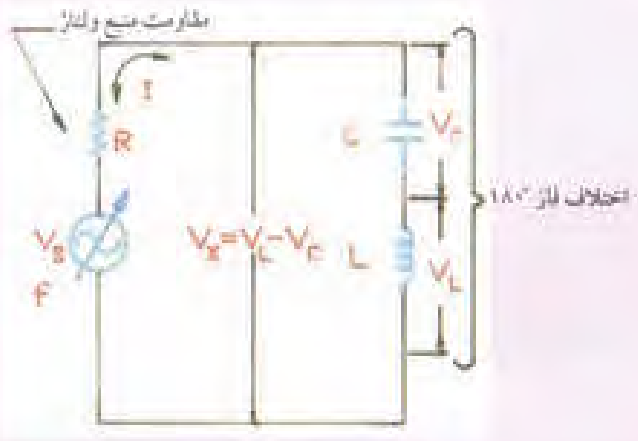
۹ـ۲ـ۴ـ با استفاده از نمودار شکل ۴.۴ اگر نسبت دوتوان برابر با ۱۰۰ باشد مقدار db را به دست آورید. (جواب ۲۰db)

۱۰ـ۲ـ۴ـ با استفاده از نمودار شکل ۴.۴ اگر ضریب تضعیف ولتاژ برابر با ۲۰ باشد مقدار db را به دست آورید. (جواب ۲۶db−)

۳ـ۴ـ مروری بر مدارات همنوایی[1]

همنوایی عبارت است از شرایط ویژه ای که در مدارهای سری وموازی RLC پدید می آید. درمدارهای RLC سری حالت تشدید زمانی رخ می دهد که راکتانس القایی با راکتانس خازنی برابرشود. درمدارهای RLC موازی زمانی همنوایی به وجود می آید که شدت جریان شاخه القایی با شدت جریان شاخه خازنی برابر شود.

به دو سر یک مدار LC سری یک منبع ولتاژ AC که بتواند فرکانسهای مختلف تولید کند متصل می کنیم (شکل ۴.۷)



شکل ۴.۷ـ اتصال سری RLC

مقدار فرکانس منبع تغذیه را بتدریج افزایش می دهیم درشروع کار مقدار راکتانس القایی حداقل ومقدار راکتانس خازنی حداکثر است. با افزایش تدریجی فرکانس مقدار راکتانس القایی شروع به ازدیاد می کند ومقدار راکتانس خازنی کم می شود.

$$X_L = L\omega \qquad \omega = 2\pi F \qquad F \Rightarrow X_L \uparrow$$

$$X_C = \frac{1}{C\omega} \qquad \omega = 2\pi F \qquad F \Rightarrow X_C \downarrow$$

۱ـ مدارهای همنوایی را مدارهای هماهنگی، رزونانس یا تشدید نیز می نامند.

افزایش X_L وکاهش X_C ادامه می‌یابد تا به فرکانسی می‌رسیم که $X_L = X_C$ می‌شود. فقط یک فرکانس وجود دارد که در آن این شرایط رخ می‌دهد. این حالت را همنوایی، تشدید، رزونانس یا هماهنگی در مدار سری گویند.

مقدار فرکانس رزونانس در مدار LC سری از رابطه ۴-۱۹ قابل محاسبه است.

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad 4\text{-}19$$

که در آن:

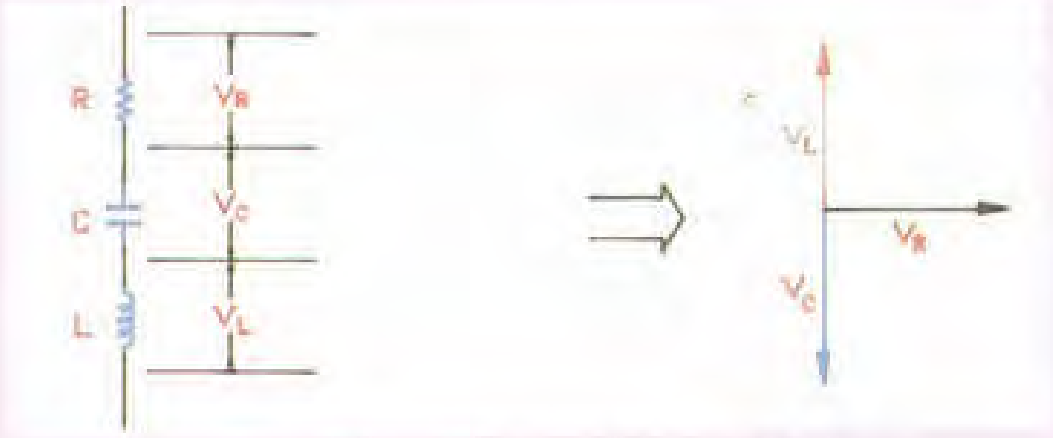
F_r = فرکانس رزونانس مدار برحسب هرتز

$\pi = 3/14159$

L = ضریب خودالقایی برحسب هانری

C = ظرفیت خازنی برحسب فاراد

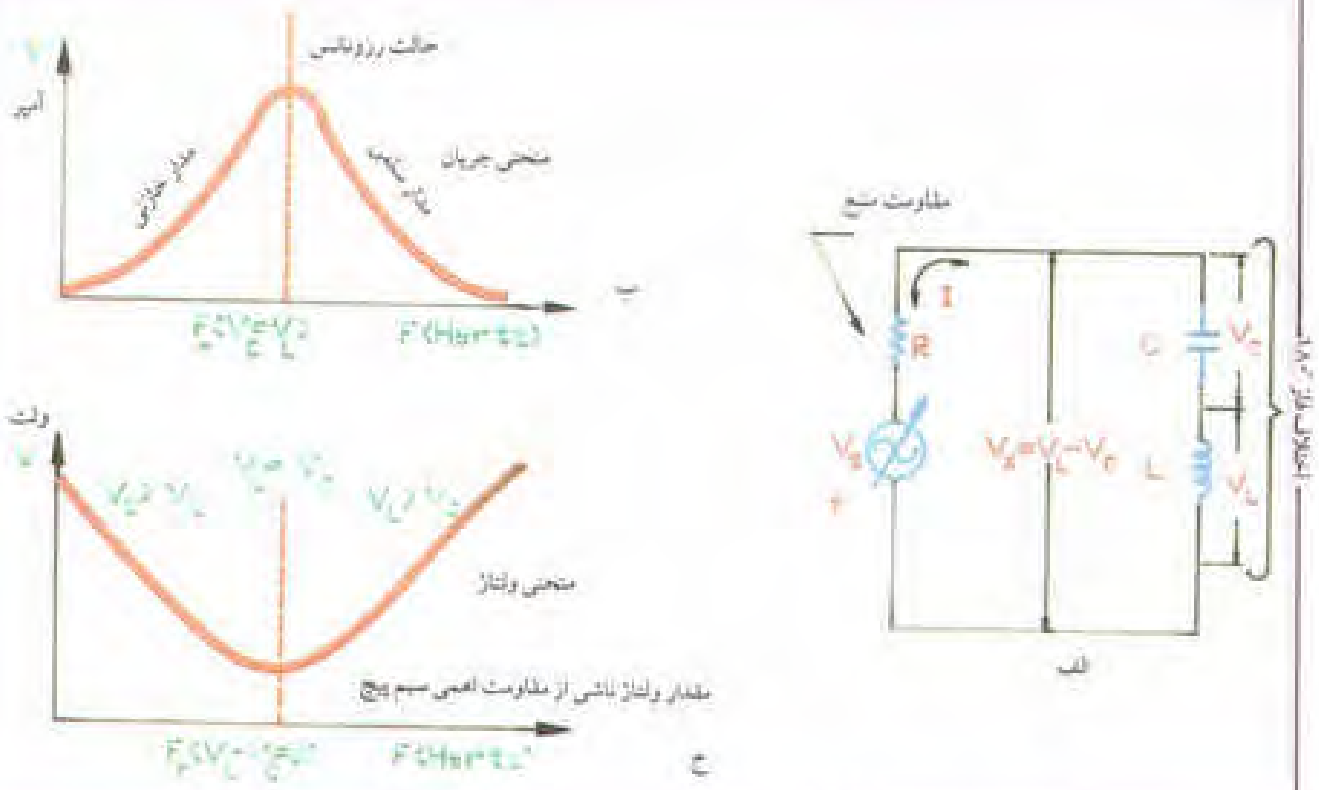
۱-۳-۴- پاسخ فرکانسی در مدار رزونانس سری LC : در مدار RLC سری ولتاژ دو سر خازن با ولتاژ دو سر سلف ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد. در شکل ۴-۸ مدار سری RLC با بردارهای ولتاژ نشان داده شده است.



شکل ۴-۸- مدار سری RLC و بردارهای ولتاژ در دو سر سلف، خازن و مقاومت

مقدار ولتاژ را کتیو کل از تفاضل مقادیر ولتاژ دو سر سلف (V_L) و خازن (V_C) به دست می‌آید. در شکل الف ۴-۹ مدار سری RLC و در شکل ب ۴-۹ پاسخ فرکانسی برحسب جریان مدار و در شکل ج ۴-۹ پاسخ فرکانسی برحسب ولتاژ خروجی ترسیم شده است.

همان طور که از منحنیها مشاهده می‌شود، در فرکانسهای کمتر از فرکانس رزونانس مدار دارای خاصیت خازنی است برای اینکه $V_C > V_L$ است. با نزدیک شدن به فرکانس رزونانس مقدار $X = X_L - X_C$ کاهش می‌یابد و جریان مدار زیاد می‌شود. در حالت رزونانس امپدانس مدار حداقل شده و برابر با مقدار مقاومت اهمی مدار می‌شود.



شکل ۹-۴- مدار رزونانس سری و منحنی پاسخ فرکانس آن

با افزایش فرکانس منبع ولتاژ به فرکانسی بیشتر از فرکانس رزونانس مقدار راکتانس القایی بیشتر از راکتانس خازنی می‌شود و مدار خاصیت القایی پیدا می‌کند. با افزایش راکتانس القایی مقدار امپدانس زیاد و جریان مدار کم می‌شود. در جدول ۴-۴ مشخصات مدار رزونانس سری در حالات مختلف آمده است.

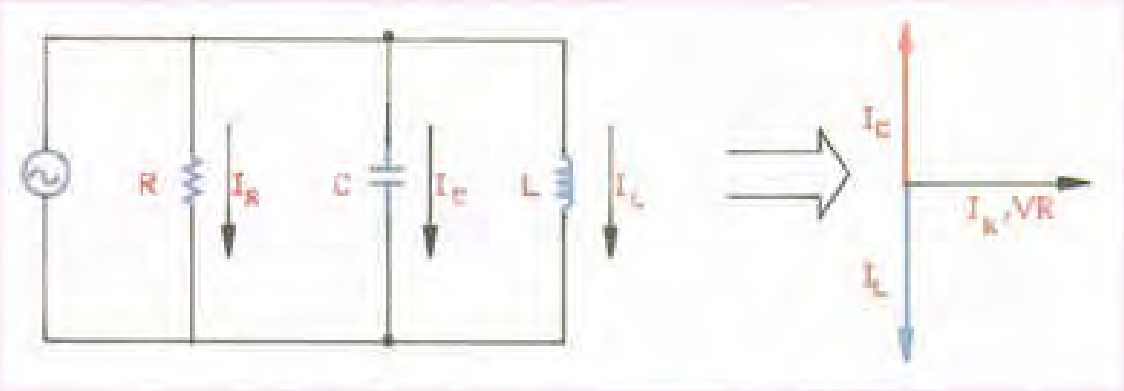
جدول ۴-۴- اثر تغییرات فرکانس در مدار RLC سری

F	V_L	V_C	$V_L - V_C$	Z	I_T
کمتر از f_r	کم	زیاد	زیاد	زیاد	کم
برابر f_r	$-V_C$	$-V_L$	۰	حداقل	حداکثر
بیشتر f_r	زیاد	کم	زیاد	زیاد	کم

در مدار رزونانس سری RLC مقدار امپدانس حداقل و برابر با مقاومت اهمی مدار، مقدار جریان حداکثر و ولتاژ راکتیو مدار صفر است.

۲ـ۳ـ۴ـ مشخصه های مدار رزونانس موازی: درشکل ۴ـ۱۰ مدار RLC موازی نشان داده شده است. دراین مدار فرکانس رزونانس دقیقاً مشابه مدار رزونانس سری و از رابطه $F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ به دست می‌آید.

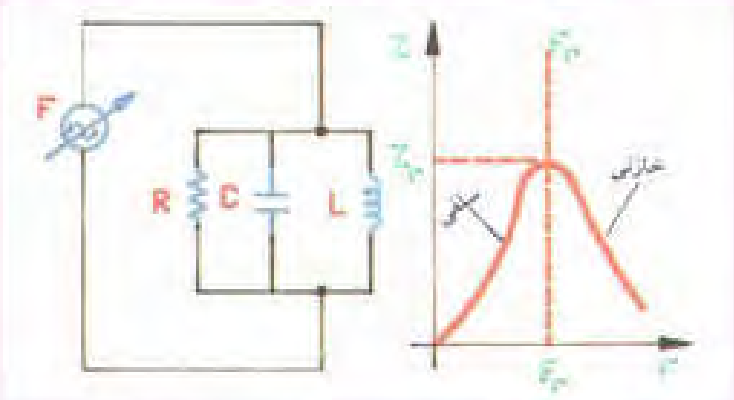
در مدار RLC موازی، جریان درشاخه خازنی به اندازه ۱۸۰ درجه با جریان شاخه القایی اختلاف فاز دارد. در شکل ۴ـ۱۰ بردارهای ولتاژ در دو سر هریک ازعناصر و بردار جریان نشان داده شده است.



شکل ۴ـ۱۰ـ مدار رزونانس موازی و بردارهای جریان درشاخه های R ،C ،L

در مدار رزونانس موازی ولتاژ دردوسر کلیه عناصر مدار یکسان است وجریانها، تعیین کننده خاصیت مدار هستند. درمدار رزونانس موازی در حالت همتوانی مقدار جریان شاخه سلفی با جریان شاخه موازی برابر می‌شود، که به علت وجود اختلاف فاز ۱۸۰° جریان کل مدار برابر با $\frac{U}{R}$ خواهد شد. بنابراین درمدار رزونانس موازی درحالت تشدید مقدارامپدانس حداکثر ومقدار جریان حداقل است.

چون درمدار رزونانس موازی خاصیت مدار را جریانها تعیین می کنند، بنابراین، درفرکانسهای زیر رزونانس جریان سلفی بیشتر ازجریان خازنی است ومدار دارای خاصیت سلفی است و درفرکانسهای بالای رزونانس مدار دارای خاصیت خازنی است. درشکل ۴ـ۱۱ منحنی پاسخ فرکانسی مدار رزونانس موازی ترسیم شده است. در فرکانس رزونانس مدار دارای خاصیت اهمی است.



شکل ۴ـ۱۱ـ مدار رزونانس موازی و پاسخ فرکانسی آن

در جدول ۴.۵ مشخصات مدار رزونانس موازی به اختصار آمده است.

جدول ۵ـ۴ـ اثر تغییرات فرکانس در مدار RLC موازی

F	I_L	I_C	$I_L - I_C$	Z	I_T
کمتر از f_r	زیاد	کم	زیاد	کم	زیاد
مساوی f_r	$-I_C$	$-I_L$	۰	زیاد	کم
بیشتر از f_r	کم	زیاد	زیاد	کم	زیاد

در مدار رزونانس موازی هنگامی که مدار در حالت تشدید قرار می‌گیرد امپدانس مدار حداکثر و مقدار جریان مدار حداقل می‌شود.

در جدول ۶ـ۴ مدار رزونانس سری را با مدار رزونانس موازی، از نظر ولتاژ و جریان، مقایسه کرده‌ایم.

جدول ۶ـ۴ـ رابطه بین ولتاژ و جریان در مدارهای RLC

مدارهای RLC سری	جریانهای مدار			
	I_L	I_C	I_R	I_T
	همه همفاز و با هم برابر هستند.			
	ولتاژهای مدار			
	V_L	V_C	V_R	V_T
	۹۰ درجه از جریان جلوتر است	۹۰ درجه از جریان عقبتر است	با جریان همفاز است	با جریان همفاز است
مدارهای RLC موازی	ولتاژهای مدار			
	V_L	V_C	V_R	V_T
	همه همفاز و با هم برابر هستند.			
	جریانهای مدار			
	I_L	I_C	I_R	I_T
	۹۰ درجه عقبتر از ولتاژ مدار	۹۰ درجه جلوتر از ولتاژ مدار	همفاز با ولتاژ مدار	فاز با V_T تغییر می‌کند

۴ـ۴ـ خودآزمایی

۱ـ۴ـ۴ـ رزونانس را تعریف کنید.

۲ـ۴ـ۴ـ تفاوت بین مدارهای رزونانس RLC سری و موازی را شرح دهید.

۳ـ۴ـ۴ـ درجه شرایطی در مدار RLC سری ولتاژ دو سر خازن و سلف با هم برابر و مخالف می‌شود؟

۴ـ۴ـ۴ـ آیا در یک مدار RLC سری، شدت جریان در خازن و سیم پیچ مخالف یکدیگر است؟ شرح دهید.

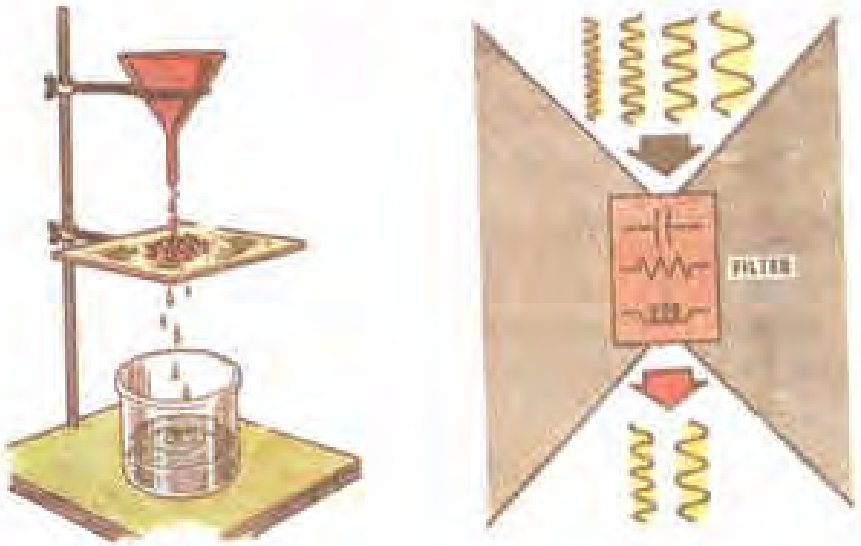
۵ـ۴ـ۴ـ در یک مدار RLC موازی در چه شرایطی شدت جریان سلفی و خازنی با هم برابر و مخالف می‌شود؟ شرح دهید.

۶ـ۴ـ۴ـ آیا در مدار RLC موازی شرایطی به وجود می‌آید که ولتاژ دو سر عناصر را کتبو با هم برابر و مخالف شود؟ شرح دهید.

(برای مطالعه ، پایان)

۵ـ۴ـ فیلترها[1]

فیلترها مدارهایی هستند که توسط آنها می‌توان فرکانس یا باند فرکانسی معینی را از میان سایر فرکانسها انتخاب کرد. فیلترهای الکترونیکی از نظر نوع کار مشابه فیلتر هوای اتومبیل، فیلتر آب و ... هستند. در شکل ۱۲ـ۴ مقایسه فیلترهای الکترونیکی با فیلترهای معمولی آمده است.



الف ـ فیلتر الکترونیکی دو سیگنال خارج می‌شود

ب ـ فیلتر مایعات

شکل ۱۲ ـ ۴ ـ فیلتر الکترونیکی و فیلتر مایعات

۱ ـ Filters

در فیلترهای معمولی مکانیکی برای صاف کردن مایعات، هوا و ... از یک لایه نازک کاغذی، پارچه‌ای، پلاستیکی و ... استفاده می‌کنند. در فیلترهای الکترونیکی ترکیب اجزای الکترونیکی از قبیل سلف، خازن، مقاومت و ... به کار می‌رود. در شکل ب ۱۲ـ۴ یک فیلتر مکانیکی که برای جداکردن مواد جامد از مایع به کار می‌رود ترسیم شده است. در این فیلتر یک لایه پارچه‌ای مقدار نقش فیلتر را به عهده دارد و عمل جدا کردن مواد جامد از مایع را انجام می‌دهد. در شکل الف ۱۲ـ۴ فرکانسهای ورودی به فیلتر الکترونیکی چهار فرکانس مختلف است که از میان این چهار فرکانس دو فرکانس انتخاب و جدا شده است. همان طور که در شکل نشان داده شده است عمل فیلتر کردن توسط خازن، سیم پیچ و مقاومت صورت می‌گیرد.

۱ـ۵ـ۴ـ محدوده فرکانسی فیلتر[1]: محدوده فرکانسی فیلتر عبارت از مجموعه فرکانسهایی است که فیلتر می‌تواند از خود عبور دهد. این محدوده فرکانسی را باند فرکانسی فیلتر می‌نامند (شکل الف ۱۳ـ۴).

۲ـ۵ـ۴ـ فیلتر ایده‌آل: فیلتر ایده‌آل فیلتری است که در خروجی آن دقیقاً فرکانسهای مورد نظر ظاهر می‌شود. مثلاً اگر قرار است فرکانسهایی را که در باند فرکانسی ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۱۵۰ کیلوهرتز قرار دارد در خروجی داشته باشیم، دقیقاً این فرکانسها در خروجی به دست آید؛ به طوری که اثری از فرکانسهای نزدیک به این مقادیر در خروجی ظاهر نشود. در شکل ب ۱۳ـ۴ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر ایده‌آل آمده است.

الف ـ محدوده فرکانسی فیلتر

ب ـ فیلتر ایده‌آل

ج ـ فیلتر واقعی

شکل ۱۳ـ۴ـ پاسخ فرکانسی

۱ـ Filter Band Width

۳ـ۵ـ۴ـ **فیلترواقعی**: به علت استفاده از مقاومت، سلف و خازن در فیلترها نمی توانیم پاسخ فرکانسی ایده‌آل داشته باشیم، چرا که این عناصر نمی توانند مانند یک کلید عمل کنند و از عبور فرکانسهای ناخواسته جلوگیری به عمل آورند. در این حالت دامنه فرکانسهای ناخواسته بتدریج کم می شود تا به صفر می رسد. درشکل ج ۱۳ـ۴ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر واقعی، ترسیم شده است.

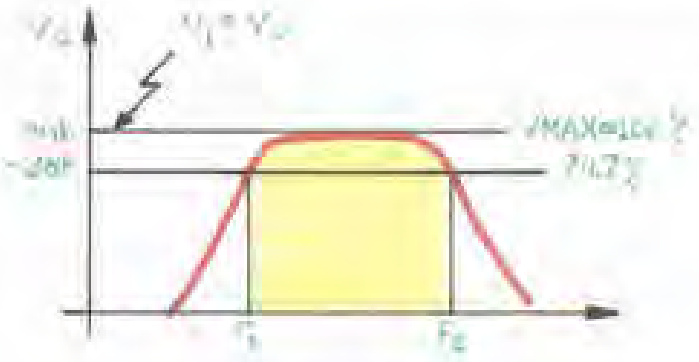
۴ـ۵ـ۴ـ **فرکانس قطع فیلتر**[1]: حد فرکانس قابل قبول درخروجی فیلتر را فرکانس قطع فیلتر می نامند. فیلترها باتوجه به کاربرد و ساختمان آنهامی توانند دارای یک، دو یا چند فرکانس قطع باشند. در فیلترهای ایده‌آل فرکانس قطع دقیقاً روی فرکانس مورد نظر قرار می گیرد. درشکل الف ۱۳ـ۴ فرکانسهای قطع فیلتر ایده‌آل برابر با F_1 و F_2 است.

در فیلترهای واقعی چون ولتاژ خروجی بتدریج به حداکثر ولتاژ ورودی یاصفرمی رسد از این رو نقاط متعددی وجود دارد که می تواند به عنوان فرکانس قطع فیلتر انتخاب شود. طبق تعریف درفیلترهای واقعی فرکانس قطع فیلتر عبارت از فرکانسی است که درآن فرکانس تطابق توان صورت می گیرد و نیمی ازتوان ورودی به خروجی منتقل می شود. دراین نقطه معمولاً ۷۰/۷ درصد ولتاژ ورودی درخروجی ظاهرمی شود. این نقطه را نقطه نصف قدرت نیز می نامند (شکل ۱۴ـ۴). این نقطه همسان سطح 3db است. زیرا وقتی توان خروجی برابر با $\frac{1}{2}$ توان ورودی می‌شود مقدار توان به اندازه ۳ دسی بل کاهش می یابد.

۵ـ۵ـ۴ـ **انواع فیلترها ازنظرکاربرد**: فیلترها ازنظرکاربرد به چهار گروه زیر تقسیم‌بندی می شوند:

الف ـ **فیلترپایین گذر LPF**[2]: فیلتر پایین گذر فیلتری است که اجازه می دهد فرکانسهایی ازحد صفرتامقدار معینی را که به عنوان فرکانس قطع مطرح می شود ازخود عبور دهد. درشکل ب و الف ۱۵ـ۴ دو نوع فیلتر پایین گذر RL و RC ترسیم شده است. درشکل ج ۱۵ـ۴ پاسخ فرکانسی این فیلتر را مشاهده می کنید.

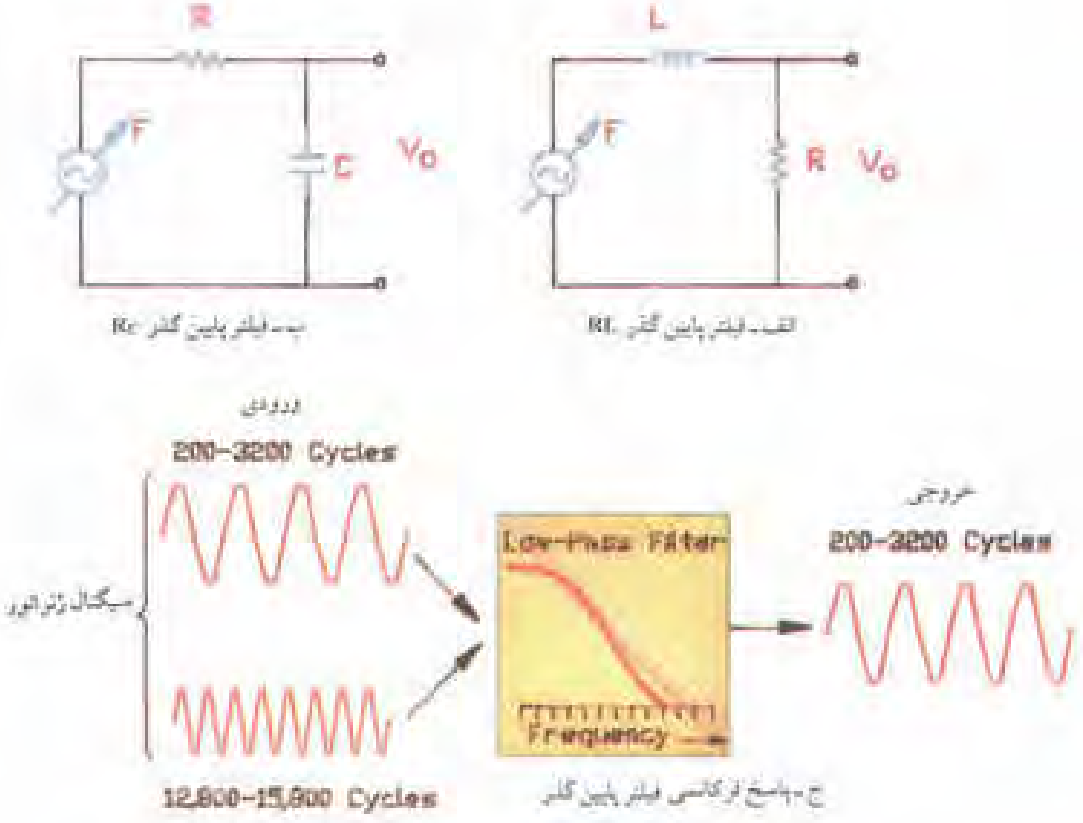
در مدار شکل الف ۱۵ـ۴ درحالتی که فرکانس ورودی صفر است، سیم پیچ اتصال کوتاه می باشد. با افزایش فرکانس، مقدار X_L نسبت به R افزایش می یابد بدین ترتیب مقدار امپدانس کل مدارافزایش می یابد و جریان مدار کم می شود. با کم شدن جریان، ولتاژ دو سر مقاومت R که ولتاژ خروجی است کاهش می یابد. با افزایش بتدریجی فرکانس، به نقطه‌ای می رسیم که مقدار X_L آن قدر



شکل ۱۴ـ۴ـ فرکانس قطع فیلتر واقعی

۱ـ Cut off Frequency

۲ـ Low Pass Filter



ب ـ فیلتر پایین گذر RC

الف ـ فیلتر پایین گذر RL

ج ـ پاسخ فرکانسی فیلتر پایین گذر

شکل ۱۵ـ۴ـ فیلتر پایین گذر

زیاد می شود که تقریباً تمام ولتاژ ورودی در دو سر X_L افت می کند و ولتاژی به خروجی مدار نمی رسد. فرکانسی را که در آن فرکانس مقدار $X_L = R$ می شود فرکانس قطع فیلتر پایین گذر می نامند. فرکانس قطع از رابطه ۲۰ـ۴ قابل محاسبه است.

$$X_L = R \Rightarrow L\omega = R \Rightarrow \omega = \frac{R}{L} \qquad F = \frac{R}{2\pi L} \qquad ۴ـ۲۰$$

تحلیل مدار شکل ب ۱۵ـ۴ در قسمت خودآزمایی به عهدهٔ فراگیران گذاشته شده است.

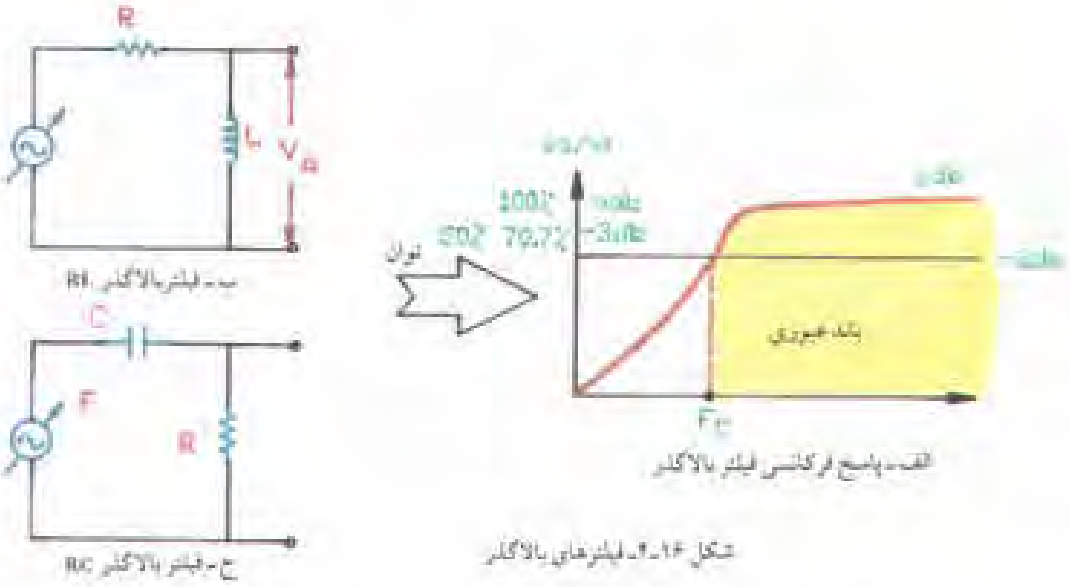
ب ـ فیلتر بالا گذر HPF[1] : این فیلترها از فرکانس معینی به بالا را از خود عبور می دهند. اصول کار و ساختمان فیلترهای بالاگذر مشابه فیلترهای پایین گذر است با این تفاوت که خروجیهای مدار جابه جا شده است. در شکل ب ۱۶ـ۴ فیلتر RL بالاگذر را ملاحظه می کنید. خروجی این مدار از دو سر X_L دریافت شده است.

در شکل ج ۱۶ـ۴ فیلتر بالاگذر RC ترسیم شده است. خروجی این مدار برخلاف فیلتر پایین گذر از دو سر مقاومت R دریافت شده است.

برای درک بهتر مطلب مدارهای شکل ۱۶ـ۴ را با مدارهای شکل ۱۵ـ۴ مقایسه کنید. فرکانس قطع فیلتر بالاگذر مشابه فیلترهای پایین گذر است (شکل الف ۱۶ـ۴).

---

۱ ـ High Pass Filter



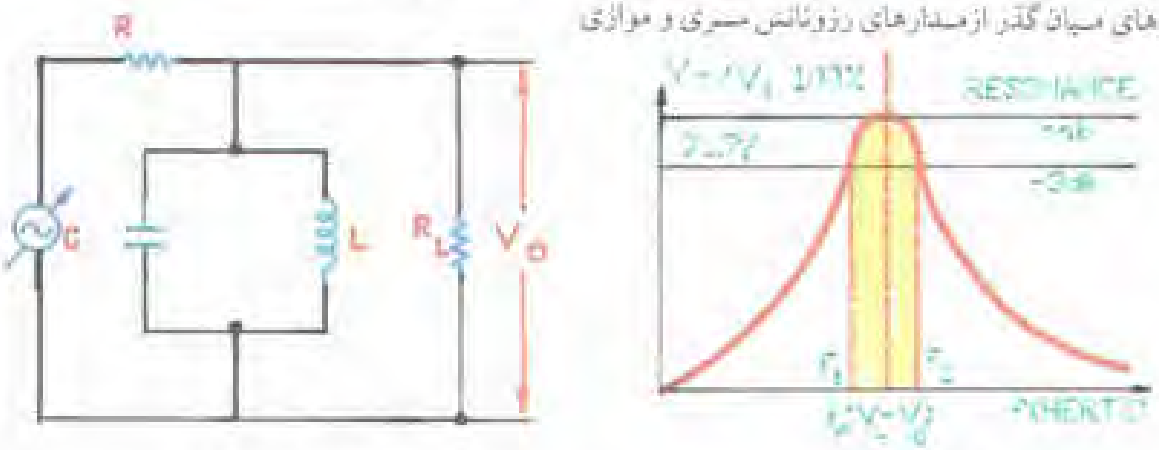
ب ـ فیلتر بالاگذر RL

ج ـ فیلتر بالاگذر RC

الف ـ پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر

شکل ۱۶ـ۴ـ فیلترهای بالاگذر

ج ـ فیلترهای میان گذر BPF[1] : فیلترهای میان گذر فیلترهایی هستند که اجازه عبور باند فرکانسی معینی را می‌دهند. این فیلترها را فیلترهای عبور باند نیز می‌نامند. در فیلترهای میان گذر از مدارهای رزونانس سری و موازی استفاده می‌شود. در شکل ب ۱۷ـ۴ یک نمونه مدار فیلتر میان گذر و در الف ۱۷ ـ ۴ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر میان گذر ترسیم شده است.



ب ـ فیلتر میان گذر

الف ـ پاسخ فرکانسی

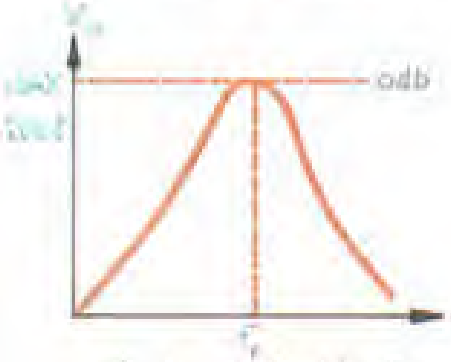
شکل ۱۷ـ۴ـ فیلتر عبور باند

همان طور که از شکل ب ۱۷ـ۴ ملاحظه می‌شود ولتاژ خروجی از دو سر مدار رزونانس موازی دریافت می‌شود. در فرکانسهای پایین سیم پیچ به منزله اتصال کوتاه عمل می‌کند و ولتاژ خروجی صفر می‌شود. در فرکانسهای بالا، خازن به صورت اتصال کوتاه عمل می‌کند و ولتاژ خروجی صفر می‌شود. با توجه به این که امپدانس مدار رزونانس موازی در حالت رزونانس ماکزیمم است بیشترین ولتاژ را در خروجی خواهیم داشت. به عبارت دیگر در حالت رزونانس، ولتاژ خروجی تقریباً برابر با ولتاژ ورودی خواهد بود. در حقیقت پاسخ فرکانسی فیلتر از پاسخ فرکانسی مدار رزونانس تبعیت می‌کند.

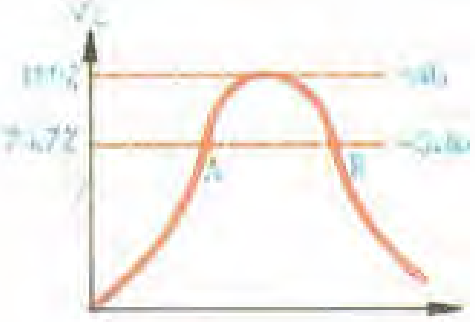
۶ـ۵ـ۴ـ طرز تعیین فرکانسهای قطع فیلتر میان گذر : برای به دست آوردن فرکانس قطع فیلتر میان گذر ابتدا با در دست داشتن منحنی پاسخ فرکانسی، فرکانس حداکثر خروجی را که در F_r به دست می‌آید، مشخص می‌کنیم (شکل الف ۱۸ـ۴). سپس حد 3db- که همان ۷۰/۷ درصد ولتاژ ورودی یا ۵۰ درصد توان ورودی است را تعیین می‌کنیم (شکل ب ۱۸ـ۴). و خطی موازی محور فرکانسها

1 ـ Band Pass Filter

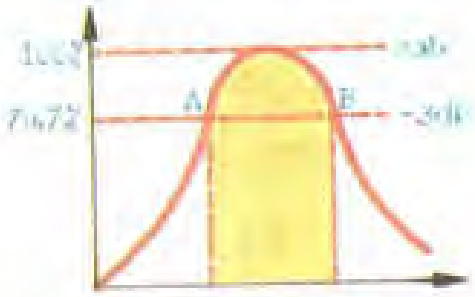
می گشیم (شکل ج ۱۸ـ۴)، این خط در دو نقطه A و B منحنی پاسخ فرکانسی را قطع می کند. از این دو نقطه بر محور افقی عمود می کنیم (شکل د ۱۸ـ۴). فرکانس F_1 فرکانس قطع پایین و فرکانس F_2 فرکانس قطع بالای فیلتر میان گذر است. فاصله F_1 و F_2 پهنای باند فیلتر را تشکیل می دهد.



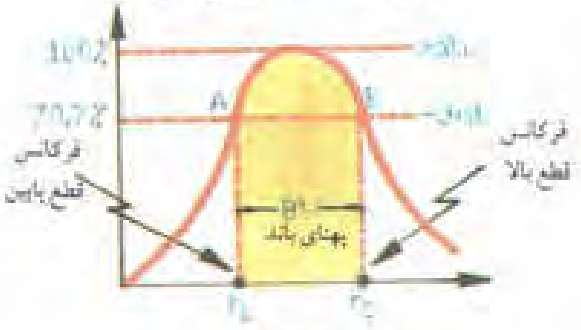
الف ـ نقطه حداکثر را به دست می آوریم



ب ـ نقاط 3db ـ را تعیین می کنیم



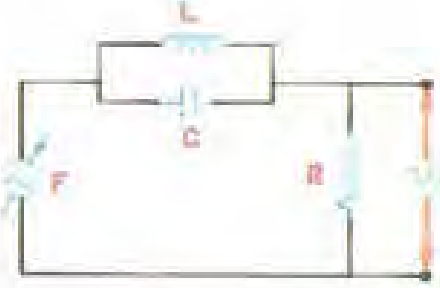
ج ـ ازنقاط A و B به محور افقی عبور می کنیم



د ـ پهنای باند

شکل ۱۸ـ۴ـ نحوه به دست آوردن فرکانس قطع در فیلترهای میان گذر

۷ـ۵ـ۴ـ فیلتر حذف باند B.R.F[1] : فیلترهای حذف باند فیلترهایی هستند که باند معینی از فرکانس را حذف می کنند. این فیلترها ازنظر نحوه کار، مشابه فیلترهای میان گذر هستند. تنها تفاوت بین آنها نحوه دریافت خروجی است. در شکل ب ۱۹ ـ ۴ یک نمونه فیلتر حذف باند و در شکل الف ۱۹ ـ ۴ پاسخ فرکانسی آن ترسیم شده است.



ب ـ فیلتر حذف باند

الف ـ پاسخ فرکانسی

شکل ۱۹ـ۴ـ فیلتر حذف باند

---

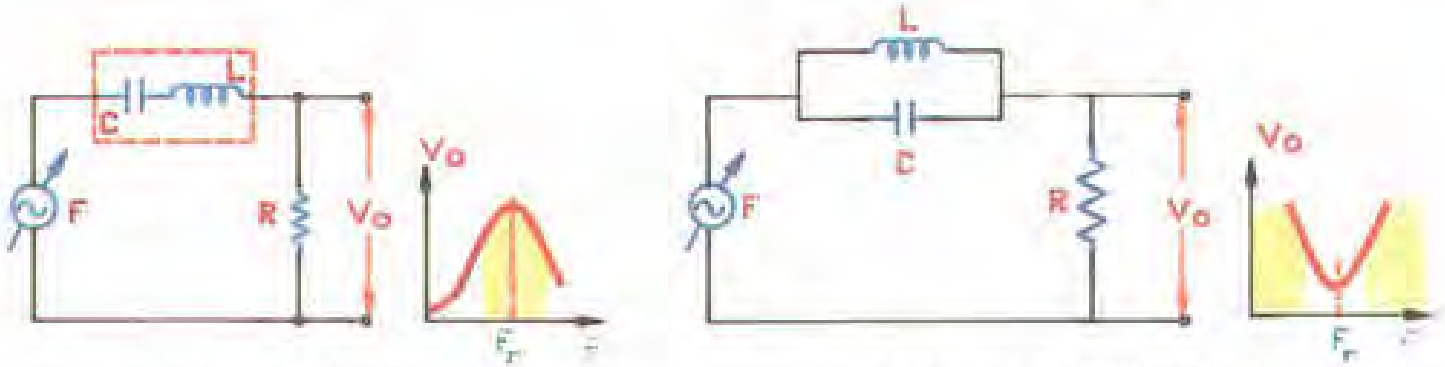
۱ ـ Band Reject Filter

همان طورکه ملاحظه می شود، در فرکانس F_r مدار رزونانس LC موازی به صورت یک امپدانس زیاد عمل می کند و جریان مدار را آن قدر محدود می کند که در خروجی ولتاژ بسیار کمی ظاهر می شود که می توانیم عملاً آن را صفر درنظر بگیریم. در فرکانسهای خیلی پایین سیم پیچ به صورت اتصال کوتاه عمل می کند در این حالت تمام ولتاژ ورودی درخروجی ظاهر می شود. درفرکانسهای بالا، خازن اتصال کوتاه می شود وتمام ولتاژ ورودی به خروجی می رسد. درشکل ب ۱۹ـ۴ پاسخ فرکانسی فیلتر حذف باند رسم شده است.

۸ـ۵ـ۴ـ انواع فیلترهای میان گذر و حذف باند:

فیلترهای میان گذر و حذف باند را ازنظر نحوه بستن مدار به دو دسته سری و موازی تقسیم می کنند.

الف ـ فیلترهای سری. درصورتی که مدار هماهنگی به صورت سری با خروجی قرار گیرد، نوع فیلتر را سری می گویند. فیلترهای سری، خود بر دو نوع فیلترسری بامدار رزونانس سری (میان گذر) و فیلترسری با مدار رزونانس موازی (حذف باند) تقسیم می شود. در شکل ب ۲۰ـ۴ فیلتر میان گذر سری با مدار رزونانس سری و در شکل الف ۲۰ـ۴ فیلتر حذف باند سری با مدار رزونانس موازی ترسیم شده است.

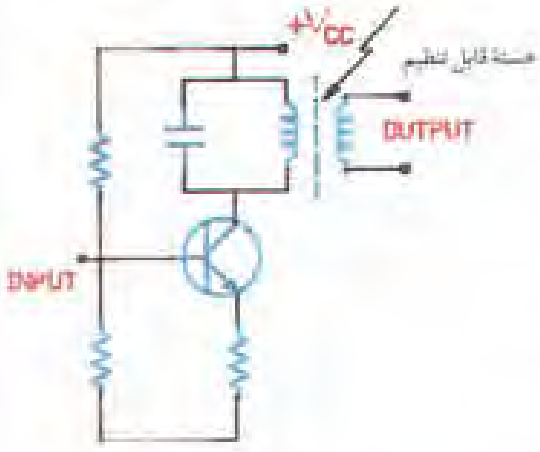


الف ـ فیلتر حذف باند موازی با مدار رزونانس موازی

ب ـ فیلتر میان گذر سری با مدار رزونانس سری

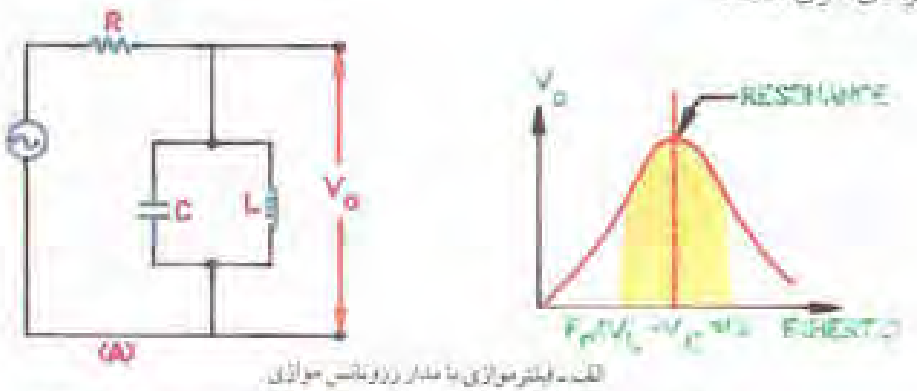
شکل ۲۰ـ۴ـ انواع فیلترهای سری

در مدارهای گیرنده رادیو، اغلب ازفیلترهای میان گذر بامدار رزونانس موازی استفاده می شود. این فیلترها به منظور انتخاب باند فرکانس معینی درطبقات مختلف گیرنده به کار می روند. در شکل ۲۱ـ۴ یک نمونه مدار عملی فیلتر میان گذر را که در گیرنده رادیو استفاده می شود ملاحظه می کنید. خازن و سیم پیچ دو این فیلترثابت و هسته سیم پیچ قابل تغییر است. با تنظیم هسته سیم پیچ می توان فیلتر را روی مقدار معینی تنظیم کرد.

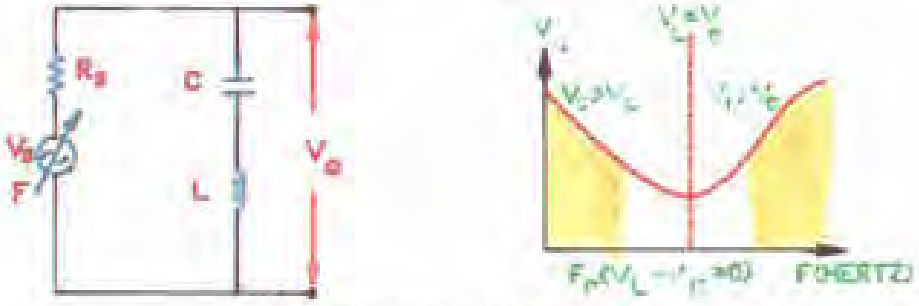


شکل ۲۱ـ۴ ـ یک نمونه فیلتر عملی قابل استفاده درمدار رادیو

ب ـ فیلترهای موازی: اگر مدار رزونانس به صورت موازی با خروجی قرار گیرد فیلتر موازی شکل می گیرد. فیلترهای موازی در دو نوع فیلتر میان گذر با مدار رزونانس موازی شکل الف ۲۲ـ۴ و فیلتر حذف باند با مدار رزونانس سری شکل ب ۲۲ـ۴ تقسیم می شود. اساس کار فیلترهای موازی مشابه فیلترهای سری است.



الف ـ فیلتر موازی با مدار رزونانس موازی



ب ـ فیلتر حذف باند با مدار رزونانس سری

شکل ۲۲ـ۴ـ انواع فیلترهای موازی

۹ـ۵ـ۴ـ مشخصه های فیلتر میان گذر: به طور کلی برای فیلترها سه مشخصه به شرح زیر تعریف می شود:

الف ـ فرکانس رزونانس

ب ـ پهنای باند

ج ـ ضریب کیفیت

الف ـ فرکانس رزونانس فیلترهای میان گذر از رابطه ۲۱ـ۴ قابل محاسبه است.

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad ۲۱ـ۴$$

ب ـ پهنای باند فیلتر میان گذر فاصله بین فرکانسهای قطع بالا و قطع پایین است.

$$BW = F_2 - F_1 \qquad ۲۲ـ۴$$

که در آن

BW = پهنای باند

F_2 = فرکانس قطع بالا

F_1 = فرکانس قطع پایین

مقدار پهنای باند از طریق ترسیمی طبق شکل ۱۹ـ۴ به دست می آید.

مثال ۱۲ـ۴ـ در یک فیلتر میان گذر درصورتی که فرکانس قطع بالا برابر با ۶۱۰ کیلوهرتز وفرکانس قطع پایین برابر با ۵۸۰ کیلوهرتز باشد، پهنای باند را به دست آورید.

پاسخ:

$$BW = F_2 - F_1$$

$$BW = ۶۱۰ - ۵۸۰$$

$$\boxed{BW = ۳۰KHZ}$$

ج ـ ضریب کیفیت Q[1] : این ضریب میزان تیزی منحنی مشخصه و پهنای باند را تعیین می کند. بین مقدار Q ، پهنای باند و F_r رابطه ۲۳ـ۴ برقرار است:

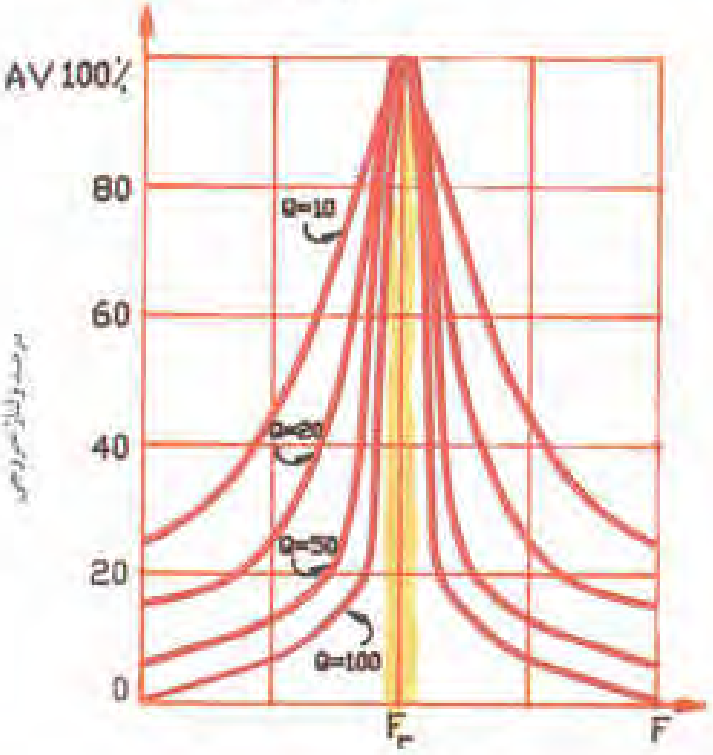
$$Q = \frac{F_r}{BW} \qquad ۲۳ـ۴$$

که در آن Q = ضریب کیفیت

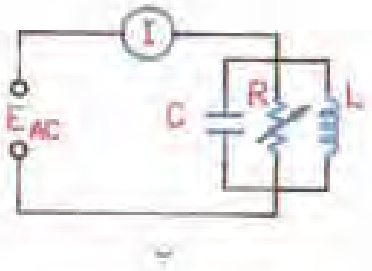
F_r = فرکانس رزونانس

BW = پهنای باند

هر قدر ضریب Q کمتر شود پهنای باند بیشتر می شود. در شکل ۲۳ـ۴ منحنی یک مدار رزونانس موازی با یک فرکانس رزونانس و مقادیر Q متفاوت رسم شده است. مقدار Q مدار رزونانس بستگی به مقدار مقاومت اهمی مدار دارد. در این شکل محور افقی برحسب فرکانس و محور قائم برحسب ولتاژ درجه بندی شده است.



الف



ب

شکل ۲۳ـ۴ـ پاسخ فرکانسی مدار رزونانس موازی با Q های متفاوت

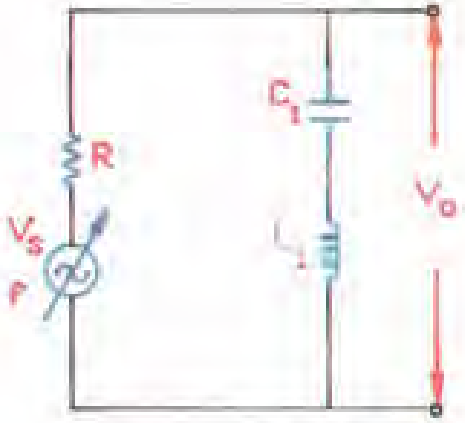
۱۰ـ۵ـ۴ـ مقدار Q در مدار رزونانس سری : در مدار شکل ۲۴ـ۴ یک مدار رزونانس سری رسم شده است. مقدار Q این مدار بستگی به مقاومت سری آن دارد و از رابطه ۲۴ـ۴ قابل محاسبه است.

$$Q = \frac{X_L}{R} \qquad ۲۴ـ۴$$

که در آن Q = ضریب کیفیت

X_L = راکتانس سلفی

R = مقاومت اهمی سیم پیچ



شکل ۲۴ـ۴ـ مدار رزونانس سری

۱ـ Quality Factor

مثال ۱۵ـ۴ـ درصورتی که در مدار شکل ۲۴ـ۴ مقدار $X_L = 1K\Omega$ ومقدار $R = 10\Omega$ باشد مقدار Q را به دست آورید.

$$Q = \frac{X_L}{R}$$

$$Q = \frac{1000}{10} \qquad \boxed{Q = 100}$$

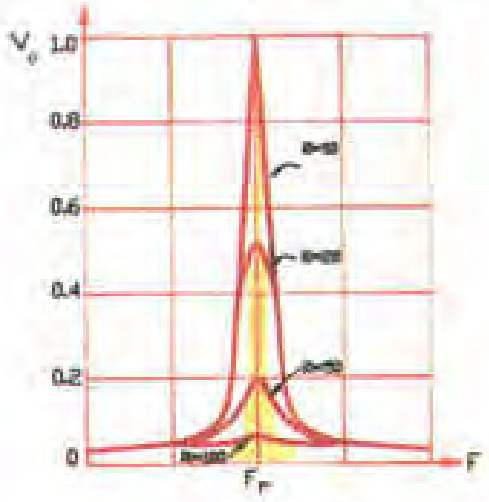
اگر در رابطه $BW = \frac{F_r}{Q}$ به جای Q مقدار آن را در رابطه ۲۴ـ۴ قرار دهیم داریم:

$$Q = \frac{X_L}{R} \qquad BW = \frac{F_r}{Q}$$

$$BW = \frac{F_r}{X_L/R}$$

$$BW = \frac{F_r \cdot R}{X_L} \qquad ۴ـ۲۵$$

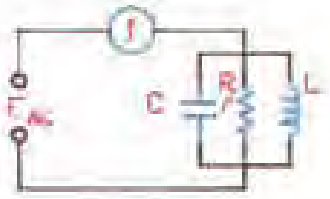
اگر رابطه ۲۵ـ۴ را مورد توجه قرار دهیم می بینیم که با زیاد شدن مقاومت اهمی سیم‌پیچ مقدار Q کم و مقدار پهنای باند زیاد می شود. شکل ۲۵ـ۴ مقدار Q را در مدار رزونانس سری با مقادیر متفاوت R نشان می دهد.



شکل ۲۵ـ۴ـ اثر مقاومت روی Q

۱۱ـ۵ـ۴ـ مقدار Q در مدار رزونانس موازی: مقدار Q درمدار رزونانس موازی بستگی به مقاومت موازی مدار دارد. مقدار Q در مدار شکل ۲۶ـ۴ از رابطه ۲۶ـ۴ قابل محاسبه است.

$$Q_P = \frac{R_P}{X_L} \qquad \text{رابطه ۲۶ـ۴}$$



شکل ۲۶ـ۴ـ مدار رزونانس موازی

اگر در رابطه پهنای باند مقدار Q_P را قرار دهیم خواهیم داشت:

$$BW = \frac{F_r}{Q_P}$$

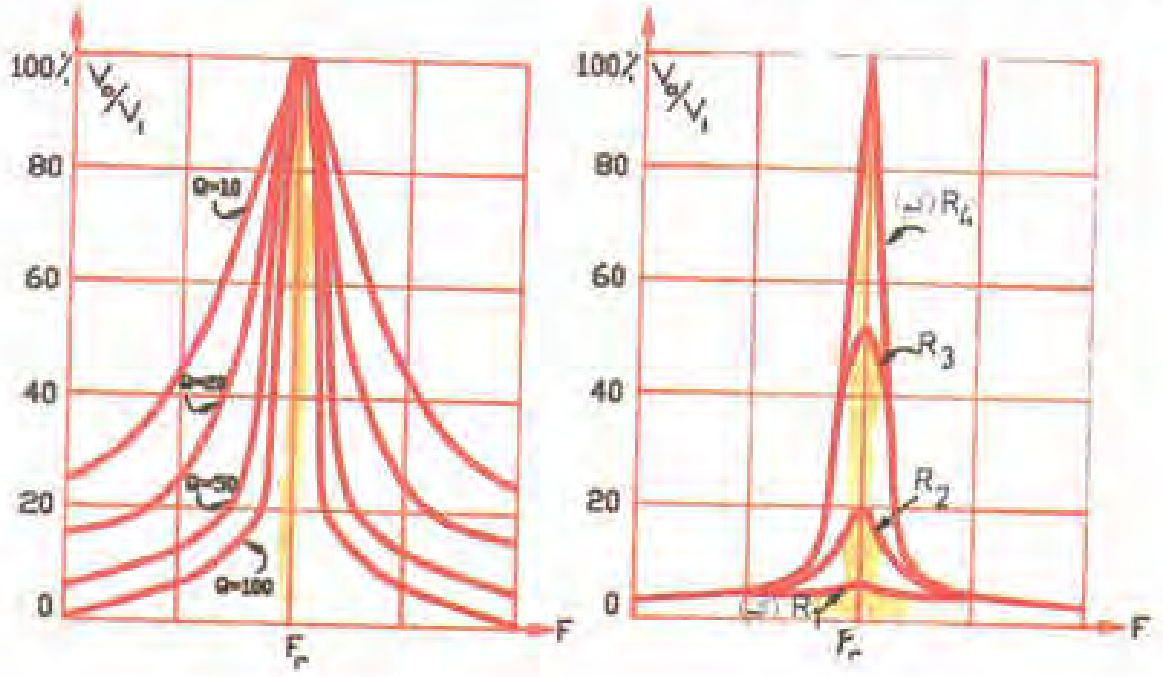
$$Q_P = \frac{R_P}{X_L}$$

$$BW = \frac{F_r}{R_P/X_L}$$

$$BW = \frac{F_r \cdot X_L}{R_P} \qquad \text{رابطه ۲۷ـ۴}$$

۱ـ R_P به معنی مقاومت موازی است و از Parallel گرفته شده است.

با بررسی رابطه ۲۷ـ۴ درمی‌یابیم که درمدار رزونانس موازی با افزایش مقدار R_p مقدار Q_p زیاد و پهنای باند مدار کم می‌شود. این مسأله در شکل الف ۲۷ـ۴ و ب ۲۷ـ۴ نشان داده شده است. درمدارهای رادیو برای افزایش پهنای باند مقدار R_p را کاهش می‌دهند.



ب الف

شکل ۲۷ـ۴ـ پاسخ فرکانسی مدار رزونانس موازی با مقادیر مختلف R_p

۶ـ۴ـ خودآزمایی

۱ـ۶ـ۴ـ فیلترمکانیکی را با فیلتر الکترونیکی مقایسه کنید.

۲ـ۶ـ۴ـ فیلتر ایده‌آل و فیلتر واقعی را تعریف کنید و منحنی پاسخ فرکانسی آنها را باهم مقایسه کنید.

۳ـ۶ـ۴ـ فرکانس قطع فیلتر را تعریف کنید ونحوه محاسبه آن را بنویسید.

۴ـ۶ـ۴ـ فیلترهای پایین گذر و بالاگذر RL و RC را شرح دهید و نحوهٔ محاسبه فرکانس قطع آنها را بنویسید.

۵ـ۶ـ۴ـ دو نمونه فیلترمیان گذر سری رسم کنید و طرزکار آن را بنویسید.

۶ـ۶ـ۴ـ ضریب کیفیت را تعریف کنید.

۷ـ۶ـ۴ـ در یک مدار رزونانس سری اگر مقدار R_s کاهش یابد، چه تأثیری روی پاسخ فرکانسی می گذارد؟ شرح دهید.

۸ـ۶ـ۴ـ در یک مدار رزونانس موازی $R_p = ۱۰۰K$ ، $X_L = ۱۰KΩ$ و $F_r = ۵۰۰KHZ$ است مقدارالف ـ BW و Q این مدار چقدر است؟ ب ـ اگر مقدار R_p را به ۱/۵ برابر افزایش دهیم چه تغییری درمدار پدید می‌آید؟ با استفاده ازمحاسبات شرح دهید.

فصل پنجم

اسیلاتورها، مدولاتورها و میکسرها

هدفهای رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می رود که:

- انواع نوسانسازها را تعریف کند.
- انواع نوسانسازها را از نظر تولید شکل موج نام ببرد.
- نیازهای اولیه را برای نوسانسازی شرح دهد.
- اصل بارک هاوزن Barkhausen را توضیح دهد.
- نحوه تولید نوسانها در نوسانسازها را از لحظه کلیدزنی تا پایدار شدن نوسانات توضیح دهد.
- انواع نوسانسازها را از نظر مدار تولید کننده فرکانس نام ببرد.
- انواع نوسانسازهای LC را از نظر شبکه فید بک نام ببرد.
- مدارهای نوسانساز آرمسترانگ، هارتلی، کول پیتس و کلاپ را با توجه به اصول نوسانسازی تشریح کند.
- فرمولهای مربوط به محاسبه فرکانس نوسانها در مدارهای نوسانساز هارتلی، آرمسترانگ، کول پیتس و کلاپ را بنویسد.
- اصول کار مدولاتور را شرح دهد.
- نحوه کار مدولاتور دیودی را با ترسیم شکل تجزیه و تحلیل کند.
- علل استفاده از دیود یا المان غیر خطی را در مدولاتور توضیح دهد.
- مراحل انجام مدولاسیون را در مدولاتور دیودی به صورت بلوک دیاگرام شرح دهد.
- نحوه انجام مدولاسیون توسط ترانزیستور را تشریح کند.
- انواع مدولاسیون با استفاده از تقویت کننده ترانزیستوری را نام ببرد.
- اصول کار میکسر را شرح دهد.
- نحوه کار میکسر دیودی را با رسم شکل شرح دهد.
- نحوه کار میکسر ترانزیستوری را با رسم شکل شرح دهد.

پیشگفتار

نوسانسازها ازمدارهای ویژه ای هستند که کاربرد بسیار گسترده ای درمدارهای مخابراتی دارند. بدون نوسانسازها ارسال و دریافت پیامهای رادیویی امکان پذیر نمی باشد. دراین فصل به بررسی مدارهایی می پردازیم که به عنوان مدارهای اصلی در سیستم های مخابراتی مورد استفاده قرار می گیرد، این مدارها عبارت اند از:

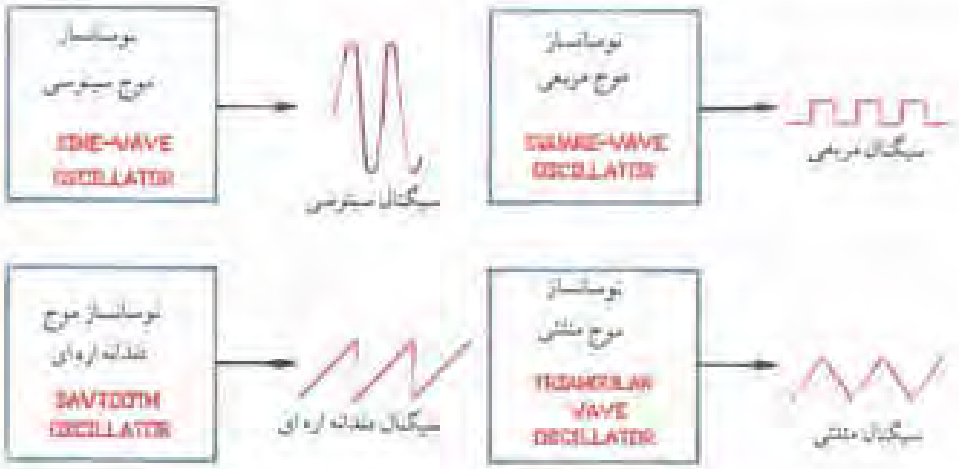
۱ـ مدارهای نوسانساز یا اسیلاتور که مولد موج حامل یا کاریر هستند.

۲ـ مدولاتورهاکه توسط آنها عمل مدولاسیون صورت می گیرد وسیگنال پیام روی حامل سوار می شود.

۳ـ میکسرها که توسط آنها فرکانس کاریر به فرکانس میانی تبدیل می شود. یادآور می شود که به علت گستردگی مدارهای نوسانساز، مدولاتور و میکسرها، نمونه هایی ازاین مدار ها را که کاربرد بیشتری درمدارهای رادیو دارد تجزیه و تحلیل می کنیم. نحوه بررسی مدارها به صورت کاربردی است و از وارد شدن به مباحث سنگین ریاضی پرهیز کرده ایم.

۱ـ۵ـ اصول نوسانسازی

۱ـ۱ـ۵ـ نوسانساز چیست؟ نوسانساز، مداری است که بدون اعمال سیگنال متناوب به ورودی آن، درخروجی، سیگنال متناوب تولید کند. نوسانسازها می توانند انواع شکل موجها را به وجود آورند. در شکل ۱ـ۵ چهار نمونه نوسانساز به صورت بلوک دیاگرام باتوجه به شکل موج آن ترسیم شده است. این نوسانسازها شامل نوسانساز موج سینوسی، نوسانساز موج مربعی، نوسانساز موج دندانه اره ای و نوسانساز موج مثلثی است.



شکل ۱ـ۵ـ انواع نوسانسازها باتوجه به شکل موج تولیدی

۲ـ۱ـ۵ـ نیازهای اولیه برای نوسانسازی: درکلیه نوسانسازها باید شرایط وعوامل زیر وجود داشته باشد تا مدار به نوسان درآید.

الف ـ منبع انرژی: منبع انرژی می تواند منبع تغذیه، باطری شیمیایی یا باطری نوری باشد.

ب ـ مدار تعیین کننده فرکانس: این مدار معمولاً یک مدار رزونانس LC یا مدار رزونانس RC یامدارهایی با مشخصات ویژه است. نوسانهای اولیه، دراین مدارها تولید می شود.

ج ـ تقویت کننده: مدار تقویت کننده معمولاً یکی از

انواع تقویت کننده های ترانزیستوری، FET[1] یا IC[2] است. سیگنالهای اولیه که توسط مدار تعیین کننده فرکانس تولید می شود به وسیله مدار تقویت کننده تقویت می گردد.

۵ـ مدار فیدبک[3] یا بازخورد: فیدبک یکی از روشهای انتقال انرژی است. در نوسانسازها قسمتی از انرژی خروجی طوری به ورودی منتقل می شود که با آن همفاز باشد. در این حالت فیدبک را مثبت[4] می نامند. درصورتی که سیگنال برگشتی با سیگنال ورودی ۱۸۰ درجه اختلاف فاز داشته باشد آنرا فیدبک منفی می نامند.

نوسانهای اولیه برای نوسانسازی به وسیله مدار تعیین کننده فرکانس تولید می شود. این نوسانها توسط مدار تقویت کننده تقویت می شود و سپس از طریق مدار فیدبک به ورودی منتقل می شود. اگر فیدبک مثبت باشد نوسانها تداوم می یابد و پایدار می شود. درشکل ۲ـ۵ عوامل مورد نیاز جهت نوسانسازی به صورت بلوک دیاگرام ترسیم شده است.

شکل ۲ـ۵ـ نیازهای اولیه برای نوسانسازی

۳ـ۱ـ۵ـ اصل بارک هاوزن[5]: بنا بر اصل بارک هاوزن، زمانی یک نوسانساز به نوسان درمی آید و نوسانهای آن پایدار می شود که حاصل ضرب گین ولتاژ تقویت کننده (A_V) در B_V که ضریب تضعیف مدار فیدبک نامیده می شود برابر یک شود. معادله ۱ـ۵ رابطه بین A_V و B_V را درشرایطی که مدار دارای نوسانهای پایدار می شود، نشان می دهد.

$$A_V . B_V = 1 \qquad 5-1$$

که در آن

A_V = گین تقویت کننده

B_V = گین مدار فیدبک

است.

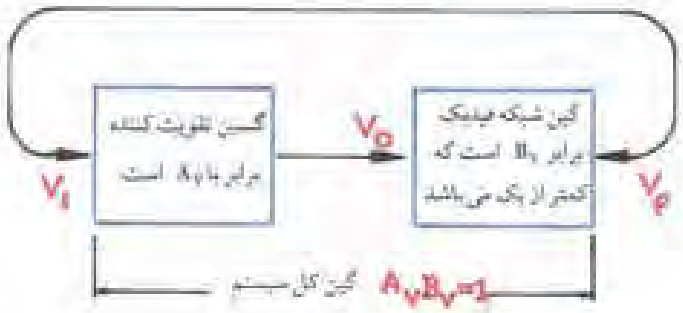
مفهوم اصل بارک هاوزن درشکل ۳ـ۵ نشان داده شده است. گین کل سیستم باید برابر با یک باشد تا نوسانهای مدار تداوم یابد. در این مدار مقدار $A_V = \frac{V_O}{V_I}$ و $B_V = \frac{V_f}{V_O}$ است، که در آن:

V_I = ولتاژ ورودی تقویت کننده

V_O = ولتاژ خروجی تقویت کننده

V_f = ولتاژ خروجی مدار فیدبک

است.



شکل ۳ـ۵ـ بررسی اصل بارک هاوزن

۱ـ FET مخفف Field Effect Transistor به معنی ترانزیستور با اثر میدانی است.

۲ـ IC مخفف Integrated Circuit است و به معنی مدار مجتمع است.

۳ـ مفهوم Feedback یعنی انتقال قسمتی از انرژی خروجی به ورودی مدار است.

۴ـ Positive Feedback

۵ـ Barkhausen Criterion نام دانشمندی است که از طریق بحث ریاضی شرایط تداوم نوسانها را ثابت کرد.

مثال ۱ـ۵ـ درصورتی که ضریب تقویت مدار تقویت کننده به کاررفته در یک نوسانساز برابر با ۱۰ باشد، مقدار گین مدار فیدبک را طوری به دست آورید که مدار دارای نوسانهای پایدار باشد.

پاسخ: بااستفاده از اصل بارک هاوزن داریم:

$$A_V \cdot B_V = 1$$

$$10 \times B_V = 1$$

$$B_V = \frac{1}{10}$$

$$B_V = 0/1$$

گین مدار فیدبک باید ۰/۱ باشد تا مدار به نوسانهای پایدار خود ادامه دهد.

۴ـ۱ـ۵ـ یک اسیلاتور چگونه به نوسان درمی‌آید؟

در شکل ۴ـ۵ سه مرحله از تولید نوسانها در نوسانساز نشان داده شده است. این سه مرحله به ترتیب عبارت‌اند از:

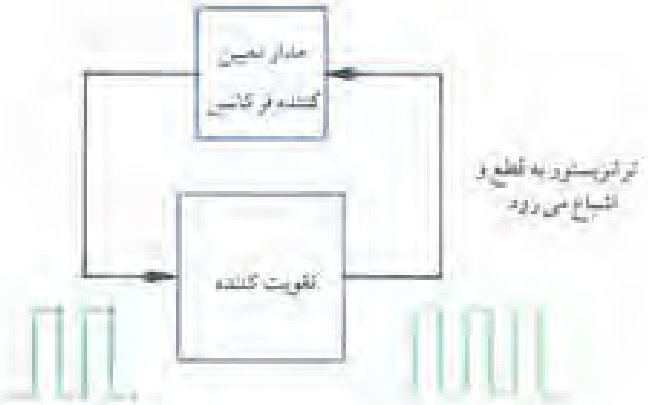
الف ـ مرحله روشن کردن دستگاه یا زدن کلید.

ب ـ مرحله تولید سیگنال اولیه

ج ـ مرحله پایدار شدن نوسانها

هنگامی که منبع انرژی به مدار متصل می‌شود، در لحظه برقراری جریان، به علت افزایش ناگهانی ولتاژ و به وجود آمدن حالت گذرا، ضربه‌ای به مدار وارد می‌شود که به منزله اعمال یک پالس به مدار تولید کننده فرکانس است. با وارد شدن پالس به مدار، هارمونیکهای مختلف موجود در پالس درمدار هماهنگی ظاهر می‌شود. هارمونیک انتخاب شده، برابر با فرکانس رزونانس مدار هماهنگی است. هارمونیک انتخاب شده از طریق مدار فیدبک به صورت همفاز به ورودی مدار نوسانساز برمی‌گردد. سیگنال برگشتی پس از تقویت، دوباره درخروجی ظاهرمی‌شود و از طریق مدار فیدبک به ورودی برمی‌گردد و سیگنال تولید شده اولیه را پایدار می‌سازد. نوسانها، زمانی تداوم می‌یابند که حاصل ضرب گین مدار تقویت کننده و گین مدار فیدبک برابر یک شود، (اصل بارک هاوزن). درصورتی که عناصر مدار به طور صحیح انتخاب شده باشد دراثر فیدبکهای پیاپی شرایطی به وجود می‌آید که گین کل سیستم به طور اتوماتیک برابر با یک می‌شود. در صورتی که چنین شرایطی پدید آید می‌توانیم سیگنال سینوسی داشته باشیم. اگر شرایط مدار طوری تنظیم شود که ترانزیستور به قطع و اشباع رود سیگنال مربعی تولید می‌شود (شکل ۵ـ ۵).

شکل ۴ـ۵ـ مراحل تولید و تداوم نوسانها در نوسانساز



شکل ۵ـ۵ـ ترانزیستور به قطع و اشباع می رود و نوسانها ادامه می یابد.

۵ـ۲ـ خودآزمایی

۵ـ۲ـ۱ـ اسیلاتور چیست؟ شرح دهید.

۵ـ۲ـ۲ـ نیازهای اولیه برای نوسانسازی را نام ببرید و شریح کنید.

۵ـ۲ـ۳ـ اصل بارک هاوزن را شرح دهید.

۵ـ۲ـ۴ـ سه مرحله از تولید نوسان را در نوسانساز شرح دهید.

۵ـ۲ـ۵ـ شرط تولید موج مربعی را در نوسانساز شرح دهید.

۵ـ۳ـ انواع نوسانسازها

در زمانهای قدیم از لامپهای خلأ به عنوان نوسانساز استفاده می کردند. امروزه استفاده از ترانزیستور، FET، تقویت کننده های عملیاتی (Opamp)، مدارهای لاجیک و سایر آی سی ها در مدارهای نوسانساز بسیار متداول است.

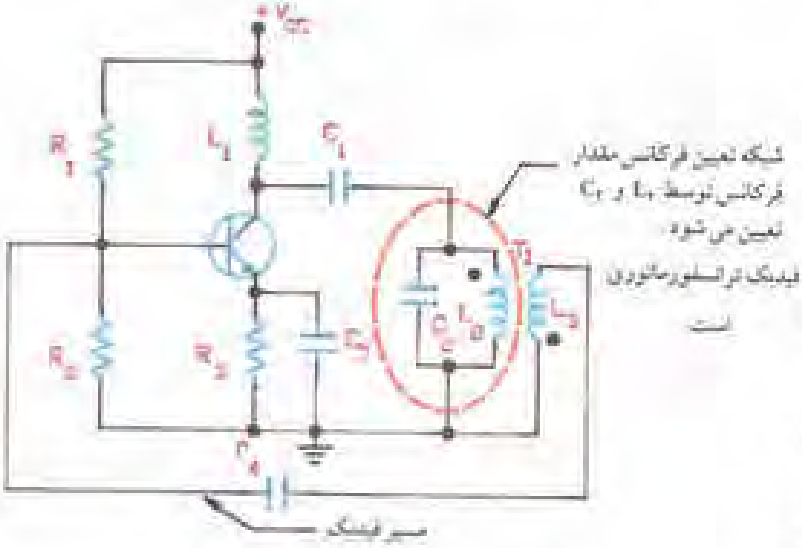
مدارهای نوسانساز را از نظر نوع مدار تعیین کننده فرکانس و نحوه انجام فیدبک، تقسیم بندی می کنند.

۵ـ۳ـ۱ـ انواع نوسانسازها از نظر مدار تعیین کننده فرکانس: نوسانسازها را از نظر نوع مدار تعیین کننده فرکانس به دو دسته RC و LC تقسیم می کنند. در مدارهای LC مدار تعیین کننده فرکانس یک مدار هماهنگی موازی LC است.

در مدارهای RC مدار تعیین کننده فرکانس یک مدار ترکیبی RC است. به علت کاربرد مدارهای نوسانساز LC در گیرنده های رادیویی در این فصل به تشریح مدارهای نوسانساز با شبکه تولید فرکانس LC می پردازیم.

۵ـ۳ـ۲ـ انواع نوسانسازهای LC از نظر شبکه فیدبک: نوسانسازها را از نقطه نظر مدار فیدبک به سه دسته به شرح زیر تقسیم می کنند:

الف ـ نوسانساز با شبکه فیدبک ترانسفورماتوری: در این مدار عمل فیدبک از طریق یک ترانسفورماتور صورت



شکل ۶ـ۵ـ مدار نوسانساز آرمسترانگ

می گیرد. این نوع مدارها را مدار آرمسترانگ[1] می نامند. در شکل ۵ـ۶ یک نمونه مدار آرمسترانگ ترسیم شده است. مدار تقویت کننده در این نوسانساز از نوع امیترمشترک است که مقاومتهای R_1 و R_2 با بایسینگ DC مدار را تأمین می کنند. مقاومت R_3 مقاومت تثبیت حرارتی است. خازن C_3 مقاومت امیتر را از نظر AC به شاسی، بای پاس می کند. خازن C_2 به منظور کوپلاژ سیگنال خروجی از بوبین L_2 به بیس ترانزیستور به کار رفته است، ضمن این که این خازن مانع اتصال کوتاه شدن DC بیس ترانزیستور از طریق L_2 به شاسی می شود. بار کلکتور ترانزیستور سیم پیچ L_1 و مجموعه مدار تانک موازی L_4 و C_4 است. سیم پیچ L_1 را سیم پیچ RFC[2] نیز می نامند.

مدار تانک L_4 و C_4 مدار تعیین کننده فرکانس است. سیم پیچ L_3 که با سیم پیچ L_4 به صورت ترانسفورماتور بسته شده است شبکه فیدبک را تشکیل می دهد. یک سر این سیم پیچ به شاسی متصل است و سر دیگر آن از طریق خازن C_2 به ورودی تقویت کننده (بیس ترانزیستور) برمی گردد. به عبارت دیگر، سیگنال دو سر این سیم پیچ به ورودی تقویت کننده اعمال می شود. از طرف دیگر، سیم پیچ L_4 و خازن C_4 بار خروجی مدار را تشکیل می دهند. بنابراین، قسمتی از سیگنال خروجی به ورودی برگشت داده می شود. در صورتی که اصل بارکهاوزن برقرار باشد نوسانهای مدار تداوم خواهد یافت. سیم پیچ فیدبک را گاهی تیکلر کویل[3] نیز می نامند. مقدار فرکانس رزونانس مدار با تقریب قابل قبول از رابطه ۵ـ۲ به دست می آید که در آن

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_4 C_4}} \qquad 5-2$$

که در آن

F_r = فرکانس نوسان اسیلاتور بر حسب هرتز

L_4 = ضریب خودالقا بر حسب هانری

C_4 = مقدار ظرفیت خازن بر حسب فاراد

۳ـ۳ـ۵ـ نحوه نوسانسازی در اسیلاتور آرمسترانگ:

با زدن کلید و اعمال ولتاژ DC منبع تغذیه به مدار، جریان در بیس ترانزیستور شروع به رشد می کند. این رشد جریان پس از تقویت، با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز روی کلکتور ظاهر می شود و از طریق خازن کوپلاژ C_2 به مدار تانک C_4L_4 می رسد. درست مانند این است که مدار تانک توسط پالس DC تحریک شده باشد. توسط مدار تانک یکی از هارمونیکهای تشکیل دهنده پالس که فرکانس آن برابر یا نزدیک فرکانس رزونانس مدار تانک است انتخاب می شود و به صورت میرا شروع به نوسان می کند. نوسانهای میرا شونده از طریق کوپلاژ ترانسفورماتوری با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه در سیم پیچ L_3 القا می شود و از طریق خازن کوپلاژ C_2 به بیس ترانزیستور می رسد. چون در مجموع ۳۶۰ درجه، اختلاف فاز، به وجود می آید. (۱۸۰ درجه در اثر مدار امیترمشترک و ۱۸۰ درجه در اثر ترانس T_1[4]) فیدبک مثبت است. در صورتی که اصل بارکهاوزن برقرار باشد نوسانهای مدار تداوم می یابد.

الف ـ نوسانسازی در اثر تقسیم ولتاژ سلفی: در صورتی که ولتاژ فیدبک از طریق تقسیم ولتاژ روی سلف صورت گیرد نوسانساز را هارتلی[5] می نامند. در شکل ۵ـ۷ یک نمونه مدار نوسانساز هارتلی ترسیم شده است.

مدار تعیین کننده فرکانس در نوسانساز هارتلی از پیچیدگی خاصی برخوردار است. شکل ۵ـ۷ سیم پیچهای

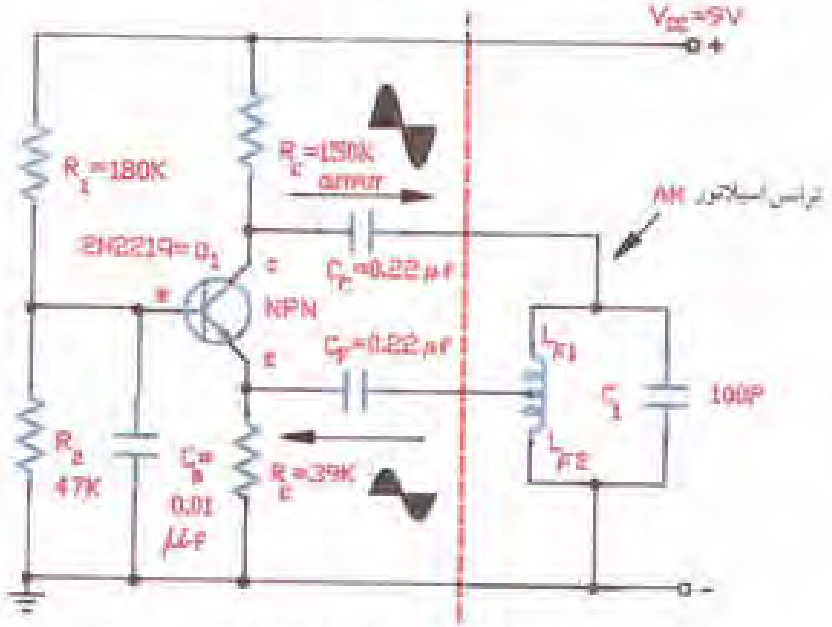
۱ـ Armstrong نام دانشمندی است که اولین بار این روش را ارائه کرد.

۲ـ RFC مخفف Radio Frequency Choke و به معنی چوک فرکانس رادیویی است.

۳ ـ Tickler Coil

۴ـ نقاط مشخص شده روی ترانسفورماتور همفاز بوده، دو نقطه را مشخص می کند.

۵ـ Hartly نام دانشمندی است که برای اولین بار این روش را ارائه کرد.



شکل ۵ـ۷ ـ مدار نوسانساز هارتلی

L_{P1} و L_{P2} دارای تأثیر متقابل روی یکدیگر هستند چراکه روی یک هسته پیچیده شده‌اند. مقدار سیم پیچ معادل، از رابطه ۵ـ۳ قابل محاسبه است.

$$Leq = L_{P1} + L_{P2} + 2L_m \qquad ۵ـ۳$$

که در آن

Leq = مقدار ضریب خودالقای معادل

L_m = ضریب القای متقابل

L_{P1} و L_{P2} = ضریب خودالقای هریک از سیم‌پیچها است

مقدار L_m از رابطه ۵ـ۴ قابل محاسبه است.

۵ـ۴

$$L_m = K\sqrt{L_{P1}L_{P2}}$$

که در آن

L_m = ضریب القاء متقابل برحسب هانری

K = ضریب کوپلاژ بین دو سیم‌پیچ است.

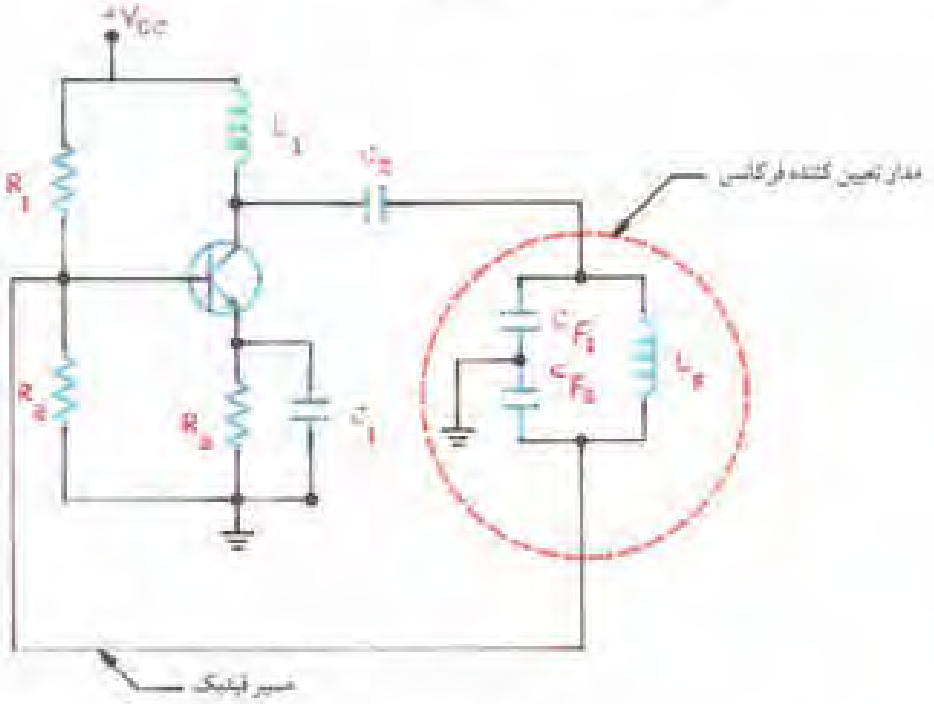
مقدار فرکانس نوسانساز از رابطه ۵ـ۵ قابل محاسبه است.

۵ـ۵

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LeqC}}$$

مدار تقویت کننده این نوسانساز به صورت بیس مشترک بسته شده است. خازنهای C_C و C_E خازنهای کوپلاژ هستند که مانع تداخل ولتاژ DC بین ورودی و خروجی می‌شوند. قسمتی از سیگنال خروجی توسط شبکه تقسیم ولتاژ L_{P1} و L_{P2} انتخاب و به ورودی اعمال می‌شود. در این مدار یک سر سیم‌پیچ L_{P2} دقیقاً به شاسی متصل شده است و سر دیگر آن به ورودی برمی‌گردد. یک سر سیم‌پیچ L_{P1} نیز با L_{P2} مشترک می‌شود و سر دیگر آن از طریق خازن کوپلاژ C_C به خروجی وصل می‌شود. بدین ترتیب قسمتی از سیگنال خروجی به ورودی فیدبک می‌شود. چون مدار به صورت بیس مشترک است از این رو، اختلاف فازی بین ورودی و خروجی به وجود نمی‌آید و دریافت سیگنال به طور مستقیم از مدار تانک موجب فیدبک مثبت می‌شود و مدار به نوسان درمی‌آید. خازن C_B پایه بیس را از نظر AC به زمین متصل می‌کند.

ب ـ نوسانساز با فیدبک از طریق تقسیم ولتاژ خازنی:
درصورتی که فیدبک مدار از طریق تقسیم ولتاژ توسط خازن صورت گیرد، مدار نوسانساز را کول پیتس[1] می نامند. در شکل ۸ـ۵ یک نمونه مدار نوسانساز کول پیتس ترسیم شده است. مدار تقویت کننده این نوسانساز ازنوع امیترمشترک است و مشابه مدار آرمسترانگ و هارتلی است. مدار تعیین ـ کننده فرکانس، مجموعه خازنهای C_{P1} ، C_{P2} وسیم پیچ L_P است. محل اتصال C_{P1} ، C_{P2} به شاسی متصل شده است تا اختلاف فاز به وجود آمده توسط مدار امیترمشترک را جبران کند. قسمتی از سیگنال خروجی که در دو سر C_{P2} قرار دارد به ورودی برگشت داده شده است و یک سرخازن C_{P2} به ورودی اتصال دارد. مقدار فرکانس نوسانساز از رابطه ۶ـ۵ قابل محاسبه است.



شکل ۸ـ۵ـ مدار نوسانساز کول پیتس

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_P C_{eq}}} \qquad 5\text{ـ}6$$

که در آن

فرکانس نوسانساز برحسب هرتز $= F_r$

مقدار اندوکتانس برحسب هانری $= L_P$

مقدار ظرفیت معادل برحسب فاراد $= C_{eq}$

مقدار C_{eq} ازرابطه ۷ـ۵ به دست می آید.

$$C_{eq} = \frac{C_{P1}C_{P2}}{C_{P1}+C_{P2}} \qquad 5\text{ـ}7$$

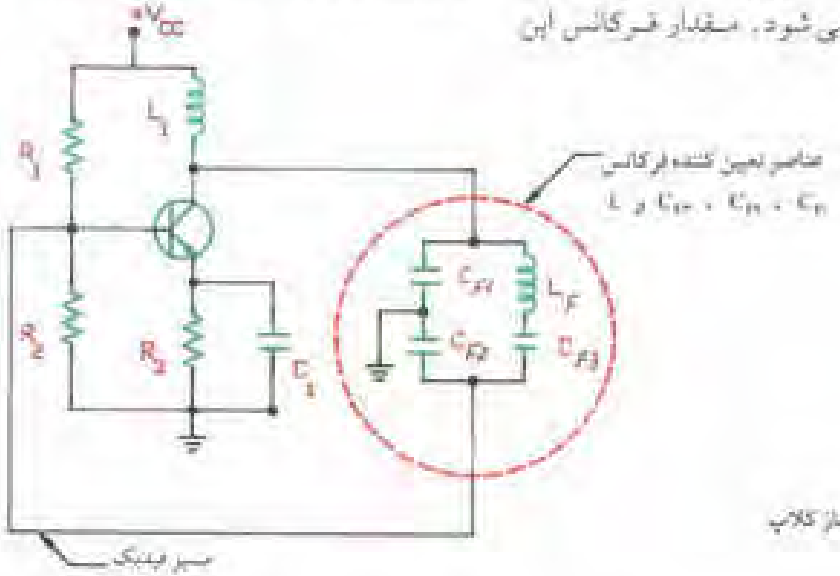
با تغییر کوچکی درنوسانساز کول پیتس، نوسانساز جدیدی به وجود می آید که آن را نوسانساز کلاپ[2] می نامند. درشکل ۹ـ۵ مدار نوسانساز کلاپ را ملاحظه می کنید. در این مدار خازن C_{P3} به صورت سری با L_P

---

۱ ـ Colpitts نام دانشمندی است که برای اولین بار این روش را ارائه کرد.

۲ ـ Clapp

قرار دارد. مقدار فرکانس رزونانس این نوسانساز تابع هرسه خازن C_{F1} ، C_{F2} و C_{F3} می‌شود. مقدار فرکانس این نوسانساز از رابطه ۸ـ۵ محاسبه می‌شود.



شکل ۹ـ۵ـ نوسانساز کلاپ

۸ـ۵ ظرفیت خازنی معادل بر حسب فاراد

$$C_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{C_{F1}} + \frac{1}{C_{F2}} + \frac{1}{C_{F3}}}$$

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_F C_{eq}}}$$

که در آن

F_r = فرکانس رزونانس بر حسب هرتز

L_F = ضریب خودالقای مدار تانک بر حسب هانری

در جدول ۱ـ۵ مشخصات انواع نوسانسازهای LC به اختصار آمده است.

جدول ۱ـ۵ـ مشخصات انواع نوسانسازهای LC

نوسانساز	مشخصه ویژه	مقدار فرکانس
آرمسترانگ Armstrong شکل ۶ـ۵	فیدبک خروجی به ورودی از طریق ترانسفورماتور صورت می‌گیرد سیم پیچ ثانویه را تیکلر کویل نیز می‌نامند	$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_C C}}$
هارتلی Hartly شکل ۷ـ۵	استفاده از تقسیم کننده ولتاژ سلفی در مدار فیدبک	$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{eq} C}}$
کول پیتس Colpitts شکل ۸ـ۵	استفاده از تقسیم کننده ولتاژ خازنی در مدار فیدبک	$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L C_{eq}}}$
کلاپ Clapp شکل ۹ـ۵	نوع اصلاح شده نوسانساز کول پیتس. اضافه شدن یک خازن به صورت سری با سیم پیچ مدار تانک	$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L C_{eq}}}$

۴ـ۵ـ خودآزمایی

۱ـ۴ـ۵ـ انواع نوسانسازها را ازنظر شبکه تعیین کننده فرکانس نام ببرید.

۲ـ۴ـ۵ـ انواع نوسانسازها را ازنظر نوع فیدبک نام ببرید.

۳ـ۴ـ۵ـ در نوسانساز آرمسترانگ مسأله اختلاف فاز ۱۸۰ درجه ناشی از تقویت کننده امیتر مشترک را چگونه جبران می کنند؟

۴ـ۴ـ۵ـ تفاوت نوسانساز هارتلی را با آرمسترانگ شرح دهید.

۵ـ۴ـ۵ـ تفاوت نوسانساز کلاپ با کول پیتس در چیست؟ شرح دهید.

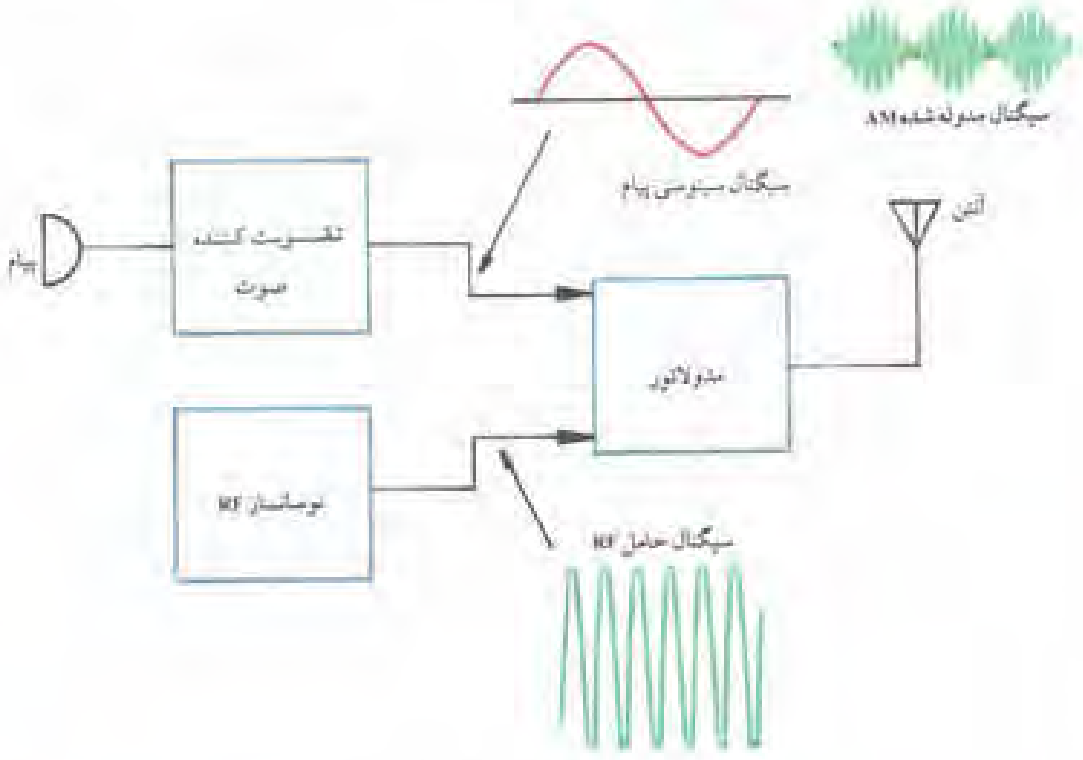
۶ـ۴ـ۵ـ اختلاف فاز ناشی ازتقویت کننده امیتر مشترک در نوسانسازهای هارتلی و کول پیتس چگونه جبران می شود؟ شرح دهید.

۷ـ۴ـ۵ـ مدار شکل ۵ـ۷ را به طور کامل مورد تجزیه و تحلیل قرار دهید.

۸ـ۴ـ۵ـ فرکانسهای نوسانسازهای هارتلی، آرمسترانگ، کول پیتس و کلاپ براساس چه روابطی تعیین می شوند؟

۵ـ۵ـ مدولاتورها

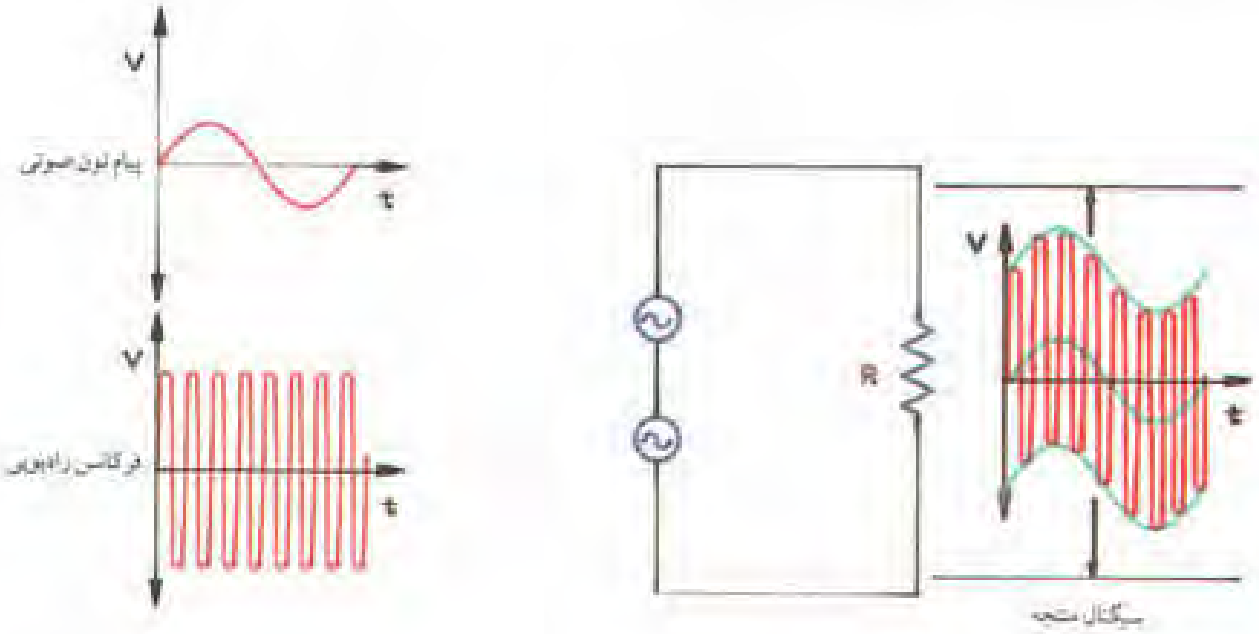
مدولاتورها، مدارهایی هستند که درآنها سیگنال پیام روی سیگنال حامل سوار می شود. متناسب با نوع مدولاسیون، مدار مدولاتور تغییر می کند. مثلاً مدار مدولاتور AM با مدولاتور FM کاملاً متفاوت است. در این قسمت به شرح چند نمونه مدار مدولاتور AM می پردازیم. در شکل ۱۰ـ۵ بلوک دیاگرام یک مدولاتور AM رسم شده است. با توجه به بلوک دیاگرام سیگنال حامل و سیگنال پیام وارد مدار مدولاتور می شود و در خروجی مدولاتور سیگنال مدوله شده ظاهر می شود.



شکل ۱۰ـ۵ـ بلوک دیاگرام مدولاتور AM

۱ـ۵ـ۵ـ جمع دو سیگنال حامل و پیام: اگر دو سیگنال حامل و پیام را با استفاده از یک مدار ساده جمع کنیم، سیگنال خروجی مشابه شکل ۱۱ـ۵ خواهد شد. درواقع، سیگنال خروجی از جمع لحظه ای مقادیر ولتاژ سیگنال پیام و سیگنال حامل به دست می آید. دراین مدار سیگنال پیام یک سیگنال سینوسی با فرکانس کم و سیگنال حامل یک سیگنال سینوسی با فرکانس زیاد است.

سیگنال مُنتَجه، در واقع، ترکیبی از دو سیگنال سینوسی حامل و پیام است. به عبارت دیگر، سیگنال پیام سوار سیگنال حامل شده است ولی شکل موج به دست آمده با شکل موج مدوله شده استاندارد تفاوت دارد.

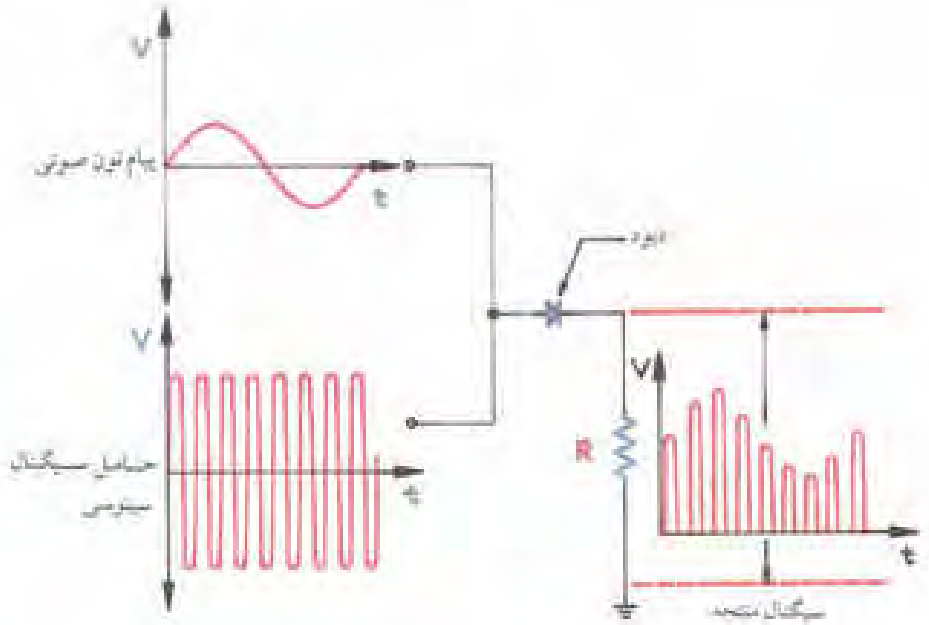


شکل ۱۱ـ۵ـ شکل موج حاصل از مجموع دو سیگنال حامل و پیام

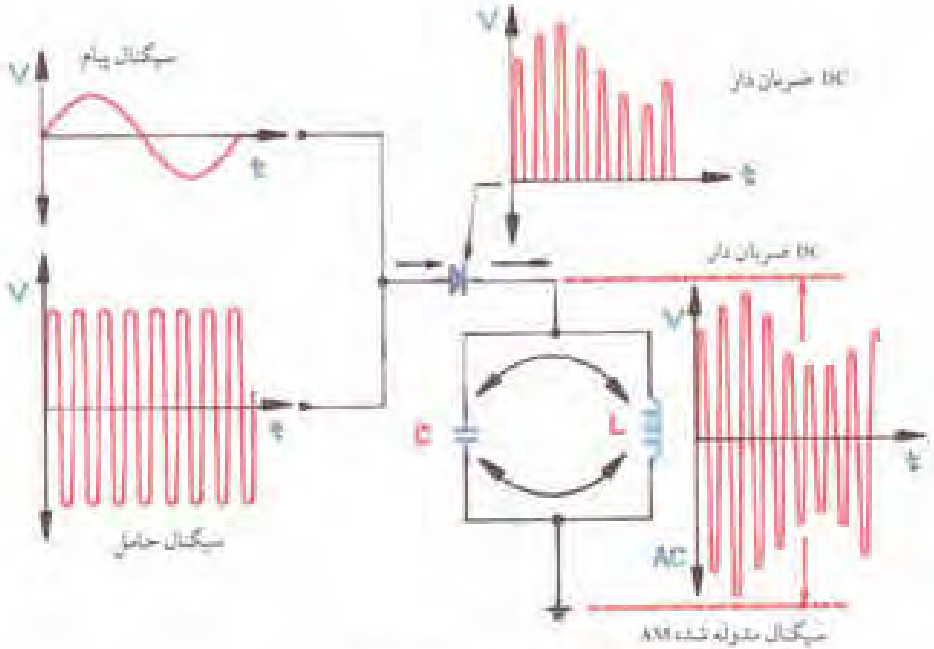
۲ـ۵ـ۵ـ مدولاتور دیودی: حال ببینیم چگونه می توانیم شکل موج به دست آمده را تبدیل به شکل موج مدوله شده AM کنیم. در صورتی که بتوانیم در این موج اعوجاجی پدید آوریم و آن را به یک مدار هماهنگی بدهیم، با توجه به ظاهر شدن هارمونیک در سیگنال به دست آمده، در خروجی مدار تانک سیگنال AM خواهیم داشت. ضمناً اعوجاج باید طوری باشد که به سیگنال پیام آسیبی وارد نکند.

ساده ترین روش ایجاد اعوجاج با توجه به شرایط موجود استفاده از یک دیود است. در شکل ۱۲ـ۵ شکل موج خروجی دیود را که یکسو شده سیگنال خروجی مدار شکل ۱۱ـ۵ است مشاهده می کنید. اعوجاج به وجود آمده توسط دیود طوری است که سیگنال خروجی را کاملاً از ورودی متمایز می سازد و شکل موج جدیدی به ما می دهد.

در صورتی که سیگنال خروجی دیود را به یک مدار هماهنگی اعمال کنیم به علت وجود هارمونیک، سیگنال مدوله شده AM طبق شکل ۱۳ـ۵ به دست می آید. در شکل ۱۳ـ۵ کلیه مراحل انجام مدولاسیون AM درمدولاتور ترسیم شده است. چون دیود، یک المان غیر خطی است از این رو سیگنال خروجی دقیقاً از ورودی تبعیت نمی کند



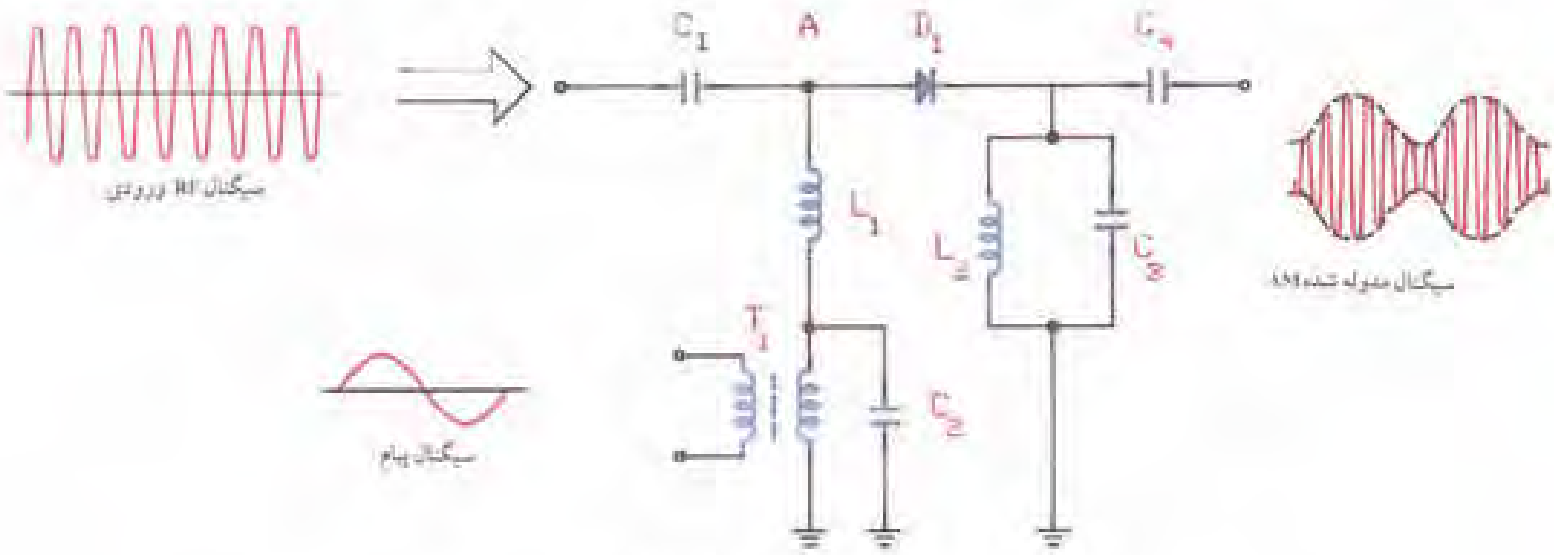
شکل ۱۲ـ۵ـ ایجاد افتراق در شکل موج مجموع حامل و پیام



شکل ۱۲ـ۵ـ مدار مدولاتور دیودی

و سیگنال حاصل جمع پیام و حامل به یک سیگنال DC ضرباندار تبدیل می‌شود. درنهایت با اعمال سیگنال خروجی به مدار همانگی سیگنال مدوله شده AM به وجود می‌آید.

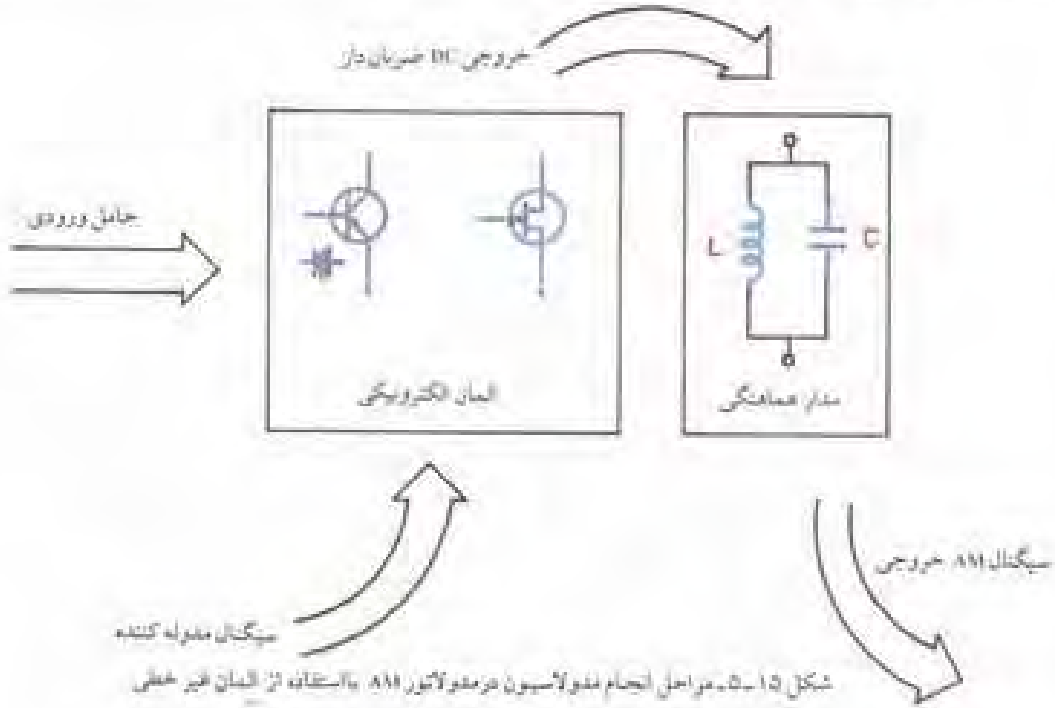
در شکل ۱۲ـ۵ یک نمونه مدار عملی مدولاتور دیودی رسم شده است. در این مدار خازن C_1 سیگنال حامل را به آند دیود اعمال می‌کند. ترانسفورماتور T_1 سیگنال صوتی را به ورودی دیود می‌رساند. نسبت تبدیل



شکل ۱۴ـ۵ـ مدار عملی مدولاتور دیودی

طوری انتخاب شده است که تطبیق امپدانس لازم بین منبع سیگنال مدوله کننده و ورودی مدولاتور صورت می گیرد. خازن C_3 طوری انتخاب می شود که فقط سیگنال حامل را بای پاس کند. سیم پیچ L_1 یک RFC است که مانع ورود سیگنال حامل به منبع پیام می شود. بدین ترتیب مجموع سیگنال پیام و حامل در ورودی مدار (نقطه A یا آند دیود) ظاهر می شود. خروجی دیود یک سیگنال DC ضرباندار است که فرکانس ضربان آن برابر با سیگنال حامل و تغییرات دامنه آن متناسب با تغییرات پیام است.

سیگنال خروجی دیود به مدار هماهنگی L_2C_2 اعمال می شود. فرکانس رزونانس این مدار برابر با فرکانس حامل است. بنابراین با توجه به ضرباندار بودن سیگنال خروجی دیود و وجود هارمونیک در آن، مدار تانک روی فرکانس رزونانس به نوسان درمی آید و سیگنال مدوله شده AM در خروجی ظاهر می شود. به جای دیود می توان از ترانزیستور نیز استفاده کرد. در این حالت از دیود بیس امیتر ترانزیستور به عنوان المان غیر خطی استفاده می شود. در شکل ۱۵ـ۵ مراحل انجام مدولاسیون در یک مدولاتور با استفاده از المان غیر خطی به صورت بلوک دیاگرام آمده است.



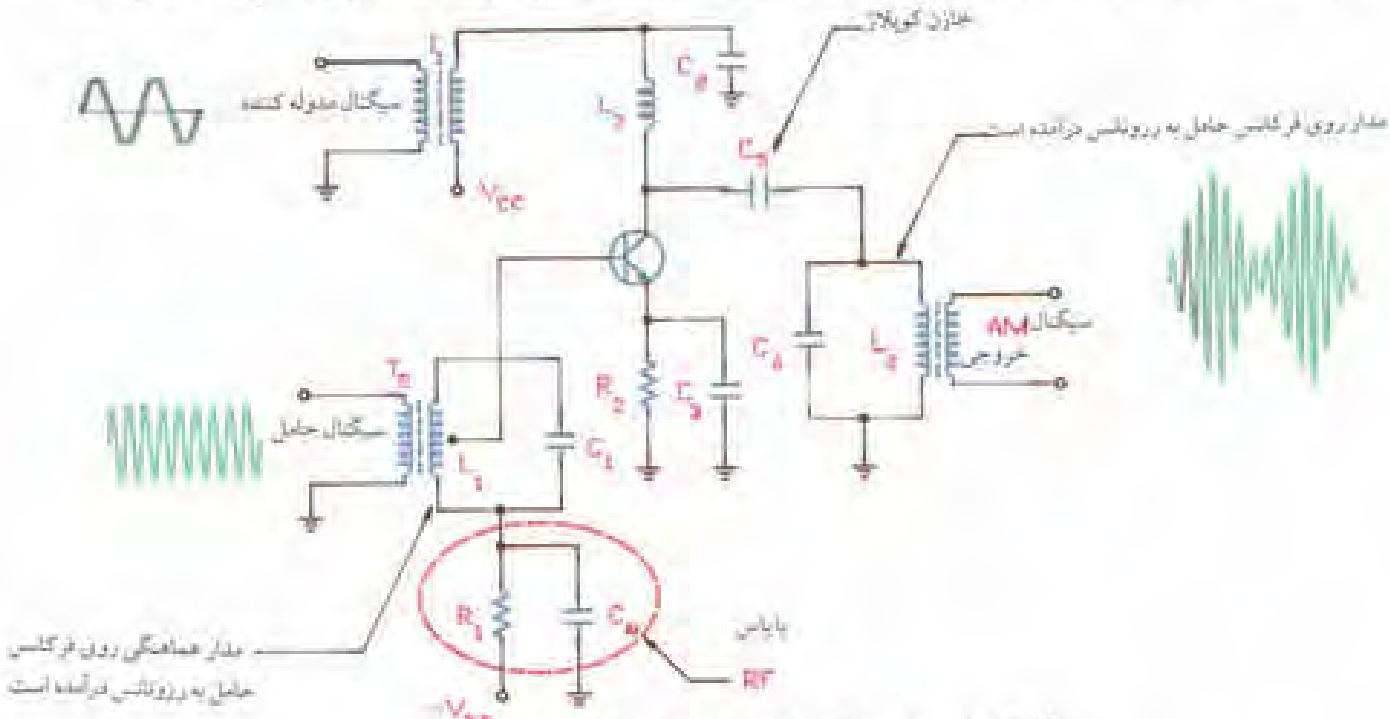
شکل ۱۵ـ۵ـ مراحل انجام مدولاسیون در مدولاتور AM با استفاده از المان غیر خطی

در این بلوک دیاگرام سیگنال حامل ورودی و سیگنال مدوله کننده به المان غیر خطی که یک قطعه الکترونیکی است داده می‌شود و سیگنال خروجی آن که DC ضرباندار است به مدار هماهنگی LC داده می‌شود. خروجی مدار LC سیگنال مدوله شده AM خواهد بود.

۳ـ۵ـ۵ـ مدولاتورهای ترانزیستوری: مدارهای مدولاتور ترانزیستوری را بر اساس نحوه اعمال سیگنال مدوله کننده به ترانزیستور تقسیم‌بندی می‌کنند. به طور کلی سه نوع مدولاتور به شرح زیر شکل می‌گیرد:

الف ـ مدولاسیون کلکتور: در این مدار سیگنال مدوله کننده به کلکتور ترانزیستور اعمال می‌شود. شکل ۱۶ـ۵ یک نمونه مدار مدولاتور با مدولاسیون کلکتور را نشان می‌دهد.

در این مدار ترانزیستور در کلاس C بای پاس شده است تا اعوجاج مورد نیاز در مدار پدید آید. سیگنال RF از طریق ترانسفورماتور T_2 به بیس ترانزیستور اعمال می‌شود.



شکل ۱۶ـ۵ـ مدار مدولاتور ترانزیستوری با مدولاسیون روی کلکتور

بیس ترانزیستور به ولتاژ V_{BB} ـ اتصال دارد و امیتر در بایاس مخالف و ترانزیستور در کلاس C قرار دارد. با توجه به اعوجاج به وجود آمده در اثر بایاسینگ کلاس C، سیگنال RF به صورت DC ضرباندار روی کلکتور ظاهر می‌شود. سیگنال مدوله کننده که همان پیام است از طریق ترانس T_1 با سیگنال DC ضرباندار حامل جمع می‌شود و از طریق C_5 به مدار تانک L_3C_4 می‌رسد. به علت وجود هارمونیک، مدار تانک روی فرکانس رزونانس خود که همان سیگنال حامل است به نوسان درمی‌آید و سیگنال AM در خروجی ظاهر می‌شود. خازن C_4 باید به اندازه کافی بزرگ باشد که سیگنال حامل را اتصال کوتاه کند و به اندازه کافی کوچک باشد تا در مقابل سیگنال پیام به صورت اتصال باز عمل کند. خازنهای C_4 و C_5 خازنهای بای پاس هستند. مدار مدولاتور ترانزیستوری با مدولاسیون روی کلکتور از راندمان بالایی برخوردار است ولی برای رسیدن به مدولاسیون صددرصد، نیاز به اعمال سیگنال پیام با دامنه قوی، به مدار می‌باشد.

ب ـ مدولاسیون امیتر: در مدولاسیون امیتر، سیگنال

پیام به امیتر اعمال می‌شود. با حذف خازن C_E و اعمال سیگنال پیام به امیتر ترانزیستور در شکل ۱۶ـ۵، مدار مدولاتور با مدولاسیون روی امیتر شکل می‌گیرد. در مدولاسیون امیتر مدار تقویت کننده باید در کلاس A بایاس شود تا عمل مدولاسیون صورت گیرد. مدولاسیون امیتر از راندمان کمتری برخوردار است ولی برای رسیدن به مدولاسیون صد درصد، نیاز به ولتاژ پیام کمتری دارد.

ج ـ **مدولاسیون روی بیس**: در صورتی که سیگنال پیام به بیس ترانزیستور اعمال شود، مدار به صورت مدولاتور با مدولاسیون روی بیس درمی‌آید.

درمدارهای فرستنده، به علت بالا بودن راندمان مدولاتور روی کلکتور، از این مدار بیشتر استفاده می‌شود. انواع مدولاتورهای دیگری از قبیل مدولاتور سری، مدولاتور با آی‌سی و ... وجود دارد که به علت عدم ارتباط مستقیم آنها با موضوع درس از پرداختن به آنها خودداری کرده‌ایم.

۶ـ۵ـ خودآزمایی

۵ـ۶ـ۱ـ به چه دلیل مجموع سیگنال حامل و پیام سیگنال مدوله شده AM نیست؟

۵ـ۶ـ۲ـ چرا برای به دست آوردن سیگنال AM باید از یک المان غیرخطی استفاده کرد؟

۵ـ۶ـ۳ـ مدار مدولاتور دیودی را رسم کنید و طرز کار آن را شرح دهید.

۵ـ۶ـ۴ـ مزایای مدولاسیون روی کلکتور را شرح دهید.

۵ـ۶ـ۵ـ مداری رسم کنید که توسط آن بتوان مدولاسیون روی امیتر را انجام داد.

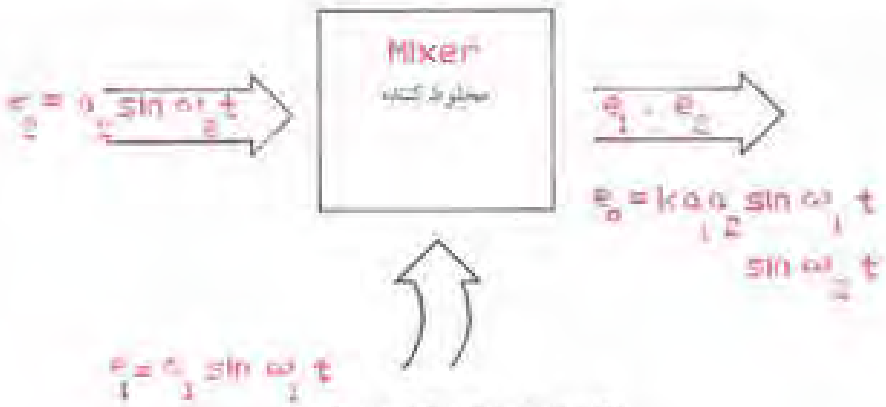
۵ـ۶ـ۶ـ مداری رسم کنید که توسط آن بتوان مدولاسیون روی بیس را انجام داد.

۵ـ۶ـ۷ـ تفاوت مدولاتور دیودی را با ترانزیستوری شرح دهید.

۵ـ۶ـ۸ـ مدولاتورهای روی کلکتور، روی بیس و روی امیتر را از نظر اعمال سیگنال مقایسه کنید.

۷ـ۵ـ میکسرها (Mixers)

میکسرها یا مخلوط کننده‌ها مدارهایی هستند که دو فرکانس را در یکدیگر ضرب می‌کنند. در شکل ۱۷ـ۵

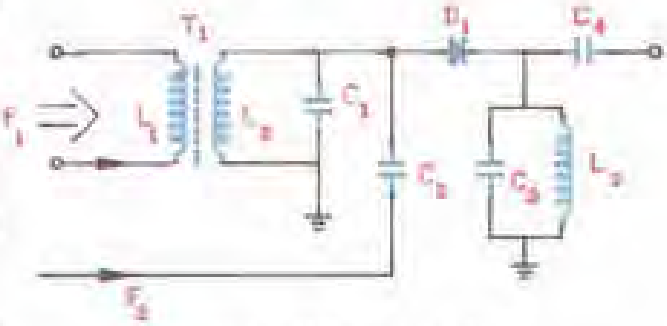


شکل ۱۷ـ۵ـ بلوک دیاگرام مدار میکسر

بلوک دیاگرام یک میکسر داده شده است. ورودی مدار میکسر دو سیگنال سینوسی e_1 و e_2 با فرکانسهای متفاوت است. از خروجی میکسر حاصل ضرب این دو سیگنال به دست می‌آید. از بسط حاصل ضرب دو سیگنال سینوسی سیگنالهای حاصل جمع و حاصل تفاضل به دست خواهد آمد. یعنی در خروجی مدار $\omega_1 + \omega_2$ و $\omega_1 - \omega_2$ را

خواهیم داشت. ضرب دو سیگنال در گیرنده های رادیویی به منظور کاهش فرکانس سیگنال حامل استفاده می شود. این عمل را هترودین[1] نیز می نامند.

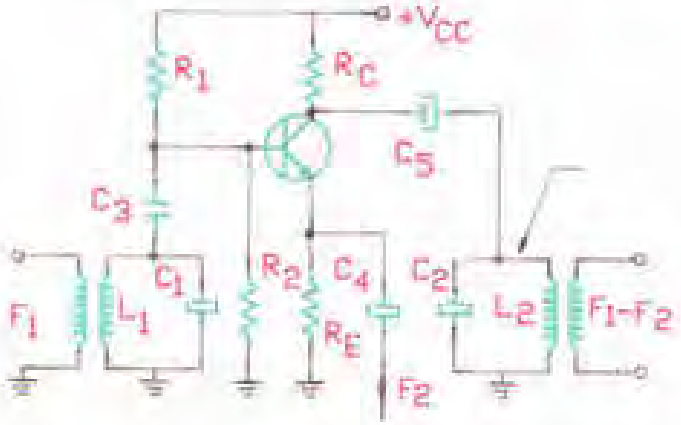
۱ـ۷ـ۵ـ مدار میکسر دیودی: در شکل ۱۸ـ۵ یک نمونه مدار میکسر دیودی ترسیم شده است. در این مدار، سیگنال RF با فرکانس F_1 به سیم پیچ اولیه ترانس T_1 داده



شکل ۱۸ـ۵ـ مدار میکسر دیودی

می شود. سیم پیچ ثانویه این ترانس و خازن C_1 تشکیل مدار هماهنگی با فرکانس رزونانس F_1 را می دهند. سیگنال RF با فرکانس F_2 از طریق خازن C_4 به آند دیود میکسر D_1 می رسد. مجموعه سیگنالهای RF (با فرکانسهای F_1 و F_2) در دیود D_1 مخلوط می شود و فرکانسهای F_1، F_2 و $F_1 + F_2$ و $F_1 - F_2$ را تولید می کنند. مدار تانک L_2C_2 روی فرکانس $F_1 - F_2$ به رزونانس درمی آید و به صورت فیلتر میان گذر عمل می کند و سایر فرکانسها را حذف می کند. مقاومتهای R_1 و R_2 پایاس بیس را تأمین می کنند. مقاومت R_C مقاومت بار کلکتور و مقاومت R_E مقاومت تثبیت حرارتی و مقاومت بار امیتر است. خازن C_3 خازن C_4 و C_5 خازنهای کوپلاژ هستند.

۲ـ۷ـ۵ـ مدار میکسر ترانزیستوری: در شکل ۱۹ـ۵ یک نمونه مدار میکسر ترانزیستوری ترسیم شده است. در این مدار سیگنال RF با فرکانس F_1 از طریق ترانس T_1 و مدار تانک L_1C_1 به بیس ترانزیستور و سیگنال RF با فرکانس F_2 به امیتر ترانزیستور اعمال می شود. عمل مخلوط کنندگی در دیود بیس امیتر انجام می شود. سیگنال حاصل پس از تقویت در کلکتور ترانزیستور ظاهر می شود. این سیگنال حاوی فرکانسهای F_1، F_2، $F_1 + F_2$ و $F_1 - F_2$ است. مدار تانک L_2C_2 روی فرکانس $F_1 - F_2$ به رزونانس درمی آید و به صورت فیلتر میان گذر عمل می کند و سایر فرکانسها را حذف می کند. مقاومتهای R_1 و R_2 پایاس بیس را تأمین می کنند. مقاومت R_C مقاومت بار کلکتور و مقاومت R_E مقاومت تثبیت حرارتی و مقاومت بار امیتر است. خازن C_3 خازن C_4 و C_5 خازنهای کوپلاژ هستند.



شکل ۱۹ـ۵

---

۱ ـ Heterodyne به معنی مخلوط کردن دو سیگنال است.

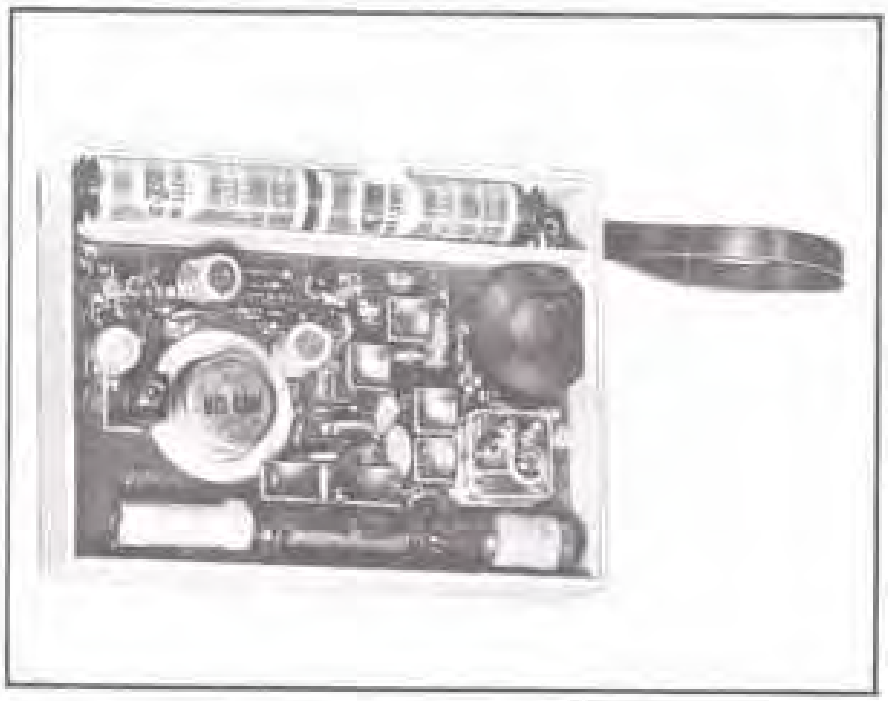
۸ـ۵ـ خودآزمایی

۱ـ۸ـ۵ـ میکسر را تعریف کنید.

۲ـ۸ـ۵ـ ساده‌ترین مدار مخلوط کننده دیودی را رسم کنید و سیگنالهای ورودی و خروجی آن را مشخص کنید.

۳ـ۸ـ۵ـ تفاوت مخلوط کننده دیودی را با مخلوط کننده ترانزیستوری شرح دهید.

۴ـ۸ـ۵ـ یک نمونه کاربرد مدار مخلوط کننده را بنویسید.



فصل ششم

فرستنده ها و گیرنده های رادیویی

هدفهای رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می رود که:

- طبقات اساسی فرستنده رادیویی را نام ببرد.
- منظور از مدولاسیون سطح بالا و مدولاسیون سطح پایین را بیان کند.
- بلوک دیاگرام فرستنده با مدولاسیون قوی را رسم کند و کار هر بلوک را شرح دهد.
- بلوک دیاگرام فرستنده با مدولاسیون ضعیف را رسم کند و کار هر بلوک را شرح دهد.
- بلوک دیاگرام کلی فرستنده رادیویی را رسم کند و کار هر بلوک را شرح دهد.
- مشخصات ویژه گیرنده رادیویی را شرح دهد (سلکتیویته ـ فیدلیته ـ پایداری و ...).
- بلوک دیاگرام گیرنده رادیویی TRF را با رسم شکل شرح دهد.
- معایب گیرنده رادیویی TRF را بیان کند.
- مدار هماهنگ انتخاب کننده ایستگاه را با رسم شکل شرح دهد.
- علت استفاده از چند مدار هماهنگ در گیرنده رادیویی TRF را شرح دهد.
- بلوک دیاگرام گیرنده رادیویی سوپرهترودین را با رسم شکل شرح دهد.
- مفهوم سوپرهترودین را بیان کند.
- فرق گیرنده سوپرهترودین و گیرنده TRF را بیان کند.
- فرکانس سایه یا فرکانس تصویر را شرح دهد.
- برای ایستگاهی با فرکانس معین، فرکانس تصویر را محاسبه کند.
- شکل موج قسمتهای مختلف گیرنده سوپرهترودین را رسم کند.
- بلوک دیاگرام انواع گیرنده های سوپرهترودین را از نظر تعداد ترانزیستور و نوع کوپلاژ شرح دهد. (برای مطالعه)

رادیویی مستقیم و سوپرهترودین می پردازیم.

پیشگفتار

قبل از تشریح مدارات هر سیستم الکترونیکی لازم است بلوک دیاگرام طبقات تشکیل دهنده سیستم مورد بررسی قرار گیرد. در این فصل به تجزیه و تحلیل بلوک دیاگرام فرستنده های رادیویی با مدولاسیون ضعیف و قوی و بلوک دیاگرام گیرنده های

۶ـ۱ ـ فرستنده رادیویی

هر فرستنده رادیویی از دو قسمت RF و AF تشکیل شده است. صدا، موسیقی یا هر پیامی که در محدوده فرکانسی ۲۰HZ تا ۲۰KHZ قرار دارد سیگنال صوتی یا AF نامیده می شود.

قلب هر فرستنده رادیویی مدار اسیلاتور آن است. اسیلاتور یک سولف سیگنال با فرکانس بالاست که آن را سیگنال RF، حامل یا کاریر نیز می گویند.

در فرستنده های رادیویی ابتدا سیگنالهای AF و RF را تقویت می کنند. این سیگنالها پس از تقویت به مدولاتور اعمال می شوند. سیگنال خروجی مدولاتور مجدداً تقویت شده و برای انتشار به هدار آنتن می رود. عمل مدولاسیون ممکن است در طبقه انتهایی فرستنده یا طبقه ماقبل آن صورت گیرد. به همین دلیل، با توجه به محل انجام مدولاسیون دو نوع فرستنده امواج رادیویی به شرح زیر وجود دارد:

الف ـ فرستنده رادیویی با مدولاسیون قدرت زیاد یا سطح بالا[1]

ب ـ فرستنده رادیویی با مدولاسیون قدرت کم یا سطح پایین[2]

۱ـ۱ـ۴ـ فرستنده AM با مدولاسیون قدرت زیاد یا سطح بالا: در شکل ۱ـ۶ بلوک دیاگرام یک فرستنده رادیویی با مدولاسیون قدرت زیاد رسم شده است. همان طور که در شکل مشاهده می شود طبقات AF با خط چین نشان داده شده است. چون عمل مدولاسیون در طبقهٔ آخر (تقویت کننده قدرت RF) صورت می گیرد، این سیستم را فرستنده رادیویی با مدولاسیون قوی یا قدرت زیاد می نامند. در این فرستنده به علت انجام مدولاسیون در طبقهٔ انتهایی، راندمان فرستنده زیاد است. در طبقات رادیویی طبقه بافر به منظور تطبیق امپدانس خروجی اسیلاتور با طبقه چند برابر کننده فرکانس به کار رفته است. به طبقه بافر جداکننده یا ایزوله کننده نیز می گویند. به منظور افزایش فرکانس کاریر از چند برابر کننده فرکانس استفاده می شود. سیگنال رادیویی خروجی مدار چند برابر کننده فرکانس بعد از تقویت شدن در طبقات تقویت کننده ولتاژ و تقویت کننده دراپور به مدار تقویت کننده قدرت (مدولاتور) اعمال می شود.

در جدول ۱ـ۴ خلاصه ای از کار هریک از طبقات فرستندهٔ با مدولاسیون قدرت زیاد همراه با ورودیها و خروجیهای آنها آمده است.

شکل ۱ـ۴ـ فرستنده AM با مدولاسیون قدرت زیاد یا سطح بالا

---

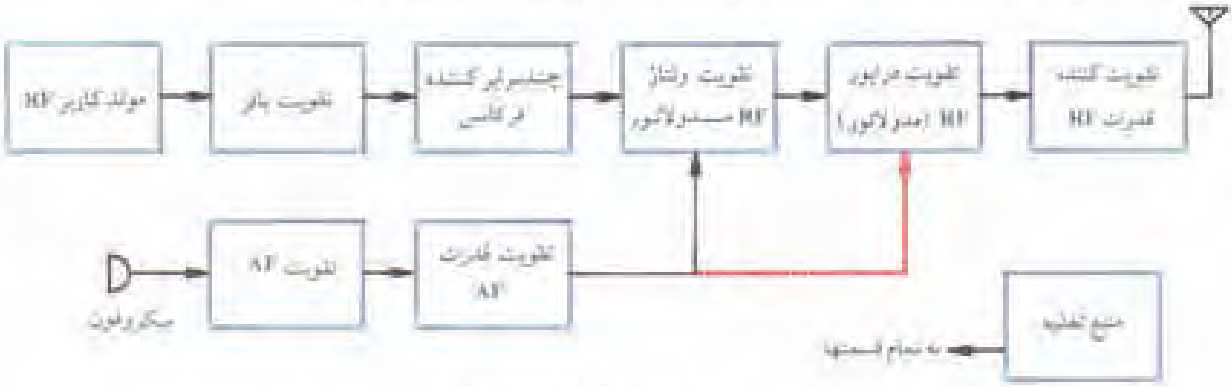
۱ ـ High Level Modulation

۲ ـ Low Level Modulation

جدول ۱ـ۶ـ مشخصات فرستنده با مدولاسیون قدرت زیاد

نام طبقه یا بلوک	وظیفه بلوک	سیگنال ورودی هر بلوک	سیگنال خروجی هر بلوک
مولد کاریر RF	تولید سیگنال سینوسی با فرکانس بالا	ولتاژ DC	سیگنال سینوسی رادیویی
تقویت کننده بافر	ایزوله کردن اسیلاتور از دو برابر کننده فرکانس	سیگنال سینوسی رادیویی	سیگنال سینوسی رادیویی
چند برابر کننده فرکانس	افزایش فرکانس اسیلاتور	سیگنال سینوسی رادیویی	سیگنال سینوسی رادیویی
تقویت کننده AF	تقویت سیگنال میکروفون	سیگنال صوتی	سیگنال صوتی
تقویت کننده درایور AF	افزایش دامنه AF	سیگنال صوتی	سیگنال صوتی
تقویت کننده قدرت AF	تقویت دامنه AF	سیگنال صوتی	سیگنال صوتی
تقویت ولتاژ RF	تقویت دامنه RF	سیگنال رادیویی	سیگنال رادیویی
تقویت کننده درایور RF	تقویت دامنه RF	سیگنال رادیویی	سیگنال رادیویی
تقویت کننده قدرت RF و مدولاتور	مدولاسیون و تقویت قدرت RF	سیگنالهای AF و RF	سیگنال مدوله شده RF
آنتن	انتشار امواج رادیویی	سیگنال رادیویی	امواج الکترومغناطیسی
میکروفون	تولید سیگنال صوتی	ارتعاشات مکانیکی صوت	سیگنال صوتی
منبع تغذیه	تأمین تغذیه تمام قسمتها	۲۲۰ ولت برق شهر	ولتاژ DC

۶ـ۱ـ۲ـ فرستنده AM با مدولاسیون قدرت کم با سطح پایین : در این روش عمل مدولاسیون در طبقهٔ تقویت کننده درایور RF یا طبقهٔ تقویت ولتاژ RF انجام می گیرد. (شکل ۲ـ۶)

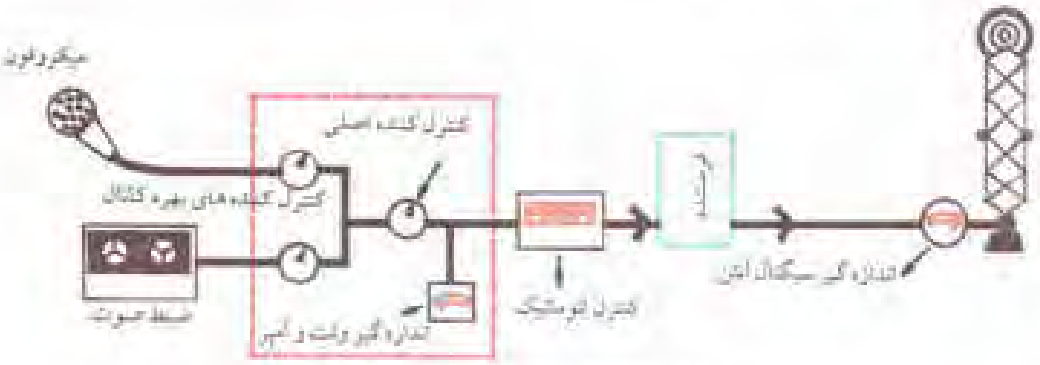


شکل ۲ـ۶ـ فرستنده AM با مدولاسیون قدرت کم

این روش نسبت به مدولاسیون سطح بالا، اقتصادیتر است؛ ولی از راندمان کمتری برخوردار است.

۳ـ۱ـ۶ـ بلوک دیاگرام کلی فرستنده: در شکل ۳ـ۶ بلوک دیاگرام کلی یک فرستنده رادیویی آمده است. سیگنال صوتی ممکن است از میکروفون یا دستگاه ضبط صوت گرفته شود. این سیگنال، پس از عبور از کنترل‌کننده‌ها به فرستنده اعمال می‌شود. در فرستنده، سیگنال صوتی پس از تقویت روی کاریر مدوله می‌شود و سیگنال رادیویی مدوله شده را تولید می‌کند.

سیگنال رادیویی پس از کنترل توسط دستگاههای اندازه‌گیری حساس، به آنتن می‌رسد.



شکل ۳ـ۶ـ بلوک دیاگرام کلی فرستنده

۲ـ۶ـ خودآزمایی

۱ـ۲ـ۶ـ مزایا و معایب مدولاسیونهای قدرت زیاد و قدرت کم را بنویسید.

۲ـ۲ـ۶ـ وظیفه مدار چند برابر کننده فرکانس در فرستنده چیست؟ شرح دهید.

۳ـ۲ـ۶ـ وظیفه تقویت‌کننده بافر در فرستنده چیست؟ شرح دهید.

۴ـ۲ـ۶ـ سیگنالهای ورودی و خروجی میکروفون کدام‌اند؟

۵ـ۲ـ۶ـ در بلوک دیاگرام کلی فرستنده (شکل ۳ـ۶) کار بلوک فرستنده چیست؟ شرح دهید.

۳ـ۶ـ مشخصات ویژه گیرنده‌های رادیویی

یک گیرنده رادیویی باید دارای مشخصات زیر باشد:

الف ـ حساسیت[1] یا سنسیتیویته

ب ـ قابلیت انتخاب[2] یا سلکتیویته

ج ـ وفاداری[3] یا فیدلیته

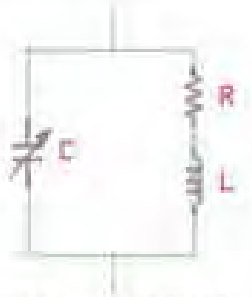
د ـ پایداری[4] یا استابیلیته

۱ـ۳ـ۶ـ حساسیت: توانایی یک گیرنده رادیویی برای دریافت امواج ضعیف را حساسیت می‌گویند. تقویت کننده RF یک گیرنده رادیویی باید دارای حساسیت خوبی باشد. حساسیت زیاد گیرنده رادیویی ممکن است باعث به وجود آمدن صدای خش‌خش شود. در تقویت کننده‌های RF برای افزایش حساسیت معمولاً نسبت سیگنال به نویز را افزایش می‌دهند.

۲ـ۳ـ۶ـ قابلیت انتخاب ایستگاه: توانایی یک گیرنده رادیویی جهت انتخاب سیگنال مورد نظر از میان سایر سیگنالهای ناخواسته به سلکتیویته یا قابلیت انتخاب ایستگاه معروف است. در گیرنده‌های رادیویی از مدارهای هماهنگی LC موازی برای انتخاب ایستگاه رادیویی استفاده

۱ـ Sensitivity ۲ـ Selectivity ۳ـ Fidility ۴ـ Stability

می‌شود. در شکل ۶ـ۴ یک مدار رزونانس RLC رسم شده است. دراین مدار مقاومت اُهمی بوبین برابر با R درنظر گرفته شده است. با تغییر مقدار ظرفیت خازن C می‌توان مدار هماهنگی را برای فرکانسهای متفاوت تشدید کرد. خازن متغیر را خازن واریابل نیز می‌نامند.

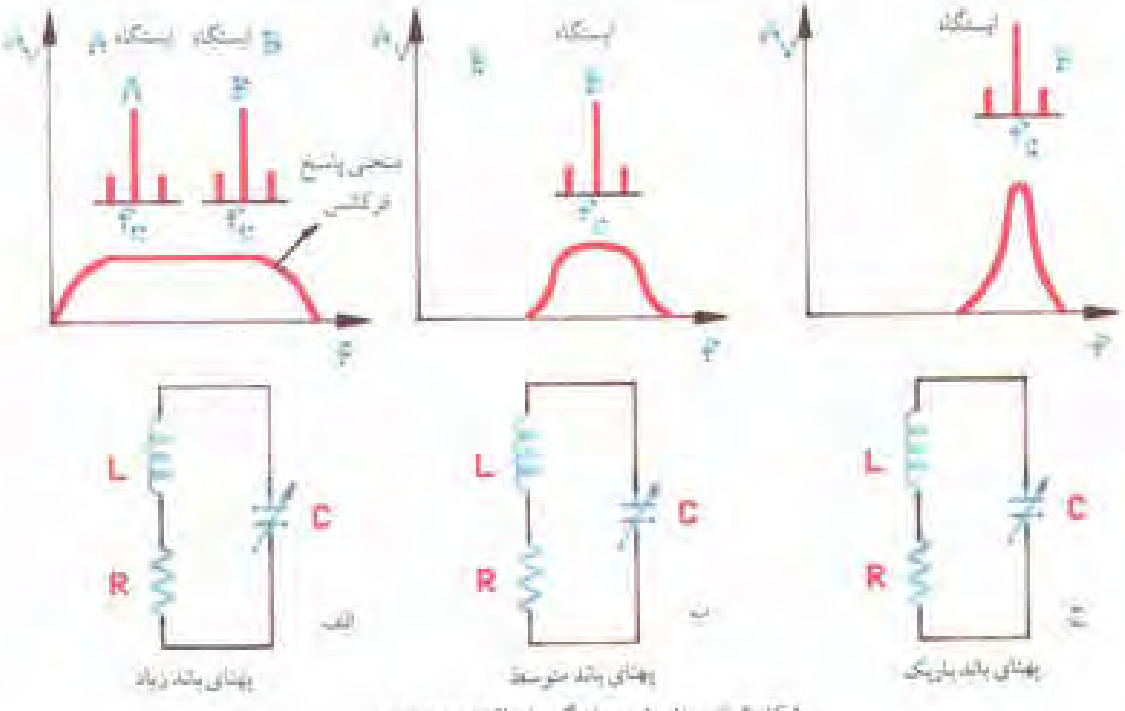


شکل ۶ـ۴ـ مدار هماهنگ موازی

همانطور که در فصل چهارم بیان شده، پهنای باند مدار هماهنگ موازی از رابطه ۱ـ۶ به دست می‌آید که در آن F_0 فرکانس رزونانس مدار و Q ضریب کیفیت مدار است.

$$BW = \frac{F_0}{Q} \qquad ۶ـ۱$$

هرقدر مقدار Q بیشتر باشد پهنای باند کمتر است. افزایش مقدار Q قابلیت انتخاب ایستگاه را افزایش می‌دهد و ایستگاههای ناخواسته را بهتر حذف می‌کند. در شکل ۷ـ۴ منحنی پاسخ فرکانسی مدار هماهنگ موازی RLC در سه حالت نشان داده شده است. در حالت الف پهنای باند زیاد است و سلکتیویته به قدری کم است که نمی‌توان ایستگاههای A و B را از یکدیگر جدا کرد. در حالت ب پهنای باند در حدی است که فقط ایستگاه B قابل دریافت است. در حالت ج پهنای باند خیلی کم و سلکتیویته خیلی زیاد است. در این حالت باندهای کناری ایستگاه B را نمی‌توان دریافت کرد.



شکل ۷ـ۴ـ مدارهای هماهنگی با سلکتیویته متفاوت

۶ـ۳ـ۳ـ وفاداری یا فیدلیته: وفاداری یک تقویت کننده بستگی به میزان تطبیق سیگنال خروجی با ورودی دارد. در گیرنده‌های رادیویی فیدلیته بستگی به پهنای باند مدار انتخاب ایستگاه دارد. اگر مدار انتخاب ایستگاه دارای منحنی پاسخ فرکانسی بسیار تیز باشد (Q زیاد) بعضی از فرکانسها حذف می‌شود و فیدلیته را

کاهش می دهد.

۶-۳-۴- پایداری: میزان ثبات فرکانس رزونانس مدار انتخاب ایستگاه گیرنده رادیویی را پایداری یا استابیلیته می گویند. وقتی یک گیرنده رادیویی روی ایستگاهی تنظیم شود و فرکانس دریافت شده خودبه‌خود تغییر نکند گیرنده از پایداری بالایی برخوردار است.

۶-۴- خودآزمایی

۶-۴-۱- مشخصات ویژه یک گیرنده رادیویی را نام ببرید.

۶-۴-۲- با کاهش پهنای باند مدار انتخاب ایستگاه قبلیه چه تغییری می کند؟

۶-۴-۳- پایداری در گیرنده های رادیویی چیست؟

۶-۴-۴- اگر مدار هماهنگ درشکل ۶-۴ دارای فرکانس رزونانس ۵۵۰KHZ باشد با فرض C = ۱۰۰PF و L = ۸/۳mH و R = ۵۲Ω ، پهنای باند آن را محاسبه کنید.

(جواب ۹/۹۷KHZ)

۶-۵- گیرنده رادیویی TRF[۲] یا گیرنده رادیویی مستقیم

گیرنده رادیویی TRF یا گیرنده با مدارهای هماهنگ تنظیم شده به ترتیب از طبقات زیر تشکیل شده است:

الف- آنتن و مدار انتخاب ایستگاه.

ب- تقویت کننده RF.

ج- آشکارساز سیگنال صوتی.

د- تقویت کننده صوتی.

هـ- بلندگو.

در شکل ۶-۶ بلوک دیاگرام گیرنده رادیویی TRF رسم شده است.

شکل ۶-۶- بلوک دیاگرام گیرنده رادیویی TRF

خازنهای C_1 و C_2 و C_3 و C_4 هم محورند. باتغییر ظرفیت این خازنها فرکانس رزونانس مدارهای انتخاب ایستگاه L_1 $R_{L1}C_1$ ، L_2 $R_{L2}C_2$ ، L_3 $R_{L3}C_3$ و L_4 $R_{L4}C_4$ به طور همزمان تغییر می کنند و ایستگاه مورد نظر انتخاب وتقویت می شود.

علت استفاده از چند مدار هماهنگ، انتخاب بهتر ایستگاه مورد نظر وحذف ایستگاههای ناخواسته است.

دیود D و خازن C ، مدار آشکارساز AM است، که برای پیاده کردن پیام از روی کاریر استفاده می شود.

تقویت کننده صوتی برای تقویت دامنه ولتاژ و جریان سیگنال صوتی است تا جریان مورد نیاز را برای تحریک بلندگو تأمین کند. اگر چه گیرنده رادیویی مستقیم ازنظر اقتصادی مقرون به صرفه است و نسبت به گیرنده های سوپرهتروداین دارای مدارهای ساده تری است، ولی امروزه

۲- Tuned Radio Frequency

به علت معایب زیاد استفاده نمی شود.

۱ـ۵ـ۶ـ معایب گیرنده رادیویی TRF : گیرنده رادیویی TRF دارای معایبی به شرح زیر است:

الف ـ حساسیت کم.

ب ـ قابلیت انتخاب بد.

ج ـ بروز مشکلات زیاد به منظور تنظیم همزمان مدارهای هماهنگی.

د ـ عدم تقویت یکنواخت ایستگاههای مختلف.

۶ـ۶ـ خودآزمایی

۱ـ۶ـ۶ـ طبقات مختلف گیرنده رادیویی TRF را نام ببرید.

۲ـ۶ـ۶ـ معایب گیرنده رادیویی TRF را بنویسید.

۳ـ۶ـ۶ـ وظیفه آشکارساز در گیرنده رادیویی TRF چیست؟

۴ـ۶ـ۶ـ چرا در گیرنده رادیویی TRF از چند مدار هماهنگی استفاده می شود؟

۷ـ۶ـ گیرنده رادیویی سوپرهترودین[1]

امروزه گیرنده های رادیویی را به صورت ترکیبی که سوپرهترودین نامیده می شود می سازند. کلمه هترودین به معنی مخلوط کردن یا ترکیب کردن دو فرکانس است. کلمه سوپر نیز به معنی فوق العاده است و بیشتر برای کالاهایی که اولین بار به بازار عرضه می شود مورد استفاده قرار می گیرد.

در گیرنده های سوپرهترودین ابتدا ایستگاه مورد نظر توسط مدار هماهنگی انتخاب می شود. فرکانس دریافتی پس از تقویت وارد مدار کنورتور و تبدیل به فرکانس میانی می شود.

فرکانس میانی را فرکانس متوسط یا IF[2] نیز می نامند. مقدار فرکانس IF در گیرنده های AM تجارتی معمولاً مساوی ۴۵۵ کیلوهرتز است. حدود فرکانس IF برای گیرنده های مختلف فرق می کند و معمولاً مقدار آن را روی پلاک دستگاه می نویسند.

هر گیرنده سوپرهترودین دارای طبقاتی به شرح زیر است:

الف ـ تقویت کننده RF

ب ـ اسیلاتور محلی

ج ـ مخلوط کننده یا میکسر

د ـ تقویت کننده IF

هـ ـ آشکارساز یا دتکتور

و ـ تقویت کننده AF

ز ـ کنترل اتوماتیک بهره

ح ـ بلندگو

در شکل ۷ـ۶ نمای بلوکی گیرنده رادیویی سوپرهترودین آمده است.

شکل ۷ـ۶ـ نمای بلوکی گیرنده رادیویی سوپرهترودین

۱ ـ Superhetrodyne Recieved

۲ ـ Intermediate Frequency

۶ـ۷ـ۱ـ تقویت کننده RF : تقویت کننده RF به منظور تقویت سیگنال رادیویی دریافتی و حذف نویز به کار می رود.

۶ـ۷ـ۲ـ اسیلاتور محلی[1] : در داخل گیرنده های رادیویی سوپرهترودین یک نوسانساز وجود دارد که اسیلاتور محلی نامیده می شود. علت انتخاب این نام، قرار گرفتن نوسانساز در محل گیرنده و درداخل آن است.

فرکانس اسیلاتور محلی بر اساس رابطه ۲ـ۶ از مجموع فرکانس ایستگاه مورد نظر و فرکانس IF به دست می آید.

$$F_{LO} = F_R + IF \qquad ۶ـ۲$$

که در آن

فرکانس اسیلاتور محلی بر حسب هرتز F_{LO}

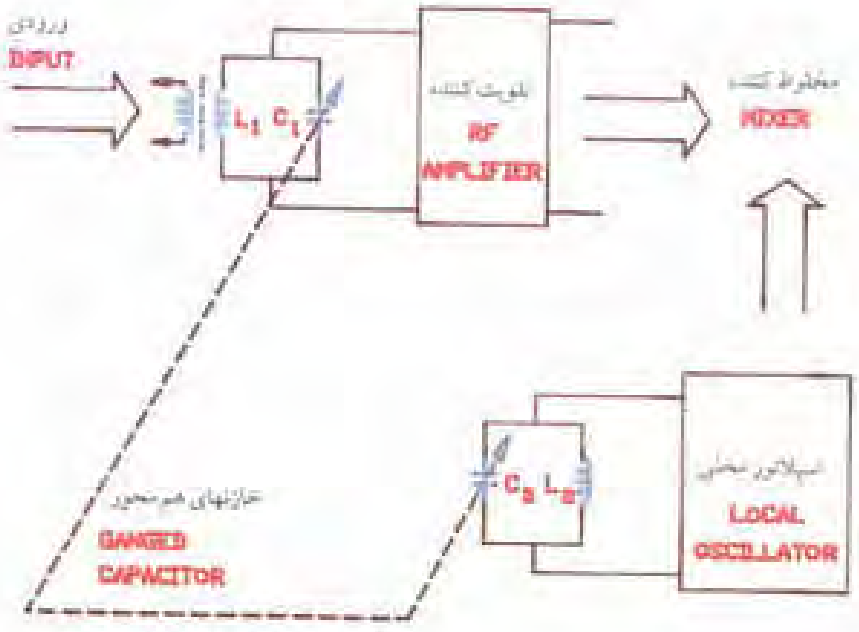
فرکانس سیگنال دریافت شده بر حسب هرتز F_R

فرکانس میانی تولید شده بر حسب هرتز IF است.

فرکانس اسیلاتور محلی، یا فرکانس رزونانس مدار انتخاب کننده ایستگاه، به طور همزمان تغییر می کند. این تغییر توسط دو خازن متغیر هم محور به نام واریکاپ[2] که در داخل یک محفظه جای دارد صورت می گیرد.

درشکل ۸ـ۶ نقشه فنی خازن واریکاپ و ارتباط آنها با پلوکهای مربوطه و چگونگی تغییرات خازن اسیلاتور با توجه به خازن مدار هماهنگ ورودی درتقویت کننده RF آمده است.

خط چین ترسیم شده روی شکل، هم محور بودن خازنهای C_1 و C_2 را نشان می دهد. خازن واریکاپ دارای سه سر است و برای رادیوی یک موج درنظر گرفته شده است.



شکل ۸ـ۶ ـ نقشه فنی خازنهای هم محور در گیرنده سوپرهترودین

۱ـ Local Oscillator به اختصار LO

۲ـ R مخفف کلمه Receiver است.

۳ـ Varicap مخفف کلمه Variable Capacitor است.

۳ـ۶ـ۷ـ میکسر یا مخلوط کننده: فرکانس دریافتی F_R همراه با فرکانس اسیلاتور محلی F_{LO} وارد طبقه ای به نام میکسر می شود. درخروجی میکسر، علاوه بردو فرکانس اصلی F_R و F_{LO} فرکانسهای مجموع ($F_{LO} + F_R$) و تفاضل آنها ($IF = F_{LO} - F_R$) به دست می آید.

۴ـ۶ـ۷ـ کنورتور: مجموعهٔ مدارهای اسیلاتور محلی ومیکسر را کنورتور می نامند. مجموعهٔ مدارهای اسیلاتور محلی، میکسر وتقویت کننده RF تیونر نامیده می شود. در برخی موارد کنورتور و تیونر به جای یکدیگر استفاده می شود.

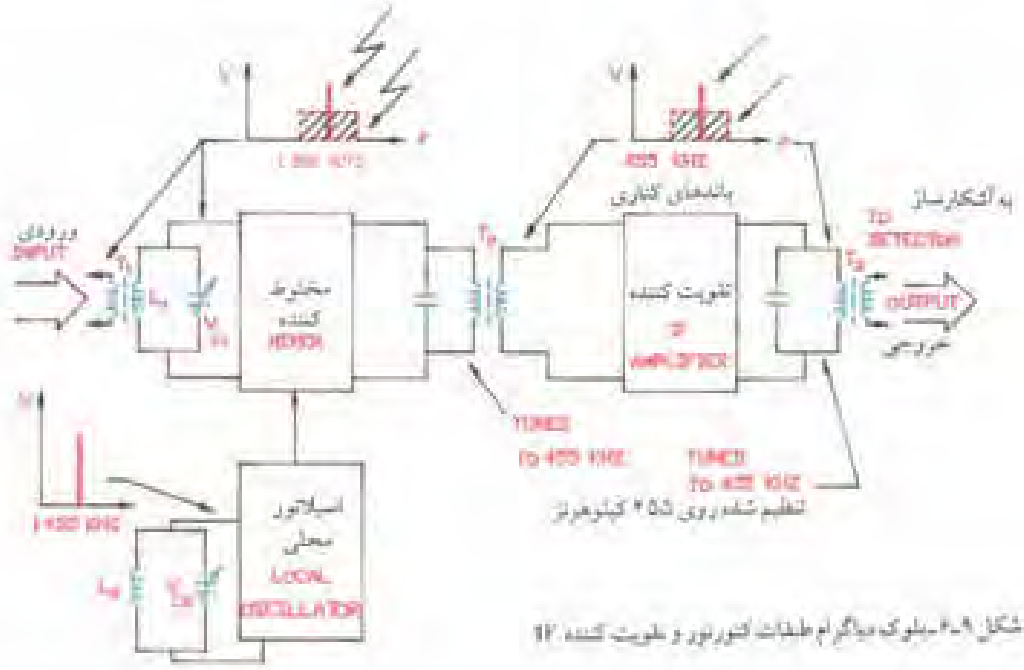
مثال ۱ـ۶ـ در صورتی که گیرنده رادیویی سوپرهترودین ایستگاهی با فرکانس ۸۳۰KHZ را دریافت کند مقدار فرکانس اسیلاتور محلی چقدر است؟

پاسخ:

$$F_{LO} = F_R + IF$$
$$F_{LO} = ۸۳۰ + ۴۵۵ = ۱۲۸۵KHZ$$

۵ـ۶ـ۷ـ تقویت کننده IF: فرکانس تفاضلی IF معمولاً مساوی ۴۵۵ کیلوهرتز است. این فرکانس، توسط یک یا چند طبقه مدار تقویت کننده IF تقویت می شود. سیگنال خروجی آخرین طبقه تقویت کننده IF به منظور آشکارسازی به طبقه آشکارساز اعمال می شود.

به منظور بالا بردن کیفیت مدار در ورودی و خروجی طبقات تقویت کننده های IF مدارهای هماهنگی قرار می دهند. این مدارها فقط می توانند فرکانس ۴۵۵ کیلوهرتز را عبور دهند. بدین ترتیب از عبور فرکانسهای F_R و F_{LO} و $F_{LO} + F_R$ جلوگیری به عمل می آید. در شکل ۹ـ۶ اساس کار مخلوط کننده و اسیلاتور محلی وتقویت کننده IF به صورت بلوک دیاگرام نشان داده شده است.



شکل ۹ـ۶ـ بلوک دیاگرام طبقات کنورتور و تقویت کننده IF

۱ـ باند فرکانس IF دیگری که برای گیرنده درنظر گرفته شد.

در صورتی که مدار هماهنگی $L_1V_{(1)}$ برای دریافت ایستگاهی با فرکانس ۱۰۰۰ کیلوهرتز تنظیم شده باشد، چون خازنهای $V_{(1)}$ و $V_{(2)}$ هم‌محور هستند، اسیلاتور محلی سیگنالی با فرکانس ۱۴۵۵ کیلوهرتز تولید می‌کند.

فرکانس نوسانساز محلی با فرکانس ورودی مخلوط می‌شود و در خروجی مخلوط کننده فرکانسهای مجموع و تفاضل اسیلاتور و فرکانس ورودی ظاهر می‌شود. به علت وجود ترانسهای آی اف T_1 و T_2 در ورودی و خروجی تقویت‌کننده IF، فقط فرکانس IF انتخاب و تقویت می‌شود.

۶ـ۷ـ۴ـ فرکانس سایه یا فرکانس تصویر[1]: فرض کنید در یک گیرنده رادیویی هدف انتخاب ایستگاهی با فرکانس $F_{R1} = ۶۰۰$ کیلوهرتز باشد. در این حالت فرکانس اسیلاتور برابر است با:

$F_{LO} = F_R + IF = ۶۰۰ + ۴۵۵ = ۱۰۵۵$ کیلوهرتز

حال اگر به طور همزمان فرستنده‌ای روی فرکانس F_{R2} امواج خود را منتشر کند به طوری که داشته باشیم:

$F_{R2} = ۱۰۵۵ + ۴۵۵ = ۱۵۱۰$ کیلوهرتز

برای هر دو ایستگاه فوق فرکانس IF برابر با ۴۵۵ کیلوهرتز خواهد شد. برای اینکه:

$F_{LO} - F_{R1} = ۱۰۵۵ - ۶۰۰ = ۴۵۵KHZ$

$F_{R2} - F_{LO} = ۱۵۱۰ - ۱۰۵۵ = ۴۵۵KHZ$

فرکانس F_{R2} را فرکانس سایه، تصویر یا شبح می‌نامند. فرکانس سایه را می‌توان از رابطه ۶ـ۳ به دست آورد.

$$F_{Im} = ۲IF + F_R \qquad ۶ـ۳$$

که در آن

$F_{Im} = F(Image)$ فرکانس سایه

IF فرکانس میانی

F_R فرکانس سیگنال دریافتی

می‌باشد.

رابطه ۶ـ۳ نشان می‌دهد که فاصله بین ایستگاه اصلی و ایستگاه شبح به مقدار دو برابر فرکانس IF است.

مثال ۶ـ۴ـ برای یک گیرنده رادیویی سوپرهترودین که روی ایستگاهی با فرکانس ۵۵۰KHZ تنظیم شده است فرکانس شبح چقدر است؟

پاسخ

$F_{Im} = ۲IF + F_R$

$F_{Im} = ۲ \times ۴۵۵ + ۵۵۰ = ۹۱۰ + ۵۵۰ = ۱۴۶۰KHZ$

۶ـ۷ـ۵ـ آشکارساز[2]: در گیرنده رادیویی سوپرهترودین وظیفه آشکارساز پیاده کردن پیام از روی سیگنال IF است. سیگنال ورودی مدار آشکارساز، سیگنال رادیویی با فرکانس IF و سیگنال خروجی آن سیگنال صوتی است.

۶ـ۷ـ۶ـ کنترل اتوماتیک بهره[3]: در یک گیرنده رادیویی، ضعیف یا قوی شدن سیگنال دریافتی موجب کم و زیاد شدن صدا در بلندگو می‌شود. این اثر خود یک اشکال

---

1 ـ Image Frequency یا F_{Im} ۲ ـ Detector ۳ ـ Automatic Gain Control

عمده است. برای برطرف کردن این مسأله از مدار AGC استفاده می شود. مدار AGC ضریب بهره طبقات IF یا RF را به طور اتوماتیک کنترل می کند. تشریح کار مدار AGC در فصل هشتم خواهد آمد.

۹ـ۷ـ۶ـ تقویت کننده صوتی: در تقویت کننده صوتی دامنهٔ ولتاژ و جریان سیگنال صوتی تقویت می شود تا جریان لازم برای بلندگو تأمین شود. بلندگو سیگنال الکتریکی صوت را به ارتعاشات مکانیکی تبدیل می کند.

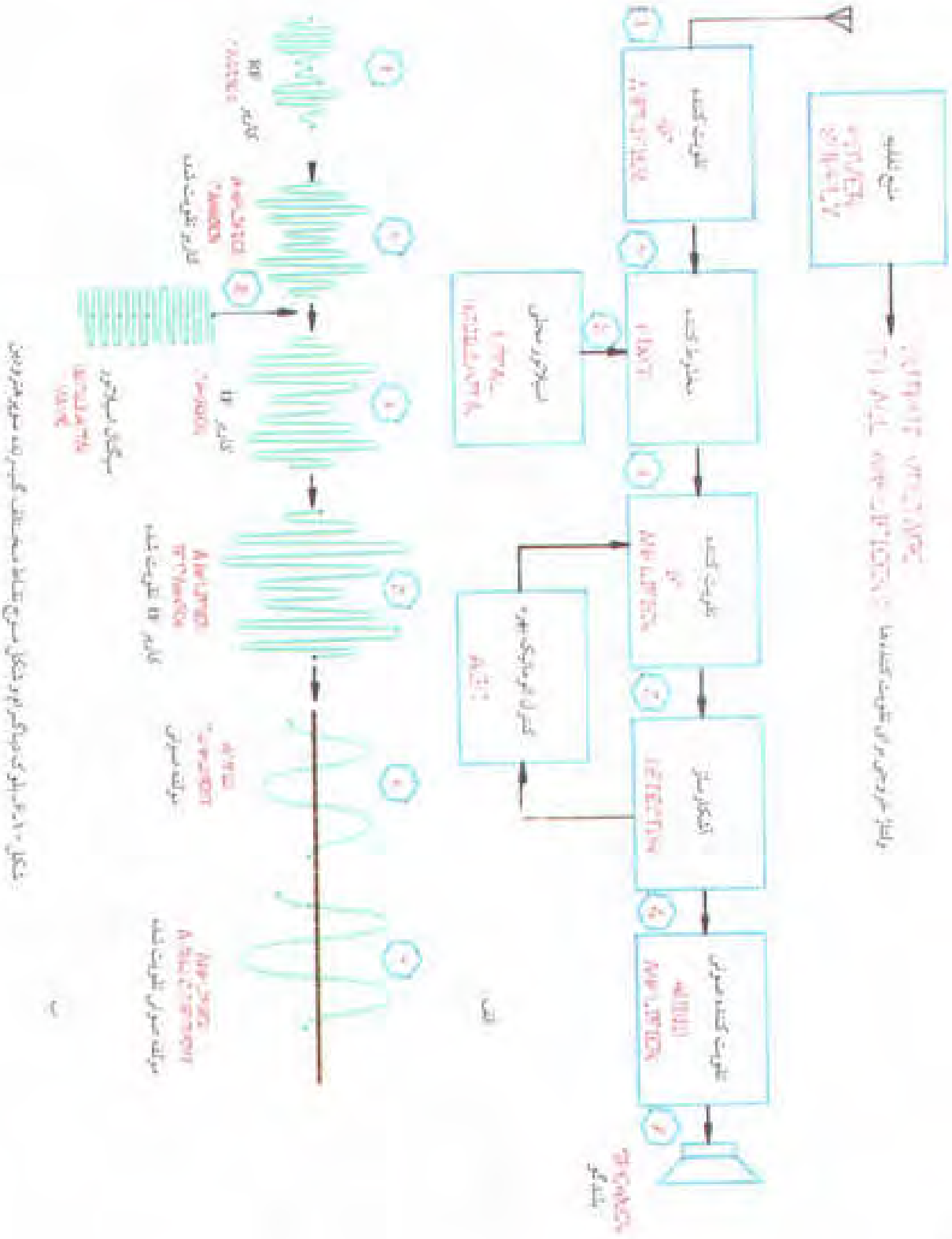
۱۰ـ۷ـ۶ـ منبع تغذیه: منبع تغذیه سیگنال AC را به DC تبدیل می کند و ولتاژ لازم را برای تمام تقویت کننده تأمین می کند.

در جدول ۲ـ۶ خلاصه ای از کار طبقات مختلف گیرنده رادیویی سوپرهترودین با اطلاعات مربوط به ورودیها و خروجیهای آنها آمده است.

جدول ۲ـ۶ـ مشخصات گیرنده رادیویی سوپرهترودین

نام طبقه یا بلوک	وظیفه بلوک	سیگنال ورودی هر بلوک	سیگنال خروجی هر بلوک
تقویت کننده RF	انتخاب فرکانس مورد نظر و تقویت آن	سیگنال رادیویی	سیگنال رادیویی تقویت شده
اسیلاتور محلی	تولید سیگنال سینوسی به منظور مخلوط شدن با سیگنال دریافت شده	ولتاژ DC	سیگنال سینوسی با فرکانس $F_R + IF$
میکسر	مخلوط کردن فرکانس فرپائش با فرکانس اسیلاتور محلی برای تولید فرکانس IF	فرکانس فرپائش و فرکانس اسیلاتور محلی	$F_{R.O}$ $F_{I.O}$ $F_{I.O} - F_R$ $F_{I.O} + F_R$
تقویت کننده IF	تقویت سیگنال رادیویی با فرکانس میانی	مجموعهٔ فرکانسهای خروجی میکسر	سیگنال IF تقویت شده
آشکار ساز	پیاده کردن سیگنال صوتی از روی سیگنال IF	سیگنال رادیویی با فرکانس IF	سیگنال صوتی
کنترل اتوماتیک بهره	کنترل بهره طبقات IF یا RF بطور اتوماتیک	تقویت سیگنال صوتی	ولتاژ DC
تقویت کننده صوتی	تقویت سیگنال صوتی خروجی آشکار ساز	سیگنال صوتی	سیگنال صوتی تقویت شده
بلندگو	تبدیل سیگنال صوتی به ارتعاشات مکانیکی صوتی	سیگنال صوتی	امواج صوتی
منبع تغذیه	تهیه ولتاژ DC برای تمام طبقات	۲۲۰ ولت برق شهر یا باطری	۶ یا ۱۲ ولت DC

۱۱ـ۶ـ۷ـ شکل موجهای ورودی و خروجی طبقات مختلف گیرنده رادیویی سوپرهترودین: در شکل الف ۱۰ـ۶ بلوک دیاگرام کلی گیرنده رادیویی سوپرهترودین آمده است. شکل موج نقاط ۱ الی ۷ در شکل ب ۱۰ـ۶ رسم شده است.

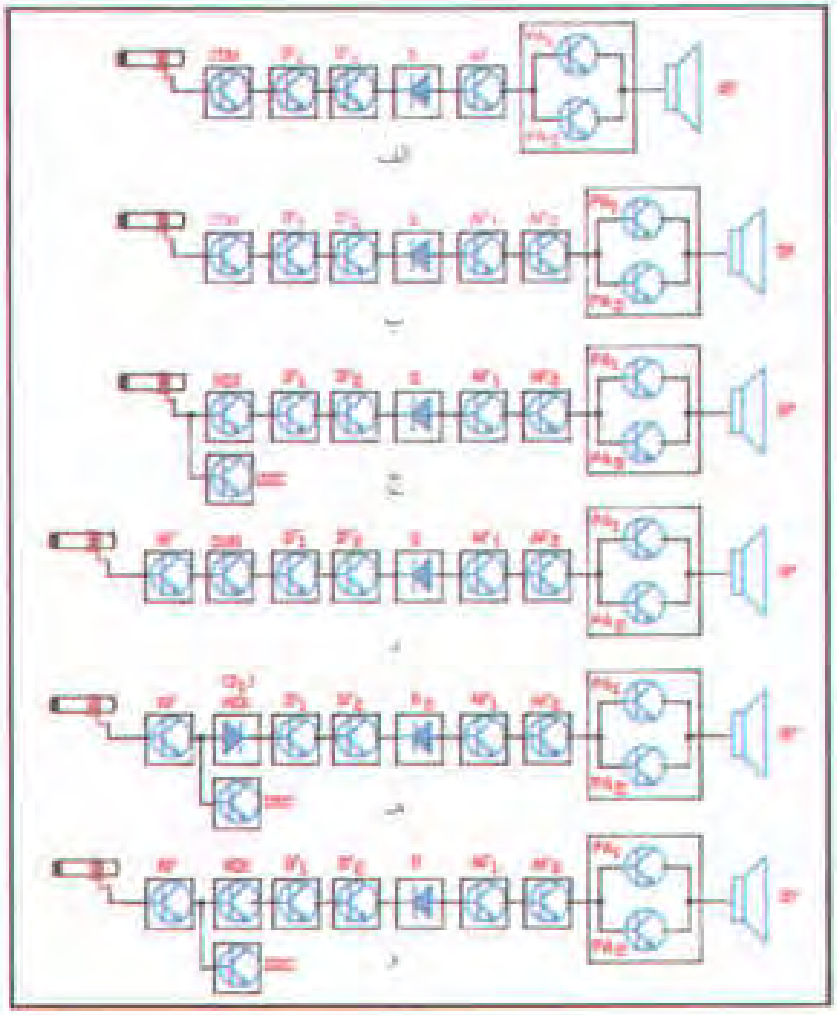


شکل ۱۰ـ۶ بلوک دیاگرام و شکل موج نقاط مختلف گیرنده سوپرهترودین

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در نقطه (۱) سیگنال ورودی ضعیف و فرکانس آن بالا است. این سیگنال پس از عبور از تقویت کننده RF به نقطه (۲) می‌رسد. در نقطه (۲) سیگنال RF تقویت شده که دقیقاً مشابه نقطه (۱) است وجود خواهد داشت. در نقطه (۳) سیگنال اسیلاتور محلی که فرکانس آن بیشتر از سیگنال ورودی است تولید می‌شود. این سیگنال با سیگنال RF نقطهٔ شماره (۲) وارد مدار میکسر شده و پس از مخلوط شدن، فرکانس IF را که یک سیگنال مدوله شده با فرکانس حدود ۴۵۵ کیلوهرتز است تولید می‌کند و در نقطه (۴) ظاهر می‌شود. سیگنال IF تقویت شده را در نقطه شماره (۵) خواهیم داشت. سیگنال نقطه (۵) پس از عبور از آشکارساز به نقطه (۶) می‌رسد. در نقطه (۶) سیگنال صوتی را داریم. این سیگنال تقویت می‌شود و در نقطه (۷) به بلندگو می‌رسد.

(برای مطالعه، آغاز)

۱۲ـ۷ـ۶ـ بلوک دیاگرام انواع گیرنده‌های رادیویی سوپرهترودین بر اساس نوع کنورتور و تعداد ترانزیستورها: در شکل ۱۱ـ۶ بلوک دیاگرام انواع گیرنده‌های رادیویی سوپرهترودین رسم شده است.



شکل ۱۱ـ۶ـ بلوک دیاگرام انواع گیرنده‌های رادیویی سوپرهترودین

در ذیل به اختصار به شرح تفاوت هریک از گیرنده‌ها می‌پردازیم:

الف ـ گیرنده رادیویی ۶ ترانزیستوری با کنورتور یک ترانزیستوری: این گیرنده دارای دو طبقه تقویت کننده IF و یک طبقه تقویت کننده ولتاژ صوت و مدار تقویت کننده قدرت دو ترانزیستوری است.

ب ـ این مدار مشابه مدار A است. تنها تفاوت در طبقات تقویت کننده ولتاژ صوت است که به جای یک طبقه در این مدار دو طبقه در نظر گرفته شده است. مدار گیرنده هفت ترانزیستوری است.

ج ـ این مدار دارای کنورتور دو ترانزیستوری است که یکی اسیلاتور و دیگری میکسر است. سایر مشخصات این مدار مشابه مدار ب است. گیرنده از نوع هشت ترانزیستوری است.

د ـ در این گیرنده یک مدار تقویت کننده RF نیز تعبیه شده است و کنورتور آن یک ترانزیستوری است. سایر مشخصات آن مشابه مدار شکل ب است. گیرنده از نوع هشت ترانزیستوری است.

هـ ـ میکسر این مدار دیودی است و اسیلاتور آن ترانزیستوری است و سایر مشخصات آن مشابه مدار (د) است. گیرنده از نوع هشت ترانزیستوری است.

و ـ این مدار مشابه مدار (ه) است و تنها تفاوت آن در میکسر است که در این گیرنده ترانزیستوری است. مدار گیرنده از نوع نه ترانزیستوری است.

(برای مطالعه، پایان)

۸ـ۶ـ خودآزمایی

۱ـ۸ـ۶ـ معنی سوپرهترودین چیست؟ شرح دهید.

۲ـ۸ـ۶ـ AGC را تعریف کنید.

۳ـ۸ـ۶ـ فرکانس شبح چیست؟ توضیح دهید.

۴ـ۸ـ۶ـ طبقات مختلف گیرنده رادیویی سوپر هترودین را نام ببرید.

۵ـ۸ـ۶ـ برای دریافت هریک از ایستگاههای زیر، فرکانس اسیلاتور محلی را محاسبه کنید. فرکانس IF را ۴۵۵KHZ فرض کنید.

الف ـ ۵۸۰KHZ　　ب ـ ۸۰۰KHZ

ج ـ ۹۹۵KHZ

۶ـ۸ـ۶ـ مقدار فرکانس شبح را در سوال ۵ـ۸ـ۶ برای هریک از ایستگاهها محاسبه کنید.

۷ـ۸ـ۶ـ سیگنالهای ورودی و خروجی طبقه AGC را رسم کنید.

۸ـ۸ـ۶ـ وظیفه آشکارساز در گیرنده رادیویی سوپرهترودین چیست؟

۹ـ۸ـ۶ـ در شکل ۶.۱۰ تفاوت مدار «الف» را با مدار «ه» بنویسید. (برای مطالعه)

۱۰ـ۸ـ۶ـ در شکل ۶.۱۱ تفاوت مدار «ه» را با مدار «ج» بنویسید. (برای مطالعه)

فصل هفتم

کنورتور

هدفهای رفتاری : در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که :

- مدار هماهنگ ورودی رادیو را با رسم شکل شرح دهد .
- بوبین کادر آنتن را با رسم شکل شرح دهد .
- خازن واریابل رادیو یک موج را با رسم شکل شرح دهد .
- مدار کنورتور یک ترانزیستوری را از نظر DC و AC تجزیه و تحلیل کند .
- مدار کنورتور دو ترانزیستوری رادیو را از نظر DC و AC تجزیه و تحلیل کند . (برای مطالعه)

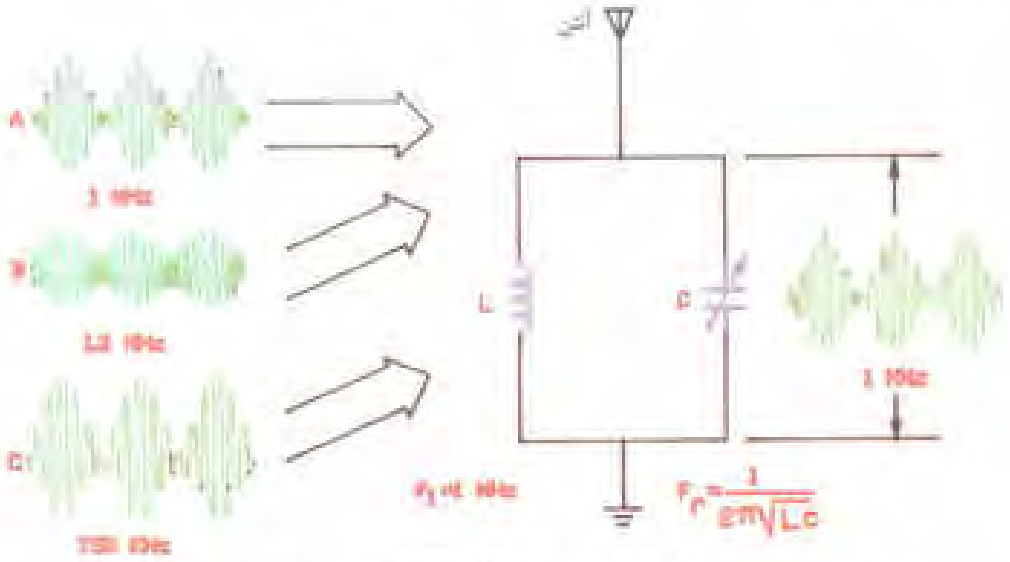
پیشگفتار

کنورتور یا مبدل فرکانس از مدارات ویژه‌ای است که کاربرد نسبتاً گسترده‌ای در گیرنده‌های رادیویی دارد .

در این فصل ضمن بررسی مدارهای کنورتور یک ترانزیستوری و دو ترانزیستوری مروری بر بوبین کادر آنتن و خازن واریابل نیز خواهیم داشت .

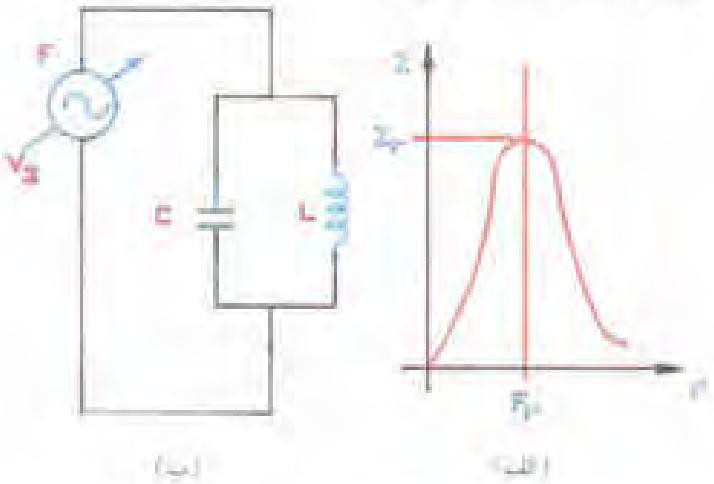
۱ـ۷ـ مدار هماهنگ ورودی گیرنده رادیو

در ورودی هر گیرنده رادیو ، یک مدار هماهنگ LC موازی قرار گرفته است . به کمک این مدار و با تغییر مقدار L یا C می‌توان ایستگاههای مختلف را انتخاب کرد . در شکل ۱ـ۷ مدار هماهنگ موازی با خازن متغیر رسم شده



شکل ۱ـ۷ـ مدار هماهنگ ورودی گیرنده رادیو

است. چنین مداری را سلکتور امواج، انتخاب کننده ایستگاه یا تیونر[1] نیز می‌نامند. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، امواج رادیویی از ایستگاههای A و B و C به ترتیب با فرکانسهای کاریر ۱ MHZ، ۱/۳ MHZ و ۷۵۰ KHZ پخش می‌شوند. این امواج پس از برخورد به آنتن و با توجه به فرکانس حامل ولتاژهای متناوبی را در بوبین L القا می‌کنند. اگر خازن C طوری تنظیم شده باشد که فرکانس رزونانس مدار برابر با $F_r = 1\ MHZ$ باشد، دامنه امواج ولتاژ القاشده در اثر امواج مربوط به ایستگاه A بیشتر از ولتاژهای مربوط به ایستگاههای B و C خواهد بود. به این ترتیب فقط ایستگاه A انتخاب و دو ایستگاه دیگر حذف می‌شود. اگر ایستگاههای مختلف را به صورت یک منبع ولتاژ V_s با فرکانس و ولتاژ متغیر درنظر بگیریم، می‌توانیم مدار شکل ب ۲ـ۷ را به جای مدار شکل ۱ـ۷ به کار بریم. در شکل الف ۲ـ۷ منحنی پاسخ فرکانس تغییرات امپدانس دو سر مدار ترسیم شده است. منحنی تغییرات ولتاژ دو سر مدار نیز شبیه منحنی تغییرات امپدانس مدار است.



(الف) (ب)

شکل ۲ـ۷ـ مدار هماهنگ ورودی گیرنده رادیو و منحنی پاسخ فرکانس بر حسب تغییرات امپدانس آن

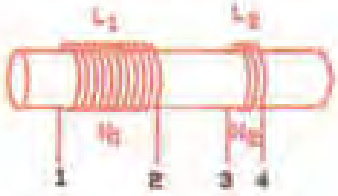
۱ـ۱ـ۷ـ بوبین کادر آنتن : به سیم‌پیچ مدار هماهنگ ورودی گیرنده‌های رادیویی بوبین کادر آنتن گفته می‌شود. این بوبین دارای یک هسته از جنس فریت است. بوبین کادر آنتن در گیرنده رادیو به عنوان آنتن عمل می‌کند. این آنتن از نوع مخصوصی است که آنتن با میلهٔ فریت نامیده می‌شود. بوبین کادر آنتن ممکن است به صورت سه‌سر یا چهارسر مورد استفاده قرار گیرد. در شکل ۳ـ۷ یک نمونه بوبین کادر آنتن با چهارسر (۱ تا ۴) رسم شده است. در عمل بوبین L_{ab} با خازن واریابل موازی می‌شود و بوبین L_{ef} در ورودی اولین طبقه تقویت کننده رادیو قرار می‌گیرد. در شکل ۴ـ۷ نحوهٔ اتصال سرهای بوبین کادر آنتن به مدار تقویت کننده RF نشان داده شده است.

بوبین L_{ab} با تعداد N_{ab} حلقه به صورت موازی با خازن متغیر C_{ab}، مدار هماهنگ ورودی را تشکیل می‌دهد. e_{ab} ولتاژ القاشده در سیم‌پیچ L_{ab} است، چون سیم‌پیچهای L_{ab} و L_{ef} با هسته فریت تشکیل یک ترانس می‌دهند،

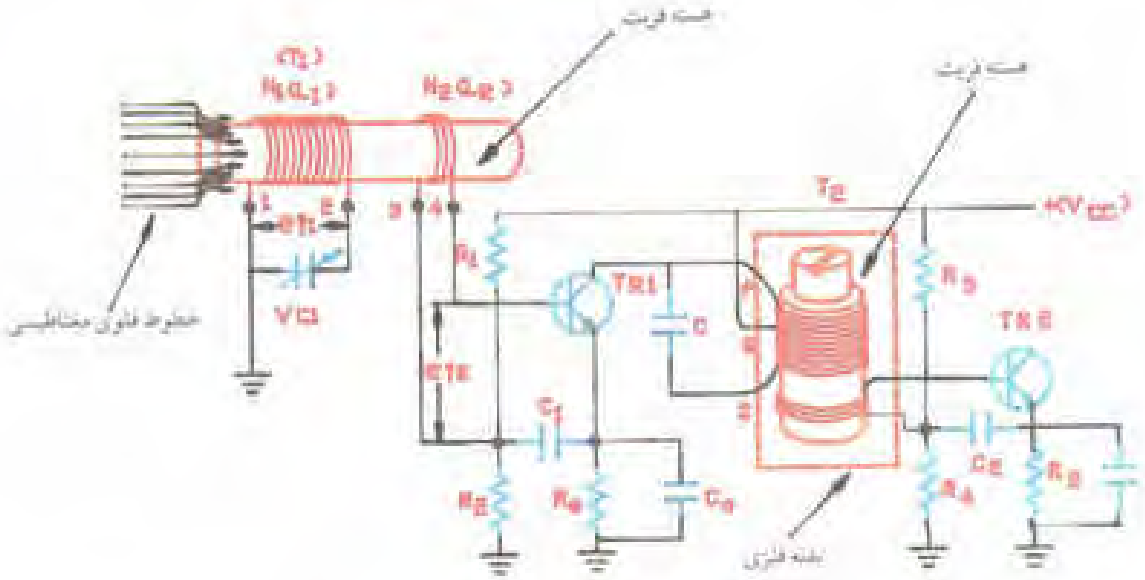
با توجه به نحوهٔ کار ترانسفورماتورها ولتاژ e_{ef} در دو سر سیم‌پیچ L_{ef} ظاهر می‌شود. چون ترانسفورماتور کاهنده است جریان در سیم‌پیچ L_{ef} افزایش می‌یابد. هسته فریت به علت داشتن قابلیت نفوذ مغناطیسی زیاد باعث

---

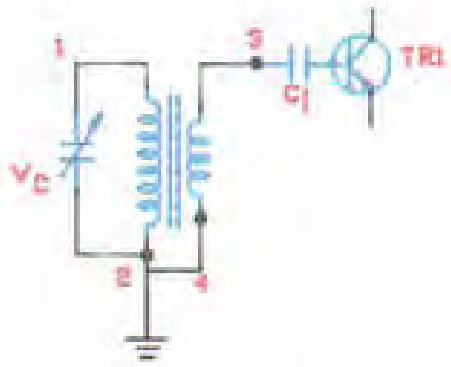
[1] Tuner



شکل ۳-۷- بوبین کادر آنتن با هسته فریت



شکل ۴-۷- بوبین کادر آنتن و تقویت کننده RF



شکل ۵-۷- بوبین کادر آنتن سه سر در مدار

می شود که خطوط قوی مغناطیسی بیشتری از داخل سیم پیچ L_1 عبور کند و ولتاژ e_{L1} بیشتری را در آن القا کند. در عمل، برای امواج متوسط تعداد حلقه N_1 تقریباً ۷۰ و تعداد حلقه N_2 در حدود ۱۰ دور است. مقدار مقاومت اهمی N_1 حدوداً برابر ۷Ω و مقدار مقاومت N_2 در حدود ۱Ω است. در صورتی که یکی از پایه های ۳ یا ۴ به‌طور مشترک با یکی از پایه‌های ۱ یا ۲ به شاسی وصل شود، بوبین کادر آنتن به صورت سه سر مورد استفاده قرار می گیرد. در شکل ۵-۷ پایه‌های ۲ و ۴ بوبین کادر آنتن به شاسی اتصال دارد و بوبین به صورت سه سر استفاده شده است.

۲ـ۱ـ۷ـ پدیدهٔ پوستی : همان طور که قبلاً بررسی شد ضریب کیفیت بوبین یا مقاومت القی آن نسبت عکس دارد، $Q = \frac{X_L}{R}$. برای تکنیک ایستگاهها، باید در حد امکان مقدار Q حداکثر و مقدار R حداقل باشد. در نتیجه اثر پوستی در فرکانسهای بالا پدید می‌آید. برای باند MW که دارای فرکانس ۵۳۵ KHZ تا ۱۶۰۵ KHZ است نیز اثر پوستی ظاهر می‌شود و جریان زیادی از سطح خارجی سیم عبور می‌کند. به عبارت دیگر، به علت اثر پوستی سطح مقطع مؤثر سیم کم می‌شود و مقدار R افزایش می‌یابد.

برای جبران پدیدهٔ پوستی معمولاً سیم بوبین را به صورت چندرشته‌ای می‌سازند و رشته‌های سیم را از یکدیگر عایق می‌کنند. سیم بوبین کادر آنتن را سیم لیتزی می‌نامند. به علت افزایش تعداد رشته‌های سیم، سطح مؤثر سیمها افزایش یافته و مقاومت R کم می‌شود.

۳ـ۱ـ۷ـ خازن واریابل[1] یا واریکاپ[2] : به خازن متغیر استفاده شده در مدار هماهنگی گیرنده رادیو، خازن واریابل گفته می‌شود. به خازن واریابل به اختصار «واریابل» نیز اطلاق می‌شود. این خازن همراه با بوبین کادر آنتن برای انتخاب ایستگاههای مختلف به کار می‌رود. در گیرنده‌های رادیو یک موج، خازن واریابل دارای سه سر به شرح زیر است:

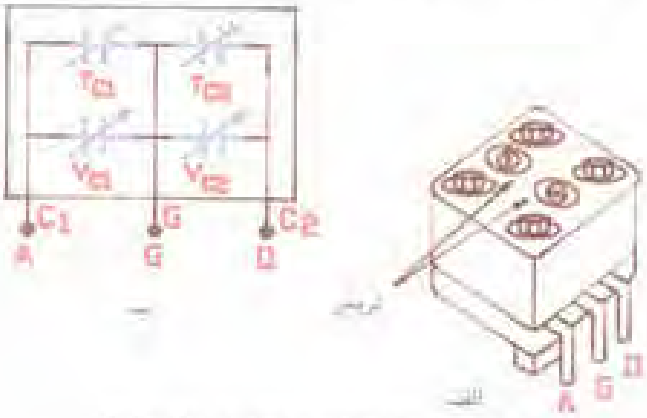
الف ـ سر A[3] یا C_1 که به آنتن وصل می‌شود و خازن کادر آنتن را تشکیل می‌دهد.

ب ـ سر G[4] که به شاسی دستگاه وصل می‌شود و سر مشترک را تشکیل می‌دهد.

ج ـ سر O[5] یا C_2 که به اسیلاتور محلی اتصال می‌یابد و خازن نوسانساز را تشکیل می‌دهد.

در شکل الف ۶ـ۷ شکل ظاهری خازن واریابل با توجه به خازنهای تریمر آن و در شکل ب ۶ـ۷ شمای فنی خازن واریابل رسم شده است. در این شکل، خازن متغیر VC_1 به عنوان خازن کادر آنتن در مدار هماهنگ ورودی گیرنده رادیو به‌کار می‌رود. خازن متغیر VC_2 به منظور تغییر فرکانس اسیلاتور در مدار هماهنگی نوسانساز محلی استفاده می‌شود.

با خازنهای متغیر VC_1 و VC_2 به ترتیب خازنهای تریمر TC_1 و TC_2 به صورت موازی بسته شده است. خازن تریمر TC_1 برای تنظیم فرکانس انتهای باند MW در کادر آنتن و خازن تریمر TC_2 برای تنظیم فرکانس انتهای باند MW در اسیلاتور محلی به‌کار می‌رود.



شکل ۶ـ۷ ـ شکل ظاهری و شمای فنی خازن واریابل

نحوهٔ تنظیم اسیلاتور محلی، ترانس کادر آنتن و خازنهای تریمر در کتاب آزمایشگاه مبانی مخابرات و رادیو آمده است.

۲ـ۷ـ خودآزمایی

۱ـ۲ـ۷ـ چرا سیم بوبین کادر آنتن به صورت چندرشته‌ای ساخته می‌شود؟

۲ـ۲ـ۷ـ شمای فنی خازن واریابل رادیوی یک موج MW را رسم کنید و کار اجزای تشکیل دهنده آن را بنویسید.

۳ـ۲ـ۷ـ کدام یک از مشخصات مزیت مهم بوبین کادر آنتن است؟

۴ـ۲ـ۷ـ بوبین کادر آنتن به چند صورت در مدارها

۱ـ Variable ۲ـ Antenna ۳ـ Ground ۴ـ Oscillator

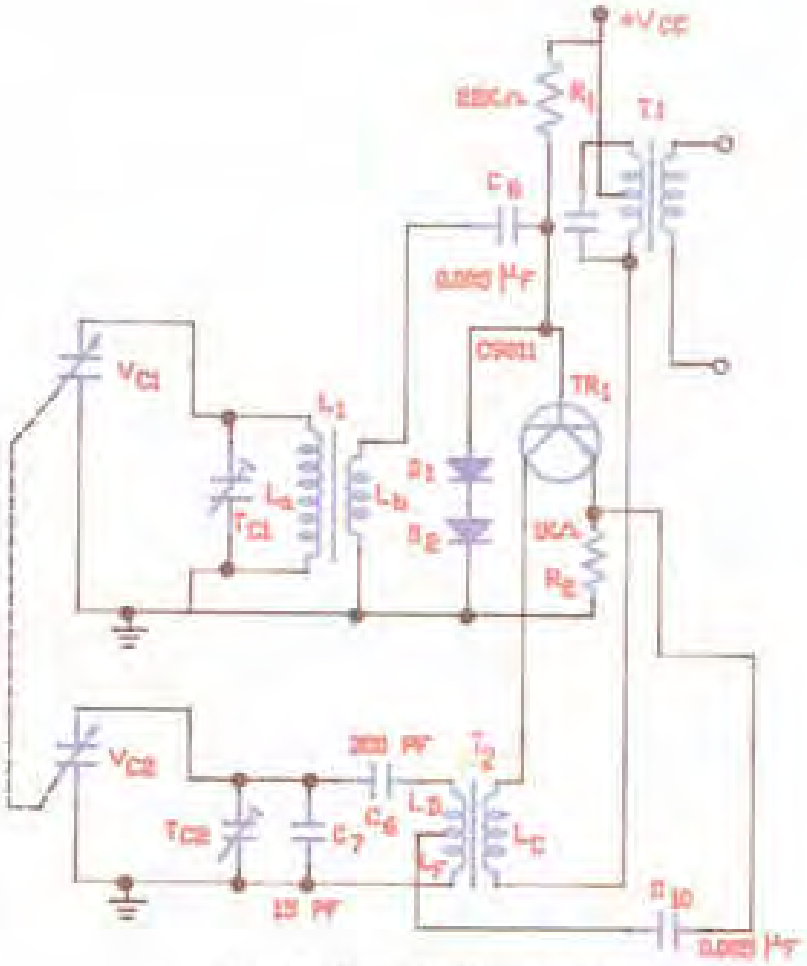
استفاده می‌شود؟ شرح دهید.

۵ـ۲ـ۷ـ مدار سلکتور امواج چه نوع مداری است؟ با رسم شکل شرح دهید.

هزینه اغلب از یک ترانزیستور برای نوسان‌سازی، تقویت کنندگی RF و مخلوط کنندگی استفاده می‌شود. در شکل ۷ـ۷ مدار کامل کنورتور یک ترانزیستوری رسم شده است.

۳ـ۷ـ تجزیه و تحلیل مدار کنورتور یک ترانزیستوری

در گیرنده‌های رادیویی ارزان قیمت به منظور کاهش



شکل ۷ـ۷ـ مدار کامل کنورتور یک ترانزیستوری

۱ـ۳ـ۷ـ بررسی DC مدار کنورتور: مقاومت R_1 همراه با دیودهای D_1 و D_2 تغذیه بیس ترانزیستور T_{R1} را از طریق خط $+V_{CC}$ تأمین می‌کند. دیود بیس امیتر ترانزیستور T_{R1} توسط مجموع جبری افت ولتاژ دو سر دیودهای D_1 و D_2 و افت ولتاژ دوسر مقاومت R_2 در بایاس مستقیم قرار می‌گیرد، رابطه ۱ـ۷ ارتباط بین ولتاژها را نشان می‌دهد.

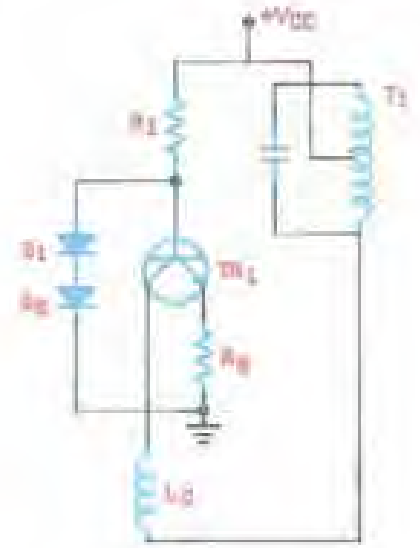
$$V_{D_1} + V_{D_2} = V_{BE} + V_{R_2} \qquad ۷ـ۱$$

مقاومت R_2 تثبیت حرارتی ترانزیستور TR_1 را به‌عهده دارد. استفاده از دو دیود D_1 و D_2 باعث می‌شود

۱ـ هر مدار عملی از سه دیود استفاده شده است.

که دیود بیس امیتر ترانزیستور همواره در منطقه هدایت قرار گیرد.

تغذیه کلکتور ترانزیستور از طریق بوبین L_{1C} واقع در ترانس اسیلاتور، سیم‌پیچ اولیه ترانس T_1 و خط $+V_{CC}$ تأمین می‌شود. در شکل ۸ـ۷ چگونگی بایاس ترانزیستور نشان داده شده است.



شکل ۸ـ۷ـ مدار بایاس کلکتور

۲ـ۳ـ۷ـ بررسی مدار کلکتور در حالت کلی:

ترانس L_{1A} که شامل دو بوبین L_{1A} و L_{1B} و هسته ferrite است، بوبین کادر آنتن را تشکیل می‌دهد (شکل ۷ـ۷).

خازنهای هم محور VC_1 و VC_2 همراه با تریمرهای T_{C1} و T_{C2} که در یک محفظه قرار دارند مجموعاً خازن واریابل را تشکیل می‌دهند.

ترانس T_2 که شامل بوبینهای L_{2C} و L_{2B} و L_{2A} است، به‌عنوان ترانس اسیلاتور استفاده می‌شود. رنگ هسته این ترانس برای موج متوسط معمولاً قرمز است. در گیرنده مورد نظر از رنگ شیری برای هسته ترانس اسیلاتور استفاده شده است.

ترانس T_3 به ترانس IF معروف است. رنگ هسته این ترانس برای موج متوسط معمولاً زرد است. در داخل قوطی ترانس IF یک خازن با سیم‌پیچ اولیه آن موازی شده است که تشکیل فیلتر میان گذر با فرکانس رزونانس ۴۵۵ کیلوهرتز را می‌دهد. چون این فرکانس همان فرکانس IF در گیرنده‌های سوپر هترودین است از این دو ترانس را نیز با همین نام می‌شناسند.

۳ـ۳ـ۷ـ بررسی قسمتهای مختلف مدار کلکتور:

به طور کلی مدار کلکتور را می‌توان در سه وضعیت زیر به طور خلاصه مورد بررسی قرار داد:

الف ـ چگونگی دریافت ایستگاه.

ب ـ ترانزیستور TR_1 به‌عنوان نوسانساز.

ج ـ ترانزیستور TR_1 به‌عنوان مخلوط‌کننده.

الف ـ چگونگی دریافت ایستگاه: اگر فرکانس ایستگاه مورد نظر f_g باشد، با تغییر خازن متغیر VC_1 فرکانس رزونانس مدار هماهنگ موازی برابر با f_g می‌شود. در این مدار هماهنگی عناصر L_{1A}، VC_1 و TC_1 قرار دارند، مقدار فرکانس رزونانس مدار هماهنگی از رابطه ۷ـ۲ به‌دست می‌آید.

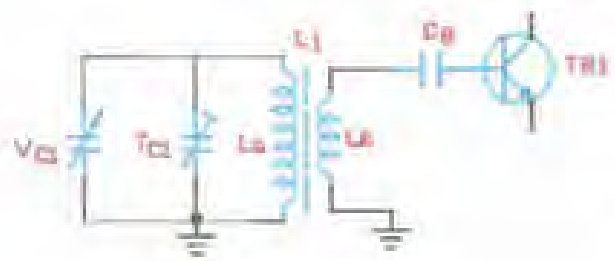
$$f_g = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_T}} \qquad ۷ـ۲$$

که در آن

$$C_T = C_{VC1} + C_{TC1}$$

است

در حالت رزونانس امپدانس مدار هماهنگ حداکثر و دامنه ولتاژ القا شده در دو سر L_{1A} و L_{1B} نیز حداکثر است. ولتاژ دو سر L_{1B} از طریق خازن کوپلاژ C_B به بیس ترانزیستور TR_1 می‌رسد. خازن C_B یک خازن کوپلاژ است که از اتصال کوتاه شدن ولتاژ تغذیه DC روی بیس ترانزیستور TR_1 از طریق L_{1B} به شاسی جلوگیری می‌کند (شکل ۹ـ۷).



شکل ۹ـ۷ـ مدار دریافت ایستگاه

ب ـ ترانزیستور TR_1 به عنوان نوسانساز محلی :

اسیلاتور به کاررفته در این مدار از نوع LC سینوسی است. از نقطه‌نظر مدار فیدبک، اسیلاتور از نوع آرمسترانگ است. چگونگی نوسانسازی در اسیلاتور آرمسترانگ در بخش اسیلاتورها آمده است. این اسیلاتور طبق شکل ۱۰ـ۷ از چهار قسمت اساسی به شرح زیر تشکیل می‌شود :

ـ مدار تانک (مدار هماهنگی) ـ مدار تانک اسیلاتور شامل سیمپیچهای L_D و L_F و خازنهای C_6، C_7، TC_2 و VC_2 است. فرکانس مدار هماهنگی که همان فرکانس نوسانهای اسیلاتور است، از رابطه ۳ـ۷ قابل محاسبه است :

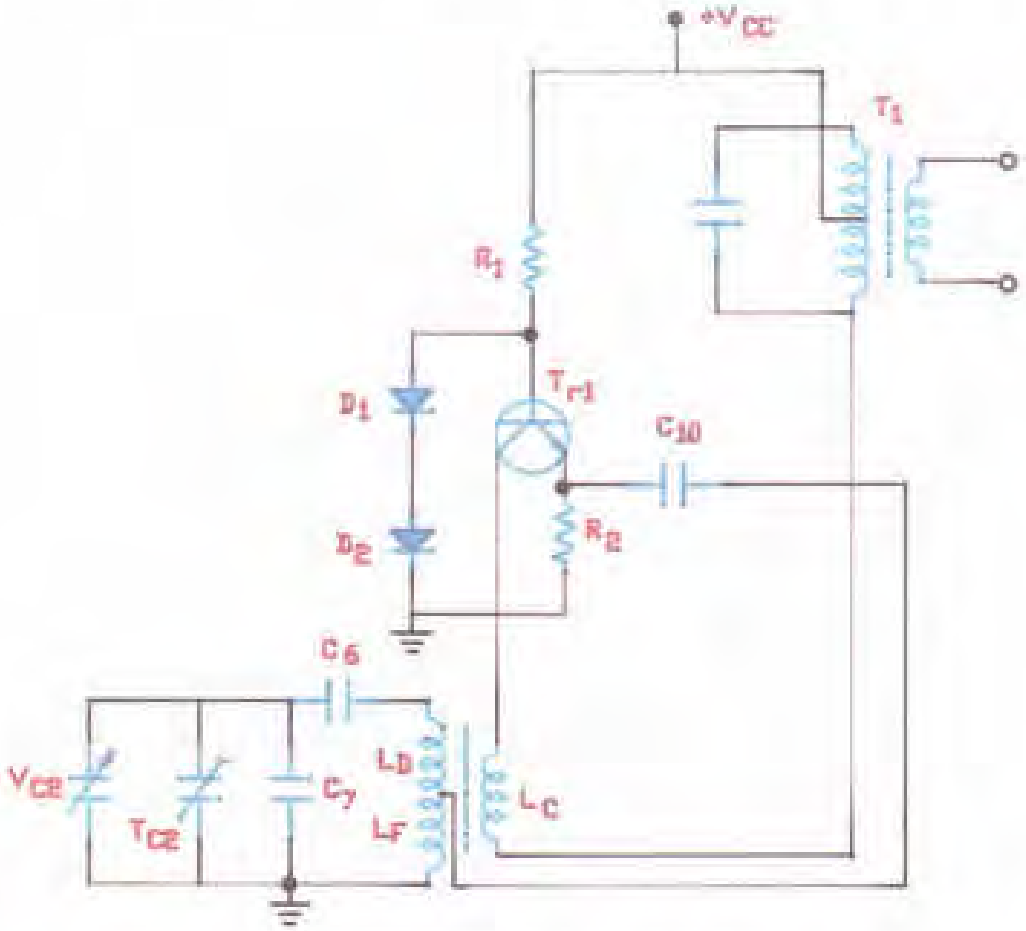
$$f_{LO} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_T C_T}} \qquad ۳ـ۷$$

که در آن

$$L_T = L_D + L_F$$

$$C_T = \frac{(C_{VC2} + C_{TC2} + C_7) \times C_6}{C_{VC2} + C_{TC2} + C_7 + C_6}$$

است. (از القای متقابل صرف نظر شده است) .



شکل ۱۰ـ۷ـ مدار ترانزیستور TR_1 به عنوان نوسانساز

هنگام انتخاب ایستگاه، ظرفیت خازن VC_2 همزمان با خازن VC_1 طوری تغییر می‌کند که همواره فرکانس اسیلاتور به اندازهٔ ۴۵۵ کیلوهرتز از فرکانس f_R بیشتر می‌شود.

ـ فیدبک مثبت اسیلاتور : برای نوسانسازی نیاز به فیدبک مثبت است. خازن C_1، امیتر ترانزیستور، کلکتور

ترانزیستور، بوبین L_{1C}، مدار هماهنگی اسیلاتور و بوبین L_{1B}، مسیر فیدبک مثبت را تشکیل می دهند. موسافهای میرای مدار تانک به امیتر ترانزیستور TR_1 می رسد و تقویت شده آن از کلکتور ترانزیستور دریافت می شود. چون ورودی مدار امیتر و خروجی آن کلکتور است، از این رو ترانزیستور TR_1 به صورت بیس مشترک عمل می کند و اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی آن صفر است.

در مسیر فیدبک، سیگنال ولتاژ از طریق L_{1B} به مدار هماهنگ اسیلاتور القا می شود و هیچگونه اختلاف فازی بین ولتاژ دو سر L_{1C} و L_{1B} به وجود نمی آید.

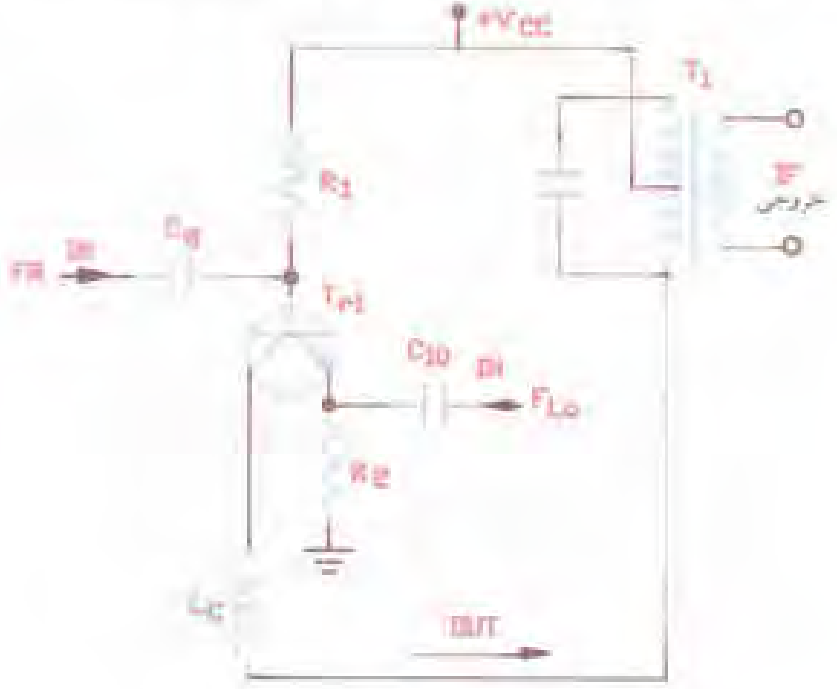
خازن C_{1} که به خازن فیدبک نیز معروف است، علاوه بر کوپلاژ سیگنال، از انتقال خورنده شدن ولتاژ DC امیتر ترانزیستور از طریق L_{1B} به شاسی جلوگیری می کند.

نکته قابل توجه این است که برای جلوگیری از افزایش میزان فیدبک مثبت، فقط قسمتی از سیگنال دو سر مدار هماهنگ اسیلاتور از طریق L_{1B} که خنثی از بوبین اسیلاتور است فیدبک شده است.

- تقویت کننده: ترانزیستور TR_1 عنصر فعال اسیلاتور است و به عنوان تقویت کننده استفاده می شود.

- منبع تغذیه: ولتاژ $+V_{CC}$ منبع تغذیه است که توسط اسیلاتور به سیگنال سینوسی مورد نظر تبدیل می شود.

ج - ترانزیستور TR_1 به عنوان میکسر: در مورد میکسر، سیگنال اسیلاتور با فرکانس F_{LO} به امیتر ترانزیستور T_{r1} و سیگنال ایستگاه فرستنده با فرکانس F_R به بیس آن کوپل می شود. این ترانزیستور علاوه بر فرکانسهای F_R و F_{LO}، مجموع و تفاضل آنها را نیز تقویت می کند. چون سیگنالهای خروجی از کلکتور ترانزیستور TR_1 دریافت می شود، بنابراین، این ترانزیستور برای فرکانس I_F به حالت امیتر مشترک و برای فرکانس F_{LO} به حالت بیس مشترک به کار رفته است (شکل ۱۱ ـ ۷).



شکل ۱۱ ـ ۷ ـ مدار ترانزیستور T_1 به عنوان میکسر

چون ترانس T_1 در خروجی ترانزیستور روی فرکانس ۴۵۵ کیلوهرتز تنظیم شده است، از این رو در ثانویه این ترانس فقط موج رادیویی با فرکانس ۴۵۵ کیلوهرتز ظاهر می شود و فرکانسهای دیگر حذف می شوند.

مثال ۱ـ۷ـ در شکل ۷ـ۱۷ اگر فرکانس ایستگاه دریافتی برابر با ۷۴۵ کیلوهرتز باشد، فرکانس اسیلاتور و فرکانسهای روی کلکتور ترانزیستور را محاسبه کنید.

پاسخ:

$$f_{L_O} = f_R + IF$$

فرکانس اسیلاتور بر حسب کیلوهرتز $f_{L_O} = ۷۴۵ + ۴۵۵ = ۱۲۰۰$

چهار فرکانس خروجی داریم که عبارت اند از:

۱) فرکانس ایستگاه دریافتی بر حسب کیلوهرتز $f_R = ۷۴۵$

۲) فرکانس اسیلاتور محلی بر حسب کیلوهرتز $f_{L_O} = ۱۲۰۰$

۳) فرکانس مجموع بر حسب کیلوهرتز $f_{L_O} + f_R = ۱۲۰۰ + ۷۴۵ = ۱۹۴۵$

۴) فرکانس تفاضل یا IF بر حسب کیلوهرتز $f_{L_O} - f_R = ۱۲۰۰ - ۷۴۵ = ۴۵۵$

۴ـ۷ـ خودآزمایی

با توجه به شکل ۷ـ۷ به سوالات زیر پاسخ دهید:

۱ـ۴ـ۷ـ برای انتخاب ایستگاهی با فرکانس f_R ظرفیت کدام یک از خازنها را باید تغییر داد؟

۲ـ۴ـ۷ـ وظایف خازن $C_۱$ را بنویسید.

۳ـ۴ـ۷ـ پایه های ورودی و خروجی ترانزیستور در وضعیت میکسر کدام اند؟

۴ـ۴ـ۷ـ اگر کنورتور روی ایستگاه بدون برنامه تنظیم شود فرکانس اسیلاتور چقدر است؟

۵ـ۴ـ۷ـ وظایف دیودهای $D_۱$ و $D_۲$ را بنویسید.

۶ـ۴ـ۷ـ اختلاف فاز بین سرهای اولیّه و ثانویه ترانس $T_۱$ چقدر است؟ دلیل آن را بنویسید.

(برای مطالعه، آغاز)

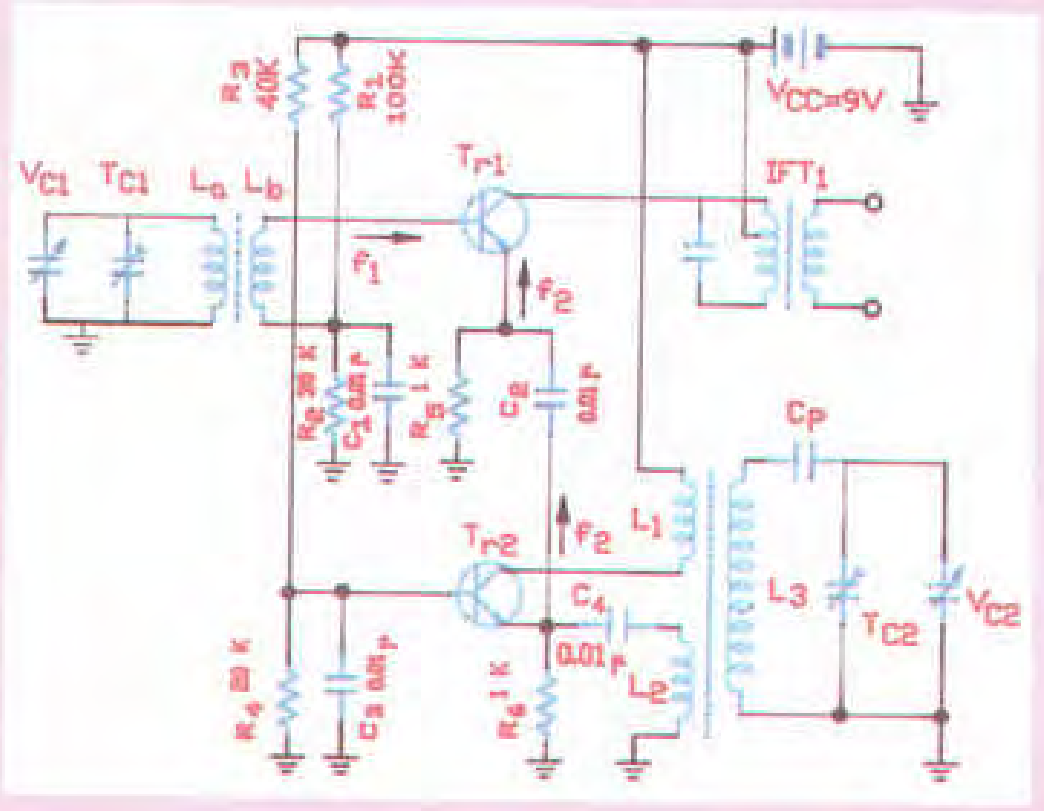
۵ـ۷ـ تجزیه و تحلیل مدار کنورتور دوترانزیستوری

در مدار کنورتور دوترانزیستوری، از یک ترانزیستور به عنوان مخلوط کننده و از ترانزیستور دیگر به عنوان اسیلاتور محلی استفاده می شود. در شکل ۱۲ـ۷ یک نمونه مدار کنورتور دوترانزیستوری رسم شده است.

ترانزیستور $TR_۱$ عمل مخلوط کنندگی و ترانزیستور $TR_۲$ عمل نوسانسازی را انجام می دهد.

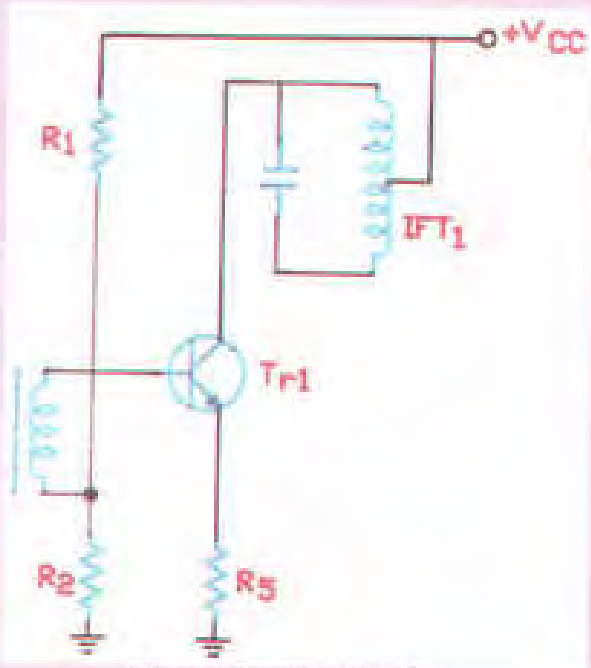
در این قسمت با بایاس ترانزیستورها، نحوهٔ نوسانسازی و مخلوط کنندگی به تفکیک مورد بررسی قرار می گیرد.

۱ـ۵ـ۷ـ بررسی DC مدار کنورتور دوترانزیستوری: در ترانزیستور $TR_۱$ امیتر به بیس از طریق مقاومتهای تأمین بایاس $R_۱$ و $R_۲$ تأمین می شود. مقاومت $R_۵$ برای پایداری حرارتی ترانزیستور است.



شکل ۱۲ـ۷ ـ مدار کنورتور ـ موترانزیستوری

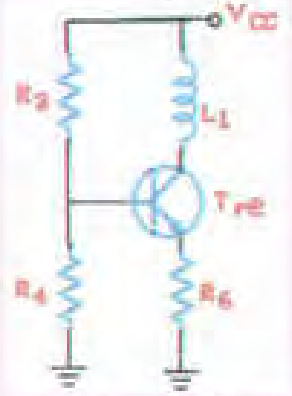
تغذیه کلکتور ترانزیستور TR از سر وسط اوکیه ترانس IFT تامین میشود. در شکل ۱۳ـ۷ بایاس ترانزیستور TR نشان داده شده است.



شکل ۱۳ـ۷ ـ بایاس ترانزیستور TR

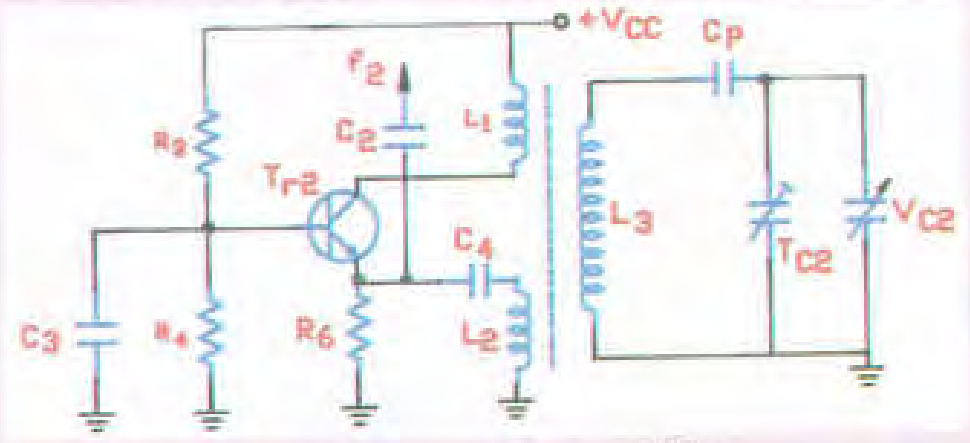
مقاومتهای R_5 و R_6 مقاومتهای تقسیم ولتاژ بوده و بایاس بیس ترانزیستور TR_2 را تأمین می‌کنند. ولتاژ تغذیه کلکتور TR_2 از طریق بوبین L_1 از خط تغذیه تأمین می‌شود. مقاومت R_3 برای پایداری حرارتی TR_2 است.

در شکل ۱۴-۷ بایاس ترانزیستور TR_2 نشان داده شده است.



شکل ۱۴-۷- بایاس ترانزیستور TR_2

۲-۵-۷- بررسی مدار اسیلاتور کنورتور دو ترانزیستوری : در شکل ۱۵-۷ مدار اسیلاتور جداگانه رسم شده است. خازن C_P مقاومت R_4 را به شاسی برای بایاس می‌کند؛ به عبارت دیگر ترانزیستور TR_2، به حالت بیس مشترک استفاده شده است. مدار هماهنگ اسیلاتور شامل المانهای C_P، VC_2، TC_2 و L_3 است که فرکانس رزونانس آن همان فرکانس اسیلاتور است، که در شکل با f_2 نشان داده شده است.



شکل ۱۵-۷- مدار اسیلاتور کنورتور دوترانزیستوری

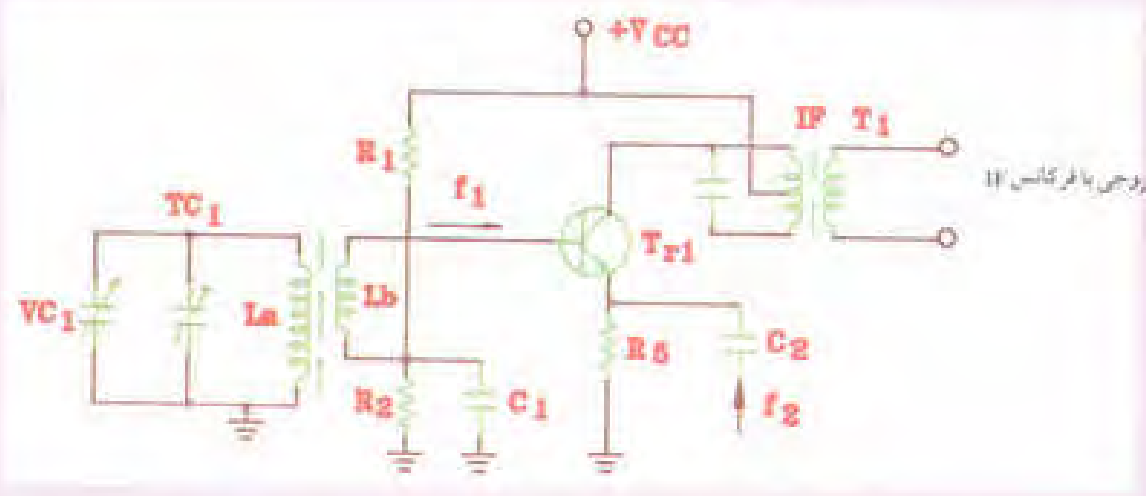
سیگنال فیدبک مثبت اسیلاتور از خازن C_2 شروع شده و پس از عبور از امیتر ترانزیستور TR_2، کلکتور ترانزیستور TR_2 و بوبینهای L_1 و L_3 و L_2 دوباره به خازن C_2 ختم می‌شود. خازن C_P برای کوپلاژ سیگنال فیدبک و جلوگیری از ورود ولتاژ DC امیتر TR_2 به سیم پیچ L_3 است.

سیگنال اسیلاتور با فرکانسی برابر با f_2 از امیتر ترانزیستور TR_2 وارد مدار میکسر می‌شود و از طریق خازن کوپلاژ C_3 به امیتر ترانزیستور TR_1 اعمال می‌شود. در کوپلاژ سیگنال اسیلاتور از امیتر TR_2 به امیتر TR_1 عمل تطبیق امپدانس بین دو طبقه نیز صورت گرفته است.

۳-۵-۷- بررسی مدار میکسر کنورتور دوترانزیستوری : فرکانس ایستگاه مورد نظر توسط مدار

هماهنگ VC_1، TC_1 و L_a انتخاب می‌شود. سیگنال ایستگاه انتخاب شده با فرکانس f_1 طبق شکل ۱۲ـ۷ به بیس ترانزیستور TR_1 اعمال شده است. خازن C_1 مقاومت R_2 را به شاسی بای‌پاس می‌کند.

سیگنال اسیلاتور لوکال با فرکانس f_2 به امیتر ترانزیستور اعمال می‌شود. ترانزیستور TR_1 عمل مخلوط کردن دو سیگنال با فرکانسهای f_1 و f_2 را انجام می‌دهد.



شکل ۱۲ـ۷ـ مدار میکسر در کنورتور دوترانزیستوری

در روی کلکتور TR_1 علاوه بر دو فرکانس f_2 و f_1، مجموع و تفاضل آنها نیز ظاهر می‌شود. توسط ترانس IFT_1 که مدار هماهنگ اولیه آن بروی فرکانس ۴۵۵ کیلوهرتز تنظیم شده است، فقط فرکانس تفاضلی که برابر با ۴۵۵ کیلوهرتز است انتخاب و به طبقه بعدی منتقل می‌شود.

در بعضی از مدارهای کنورتور دوترانزیستوری، ترانزیستور میکسر از ولتاژ AGC فرمان می‌گیرد و این خود از مزایای کنورتور دوترانزیستوری نسبت به کنورتور یک ترانزیستوری است. چراکه در کنورتورهای یک ترانزیستوری به علت ناپایدارشدن فرکانس اسیلاتور نمی‌توان از ولتاژ AGC فرمان گرفت. بررسی کار مدار AGC در فصل هشتم خواهد آمد.

۶ـ۷ـ خودآزمایی

با توجه به مدار شکل ۱۲ـ۷ به سوالات زیر پاسخ دهید:

۱ـ۶ـ۷ـ چرا مقاومتهای R_1 و R_2 به شاسی بای‌پاس شده است؟

۲ـ۶ـ۷ـ چرا سیگنال اسیلاتور از امیتر TR_1 به امیتر TR_1 کوپل شده است؟

۳ـ۶ـ۷ـ کدام یک از فرکانسهای f_1 و f_2 فرکانس مربوط به ایستگاه انتخاب شده است؟

۴ـ۶ـ۷ـ ترانزیستور TR_1 برای هریک از فرکانسهای f_1 و f_2 دارای چه آرایشی است؟

۵ـ۶ـ۷ـ با توجه به مقادیر المانها مقدار ولتاژ DC روی بیس هر ترانزیستور نسبت به شاسی حدوداً چقدر است؟

(برای مطالعه، پایان)

فصل هشتم

تقویت کننده IF، آشکارساز AM و AGC

هدفهای رفتاری : در پایان این فصل از فراگیر انتظار می رود که :

- وظایف کلی ترانسفورماتورهای IF را بیان کند .
- مدار تقویت کننده IF را تشریح کند .
- نحوهٔ کار عناصر طبقات تقویت کننده IF را تجزیه و تحلیل کند .
- وظیفهٔ آشکارساز AM را بیان کند .
- مدار آشکارساز دیودی را تشریح کند .
- نحوهٔ کار عناصر مدار آشکارساز دیودی را تجزیه و تحلیل کند .
- تفاوت بین آشکارساز دیودی و ترانزیستوری را بیان کند .
- وظیفه AGC در گیرنده رادیویی را شرح دهد .
- اساس کار مدار AGC را بیان کند .
- عمل مدار AGC را با رسم شکل شرح دهد .
- منظور از AGC معکوس را بیان کند .
- نحوهٔ کار عناصر استفاده شده در مدار AGC را تجزیه و تحلیل کند .
- در مورد ولتاژهای ورودی و خروجی مدار AGC توضیح دهد .
- اثر تغییر جهت دیود آشکارساز در ولتاژ AGC را بیان کند .
- منظور از AVC را توضیح دهد .

پیشگفتار

مدارهای تقویت کننده IF ، آشکارسازهای AM و کنترل اتوماتیک بهره (AGC)، قسمتهای اساسی گیرنده رادیویی را تشکیل می دهند . این مدارها ، به ترتیب بعد از تیونر قرار می گیرند و نقش آنها تقویت سیگنال ، آشکارسازی و کنترل دامنه سیگنال خروجی صوتی است .

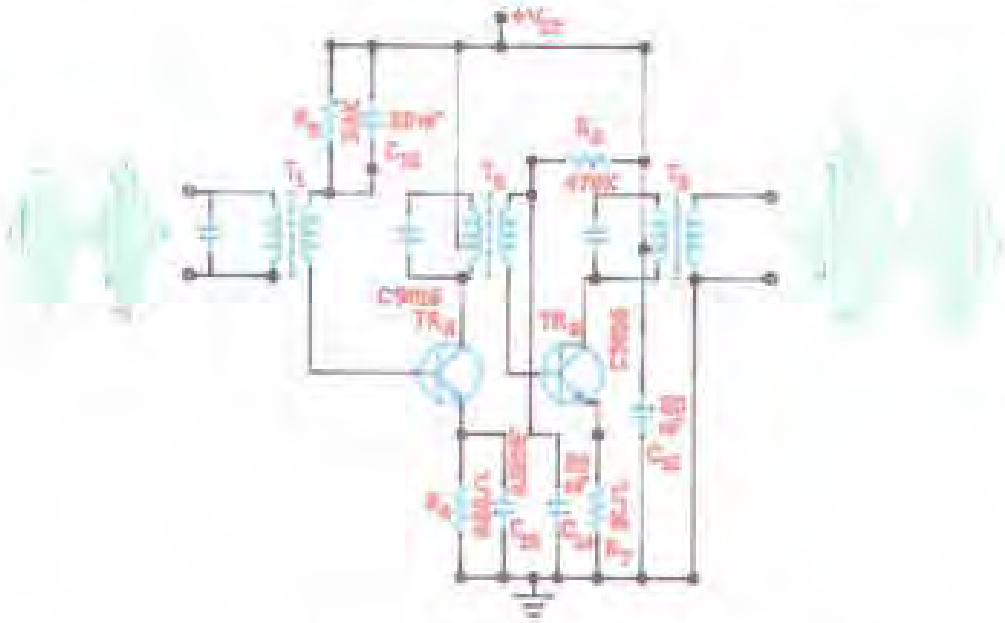
در این فصل اساس کار این نوع مدارها مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند .

۱ـ۸ـ تقویت کننده IF در گیرنده های رادیویی AM

در گیرنده های AM که دارای باند فرکانسی MW و SW هستند ، عمل تقویت سیگنال مدوله شده AM با فرکانس ۴۵۵ کیلوهرتز ، در طبقات تقویت کننده IF صورت می گیرد . برای این منظور ، در ورودی و خروجی طبقات تقویت کننده IF ترانسفورماتورهای IF را قرار می دهند . این

ترانسفورماتورها همگی روی فرکانس ۴۵۵ کیلوهرتز تنظیم می شوند .

طبقات تقویت کننده IF ممکن است دارای یک یا دو ترانزیستور باشد . کوپلاژ بین ترانزیستورها از نوع کوپلاژ ترانسفورماتوری است . در شکل ۱ـ۸ یک نمونه مدار تقویت کننده IF دوترانزیستوری رسم شده است . این مدار در گیرنده AM مورد آزمایش در آزمایشگاه استفاده می شود که به شرح آن می پردازیم .



شکل ۱ـ۸ ـ مدار تقویت کننده IF دوترانزیستوری

۱ـ۱ـ۸ـ بررسی حالت DC در تقویت کننده IF :

در حالت DC کلیه خازنها اتصال باز هستند . ترانزیستور TR_1 اولین طبقه تقویت کننده IF است . بایاس بیس این ترانزیستور به وسیله مقاومت R_1 و از طریق خط تغذیه $+V_{CC}$ تأمین می شود . مقاومت R_2 تثبیت حرارتی ترانزیستور را به عهده دارد و امیتر را به قطب منفی خط تغذیه اتصال می دهد .

تغذیه کلکتور ترانزیستور TR_1 از طریق سر وسط اولیه ترانسفورماتور T_1 که به Vcc متصل است تأمین می شود .

در ترانزیستور TR_2 که دومین طبقه تقویت کننده IF را تشکیل می دهد ، نحوهٔ تأمین بایاس ، مشابه ترانزیستور TR_1 است . در این مدار ، تغذیه بیس از طریق مقاومت R_3 ، تغذیه امیتر از طریق مقاومت R_4 و تغذیه کلکتور از سر وسط اولیه ترانسفورماتور T_2 تأمین می شود . مقاومت R_4 تثبیت حرارتی ترانزیستور TR_2 را به عهده دارد .

۲ـ۱ـ۸ـ بررسی شرایط AC تقویت کننده IF :

ترانزیستور TR_1 به صورت امیتر مشترک اتصال دارد . ترانسفورماتور T_1 که از نوع کاهنده است ، سیگنال مدوله شده AM ورودی را به بیس ترانزیستور TR_1 القا می کند . سیم پیچ اولیه این ترانسفورماتور با یک خازن موازی می شود و فرکانس رزونانس آن ۴۵۵ کیلوهرتز است . ترانسفورماتور T_2 که مشابه ترانسفورماتور T_1 است در خروجی تقویت کننده TR_1 قرار دارد . خازن C_{12} خازن بای پاس مقاومت R_2 و خازن C_{13} خازن بای پاس

مقاومت R_9 است .

ترانزیستور TR_3 نیز به صورت امیتر مشترک بسته شده است . در ورودی این ترانزیستور ترانسفورماتور T_2 و در خروجی آن ترانسفورماتور T_3 قرار گرفته است . ترانسفورماتورهای T_1 و T_2 ترانسفورماتورهای آی اف نامیده می شوند .

ترانسفورماتورهای IF که به عنوان بار الفایی مورد استفاده قرار می گیرند، باعث افزایش راندمان تقویت کننده های IF می شود. وظایف ترانسفورماتورهای IF در این تقویت کننده ها به طور خلاصه به شرح زیر است :

الف ـ جلوگیری از تداخل ولتاژ DC بین طبقات

ب ـ تطبیق امپدانس ورودی و خروجی بین طبقات

ج ـ تأمین بایاس ترانزیستورهای تقویت کننده IF

به عنوان مثال ترانسفورماتور T_2 را در نظر می گیریم :

اولاً مانع از اتصال ولتاژ DC کلکتور ترانزیستور TR_2 به بیس ترانزیستور TR_3 می شود . ثانیاً امپدانس خروجی ترانزیستور TR_2 را به امپدانس ورودی ترانزیستور TR_3 تطبیق می دهد . ثالثاً اولیه این ترانسفورماتور بایاس DC کلکتور ترانزیستور TR_2 و ثانویه آن بایاس بیس ترانزیستور TR_3 را تأمین می کند .

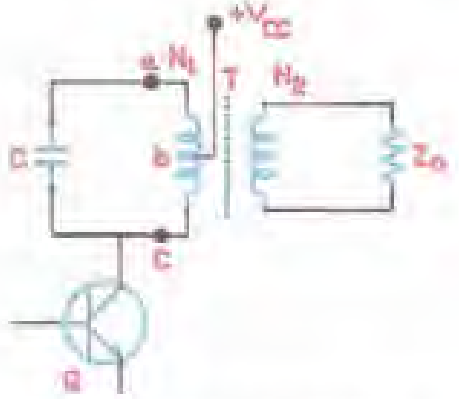
خازن C_{10} انتهای بالایی ثانویه ترانسفورماتور T_2 را از نظر سیگنال AC به شاسی بای پاس می کند. همچنین خازن C_{11} سرو سط اولیه ترانسفورماتور T_3 را از نظر سیگنال AC به شاسی بای پاس می کند .

توجه داشته باشید که تقویت کننده TR_3 فاقد خازن بای پاس امیتر است ، بلکه مست در امیتر این ترانزیستور سیگنال AM وجود دارد که با سیگنال بیس هم فاز و با سیگنال کلکتور در فاز مخالف است . وجود سیگنال در امیتر TR_3 موجب فیدبک منفی در تقویت کننده می شود. این فیدبک منفی گین مدار را کاهش می دهد و دامنه سیگنال خروجی را کم می کند .

۳ـ۱ـ۸ـ نکات مهم در تقویت کننده IF : هسته ترانسفورماتورهای IF قابل تنظیم است . در رادیوهای AM که دارای دو طبقه تقویت کننده IF هستند رنگ هسته های T_1 ، T_2 و T_3 به ترتیب زرد، سفید و مشکی است .

ـ بهره ولتاژ در تقویت کننده IF توسط مدار AGC کنترل می شود که شرح آن در قسمتهای بعدی خواهد آمد .

ـ کلکتور ترانزیستورهای تقویت کننده IF از سرو سط اولیه ترانسفورماتورهای IF تغذیه می شود که این خود باعث جلوگیری از بارگذاری ترانسفورماتورهای IF روی کلکتور ترانزیستور می شود . در شکل ۲ـ۸ یک نمونه مدار ترانسفورماتور IF نشان داده شده است .



شکل ۲ـ۸ ـ ترانسفورماتور IF با تغذیه از سرو سط

فرض می کنیم Z_{in} بار ثانویه ترانسفورماتور T باشد . اگر تعداد حلقه های بین سرهای a و c ترانس T برابر با N_1 و تعداد حلقه های ثانویه آن برابر با N_2 باشد و تغذیه کلکتور ترانزیستور Q از سرو سط یعنی b تأمین شده باشد، با فرض ایده آل بودن ترانسفورماتور، امپدانس بین سرهای a و c برابر است با :

$$Z_{in} = (\frac{N_1}{N_2})^2 \times Z_o$$

چون خط تغذیه از نظر سیگنال AC به شاسی بای پاس شده است ، بنابراین امپدانس بین سرهای b و c اولیه ترانسفورماتور برابر است با :

$$Z_{in} = (\frac{N_1/2}{N_2})^2 \times Z_o = (\frac{N_1}{N_2})^2 \times \frac{Z_o}{4}$$

با مقایسه Z_{in} و Z_{out} ملاحظه می‌شود که $Z_{out} = \frac{Z_{in}}{۲}$ است. در عمل، کمتر از نصف سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور IF بین خط تغذیه و کلکتور ترانزیستور IF قرار می‌گیرد. در نتیجه، امپدانس روی کلکتور ترانزیستور خیلی کم است.

در تقویت کننده‌های IF دو طبقه کم کردن امپدانس روی کلکتور طبقه اول باعث تطبیق امپدانس بیشتر بین خروجی طبقه اول و ورودی طبقه دوم می‌شود.

۲ـ۸ـ خودآزمایی

۱ـ۲ـ۸ـ در یک تقویت کننده IF معمولاً چند ترانسفورماتور IF به‌کار می‌رود؟

۲ـ۲ـ۸ـ وظایف ترانسفورماتورهای IF چیست؟ شرح دهید.

۳ـ۲ـ۸ـ در گیرنده رادیویی AM تقویت کننده IF چه فرکانسی را تقویت می‌کند؟

۴ـ۲ـ۸ـ بهره ولتاژ تقویت کننده IF توسط چه مداری کنترل می‌شود؟

۵ـ۲ـ۸ـ در شکل ۱ـ۸ نقش ترانزیستورهای $TR_۲$ و $TR_۳$ را بنویسید.

۶ـ۲ـ۸ـ در شکل ۱ـ۸ وظیفه خازنهای $C_{۱۴}$ و $C_{۱۵}$ را بنویسید.

۷ـ۲ـ۸ـ در شکل ۱ـ۸ نحوه بایاسینگ ترانزیستور $TR_۳$ را شرح دهید.

۸ـ۲ـ۸ـ در تقویت کننده‌های IF چرا تغذیه کلکتور ترانزیستورها از سرووسط اولیه ترانسفورماتورهای IF تأمین می‌شود؟ با رسم شکل شرح دهید.

۳ـ۸ـ آشکارساز AM

پیاده کردن سیگنال پیام از روی سیگنال کاریر را آشکارسازی[۱] یا دمدولاسیون[۲] می‌نامند. در گیرنده‌های AM سوپرهترودین سیگنال مدوله‌شده با فرکانس IF که مساوی ۴۵۵ کیلوهرتز است در میکسر تولید می‌شود. این سیگنال توسط طبقات تقویت کننده IF تقویت می‌شود. سیگنال تقویت شده از طریق ترانسفورماتور IF به مدار آشکارساز اعمال می‌شود. به مدار آشکارساز مدار دتکتور[۳] یا دمدولاتور[۴] نیز می‌گویند. مدار آشکارساز ممکن است دیودی یا ترانزیستوری باشد. در آشکارساز دیودی، دیود به‌عنوان یکسوساز و در آشکارساز ترانزیستوری، ترانزیستور به عنوان یکسوساز و تقویت کننده عمل می‌کند.

به آشکارساز ترانزیستوری، آشکارساز قدرت[۵] نیز می‌گویند. برای حذف فرکانس ۴۵۵ کیلوهرتز، در خروجی آشکارساز یک فیلتر پایین گذر قرار می‌دهند.

۱ـ۳ـ۸ـ مدار آشکارساز با طبقات تقویت IF و کنورتور: در شکل ۳ـ۸ مدار آشکارساز دیودی همراه با بلوک دیاگرام طبقات تقویت کننده IF، اسیلاتور و میکسر آمده است.

سیگنال رادیویی با فرکانس f_R همراه با سیگنال اسیلاتور محلی با فرکانس f_{L_O} به بیس ترانزیستور میکسر اعمال می‌شود. در خروجی میکسر سیگنال رادیویی IF با فرکانس $IF = f_{L_O} - f_R = ۴۵۵$ کیلوهرتز تولید می‌شود. سیگنالهای f_R و f_{L_O} و IF در شکل ۳ـ۸ نشان داده شده‌اند. سیگنال رادیویی IF توسط طبقات تقویت کننده $I_۱$ و $I_۲$ تقویت می‌شود. این سیگنال در ثانویه ترانسفورماتور $IFT_۳$ ولتاژ v_i را تولید می‌کند (سیگنال a).

---

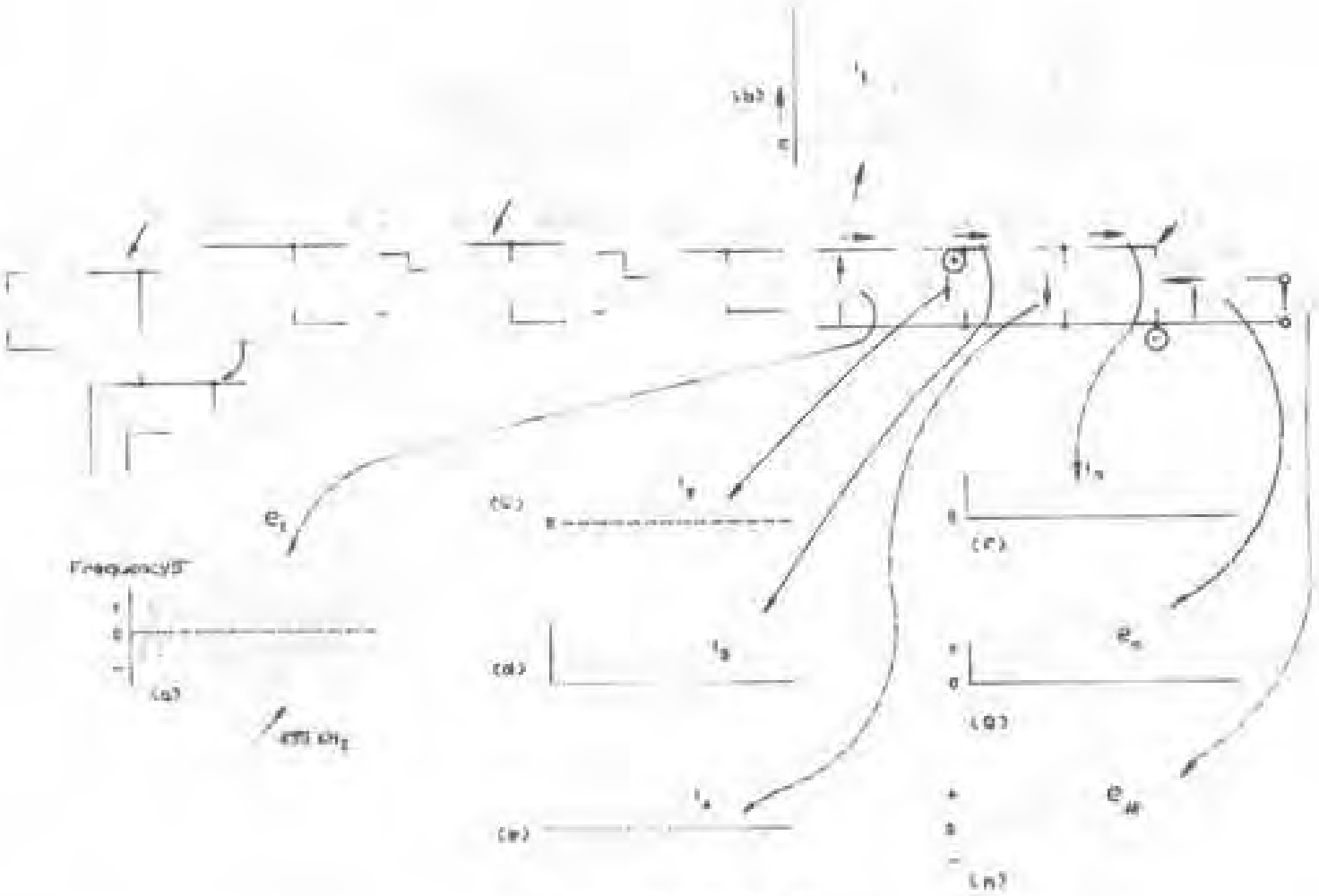
۱ - Detection

۲ - Demodulation

۳ - Detector

۴ - Demodulator

۵ - Power Detector



شکل ۸-۳ ـ مدار آشکارساز دیودی

۸-۳-۲ ـ بررسی سیگنالهای ولتاژ و جریان در مدار آشکارساز : سیگنال e_1 توسط دیود آشکارساز (اکسو) می‌شود و سیگنال (b) را به وجود می‌آورد. خازنهای C_1 و C_2 همراه با مقاومت R_1 فیلتر پایین گذر π را تشکیل می‌دهند. این فیلتر، فرکانس ۴۵۵ کیلوهرتز را حذف می‌کند.

قسمتی از ریپل یا ضربان موج یکسو شده توسط خازن C_1 به زمین یا پس می‌شود. جریان i_1 در شکل (C) نشان داده شده است.

جریان i_2 که از مقاومت R_1 عبور می‌کند شامل سیگنال صوتی همراه با مولفه ضعیفی از سیگنال ۴۵۵ کیلوهرتز و مولفه DC است. شکل موج جریان i_2 را در قسمت (d) مشاهده کنید. جریان i_2 که از خازن C_2 عبور می‌کند بقیه ریپل مربوط به سیگنال IF است (شکل موج e).

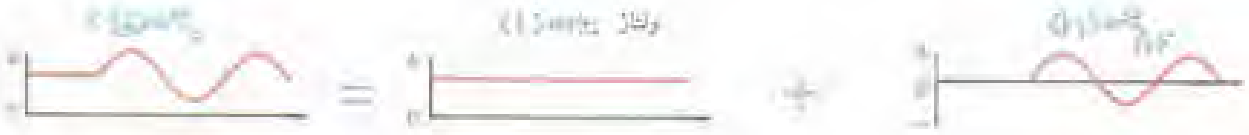
جریان i_3 که از ولوم R_2 عبور می‌کند، شامل سیگنال صوتی همراه با مولفه DC است (شکل موج f).

با عبور جریان i_3 از ولوم R_2 سیگنال ولتاژ e_{in} در خروجی آن پدید می‌آید (شکل موج g).

سیگنال e_{in} از خازن کوپلاژ C_3 عبور می‌کند، مولفه DC آن حذف می‌شود و سیگنال صوتی e_{AF} به دست می‌آید (شکل موج h).

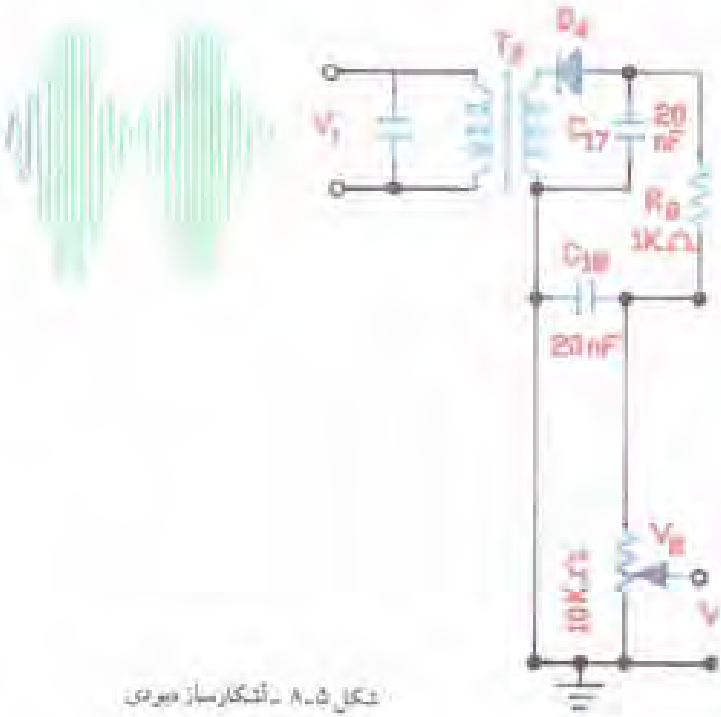
همان طور که در شکل ۸-۲ مشاهده می‌شود،

سیگنال e_0 از سیگنال صوتی e_{AF} و مولفه DC تشکیل شده است. از مولفه DC همراه با سیگنال صوتی برای تهیه ولتاژ AGC استفاده می‌شود.



شکل ۸-۴ ـ سیگنال صوتی با مولفه DC

۸-۳-۳ـ تحلیل مدار آشکارساز در یک گیرنده رادیویی تجارتی: در شکل ۸-۵ نوع دیگری از آشکارساز دیودی رسم شده است. در این مدار جهت دیود برعکس شده است.



شکل ۸-۵ ـ آشکارساز دیودی

سیگنال V_1 با مدولاسیون دامنه و با فرکانس IF مساوی ۴۵۵ کیلوهرتز به ورودی مدار اعمال می‌شود. این سیگنال از طریق ترانسفورماتور T_8 به دیود D_9 می‌رسد. سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور T_8 با یک خازن موازی شده است. فرکانس رزونانس این مدار هماهنگی ۴۵۵ کیلوهرتز است. دیود D_9 عمل یکسوسازی را انجام می‌دهد و قسمت مثبت سیگنال ورودی را حذف می‌کند. خازنهای C_{17} و C_{18} با مقاومت R_9 تشکیل فیلتر پایین گذر نوع π را می‌دهند که برای حذف فرکانس ۴۵۵ کیلوهرتز به کار می‌رود.

سیگنال صوتی خروجی همراه با مولفه DC منفی آن، از دو سر خروجی ولوم V_R دریافت می‌شود.

۸-۴ـ خودآزمایی

۸-۴-۱ـ منظور از دمدولاسیون چیست؟ شرح دهید.

۸-۴-۲ـ فرق دمدولاتور با مدولاتور چیست؟ شرح دهید.

۸-۴-۳ـ وظیفهٔ دیود در آشکارساز دیودی چیست؟ شرح دهید.

۸-۴-۴ـ چرا در خروجی آشکارساز AM از یک فیلتر پایین گذر استفاده می‌شود؟

۸-۴-۵ـ سیگنال خروجی آشکارساز AM صوتی است یا رادیویی؟

۸-۴-۶ـ یک مدار آشکارساز ساده دیودی رسم کنید و طرز کار آن را بنویسید.

۸-۴-۷ـ فرق بین آشکارساز دیودی با ترانزیستوری در چیست؟

۸-۴-۸ـ از مولفه DC خروجی آشکارساز چه استفاده‌ای می‌شود.

۹ـ۴ـ۸ـ مراحل انجام دمدولاسیون را با مراحل انجام مدولاسیون مقایسه کنید.

۱۰ـ۴ـ۸ـ چرا در ورودی آشکارساز AM از یک ترانسفورماتور IF استفاده می شود؟

۵ـ۸ـ کنترل اتوماتیک بهره (AGC)

در گیرنده های رادیویی اغلب به علت برخورد سیگنالهای رادیویی از زوایای مختلف به آنتن گیرنده و تغییرات جوی، سیگنال واردشده به گیرنده ضعیف یا قوی می شود. این تغییرات باعث کم و زیادشدن صدا در بلندگو می شود. برای ثابت ماندن صدا در بلندگو از مدار AGC استفاده می شود. این مدار بهرهٔ مدار تقویت کنندهٔ IF را به طور اتوماتیک کنترل می کند.

به مدار کنترل اتوماتیک بهره، مدار AVC[1] یا کنترل اتوماتیک حجم صدا نیز گفته می شود.

۱ـ۵ـ۸ـ اساس کار مدار کنترل اتوماتیک بهره: در گیرنده های رادیویی، مدار کنترل اتوماتیک بهره معمولاً یک فیلتر پایین گذر است. ورودی این فیلتر، سیگنال صوتی حاصل از خروجی آشکارساز AM است که دارای مولفه DC نیز هست. از خروجی این فیلتر مولفه DC ولتاژ صوتی دریافت می شود. مولفهٔ DC ممکن است دارای پلاریته مثبت یا منفی باشد. مقدار ولتاژ خروجی فیلتر با ضعیف و قوی شدن سیگنال دریافتی کم و زیاد می شود. ولتاژ DC خروجی مدار AGC به تقویت کننده IF اعمال می شود. در شکل ۶ـ۸ بلوک دیاگرام مدار AGC آمده است.

۲ـ۵ـ۸ـ تحلیل مدار AGC با تقویت کننده آی اف از نوع FET: در تقویت کننده های IF با تغییر ولتاژ بایاس ترانزیستور FET یا BJT بهرهٔ ولتاژ مدار تغییر می کند. در گیرنده های رادیویی از AGC معکوس استفاده می شود، یعنی ولتاژ AGC طوری به تقویت کنندهٔ IF اعمال می شود که با افزایش آن بایاس مستقیم ترانزیستور تقویت کنندهٔ IF کاهش یابد. با کم شدن بایاس ترانزیستور ضریب تقویت مدار کاهش می یابد. در شکل ۷ـ۸ یک نمونه مدار تقویت کنندهٔ IF با ترانزیستور FET به انضمام مدارهای آشکارساز و AGC رسم شده است.

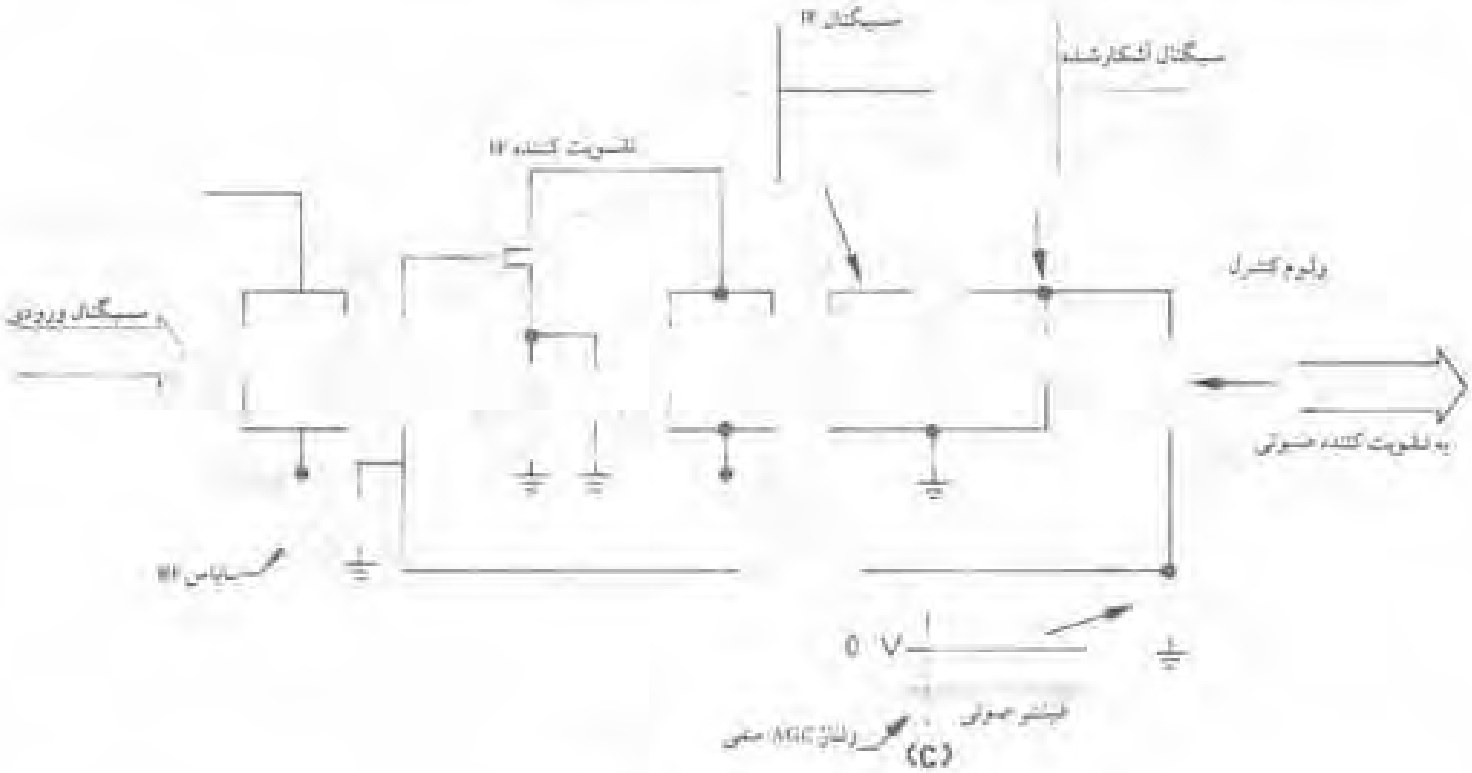
شکل ۶ـ۸ ـ بلوک دیاگرام مدار AGC

در این مدار ترانزیستور Q_1 که به صورت سورس مشترک به کار رفته است عمل تقویت IF را انجام می دهد. ترانسفورماتورهای T_1 و T_2 ترانسفورماتورهای IF هستند که فقط فرکانس ۴۵۵ کیلوهرتز را از اولیه به ثانویه القا می کنند.

سر پایینی ثانویه ترانسفورماتور T_1 از طریق خازن C_2

۱ـ Automatic Volume Control

به شاسی بای پاس شده است. R_S مقاومت سورس و C_S خازن بای پاس R_S است. سیگنال تقویت شده IF از طریق ترانسفورماتور T_2 به کاتد دیود آشکارساز D اعمال می شود (سیگنال a در شکل ۸ـ۷).



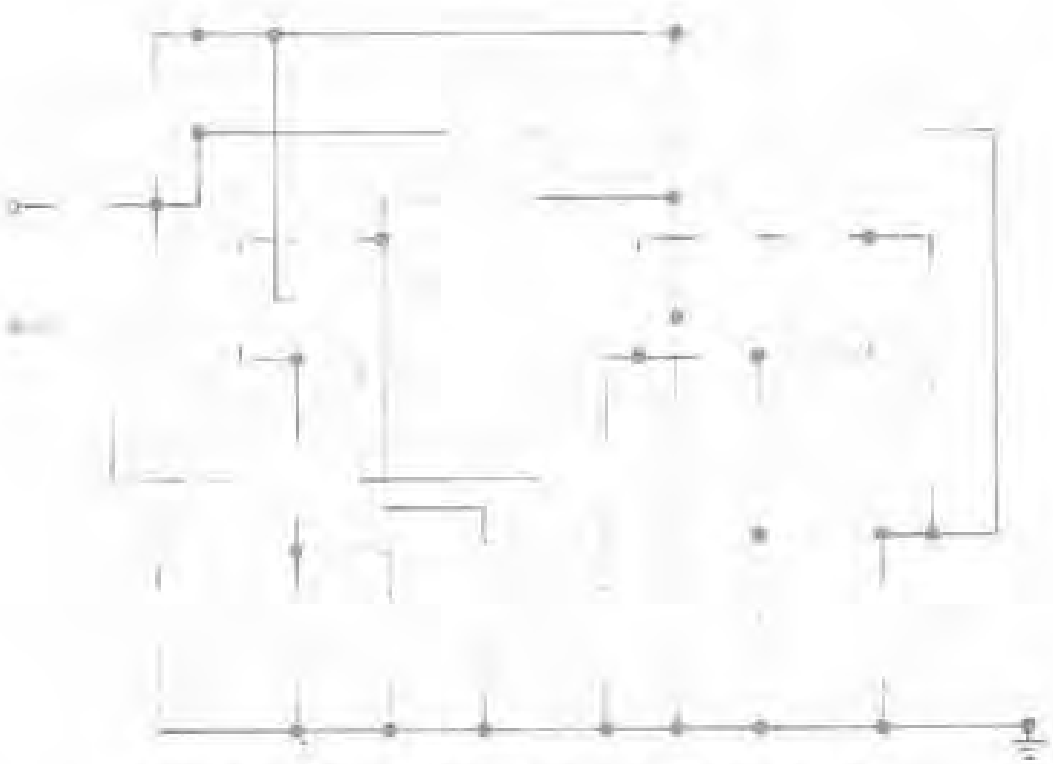
شکل ۸ـ۷ ـ مدار فاصل AGC و تقویت کننده IF و آشکارساز

دیود D همراه با خازن C_1 عمل آشکارسازی را انجام می دهد. سیگنال آشکارشده از طریق ولوم V_R به تقویت کننده صوتی می رسد. چون سیگنال آشکارشده از قند دیود D گرفته می شود، بنابراین طبق سیگنال b در شکل ۸ـ۷ دارای مولفه DC منفی است. مقاومت R همراه با خازنهای C و C_2 تشکیل یک فیلتر پایین گذر می دهد که مدار AGC است.

ظرفیت خازن C به اندازهٔ کافی بالاست و می تواند سیگنال صوتی را به شاسی بای پاس کند. بنابراین طبق سیگنال c در شکل ۸ـ۷ ولتاژ دوسر این خازن DC منفی است. این ولتاژ از طریق مقاومت R به گیت ترانزیستور FET برگشت داده می شود. هرچند سیگنال نقطهٔ a در شکل ۸ـ۷ قوی باشد، مقدار مولفه DC دوسر خازن C منفی تر می شود. این ولتاژ منفی بایاس پایه گیت ترانزیستور FET را کمتر می کند. کاهش بایاس گیت موجب کاهش بهره این ترانزیستور می شود.

هرچه سیگنال ورودی آشکارساز ضعیفتر باشد، مولفه DC دوسر خازن C کمتر منفی می شود (به سمت مثبت می رود) و باعث افزایش ولتاژ گیت ترانزیستور Q_1 و افزایش بهره آن می شود.

۸ـ۵ـ۳ـ تحلیل مدار AGC در یک گیرنده رادیویی تجارتی: مدار تقویت کننده IF دوطبقه با ترانزیستورهای BJT به انضمام مدارهای آشکارساز و AGC که مربوط به یک نوع گیرنده رادیویی تجارتی است را در شکل ۸ـ۸ ملاحظه کنید.



شکل ۸ـ۸ ـ مدار AGC و تقویت کننده IF و آشکارساز در یک گیرنده رادیویی تجارتی

در قسمتهای پیشین، مدارهای تقویت کننده IF و آشکارساز تشریح شده است. مدار AGC شامل المانهای R_9 و C_{11} است. این المانها تشکیل فیلتر پایین‌گذر RC را می‌دهند. سیگنال ورودی این فیلتر سیگنال صوتی با مولفه DC منفی است. این سیگنال از سرپالای ولوم VR دریافت می‌شود. خازن C_{11} با ظرفیت ۱۰ میکروفاراد، سیگنال صوتی را حذف می‌کند. مقدار ولتاژ دوسر این خازن بستگی به میزان ولتاژ DC خروجی آشکارساز دارد. هرچه سیگنال ورودی آشکارساز قویتر باشد، مقدار ولتاژ DC خروجی آن منفی‌تر می‌شود. منفی‌تر شدن این ولتاژ باعث منفی‌تر شدن ولتاژ دوسر خازن C_{11} می‌شود. از آنجا که این ولتاژ از طریق ثانویه ترانسفورماتور T_1 به بیس ترانزیستور TR_2 می‌رسد، ولتاژ بایاس موافق دیود بیس امیتر TR_2 را کاهش می‌دهد. با کاهش بایاس ترانزیستور TR_2 گین مدار کاهش می‌یابد[1]. بدیهی است هرقدر سیگنال ورودی مدار آشکارساز ضعیف‌تر باشد، ولتاژ DC آن مثبت‌تر می‌شود. با افزایش این ولتاژ بایاس دیود بیس امیتر TR_2 بیشتر خواهد شد که در نهایت گین مدار افزایش می‌یابد.

توجه داشته باشید که اگر در این مدار از ترانزیستور PNP به عنوان تقویت کننده IF استفاده شود باید ولتاژ AGC به امیتر ترانزیستور اعمال شود.

۸ـ۶ـ خودآزمایی

۸ـ۶ـ۱ـ منظور از AGC چیست؟

۸ـ۶ـ۲ـ منظور از AVC چیست؟

۸ـ۶ـ۳ـ اساس کار مدار AGC را شرح دهید.

۸ـ۶ـ۴ـ AGC معکوس چیست؟ شرح دهید.

۸ـ۶ـ۵ـ سیگنالهای ورودی و خروجی مدار AGC کدام‌اند؟

۸ـ۶ـ۶ـ چگونگی تغییر بهره تقویت کننده IF با ولتاژ AGC را بیان کنید.

۱ـ این نوع AGC را AGC معکوس می‌نامند.

فصل نهم

بررسی طبقات صوتی و منبع تغذیه

هدفهای رفتاری : در پایان این فصل از فراگیر انتظار می رود که :

- وظیفهٔ تقویت کننده صوتی را توضیح دهد .
- بلوک دیاگرام مدار داخلی یک نمونه آی سی تقویت کنندهٔ صوت را رسم کند و کار هر بلوک را توضیح دهد .
- به سوالات مربوط به تقویت کنندهٔ صوتی پاسخ دهد .

۱. منبع تغذیه بدون رگولاتور را شرح دهد .	(برای مطالعه)
۲. عیب منبع تغذیه بدون رگولاتور را بیان کند .	(برای مطالعه)
۳. منبع تغذیه با رگولاتور ولتاژ را شرح دهد .	(برای مطالعه)
۴. به سوالات مربوط به منبع تغذیه پاسخ دهد .	(برای مطالعه)

پیشگفتار

طبقات تقویت ولتاژ و قدرت صوت که قبل از بلندگو در رادیو قرار می گیرند، جریان مورد نیاز بلندگو را تأمین می کنند. امروزه از مدارهای متنوعی برای طبقات صوتی رادیو استفاده می شود. آی سی های تقویت کنندهٔ صوت کاربرد زیادی در گیرنده های رادیویی دارند. در این فصل مدار داخلی یک نمونه آی سی تقویت کنندهٔ سیگنال صوتی به صورت بلوک دیاگرام و دو نمونه مدار تغذیه را به طور مختصر مورد بررسی قرار خواهیم داد .

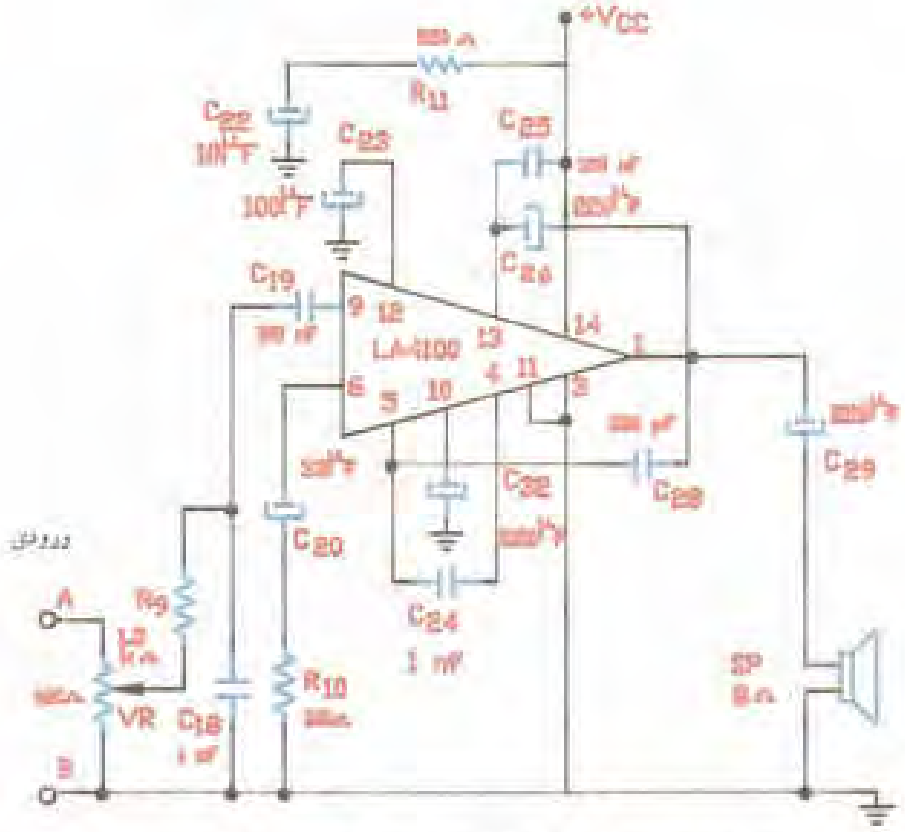
۹ـ۱ ـ بررسی طبقات صوتی رادیو

در شکل ۹ـ۱ یک نمونه مدار کامل تقویت کنندهٔ صوتی با استفاده از آی سی LA۴۱۰۰ نشان داده شده است. پایهٔ شمارهٔ ۱۴ آی سی به قطب مثبت خط تغذیه $+V_{cc}$ و پایهٔ شمارهٔ ۳ به قطب منفی (شاسی) اتصال دارد .

سیگنال صوتی از طریق ولوم VR و مقاومت R_9 و خازن C_{10} به پایهٔ شمارهٔ ۹ آی سی اعمال می شود. سیگنال تقویت شده از پایهٔ شمارهٔ یک آی سی دریافت می شود و از طریق خازن کوپلاژ C_{12} به بلندگو می رسد. با تغییر ولوم VR ، دامنهٔ سیگنال ورودی آی سی تغییر می کند و صدای بلندگو کم و زیاد می شود .

هرچه سر آزاد ولوم به نقطهٔ A نزدیکتر شود، صدای بلندگو قویتر و هرچه سرآزاد ولوم به نقطهٔ B نزدیکتر شود، صدای بلندگو ضعیفتر می شود .

مقاومت R_9 برای افزایش امپدانس ورودی آی سی است. خازن C_{10} به منظور کوپلاژ سیگنال صوتی و جلوگیری از عبور ولتاژ DC مورد استفاده قرار گرفته است. خازن C_{13} فرکانسهای بالا را که همراه با فرکانس صوتی وارد مدار می شود به شاسی بای پاس می کند .



شکل ۱ـ۹ـ مدار کامل تقویت کننده صوتی رادیو با آی سی ۱۸ ۴۱۰۰

خازنهای $C_{۲۳}$ و $C_{۲۲}$ به ترتیب سیگنال پایه های ۱۰ و ۱۲ آی سی را به شاسی برای پاس می کنند. خازنهای $C_{۲۷}$ و $C_{۲۵}$ و $C_{۲۶}$ و $C_{۲۸}$ خازنهای فیلتر هستند.

فیلتر پایین گذر شامل مقاومت $R_{۱۱}$ و خازن $C_{۲۲}$ از تأثیر سیگنال صوتی روی خط تغذیه جلوگیری به عمل می آورد. این مدار به شبکه دی کوپلینگ[1] معروف است.

آمپلی فایر مورد بحث با ولتاژ تغذیه ۶ ولت کار می کند و حداکثر دامنهٔ سیگنال خروجی برابر با ۳ ولت است.

مثال ۱ـ۹ـ با توجه به مدار شکل ۱ـ۹ اگر ولتاژ خط تغذیه ۶ ولت باشد حداکثر قدرت اعمال شده به بلندگو و ماکزیمم جریان آن چقدر است ؟

پاسخ :

$$P_O = \frac{V_{OPP}^2}{8R_L} = \frac{۶^2}{8 \times 8} = ۵۶۲/۵mW$$

$$I_{OMAX} = \frac{V_{OMAX}}{R_L} = \frac{۳}{8} = ۳۷۵mA$$

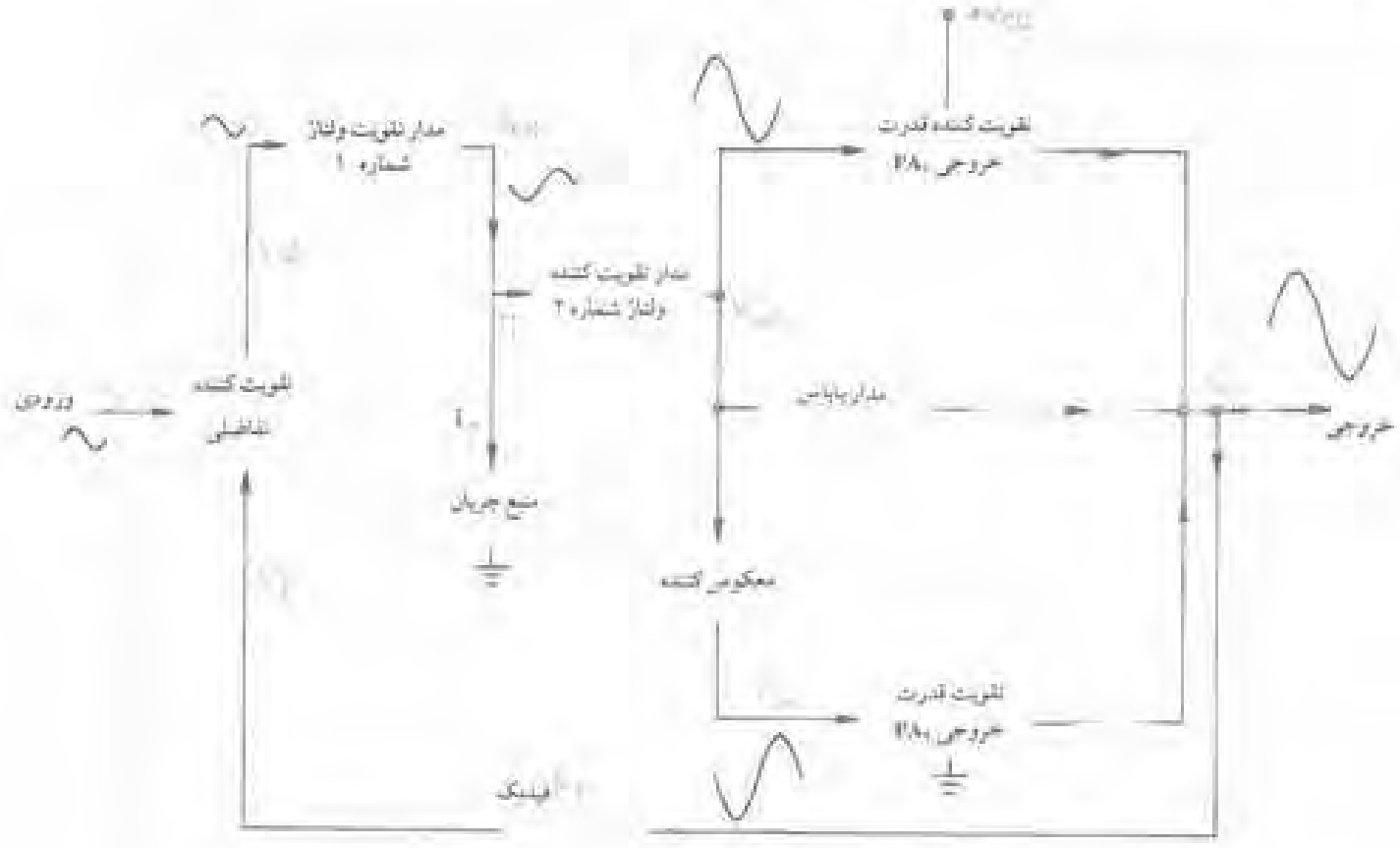
---

۱ ـ Decoupling

۱ـ۱ـ۹ـ بلوک دیاگرام مدار داخلی آی سی LA۴۱۰۰ : در شکل ۲ـ۹ بلوک دیاگرام مدار داخلی آی‌سی LA۴۱۰۰ آمده است ، کارهریک از طبقات داخلی آی سی به شرح زیر است :

۲ـ۱ـ۹ـ تقویت کننده تفاضلی : سیگنال V_1 ورودی همراه با سیگنال فیدبک V_f به ورودی تقویت کننده تفاضلی اعمال می‌شود . سیگنال $V_{(2)}$ تقویت شده تفاضل دو سیگنال V_1 و V_f است که با ورودی V_1 همفاز است .

تقویت کننده تفاضلی با امپدانس ورودی زیاد و امپدانس خروجی کم عمل تقویت اولیه ولتاژ را انجام می دهد .



شکل ۲ـ۹ـ بلوک دیاگرام مدار داخلی آی سی LA۴۱۰۰

۳ـ۱ـ۹ـ مدار تقویت کننده ولتاژ شماره ۱ : وظیفه این طبقه تقویت دامنه ولتاژ صوت است . سیگنال خروجی $V_{(2)}$ نسبت به سیگنال ورودی یعنی $V_{(1)}$ باندازهٔ ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد .

۴ـ۱ـ۹ـ منبع جریان I_0 : منبع جریان برای تثبیت جریان I_0 است . چون مجموع دو جریان I_0 و I_1 جریان خروجی تقویت کننده ولتاژ شماره۱ را تشکیل می دهد ، ازاین رو با ثابت ماندن I_0 تمامی تغییرات جریان خروجی تقویت کننده ولتاژ شماره ۱ به ورودی تقویت کننده ولتاژ شماره ۲ اعمال می شود .

۵ـ۱ـ۹ـ مدار تقویت کننده ولتاژ شماره ۲ : وظیفه این طبقه نیز مانند مدار تقویت کننده ولتاژ شمارهٔ ۱ تقویت

دامنهٔ سیگنال صوتی V_{O1} است .

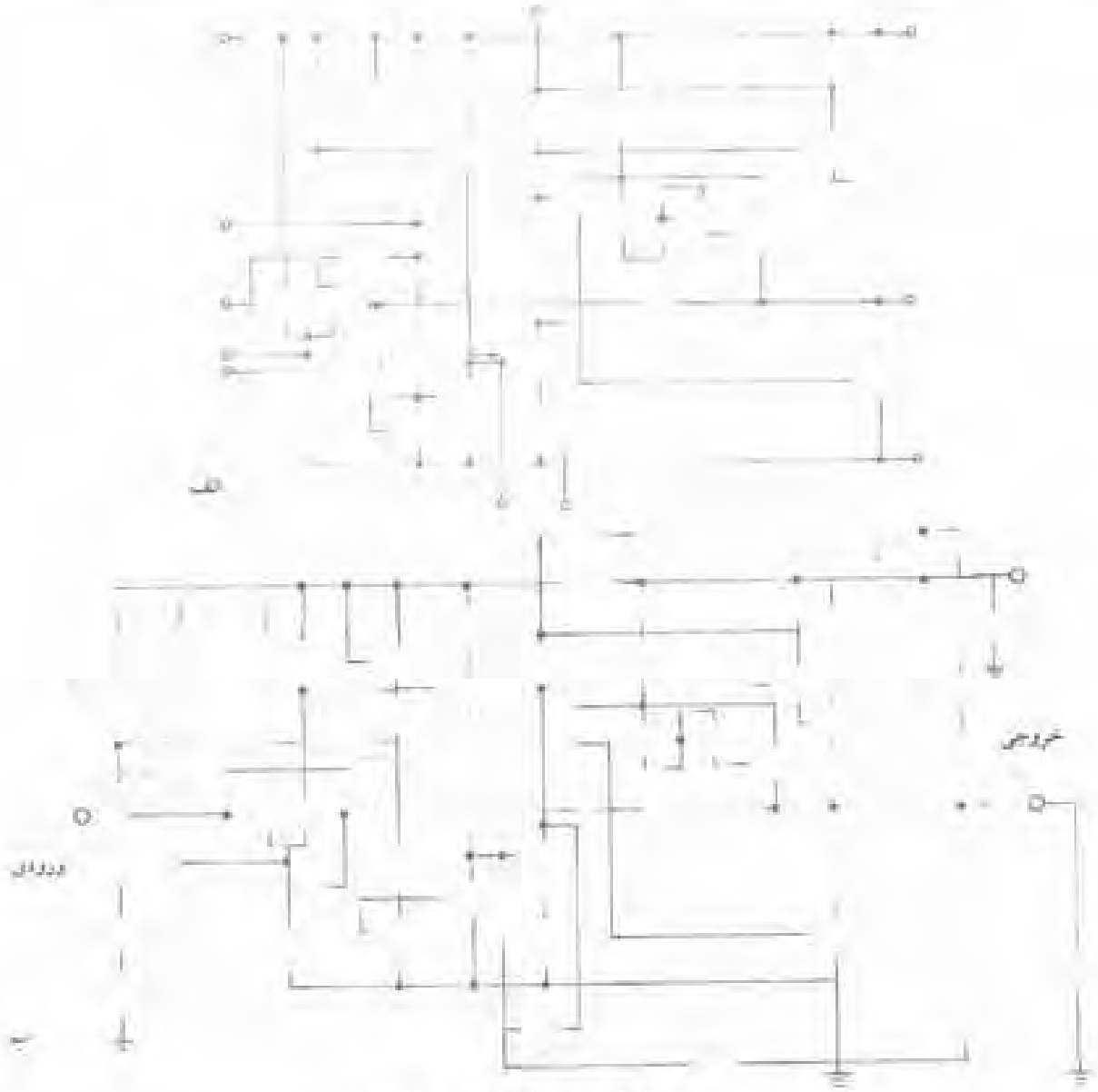
سیگنال تقویت شده خروجی V_{O2} نسبت به V_{O1} به اندازهٔ ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد .

۶ـ۱ـ۹ـ مدار معکوس کننده : چون در ورودی طبقات تقویت کننده قدرت نیاز به دو سیگنال با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز است ، لذا از طبقه معکوس کننده که یک ترانزیستور امیتر مشترک است استفاده می شود .

۷ـ۱ـ۹ـ طبقات تقویت کننده قدرت خروجی : تقویت کننده های PA_1 و PA_2 تقویت کننده پوش پول با ترانزیستورهای مشابه هستند . این مدارها عمل تقویت قدرت سیگنال خروجی را انجام می دهند .

۸ـ۱ـ۹ـ مدار بایاس : مدار بایاس ، طبقات تقویت قدرت خروجی را در کلاس AB قرار می دهد تا سیگنال خروجی بدون اعوجاج باشد .

۹ـ۱ـ۹ـ مدار داخلی آی سی LA۴۱۰۰ : در شکل الف ۳ـ۹[1] مدار داخلی آی سی LA۴۱۰۰ و در شکل ب ۳ـ۹[2] چگونگی بایاس المانهای داخلی و اتصالات خارجی آی سی آمده است .



شکل ۳ـ۹ـ مدار داخلی آی سی LA۴۱۰۰

۱ و ۲ ـ این تصاویر را با مقیاس بزرگتر در ضمیمه فصل ۱۲ شکل های ۲ـ۱۲ و ۵ـ۱۲ در صفحات ۱۹۱ و ۱۹۲ آمده است در صورت نیاز به آن ها مراجعه کنید .

با توجه به بلوک دیاگرام شکل ۲ـ۹ و مدار شکل الف ۳ـ۹ عناصر الکترونیکی مربوط به هریک از طبقات به شرح زیر است :

۱. ترانزیستورهای TR_1 و TR_2 به عنوان تقویت کننده تفاضلی هستند .

۲. ترانزیستور TR_3 طبقه تقویت کننده ولتاژ شماره ۱ و ترانزیستور TR_4 مدار تقویت کننده ولتاژ شماره ۲ است .

۳. ترانزیستورهای TR_5 و TR_6 و TR_7 منبع جریان I_O را تشکیل می دهند . ترانزیستورهای TR_5 و TR_6 هریک مانند یک دیود عمل می کنند .

۴. ترانزیستور TR_8 طبقهٔ معکوس کننده است .

۵. ترانزیستورهای TR_9 و TR_{10} و TR_{11} مدار بایاس ترانزیستورهای قدرت خروجی هستند .

۶. ترانزیستورهای TR_{12} و TR_{13} و TR_{14} طبقه قدرت خروجی را تشکیل می دهند.

۲ـ۹ـ خودآزمایی

۱ـ۲ـ۹ـ بلوک دیاگرام مدار داخلی آی سی LA۴۱۰۰ را رسم کنید . کار هر بلوک را به طور مختصر بنویسید .

۲ـ۲ـ۹ـ با توجه به شکل ۳ـ۹ به سوالات زیر پاسخ دهید .

الف ـ مدار منبع جریان از چه المانهایی تشکیل شده است ؟ نام ببرید .

ب ـ اختلاف پتانسیل DC بین نقطه I و O چقدر است؟

ج ـ اختلاف فاز بین سیگنالهای V_I و V_O چقدر است ؟

د ـ ترانزیستورهای TR_9 و TR_{10} هریک در چه حالتی به کار گرفته شده اند؟ (امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک) .

هـ ـ وظیفه مقاومتهای R_8 و R_{11} را بنویسید .

و ـ اختلاف فاز بین سیگنالهای V_{O_1} و V_{O_2} چقدر است ؟

(برای مطالعه ، آغاز)

۳ـ۹ـ منبع تغذیه در گیرنده های رادیویی

منبع تغذیه در گیرنده های رادیویی ممکن است از نوع بدون رگولاتور ولتاژ یا با رگولاتور ولتاژ باشد. در این قسمت به عنوان نمونه به بررسی هریک از انواع فوق می پردازیم .

۱ـ۳ـ۹ـ بررسی مدار منبع تغذیه بدون رگولاتور ولتاژ : مدار منبع تغذیه بدون رگولاتور معمولاً از سه قسمت زیر تشکیل شده است :

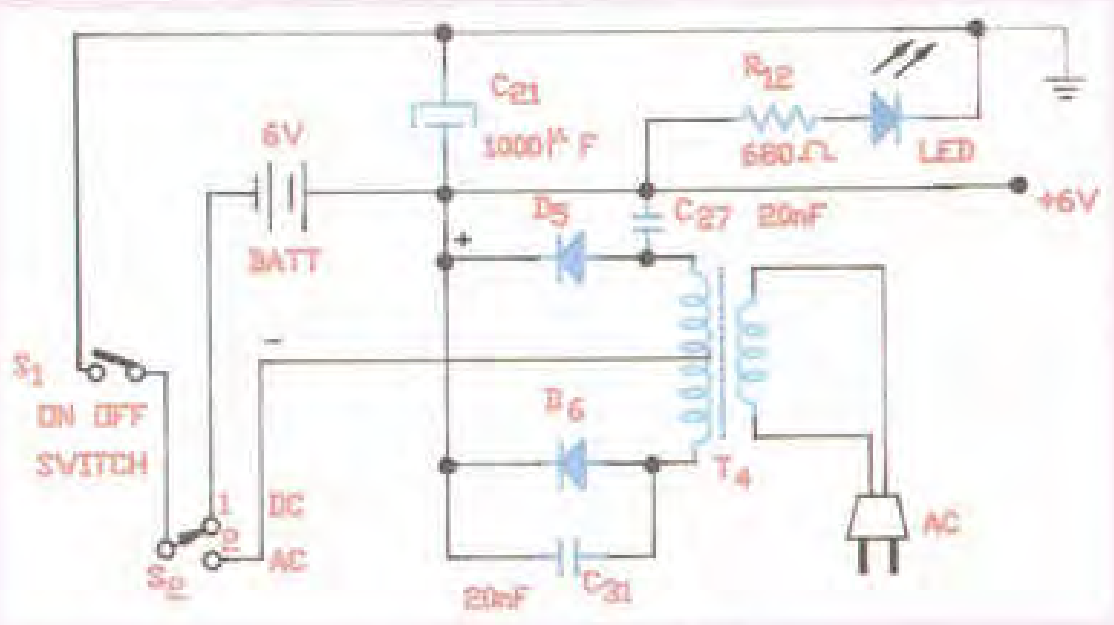
الف ـ ترانس تغذیه

ب ـ دیودهای یکسوساز

ج ـ خازن صافی

در شکل ۴ـ۹ مدار کامل یک منبع تغذیه بدون رگولاتور ولتاژ نشان داده شده است. منابع انرژی تأمین کننده ولتاژ این منبع تغذیه، ولتاژ AC با فرکانس ۵۰ هرتز و ۲۲۰ ولت مؤثر و باتری ۶ ولتی است .

ولتاژ خروجی منبع تغذیه ۶ ولت است. T_r ترانسفورماتور تغذیه است که ولتاژ اولیه آن ۲۲۰ ولت و ولتاژ ثانویه آن ۶ ـ ۰ ـ ۶ ولت (مؤثر) است .



شکل ۴ـ۹ـ مدار منبع تغذیه بدون رگولاتور ولتاژ

دیودهای D_5 و D_6 دیودهای یکسوساز هستند. خازنهای C_{27} و C_{21} که با دیودهای D_5 و D_6 به صورت موازی بسته شده‌اند، خازنهای سرج[1] نامیده می‌شوند. این خازنها ضربه‌های ناشی از یک جریان را که هنگام روشن کردن مدار منبع تغذیه به وجود می‌آید، جذب می‌کنند و مانع آسیب رسیدن به دیودها می‌شوند.

خازن C_{21} با ظرفیت ۱۰۰۰ میکروفاراد به عنوان صافی به کار رفته است. با بسته شدن کلید S_1 دستگاه روشن می‌شود. توسط کلید S_2 ولتاژ DC یا AC انتخاب می‌شود.

درصورتی که کلید S_2 را ببندیم و کلید S_2 را در وضعیت DC قرار دهیم، قطب منفی باتری به خط شاسی وصل می‌شود. اگر کلید $DC.AC$ را در وضعیت AC قرار دهیم، سرِ وسط ثانویه ترانسفورماتور T_4 به شاسی اتصال می‌یابد.

دیود نورِدهنده LED نشان می‌دهد که منبع تغذیه درست کار می‌کند. با روشن شدن LED متوجه می‌شویم که در خروجی مدار منبع تغذیه ولتاژ وجود دارد. مقاومت R_{12} جریان دیود LED را کنترل می‌کند.

از آن‌جا که در این مدار از رگولاتور ولتاژ استفاده نشده است، بنابراین، مقدار ولتاژ خروجی منبع تغذیه بستگی به میزان جریان مصرفی گیرنده رادیو دارد.

اگر گیرنده رادیو روشن باشد و ولوم صدا روی حداقل قرار گیرد مقدار ولتاژ دوسر خازن C_{21} از رابطه ۱ـ۹ به دست می‌آید:

$$V_O = V_m - V_D \qquad ۹ـ۱$$

که در آن

۱ـ Surge در اینجا به معنی ضربه گیر است.

ولتاژ DC دو سر خازن $C_{۱۱}$ — V_O

حداکثر ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور — V_m

ولتاژ دو سر دیود — V_D

است.

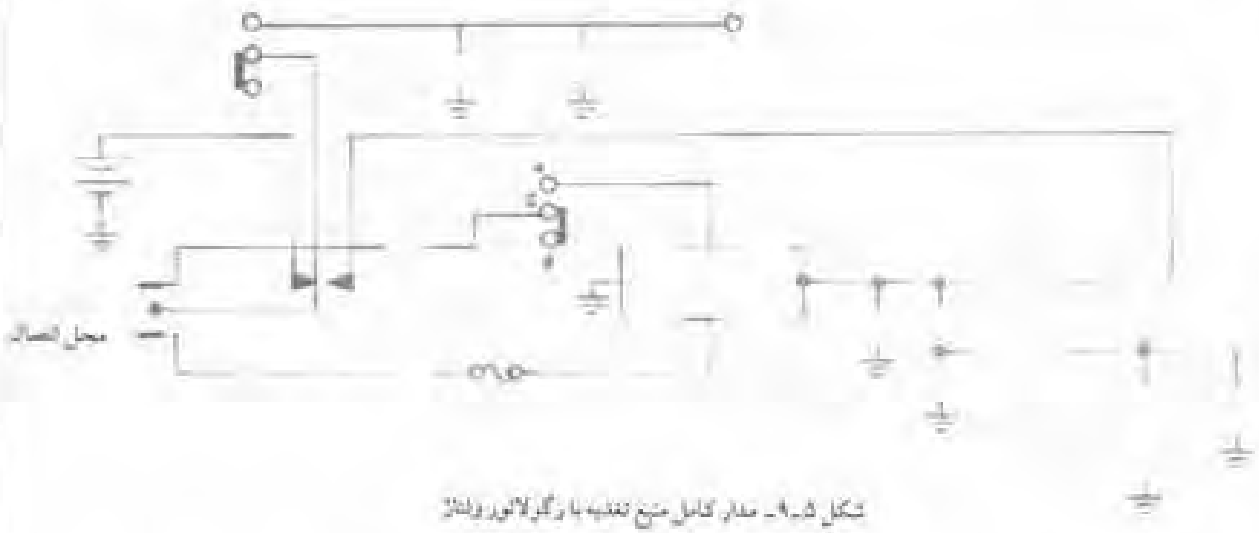
با توجه به مقادیر ولتاژ مؤثر ثانویهٔ ترانسفورماتور و ولتاژ دو سر دیود، مقدار ولتاژ V_O برابر است با:

$$V_O = \sqrt{۲} \times ۶ - ۰/۶ = ۱/۴ \times ۶ - ۰/۶ = ۸/۴ - ۰/۶ = ۷/۸ \text{ ولت}$$

اگر رادیو روشن باشد و صدای آن زیاد شود، به علت افزایش جریان مصرفی مقدار ولتاژ خروجی کاهش می‌یابد و حداقل به ۶ ولت و حتی کمتر از ۶ ولت می‌رسد.

تغییرات ولتاژ خروجی منبع تغذیه در اثر تغییرات جریان مصرفی از جمله معایب عمده این نوع منابع تغذیه است.

۲-۳-۹- بررسی مدار منبع تغذیه با رگولاتور ولتاژ: در شکل ۵-۹ مدار کامل منبع تغذیه با رگولاتور ولتاژ نشان داده شده است. ولتاژ ورودی این منبع تغذیه ۲۲۰ ولت AC و ولتاژ خروجی آن ۹ ولت DC است. باتری ۹ ولتی نیز به طور جداگانه می‌تواند گیرنده رادیویی را تغذیه کند. کلید S برای خاموش و روشن کردن دستگاه به کار می‌رود. این کلید دارای ۶ پایه است که در حالت خاموش ترمینال ۴ به ۳ و ترمینال ۵ به ۶ اتصال کوتاه می‌شود. در این حالت اتصال‌های "۱ به "۲ و "۴ به "۵ بار است.



شکل ۵-۹- مدار کامل منبع تغذیه با رگولاتور ولتاژ

هنگامی که گیرنده را روشن می‌کنیم، ترمینالهای ۱ به ۲ و ۳ به ۵ اتصال کوتاه می‌شود و جریان ناشی از باتری با نیروی محرکه در مدار جاری می‌شود. در حالتی که ورودی منبع تغذیه به ۲۲۰ ولت AC اتصال ندارد سیمهای a و b اتصال کوتاه بوده و باتری ۹ ولتی در مدار قرار می‌گیرد. با اتصال جک مربوط به سیم رابط ۲۲۰ ولت به ورودی دستگاه ارتباط سیم b با a قطع و b به c اتصال کوتاه می‌شود. در این حالت باتری ۹ ولتی از مدار خارج می‌شود.

ترانسفورماتور PT[1] دارای ولتاژ اولیه ۲۲۰ ولت و ثانویه ۱۲ ولت موج‌دار است و ترانسفورماتور قدرت نامیده می‌شود. فیوز F حفاظت منبع تغذیه را در مقابل جریان اضافی به عهده دارد. چهار دیود D_1، D_2، D_3 و D_4 دیودهای یکسوساز پل را تشکیل می‌دهند.

خازن C_1 با ظرفیت ۱۰۰۰ میکروفاراد خازن صافی منبع تغذیه است. ترانزیستور Q و دیودهای زنر D_5 و D_6 مدار رگولاتور ولتاژ سری را تشکیل می‌دهد.

ترانزیستور Q که به حالت کلکتور مشترک به کار رفته است عمل تقویت جریان را انجام می‌دهد.

دیودهای زنر D_5 و D_6 با ولتاژ شکست ۴/۷ ولت به‌طور سری قرار دارند و ولتاژ بیس ترانزیستور Q را روی مقدار $2\times4/7=9/4$ ولت ثابت نگه می‌دارند.

به منظور حذف ریپل، از دو فیلتر پایین گذر R_1C_1 و R_4C_2 استفاده شده است. مقاومتهای R_1 و R_4 علاوه بر داشتن در عمل صافی به‌طور سری قرار دارند و مقاومتهای تقسیم ولتاژ هستند. این مقاومتها بایاس دیودهای زنر را تأمین می‌کنند. ولتاژ خروجی رگولاتور از ولتاژ دو سر زنر در حدود ۰/۷ ولت کمتر است و در حالت استفاده از AC تقریباً برابر ۸/۴ ولت و در حالت DC حدود ۹ ولت است.

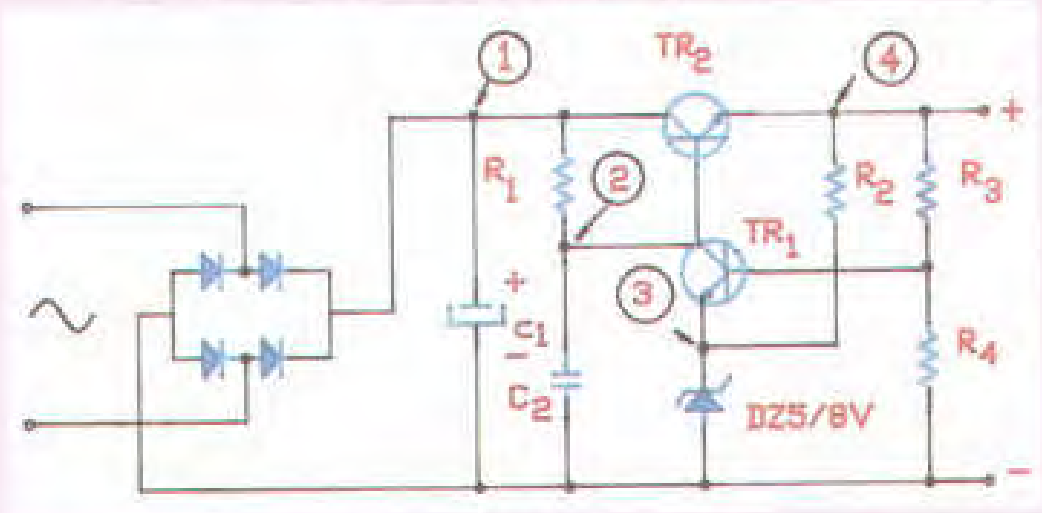
مقاومت R_5 که در خروجی رگولاتور قرار دارد به‌عنوان مصرف کننده عمل می‌کند. خازن C_3 خازن صافی خروجی رگولاتور است.

۴-۹- خودآزمایی

۱-۴-۹- اشکال منبع تغذیه بدون رگولاتور ولتاژ در چیست؟

۲-۴-۹- وظیفه ترانسفورماتور تغذیه در منابع تغذیه چیست؟

۳-۴-۹- مدار شکل زیر یک منبع تغذیه با رگولاتور ولتاژ است. طرز کار مدار را بنویسید.



شکل ۹-۰

۱ـ Power Transformator

۴ـ۴ـ۹ـ در سؤال ۳ـ۴ـ۹ اگر مدار به‌طور عادی کار کند ولتاژ در نقاطی که روی شکل مشخص شده به شرح زیر است:

شمارهٔ نقطه	②	③	④	①
ولتاژ	۱۲/۲ ولت	۵/۸ ولت	۱۳ ولت	۱۶ ولت

با توجه به نقشه، در صورتی که منبع تغذیه معیوب باشد و ولتاژ نقاط ۱ تا ۴ به شرح زیر تغییر کند در هر حالت قطعهٔ معیوب را مشخص کنید.

۵ـ۴ـ۹ـ الف: DZ باز است

ب: R_1 باز است

ج: C_4 باز است

د: C_4 اتصال کوتاه است

شماره نقطه	①	②	③	④
ولتاژ	۱۶V	۱۵V	۱۴/۵V	۱۴/۵V

۶ـ۴ـ۹ـ الف: R_2 باز است

ب: C_1 باز است

ج: بیس و امیتر TR_1 باز است

د: بیس و امیتر TR_1 اتصال کوتاه است

شماره نقطه	①	②	③	④
ولتاژ	۱۱V	۶V	۲/۸V	۵V

۷ـ۴ـ۹ـ الف: R_1 اتصال کوتاه است

ب: C_3 باز است

ج: DZ اتصال کوتاه است

د: هیچ کدام

شماره نقطه	①	②	③	④
ولتاژ	۱۴/۵V	۲/۱V	۰V	۱/۵V

۸ـ۴ـ۹ـ الف: R_2 باز است

ب: اتصال بیس و امیتر TR_2 باز است

ج: الف و ب هر دو می‌توانند درست باشند.

د: DZ اتصال کوتاه است

شماره نقطه	①	②	③	④
ولتاژ	۱۶V	۱۵V	۵/۸V	۱۴/۵V

۹ـ۴ـ۹ـ الف: R_2 باز است

ب: C_2 اتصال کوتاه است

ج: بیس و امیتر TR_2 باز است

د: R_1 باز است یا C_4 اتصال کوتاه است

شماره نقطه	①	②	③	④
ولتاژ	۱۷/۵V	۰V	۰V	۰V

(برای مطالعه، پایان)

فصل دهم

بررسی نقشه رادیوهای یک موج و چند موج AM

هدفهای رفتاری : در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که :

ـ طبقات مختلف گیرنده رادیویی یک‌موج AM را با استفاده از نقشه فنی آن بررسی کند .

ـ طبقات مختلف یک گیرنده رادیویی یک‌موج AM را از روی نقشه فنی آن تفکیک کند .
(برای مطالعه)

ـ طبقات مشترک گیرنده‌های رادیویی یک‌موج و دوموج AM را با استفاده از نقشه فنی آن از یکدیگر تفکیک کند .

ـ طبقات غیرمشترک گیرنده‌های رادیویی یک‌موج و دوموج AM را با استفاده از نقشه فنی مدار آن مشخص کند .

ـ با استفاده از نقشه کلیدزن گیرنده رادیویی ۳موج MW و SW_1 و SW_2 ، نحوهٔ انتخاب باندهای مختلف را توضیح دهد .

ـ کلید موج رادیوهای دوموج و سه‌موج را رسم کند و اتصالات آن را شرح دهد .

ـ به سؤالات مربوط به رادیوهای یک‌موج ، دوموج و سه موج AM پاسخ دهد .

پیشگفتار

امروزه گیرنده‌های رادیویی با مدولاسیون AM کاربرد عمومی دارند . از این رو تجزیه و تحلیل نقشه گیرنده‌های رادیویی یک‌موج و چندموج AM از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است . در این فصل به بررسی و تجزیه و تحلیل نقشه‌های گیرنده رادیویی یک‌موج AM با یک آی‌سی ، گیرنده رادیویی دوموج MW و SW و گیرنده رادیویی سه‌موج MW و SW_1 و SW_2 خواهیم پرداخت .

۱۰ـ۱ ـ گیرنده رادیویی ۶ ترانزیستوری یک موج AM

در این قسمت به بررسی یک نمونه نقشه گیرنده رادیویی یک‌موج AM می‌پردازیم . این گیرنده از شش ترانزیستور تشکیل شده است .

مشخصات ویژه این گیرنده رادیویی به شرح زیر است :

الف ـ آنتن از نوع میلهٔ فریت است .

ب ـ محدودهٔ فرکانسی این گیرنده از ۵۳۰ کیلوهرتز تا ۱۶۰۵ کیلوهرتز است .

ج ـ رادیو از نوع سوپرهترودین با فرکانس میانی ۴۵۵ کیلوهرتز است .

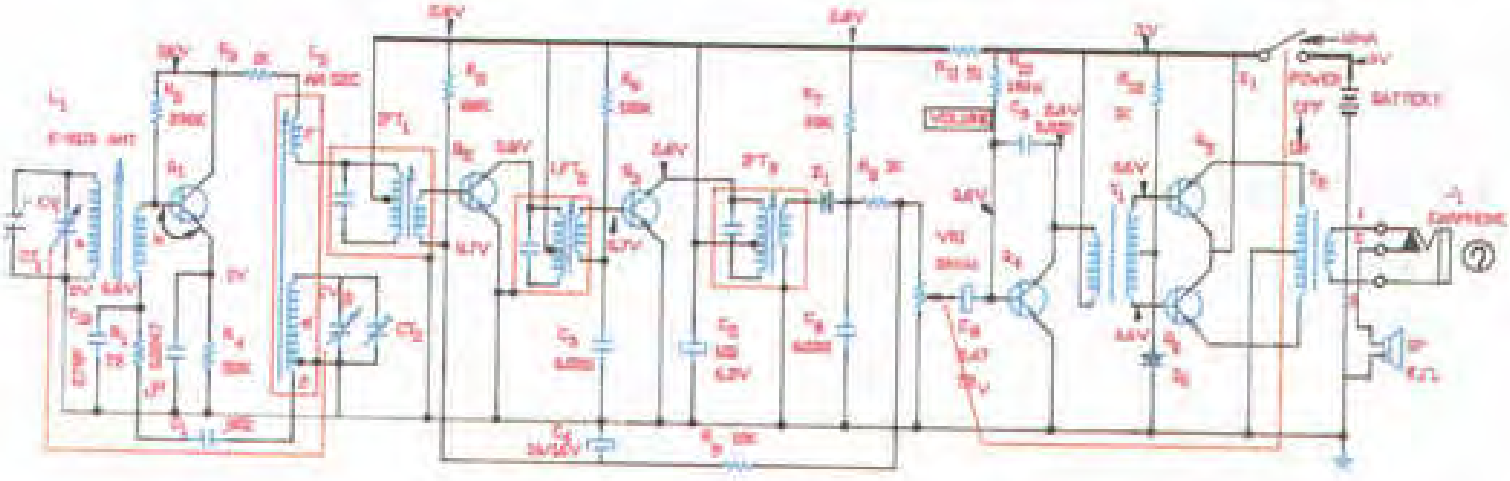
د ـ امپدانس بلندگو ۸ اهم است .

هـ ـ ولتاژ تغذیه برابر با ۳ ولت DC است که توسط دو عدد باتری قلمی ۱/۵ ولتی تأمین می‌شود .

شکل ۱ـ۱۰ ـ تصویر ظاهری چند نمونه گیرنده رادیویی آمده است.

۱ـ۱ـ۱۰ ـ بررسی نقشه کامل گیرنده رادیویی یک موج AM ترسیم شده است.

یک موج AM : در شکل ۲ـ۱۰ نقشهٔ کامل گیرنده رادیویی



شکل ۲ـ۱۰ ـ نقشه کامل گیرنده رادیویی ۴ ترانزیستوری یک موج AM

۱ـ این نقشه با مقیاس بزرگ در صفحه ۱۹۳ شکل ۴ـ۱۲ آمده است، در صورت نیاز از نقشه بزرگ استفاده کنید.

در این مدار، ترانزیستور Q_1 عمل نوسانسازی و مخلوط کنندگی را به عهده دارد. ترانزیستورهای Q_2 و Q_3 سیگنال IF را طی دو مرحله تقویت می کنند. ترانزیستور Q_4 تقویت کننده درایور وآشکار و ترانزیستورهای Q_5 و Q_6 تقویت کننده های قدرت خروجی هستند.

برای بررسی دقیق مدار گیرنده رادیویی مورد بحث، نقشه آن را به دو قسمت زیر تفکیک می کنیم:

الف- طبقات تقویت کننده RF

ب- طبقات تقویت کننده AF

۲-۹-۱۰- بررسی طبقات RF گیرنده رادیویی:

طبقات کنورتور، تقویت کننده های IF، آشکارساز و AGC، قسمت RF گیرنده را تشکیل می دهد. مدار هماهنگ ورودی شامل بوبین a خازن واریابل CV_1 و خازن تریمر CT_1 است. توسط این المانها فرکانس ایستگاه موردنظر انتخاب می شود.

سیگنال انتخاب شده از طریق ترانسفورماتور کادر آنتن L_1 به بیس ترانزیستور Q_1 القا می شود. هسته ترانسفورماتور کادر آنتن از جنس فریت است و به عنوان آنتن میله فریت عمل می کند.

مدار هماهنگ اسیلاتور شامل خازن تریمر CT_2 وخازن واریابل CV_2 و بوبینهای d و e است. سیگنال تولید شده توسط مدار اسیلاتور از بوبین e دریافت می شود. این سیگنال از طریق خازن کوپلاژ C_1، مقاومت R_1 و بوبین b به بیس ترانزیستور Q_1 اعمال می شود.

خازن C_1 سرپایی بوبین h را برای فرکانسهای بیشتر از ۲ مگاهرتز به شاسی بای پاس می کند. مقاومت R_2 مقاومت پایداری حرارتی ترانزیستور Q_1 و خازن C_2 بای پاس امیتر به شاسی است. تغذیه بیس ترانزیستور از طریق مقاومت R_3 و از کلکتور ترانزیستور دریافت می شود.

تغذیه کلکتور ترانزیستور از طریق مقاومت R_4، بوبین F و بوبین اولیه ترانسفورماتور IFT_1 و از خط تغذیه ۲/۸ ولت تأمین می شود. بوبین های d و e و ترانسفورماتور اسیلاتور را تشکیل می دهند و داخل یک محفظهٔ فلزی قرار دارند.

القای سیگنال از a به d با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز صورت می گیرد. ترانزیستور تقویت کننده Q_1 که به صورت امیتر مشترک بسته شده است باعث اختلاف فاز ۱۸۰ درجه می شود. بدین ترتیب در مجموع ۳۶۰ درجه اختلاف فاز ایجاد می شود و فیدبک مثبت مورد نیاز برای مدار نوسانساز به وجود می آید.

ترانزیستور Q_1 علاوه بر نوسانسازی، عمل مخلوط کردن دو فرکانس ورودی را نیز انجام می دهد. فرکانس دریافتی و فرکانس اسیلاتور همراه با مجموع و تفاضل آنها در کلکتور Q_1 ظاهر می شود. مجموع سیگنالهای فوق از طریق مقاومت R_5 و بوبین i به اولیه ترانسفورماتور IFT_1 می رسد.

ترانسفورماتورهای IFT_1 و IFT_2 و IFT_3 بر روی فرکانس میانی ۴۵۵ کیلوهرتز تنظیم شده اند. ترانسفورماتور IFT_1 از میان فرکانسهای وارد شده به آن فقط فرکانس میانی را عبور می دهد و سایر فرکانسها را حذف می کند.

ترانزیستورهای Q_2 و Q_3 در مدار تقویت کننده IF با کوپلاژ ترانسفورماتوری هستند که به صورت مدار امیتر مشترک بسته شده اند.

تغذیه بیس Q_2 از طریق مقاومت R_6 و تغذیه کلکتور آن از طریق سرووسط سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور IFT_2 تأمین می شود. با روش مشابه در ترانزیستور Q_3 تغذیه بیس از طریق R_8 و تغذیه کلکتور از طریق سرووسط سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور IFT_3 تأمین می شود. خازن C_6 سرپایی سیم پیچ ثانویهٔ ترانسفورماتور IFT_2 را به شاسی بای پاس می کند. سیگنال IF تقویت شده از طریق ترانسفورماتور IFT_3 به آشکارساز اعمال می شود. مدار آشکارساز شامل دیود D_1 است. سیگنال یکسو شده خروجی یکسوساز، پس از عبور از فیلتر پایین گذر که از المانهای C_8 و مقاومت R_9 و ولوم VR تشکیل شده است، سیگنال صوتی را از

سیگنال مدوله شده IF جدا می کند. دیود آشکارساز D_1 توسط مقاومت R_9 و سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور IFT۳ در آستانهٔ هدایت قرار می گیرد. سیگنال صوتی که از آند دیود دریافت می شود، دارای مولفه DC منفی است.

مدار AGC شامل مقاومت R_8 و خازن C_7 است که یک فیلتر پایین گذر تشکیل می دهد که سیگنال صوتی خروجی آشکارساز و مولفه DC آن را کاملاً صاف می کند و یک ولتاژ منفی متغییر از طریق ثانویه IFT۲ به بیس ترانزیستور Q_2 می رسد. با افزایش دامنهٔ سیگنال دریافتی، مولفه DC خروجی آشکارساز منفی تر شده و مقدار ولتاژ منفی دوسر خازن C_7 افزایش می یابد. افزایش ولتاژ منفی موجب کاهش ولتاژ بیس امیتر ترانزیستور Q_2 می شود. کاهش پتانسیل دیود بیس امیتر Q_2 موجب کاهش ضریب تقویت ترانزیستور می شود و دامنهٔ سیگنال دریافتی در حد معینی ثابت می ماند. به عبارت دیگر تغییرات سیگنال ورودی به کلکتور تأثیری روی سیگنال خروجی نمی گذارد.

۳ـ۱ـ۱۰ـ مدار «دکوپلینگ»[1] : به علت متغیر بودن دامنهٔ سیگنال صوتی جریان کشیده شده توسط مدار تقویت کننده قدرت صوت زیاد و کم می شود و این تغییرات روی ولتاژ خروجی منبع تغذیه که در این مدار باتری است اثر می گذارد و آن را کم و زیاد می کند. کم و زیاد شدن ولتاژ تغذیه روی طبقات AF اثر می گذارد و موجب فیدبک مثبت شده و مدار به نوسان در می آید.

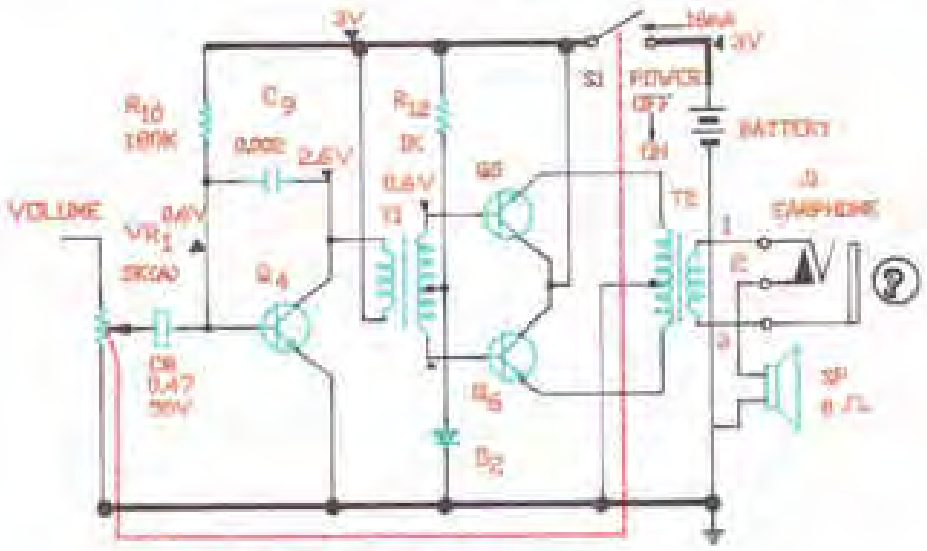
دوائر نوسانهای مدار، صدایی شبیه صدای شلیک موتوری[2] از بلندگو شنیده می شود. برای جلوگیری از این پدیده از مدار دکوپلینگ استفاده می کنند.

مدار دکوپلینگ یک فیلتر پایین گذر RC است که در این مدار مقاومت R_{10} و خازن C_9 است.

ولتاژ خروجی این فیلتر کمتر از ولتاژ تغذیه است، ولی در عوض فاقد هرگونه نوسان است. در این مدار ولتاژ خروجی فیلتر مساوی ۲/۸ ولت است.

۴ـ۱ـ۱۰ـ بررسی طبقات AF گیرنده رادیویی:

طبقات AF یا تقویت کننده های صوتی شامل طبقهٔ درایور و طبقهٔ تقویت کننده قدرت صوت است که در مجموع از سه ترانزیستور تشکیل شده است. ترانزیستور Q_3 تقویت کننده درایور و ترانزیستورهای Q_4 و Q_5 به عنوان تقویت کننده قدرت عمل می کنند (شکل ۳ـ۱۰).



شکل ۳ـ۱۰ـ تقویت کننده AF گیرنده رادیویی

1- Decoupling

2- Motor Boating

سیگنال صوتی خروجی مدار آشکارساز از طریق ولوم V_{R_1} و خازن کوپلاژ C_3 به بیس ترانزیستور Q_4 می‌رسد.

ولتاژ DC بیس ترانزیستور Q_4 از طریق مقاومت R_1 و ولتاژ کلکتور آن از طریق سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور درایور T_1 تأمین می‌شود. خازن C_4 کلکتور ترانزیستور Q_4 را در فرکانسهای ناخواسته به بیس اتصال کوتاه می‌کند. سیگنال صوتی توسط ترانزیستور Q_4 تقویت می‌شود و توسط ترانسفورماتور T_1 تبدیل به دو سیگنال مشابه ولی با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه می‌شود. این سیگنالها به بیس ترانزیستورهای Q_5 و Q_6 اعمال می‌شود.

ترانسفورماتور T_1 علاوه بر تأمین ولتاژ بیس ترانزیستورهای Q_5 و Q_6 از ورود ولتاژ DC کلکتور ترانزیستور Q_4 به بیس ترانزیستورهای Q_5 و Q_6 جلوگیری می‌کند. مقاومت سیم پیچ اولیه این ترانسفورماتور به عنوان مقاومت کلکتور Q_4 و مقاومت سیم پیچهای ثانویه آن همراه با مقاومت R_2 و دیود D_4 ولتاژ بیس ترانزیستورهای Q_5 و Q_6 را تأمین می‌کند. ترانزیستورهای Q_5 و Q_6 که به صورت کلکتور مشترک به کار رفته‌اند، عمل تقویت جریان را به عهده دارند. برای جبران حرارتی و تأمین ولتاژ بایاس ترانزیستور، دیود D_4 بین شاسی و سروسط سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور T_1 قرار گرفته است.

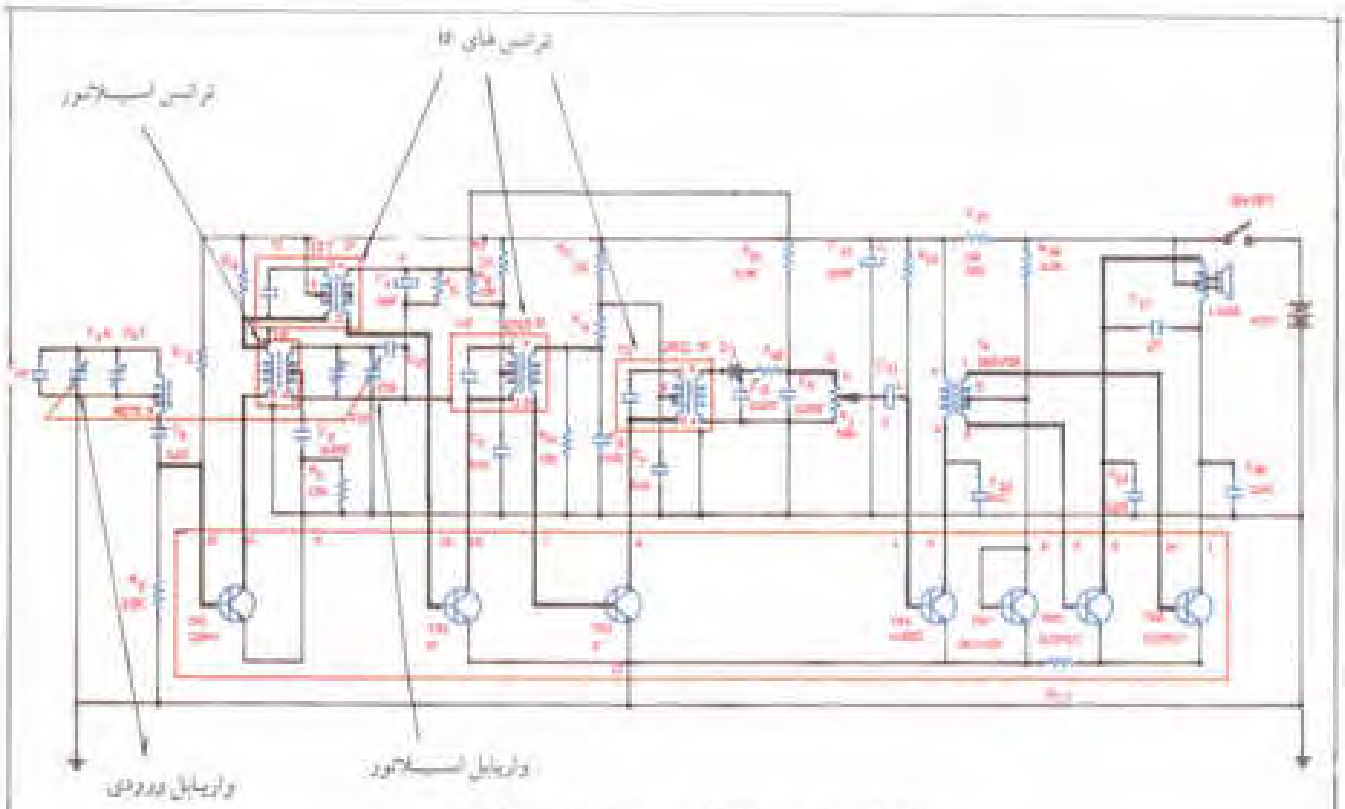
ازنظر موقعیت فیزیکی دیود D_4 نزدیک بدنهٔ ترانزیستورهای Q_5 و Q_6 روی شاسی رادیو قرار دارد. بنابراین با گرم‌شدن ترانزیستورهای Q_5 و Q_6 دیود D_4 نیز گرم می‌شود و جریان عبوری از دیود زیاد می‌شود و موجب کاهش جریان عبوری از بیس ترانزیستورهای Q_5 و Q_6 می‌شود. کاهش جریان بیس باعث کاهش جریان کلکتور می‌شود و از گرمای آن می‌کاهد. سیگنال تقویت شده از امیتر ترانزیستورهای Q_5 و Q_6 دریافت می‌شود و از طریق ترانسفورماتور تطبیق T_2 به بلندگو می‌رسد. ترانسفورماتور T_2 از وارد شدن جریان DC به بلندگو جلوگیری می‌کند و تطبیق امپدانس خروجی آمپلی فایر با امپدانس بلندگو را نیز به عهده دارد. سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور T_2 به جک گوشی و بلندگو اتصال دارد. در حالت استفاده از بلندگو پایه‌های ۱ و ۳ جک گوشی اتصال کوتاه می‌شود و پایه‌های ۲ و ۳ آن باز باقی می‌ماند. درحالت استفاده از گوشی پایه‌های ۱ و ۲ باز می‌شود. در این حالت بلندگو از مدار قطع و گوشی به ثانویه ترانس T_2 وصل می‌شود. در این حالت دوسر بلندگو به شاسی اتصال کوتاه می‌شود. ولتاژ تغذیه رادیو، ۳ ولت و جریان مصرفی آن در حالت بدون سیگنال ۱۶ میلی آمپر است.

(برای مطالعه، آغاز)

۵-۱-۱۰- گیرنده رادیویی یک موج AM با آی سی: در شکل ۴-۱۰ نقشه[1] کامل یک گیرنده رادیویی AM یک موج رسم شده است. تمام طبقات این گیرنده در داخل یک آی سی قرار دارد.

این رادیو با یک باتری شکل کادمیم فعال شارژ کار می‌کند و ولتاژ کار آن ۳/۶ ولت است. آی سی شامل ۱۵ پایهٔ خروجی است و در داخل آن تعداد ۷ ترانزیستور جای دارد. ترانزیستورها همه از نوع NPN است.

۱- این نقشه با مقیاس بزرگ در صفحه ۱۹۲ شکل ۱۲-۷ آمده است در صورت نیاز از آن شکل استفاده کنید.



شکل ۲ـ۱۰ـ نقشه کامل گیرنده رادیویی یک موج با ای سی

ترانزیستور TR_1 که بین پایه های ۹ و ۱۰ و ۱۱ آی سی قرار دارد مدار نوسانساز و مکسر را تشکیل می دهد. پایه های ۱۲ و ۱۳ و ۱۵ آی سی به ترانزیستور TR_2 اتصال دارد. این ترانزیستور به عنوان اولین طبقهٔ تقویت کننده IF عمل می کند. دومین طبقهٔ تقویت کننده IF توسط ترانزیستور TR_3 تشکیل می گردد. این ترانزیستور به پایه های ۴ و ۷ و ۱۵ آی سی متصل شده است.

ترانزیستور TR_4 تقویت کننده ترانزیستور صوتی است و بین پایه های ۴ و ۵ و ۱۵ آی سی قرار دارد. ترانزیستورهای TR_5 و TR_6 طبقه تقویت کننده پوش پول را تشکیل می دهند. ترانزیستور TR_5 به پایه های ۲ و ۳ و ۱۵ و ترانزیستور TR_6 به پایه های ۱ و ۱۴ و ۱۵ آی سی اتصال دارد. ترانزیستور TR_7 که کلکتور آن به بیس اتصال کوتاه شده است، عملاً یک دیود جبران کننده حرارتی است. این دیود بین پایه های ۹ و ۱۵ آی سی قرار گرفته است.

خازن واریابل، ترانسفورماتور اسیلاتور و ترانسفورماتورهای IF که در شکل مشخص شده اند در خارج از مدار آی سی قرار می گیرد.

بررسی جزئیات نقشه به فراگیر واگذار می شود.

(برای مطالعه ، پایان)

۲ـ۱۰ـ خودآزمایی

۱ـ۲ـ۱۰ـ در شکل ۲ـ۱۰ چه المانهایی در مسیر فیدبک نوسانساز قرار دارند؟ نام ببرید.

۲ـ۲ـ۱۰ـ در شکل ۲ـ۱۰ کوپلاژ بین طبقات Q_1 و Q_2 چگونه است؟

۳ـ۲ـ۱۰ـ در شکل ۳ـ۱۰ دیود D_1 چه عملی انجام

می دهد؟ شرح دهید .

۴ـ۲ـ۱۰ـ در شکل ۳ـ ۱۰ اتصالات گوشی با بلندگو را مشخص کنید .

۵ـ۲ـ۱۰ـ در شکل ۳ـ ۱۰ هریک از ترانزیستورهای Q_7 و Q_5 و Q_6 دارای چه آرایشی هستند ؟

۶ـ۲ـ۱۰ـ عناصر مدار دکوپلینگ کدام اند؟ کار آن را شرح دهید .

(برای مطالعه ، آغاز)

۷ـ۲ـ۱۰ـ با توجه به شکل ۴ـ ۱۰ به سؤالات زیر پاسخ دهید.

الف ـ مسیر فیدبک مثبت در ترانزیستور TR_1 را مشخص کنید .

ب ـ المانهای مربوط به مدار AGC کدام اند ؟

ج ـ عمل تطبیق امپدانس بین بلندگو و خروجی تقویت کننده قدرت چگونه صورت می گیرد .

د ـ المانهای مربوط به فیلتر حذف صدای خط تغذیه را نام ببرید .

هـ ـ مدار انتخاب ایستگاه از چه المانهایی تشکیل شده است؟ نام ببرید.

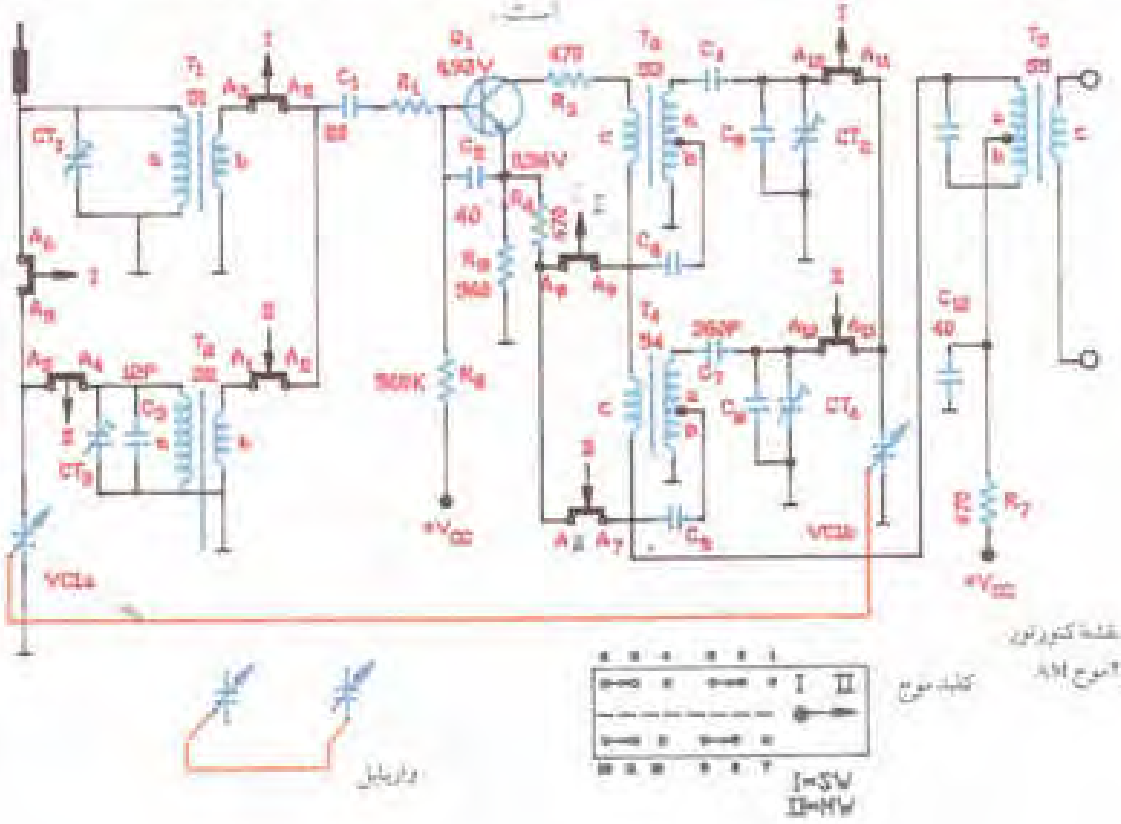
و ـ ترانزیستورهای TR_3 و TR_4 در چه کلاسی بایاس شده اند ؟

(برای مطالعه ، پایان)

۳ـ۱۰ ـ گیرنده رادیویی دوموج MW و SW

تفاوت رادیوهای دوموج AM با رادیوهای یک موج AM در مدار کنورتور آنهاست و سایر قسمتها مشابه یکدیگر هستند .

در این قسمت ، به بررسی مدار کنورتور یک نمونه رادیو دوموج MW و SW می پردازیم. در شکل ۵ـ ۱۰ مدار کامل کنورتور رادیوی دوموج AM مورد نظر رسم شده است .



شکل ۵ـ ۱۰ ـ نقشهٔ کنورتور گیرنده رادیویی ۲ موج AM

خازنهای واریابل هم‌محور و کلید موج دوحالته ۱۲ پایه را نیز در پایین نقشه کنورتور ملاحظه می‌کنید. برای ساده‌تر شدن توضیح مدار، حالت SW را با علامت I و حالت MW را با علامت II مشخص کرده‌ایم. در شکل ۱۰-۵ اتصال‌های کلید موج کنورتور در حالت SW رسم شده است. آنتن تلسکوپی نیز رسم شده در مدار در حالت MW و SW مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ترانزیستور Q_1 عمل نوسانسازی و مخلوط‌کنندگی را به عهده دارد. بایاس بیس ترانزیستور Q_1 از طریق مقاومت R_9 و از خط $+V_{CC}$ تأمین می‌شود. مقاومت R_2 تثبیت حرارتی ترانزیستور را به عهده دارد و بین امیتر ترانزیستور و شاسی قرار گرفته است. تغذیه کلکتور ترانزیستور از طریق مقاومت R_5، سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور T_2، سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور T_3 و سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور T_4 و مقاومت R_1 از خط $+V_{CC}$ تأمین می‌شود.

۱-۳-۱۰- مدارهای هماهنگ کنورتور: طبقه کنورتور دارای دو مدار هماهنگی در ورودی و دو مدار هماهنگی برای نوسانسازی است. خازن واریابل VC_9 همراه با تریمر CT_9 و بوبین a از ترانسفورماتور T_1 مدار هماهنگ مربوط به دریافت باند SW را تشکیل می‌دهد. خازن واریابل VC_{11} همراه با تریمر CT_8 و خازن C_2 و بوبین a از ترانسفورماتور T_4 به عنوان مدار هماهنگ برای دریافت باند MW به کار می‌رود. خازنهای C_7 و C_3 و CT_7 و VC_{10} همراه با بوبینهای a و b از ترانسفورماتور T_3، مدار هماهنگ اسیلاتور باند SW را تشکیل می‌دهد. خازنهای C_6 و C_8 و CT_6 و VC_{12} همراه با بوبینهای a و b از ترانسفورماتور T_5 به عنوان مدار هماهنگ اسیلاتور باند MW به کار می‌رود.

۲-۳-۱۰- مسیر فیدبک مثبت نوسانساز

الف- باند SW: در باند SW مسیر فیدبک مثبت به شرح زیر است:

کلکتور ترانزیستور Q_1، مقاومت R_5، الف در سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور T_2، بوبین b از ترانسفورماتور T_3، خازن C_4، اتصالات A_{11} و A_9 کلید انتخاب موج، مقاومت R_4، امیتر و کلکتور ترانزیستور Q_1.

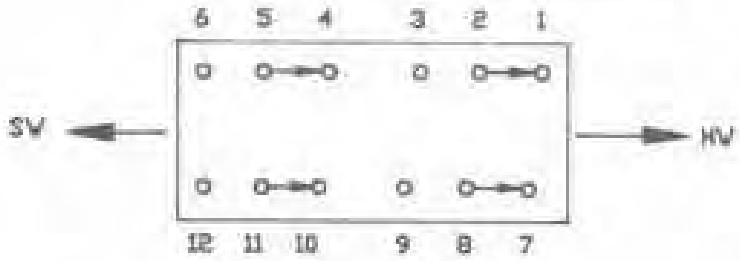
ب- باند MW: در باند MW مسیر فیدبک مثبت به شرح زیر است:

کلکتور ترانزیستور Q_1، مقاومت R_5، بوبین C از ترانسفورماتور T_4، ترانسفورماتور T_2، بوبین b از ترانسفورماتور T_4، خازن C_5، اتصالات A_{10} و A_8 از کلید انتخاب موج، مقاومت R_4، امیتر و کلکتور ترانزیستور Q_1.

باید توجه داشت که در هر دو باند MW و SW ترانزیستور Q_1 در مسیر فیدبک مثبت به صورت بیس مشترک قرار گرفته است، چون سیگنال فیدبک به امیتر ترانزیستور اعمال شده و از کلکتور آن دریافت می‌شود.

۳-۳-۱۰- کلید انتخاب موج در وضعیت MW: هنگام دریافت امواج MW اتصالات کلید انتخاب موج طبق شکل ۴-۱۱ به شرح زیر برقرار می‌شود:

پایه ۴ به ۱	پایه ۸ به ۷
پایه ۵ به ۴	پایه ۱۱ به ۱۰



شکل ۴-۱۰- کلید انتخاب موج در وضعیت MW

۴-۳-۱۰- مسیر سیگنالهای ورودی و خروجی میکسر: وقتی کلید انتخاب موج، در وضعیت SW قرار دارد سیگنال SW توسط مدار هماهنگی متشکل از VC_9، CT_9، T_1، اتصالات A_{12} و A_{10} کلید انتخاب موج دریافت می‌شود و از طریق خازن کوپلاژ C_1 و مقاومت R_1 به بیس میکسر می‌رسد.

درصورتی که کلید انتخاب موج در وضعیت MW قرار داده شود، سیگنال MW توسط مدار هماهنگی متشکل از VC_2 ، CT_2 ، C_2 ، T_2 ، اتصالات A_1 و A_2 کلید انتخاب موج دریافت می‌شود و از طریق خازن کوپلاژ C_1 و مقاومت R_1 به پین میکسر می‌رسد.

مقاومت R_1 امپدانس ورودی میکسر را افزایش می‌دهد و خازن C_1 جریان AC را عبور می‌دهد و از وارد شدن جریان DC پین ترانزیستور از طریق سیم‌پیچ ۱ به شاسی جلوگیری به عمل می‌آورد.

سیگنال اسیلاتور در هر دو حالت MW و SW به امیتر ترانزیستور Q_1 اعمال می‌شود. سیگنالهای خروجی میکسر از کلکتور ترانزیستور دریافت می‌شود و از طریق مقاومت R_2 به پوینت C از ترانسفورماتور T_2 می‌رسد و از آنجا وارد پوینت C از ترانسفورماتور T_1 می‌شود و پس از عبور از سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور فرکانس میانی T_2 ، سیگنال IF را در ثانویه آن القا می‌کند.

خازن C_1 سرو سط سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور T_2 را به شاسی بای‌پاس می‌کند.

۴ـ۱۰ ـ خودآزمایی

۱ـ۴ـ۱۰ـ یک نمونه کلید انتخاب موج رادیو دوموج رسم کنید و چگونگی اتصالات آن را برای هر موج بنویسید.

۲ـ۴ـ۱۰ـ با توجه به نقشه شکل ۵ـ۱۰ به سوالات زیر پاسخ دهید.

الف ـ مدارهای هماهنگ ورودی مدار کادر آنتن را با ذکر شماره المانها مشخص کنید.

ب ـ مدارهای هماهنگ اسیلاتور را با ذکر شماره المانها مشخص کنید.

ج ـ مسیر فیدبک مثبت اسیلاتور را در حالت MW مشخص کنید.

د ـ سیگنالهای ورودی میکسر کدام‌اند؟ و به کدام پایه ترانزیستور Q_1 اعمال می‌شوند؟

هـ ـ مقاومت R_1 چگونه باعث افزایش امپدانس ورودی ترانزیستور می‌شود؟

و ـ چرا سرو سط اولیه ترانسفورماتور T_2 به شاسی بای‌پاس شده است؟

ز ـ خازن C_1 چه عملی انجام می‌دهد؟

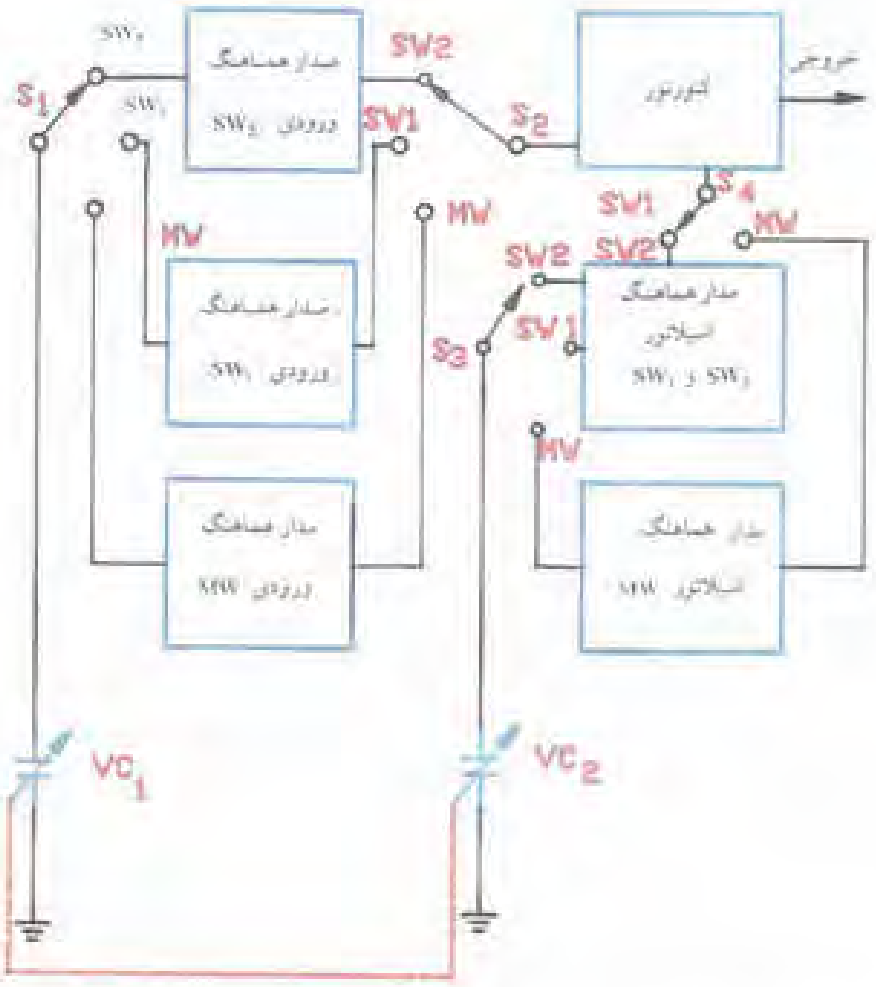
۵ـ۱۰ ـ گیرنده رادیویی سه موج MW و SW_1 و SW_2

گیرنده رادیویی ۳موج مورد بحث نیز از نوع سوپر هترودین AM انتخاب شده است. بلوک دیاگرام این گیرنده تشابه زیادی با گیرنده‌های AM یک‌موج و دوموج دارد. تنها مدار هماهنگ ورودی و مدار هماهنگ اسیلاتور آنها با هم تفاوت دارد.

۱ـ۵ـ۱۰ـ **کنورتور گیرنده رادیویی ۳موج MW و SW_1 و SW_2** : در شکل ۷ـ۱۰ بلوک دیاگرام کنورتور گیرنده رادیویی سه‌موج برای دریافت سه باند مختلف MW و SW_1 و SW_2 ترسیم شده است. در ورودی کنورتور سه مدار هماهنگی وجود دارد. خازن واریابل VC_1 توسط کلید S_1 هربار با یکی از مدارهای هماهنگی به‌صورت موازی قرار می‌گیرد و فرکانس باند مورد نظر توسط آن انتخاب می‌شود. فرکانس انتخاب شده از طریق کلید S_2 به ورودی کنورتور اعمال می‌شود. چون لازم است همزمان با انتخاب ایستگاه، فرکانس اسیلاتور نیز تغییر کند بدین سبب از دو مدار هماهنگ اسیلاتور استفاده شده است. خازن واریابل VC_2 همزمان با تغییر کلید S_2 با یکی از مدارهای هماهنگ اسیلاتور موازی می‌شود.

سیگنال اسیلاتور از طریق کلید S_3 به ورودی مدار کنورتور می‌رسد. کلیدهای S_1 و S_2 و S_3 مجموعاً در یک کلید هم‌محور سه حالته تعبیه شده‌اند و کلید انتخاب موج گیرنده رادیویی را تشکیل می‌دهند.

۱ـ در بعضی از گیرنده‌های رادیویی از سه مدار هماهنگ اسیلاتور استفاده شده است.



شکل ۷ـ۱۰ ـ بلوک دیاگرام کنورتور گیرنده رادیویی سه موج MW و SW_1 و SW_2

۲ـ۵ـ۱۰ ـ نقشهٔ کامل گیرندهٔ رادیویی سه موج MW و SW_1 و SW_2 و مشخصات ویژهٔ آن : در شکل ۸ـ۱۰ نقشه کامل یک نمونه گیرنده رادیویی سه موج نشان داده شده است .

مشخصات ویژهٔ این گیرندهٔ رادیویی به شرح زیر است .

الف ـ رادیو از نوع سوپرهترودین با فرکانس میانی ۴۵۵ کیلوهرتز است .

ب ـ رادیو دارای یک مدار مجتمع (IC) ، سه عدد ترانزیستور و ۸ عدد دیود است .

ج ـ محدودهٔ فرکانسی :

موج متوسط MW	۵۲۰ ـ ۱۶۲۰ کیلوهرتز
موج کوتاه SW_1	۳/۲ ـ ۸ مگاهرتز
موج کوتاه SW_2	۸ ـ ۱۸ مگاهرتز

د ـ حساسیت :

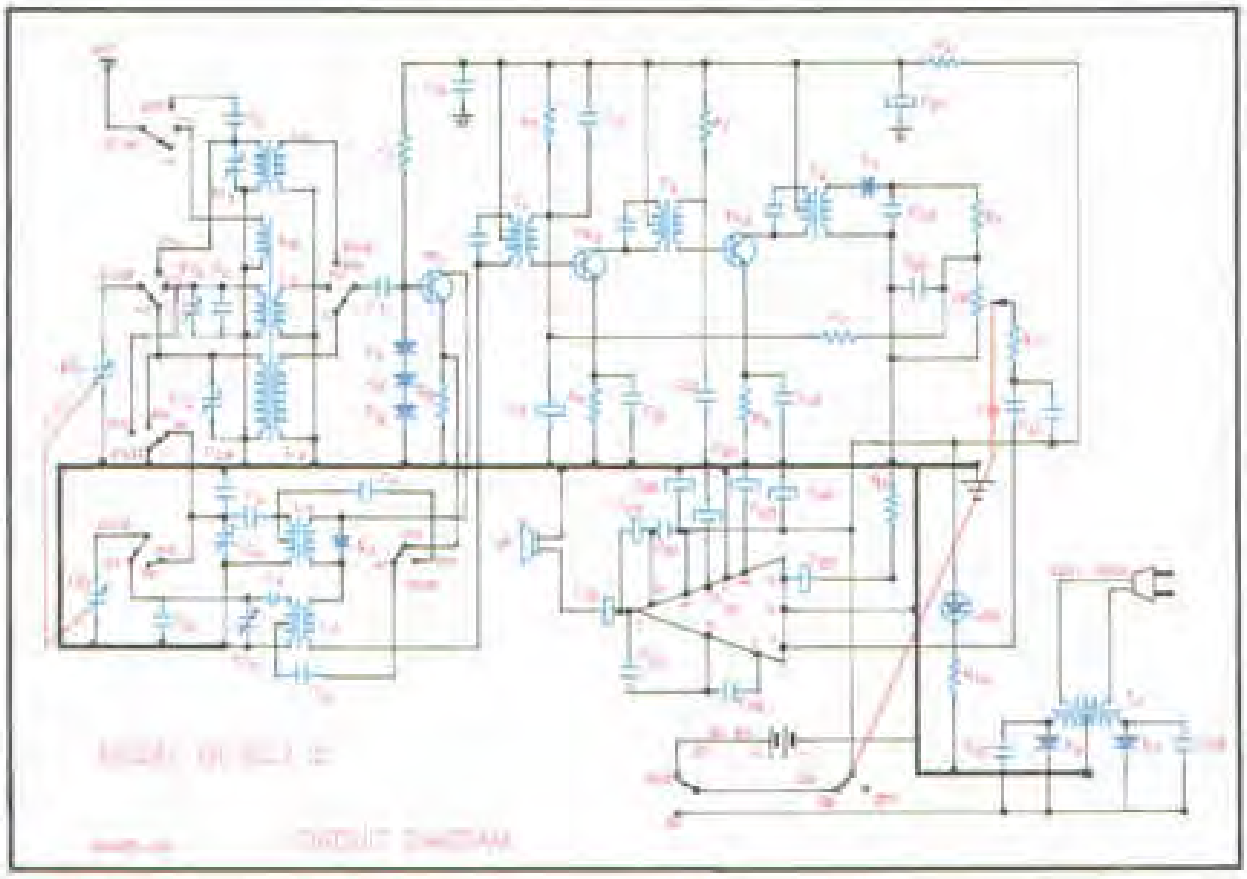
موج متوسط MW	۳۵۰ میکروولت
موج کوتاه SW_1	۲۰۰ میکروولت
موج کوتاه SW_2	۳۰ میکروولت

هـ ـ توان خروجی : حداکثر توان خروجی گیرنده رادیو ۷۵۰ میلی‌وات است .

و ـ آنتن : در مدار موج متوسط آنتن فریت داخلی به کار می‌رود. و در مدار موج کوتاه ۱ و ۲ آنتن تلسکوپی (کشویی) و آنتن فریت توأماً استفاده می‌شود.

ز ـ بلندگو : امپدانس بلندگوی گیرنده ۸ اهم و توان خروجی آن ۱/۵ وات است.

ح : منبع تغذیه : این گیرنده رادیویی با ولتاژ ۶ ولت DC (۴ عدد باتری ۱/۵ ولتی) و ولتاژ ۲۲۰ ولت AC با فرکانس ۵۰ هرتز کار می‌کند.



شکل ۸ـ۱۰ ـ نقشه[1] کامل گیرنده رادیویی سه موج MW و SW۱ و SW۲

۳ـ۵ـ۱۰ ـ تحلیل طبقات مختلف گیرنده رادیویی سه موج MW و SW۱ و SW۲ : ترانزیستور TR_1 در شکل ۸ ـ ۱۰ کنورتور گیرنده را تشکیل می‌دهد. این ترانزیستور عمل نوسانسازی و مخلوط کنندگی را در باندهای مختلف انجام می‌دهد. ترانزیستورهای TR_2 و TR_3 به ترتیب طبقات اول و دوم تقویت کننده های IF هستند. دیود D_5 عمل آشکارسازی را انجام می‌دهد.

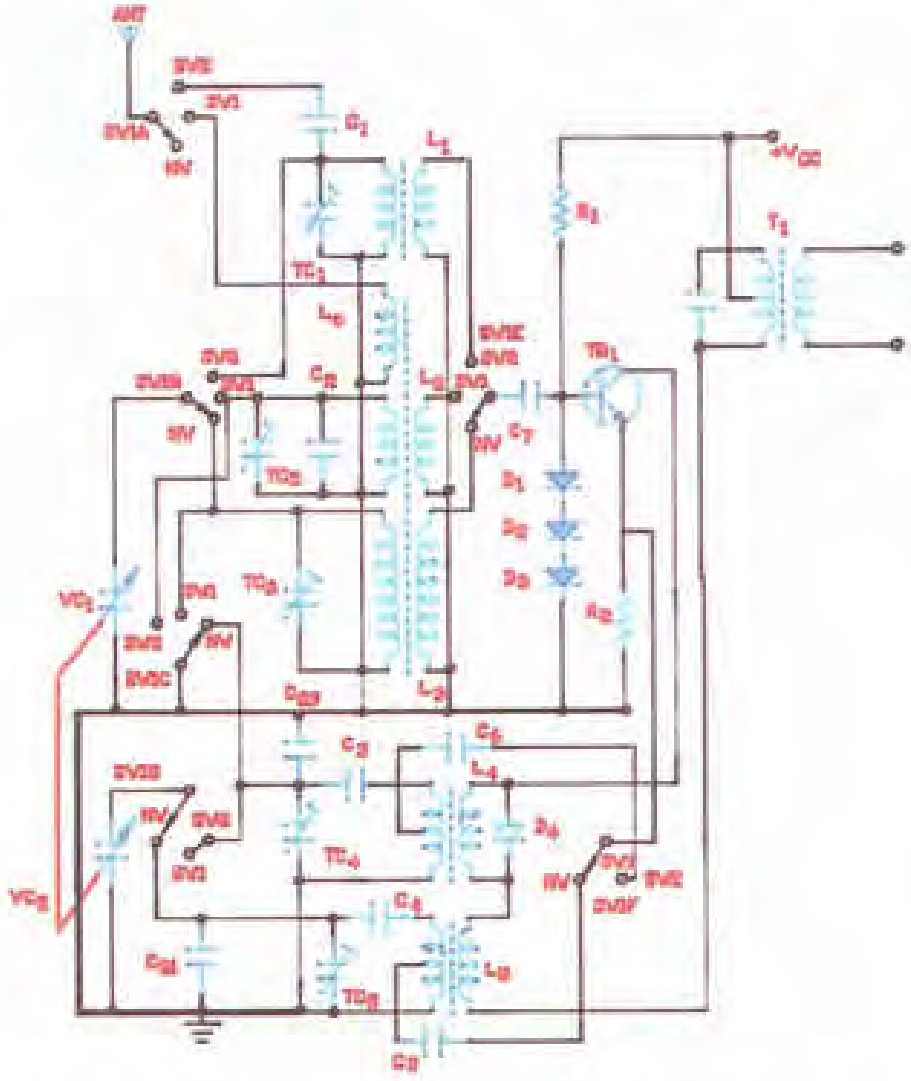
IC به کار رفته در طبقات صوتی عمل تقویت ولتاژ و تقویت قدرت صوت را به عهده دارد. چون تحلیل طبقات مختلف این گیرندهٔ رادیویی در فصلهای هفتم، هشتم و نهم این کتاب آمده است، بنابراین در این قسمت فقط مدار کنورتور و چگونگی انتخاب باندهای مختلف آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴ـ۵ـ۱۰ ـ کنورتور گیرنده رادیویی سه موج MW و SW۱ و SW۲ : با توجه به بلوک دیاگرام شکل ۷ـ۱۰ و مدارهای هماهنگ آن، توسط کلید موج یکی از باندهای

---

۱ ـ این نقشه با بعد بزرگ در فصل ۱۲ شکل ۸ ـ ۱۲ صفحه ۱۹۵ آمده است در صورت نیاز به آن مراجعه کنید.

MW و SW_1 و SW_2 انتخاب می‌شود. فرکانس انتخاب‌شده و فرکانس اسیلاتور در میکسر مخلوط می‌شود و فرکانس میانی را تولید می‌کند. در شکل ۹ـ۱۰ مدار کامل کنورتور گیرنده رادیویی سه‌موج MW و SW_1 و SW_2 نشان داده شده است. در این مدار ترانزیستور TR_1 عمل نوسانسازی و مخلوط‌کنندگی را انجام می‌دهد. ترانسفورماتورهای L_1 و L_2 و L_3 به ترتیب مربوط به مدارهای هماهنگ ورودی SW_2 و SW_1 و MW است.



شکل ۹ـ۱۰ـ مدار کامل کنورتور گیرنده رادیویی سه‌موج MW و SW_1 و SW_2

ترانسفورماتور L_4 مدار هماهنگ اسیلاتور SW_1 و SW_2 و ترانسفورماتور L_5 مدار هماهنگ اسیلاتور MW را تشکیل می‌دهد.

دیودهای D_1 و D_2 و D_3 همراه با مقاومت R_1 بایاس بیس ترانزیستور TR_1 را تأمین می‌کند. چون ترانزیستور TR_1 در کلاس A بایاس شده است، بنابراین افزایش درجهٔ حرارت، باعث افزایش جریان کلکتور و به هم خوردن فرکانس اسیلاتور می‌شود. بدین سبب از دیودهای D_1 و D_2 و D_3 به منظور جبران حرارتی نیز استفاده شده است.

عمل انتخاب موج توسط کلید انتخاب باند صورت می گیرد که حالتهای مختلف و اتصالات آن در نقشه با SW_{1A} الی SW_{1F} نشان داده شده است. کار هریک از اتصالات کلیدها به شرح زیر است :

الف ـ کلید SW_{1A} : آنتن را به یکی از مدارهای هماهنگ ورودی ارتباط می دهد.

ب ـ کلید SW_{1B} : خازن واریابل VC_1 را با یکی از مدارهای هماهنگ ورودی موازی می کند.

ج ـ کلید SW_{1C} : ورودی مدارهای هماهنگ را که هنگام انتخاب باند نقشی ندارند به شاسی اتصال کوتاه می کند.

د ـ کلید SW_{1D} : خازن واریابل VC_2 را با یکی از مدارات هماهنگ اسیلاتور موازی می کند.

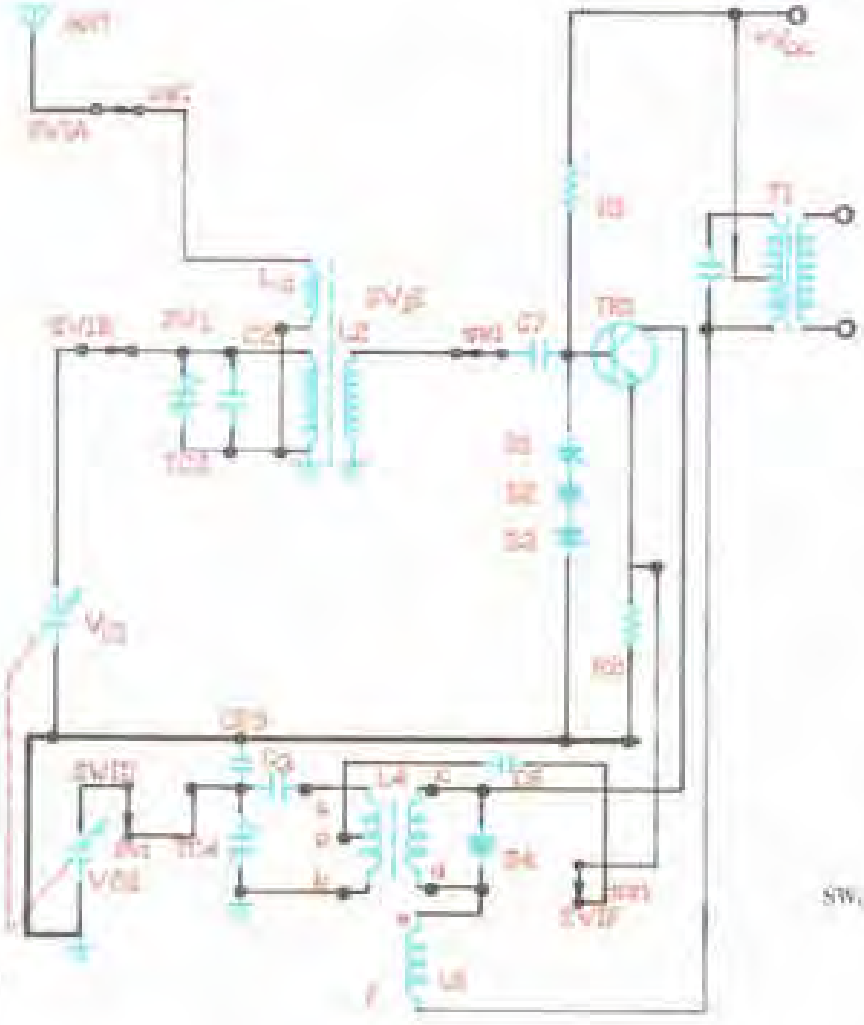
هـ ـ کلید SW_{1E} : ورودی میکسر را به ثانویه یکی از ترانسفورماتورهای L_1 و L_2 و L_3 اتصال می دهد.

و ـ کلید SW_{1F} : امیتر ترانزیستور میکسر را به یکی از مدارهای هماهنگ اسیلاتور MW یا SW ارتباط می دهد.

دیود D_9 که در بایاس معکوس قرار دارد به منظور حفاظت از ترانزیستور TR_1 در مقابل ولتاژ القایی معکوس ترانسفورماتور L_9 استفاده شده است. در باند SW به علت بالا بودن فرکانس مدار، در لحظهٔ قطع جریان ولتاژ القایی زیادی در ترانسفورماتور L_9 پدید می آید، که دو قطب آن برعکس ولتاژ تغذیه است. این ولتاژ دیود D_9 را در بایاس موافق قرار می دهد و مانع آسیب رساندن به ترانزیستور TR_1 می شود.

۵ـ۵ـ۱۰ ـ کنورتور در حالت دریافت موج SW_1 :

برای دریافت باند SW_1 قسمتهای اضافی نقشهٔ کنورتور حذف می شود و طبق شکل ۱۰ـ۱۰ فقط مدار هماهنگ ورودی مربوط به SW_1 در مدار قرار می گیرد.



شکل ۱۰ـ۱۰ ـ مدار کنورتور در حالت موج SW_1

آنتن تلسکوپی از طریق کلید SW_{1A} و بوبین L_{1a} به شاسی اتصال دارد. بوبین L_{1a} از چند حلقه سیم ابریشمی تشکیل شده که به دور هسته فریت پیچیده شده است. این بوبین عمل تطبیق امپدانس آنتن تلسکوپی را با مدار هماهنگ ورودی SW_1 انجام می‌دهد.

مدار هماهنگ ورودی SW_1 شامل سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور L_{1a}، خازن C_1، خازن تریمر TC_1 و خازن واریابل VC_1 است. با تغییر ظرفیت خازن VC_1 یکی از فرکانسهای باند SW_1 توسط مدار هماهنگ ورودی انتخاب می‌شود (مدار رزونانس موازی به تشدید درمی‌آید). سیگنال انتخاب شده به بوبین ثانویه ترانسفورماتور L_{1a} القا می‌شود و از طریق کلید SW_{1B} و خازن کوپلاژ C_3 به ورودی میکسر یعنی بیس ترانزیستور TR_1 می‌رسد.

ترانسفورماتور L_{1a} که از نوع کاهنده است به منظور تطبیق امپدانس ورودی میکسر با امپدانس ورودی مدار هماهنگ SW_1 مورد استفاده قرار می‌گیرد. خازن C_4 مانع از اتصال کوتاه شدن ولتاژ DC بیس ترانزیستور TR_1 از طریق ثانویه ترانسفورماتور L_{1a} به شاسی می‌شود.

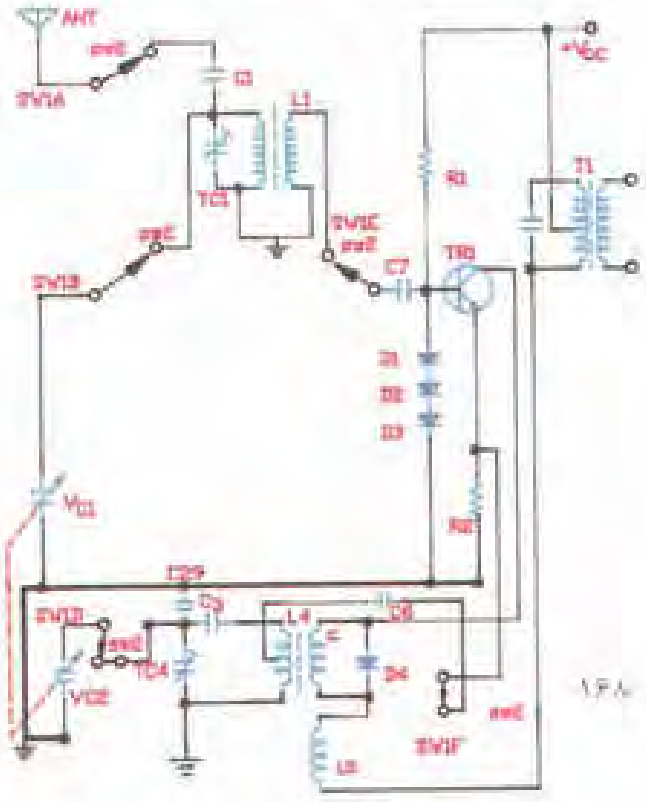
مدار هماهنگ اسیلاتور شامل خازن واریابل VC_2، خازن تریمر TC_2، خازن C_{2A}، خازن C_2 و دوانشهای L_{1b} از ترانسفورماتور L_1 است. سیگنال اسیلاتور از سرسیم ترانسفورماتور L_{1a} (نقطه O) دریافت می‌شود و از طریق خازن کوپلاژ C_9 و کلید SW_{1F} به امیتر ترانزیستور TR_1 اتصال می‌شود.

دیود بین امیتر ترانزیستور TR_1 عمل مخلوط کردن سیگنالهای وارد شده به بیس و امیتر ترانزیستور را انجام می‌دهد. فرکانسهای حاصل از عمل مخلوط کنندگی پس از تقویت از کلکتور ترانزیستور دریافت می‌شوند و از طریق بوبینهای ctl و cf به اولیه ترانسفورماتور فرکانس میانی T_1 می‌رسد. بوبین cf که قسمتی از ترانسفورماتور L_{1a} است و سربوط به باند MW است، سبب حذف فرکانسهای حاصل جمع در مخلوط کننده می‌شود.

مدار هماهنگ اولیه ترانسفورماتور T_1 روی فرکانس ۴۵۵ کیلوهرتز تنظیم شده است و فقط فرکانس میانی (IF) را به سیم‌پیچ ثانویه T_1 القا می‌کند. توجه داشته باشید که ترانزیستور TR_1 از نقطه نظر سیگنال SW_1 به صورت امیتر مشترک و از نقطه نظر سیگنال اسیلاتور به صورت بیس مشترک بسته شده است.

۶-۵-۱۰ ـ کنورتور در حالت دریافت موج SW_2 :

در شکل ۱۱ ـ ۱۰ مدار کنورتور در حالت SW_2 نشان داده



شکل ۱۱ـ۱۰ ـ کنورتور در حالت موج SW_2

شده است. مقایسه این مدار با مدار شکل ۱۰ـ۱۰ نشان می‌دهد که مدار هماهنگ اسیلاتور و مسیر سیگنال اسیلاتور و مدار میکسر هیچ گونه تغییری نکرده و تنها مدار هماهنگ ورودی آنتن تغییر کرده است. آنتن تلسکوپی از طریق کلید SW_{1A} و خازن کوپلاژ C_1 به مدار هماهنگ ورودی متصل شده است. مدار هماهنگ ورودی شامل خازن واریابل VC_1، خازن تریمر TC_1 و بوبین اولیه ترانسفورماتور L_1 است. سیگنال انتخابی توسط مدار هماهنگ به ثانویه ترانسفورماتور L_1 القا می‌شود. این سیگنال از طریق کلید SW_{1B} و خازن کوپلاژ C_4 به پین میکسر می‌رسد.

ترانسفورماتور L_4 عمل تطبیق امپدانس بین ورودی میکسر و مدار هماهنگ ورودی را انجام می‌دهد.

۱۰ـ۵ـ۷ ـ کنورتور در حالت دریافت موج MW

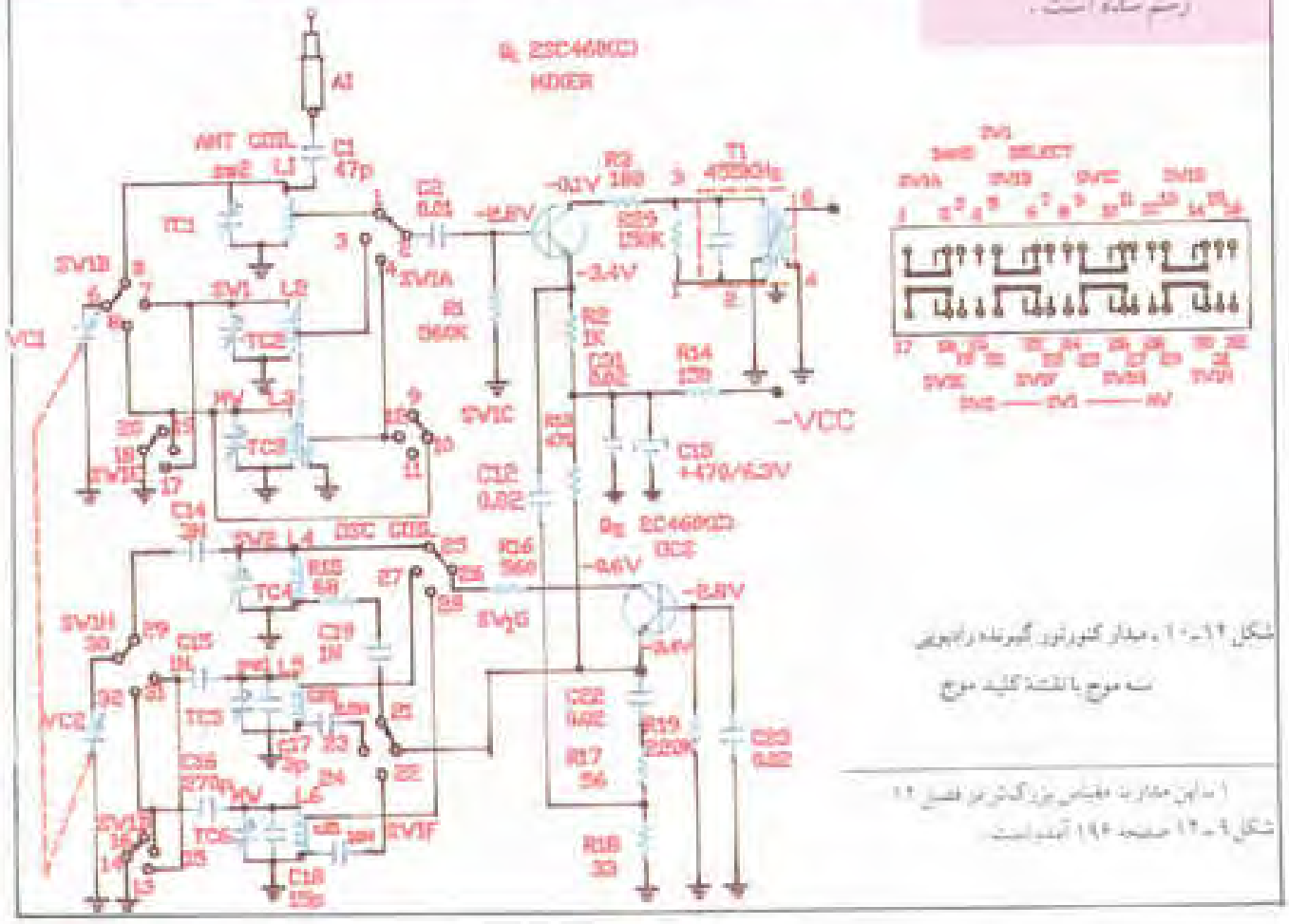
در حالت دریافت موج MW ترانسفورماتورهای L_1 و L_2 و L_3 حذف می‌شود. ترانسفورماتور L_4 در مدار هماهنگ ورودی و ترانسفورماتور L_5 در مدار هماهنگ اسیلاتور وارد مدار می‌شود.

با توجه به این که مدار در حالت SW_1 و SW_2 مورد بررسی قرار گرفته است تحلیل مدار در حالت MW به فراگیر واگذار می‌شود.

(برای مطالعه ـ آغاز)

۱۰ـ۵ـ۸ ـ کنورتور رادیو سه موج با طبقات اسیلاتور و میکسر جدا از هم: در این قسمت به بررسی یک نمونه مدار کنورتور می‌پردازیم که شامل یک ترانزیستور میکسر و یک ترانزیستور اسیلاتور است. از ویژگیهای مهم این مدار وجود مدارهای هماهنگ ورودی آنتن جدا برای هریک از باندهای MW و SW_1 و SW_2 است. همچنین در این گیرنده مدارهای هماهنگ اسیلاتور مجزا برای هریک از باندهای مذکور در نظر گرفته شده است.

در شکل ۱۰ـ۱۲ نقشه کامل مدار کنورتور رادیو سه موج MW و SW_1 و SW_2 همراه با کلید موج رسم شده است.



شکل ۱۰ـ۱۲ ـ مدار کنورتور گیرنده رادیویی سه موج با نقشه کلید موج

(ـ این مدار در مقیاس بزرگتر در فصل ۱۲ شکل ۹ـ۱۲ صفحه ۱۹۶ آمده است.)

کلید موج با ۳۲ پایه برای قطع و وصل ۸ نقطه مدار درنظر گرفته شده است. این کلید با علائم SW_1 تا SW_{11} مشخص شده است. در حالت، کلیدها در وضعیت دریافت موج SW_2 قرار دارند. چون خط ساسی مدار به قطب مثبت منبع تغذیه اتصال دارد. ازاین رو، مقادیر ولتاژها روی پایه های ترانزیستور به صورت مثبتی نشان داده شده است.

۹ـ۵ـ۱۰ـ تغذیه ترانزیستور Q_1: ولتاژ V_{CC}- از طریق مقاومتهای مقسم ولتاژ R_1 و R_2 به امیتر ترانزیستور می رسد. مقاومت R_1 برای تأمین بایاس پیش ترانزیستور و مقاومت R_2 نیز برای کنترل جریان کلکتور است. کلکتور ترانزیستور از طریق مقاومت R_3 و سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور T_1 به شاسی اتصال دارد.

۱۰ـ۵ـ۱۰ـ تغذیه ترانزیستور Q_2: ولتاژ V_{CC}- از طریق مقاومتهای R_4 و R_5 به امیتر ترانزیستور Q_2 می رسد. مقاومت R_5 مدار بایاس پیش ترانزیستور را کامل می کند. کلکتور ترانزیستور از طریق R_6 و کلید SW_{10} و یکی از پیچهای L_4، L_5 یا L_6 به شاسی اتصال دارد.

۱۱ـ۵ـ۱۰ـ مدار هماهنگ ورودی: خازن واریابل VC_1، خازن تریمر TC_1 و پیچ L_1 مدار هماهنگ SW_2 را تشکیل می دهند. اگر کلید در این حالت قرار گیرد، پایه های ۵ و ۶ کلید SW_{11} اتصال کوتاه می شود. خازن واریابل VC_1، خازن تریمر TC_2 و پیچ L_2 مدار هماهنگ SW_1 را تشکیل می دهند. اگر کلید در این حالت قرار گیرد پایه های ۶ و ۷ کلید SW_{11} اتصال کوتاه می شود.

در حالت MW پایه های ۶ و ۸ کلید SW_{11} اتصال کوتاه می شود. خازن واریابل VC_1، خازن تریمر TC_3 و پیچ L_3 مدار هماهنگ MW را تشکیل می دهند.

۱۲ـ۵ـ۱۰ـ مدار هماهنگ اسیلاتور: وقتی که کلید موج در وضعیت SW_2 قرار می گیرد، پایه های ۲۹ و ۳۰ کلید SW_{11} اتصال کوتاه می شود و خازن واریابل VC_2، خازن TC_4، خازن C_{10} و پیچ L_7 مجموعاً مدار هماهنگ اسیلاتور در وضعیت SW_2 را تشکیل می دهند.

وقتی که کلید موج در وضعیت SW_1 قرار می گیرد، پایه های ۳۰ و ۳۱ کلید SW_{11} اتصال کوتاه می شود. در این حالت خازن واریابل VC_2، خازن های C_{11} و TC_5 و C_{12} همراه با پیچ L_8 مدار هماهنگ در وضعیت SW_1 وارد مدار می شود.

وقتی که کلید موج در وضعیت MW قرار می گیرد پایه های ۳۰ و ۳۲ کلید SW_{11} اتصال کوتاه می شود و خازن واریابل VC_2، خازن های TC_6 و C_{13} و پیچ L_9 مدار هماهنگ اسیلاتور در وضعیت MW وارد مدار می شود.

۱۳ـ۵ـ۱۰ـ مسیر فیدبک در اسیلاتور Q_2: ترانزیستور Q_2 به صورت بیس مشترک به کار رفته است. خازن C_{14} مقاومت R_8 را به شاسی بای پاس می کند. مسیر فیدبک به شرح زیر است:

کلکتور ترانزیستور Q_2، مقاومت R_6، کلید SW_{10}، پیچهای L_4 یا L_5 یا L_6، کلید موج SW_2 و امیتر ترانزیستور Q_2.

۱۴ـ۵ـ۱۰ـ سیگنالهای ورودی میکسر: سیگنال دریافتی توسط یکی از مدارهای هماهنگ ورودی دریافت می شود و از طریق کلید موج SW_8 و خازن کوپلاژ C_{15} به پین میکسر می رسد. دلیل توجه است که

برای دریافت باند SW_2 از آنتن کشویی و برای دریافت باندهای SW_1 و MW از آنتن میله فریت استفاده می‌شود. آنتن کشویی A_1 طبق شکل ۱۰ـ۱۲ از طریق خازن کوپلاژ C_{11} به بوبین L_1 اتصال دارد.
سیگنال اسیلاتور از محل اتصال مقاومتهای R_{17} و R_{18} گرفته شده است و از طریق خازن کوپلاژ C_{17} به امیتر ترانزیستور Q_1 اعمال می‌شود.

(برای مطالعه، پایان)

۶ـ۱۰ـ خودآزمایی

۱ـ۶ـ۱۰ـ بلوک دیاگرام کنورتور رادیو سه موج MW و SW_1 و SW_2 را رسم کنید و چگونگی انتخاب هر موج را شرح دهید.

۲ـ۶ـ۱۰ـ در شکل ۸ـ۱۰ کنار هریک از دیودهای D_1 و D_2 و ... D_8 را بنویسید.

۳ـ۶ـ۱۰ـ در شکل ۸ـ۱۰ المانهای مربوط به مدار AGC را مشخص کنید.

۴ـ۶ـ۱۰ـ در شکل ۹ـ۱۰ برای دریافت کدام باند از آنتن تلسکوپی استفاده می‌شود؟

۵ـ۶ـ۱۰ـ در شکل ۱۰ـ۱۰ مسیر فیدبک مثبت اسیلاتور را مشخص کنید.

۶ـ۶ـ۱۰ـ در شکل ۱۱ـ۱۰ مسیر سیگنالهای ورودی میکسر را مشخص کنید.

(برای مطالعه، آغاز)

۷ـ۶ـ۱۰ـ با توجه به شکل ۱۲ـ۱۰ به سوالات زیر پاسخ دهید.

الف ـ کار هریک از ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 را بنویسید.

ب ـ از آنتن میله فریت برای دریافت کدام باند استفاده می‌شود؟

ج ـ در باند MW مسیر سیگنالهای ورودی میکسر را مشخص کنید.

د ـ در باند SW_2 مسیر فیدبک مثبت اسیلاتور را مشخص کنید.

هـ ـ هریک از ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در چه حالتی به کار رفته اند؟
(امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک)

و ـ مزایای کنورتور با ترانزیستورهای میکسر و اسیلاتور مجزا نسبت به کنورتور یک ترانزیستوری را بنویسید.

(برای مطالعه، پایان)

فصل یازدهم

آشنایی با تکنیکهای عیب یابی

هدفهای رفتاری : در پایان این فصل از فراگیر انتظار می رود که :

- بلوکهای یک گیرنده رادیویی را شماره گذاری و شناسایی کند .
- نحوه عیب یابی از طریق ردیابی سیگنال Signal Tracing را شرح دهد .
- نخستین گام برای شروع عیب یابی را تشریح کند .
- مراحل عیب یابی با استفاده از ردیابی سیگنال را به طور دقیق روی گیرنده سوپرهترودین توضیح دهد .
- به سوالات مربوط به عیب یابی از طریق ردیابی سیگنال پاسخ دهد .
- نحوه تنظیم فلوچارت عیب یابی را توضیح دهد .
- برای عیوب مختلف (تعیین بلوک معیوب) فلوچارت عیب یابی تنظیم کند .
- به سوالات مربوط به فلوچارت پاسخ دهد .
- مراحل عیب یابی از طریق تزریق سیگنال را شرح دهد .
- به سوالات مربوط به عیب یابی از طریق تزریق سیگنال پاسخ دهد .

پیشگفتار

یکی از روشهای متداول و آسان در تفکیک طبقه معیوب از سایر طبقات ، استفاده از بلوک دیاگرام دستگاه است . برای عیب یابی بلوک دیاگرام دستگاه ، شناخت کامل بلوک دیاگرام و مدارهای داخلی آن اجتناب ناپذیر است . در این قسمت به عیب یابی یک گیرنده سوپر هترودین با استفاده از روشهای ردیابی سیگنال[1] و تزریق سیگنال[2] می پردازیم . علت انتخاب گیرنده سوپرهترودین به عنوان الگوی مناسب ، آشنایی فراگیران با این دستگاه بوده است .

در صورتی که فراگیران اصول عیب یابی را به خوبی فراگیرند به آسانی می توانند روش ارائه شده را برای سایر دستگاهها تعمیم دهند . پس از تعیین بلوک معیوب باید مدارهای موجود در بلوک را عیب یابی کرد و مدار معیوب را مشخص کرد . پس از تعیین مدار معیوب باید با روشهای مختلف از قبیل اندازه گیری ولتاژ ، جریان و مقاومت و مشاهده شکل موج قطعه معیوب را مشخص و جایگزین کرد .

۱ـ۱۱ـ شماره گذاری و شناسایی بلوکها

به منظور هرچه آسانتر شدن عیب یابی ابتدا هریک از

۱ـ Signal tracing

۲ـ Signal Injection

بلوکها را شناسایی و شماره گذاری کنید. در شکل ۱ـ۱۱ بلوک دیاگرام یک گیرنده سوپرهترودین ترسیم شده است. در این شکل هریک از بلوکها با یک شماره و خروجی هر بلوک با یک حرف انگلیسی طبق جدول ۱ـ۱۱ مشخص شده است.

جدول ۱ـ۱۱

نام بلوک	شماره بلوک	خروجی بلوک
منبع تغذیه — Power Supply	۱	A
تقویت کننده RF — RF Amplifier	۲	B
میکسر (مخلوط کننده) — Mixer	۳	C
اسیلاتور محلی — Local Oscillator	۴	D
تقویت کننده IF — IF Amplifier	۵	E
آشکارساز — Detector	۶	F
تقویت کننده صوتی — A.F Amplifier	۷	G
بلندگو — Loud Speaker	۸	H

شکل ۱ـ۱۱ـ بلوک دیاگرام گیرنده سوپرهترودین

در فصل ششم شکل ۱۰ـ۶ سیگنالهای خروجی و ورودی هریک از بلوکها ترسیم شده است. تعمیرکار، باید از ماهیت هریک ازاین سیگنالها اطلاع کامل داشته باشد تا بتواند از صحت سیگنال مشاهده شده اطمینان حاصل کند. به منظور درک هرچه بیشتر اصول عیب یابی توصیه می شود مبحث ۸ـ۶ از فصل ششم را دوباره مرور کنید.

۲ـ۱۱ ـ خودآزمایی

۱ـ۲ـ۱۱ ـ برای تعیین بلوک معیوب به چه دلیل هریک از پتوانها را شماره گذاری می کنیم ؟

۲ـ۲ـ۱۱ ـ شکل موج نقاط A , B , C , D , E , F , G و H را با مقیاس مناسب روی بلوک دیاگرام شکل ۱ـ۱۱ ترسیم کنید.

۳ـ۲ـ۱۱ ـ به چه دلیل لازم است یک تعمیرکار از اصول کار هر بلوک و شکل موج نقاط مختلف آن آگاهی داشته باشد .

۳ـ۱۱ ـ ردیابی سیگنال

ردیابی سیگنال را در اصطلاح بررسی کردن سیگنال (SIGNAL TRACING) نیز می نامند . در این روش ، معمولاً سیگنال نقاط مختلف را در دستگاه ردیابی می کنند. برای ردیابی سیگنال ، نیاز به دستگاه ویژه ای نیست. اسیلوسکوپ است ؛ برای این که بتوانید سیگنال تولید شده در داخل دستگاه را مشاهده و ردیابی کنید .

۱ـ۳ـ۱۱ ـ اولین گام جهت عیب یابی درصورتی که دستگاه شما اصلاً کار نمی کند ، یعنی هیچ گونه صدایی در خروجی وجود ندارد ، اولین گمان ، معیوب بودن منبع تغذیه یا بلندگو است . چرا که یکی از عواملی که باعث از کار افتادن دستگاه می شود قطع شدن ولتاژ تغذیه یا قطع شدن سیم بلندگو است . بنابراین در چنین شرایطی اولین گام بررسی و آزمایش منبع تغذیه و بلندگو است . برای آزمایش منبع تغذیه و بلندگو می توانید از یک ولت متر و یک اهم متر استفاده کنید . با استفاده از اهم متر دوشاخه و سیم رابط منبع تغذیه و بلندگو را امتحان کنید . توسط ولت متر ولتاژهای تغذیه ورودی و خروجی را اندازه بگیرید ، در صورتی که ولتاژها طبق مقادیر استاندارد در نظر باشند ، مراحل عیب یابی را روی سایر قسمتها پی گیری کنید .

درهر صورت ، تحت هر شرایطی و با وجود هر نوع اشکالی ، لازم است به عنوان اولین کار ، منبع تغذیه را بررسی کنید ، برای این که هرگونه اختلالی در منبع تغذیه از قبیل کاهش ولتاژ یا افزایش ولتاژ متناوب ، عامل بروز عیب در دستگاه باشد .

اولین گام

قبل از هر اقدامی منبع تغذیه دستگاه و بلندگو را امتحان کنید .

۲ـ۳ـ۱۱ ـ گام دوم و گامهای بعدی : درصورتی که منبع تغذیه دستگاه سالم است ، قدم دوم شروع می شود . در این مرحله باید عیب را بلوکه کنیم ، یعنی ببینیم عیب در کدام بلوک دستگاه رخ داده است . برای تعیین بلوک معیوب دستگاه را به دو قسمت تقسیم می کنیم و سیگنالهای ورودی و خروجی بلوک میانی دستگاه را با اسیلوسکوپ ملاحظه می کنید ؛ مثلاً برای گیرنده سوپرهترودین ، بلوک میانی دستگاه در حدود آخرین طبقه تقویت کننده IF است[1] که با شماره ۵ در شکل ۱ـ۱۱ مشخص شده است ، در صورتی که در خروجی طبقه تقویت کننده IF ، (نقطه E) سیگنال مدوله

۱ـ در گیرنده های رادیویی معمولاً سومین طبقه تقویت کننده از پیش تقویت کننده ، آخرین طبقه تقویت کننده IF است ، از این رو به عنوان اولین نقطه از میانی در نظر گرفته می شود . از این به بعد هدف آموزش صورت تقریبی است ، بلوک IF را به عنوان بلوک میانی در نظر گرفته ایم .

تقویت شده در فرکانس IF وجود داشته باشد، عیب در یکی از بلوکهای مرحله بعد از تقویت کننده IF و به طرف بلندگو است (سمت راست). اگر خروجی تقویت کننده IF فاقد سیگنال باشد، عیب در طبقات قبلی بلوک تقویت کننده IF و به طرف سمت چپ است.

۳ـ۳ـ۱۱ـ تعیین بلوک معیوب درصورت وجود سیگنال در خروجی بلوک شماره ۵: در مرحله ۲ـ۳ـ۱۱ مشخص کردیم که با مشاهده شکل موج ورودی و خروجی می توانیم منطقه عیب را که در سمت چپ یا راست قرار دارد مشخص کنیم. فرض می کنیم که پس از بررسی و مشاهده شکل موج نقطه E ملاحظه می شود که در نقطه E سیگنال IF تقویت شده وجود دارد (شکل ۲ـ۱۱).

در این حالت با توجه به شرایط بیان شده، اشکال در یکی از بلوکهای شماره ۶، ۷، یا ۸ است.

شکل ۲ـ۱۱ ـ شکل مربوط به بلوک شماره ۵ است.

حال بار دیگر نحوه معیوب مدار را که شامل بلوکهای ۶، ۷، و ۸ است، به دو قسمت تقسیم می کنیم و خروجی بلوک شماره ۷ را که مدار تقویت کننده صوت است، مورد آزمایش، قرار می دهیم. در صورتی که در خروجی این مدار سیگنال تقویت شده وجود داشته باشد، اشکال درمسیر اتصالات بلندگو است (بلوک شماره ۸). در صورتی که در خروجی بلوک شماره ۷ سیگنال صوتی مناسب وجود نداشته باشد، عیب در طبقه تقویت کننده صوت یا آشکارساز است. با مشاهده سیگنال خروجی آشکارساز (بلوک شماره ۶) به آسانی می توانیم گفت عیب مربوط به کدام طبقه است. درصورتی که در خروجی آشکارساز سیگنال آشکارشده صوتی وجود داشته باشد، اشکال در بلوک شماره ۷ یعنی طبقه تقویت کننده صوت است. در صورت عدم وجود سیگنال در خروجی آشکارساز، عیب در طبقه آشکارساز یعنی بلوک شماره ۶ است. در شکل ۳ـ۱۱ مراحل انجام کار به صورت قدم به قدم نشان داده شده است.

شکل ۳ـ۱۱ ـ مراحل عیب یابی

۴ـ۳ـ۱۱ـ تعیین بلوک معیوب در صورت عدم وجود سیگنال در خروجی بلوک شماره ۵: در صورتی که سیگنال در خروجی بلوک شماره ۵ وجود نداشته باشد، اشکال در بلوکهای سمت چپ مدار است (شکل ۴ـ۱۱).

شکل ۴ـ۱۱ـ اشکال در سمت چپ بلوک شماره ۵ است

در این مرحله نیز برای تعیین بلوک معیوب، در صورت زیاد بودن تعداد بلوکها، از روش دو قسمت کردن بلوکها و مشاهده سیگنال خروجی بلوک میانی استفاده می کنیم. در صورتی که تعداد بلوکها محدود باشد، شکل موج خروجی هریک از طبقات را به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می دهیم و به ترتیب به بلوک معیوب نزدیک می شویم و بلوک معیوب را تعیین می کنیم. مثلاً در مدار شکل ۴ـ۱۱ کافی است سیگنالهای نقاط C یا D را مشاهده کنیم. درصورت عدم وجود سیگنال در نقطه C قسمت اسیلاتور محلی معیوب است. اگر در نقطه C سیگنال وجود داشته باشد، ولی در نقطه D سیگنال نداشته باشیم، اشکال در طبقه میکسر یا طبقات مربوط به مدار آنتن است.

۴ـ۱۱ـ خودآزمایی

۱ـ۴ـ۱۱ـ اولین گام در تعیین بلوک معیوب چیست؟ شرح دهید.

۲ـ۴ـ۱۱ـ در صورتی که در خروجی تقویت کننده IF سیگنال وجود نداشته باشد، عیب در کدام طرف گیرنده است؟ چرا؟

۳ـ۴ـ۱۱ـ در شکل ۴ـ۱۱ در خروجی بلوک شماره ۴ سیگنال نداریم کدام قسمتها مورد سوء ظن قرار می گیرد؟ شرح دهید.

۴ـ۴ـ۱۱ـ در صورتی که در شکل ۴ـ۱۱ در خروجی اسیلاتور سیگنال نداشته باشیم، اشکال در چیست؟

۵ـ۴ـ۱۱ـ به چه دلایلی لازم است قبل از هر اقدامی منبع تغذیه دستگاه را مورد آزمایش قرار دهیم؟ شرح دهید.

۵ـ۱۱ـ فلوچارت[1] عیب یابی

برای تعیین بلوک معیوب و تفکیک آن از سایر طبقات باید از فلوچارت عیب یابی استفاده کنیم. فلوچارت عیب یابی راهنمای بسیار مناسبی برای رسیدن به بلوک معیوب است.

فلوچارت عیب یابی عبارت از برنامه منظم و از پیش تعیین شده ای است که بر اساس نوع عیب ظاهری تدوین می شود. این برنامه ریزی به گونه ای است که مراحل انجام کار را قدم به قدم تعیین می کند.

در فلوچارت عیب یابی از سه علامت به شرح زیر استفاده می شود:

1- Flow Chart

۱ـ علامت لوزی که سؤال مورد نظر مطرح می‌شود و دارای دو خروجی است.

۲ـ علامت بیضی که شروع و پایان را تعیین می‌کند.

۳ـ علامت مستطیل که دستورات اجرایی را می‌دهد.

در شکل ۵ـ۱۱ الف و ب و ج علایم مورد استفاده در فلوچارت عیب‌یابی آمده است.

الف ـ علامت شروع ب ـ علامت مربوط به مطرح کردن سؤال ج ـ دستور اجرایی

شکل ۵ـ۱۱ ـ علایم استفاده شده در فلوچارت عیب‌یابی

۱ـ۵ـ۱۱ ـ نحوه تنظیم فلوچارت عیب‌یابی: فرض می‌کنیم خروجی یک گیرنده سوپرهترودین صدا ندارد و می‌خواهیم برای آن فلوچارت عیب‌یابی تدوین کنیم.

بر اساس دستورالعمل ارائه شده باید ابتدا منبع تغذیه را مورد مطالعه قرار دهیم و ولتاژهای آن را بررسی کنیم. دو حالت اتفاق می‌افتد:

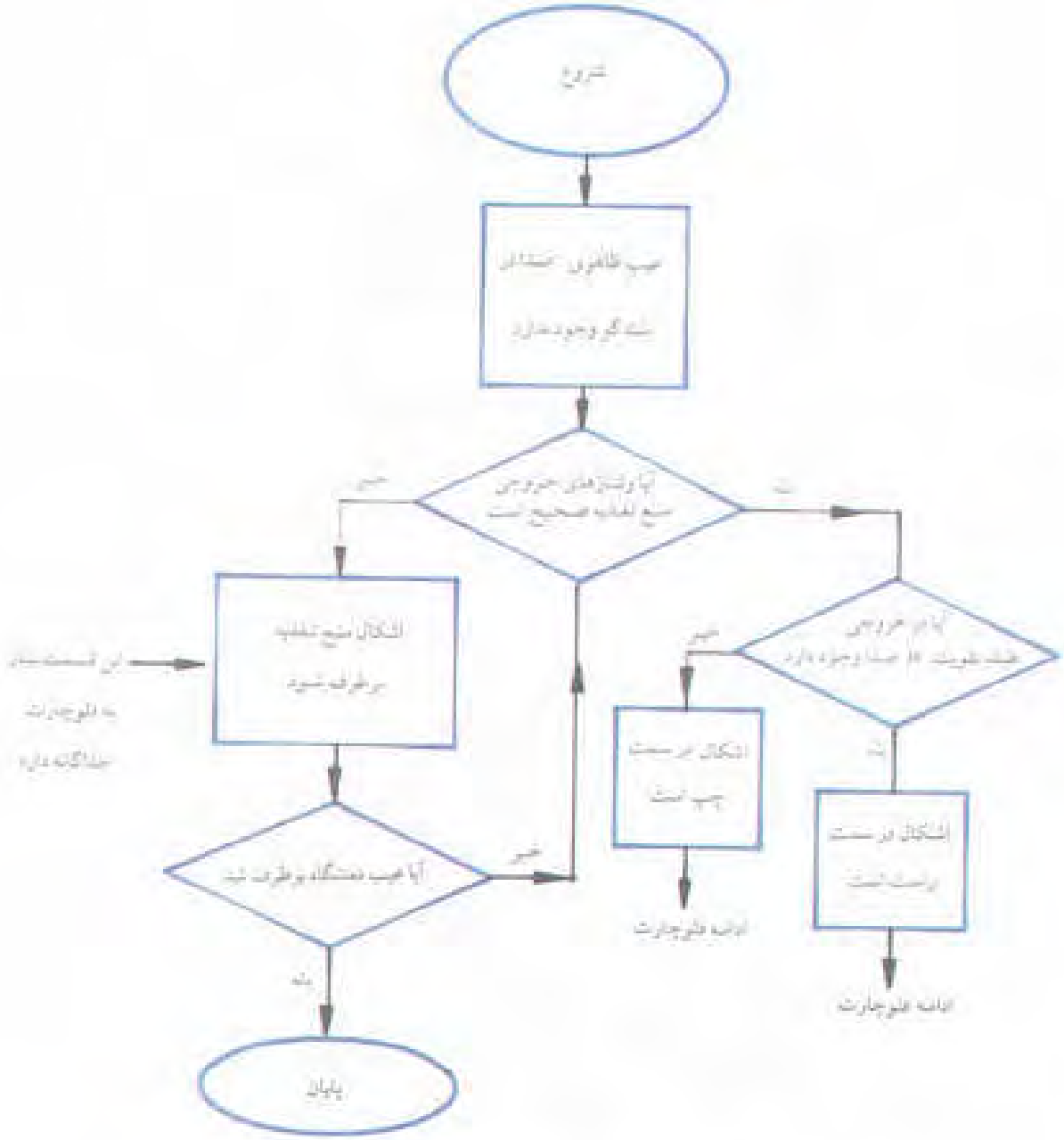
۱ـ ولتاژهای خروجی منبع تغذیه درست نیست. در این حالت، منبع تغذیه معیوب است و باید از نظر بلوک، مدار و قطعه معیوب مورد بازرسی قرار گیرد و عیب آن برطرف شود.

۲ـ ولتاژ خروجی منبع تغذیه صحیح است. در این حالت عیب در سایر قسمتها است که باید مجموعه بلوک دیاگرام به دو قسمت شود و بر اساس مرحله ۳ـ۱۱ مورد عیب‌یابی قرار گیرد. در شکل ۶ـ۱۱ قسمتی از فلوچارت عیب‌یابی ترسیم شده است.

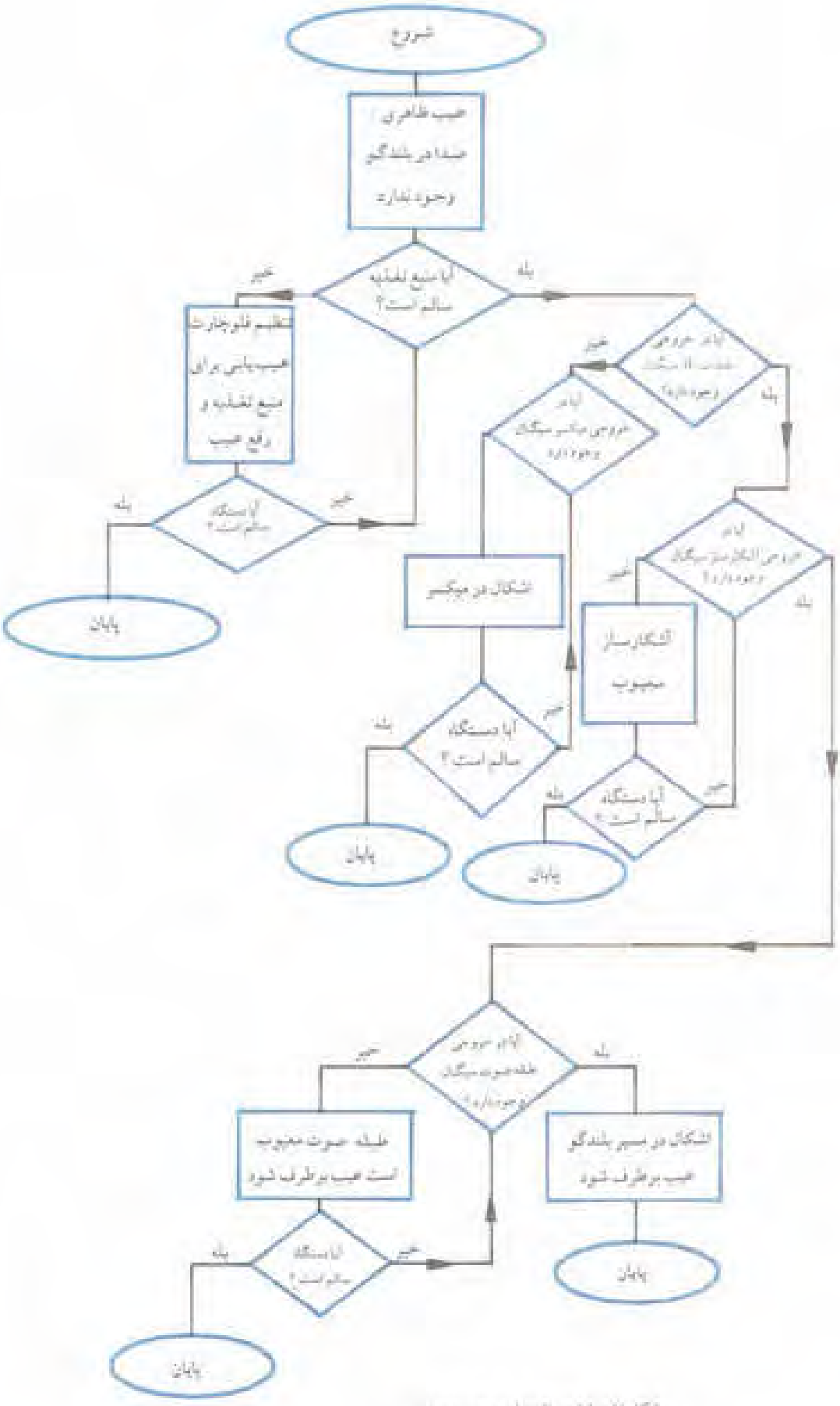
در صورتی که بر اساس دستورالعمل شماره ۳ـ۱۱ بخواهیم فلوچارت عیب‌یابی را برای حالتی که صدا در خروجی وجود ندارد ترسیم کنیم، شکل ۷ـ۱۱ به‌دست می‌آید. در این فلوچارت حالات مختلفی را که ممکن است موجب بروز عیب شود آورده‌ایم.

یادآور می‌شود که پس از تعیین بلوک معیوب باید فلوچارت عیب‌یابی برای مدارهای موجود در بلوک معیوب تدوین شود. پس از مشخص کردن مدار معیوب، فلوچارت عیب‌یابی برای تعیین قطعه معیوب نوشته می‌شود که بر اساس آن قطعه معیوب تعیین و یا قطعه سالم جایگزین می‌شود. در فلوچارت شکل ۷ـ۱۱ هر مسیر که به بلوک معیوب ختم می‌شود با تغییر ضخامت خطوط مشخص شده است.

یک تکنسین با تجربه بعد از مدتی کار کردن و کسب مهارت کافی عملاً از ترسیم مستمر فلوچارت عیب‌یابی بی‌نیاز می‌شود؛ زیرا تمام موارد مربوط به فلوچارت به علت تکرار در ذهن او نقش بسته و در هر مرحله آن را به کار می‌بندد.



شکل ۶ـ۱۲ـ قسمتی از یک فلوچارت جعبه بابی



شکل ۷ـ ۹۱ ـ فلوچارت عیب‌یابی

۶ـ۱۱ـ خودآزمایی

۱ـ۶ـ۱۱ـ به چه دلیل از فلوچارت عیب‌یابی استفاده می‌کنیم؟

۲ـ۶ـ۱۱ـ برای حالتی که در خروجی گیرنده سوپرهترودین صدا ضعیف است، فلوچارت عیب‌یابی ترسیم کنید.

۳ـ۶ـ۱۱ـ در چه زمانی یک تکنسین از ترسیم فلوچارت عیب‌یابی بی‌نیاز می‌شود؟ چرا؟

۷ـ۱۱ـ تزریق سیگنال

یکی دیگر از روشهای متداول در تعمیر بلوک معیوب، تزریق یک سیگنال مدوله شده AM به مدار است. برای تزریق سیگنال نیاز به یک مولد سیگنال RF[1] با تون صوتی مدوله شده داریم. در این روش مولد RF می‌تواند به‌عنوان فرستنده، اسیلاتور محلی یا مولد سیگنال IF عمل کند. اغلب سیگنال ژنراتورهای RF دارای خروجی تون صوتی نیز هستند که توسط آن می‌توان طبقه تقویت کننده صوت را مورد آزمایش قرار داد. در شکل ۸ـ۱۱ یک نمونه سیگنال ژنراتور RF را مشاهده می‌کنید. کنترلهای این دستگاه از نوع دیجیتالی است.

شکل ۸ـ۱۱ـ یک نمونه مولد سیگنال RF

۱ـ۷ـ۱۱ـ نحوه عیب‌یابی یک گیرنده سوپرهترودین از طریق تزریق سیگنال

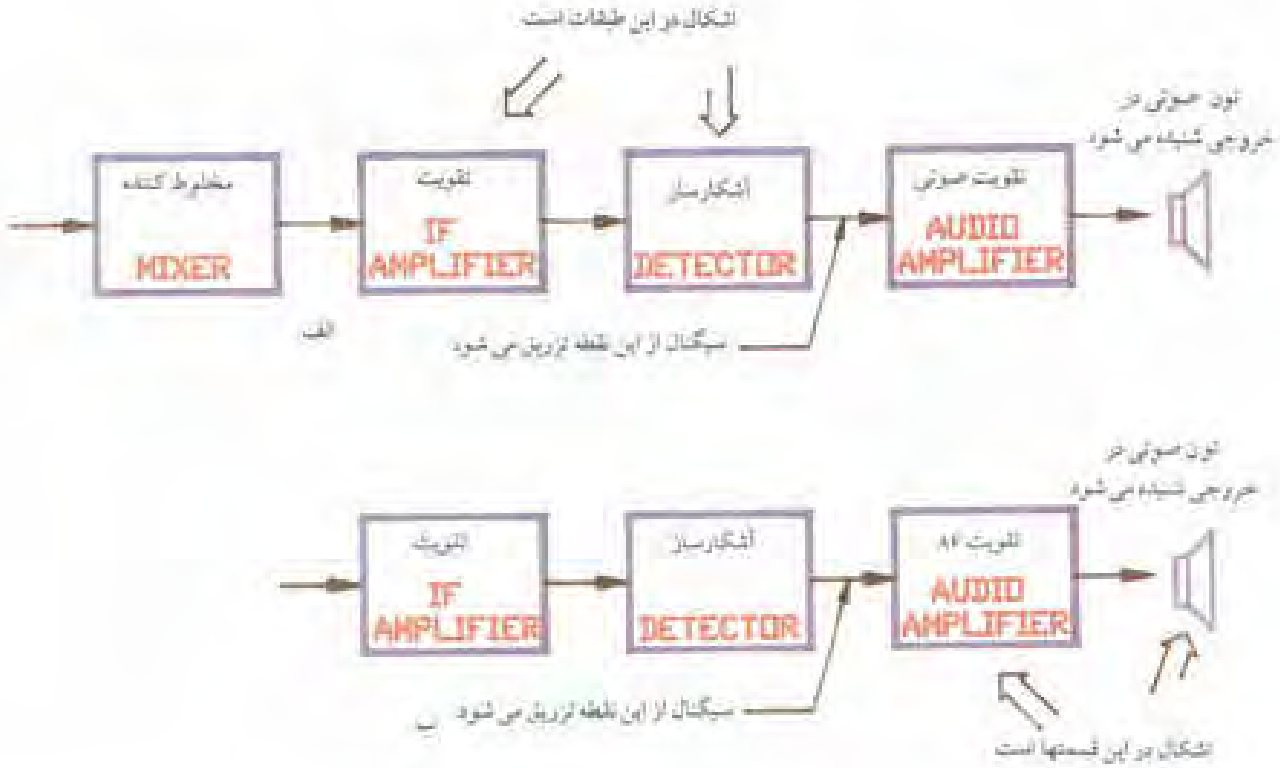
برای آزمایش گیرنده سوپرهترودین، ابتدا سیگنال AF را به ورودی طبقه صوتی اعمال می‌کنیم. در صورتی که صدا از خروجی شنیده نشود اشکال در سیستم صوتی و طبقه بلندگو است.

در شکل الف ۹ـ۱۱ و ب ۹ـ۱۱ طیفات صوتی گیرنده سوپرهترودین در دو حالت مختلف تزریق سیگنال ترسیم شده است.

طبق شکل الف ۹ـ۱۱ در صورتی که تون صوتی بعد از تزریق سیگنال در خروجی شنیده شود اشکال در طبقات آشکارساز، IF یا . . . خواهد بود. و طبق شکل ب ۹ـ۱۱ در صورتی که سیگنال تون صوتی از بلندگو شنیده نشود اشکال مربوط به طبقات تقویت کننده صوت و بلندگو است.

---

[1] RF = Signal Generator



شکل ۹ـ۱۱ـ عیب یابی از طریق تزریق سیگنال

برای تشخیص و تفکیک عیوب طبقات آشکارساز، IF، میکسر و ... از یکدیگر با اعمال سیگنال مدوله شده IF به ورودی آشکارساز یا ورودی طبقات IF یا ... بر اساس دستور العمل عیب یابی طبقه معیوب را مشخص می کنیم.

۸ـ۱۱ـ خودآزمایی

۱ـ۸ـ۱۱ـ سیگنالهای خروجی یک سیگنال ژنراتور رادیویی RF را نام ببرید.

۲ـ۸ـ۱۱ـ برای آزمایش طبقه میکسر چه سیگنالی باید به ورودی آن اعمال کنیم؟

۳ـ۸ـ۱۱ـ مراحل عیب یابی از طریق تزریق سیگنال را برای گیرنده رادیویی سوپرهترودین که طبقه تقویت کننده IF آن خراب است شرح دهید.

۴ـ۸ـ۱۱ـ برای اطمینان از صحت کار اسیلاتور محلی با استفاده از روش تزریق سیگنال چگونه عمل می کنیم؟

فصل دوازدهم

نقشه ها و سوالات تکمیلی

هدفهای رفتاری : در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که :

- نقشه های مختلف گیرنده رادیویی را از نظر بلوک دیاگرام تفکیک کند.
- با توجه به علایم ظاهری، بلوک معیوب را مشخص کند .
- در صورت خرابی قطعه، نوع عیب را مشخص کند .
- کاربرد کلیه المانهای به کاررفته در نقشه ها را تشریح کند .

پیشگفتار

می‌دانیم که تدوین کتاب باید به نحوی باشد که ضمن آموزش کامل و جامع برای کلیه فراگیران، بتواند نیازهای دانش‌آموزان مستعد را نیز فراهم آورد و خلاقیت آنان را شکوفا کند.

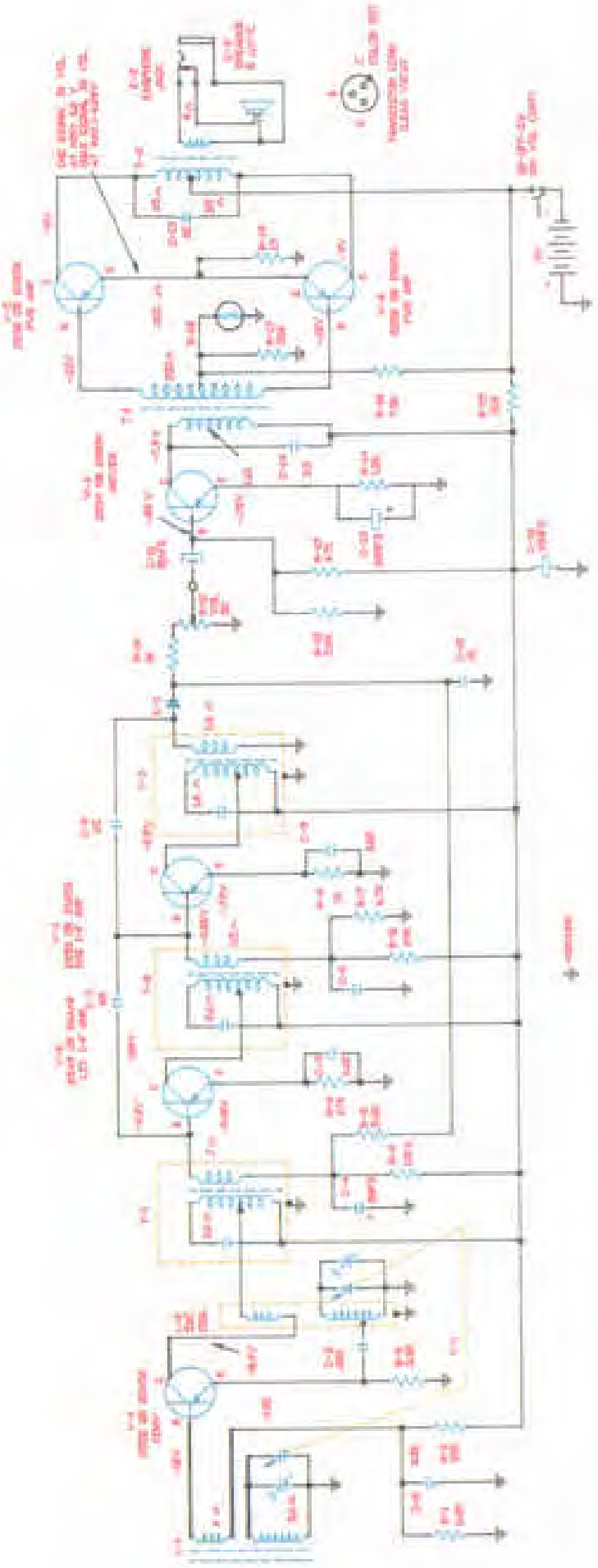
در فصل‌های یک تا یازده کتاب موارد اضافی با عنوان « برای مطالعه » ارائه شده است. در این فصل در مجموع تعداد صد و بیست سؤال برای سه نوع نقشه پیش‌بینی کرده‌ایم. فراگیران علاقه‌مند می‌توانند با مراجعه به نقشه‌ها و سؤالات، بر سطح دانش علمی و مهارت خود بیفزایند. یادآور می‌شود که از محتویات این فصل آزمونی گرفته نمی‌شود و مربیان محترم در صورت داشتن زمان اضافه می‌توانند قسمتهایی از این فصل را انتخاب کنند و مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند.

۱ـ۱۲ ـ نقشه های مورد مطالعه

در شکل ۱ـ۱۲ نقشه گیرنده رادیویی یک موج شش ترانزیستوری را مشاهده می‌کنید. تفاوت این نقشه با نقشه های قبلی در نوع ترانزیستور آن است که به صورت *PNP* است. از این نقشه تعداد ۵۰ سؤال در قسمت ۱۲ـ۲ مطرح شده است.

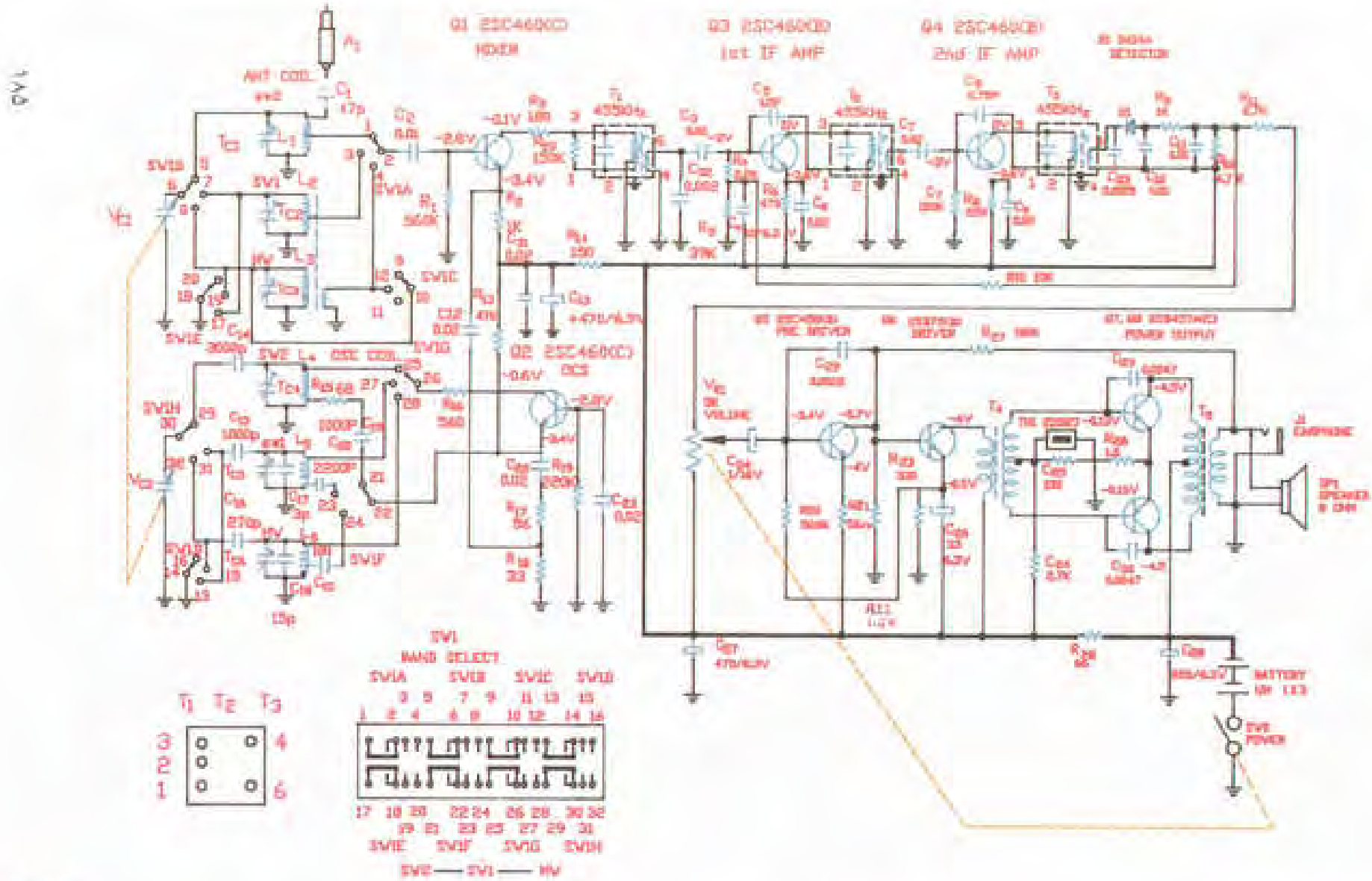
در شکل ۱۲ـ۲ نقشه گیرنده رادیویی دوموج *MW - SW* را ملاحظه می‌کنید. جزئیات این مدار در فصلهای پیشین مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این فصل تعداد ۳۰ سؤال در ارتباط با نحوهٔ عیب‌یابی و بروز عیب درمدار مطرح کرده‌ایم.

در شکل ۱۲ـ۳ نقشه یک گیرنده رادیویی سه موج SW_2 و SW_1 MW را آورده‌ایم. در ارتباط با این نقشه تعداد ۵۰ سؤال مطرح شده است.



شکل ۱۲۱ - نقشه مدار کامل دستگاه تصویر یک دوم ۱۸۳

MODEL NO.MA7SW
PVC
ANT
220V
110V
LED



NOTES

1. ALL RESISTANCES ARE $\pm$ 5% $\frac{1}{4}$ W. UNLESS OTHRWISE NOTED. VALUSE ARE OHMS. K=1000, M=1000K
2. ALL CAPACITANCES VALUES ARE IN MF UNLESS OTHERWISE NOTED. P=MMF
3. BAND SELECTOR SWITCH(SV IS IN SW2 POSITION.
4. VOLTAGE READINGS TO COMMON GROUND (+) ARE MEASURED WITH V.T.V.M. UNDER NO SIGNAL.

شکل ۳-۱۹- نقشه مدار گیرنده، رادیو سه موج AM

۲ـ۱۲ـ خودآزمایی

با توجه به نقشه شکل ۱۲.۱ به سوالات زیر پاسخ دهید:

۱ـ۲ـ۱۲ـ نقش مقاومتهای R_1 و R_2 چیست؟

۲ـ۲ـ۱۲ـ نقش خازن C_2 چیست؟

۳ـ۲ـ۱۲ـ مدار نوسانساز استفاده شده از چه نوع مداری است؟

۴ـ۲ـ۱۲ـ نقش ترانزیستور V_1 را شرح دهید.

۵ـ۲ـ۱۲ـ کار بوبین L_1 را در گیرنده رادیو تشریح کنید.

۶ـ۲ـ۱۲ـ نقش مقاومت R_2 چیست؟ شرح دهید.

۷ـ۲ـ۱۲ـ خازن C_2 چه کاری انجام می‌دهد؟

۸ـ۲ـ۱۲ـ چرا خازنهای C_1 هم‌محور انتخاب شده است؟

۹ـ۲ـ۱۲ـ عناصری را که در نوسانسازی نقش فیدبک را به عهده دارند نام ببرید.

۱۰ـ۲ـ۱۲ـ به چه دلیل تغذیه کلکتور ترانزیستور V_1 از طریق ترانسفورماتور T_1 تأمین می‌شود؟

۱۱ـ۲ـ۱۲ـ نحوه عمل مخلوط کنندگی را در مدار مورد بحث، شرح دهید.

۱۲ـ۲ـ۱۲ـ خازنهای C_3 و C_4 عهده‌دار چه وظیفه‌ای هستند؟ شرح دهید.

۱۳ـ۲ـ۱۲ـ ترانزیستورهای V_1 و V_2 در چه کلاسی بایاس شده‌اند؟ چرا؟

۱۴ـ۲ـ۱۲ـ مقاومتهای تأمین کننده بایاس بیس ترانزیستور V_2 کدامند؟

۱۵ـ۲ـ۱۲ـ نقش خازن C_3 چیست؟ شرح دهید.

۱۶ـ۲ـ۱۲ـ عناصر AVC را نام ببرید و نحوهٔ تأثیر ولتاژ AVC روی مدار را شرح دهید.

۱۷ـ۲ـ۱۲ـ مقاومتهای تأمین کننده بایاس DC بیس ترانزیستور V_2 کدام‌اند؟

۱۸ـ۲ـ۱۲ـ نقش خازن C_5 چیست؟ شرح دهید.

۱۹ـ۲ـ۱۲ـ عناصر مربوط به بار کلکتور ترانزیستور V_2 را نام ببرید.

۲۰ـ۲ـ۱۲ـ نقش خازن C_6 چیست؟ شرح دهید.

۲۱ـ۲ـ۱۲ـ عناصر مربوط به مدار آشکارساز را نام ببرید.

۲۲ـ۲ـ۱۲ـ نقش مقاومت R_{11} چیست؟ شرح دهید.

۲۳ـ۲ـ۱۲ـ نقش خازن C_{11} چیست؟ شرح دهید.

۲۴ـ۲ـ۱۲ـ نقش مقاومت R_{11} چیست؟ شرح دهید.

۲۵ـ۲ـ۱۲ـ عناصر مدار دکوپلینگ کدامند؟ نام ببرید.

۲۶ـ۲ـ۱۲ـ خازن C_{10} چه عملی انجام می‌دهد؟ شرح دهید.

۲۷ـ۲ـ۱۲ـ مقاومتهای R_{12} و R_{13} چه عملی انجام می‌دهند؟ شرح دهید.

۲۸ـ۲ـ۱۲ـ نقش خازن C_{12} چیست؟ شرح دهید.

۲۹ـ۲ـ۱۲ـ ترانزیستور V_2 چه عملی را در گیرنده رادیو انجام می‌دهد؟

۳۰ـ۲ـ۱۲ـ ترانزیستور V_2 در چه کلاسی بایاس شده است؟

۳۱ـ۲ـ۱۲ـ مقاومت $R_{۹}$ چه نقشی را در مدار گیرنده رادیو به عهده دارد ؟

۳۲ـ۲ـ۱۲ـ خازن $C_{۹}$ چه عملی را انجام می‌دهد ؟ شرح دهید .

۳۳ـ۲ـ۱۲ـ نقش خازن $C_{۷}$ چیست ؟ شرح دهید .

۳۴ـ۲ـ۱۲ـ ترانزیستورهای $V_{۵}$ و $V_{۶}$ در چه کلاسی بایاس شده‌اند ؟ شرح دهید .

۳۵ـ۲ـ۱۲ـ مقاومتهای تأمین کننده بایاس بیس ترانزیستور $V_{۵}$ کدامند ؟

۳۶ـ۲ـ۱۲ـ مقاومتهای تأمین کننده بایاس بیس $V_{۶}$ کدامند ؟

۳۷ـ۲ـ۱۲ـ $R_{۸}$ چیست و چه نقشی در مدار دارد ؟

۳۸ـ۲ـ۱۲ـ خازن $C_{۱۰}$ چیست و چه نقشی در مدار دارد ؟

۳۹ـ۲ـ۱۲ـ مقاومت $R_{۹}$ چه عملی انجام می‌دهد و به چه دلیل مقدار آن کم است ؟

۴۰ـ۲ـ۱۲ـ آیا به جای خازن $C_{۱۰}$ می‌توان خازنی با ظرفیت ۱۰Nf قرار داد ؟ چرا ؟

۴۱ـ۲ـ۱۲ـ نقش ترانسهای $T_{۵}$ و $T_{۶}$ را شرح دهید .

۴۲ـ۲ـ۱۲ـ $E_{۶}$ چیست و چه کاربردی دارد ؟

۴۳ـ۲ـ۱۲ـ به چه دلیل هسته ترانس اسلاتور $L_{۶}$ باید متغیر در نظر گرفته شود ؟

۴۴ـ۲ـ۱۲ـ آیا به جای خازن $C_{۶}$ می‌توان خازنی با ظرفیت ۰/۱ میکروفاراد قرار داد ؟ چرا ؟

۴۵ـ۲ـ۱۲ـ ترانس $T_{۶}$ کاهنده است یا فزاینده ؟ چرا ؟

۴۶ـ۲ـ۱۲ـ ترانس $T_{۵}$ کاهنده است یا فزاینده ؟ چرا ؟

۴۷ـ۲ـ۱۲ـ آیا به جای خازن $C_{۱۲}$ می‌توانیم خازنی با ظرفیت ۸ میکروفاراد قرار دهیم ؟ چرا ؟

۴۸ـ۲ـ۱۲ـ در صورتی که خازن $C_{۱۰}$ اتصال کوتاه شود چه اشکالی در گیرنده به وجود می‌آید ؟

۴۹ـ۲ـ۱۲ـ مدار نوسانساز در گیرنده دارای چه آرایشی است و از چه نوع است ؟

۵۰ـ۲ـ۱۲ـ ولتاژ تغذیه کلکتور $V_{۶}$ حدوداً چند ولت است ؟

۳ـ۱۲ـ با توجه به نقشه شکل ۲ـ۱۲ به سؤالات زیر پاسخ دهید :

۱ـ۳ـ۱۲ـ به چه دلیل کلیدهای SW,A تا SW,F باید هم‌محور باشند و به طور همزمان تغییر حالت بدهند ؟ به طور کامل شرح دهید .

۲ـ۳ـ۱۲ـ نقش خازن $C_{۱}$ چیست ؟ شرح دهید .

۳ـ۳ـ۱۲ـ نقش کلید $SW_{۲}$ را شرح دهید .

۴ـ۳ـ۱۲ـ نقش مقاومت $R_{۱۶}$ را شرح دهید .

۵ـ۳ـ۱۲ـ نقش دیود $D_{۴}$ را شرح دهید .

۶ـ۳ـ۱۲ـ خازن $C_{۱۳}$ چه عملی در مدار انجام می‌دهد ؟

۷ـ۳ـ۱۲ـ نقش خازن $C_{۱۸}$ را بنویسید .

۸ـ۳ـ۱۲ـ دیودهای $D_{۱}$ و $D_{۲}$ و $D_{۳}$ چه عملی را انجام می‌دهند ؟

۹ـ۳ـ۱۲ـ اگر دیودهای $D_{۱}$ تا $D_{۳}$ را اتصال کنیم چه اشکالی در سیستم پدید می‌آید ؟

۱۰ـ۳ـ۱۲ـ در صورت اتصال کوتاه کردن مقاومت $R_{۹}$ چه اشکالی در گیرنده پدید می‌آید؟

۱۱ـ۳ـ۱۲ـ در صورت قطع شدن خازن $C_{۱۶}$ چه اشکالی در مدار به وجود می‌آید؟

۱۲ـ۳ـ۱۲ـ در صورتی که سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور $T_{۲}$ اتصال کوتاه شود چه اشکالی در مدار پیش می‌آید؟

۱۳ـ۳ـ۱۲ـ درصورتی که خازن $C_{۲۲}$ اتصال کوتاه شود چه اشکالی در خروجی گیرنده پدید می‌آید؟

۱۴ـ۳ـ۱۲ـ درصورتی که کلید SW,D عمل نکند چه اشکالی پیش می‌آید؟ شرح دهید.

۱۵ـ۳ـ۱۲ـ در صورتی که مقاومت $R_{۹}$ قطع شود چه اشکالی در مدار به وجود می‌آید؟

۱۶ـ۳ـ۱۲ـ نقش کلید $SW_{۳}$ را شرح دهید.

۱۷ـ۳ـ۱۲ـ در صورتی که کلید $SW_{۲}$ عمل نکند چه اشکالی در گیرنده به وجود می‌آید؟

۱۸ـ۳ـ۱۲ـ درصورتی که خازنهای $C_{۳۰}$ و $C_{۳۱}$ برداشته شود چه اشکالی در سیستم به وجود می‌آید؟ شرح دهید.

۱۹ـ۳ـ۱۲ـ درصورتی که اولیه ترانس $T_{۲}$ قطع شود چه اشکالی در سیستم به وجود می‌آید؟

۲۰ـ۳ـ۱۲ـ چه عواملی موجب از کار افتادن مدار نوسانساز می‌شود؟ شرح دهید.

۴ـ۱۲ ـ با توجه به نقشه شمارهٔ ۳ به سوالات زیر پاسخ دهید (شکل ۳ـ۱۲).

سوالات کنورتور

۱ـ۴ـ۱۲ـ ترانزیستور $Q_{۵}$ در چه حالتی به کار گرفته شده است؟ (امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک)

۲ـ۴ـ۱۲ـ ترانزیستورهای $Q_{۱}$ و $Q_{۲}$ هرکدام در چه کلاسی کار می‌کنند؟

۳ـ۴ـ۱۲ـ کار هریک از خازنهای تریمر را بنویسید.

۴ـ۴ـ۱۲ـ اگر مدار هماهنگ اسیلاتور در باند MW قطع شود ولتاژ بایاس روی پایه های ترانزیستور $Q_{۵}$ چه تغییری می‌کند و چرا؟

۵ـ۴ـ۱۲ـ از آنتن تلسکوپی $A_{۱}$ برای دریافت کدام باند استفاده می‌شود؟

۶ـ۴ـ۱۲ـ اگر دیود بیس امیتر ترانزیستور $Q_{۵}$ قطع شود چه اشکالی در صدای بلندگو به وجود می‌آید و چرا؟

۷ـ۴ـ۱۲ـ هنگام تغییر باند از $SW_{۱}$ به $SW_{۲}$ فرکانس اسیلاتور زیاد می‌شود یا کم؟ چرا؟

۸ـ۴ـ۱۲ـ برای دریافت باند MW کدام یک از پایه های کلید موج اتصال کوتاه می‌شوند؟

۹ـ۴ـ۱۲ـ در باند $SW_{۱}$ مسیر سیگنال از آنتن به ورودی میکسر را با ذکر شمارهٔ المانها مشخص کنید.

۱۰ـ۴ـ۱۲ـ در باند MW مسیر سیگنال از اسیلاتور به میکسر را با ذکر شمارهٔ المانها مشخص کنید.

۱۱ـ۴ـ۱۲ـ اگر محدودهٔ فرکانس باند SW_2 از ۷ تا ۲۲ مگاهرتز باشد مقادیر حداقل و حداکثر فرکانس اسیلاتور برای دریافت باند SW_2 چقدر است؟

۱۲ـ۴ـ۱۲ـ وظیفهٔ مقاومت R_{10} را در اسیلاتور بنویسید.

۱۳ـ۴ـ۱۲ـ وظیفهٔ خازن C_{10} را در اسیلاتور بنویسید.

۱۴ـ۴ـ۱۲ـ وظیفهٔ مقاومت R_{11} را در اسیلاتور بنویسید.

۱۵ـ۴ـ۱۲ـ با تعییر ولتاژ بایاس ایستگاه تغییر نمی کند! اشکال در چیست؟

سؤالات طبقات تقویت IF ، آشکارساز و AGC

۱۶ـ۴ـ۱۲ـ فرکانسهای ورودی و خروجی ترانزیستور Q_4 چه تفاوتی دارند؟

۱۷ـ۴ـ۱۲ـ با قوی و ضعیف شدن سیگنال آنتن، بهره کدام یک از ترانزیستورهای Q_4 و Q_5 تغییر می کند؟

۱۸ـ۴ـ۱۲ـ فرکانس ۴۵۵ کیلوهرتز توسط چه المانهایی حذف می شود؟

۱۹ـ۴ـ۱۲ـ تفاوت سیگنالهای ورودی دو ترانزیستور Q_4 و Q_5 در چیست؟

۲۰ـ۴ـ۱۲ـ اگر جهت دیود آشکارساز برعکس شود، بهره ترانزیستور Q_4 زیاد می شود یا کم؟ چرا؟

۲۱ـ۴ـ۱۲ـ اگر دیود آشکارساز اتصال کوتاه شود، صدا در بلندگو چه تغییری می کند؟ چرا؟

۲۲ـ۴ـ۱۲ـ اگر ترانسفورماتور T_1 از تنظیم خارج شود، صدا در بلندگو چه تغییری می کند و چرا؟

۲۳ـ۴ـ۱۲ـ با قطع مقاومت R_{12} صدا در بلندگو چه تغییری می کند؟ و چرا؟

۲۴ـ۴ـ۱۲ـ چرا سرووسط بوبین اولیه ترانسفورماتورهای T_1 و T_2 و T_3 به شاسی اتصال کوتاه شده است؟

۲۵ـ۴ـ۱۲ـ وظیفه خازن C_5 را بنویسید.

۲۶ـ۴ـ۱۲ـ چرا ولتاژ کلکتور ترانزیستورهای Q_4 و Q_5 صفر است؟

۲۷ـ۴ـ۱۲ـ گویلاژ بین طبقات IF چگونه است؟

۲۸ـ۴ـ۱۲ـ چرا بدنهٔ فلزی ترانسفورماتورهای IF به شاسی اتصال کوتاه شده است؟

سؤالات طبقات صوتی

۲۹ـ۴ـ۱۲ـ ارتباط گوشی با بلندگو چگونه است؟ شرح دهید.

۳۰ـ۴ـ۱۲ـ چگونگی بایاس پایه های بیس، امیتر و کلکتور ترانزیستور Q_6 را بنویسید.

۳۱ـ۴ـ۱۲ـ خازن C_{15} چه نقشی در کار ترانزیستور Q_5 دارد؟ شرح دهید.

۳۲ـ۴ـ۱۲ـ اگر ماکزیمم قدرت خروجی رادیو ۶۰۰ میلی وات باشد، پیک ولتاژ دوسر بلندگو چقدر است؟

۳۳ـ۴ـ۱۲ـ چرا امیتر ترانزیستور Q_6 به بیس ترانزیستور Q_5 فیدبک شده است؟ شرح دهید.

۳۴ـ۴ـ۱۲ـ وظیفهٔ المان TH_1 در تقویت کننده پوش پول را بنویسید.

۳۵ـ۴ـ۱۲ـ اگر مقاومت $R_{۹}$ قطع شود، صدا در بلندگو چه تغییری می کند؟ شرح دهید.

۳۶ـ۴ـ۱۲ـ اگر سرِ وسط سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور $T_{۲}$ به شاسی اتصال کوتاه شود ولتاژ بایاس ترانزیستورهای $Q_{۵}$ و $Q_{۶}$ چه تغییری می کند؟ شرح دهید.

۳۷ـ۴ـ۱۲ـ تفاوت سیگنالهای ورودی $Q_{۷}$ و $Q_{۸}$ در چیست؟

۳۸ـ۴ـ۱۲ـ با قطع مقاومت $R_{۱۱}$ صدا در بلندگو چه تغییری می کند؟

۳۹ـ۴ـ۱۲ـ با اتصال کوتاه خازن $C_{۲۹}$ چه اشکالی در صدای بلندگو به وجود می آید؟ چرا؟

۴۰ـ۴ـ۱۲ـ اگر ترانزیستورهای $Q_{۷}$ و $Q_{۸}$ به شدت گرم شوند اشکال در چیست؟

سوالات منبع تغذیه

۴۱ـ۴ـ۱۲ـ اگر با روشن کردن رادیو ولتاژ باتری به شدت افت کند، عیب چیست و چگونه رفع عیب می شود؟

۴۲ـ۴ـ۱۲ـ ولتاژ بایاس ترانزیستورها در حالت با سیگنال است یا بدون سیگنال؟

۴۳ـ۴ـ۱۲ـ آیا طبقات صوتی و رادیویی هردو از یک خط تغذیه می شوند؟ چرا؟

۴۴ـ۴ـ۱۲ـ المانهای شبکه دی کوپلینگ کدام اند و وظایف هریک چیست؟

۴۵ـ۴ـ۱۲ـ وظیفهٔ هریک از خازنهای $C_{۲۶}$ و $C_{۲۱}$ را بنویسید.

سوالات عیب یابی

۴۶ـ۴ـ۱۲ـ اگر رادیو در تمام طول باند فقط یک ایستگاه را دریافت کند، عیب چیست؟ و چگونه رفع عیب می شود؟

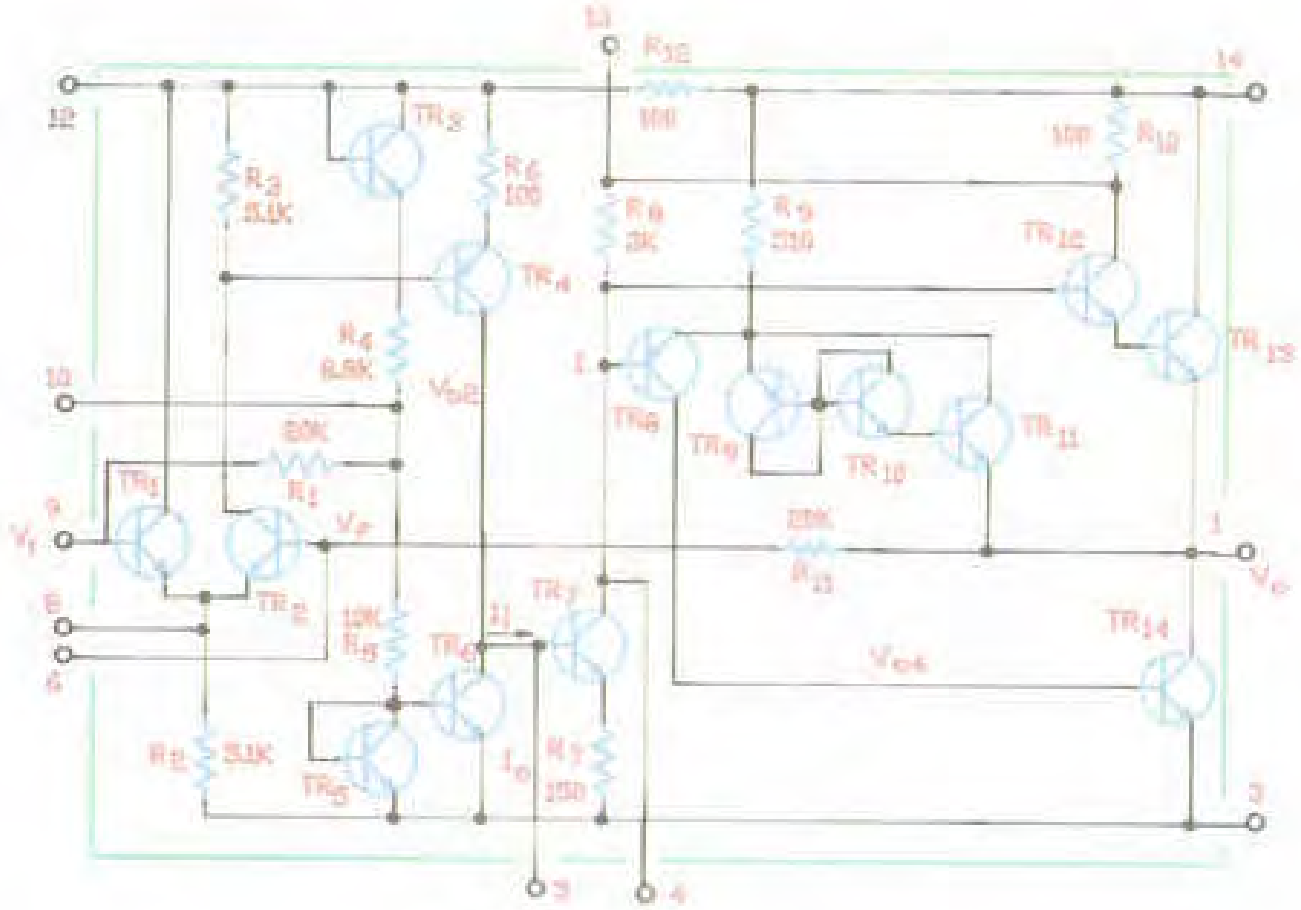
۴۷ـ۴ـ۱۲ـ اگر صدای رادیو، قطع و وصل شود، عیب در چیست؟ و کدام یک از المانها باید عیب یابی شود؟

۴۸ـ۴ـ۱۲ـ اگر صدای قابل مونوری از بلندگو شنیده شود، عیب در چیست؟ و چگونه رفع عیب می شود؟

۴۹ـ۴ـ۱۲ـ رادیو در تمام ایستگاهها سوت می کشد، عیب در چیست؟

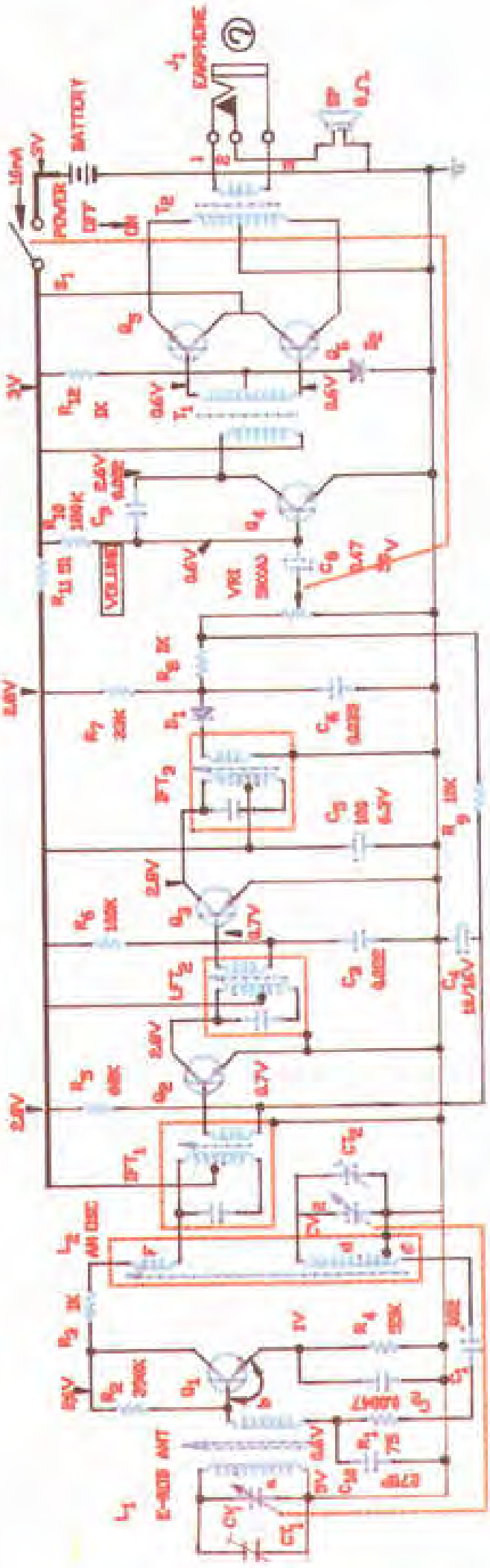
۵۰ـ۴ـ۱۲ـ اگر هیچ صدایی از بلندگو شنیده نشود، عیب در چیست و چگونه رفع عیب می شود؟

(برای مطالعه، پایان)



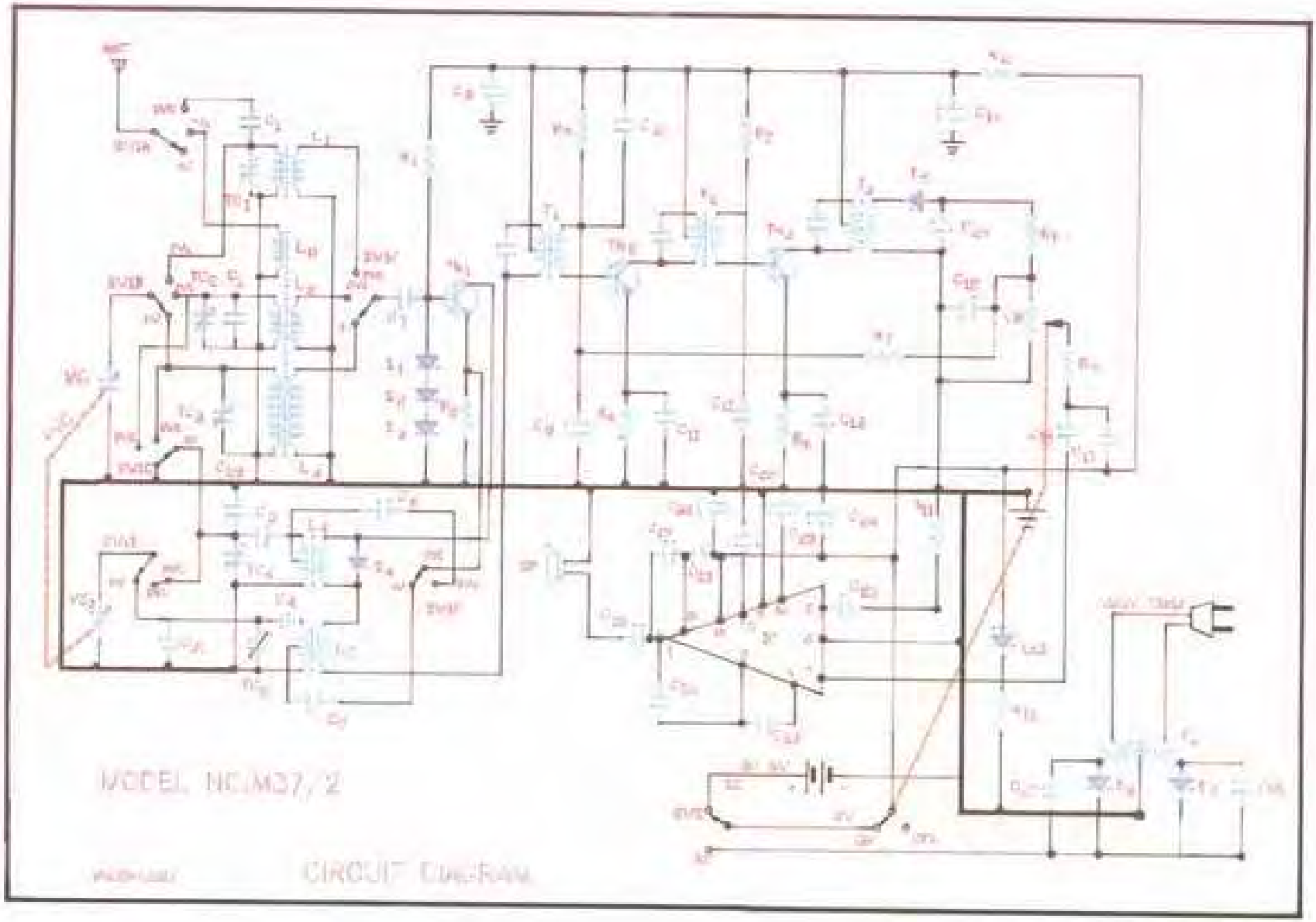
شکل ۴-۱۲ مدار داخلی آی سی ۱۸۴۱۰۰

شکل ۵-۱۲ - مدار داخلی آی سی LA۴۱۰۰

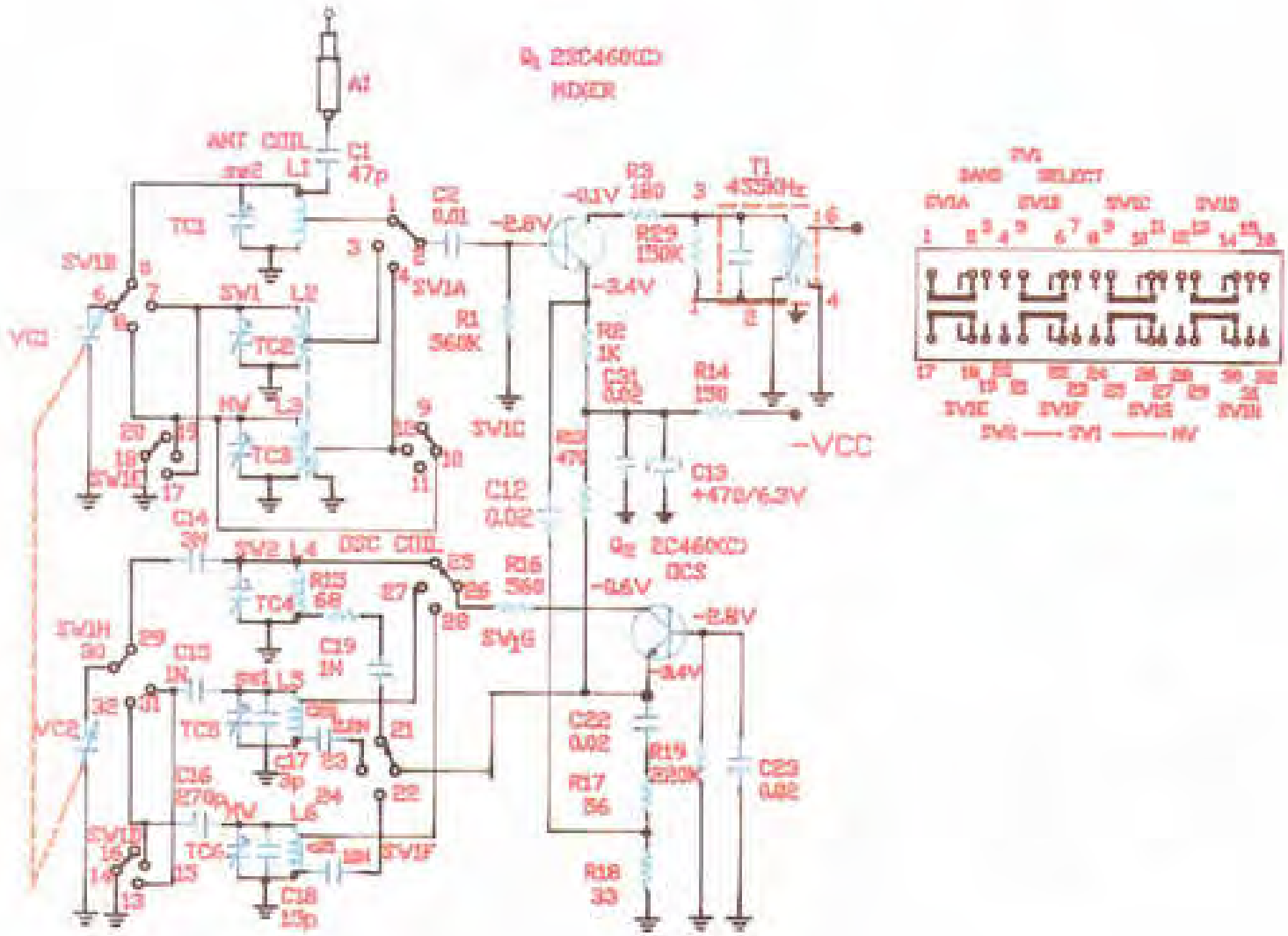


شکل ۴-۱۲ - نقشه کامل گیرنده رادیویی ۶ ترانزیستوری یک موج AM

شکل ۲۰-۱۲ - نقشه کامل مدار تقویت کننده صوتی با ترانزیستور



شکل ۸ـ۱۲ ـ نقشه کامل گیرنده رادیویی سه موج SW۳،SW۲،MW



شکل ۹ـ۱۲ـ مدار کنورتور گیرنده رادیویی سه موج با نقشهٔ کلید موج

ضمیمهٔ کتاب

مبانی مخابرات و رادیو

رشته‌های الکترونیک ــ الکترونیک و مخابرات دریایی

زمینهٔ صنعت

شاخهٔ آموزش فنی و حرفه‌ای

این فصل بعد از فصل اول کتاب(صفحه ۲۲ به بعد) تدریس شود.

اصول کار تلفن‌های الکترومکانیکی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

- اصول کار میکروفون‌های زغالی خازنی و کریستالی و دینامیکی را شرح دهد.
- اصول کار گوشی‌های الکترومغناطیسی و الکترودینامیکی را شرح دهد.
- نحوه برقراری ارتباط در مدار مکالمه یک‌طرفه و دوطرفه را توضیح دهد.
- نحوه جریان DC از گوشی مدار مکالمه یک‌طرفه را شرح دهد.
- خودشنوایی در تلفن را تشریح کند.
- اصول کار زنگ تلفن را در تلفن‌های رومیزی الکترومکانیکی شرح دهد.
- مدار گوشی تلفن را شرح دهد.
- نحوه برقراری ارتباط بین دو گوشی تلفن را شرح دهد.
- مدار شماره‌گیر تلفن الکترومکانیکی را در ارتباط با دستگاه تلفن رومیزی شرح دهد.
- مدار کامل تلفن الکترومکانیکی را تشریح کند.
- اصول کار مراکز تلفن را توضیح دهد.

هدف کلی

هدف از نگارش این فصل آموزش اصول کار تلفن‌های رومیزی الکترومکانیکی و آشنایی با مراکز تلفن است.

پیشگفتار

تلفن وسیله ارتباط صوتی دوطرفه است. با تلفن و با کمک الکتریسیته می‌توان صوت را انتقال داد. امروز تلفن درتمام سطوح جامعه راه پیدا کرده است و یکی از لوازم ضروری و ابزار اولیه زندگی محسوب می‌شود. تلفن توسط یک دانشمند اسکاتلندی به‌نام گراهام‌بل اختراع شد. این دانشمند در سال ۱۸۴۷ در شهر ادینبورگ متولد شد. پس از اتمام تحصیلات به شغل معلمی پرداخت و به‌عنوان معلم خط مشغول به‌کار شد.

در طی دوران معلمی خود به علت علاقه‌ای که به نحوه انتقال صدای انسان از طریق الکتریسیته داشت به این موضوع پرداخت و پس از تحمل سختی‌های زیاد بالاخره در روز دوم ژانویه ۱۸۷۸ موفق شد صدایی را که از طریق سیم منتقل می‌شد بشنود. چند ماه بعد با استفاده از وسایل ابتدایی از قبیل فنر

ساعت، سیم پیچ، صفحات فلزی و ... توانست صدای انسان را با استفاده از الکتریسیته به فاصله نسبتاً دوری منتقل کند.

هرچند بل توانست اولین مدار مکالمه یک‌طرفه را بسازد ولی کسی توجهی به اختراع او نداشت. حتی ارائه این اختراع در نمایشگاهی در شهر فیلادلفیا نتوانست توجه مردم را جلب کند. اغلب مردم این اختراع را به‌عنوان یک اسباب‌بازی تلقی می‌کردند. روزی امپراتور برزیل که از نمایشگاه بازدید می‌کرد تصادفی توجهش به اختراع بل جلب شد و در مورد کار آن توضیح خواست.

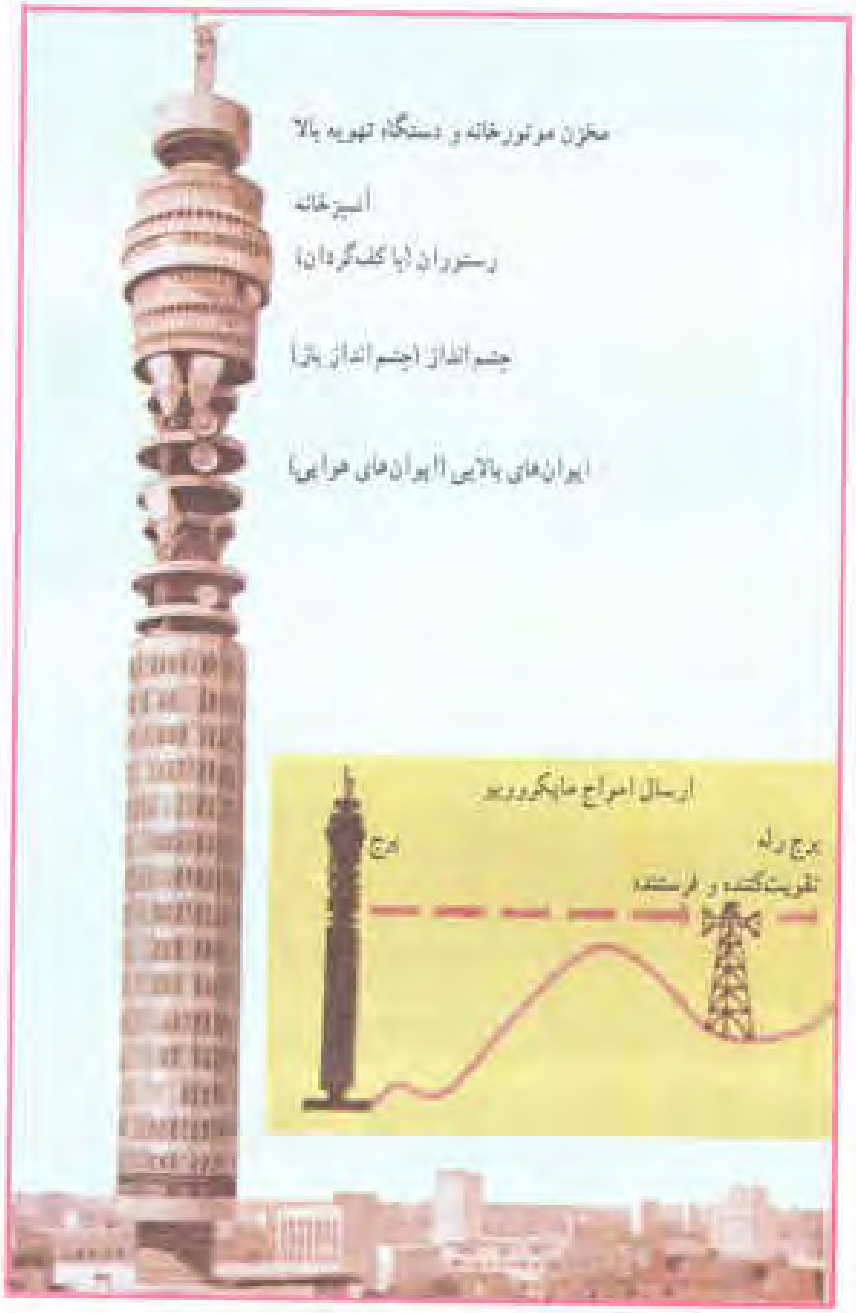
بل گوشی تلفن را به امپراتور داد و خود از فاصله نسبتاً دور شروع به صحبت کرد. هنگامی که امپراتور صدای بل را از تلفن شنید با کمال ناباوری گوشی را به زمین انداخت و با تعجب گفت: «دارد صحبت می‌کند». بعد از این حادثه اختراع بل در جامعه مطرح شد و به ثبت رسید. برحسب تصادف چند ساعت بعد مخترع دیگری به‌نام الیشاگری اختراع خود را عرضه کرد که به‌علت ثبت شدن این اختراع برای بل نامی از وی باقی نماند.

چندی بعد مخترع دیگری به نام توماس ادیسون استفاده از ترانسفورماتور را در تلفن پیشنهاد کرد که موجب افزایش کارآیی تلفن در آن زمان شد.

در گذشته همه تلفن‌های اولیه ارتباط را از طریق سیم برقرار می‌کردند. امروزه ارتباط تلفنی علاوه بر سیم از طریق سیستم‌های رادیویی و ماهواره‌ای نیز برقرار می‌شود. این سیستم‌های ارتباطی را رادیو تلفن می‌نامند. اولین سیستم سرویس‌دهی رادیو تلفن در سال ۱۹۷۲ بین انگلستان و آمریکا افتتاح شد و امروزه این سیستم سرتاسر جهان را فراگرفته است. در شکل ۱ـ۲ چند نمونه ماهواره نشان داده شده است.

شکل ۱ـ۲ـ نمونه‌هایی از ماهواره و ارتباط ماهواره‌ای

به منظور پوشش کامل مخابراتی مناطقی که کوهستانی هستند یا اختلاف ارتفاع بین مناطق مختلف آن زیاد است از برج‌های مخابراتی نظیر برج یادمان تهران که در دست ساخت است، استفاده می‌کنند. در شکل ۲ـ۲ تصویر یک نمونه برج مخابراتی کامل شده را ملاحظه می‌کنید.



شکل ۲ـ۲ـ یک نمونه برج مخابراتی

در این فصل با توجه به اهداف رفتاری به تشریح تلفن رومیزی و ارتباط آن از طریق سیم خواهیم پرداخت. یادآور می‌شود امروزه به علت تولید تلفن‌های دیجیتالی، تلفن‌های الکترومکانیکی عملاً ساخته نمی‌شود و مطرح کردن این موضوع در این قسمت به علت آموزش ساده و انتقال اطلاعات فنی است.

۱ـ۲ ـ اجزاء تشکیل دهنده یک تلفن رومیزی الکترومکانیکی

هر دستگاه تلفن رومیزی از اجزاء زیر تشکیل شده است:

- میکروفون یا دهنی
- گوشی
- زنگ
- مدار تلفن

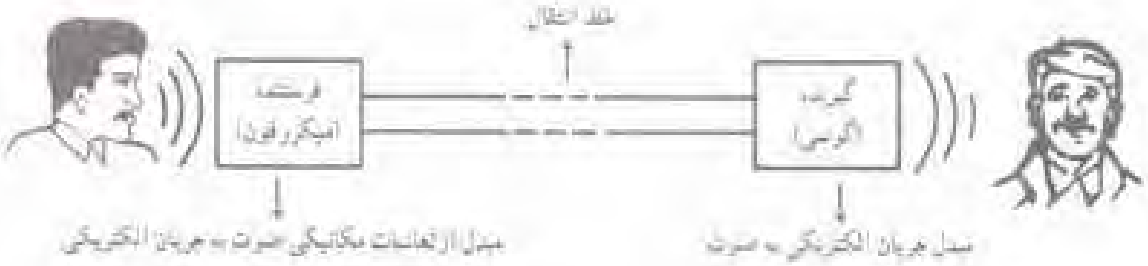
در شکل ۳ـ۲ یک نمونه از قدیمی‌ترین انواع تلفن رومیزی الکترومکانیکی را که قسمتی از آن برش خورده است را مشاهده می‌کنید. این تلفن معمولاً به رنگ سیاه ساخته می‌شد و امروزه در برخی از مغازل و اماکن تجاری به‌عنوان یک وسیله قدیمی زینتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در شکل ۴ـ۲ تصویر چند نمونه دستگاه تلفن رومیزی جدیدتر را ملاحظه می‌کنید.

شکل ۳ـ۲ـ یک نمونه تلفن رومیزی الکترومکانیکی قدیمی

شکل ۴ـ۲ـ تصویر چند نمونه تلفن رومیزی الکترومکانیکی جدید

۱ـ۱ـ۲ـ میکروفون‌ها: برای این که بتوان امواج صوتی را از نقطه‌ای به نقطه دیگر انتقال داد باید ابتدا صوت را به جریان الکتریکی تبدیل کرد؛ سپس جریان الکتریکی را توسط سیم به مقصد انتقال داد. در مقصد جریان الکتریکی دوباره مجدداً به امواج صوتی تبدیل می‌شود (شکل ۵ـ۲).



شکل ۵ـ۲

وسیله‌ای که برای تبدیل صوت به جریان الکتریکی به کار می‌رود میکروفون نام دارد. انواع مختلف میکروفون در بازار موجود است. در این قسمت به شرح چند نمونه میکروفون که کاربرد آن در مدارهای تلفن زیاد است می‌پردازیم.

میکروفون زغالی: این میکروفون نسبت به سایر میکروفون‌ها دارای استحکام خوب و قیمت ارزان است. چنان‌که می‌دانیم با تغییر سطح تماس بین دو جسم هادی، مقاومت مورد بین دو جسم تغییر می‌کند (شکل ۶ـ۲).

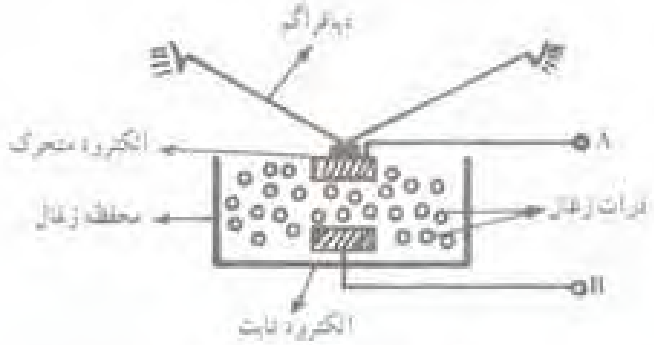
شکل ۶ـ۲

میکروفون زغالی برمبنای اصلی ساخته شده است. بدین‌ترتیب که در یک محفظه پر از ذرات ساچمه‌ای شکل زغال و دو الکترود ثابت و متحرک طبق شکل ۷ـ۲ـ الف قرار دارد. انتخاب زغال به‌عنوان هادی به‌دلیل خاصیت ارتجاعی آن است که نسبت به سایر هادی‌ها بیشتر بوده و تغییرات مقاومت مورد بین ذرات آن مشهود است.

در شکل ۷ـ۲ـ ب برش یک میکروفون زغالی واقعی را مشاهده می‌کنید.

الکترود متحرک به ورقه نازکی به نام دیافراگم اتصال دارد به‌طوری که با نوسان دیافراگم، الکترود متحرک نیز به نوسان درمی‌آید.

هنگامی که در مقابل دیافراگم صوتی ایجاد می‌شود با تغییر فشار هوا که متناسب با ارتعاشات صوتی است، دیافراگم مرتعش می‌شود. ارتعاشات دیافراگم الکترود متحرک را که به آن وصل است به لرزش درمی‌آورد. این لرزش‌ها مقاومت بین ذرات زغال را تغییر می‌دهد. به این ترتیب طبق شکل ۶ـ۲ مقاومت الکتریکی بین A و B متناسب با ارتعاشات صوتی تغییر می‌کند.



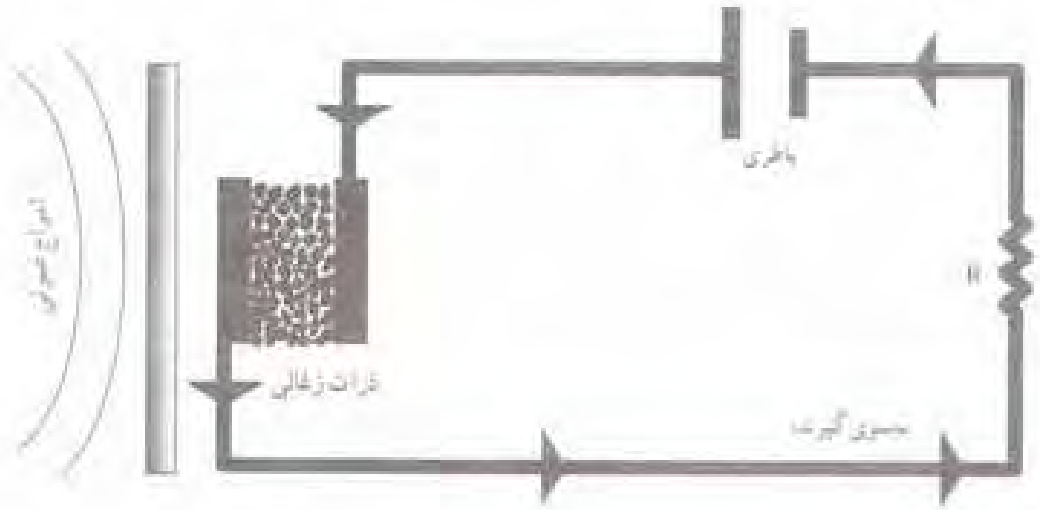
الف ـ ساختمان میکروفون زغالی

ب ـ برش میکروفون زغالی

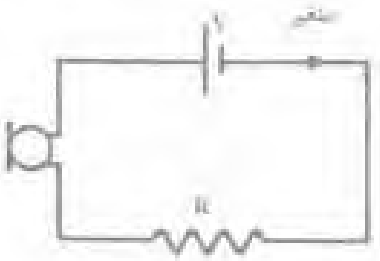
شکل ۷ـ۲ـ ساختمان میکروفون زغالی

تغییرات مقاومت به‌دست آمده باید تبدیل به جریان الکتریکی شود. برای این منظور کافی است یک باتری و مقاومت را با میکروفون سری کنیم (شکل ۸ـ۲ـ الف). در این مدار مقاومت الکتریکی می‌تواند گیرنده یا گوشی تلفن باشد.

علامت اختصاری میکروفون به‌صورت است. در شکل ۸ـ۲ـ ب مدار میکروفون را با علامت اختصاری آن مشاهده می‌کنید.



الف ـ مدار الکتریکی میکروفون زغالی

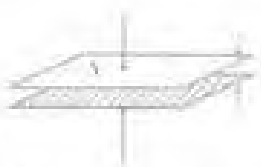


ب ـ مدار میکروفون زغالی با علائم فنی

شکل ۸ـ۲ـ مدار میکروفون زغالی

میکروفون خازنی: در میکروفون خازنی از خاصیت خازن استفاده می‌شود.

می‌دانید مقدار ظرفیت خازن از رابطه زیر قابل محاسبه است.

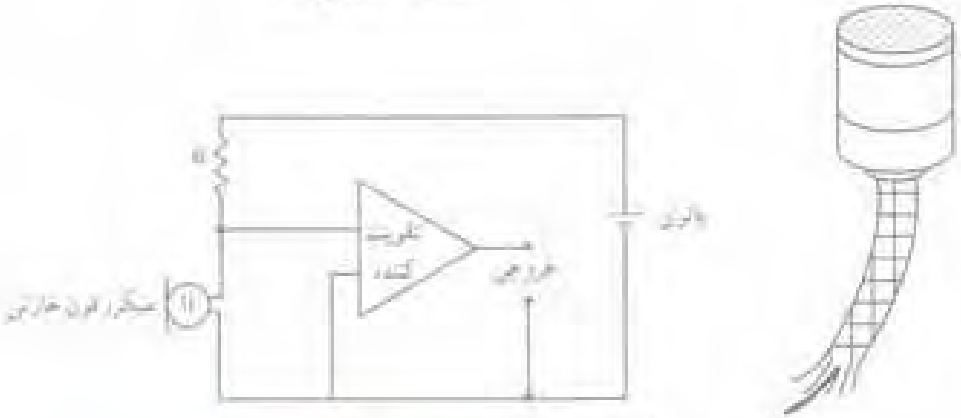


$C = \frac{A}{4\pi k d}$

در این رابطه k ضریب دی الکتریک عایق خازن است که

سنگی به جنس ماده دی الکتریک دارد. A مساحت مشترک دو جوشن خازن و d فاصله بین دو جوشن یا ضخامت دی الکتریک است. با توجه به رابطه فوق هرقدر فاصله d کمتر شود ظرفیت خازن بیشتر می‌شود. در میکروفون‌های خازنی از این خاصیت استفاده می‌کنند. درصورتی که به هوا گم یا یکی از صفحات خازن وصل شود و آن را به حرکت درآورد به‌علت تغییر فاصله d، مقدار ظرفیت خازن تغییر می‌کند در نتیجه مقدار بار الکتریکی ذخیره شده در آن کم و زیاد می‌شود. به این ترتیب می‌توان

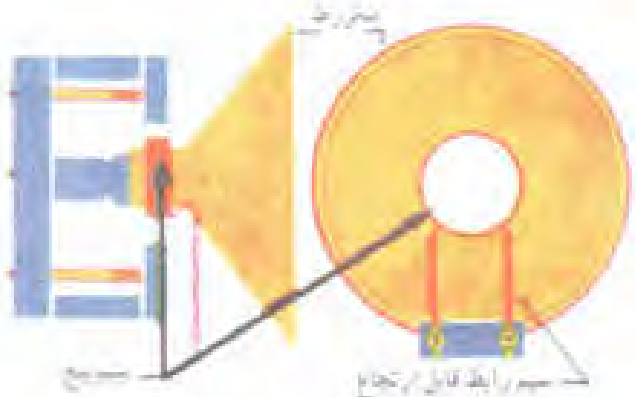
ارتعاشات مکانیکی صوت را تبدیل به ارتعاشات الکتریکی کرد. چون تغییرات بار الکتریکی و تغییرات ولتاژ در خازن بسیار کم است، لذا معمولاً این نوع میکروفون‌ها با یک تقویت‌کننده ولتاژ همراه هستند. در شکل ۹ـ۲ نمونه‌ای از مدار این نوع میکروفون نشان داده شده است.



شکل ۹ـ۲ـ مدار میکروفون خازنی

همان‌طور که در شکل ۹ـ۲ مشاهده می‌شود، سه نوع میکروفون‌های خازنی یک مقاومت اتصال می‌یابد که در جلو به نام میکروفون‌های سه‌نقطه مشهور هستند. معمولاً مجموعه تقویت‌کننده، مقاومت سری، میکروفون و باتری‌ها را در یک محفظه جای می‌دهند.

میکروفون الکترودینامیکی: می‌دانید در صورتی که یک سیم در یک میدان مغناطیسی حرکت کند در آن ولتاژ الکتریکی به‌وجود می‌آید. میکروفون‌های الکترودینامیکی بر همین اساس کار می‌کنند. در شکل ۱۰ـ۲ یک نمونه میکروفون دینامیکی را ملاحظه می‌کنید. در این شکل صفحه قابل ارتعاش به یک سیم‌پیچ وصل است و سیم‌پیچ در یک میدان مغناطیسی حرکت می‌کند. با برخورد ارتعاشات مکانیکی صوت به صفحه قابل ارتعاش سیم‌پیچ در میدان مغناطیسی حرکت می‌کند و در آن ولتاژی به‌وجود می‌آید که همان انرژی الکتریکی صوت است.



شکل ۱۰ـ۲ـ میکروفون الکترودینامیکی

میکروفون کریستالی: بعضی از مواد دارای خاصیتی هستند که در صورت وارد آمدن فشار مکانیکی به آن‌ها ولتاژ الکتریکی تولید می‌کنند. از این خاصیت برای تبدیل انرژی مکانیکی صوت به انرژی الکتریکی استفاده می‌شود. سیگنال خروجی میکروفون کریستالی مانند میکروفون خازنی بسیار ضعیف است و نیاز به تقویت دارد. علامت فنی میکروفون کریستالی به‌صورت است.

مشخصه‌های میکروفون‌ها

امپدانس یا مقاومت میکروفون: میکروفون نیز مانند هر قطعه الکتریکی دیگر دارای مقاومت است. این مقاومت را در مقابل ولتاژ متغیر امپدانس می‌نامند. برای انتقال حداکثر توان از میکروفون به تقویت‌کننده لازم است امپدانس میکروفون و امپدانس ورودی تقویت‌کننده تطبیق داده شوند.

پهنای باند یا پاسخ فرکانسی میکروفون: پهنای باند میکروفون عبارت از توانایی پاسخ‌دهی (تولید) فرکانس‌های داده شده به میکروفون است. پهنای باند میکروفون در مقابل سیگنال صوتی فرکانس بیشتر باعث میکروفون از کیفیت مطلوب‌تری برخوردار است.

بازده یا راندمان میکروفون: بازده توان الکتریکی در خروجی

از میکروفون به توان صوتی داده شده به میکروفون را راندمان یا بازده میکروفون می‌نامند. درصورتی که کل توان مکانیکی داده شده به میکروفون تبدیل به توان الکتریکی شود، راندمان میکروفون صددرصد است.

مقایسه میکروفون‌ها در جدول شماره ۱ـ۲ چهار نوع میکروفون زغالی، خازنی کریستالی و الکترودینامیکی باهم مقایسه شده‌اند.

جدول ۱ـ۲ـ مقایسه مشخصه‌های میکروفون

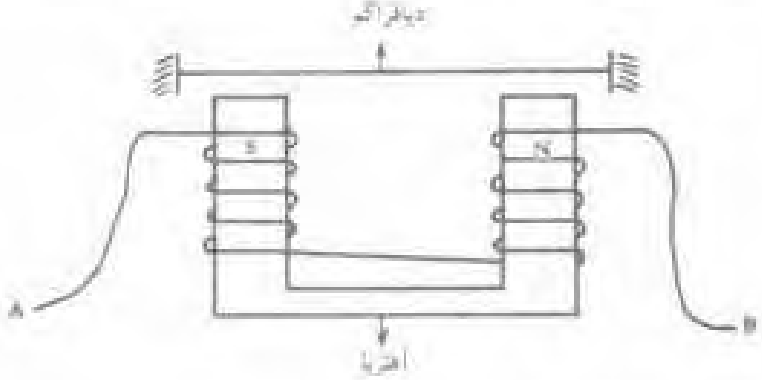
ردیف	نام میکروفون	امپدانس	پاسخ فرکانسی	راندمان یا بازده
۱	زغالی	متوسط	بد	زیاد
۲	الکترودینامیکی	تقریباً متوسط	متوسط	متوسط
۳	خازنی	زیاد	خوب	کم
۴	کریستالی	زیاد	خوب	کم

همان‌طور که از جدول ۱ـ۲ مشاهده می‌شود، می‌توانید متناسب با نیاز میکروفون موردنظر را انتخاب کنید. به‌عنوان مثال درصورتی که کیفیت مدنظر نباشد از میکروفون زغالی استفاده می‌کنید که بهای بالنسبی کم ولی راندمان آن زیاد است. برای استودیوهای رادیو و ضبط موسیقی از میکروفون‌های کریستالی، خازنی یا دینامیکی استفاده می‌شود.

۲ـ۱ـ۲ـ گوشی

گوشی الکترومغناطیسی گوشی وسیله‌ای است که انرژی الکتریکی صوت را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. یکی از انواع گوشی‌ها که در تلفن به‌کار می‌رود گوشی الکترومغناطیسی نام دارد. این گوشی از یک آهنربای U شکل که روی هریک از قطب‌های آن سیم‌پیچی شده است تشکیل می‌شود. به فاصله کمی از قطب‌ها دیافراگم باریکی از جنس آهن نرم قرار دارد (شکل ۱۱ـ۲).

در حالت عادی به‌علت وجود آهنربای طبیعی دیافراگم فنری به‌طرف قطب‌های آهنربا متمایل می‌شود. هنگامی که جریان متغیری از سیم‌پیچ‌ها بگذرد، متناسب با تغییرات این جریان، دیافراگم از قطب‌ها دور یا به آن‌ها نزدیک می‌شود. این عمل فشار هوای مقابل دیافراگم را تغییر می‌دهد و متناسب با تغییرات به‌وجود آمده انرژی صوتی به‌وجود می‌آید. در شکل ۱۲ـ۲ کپسول گوشی الکترومغناطیسی و روش آن را ملاحظه می‌کنید. علامت اختصاری گوشی در نقشه‌ها به‌صورت ⊓ یا ⊓ است.

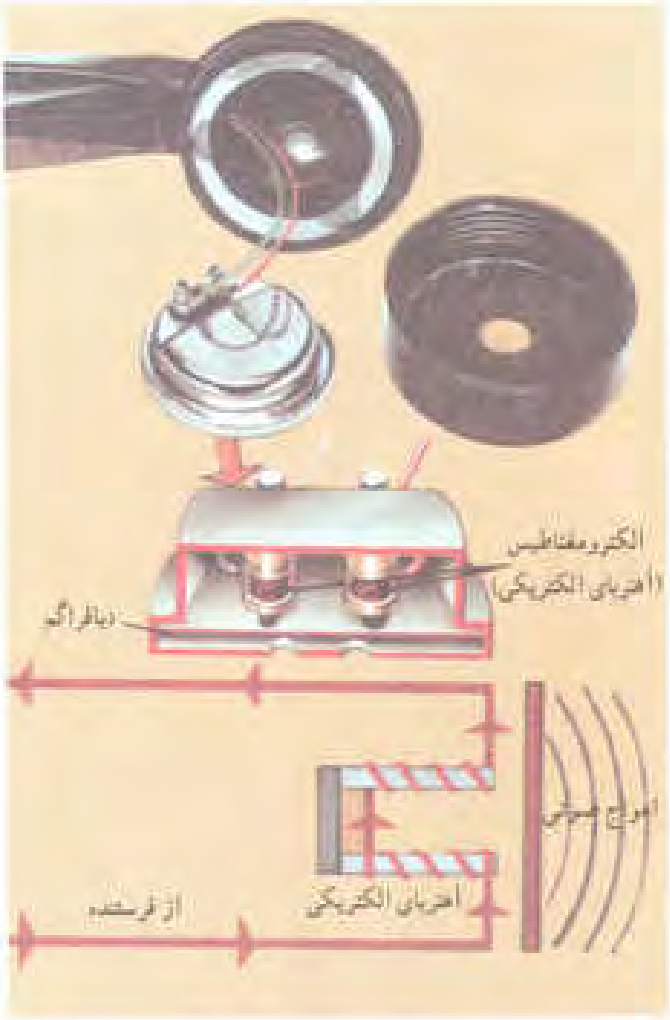


شکل ۱۱ـ۲ـ ساختمان ساده گوشی الکترومغناطیسی

شکل ۱۲ـ۲ـ گوشی الکترومغناطیسی و درون آن

گوشی الکترودینامیکی: ساختمان گوشی الکترودینامیکی دقیقاً مشابه میکروفون الکترودینامیکی است با این تفاوت که وقتی به‌صورت گوشی به کار می‌رود باید به آن انرژی الکتریکی داده شود. به‌عبارت دیگر گوشی و میکروفون الکترودینامیکی را می‌توان به‌جای هم استفاده کرد. به شکل ۱۰ـ۲ مراجعه نمایید.

اتصال گوشی الکترومغناطیسی به مدار: در شکل ۱۳ـ۲ ساختمان واقعی گوشی الکترومغناطیسی و نحوه اتصال آن به مدار را ملاحظه می‌کنید.



شکل ۱۳ـ۲ـ گوشی الکترومغناطیسی واقعی و اتصال آن به مدار

۲ـ۲ـ خودآزمایی

۱ـ۲ـ۱ـ میکروفون زغالی را با رسم شکل شرح دهید.

۲ـ۲ـ۲ـ گوشی الکترومغناطیسی را با رسم شکل شرح دهید.

۳ـ۲ـ۳ـ زنگ مخابراتی به چه منظور و در چه مداهایی به کار می‌رود؟

۴ـ۲ـ۴ـ اجزای تشکیل دهنده یک تلفن رومیزی الکترومکانیکی را نام ببرید.

۵ـ۲ـ۵ـ مدار میکروفون زغالی را رسم کنید و اصول کار آن را شرح دهید.

۶ـ۲ـ۶ـ بهنای باند باسیم فرکانسی میکروفون را شرح دهید.

۳ـ۲ـ چگونگی ارتباط صوتی بین دو نقطه

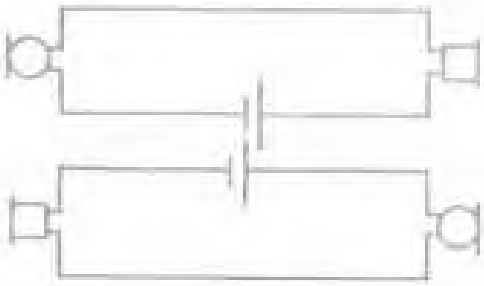
با توجه به توضیحات داده شده در مورد گوشی و میکروفون، ساده‌ترین مدار ارتباطی برای مدار مکالمه یک‌طرفه می‌تواند مطابق شکل ۱۲ـ۲ باشد.

چنانچه بخواهیم ارتباط دوطرفه داشته باشیم باید از مداری مطابق شکل ۱۵ـ۲ استفاده کنیم.

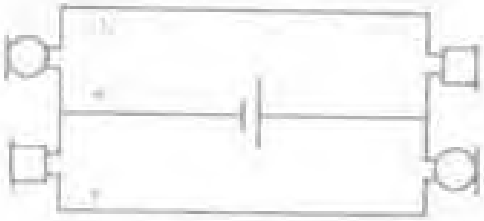
در مدار فوق به آسانی می‌توان یک رشته سیم و یکی از باطری‌ها را حذف کرد (شکل ۱۴ـ۲).

مدار فوق در ارتباطات برقی به کار می‌رود و تنها به‌جای گوشی از یک بلندگوی توجک در آن استفاده می‌شود. حال اگر فاصله بین دو نقطه طولانی باشد می‌توان از یک رشته سیم سود برد (شکل ۱۷ـ۲).

شکل ۱۲ـ۲ـ مدار مکالمه یک‌طرفه



شکل ۱۵ـ۲

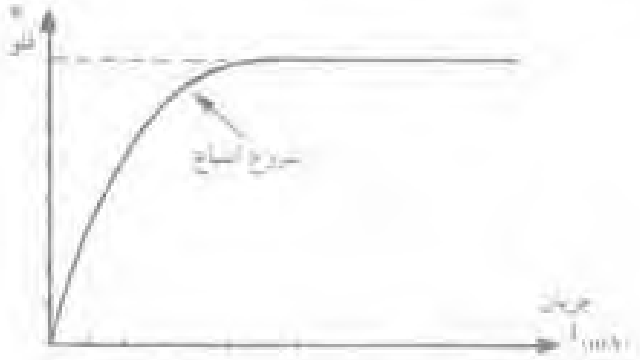


شکل ۱۶ـ۲

شکل ۱۷ـ۲

۴ـ۲ـ حذف DC از گوشی

اشکال عمده همه مدارهایی که تاکنون بررسی کردیم عبور DC از گوشی‌هاست. این عمل باعث کاهش راندمان آن‌ها می‌شود. زیرا می‌دانیم جریان DC از یک سیم‌پیچ می‌گذرد موجب ایجاد فلو (Φ) در هسته سیم‌پیچ می‌شود و هسته را مغناطیس می‌کند. افزایش جریان در سیم‌پیچ فلو را افزایش می‌دهد ولی در حالت زیاد دوام نمی‌یابد زیرا پس از افزایش جریان تا حد معینی هسته اشباع می‌شود و از آن پس با افزودن جریان، فلو ثابت می‌ماند (شکل ۱۸ـ۲).



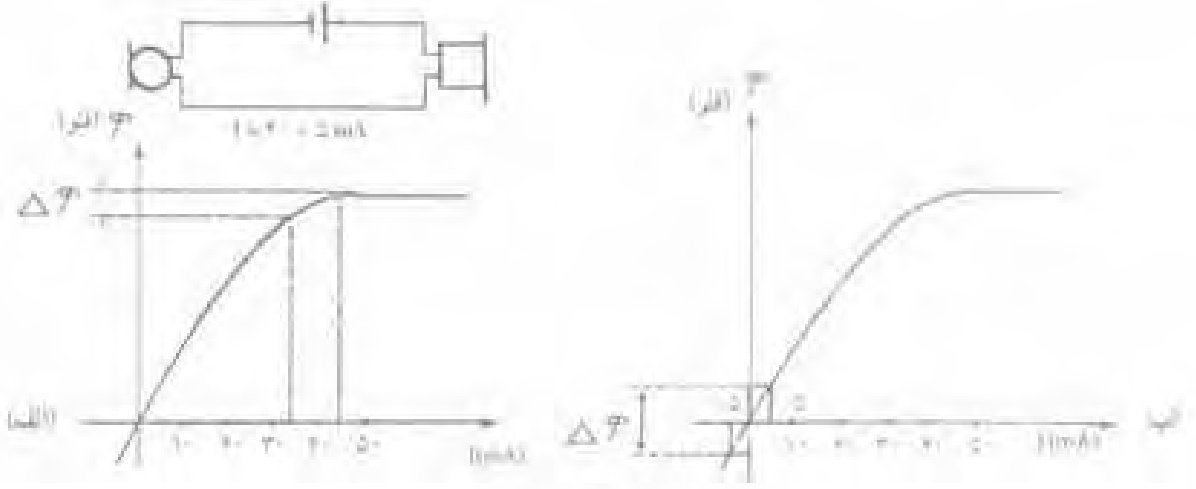
شکل ۱۸ـ۲ـ منحنی تغییرات فلو نسبت به جریان

و این این که مطلب فوق در رابطه با مدار شکل روشن شود به ذکر یک مثال می‌پردازیم.

فرض کنید در مدار شکل زیر در حالت عادی جریان ۲۰ (mA) برقرار و هنگام صحبت کردن در مقابل میکروفون این جریان بین ۳۵ تا ۴۵ میلی‌آمپر تغییر کند. با توجه به منحنی تغییرات فلو نسبت به جریان مربوط به گوشی می‌توان نتیجه گرفت که:

به هنگام صحبت کردن جریان بین ۳۵ تا ۴۵ میلی‌آمپر یعنی ۵ میلی‌آمپر تغییر می‌کند. (شکل ۱۹ـ۲ـ الف) تغییرات جریان و تغییرات فلوی حاصل از آن را نمایش می‌دهد.

حال چنانچه به طریقی جریان DC اولیه را از گوشی حذف کنیم، جریان گوشی تنها از ۵- تا ۵+ میلی‌آمپر تغییر خواهد کرد. به این ترتیب تغییرات فلوی زیادتری را خواهیم داشت منحنی شکل ۱۹ـ۲ـ ب صحت این ادعا را ثابت می‌کند.



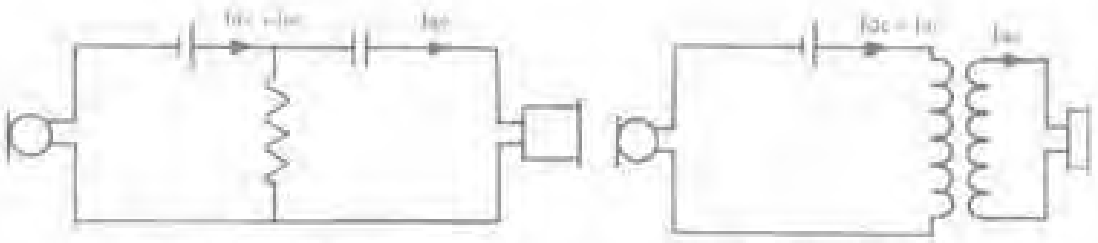
شکل ۱۹ـ۲

اکنون که به ضرورت حذف DC از گوشی پی برده‌ایم ببینیم چگونه این کار عملی است. همان‌گونه که می‌دانید توسط خازن یا ترانسفورماتور می‌توان دو حوزه مدار را از یکدیگر تفکیک کرد. درمدارهای شکل ۲۰ـ۲ جریان DC از گوشی حذف شده است. توجه داشته باشید که برای میکروفون جریان DC لازم است.

در عمل از مدار شکل ۲۰ـ۲ استفاده می‌شود. معمولاً

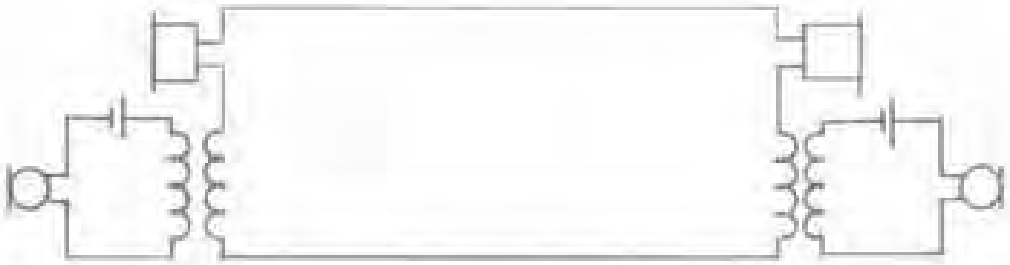
جریان DC را توسط ترانسفورماتور از گوشی حذف می‌کنند. زیرا اولاً می‌توان با انتخاب نسبت تبدیل ترانس، امپدانس را افزایش یا کاهش داد، ثانیاً با اضافه کردن سیم‌پیچ‌های دیگری به ترانس امکان دیگری از قبیل تغییر مقدار خودشنوایی را که در آینده به شرح آن خواهیم پرداخت، به‌وجود آورد.

بنابراین مدار یک‌راه تلفن دوطرفه می‌تواند به صورت شکل ۲۱ـ۲ باشد.



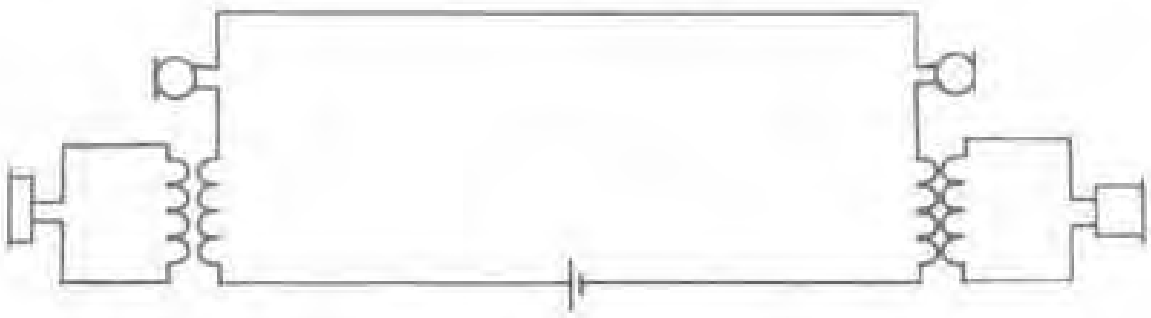
ب ـ خط ۱۱۰ به کمک ترانسفورماتور　　الف ـ خط ۱۱۰ به کمک مقاومت

شکل ۲۰ـ۲



شکل ۲۱ـ۲ـ مدار ارتباط دوطرفه با باطری محلی

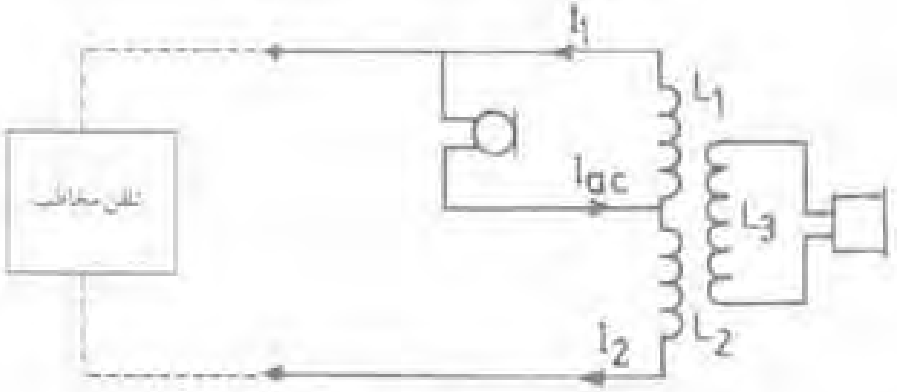
در گذشته از مدار شکل ۲۱ـ۲ جهت تلفن‌های مغناطیسی استفاده می‌شد ولی در تلفن‌های بعدی مدار شکل ۲۲ـ۲ یعنی روش باطری مرکزی مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۲۲ـ۲ـ مدار ارتباط دوطرفه با باطری مرکزی

۵ـ۲ـ خودشنوایی

مدار شکل ۲۲ـ۲ هنوز یک اشکال عمده دارد و آن این که گوینده صدای خود را هنگام صحبت کردن بسیار قوی می‌شنود که این مسئله ضمن این که گوش گوینده را آزار می‌دهد گاهی اوقات باعث سوت کشیدن گوشی می‌شود. این خاصیت را خودشنوایی می‌گویند. ناگفته نماند که خودشنوایی به مقدار معقول برای تلفن لازم است، زیرا گوینده از این طریق متوجه سالم بودن تلفن خود می‌شود. ولی بایستی حتماً مقدار خودشنوایی را کاهش داد. بدین‌منظور به‌جای استفاده از ترانسفورماتور معمولی از ترانسفورماتورهای سه‌سیم مطابق شکل ۲۳ـ۲ استفاده می‌شود. در این روش میکروفون را مطابق شکل به‌سر وسط ترانسفورماتور اتصال می‌دهند. یادآور می‌شود کلیه تغییرات جریان ایجاد شده توسط میکروفون به تلفن مخاطب منتقل می‌شود.



شکل ۲۲ـ۲

حسن این مدار این است که هنگامی که در میکروفون صحبت می‌کنیم، میکروفون شبیه یک منبع ولتاژ متناوب عمل می‌کند و جریان تند به سر وسط ترانس تزریق می‌شود. این جریان پس از ورود به ترانس به دو جزء I_1 و I_2 تقسیم می‌شود. I_1 از طریق L_1 و L_2 از طریق تلفن مخاطب به منبع یعنی میکروفون برمی‌گردد. با اندکی دقت متوجه می‌شویم که جهت‌های I_1 و I_2 در ترانس مخالف یکدیگر است. بنابراین فلوی ایجاد شده در ترانس حاصل تفریق دو فلوی ایجاد شده توسط I_1 و I_2 خواهد بود.

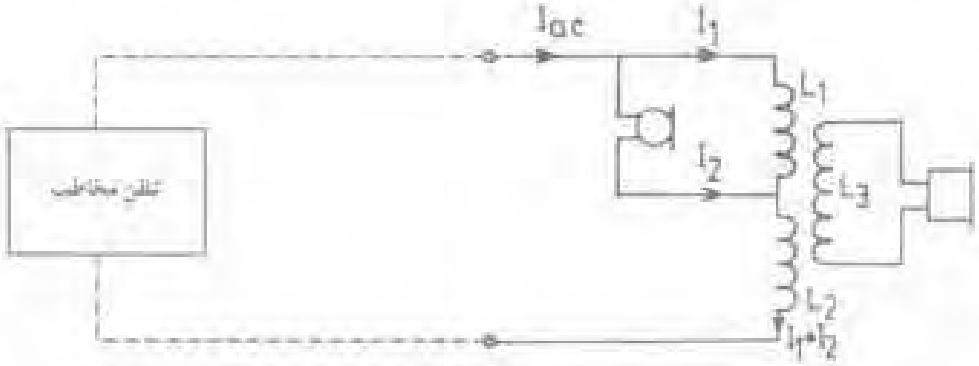
$I_1 \rightarrow \Phi_1$

$I_2 \rightarrow \Phi_2$

نتیجه $\Phi = \Phi_1 - \Phi_2$

حال چنانچه تست سوییچ‌های I_1 و I_2 را طوری انتخاب کنیم که Φ_1 برابر Φ_2 شود، فلوی ایجاد شده در ترانس صفر شده و اصلاً خودالقوایی نداریم. عملاً I_1 و I_2 را طوری انتخاب می‌کنند که مقدار کمی خودالقوایی وجود داشته باشد (در تلفن‌های زیمنس مقاومت اهمی ۴۲ = L_1، ۳۵ = L_2 و ۹۵ = L_3 اهم است).

در صورتی که مخاطب صحبت کند، جریان I_{ac} ایجاد شده توسط تلفن وی نیز به دو جزء I_1 و I_2 تقسیم می‌شود. جریان I_1 از طریق L_1 و L_3 و جریان I_2 از طریق میکروفون و L_2 به تلفن مخاطب برمی‌گردد (شکل ۲۳ـ۲).



شکل ۲۳ـ۲

نکته قابل توجه این است که در این حالت جریان‌های I_1 و I_2 در سوییچ‌های ترانس هم‌جهت است، در نتیجه فلوی ایجاد شده در اثر هریک از این جریان‌ها در ترانس باهم جمع می‌شوند.

$I_1 \rightarrow \Phi_1$

$I_2 \rightarrow \Phi_2$

$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$ فلوی منتج

و این بدان معناست که صدای مخاطب تضعیف نشده است و صدای مخاطب به‌خوبی به‌گوش گوینده می‌رسد.

در مدار شکل ۲ـ۲۴ یک اشکال عمده ایجاد شده است. چون میکروفون با سلف L_1 موازی شده و مقاومت اهمی L_1 نسبتاً کم است از این رو میکروفون بخوبی تغذیه می‌شود. برای حل این مشکل مقاومت R و خازن C را سری با L_1 قرار می‌دهیم (شکل ۲۵ـ۲).

در این صورت مقاومت اهمی موازی شده با میکروفون بیشتر از مقاومت اهمی میکروفون شده و جریان DC لازم به میکروفون می‌رسد. از طرفی با موازی کردن خازن C با مقاومت R از افت سیگنال‌های AC در سر R جلوگیری می‌شود (در تلفن‌های زیمنس مقدار R را ۲۰۰ اهم و C را $1\mu F$ انتخاب می‌کنند).

شکل ۲۵ـ۲

۶ـ۲ـ وسایل خبر در تلفن

مدار شکل ۲۵ـ۲ از نظر ارتباط صوتی کامل است. اکنون نیاز به یک وسیلهٔ خبردار به تا از درخواست مکالمه مطلع شویم. این وسیله خبر می‌تواند یک زنگ باشد که با رنگار متناوب کار می‌کند.

در شکل ۲۶ـ۲ ساختمان یک نمونه زنگ تلفن نشان داده شده است.

چنان که از شکل پیداست، ساختمان زنگ از یک هسته آهنی U شکل که دوطرف آن سیم‌پیچ شده و در بین دو شاخه U یک مغناطیس طبیعی NS وجود دارد تشکیل شده است. بیرون مغناطیس طبیعی یک تیغه S اصطلاحاً به آن سر می‌گویند و می‌تواند جذب هریک از شاخه‌ها گردد. به‌صورت لولایی نصب شده است. درحالت عادی که ولتاژی به دو سر a و b اعمال نشده است، چون هر شاخه دارای یک قطب است (در شکل فوق هردو N هستند)، سر میکی است به‌طرف شاخه راست یا چپ جذب نشود، اما به محض برقراری جریان در سیم‌پیچ‌ها یکی از آن‌ها S و دیگری N شده و سر جذب قطب غیرهمنام می‌شود (چون سیم پیچی شاخه‌ها در دو جهت مختلف پیچیده شده به هنگام عبور جریان از آن‌ها قطب‌هایی که ایجاد می‌کنند خلاف یکدیگر است) (شکل ۲۷ـ۲ الف).

با تعویض جهت جریان در سیم‌پیچ‌ها قطبی که قبلاً S بوده، تبدیل به N و قطبی که قبلاً N بوده تبدیل به S می‌شود و سر تغییر وضعیت می‌دهد (شکل ۲۷ـ۲ ب).

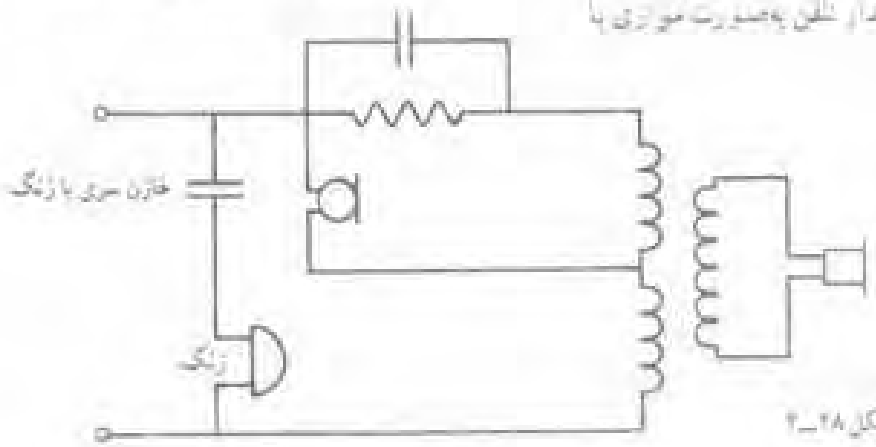
شکل ۲۶ـ۲ـ ساختمان یک نمونه زنگ تلفن (الکترومغناطیس)

شکل ۲۷ـ۲ـ طرز عمل زنگ تلفن

حال چنانچه جریان متناوبی از سیم‌پیچ‌ها بگذرانیم متناسب با فرکانس جریان، سر به چپ و راست منحرف شده و چکش متصل به سر ثانیه زنگ‌ها را به‌صدا درمی‌آورد. لازم به تذکر است که عملاً نمی‌توان ولتاژ متناوب با فرکانس زیاد را به زنگ وصل نمود، زیرا سر و چکش قطعات مکانیکی است و با فرکانس زیاد نمی‌تواند نوسان کند. جرم سر و چکش همچنین فاصله بین سر و قطب‌ها در نوسان سر تأثیر دارد. از این‌رو این مقادیر را طوری انتخاب می‌کنند تا در فرکانس ۲۵ Hz زنگ بهترین نوسان را داشته باشد. به عبارت دیگر فرکانس رزونانس سر و چکش را ۲۵ Hz در نظر می‌گیرند.

طرز قرار گرفتن زنگ در مدار تلفن به‌صورت موازی با خط است البته چنانچه زنگ را مستقیماً با خط موازی کنیم مانند یک مصرف‌کننده DC عمل می‌کند. ضمن این که سیگنال‌های صوتی را نیز تضعیف می‌کند و خود نیز از کار می‌افتد. از این‌جهت خازن یک میکروفارادی به‌صورت سری با زنگ قرار داده می‌شود.

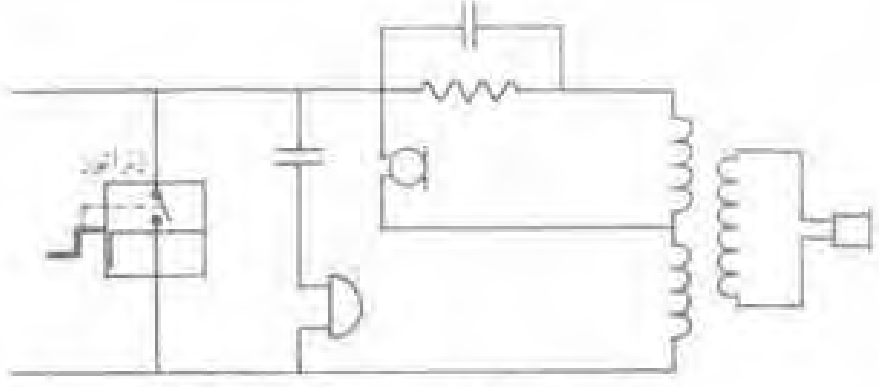
این خازن ضمن این که از ورود جریان DC به زنگ جلوگیری می‌کند، با القوکتانس سیم‌پیچ زنگ تشکیل یک مدار رزونانس سری با فرکانس رزونانس ۲۵ Hz می‌دهد که این عمل باعث می‌شود که با انرژی کمی، زنگ به‌صدا درآید. زنگ را در نقشه با علامت ⊐ نمایش می‌دهند (شکل ۲۸ـ۲).



شکل ۲۸ـ۲

حال که با وسیله خبرکننده یعنی زنگ آشنا شدیم بهتر است وسیله خبردهنده را نیز بشناسیم. در تلفن‌های غیرخودکار (نفت‌طلبی) وسیله خبردهنده عبارت است از یک دستگاه ژنراتور دستی که با چرخاندن دسته آن با دست، ولتاژ متناوب لازم (۲۵ Hz و ۱۲۰ V) جهت به‌صدا درآوردن زنگ تولید می‌شود.

این ژنراتور که موازی با خط تلفن قرار می‌گیرد دارای یک کلید اتوماتیک است که به محض چرخاندن دسته، ژنراتور را در مدار قرار می‌دهد. در حالت عادی مدار ژنراتور آن قطع است. در شکل ۲۹ـ۲ مدار گوشی، دهنی، زنگ و ژنراتور ترسیم شده است.



شکل ۲۹ـ۲ـ مدار گوشی، دهنی، زنگ و ژنراتور زنگ

۱ـ زنگی به معنی شخص یا اشخاصی است که در اثر برخورد با سیم‌های الکتریکی آن را فرا خواهند گرفت.

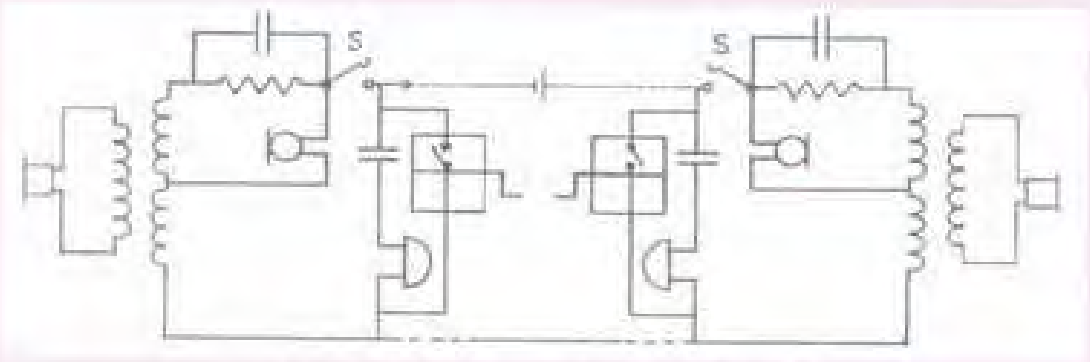
در شکل ۳۰ـ۲ نمای داخلی تلفن رومیزی الکترومکانیکی و تعدادی از قطعات آن را ملاحظه می‌کنید.

شکل ۳۰ـ۲ـ نمای داخلی تلفن رومیزی الکترومکانیکی و تعدادی از قطعات آن

(برای مطالعه، آغاز)

۷ـ۲ـ ارتباط دوطرفه با سیستم خبردهنده

با توجه به مطالبی که تاکنون آموختیم می‌توانیم مدار یک ارتباط دوطرفه با سیستم خبردهنده با ترانزیستور دستی را رسم نماییم. در شکل ۳۱ـ۲ مدار موردنظر رسم شده است.

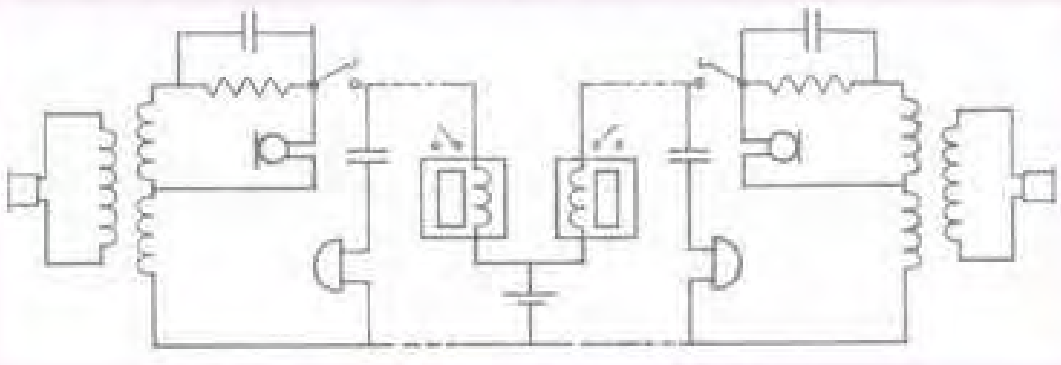


شکل ۳۱ـ۲ـ ارتباط دوطرفه با سیستم خبردهنده از نوع ترانزیستوری

کلید S به قلاب گوشی اتصال دارد و به‌محض برداشته شدن گوشی بسته می‌شود. در حالتی که گوشی درجای خود باشد، کنتاکت S باز می‌ماند تا از مصرف بی‌مورد باطری جلوگیری شود.

این گونه تلفن‌ها که در قدیم مورد استفاده قرار می‌گرفت به نام تلفن مغناطیسی مشهور بود. تلفن‌های مغناطیسی

انواع مختلف دارند که بررسی آن‌ها از حوصله این بحث خارج است. نحوه ارتباط مشترکین تلفن‌های مغناطیسی بدین‌ترتیب است. مشترک ابتدا توسط جرخاندن ژنراتور، اپراتور را خبر می‌کند. پس از ارتباط با اپراتور، تلفن شخص موردنظر را به اطلاع اپراتور می‌رساند و اپراتور توسط سیم‌های رابط این دو مشترک را باهم ارتباط می‌دهد. سپس تلفن کننده مجدداً ژنراتور را جرخانده تا مخاطب گوشی را بردارد. در سیستم پیشرفته‌تر ژنراتور از تلفن مشترک حذف شده و تنها با برداشته شدن گوشی مشترک، رله‌ای در مرکز جذب می‌شود و توسط آن اپراتور متوجه تقاضای مشترک می‌شود. پس از دریافت شماره تلفن موردنظر، اپراتور خود تلفن موردنظر را توسط ولتاژ متناوبی که در اختیار دارد خبر کرده و ارتباط بین آن‌ها را برقرار می‌کند. مدار شکل ۳۲ـ۲ سیستم را نشان می‌دهد.



شکل ۳۲ـ۲ـ ارتباط دوطرفه با سیستم خبردهنده رله‌ای.

با پیشرفت صنعت مخابرات و اختراع تلفن خودکار عملیاتی را که اپراتور انجام می‌داد به عهده ماشین گذاشته شد (ساختمان مراکز تلفن که کار اپراتور را انجام می‌دهند فعلاً مورد بحث نیست). از این‌رو لازم گردید تا زبانی برای مکالمه با ماشین یعنی اپراتور جدید به‌کار برده شود. این زبان همان زبان رمز یا کد است که امروزه به‌نام‌های بوق آزاد، بوق اشغال، پالس‌های شماره‌گیری و ... در تلفن خودکار به‌کار برده می‌شوند.

برای روشن شدن مطلب در جدول ۲ـ۲ اعمالی را که در یک تلفن غیرخودکار و یک تلفن خودکار از ابتدا تا برقراری مکالمه ممکن است اتفاق بیفتد مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول ۲ـ۲ـ مقایسه نحوه ارتباط بین مراکز تلفن با اپراتور و خودکار

ردیف	در تلفن غیر خودکار	در تلفن خودکار
۱	مشترک گوشی را برمی‌دارد.	مشترک گوشی را برمی‌دارد.
۲	الف: اپراتور جواب می‌دهد (بله). ب: اپراتور پشت دستگاه نیست.	تلفن بوق آزاد می‌زند. تلفن بوق نمی‌زند.
۳	شماره تلفن مورد نظر به اپراتور گفته می‌شود.	توسط نمره‌گیر تلفن شماره موردنظر گرفته می‌شود. یعنی پالس‌هایی ایجاد می‌شود.
۴	الف: اپراتور می‌گوید تلفن مورد نظر مشغول است. ب: اپراتور می‌گوید که تلفن موردنظر زنگ می‌خورد منتظر ارتباط باشید.	تلفن بوق اشغال می‌زند. تلفن بوق زنگ می‌زند.
۵	مخاطب گوشی را برداشته و ارتباط برقرار می‌گردد.	مخاطب گوشی را برداشته و ارتباط برقرار می‌گردد.

چنان که از جدول فوق برمی‌آید در موارد ۲ و ۴ اپراتور با ماشین با ماجرف می‌زند و تنها در مورد ۳ پاسخی مشترک شماره تلفن مورد نظر را به اپراتور یا ماشین بگوید بنابراین مولد پوزه‌های مختلف در مرکز تلفن قرار داشته و تنها نمره‌گیر در تلفن مشترک قرار دارد که لازم است ساختمان و طرز کار آن مورد مطالعه قرار گیرد.

(برای مطالعه، پایان)

۸ـ۲ـ خودآزمایی

۱ـ ۸ـ۲ـ مدار مکالمه یک‌طرفه را رسم کنید و اصول کار آن را شرح دهید.

۲ـ۸ـ۲ـ مدار مکالمه دوطرفه دوسیمه و سه سیمه را رسم کنید و اصول کار آن را شرح دهید.

۳ـ۸ـ۲ـ دلایل حذف DC از گوشی را با رسم شکل و ذکر مثال توضیح دهید.

۴ـ۸ـ۲ـ مدار حذف DC از گوشی به کمک خازن را رسم کنید و اصول کار آن را شرح دهید.

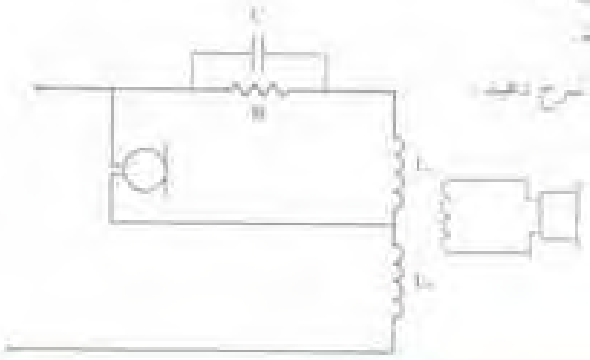
۵ـ۸ـ۲ـ مدار حذف DC از گوشی را با استفاده از ترانسفورماتور شرح دهید.

۶ـ۸ـ۲ـ مدار مکالمه دوطرفه با باطری محلی و حذف DC از گوشی را رسم کنید و اصول کار آن را شرح دهید.

۷ـ۸ـ۲ـ مدار خودشنوایی را رسم کنید و اصول کار آن را شرح دهید.

۸ـ۸ـ۲ـ نقش مقاومت R و خازن C را در شکل زیر شرح دهید.

۹ـ۸ـ۲ـ ساختمان زنگ تلفن الکترومغناطیسی را با رسم شکل شرح دهید.



مطالعهٔ آزاد

۱۰ـ۸ـ۲ـ ارتباط بین دو مرکز تلفن غیرخودکار و خودکار را باهم مقایسه کنید.

۹ـ۲ـ نمره‌گیری تلفن

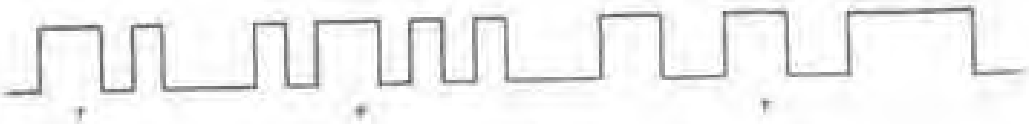
برای این که شماره تلفن مورد نظر را به مرکز تلفن (اپراتور مکانیکی) بفهمانیم به تعداد ارقام، پالس‌هایی را ایجاد و به مرکز تلفن می‌فرستیم. به‌عنوان مثال اگر بخواهیم شماره ۲۴۳ را به اطلاع مرکز برسانیم پالس‌هایی را مطابق شکل ۳۳ـ۲ ایجاد کنیم.

شکل ۳۳ـ۲

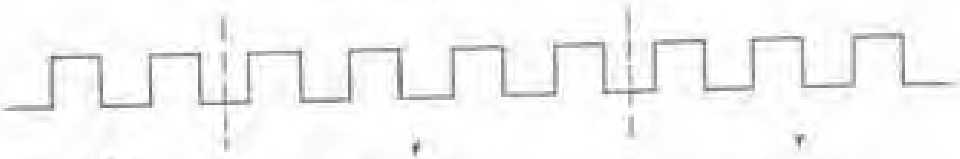
ساده‌ترین وسیله برای ایجاد پالس یک شستی است که یک منبع ولتاژ با آن سری شده باشد و ساده‌ترین وسیله برای آشکار کردن پالس‌ها رله است (شکل ۳۴ـ۲).

شکل ۳۴ـ۲

چنان که در شکل پیداست با هربار فشار دادن شستی یک پالس ایجاد شده و یکبار رله باز و بسته می‌شود. بنابراین با قرار دادن یک کلید به‌صورت سری در خط تلفن و باز و بسته کردن آن می‌توان عمل نمره‌گیری را انجام داد. اما پالس‌هایی که ایجاد می‌شود بایستی دو ویژگی داشته باشند. یکی این که عرض پالس‌ها ثابت باشد و دیگر این که بین دو دسته پالس که هر دسته نمایندهٔ یک رقم است حداقل فاصله‌ای وجود داشته باشد که ایجاد چنین شرایطی با یک شستی مشکل است. شکل‌های ۳۵ـ۲ الف و ب پالس‌های شماره ۲۲۳ را بدون رعایت دو ویژگی فوق نشان می‌دهد.



الف ـ در اینجا عرض پالس‌ها با هم یکی نیستند.



ب ـ در اینجا حداقل فاصله بین دو دسته پالس رعایت نشده و طبعاً شمارهٔ ۲۲۳ با شمارهٔ ۹ اشتباه می‌شود.

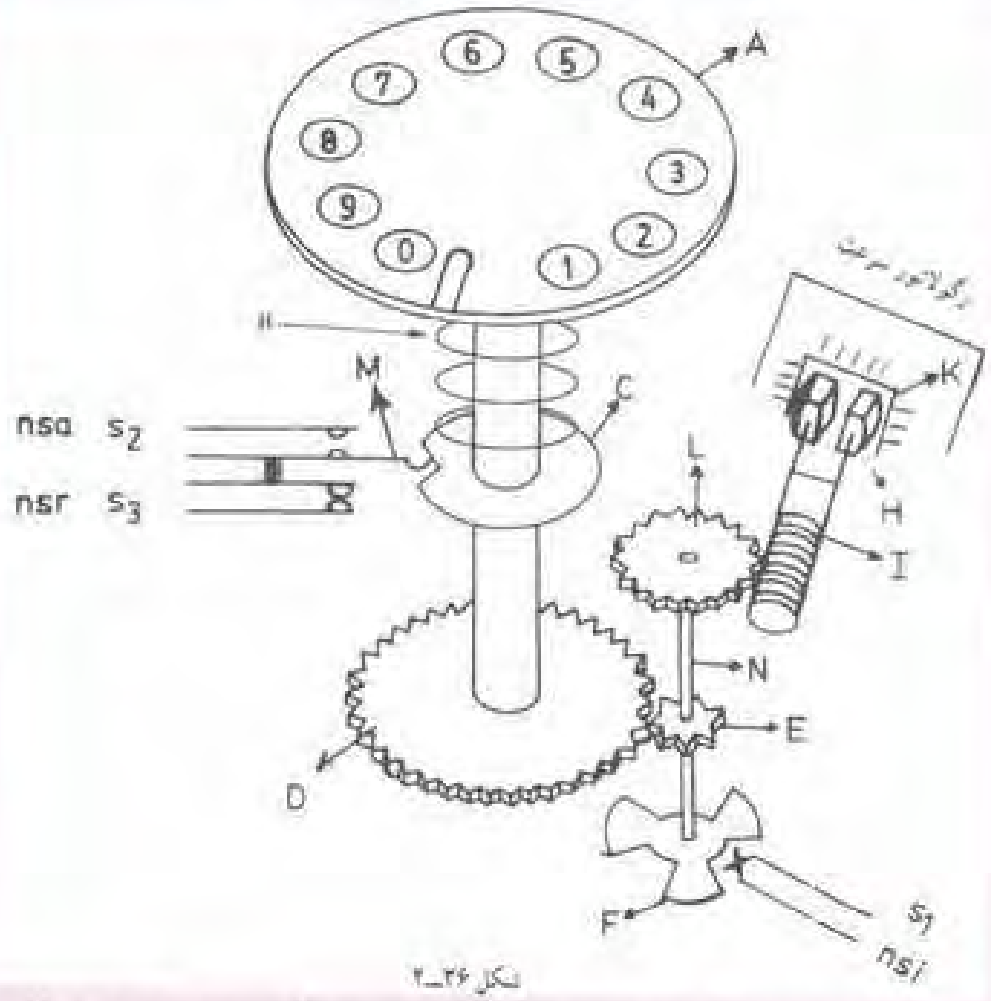
شکل ۳۵ـ۲

از این‌رو لازم است تا وسیله‌ای که می‌خواهد پالس‌ها را تولید کند یارای دقت کافی باشد. اینجاست که نقش نمره‌گیر نمایان می‌شود.

برای ایجاد پالس‌های با عرض ثابت یک سیستم ژنراتور سرعت در نمره‌گیر وجود دارد که شرح آن خواهد آمد. اما برای رعایت حداقل فاصله بین دو دسته پالس در هر دسته پالس که توسط نمره‌گیر ایجاد می‌شود دو پالس اضافه نیز وجود دارد که بعداً حذف می‌شود. به‌عنوان مثال هنگامی که رقم ۵ توسط نمره‌گیر گرفته می‌شود ابتدا ۷ پالس ایجاد شده سپس دو پالس آخر حذف می‌شود. در این‌صورت با اطمینان می‌توان گفت که بین دو دسته پالس حداقل به اندازه عرض دو پالس فاصله افتاده که این فاصله کافی است. تولید دو پالس اضافی و حذف آن‌ها در خود نمره‌گیر صورت می‌گیرد. اکنون به شرح ساختمان نمره‌گیر می‌پردازیم (شکل ۳۶ـ۲).

(برای مطالعه، آغاز)

۱ـ۹ـ۲ـ اصول کار نمره‌گیر الکترومکانیکی: برای نمره‌گیری ابتدا توسط انگشت صفحه A را به راست می‌چرخانیم، با چرخاندن این صفحه فنری که در محور این صفحه قرار دارد (فنر B) کوک شده و با انرژی که در آن ذخیره می‌شود، قادر خواهد بود که به محض رها شدن صفحه را به‌جای اولش بازگرداند. با چرخاندن صفحه A محور آن و هم‌چنین صفحه فیبری C و چرخ‌دنده D نیز خواهند چرخید. با چرخیدن صفحه فیبری C فنر



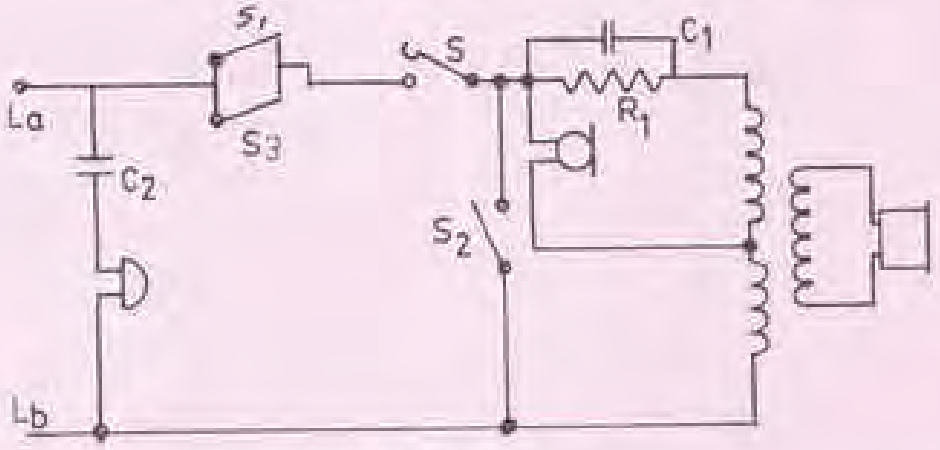
شکل ۲۶ـ۲

M به طرف بالا رفته، کلید S_2 را وصل و کلید S_3 را قطع می‌کند (طبعاً وضعیت این کلیدها تا بازگشت صفحه نمره‌گیر به حالت عادی به همین صورت خواهند ماند). اما با چرخیدن چرخ‌دنده D، چرخ‌دنده E با سرعت بیشتری خواهد چرخید. از طرفی چرخ‌دنده E توسط یک هرزگرد یکطرفه به محور N اتصال دارد، به‌طوری که اگر نمره‌گیر را بچرخانیم محور N ثابت مانده و به هنگام برگشت صفحه نمره‌گیر، این محور همراه با چرخ‌دنده E می‌چرخد. چرخش محور N چرخیدن فیبر نمره‌ی F را سبب می‌شود که با هردور چرخش سه بار کلید S_1 باز و بسته می‌شود. چرخ‌دنده L چرخش محور را به یک رگولاتور سرعت انتقال می‌دهد. اساس کار رگولاتور سرعت نیروی گریز از مرکز است که به‌محض زیاد شدن سرعت چرخش محور I نیروی گریز از مرکز وزنه‌های H را از هم دور کرده و

دراثر تماس با بدنه K محور I را متوقف می‌سازد.

نسبت دندانه‌ها و درجه‌بندی صفحه نمره‌گیر طوری محاسبه شده که با قرار دادن انگشت در محل هر یک از اعداد و چرخاندن صفحه کلید S_1 نیز متناسب با آن دوبار بیشتر از رقم شماره‌گیری شده باز و بسته خواهد شد. از طرفی صفحه فیبری C طوری شکاف داده شده که در طول نمره‌گیری، S_3 را باز نگه داشته و پس از این که S_1 به تعداد نمره گرفته شده باز و بسته شد S_3 را می‌بندد و چون دو کلید S_2 و S_1 موازی شده‌اند نتیجتاً دو پالس اضافی آخر حذف می‌شوند. بالاخره کلید S_3 که در طول نمره‌گیری بسته می‌ماند با اتصال کوتاه کردن سایر قسمت‌ها باعث می‌شود تا دامنه پالس‌های ارسالی بیشتر شده و نمره‌گیری بدون اشتباه صورت پذیرد. کلید S_1 را nsi و کلید S_2 را nsb و کلید S_3 را nsr می‌نامند.

کنتاکت‌های نمره‌گیر مطابق شکل ۳۷ـ۲ در مدار تلفن قرار می‌گیرند.



شکل ۳۷ـ۲

(برای مطالعه، پایان)

۲ـ۹ـ۲ـ نحوهٔ کار کنتاکت‌های نمره‌گیر

از روی شکل ۳۷ـ۲ ترتیب کار کنتاکت‌های نمره‌گیر شرح داده می‌شود.

۱ـ با برداشتن گوشی کلید S بسته و جریان تلفن برقرار می‌گردد.

۲ـ با شروع چرخش صفحه نمره‌گیر کنتاکت S_2 بسته و کنتاکت S_3 باز می‌گردد.

۳ـ پس از این که صفحه چرخان نمره‌گیر آزاد شد S_1 به تعداد «رقم نمره گرفته شده ۱» پالس تولید می‌کند.

۴ـ قبل از دو پالس آخر S_1 کنتاکت S_2 بسته شده و دو پالس آخر را حذف می‌کند.

مسئله‌ای که در اینجا وجود دارد این است که کنتاکت S_1 مجبور است روزانه بارها باز و بسته شود. چون با باز و بسته شدن این کنتاکت، جرقه تولید و از عمر کنتاکت کاسته می‌شود که به‌کار بردن جرقه‌گیر ضروری به‌نظر می‌رسد.

(برای مطالعه، آغاز)

در شکل ۳۸ـ۲ تصویر واقعی قطعات نمره‌گیر الکترومکانیکی را که از یکدیگر جدا شده‌اند ملاحظه می‌کنید.

دوست زیر شمارنده‌گیر تلفن، برای تولید پالس‌های الکتریکی، سیمی تعبیه شده که سلکتورها را در مرکز تلفن به‌کار می‌اندازد.

شماره «۷» گرفته شده است. صفحه فیبری زایده را از اتصال‌های شمارنده‌گیر دور می‌کند. در این حالت اگرچه زایده در داخل و خارج شکاف‌ها حرکت می‌کند ولی هیچ پالس الکتریکی تولید نمی‌شود.

اما وقتی شمارنده‌گیر آزاد می‌شود، زایده دوباره در شکاف‌ها بالا و پایین می‌رود و این بار با قطع و وصل جریان توسط آن، هفت بار اتصال برقرار می‌شود و در شماره آخر حذف می‌شود.

شکل ۳۸ـ۲ـ قطعات داخلی شمارنده‌گیر

در شکل ۳۹ـ۲ تصویر واقعی شمارنده‌گیر از طرف جلو و پشت ترسیم شده است.

شکل ۳۹ـ۲ـ تصویر شمارنده‌گیر

(برای مطالعه، پایان)

۱۰ـ۲ـ مدار جرقه‌گیر

معمولاً به هنگام قطع کنتاکت‌ها جرقه ایجاد می‌شود. زیرا چنان‌که در شکل ۲۰ـ۲ مشاهده می‌شود هنگامی که کنتاکت بسته است سطح تماس بین برج‌ها زیاد بوده و جریان از طریق این سطح می‌گذرد. به هنگام باز شدن کنتاکت فنری که برج‌ها را به‌هم فشرده کرده بود به مرور آزاد می‌شود و در لحظه قطع کنتاکت، اتصال بین برج‌ها بسیار کم و در نتیجه مقاومت مرزی بین آن‌ها زیاد می‌شود. چون جریان قبلی بایستی از این نقطه بگذرد لذا حرارت زیادی تولید می‌شود. دراثر این حرارت هوای اطراف برج‌ها یونیزه می‌شود و پس از قطع کنتاکت، مقداری از جریان در هوای یونیزه شده برقرار می‌شود که به‌صورت جرقه نمایان می‌گردد.

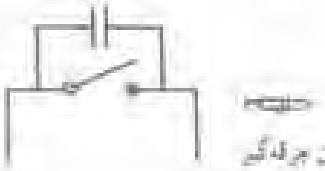
برای دفع جرقه در کنتاکت فوق بایستی کاری کنیم تا هنگام باز شدن کنتاکت جریان عبوری از آن کم شود که این عمل با موازی کردن یک خازن با کنتاکت عملی است. زیرا هنگامی که کنتاکت شروع به باز شدن می‌کند خازن موازی با آن به‌صورت یک اتصال کوتاه عمل کرده و به‌جای این که جریان از نقطه اتصال کنتاکت‌ها عبور کند از خازن می‌گذرد و آن را شارژ می‌کند (شکل ۲۱ـ۲).

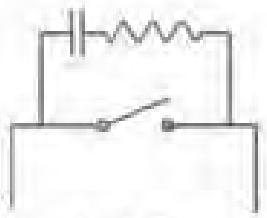
اما وجود خازن خود مشکل جدیدی را ایجاد می‌کند و آن این که به هنگام بسته شدن مجدد کنتاکت، خازن به یک‌باره در کنتاکت تخلیه می‌شود و تولید جرقه می‌نماید. با قرار دادن یک مقاومت به‌صورت سری با خازن این مشکل نیز حل‌شدنی است (شکل ۲۲ـ۲).

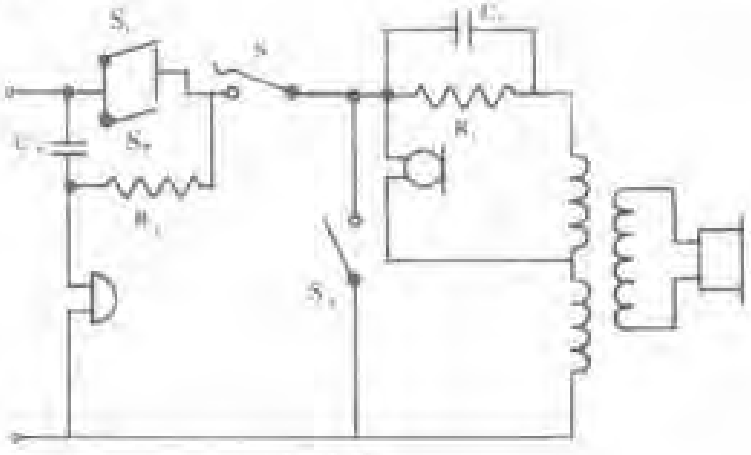
حال که با مدار جرقه‌گیر آشنا شدیم باز می‌گردیم به مدار شکل ۲۷ـ۲ برای کنتاکت S_1 مدار جرقه‌گیر پیش‌بینی می‌نماییم؛ با کمی دقت به مدار شکل ۲۵ـ۲ متوجه می‌شویم که در مدار یک خازن وجود دارد و کافی است با اتصال یک مقاومت به مدار عمل جرقه‌گیری نیز انجام شود.

در نتیجه خازن C_1 ضمن این که جریان DC را از زنگ جدا می‌کند به کمک مقاومت R_1 عمل جرقه‌گیری را نیز انجام می‌دهد. R_1 را عملاً $10\,\Omega$ انتخاب می‌کنند (شکل ۲۳ـ۲).

شکل ۲۱ـ۲


شکل ۲۱ـ۲ـ خازن جرقه‌گیر


شکل ۲۲ـ۲



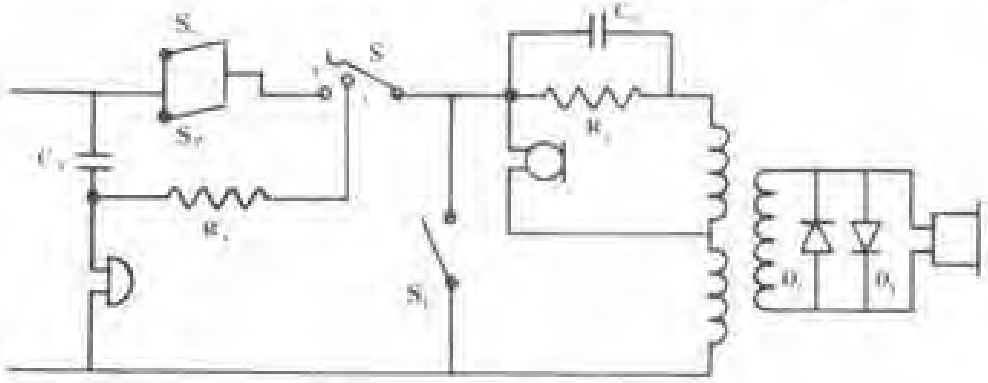
شکل ۲۳ـ۲

۱۱ـ۲ـ مدار کامل تلفن خودکار

مدار کامل تلفن خودکار در شکل ۴۲ـ۲ رسم شده است.

درمقایسه با مدار شکل ۴۳ـ۲ دیده می‌شود که اولاً مقاومت R_0 به یکی از کنتاکت‌های قلاب گوشی وصل شده است. این بدان علت است که اگر بخواهیم بدون برقرار شدن جریان DC در تلفن مکالمات را گوش دهیم امکان‌پذیر باشد. بدین ترتیب که با آهسته آزاد کردن قلاب گوشی ابتدا کنتاکت شماره ۱ وصل می‌شود. اگر قلاب را در این مرحله ثابت نگهداریم تنها می‌توان مکالمات را شنید. با رها کردن کامل قلاب گوشی هر دو کنتاکت ۱ و ۲ وصل و ارتباط کامل می‌شود.

ثانیاً دو دیود در خلاف جهت و به‌صورت موازی با گوشی قرار گرفته است که این دیودها محدودکننده ولتاژ بوده و از صداهای ناهنجاری که در اثر نمدگیری به‌وجود می‌آید و گوش را آزار می‌دهد جلوگیری می‌کنند.



شکل ۴۲ـ۲ـ مدار کامل تلفن خودکار

۱۲ـ۲ـ خودآزمایی

۱ـ۱۲ـ۲ـ ساده‌ترین وسیله برای تولید یا لس تلفن چیست؟ ویژگی‌های یا لس‌های تلفن را نام ببرید.

مطالعهٔ آزاد

۲ـ۱۲ـ۲ـ قطعات شماره‌گیر مکانیکی را با توجه به شکل ۳۴ـ۲ نام ببرید.

۳ـ۱۲ـ۲ـ با توجه به شکل ۳۷ـ۲ نقش خازن C_1، کلید S_1 کلید S و خازن C_2 را شرح دهید.

مطالعهٔ آزاد

۴ـ۱۲ـ۲ـ توضیح دهید چگونه در شماره‌گیر تلفن دو یا لس اضافی حذف می‌شود.

۵ـ۱۲ـ۲ـ اصول کار مدار جرقه‌گیر را با رسم شکل شرح دهید.

۱۳ـ۲ـ آشنایی با نحوه ارتباط درمراکز تلفن

در سیستم ساده‌ای، که تاکنون مورد بررسی قرار گرفته است، تنها دو تلفن با یک خط مستقیم باهم درارتباط هستند. در چنین سیستمی تنها دونفر می‌توانند باهم صحبت کنند. روشن است که این نوع ارتباط خیلی محدود است و شاید افراد بیشتری مایل باشند که در هر زمان معین باهم تماس حاصل کنند. در چنین حالتی این سیستم جوابگو نخواهد بود. با استفاده از این سیستم ارتباط مستقیم، برای آن که شش نفر باهم در ارتباط باشند به پانزده خط تلفن و برای ارتباط ده هزار نفر به پنجاه میلیون خط ارتباطی نیاز است. بنابراین کاملاً واضح است که سیستم منظم و قابل استفاده‌ای لازم است تا بتوان با بهره‌گیری از آن، امکان انجام تعداد زیادی مکالمهٔ تلفنی را به‌طور همزمان فراهم آورد.

راه حل این مسأله تأسیس و ایجاد مراکز تلفن است که در آن امکان برقراری ارتباط میان میلیون‌ها ارتباط در روز وجود داشته باشد. با وجود این‌گونه مراکز اگر بخواهیم با شخصی در نقطهٔ دوردستی از کشور یا حتی با خارج از کشور صحبت کنیم، قبل از تماس نهایی با شخص مورد نظر، باید مکالمهٔ ما از کانال چندین مرکز تلفن بگذرد.

مراکز تلفن معمولاً بر دو گونه‌اند: مرکز تلفن دستی و مرکز تلفن خودکار (اتوماتیک). درمرکز تلفن دستی، ارتباطات مورد نیاز توسط یک اپراتور برقرار می‌شود. البته این‌گونه مراکز، امروزه تقریباً از صحنه خارج شده و جای خود را به مراکز خودکار داده‌اند.

مراکز تلفنی خودکار با استفاده از تجهیزات و وسایل خاصی ارتباط را برقرار می‌کنند. این نوع مراکز نیز انواع مختلفی دارند: بعضی‌ها با روش‌های مکانیکی و برخی نیز با استفاده از شیوه‌های الکترونیکی کار می‌کنند.

امروزه اغلب مراکز تلفنی در سطح دنیا به‌صورت دیجیتالی طراحی و ساخته می‌شوند. سیستم‌های الکترومکانیکی به‌طور کامل منسوخ و سیستم‌های الکترونیکی نیز به‌تدریج از چرخه کاربرد خارج می‌شوند. در شکل ۲۵ـ۲ نحوه برقراری ارتباط راه دور تلفنی به‌صورت مصور نشان داده شده است. یادآور می‌شود که امروزه ارتباط بین قاره‌ای از طریق ماهواره‌های مخابراتی صورت می‌گیرد که تصاویر ساده آن را در شکل ۱ـ۲ دیده‌اید.

شکل ۲۵ـ۲

(برای مطالعه، آغاز)

۱ـ۱۳ـ۲ـ مرکز تلفن دستی چگونه کار می‌کند: در یک مرکز تلفن دستی، سیم‌های تلفن به یک تخته ـ کلید وصل می‌شوند و اپراتور با سیم‌های نرمی به نام رابط که در دو سر آن‌ها فیش قرار دارد می‌تواند هر دومدار تلفنی را به‌هم وصل کند. در این سیستم همزمان با بلند کردن گوشی تلفن، در داخل دستگاه اتصالی برقرار می‌شود و جریان الکتریکی پس از عبور از مدار، لامپ کوچکی را بر روی تخته ـ کلید روشن می‌کند. در این حالت اپراتور با قرار دادن فیش یک سیم رابط در خط مخصوص شما، می‌تواند با شما صحبت کند. پس از آن می‌توانید شماره یا نام شخص موردنظر را به وی بگویید تا ارتباط شما برقرار شود. اپراتور پس از آگاهی از مقصد شما، انتهای دیگر سیم رابط را به آن شماره وصل می‌کند. آن‌گاه با فشار دادن یک دکمه زنگ آن تلفن را به‌صدا درمی‌آورد تا شخص موردنظرتان را از برقراری ارتباط آگاه سازد و هنگامی که آن شخص گوشی را برمی‌دارد، ارتباط نهایی حاصل می‌شود و شما می‌توانید با او مکالمه و گفتگو کنید.

اگر شخصی که می‌خواهید با وی تماس داشته باشید در یک مرکز تلفن دستی دیگر باشد، ابتدا باید با اپراتور آن مرکز تماس برقرار سازید. در این حالت اپراتور شما باید ابتدا از طریق یک خط ارتباطی جداگانه به اپراتور آن مرکز زنگ بزند و شماره یا نام شخص مورد نظرتان را به‌وی بگوید. پس از آن اپراتور دوم ارتباط لازم را از طریق آن خط برقرار می‌کند.

در شکل ۲۶ـ۲ یک نمونه مرکز تلفن دستی که امروزه کاملاً از رده خارج شده، است را ملاحظه می‌کنید. هدف از ارائه این تصویر بیشتر یادآوری سیر تکاملی تلفن است.

شکل ۲۶ـ۳ـ یک مرکز تلفن دستی

(برای مطالعه، پایان)

۲ـ۱۳ـ۲ـ مرکز تلفن خودکار: امروزه در بسیاری از نقاط جهان از تلفن‌های خودکار استفاده می‌شود. شمار این گونه تلفن‌ها هر روز در حال افزایش است. مراکز متعدد تلفن‌های خودکار این امکان را به‌وجود آورده‌اند که بتوان بدون کمک اپراتور با هر کسی تماس برقرار کرد. در این سیستم، ارتباط به آسانی با برداشتن گوشی و گرفتن شماره برقرار می‌شود. ارتباط بین هردو تلفن توسط سلکتورهای (گزینشده‌های) خودکار که به‌صورت الکترونیکی توسط شماره‌گیر تلفن کنترل می‌شوند برقرار می‌گردد.

وقتی شماره‌ای را می‌گیرید شماره‌گیر یک علامت الکتریکی (جریان متغیر) مطابق با شماره گرفته شده ایجاد می‌کند. جریان‌هایی که به این‌صورت تولید می‌شوند، از طریق مدار به سلکتور منتقل می‌گردند و آن را به کار می‌اندازند. بنابراین گرفتن هر شماره، زمانی به‌طور کامل انجام می‌گیرد که شماره‌گیر کاملاً به عقب برگردد. بعلاوه این نکته نیز مهم است که شماره‌گیر باید آزادانه و بدون دخالت انگشت با دست به وضع عادی خود برگردد.

اگر بخواهید با شخصی در یک مرکز تلفنی دیگر صحبت کنید، لازم است قبل از گرفتن شماره، وی، کُد مخصوصی را بگیرید. این کُد‌ها به کار انداختن یک کلید، بین شما و آن مرکز تلفن، یک خط ارتباطی آزاد برقرار می‌کند.

در مراکز قدیمی تلفن خودکار برای برقراری ارتباط از سلکتورهای الکترومغناطیسی استفاده می‌شد. سلکتورها رله‌هایی بودند که چندین کنتاکت متعدد داشتند. این سلکتورها با دریافت فرمان مناسب که از طریق شماره‌گیر مشترکین می‌آمد کنتاکت‌ها را جابه‌جا می‌کردند و به این ترتیب ارتباط بین دو مشترک برقرار می‌شد. با پیشرفت علم الکترونیک به تدریج قطعات نیمه‌هادی جایگزین سلکتورهای الکترومکانیکی شدند. در این زمان مراکز تلفن نسبت به مراکز سلکتوری دارای حجم کوچکتری بودند. امروزه مراکز تلفن دیجیتالی با حجم بسیار کوچک و کارآیی بسیار بالا جایگزین مراکز تلفن قدیمی شده‌اند. در تلفن‌های خودکار ارتباط از طریق کُدهای شماره‌گیری صورت می‌گیرد.

۳ـ۱۳ـ۲ـ کُدهای شماره‌گیری: در شهرهای کوچک معمولاً یک مرکز تلفن وجود دارد که مکالمات تلفنی از طریق آن انجام می‌شود. ولی در بسیاری از شهرهای بزرگ ممکن است چندین مرکز تلفن وجود داشته باشد. در این‌صورت اگر بخواهید با شخصی در محدودهٔ مرکز تلفنی خود تماس بگیرید، کافی است گوشی را بردارید و شمارهٔ آن شخص را بگیرید تا تماس برقرار شود. اما اگر شخص موردنظر شما در محدودهٔ مرکز تلفن دیگری باشد، در آن‌صورت باید ابتدا کُد آن منطقه و سپس شمارهٔ وی را بگیرید. در این مورد، فهرست کُد مناطق مختلف در اختیار شهروندان قرار می‌گیرد. اما در این روش همیشه مشکل پیدا کردن کُد مناطق مختلف وجود دارد. از این‌رو امروزه در شهرهای بزرگ، با وجود مراکز تلفن متعدد، شماره‌ها را به گونه‌ای متشکل کرده‌اند که این مشکل برطرف گردد. این روش که طرح شماره‌گذاری شبکه‌ای نام دارد به این‌صورت است که تمام شماره‌های مربوط به یک مرکز تلفن با یک یا دو رقم مشخص می‌شوند. مثلاً کلیه شماره تلفن‌هایی که با دو رقم «۲۸» شروع می‌شوند متعلق به یک منطقه و تحت پوشش یک مرکز تلفن هستند. بنابراین رقم‌های اول و دوم شماره تلفن‌های شهرهای بزرگ به منزلهٔ کُد مراکز مختلف به‌شمار می‌آیند.

شماره تلفن‌های شهرهای بزرگ کلاً ترکیبی عددی دارند. برای مثال شماره «۲۱×××××××» را درنظر بگیرید. سه رقم «۲۱۰» کُد شهر را نشان می‌دهد. سه رقم بعدی معرف کُد مرکز تلفن و چهار شمارهٔ آخر مربوط به شمارهٔ تلفن است. برای مکالمهٔ محلی در این شهرها کافی است تنها هفت شمارهٔ آخر گرفته شود. علائم الکتریکی شماره‌گیر از دستگاهی به نام هدایت‌کننده عبور می‌کنند. این دستگاه اضافی به‌طور خودکار یک خط آزاد را انتخاب می‌کند و پس از آن، با گرفتن هر شماره، علائم الکتریکی را از خود عبور می‌دهد تا توسط سلکتورها ارتباط نهایی برقرار شود. شکل ۲۷ـ۲ نحوهٔ ارتباط بین مراکز تلفن از طریق کُدهای شماره‌گیری را نشان می‌دهد.

شکل ۲۷ـ ۲ـ ارتباط از طریق کدهای شماره‌گیری

۴ـ۱۳ـ۲ـ جریان‌های الکتریکی چگونه به مسافت‌های طولانی منتقل می‌شوند: همان‌گونه که گفته شد، جریان الکتریکی را می‌توان به مسافت‌های طولانی انتقال داد. این فاصله بسیار بیشتر از مسافتی است که صدای انسان از طریق هوا طی می‌کند. با وجود این هرچه طول سیم افزایش یابد، توان جریان الکتریکی کاهش می‌یابد. از این‌رو، جریان در طول مسافتی که در داخل سیم‌ها طی می‌کند، آن‌قدر ضعیف می‌شود که دیگر نمی‌تواند وظیفهٔ خود را انجام دهد. این مسأله در آغاز یکی از موانع موجود در راه انتقال جریان‌های الکتریکی بود. اما بعدها بخشی از این مشکل با استفاده از سیم‌های ضخیمی که مقاومت کمتری ایجاد می‌کنند، حل شد. جریان الکتریکی در طول این سیم‌ها آزادانه‌تر حرکت می‌کند. علاوه بر این، امروزه درطول مسیر مدارهای تلفنی از تقویت‌کننده‌ها (تکرارکننده‌ها) که در نقاط معینی قرار می‌گیرند، استفاده می‌شود. هریک از این تقویت‌کننده‌ها، جریانی را که از آن عبور می‌کند تقویت کرده و آن را به‌سوی تقویت‌کنندهٔ بعدی هدایت می‌کنند. با این کار توان از

دست رفتهٔ جریان احیا می‌شود و جریان با همان قدرت اولیه به‌مقصد نهایی می‌رسد، درست مثل این که از مدار کوتاهی عبور کرده باشد.

تقویت جریان در تقویت کننده‌ها، ترانزیستورها یا آی‌سی انجام می‌گیرد. این وسایل امکان انتقال مکالمه‌های تلفنی را به فاصله‌های طولانی میسر می‌سازند. با کمک این تجهیزات، ارتباط تلفنی نه تنها با نقاط دوردست در داخل کشور ممکن می‌شود، بلکه با استفاده از کابل‌های زیردریایی و ارتباط رادیویی می‌توان با تمام نقاط جهان ارتباط برقرار کرد. در شکل ۴۸ـ۲ یک نمونه مسیر ارتباطی راه دور نشان داده شده است.

در خاتمه یادآوری می‌شود که مراکز تلفنی مدرن دارای پیچیدگی‌های بسیار گسترده‌ای است که با توجه به محدودیت‌های زمانی موجود و اهداف تعیین شده در برنامه درسی نمی‌توان به آن مقوله‌ها وارد شد. همچنین در فرستنده‌ها و گیرنده‌های تلفن‌های جدید به‌جای روش پالس از روش Tone استفاده می‌کنند که در روش تُن میزان دقت بالا رفته و میزان اشتباه به حداقل می‌رسد. سیستم تلفنی تُن، در کتاب کارگاه، و آزمایشگاه، مخابرات توضیح داده شده است.

شکل ۴۸ـ۲

۱۴ـ۲ـ خودآزمایی

مطالعهٔ آزاد

۱ـ۱۴ـ۲ـ اصول کار مراکز تلفن دستی را به‌اختصار شرح دهید.

۲ـ۱۴ـ۲ـ اصول کار مراکز تلفن خودکار را به اختصار شرح دهید.

۳ـ۱۴ـ۲ـ نحوه ارتباط درمراکز تلفنی را با استفاده از کدهای شماره‌گیری به اختصار شرح دهید.

۴ـ۱۴ـ۲ـ نحوه ارتباط از طریق مراکز تلفن به فواصل دور را به اختصار شرح دهید.

این صفحه بعد از فصل نهم کتاب(بعد از صفحه ۱۵۱)تدریس شود.

۵ــ۱۰ــ منبع تغذیه با رگولاتور و کلید الکترونیکی قطع باتری

در شکل ۶ــ۱۰ مدار کاربردی یک نمونه منبع تغذیه با رگولاتور و کلید الکترونیکی ترسیم شده است. این مدار از سه قسمت اصلی به شرح زیر تشکیل شده است.

الف ــ قسمت تغذیه برق شهر و یکسوسازی که شامل ترانس تغذیه T، دیودهای D_1 و D_2 خازن‌های C_1 و C_2 و C_3 است. خازن‌های C_1 و C_2 به‌عنوان ضربه‌گیر به‌کار می‌روند و خازن C_3 صافی مدار است.

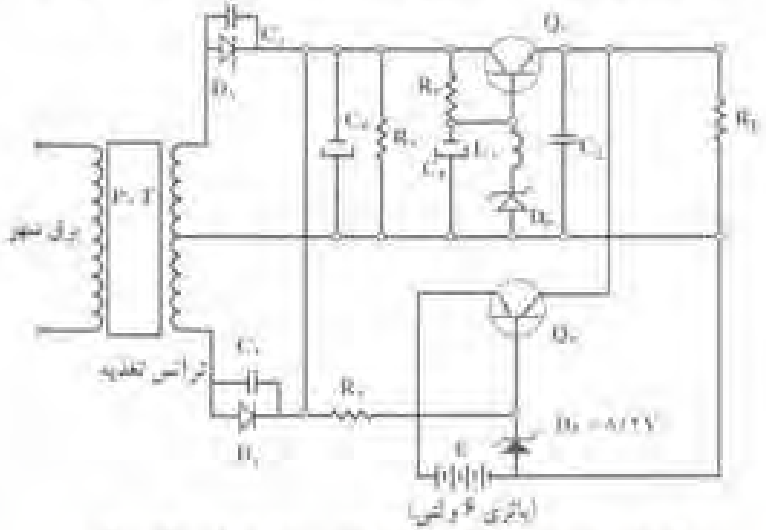
ب ــ قسمت رگولاتور شامل مقاومت‌های R_1 و R_2، خازن‌های C_4 و C_5، سیم‌پیچ L_1، دیود زنر D_3 و ترانزیستور Q_1 است. اصول کار این مدار مشابه مدار شکل ۵ــ۱۰ است و ولتاژ خروجی را تنظیم می‌کند.

ج ــ کلید خودکار الکترونیکی: این مدار از ترانزیستور Q_2، دیود زنر D_4، باتری E، مقاومت‌های R_3 و R_4 تشکیل می‌شود.

۱ــ۵ــ۱۰ــ طرز کار منبع تغذیه با کلید الکترونیکی قطع باتری:

هنگامی که برق شهر به مدار وصل است، دیود زنر D_4 از طریق خروجی D_1 و D_2 بایاس می‌شود و ولتاژی برابر با ۸/۲ ولت را روی بیس ترانزیستور Q_2 قرار می‌دهد. چون مقدار این ولتاژ بیشتر از ولتاژ باتری E است، ترانزیستور Q_2 در شرایطی که برق شهر وجود دارد به‌صورت کلید باز عمل می‌کند و ولتاژ تغذیه مقاومت بار R_L از طریق برق شهر و رگولاتور تأمین می‌شود.

در صورت قطع برق شهر، دیود زنر به علت کم بودن ولتاژ باتری (۶ ولت) در حالت قطع باقی می‌ماند. در این حالت بیس ـ امیتر ترانزیستور Q_2 از مسیر مثبت باتری، امیتر ترانزیستور Q_2، بیس ترانزیستور Q_1، مقاومت R_2، مقاومت R_3 و منفی باتری در بایاس موافق قرار می‌گیرد و به‌صورت کلید بسته عمل می‌کند. بدین ترتیب با قطع و وصل شدن برق شهر، باتری به‌طور اتوماتیک به بار وصل یا از آن قطع می‌شود.



شکل ۶ــ۱۰ــ مدار رگولاتور با کلید قطع و وصل خودکار الکترونیکی

۶ــ۱۰ــ خودآزمایی

۱ــ۶ــ۱۰ــ عناصر مدار رگولاتور را در شکل ۶ــ۱۰ نام ببرید.

۲ــ۶ــ۱۰ــ طرز کار مدار الکترونیکی قطع و وصل باتری را شرح دهید.

۳ــ۶ــ۱۰ــ چرا ولتاژ شکست دیود زنر D_4 باید بیشتر از ولتاژ باتری باشد؟

۴ــ۶ــ۱۰ــ در مدار شکل ۶ــ۱۰ در زمانی که باتری در مدار قرار دارد مسیر عبور جریان از مقاومت بار R_L را مشخص کنید.

فصل یازدهم

این فصل بعد از فصل نهم کتاب (از صفحه ۱۵۴ به بعد) تدریس شود.

مدولاسیون فرکانس (FM)[1]

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

- مزایای سیگنال FM را نسبت به AM شرح دهد.
- اساس کار مدولاتورهای FM را توضیح دهد.
- انحراف فرکانس (Δf) را شرح دهد.
- مقدار f_{min} و f_{max} را در مدولاسیون FM محاسبه کند.
- سرعت تغییرات سیگنال FM را شرح دهد.
- ضریب مدولاسیون سیگنال FM را محاسبه کند.
- پهنای باند و طیف فرکانسی FM را شرح دهد.
- بلوک دیاگرام فرستنده و گیرنده FM را شرح دهد.
- FM استریو را توضیح دهد.
- انواع آشکارسازهای FM را به اختصار توضیح دهد.

هدف کلی

هدف از آموزش این فصل، آشنا کردن هنرجویان با نحوهٔ تولید، ارسال و آشکارسازی سیگنال رادیویی با مدولاسیون FM است.

پیشگفتار

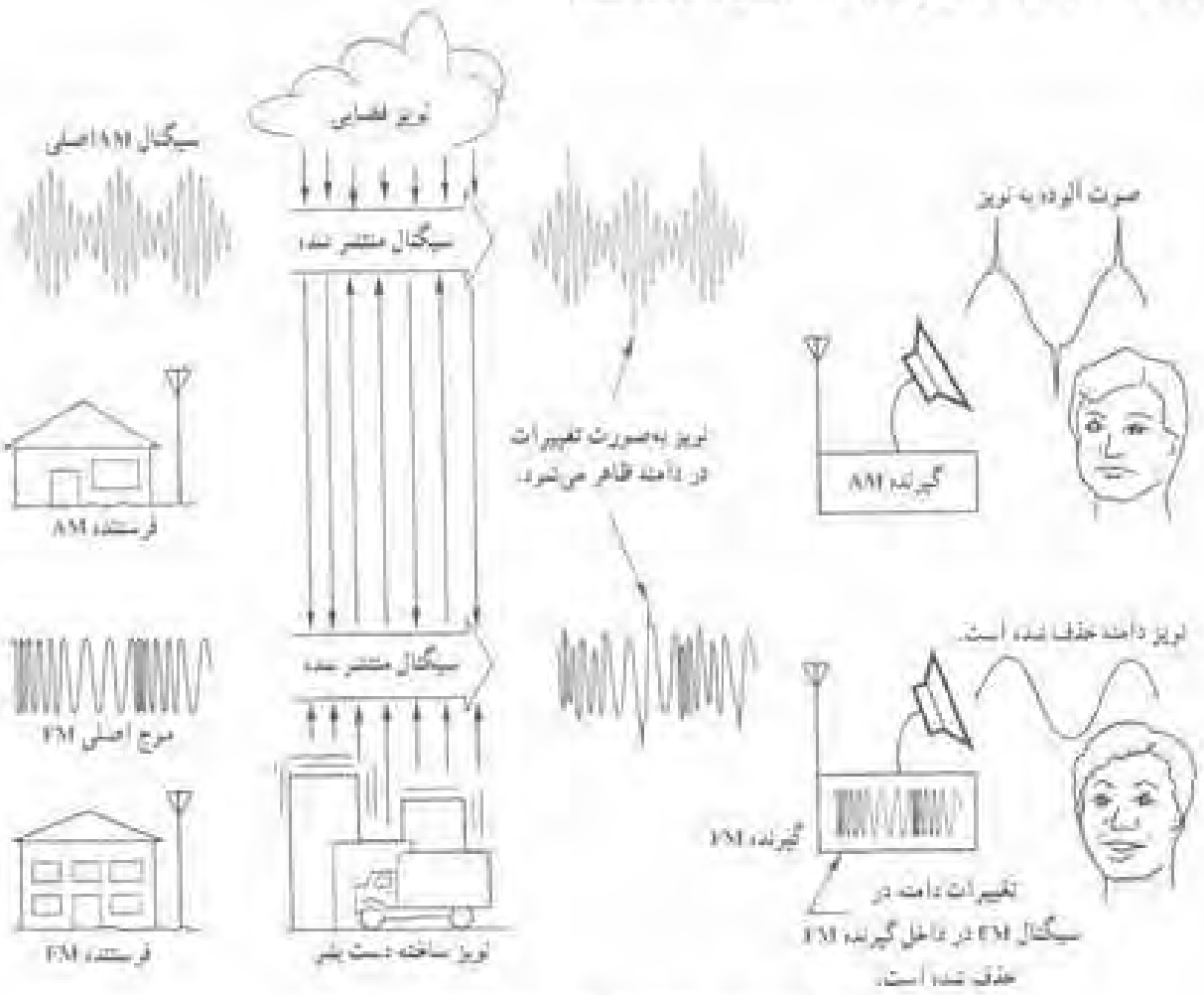
در این فصل مدولاسیون فرکانس و آشکارسازی آن را به اختصار مورد بررسی قرار می‌دهیم. مقایسه FM با AM از نظر نویز و تشابه آن‌ها با یکدیگر از دیگر مواردی است که در این فصل به آن می‌پردازیم. در پایان مختصری راجع به FM استریو توضیح داده می‌شود.

۱ـ۱۱ـ مزایای سیگنال FM نسبت به AM

در فصل چهارم شکل موج سیگنال FM را مورد بررسی قرار دادیم. همان‌طور که ملاحظه کردید در FM تغییر دامنه پیام باعث تغییر فرکانس حامل می‌شود، چون تغییرات فرکانسی کاربر نشان‌دهنده تغییرات پیام است، بنابراین نوزیذیری سیگنال FM نسبت به AM فوق‌العاده کمتر است. در شکل ۱ـ۱۱ بلوک

۱ـ Frequency Modulation

دیاگرام فرستنده و گیرنده رادیویی AM و FM نشان داده شده است.

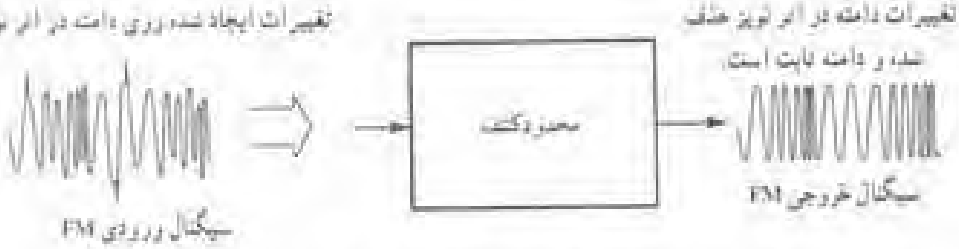


شکل ۲ـ۱۱ـ مقایسه سیگنال‌های FM و AM با یکدیگر

همان‌طور که ملاحظه می‌شود از نویز در خروجی گیرنده AM به‌صورت افزایش لحظه‌ای روی دامنه سیگنال صوتی به‌شکل 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 علت است که نویز روی تصویر تلویزیون اثر می‌گذارد، در صورتی که روی صوت تلویزیون اثری ندارد.

علت حذف نویز در گیرنده‌های FM وجود مدارهای محدودکننده دامنه است. در این مدارها به علت محدود کردن دامنهٔ سیگنال‌های FM اثر نویز حذف می‌شود.

در شکل ۲ـ۱۱ سیگنال‌های ورودی و خروجی یک محدودکننده نشان داده شده است.



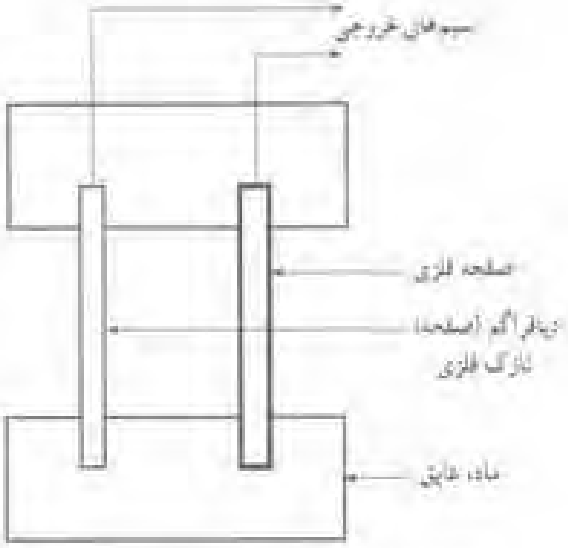
شکل ۲ـ۱۱ـ بلوک دیاگرام یک محدودکننده با سیگنال‌های ورودی و خروجی

۴ـ۱۱ـ اساس کار مدولاتورهای FM

شکل ۴ـ۱۱ یک اسیلاتور فرکانس بالا با مدار هماهنگ LC را نشان می‌دهد. در این اسیلاتور فرکانس خروجی از رابطه $f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ به‌دست می‌آید.

با تغییر هر یک از کمیت‌های L و C می‌توان فرکانس خروجی اسیلاتور را تغییر داد. اگر به‌جای خازن C از یک میکروفون خازنی طبق شکل ۴ـ۱۱ استفاده کنیم، اسیلاتور به مدولاتور FM تبدیل می‌شود.

شکل ۳ـ۱۱ـ اسیلاتور LC



شکل ۴ـ۱۱ـ ساختمان یک میکروفون خازنی

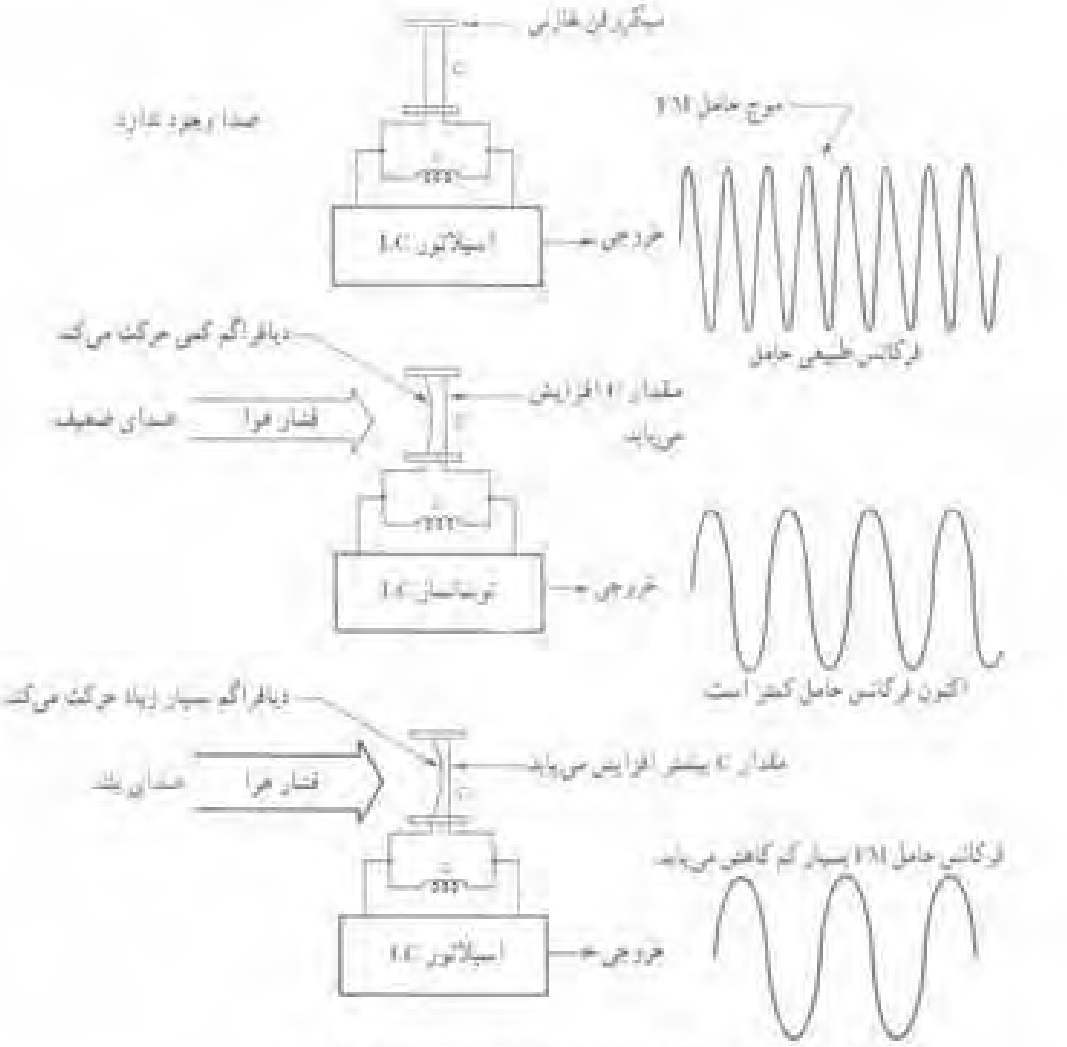
تغییر ظرفیت میکروفون خازنی براساس تغییر فاصله دو جوشن آن صورت می‌گیرد. در شکل ۵ـ۱۱ چگونگی تغییر فرکانس اسیلاتور را متناسب با تغییرات ظرفیت خازنی میکروفون خازنی ملاحظه می‌کنید.

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

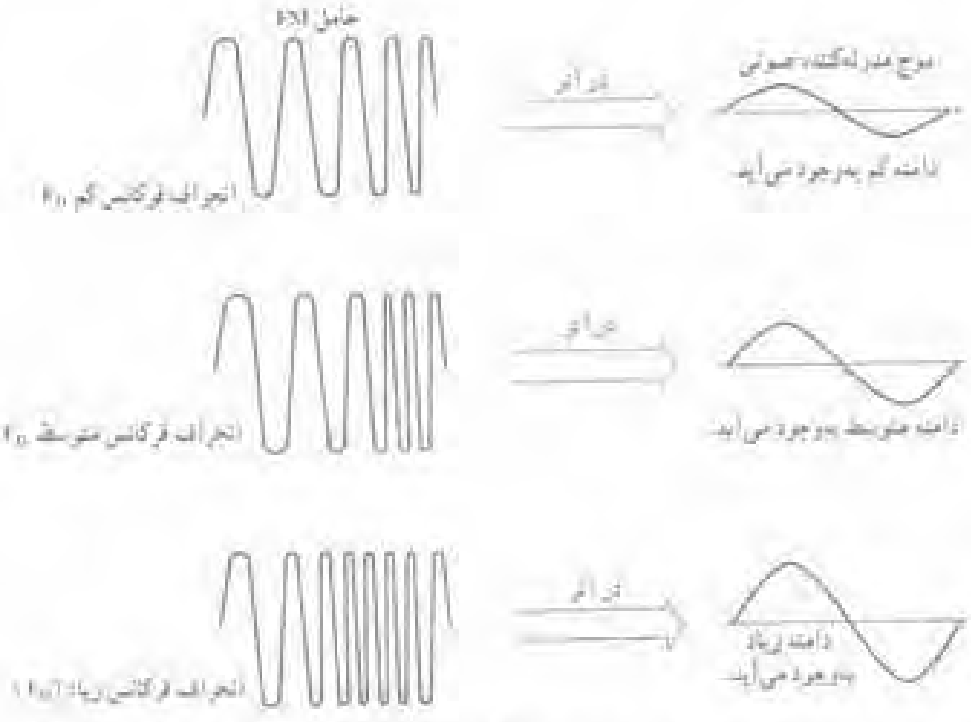
۳ـ۱۱ـ انحراف فرکانس F_D[1]

تغییر فرکانس حامل نسبت به مقدار طبیعی آن را در مدولاسیون فرکانس، انحراف فرکانس می‌نامند. انحراف فرکانس حامل به علت تغییرات دامنهٔ سیگنال مدوله‌کننده، یعنی پیام است. همان‌طورکه در شکل ۶ـ۱۱ 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 مدوله‌کننده است.

[1]ـ Frequency Deviation

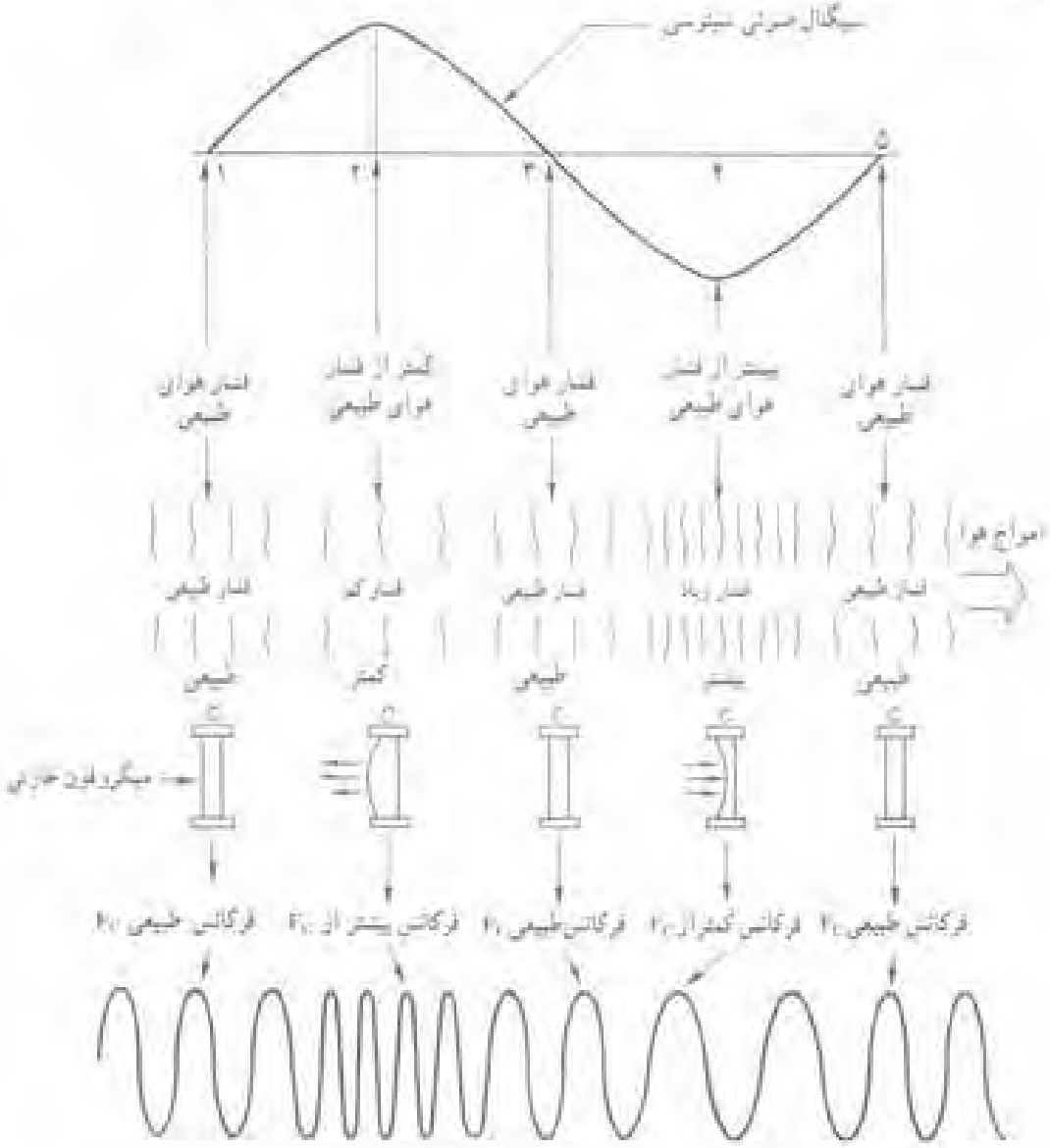


شکل ۵ـ۱۱ـ تغییر فرکانس حامل در اثر تغییر فرکانس میکروفون خازنی



شکل ۶ـ۱۱ـ ارتباط دامنه سیگنال مدوله‌کننده با انحراف فرکانس f_D

در شکل ۷ـ۱۱ 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 دامنه سیگنال مدوله‌کننده (پیام) برابر با صفر است، فرکانس مدولاتور مساوی با f_c می‌شود.



شکل ۷ـ۱۱ـ ارتباط فرکانس صوتی با تغییر سیگنال FM

در نقطهٔ ۲ که دامنه سیگنال مدوله‌کننده 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 فرکانس انحراف f_d است ($f_{cs}=2f_d$). مثلاً اگر انحراف فرکانس سینوسی 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.

$$f_{cs}=f_H-f_L=f_c+f_d-(f_c-f_d)=2f_d$$

مثال ۱ـ۱۱ـ فرکانس حامل یک سیگنال FM برابر با ۱۰ مگاهرتز است در صورتی که انحراف فرکانس آن مساوی ۲۰ کیلوهرتز باشد:

الف ـ حداکثر تغییرات فرکانس را محاسبه کنید.

ب ـ مقادیر فرکانس f_H و f_L را به‌دست آورید.

پاسخ:

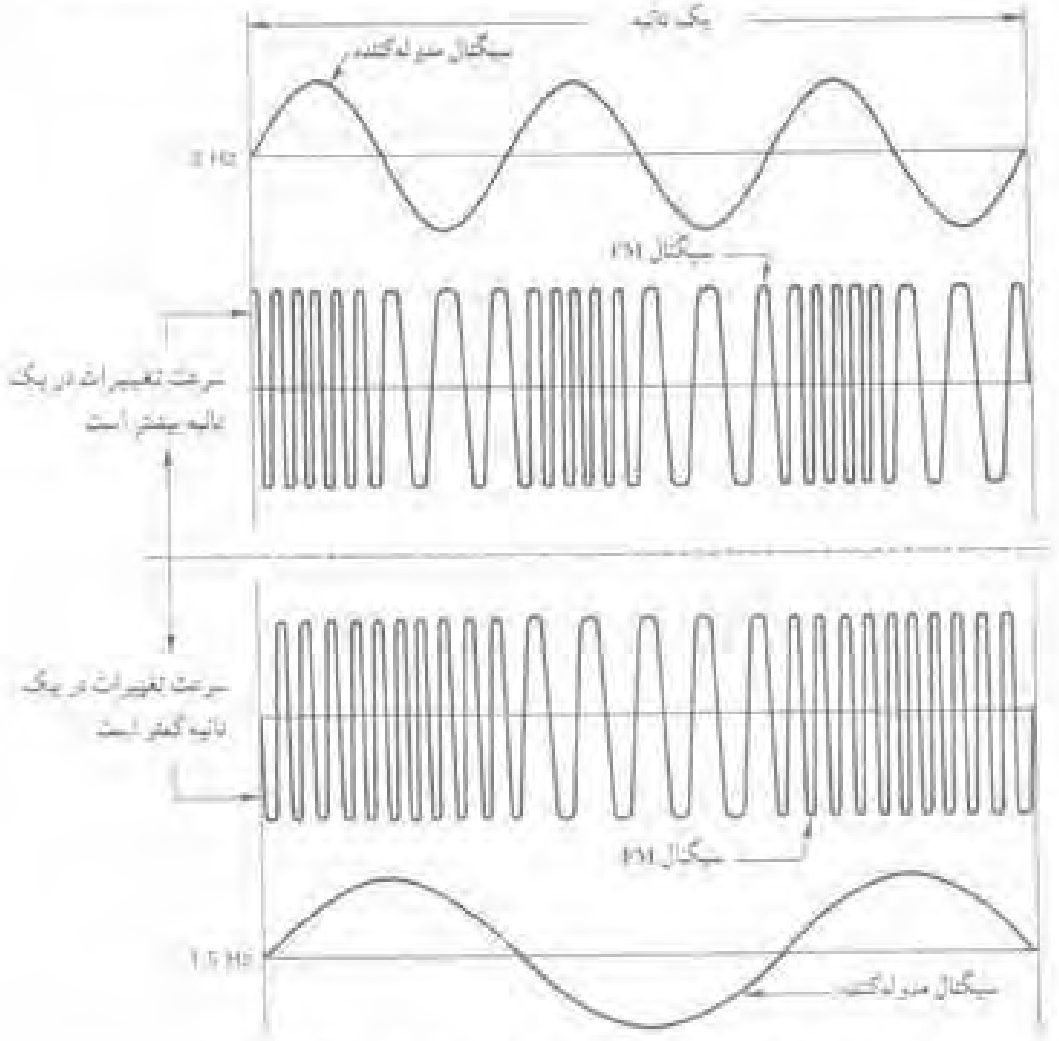
$$f_{CS} = 2f_D = 2 \times 20 = 40 \text{ کیلوهرتز}$$

$$f_H = f_C + f_D = 10 + 0/02 = 10/02 \text{ مگاهرتز}$$

$$f_L = f_C - f_D = 10 - 0/02 = 9/98 \text{ مگاهرتز}$$

۴ـ۱۱ـ سرعت تغییرات سیگنال FM[1]

سرعت تغییرات سیگنال FM بستگی به فرکانس سیگنال مدوله‌کننده دارد. هر قدر فرکانس سیگنال مدوله‌کننده بیشتر باشد، سرعت تغییرات سیگنال FM بیشتر می‌شود. در شکل ۸ـ۱۱ فرکانس سیگنال صوتی و سرعت تغییرات سیگنال FM برای دو حالت ۳ هرتز و ۱/۵ هرتز نشان داده شده است.



شکل ۸ـ۱۱ـ اثر سیگنال مدوله‌کننده بر سرعت تغییرات سیگنال FM

[1] Rate of Change

۵ـ۱۱ـ شاخص مدولاسیون سیگنال FM[1]

شاخص مدولاسیون یا ضریب مدولاسیون برای سیگنال FM از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

$$m_f = \frac{f_D}{f_M}$$

مثال ۲ـ۱۱ـ در یک سیگنال FM، حداکثر تغییرات فرکانس مساوی ۱۰ کیلوهرتز است. اگر فرکانس سیگنال مدوله‌کننده مساوی ۸ کیلوهرتز باشد، شاخص مدولاسیون چقدر است؟

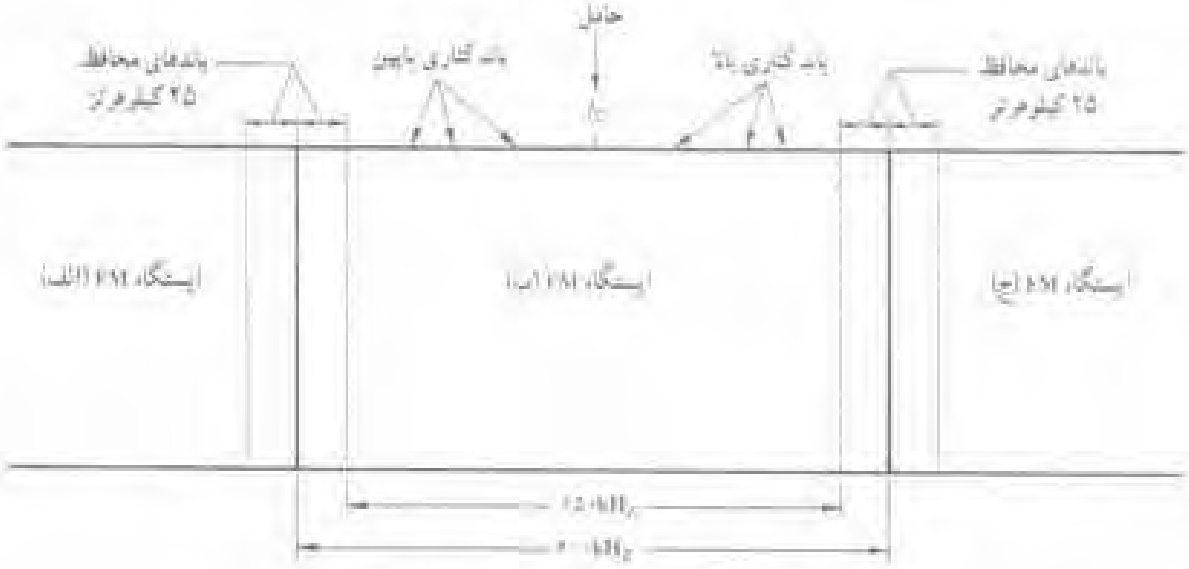
پاسخ:

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

$$m_f = \frac{f_D}{f_M} = \frac{5}{8} = 0/625$$

۶ـ۱۱ـ پهنای باند هر ایستگاه در FM

FM تجاری در محدوده فرکانسی ۸۸ـ۱۰۸ 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 ۹ـ۱۱ پهنای باند یک ایستگاه رادیویی FM و باند محافظ آن نشان داده شده است. همچنین در FM حداکثر فرکانس سیگنال مدوله‌کننده مساوی ۱۵ کیلوهرتز است که این مقدار در AM مساوی ۵ کیلوهرتز در نظر گرفته می‌شود. علت این امر زیاد بودن باندهای کناری FM نسبت به AM است.



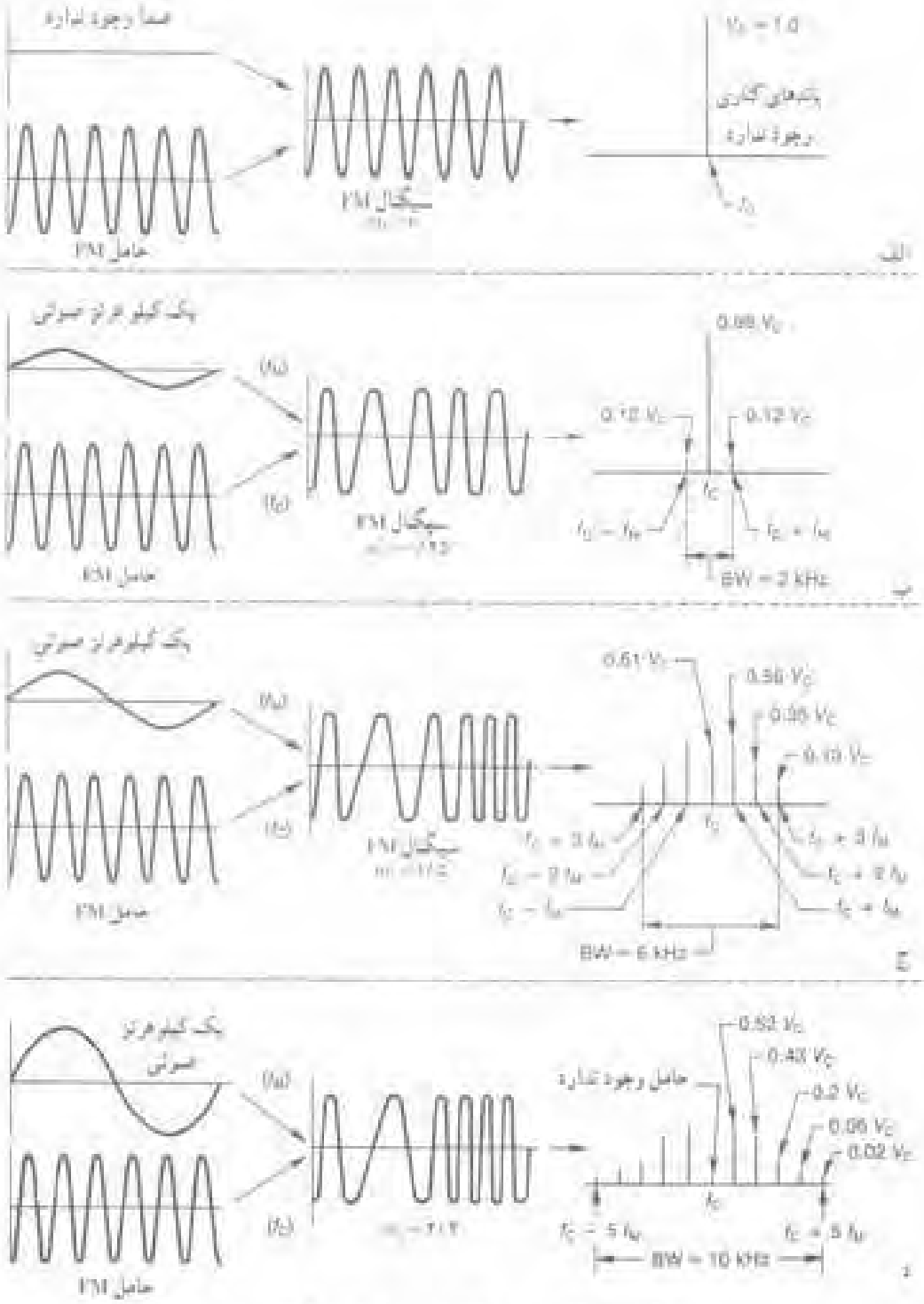
شکل ۹ـ۱۱ـ پهنای باند یک ایستگاه رادیویی FM و باند محافظ آن

۷ـ۱۱ـ طیف فرکانسی سیگنال FM

با اتصال سیگنال FM به ورودی یک دستگاه طیف‌نما، می‌توان طیف فرکانسی سیگنال FM را مشاهده کرد. در شکل ۱۰ـ۱۱ 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 ($f_D = 0$).

۱ـ Modulation index



شکل ۱۰ـ۱۱ـ باندهای کناری و پهنای باند سیگنال FM

با توجه به رابطه $m_f = \frac{\Delta f_C}{f_M}$ مقدار شاخص مدولاسیون صفر خواهد شد. در این حالت در طیف فرکانسی سیگنال FM فقط فرکانس کاریر وجود دارد و هیچ گونه باند کناری ظاهر نمی‌شود.

در حالت ب، دامنهٔ سیگنال مدوله‌کننده، کم و فرکانس آن مساوی ۱ کیلوهرتز است، در این شرایط ضریب مدولاسیون مساوی ۰/۲۵ و در طیف فرکانسی، دو باند کناری (بالا و پایین) ظاهر می‌شود. هر یک از باندهای کناری به‌فاصله یک کیلوهرتز از فرکانس کاریر واقع شده‌اند. در این حالت طیف فرکانسی FM مشابه طیف فرکانسی سیگنال AM و پهنای باند آن مساوی $2f_M$

و برابر با ۴ کیلوهرتز است.

در حالت ج، فرکانس سیگنال مدوله‌کننده همان ۱ کیلوهرتز در نظر گرفته شده ولی دامنه آن کمی افزایش یافته است. در این شرایط به علت افزایش دامنه و فرکانس f_m ضریب مدولاسیون مساوی با ۱/۵ است. با توجه به افزایش ضریب مدولاسیون، در طیف فرکانسی، نشی باند کناری به‌وجود می‌آید. در این حالت پهنای باند برابر است با $BW = ۴f_m$ که مساوی ۴ کیلوهرتز می‌شود. در این شرایط دامنه حامل نسبت به حالت قبل کمتر شده است.

در حالت د، فرکانس سیگنال مدوله‌کننده همان مقدار ثابت یک کیلوهرتز است ولی دامنهٔ آن نسبت به حالت ج افزایش یافته است. در این شرایط انحراف فرکانس زیاد شده و ضریب مدولاسیون مساوی با ۲/۴ می‌شود. همان‌طور که طیف فرکانسی سیگنال در این حالت نشان می‌دهد، دامنهٔ کاریر تقریباً به صفر نزدیک شده ولی تعداد باندهای کناری افزایش یافته است. همچنین پهنای باند سیگنال FM مساوی است با $BW = ۲(۱+m_f)f_m$ که برابر با ۱۰ کیلوهرتز می‌شود. پس به‌طور کلی پهنای باند FM بستگی به تعداد باندهای کناری آن دارد.

مثال ۳ــ۱۱ــ در یک سیگنال FM با فرکانس انحراف ۳۰ کیلوهرتز اگر فرکانس سیگنال مدوله‌کننده مساوی ۱۰ کیلوهرتز باشد، شاخص مدولاسیون چقدر است؟

پاسخ:

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

(برای مطالعه، آغاز)

۸ــ۱۱ــ نسبت انحراف R_D[1]

نسبت بین انحراف فرکانس ماکزیمم و ماکزیمم فرکانس پیام را نسبت انحراف می‌نامند و آن را با R_D نشان می‌دهند.

$$\text{نسبت انحراف} = \frac{\text{ماکزیمم فرکانس انحراف}}{\text{ماکزیمم فرکانس سیگنال مدوله‌کننده}}$$

$$R_D = \frac{f_D(\text{Max})}{f_m(\text{Max})}$$

برای FM تجارتی ماکزیمم انحراف فرکانس مساوی ۷۵ کیلوهرتز و ماکزیمم فرکانس سیگنال مدوله‌کننده مساوی ۱۵ کیلوهرتز است. بنابراین نسبت انحراف برای FM تجارتی برابر است با:

$$R_D = \frac{۷۵}{۱۵} = ۵$$

برای تلویزیون تجارتی ماکزیمم فرکانس انحراف مساوی ۲۵ کیلوهرتز و ماکزیمم فرکانس سیگنال مدوله‌کننده مساوی ۱۵ کیلوهرتز است. بنابراین مقدار نسبت انحراف برابر است با:

$$R_D = \frac{۲۵}{۱۵} = ۱/۶۷$$

[1] Deviation Ratio

۹ــ۱۱ــ درصد مدولاسیون (Percent Modulation)

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

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

مثال ۴ــ۱۱ــ در یک فرستنده FM تجاری اگر انحراف فرکانس مساوی ۲۰ کیلوهرتز باشد، درصد مدولاسیون چقدر است؟

پاسخ:

$$M_{FM} = \frac{20}{75} \times 100 = 26/67\%$$

برای یک فرستنده FM تجاری ماکزیمم انحراف فرکانس مساوی ۷۵ کیلوهرتز است.

(برای مطالعه، پایان)

۱۰ــ۱۱ــ FM باند باریک (Narrow band FM)

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

$$BW_{FM(Narrow)} = 2f_M$$

تذکر: ثابت شده است که در FM باند باریک ضریب مدولاسیون کمتر از $\frac{\pi}{2}$ است.

مثال ۵ــ۱۱ــ برای یک سیگنال FM باند باریک، اگر فرکانس سیگنال مدولاکننده مساوی ۶ کیلوهرتز باشد مقدار پهنای باند را محاسبه کنید.

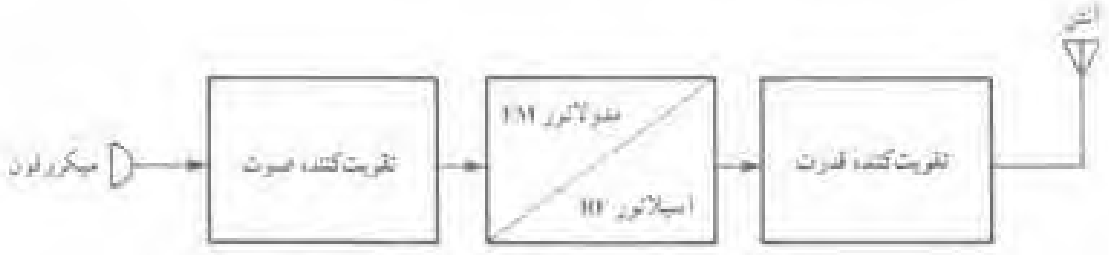
پاسخ:

$$BW_{FM}(narrow) = 2f_M = 2 \times 6 = 12kHz$$

۱۱ــ۱۱ــ فرستنده FM (FM Transmitter)

فرستنده FM شباهت زیادی با فرستنده AM دارد. اختلاف اساسی بین فرستنده FM و AM در نوع مدولاسیون آن است.

در شکل ۱۱ــ۱۱ بلوک دیاگرام یک فرستنده رادیویی FM نشان داده شده است.



شکل ۱۱ــ۱۱ــ بلوک دیاگرام فرستنده رادیویی FM

در این بلوک دیاگرام، میکروفون ارتعاشات مکانیکی را به 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 تقویت‌کننده توان نیز قدرت لازم را برای فرستنده تأمین می‌کند.

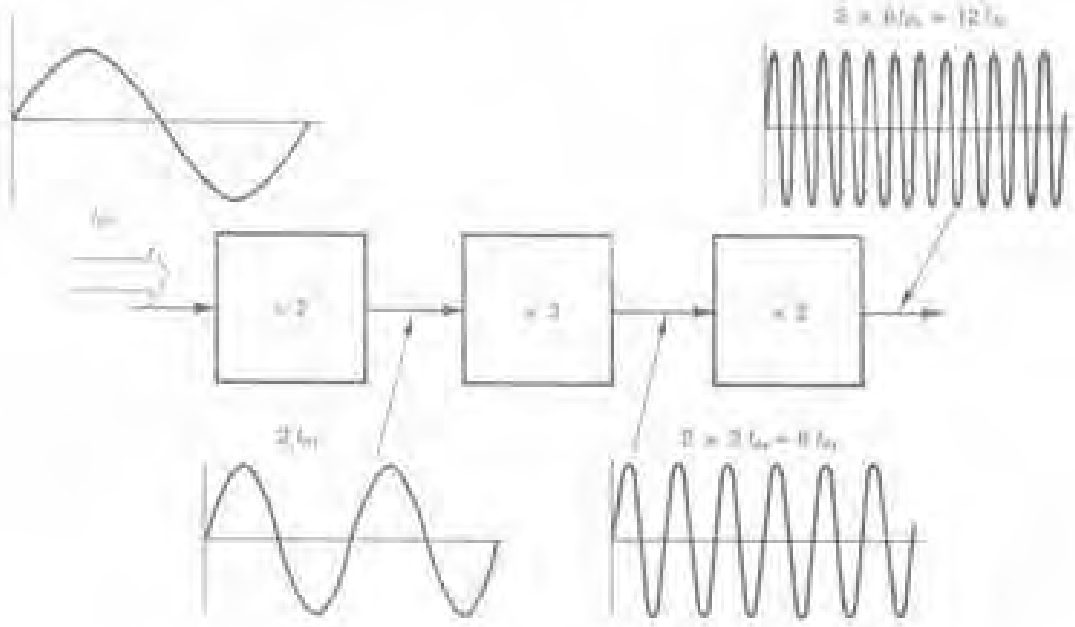
۱۲ـ۱۱ـ چند برابر کننده فرکانس (Frequency Multiplier)

می‌دانید باند رادیویی FM در محدودهٔ فرکانس ۸۸ـ۱۰۸ مگاهرتز قرار دارد. به علت بالا بودن فرکانس امکان ایجاد تغییر ناخواسته در فرکانس اسیلاتور و تغییر ایستگاه در این محدوده فرکانسی وجود دارد. برای رفع این مشکل، در فرستندهٔ FM از اسیلاتورهای فرکانس پایین استفاده می‌کنند و با استفاده از مدارهای چند برابر کننده فرکانس، فرکانس اسیلاتور را به محدودهٔ FM می‌رسانند.

در شکل ۱۲ـ۱۱ سیگنال‌های ورودی و خروجی مدارهای دو برابر کننده و سه برابر کننده فرکانس نشان داده شده است. در عمل ممکن است برای افزایش فرکانس اسیلاتور از مدارهای چند برابر کننده چندطبقه استفاده شود.

شکل ۱۲ـ۱۱ـ دو برابر کننده و سه برابر کننده فرکانس

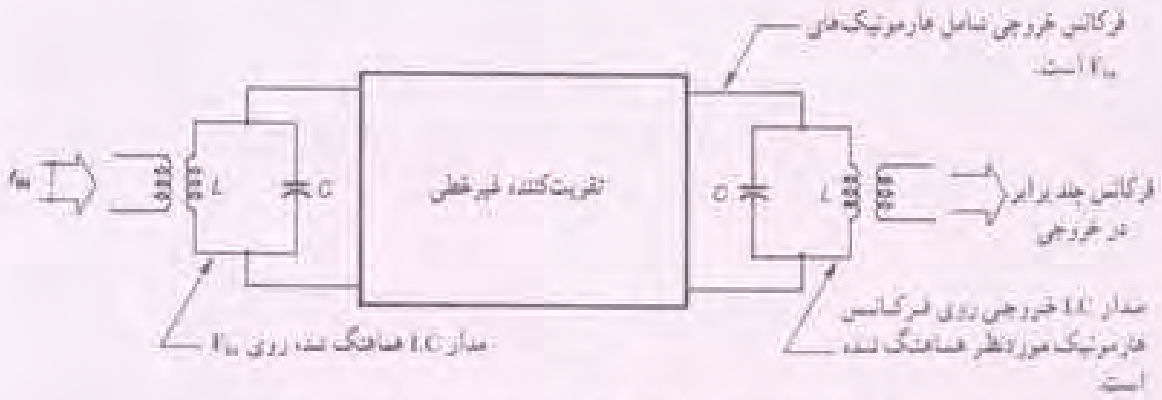
در شکل ۱۲ـ۱۱ به منظور افزایش فرکانس به میزان دوازده برابر، سه بلوک چند برابر کننده فرکانس به کار رفته است.



شکل ۱۲ـ۱۱ـ چند برابر کننده به طبقه

۱۳ـ۱۱ـ تقویت‌کننده غیرخطی

در مدارات چند برابرکننده فرکانس ممکن است یکی از هارمونیک‌های فرکانس اسیلاتور انتخاب شود. در این صورت دامنهٔ سیگنال خروجی کاهش می‌یابد. در شکل ۱۴ـ۱۱ از یک تقویت‌کننده غیرخطی برای انتخاب یکی از هارمونیک‌های اسیلاتور RF استفاده شده است.



شکل ۱۴ـ۱۱ـ چند برابرکننده فرکانس با استفاده از تقویت‌کننده غیرخطی

۱۴ـ۱۱ـ یک نمونه فرستنده FM

در شکل ۱۵ـ۱۱ یک نمونه فرستنده FM که در آن چند طبقه چند برابرکننده فرکانس به‌کار رفته است را مشاهده می‌کنید. در این حالت فرکانس اسیلاتور از ۸ مگاهرتز به ۹۶ مگاهرتز افزایش یافته است.

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

شکل ۱۵ـ۱۱ـ فرستنده FM با چند برابرکننده‌های فرکانس اسیلاتور

۱۵ـ۱۱ـ رابطه انحراف فرکانس و ضریب افزایش چند برابرکننده‌های فرکانس

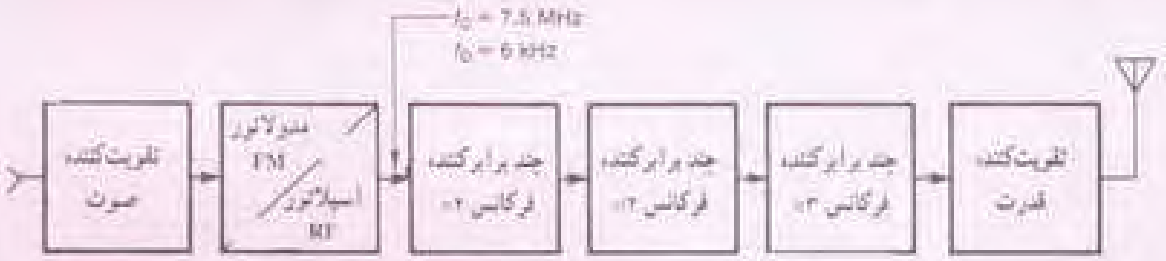
اگر ضریب افزایش چند برابرکننده‌های فرکانس را با N_T و فرکانس انحراف سیگنال FM را با f_D نشان دهیم مقدار انحراف فرکانس در طبقه خروجی فرستنده FM از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

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

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

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

مثال ۶ــ۱۱ــ در شکل ۱۶ــ۱۱ مقادیر فرکانس کاریر خروجی و انحراف فرکانس خروجی را به دست آورید.



شکل ۱۶ــ۱۱ــ فرستنده FM با استفاده از چند برابرکننده فرکانس

حل:

$$f_{C(out)} = ۲ \times ۲ \times ۳ \times ۷/۵ = ۹۰ MHz$$

$$f_{D(out)} = ۲ \times ۲ \times ۳ \times ۶ = ۷۲ kHz$$

۱۶ــ۱۱ــ اثر نویز در FM

در مدولاسیون FM نویز به‌طور خطی با فرکانس افزایش می‌یابد و باعث اعوجاج[1] در سیگنال FM می‌شود. برای جلوگیری از نویز از مدار پیش تأکید[2] فرکانس بالا استفاده می‌شود تا ضریب مدولاسیون در فرکانس بالا افزایش یافته و باعث کاهش نویز شود.

در شکل ۱۷ــ۱۱ قسمتی از بلوک دیاگرام فرستنده FM با استفاده از مدار پیش‌تأکید نشان داده شده است.

شکل ۱۷ــ۱۱ــ قسمتی از فرستنده FM با پیش‌تأکید فرکانس بالا

(برای مطالعه، پایان)

۱ــ Distortion ۲ــ Preemphasis

۱۷ـ۱۱ـ خودآزمایی

۱ـ۱۷ـ۱۱ـ مزایای FM نسبت به AM کدام‌اند؟

۲ـ۱۷ـ۱۱ـ چگونگی تولید سیگنال FM با استفاده از میکروفون خازنی را شرح دهید.

۳ـ۱۷ـ۱۱ـ فرق بین ساختص مدولاسیون FM و AM در چیست؟

۴ـ۱۷ـ۱۱ـ در محدودهٔ FM تجاری چند ایستگاه رادیویی وجود دارد؟

۵ـ۱۷ـ۱۱ـ در FM باند باریک پهنای باند از چه رابطه‌ای محاسبه می‌شود؟

۶ـ۱۷ـ۱۱ـ به چه دلیل در فرستنده FM از مدارات ضرب کننده فرکانس استفاده می‌شود؟

مطالعهٔ آزاد

۷ـ۱۷ـ۱۱ـ به چه دلیل در فرستنده FM از تأکیدکننده فرکانس بالا استفاده می‌شود؟

۱۸ـ۱۱ـ گیرندهٔ FM[1]

گیرندهٔ FM شباهت زیادی به گیرنده AM دارد. اختلاف اساسی بین گیرنده‌های FM و AM، در فرکانس‌های حامل و مدارهای آشکارساز آنهاست. در شکل ۱۸ـ۱۱ بلوک دیاگرام یک گیرنده رادیویی FM نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۱۸ـ۱۱ تفاوت گیرنده‌های FM و AM در فرکانس IF، محدودکننده دامنه، تضعیف‌کننده فرکانس بالا، مدار کنترل‌کننده فرکانس به‌طور اتوماتیک[2] و پهنای باند آن‌ها است. نقش هر یک از بلوک‌ها در گیرنده رادیویی FM به شرح زیر است:

۱ـ۱۸ـ۱۱ـ تقویت‌کننده RF: کار این طبقه، انتخاب و تقویت فرکانس ایستگاه موردنظر و جلوگیری از ورود فرکانس‌های ناخواسته است.

۲ـ۱۸ـ۱۱ـ اسیلاتور محلی: کار اسیلاتور محلی تولید یک سیگنال سینوسی است که فرکانس آن به‌اندازه ۱۰/۷ مگاهرتز از سیگنال حامل ورودی بیشتر است.

۳ـ۱۸ـ۱۱ـ مخلوط‌کننده: مخلوط‌کننده فرکانس اسیلاتور محلی را با فرکانس حامل دریافتی مخلوط کرده و مجموع و تفاضل آنها را در خروجی ظاهر می‌کند.

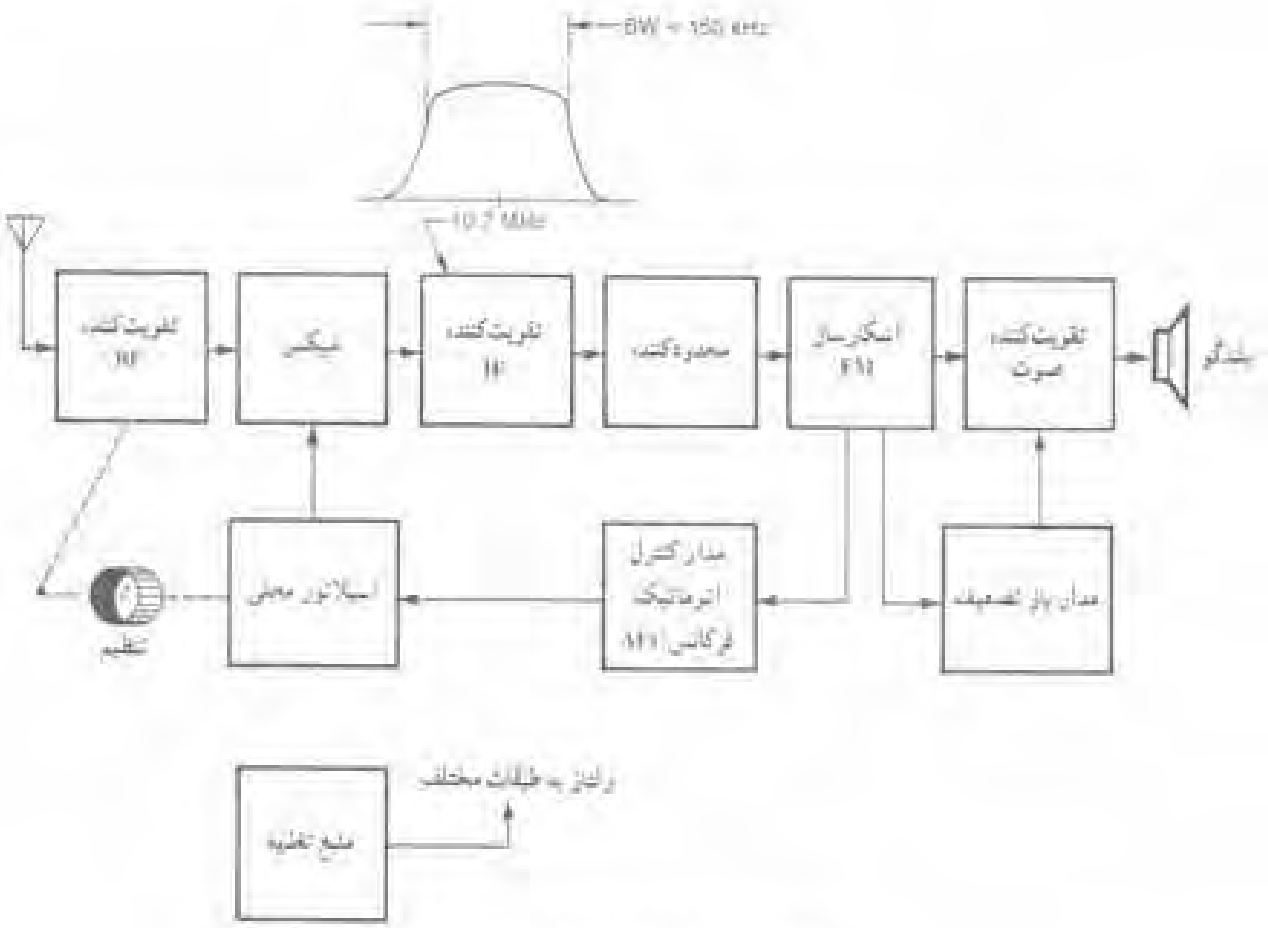
۴ـ۱۸ـ۱۱ـ تقویت‌کننده‌های IF: تقویت‌کننده‌های IF برای تقویت فرکانس میانی ۱۰/۷ مگاهرتز به کار می‌روند.

۵ـ۱۸ـ۱۱ـ محدودکننده دامنه: مدار محدودکننده دامنه، یک سیگنال FM را حذف می‌کند. بدون ترتیب سیگنال نویز حذف می‌شود.

۶ـ۱۸ـ۱۱ـ آشکارساز FM: برای پیاده کردن سیگنال صوتی از سیگنال حامل است. این مدار تغییرات فرکانس را به تغییرات دامنه تبدیل می‌کند.

۷ـ۱۸ـ۱۱ـ تضعیف‌کننده فرکانس بالا: این مدار برای جبران اثر مدار تأکیدکننده فرکانس بالا به‌کار می‌رود و فرکانس بالای صوتی را کمی تضعیف می‌کند.

1- FM Receiver 2- Automatic frequency control



شکل ۱۸ـ۱۱ـ بلوک دیاگرام گیرنده رادیویی FM

۸ـ۱۸ـ۱۱ـ کنترل فرکانس به‌طور اتوماتیک (AFC): مدار AFC برای کنترل فرکانس اسیلاتور محلی به‌کار می‌رود.

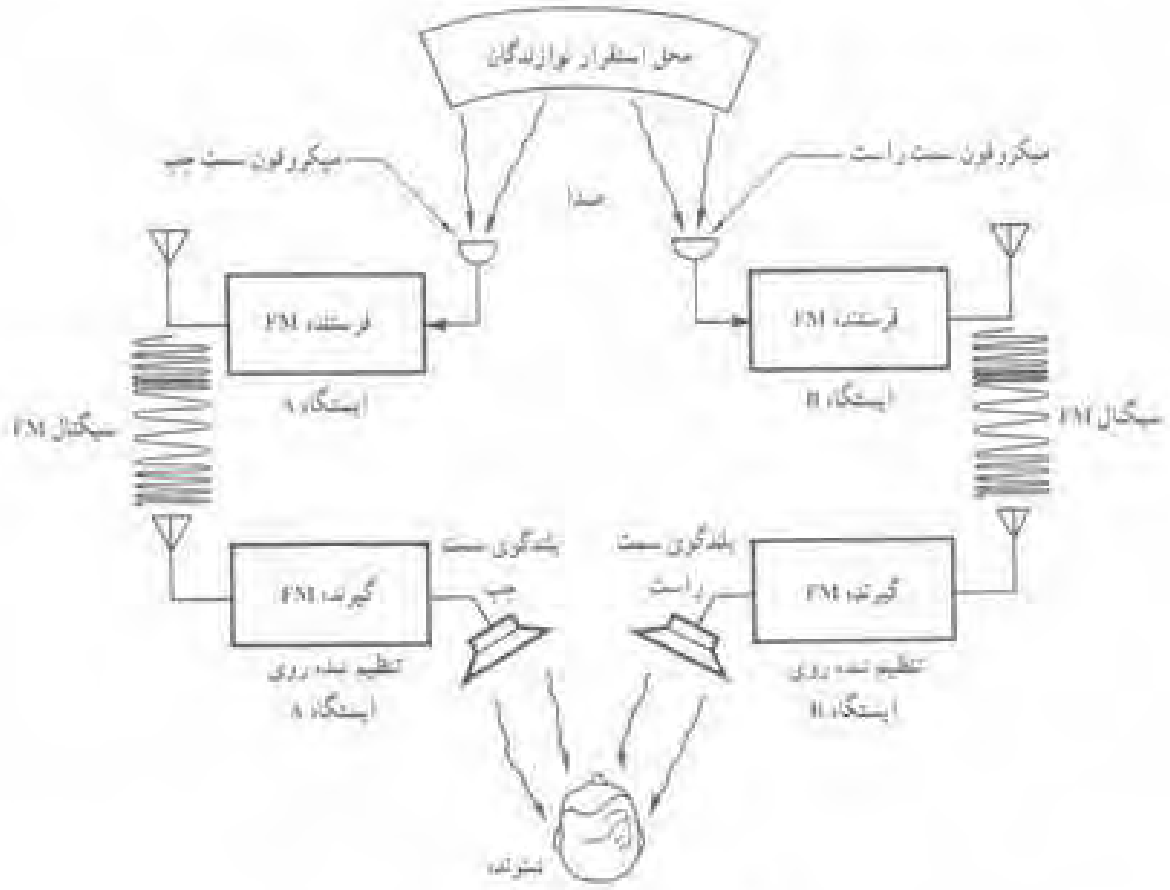
۹ـ۱۸ـ۱۱ـ تقویت‌کننده‌های صوتی: این تقویت‌کننده‌ها دامنه ولتاژ و جریان سیگنال صوتی را تقویت می‌کنند.

۱۰ـ۱۸ـ۱۱ـ بلندگو: سیگنال صوتی را به ارتعاشات مکانیکی تبدیل می‌کند.

۱۱ـ۱۸ـ۱۱ـ منبع تغذیه: ولتاژ AC را به DC تبدیل و ثبات قسمت‌های مختلف گیرنده را تغذیه می‌کند.

۱۹ـ۱۱ـ FM استریو

در فرستنده FM استریو، به کمک دو میکروفون راست و چپ دو سیگنال صوتی راست و چپ تهیه می‌شود. بعد از انجام مدولاسیون FM و تقویت شدن آنتن را تغذیه می‌کند. در گیرنده نیز بعد از آشکارسازی دو سیگنال صوتی تولید می‌شود که پس از تقویت شدن دو بلندگوی راست و چپ را راه‌اندازی می‌کنند. در شکل ۱۹ـ۱۱ بلوک دیاگرام FM استریو ترسیم شده است.



شکل ۱۹ـ۱۱ـ بلوک دیاگرام FM استریو

۲۰ـ۱۱ـ آشکارسازهای FM

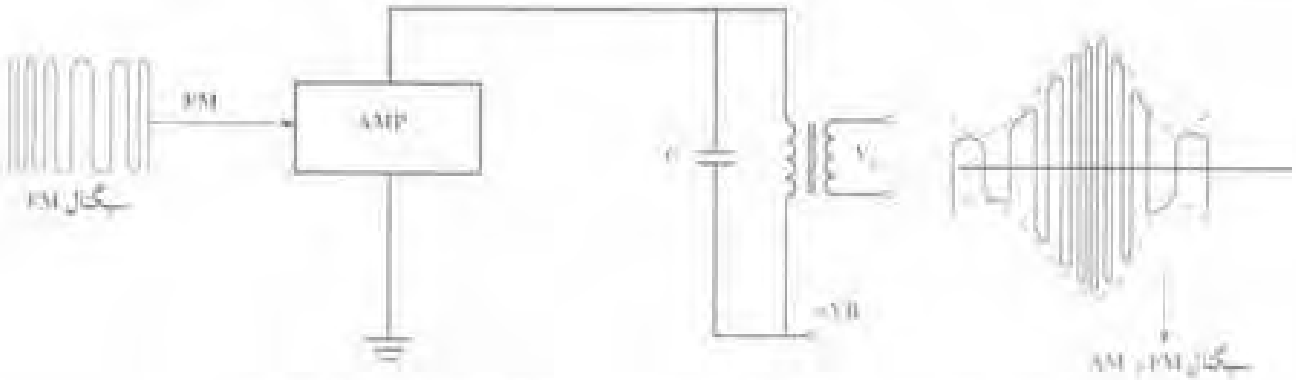
در آشکارسازهای FM برای پیاده کردن پیام از روی کاریر ابتدا توسط مدارهای هماهنگی، تغییر دامنه در سیگنال FM داده می‌شود سپس با استفاده از آشکارساز دامنه، پیام از روی کاریر پیاده می‌شود. در شکل ۲۰ـ۱۱ سیگنال‌های ورودی و خروجی آشکارساز FM نشان داده شده است.

سیگنال ورودی با مدولاسیون FM یا PM است ولی سیگنال خروجی پیام می‌باشد. ساده‌ترین نوع آشکارساز FM، آشکارساز شیب[1] است. این آشکارساز به علت سادگی فقط جهت تفهیم بهتر آشکارسازی FM مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد ولی به دلیل غیرخطی بودن مشخصه آن عملاً استفاده نمی‌شود.

شکل ۲۰ـ۱۱ـ آشکارساز FM یا PM

1- Slope Detector

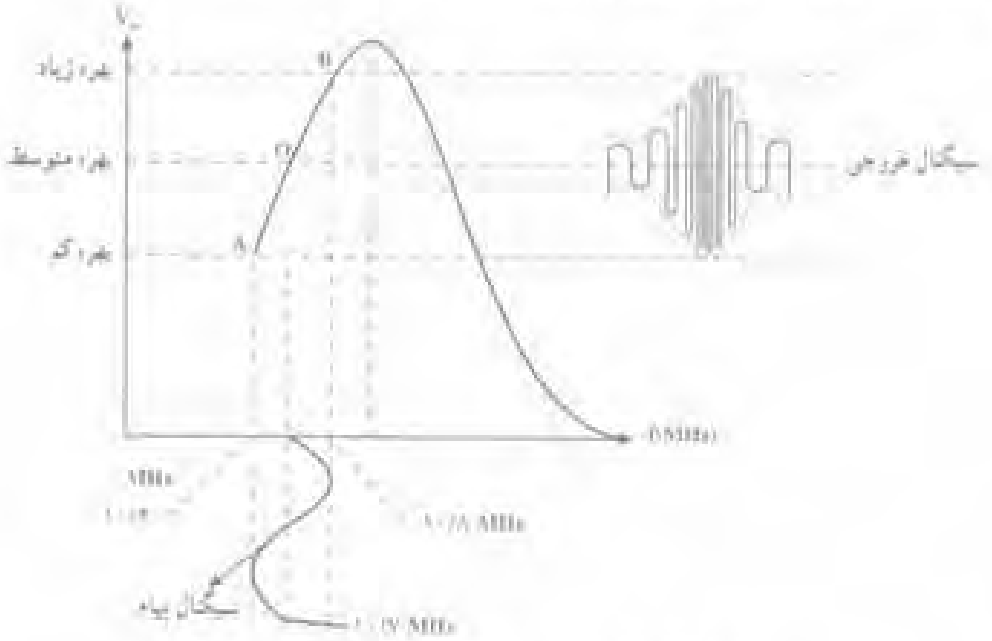
۱ـ۲ـ۱۱ـ آشکارساز شیب: طبق شکل ۲۱ـ۱۱ ابتدا سیگنال FM به یک تقویت کننده با مدار هماهنگ تنظیم شده (Tuned Amplifier) اعمال می‌شود. در ورودی تقویت کننده دامنه سیگنال مدوله شده ثابت است. ولی در خروجی مدار هماهنگ علاوه بر تغییرات فرکانس، تغییرات دامنه نیز پدید می‌آید.



شکل ۲۱ـ۱۱ـ مدار آشکارساز شیب تنظیم شده روی فرکانس بیشتر از ۱۰/۷ مگاهرتز

در شکل ۲۲ـ۱۱ منحنی پاسخ فرکانسی مدار هماهنگی تنظیم شده، همراه با سیگنال های ورودی و خروجی از 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.

حال به بررسی دقیق منحنی های شکل ۲۲ـ۱۱ می‌پردازیم. می‌دانیم در مدارهای تشدید موازی و در فرکانس رزونانس امپدانس ماکزیمم بوده و بهره 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 ۲۱ـ۱۱ روی فرکانس رزونانسی بالاتر از فرکانس IF سیگنال مدوله شده، تنظیم شده است. بدین سبب در فرکانس IF = ۱۰/۷MHz مقدار متوسط بهره را خواهیم داشت.



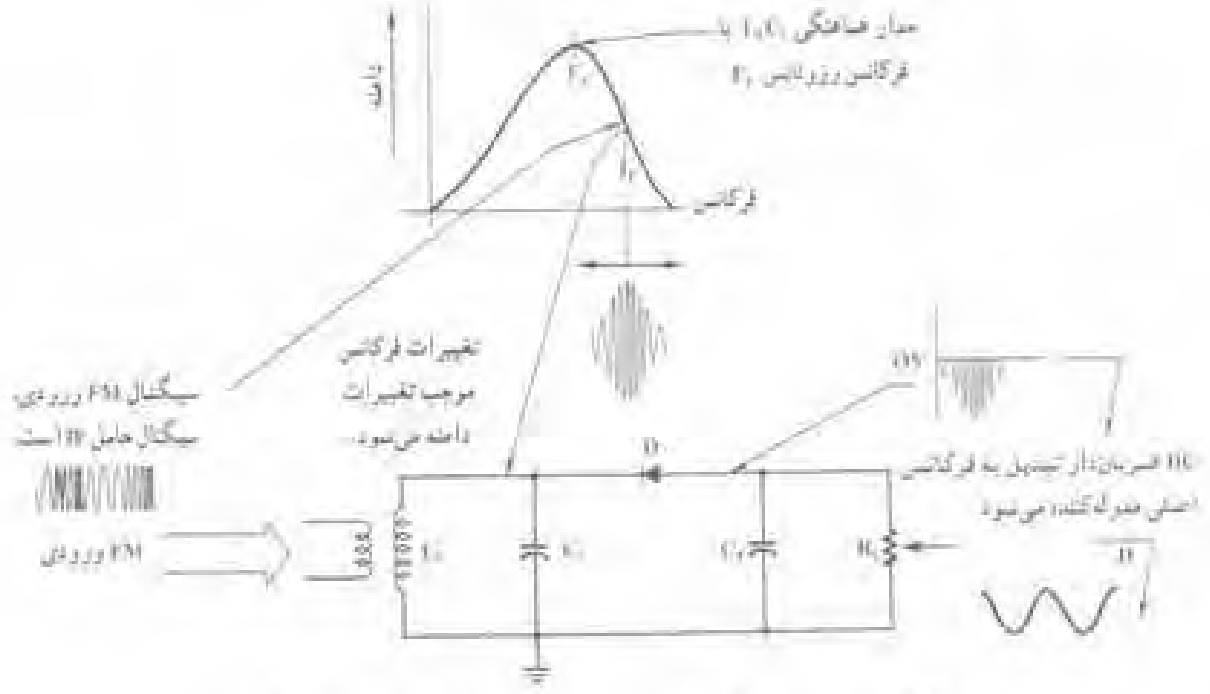
شکل ۲۲ـ۱۱ـ منحنی پاسخ فرکانسی مدار هماهنگی تنظیم شده

پهنای باند سیگنال FM باید محافظه‌کارانه 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 ۱۰/۶ MHz = ۱۰/۷ − ۰/۱ مقدار بهره کاهش می‌یابد. با توجه به تغییرات سیگنال پیام شکل ۲۲ـ۱۱ که یک موج سینوسی درنظر گرفته شده است در فرکانس IF = ۱۰/۷ مگاهرتز دامنه پیام مساوی صفر و در فرکانس ۱۰/۸ مگاهرتز دامنه پیام ماکزیمم و در فرکانس ۱۰/۶ مگاهرتز دامنه پیام می‌نیمم است. با توجه به منحنی V_0 طبق شکل ۲۲ـ۱۱ ملاحظه می‌شود که با افزایش فرکانس (نسبت به فرکانس IF) دامنه زیاد می‌شود و با کاهش آن دامنه کاهش می‌یابد. با اعمال سیگنال V_0 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 بودن این قسمت از منحنی در سیگنال خروجی اعوجاج ظاهر می‌شود.

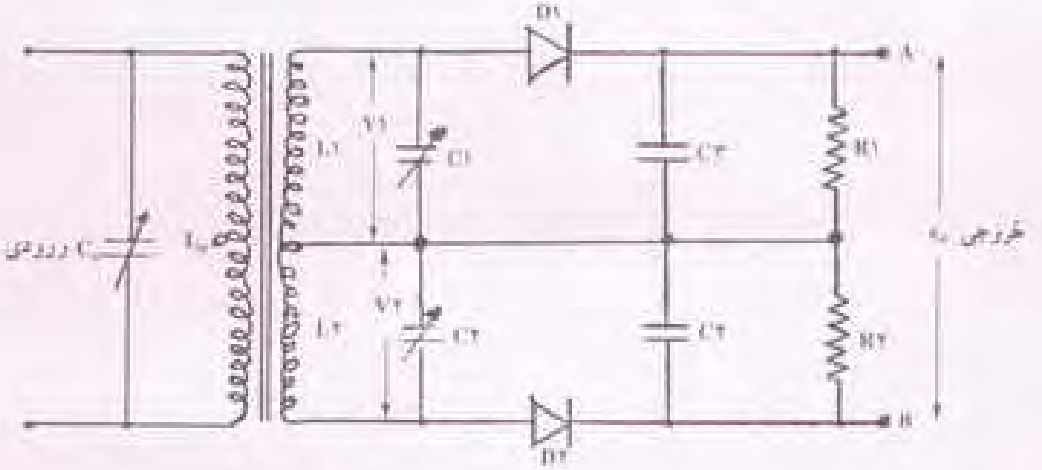
کلیه موارد فوق را می‌توان روی شیب منفی منحنی پاسخ فرکانسی نیز انجام داد. در شکل ۲۳ـ۱۱ یک نمونه مدار آشکارساز شیب نشان داده شده که در آن فرکانس رزونانس مدار هماهنگی کمتر از فرکانس ۱۰/۷ مگاهرتز است. فرکانس رزونانس مدار هماهنگی از رابطه $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$ به‌دست می‌آید.

عناصر مدار D_1، C_2 و R_1 مدار یک آشکارساز AM است که سیگنال ورودی آن، سیگنال FM با دامنه متغیر است. با تغییر مقاومت R_1 می‌توان دامنه سیگنال خروجی را تغییر داد. خازن C_3 فرکانس IF را به‌عنوان پای پاس می‌کند. در این مدار از شیب تروئی منحنی پاسخ فرکانسی برای تهیه سیگنال مرکب (FM ،AM) استفاده شده است.



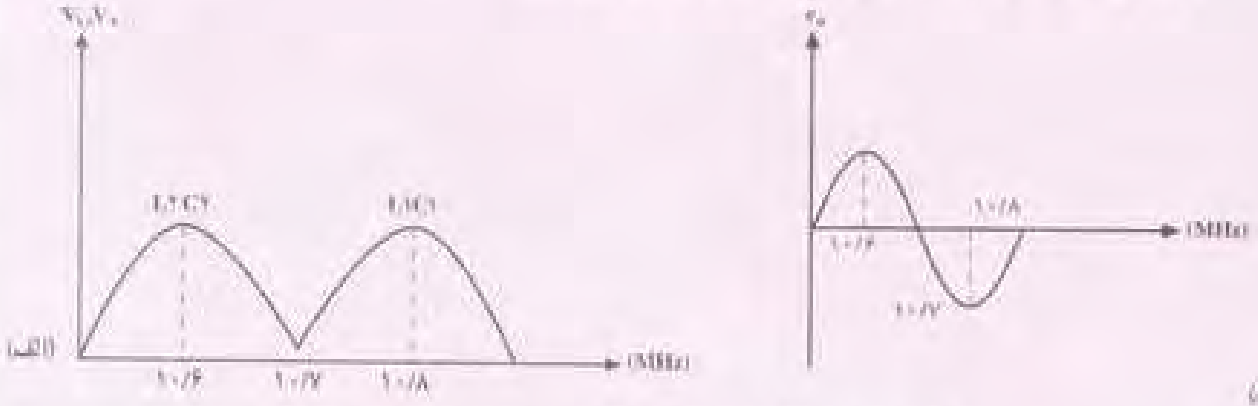
شکل ۲۳ـ۱۱ـ مدار آشکارساز شیب تنظیم شده روی فرکانس کمتر از ۱۰/۷ مگاهرتز

۲ـ۲۰ـ۱۱ـ آشکارساز تنظیم مجاور (تراویس) Travis: در این آشکارساز طبق شکل ۲۴ـ۱۱ از سه مدار هماهنگی استفاده شده که فرکانس رزونانس آن‌ها نزدیک به هم است به همین جهت به آن آشکارساز تنظیم مجاور می‌گویند.



شکل ۲۴ـ۱۱ـ مدار آشکارساز تنظیم مجاور

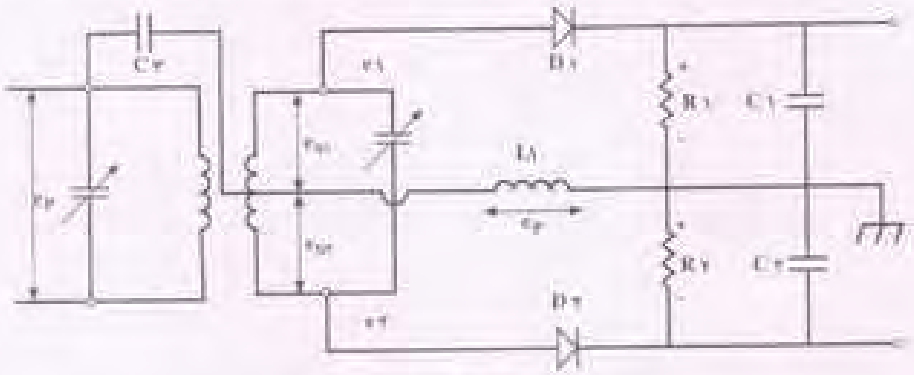
سیگنال IF بعد از تقویت به ورودی ترانس اعمال می‌شود که در آن L_0 و C_0 مدار رزونانس موازی تشکیل می‌دهند. فرکانس رزونانس این مدار ۱۰/۷MHz است. ثانویه ترانس به دو قسمت مساوی تقسیم شده و هر قسمت توسط خازن‌های C1 و C2 مدارات هماهنگی مستقلی ایجاد می‌کنند. فرکانس رزونانس هر یک از مدارات هماهنگی به‌اندازه انحراف ماکزیمم از فرکانس مرکزی (۱۰/۷MHz) بیشتر و یا کمتر است. مثلاً اگر انحراف ماکزیمم را ۱۰۰kHz (۰/۱MHz) انتخاب کنیم فرکانس رزونانس مدار LC1 مساوی ۱۰/۸ مگاهرتز و فرکانس رزونانس مدار هماهنگی L2C2 مساوی ۱۰/۶ مگاهرتز است. منحنی‌های پاسخ فرکانس و همچنین منحنی تغییرات سیگنال خروجی آشکارساز (e_0) در شکل ۲۵ـ۱۱ الف و ب رسم شده است.



شکل ۲۵ـ۱۱ـ سیگنال‌های خروجی آشکارساز تنظیم مجاور نسبت به تغییر فرکانس

اشکال اساسی این آشکارساز داشتن مدارات هماهنگی زیاد و خطی نبودن منحنی پاسخ فرکانسی آن است. به همین علت امروزه از این آشکارساز استفاده نمی‌شود و صرفاً به علت ساده بودن جهت تفهیم مدار آن‌را مورد بررسی قرار داده‌ایم.

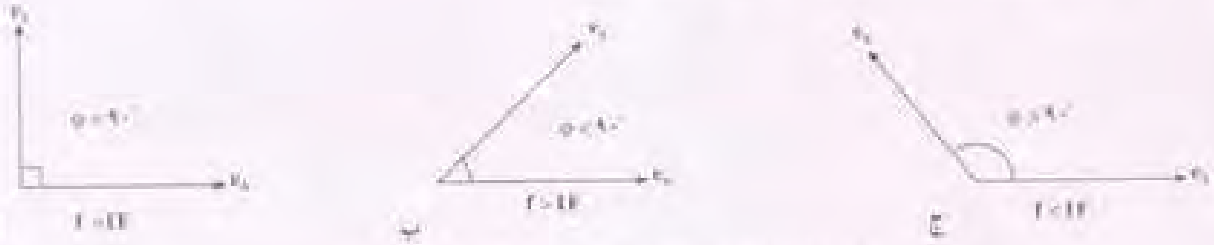
۳ـ۲۰ـ۱۱ـ آشکارساز فاستر سیلی[1]: این آشکارساز که به آن آشکارساز نوع انتقال[2] فاز هم گفته می‌شود، در حقیقت نوع تکامل یافته آشکارساز تراویس است ولی با مدارات هماهنگی کمتر که همگی بر روی یک فرکانس (IF) تنظیم شده‌اند، لذا تنظیم این مدارات نیز ساده‌تر است. در شکل ۲۶ـ۱۱ مدار آشکارساز فاز آمده است.



شکل ۲۶ـ۱۱ـ آشکارساز فاستر سیلی

طبق شکل در مدار ثانویه علاوه بر ولتاژ القایی از طریق ترانس، ولتاژ ورودی نیز از طریق خازن کوپلاژ C۳ اعمال می‌شود. بوبین L۱ یک چک RFC (چوک فرکانس رادیویی) است که راکتانس آن در مقایسه با راکتانس خازن‌های C۱ و C۲ و C۳ خیلی بیشتر است، لذا ولتاژ دو سر L۱ تقریباً با ولتاژ اولیه ترانس (e_p) برابر درنظر گرفته می‌شود.

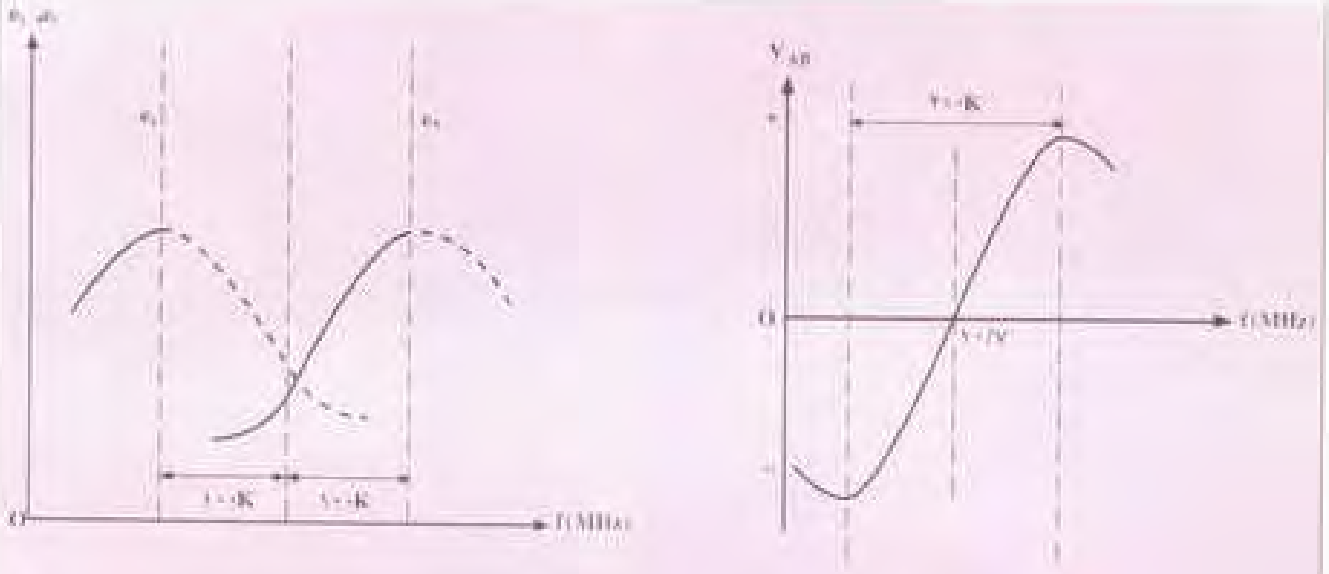
در فرکانس رزونانس e_s با e_p به اندازه ۹۰ درجه اختلاف فاز دارد (شکل ۲۷ـ۱۱ـ الف). در فرکانس بالاتر از فرکانس رزونانس اختلاف فاز کمتر از ۹۰ درجه (شکل ۲۷ـ۱۱) و در فرکانس کمتر از فرکانس رزونانس اختلاف فاز بیشتر از ۹۰ درجه است (شکل ۲۷ـ۱۱ـ ج).



شکل ۲۷ـ۱۱ـ تغییرات اختلاف فاز با توجه به تغییرات فرکانس

در شکل ۲۸ـ۱۱ مشخصه فرکانسی آشکارساز که به شکل S می‌باشد رسم شده است. خروجی آشکارساز فاستر سیلی به ازاء فرکانس IF برابر با صفر، به ازاء فرکانس بیشتر از IF مثبت و به ازاء فرکانس کمتر از IF منفی است. از آن‌جایی که فرکانس موج حامل، حول IF تغییر می‌کند ولتاژ خروجی هم متناسب با آن متغیر خواهد بود که در حقیقت همان سیگنال پیام است.

۱ـ Foster-seely Discriminator ۲ـ Phase shift



شکل ۲۸ـ۱۱ـ سیگنال‌های خروجی آشکارساز فاستر‌سیلی برحسب فرکانس

آشکارساز فاستر‌سیلی در مقایسه با آشکارساز تنظیم مجاور (کراوس) ساده‌تر است، زیرا در مدار تنظیم مجاور از سه مدار هماهنگی استفاده شده که فرکانس آن‌ها متفاوت است در صورتی که در آشکارساز فاستر‌سیلی از دو مدار هماهنگی استفاده شده که فرکانس آن‌ها یکی است.

گذشته از این منحنی پاسخ فرکانسی آشکارساز فاستر‌سیلی نسبت به تنظیم مجاور خطی‌تر است. عیب آشکار فاستر‌سیلی این است که نسبت به تغییرات دامنه حساسیت زیادی دارد و لذا قبل از آشکارساز حتماً باید از یک مدار محدودکننده دامنه استفاده شود.

۴ـ۲۰ـ۱۱ـ آشکارساز[1] نسبی: در آشکارساز فاستر‌سیلی تغییرات دامنه سیگنال ورودی باعث تغییراتی در ولتاژ خروجی می‌شود لذا این آشکارساز نیاز به محدودکننده دامنه دارد.

آشکارساز نسبی، اصلاح شده آشکارساز فاستر‌سیلی است که نیاز به محدودکننده ندارد.

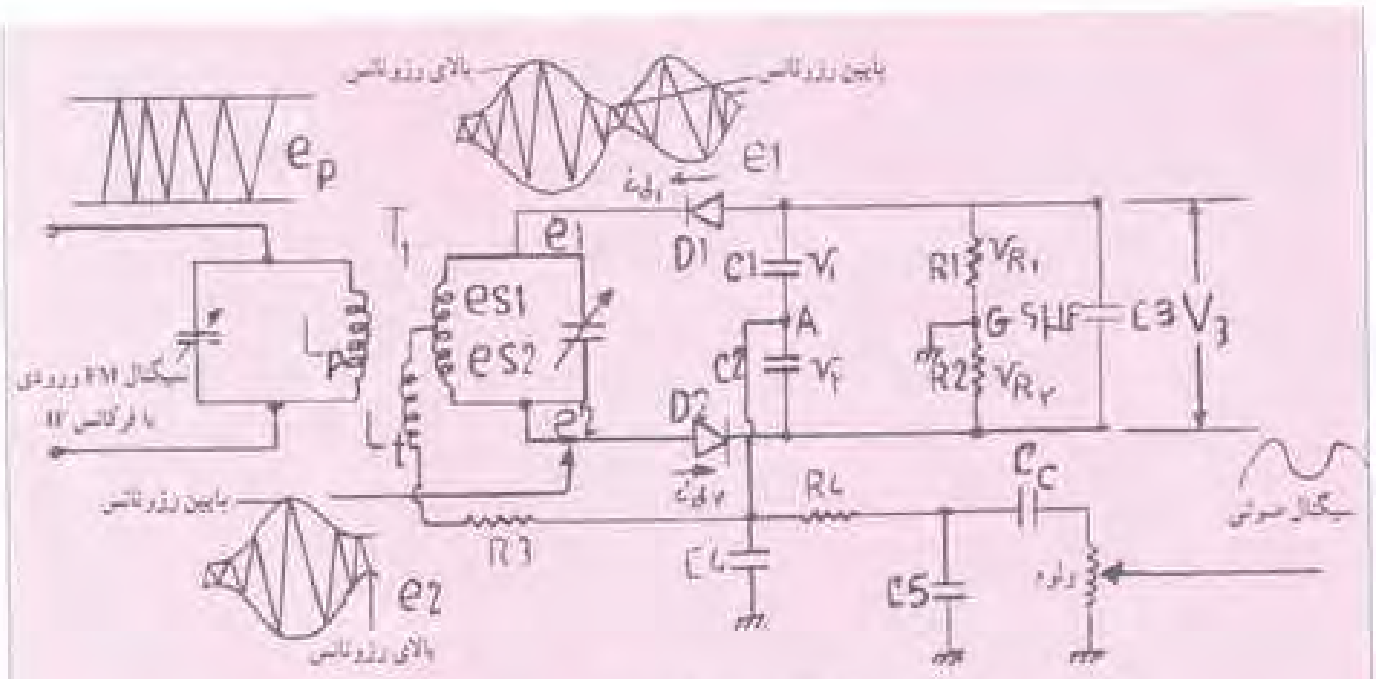
در شکل ۲۹ـ۱۱ مدار آشکارساز نسبی متعادل نشان داده شده است. در این مدار، خازن C۳ به‌منظور کوپلاژ سیگنال از اولیه ترانس T۱ به سر وسط ثانویه (آشکارساز فاستر‌سیلی) وجود ندارد. این مدار در مقایسه با آشکارساز فاستر‌سیلی در دو مورد اختلاف دارد.

الف: دیود D۱ معکوس بسته شده است.

ب: ولتاژ خروجی از نقطه A (محل اتصال C۱ و C۲) و ثالثی (محل اتصال R۱ و R۲) گرفته شده است.

عمل ترانس کوپلاژ ورودی در قسمت آشکارساز فاستر‌سیلی آمده است. مدارات هماهنگ اولیه و ثانویه ترانس هردو روی فرکانس IF مساوی ۰/۷MHz تنظیم شده‌اند. پوین ثانویه که با سر وسط انتخاب شده است دو سیگنال مساوی و با پلاریته مخالف را برای دیودهای یکسوساز تهیه می‌کند. ولتاژ اولیه به‌وسیله پوین $L_{۱۰}$ که روی هسته پیچیده شده و به سر وسط پوین ثانویه اتصال دارد به‌طور موازی به دیودهای یکسوساز اعمال می‌شود. پوین $L_{۱۰}$ روی پوین اولیه و هم‌جهت با آن پیچیده شده است به‌طوری که اختلاف فاز ولتاژ دوسر آن‌ها مساوی صفر است. استفاده از پوین $L_{۱۰}$ را می‌توان روشی برای تطبیق امپدانس زیاد اولیه T۱ با امپدانس نسبتاً کم ثانویه دانست.

۱ـ Ratio Detector



شکل ۲۹ـ۱۱ـ آشکارساز نسبی متعادل

(برای مطالعه، پایان)

۵ـ۲۰ـ۱۱ـ آشکارساز کوین سیدنی[1]: آشکارساز کوین سیدنی 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 ۳۰ـ۱۱ نشان داده شده است.

شکل ۳۰ـ۱۱ـ بلوک دیاگرام آشکارساز کوین سیدنی

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

الف ـ تقویت‌کننده و محدودکننده دامنه: این بلوک یک تقویت‌کننده IF است که علاوه بر تقویت دامنه سیگنال به مقدار زیاد، آن را محدود نیز می‌نماید. در خروجی تقویت‌کننده، 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 دامنه سیگنال FM، پیام حذف نمی‌شود. خروجی تقویت‌کننده IF از دو مسیر وارد مدار ضرب‌کننده که در اینجا یک گیت "و" (AND) است می‌شود.

1- Crosby

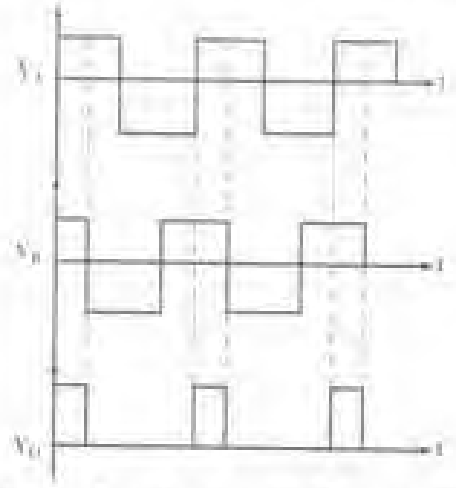
ب ـ **مدار اختلاف فاز:** در این بلوک مدار اختلاف فاز طوری تنظیم می‌شود که در فرکانس IF اختلاف فاز بین خروجی و ورودی برابر با ۹۰ درجه شود. اگر فرکانس ورودی بیشتر از IF شود اختلاف فاز کمتر از ۹۰ درجه و اگر فرکانس ورودی کمتر از IF شود اختلاف فاز بیشتر از ۹۰ درجه می‌شود.

ج ـ **مدار ضرب‌کننده:** در این مدار، خروجی زمانی وجود دارد که هر دو ورودی آن وجود داشته باشد. اگر دامنه سیگنال در ورودی گیت صفر باشد خروجی آن صفر خواهد شد. در شکل ۳۱ـ۱۱ جدول صحت و شمای فنی گیت ضرب‌کننده آمده است.

V_A	V_B	V_O
۰	۰	۰
۰	۱	۰
۱	۰	۰
۱	۱	۱

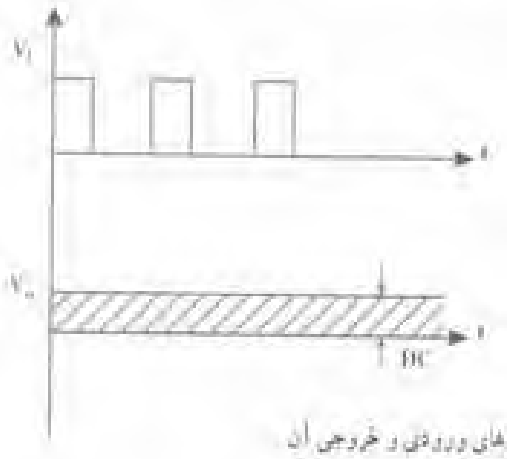
شکل ۳۱ـ۱۱ـ جدول صحت و شمای فنی گیت ضرب‌کننده

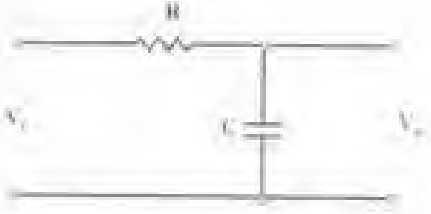
سیگنال‌های ورودی و خروجی گیت ضرب‌کننده در شکل ۳۲ـ۱۱ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که سیگنال‌ها بازاء یک فرکانس معین رسم شده‌اند.



شکل ۳۲ـ۱۱ـ سیگنال‌های ورودی و خروجی گیت ضرب‌کننده

د ـ **فیلتر پایین‌گذر:** 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 ۳۳ـ۱۱ مشاهده می‌کنید.

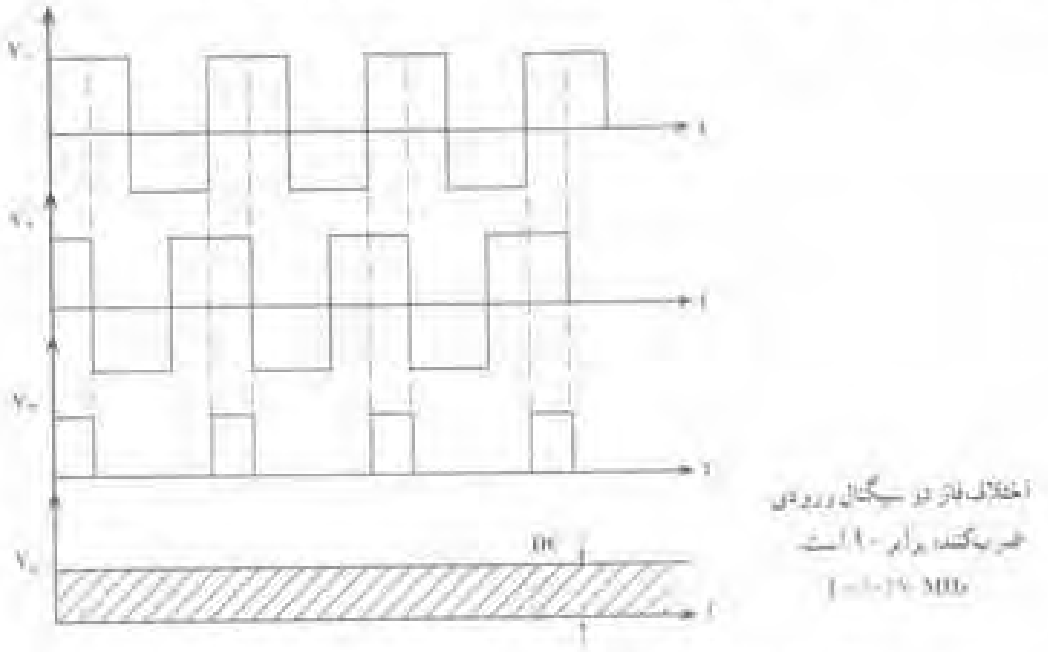




شکل ۳۳ـ۱۱ـ مدار انتگرال‌گیر و سیگنال‌های ورودی و خروجی آن

در فرکانس ۱۰ مقدار ولتاژ DC خروجی در حد متوسط قرار دارد حال آن‌که در فرکانس‌های بالاتر از IF ولتاژ خروجی زیاد و در فرکانس‌های کمتر از IF ولتاژ خروجی کم می‌شود.

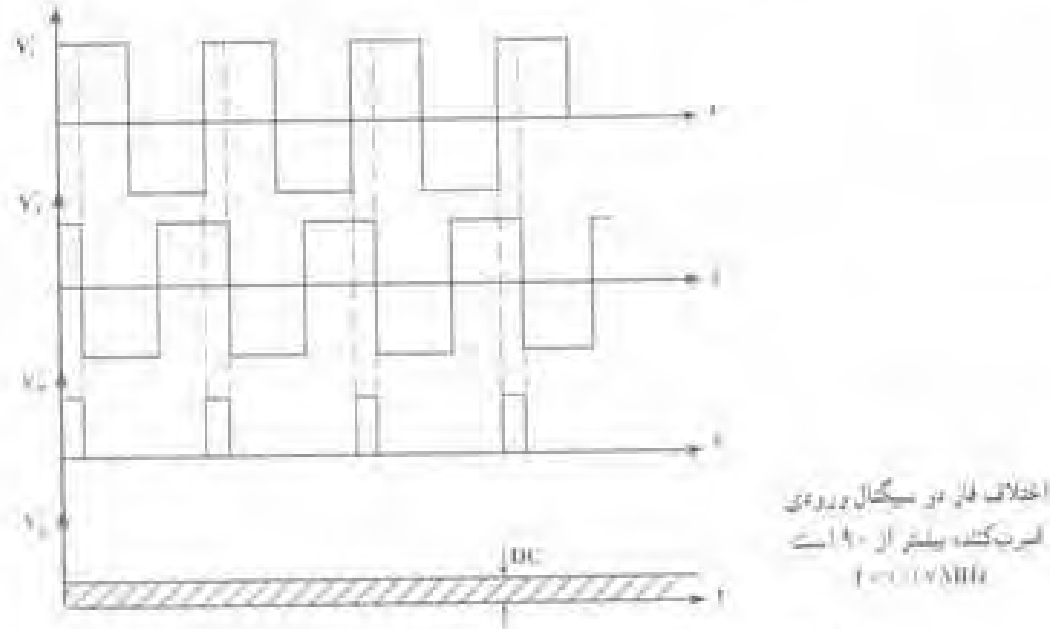
در شکل ۳۴ـ۱۱ شکل موج‌های نقاط مختلف مدار آشکارساز کوین سدنس با حفظ رابطه زمانی رسم شده است. V_1 و V_2 ورودی گیت ضرب‌کننده در فرکانس IF و اختلاف فاز ۹۰ درجه، V_3 خروجی گیت ضرب‌کننده و V_4 خروجی فیلتر پایین گذر در فرکانس IF است.



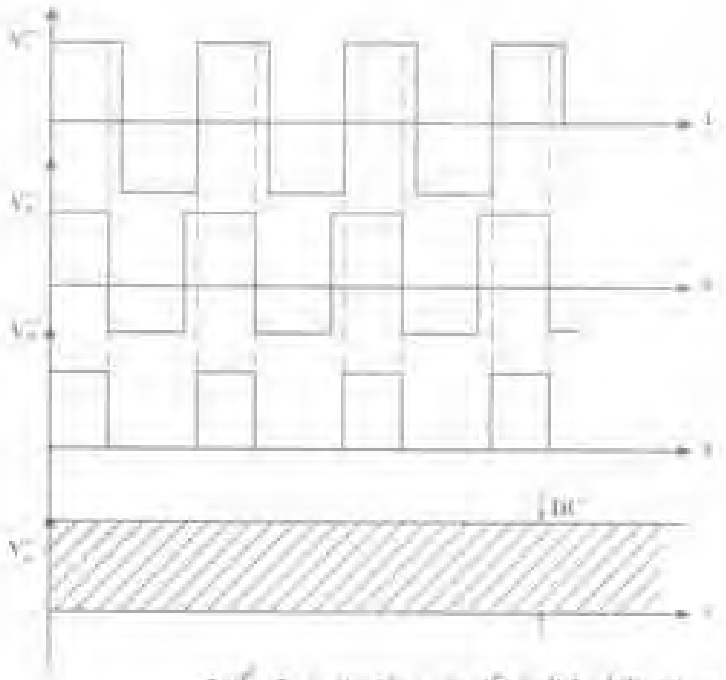
شکل ۳۴ـ۱۱ـ شکل موج‌های نقاط مختلف آشکارساز در حالت $f = 10.7$ مگاهرتز

در شکل ۳۵ـ۱۱ اختلاف فاز بین سیگنال‌های ورودی گیت افزایش یافته لذا عرض پالس خروجی گیت کم و ولتاژ DC خروجی نیز کاهش یافته است.

در شکل ۳۶ـ۱۱ سیگنال‌ها به‌ازای $\theta > 90°$ و $f > 10.7\,MHz$ رسم شده‌اند و ولتاژ DC خروجی افزایش یافته است.



شکل ۳۵ـ۱۱ـ شکل موج‌های نقاط مختلف آشکارساز در حالت $f = 11.7$ مگاهرتز



شکل ۳۶ـ۱۱ـ شکل موج‌های نقاط مختلف آشکارساز نوعی ۱۰/۷ مگاهرتز

توجه داشته باشید که در شکل ۳۵ـ۱۱ ولتاژ نقاط مختلف مدار اصلی با علامت «پ» و در شکل ۳۶ـ۱۱ ولتاژ نقاط مختلف با علامت مزگونده مشخص شده‌اند.

۶ـ۲۰ـ۱۱ـ ای‌سی آشکارساز FM موتو: در شکل ۳۷ـ۱۱ مدار داخلی آی‌سی TBA۱۲۰AS به‌صورت بلوک دیاگرام نشان داده شده است.

شکل ۳۷ـ۱۱ـ ای‌سی آشکارساز FM

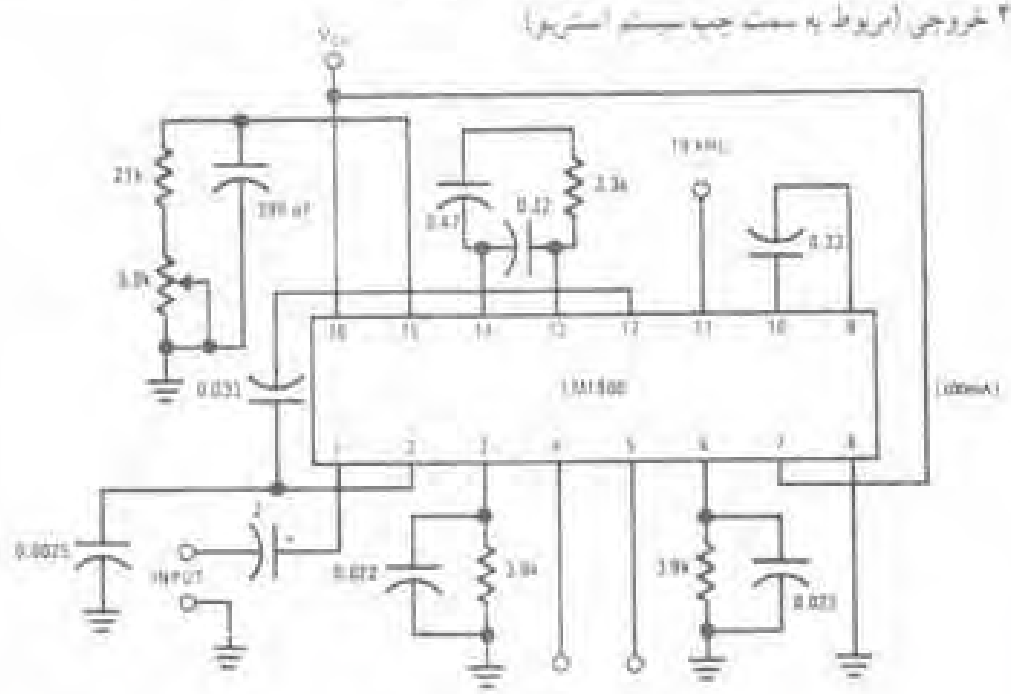
سیگنال FM با فرکانس میانی از پایه ۱۲ به آی‌سی اعمال می‌شود پس از تقویت، دامنه آن محدود شده و از دو مسیر وارد آشکارساز FM می‌شود؛ یکی مسیر مستقیم و دیگری مسیر غیرمستقیم که از مدار اختلاف فاز RLC عبور می‌کند.

در مسیر غیرمستقیم، مدار اختلاف فاز بین پایه‌های ۷ و ۹ واقع شده است. سیگنال خروجی آشکارساز به یک تقویت تفاضلی رفته و بعد از تقویت از پایه ۸ آی‌سی خارج می‌شود.

ولتاژ تغذیه آی‌سی از طریق مقاومت R۱۸۱ به پایه ۱۲ آن اعمال می‌شود. مدارات داخلی آی‌سی روی شکل نامگذاری شده است. آی‌سی TBA۱۲۰AS یک آشکارساز FM از نوع موتو و شماره سریال عمومی آن به‌صورت TBA۱۲۰ است.

۷ـ۲۰ـ۱۱ـ ای‌سی آشکارساز FM استریو: در شکل ۳۸ـ۱۱ آی‌سی آشکارساز FM استریو نشان داده شده است. این آی‌سی از نوع LM۱۸۰ است. سیگنال FM از پایه

شماره ۱ وارد آی‌سی می‌شود و پس از تقویت و آشکارسازی از پایه شماره ۵ خروجی (مربوط به سمت راست سیستم استریو) و از پایه شماره ۲ خروجی (مربوط به سمت چپ سیستم استریو) دریافت می‌شود. ولتاژ تغذیه آی‌سی از پایه شماره ۱۶ به آن اعمال می‌شود.



شکل ۳۸ـ۱۱ـ آی‌سی آشکارساز FM استریو

۲۱ـ۱۱ـ خودآزمایی

۱ـ۲۱ـ۱۱ـ در شکل ۱۸ـ۱۱ طبقه مدار AFC چیست؟

مطالعهٔ آزاد

۲ـ۲۱ـ۱۱ـ فرق بین دو آشکارساز تشی و فاستر سیلی در چیست؟

۳ـ۲۱ـ۱۱ـ در شکل ۳۷ـ۱۱ چرا از تقویت کننده تفاضلی استفاده شده است؟

۴ـ۲۱ـ۱۱ـ اختلاف اساسی دو گیرنده رادیویی FM و AM در چیست؟

مطالعهٔ آزاد

۵ـ۲۱ـ۱۱ـ اشکالات اساسی آشکارساز تنظیم مجاور کدام اند؟

۶ـ۲۱ـ۱۱ـ بلوک دیاگرام FM استریو را رسم کنید و کار هر بلوک را بنویسید.

۷ـ۲۱ـ۱۱ـ در شکل ۳۰ـ۱۱ مدار اختلاف فاز ⊗ روی چه فرکانسی تنظیم شده است؟

این قسمت در ادامه فصل دهم از صفحه ۱۷۱ به بعد تدریس شود.

۳ـ۱۲ـ گیرنده رادیویی یک موج FM

۱ـ۳ـ۱۲ـ بلوک دیاگرام عمومی گیرنده رادیویی یک موج FM:

گیرنده رادیویی یک موج FM مشابه گیرنده‌های رادیویی یک موج AM با تفاوت‌هایی به شرح زیر است:

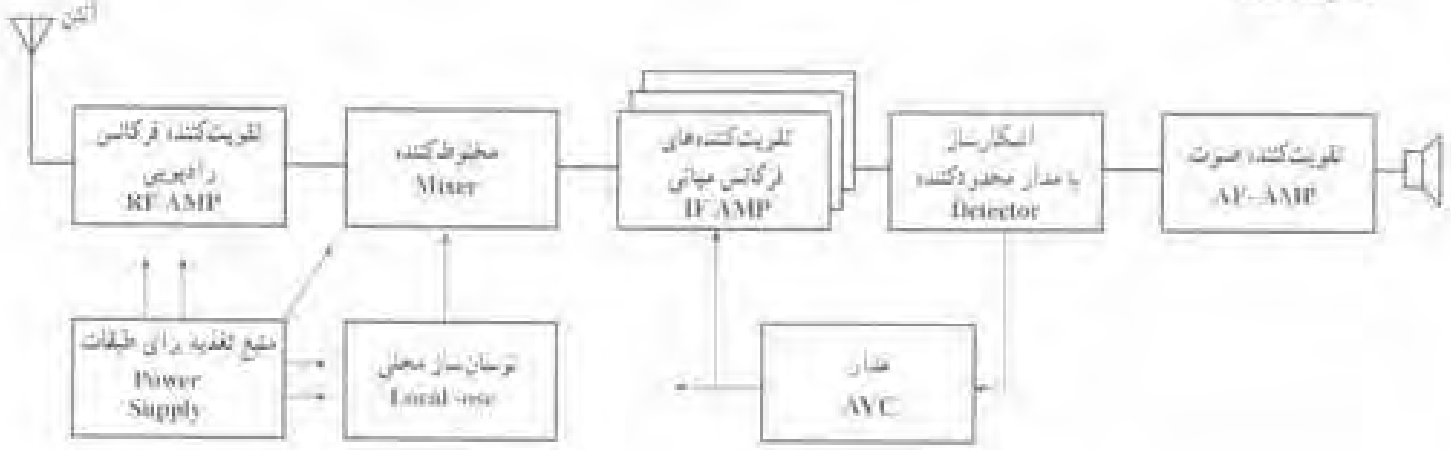
الف ـ باند فرکانسی ایستگاه‌های فرستنده FM در محدوده ۸۸ مگاهرتز تا ۱۰۸ مگاهرتز است.

ب ـ فرکانس IF گیرنده‌های رادیویی FM برابر با ۱۰/۷ مگاهرتز است.

ج ـ مدار آشکارساز FM با مدار آشکارساز AM کاملاً متفاوت است.

د ـ نوع سیگنال دریافتی توسط گیرنده FM به‌صورت مدولاسیون FM است.

در شکل ۵ـ۱۲ بلوک دیاگرام عمومی یک گیرنده رادیویی FM یک موج ترسیم شده است. در صورتی که این گیرنده را با بلوک دیاگرام شکل ۷ـ۷ مقایسه کنید ملاحظه می‌نمایید که تقریباً هیچ گونه 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.



شکل ۵ـ۱۲ـ بلوک دیاگرام عمومی یک گیرنده رادیویی FM

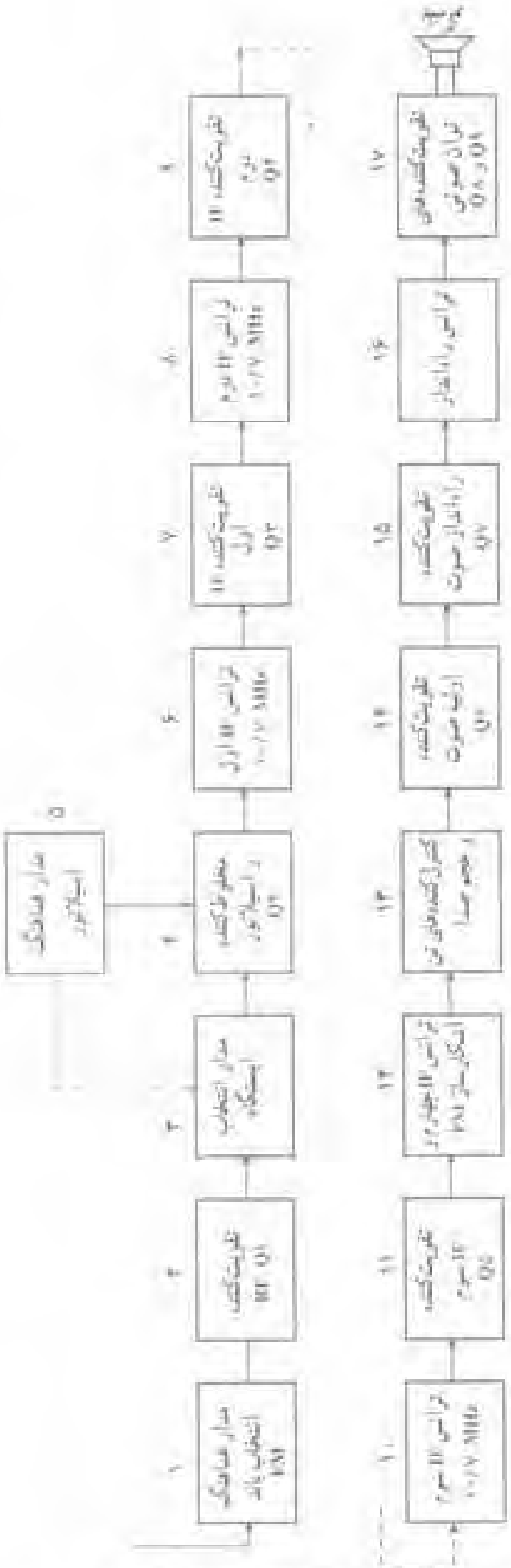
۲ـ۳ـ۱۲ـ بلوک دیاگرام یک گیرنده FM تجارتی:

در شکل ۶ـ۱۲ـ الف بلوک دیاگرام یک گیرنده رادیویی ترانزیستوری FM را مشاهده می‌کنید. این گیرنده به ۱۶ بلوک تقسیم شده است که هر بلوک نقش خاصی را در مدار به‌عهده دارد. در شکل ۶ـ۱۲ـ ب نقشه مدار گیرنده ترسیم شده است. در این مدار ترانزیستور Q_1، RF تقویت‌کننده Q_2، اسیلاتور و مخلوط‌کننده و Q_3، Q_4 و Q_5 به‌ترتیب تقویت‌کننده‌های IF اول، دوم و سوم است. ترانزیستورهای Q_6، Q_7 و Q_8 تقویت‌کننده صوت را تشکیل می‌دهد.

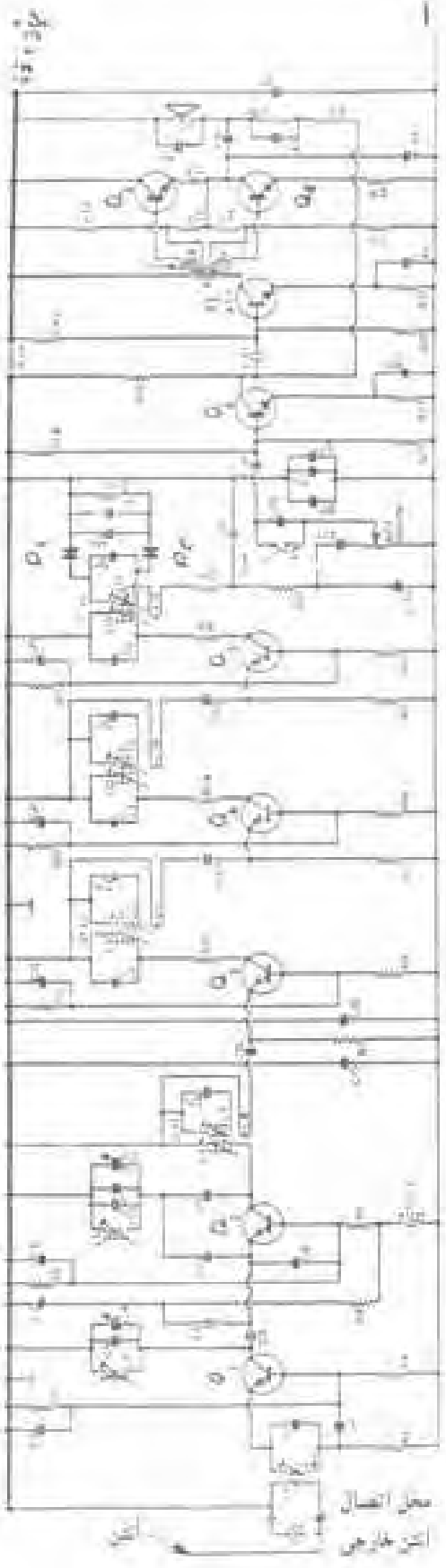
بلوک دیاگرام گیرنده رادیویی FM را می‌توان در سه قسمت به شرح زیر خلاصه کرد:

الف ـ قسمت RF شامل بلوک‌های شماره ۱ تا ۵ است. در این بلوک‌ها سیگنال FM ورودی تبدیل به سیگنال FM با فرکانس IF می‌شود.

ب ـ طبقات IF و آشکارساز. در این طبقات سیگنال IF تقویت و آشکار می‌شود.



الف ـ بلوک دیاگرام گیرنده رادیویی AM یک موج



ب ـ نقشه مدار گیرنده رادیویی AM یک موج

ج ـ طبقات تقویت‌کننده اولیه، دراور و انتهایی صوت.

در این طبقات صوت آشکار شده تقویت می‌شود.

در جدول ۱ـ۱۲ کار هر بلوک و عناصر اصلی تشکیل‌دهنده آن با توجه به نقشه مدار گیرنده رادیویی FM به اختصار آمده است. یادآور می‌شود که در ستون مربوط به قطعات از ذکر عناصر مربوط به بایاسینگ DC، خازن‌های کوپلاژ و خازن‌های بای پاس به لحاظ آشنایی دانش‌آموزان با این اجزاء و مدارها صرف‌نظر شده است.

جدول ۱ـ۱۲ـ عناصر تشکیل‌دهنده هر بلوک در طبقات RF گیرنده FM یک موج

شماره بلوک	کار بلوک	عناصر تشکیل‌دهنده بلوک
۱	مدار هماهنگ انتخاب باند FM	C_{1} ، L_{2} ، L_{1}
۲	تقویت‌کننده RF	Q_{1} و عناصر مرتبط با آن
۳	مدار انتخاب ایستگاه	L_{3} ، C_{3} ، C_{4}
۴	مخلوط‌کننده و اسیلاتور	Q_{2} و عناصر مرتبط با آن
۵	مدار هماهنگ اسیلاتور	C_{5} ، C_{6} ، L_{4}

همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود ، ابتدا سیگنال ورودی توسط بلوک شماره ۱ که فیلتری با پهنای باند ۸۸ تا ۱۰۸ مگاهرتز است انتخاب می‌شود. این سیگنال توسط ترانزیستور Q_{1} تقویت شده و وارد ترانزیستور Q_{2} می‌شود. ترانزیستور Q_{2} نقش مخلوط‌کننده و اسیلاتور را به عهده دارد. از نظر توسان‌سازی ترانزیستور Q_{2} به‌صورت تقویت‌کننده پیس مشترک بسته شده و خازن C_{6} به‌عنوان خازن فیدبک مورد استفاده قرار گرفته است. مدار هماهنگی انتخاب ایستگاه در بلوک ۳ و مدار هماهنگی اسیلاتور در بلوک شماره ۵ قرار دارد. سیگنال خروجی Q_{2} که یک سیگنال IF است توسط IFT انتخاب شده و طبقات بعدی را تغذیه می‌کند. فرکانس سیگنال IF در گیرنده FM تجارتی برابر با ۱۰/۷ مگاهرتز است. این فرکانس از طرق سیم‌پیچ L_{7} وارد ترانزیستور Q_{3} می‌شود. در جدول ۲ـ۱۲ نقش بلوک‌های طبقات IF و آشکارساز و عناصر تشکیل‌دهنده آن را

جدول ۲ـ۱۲ـ طبقات IF و آشکارساز در گیرنده رادیویی FM یک موج

شماره بلوک	نقش بلوک	عناصر تشکیل‌دهنده بلوک
۶	ترانسفورماتور IF اول با فرکانس ۱۰/۷ مگاهرتز	L_{8} ، C_{10} ، L_{9} ، L_{10} و L_{11}
۷	تقویت‌کننده IF اول	Q_{3} و عناصر مرتبط با آن
۸	ترانسفورماتور IF دوم (۱۰/۷ مگاهرتز)	C_{11} ، L_{12} ، L_{13} ، C_{12} و L_{14}
۹	تقویت‌کننده IF دوم	Q_{4} و عناصر مرتبط با آن
۱۰	ترانسفورماتور IF سوم	C_{13} ، L_{15} ، L_{16} ، C_{14} و L_{17}
۱۱	تقویت‌کننده IF سوم	Q_{5} و عناصر مرتبط با آن
۱۲	ترانسفورماتور IF چهارم و آشکارساز	C_{15} ، L_{18} ، L_{19} ، C_{16} و L_{20}
		D_{1} ، D_{2} ، C_{17} و R_{19}

مشاهده می‌کنید. در این طبقات، ترانزیستورهای Q_6، Q_7 و Q_8 طبقات تقویت‌کننده IF را تشکیل می‌دهند. مدارهای هماهنگی IFT1 الی IFT4 فرکانس‌های IF را انتخاب می‌کنند و از طریق سیم‌پیچ‌های L_{11}، L_{12}، L_{13} و L_{14} به طبقات بعدی می‌رسانند. سیگنال خروجی بلوک شماره ۱۲ که آخرین طبقه IF است به آشکارساز FM وارد می‌شود و پس از آشکار شدن از طریق خازن C_{10} به ولوم صوت اتصال می‌گردد.

بلوک‌های شماره ۱۳ الی ۱۷ مربوط به طبقات تقویت صوت است که مدارهای مربوط به آن را قبلاً فرا گرفته‌اید.

۴ـ۱۲ـ خودآزمایی

۱ـ۴ـ۱۲ـ بلوک دیاگرام عمومی یک گیرنده FM را ترسیم کنید، نام هر بلوک را در آن بنویسید و آن را با بلوک دیاگرام گیرنده AM مقایسه کنید.

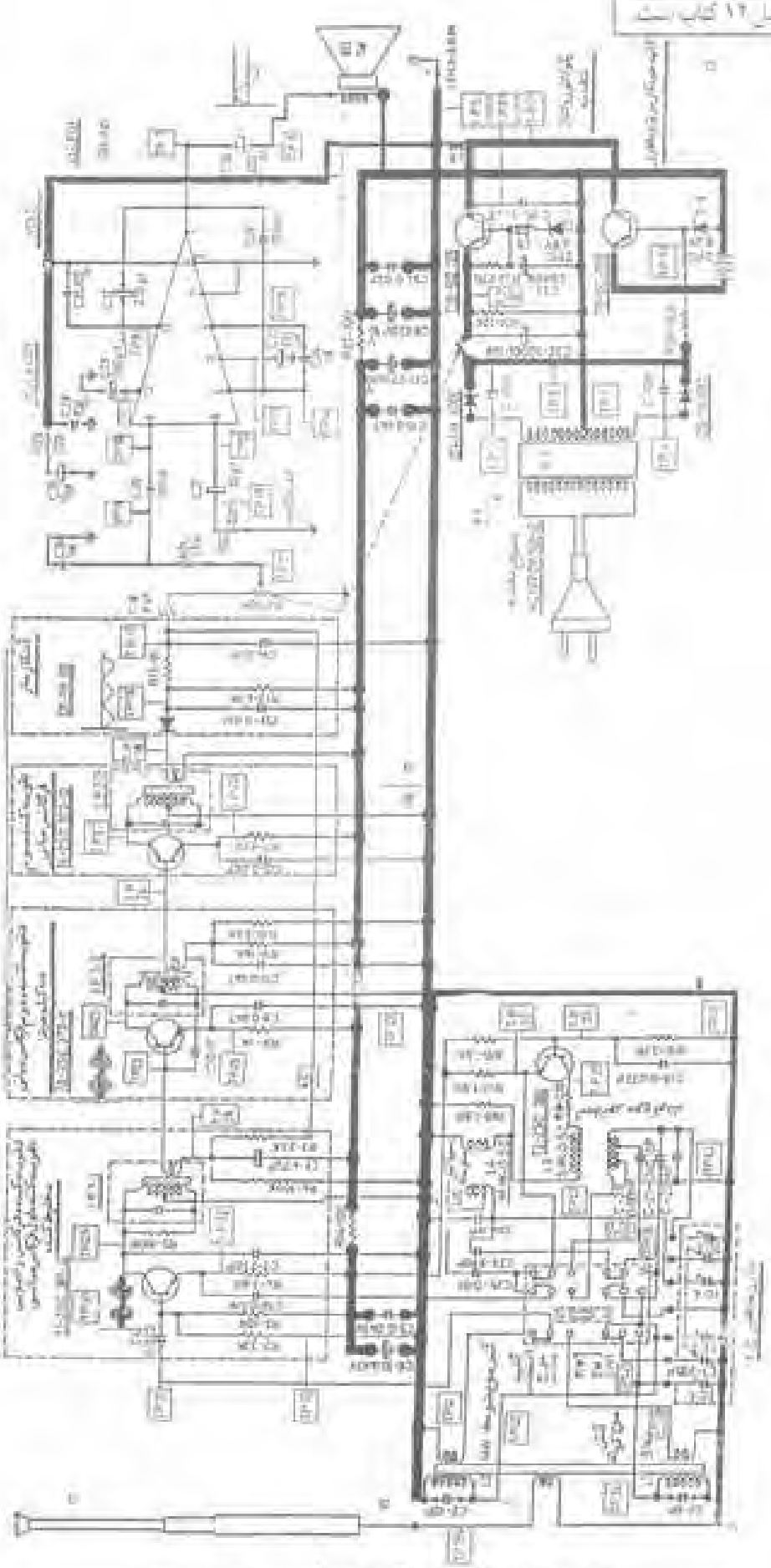
۲ـ۴ـ۱۲ـ با توجه به شکل ۶ـ۱۲ـ الف و ۶ـ۱۲ـ ب عناصر تشکیل‌دهنده هر یک از بلوک‌های زیر را مشخص کنید.

الف ـ اسیلاتور و مخلوط‌کننده

ب ـ آشکارساز

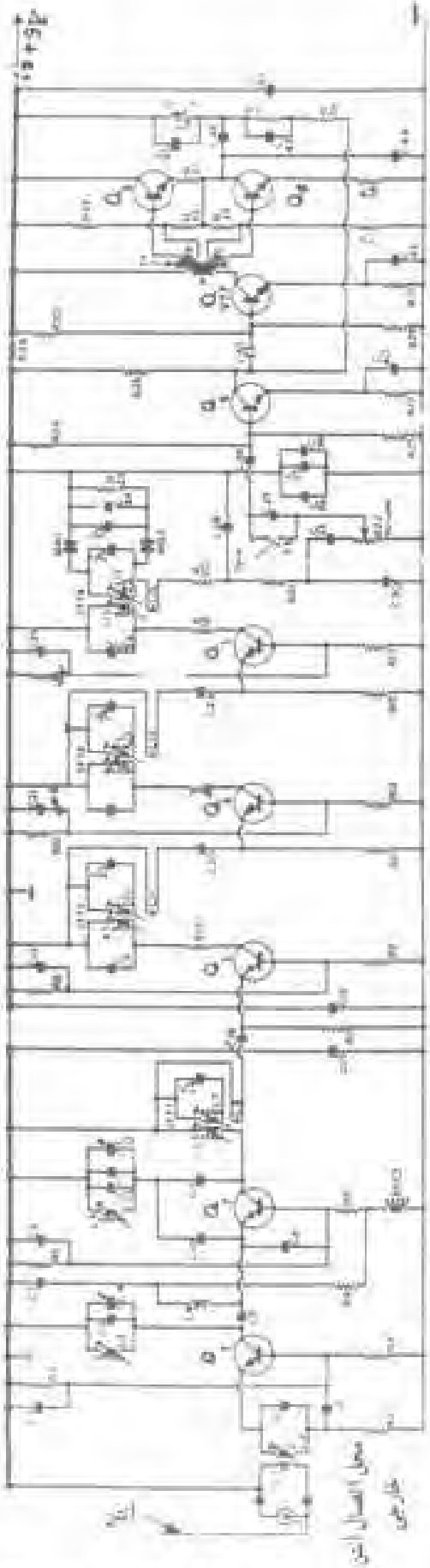
ج ـ طبقه تقویت‌کننده IF شماره ۲

د ـ طبقه تقویت‌کننده RF



شکل ۱۰-۱۲ـ یک نمونه دیگر از تقویت‌کننده‌های سه‌موج

ضمیمه فصل ۱۲ کتاب است



شکل ۱۲ـ۱۲ـ نقشه مجموعه رادیویی یک سوئیچ ۶۷۱

جدول نمادهای الکترونیکی استفاده شده در کتاب

ردیف	نماد	مفهوم و معنا
۱		مقاومت الکتریکی ثابت
۲		مقاومت الکتریکی متغیر
۳		پیل
۴		باتری
۵		کلید یک پل یک راهه کلید یک پل با هرم آزاد سوئیچ
۶		کلید یک پل چند راهه
۷		کلید تبدیل
۸		تبدیل های هم محور
۹		تلفن بطور عمومی
۱۰		تلفن با تغذیه از مرکز
۱۱		تلفن با تصویر گیر
۱۲		بلندگو
۱۳		گوشی
۱۴		میکروفون

ردیف	نماد	مفهوم و معنا
۱۵		خازن معمولی
۱۶		خازن الکترولیتی
۱۷		خازن متغیر
۱۸		خازن فابل تنظیم
۱۹		ترانزیستور NPN
۲۰		ترانزیستور PNP
۲۱		FET با کانال N
۲۲		FET با کانال P
۲۳		دیود یکسو ساز
۲۴		LED
۲۵		منبع سیگنال
۲۶		سیم
۲۷		سیم با هسته
۲۸		سیم با هسته و فاصله هوایی
۲۹		ترانسفورماتور
۳۰		ترانسفورماتور با هسته هوایی
۳۱		ترانسفورماتور با خروجی های متعدد

واژه‌نامه

A

Automatic frequency control A.F.C	کنترل فرکانس اتوماتیک
Antenna	آنتن
Audio	صوتی
Audio Tone	فرکانس نات صوتی (تون صوتی)
AC=Alternating current	جریان متناوب
Antenna Gain	بهره آنتن
Analog	پیوسته
Amplitude modulation (A.M.)	مدولاسیون دامنه
Air	هوا
Automatic volume control A.V.C	کنترل حجم صدا به صورت خودکار
Amplitude	دامنه
Frequency	فرکانس
Phase	فاز
Amplifier	تقویت کننده
Attenuation	تضعیف
Armstrong	نام دانشمندی است که یک نمونه نوسانساز با فیدبک ترانسفورماتوری را طراحی کرده است.
Automatic Gain control (A.G.C)	کنترل بهره به صورت خودکار
Automatic voltage control (A.V.C)	کنترل بهره ولتاژ به طور خودکار

B

Band width (B.W.)	پهنای باند
Band pass filter	فیلتر عبور باند
Band reject filter	فیلتر حذف باند
Barkhausen	بارگ‌هاوزن نام دانشمندی است که از طریق ریاضی مسئله نوسانسازی را اثبات کرد.
Block Diagram	دیاگرام قالبی ـ دیاگرام جعبه‌ای ـ بلوک دیاگرام
Battery	باتری

C

Cosmic Ray	اشعه کیهانی از 10^{20} تا 10^{22} هرتز
Coincidence	وقتی آشکارساز FM
Coaxial	هم‌محور
Carrier	حامل
Common	مشترک
Cascade	پشت سرهم (کاسکاد)
Cut off frequency	فرکانس قطع
Criterion	اصل
Colpitts	کولپیتس نام دانشمندی که برای اولین بار فیدبک با روش تقسیم ولتاژ خازنی را ارائه کرده است.
Clapp	
وقتی نوسانساز کولپیتس است که در آن از یک خازن سری با سیم‌پیچ نیز استفاده شده است.	
Capacitance	ظرفیت
Channel	کانال

D

D.C = Direct Current	جریان مستقیم
Digital	رقم ـ عدد
Dipole	دوقطبی ـ دی‌پل
Diagram	نمودار ـ تصویر شکل دادن ـ نمودار و مفروض نمودن
Decibel	دسی‌بل
Deviation Ratio $\frac{F_{D\,max}}{F_{M\,max}}$	نسبت انحراف
DBM = Decibel Per milliwatt	
دسی‌بل بر حسب یک میلی‌وات. دسی‌بل در شرایطی که $P=1mw$ باشد.	
Detector	آشکارساز
Detection	آشکارسازی
Demodulation	آشکارسازی
Demodulator	مدولاتور ـ آشکارساز
Decoupling	دکوپلاژ یا حذف جفتی
Deviation	انحراف

E

Extremely High Radio Frequency (EHF)

فرکانس رادیویی بی‌نهایت زیاد ۳۰ GHz ـ ۳۰۰ GHz

Earphone گیرنده

Electromagnetic الکترومغناطیسی

F

Fortunately خوشبختانه

Frequency فرکانس ـ بسامد

Filter فیلتر ـ صافی

Fourier series

سری فوریه (فوریه نام یک دانشمند ریاضی‌دان است)

Fundamental اصلی ـ پایه

First odd harmonic اولین هارمونیک فرد

Fading محو شدن ـ به تدریج از بین رفتن

Frequency Modulation مدولاسیون فرکانس

Filter Band Width پهنای باند فیلتر

Field effect Transistor FET ترانزیستور با اثر میدانی

Feed Back

انتقال قسمتی از انرژی خروجی مدار به ورودی به منظور افزایش یا کاهش کلی مدار در تقویت‌کننده‌ها ـ بازخورد

Fidility وفاداری ـ توانائی بازسازی بیشه فرکانس‌ها در یک مدار

G

Gamma Ray اشعه گاما از 3×10^{19} Hz تا 3×10^{21} Hz

Ground waves امواج زمینی

Guard band باند محافظ

Glass شیشه

Ground شاسی ـ زمین

H

Beta تتا

High Radio Frequencies

فرکانس‌های رادیویی زیاد از ۳ مگاهرتز تا ۳۰ مگاهرتز

Harmonic

هارمونیک ـ مضرب زوج یا فرد از فرکانس اصلی در موج غیرسینوسی

High pass filter فیلتر بالاگذر

Hardly

به دشواری است که نوشتار با فعلیک از طریق تقسیم‌کننده سلفی را طراحی کرده است

Hybrid مخلوط کردن دو سیگنال با هم

High level Modulation

مدولاسیون سطح بالا ـ مدولاسیون در طبقه قدرت فرستنده انجام می‌شود.

I

Infrared اشعه مادون قرمز

Inter modulation مدولاسیون تداخلی

Integrated Circuit مدار مجتمع

Intermediate frequency (I.F) فرکانس میانی ـ فرکانس IF

Image frequency فرکانس تصویر ـ فرکانس نتیج

J

Jumper اتصال دهنده

K

Kilo Hertz ۱۰۰۰ هرتز

L

Low Radio frequency (L.F)

فرکانس رادیویی کم ۳۰ KHz تا ۳۰۰ KHz

Loud Speaker بلندگو

Line of sight در امتداد دید

Low side frequency فرکانس کناری پایین

(L.P.F) Low pass filter فیلتر پایین گذر

Low level modulation

مدولاسیون در سطح پایین ـ مدولاسیون در طبقات قبل از تقویت‌کننده قدرت فرستنده انجام می‌شود.

Local Oscillator نوسانگر محلی

M

Message پیام

Medium Radio frequency

فرکانس متوسط رادیویی ۳۰۰ KHz ـ ۳MHz

Meter	اندازه‌گیر
Megahertz	10^6 هرتز (مگاهرتز)
Micro Wave	ریزموج ـ امواج با فرکانس زیاد در حدود گیگاهرتز
Microphone	مبدل امواج مکانیکی صوت به سیگنال الکتریکی ـ میکروفون
Mho	«موه» عکس واحد مقاومت یعنی اُهم است که آن را زیمنس نیز می‌نامند.
Multiplier	چندبرابرکننده فرکانس
Measure	اندازه‌گیری کردن
Mixer	مخلوط کننده
Marconi Antenna	آنتن مارکونی (نام دانشمندی است)
Modulation	مدولاسیون ـ سوار کردن پیام روی موج حامل
Modulating signal	سیگنال مدوله‌کننده مانند پیام
Message	پیام
Modulation signal	سیگنال مدوله شونده
Modulation envelope	پوش مدولاسیون ـ تغییرات دامنه حامل در مدولاسیون دامنه
Modulation Factor	ضریب مدولاسیون

N

Noise	نویز ـ اغتشاش ـ توفه
Narrow band FM	FM با باند باریک که در آن BW=2fm است

O

OP-amp=Operational amplifier	تقویت‌کننده عملیاتی
Over Modulation	مدولاسیون بیش از صد درصد
Oscillator	نوسان‌ساز

P

Position	موقعیت وضعیت
PI=MMF	پیکوفاراد مساوی با 10^{-12} میکروفاراد است
Phase shift	انتقال فاز
Power Transmission	انتقال قدرت
Physiological action	عمل فیزیولوژیکی
Peak to peak	قله به قله
Parallel wire (balanced line)	خط موازی ـ خط متعادل
Polythene	پلی‌تن ـ یک نوع ماده عایق
Polarization	قطبیت ـ دارای قطب مثبت و منفی بودن
Phase modulation	مدولاسیون فاز
Percent of modulation	درصد مدولاسیون
Portable	پرتابل ـ قابل حمل با دست
Parallel	موازی
Positive feed back	فیدبک مثبت که در نوسانسازی به‌کار می‌رود.
Power Detector	آشکارساز قدرت
Power Transformer	ترانسفورماتور قدرت
Pressure	فشار
Preemphasis	پیش تأکید. افزایش دامنه فرکانس‌های بالا در یک طیف فرکانس

Q

Quality factor	ضریب کیفیت

R

Rate of change	سرعت تغییرات سیگنال در FM
Ratio Detector	آشکارساز شیبی FM
Receiver	گیرنده
Residual waveforms	شکل موج منتجه
Reciprocity	هم‌پاسخی ـ به مدارهایی گفته می‌شود که در صورت اعمال ولتاژ به‌ورودی یا خروجی آن پاسخ مدار یکسان باشد. مانند ترانسفورماتور یک به یک
Resistor	مقاومت
Radiation	تشعشع
Radiation Resistance	مقاومت تشعشعی
Radiation power	توان تشعشعی
Reference signal	سیگنال مرجع
Radio frequency	فرکانس رادیویی
Resonance	تشدید ـ هماهنگی
Radio frequency choke (R.F.C)	سیم‌پیچ فرکانس رادیویی

S

Superconductive	ابر رسانا ـ هادی‌های الکتریکی که مقاومت آن‌ها صفر است
Speaker	بلندگو
Super High Radio frequencies (S.H.F.)	فرکانس‌های رادیویی فوق‌العاده زیاد 3GHz تا 30 GHz (گیگاهرتز)

U

Unless otherwise	در غیر این‌صورت
Ultrasonic	ماوراء صوت
Ultra High Radio frequencies (U.H.F.)	فرکانس‌های رادیویی خیلی خیلی زیاد (۳۰۰ MHz تا ۳ GHz)
Ultraviolet	ماوراء بنفش
Unbalanced	نامتعادل
Upper side frequency (U.S.F.)	فرکانس کناری بالا
Upper side band (U.S.B)	باند کناری بالا

V

Visible light	نور مرئی
Video	فرکانس‌های تصویر از ۵۰ Hz تا ۵ مگاهرتز
Very low frequencies	فرکانس‌های رادیویی خیلی کم از ۱۰ KHz تا ۱۰۰ KHz
Voltage	ولتاژ ـ اختلاف پتانسیل
V.T.V.M - Vacuum Tube voltmeter	ولت‌متر با لامپ
Lower side band (L.S.B)	باند کناری پایین
Varicap (Variable capacitor)	خازن تابع ولتاژ
Variable	متغیر
Value	مقدار

W

Wave	موج

X

X-Ray (Soft to Hard)	اشعه X (از نوع ملایم تا سخت) ۶×۱۰^{۱۶} Hz تا ۳×۱۰^{۱۹} هرتز

Y

Yagi	نام دانشمند ژاپنی است که آنتن تلویزیون جتشاخه را طراحی کرده است.

Z

Zero level	سطح صفر

Spectrum analyzer	دستگاه طیف‌نما
Square wave	موج مربعی
Sine wave	موج سینوسی
Saw tooth	موج دندانه اره‌ای
Second Odd harmonic	دومین هارمونیک فرد
Satellite	ماهواره ـ قمر مصنوعی
Slope detector	آشکارساز شیب
Selector	انتخاب‌کننده
Shield	شیلد ـ حفاظ
Standing wave	موج ساکن که در آن امواج رفت و برگشت در خطوط انتقال به‌وجود می‌آید.
Sky waves	امواج آسمانی
Space waves	امواج فضایی
Signal	علامت الکتریکی ـ سیگنال
Sensitivity	حساسیت یا سنسیتیویته
Selectivity	انتخاب‌گری یا قابلیت انتخاب
Stability	ثبات یا پایداری مدار در مقابل عوامل داخلی و خارجی مانند حرارت و...
Superheterodyne reciever	گیرنده سوپرهترودین
Surge	ناگهانی ـ هجومی

T

Transmitter	فرستنده
Telephone	تلفن ـ وسیله ارتباطی دوطرفه
Telephone center	مرکز تلفن
Transmission line	خط انتقال
Total	مجموع
Tickler coil	سیم‌پیچ فیدبک در نوسانساز
Tuned radio frequency (T.R.F.)	گیرنده‌های رادیویی با مدار هماهنگی
Tuning	تنظیم کننده ـ هماهنگ‌کننده
Travis	نوعی آشکارساز است

فهرست منابع و مآخذ

نام و نام خانوادگی مؤلف	نام کتاب	ناشر، محل انتشار و سال انتشار
۱ـ Lloyd temes	Electronic Communication	MC Growhill Book Company 1988
۲ـ Thomas A. Adamson	Electronic Communication	Delmar Publisher inc_ 1990
۳ـ Back Engineering Company	Practical electronic Volume 2	Lab volt 1987
۴ـ تألیف ـ جرج کندی ترجمه ـ دکتر فرخ حجت کاشانی صفی الدین صفوی نائینی	سیستمهای مخابراتی الکترونیکی	حیدری ۱۳۷۰
۵ـ Izhereb isor	Founda mental of radio	Mir Publisher Moscow
۶ـ Lawrence O Marn J R . B . A	Theory manual for telecommunication	Electronic Aid

۷ـ مجموعه Service manual مربوط به کار خانجات سازنده گیرنده های رادیویی

۸ـ Wayne Lemons	Learn Electronics Through Troubleshooting	

ISBN 964-05-0197-2
۹۶۴-۰۵-۰۱۹۷-۲

۱۳۸۴