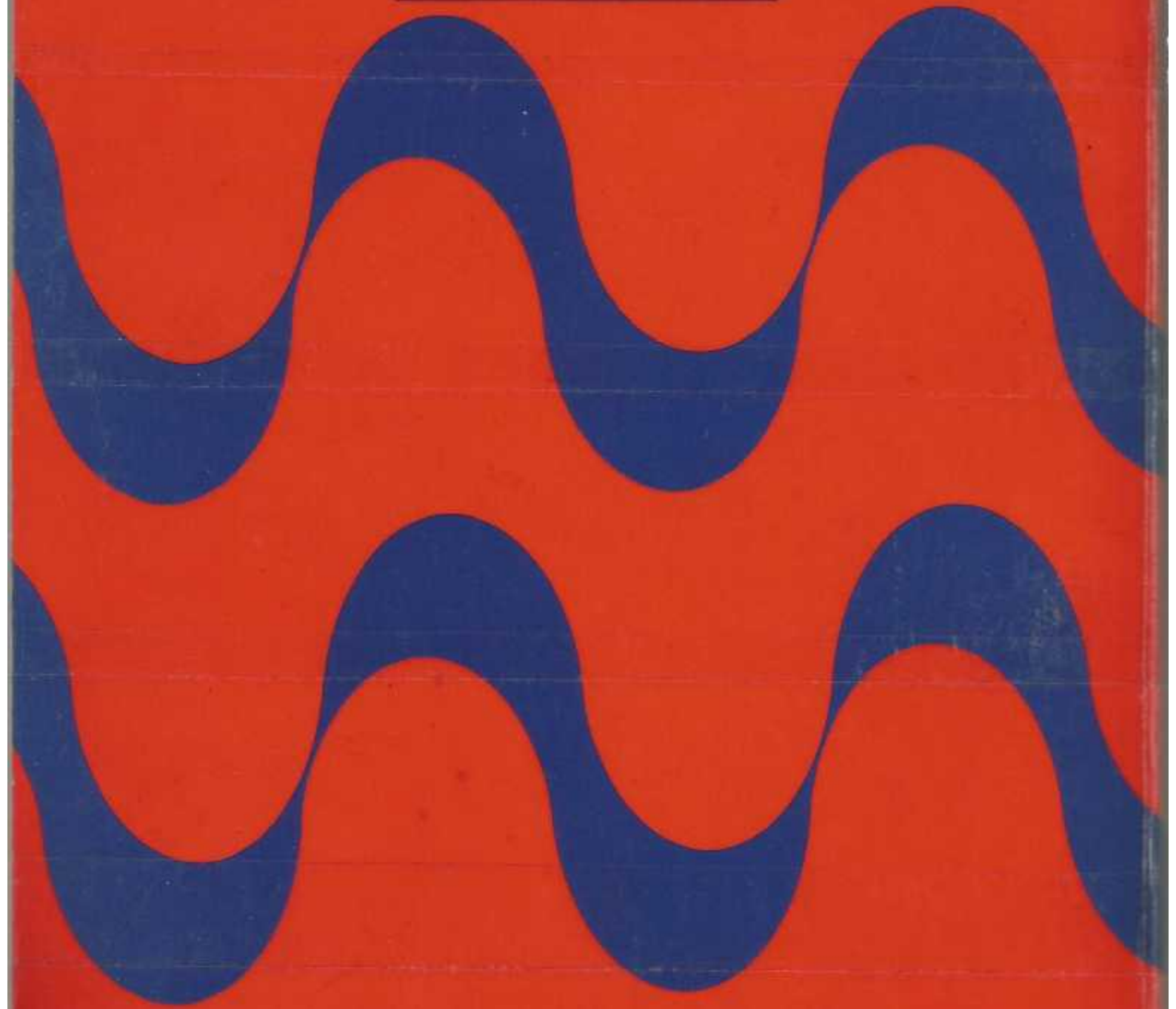
سیستمهای رادیویی

جلد اول

نوشتهٔ دی. سی. گرین

ترجمهٔ محمد رهبر



Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

سیستمهای رادیویی

جلد اول

نوشتهٔ دی. سی. گرین

ترجمهٔ محمد رهبر

سروش

تهران ۱۳۶۷

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

این کتاب ترجمه‌ای است از:

Radio Systems
By: D. C. Green
Pitman Publishing Limited, London, 1978

انتشارات صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران
تهران، خیابان استاد مطهری، تقاطع خیابان دکتر مفتح، ساختمان جام‌جم
چاپ اول: ۱۳۶۷
ویراستار: فلورا شباویز و پیرایه کلهر
پانچیست: پوراندخت جاویدی
نمونه‌خوان: مریم حسینی‌زاد
صفحه‌آرا: محمود نیکفرجام
طراح روی جلد: شهرام گلپریان
ناظر چاپ: علیرضا جمشیدی و ابراهیم گودرزی
حروفچینی: لاینوترون انتشارات سروش
لیتوگرافی: پیچاز
این کتاب در پنج‌هزار نسخه در چاپخانهٔ تك چاپ و در صحافی صحافکار تهران صحافی شد.
همهٔ حقوق محفوظ است.
بها: ۶۰۰ ریال

Prepared by Behshad.Baradaran, spiring 1395

فهرست مطالب

مقدمه ۷

۱ خطوط انتقال بدون افت فرکانس رادیویی ۹

مقدمه ۹

خطوط انتقال تطبیق شده ۱۰

خطوط انتقال تطبیق نشده ۲۰

۲ آنتنها ۲۷

مقدمه ۲۷

تشعشع از یک آنتن ۲۷

توزیع جریان وولتاژ در آنتنها ۳۰

الگوهای تشعشع، خاصیت جهتی و بهرهٔ آنتن ۳۳

توان تشعشع شدهٔ مؤثر ۳۷

پهنای نوار ۳۸

مقاومت تشعشع و بازده آنتن ۳۸

آنتنهای تک قطبی ۳۹

بازتابنده‌ها و جهت دهنده‌ها ۴۴

اندازه گیری الگوهای تشعشع ۴۷

اندازه گیری بهرهٔ آنتن ۴۸

۳ انتشار امواج رادیویی ۵۳

مقدمه ۵۳

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

موج سطحی یا زمینی ۵۴
موج هوایی ۵۶
موج فضایی ۶۲
پژمرش (محو شدگی) ۶۳
استفاده از نوارهای فرکانس مختلف ۶۵

۴ مدارهای گیرندهٔ رادیویی ۶۹
تقویت کننده‌های میزان شده ۶۹
آشکارسازها ۷۶
آشکارسازدیودی ۷۷
آشکارسازترانزیستوری ۸۰
تقویت کننده‌های صوتی ۸۱
نوسان سازها ۸۶
نوسان سازهای LC ۸۷
پایداری فرکانس ۸۹

۵ گیرنده‌های رادیویی ۹۵
اصول ۹۵
گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین ۹۹
گیرنده‌های سوپرهترودین دوگانه ۱۰۸
گیرنده‌های ارتباطی ۱۰۹

۶ فرستنده‌های رادیویی ۱۱۳
مقدمه ۱۱۳
تقویت کننده‌های توان فرکانس رادیویی ۱۱۳
فرستنده‌های مدولاسیون دامنه ۱۲۰
منطقه‌های خروجی ۱۲۵
تطبیق تغذیه کنندهٔ آنتن به فرستنده ۱۲۶

۷ سیستمهای ارتباطی ۱۲۹
مقدمه ۱۲۹
مدارهای بین المللی ۱۲۹
CCIT و CCIR ۱۳۲

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

سیستمهای رادیو ـ رلهٔ UHF و SHF ۱۳۳

جوابهای عددی تمرینها ۱۳۷
هدفهای آموزش ۱۳۹
واژه‌نامهٔ فارسی ـ انگلیسی ۱۴۳
واژه‌نامهٔ انگلیسی ـ فارسی ۱۴۷
اختصارات ۱۵۱

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

مقدمه

این کتاب به‌منظور معرفی اصول مهندسی رادیو برای تکنسینهای رادیو نوشته شده است. تکنسینی که در رشتهٔ ارتباطات رادیویی کار می کند باید اطلاعات کافی از خطوط انتقال فرکانس رادیویی و آنتنها داشته باشد، چون این عوامل،عناصر اساسی هر سیستم رادیویی هستند. همچنین باید از روشهای مختلف پخش موج رادیویی از فرستندهٔ رادیویی تا گیرندهٔ رادیویی آگاهی داشته باشد و علاوه بر آن، با اصول عملکرد فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی ومدارهایی که در آنها به کار رفته است به خوبی آشنا باشد.

سه فصل اول کتاب اصول اساسی خطوط r.f.، آنتنها وپخش موج رادیویی را معرفی می کند. سپس، فصل چهارم مدارهای به کار رفته در گیرنده‌ها، مانند تقویت کننده‌های r.f و a.f، نوسان سازها و آشکارسازها، را مطرح می کند. فصلهای دیگر به ترتیب گیرنده‌های رادیویی، فرستنده‌های رادیویی و سیستمهای ارتباطات رادیویی را در بر می گیرد. بنابراین کتاب معرفی فشرده‌ای از سیستمهای ارتباطات رادیویی است که برای هرگونه آموزش مهندسی رادیو می تواند مناسب باشد.

مثالهای حل شدهٔ بسیاری در کتاب آورده شده است تا کاربرد اصول مورد بحث را نشان دهد و در هر فصل نیز تعدادی تمرین گنجانده شده است. جوابهای عددی مسائل در انتهای کتاب داده شده‌اند.

امید بر آن است که این کتاب جوابگوی برخی از سؤالهای جوانان مشتاق و علاقه‌مند به سیستمهای رادیویی باشد.

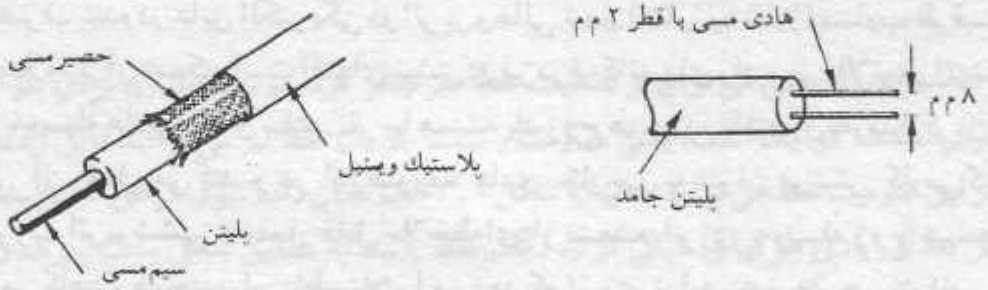
محمد رهبر
اسفندماه ۱۳۶۳

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

۱ خطوط انتقال بدون افت فرکانس رادیویی

مقدمه

خط انتقال شامل یك جفت هادی است که با عایقی از هم جدا شده‌اند و طول آن به‌اندازه‌ای است که زمان لازم برای اینکه ولتاژیا جریان داده شده در یك انتهای هادی بتواند خروجی ای در انتهای دیگر ارائه دهد، مساوی کسر قابل توجهی از زمان تناوب موج ولتاژیا جریان باشد. دو خط انتقال اصلی عبارتند از خط دوسیمه یا دوتایی که در شکل ۱ ـ الف و خط هم محور یا هم مرکزی که در شکل ۱ ـ ۱ب نشان داده شده است.



شکل ۱ ـ ۱ ساختمان (الف) کابل دو سیمه و (ب) کابل هم‌محور

اصول اساسی عملکرد خط انتقال و جزئیات ساختمانی انواع مختلف کابل در کتاب *سیستمهای انتقال در مخابرات*[1] مطرح شد. تضعیف، یا افت، خط انتقال با افزایش فرکانس بیشتر می شود ولی نه با همان سرعتی که طول موج علامت کاهش می یابد. به‌همین علت، گرچه تضعیف خط برمتر با فرکانس افزایش می یابد، ولی افت بر طول موج کاهش پیدا می کند. خطوط

۱. *سیستمهای انتقال در مخابرات*، نوشتهٔ دی. سی. گرین، ترجمهٔ محمد رهبر، انتشارات سروش.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

فرکانس رادیویی به‌عنوان تغذیه کننده‌ها جهت اتصال فرستنده‌های رادیویی به آنتن فرستنده و نیز برای اتصال گیرندهٔ رادیویی به آنتن گیرنده به‌کار می‌روند. خطوط R.F. (فرکانس رادیویی) همچنین دردستگاههای V.H.F. و U.H.F. به‌کار می‌روند تا به صورت عناصری، همچون القاکننده‌ها، و مدارهای تشدید عمل کنند. در این گونه کاربردها معمولا طولهای خط بزرگ نیستند، بنابراین تضعیف تغذیه کننده ضریب مهمی نیست و غالباً می‌توان از آن صرفنظر کرد.

خطوطی که به‌عنوان اجزای R.F. به‌کار می‌روند همیشه طول کوتاهی دارند. خطی که تضعیف آن تاحد قابل اغماضی کوچك باشد، اغلب **خط بدون افت** نامیده می‌شود.

خطوط انتقال تطبیق شده

وقتی که خط انتقالی به‌عنوان تغذیه کننده جهت اتصال فرستندهٔ رادیویی یا گیرندهٔ رادیویی به‌آنتن آن به‌کار می‌رود، لازم است که حداکثر توان ممکن را ازمنبع خود به‌بار منتقل کند. بدین معنا که خط باید به‌طور صحیحی **منتهی** شود، یعنی به مقاومتی منتهی شود که معادل **مقاومت مشخصهٔ** خط باشد. به چنین خطی **تطبیق شده** گویند.

ضرایب اولیهٔ خط

چهار ضریب اولیهٔ خط انتقال عبارتند از مقاومت و القای سری هادیها، وظرفیت و نشت جریان بین هادیها. تمام این چهارضریب در طول خط به‌طور یکنواخت پخش شده‌اند.

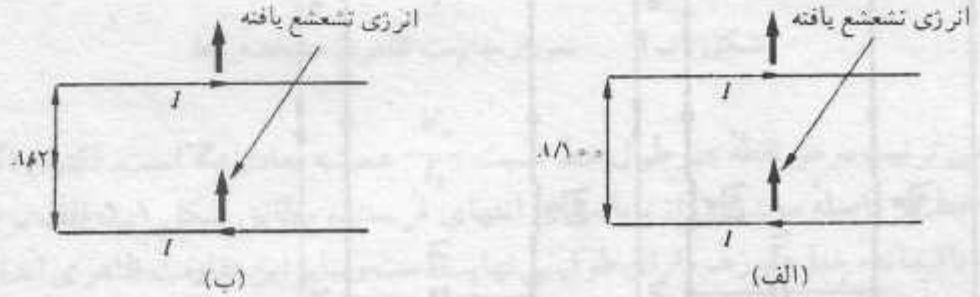
نشت جریان نشان دهندهٔ جاری شدن جریان ازمیان مقاومت عایق محدود شده بین هادیها و توان مصرف شده در عایق الکتریکی در اثر پروخالی شدن (شارژودشارژ) متناوب ظرفیت خط است. علاوه بر آن، ممکن است افتهای بیشتری نیزدر فرکانسهای رادیویی بالاتر در اثر تشعشع انرژی به‌وسیلهٔ هادیها اتفاق بیفتد. تقریباً همیشه یك زوج هم محور با اتصال به‌زمین کردن هادی خارجی آن عمل می‌کند و در این صورت هادی خارجی به‌عنوان پوشش کارمی‌کند. در این صورت **اثرپوششی** به‌مقدار قابل ملاحظه‌ای از تشعشع انرژی به‌وسیلهٔ زوج هم‌محور به خارج می‌کاهد و همچنین این اطمینان را می‌دهد که انرژی تولید شدهٔ خارجی نتواند ــ مگر به‌مقدار کم ــ به‌داخل نفوذ کند. بازده پوشش به‌ساختمان هادی خارجی بستگی دارد؛ وقتی که از یك لولهٔ مسی استفاده شود، اصلا تشعشعی صورت نمی‌گیرد و یا تشعشع ناچیز خواهد بود، ولی وقتی که یك توری مسی هادی خارجی را تشکیل دهد ــ همان طوری که در کابلهای قابل انعطاف به‌کار می‌رود ــ بازده پوششی به‌خوبی مورد قبلی نخواهد بود و با افزایش فرکانس کاهش می‌یابد.

اگر فاصلهٔ بین دوهادی یك خط دوسیمه به‌اندازهٔ کسر قابل توجهی ازطول موج باشد، دراین خط تشعشع صورت می‌گیرد؛ ولی اگر دوسیم از نظر الکتریکی به‌یکدیگر نزدیك باشند، انرژی تشعشع شده به‌وسیلهٔ یك سیم، انرژی تشعشع شده از سیم دیگر را خنثی می‌کند. به این علت که در

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

هر نقطه در طول خط، دوسیم حامل جریانهایی با دامنهٔ مساوی ولی فاز مخالف هستند. یعنی جریان در یك سیم در یك جهت و درسیم دیگر در جهت عکس جاری است.

به‌عنوان مثال به شکل ۱ـ۲ الف توجه شود که جریان جاری درخطی را نشان می دهد که هادیهای آن به اندازهٔ $\lambda/۱۰۰$ ازهم فاصله دارند. انرژی تشعشع شده به‌وسیلهٔ هادی پایینی در فاز مخالف با تشعشع حاصل ازهادی بالایی است وچون $\lambda/۱۰۰$ زاویهٔ $۳/۶^\circ$ را می دهد، دومیدان تقریباً به‌طور کامل خنثی می شوند. در فرکانس خیلی بالاتری همین دوهادی ممکن است به‌فاصلهٔ $\lambda/۲$ ازهم قرارداشته باشند (مطابق شکل ۱ ـ ۲ ب)، اکنون میدان تشعشع به‌وسیلهٔ هادی پایینی، که در ابتدا ۱۸۰° تأخیر فازدارد، باید فاصلهٔ $\lambda/۲$ را قبل ازرسیدن به میدان تشعشع هادی بالایی طی کند که در این صورت تأخیر فاز کلی ($۱۸۰^\circ + ۱۸۰^\circ$) یا ۳۶۰° را نسبت به‌میدان مربوط به‌هادی بالایی خواهد داشت. یعنی در این فرکانس میدانهای تولید شده بوسیلهٔ دوهادی با یکدیگر هم فازند و بنابراین خنثی نمی شوند.



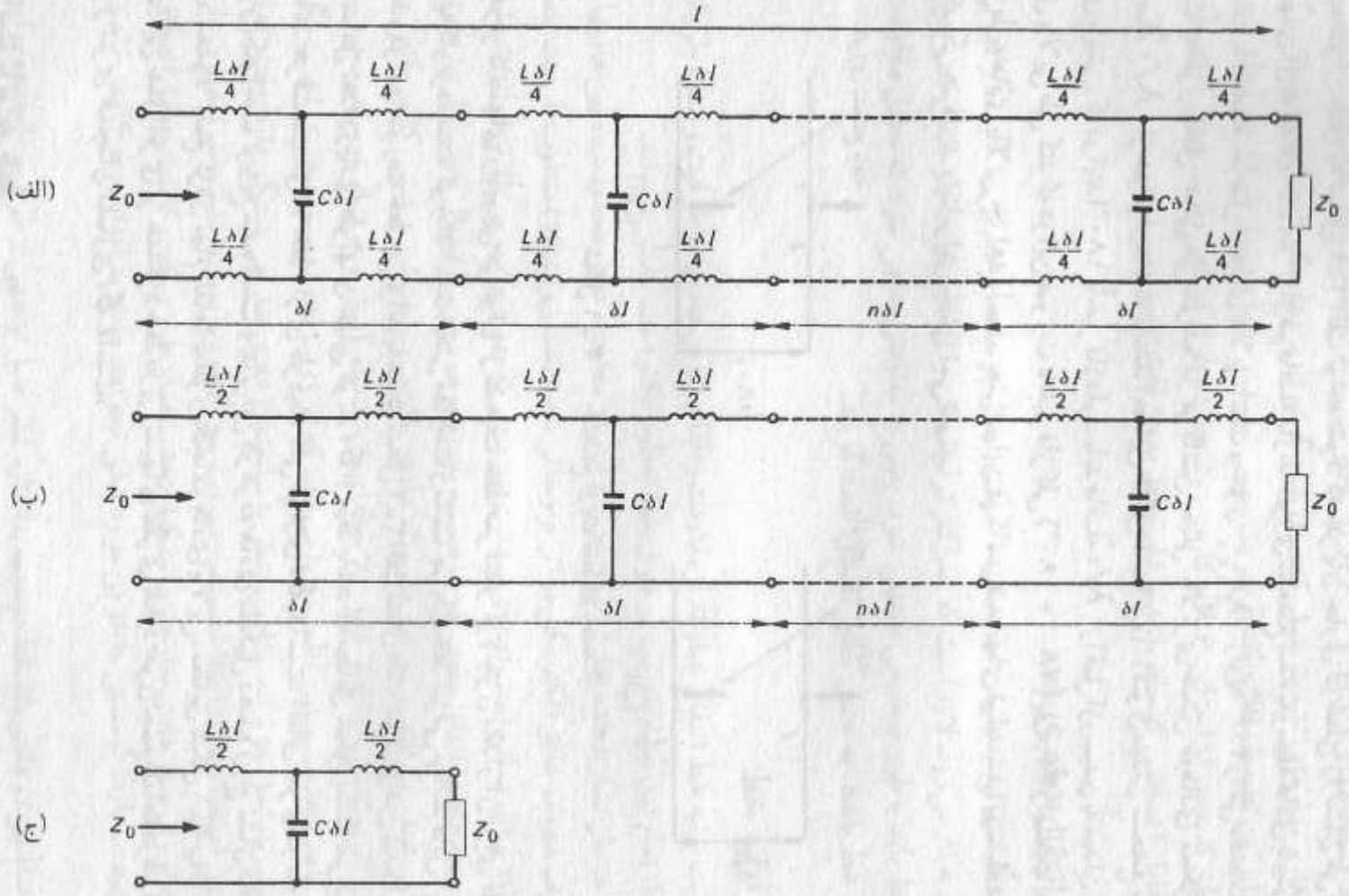
شکل ۱ ـ ۲ تشعشع از یك خط دو سیمه.

درفرکانسهای رادیویی می توان از تضعیف خط صرفنظر کرد چون مقدار آن برای طولهای خط به‌کار برده شده کوچك است. یعنی مقاومت و نشت جریان خط نیز می توانند قابل اغماض باشند ودر این صورت خط می تواند با شبکهٔ شکل ۱ـ۳ الف نشان داده شود. فرض شده است که خط شامل تعداد زیادی طولهای خیلی کوتاه δl از خط باشد که مطابق شکل پشت سرهم وصل شده‌اند. هرقسمت کوتاه خط دارای ظرفیت کلی موازی $C\delta l$ است. القای سری درطول خط به‌طور یکنواخت توزیع شده است و بنابراین در هردو هادی تشکیل دهندهٔ زوج نشان داده شده است. معمولا جمع کردن تمام القاها به‌طور یکجا در هادی بالایی، مطابق شکل ۱ـ۳ ب، آسان تر است؛ این عمل اثری بر عملکرد خط در بررسیهای نظری ندارد چون جمع القاها در هر قسمت به‌طور سری همچنان مساوی $L\delta l$ است.

ضرایب ثانویهٔ خط

ضرایب ثانویهٔ خط کارکرد آن را، وقتی که علامتی در فرکانس بخصوصی به پایانه‌های انتهای فرستنده‌اش داده شود، تعیین می کنند.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



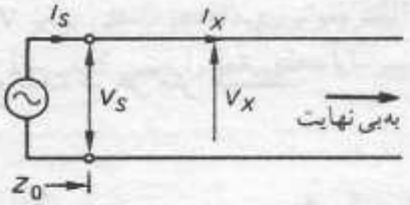
شکل ۱ـ۳ مدار معادل یك خط بدون افت

Prepared by Behshad Baradaran, spring 1395

مقاومت ظاهری مشخصه

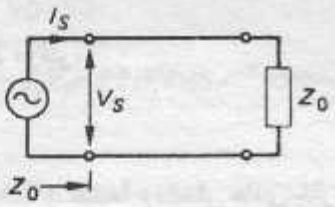
مقاومت ظاهری (پاگیری) مشخصهٔ Z_0 خط انتقال عبارت است از مقاومت ظاهری ورودی طول بی نهایتی از آن خط. شکل ۱ـ۴ طول بی نهایتی از خط را نشان می دهد؛ مقاومت ظاهری ورودی آن عبارتست از نسبت ولتاژ V داده شده به دو سر پایانه های انتهای فرستنده به جریان I جاری در خط، یعنی:

$$Z_0=\frac{V_s}{I_s} \qquad (۱ـ۱)$$

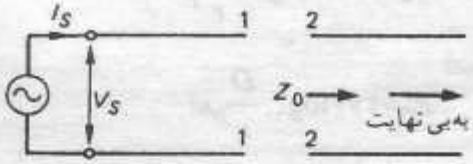


شکل ۱ـ۴ نمودار مقاومت ظاهری مشخصهٔ خط

به همین ترتیب در هر نقطهٔ x در طول خط نسبت $\frac{V_x}{I_x}$ همیشه معادل Z_0 است. اکنون اگر فرض شود خط در فاصلهٔ محدودی از پایانه‌های انتهای فرستنده مطابق شکل ۱ـ۵ الف بریده شده باشد، باقیماندهٔ خط هنوز هم دارای طول بی نهایت است و بنابراین مقاومت ظاهری اندازه گیری شده در پایانه‌های ۲ـ۲ معادل مقاومت ظاهری مشخصهٔ خط خواهد بود. پس قبل از اینکه خط بریده شود، پایانه‌های ۱ـ۱ به‌طور مؤثری در مقاومت ظاهری Z_0 منتهی شده بودند. شرایط در پایانه‌های ورودی تغییری نخواهند کرد، در صورتی که پایانه‌های ۱ـ۱ به مقاومت ظاهری فیزیکی معادل Z_0 بسته شوند. (مطابق شکل ۱ـ۵ ب).



(ب)



(الف)

شکل ۱ـ۵ نمودار مقاومت ظاهری مشخصهٔ خط به شکلهای مختلف

این تعاریف به‌تعریف عملی تری منجر می شود: مقاومت ظاهری مشخصهٔ خط انتقال عبارت است از مقاومت ظاهری ورودی خط در صورتی که به‌مقاومت ظاهری مشخصه منتهی شده باشد. وقتی که خطی به مقاومت ظاهری مشخصهٔ خود منتهی شده باشد گفته می شود که خط به‌طور

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

صحیحی منتهی شده است. بنابراین، وقتی که مدار معادل خط بدون افت (شکلهای ۱ـ۳ الف و ب) به مقاومت ظاهری مشخصهٔ Z_0 منتهی شود، مقاومت ظاهری اندازه گیری شده در پایانه‌های ورودی خط نیز برابر Z_0 خواهد بود. به همین ترتیب مقاومت ظاهری ورودی شبکهٔ دوم نیز برابر Z_0 است. یعنی اول شبکه‌های زنجیره‌ای به‌طور مؤثری به‌وسیلهٔ Z_0 منتهی شده‌اند و بنابراین مدار معادل خط می تواند به‌وسیلهٔ مدار شکل ۱ـ۳ ج خلاصه شود. مقاومت ظاهری مشخصهٔ یك خط انتقال بدون افت با رابطهٔ زیر نشان داده می شود:

$$Z_0=\sqrt{\frac{L}{C}} \text{ اهم} \qquad (۱ـ۲)$$

که L و C القا و ظرفیت توزیع شده در هر متر هستند.

مثال ۱ـ۱

یك خط انتقال فرکانس رادیویی دارای القای $۱۷۸/۵۷ \text{ nH/m}$ و ظرفیت آن $۷۱/۴۳ \text{ pF/m}$ است. مقاومت ظاهری مشخصهٔ آن را حساب کنید.

حل:
از رابطهٔ (۱ ـ ۲):

$$Z_0=\sqrt{\frac{۱۷۸/۵۷\times۱۰^{-۹}}{۷۱/۴۳\times۱۰^{-۱۲}}}=۵۰\,\Omega$$

مقادیر القای سری و ظرفیت موازی خط مطابق رابطه‌های (۱ـ۳) و (۱ـ۴) به ابعاد فیزیکی خط بستگی دارد:

برای خط هم‌محور با *فاصلهٔ هوا*:

$$Z_0=۱۳۸\ \log_{۱۰}\frac{R}{r} \text{ اهم} \qquad (۱ـ۳)$$

برای خط دوقلو:

$$Z_0=۲۷۶\log_{۱۰}\frac{D}{r} \text{ اهم} \qquad (۱ـ۴)$$

در رابطهٔ (۱ـ۳)، R شعاع داخلی هادی خارجی و r شعاع هادی داخلی است، در حالی که در رابطهٔ (۱ـ۴) D فاصلهٔ بین مراکز دو هادی و r شعاع هر کدام از هادیهاست. اگر هر کدام از کابلها از مادهٔ عایق یکنواخت بین هادیهای خود استفاده کنند مقاومت ظاهری مشخصه از مقدار Z_0 به $\frac{Z_0}{\sqrt{\varepsilon_r}}$ کاهش می یابد که ε قابلیت نفوذ نسبی مادهٔ عایق است.

مثال ۱ـ۲

یك کابل دوقلو هادیهایی با قطر ۲ م‌م دارد که به‌فاصلهٔ ۸ م‌م از هم عایق پلیتن جامد یکنواخت قرار گرفته اند. اگر

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

قابلیت نفوذ نسبی پلیتن برابر ۲/۳ باشد، مقاومت ظاهری مشخصهٔ کابل را حساب کنید.

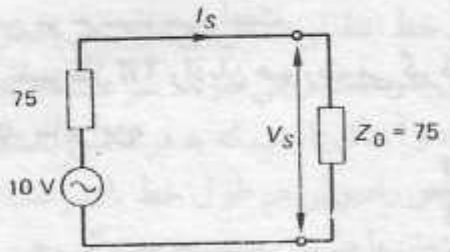
حل:
از رابطهٔ (۱ ـ ۴):

$$Z_0=\frac{۲۷۶}{\sqrt{۲/۳}}\log_{۱۰}\frac{۸}{۱}=۱۶۴/۴\Omega$$

مثال ۱ ـ ۳

یك خط انتقال فركانس رادیویی دارای مقاومت ظاهری مشخصهٔ ۷۵Ω است كه به‌دو سر پایانه‌های مولد (ژنراتور) علامت وصل شده است. مولد علامت دارای مقاومت ظاهری داخلی ۷۵Ω است و ولتاژ كنترل آن طوری تنظیم شده است كه نیروی الكتروموتوری (emf) داخلی برابر ۱۰V را بدهد. (الف) جریانی كه در خط جاری می‌شود، و (ب) ولتاژ دوسر پایانه‌های خط را تعیین كنید. خط به‌طور صحیحی منتهی شده است.

حل:
چون مقاومت ظاهری ورودی خطی كه به‌طور صحیح منتهی شده است، Z_0 است، شرایط در انتهای فرستندهٔ خط می‌تواند با مدار شكل ۱ـ۶ نشان داده شود.



شكل ۱ ـ ۶

(الف) از رابطهٔ ۱ـ۶:

$$I_s=\frac{۱۰}{۷۵+۷۵}=۶۶/۶۷\text{m}A$$

(ب)

$$V_s=I_sZ_0=۶۶/۶۷\times۱۰^{-۳}\times۷۵=۵\text{V}$$

ضریب تضعیف

با گذشتن موج ولتاژ یا جریان در طول خط انتقال به‌تدریج دامنهٔ آن كاهش می‌یابد، یا تضعیف می‌شود. **ضریب تضعیف** α عبارت است از تضعیف درهر متر. اكثر خطوط فركانسهای رادیویی طولهای نسبتاً كوتاهی دارند ومعمولا تضعیف آنها كم است. تضعیف خط اغلب به‌حدی كم است كه با صرفنظر كردن از تمام آن نیز خطای قابل توجهی صورت نمی‌گیرد. وقتی از تضعیف یك مدار صرفنظر می‌شود آن مدار بدون *افت* است؛ در این كتاب فقط خطوط بدون افت مطرح می‌شود.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

ضریب تغییر فاز

موج جریان (یاولتاژ) در طول خط با سرعت محدودی عبور می کند و بنابراین جریان (یاولتاژ) در انتهای یك متر طول از خط، نسبت به جریان (یاولتاژ) در نقطهٔ ورود به همان طول، تأخیر خواهد داشت. اختلاف فاز بین جریان (یاولتاژ) خط در دو نقطه به فاصلهٔ یك متر از هم را **ضریب تغییر فاز** β خط گویند که بر حسب رادیان بر متر اندازه گیری می شود. ضریب تغییر فاز تابعی از فرکانس علامت و نیز تابعی از القا و ظرفیت خط است:

$$\beta=\omega\sqrt{(LC)} \quad \text{rad/m} \qquad (۵_۱)$$

سرعت فاز انتشار

سرعت فاز خط عبارت است از سرعتی که با آن موج سینوسی از طول خط عبور می کند. هر موج سینوسی با سرعتی برابر یك طول موج در دور (سیکل) حرکت می کند. در هر ثانیه f دور وجود دارد، بنابراین موج سینوسی با سرعت فاز $f\lambda$ متر بر ثانیه حرکت می کند، یعنی:

$$v_p=\lambda f \text{ m/s} \qquad (۶_۱)$$

که λ طول موج و f فرکانس موج سینوسی است.

در فاصلهٔ یك طول موج، تغییر فاز 2π رادیان صورت می گیرد، در این صورت تغییر فاز در هر متر برابر $\frac{2\pi}{\lambda}$ رادیان است. بنابراین،

$$\beta=\frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{یا} \quad \lambda=\frac{2\pi}{\beta}$$

و

$$v_p=\lambda f=\frac{2\pi}{\beta}\times f=\frac{\omega}{\beta}$$

ولی از رابطهٔ (۱ ـ ۶) داریم: $\beta=\omega\sqrt{(LC)}$ بنابراین،

$$v_p=\frac{\omega}{\omega\sqrt{(LC)}}=\frac{1}{\sqrt{(LC)}} \quad \text{m/s} \qquad (۷_۱)$$

به‌عبارت دیگر علامتها در تمام فرکانسها در طول خط بدون افت با سرعت یکسانی حرکت می کنند. سرعت فاز قدری از سرعت نور کمتر است.

مثال ۱ـ۴

یك خط انتقال فرکانس رادیویی دارای القای ۲۶۳٫۲nH برمتر وظرفیت ۴۶۸pF بر متر است. (الف) مقاومت ظاهری مشخصهٔ آن. (ب) ضریب تغییر فاز آن در ۳۰MHz. و (ج) سرعت فاز انتشار آن را حساب کنید.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

حل:

(الف)
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{۲۶۳/۲\times۱۰^{-۹}}{۴۶/۸\times۱۰^{-۱۲}}} = ۷۵\Omega$$

(ب)
$$\beta = \omega\sqrt{(LC)} = ۲\pi\times۳۰\times۱۰^{۶}\times\sqrt{(۲۶۳/۲\times۱۰^{-۹}\times۴۶/۸\times۱۰^{-۱۲})}$$
$$= ۰/۶۶\ \text{rad/m} = ۳۸^{\circ}/\text{m}$$

(ج)
$$v_p = \frac{۱}{\sqrt{(LC)}} = \frac{۱}{\sqrt{(۲۶۳/۲\times۱۰^{-۹}\times۴۶/۸\times۱۰^{-۱۲})}} \simeq ۲/۸۵\times۱۰^{۸}\text{m/s}$$

ضریب تغییر فاز β را می‌توان با روش دیگری هم تعیین کرد:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{۲/۸۵\times۱۰^{۸}}{۳۰\times۱۰^{۶}} = ۹/۵\text{m}$$

$$\beta = \frac{۲\pi}{\lambda} = \frac{۲\pi}{۹/۵} = ۰/۶۶\text{rad/m}$$ (که همان جواب قبلی است)

سرعت گروهی انتشار

وقتی که موج مرکبی در طول خط انتقالی منتقل می‌شود، هر یك از مؤلفه‌های فرکانس موجود در موج با سرعت فاز مخصوص خود منتشر می‌شوند. سرعت فاز خط انتقال فرکانس رادیویی از رابطهٔ (۱ـ۷) به دست می‌آید و آشکار است که به فرکانس بستگی ندارد. به‌عبارت دیگر تمام مؤلفه‌های موج مرکب فرکانس رادیویی در طول خط با سرعت مشابهی منتشر می‌شوند و در نتیجه در انتهای دور خط همزمان با هم می‌رسند. **سرعت گروهی** خط فرکانس رادیویی معادل سرعت فاز مشترك مؤلفهٔ‌های فرکانس است و در نتیجه هیچ واپیچیدگی فرکانس / تأخیر گروهی وجود نخواهد داشت.

انتشار موج در طول خط

خط فرکانس رادیویی بدون افتی با طول ۱۰۰ متر در نظر گرفته می‌شود که به‌طور صحیحی در انتهای دور منتهی شده است. فرض بر این است که ضریب تغییر فاز در فرکانس بخصوصی مساوی $۴/۵^{\circ}$ بر متر است و ولتاژ سینوسی‌ای با مقدار رأس ۱ ولت به دو سر پایانه‌های انتهای فرستندهٔ آن داده شده است. چون خط بدون افت است ولتاژ در مدت حرکت در طول خط تضعیف نمی‌شود ولی تأخیر فازی را که به‌تدریج افزایش می‌یابد تحمل خواهد کرد. در فاصلهٔ ۱۰ متری از پایانه‌های ورودی، ولتاژ نسبت به ولتاژ انتهای فرستنده به‌اندازهٔ ۴۵° تأخیر خواهد داشت، در فاصلهٔ ۲۰ متری خط، تأخیر فاز ۹۰° است و به‌همین ترتیب برای بقیهٔ خط ادامه می‌یابد. تأخیر فاز ولتاژ خط نسبت به ولتاژ انتهای فرستنده در فواصل ۱۰ متری در طول خط در جدول ۱ـ۱ آورده شده است.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

جدول ۱ـ۱

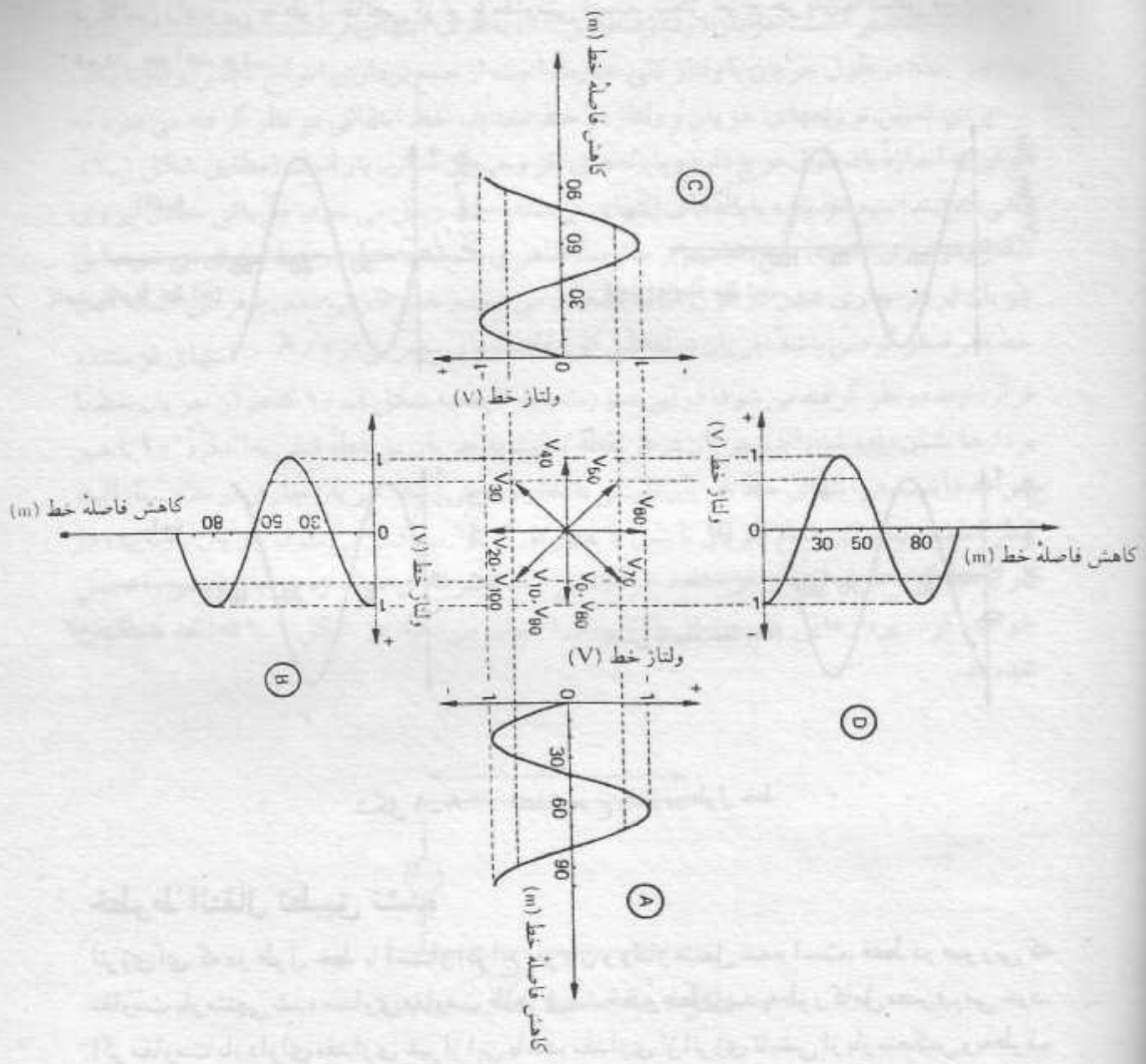
فاصله از انتهای فرستنده (m)	تأخیر فاز (°)	فاصله از انتهای فرستنده (m)	تأخیر فاز (°)
۰	۰	۶۰	۲۷۰
۱۰	۴۵	۷۰	۳۱۵
۲۰	۹۰	۸۰	۳۶۰
۳۰	۱۳۵	۹۰	۴۰۵
۴۰	۱۸۰	۱۰۰	۴۵۰
۵۰	۲۲۵		

برای نشان دادن مقدار (دامنه) و فاز یک ولتاژ نسبت به انتهای فرستنده، موقعی که در طول خط حرکت می کند، می توان از **نمودار قطبی** استفاده کرد. نمودار شامل یک سری بردارهایی است که با طول صحیح و در زاویهٔ درست رسم شده اند تا ولتاژهای خط را در نقاط مختلف خط نشان دهند. نمودار قطبی خط مورد بحث در شکل ۱ـ۷ نشان داده شده است.

در یک لحظه وقتی که ولتاژ انتهای فرستنده صفر است و می خواهد به‌طرف مثبت برود، ولتاژهای موجود در فواصل مختلف در طول خط را می توان با تصویر کردن نوک بردارهای مختلف به نقاط مربوط روی محور A به‌دست آورد که در شکل با خط چین نشان داده شده اند. شکل موجی که چگونگی تغییرات ولتاژ خط با فاصله را در این لحظهٔ بخصوص بر حسب زمان نشان می دهد با ترسیم منحنی صافی که نقاط رسم شده را به‌هم وصل می کند، حاصل می شود. بعد از یک ربع دورهٔ تناوب مقدار لحظه ای ولتاژ ورودی در مقدار رأس مثبت یعنی ۱ ولت خواهد بود. این شرایط با چرخاندن نمودار قطبی در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت با یک زاویهٔ ۹۰° و سپس تصویر کردن نوک بردارها بر روی محور B حاصل می شود. بردار نشان دهندهٔ ولتاژ انتهای فرستنده اکنون به‌طور عمودی به‌طرف بالا قرار گرفته است تا مقدار حداکثر مثبت را نشان دهد. بدین طریق با اتصال نقاط رسم شده بر روی محور B شکل موجی بدست می آید که چگونگی تغییرات ولتاژ خط بر حسب فاصله در این لحظه از زمان را نشان می دهد. شکل موجهای ولتاژ خط، در لحظات زمانی که ولتاژ ورودی ابتدا صفر و در حال رفتن به منفی است و بعد ولتاژ رأس منفی ــ که بر روی محورهای C و D رسم شده اند ــ نشان داده شده است. برای به دست آوردن شکل موج C، منحنی قطبی باید در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت با یک زاویهٔ ۹۰° حرکت کند، و سپس برای ارائهٔ شکل موج D باید یک زاویهٔ ۹۰° دیگر نیز حرکت کند.

اگر چهار شکل موجی که روی محورهای A، B، C و D در شکل ۱ـ۷ نشان داده شده است باز زیر یکدیگر رسم شوند (مطابق شکل ۱ـ۸) می توان دید که قسمت بخصوصی از شکل موج ولتاژ

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

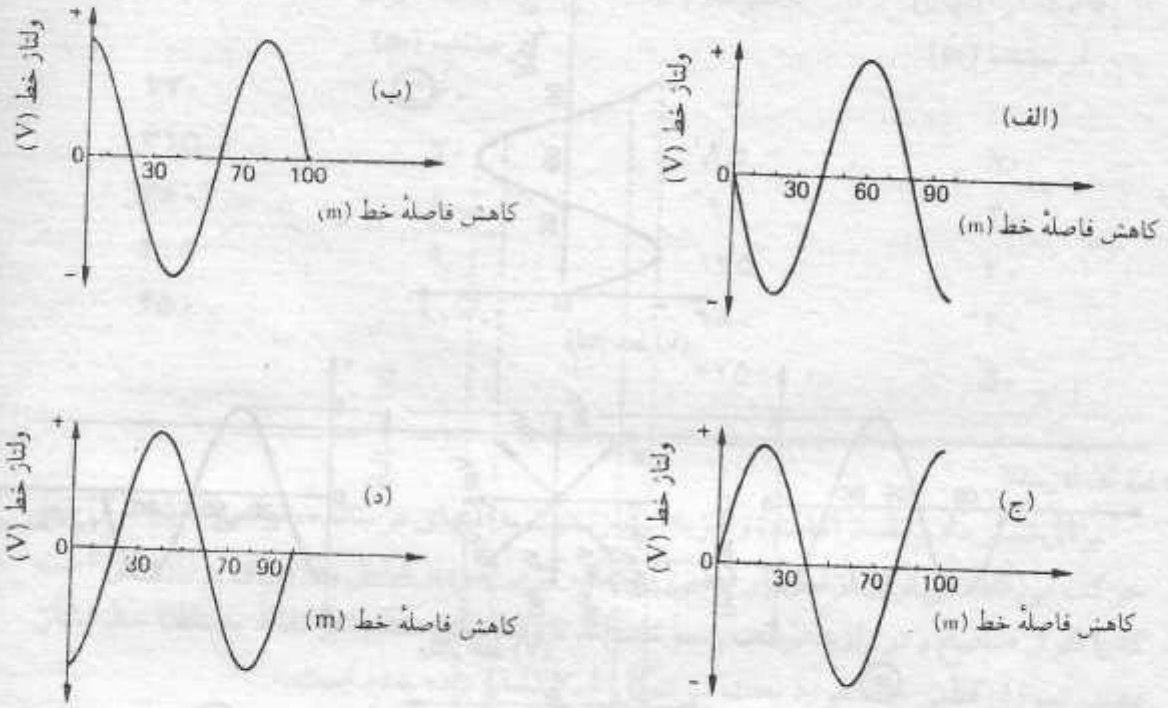


شکل ۱ـ۷ نمودار قطبی ولتاژها در طول خط بدون افت تطبیق شده

در طول خط حرکت می کند. به عنوان مثال اگر مقدار رأس منفی ۱– ولت درنظر گرفته شود، درشکل ۱ـ۸ الف این مقدار در یك نقطهٔ ۲۰ متری از انتهای فرستندهٔ خط اتفاق افتاده است. در شکل ۱ـ۸ ب، که شکل موج خط را در $T/4$ بعدی نشان می دهد و T زمان تناوب شکل موج ولتاژ ورودی است، رأس منفی به اندازهٔ ۲۰ متر دیگر در طول خط حرکت کرده است. به همین ترتیب، درهر حد فاصل زمانی دو $T/4$ بعدی، رأس منفی موج ولتاژیك ۲۰ متر دیگر حرکت می کند (ن. ك. به شکلهای ۱ـ۸ ج و د). طول موج علامت ۸۰ متر است. چون مقاومت ظاهری مشخصهٔ خط

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

فرکانس رادیویی به طور خالص از نوع مقاومتی است، شکل موج جریان با شکل موج ولتاژ هم فاز خواهد بود.



شکل ۱ـ۸ انتشار موج ولتاژ در طول خط

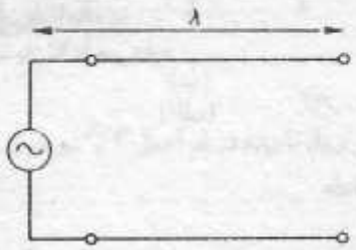
خطوط انتقال تطبیق نشده

انرژی ای که در طول خط با انتشار امواج جریان و ولتاژ منتقل شده است، فقط در صورتی که مقاومت بار منتهی شده مساوی مقاومت ظاهری مشخصهٔ خط باشد به‌طور کامل مصرف می شود. اگر مقاومت بار دارای مقداری غیر از این باشد، مقداری از انرژی تابشی از بار منعکس و به‌طرف انتهای فرستنده منتقل می شود. به‌عبارت دیگر کسری از جریان تابشی و نیز ولتاژ تابشی به‌وسیلهٔ بار منعکس می شود. ولتاژ (یا جریان) ظاهر شده در دوسر مقاومت بار عبارت است از جمع برداری ولتاژهای (یا جریانهای) تابشی بازتابیده در بار. دو مقدار نهایی ممکن برای مقاومت بار عبارتند از مدار باز (مقاومت ظاهری بی نهایت) و مدار اتصال کوتاه (مقاومت ظاهری صفر). در مدار باز هیچ جریانی جاری نیست و بنابراین هیچ توانی مصرف نمی شود. یعنی تمام جریان و ولتاژ تابشی به‌وسیلهٔ مدار باز منعکس می شود، جریان منعکس شده در فاز مخالف است، بنابراین این جریان کلی در مدار باز صفر است. به‌همین ترتیب، هیچ ولتاژی در دوسر یك مدار اتصال کوتاه نیست و مجدداً هیچ توانی نمی تواند مصرف شود. هم جریان و هم ولتاژ رسیده به مدار اتصال کوتاه به‌طور کامل منعکس می شوند، که ولتاژ تغییر فاز ۱۸۰° را تحمل می کند، بنابراین ولتاژ کلی در دوسر مدار

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

اتصال کوتاه صفر است. جریان وولتاژ منعکس شده به‌طرف انتهای فرستندهٔ خط منتشر می شود و در هر نقطه در طول جریان یا ولتاژ کلی عبارت است از جمع برداری امواج تابشی و بازتابیده.

برای تعیین توزیعهای جریان و ولتاژ در خط تشدید، خط انتقالی در نظر گرفته می شود که طولی به اندازهٔ یك طول موج دارد و پایانه‌های خروجی آن مدار ـ باز است (مطابق شکل ۱ـ۹). وقتی که ابتدا منبع تغذیه به پایانه‌های انتهای فرستندهٔ خط وصل می شود، جریانی معادل نیروی الکتروموتوری (emf) منبع، تقسیم بر مقاومت ظاهری مشخصهٔ خط، در خط جاری می شود. این جریان در اثر جاری شدن در طول خط، تضعیف می شود و تغییر فاز می دهد. به‌فرض اینکه افت خط صرفنظر کردنی باشد جریان در نقاطی که به‌فاصله‌های مضربی از $\lambda/4$ از انتهای فرستنده قرار دارند درنظر گرفته می شود. در این صورت با مراجعه به شکل ۱ـ۱۰ که در آن جریان خط با بردارها نشان داده شده‌اند، جریان درهر نقطه نسبت به جریان در نقطهٔ قبلی به‌اندازهٔ 90° *تأخیر* خواهد داشت. در انتهای خط جریان *تابشی* به‌مدار ـ باز می رسد. جریان جاری در مدار ـ باز البته صفر است و بنابراین تمام جریان تابشی با تغییر *فاز* 180° منعکس می شود. جریان بازتابیده در طول خط که به‌طرف انتهای فرستنده حرکت می کند، تغییر فازی به‌اندازهٔ جریان تابشی را تحمل خواهد کرد. بردارهایی که جریان بازتابیده را نشان می دهند در شکل ۱ـ۱۱ الف مشخص شده‌اند.

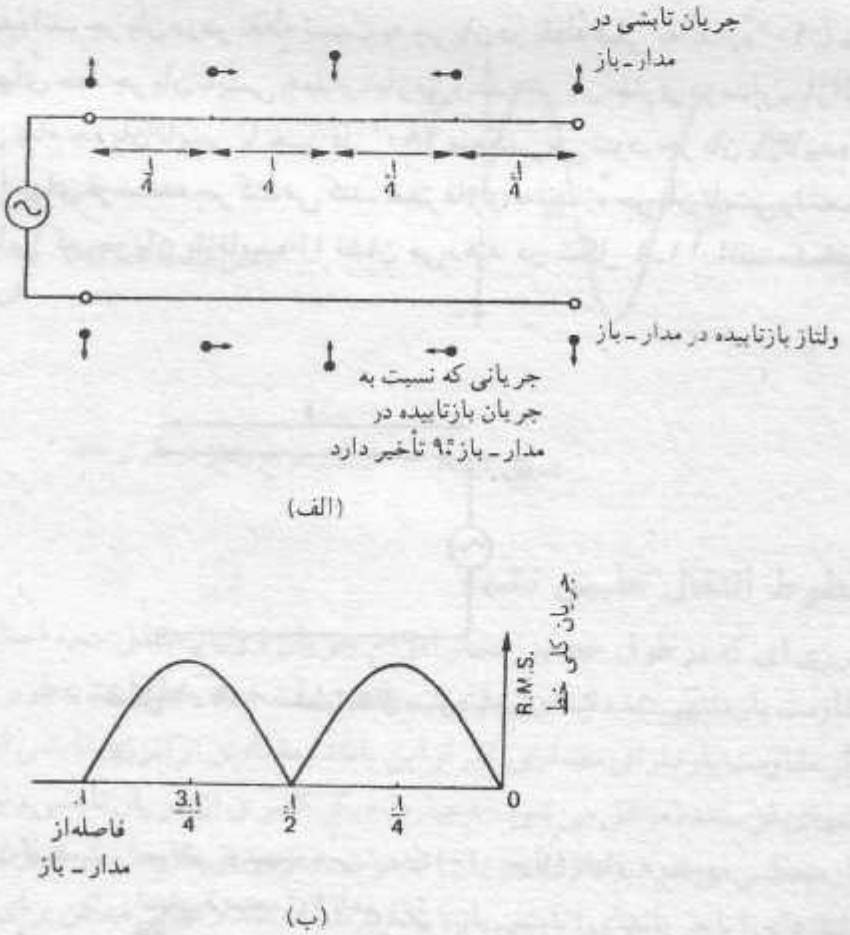


شکل ۱ ـ ۹ خط انتقال مدار ـ باز

شکل ۱ ـ ۱۰ نمایش انتقال جریان تابشی در طول خط بدون افت با طول یك طول موج

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

جریان کلی خط در هر نقطه عبارت است از جمع برداری جریانهای تابشی و بازتابیده. در مدار ـ باز جریانهای تابشی و بازتابیده در فاز مخالفند و بنابراین جمع برداری آنها صفر است. در فاصلهٔ یك ربع طول موج از مدار ـ باز، دو جریان هم فازند و جمع برداری آنها برابر جریان تابشی است. در فاصلهٔ نصف طول موج از مدار ـ باز جریانها دوباره در فاز مخالفند و جمع برداری آنها مجدداً صفر است و به‌همین ترتیب. اگر مقادیر جذرمیانگین مجذور (r.m.s) جریان کلی در هر نقطه رسم شود شکل موج نشان داده شده در شکل ۱ـ۱۱ ب حاصل می‌شود. نقاط جریان حداکثر، یا ضدگرهی، همیشه در نقاط ثابت در خط تشکیل می‌شوند و همچنین نقاط با جریان ثابت، یا گره‌ها، همیشه ثابت هستند. در این صورت موج را **موج ساکن** گویند.

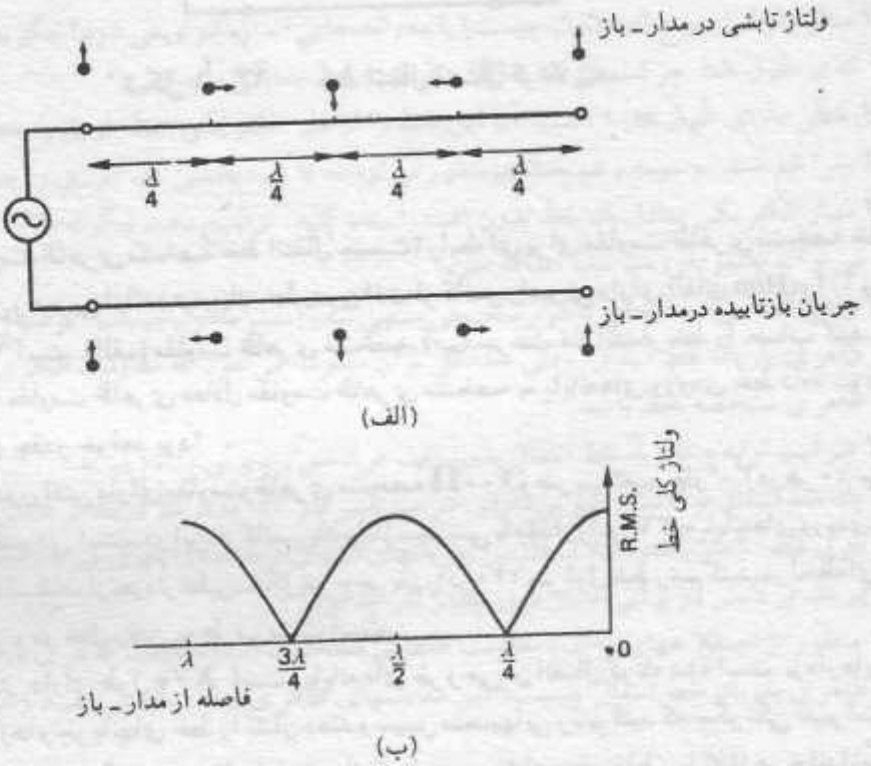


شکل ۱ـ۱۱ (الف) جریانهای تابشی و بازتابیده در فواصل $\lambda/4$ در طول خط مدار ـ باز بدون افت، و (ب) مقدار جذر میانگین مجذور جریان کلی در هر نقطه

حال اگر ولتاژهای موجود در خط در نظر گرفته شوند، بردارهای شکل ۱ـ۱۲ الف حاصل می‌شوند. ولتاژ تابشی رسیده به‌انتهای مدار ـ باز خط به‌طور کامل با *تغییر فاز صفر بازتابیده* می‌شود. بنابراین در مدار ـ باز، ولتاژ کلی دو برابر ولتاژ تابشی است؛ در فاصلهٔ ربع طول موج، ولتاژ

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

کلی صفر و در فاصلهٔ نصف طول موج، ولتاژ کلی مجدداً دو برابر ولتاژ تابشی خواهد بود، و به‌همین ترتیب. در شکل ۱ـ۱۲ ب مقدار r.m.s. ولتاژ کلی خط که بر حسب فاصله از مدار ـ باز است، رسم شده است.

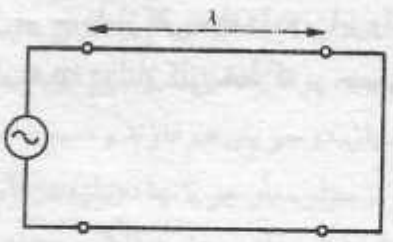


شکل ۱ـ۱۲ (الف) ولتاژهای تابشی و بازتابیده در فواصل $\lambda/4$ در طول خط مدار ـ باز بدون افت، و (ب) مقدار r.m.s. ولتاژ کلی هر نقطه

از شکلهای ۱ـ۱۱ ب و ۱ـ۱۲ ب دو چیز باید مورد توجه قرار گیرد: اولا، منحنی موج ساکن ولتاژ به‌اندازهٔ یك ربع طول موج نسبت به‌منحنی موج ساکن جریان جابه‌جا شده است. ثانیاً، شرایط جریان و ولتاژ در مدار ـ باز در فواصل نصف طول موج در طول خط تکرار شده است.

شکل ۱ـ۱۳ طولی از خط را نشان می دهد که پایانه‌های خروجی آن اتصال کوتاه شده است. امواج جریان تابشی و ولتاژ به پایانه‌های ورودی خط جاری و به‌طرف انتهای گیرنده منتشر می شوند. در اینجا هم جریان و هم ولتاژ کاملا بازتابیده می شوند، یعنی جریان با تغییر فاز صفر و ولتاژ با تغییر فاز ۱۸۰°. این وضعیت عکس حالتی است که پایانه‌های مدار باز هستند. بنابراین شکل ۱ـ۱۱ الف را نیز می توان برای نشان دادن وضعیت برداری ولتاژهای تابشی و بازتابیده در خط اتصال کوتاه شده به‌کار برد. شکل ۱ـ۱۱ ب نشان می دهد که r.m.s. ولتاژ کلی در خط مدار اتصال کوتاه شده، در اثر فاصله گرفتن از اتصال کوتاه، تغییر می کند. به‌همین ترتیب شکل ۱ـ۱۲ ب تغییرات r.m.s. جریان کلی نسبت به فاصله را بر روی خط اتصال کوتاه شده نشان می دهد.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۱ـ۱۳ خط انتقال اتصال کوتاه شده

تمرینها

۱ـ۱ منظور از *مقاومت ظاهری* مشخصهٔ خط انتقال چیست؟ رابطه ای برای مقاومت ظاهری مشخصهٔ خط بدون افت فرکانس رادیویی ارائه دهید. یك خط بدون افت فرکانس رادیویی دارای القای ۱/۲ μH/m وظرفیت ۱۳۳۲pF/m است. (الف) مقاومت ظاهری مشخصه، (ب) سرعت فاز انتشار خط را حساب کنید. اگر یك منبع ۱۰۷ با مقاومت ظاهری معادل مقاومت ظاهری مشخصه به پایانه‌های ورودی خط داده شود جریان جاری در آن چقدر خواهد بود؟

۱ـ۲ خط انتقال بدون افتی دارای مقاومت ظاهری مشخصهٔ ۶۰۰Ω وضریب تغییر فاز ۳۰° در هر ۱۰ متر در یك فرکانس بخصوص است. در این فرکانس یك ولتاژ سینوسی با مقدار رأس ۳V به پایانه‌های ورودی خط داده شده است. با استفاده از نمودار قطبی، شکل موج جریان را در ۱۲۰ متر اول خط رسم کنید، در لحظه‌ای که ولتاژ ورودی صفر و در حال رفتن به طرف مثبت است.

۱ـ۳ خط بدون افتی دارای طول ۴/λ است وپایانه‌های خروجی آن اتصال کوتاه شده است. بردارهایی را رسم کنید که ولتاژها و جریانهای خط را نشان دهند و سپس منحنیهایی رسم کنید که چگونگی تغییرات r.m.s. جریان وولتاژ را در خط نسبت به فاصله از اتصال کوتاه شده، نشان دهد. نقاطی را که از هم به اندازهٔ ۱۶/λ فاصله دارند مشخص کنید.

۱ـ۴ منظور از این مفاهیم چیست؟ (الف) مقاومت ظاهری مشخصه، و (ب) ضریب تغییر فاز یك خط بدون افت. خط بدون افتی دارای مقاومت ظاهری مشخصهٔ ۵۰۰Ω است و به‌طور صحیح منتهی شده است. در انتهای فرستنده جریان ۱A به‌داخل خط جاری می شود. توان مصرف شده دربار را حساب کنید.

۱ـ۵ اصطلاحهای زیر را که در رابطه با خطوط انتقال به‌کار می روند تعریف کنید: (الف) بدون افت، (ب) موج ساکن، (ج)موج تابشی، (د)موج بازتابیده، (هـ) منتهی شدن غیر صحیح.

۱ـ۶ (الف) تضعیف خط انتقال با افزایش فرکانس بیشتر می شود، با وجود این اغلب از تضعیف خط فرکانس رادیویی صرفنظر می شود. توضیح دهید علت این امر چیست؟ (ب) شکل موجهای ولتاژ در طول خط انتقال تطبیق شده را رسم کنید به‌صورتی که نشان دهد چگونه یك موج از پایانه‌های ورودی به‌طرف بار پیش می رود.

۱ـ۷ اصطلاحهای زیر را که در رابطه با خطوط انتقال به‌کار می روند تعریف کنید: (الف) مقاومت ظاهری مشخصه، (ب) ضریب تغییر فاز، (ج)سرعت فاز، (د) سرعت گروهی، (هـ) موج ساکن.

۱ـ۸ خط انتقالی دارای مقاومت ظاهری مشخصهٔ ۵۰Ω است. طول ۱۰۰ متر از این خط دارای پایانه‌های انتهایی بسته با مقاومت ۵۰Ω است. مقاومت ظاهری ورودی خط چقدر است؟ اگر مقاومت ۵۰ اهمی حذف شود و به جای آن پایانه‌ها به پایانه‌های ورودی یك خط دیگر با طول ۲۵ متر وصل شوند، مقاومت ظاهری ورودی چقدر خواهد بود؟ خط دوم دارای مقاومت ظاهری مشخصهٔ ۵۰Ω است و به‌طور صحیحی منتهی شده است.

۱ـ۹ خط انتقالی دارای القای ۱۵μH/m وظرفیت ۱۳pF/m است. مقاومت ظاهری مشخصه وسرعت فاز انتشار

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

خط را حساب کنید.

۱ـ۱۰ یك خط بدون افت فرکانس رادیویی دارای مقاومت ظاهری مشخصهٔ $۶۰\ \Omega$ و سرعت فاز انتشار $۲/۸\times۱۰^{۸}\ m/s$ است. القا و ظرفیت در هرمتر آن را حساب کنید.

تمرینهای کوتاه

۱ـ۱۱ منظور از *طول موج* یك علامت چیست؟ با چه واحدهایی اندازه‌گیری می‌شود؟ چگونه طول موج یك علامت که در طول خط حرکت می‌کند به القا و ظرفیت خط بستگی دارد؟

۱ـ۱۲ خطی دارای طول $۱۰\ m$ است. آیا این خط را از نظر الکتریکی خط طویل یا خط کوتاه می‌نامند؟

۱ـ۱۳ چرا هم خط دو سیمه و هم خط هم‌محور می‌توانند با خودبخشی کم، انرژی را جابه‌جا کنند؟

۱ـ۱۴ مدار الکتریکی معادل یك خط بدون افت را رسم کنید. توضیح دهید چگونه مقاومت خط و افت جریان می‌تواند به نمودار رسم شده اضافه شود؟

۱ـ۱۵ وقتی گفته می‌شود خطی به‌طور صحیحی منتهی شده است منظور چیست؟ توضیح دهید چرا در مقاومت ظاهری باریك خط انتقال، وقتی حداکثر توان مصرف می‌شود که مقاومت ظاهری بار مساوی مقاومت ظاهری مشخصهٔ خط باشد.

۱ـ۱۶ ضرایب اولیه و ثانویهٔ خط انتقال بدون افت فرکانس رادیویی را نام ببرید.

۱ـ۱۷ یك خط انتقال فرکانس رادیویی دارای ضریب تغییر فاز $۱/۲^{\circ}$ در هرمتر در یك فرکانس بخصوص است. اگر طول خط ۱۰ متر باشد اختلاف فاز بین جریانهای انتهای فرستنده و انتهای گیرنده چقدر است؟ اختلاف در یك فرکانس دو برابر مقدار فوق چقدر خواهد بود؟

۱ـ۱۸ منظور از اصطلاحهای (الف) مقاومت ظاهری مشخصه، (ب) مقاومت ظاهری ورودی، و (ج) مقاومت ظاهری باریك خط انتقال چیست؟ این مقاومتهای ظاهری چه رابطه‌ای باهم دارند؟

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

۲ آنتنها

مقدمه

در یك سیستم رادیو یی، چه برای ارتباطات نقطه به نقطه و چه برای پخش تلویزیونی و یا صوتی از علامت خبری برای مدوله کردن موج حامل فرکانس رادیو یی استفاده می شود و موج مدوله شده به‌صورت موج الکتر ومغناطیسی به‌وسیلهٔ **آنتن فرستنده** در داخل آتمسفر منتشر می شود. برای دریافت علامت، موج الکتر ومغناطیسی باید به‌وسیلهٔ **آنتن گیرنده** گرفته شود. عملکرد یك آنتن، چه برای ارسال و چه برای دریافت یکسان است، اختلاف اصلی در مقادیر توانهای مربوط است. توان ارائه شده به‌وسیلهٔ آنتن ممکن است خیلی زیاد ــ شاید چندین کیلو وات ــ باشد، ولی توان جذب شده به‌وسیلهٔ آنتن گیرنده خیلی کم ــ احتمالا فقط یك میکرووات یا در این حدود ــ باشد.

تشعشع از یك آنتن

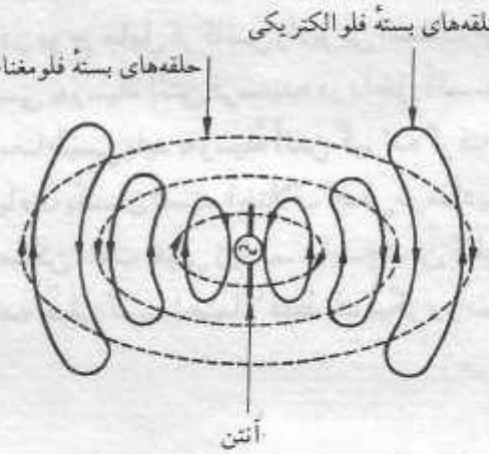
هر گاه جریانی در یك هادی جاری شود، اطراف هادی را میدان مغناطیسی ای احاطه می کند که جهت آن با جهت جریان تعیین می شود. اگر جریان تغییر کند، میدان مغناطیسی هم تغییر می کند. همچنین میدان مغناطیسی متغیر همیشه یك میدان الکتریکی را تولید می کند که فقط تا زمانی وجود خواهد داشت که میدان مغناطیسی به تغییرات خود ادامه دهد. زمانی که میدان مغناطیسی ثابت شود میدان الکتریکی محو خواهد شد. جهت میدان الکتریکی به رشد یا نشست میدان مغناطیسی بستگی دارد و می تواند با استفاده از قانون لنز[1] تعیین شود. به‌همین ترتیب تغییرات میدان الکتریکی همیشه یك میدان مغناطیسی را تولید می کند؛ به‌عبارت دیگر هادی حامل جریان متناوب به‌وسیلهٔ میدانهای متغیر پیوستهٔ مغناطیسی و الکتریکی ای احاطه می شود که کاملا به‌یکدیگر وابسته‌اند. گرچه میدان الکتریکی ثابت می تواند بدون وجود میدان مغناطیسی نیز موجود باشد و بالعکس، ولی غیر ممکن است هر کدام از میدانها در حالی که متغیر هستند به طور

1. Lenz's law

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

جداگانه وجود داشته باشند.

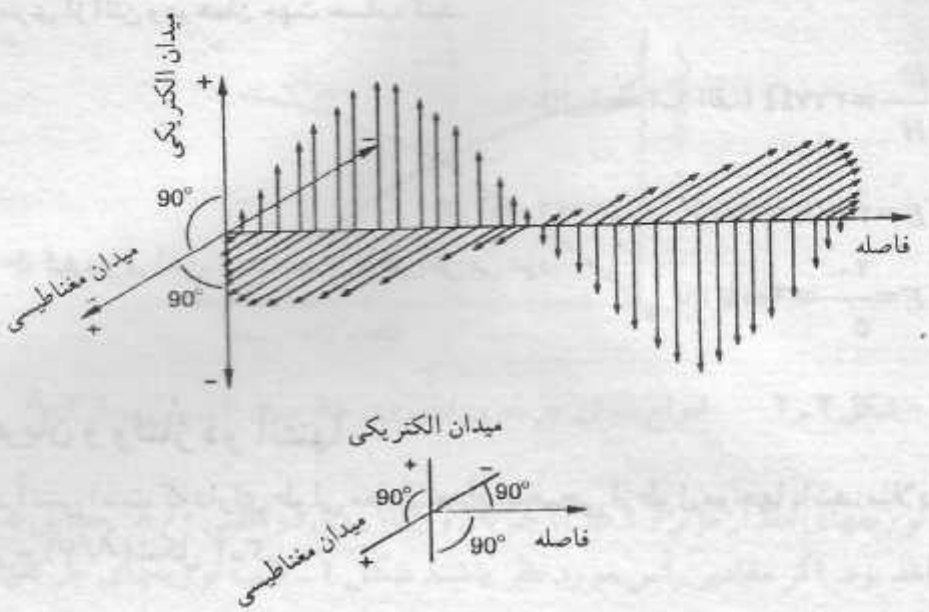
اگر جریانی سینوسی در هادی جاری شود میدانهای الکتریکی و مغناطیسی اطراف هادی نیز به‌طور سینوسی تغییر می کنند. وقتی جهت جریان عوض می شود میدان مغناطیسی باید ابتدا به‌داخل هادی نشست کند و سپس در جهت عکس توسعه یابد. برای نشست میدان مغناطیسی و میدان الکتریکی مربوط به آن زمان محدودی لازم است، ولی در فرکانسهای بالای حدود ۱۵kHz، تمام انرژی موجود در میدان، تا لحظهٔ شروع افزایش در جهت عکس جریان، به هادی بر نمی گردد و میدانهای الکتریکی و مغناطیسی جدیدی را به‌وجود می آورد. این انرژی باقیمانده در خارج هادی که نمی تواند دوباره به آن برگردد در عوض با سرعت نور (تقریباً $3\times10^8 m/s$) از هادی دور و منتشر می شود (ن. ك. به شکل ۲ـ۱). مقدار انرژی ای که از هادی تشعشع شده است با افزایش فرکانس افزوده می شود، چون در این صورت انرژی بیشتری قادر به برگشت مجدد به هادی نخواهد بود.



شکل ۲ـ۱ تشعشع از یك آنتن

انرژی تشعشع یافته از هادی یا آنتن، که معروف به *میدان تشعشع یافته* است، به‌شکل موج *الکترومغناطیسی* است که در آن تغییر مداوم انرژی بین میدانهای الکتریکی و مغناطیسی وجود دارد. در یك موج الکترومغناطیسی میدانهای الکتریکی و مغناطیسی عمود بر یکدیگرند و در هر لحظه هر دو نسبت به امتداد تشعشع نیز عمودند، مطابق شکل ۲ـ۲. صفحه‌ای را که شامل میدان الکتریکی و امتداد تشعشع موج الکترومغناطیسی است، صفحهٔ *قطبی شدن موج* گویند. به‌عنوان مثال، اگر میدان الکتریکی در صفحهٔ عمودی باشد، میدان مغناطیسی در صفحهٔ افقی است و موج را با قطبیت عمودی گویند. یك موج با قطبیت عمودی در هر هادی عمودی سر راه خود، یك نیروی الکتروموتوری القا می کند، زیرا میدان مغناطیسی اش هادی را قطع می کند، ولی هیچ اثری بر هادی افقی نخواهد داشت.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۲ـ۲ موج الکترومغناطیسی

در مجاورت یك آنتن، میدانهای الکتریکی و مغناطیسی نسبت به‌میدان تشعشع یافته مقدار بیشتر و فاز نسبی مختلفی دارند. علتش این است که علاوه بر میدان تشعشع یافته، **میدان القایی** نیز نزدیك یك آنتن وجود دارد. میدان القا انرژی ای را نشان می دهد که از آنتن تشعشع نشده است، یعنی انرژی ای که می تواند به‌هادی برگردد، و مقدار آن با عکس مجذور فاصله از آنتن کاهش می یابد. مقدار **میدان تشعشع یافته** نسبت مستقیم با فرکانس موج و نسبت عکس با فاصله از آنتن دارد. نزدیك آنتن، میدان القا بزرگ‌تر از میدان تشعشع است، ولی در فاصله‌های بیش از $\lambda/2\pi$ میدان تشعشع بزرگ‌تر خواهد بود که در آن λ طول موج علامت تشعشع یافته از آنتن است.

دامنه‌های میدان الکتریکی E، و میدان مغناطیسی Hدر موج الکترومغناطیسی رابطهٔ ثابتی نسبت به‌همدیگر دارند. این رابطه *مقاومت ظاهری فضای آزاد* نام دارد و عبارت است از نسبت شدت میدان الکتریکی به شدت میدان مغناطیسی، یعنی:

$$\text{مقاومت ظاهری فضای آزاد} = \frac{E(\text{ولت بر متر})}{H(\text{آمپر ـ دور بر متر})} \qquad (۲ ـ ۱)$$

$$= ۱۲۰\pi \text{ اهم} \qquad (۲ـ۱ \text{ الف})$$

$$= ۳۷۷\Omega$$

معمولا دامنهٔ موج رادیویی را به شدت میدان الکتریکی آن ارجاع می دهند.

مثال ۲ـ۱

شدت میدان مغناطیسی در فاصلهٔ ۱۰Km از آنتن انتقال ۰/۰۵۳ در کیلومتر است. شدت میدان الکتریکی را

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

در ۵۰ کیلومتری از آنتن و در همان جهت حساب کنید.

$$\frac{E}{H}=۳۷۷\Omega \quad \text{(از رابطهٔ ۲ـ۱ الف)}$$

یا

$$E=۳۷۷H=۳۷۷\times ۰/۰۵۳\simeq ۲۰\,\mathrm{mV/m}$$

بنابراین در ۵۰ کیلومتری آنتن، شدت میدان الکتریکی می شود:

$$E=\frac{۲۰}{۵}=۴\,\mathrm{mV/m}$$

توزیع جریان و ولتاژ در آنتنها

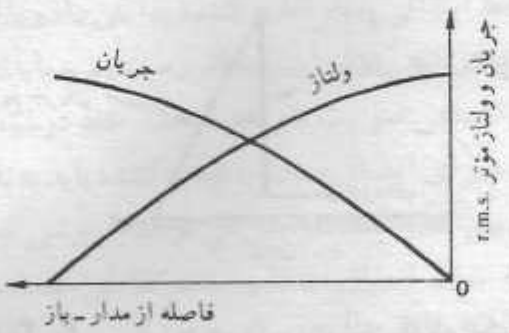
آنتن تشدید آنتنی است که دارای طولی معادل تعداد صحیحی از طول موجها باشد، مثلا دو قطبی نیم‌طول موج ($\lambda/۲$) شکل ۲ـ۳.

شکل ۲ ـ ۳ دو قطبی نیم‌موج

توزیعهای جریان و ولتاژهای مؤثر (r.m.s.) در خط بدون افت مدار ـ باز که طولش یك طول موج است به ترتیب در شکلهای ۱ ـ ۱۱ ب و ۱ ـ ۱۲ ب نشان داده شده است و با استفاده از این منحنیها به سادگی می توان امواج ساکن جریان و ولتاژ را روی طول $\lambda/۴$ به دست آورد که در شکل ۲ ـ ۴ نشان داده شده است.

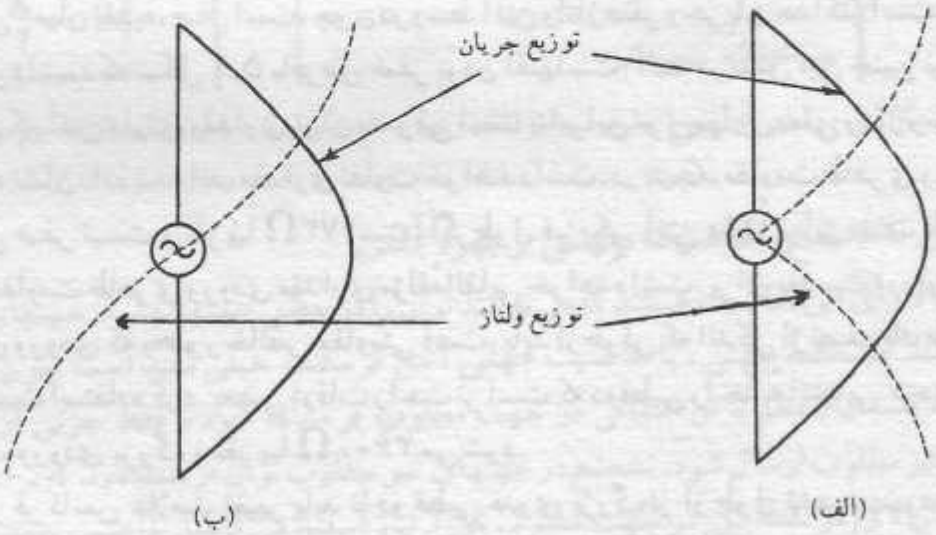
اگر دو هادی که خط انتقال را می سازند هر کدام به اندازهٔ ۹۰° باز شوند تا **آنتن دو قطبی** را بسازند، در این صورت نیز الگوهای موج ساکن مشابهی حاصل می شوند. وقتی که هادیها باز می شوند شروع به تشعشع انرژی می کنند، تا موقعی که جدایی آنها کسر قابل توجهی از طول موج شود و افتهای حاصل به مقدار جزئی، الگوی موج ساکن را تغییر دهد. چون هر هادی دارای طولی به اندازهٔ ربع موج است یك دو قطبی $\lambda/۲$ ساخته می شود. با توجه به شکل ۲ـ۴ نشان داده می شود که برای خط مدار ـ باز با طول $\lambda/۴$ جریان از صفر در مدار ـ باز به یك مقدار حداکثری می رسد، در حالی که ولتاژ از مقدار حداکثر در مدار ـ باز به صفر در پایانه‌های ورودی می رسد.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۲ ـ ۴ امواج ساکن جریان و ولتاژ روی خط بدون افت مدار ـ باز $\lambda/4$

بنابراین توزیعهای مقدار مؤثر (r.m.s.) جریان و ولتاژ روی دو قطبی $\lambda/2$ مطابق شکل ۲ ـ ۵ الف خواهد بود. اگر مقادیر رأس مورد نظر باشند شکل ۲ ـ ۵ ب توزیعهای جریان و ولتاژ را نشان می‌دهد.

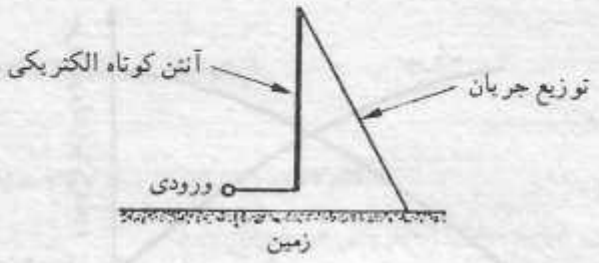


شکل ۲ ـ ۵ توزیعهای جریان و ولتاژ روی دوقطبی نیم‌موج (الف) مقادیر مؤثر r.m.s.، و (ب) مقادیر رأس

آنتنهای کوتاه الکتریکی برای فرکانسهای کم و متوسط به‌کار برده می‌شوند، چون در این فرکانسها عملا نمی‌توان آنتنی ساخت که طول آن قابل مقایسه با طول موج علامت باشد. به‌عنوان مثال، نصف طول موج در ۳۰۰ kHz برابر ۵۰۰ m و در ۳۰ kHz برابر 5km است.

بنابراین در نوارهای امواج کوتاه و متوسط، آنتنهای فرستنده بلافاصله در بالای زمین نصب و بین پایهٔ آنتن و زمین تغذیه می‌شوند. در چنین آنتنی که طول آن نسبت به‌طول موج علامت کوتاه است، مثلا $\lambda/16$ یا کمتر، توزیع جریان، مطابق شکل ۲ـ۶، خطی خواهد بود.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۲ـ۶ توزیع جریان روی آنتن کوتاه الکتریکی

مقاومت ظاهری آنتن

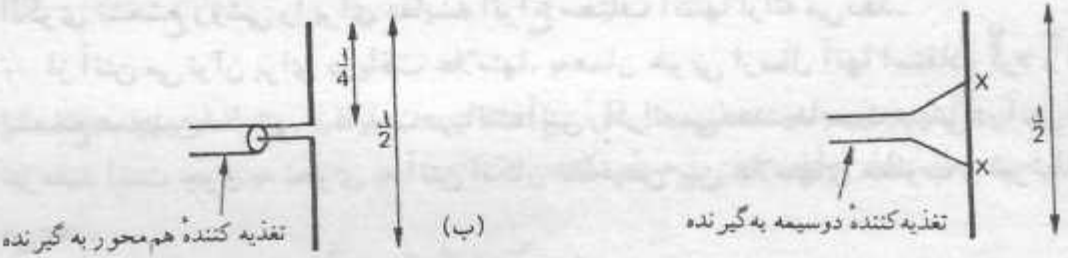
مقاومت ظاهری عبارت است از نسبت ولتاژ به جریان. با توجه به توزیعهای ولتاژ و جریان شکلهای ۲ـ۵ و ۲ـ۶ واضح است که مقاومت ظاهری در طول یك آنتن تغییر می کند. بنابراین لازم است که نقطه‌ای از آنتن را که مقاومت ظاهری آن اندازه گیری می شود مشخص کرد که معمولا پایانه‌های ورودی آنتن انتخاب می شوند. ازشکل ۲ـ۵ نتیجه می شود که مقاومت ظاهری ورودی دوقطبی $\frac{\lambda}{2}$ میان تغذیه، صفر است، چون در وسط آنتن ولتاژ صفر و جریان حداکثر است. ولی باید به‌خاطر داشت که شکل ۲ـ۵ بافرض صفر بودن افتهاست؛ البته در عمل این چنین نیست و از آنجایی که آنتن دارای مقداری توان مصرفی است بنابراین *توزیعهای عملی ولتاژ و جریان*، با آنچه که نشان داده شده اند، مقداری تفاوت خواهند داشت. در نتیجه، مقاومت ظاهری ورودی یك دوقطبی صفر نیست و تقریباً 73Ω است. اگر طول فیزیکی آنتن دقیقاً برابر نصف طول موج باشد، مقاومت ظاهری ورودی مقداری مؤلفهٔ القایی خواهد داشت. برای به‌دست آوردن مقاومت ظاهری ورودی که به‌طور خالص مقاومتی است، باید از طولی که اندکی از نصف یك طول موج کمتر است استفاده کرد. بعضی اوقات راحت تر است که دوقطبی را تغذیهٔ انتهایی کرد؛ بنابراین مقاومت ورودی بزرگ و تقریباً 3600Ω می شود.

اگر فرکانس علامت تغییر یابد تا دوقطبی قدری بزرگ‌تر از طول تشدید بشود، مقاومت ظاهری ورودی، القایی می شود؛ برعکس، اگر دوقطبی کوتاه‌تر از طول تشدید باشد، مقاومت ظاهری ورودی از نوع ظرفیتی (خازنی) خواهد بود. موقعی که مقاومت ظاهری ورودی به‌طور خالص مقاومتی باشد جریان تغذیهٔ آنتن در مقدار حداکثر خود خواهد بود، وچون انرژی منتشر شده از آنتن نسبت مستقیم با مجذور جریان آنتن دارد، بنابراین موقعی که آنتن به‌عنوان تشعشع کننده در حال تشدید باشد در حداکثر تأثیر خود قرار خواهد داشت.

مؤلفهٔ واکنشی (رآکتیو) مقاومت ظاهری ورودی آنتن تابعی از قطر هادی است؛ هر افزایش در قطر باعث کاهش مقاومت واکنشی (رآکتانس) می شود. اگر از آنتن برای کارکرد با علامتهای پهنای نوار عریض استفاده شود، مقاومت ظاهری ورودی آن باید تا حدامکان دارای مؤلفهٔ واکنشی کوچکی باشد و بنابراین باید از هادی ضخیمی استفاده شود.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

انرژی را باید به‌وسیلهٔ خط انتقالی به‌نام تغذیه کننده به‌آنتن داد و یا از آن دریافت کرد. اگر از تغذیه کنندهٔ دوسیمه استفاده شود نمی توان آن را به‌طور مستقیم به پایانه‌های یك دوقطبی $\frac{\lambda}{2}$ متصل کرد، چون عدم تطبیق قابل توجهی صورت خواهد گرفت. خط دوسیمه دارای مقاومت ظاهری مشخصهٔ چند صد اهم است، و برای انطباق صحیح، تغذیه کننده باید به نقطه‌ای با مقاومت ظاهری بزرگ‌تر وصل شود. اتصال بین تغذیه‌کننده و آنتن می تواند با روشی که در شکل ۲ـ۷ الف نشان داده شده است انجام شود. نقاط اتصال انتخاب شده نقاطی هستند که در آنجا نسبت ولتاژ به‌جریان تا حد ممکن به‌مقاومت ظاهری تغذیه‌کننده نزدیك باشد. اگر از تغذیه‌کنندهٔ هم‌محور استفاده شود، می توان آن را به نقطهٔ میانی آنتن وصل کرد (شکل ۲ـ۷ ب)، چون مقاومت ظاهری مشخصهٔ ۷۵Ω تغذیه‌کنندهٔ هم‌محور خیلی نزدیك به مقاومت ظاهری ورودی ۷۳Ω آنتن است.



شکل ۲ـ۷ دوقطبی نیم‌موج تغذیه شده با (الف) تغذیه کنندهٔ دوسیمه، (ب) تغذیه کنندهٔ هم‌محور

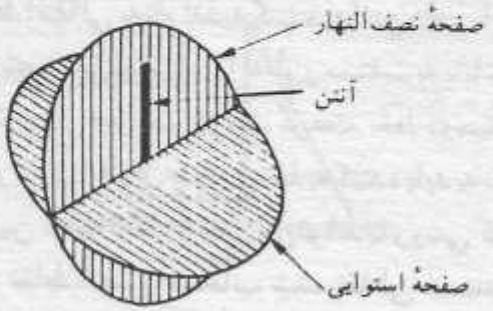
الگوهای تشعشع، خاصیت جهتی و بهرهٔ آنتن

تمام آنتنها دارای این خاصیت هستند که می توانند توان را در بعضی جهتها بهتر از جهتهای دیگر تشعشع کنند. مشخصهٔ جهتی، یا **خاصیت جهتی** آنتن فرستنده خیلی مفید است چون اجازه می‌دهد که قسمت اعظم توان انتقالی در جهت مطلوب فرستاده شود و فقط جزئی از آن در جهتهای غیر مطلوب ارسال شود. تشعشع در جهتهای غیر مطلوب توان فرستنده را، که برای تهیهٔ شدت میدان لازم در نقطهٔ دور در جهت مطلوب مورد نیاز است، می کاهد. خاصیت جهتی آنتن فرستنده به‌وسیلهٔ **الگوی تشعشع** (یا نمودار قطبی) آن مشخص می شود.

الگوی تشعشع آنتن نمایشی تصویری از روشی است که در آن شدت میدان الکتریکی حاصله توسط آنتن در فواصل مساوی از آنتن تغییر می یابد. چون آنتن انرژی را در تمام جهتها، غیر از امتداد محورش، تشعشع می کند، دو الگوی تشعشع برای تجسم معقول عملکرد آنتن لازم است. دو صفحه‌ای که معمولا انتخاب می شوند در شکل ۲ـ ۸ نشان داده شده‌اند؛ صفحهٔ *نصف‌النهار* شامل محور آنتن است، در حالی که صفحهٔ *استوایی* عمود بر آنتن است. به‌عنوان مثال برای آنتن عمودی، صفحهٔ نصف‌النهار عمودی و صفحهٔ استوایی افقی است.

منظور از الگوی تشعشع عملکرد خود آنتن است، یعنی وقتی که کاملا از اشیای دیگر ــ مانند ساختمانها یا زمین که ممکن است با بازتاباندن علامتها بر روی شکل الگو اثر بگذارند ــ به‌دور

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

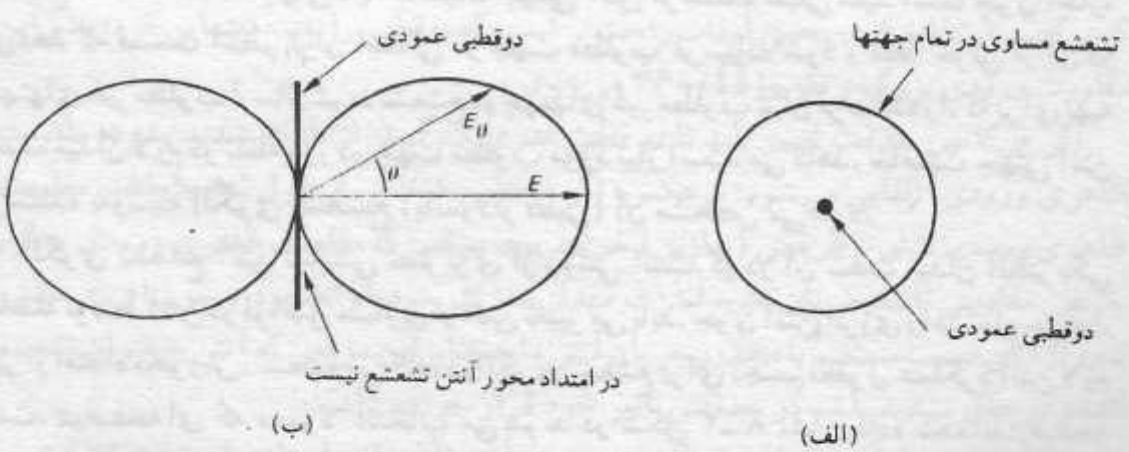


شکل ۲ ـ ۸ صفحه‌های نصف‌النهار و استوایی آنتن

باشد. چون آنتنها معمولا نزدیك اشیای دیگر قرار دارند، الگوی تشعشع تصویر صحیحی از عملکرد آنتن ــ بدان نحو که از نصب یك آنتن خاص انتظار می‌رود ــ ارائه نمی‌دهد. ولیکن الگوی تشعشع روشی را برای مقایسهٔ انواع مختلف آنتنها ارائه می‌دهد.

از آنتن می‌توان برای دریافت علامتها، به‌همان خوبی ارسال آنها استفاده کرد و الگوی تشعشع همچنین نمایشی از قابلیت دریافت آنتن را ارائه می‌دهد. خاصیت جهتی در آنتن گیرنده نیز مفید است چون به نحوی به آنتن امکان تشخیص بین علامتهای مطلوب و غیرمطلوب را می‌دهد.

آنتن دوقطبی عمودی در تمام جهتها در صفحهٔ افقی ارسال یا دریافت می‌کند، بنابراین الگوی تشعشع صفحهٔ افقی آن یك دایره است (شکل ۲ ـ ۹ الف). چنین آنتنی در صفحهٔ عمودی و در امتداد محور آنتن اصلا ارسال یا دریافت نمی‌کند و الگوی تشعشع صفحهٔ عمودی آن به شکل هشت انگلیسی است (شکل ۲ـ۹ ب).



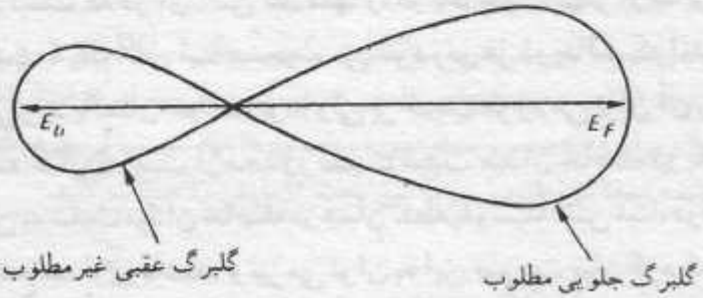
شکل ۲ ـ ۹ الگوهای تشعشع دوقطبی ۸/۲ : (الف) الگوی صفحهٔ افقی و (ب) الگوی صفحهٔ عمودی

نسبت جلو به عقب

اغلب الگوهای تشعشع در یك جهت خاصیت جهتی بیشتری نسبت به جهت دیگر دارند. **نسبت**

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

جلو به عقب آنتن عبارت است از نسبت شدت میدانهای الکتریکی حاصله در فواصل مساوی از آنتن در دو جهت مخالف. بنابراین در شکل ۲ـ۱۰ نسبت جلو به عقب برابر است با $\frac{E_f}{E_b}$.



شکل ۲ـ۱۰ نسبت جلو به عقب آنتن

مثال ۲ـ۲

شدت میدان در x کیلومتری در جهت مطلوب از یك آنتن ۱۰mV/m و در همین فاصله در جهت مخالف آن ۱mV/m است. نسبت جلو به‌عقب آنتن را حساب کنید.

حل:

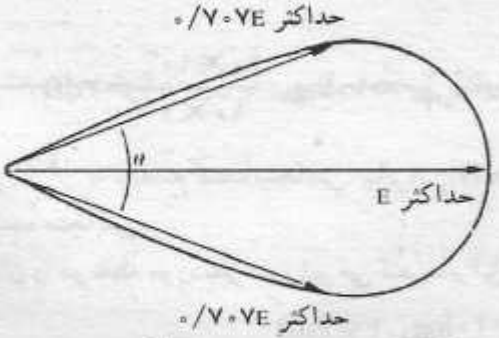
$$\text{نسبت جلو به‌عقب} = \frac{E_f}{E_b} = \frac{۱۰ \times ۱۰^{-۳}}{۱ \times ۱۰^{-۳}} = ۱۰$$

یا برحسب دسی بل:

$$\text{نسبت جلو به‌عقب} = ۲۰\log_{۱۰} ۱۰ = ۲۰\text{dB}$$

پهنای اشعه

پهنای اشعهٔ آنتن اندازه گیری سادهٔ خاصیت جهتی آنتن است وزاویه‌ای است که به‌وسیلهٔ نقاطی محصور شود که توان تشعشع در آنها به‌نصف مقدار حداکثر خود، یا شدت میدان به $۱/\sqrt{۲}$ برابر ولتاژ حداکثر آن رسیده باشد. یعنی زاویه‌ای که به‌وسیلهٔ نقاط ۳dB در الگوی تشعشع آنتن محصور شده است. بنابراین در شکل ۲ ـ ۱۱، θ زاویهٔ پهنای اشعه است.



شکل ۲ـ۱۱ پهنای اشعهٔ آنتن

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

بهرهٔ آنتن

بهرهٔ آنتن، مثل بهرهٔ تقویت کننده‌ها ــ که عبارت است از نسبت توان ورودی به توان خروجی ــ نیست، بلکه بهرهٔ آنتن اندازهٔ خاصیت جهتی آن و نشان دهندهٔ حدود تمرکز تشعشع در یك جهت بخصوص، یا حدودی است که در آن آنتن علامتها را در یك جهت بهتر از سایر جهتها دریافت می کند. بهرهٔ آنتن نسبت به یك آنتن مبنا سنجیده می شود و در هر دو حالت که آنتن برای ارسال یا برای دریافت به کار می رود یکسان خواهد بود، ولی بر حسب مورد می توان آن را مشخص کرد.

بهرهٔ آنتن فرستنده عبارت است از مجذور نسبت شدت میدان حاصله در یك نقطه در جهت حداکثر تشعشع از آنتن به شدت میدان حاصله در همان نقطه به‌وسیلهٔ آنتن مبنا، در صورتی که هر دو آنتن دارای توان تشعشع مساوی باشند. و نیز می توان به این صورت بیان کرد که عبارت است از نسبت توانهای تشعشع لازم برای اینکه دو آنتن شدت میدان مشابهی را در یك نقطهٔ بخصوص در جهت حداکثر تشعشع ایجاد کنند.

بهرهٔ آنتن گیرنده عبارت است از نسبت توان ارائه شده به وسیلهٔ آنتن به بار تطبیق یافتهٔ وصل شده به پایانه‌های آن، به‌توان ارائه شده به‌وسیلهٔ آنتن مبنا به بار تطبیق داده شده، در صورتی که شدت میدانها در محل آنتنها یکسان باشد.

آنتن مبنا یا یك دوقطبی $\lambda/۲$ و یا تشعشع کنندهٔ متجانس (ایزوتروپیك) است. تشعشع کنندهٔ متجانس آنتنی است که در تمام جهتها به‌طور یکسان تشعشع می کند. یك چنین آنتنی امکان عملی ندارد ولی تصور مفیدی برای کار کردن آنتن پیشرفته‌تر است. می توان نشان داد که بهرهٔ دوقطبی $\lambda/۲$ نسبت به تشعشع کنندهٔ متجانس ۱/۶۴ برابر و یا ۲/۱۵dB است.

مثال ۲ـ۳

یك آنتن باید با توان ۱۰kW تغذیه شود تا در نقطهٔ معینی شدت میدانی مشابه دوقطبی $\lambda/۲$ که با توان ۲۰kW تغذیه می شود ایجاد کند. بهرهٔ آنتن را (الف) نسبت به دوقطبی $\lambda/۲$، (ب) نسبت به تشعشع کنندهٔ متجانس حساب کنید.

اگر جابه‌جایی آنتن باعث تولید دو برابر شدت میدان در همان نقطه به‌وسیلهٔ ۱۰kW توان ورودی شود، بهرهٔ جدید آنتن را نسبت به دوقطبی $\lambda/۲$ حساب کنید.

حل:

(الف) $$\text{بهرهٔ آنتن نسبت به دوقطبی}\frac{\lambda}{۲} = ۱۰\log_{۱۰}\frac{۲۰\times۱۰^{۳}}{۱۰\times۱۰^{۳}} = ۳\text{dB}$$

(ب) ۲/۱۵dB = بهرهٔ دوقطبی $\lambda/۲$ به تشعشع کنندهٔ متجانس. بنابراین، ۵/۱۵dB = ۲/۱۵ + ۳ = ۵/۱۵dB = بهرهٔ آنتن نسبت به تشعشع کنندهٔ متجانس.

جابه‌جایی آنتن شدت میدان را در نقطهٔ موردنظر دوبرابر می کند بنابراین:

$$\text{بهره در اثر جابجایی} = ۲۰\log_{۱۰}۲ = ۶\text{dB}$$

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

و

بهرهٔ جدید نسبت به دوقطبی $\frac{\lambda}{۲}$ = ۳ + ۶ = ۹dB

مثال ۲ ـ ۴

در آزمایشی برای تعیین بهرهٔ آنتن، از آنتن استانداردی با بهرهٔ معین استفاده می شود. هردو آنتن در شدت میدان معینی قرار دارند و توان ارائه شده به بارهای تطبیقی اندازه‌گیری می شوند. توان ارائه شده به بار به‌وسیلهٔ آنتن تحت آزمایش ۲μW و توان ارائه شده بوسیلهٔ آنتن استاندارد ۸μW است. اگر بهرهٔ آنتن استاندارد برابر ۳۰dB نسبت به تشعشع کنندهٔ متجانس باشد، بهرهٔ آنتن تحت آزمایش را حساب کنید.

$$\text{بهرهٔ آنتن استانداردنسبت به‌آنتن تحت آزمایش} = ۱۰\log_{۱۰}\frac{۸\times۱۰^{-۶}}{۲\times۱۰^{-۶}} = ۶\text{dB}$$

بهرهٔ آنتن تحت آزمایش نسبت به تشعشع کنندهٔ متجانس = ۳۰ − ۶ = ۲۴dB

توان تشعشع شدهٔ مؤثر

تشعشع کنندهٔ متجانس آنتنی است که (از لحاظ نظری) می تواند انرژی را به‌خوبی در تمام جهتها به‌طور مساوی تشعشع کند، و بنابراین در تمام جهتها شدت میدان ثابتی در فاصلهٔ معینی از آنتن ایجاد می کند. هیچ آنتن عملی چنین خصوصیت تشعشعی را از خود نشان نمی دهد، بلکه انرژی تشعشع شده را در یك یا چند جهت مشخص متمرکز می کند. به‌عبارت دیگر آنتن عملی برای ایجاد شدت میدان مشابه در یك نقطهٔ بخصوص در جهت تشعشع حداکثر، نسبت به تشعشع کنندهٔ متجانس، به تشعشع توان کلی کمتری نیاز دارد. **توان تشعشع شدهٔ مؤثر** (e.r.p.) آنتن توانی است که تشعشع کنندهٔ متجانس باید تشعشع کند تا شدت میدان مشابهی را در یك نقطهٔ بخصوص در جهت تشعشع حداکثر ایجاد کند. از نظر کمی توان تشعشع شدهٔ مؤثر آنتن مساوی حاصلضرب توان کلی تشعشع شده P_t و بهرهٔ G آنتن است، یعنی:

$$\text{e.r.p.} = P_t G \qquad (۲-۲)$$

مثال ۲ ـ ۵

آنتنی با بهرهٔ ۱۰dB نسبت به تشعشع کنندهٔ متجانسی، توان ۱۰۰۰ وات را تشعشع می کند. توان تشعشع شدهٔ مؤثر آنتن را حساب کنید.

حل:

۱۰dB عبارت است از نسبت توان ۱۰:۱

بنابراین از رابطهٔ (۲ ـ ۲)،

$$\text{e.r.p.} = ۱۰ \times ۱۰۰۰ = ۱۰\text{kW}$$

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

پهنای نوار

پهنای نوار آنتن عبارت است از نوار فرکانسهایی که فرض می شود عملکرد آنتن در آن نوار رضایتبخش باشد. متأسفانه، عملکرد رضایتبخش آنتن می تواند با بیش از یك روش مشخص شود ولی در این کتاب منظور گلبرگ اصلی الگوی تشعشع است. در اغلب آنتنها تشعشع حداکثر در جهت مطلوب موقعی اتفاق می افتد که طولها و یا فواصل اجزای سازندهٔ آنتن کسر بخصوصی از طول موج علامت باشد. اگر فرکانس تغییر یابد در این صورت ابعاد بحرانی صحیح نخواهند بود و تشعشع در جهت مطلوب کاهش می یابد، بنابراین، پهنای نوار آنتن عبارت است از نواری از فرکانسها که توان تشعشع شده به‌وسیلهٔ آنتن در جهت مطلوب در حداکثر تشعشع در آن نوار، پایین تر از ۳dB نباشد.

مقاومت تشعشع و بازده آنتن

اغلب در کارهای مربوط به آنتن راحت تر است که توان تشعشع شده از آنتن را به‌عنوان توان مصرف شده در یك مقاومت فرضی، به‌نام *مقاومت تشعشع*، بیان کرد. در این صورت توان تشعشع شده از آنتن از رابطهٔ زیر به‌دست می آید:

$$\text{توان تشعشع شده} = I^2 R_r \qquad (۲-۳)$$

که I جریان داده شده به آنتن و R_r مقاومت تشعشع است.

مقاومت تشعشع دوقطبی $\lambda/2$ مساوی مقاومت ظاهری آن است، یعنی ۷۳Ω، در حالی که مقاومت تشعشع آنتن کوتاه‌الکتریکی، مثلا $\lambda/50$ ، فقط برابر $۰/۱\Omega$ است.

توان تشعشع شده از آنتن همیشه کمتر از توان داده شده به آن است، چون مقداری از توان در آنتن تلف می شود. منابع اتلاف توان عبارتند از افتهای I^2R در هادی آنتن و در زمین مجاور آنتن، افتهای هاله و افتهای دی الکتریکی در عایقها. افتهای آنتن را می توان با هم یکی کرد و با *مقاومت افت* R_L نشان داد، با این فرض که تمام افتهای توان مصرف شده باشند.

بازده η آنتن عبارت است از نسبت توان تشعشع شده به توان داده شده به آنتن، که معمولا به‌صورت درصد بیان می شود:

$$\eta = \frac{I^2 R_r}{I^2 R_L + I^2 R_r} = \frac{R_r}{R_L + R_r} \times ٪۱۰۰ \qquad (۲-۴)$$

مثال ۲ـ۶

آنتن فرستندهٔ فرکانس پایین دارای مقاومت تشعشع $۰/۳\Omega$ و مقاومت افت $۱/۵\Omega$ است. اگر جریان داده شده به آنتن برابر ۵۰A باشد توان تشعشع شده، توان ورودی و بازده آنتن را حساب کنید.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

حل:

$$\text{توان تشعشع شده} = I^2 R_r = 50^2 \times 0/3 = 750\,W$$

$$\text{توان ورودی} = I^2 R_r + I^2 R_L$$

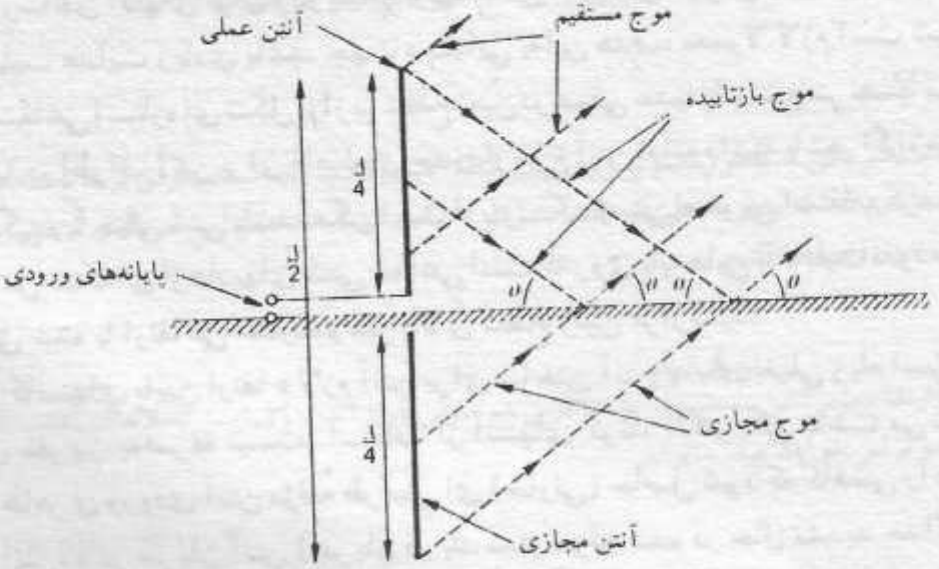
$$= (50^2 \times 0/3) + (50^2 \times 1/5) = 4500\,W$$

$$\text{بازده آنتن} = \frac{100 R_r}{R_L + R_r} = \frac{100 \times 0/3}{0/3 + 1/5} = \%16/67$$

در فرکانسهای خیلی پایین بازده‌های آنتن ممکن است فقط چند درصد باشد ولی در فرکانسهای خیلی بالا می توان بازده‌های بزرگ‌تر از ۹٪ را نیز دریافت کرد.

آنتنهای تك قطبی

آنتنهای فرستنده که در فرکانسهای نوارهای خیلی پایین، پایین و متوسط کار می کنند باید از ساختمانهایی با ارتفاع نسبتاً بزرگ استفاده کنند و به‌طور عمودی روی زمین نصب شوند، چون در این فرکانسها طول موج علامت بزرگ است. می توان در انتهای بالایی نوار فرکانس پایین و در نوار متوسط از آنتنهایی استفاده کرد که دارای طول $\lambda/4$ هستند، ولی اغلب به‌دلایل اقتصادی از انواع دکلهای کوتاه‌تر استفاده می شود.



شکل ۲ـ۱۲ آنتن تك قطبی یا یك قطبی

شکل ۲ـ۱۲ آنتن $\lambda/4$ را نشان می دهد که بر روی سطح زمین نصب شده است و در پایین بین آنتن و زمین تغذیه می شود. چنین آنتنی معروف به **یك قطبی یا تك قطبی** است. آنتن در تمام

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

جهتها در سطح افقی به‌طور یکسان و به‌خوبی انرژی را تشعشع می کند. در سطح عمودی مقداری انرژی به‌سوی آسمان و مقداری نیز به‌طرف پایین یعنی به‌سمت زمین تشعشع می شود که با خط چین نشان داده شده‌اند. امواج هدایت شده به‌سمت پایین با زمین برخورد می کنند و منعکس می شوند و در صورتی که سطح زمین مسطح باشد شعاعهای تابش و بازتاب زوایای مساوی خواهند داشت.

در نقطهٔ دوری نسبت به‌آنتن انرژی از دو طریق توسط موج مستقیم و موجی که از زمین بازتابیده است دریافت می شود. شدت میدانی که در این نقطه ایجاد شده است برآیند شدت میدانهای مجزایی است که از دو موج حاصل می شوند. از دید یك ناظر در یك نقطهٔ دور، چنین به‌نظر می رسد که موج بازتابیده از امتداد آنتنی در زیر زمین سرچشمه گرفته است. در شکل این طول فرضی آنتن، *آنتن مجازی* نامیده شده است. به‌عبارت دیگر، (از نظر الکتریکی) آنتن با ارتفاعی دوبرابر ارتفاع واقعی آن عمل می کند. افزایش مؤثر در ارتفاع آنتن از امتیازهای آن است چون شدت میدان ایجاد شده به‌وسیلهٔ آنتن در یك نقطهٔ معین نسبت مستقیم با ارتفاع آن آنتن دارد. ارتفاع کلی آنتن و تصویر آن برابر $\lambda/2$ است و بنابراین توزیعهای جریان و ولتاژ روی این آنتن مشابه توزیعهایی بر روی دو قطبی $\lambda/2$ شکل ۲ـ۵ خواهد بود. مقاومت ظاهری ورودی آنتن به‌طور خالص مقاومتی برابر ۳۷ اهم است.

الگوی موج ساکن جریان ناشی از وجود جریان حداکثر در انتهای زمینی آنتن است. در نتیجه جریانهای زیادی در مجاورت آنتن به‌زمین جاری و باعث اتلاف توان می شود. برای به‌حداقل رساندن افتهای توان و در نتیجه نگهداشتن آنتن در بالاترین بازده ممکن، باید زمین دارای قابلیت هدایت زیادی باشد. جهت دستیابی به‌این هدف، معمولا لازم است شبکه‌ای از هادیهای شعاعی [ستاره ای شکل] را زیر سطح زمین در عمقی حدود یك سوم متر نصب کرد. شبکهٔ مذکور باید در اطراف آنتن برای فاصله‌ای حدود ارتفاع آنتن ادامه داشته باشد. اگر زمینِ نزدیك آنتن، سنگی و یا خیلی شنی باشد ممکن است از *پارسنگ زمینی* به‌خوبی استفاده کرد. پارسنگ زمینی شامل شبکه ای از هادیهای مسی شعاعی است که روی پایه هایی با قابلیت نفوذ مغناطیسی کم و عایق شده با ارتفاعی حدود دو متر بالای سطح زمین قرار دارد.

در فرکانسهای پایین ارتفاع لازم آنتن برای ساختن آنتن $\lambda/4$ خیلی زیاد است و از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه نیست. استفاده از آنتنهای کوتاه الکتریکی باعث می شود که در مقاومت ظاهری ورودی آنتن مؤلفهٔ ظرفیتی ای (خازنی) حاصل شود که کاهشی را در مقاومت تشعشع آنتن، و در جریان آنتن (جریان در یك مدار میزان شده در حال تشدید حداکثر است) به‌وجود آورد. آنتن را می توان با افزودن بوبین القایی مناسبی به‌طور سری با پایانه‌های ورودی آن میزان کرد تا تشدید حاصل شود. متأسفانه در این حالت حداکثر مقدار جریان آنتن در بوبین القایی سری شده جریان دارد و در خود آنتن وجود نخواهد داشت. به‌همین علت توان منتقل شده به‌مقداری که انتظار می رود نخواهد بود.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

ارتفاع مؤثر

جریان جاری در آنتن در تمامی نقاط آنتن دامنهٔ یکنواختی ندارد، بلکه به‌عنوان مثال برای آنتنهای خاص در شکلهای ۲ ـ ۵ و ۲ ـ ۶ متغیر است.

ارتفاع مؤثر یا **طول مؤثر** آنتن فرستنده عبارت است از طولی از آنتن که اگر جریان یکنواختی را با مقدار ثابت به‌عنوان جریان ورودی آنتن حمل کند شدت میدان مشابهی در نقطهٔ معینی ایجاد می کند. به‌عبارت دیگر حاصلضرب ارتفاع عملی آنتن ومقدار متوسط جریان جاری باید مساوی حاصلضرب طول مؤثر و جریان یکنواخت باشد. یعنی:

$$l_{phys}\, I_{mean} = l_{eff}\, I$$

یا،

$$l_{eff} = \frac{l_{phys}\ I_{mean}}{I} \qquad (۲_۵)$$

برای حالت آنتن کوتاه الکتریکی که جریان در آن به‌طور خطی ازمقدار حداکثر I آمپر در پایه به صفر در بالای آنتن تغییر می کند، جریان متوسط آنتن $I/۲$ است. بنابراین از رابطهٔ ۲ـ۵ نتیجه می شود:

$$l_{eff} = \frac{۱}{۲} l_{phys}$$

چون ارتفاع ظاهری تك قطبی اتصال به‌زمین، به‌دلیل بازتابهای زمین، دوبرابر ارتفاع فیزیکی آن است، ارتفاع مؤثر آن برابر ارتفاع فیزیکی آن می شود.

مثال ۲ـ۷

یك آنتن کوتاه الکتریکی که به‌طور معمولی روی زمین کاملا عادی نصب شده است دارای ارتفاع ۱۰۰m است و جریانی را حمل می کند که به‌طور خطی ازمقدار حداکثر ۱۰ آمپر در پایه به صفر آمپر در بالای آن تغییر می کند. ارتفاع مؤثر آنتن را حساب کنید.

حل:

ازرابطهٔ ۲ـ۵ ارتفاع مؤثر آنتن $\frac{(۱۰۰\times۵)}{۱۰}$ یا ۵۰m می شود، ولی چون آنتن روی زمین کاملا هادی نصب شده است ارتفاع مؤثر دو برابر خواهد بود. بنابراین:

$$\text{ارتفاع مؤثر} = ۱۰۰^{m} \qquad (۲_۶)$$

ارتفاع مؤثر آنتن گیرنده نیز ازپارامترهای مهم است، چون نیروی الکتروموتوری (e.m.f.) القا شده به‌آنتن به‌وسیلهٔ موج الکترومغناطیسی تابشی با رابطهٔ زیر تعیین می شود:

$$e = E\, l_{eff}$$

که E شدت میدان الکتریکی موج بر حسب V/m است.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

بنابراین ولتاژ القا شده به آنتن گیرنده به طور مستقیم با شدت میدان الکتریکی متناسب است.

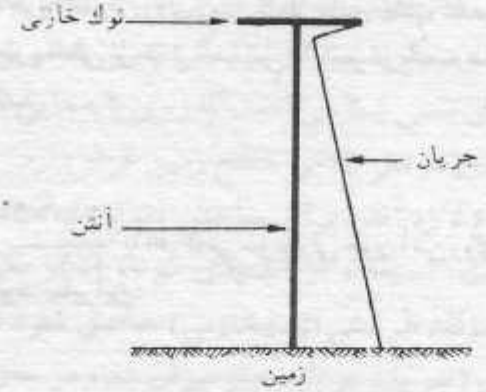
مثال ۲ـ۸

آنتن با طول مؤثر ۱m در شدت میدان $۱۰^{mV}/_{m}$ قرار دارد. ولتاژ القا شده به‌آنتن را حساب کنید.

حل:

$$e=۱\times۱۰\times۱۰^{-۳}=۱۰mV$$

اگر مقدار متوسط جریان آنتن می توانست بدون افزایش جریان مربوط در پایانه‌های ورودی افزایش یابد، ارتفاع مؤثر آنتن نیز با نسبتی مشابه افزایش می یافت. در این صورت نتیجه می شود که مقاومت تشعشع آنتن بزرگ‌تر است و توان بیشتری منتقل می شود. نسبت $\frac{I_{mean}}{I}$ از متوسط جریانهای ورودی آنتن می تواند افزایش یابد، در صورتی که از سقوط جریان به‌سمت صفر در بالای آنتن جلوگیری شود. این عمل به‌وسیلهٔ **نوك خازنی (ظرفیتی)** حاصل می شود. هادی افقی، یا سیستمی از هادیها، در نوك آنتن نصب می شود که دارای ظرفیت نسبتاً زیادی نسبت به‌زمین است. در این صورت جریان در نوك خازنی به‌همان آسانی خود آنتن جاری می شود و بنابراین جریان در نوك آنتن به‌مقدار صفر سقوط نخواهد کرد (شکل ۲ـ۱۳). نوك ظرفیت را می توان به‌وسیلهٔ یك هادی افقی تهیه کرد که بین نوك آنتن ویك یا دو دکل نصب شده است. دو مثال از این نوع نوك خازنی آنتنهای L وارونه و T هستند.



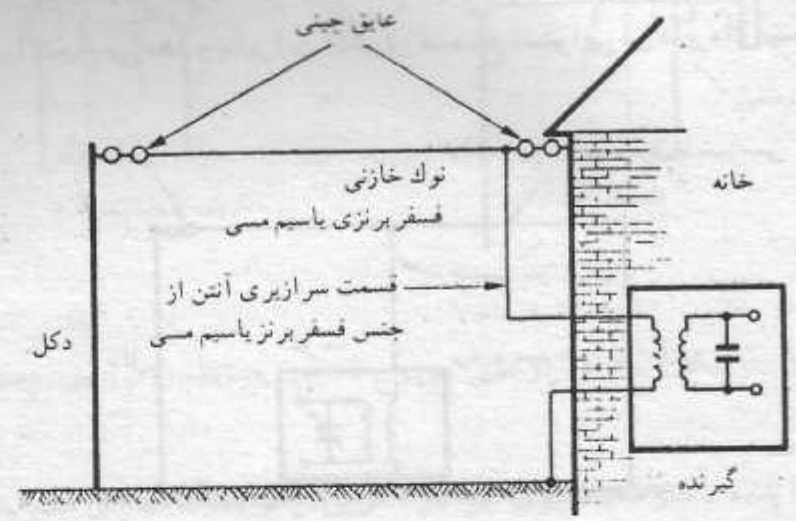
شکل۲ـ۱۳ استفاده از نوك خازنی

آنتن Lوارونه

آنتن Lوارونه برای ارسال یا دریافت علامتهای فرکانس پایین و متوسطی ساخته شده‌اند که به‌طور عمودی قطبی شده‌اند. ساختمان آنتن گیرنده در شکل ۲ـ۱۴ نشان داده شده است.

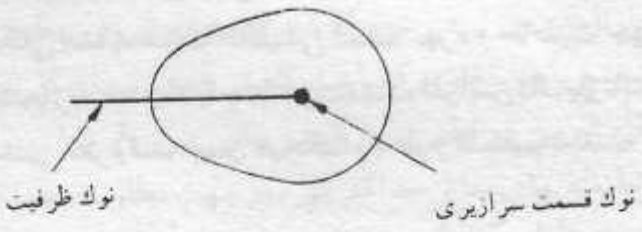
Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

قسمت اصلی آنتن که در آن نیروهای الکتروموتوری (e.m.f.) القا می شوند، قسمت سرازیری آن است که این قسمت خیلی کوتاه‌تر از $\frac{\lambda}{2}$ است. قسمت سرازیری آنتن باید به‌وسیلهٔ میدان مغناطیسی افقی موج الکترومغناطیسی تابشی قطع شود و تا حدامکان به‌صورت عمودی باشد. هیچ گونه نیروی الکتروموتوری (e.m.f.) در قسمت افقی طویل آنتن، که برای افزایش طول مؤثر آنتن و در نتیجه افزایش جریان متوسط آنتن به‌کار رفته است، القا نمی شود.



شکل ۲ـ۱۴ آنتن L وارونه

الگوی تشعشع استوایی آنتن L وارونه در شکل ۲ـ۱۵ نشان داده شده است و می توان دید که آنتن خاصیت جهتی بهتری، در دریافت یا ارسال در جهت نوك خازنی به‌قسمت سرازیری، نشان می دهد.



شکل ۲ـ۱۵ الگوی صفحهٔ استوایی آنتن L وارونه

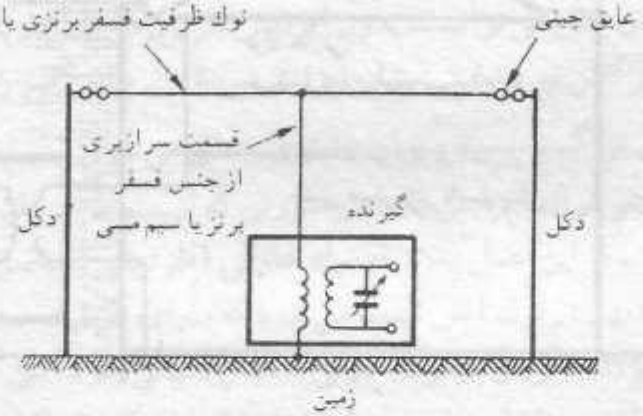
برای بهترین نتیجه باید تا حد ممکن آنتن در ارتفاع بالاتری نصب شود و کاملا از ساختمانهای اطراف که ممکن است شدت میدان علامتهای دریافتی را کاهش دهند، به‌دور باشد. این نوع آنتن می تواند برای دستگاههای رادیوی خانگی به‌کار رود و در موارد لزوم برای دریافت

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

ایستگاههای دور بسیار رضایتبخش خواهد بود.

آنتن T

برای بعضی دستگاهها ممکن است اتصال قسمت سرازیری آنتن به‌وسط نوك خازنی آن مطابق شکل ۲ـ۱۶ آسان‌تر باشد. یك چنین ترتیبی را به‌دلیل شکل آن آنتن T می گویند و به‌عنوان مثال در عرشهٔ کشتیها به‌کار برده می شود. آنتن Tدر تمام جهتها در صفحهٔ افقی به‌طور مساوی عمل دریافت یا ارسال را انجام می دهد و بنابراین الگوی تشعشع استوایی آن دایره‌ای شکل است.



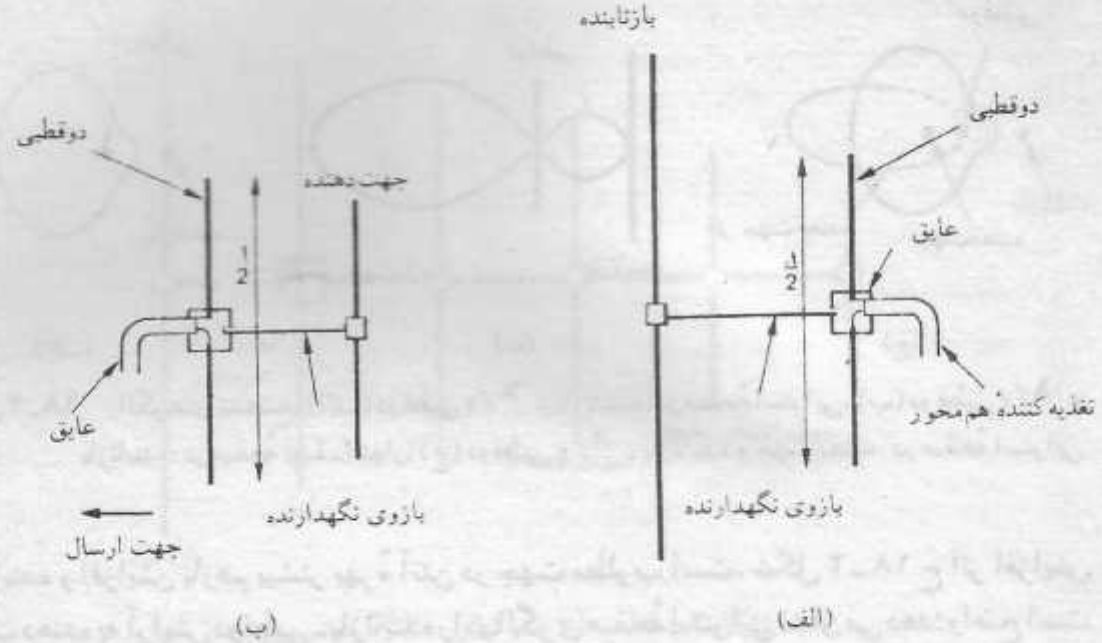
شکل ۲ـ۱۶ آنتن T

بازتابنده‌ها و جهت دهنده‌ها

در V.H.F. و U.H.F. طول موج علامت نسبتاً کوتاه است و از آنتنهای نیم موج می توان استفاده کرد. الگوی تشعشع صفحهٔ استوایی دو قطبی $\lambda/2$ یك دایره است، بدین معنا که آنتن از تمام جهتها و به سمت تمام جهتها به‌طور یکسان عمل دریافت و یا ارسال را انجام می دهد. الگوی صفحهٔ نصف النهار دارای شکلی مشابه هشت انگلیسی است. بهره و خاصیت جهتی دو قطبی $\lambda/2$ را می توان با افزودن یك بازتابنده و یك یا چند جهت دهنده افزایش داد. بازتابنده‌ها و جهت دهنده‌ها هردو به‌نام اجزای جنبی معروفند، چون هیچکدام به‌طور مستقیم به‌تغذیه کننده متصل نیستند.

بازتابنده معمولا حدود ۵٪ بزرگ‌تر از $\lambda/2$ است و در وضعیتی مطابق شکل ۲ـ۱۷ الف نصب می شود. به‌فرض اینکه یك موج رادیویی در جهت نشان داده شده به‌طرف آنتن حرکت کند، با حرکت موج و قطع کردن دو قطبی، یك emf در آن القا می کند. در اثر عبور موج رادیویی و قطع کردن بازتابنده تأخیر به‌وجود می آید، که مقدار آن بستگی به فاصلهٔ بین دو قطبی و بازتابنده دارد، به‌عنوان مثال اگر فاصله λ ۰/۱۵ باشد تأخیر فاز°۵۴ = °۳۶۰×۰/۱۵ می شود. موج رادیویی یك emf در بازتابنده القا می کند و باعث جاری شدن جریانی می شود؛ جریان بازتابنده نسبت

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



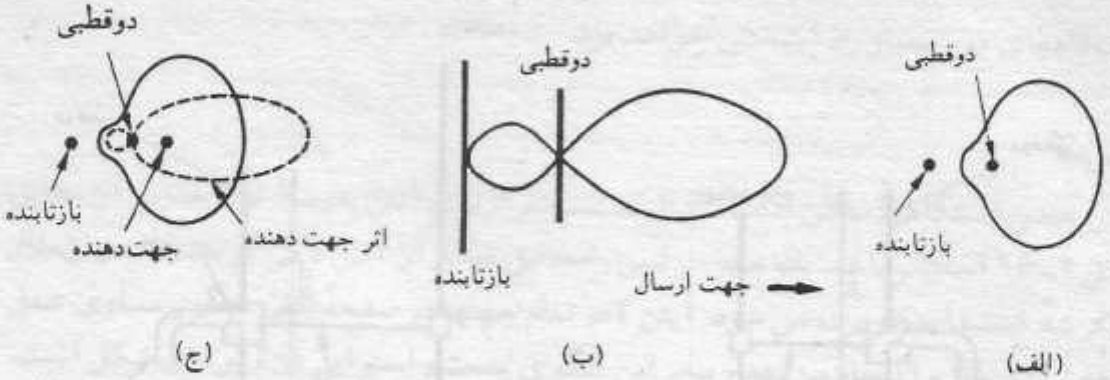
شکل ۲ـ۱۷ دو قطبی نیم موج با (الف) بازتابنده و (ب) جهت‌دهنده

به‌emf القا شده تأخیر دارد، چون این جزء طویل تر از $\lambda/2$ دارای مقاومت ظاهری القایی است. بازتابنده انرژی رادو باره تشعشع می کند که مقداری از آن به‌طرف دوقطبی هدایت می شود. همزمان با رسیدن انرژی تشعشع شده به‌دو قطبی تأخیر فاز بیشتری ایجاد می شود. اگر هم طول بازتابنده و هم فاصلهٔ بین اجزا به‌طور صحیحی انتخاب شده باشند، انرژی تشعشع شده به‌وسیلهٔ بازتابنده با انرژی دریافت شده از فرستنده به‌دوقطبی به‌طور هم‌فاز خواهند رسید. بنابراین شدت میدان کلی در دوقطبی افزایش می یابد؛ به‌عبارت دیگر بهرهٔ آنتن در این جهت زیاد خواهد شد. وقتی که یك موج رادیویی از جهت مخالف به آنتن می رسد، این موج قبل از آنکه به‌دوقطبی برسد به بازتابنده خواهد رسید. در هر دو جزء ولتاژهایی به‌وسیلهٔ موج تابشی القا خواهد شد. جریانی تأخیری در بازتابنده جاری می شود که باعث تشعشع انرژی به‌طرف دوقطبی خواهد شد. اکنون انرژی باز تشعشع یافته با فازی که باعث کاهش شدت میدان کلی می شود به دوقطبی می رسد.

معمولا فاصلهٔ بین دو قطبی ـ بازتابنده جایی بین $0/15\ \lambda$ و $0/25\ \lambda$ به‌عنوان سازش مناسبی بین نیازمندیهای مغایر حداکثر بهره در جهت مطلوب و حداکثر نسبت جلو به عقب است. الگوی تشعشع دو قطبی $\lambda/2$ و بازتابنده در صفحه‌های استوایی و نصف النهاری به‌ترتیب در شکلهای ۲ ـ ۱۸ الف و ب نشان داده شده‌اند.

جهت دهنده جزئی جنبی است که دارای طولی کوتاه‌تر از $\lambda/2$ در فرکانس عملکرد است ودر جلو دوقطبی نصب می شود (شکل ۲ـ۱۷ ب). عمل جهت دهنده مشابه بازتابنده است. چون طول جهت دهنده کوچك تر از $\lambda/2$ است مقاومت ظاهری آن ظرفیتی است و یك emf القا شده به‌وسیلهٔ موج رادیویی تابشی جریانی تقدمی را به‌وجود می آورد. اثر جهت دهنده کمك به عمل

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۲ـ۱۸ الگوهای تشعشع. (الف) دوقطبی $\lambda/۲$ و بازتابنده: در صفحهٔ استوایی. (ب) دوقطبی $\lambda/۲$ و بازتابنده: در صفحهٔ نصف النهار، (ج) دوقطبی $\lambda/۲$ ، بازتابنده و جهت دهنده: در صفحهٔ استوایی

بازتابنده و افزایش بازهم بیشتر بهرهٔ آنتن در جهت مطلوب است. شکل ۲ ـ ۱۸ ج اثر افزایش جهت دهنده به آرایش دوقطبی ـ بازتابنده را در الگوی صفحهٔ استوایی نشان می دهد؛ واضح است که افزایشی در خاصیت جهتی آنتن خواهد بود. فاصلهٔ بین دوقطبی و جهت دهنده معمولا جایی در گسترهٔ λ ۰/۱ تا λ ۰/۱۵ است.

مثال ۲ ـ ۹

آرایش آنتنی شامل دوقطبی نیم موجی با یك بازتابنده و یك جهت دهنده است. ابعاد تقریبی فاصله‌ها را برای اجزا حساب کنید در صورتی که عملکرد در فرکانس MHz ۱۰۰ باشد.

حل:

در MHz ۱۰۰،

$$\lambda = \frac{۳\times۱۰^{۸}}{۱۰۰\times۱۰^{۶}} = ۳\text{m} \qquad \text{و} \qquad \frac{\lambda}{۲} = ۱/۵\text{m}$$

در عمل، دوقطبی را قدری کوتاه‌تر می سازند چون میدان الکتریکی در هر دو سر دوقطبی تراوش می کند و طول آن را به‌طور مؤثری بزرگ‌تر می کند. معمولا در حدود ۵٪ طول مجاز شناخته شده است. بنابراین،

طول تقریبی دوقطبی = ۱/۴۸m

بنابراین، بازتابنده باید ۵٪ طویل‌تر از $\lambda/۲$ باشد، یعنی باید λ ۰/۲۵ − ۰/۱۵ در پشت دوقطبی باشد. پس:

طول تقریبی بازتابنده = ۱/۵۷m

فاصلهٔ تقریبی دو قطبی تا بازتابنده = ۰/۶ m

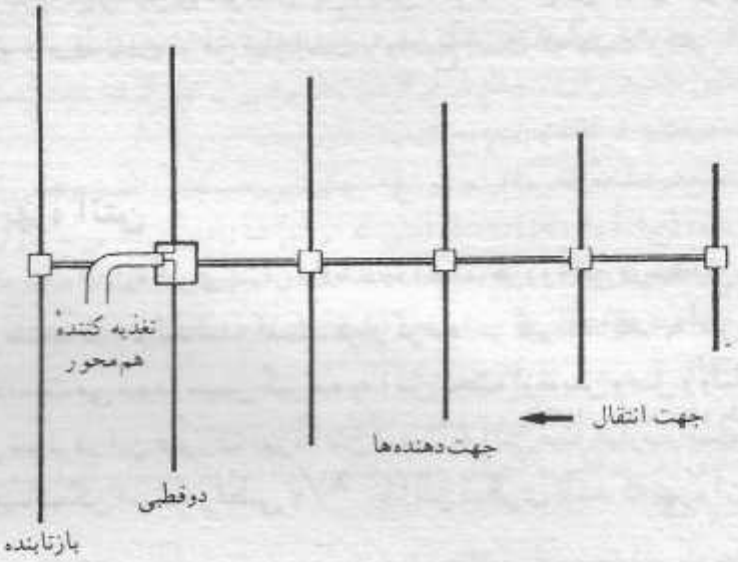
جهت‌دهنده باید حدود ۵٪ کوتاه‌تر از $\lambda/۲$ باشد یعنی حدود ۱/۴۳ m

فاصلهٔ بین دو قطبی تا جهت دهنده باید به‌اندازهٔ λ ۰/۱۵ − ۰/۱ باشد. یعنی،

فاصلهٔ تقریبی دوقطبی تا جهت دهنده = ۰/۴m

بازیاد کردن تعداد جهت دهنده‌ها می توان بهرهٔ مبسوطی را کسب کرد، هر جهت دهندهٔ اضافی قدری از جهت دهندهٔ قبلی کوتاهتر است. یك آنتن دوقطبی چندجزیی نمونه در شکل ۲ ـ ۱۹ نشان داده شده است.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۲ـ۱۹ آنتن دو قطبی $\lambda/2$ چند جزئی

محدودیت آنتنهایی که از یك دو قطبی و تعدادی اجزای جنبی استفاده می کنند این است که عملکرد صحیح آنها به‌اندازهٔ طولهای اجزا و فواصل (کسری از طول موج علامت) بستگی دارد. به‌عبارت دیگر عملکرد رضایتبخش آنتن به نوار باریکی از فرکانسهای متمرکز شده بر روی فرکانس مورد طرح محدود شده است.

اندازه گیری الگوهای تشعشع

الگوی تشعشع یك آنتن خاص هم برای ارسال و هم برای دریافت یکی است و بنابراین در عمل هر کدام که آسانتر باشد اندازه‌گیری می شود.

یکی از روشهای اندازه‌گیری تشعشع صفحهٔ افقی آنتن عمودی به‌قرار زیر است: آنتن روی یك دکل آزمایشی که می تواند تا ۳۶۰° بچرخد نصب می شود و در وضعیتی به‌دور از هر گونه سطوح جذب یا بازتاب قرار می گیرد. سپس خروجی پایانه‌های آنتن به ورودی گیرندهٔ رادیویی وصل می شود. خروجی گیرنده ولت سنجی را تغذیه می کند که برای نشان دادن مستقیم شدت میدان الکتریکی درجه‌بندی شده است. آنتن فاصلهٔ دوردیگری نیز با توان ثابتی در فرکانس ثابت تغذیه می شود و علامت آزمایش را تولید می کند. سپس آنتن تحت آزمایش طی چند مرحلهٔ آسان چرخانده می شود و شدت میدان نشان داده شده در هر مرحله یادداشت می شود، بهرهٔ گیرنده بدون تغییر باقی می ماند. سپس نتایج حاصل را به‌هم وصل می کنند تا الگوی تشعشع آنتن به‌دست آید.

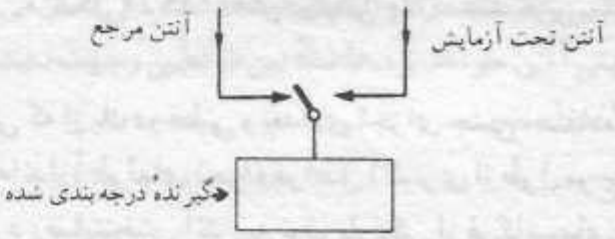
اگر آنتن تحت آزمایش برای چرخاندن خیلی بزرگ باشد روش اندازه‌گیری دیگری به‌کار می رود. یکی از روشهای ممکن این است که آنتن به فرستندهٔ رادیویی وصل و شدت میدان تهیه

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

شده در اطراف آنتن اندازه گیری شود. در این روش به دستگاههای اندازه گیری شدت میدان در اطراف آنتن و در فاصلهٔ ثابت از آن نیاز است و واضح است که سبب برخی اشکالهای عملی می شود.

اندازه گیری بهرهٔ آنتن

در شکل ۲ـ۲۰ ترتیب اندازه گیری نشان داده شده است. هر دو آنتن در میدانی با شدت ثابت که به‌وسیلهٔ آنتن فرستندهٔ دور تولید شده است، قرار گرفته‌اند. گیرنده ابتدا به آنتن مبنا وصل وولتاژ خروجی آن یادداشت می شود. سپس گیرنده به آنتن تحت آزمایش وصل و ولتاژ خروجی جدید نیز یادداشت می شود. در این صورت بهرهٔ آنتن نسبت به آنتن مبنا عبارت است از نسبت دو ولتاژ خروجی. آنتن مبنا ممکن است دو قطبی $\lambda/2$ یا آنتن دیگری باشد که بهرهٔ آن مشخص است.



شکل ۲ـ۲۰ اندازه گیری بهرهٔ آنتن

مثال ۲ـ۱۰

در اندازه گیری بهرهٔ آنتن، ولتاژهای خروجی گیرنده که به ترتیب به آنتنهای مبنا و تحت آزمایش وصل شده است، به‌ترتیب ۱/۶۷ و ۶/۴۷ است. اگر آنتن مبنا دارای بهرهٔ ۱۰dB نسبت به دو قطبی $\lambda/2$ باشد، بهرهٔ آنتن تحت آزمایش را حساب کنید.

حل:

$$\text{بهره نسبت به‌مبنا} = ۲۰\log_{۱۰}\frac{۶/۴}{۱/۶} = ۲۰\log_{۱۰}۴$$

$$= ۲۰ \times ۰/۶ = ۱۲\text{dB}$$

بنابراین:

$$\text{بهره نسبت به دو قطبی } \frac{\lambda}{۲} = ۱۲ + ۱۰ = ۲۲\text{dB}$$

تمرینها

۲ـ۱ منظور از اصطلاح تشعشع کنندهٔ متجانس چیست؟ الگوهای تشعشع را در سطح افقی برای موارد زیر رسم کنید: (الف) آنتن دو قطبی نیم موج عمودی، (ب) آنتن دو قطبی نیم موج افقی، (ج) آنتن دوقطبی نیم موج عمودی با بازتابنده، (د) آنتن دو قطبی نیم موج افقی با بازتابنده.

ابعاد مناسب را برای آرایشی شامل دوقطبی نیم موج و بازتابنده برای استفاده در ۵۵۹/۲۵MHz حساب کنید.

۲ـ۲ اصطلاحهای زیر را در رابطه با آنتنها به‌طور خلاصه شرح دهید: آنتن متجانس؛ بهرهٔ مستقیم؛ پهنای اشعه.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

با اندازه‌های تقریبی یك الگوی تشعشع در صفحهٔ افقی را برای آنتن دو قطبی ربع موج عمودی و بازتابنده رسم کنید. توضیح دهید چگونه این شکل بهرهٔ مستقیم و پهنای اشعهٔ آرایش را نشان می‌دهد.

یك آنتن دو قطبی تشدید برای تشعشع در فرکانس بخصوصی در نظر گرفته شده است. اثر آن را به‌عنوان تشعشع کننده در سایر فرکانسها تشریح کنید.

۲ـ۳ الگوهای تشعشع در صفحهٔ افقی را برای انواع آنتنهای زیر رسم کنید: (الف) دوقطبی افقی، (ب) دوقطبی نیم موج با بازتاباننده، (ج) L وارونه. (د) میلهٔ آهنی که در گیرندهٔ رادیویی دستی به کار رفته است.

ساختمان هر کدام از موارد زیر را به‌انضمام هدایت به گیرنده رسم کنید و توضیح دهید: (الف) آنتن L وارونه برای دریافت علامتهای موج متوسط، (ب) آنتن نوع دوقطبی و بازتاباننده که به‌طور مشترك برای دریافت علامتهای تلویزیونی به کار می‌روند.

۲ـ۴ دقیقاً توضیح دهید منظور از *الگوی تشعشع آرایش آنتن* چیست؟

شکل ابعادی آنتن دوقطبی با اجزای جهت‌دهنده و بازتابندهٔ مناسب را برای دریافت انتقالهای رادیویی ۹۵MHz رسم کنید.

به‌کمك نمودار تشعشع، به طور خلاصه توضیح دهید چرا در مناطق شهری که تحت تأثیر تداخلهای مصنوعی زیادی هستند، گاهی اوقات بهتر است که محور آنتن گیرنده از خط مستقیم بین ایستگاه فرستنده و ایستگاه گیرنده منحرف شود.

۲ـ۵ اصطلاحهای زیر را تعریف کنید: (الف) مقاومت تشعشع، (ب) تشعشع کنندهٔ متجانس، (ج) بازده آنتن.

آرایش آنتنی برای استفاده در ۸۰۵MHz شامل دوقطبی نیم موج عمودی با یك بازتاباننده و یك جهت دهنده است. ابعاد و فواصل تقریبی را حساب کنید. الگوی تشعشع آرایش در صفحهٔ افقی را رسم کنید.

۲ـ۶ توزیع جریان و ولتاژ را در طول یك دوقطبی نیم موج در فضای آزاد رسم کنید و به‌طور خلاصه توضیح دهید چگونه این توزیع حاصل می‌شود. سپس نشان دهید که آنتن مقاومت ظاهری کمی را به تغذیه کننده ارائه می‌دهد.

آنتن دوقطبی برای ارائهٔ شدت علامت معین در نقطه‌ای با فاصلهٔ خاص باید با ۲۰kW توان تغذیه شود. اگر با افزودن یك بازتاباننده بتوان همان شدت میدان را با ۱۱kW توان ایجاد کرد بهرهٔ (برحسب دسی بل) حاصل به‌سبب استفاده از بازتاباننده چقدر است؟

۲ـ۷ الگوهای تشعشع دوقطبی عمودی نیم موج در فضای آزاد را در صفحه‌های افقی و عمودی رسم کنید. اثر (الف) بازتاباننده، و (ب) جهت دهنده را بر روی الگوهای تشعشع فقط در صفحهٔ افقی نشان دهید.

آرایش آنتنی را که از اجزای دوقطبی به‌عنوان تشعشع کننده استفاده می‌کند معرفی کنید. بهرهٔ مستقیم و پهنای نوار نیم توان را تشریح کنید.

۲ـ۸ الگوی تشعشع عمودی دوقطبی نیم موج عمودی در فضای آزاد را رسم کنید و به زبان ساده توضیح دهید چگونه این الگوی تشعشع تولید می‌شود. عملکرد یك میلهٔ هادی را تشریح کنید که به‌عنوان بازتاباننده عمل می‌کند و در فاصلهٔ ربع طول موج پشت سر دوقطبی قرار دارد. عملکرد آنتن یك قطبی را نسبت به دوقطبی نیم موج توضیح دهید. الگوی تشعشع آن را رسم و مقدار تقریبی مقاومت ظاهری ورودی در پایانه‌های آنتن را ذکر کنید.

۲ـ۹ (الف) عملکرد آنتن مناسب برای استفاده در ارتباطات رادیویی راه دور فرکانس پایین را تشریح کنید. (ب) تغذیه کننده بین آنتن در بند (الف) و دستگاههای ارتباطی مربوط را معرفی کنید. (ج) اصطلاحهای *بهرهٔ مستقیم* و *پهنای اشعه* را که در آنتنها به کار می‌روند تعریف کنید.

۲ـ۱۰ (الف) به‌کمك نموداری اصول عملکرد آنتن یك قطبی را تشریح و الگوی تشعشع آن را رسم کنید. (ب)

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

هر گونه تشابه بین آنتن یك قطبی ودو قطبی را توضیح دهید. (ج) یکی از کاربردهای آنتن یك قطبی را بیان کنید.

۲ـ۱۱ به کمك نمودارها پنج اصطلاح زیر را که در رابطه با آنتنها به کار می روند توضیح دهید: (الف) تشعشع کنندهٔ متجانس، (ب) دوقطبی $\lambda/2$، (ج) یك قطبی، (د) الگوی تشعشع، (هـ) بهرهٔ آنتن، (و) پهنای توان نیم توان.

۲ـ۱۲ (الف) ساختمان آرایش آنتنی را تعریف کنید که شامل دو قطبی افقی، بازتابنده و جهت دهنده است و برای استفاده در فرکانسهای علامت حدود ۹۰MHz مناسب است. (ب) ابعاد مناسب برای اجزای بکار برده شده را بر حسب متر بیان کنید، (ج) عملکردهای بازتابنده و جهت دهنده را با رسم الگوهای افقی (۱) یك دوقطبی تنها، (۲) دوقطبی با بازتابنده و (۳) آرایش کامل نشان دهید.

۲ـ۱۳ چرا آنتنهایی که برای استفاده در V.H.F. طراحی شده‌اند معمولا بازده بیشتری به‌نسبت آنتنهای فرکانس پایین دارند؟ رابطهٔ بازده آنتن را بنویسید و معنای هر کدام از علایم به‌کار برده شده را توضیح دهید. یك تك قطبی اتصال به‌زمین را که دارای طول $\lambda/2$ در فرکانس عملکرد است رسم کنید و توضیح دهید چرا ارتفاع ظاهری آن بیش از این مقدار است؟ منظور از زمین پارسنگ چیست و چرا به‌کار می‌رود؟

۲ـ۱۴ منظور از این عبارت که آنتنی دارای بازده ۱۰٪ است، چیست؟
آنتنی دارای مقاومت افت $2/5\Omega$ و مقاومت تشعشع 8Ω است. اگر جریان داده شده به‌آنتن دارای مقدار مؤثر (r.m.s.) ۱۰A باشد، توان تشعشع شده توسط آنتن و بازده آنتن را حساب کنید.

۲ـ۱۵ توضیح دهید چگونه تشعشع انرژی از یك هادی که جریان فرکانس رادیویی را حمل می کند اتفاق می افتد. منظور از قطبی کردن موج چیست؟
آنتن معینی توان 8kW را، موقعی که توان داده شده توسط تغذیه کننده 10kW است، تشعشع می کند. بازده آنتن چقدر است؟ اگر آنتن دارای بهرهٔ 8dB باشد توان تشعشع یافتهٔ مؤثر چقدر می شود؟

۲ـ۱۶ برای اینکه آنتن دوقطبی در نقطهٔ معینی شدت میدان الکتریکی 5mV/m را ایجاد کند باید با توان 20kW تغذیه شود. با افزودن بازتابنده و جهت دهنده آنتن قادر می شود که همان شدت میدان را با توان 8kW تولید کند. بهرهٔ آرایش نسبت به یك دو قطبی تنها بر حسب dB چقدر است؟

۲ـ۱۷ به کمك نموداری که بردارهای جریان و ولتاژ را در طول یك خط بدون افت مدار ـ باز در انتهای دور نشان می دهد، توزیعهای جریان و ولتاژ را بر روی یك دو قطبی $\lambda/2$ رسم کنید و توضیح دهید.

تمرینهای کوتاه

۲ـ۱۸ وقتی که آنتنی توان 5kW را تشعشع می کند شدت میدان 5mV/m در نقطهٔ دور ایجاد می شود. آنتن دیگری در همان نقطه به تشعشع 10kW توان برای تولید همان شدت میدان در همان نقطه نیاز دارد. اگر آنتن اول نسبت به تشعشع کنندهٔ متجانس دارای بهرهٔ 10dB باشد بهرهٔ آنتن دوم را تعیین کنید.

۲ـ۱۹ روشی را که انرژی از یك هادی حامل جریان فرکانس بالا تشعشع می شود توضیح دهید.

۲ـ۲۰ منظور از قطبی کردن یك موج رادیویی چیست؟ معمولا شدت میدان با چه واحدهایی اندازه گیری می شود؟

۲ـ۲۱ تفاوت بین میدان القا و میدان تشعشع یك آنتن را بیان کنید. چرا با افزایش فرکانس جریان محرك آنتن فرستنده با بازده بهتری کار می کند؟

۲ـ۲۲ الگوی تشعشع یك دو قطبی $\lambda/2$ عمودی را در صفحه‌های افقی و عمودی رسم کنید. توضیح دهید این الگوها چه اطلاعاتی را ارائه می دهند.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

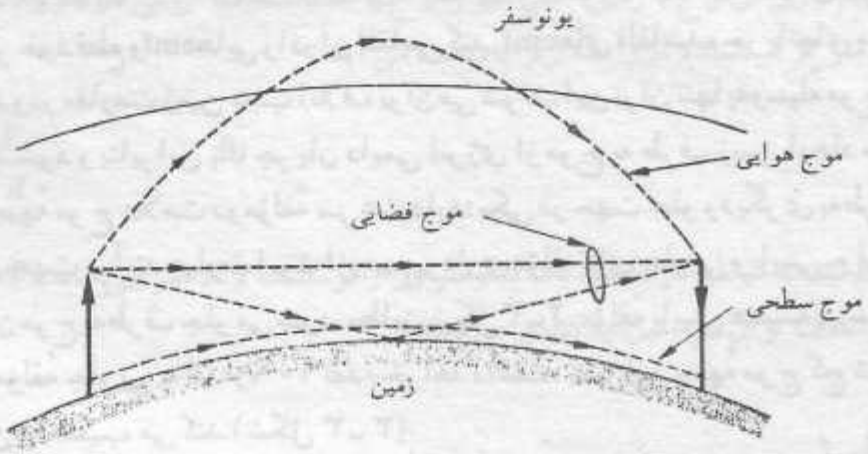
۲ـ۲۳ بهرهٔ آنتن را برحسب تشعشع کنندهٔ متجانس تعریف کنید. تشعشع کنندهٔ متجانس چیست؟
۲ـ۲۴ چرا لازم است آنتن تك قطبی عملی را تنظیم کرد؟ منظور از نوك خازنی چیست؟
۲ـ۲۵ منظور از ارتفاع مؤثر آنتن چیست؟ زمین چه‌اثری بر ارتفاع مؤثر آنتن یك قطبی دارد؟
۲ـ۲۶ یك آنتن تك قطبی ۷۵ متر طول دارد و به‌طور عمودی بر روی یك زمین هادی خوب نصب شده است. جریان آنتن به‌طور خطی از A ۲۰ در پایهٔ آنتن تا A ۰ در نوك آن تغییر می کند. ارتفاع مؤثر آنتن را حساب کنید.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

۳ انتشار امواج رادیویی

مقدمه

اگر توان فرکانس رادیویی آنتن فرستنده را تغذیه کند، انرژی الکترومغناطیسی، در فرکانسی مشابه، از آنتن تشعشع خواهد یافت. این انرژی از آنتن در جهتهای گوناگون انتشار می‌یابد، همان طوری که با الگوی تشعشع آنتن نمایش داده می‌شود. انرژی تشعشع شده ممکن است با یك یا بیش از یك روش از سه روش انتشار به نامهای *موج سطحی یا زمینی*، *موج هوایی یا یونوسفری* و *موج فضایی* به آنتن گیرنده برسد (شکل ۳ ـ ۱).



شکل ۳ ـ ۱ روشهای انتشار

موج سطحی در لبهٔ پایینی خود با سطح زمین تماس دارد و بنابراین ضمن عبور، انحنای سطح زمین را تعقیب می‌کند. **موج هوایی** از زمین به‌طرف بالا در اتمسفر هدایت می‌شود که در شرایط معینی ممکن است این موج به‌زمین برگردد. **موج فضایی** را می‌توان شامل دو شعاع دانست: یکی از آنها در خط مستقیم بین دو نقطه عبور می‌کند، و دیگری به وسیلهٔ یك بازتاب از زمین، بین همان دونقطه عبور می‌کند.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

ازموج زمینی برای ارتباطات جهانی در نوارهای فرکانس خیلی پایین و فرکانس پایین[1]، و نیز برای پخش صدا در نوار موج متوسط استفاده می شود. ازموج هوایی برای شبکه‌های تلفنی راه دور، و از موج فضایی برای موارد پخش صدا، پخش تلویزیونی، سیستمهای سیار زمینی، و سیستمهای رادیو ـ رلهٔ چند کاناله استفاده می شود. در نوار فرکانس بالا، آنتن فرستنده ممکن است یك، دو، یا هر سه نوع موج را همزمان تشعشع کند، ولی معمولا فقط یك روش در نوار فرکانس اهمیت عملی دارد. در این فصل روشها به‌طور جداگانه بررسی می شوند. به‌علاوه گرچه *امواج* رادیویی به‌صورت واگرا منتشر می شوند فرض می شود که انتشار به‌شکل *شعاعهای* باریك باشد.

موج سطحی یا زمینی

موج زمینی برآیند موج فضایی و موج سطحی است، ولی در فرکانسهای پایین و متوسط ارتفاع آنتن فرستنده نسبت به‌طول موج علامت کم است و مؤلفه‌های مستقیم و بازتابیدهٔ موج فضایی به‌طور کامل حذف می شوند. در این صورت موج زمینی و موج سطحی یکی خواهند بود.

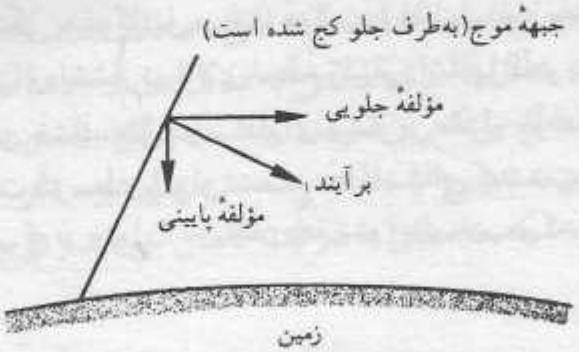
موج سطحی یا زمینی، موجی است که آنتن فرستنده را خیلی نزدیك به‌زمین و به‌موازات آن ترك می کند. چون قطبی شدن افقی (پلاریزاسیون افقی) در مقاومت کم زمین باعث اتصال کوتاه مؤلفهٔ الکتریکی موج می شود لذا باید از امواج قطبی شدهٔ عمودی (پلاریزاسیون عمودی) استفاده کرد. موج سطحی در حین عبور از فرستنده انحنای زمین را تعقیب می کند چون تفرق یافته است.[2] علاوه بر آن خمیدگی بیشتری نیز اتفاق می افتد، چون مؤلفهٔ مغناطیسی موج، سطح زمین رادرمسیر خود قطع وemfهایی رادرآن القا می کند. emfهای القا شده جریانهای متناوبی را جاری می کنند ودر مقاومت زمین سبب اتلاف توان می شوند. این توان تنها به‌وسیلهٔ موج سطحی می تواند تولید شود و بنابراین یك جریان دایمی انرژی از موج به طرف زمین ایجاد می شود.

بنابراین جبههٔ موج علامت دو مؤلفهٔ سرعت دارد؛ یکی در جهت جلو ودیگری به‌طرف پایین به‌سمت زمین. جهت برآیند عبارت است ازجمع برداری مؤلفه‌های جلویی وپایینی، واین برآیند باعث کج شدن موج به‌طرف جلو می شود، مطابق شکل ۳ـ۲. مؤلفهٔ پایینی همیشه بر سطح زمین عمود است و مؤلفهٔ جلویی به اندازهٔ ۹۰° تقدم خواهد داشت، بنابراین جبههٔ موج کج شده فرازو نشیبهای زمین را تعقیب می کند (شکل ۳ ـ ۳).

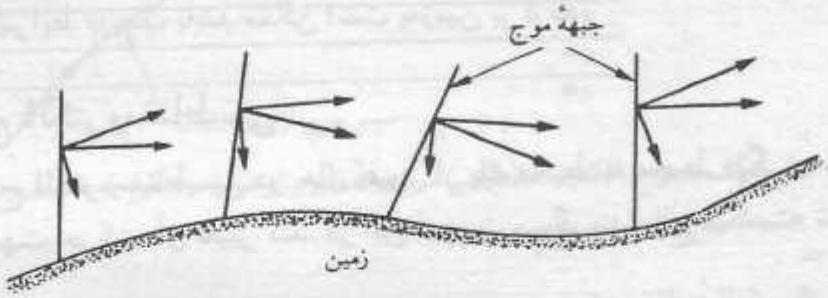
۱. برای تقسیم بندی نوارهای فرکانس به‌کتاب *سیستمهای انتقال در مخابرات*، نوشتهٔ دی. سی. گرین، ترجمهٔ محمد رهبر، انتشارات سروش، مراجعه شود.

۲. تفرق پدیده‌ای است که برای تمام حرکات موج حادث می شود و سبب انحنای موج به‌دور مانعی می شود که از آن می گذرد. موج سطحی زمین خود یك مانع است.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۳ـ۲ جبههٔ موج موج سطحی



شکل ۳ـ۳ انتشار موج سطحی در ناحیهٔ فراز و نشیب‌دار

انتقال انرژی از موج به‌زمین حین عبور موج باعث تضعیف آن می شود و E_d شدت میدان در فاصلهٔ d متر از فرستنده از رابطهٔ زیر به‌دست می آید:

$$E_d=K\frac{E_1}{d} \qquad (۱ـ۳)$$

که E_1 شدت میدان در فاصلهٔ یك کیلومتری از فرستنده و K ضریبی است که تضعیف موج ناشی از اتلاف توان در زمین را نشان می‌دهد.

جدول ۳ـ۱

فرکانس	گستره(km)
۱۰۰kHz	۲۰۰
۱MHz	۶۰
۱۰MHz	۶
۱۱۰MHz	۱/۵

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

ضریب تضعیف K بستگی به فرکانس موج، وهدایت، وقابلیت نفوذ مغناطیسی زمین دارد. در فرکانس معین، تضعیف برای انتشار در بالای سطح وسیعی از آبها کمترین مقدار را داراست و برای انتشار در بالای زمین خشك، مثل کویر، دارای بیشترین مقدار خواهد بود. برای انتشار در بالای سطح زمین با رطوبت متوسط وبا توان تشعشع kw فاصله‌ای که شدت میدان $1^{m}/_{mV}$ را ارائه می‌دهد، تقریباً با فرکانسهایی که در جدول ۳ ـ ۱ نشان داده شده است تغییر می کند.

موج هوایی

درنوار فرکانس بالا، از آنتنهای جهت‌دار استفاده می شود که قسمت اعظم انرژی تشعشع شده را به‌طرف آسمان منتشر می کنند. در قسمتی از آسمان به‌نام یونوسفر موج هوایی شکسته (منکسر) می شود و اگر شرایط درست باشد ممکن است به‌زمین برگردد.

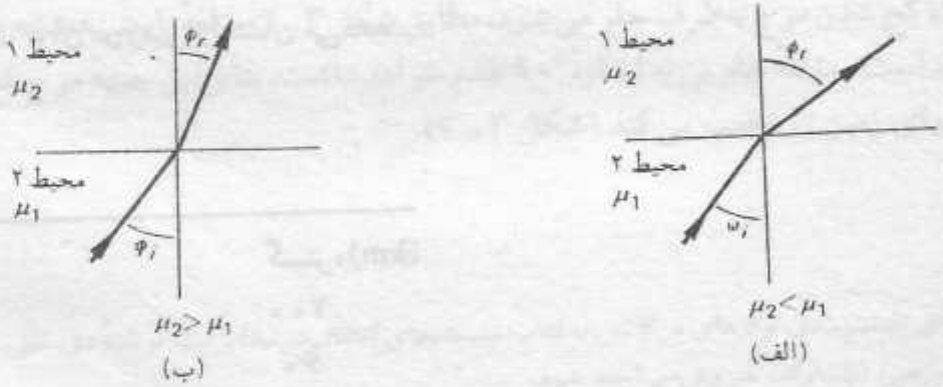
شکست موج الکترومغناطیسی

هنگامی که موج الکترومغناطیسی در حال عبور از یك محیط به محیط دیگری وارد شود، احتمال دارد جهت حرکت آن تغییر کند. در این صورت می گویند موج **شکسته** شده است.

نسبتِ

$$\frac{\text{سینوس زاویهٔ تابشی } \phi_1}{\text{سینوس زاویهٔ شکست } \phi_2}$$

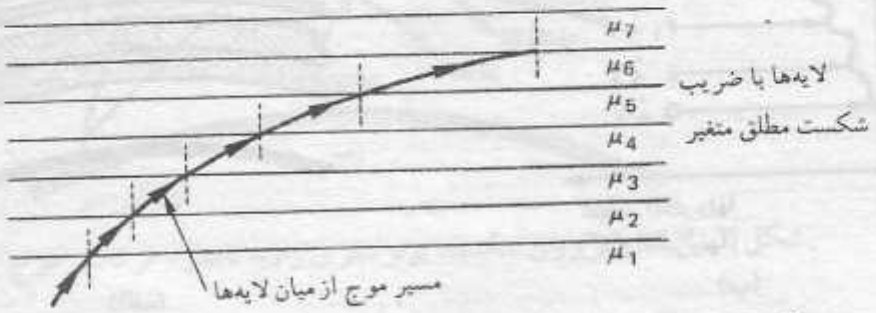
برای دومحیط داده شده ثابت است وضریب شکست نامیده می شود. اگر یکی ازدومحیط هوا باشد ــ به‌بیان دقیق‌تر یکی از دومحیط خلاء باشد ــ ضریب شکست مطلق محیط دیگر به‌دست می‌آید. اگرموجی ازیك محیط به‌محیطی واردشودکه دارای ضریب شکست مطلق کمتری است ازخط عمود دورخواهد شد (شکل ۳ ـ ۴ الف). برعکس اگرموج به‌محیطی باضریب شکست مطلق بیشتری واردشود، موج به‌طرف خط عمودانحراف پیداخواهدکرد (شکل ۳ ـ ۴ ب).



شکل ۳ ـ ۴ شکست موج الکترومغناطیسی. (الف) موج به محیطی باضریب شکست مطلق کمتر وارد می‌شود. (ب) موج به محیطی با ضریب شکست مطلق بیشتر وارد می‌شود.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

به‌فرض اینکه موجی از میان تعدادی لایهٔ نازك موازی عبور کند (شکل ۳ـ۵)، هر لایه دارای ضریب شکست مطلق کمتری از لایهٔ مجاور و پایین تر خود است. هر زمان که موج مرز مشترك بین دو لایه را قطع می کند از ضریب شکست مطلق بیشتر به ضریب شکست مطلق کمتر می‌رود، و بنابراین به تدریج از خط عمود منحرف می شود. اگر عرض (ضخامت) لایه‌ها بسیار کم باشد، ضریب شکست مطلق به سرعت کاهش می‌یابد و موج مداوم شکسته می شود.



شکل ۳ـ۵ شکست موج الکترومغناطیسی در نتیجهٔ عبور از میان محیطی که ضریب شکست مطلق آن به‌تدریج کاهش می‌یابد.

یونوسفر

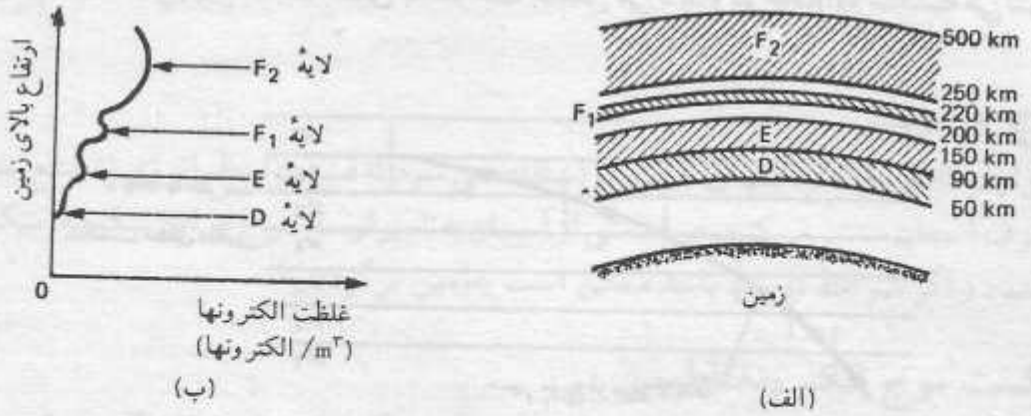
تشعشع فرابنفش خورشید که به اتمسفر زمین وارد می شود به ملکولهای گاز اتمسفر انرژی می‌دهد. این انرژی ملکولها را یونیزه می کند، یعنی الکترونهایی را از اتمهای اصلی خود جدا می کند. هر اتم که با این روش یك الکترون را از دست می‌دهد دارای یك بار مثبت می شود و می گویند که یونیزه شده است.

بنابراین یونیزاسیون براساس تعداد الکترونهای آزاد در هر متر مکعب اندازه گرفته می شود و به‌شدت تشعشع فرابنفش بستگی دارد. با عبور تشعشع به‌طرف زمین، دایما انرژی آن گرفته می شود و بنابراین شدت آن به‌تدریج کاهش می‌یابد.

الکترونهای رها شده می توانند به‌طور نامنظم آزادانه در اتمسفر حرکت کنند و در این حرکتها به‌اندازهٔ کافی به یون مثبت نزدیك شوند، به‌طوری که جذب آن شوند. در چنین صورتی الکترون آزاد و یون باهم ترکیب می شوند و اتم خنثی را می سازند. بنابراین به طور مداوم عملیات یونیزاسیون و ترکیب صورت می گیرد. در ارتفاعات زیاد اتمسفر رقیق است و یونیزاسیون کمی صورت می گیرد. در نزدیکی زمین تعداد ملکولهای گاز موجود در هر متر مکعب خیلی بیشتر است و تعداد زیادی از اتمها یونیزه می شوند؛ ولی هوا هنوز به‌اندازه‌ای رقیق است که نمی تواند احتمال ترکیب مجدد را در اندازهٔ کم نگهدارد. تعداد الکترونهای آزاد تولید شده در هر متر مکعب با نزدیك تر شدن به زمین کاهش می‌یابد، چون شدتِ تشعشع فرابنفش با عبور از میان اتمسفر بالاتر به سرعت کاهش می‌یابد. هم‌چنین، از آنجایی که اتمسفر نسبتاً غلیظ است، احتمال ترکیب

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

به‌نسبت زیاد است. بنابراین غلظت الکترونهای آزاد درست در بالای سطح زمین کم است و در ارتفاعهای بالاتر این غلظت افزایش می‌یابد و سپس مجدداً در ارتفاعهای بازهم بالاتر کاهش پیدا می‌کند. لذا زمین با کمربند عریضی از گاز یونیزه به‌نام یونوسفر احاطه شده است.



شکل ۳ـ۶ لایه‌های یونوسفر

در یونوسفر لایه‌هایی وجود دارند که غلظت الکترونهای آزاد در آنها از ارتفاعهای بلافاصله بالا و پایین لایه بیشتری است. در هنگام روز چهار لایه وجود دارد: لایه‌های D، E، F_1 و F_2 (شکل ۳ـ۶).

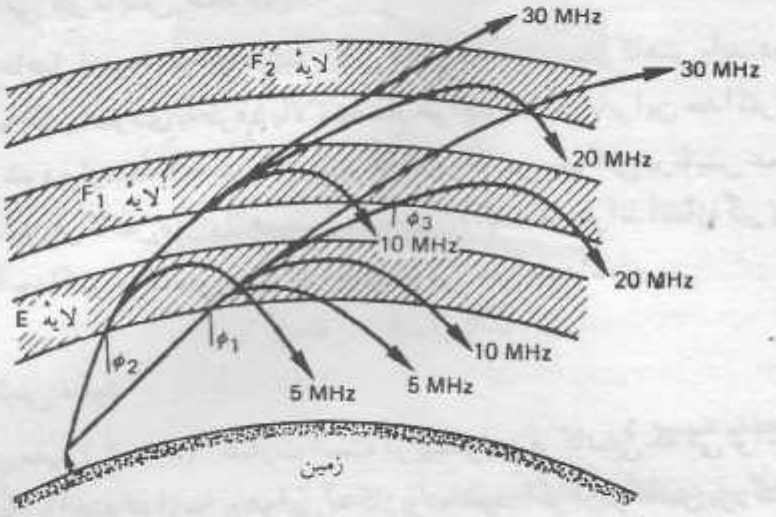
در شب تشعشع فرا بنفش کاهش می‌یابد، در نتیجه الکترونهای آزاد دیگری تهیه نمی‌شود و لایهٔ D به‌علت درجهٔ شدید ترکیب در ارتفاعهای پایین تر از بین می‌رود. در حدود صدکیلومتری بالای زمین، درجهٔ ترکیب خیلی کمتر است و گرچه لایهٔ E باریك‌تر می‌شود ولی معمولا از بین نمی‌رود. در طول ساعتهای تاریکی لایه‌های F_1 و F_2 ادغام می‌شوند و لایهٔ F را تشکیل می‌دهند که ارتفاع آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌یابد.

شکست موج هوایی

در لایهٔ یونوسفری غلظت الکترون با افزایش ارتفاع بالای زمین افزایش می‌یابد. می‌توان نشان داد که ضریب شکست یك لایه با افزایش غلظت الکترون و با کاهش در فرکانس موج کاهش می‌یابد. بنابراین موج با فرکانس معین در اثر عبور از میان لایه به‌طرف بالا به‌تدریج از خط عمود منحرف می‌شود. اگر به‌اندازهٔ کافی شکست صورت گیرد، موج به‌طرف زمین برمی‌گردد؛ در غیر این صورت، موج از بالای لایه خارج می‌شود و به‌طرف بالا خواهد رفت.

فرض کنید امواج هوایی با فرکانسهای ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ مگاهرتز ارسال شوند و تحت زاویهٔ تابشی ϕ_1 به لبهٔ پایینی لایهٔ E بتابد (شکل ۳ـ۷). موج ۵ مگاهرتز به‌مقدار زیادی شکسته می‌شود و بعد از نفوذ کمی در لایهٔ E به‌طرف زمین برمی‌گردد. موج ۱۰ مگاهرتز باید به‌مقدار زیادتری در

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۳ـ۷ اثر روی شکست یونوسفری زاویهٔ تابش و فرکانس موج

لایهٔ E نفوذ کند تا اینکه به‌طرف زمین برگردد، در حالی که موج ۲۰ مگاهرتز اصلا به سختی در لایهٔ E می شکند و وارد لایهٔ F_1 می شود. موج ۲۰ مگاهرتز با زاویهٔ تابشی بزرگ‌تری به لایهٔ F_1 برخورد می کند، $\phi_3 > \phi_1$. اکنون برای بازگشت موج به زمین تغییر کوچک‌تری در جهت آن لازم است و شکست کافی به‌وسیلهٔ لایهٔ F_1 به‌وجود می آید. موج ۳۰ مگاهرتز به‌اندازهٔ کافی برای برگشت به‌طرف زمین شکسته نمی شود و از بالای لایهٔ F_2 فرار خواهد کرد.

اگر زاویه‌ای که امواج آن به لایهٔ E می تابند به‌مقدار ϕ_2 کاهش یابد، برای برگرداندن موج به‌طرف زمین به شکست بیشتری نیاز است. در این صورت اکنون فقط موج ۵ مگاهرتز به‌وسیلهٔ لایهٔ E برگشت داده می شود، موجهای ۱۰ مگاهرتز و ۲۰ مگاهرتز مستقیماً از میان این لایه می گذرند و به لایهٔ F_1 وارد می شوند. ضریب شکست لایهٔ F_1 در ۱۰ مگاهرتز کمتر از ۲۰ مگاهرتز است؛ بنابراین موج ۱۰ مگاهرتز به‌اندازهٔ کافی برای برگشت شکسته خواهد شد، ولی موج ۲۰ مگاهرتز برگشت داده نمی شود. موج ۲۰ مگاهرتز به لایهٔ F_2 وارد و سپس برگشت داده می شود. بازهم موج ۳۰ مگاهرتز برگشت داده نمی شود.

کاهش بیشتر زاویهٔ تابش موجها در لایهٔ E ممکن است همچنین باعث فرار موج ۲۰ مگاهرتز از لایهٔ F_2 و برنگشتن آن به زمین شود، موجهای ۵ مگاهرتز و ۱۰ مگاهرتز به‌وسیلهٔ لایه‌های بالاتر برگشت داده می شوند.

ارتباطات موج هوایی بین دو نقطه تا تقریباً ۲۰۰۰ کیلومتر با استفاده از لایهٔ E، تا ۳۰۰۰ کیلومتر با استفاده از لایهٔ F_1 و تقریباً تا ۴۰۰۰ کیلومتر با استفاده از لایه F_2 امکان‌پذیر است. برقراری ارتباطات با نقاطی به فواصل بزرگ‌تر از ۴۰۰۰ کیلومتر یا مشابه آن به دو یا چند **مسیرانتقال** (HOPS) موج نیاز دارد.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

فرکانس بحرانی در تابش عمودی

اگر زاویهٔ تابشی حاصل ازموج هوایی در لبهٔ پایینی لایهٔ E به مقدار صفر کاهش یابد، در این صورت موج از فرستنده به‌طور عمودی به‌طرف بالا تشعشع خواهد یافت. بنابراین حداکثر فرکانسی که می‌تواند تشعشع شود و توسط لایه‌ای به‌زمین برگردد *فرکانس بحرانی در تابش عمودی* آن لایه خوانده می‌شود. این فرکانس دارای اهمیت است چون (الف) می‌تواند اندازه‌گیری شود و (ب) رابطهٔ ساده‌ای با *حداکثر فرکانس* مفید شبکهٔ رادیویی خواهد داشت.

حداکثر فرکانس مفید

حداکثر فرکانس مفید (m.u.f.)[3] عبارت است از بیشترین فرکانسی که می‌تواند برای ایجاد ارتباط بین دو نقطه با استفاده ازموج هوایی به کار برده شود. اگر از فرکانس بزرگ‌تری استفاده شود، در انتهای دیگر شبکهٔ رادیویی علامت دریافت نمی‌شود.

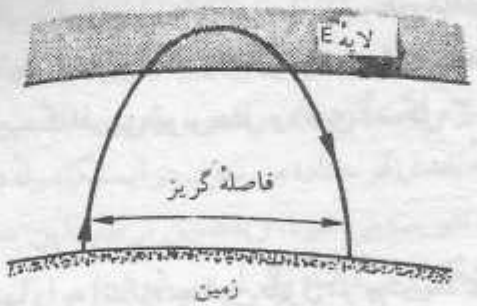
موج در اثر عبور از میان یونوسفر تضعیف می‌شود، تضعیف با فرکانس موج نسبت عکس دارد. بنابراین مطلوب این است که برای ارتباط از طریق شبکهٔ رادیویی تا حد ممکن از فرکانس بالاتری استفاده شود. ولیکن، یونوسفر دارای مشخصات ثابتی نیست و تغییرات زیادی می‌یابد، و اگر از m.u.f. برای شبکه استفاده شود ممکن است گاهی اوقات علامت دریافت نشود. معمولاً از فرکانسی تقریباً ۸۰ تا ۸۵ درصد m.u.f. استفاده می‌شود، این مقدار را *فرکانس کارکرد بهینه* یا *فرکانس ترافیک* گویند. m.u.f. شبکه ثابت نیست بلکه با ساعتهای مختلف شبانه‌روز (درشب پایین‌تر از روز) و هم با فصلهای سال (در زمستان کمتر از تابستان) تغییر می‌یابد. برای تأمین ارتباطی مطمئن از طریق یك شبکه معین لازم است که فرکانسهای متعددی وجود داشته باشد، به‌طوری که تمام اوقات از بالاترین فرکانس ممکن بتوان استفاده کرد. ممکن است بعضی اوقات لازم شود که در بیش از یك فرکانس به‌طور همزمان ارسال صورت گیرد، و اگر شرایط به‌طور خاصی نامناسب باشد ارسال مجدد باید پس از مناسب شدن شرایط انجام شود.

فاصلهٔ گریز

ارتباط می‌تواند در فرکانس معینی از طریق موج هوایی در حداقل فاصله برقرار شود. معمولاً این فرکانس m.u.f. شبکه است. اگر سعی شود که این حداقل فاصله با استفاده از زاویهٔ تابش کوچك‌تر کاهش یابد، موج به‌وسیلهٔ لایهٔ E به زمین برنمی‌گردد بلکه از آن عبور خواهد کرد. این حداقل فاصله، **فاصلهٔ گریز** نام دارد و در شکل ۳ـ۸ نشان داده شده است. برای یك فرکانس معین هرکدام از لایه‌های یونوسفر فاصلهٔ گریز مخصوص به‌خود رادارند. از بحث قبلی می‌توان به‌وضوح دریافت که هر قدر فرکانس موج بیشتر باشد فاصلهٔ گریز آن هم بزرگ‌تر خواهد بود.

3. m.u.f. = Maximum Usable Frequency

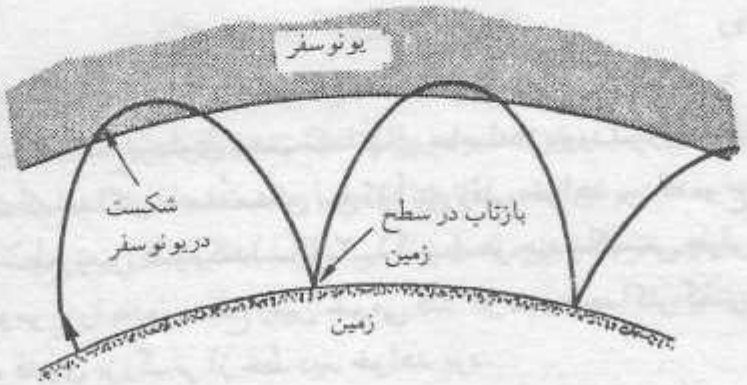
Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



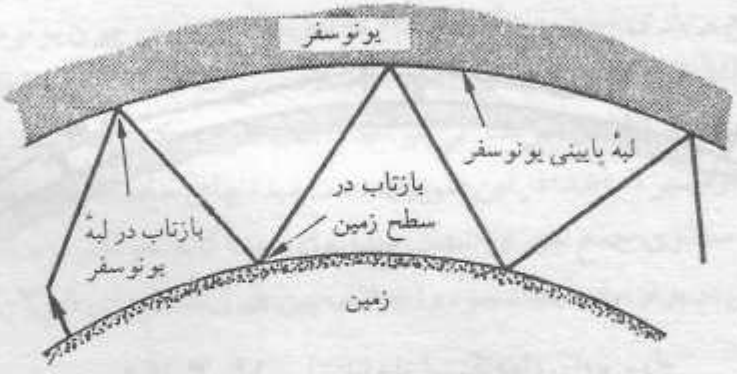
شکل ۳ـ۸ فاصلهٔ گریز

انتقالهای چند مسیری

وقتی که ارتباط بین دو نقطه با فاصلهٔ بیشتر از ۴۰۰۰ کیلومتر مورد نظر باشد، لازم است که ازدو مسیر یا بیشتر، مطابق شکل ۳ـ۹، استفاده شود. موج هوایی در یونوسفر شکسته می شود و به‌زمین برمی گردد، و موج به‌طرف پایین در سطح زمین بازتابیده می شود تابه طرف آسمان برگردد. m.u.f. کلی شبکهٔ چند مسیری کمترین m.u.f. هر کدام از شبکه‌هاست.



شکل ۳ـ۹ انتقال چندمسیری موج هوایی



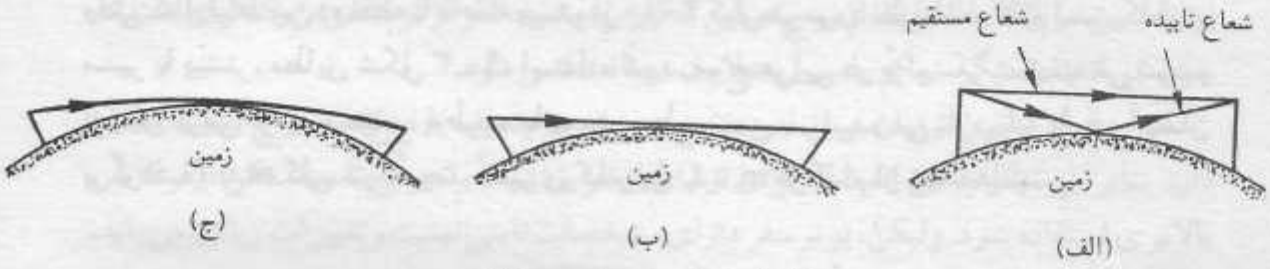
شکل ۳ـ۱۰ انتقال چند مسیری موج فرکانس پایین

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

در فرکانسهای پایین و خیلی پایین، یونوسفر تقریباً مثل سطح هادی خیلی خوبی عمل می کند و بنابراین علامتهای .V.L.F و .L.F از لبهٔ پایینی یونوسفر بازتابیده می شوند. ارتباطات معتبر جهانی از طریق بازتابهای چندگانه بین یونوسفر و زمین (شکل ۳ ـ ۱۰) امکان پذیر است.

موج فضایی

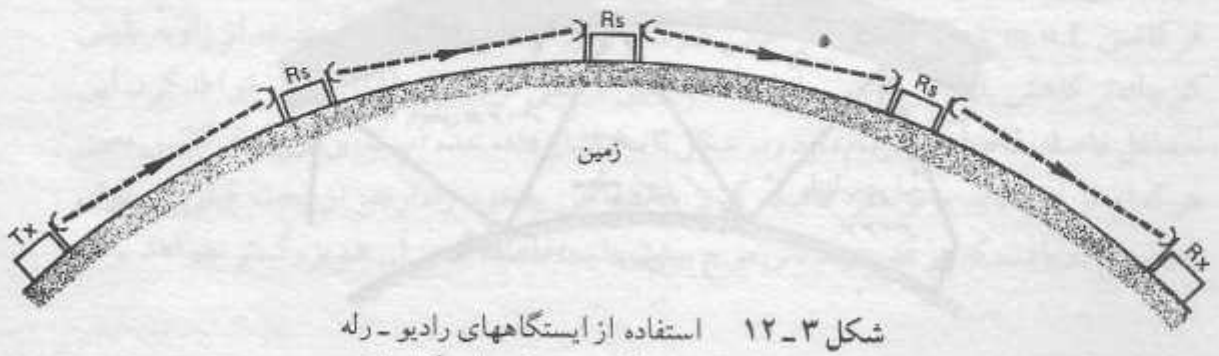
در نوار .V.H.F می توان آنتنها را به اندازهٔ چندین طول موج در بالای سطح زمین نصب کرد. در این صورت ارتباط به‌وسیلهٔ موج *فضایی* صورت می گیرد که دارای دو مؤلفه است. یکی از مؤلفه‌ها مستقیم و دیگری بازتابیده از زمین، مانند شکل ۳ ـ ۱۱ الف، است. شدت میدان کلی در آنتن



شکل ۳ ـ ۱۱ انتشار موج فضایی

گیرنده عبارت است از جمع برداری شدت میدانهای حاصله از ورود انرژی از طریق هر یك از دو مسیر. واضح است که حداکثر فاصلهٔ ممکن بین دو آنتن وقتی خواهد بود که موج مستقیم در مرکز شبکه از مجاورت سطح زمین عبور کند (شکل ۳ ـ ۱۱ ب)، هرچند شکستی جزئی در موج مستقیم صورت می گیرد و موج را به‌دور سطح زمین خم می کند. در نتیجه حداکثر گسترهٔ ممکن، مطابق شکل ۳ ـ ۱۱ ج، قدری بزرگ‌تر از خط دید خواهد بود.

در عمل میانگین طول شبکه را کوتاه‌تر از خط دید انتخاب می کنند، چون این عمل قابلیت اطمینان بیشتری به شبکه می‌دهد. برای ارتباطات فاصله‌های بیشتر لازم است از تعدادی



شکل ۳ ـ ۱۲ استفاده از ایستگاههای رادیو ـ رله
(Tx= فرستنده، Rx = گیرنده، Rs = ایستگاه رله)

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

ایستگاههای رله استفاده شود. اصول سیستم نقطه به نقطهٔ فاصلهٔ دور V.H.F. و U.H.F. در شکل ۳ ـ ۱۲ نشان داده شده است. علامت به‌وسیلهٔ آنتن در انتهای فرستندهٔ سیستم تشعشع می‌یابد و در اولین حلقهٔ زنجیرهٔ ایستگاههای رادیو ـ رله دریافت می‌شود. در اینجا ابتدا علامت تقویت و سپس به ایستگاه رلهٔ بعدی فرستاده می‌شود. در ایستگاه رلهٔ دوم علامت دریافت شده قبل از ارسال به سومین ایستگاه تقویت می‌شود، و به‌همین ترتیب این عمل برای تمام ایستگاههای رله که قسمتی از مسیر را تشکیل می‌دهند تکرار می‌شود.

از موج فضایی برای ارتباطات بین ایستگاه اصلی مرزی و تعدادی از ایستگاههای سیار نیز استفاده می‌شود. مثالهای معروف چنین سیستمی شبکه‌های ارتباطی پلیس و آتش نشانی هستند.

پژمرش (محو شدگی)

پژمرش، یا تغییر دامنهٔ علامت دریافت شده، دو نوع کلی دارد: پژمرش عمومی، که در آن تمام علامت به یك اندازه تضعیف می‌شود؛ و پژمرش بخشی، که قسمتی از مؤلفه‌های فرکانس علامت کاهش می‌یابد در حالی که همزمان سایر مؤلفه‌های فرکانس در دامنه افزایش پیدا می‌کنند.

پژمرش عمومی

موج رادیویی با عبور از میان یونوسفر تضعیف می‌شود، ولی چون یونوسفر در حالت پیوستهٔ شارمانند است، تضعیف ثابت نخواهد بود و دامنهٔ علامت دریافت شده تغییر می‌یابد. در شرایط بخصوصی ممکن است پژمرش (محو) کامل علامتها به مدت دو ساعت پیش آید. دریافت‌کننده‌های رادیویی به وسیلهٔ تنظیم خودکار بهره (a.g.c)[4] می‌توان ــ به‌استثنای پژمرش کامل ــ از پژمرش عمومی جلوگیری کرد.

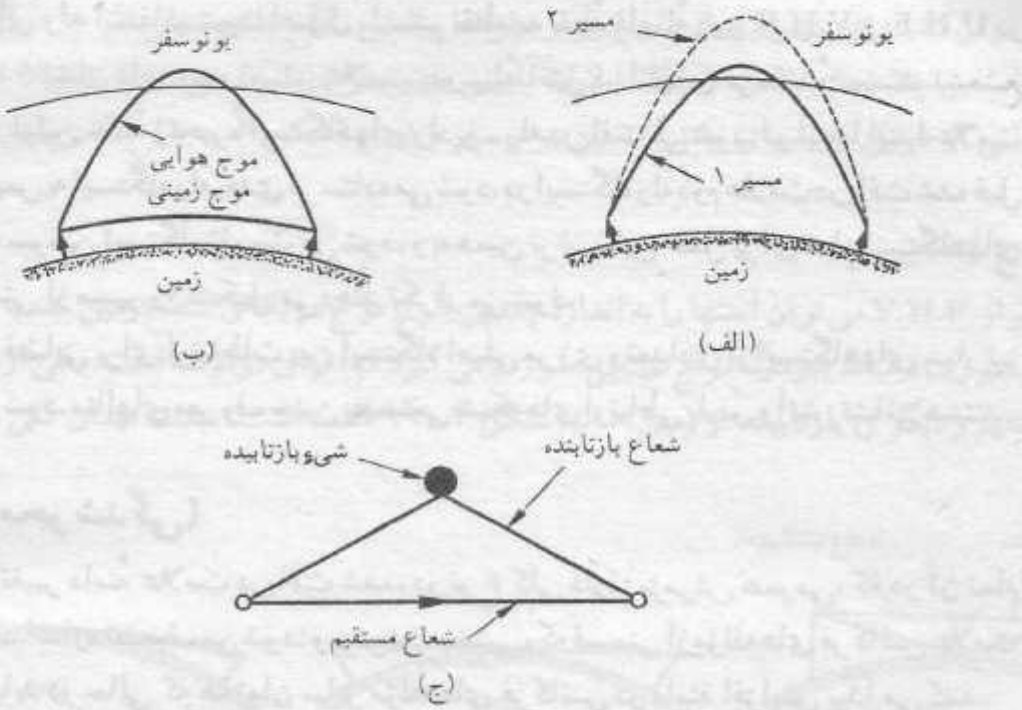
پژمرش بخشی

امواج رادیویی که به انتهای شبکهٔ رادیویی موج هوایی می‌رسند ممکن است از دو یا چند مسیر مختلف از میان یونوسفر عبور می‌کنند (شکل ۳ ـ ۱۳ الف). شدت میدان کلی در آنتن گیرنده عبارت است از جمع برداری شدت میدانهای حاصله به‌وسیلهٔ هر موج. چون یونوسفر تحت تأثیر نوسانهای پیوستهٔ غلظت یونیزاسیون خود است، اختلاف بین طول مسیرهای ۱ و ۲ تغییر می‌کند و این تغییر بر شدت کلی میدان دریافت‌کننده اثر خواهد داشت. فرض کنید مثلاً مسیر ۲ به اندازهٔ یك طول موج طویل‌تر از مسیر ۱ باشد؛ در این صورت شدت میدانهای حاصله به وسیلهٔ دو موج هم فاز و شدت میدان کلی مساوی جمع جبری شدت میدانهای جداگانه خواهد بود.

حال اگر نوسانی در یونوسفر ایجاد شود و اختلاف بین طول مسیرهای ۱ و ۲ را تا نصف طول

4. a.g.c. = Automatic Gain Control

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۳ـ۱۳ انتشار چندمسیری

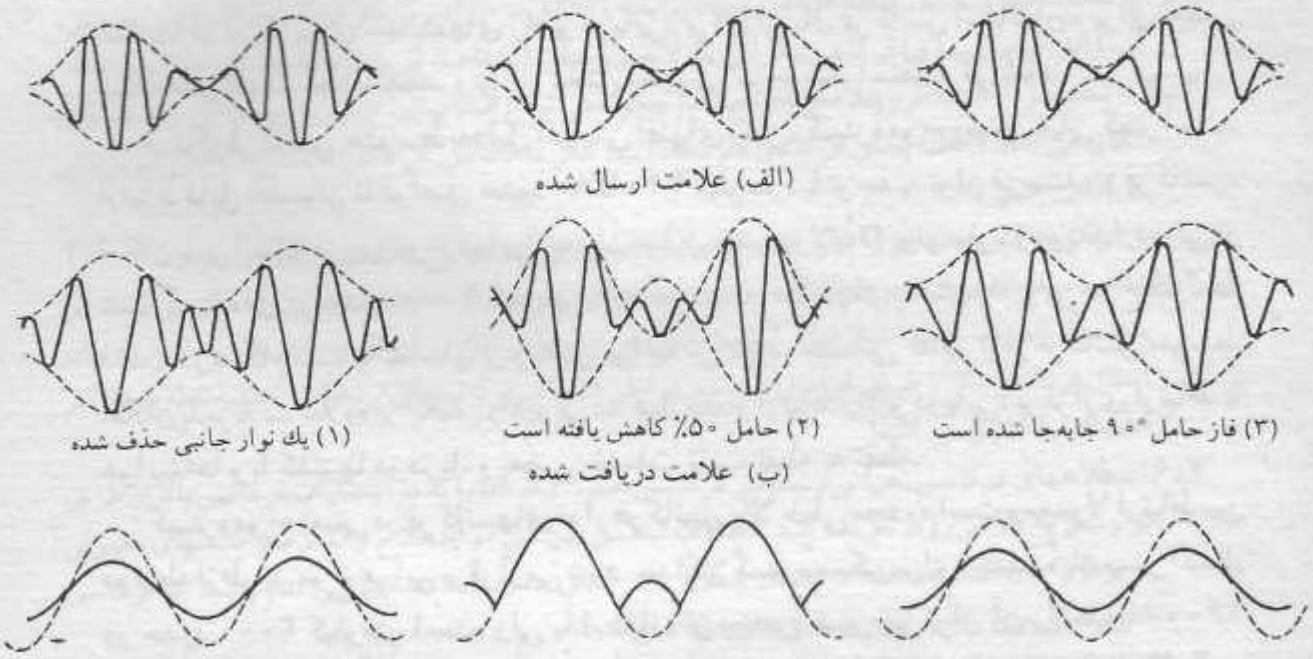
موج کاهش دهد، شدت میدانهای این دو در فاز مخالف هم و شدت میدان کلی برابر با تفاضل جبری آنها خواهد بود. اختلاف فاز بین شدت میدانهای حاصله به‌وسیلهٔ دو موج تابعی از فرکانس است و بنابراین جمع برداری دو شدت میدان برای هر مؤلفهٔ فرکانسی در علامت متفاوت خواهد بود. یعنی بعضی از فرکانسها ممکن است در یك لحظه تضعیف شوند در حالی که سایر فرکانسها تقویت یابند، این اثر بخصوص در سیستمهای مدولهٔ دامنهٔ نوار جانبی دوگانه شدیدتر خواهد بود چون اگر مؤلفهٔ حامل (کاریر) به سطحی کاملا زیر دو نوار جانبی تحلیل رود، نوارهای جانبی با یکدیگر تداخل می یابند و واپیچیدگی (اعوجاج) علامت قابل توجهی حاصل خواهد شد.

این اثر در شکل موجهای شکل ۳ـ۱۴ نشان داده شده است. پژمرش بخشی را نمی توان با استفاده از مدار a.g.c درگیرنده از بین برد، چون این اثر فقط به‌وسیلهٔ سطح حامل عمل می شود. روشهای متعددی برای کاهش پژمرش بخشی وجود دارند. به‌عنوان مثال استفاده از فرکانسهایی هرچه نزدیك تر به m.u.f. استفاده از آنتن فرستنده ــ که فقط یك مُد عملی انتشار را تشعشع می کند ــ استفاده از تك نوار جانبی یا سیستمهای مدولهٔ فرکانس، یا استفاده از دستگاههای بخصوص مانند لاین کمپکس[5].

در سیستمهایی که از امواج سطحی (یا زمینی) و فضایی استفاده می کنند نیز ممکن است

5. Line compex

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۳ـ۱۴ پژمرش بخشی

پژمرش بخشی به‌وجود آید. درروز لایهٔ D یونوسفر به‌طور کامل هر نوع انرژی را که به‌وسیلهٔ آنتن رادیویی موج متوسط به طرف آسمان تشعشع می شود جذب می کند. در شب لایهٔ D از بین می رود و هر تشعشعی به‌طرف آسمان به‌زمین برمی گردد و با موج سطحی تداخل می یابد، مطابق شکل ۳ ـ ۱۳ ب. در مناطقی که در شب موجهای زمینی و هوایی وجود دارند، با تغییرات در طول مسیر آسمانی، پژمرش سریع اتفاق می افتد. به‌همین دلیل است که دریافت رادیویی موج متوسط در شب خیلی بدتر از روز است؛ این اثر با استفاده از آنتنهای فرستنده با داشتن حداکثر بهره در طول سطح زمین و تشعشع حداقل انرژی به‌طرف آسمان کاهش می یابد.

شکل ۳ـ۱۳ ج نشان می دهد که چگونه دریافت علامت V.H.F. می تواند عملی شود. انرژی ازطریق مسیری مستقیم و با بازتاب از یك شیء بزرگ، مانند تپه یا منبع گاز، به گیرنده می رسد. اگر شیء بازتابنده ثابت نباشد، اختلاف فازبین دو علامت به‌سرعت تغییر می یابد و پژمرش سریع اتفاق می افتد. این موضوع اغلب روی پردهٔ گیرندهٔ تلویزیون، هنگام پرواز هواپیما در نزدیکی آن اتفاق می افتد.

استفاده از نوارهای فرکانس مختلف

با انتخاب دقیق فرکانس عملکرد، می توان ارتباط را در هر فاصله‌ای برقرار کرد. برای فواصل دور (هزاران کیلومتر)، می توان با استفاده از موج زمینی در نوارهای پایین و خیلی پایین شبکه‌های قابل اطمینانی را ایجاد کرد. از آنجایی که آنتنها در این فرکانسها دارای بازده کافی نیستند

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

استفاده از فرستنده‌های توان بالا ضروری است. از این روش انتشار برای برقراری ارتباط با کشتیها در دریا، برای سیستمهای رادیو دریایی، برای ارسال فرکانس استاندارد، برای بعضی شبکه‌های ثابت نقطه‌به‌نقطه، و برای پخش رادیویی موج بلند استفاده می‌شود.

در **نوار فرکانس متوسط** به‌دلیل افزایش افتهای زمین، گسترهٔ موج زمینی خیلی کمتر است. ارتباط قابل اطمینان تا فواصل حدود ۸۰ تا ۳۲۰ کیلومتر، با توجه به توان فرستنده و فرکانس، امکان‌پذیر است. در روز موج هوایی، به‌علت جذب شدن در لایهٔ D یونوسفر، وجود ندارد، ولی در شب گستره‌ای در حدود ۴۰۰۰ کیلومتر دارد. در نتیجه علامتهای پخش رادیویی موج متوسط اغلب در هنگام شب با تداخلهای زیادی مواجه می‌شود. خدماتی که در نوار فرکانس متوسط امکان‌پذیرند ــ علاوه بر پخش رادیویی ــ عبارتند از ارتباط رادیو دریایی، برقراری ارتباط با هواپیماها و با کشتیها در دریا، و بعضی خدمات ثابت نقطه به نقطه.

گسترهٔ موج زمینی در فرکانسهای **نوار فرکانس بالا** خیلی محدود است و معمولا ارتباط بین دو نقطه از طریق موج هوایی برقرار می‌شود. حداکثر گسترهٔ ممکن برای استفادهٔ یک مسیر انتقال در حدود ۴۰۰۰ کیلومتر است، ولی با استفاده از چندین مسیر می‌توان آن را حدود ۱۶۰۰۰ کیلومتر افزایش داد. خدمات رادیویی مختلف و متنوعی در نوار فرکانس بالا (H.F.) به کار برده می‌شوند؛ از جملهٔ این خدمات پخش رادیویی، ارتباط با هواپیما و کشتیها در دریا، و مدارهای تلفنی بین المللی است.

در بالای حدود ۳۰ مگاهرتز، در نوارهای **فرکانس خیلی بالا** (V.H.F.) و **فرکانس فرا بالا** (U.H.F.) ارتباط بین دو نقطه فقط با استفاده از موج فضایی[۶] ممکن است چون در این فرکانسها موج هوایی به طرف زمین برنمی‌گردد. حداکثر فاصله‌ای که می‌توان در آن شبکه‌ای را برقرار کرد متناسب با فاصلهٔ خط دید است ــ که خود به ارتفاع آنتنها بستگی دارد ــ و معمولا حدود ۴۰ تا ۶۰ کیلومتر است. وقتی که نصب شبکه‌ای با فاصلهٔ بیشتر لازم باشد ضروری است که از تعدادی ایستگاههای رله استفاده شود. از نوارهای V.H.F. و U.H.F. نیز برای سیستمهای سیار زمینی، مانند ارتباطات رادیویی پلیس و آتش‌نشانی، برای سیستمهای رادیو تلفنی نقطه‌به‌نقطه (معمولا چندکاناله)، برای پخش تلویزیونی، برای پخش رادیویی، و برای ارتباطات کشتی و هواپیما استفاده می‌شود.

تمرینها

۳ـ۱ در رابطه با انتشار موج رادیویی اصطلاحهای زیر را به‌طور خلاصه تعریف کنید: (الف) یونوسفر، (ب) فاصلهٔ گریز، (ج) موج هوایی، و (د) پژمرش.

۳ ـ ۲ به‌طور خلاصه توضیح دهید چگونه انتشار موج رادیویی برروی دستگاههای عملی انتقال در نوار فرکانسهای زیر اثر می‌گذارد: (الف) فرکانسهای خیلی پایین، یعنی زیر ۱۰۰ کیلوهرتز، (ب)

۶. نوع دیگر انتشار که پخش شده نام دارد، نیز در فرکانسهای معینی در نوارهای v.h.f. و u.h.f. موجود است.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

فرکانسهای بالا، یعنی بین ۱۰ و ۳۰ مگاهرتز، و (ج) فرکانسهای خیلی بالا، یعنی بین ۳۰ و ۳۰۰ مگاهرتز.

۳ـ۳ به کمك شکلهای ساده، اصطلاحهای زیر را در رابطه با انتشار موج رادیویی معرفی کنید: (الف) امواج زمینی، (ب) امواج هوایی، (ج) فرکانس بحرانی یك لایهٔ یونوسفر، (د) فاصلهٔ گریز، و (هـ) حداکثر فرکانس مفید.

۳ـ۴ به کمك نمودارها، به‌طور خلاصه توضیح دهید چگونه در انواع انتقالهای رادیویی زیر تداخل چند مسیری اتفاق می افتد: (الف) پخش فرکانس متوسط، (ب) تلفن فاصلهٔ دور فرکانس بالا، (ج) پخش تلویزیونی فرکانس خیلی بالا.

در هر حالت روشهایی را ذکر کنید که برای کاهش اثرهای هر نوع تداخل به کار می رود.

۳ـ۵ (الف) در فرکانسهای زیر ۳۰۰ مگاهرتز دو پدیدهٔ اصلی وجود دارند که ارتباط جهانی را ممکن می کنند. این پدیده‌ها را تعریف کنید و اختلافهای اساسی آنها و فرکانسهایی را که در آن کار می کنند تشریح کنید. (ب) در انتقال فرکانس بالا از طریق فواصل دور، چه عواملی انتخاب فرکانسهای ارتباطات نقطه به نقطه با حداکثر اطمینان را کنترل می کنند؟

۳ـ۶ اصطلاحهای *فرکانس بحرانی* و *حداکثر فرکانس مفید* (*m.u.f.*) را که در انتشارات فرکانس بالا از طریق یونوسفر به کار می روند تعریف کنید. اختلاف اساسی بین این دو اصطلاح و گسترهٔ فرکانسهای معمولی مربوط را بیان کنید. مشخصات انتشار چگونه با فرکانس حدود m.u.f. تغییر می کند، و شما چه فرکانس کارکرد بهینه‌ای را در رابطه با m.u.f. پیشنهاد می کنید؟

۳ـ۷ (الف) دو روش ایجاد ارتباط رادیویی فاصلهٔ دور در فرکانسهای زیر ۳۰۰ مگاهرتز را تشریح کنید، (ب) تفاوتهای اساسی بین دو روش توضیح داده شده در اصطلاحهای فرکانس حامل، نوع انتشار، خدمات تهیه شده، و توان فرستندهٔ مورد نیاز را جدول بندی کنید.

۳ـ۸ (الف) دو روش کسب ارتباط به‌وسیلهٔ رادیو را از ماورای افق در فرکانسهای زیر ۳۰۰ مگاهرتز معرفی کنید. (ب) مشخصات انتشار انتقالهای گستره‌های فرکانس زیر را تشریح کنید: (۱) فرکانس خیلی پایین، (۲) فرکانس متوسط، (۳) فرکانس بالا، (۴) فرکانس خیلی بالا.

۳ـ۹ (الف) به‌طور خلاصه اثرهای یونوسفر را بر ارتباطات رادیویی در فواصل دور توضیح دهید، (ب) فرکانسهای مناسب زیر ۳۰۰ مگاهرتز را که برای انتقال خدمات زیر به کار می روند بیان کنید: (۱) پخش برای منطقه‌ای با شعاع حدود ۴۰ کیلومتر، (۲) ارتباط نقطه به نقطه برای فواصلی بیش از ۵۰۰۰ کیلومتر. (ج) مُد انتشار در هر حالت را بیان کنید.

۳ـ۱۰ به کمك شکل، پنج تا از اصطلاحهای زیر را که در ارتباطات رادیویی راه دور به کار می روند تعریف کنید: (۱) موج زمینی، (۲) موج هوایی، (۳) یونوسفر، (۴) موج فضایی، (۵) فرکانس بحرانی در تابش عمودی، (۶) حداکثر فرکانس مفید.

تمرینهای کوتاه

۳ـ۱۱ منظور از قطبی شدن موج رادیویی چیست؟ چرا در رابطه با موج زمینی از قطبی شدن عمودی استفاده می شود.

۳ـ۱۲ اختلاف بین موج سطحی، زمینی و موج هوایی را مشخص کنید.

۳ـ۱۳ توضیح دهید چگونه یك موج هوایی که به‌طرف لایهٔ یونوسفر هدایت شده است ممکن است شکسته شود و به‌طرف زمین برگردد.

۳ـ۱۴ توضیح دهید چرا یك فرستندهٔ رادیو تلفنی که در نوار h.f. کار می کند فرکانسهای متعددی را برای استفاده در یك مسیر معین به کار می گیرد.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

۳ـ۱۵ توضیح دهید چرا پژمرش بخشی امواج رادیویی اتفاق می افتد.

۳ـ۱۶ چگونگی استفاده از نوار V.H.F. را برای ارتباط نقطه‌به‌نقطه توضیح دهید.

۳ـ۱۷ چگونگی شکل گرفتن یونوسفر را ذکر کنید.

۳ـ۱۸ توضیح دهید چرا نمی توان با افزایش توان ارسالی فاصلهٔ گریز را زیاد کرد.

۳ـ۱۹ یک موج هوایی شبکهٔ رادیویی H.F. سه مسیر متوالی را انتخاب می کند. حداکثر فرکانسهای مفید سه مسیر به‌ترتیب عبارتند از: ۵/۵ مگاهرتز، ۶/۵ مگاهرتز، و ۶/۱ مگاهرتز. حداکثر فرکانس مفید کلی چقدر است؟

۳ـ۲۰ توضیح دهید چرا ایجاد یک شبکه رادیویی فرکانس پایین با استفاده از بازتاب از لایهٔ پایین لایهٔ D در جهت شمال به جنوب آسان‌تر از جهت شرق به غرب است.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

۴ مدارهای گیرندهٔ رادیویی

اصول عملکرد گیرنده‌های رادیویی در فصل ۵ تشریح خواهد شد. در این فصل دربارهٔ عملکرد مدارهایی صحبت می‌شود که به‌طور مشترک درگیرنده‌های رادیویی جدید به کار می‌روند.

تقویت کننده‌های میزان شده

تقویت کنندهٔ میزان شده مداری است که برای ارائهٔ نوار نسبتاً باریکی از فرکانسها، که در حوالی فرکانس رادیویی بخصوصی متمرکز شده‌اند، به کار برده می‌شود. چنین تقویت کننده‌ای دو کارکرد عمده دارد: اولا، تهیهٔ بهرهٔ مشخص برای نوار فرکانس معین، ثانیاً، انجام گزینندگی ضروری برای تضمین این امر که فرکانسهای خارج از نوار موردنظر تقویت نخواهند شد. مدار تشدید ـ موازی به‌عنوان بارجمع کننده (کلکتور) به‌کار می‌رود؛ این مدار برای فرکانس عملکرد مورد نیاز تنظیم و به‌منظور داشتن پهنای نوار ۳dB موردنظر طراحی شده است. محصول LC مورد نیاز نسبتاً کوچك است و به‌سادگی به‌دست می‌آید؛ ظرفیتهای (خازنهای) خاص دستگاه و ظرفیتهای پراکنده که اثر معکوسی بر روی حاصل عملکرد تقویت کنندهٔ میزان نشده می‌گذارند اکنون به‌ظرفیت مدار میزان شده کمك می‌کنند.

درفرکانسهای رادیویی می‌توان از ترانزیستورها برای پس‌خور قابل ملاحظهٔ داخلی استفاده کرد و تقویت کنندهٔ میزان شدهٔ ترانزیستوری باید طوری طراحی شود که از ناپایداری جلوگیری کند. معمولا از ترتیب *امیتر ـ مشترك* (صادرکننده ـ مشترك) استفاده می‌شود چون بزرگ‌ترین بهره را فراهم می‌آورد، کمتر مستعد ناپایداری است، و مقاومتهای ظاهری ورودی و خروجی آن ساده‌ترین مقادیر را دارند. اتصال پایه ـ *مشترك* وقتی به‌کار می‌رود که به یك یا چند مشخصهٔ آن نیاز باشد. این مشخصات از این قرارند: (الف) در طول پهنای نوار وسیع، کم و بیش بهرهٔ ثابتی را ارائه می‌دهند، (ب) پراکندگی در بهره‌های جریان برای ترانزیستورهای مختلف که

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

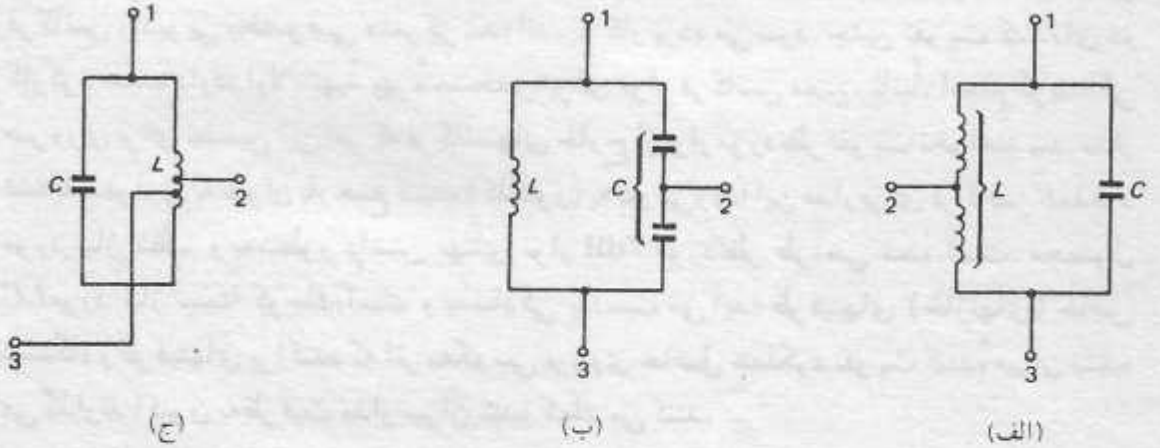
از یك نوعند کمتر است چون:

$$h_{fe}=\frac{h_{fb}}{(1-h_{fb})}$$

این خاصیت اطمینان می‌دهد که جایگزینی ترانزیستور منجر به تغییر زیادی در عملکرد تقویت کننده نخواهد شد. و (ج) ترانزیستور در پایه ـ مشترك می‌تواند بهرهٔ بزرگ‌تری در فرکانسهای نزدیك f_t ترانزیستور نسبت به همان ترانزیستور در امیتر ـ مشترك تهیه کند.[1] انتخاب نوع اتصال به این بستگی دارد که کدام یك بهرهٔ بزرگ‌تر و پایدارتری را ارائه می‌دهند.

به‌دلیل اینکه مؤلفه‌های به‌کار برده شده در تقویت کنندهٔ فرکانس رادیویی با دقت صددرصد ساخته نشده‌اند حداقل به یك مؤلفهٔ تنظیم متغیر مثلا بوبین القایی یا خازن نیاز است، به‌طوری که مدار بتواند در ابتدا تنظیم یا *متعادل* شود. بعضی از تقویت کننده‌ها مثل تقویت کننده‌های *فرکانس میانی* (I.F.) در گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین[2] در فرکانس ثابتی کار می‌کنند و، بعد از تنظیم اولیه، معمولا تنظیم مجدد نمی‌شوند. سایر تقویت کننده‌ها نیازمندند که در فرکانسهای مختلف کار کنند و بنابراین ضروری است برای فرکانس موردنظر میزان شوند.

منطقهٔ تقویت کنندهٔ ترانزیستوری، جریان ورودی ــ یا به عبارت دیگر توان ورودی ــ را می‌گیرد و در حقیقت تقویت کنندهٔ توان است، برای تقویت حداکثر توان، هر منطقه باید به منطقهٔ بعدی تطبیق و یا تقریباً تطبیق داده شود. شبکهٔ جفت شدگی (کوپلاژ) منطقهٔ میانی باید فرکانس



شکل ۴ـ۱ سه‌روش اتصال به‌مرکز مدار میزان شدهٔ موازی

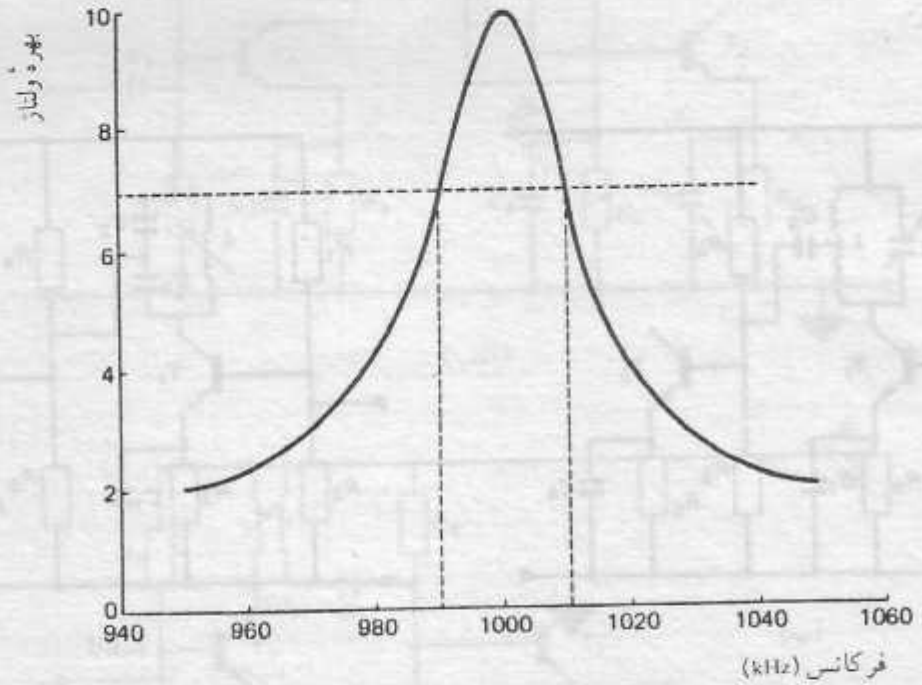
۱. f_t فرکانسی است که در آن قدر مطلق بهرهٔ جریان مدار اتصال کوتاه در امیتر ـ مشترك $|h_{fe}|$ به‌مقدار واحد کاهش می‌یابد. همچنین عبارت است از حاصلضرب $|h_{fe}|$ و فرکانس عملکرد؛ یعنی اگر $f_t = ۱۰۰$ MHz، در $|h_{fe}| = ۱$، $|h_{fe}| = ۲.۵۰$ MHz یا در $|h_{fe}| = ۱۰.۱۰$ MHz و به همین ترتیب.

2. superheterodyne

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

مرکزی و پهنای نوار منطقه را تعیین کند، در حالی که همزمان باید توان فرکانس رادیویی کافی را به منطقهٔ بعدی منتقل و نیز تطبیق را فراهم کند.

اگر بوبین القایی (سیم پیچ القا) مدار میزان شدهٔ موازی مطابق شکل ۴ـ۱ الف به مرکز متصل شود و یا خازن آن مطابق شکل ۴ـ۱ ب به دو خازن تقسیم شود، فرکانس تشدید آن تغییر نخواهد کرد. مقاومت ظاهری با توجه به پایانه‌های ۱ و ۲ خیلی کوچک‌تر از مقاومت ظاهری با توجه به پایانه‌های ۱ و ۳ است، این کاهش مقاومت ظاهری بستگی به نسبت القا (یا ظرفیت) دارد. اگر پایانه‌های ۱ و ۳ به پایانه‌های خروجی یك ترانزیستور و پایانه‌های ۱ و ۲ به پایانه‌های ورودی ترانزیستور بعدی وصل شوند، انتخاب مناسب نسبت القا (یا ظرفیت) می تواند مقادیر مقاومت ظاهری مورد نیاز را ارائه دهد. بهرهٔ ولتاژ یك تقویت کنندهٔ میزان شده هم با بهرهٔ جریان ترانزیستور و هم با مقاومت ظاهری مدار میزان شدهٔ جمع کننده تعیین می شود. بنابراین منحنی بهره / فرکانس یك تقویت کنندهٔ میزان شده با گزینندگی بارمدار میزان شدهٔ جمع کنندهٔ آن تعیین می شود. یك منحنی نمونه در شکل ۴ ـ ۲ نشان داده شده است.



شکل ۴ ـ ۲ منحنی بهره / فرکانس تقویت کنندهٔ میزان شده

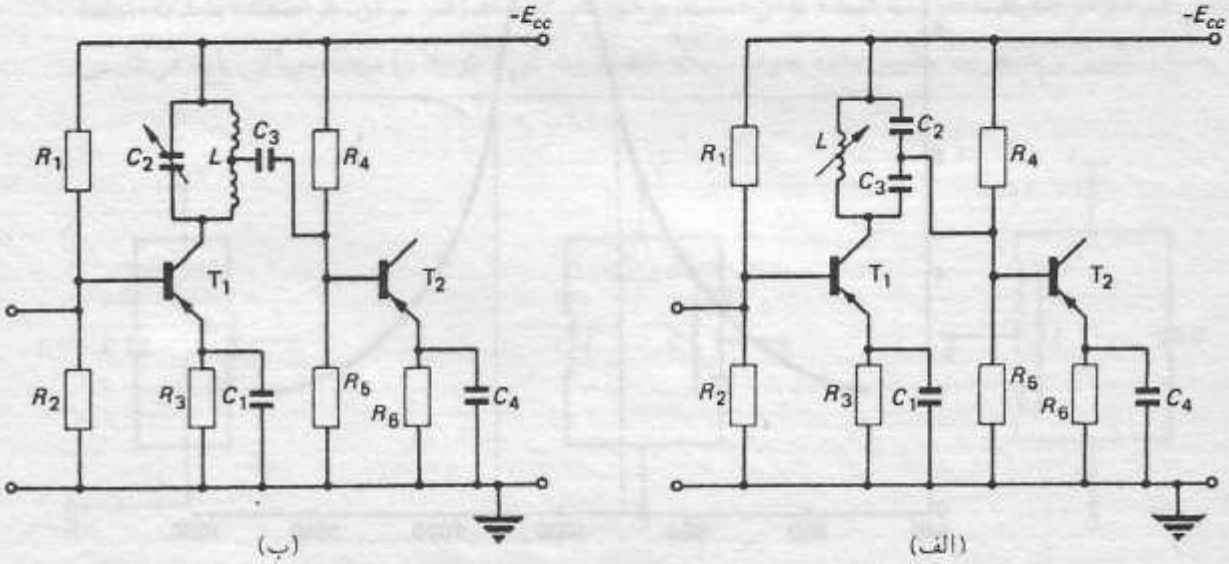
پهنای نوار تقویت کنندهٔ میزان شده معمولا عبارت است از پهنای نواری از فرکانسها که برای آنها بهره پایین تر از ۳dB ($\frac{1}{\sqrt{2}}$ برابر) بهره در فرکانس تشدید نیست. بنابراین پهنای نوار منحنی بهرهٔ تقویت کنندهٔ شکل ۴ـ۲ برابر kHz ۲۰ است. مقاومت ظاهری خروجی ترانزیستور و، به‌طور دقیق‌تر، مقاومت ظاهری ورودی ترانزیستور که در منطقهٔ بعدی به کار برده شده است.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

به‌طور موازی با مقاومت دینامیکی مدار میزان شده ظاهر می شود. اگر پهنای نوار باریکی لازم باشد (گزینندگی خوب)، مقاومت دینامیکی R_d مدار میزان شده نباید توسط مقاومتهای موازی، زیاد کاهش یابد.

مقاومت ورودی یك ترانزیستور با اتصال امیتر ـ مشترك نسبتاً کم است ــ معمولا در گسترهٔ Ω ۲۰۰۰ ـ ۵۰۰ ــ و بنابراین نباید به دو سر مدار میزان شدهٔ کامل وصل شود. در غیر این صورت $\mathbf{R_d}$ به مقدار کمی کاهش می یابد و هم بهره و هم گزینندگی تقویت کننده صدمه خواهد دید. مقاومت ظاهری خروجی ترانزیستوری به‌طور قابل ملاحظه‌ای بزرگ‌تر است ــ معمولا حداقل Ω ۲۰k ــ و ممکن است که پایانه‌های جمع کننده ـ پایهٔ آن را مستقیماً به دو سر مدار میزان شده، وصل کرد بدون اینکه تضعیف دیگری به عمل آید. ولیکن بعضی اوقات، برای به حداقل رساندن باردهی بر روی مدار میزان شده و برای رسیدن به حداکثر گزینندگی، جمع کننده نیز به یك نقطهٔ اتصال وصل می شود (ن. ك. به‌شکل ۴ ـ ۱ ج).

شکل ۴ ـ ۳ مدارهای دوتقویت کنندهٔ ترانزیستوری جمع کنندهٔ میزان شده را نشان می دهد. مدار میزان شده ازموازی شدن L با خازنهای C_2 و C_3 در شکل ۴ ـ ۳ الف و یا C_2 به‌تنهایی در شکل ۴ ـ ۳ ب، بعلاوهٔ ظرفیتهای پراکنده و ترانزیستور تشکیل شده است.



شکل ۴ ـ ۳ تقویت کننده‌های ترانزیستوری جمع کنندهٔ میزان شده

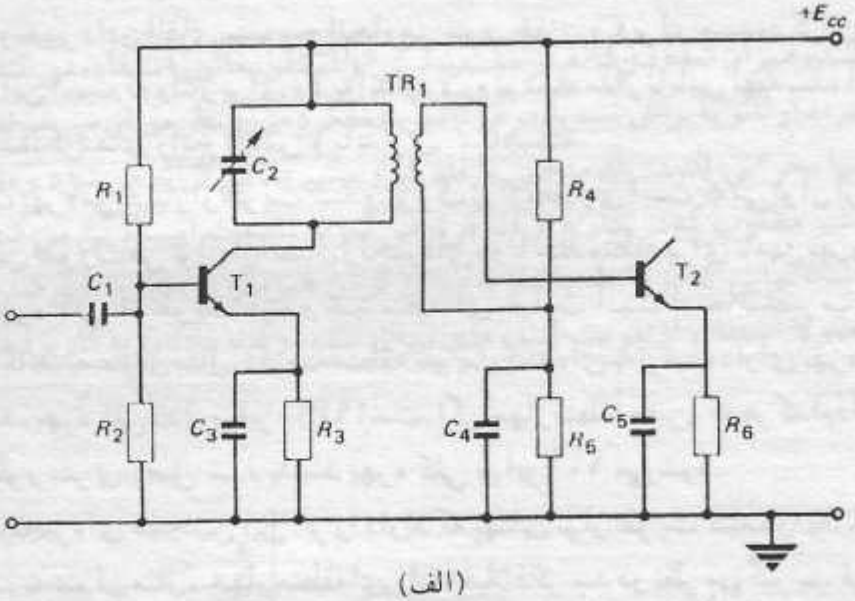
در فرکانسهای بالاتر ترانزیستور و ظرفیتهای پراکنده ممکن است به‌اندازهٔ کافی بزرگ باشند، به‌طوری که به یك خازن میزان شدهٔ فیزیکی نیاز نباشد. شکلهای ۳ ـ ۴ الف و ب به‌وسیلهٔ مقاومتهای R_1 تا R_6 و خازنهای جداکنندهٔ (دکوپلاژ) مربوط به آنها تکمیل شده‌اند؛ این اجزا پایداری بایاس و d.c. را برای مدارها فراهم می کنند. تنها عنصری که ذکر نشده است خازن C_3

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

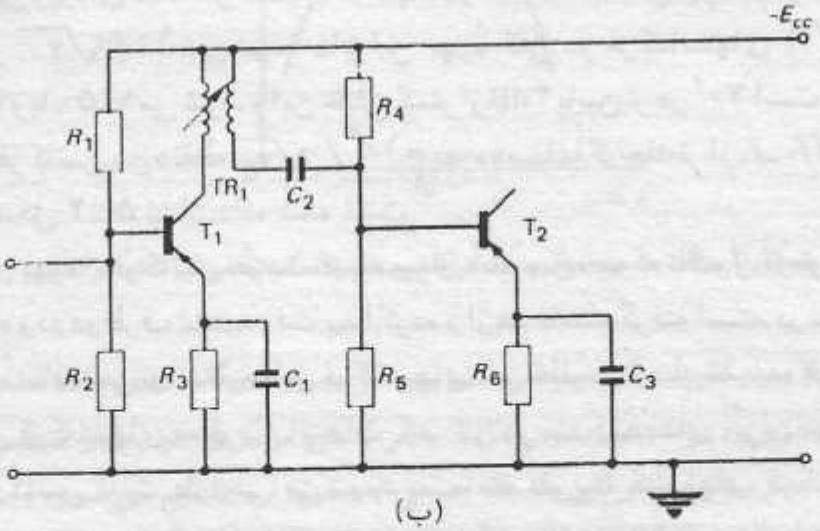
در شکل ۴ـ۳ ب است؛ این خازن d.c. را مسدود و از به‌هم خوردن ترتیب بایاس ترانزیستور T_2 جلوگیری می کند.

بار جمع کننده ـ میزان شده دارای حداکثر مقاومت ظاهری $R_{ll}=\frac{1}{C_r}$ اهم در فرکانس تشدید $f_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{(LC)}}$ هرتز است. در اینجا r مقاومت سیم‌پیچ بوبین و C ظرفیت برآیند مدار جمع کننده، شامل ترکیب موازی ظرفیت مدار کلی، ظرفیتهای T_1 و T_2، و ظرفیتهای پراکندهٔ مختلف است. مقدار R_d با اثرهای مهار کردن مقاومت خروجی T_1 و مقاومت ورودی T_2 که توسط نسبتهای اتصال به مدار میزان شده تغییر کرده، به مقدار کمتری کاهش یافته است.

روش دیگر جفت شدن منطقه‌های تقویت کنندهٔ میزان شدهٔ فرکانس رادیویی **جفت شدگی القایی** است که یا با سیم‌پیچ اولیه و یا با سیم‌پیچ ثانویه، به‌کمک خازن متغیر برای تشدید در



(الف)



(ب)

شکل ۴ـ۴ تقویت کننده‌های ترانزیستوری میزان شدهٔ ساده

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

فرکانس عملکرد موردنظر میزان می شود. به‌علت مقاومت ورودی کم ترانزیستور، معمولا مدار اولیه میزان می شود. مدار تقویت کننده ترانزیستوری **میزان شدهٔ ساده** در شکل ۴ ـ ۴ نشان داده شده است. R_1 تا R_6 بایاس d.c. رایج و عناصر پایدار و C_3،C_4 و C_5 عناصر جداکننده هستند. سیم پیچ اولیهٔ ترانسفورماتور فرکانس رادیویی TR_1 به‌وسیلهٔ خازن متغیر C_2 برای تشدید در فرکانس علامت میزان می شود. سیم پیچ ثانویهٔ TR_1 تعداد دورهای کمتری نسبت به سیم پیچ اولیه دارد، به‌این منظور که مقاومت ورودی کم T_2 تا مقدار درست مقاومت بارجمع کننده برای T_1 بالا رود.

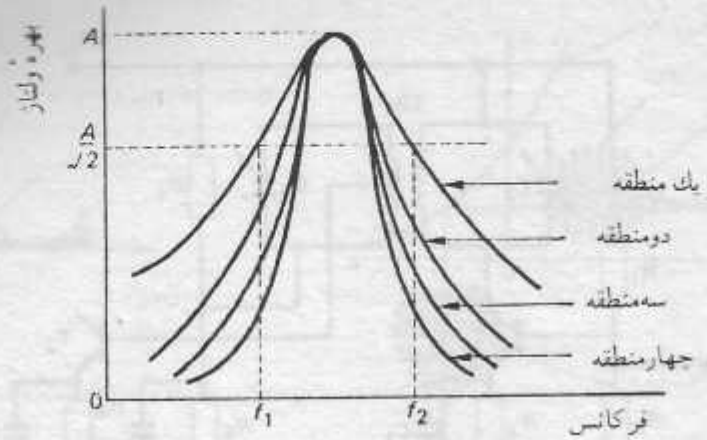
نوع دیگر تقویت کنندهٔ ترانزیستوری میزان شدهٔ ساده در شکل ۴ ـ ۴ ب نشان داده شده است. سیم پیچ اولیهٔ ترانسفورماتور TR_1 با ظرفیتهای پراکندهٔ مختلف در مدار جمع کننده موازی است و از خازن تنظیم فیزیکی استفاده نشده است. تنظیم به‌فرکانس موردنیاز با حرکت یك هستهٔ آهنی پیچ مانند و تغییر دادن القای سیم پیچ انجام می شود. خازن C_2 برای مسدود کردن منبع جمع کننده و تضمین این است که ولتاژ برای T_2 به‌اندازهٔ لازم بوسیلهٔ مدار بایاس تهیه شده است. بقیهٔ عناصر دارای عملکردهای رایج بایاس و پایداری d.c. هستند.

اغلب اوقات بهرهٔ موردنیاز از تقویت کننده، بزرگ‌تر از مقداری است که می توان از یك منطقه کسب کرد، در این صورت می توان از اتصال **زنجیره‌ای** دو یا چند منطقه برای تأمین بهرهٔ موردنیاز استفاده کرد. بهرهٔ کلی A تقویت کنندهٔ چند منطقه‌ای عبارت است از حاصلضرب بهره‌های منطقه‌های جداگانه. به‌عنوان مثال، اگر سه منطقهٔ تقویت کننده‌ای به‌ترتیب دارای بهره‌های ولتاژ ۱۰، ۱۲ و ۸ باشد، بهرهٔ کلی مدار برابر ۹۶۰ است. اگر چهار منطقهٔ معین، که هر کدام دارای بهرهٔ ۱۰ هستند، به‌طور سری وصل شده باشند بهره کلی برابر 10^4 می شود.

منطقه‌های زنجیره‌ای همچنین این اثر را دارند که پهنای نوار تقویت کننده را به‌اندازهٔ 3dB کاهش می‌دهند. به‌عنوان مثال، چهار منطقه‌ای را که قبلا ذکر شد در نظر می گیریم. فرض کنید فرکانسهای پایین و بالای 3dB هر منطقه به‌ترتیب f_1 و f_2 باشند: سپس بهره در هر منطقه در این فرکانسها برابر $10/\sqrt{2}$ می شود. بنابراین بهرهٔ کلی در فرکانسهای f_1 و f_2 برابر $(10/\sqrt{2})^4$ و یا ۱۲۵۰ می شود، و این خیلی کمتر از 3dB پایین تر در 10^4 است. پهنای نوار 3dB کلی، نوار فرکانس بین «نقطه $10^4/\sqrt{2}$ = بهره» مسلماً کوچك تر از f_1 ـ f_2 است. *تمرکز پهنای نوار* در شکل ۴ ـ ۵ نشان داده شده است.

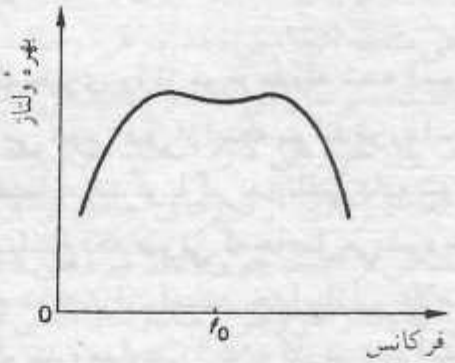
مشخصه‌های بهره / فرکانس تقویت کنندهٔ میزان شدهٔ ساده ــ که تاکنون در مورد آن بحث شد ــ صاف شده و در دو طرف تشدید افت پیدا کرده و از هم فاصله گرفته است. در نتیجه تقویت کنندهٔ میزان شدهٔ ساده نمی تواند در مقابل فرکانسهای غیرمطلوب نزدیك تشدید، بدون از دست دادن مقداری از فرکانسهای مطلوب، انتخاب کند. در تقویت کننده‌های میزان شده که برای کارکردن در فرکانس ثابت طراحی می شوند ــ مانند تقویت کننده‌های فرکانس میانی درگیرنده‌های سوپرهترودین که با استفاده از جفت شدگی ترانسفورماتور میزان شدهٔ دوگانه کار می کنند ــ این عیب می تواند از بین برود.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۴ـ۵ تمرکز پهنای نوار

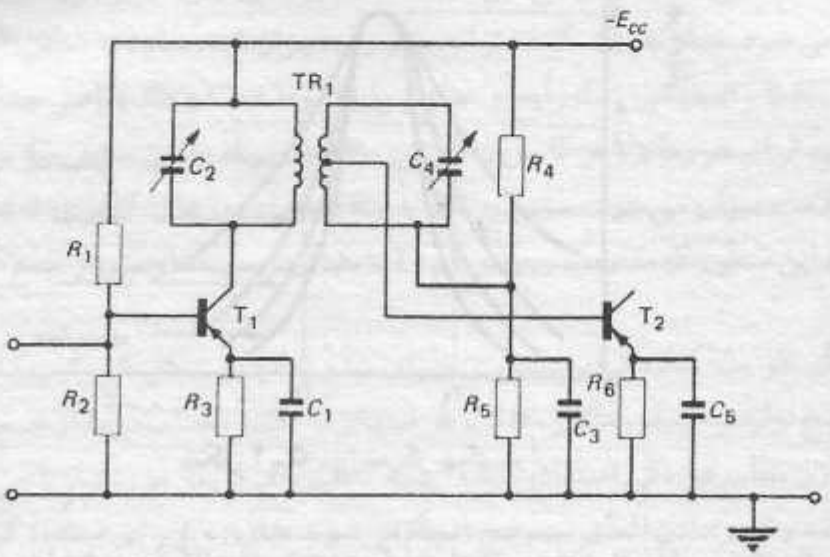
تقویت کنندهٔ میزان شدهٔ دوگانه ازجفت شدگی ترانسفورماتور راستفاده می کند که در آن هم مدار اولیه وهم مدار ثانویه برای تشدید در فرکانس عملکرد مورد نظر میزان می شوند. اگر اتصال بین سیم پیچها بحرانی باشد، یك منحنی با قلهٔ کم و بیش صافی ارائه می شود و مدار در مقابل فرکانسهای غیر مطلوب که در خارج از قله قرار می گیرند باشدت ایستادگی می کند (شکل ۴ ـ ۶). به علت اشکالهایی که در رابطه با نیاز به میزان کردن همزمان دو مدار متصل شدهٔ میزان شده وجود دارد، معمولا استفاده از تقویت کننده های میزان شدهٔ دوگانه محدود به کاربردهای فرکانس ثابت می شود.



شکل ۴ـ۶ منحنی بهره/فرکانس تقویت کنندهٔ میزان شدهٔ دوگانه

در شکل ۴ـ۷ مدار تقویت کنندهٔ ترانزیستوری میزان شدهٔ دوگانه نشان داده شده است. هردو سیم پیچ اولیه و ثانویهٔ ترانسفورماتور TR۱ به‌فرکانس مرکزی موردنیاز تنظیم می شوند و جداشدگی بین سیم‌پیچها تا موقعی که قلهٔ صافی به‌دست آید تنظیم می شود. وقتی که القای سیم پیچ ثانویه زیاد باشد، اتصال به پایهٔ ترانزیستور بعدی ازطریق اتصال به مرکز، مطابق شکل، انجام می شود، ولی اگر القای ثانویه کم باشد اتصال به‌مرکز لازم نخواهد بود.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۴ـ۷ تقویت کنندهٔ ترانزیستوری میزان شدهٔ دوگانه

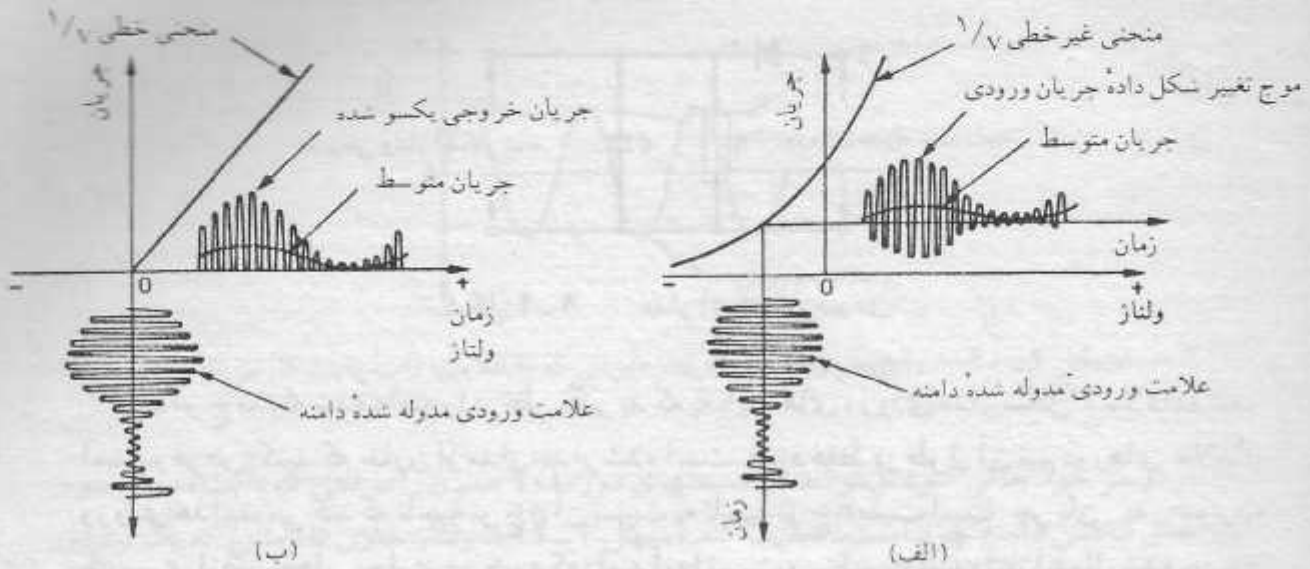
به‌علت پایین بودن نسبی مقاومت ورودی ترانزیستور T_2، باردهی بر روی مدار میزان شدهٔ دوم می‌تواند بزرگ باشد و میزان شدهٔ دوگانه ممکن است مقدار اندکی ــ در صورت وجود ــ پیشرفت در عملکرد را ارائه دهد. به همین دلیل، اغلب تقویت کننده‌های فرکانس میانی (i.f.) در گیرنده‌های رادیویی ترانزیستوری از مدارهای میزان شدهٔ ساده استفاده می‌کنند.

آشکارسازها

درگیرندهٔ رادیویی باید علامت خبری را از موج مدوله شده (سوار شده) ــ که درخروجی آخرین تقویت کنندهٔ i.f. ظاهر می‌شود و قبل از اینکه بتواند مورد استفاده قرار گیرد ــ جدا کرد، چون اگر موج مدوله شده مستقیماً به بلندگو یا گیرندهٔ تلفنی داده شود دستگاه قادر به پاسخ دادن نیست. حتی اگر دستگاه بتواند پاسخ دهد صوتی که حاصل می‌شود خارج از گسترهٔ فرکانسهایی است که گوش انسان قادر به شنیدن آن است. جداسازی علامت خبری از موج مدوله را آشکارسازی یا دمدولاسیون گویند و مداری را که به کار می‌رود **آشکارساز** یا دمدولاتور نامند. معمولاً اصطلاحهای دمدوله کردن و دمدولاسیون منحصر به کاربردهای علامتهای مدولهٔ دامنهٔ تك نوار جانبی (s.s.b.) است. در این فصل فقط در مورد آشکارسازی موجهای مدوله شدهٔ دامنهٔ نوار جانبی دوگانه (d.s.b.) بحث می‌شود.

در مدولاسیون دامنه، علامت خبری به‌شکل تغییرات دامنهٔ موج حامل حمل می‌شود، وروند آشکارسازی عبارت است از تولید ولتاژی که به همان شکل پاکت موج حامل مدوله‌شده تغییر می‌یابد. علامت خروجی آشکارساز دلخواه عبارت است از نسخهٔ درستی از علامت خبری مدوله‌شده بر روی حاملی که به آشکارساز داده شده است. در صورتی که علامت خروجی با

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۴ـ۸ اصول (الف) آشکارساز غیرخطی، و (ب) آشکار ساز خطی

علامت خبری یکسان نباشد برخی واپیچیدگی به وسیلهٔ آشکارساز ارائه می شود.

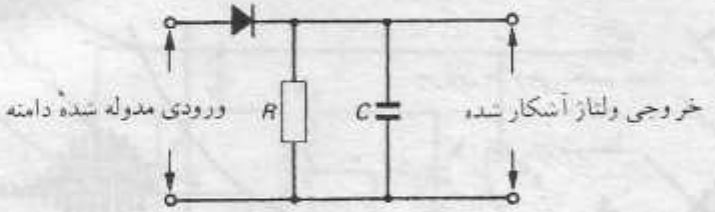
تعداد زیادی از انواع مختلف مدار آشکارساز وجود دارند ولی اغلب آنها می توانند در یکی از این دو دسته قرارگیرند: (الف) آشکارسازهای غیرخطی، و (ب) آشکارسازهای خطی. آشکارساز **غیرخطی** آشکارسازی است که دارای منحنی جریان/ ولتاژ غیر خطی است. مطابق شکل ۴ـ۸ الف، که آشکارسازی را با تغییر شکل دادن موج ورودی انجام می دهد و مقدار متوسط جریان منتجهٔ خروجی را جدا می کند. از طرف دیگر آشکارساز **خطی**، دارای منحنی جریان/ ولتاژ خطی است (شکل ۴ـ۸ب) و عمل آشکارسازی را با یکسو کردن موج ورودی و جدا کردن مقدار متوسط جریان خروجی منتجه انجام می دهد. در هر دو حالت مقدار متوسط، یا مؤلفهٔ d.c.، در فرکانس علامت خبری مدوله شده نوسان می کند. واپیچیدگی، یا یکسو کردن موج ورودی قبل از جداسازی مقدار متوسط جریان خروجی لازم است، چون مقدار متوسط یك موج مدوله شدهٔ دامنهٔ واپیچیده نشده برای تعداد زیادی از دورهای حامل برابر صفر است.

آشکارساز غیرخطی حساس تر است چون ولتاژ خروجی لازم نسبت مستقیم با مجذور ولتاژ حامل ورودی دارد، در حالی که ولتاژ خروجی آشکارساز خطی فقط نسبت مستقیم با خود ولتاژ حامل ورودی دارد.

آشکارساز دیودی

آشکارساز دیودی متداول ترین نوع آشکارساز است، چون قادر است با حداقل واپیچیدگی، آشکارسازی را انجام دهد و ارزان ترین آنها هم هست. شکل ۴ـ۹ مدار **آشکارساز دیودی** را نشان می دهد که اساساً شامل یك دیود است که به‌طور سری به شبکهٔ مقاومت ـ خازن متصل شده است.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۴ـ۹ مدار آشکارساز دیودی

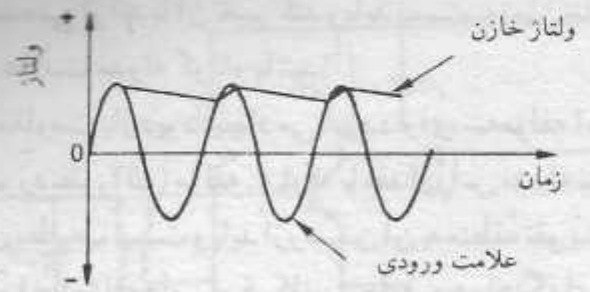
یك موج مدوله شدهٔ دامنه را درنظر بگیرید که به‌پایانه‌های ورودی مدار شکل ۴ـ۹ داده شده است و فرض کنید که خازن از مدار جدا شده است. دیود فقط در طول آن نیم دورهای علامت ورودی هدایت می کند که ناحیهٔ نوع p آن نسبت به ناحیهٔ نوع n مثبت است. جریان به صورت یك سری ازضربه‌هایی جاری می شود که دامنهٔ آنها نسبت مستقیم بادامنهٔ ولتاژ اعمال شده به‌دیود دارد. ضربه‌های جریان درمقاومت بار R دیود جاری می شود وولتاژی دردوسر آن ایجاد می کند که تغییرات آن مطابق شکل ۴ـ۸ب است. مقدار متوسط ولتاژ بار با فرکانس مدولاسیون مورد نظر تغییر می کند و بنابراین آشکارسازی اتفاق می افتد. این مدار ساده یك آشکارساز بابازدهٔ غیر کافی است، چون فقط $1/\pi$ ولتاژ ورودی در پایانه‌های خروجی به‌عنوان خروجی آشکار شده وجود خواهد داشت.

مؤلفه‌های دیگری نیز، در d.c.، در فرکانس حامل، و در هماهنگهای فرکانس حامل، وجود دارند.

اگر خازن را مجدداً مطابق شکل ۴ـ۹ به‌مدار وصل کنیم، بازده آشکارسازی η (η عبارت است از نسبت ولتاژ رأس خروجی در فرکانس مدولاسیون به‌ولتاژ رأس ورودی) به‌اندازهٔ π برابر افزایش می یابد. عملکرد خازن در این افزایش از این قرار است: اگر یك موج حامل مدوله نشده با دامنهٔ ثابت به آشکارساز اعمال شود، اولین نیم دور مثبت موج سبب هدایت دیود می شود. جریان دیود خازن را به‌اندازهٔ اندکی کمتر از مقدار رأس ولتاژ علامت ورودی پُر می کند (اندکی کمتر به‌دلیل افت ولتاژ کم در خود دیود). در انتهای این نیم دور اول، هدایت دیود کاهش می یابد و خازن در مقاومت بار R در زمانی معادل CR ثانیه، **ثابت زمانی** مدار خالی شدن، شروع به خالی شدن می کند. ثابت زمانی جهت حصول به این اطمینان انتخاب می شود که خازن نتواند قبل ازرسیدن نیم دور مثبت بعدی علامت ورودی برای پر کردن مجدد خازن، به‌سرعت خالی شود (ن.ك. به شکل ۴ـ۱۰). ثابت زمانی پر کردن خازن برابر Cr ثانیه است. که در آن r عبارت است ازمقاومت مستقیم دیود که از R خیلی کمتر است. ولتاژ تقریباً ثابت d.c. در دو سر مقاومت بار R ایجاد می شود؛ نوسانهایی که وجود دارند کوچکند و با فرکانسی برابر فرکانس علامت حامل ورودی نوسان می کنند.

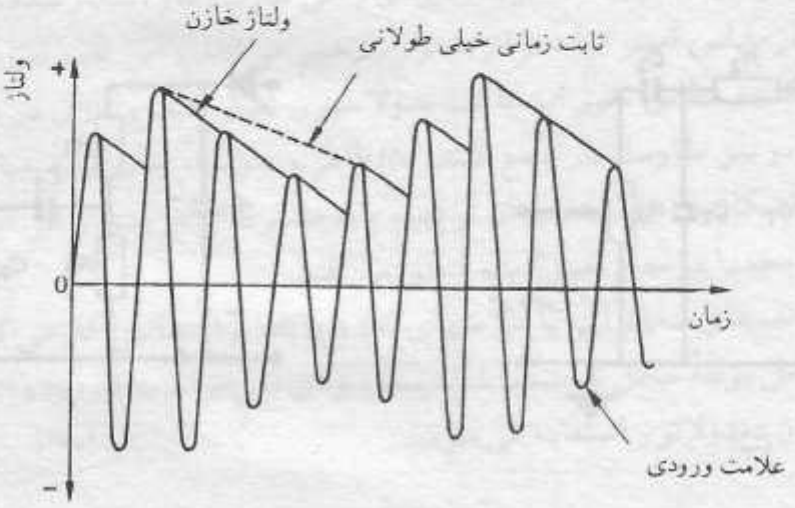
حال اگر علامت ورودی مدولهٔ دامنه باشد، ولتاژ دوسر بار دیود، هماهنگ با پاکت موج تغییر می کند، و ثابت زمانی به‌اندازهٔ کافی کوچك خواهد بود. خازن باید بتواند با سرعت کافی برای

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۴ ـ ۱۰ ولتاژ خروجی آشکارساز دیودی که با علامت دامنهٔ ثابت کار می‌کند.

ولتاژ دوسر خود خالی شود تا بتواند آن قسمتهای دورِ مدولاسیون را موقعی که پاکت مدولاسیون در حال کاهش دامنهٔ خود است، تعقیب کند (شکل ۴ ـ ۱۱). ولتاژ خازن تا زمانی که یك نیم‌دور مثبت علامت ورودی باعث هدایت دیود و پر شدن مجدد خازن شود کاهش می‌یابد. وقتی که پاکت مدولاسیون در حال کاهش است، نیمِ دور مثبت دارای مقدار رأسی کمتر از نیم دور مثبت قبلی است، و خازن تا ولتاژ کمتری مجدداً پر می‌شود.



شکل ۴ ـ ۱۱ ولتاژ خروجی آشکارساز دیودی که با علامت مدوله شدهٔ دامنه کار می‌کند.

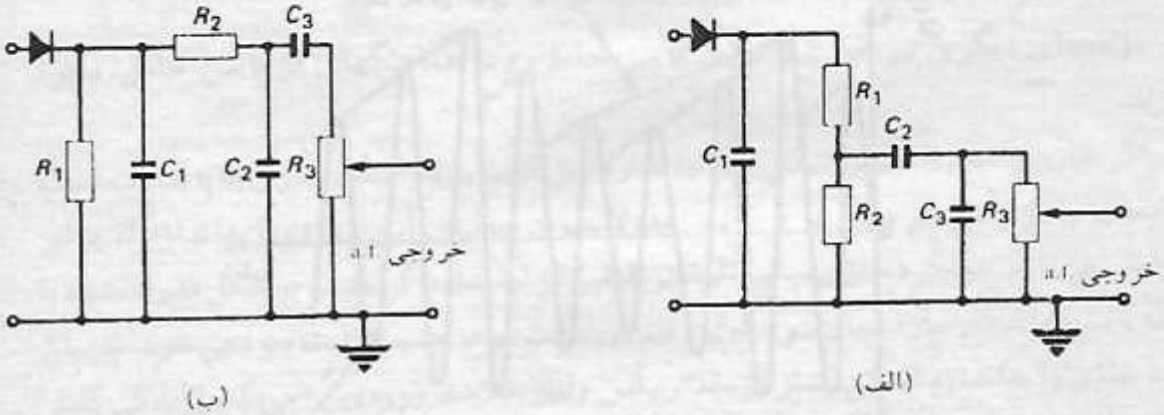
اگر ثابت زمانی مسیر خالی شدن نسبت به‌زمان تناوب علامت مدوله شده خیلی طولانی باشد، ولتاژ خازن نمی‌تواند کانالهای پاکت مدولاسیون را تعقیب کند؛ در نتیجه، منحنی تأخیر درست از بالای یك چند رأس ولتاژ ورودی عبور می‌کند، مانند شکل ۴ ـ ۱۱ که در آن با خط چین نشان داده شده است، و واپیچیدگی موج به‌وجود می‌آید. ثابت زمانی نباید خیلی کوتاه باشد، در غیر این صورت، ولتاژ دوسر مقاومت بار نمی‌تواند به‌اندازهٔ کافی بزرگ باشد، چون پر شدن بین ضربه‌های متوالی جریان دیود به‌اندازهٔ کافی صورت نمی‌گیرد. ثابت زمانی، سرعتی را تعیین

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

می کند که ولتاژ آشکار شده می تواند با آن تغییر کند و باید نسبت به زمان تناوب موج حامل طولانی و نسبت به زمان تناوب علامت مدوله کوتاه باشد.

ولتاژی که در دو سر مقاومت بار دیود ایجاد می شود دارای سه مؤلفه است: (الف) مؤلفه‌ای در فرکانس علامت مدولهٔ مورد نظر، (ب) مؤلفهٔ d.c. که با مقدار رأس مدوله نشده متناسب است (این مؤلفه برای آشکارسازی مطلوب نیست و باید از رسیدن آن به منطقهٔ تقویت کنندهٔ فرکانس صوتی بعدی جلوگیری شود)، و (ج) مؤلفه‌هایی در فرکانس حامل و هماهنگهای فرکانس حامل که باید از رسیدن این مؤلفه‌ها نیز به تقویت کنندهٔ فرکانس صوتی جلوگیری شود. برای مسدود کردن مؤلفه‌های غیر مطلوب، خروجی آشکارساز، قبل از اینکه به تقویت کنندهٔ فرکانس صوتی داده شود، شبکهٔ صافی مقاومت ـ ظرفیت را تغذیه می کند.

مؤلفهٔ d.c. به‌وسیلهٔ خازن سری و مؤلفه‌های r.f. به‌وسیلهٔ صافی RC مناسب جدا می شوند. دو ترکیب ممکن در شکل ۴ ـ ۱۲ نشان داده شده‌اند. در (الف) خازن C_2 مسدود کنندهٔ d.c. است و C_3R_3 صافی r.f. است؛ R_3 هم به‌عنوان تنظیم کنندهٔ صدا عمل کند. در (ب) R_2 و C_2 مؤلفه‌های r.f. را جدا می کنند و مؤلفهٔ d.c. به وسیلهٔ خازن C_3 جدا می شود؛ R_3 نیز مجدداً تنظیم کنندهٔ صداست.



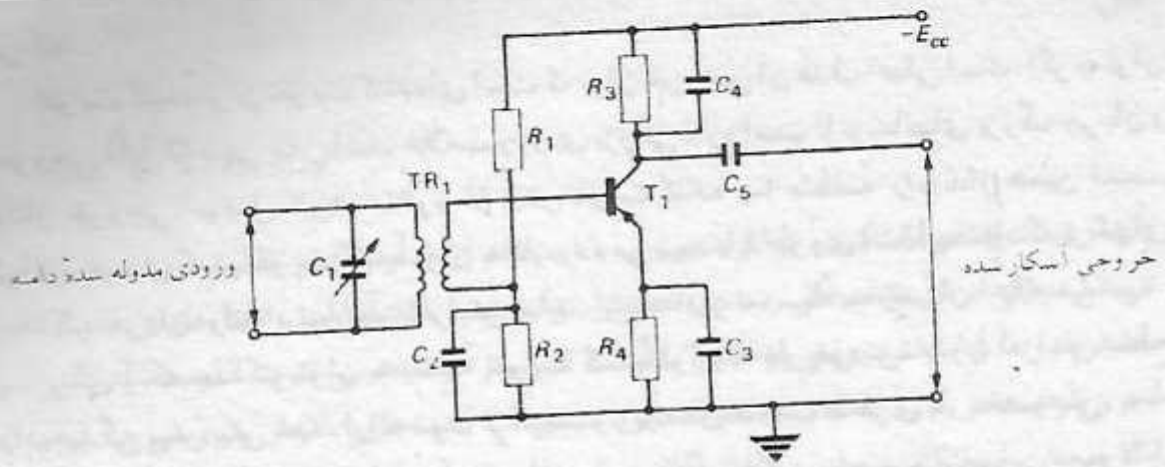
شکل ۴ ـ ۱۲ مدارهای صافی آشکارساز دیودی

آشکارساز ترانزیستوری

مدار آشکارساز ترانزیستوری امیتر ـ مشترک در شکل ۴ ـ ۱۳ نشان داده شده است. یکسو کردن در مدار / امیتر پایه اتفاق می افتد و علامت یکسو ساز به‌وسیلهٔ ترانزیستور به‌طریق معمول تقویت می شود.

عناصر R_1، R_2، R_4، C_2 و C_3 با یاس پایداری d.c. را مهیا می کنند و R_3 مقاومت بار جمع کننده است. C_4 یك خازن کنارگذر است که از ظاهر شدن ولتاژهای فرکانس حامل در دو سر R_3 و تغذیهٔ پایانه‌های خروجی مدار از طریق C_5، جلوگیری می کند. علامت مدوله شدهٔ دامنهٔ ورودی به مدار

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۴ـ۱۳ آشکارساز ترانزیستوری

پایه/ امیتر از طریق ترانسفورماتور فرکانس رادیویی TR_1 وارد می‌شود که سیم‌پیچ اولیه آن برای فرکانس حامل تنظیم شده است. پیوند پایه/امیتر ترانزیستور T_1 به‌عنوان دیود نیمه‌هادی عمل می‌کند و توأم با R_2 و C_2 آشکارساز دیودی را می‌سازد. ولتاژ آشکار شده در دوسر R_2 ظاهر می‌شود و ولتاژ بایاس امیتر/پایهٔ ترانزیستور را تغییر می‌دهد و این تغییرات سبب می‌شود که جریان جمع کننده مطابق تغییرات پاکت مدولاسیون تغییر کند. ولتاژی در فرکانس علامت مدوله‌شده در دو سر مقاومت بار جمع کننده R_3 ظاهر و به‌وسیلهٔ خازن C_5 به‌باروصل می‌شود.

یك مدار آشکارساز با استفاده از ترکیب پایه مشترك ترانزیستور نیز امکان‌پذیر است. آشکارسازی مجدداً در مدار امیتر/پایه اتفاق می‌افتد.

اغلب گیرنده‌های مخابراتی با علامتهای a.m. با تك نوار جانبی کار می‌کنند. چون چنین علامتهایی شامل مؤلفهٔ حامل نیستند، آشکارساز دیودی نمی‌تواند به کار رود و اغلب از مدولاتور متعادل به‌عنوان دمدولاتور استفاده می‌شود.

تقویت کننده‌های صوتی

منظور از استفاده از منطقهٔ تقویت کنندهٔ صوتی در گیرندهٔ رادیویی، تقویت علامت مدوله شدهٔ خروجی از منطقهٔ آشکارساز تا سطحی مورد نیاز برای عملکرد بلندگو، یا دستگاه تلفن مربوط به گیرنده است. به‌همین ترتیب ممکن است لازم بشود که تقویت کنندهٔ صوتی توانی را برای خط انتقالی تأمین کند که گیرنده را به فاصلهٔ دور متصل می‌کند. به‌عنوان مثال گیرندهٔ مخابراتی بخصوصی ممکن است دارای ظرفیت تغذیه ۱/۰W را به بلندگو، یا ۲mW به دستگاه تلفن، یا ۲۵mW به خط انتقال ۶۰۰Ω باشد.

اغلب تقویت کننده‌های صوتی شامل منطقهٔ پیش تقویت کننده هستند که ولتاژ خروجی آشکارساز را تا سطحی که برای راه‌اندازی منطقهٔ خروجی تقویت کنندهٔ توان لازم باشد تأمین

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

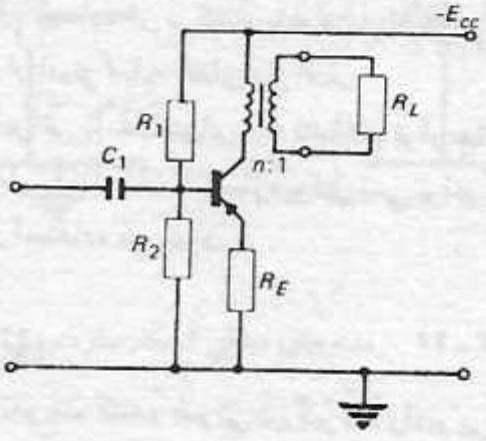
می کند.

تقویت کنندهٔ توان تقویت کننده‌ای است که توان خروجی آن هدف اصلی است. اگر به توان خروجی قابل توجهی نیاز باشد، علامت ورودی بزرگی لازم است تا نوسانهای بزرگ جریان و ولتاژ خروجی حاصل شود. منظور از پیش‌تقویت کننده یا *منطقهٔ راه‌انداز* همین است. ترانزیستوری که در تقویت کنندهٔ توان به‌کار برده می شود باید طوری انتخاب شود که نرخهای حداکثر جریان، ولتاژ و توان آن افزایش نیابد. این مقادیر به‌وسیلهٔ سازندگان اعلام می شود.

برای آنکه حداکثر توان به وسیلهٔ تقویت کنندهٔ توان به بار خودش، بدون افزایش سطح واپیچیدگی پیش بینی شده، ارائه شود، ترانزیستور باید در مقاومت ظاهری بار بخصوصی، به‌نام *بارمطلوب*، کارکند. بندرت بار عملی مساوی این مقدار مطلوب است و بنابراین معمولا از جفت شدگی ترانسفورماتوری استفاده می شود، شکل ۴ـ۱۴، جفت شدگی ترانسفورماتوری همچنین افت توان d.c. مدار را کاهش می دهد چون سیم پیچ اولیهٔ ترانسفورماتور معمولا مقاومت d.c. کمی دارد.

نسبت دورهای $n(=N_1/N_2)$ ترانسفورماتور خروجی طوری انتخاب می شود که بار عملی R_L را به مقدار مطلوب R_L' ترانزیستور یا لامپ تبدیل کند، یعنی:

$$n=\sqrt{\frac{R_L'}{R_L}} \qquad (۱ـ۴)$$



شکل ۴ـ۱۴ تقویت کنندهٔ توان ترانزیستوری با جفت‌شدگی ترانسفورماتور

مثال ۴ـ۱

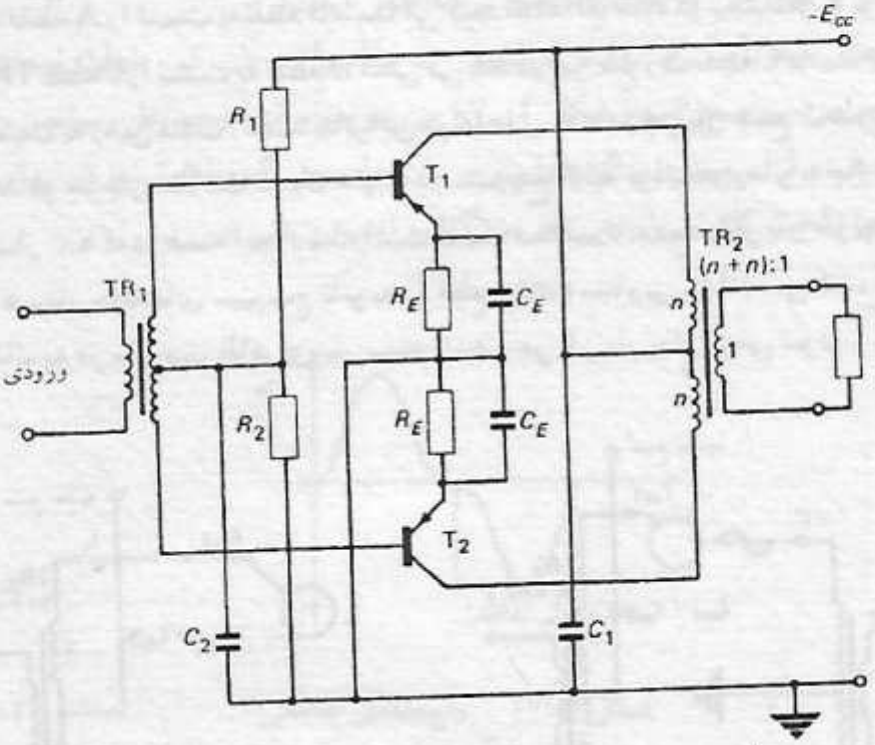
بار مطلوب برای ترانزیستور خروجی بخصوصی $۴۹۰\,\Omega$ است. برای تطبیق ترانزیستور به بلندگوی بوبین‌متحرک $۴\,\Omega$ چه نسبت دورهایی در ترانسفورماتور خروجی لازم است؟

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

حل:

$$n=\sqrt{\frac{۴۹۰}{۴}}=۱۱/۰۶$$

پایداری d.c. تقویت کنندهٔ ترانزیستوری با استفاده از مدار بایاس تقسیم ـ پتانسیل حاصل می شود، ولی برای به‌حداقل رساندن افتهای توان d.c.، باید مقاومت امیتر دارای مقدار کمی، شاید حدود ۱Ω، باشد. وقتی از چنین مقاومت کم امیتر استفاده می شود، مقاومت جدا نمی شود چون ظرفیت مورد نیاز بسیار زیاد خواهد بود. در تقویت کننده‌هایی با توان خروجی چندین وات و یك جریان جمع کننده چندین آمپر، گاهی می توان مقاومت امیتر را حذف کرد.



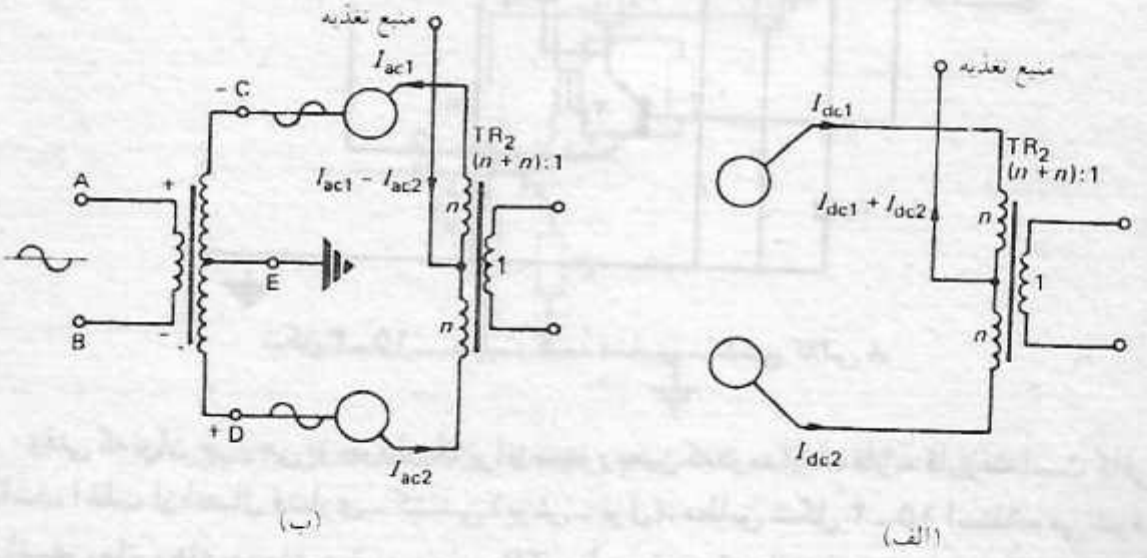
شکل ۴ـ۱۵ تقویت کنندهٔ فشاری ـ کششی کلاس A

وقتی که توان خروجی موجود از یك ترانزیستور معین که در مدار تك فاز به کار رفته است کافی نباشد، اغلب از اتصال فشاری ـ کششی (پوش ـ پول)، مطابق شکل ۴ ـ ۱۵ استفاده می شود. ترانسفورماتورهای ورودی و خروجی TR_1 و TR_2 به‌طور دقیقی اتصال به‌مرکز شده‌اند، وولتاژ شبکهٔ کلاس A به‌وسیلهٔ R_E،R_2،R_1 فراهم می شود. در شکل ۴ ـ ۱۵ مقاومتهای جداگانهٔ امیتر نشان داده شده‌اند و این امتیاز را دارند که اجازه می دهند تعادل d.c. دقیقی بین دو نیمهٔ مدار حاصل شود. به‌همین ترتیب، از مقاومت امیتر مشترك نیز می توان استفاده کرد؛ اگر این مقاومت جدا نشده باشد تعادل a.c. مدار افزایش خواهد یافت.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

در غیاب علامت ورودی یك جریان ثابت جمع کننده در هر نیمهٔ مدار جاری می شود، و دو جریان جاری در جهتهای مخالف دردونیمهٔ سیم پیچ اولیهٔ ترانسفورماتور خروجی (شکل ۴ـ۱۶ الف) گرایش به تهیهٔ نیروهای مغناطیسی مساوی در قطب مخالف دارند، به‌طوری که از اشباع d.c. هسته جلوگیری می شود. اگر دونیمهٔ مدار متعادل باشند این نیروهای مغناطیسی کاملا خنثی خواهند شد. اشباع هسته باعث وابیجیدگی موج خواهد شد. می توان از هسته‌ای به‌اندازهٔ فیزیکی کوچك‌تر، شاید بدون شکاف هوا، استفاده کرد، یعنی ترانسفورماتور خروجی می تواند هم کوچك‌تر و هم سبك‌تر از ترانسفورماتور خروجی مورد نیاز برای منطقهٔ تك فازی باشد که همان توان خروجی را تهیه می کند.

وقتی که علامتی به پایانه‌های ورودی **تقویت کنندهٔ فشاری ـ کششی** داده می شود، دوترانزیستور در فاز مخالف عمل می کنند. با مراجعه به شکل ۴ـ۱۶ ب، در طول نیم دورهٔ علامت ورودی که نقطهٔ A را نسبت به نقطهٔ B مثبت می کند. emf القا شده در سیم ثانویهٔ ترانسفورماتور ورودی TR_1 نقطهٔ C را نسبت به نقطهٔ D منفی می کند در این صورت نقطهٔ C نسبت به زمین منفی و نقطهٔ D نسبت به زمین مثبت است. بنابراین مؤلفه‌های a.c. دو جریان جمع کننده در فاز مخالف همدیگرند. دو جریان علامت در یك جهت در سیم پیچ اولیهٔ ترانسفورماتور جاری می شوند و بنابراین شار a.c. که در هسته ایجاد شده است نسبت مستقیم با جمع دوجریان خواهد داشت. شار a.c. در هسته، حلقه‌های سیم پیچ ثانویه را قطع و emf متناوبی را القا می کند، بنابراین، اگر سیم پیچ ثانویه در مقاومت ظاهری بار بسته باشد، جریان بار جاری می شود.



شکل ۴ـ۱۶ (الف) جریانهای مستقیم، و (ب) جریانهای متناوب را در مدار فشاری ـ کششی نشان می دهد.

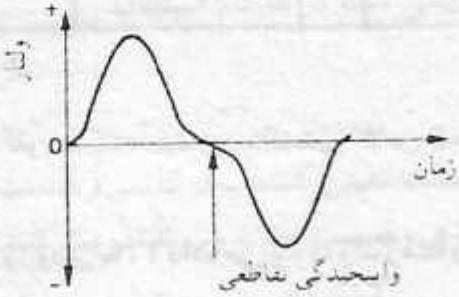
مؤلفه‌های دوم و هماهنگهای زوج مرحلهٔ بالاتر که به‌وسیلهٔ ترانزیستورها تولید شده‌اند به‌سطح بسیار پایینی کاهش می‌یابند. یعنی توان خروجی‌ای دو برابر بیشتر از آنچه از یك

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

ترانزیستور حاصل می شود را می توان برای واپیچیدگی مشابهی دریافت کرد. به‌همین ترتیب، همان توان خروجی را با واپیچیدگی کمتری نیز می توان کسب کرد.

اغلب تقویت کننده‌های فشاری ـ کششی در شرایط کلاس B کار می کنند، یعنی با ترانزیستورهای بایاس شدهٔ تقریباً قطع. یکی از ترتیبهای ممکن مدار، مانند مدار شکل ۴ ـ ۱۵ است. وقتی که یك علامت ورودی سینوسی به مدار داده شود، یکی از ترانزیستورها در طول نیم دورهای مثبت و دیگری در نیم دورهای منفی هدایت می کنند. جریان جمع کنندهٔ هر یك از ترانزیستورها به‌صورت سری ضربه‌های نیم موج سینوسی جاری می شوند و دو جریان در ترانسفورماتور خروجی ترکیب می شوند تا موج خروجی سینوسی را ایجاد کنند. عملکرد کلاس B نسبت به کلاس A دارای این امتیاز است که بازدهی آن بیشتر است و جریانی که از منبع در شرایط خاموشی گرفته می شود خیلی کمتر است. از معایب مهم این روش زیاد بودن واپیچیدگی موج خروجی به علت واپیچیدگی تقاطعی است.

مشخصه‌های متقابل (I_c / V_{in}) ترانزیستور در مقادیر جریان کم، خطی نیستند و باعث بالارفتن موج جریان جمع کنندهٔ شکل ۴ ـ ۱۷ می شوند. برای به‌حداقل رساندن واپیچیدگی تقاطعی، باید هر دو ترانزیستور برای هدایت جریان خاموشی کم، بایاس شوند. بهایی که برای این کار باید پرداخت کاهش بازدهی تقویت کننده است.

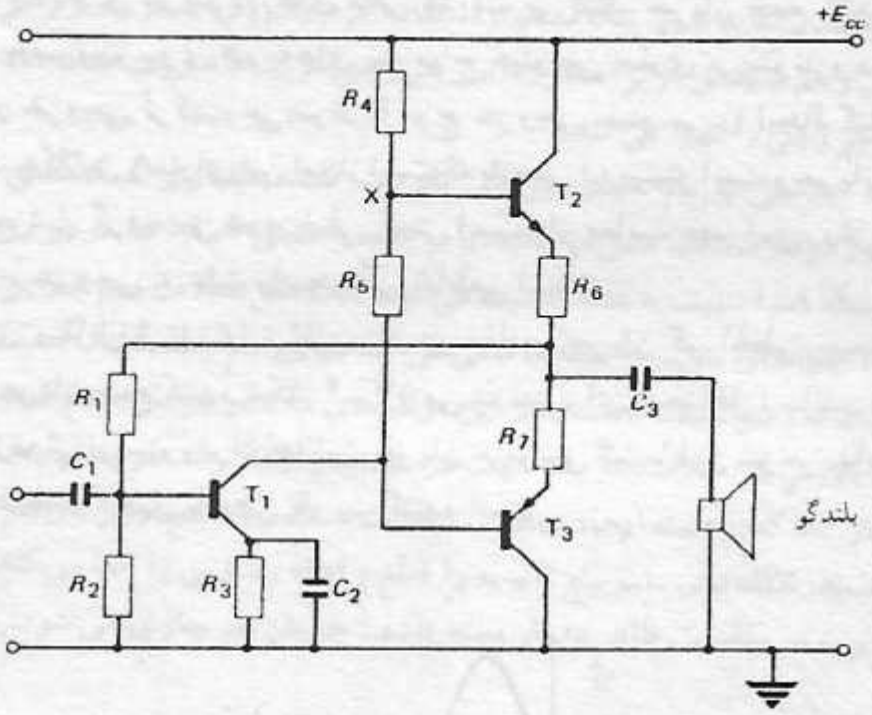


شکل ۴ ـ ۱۷ واپیچیدگی تقاطعی

برای اجتناب از نیاز به استفاده از ترانسفورماتورهای سنگین اتصال به‌مرکز و گران قیمت ورودی و خروجی می توان از مدار کلاس B متقارن مکمل مطابق شکل ۴ ـ ۱۸ استفاده کرد. T_1 ترانزیستور محرك است، در حالی که T_2 و T_3 منطقهٔ فشاری ـ کششی کلاس B را می سازند؛ دقت شود که T_2 ترانزیستور n-p-n و T_3 ترانزیستور p-n-p است. ولتاژ بایاس برای منطقهٔ ترانزیستور محرك از بیوند مقاومتهای امیتر خروجی R_6 و R_7 دریافت می شود، در حالی که بایاس برای ترانزیستورهای خروجی از مدار جمع کننده T_1 دریافت می شود. در غیاب علامت ورودی، شرایط d.c. مدار طوری است که جریان کوچکی به‌وسیلهٔ هر دو ترانزیستور هدایت می شود، و بتانسیل در بیوند R_6 و R_7 تقریباً برابر نصف ولتاژ منبع تغذیهٔ $E_{cc}/2$ است. در این صورت ولتاژ در

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

پیوند R_4 و R_5 از $E_{cc}/2$ اندکی بیشتر مثبت است. پتانسیل جمع کننده T_1 از $E_{cc}/2$ اندکی کمتر مثبت است. مقادیر مقاومتهای R_4 و R_5 نمی توانند زیاد باشند چون باید جریان خاموشی جمع کنندهٔ T_1 را عبور دهند، و این مقدار باید بزرگ‌تر از مقدار رأس جریان پایهٔ لازم برای تحریک ترانزیستور خروجی در شرایط اشباع باشد.



شکل ۴ـ۱۸ تقویت کنندهٔ فشاری ـ کششی کلاس B متقارن مکمل

وقتی که یك علامت سینوسی ورودی به T_1 داده می شود، ولتاژ متناوبی در دوسر بار جمع کنندهٔ آن $R_4 + R_5$ ظاهر می شود. در طول نیم دورهای مثبت ولتاژ علامت ورودی، پتانسیل جمع کننده T_1 کمتر مثبت می شود و T_3 جریان بیشتری را هدایت می کند و به اشباع در رأس نیم دور ورودی می رسد. همزمان با آن نقطهٔ X نیز کمتر مثبت می شود و T_2 قطع می شود. به‌همین ترتیب، در طول نیم دورهای منفی علامت ورودی پتانسیلهای پایه T_2 و T_3 نسبت به پتانسیلهای امیتر بیشتر مثبت می شوند، و این باعث هدایت T_2 و قطع T_3 می شود. ترانزیستورهای خروجی به‌نوبت جریان منبع تغذیهٔ بلندگو را تأمین می کنند. ولتاژ ظاهر شده در دوسر بلندگو به‌طور سینوسی با مقدار رأس خیلی نزدیك به $E_{cc}/2$ ولت تغییر می کند.

نوسان سازها

نوسان ساز مداری الکترونیکی است که برای تهیهٔ emf متناوبی از فرکانس و موج مفروض طراحی می شود. در این فصل تنها در مورد مدارهای نوسان سازی که ولتاژ خروجی موج

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

سینوسی را تهیه می کنند بحث می شود.

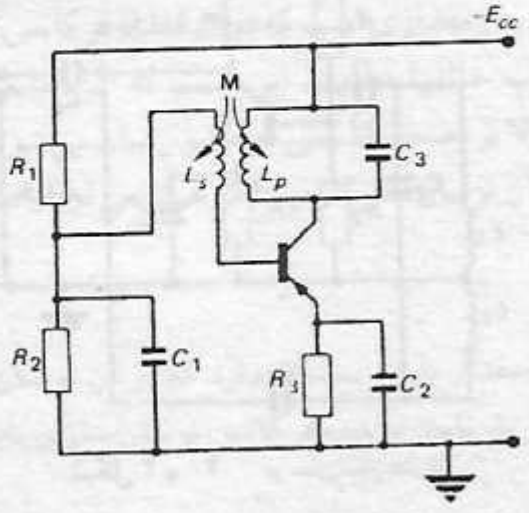
وقتی که نوسان سازی در ابتدا وصل می شود، هجوم جریان در شبکهٔ تعیین کننده ــ فرکانس ولتاژی را ــ در فرکانس مورد نیاز نوسان سازی ـ در دوسر شبکه تهیه می کند. کسری از این ولتاژ پس خور می شود و پایانه‌های ورودی تقویت کننده را تغذیه می کند و تقویت می شود تا مجدداً در دوسر شبکه ظاهر شود. باز کسری از این ولتاژ نیز به ورودی برگشت داده و مجدداً تقویت می شود و به‌همین ترتیب ادامه می یابد. با این روش دامنهٔ ولتاژ علامت افزایش پیدا می کند تا اینکه به‌نحوی بهره کاهش یابد و بهرهٔ مدار را به‌واحد برساند. کاهش بهره را می توان یا به‌وسیلهٔ اشباع ترانزیستور محرك یا با عملکرد مدار در شرایط کلاس C کسب کرد.

قسمت تعیین کننده ـ فرکانس نوسان ساز ممکن است شامل مدار میزان شدهٔ LC، شبکهٔ مقاومت ـ ظرفیت، کریستال پیزوالکتریك (فشار ـ الکتریسیته) یا، در فرکانسهای بالا، طول خط انتقال اتصال کوتاه باشد. ولی در این فصل فقط نوسان سازهای LC و کریستالی مطرح خواهند شد.

مشخصه‌های مهم نوسان ساز عبارتند از فرکانس یا فرکانسهای (اگر متغیر باشد) عملکرد آن، پایداری فرکانس، و پایداری دامنهٔ آن. **پایداری** نوسان ساز درجه‌ای است که در آن فرکانس خروجی یا دامنه در طول زمان معینی ثابت می ماند. برای نوسان ساز آزمایشگاهی عوامل معین دیگری نیز در ارزش نوسان ساز مؤثرند که عبارتند از قیمت، اندازه و وزن دستگاه و درجهٔ اطمینان مورد انتظار در شرایط پیش بینی شده در هنگام استفاده.

نوسان سازهای LC

نوسان ساز LC باید شامل قسمت تعیین کننده ـ فرکانس و قسمت نگهداری باشد؛ قسمت اول به‌وسیلهٔ یك مدار تشدید ـ موازی و قسمت دوم به وسیلهٔ تقویت کنندهٔ ترانزیستوری تهیه می شود.



شکل ۴ ـ ۱۹ نوسان ساز جمع کنندهٔ میزان شده.

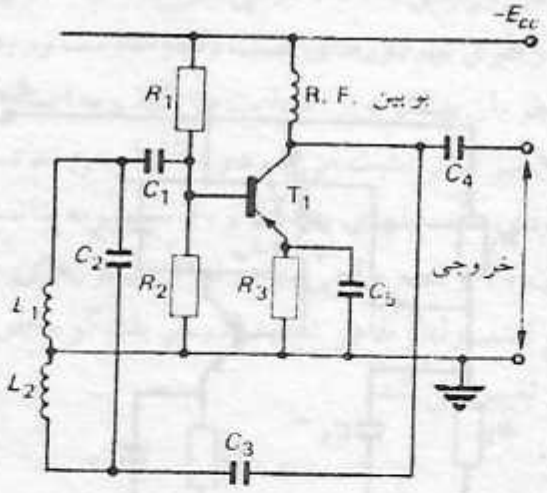
Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

نیازهای بایاس و پایداری d.c. نوسان‌ساز ترانزیستوری مشابه تقویت کنندهٔ ترانزیستوری است و از همان مداربندی استفاده می‌شود. در شکل ۴ ـ ۱۹ مدار نوسان ساز جمع کننده ـ میزان شده نشان داده شده است. مدار تشدید ـ موازی تعیین کننده ـ فرکانس به مدار جمع کننده ترانزیستور وصل شده است.

عملکرد این مدار به شرح زیر است: وقتی که ولتاژ منبع تغذیه وصل می‌شود، هرگونه اغتشاش یا نوسان جزیی ولتاژ، در مدار ورودی تقویت و در جمع کننده ظاهر می‌شود. مدار تشدید ـ موازی برای فرکانس مورد نیاز میزان شده است، و فقط در این فرکانس جریان نوسانی قابل توجهی جاری می‌شود. جریان جاری شده در سیم پیچ اولیه L_p که emf در همان فرکانس را در بوبین ثانویه L_s القا می‌کند و این ولتاژ به پایانه‌های ورودی لامپ (یا ترانزیستور) داده می‌شود. ترانزیستور جابه‌جایی فاز ۱۸۰° را ایجاد می‌کند، بنابراین ترانسفورماتور هم باید طوری ترتیب یافته باشد که جابه‌جایی فاز ۱۸۰° دیگری را به‌وجود آورد تا جابه‌جایی فاز مدار صفر شود. القای متقابل بین سیم پیچهای اولیه و ثانویه باید به‌اندازهٔ کافی بزرگ باشد تا بهرهٔ مداری بزرگ‌تر از واحد را به‌دست دهد. فرکانس نوسان سازی تقریباً برابر فرکانس تشدید مدار تشدید ـ موازی است یعنی:

$$f_{osc} \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L_p C_2}}$$

شکل ۴ ـ ۲۰ **نوسان‌ساز هارتلی**[3] ترانزیستوری را نشان می‌دهد. خازنهای C_3 و C_4 مسدود کنندهٔ d.c و دارای مقاومت واکنشی ناچیزی در فرکانس نوسان سازی‌اند؛ برعکس هواکاه (چوك) فرکانس رادیویی (r.f.) دارای مقاومت واکنشی زیادی است و از ورود جریانهای فرکانس نوسان‌سازی به منبع تغذیهٔ توان جلوگیری می‌کند.

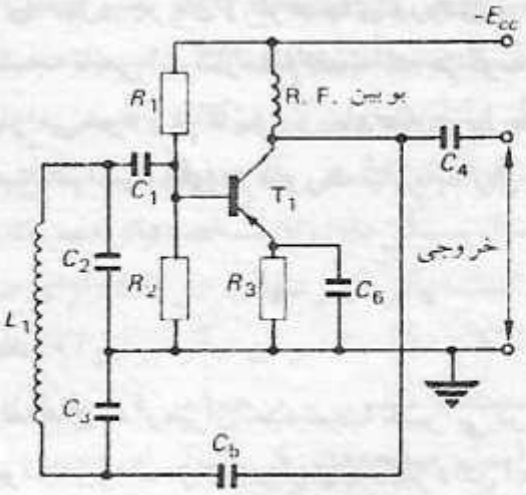


شکل ۴ ـ ۲ نوسان‌ساز هارتلی

3. Hartley oscillator

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

مدار تشدید تعیین کننده ـ فرکانس به‌وسیلهٔ L_1 و L_2 موازی با C_2 ساخته می شود و بقیهٔ مؤلفه‌ها، بایاس و پایداری d.c. را فراهم می کنند. اگر بوبینهای القایی L_1 و L_2 به‌وسیلهٔ یك بوبین جایگزین شوند، و خازن C_2 به دو قسمت تقسیم شود که نقطهٔ پیوند آنها اتصال به‌زمین شده است، **نوسان‌ساز کلپیتس**[4] به دست می آید (شکل ۴ ـ ۲۱).



شکل ۴ ـ ۲۱ نوسان ساز کلپیتس

مدار کلپیتس نسبت به‌نوسان ساز هارتلی دارای مزایای زیر است: (الف) نیازی به بو بین اتصال به مرکز ندارد و (ب) در فرکانسهای بالاتر تنظیم آن آسان‌تر است و تمایل آن به نوسان سازی در فرکانسهای غیر مطلوب هم کمتر است. ولیکن، در اغلب حالتها مداری انتخاب می شود که آسان‌ترین مقادیر القا و ظرفیت را بدهد.

پایداری فرکانس

پایداری فرکانس نوسان ساز مقداری است که در آن مقدار فرکانس آن نسبت به مقدار تعیین شده جابه‌جا می شود. در اغلب حالتها مطلوب این است که این جابه‌جایی خیلی کوچك باشد، و حداکثر تغییر مجاز معمولا بر حسب قسمتی در میلیون بیان می شود. فرکانس نوسان سازی هم تابعی ازباری است که در آن نوسان ساز کارمی کندوهم تابعی ازپارامترهای ترانزیستوری است.

بار در نوسان ساز

فرکانس نوسان سازی به‌مقدار باری بستگی دارد که در آن نوسان ساز توان خروجی خود را تحویل می دهد. اگر مقدار بار ثابت نباشد، فرکانس نوسان سازی پایدار نخواهد بود. تغییرات در

4. Colpitts oscillator

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

بار خروجی می تواند با تغذیهٔ آن از طریق تقویت کنندهٔ ضربه‌گیر، یعنی مدار تقویت کننده‌ای که عملکردهای آن محفوظ نگهداشتن نوسان کننده از هرگونه تغییراتی در بار و نیز افزایش توان خروجی است، به‌طور مؤثری حذف شود.

تغییرات در ولتاژ منبع تغذیه

پارامترهای ترانزیستور، مانند بهرهٔ جریان و ظرفیتهای ورودی و خروجی، تابعی از جریان خاموشی یا جمع کننده و در نتیجه تابعی از ولتاژ منبع تغذیه‌اند. هرگونه تغییری در ولتاژ منبع تغذیه باعث تغییر یك یا چند پارامتر می شود و فرکانس نوسان سازی را جابه‌جا می کند. معمولا این علت ناپایداری فرکانس نسبتاً کم است ولی در صورت نیاز پایداری منبع تغذیهٔ توان باید بیشتر شود.

مؤلفه‌های مدار میزان شده

تغییرات در درجهٔ حرارت مؤلفه‌های مدار میزان شده سبب تغییراتی در القا و ظرفیت و در نتیجه در فرکانس نوسان سازی می شود. تغییرات درجهٔ حرارت با تغییر دادن ابعاد سیم و هسته‌ای که روی آن سیم پیچی شده است بر القا اثر می گذارد. ظرفیت نیز تابعی از درجهٔ حرارت است، چون صفحه‌های خازن اندکی منبسط یا منقبض می شوند، و همچنین به این دلیل که قابلیت نفوذ دی الکتریك کاملا مستقل از درجهٔ حرارت نیست. پایداری فرکانس را می توان با به‌حداقل رساندن درجهٔ حرارت از طریق یکی از روشهای زیر بیشتر کرد: (الف) با استفاده از ترانزیستور توان پایین، (ب) به دور نگهداشتن مدار میزان شده از هرگونه منبع حرارتی، و (ج) ــ اگر مخارج منصفانه باشند ــ قراردادن مدار میزان شده در داخل محفظه‌ای با حرارت قابل کنترل یا فرکه چند درجه‌ای بالاتر از درجهٔ حرارت محیط نگهداشته می شود. تغییرات درجهٔ حرارت را می توان با روشن نگهداشتن دائمی نوسان ساز به حداقل رساند.

وقتی که تمام تغییرات درجهٔ حرارت به حداقل رسیدند، می توان با استفاده از مؤلفه‌هایی که دارای ضرایب حرارتی کوچك و یا مخالف هستند باز هم پایداری فرکانس را بیشتر کرد. اغلب از خازنهای نقره ـ میکایی استفاده می کنند چون معمولا دارای ضریب حرارتی تقریباً ۳۰ + قسمت در میلیون بر درجه‌اند. ولی اگر از عایقی مرکب از سرامیك و تیتانیم[5] استفاده شود ضریب حرارتی منفی ای تا حدود ۴۰۰ قسمت در میلیون بر درجه نیز امکان پذیر می شود. مشکل عملیِ استفاده از خازن با ضریب حرارتی منفی این است که مقادیر بوبین و خازن باید با هم تغییر کنند و از نظر اقتصادی امکان ساخت تعداد زیادی وجود داشته باشد.

بیشترین پایداری فرکانس را که می توان نوسان ساز LC به‌دست آورد در حدود ۱۰ قسمت در 10^6 بر درجه است و اگر به پایداری بیشتری نیاز باشد باید از نوسان ساز کریستالی استفاده کرد.

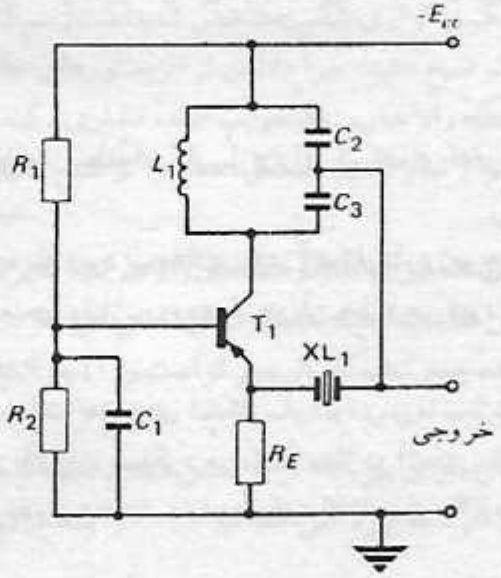
5. titanium

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

کریستال پیزوالکتریك ماده‌ای است ــ مانند کوارتز ــ با این خاصیت که اگر تحت فشار مکانیکی قرار گیرد اختلاف پتانسیلی در دو سر آن به‌وجود می آید، و اگر فشار در جهت عکس وارد شود اختلاف پتانسیلی با قطبیت معکوس به‌وجود می آید. برعکس اعمال یك اختلاف پتانسیل به‌دوسر کریستال پیزوالکتریك باعث تحت فشار قرارگرفتن کریستال در یك جهت می شود که بستگی به قطبیت ولتاژ داده شده دارد.

کریستال کوارتز در حالت طبیعی دارای سطح مقطع شش ضلعی است که دو سرش به نقطه ختم می شوند. اگر از کریستال یك صفحهٔ کوچك و نازك بریده شود، صفحه دارای فرکانس طبیعی بخصوصی خواهد بود، و اگر ولتاژ متناوبی در فرکانس طبیعی به‌دوسر آن داده شود، صفحه به‌شدت نوسان خواهد کرد. فرکانس طبیعی یك صفحهٔ کریستالی به‌ابعاد آن، نوع نوسان، و وضعیت اصلی یا برش کریستال بستگی دارد. از مشخصه‌های مهم یك برش بخصوص، فرکانس طبیعی و ضریب حرارتی آن است؛ یکی از برشها، برش GT دارای ضریب حرارتی ناچیزی در طول گسترهٔ حرارتی از ۰°C تا ۱۰۰°C است؛ برش دیگر، برش AT، دارای ضریب حرارتی است که از ۱۰ p.p.m./°C + (قسمت در میلیون بر درجه) در ۰°C تا ۰ p.p.m./°C در ۴°C و تقریباً ۲۰ p.p.m./°C + در ۹۰°C است. صفحه‌های کریستالی ای وجود دارند که فرکانسهای طبیعی اصلی آنها از ۴kHz تا حدود ۱۰MHz یا مسابه آن است. برای فرکانسهای بالاتر ضخامت صفحهٔ لازم خیلی کم و صفحه شکستنی می شود؛ ولیکن کریستال می تواند در هماهنگهای فرکانس اصلی خود عمل کند و چنین عملکرد *فرکانس اضافی*، فرکانس ممکن بالایی را تا حدود ۱۰۰MHz بالا می برد.

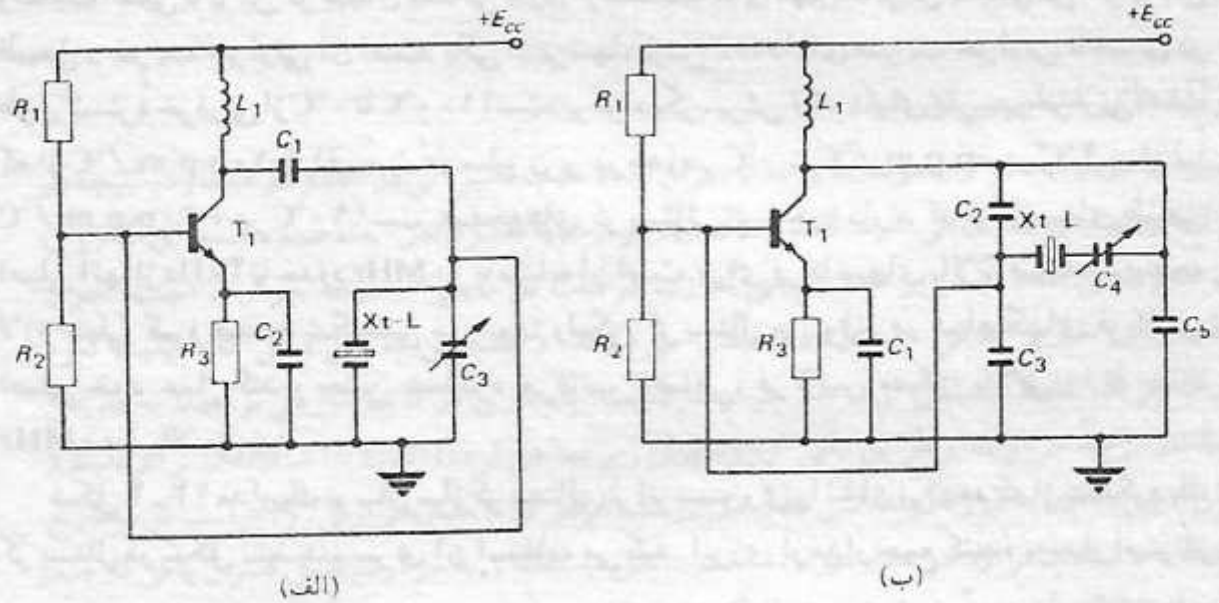
شکل ۴ـ۲۲ مداریك نوسان ساز کریستالی ترانزیستوری را نشان می دهد که از عملکرد یك کریستال در شکل تشدید ـ سری آن استفاده می کند. انرژی از مدار جمع کننده به‌مدار امیتر از



شکل ۴ـ۲۲ نوسان ساز کریستالی

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

طریق کریستال بس خور می‌شود. فقط در فرکانس تشدید ـ سری کریستال است که مسیر بس خور دارای مقاومت ظاهری به‌اندازهٔ کافی کمی است تا بهرهٔ واحد لازم برای نوسان سازی را فراهم کند. مدار جمع کننده طوری تنظیم شده است که در فرکانس مورد لزوم نوسان سازی برای تأمین حداکثر بهره از ترانزیستور تشدید شود. شکلهای ۴ـ۲۳ الف و ب مدارهای دو نوع دیگر از نوسان ساز کریستالی را نشان می‌دهند. شکل ۴ـ۲۳ الف مدار پیرس[6] را نشان می‌دهد که اصلاح شدهٔ نوسان ساز کلپیتس است و در آن کریستال جای بوبین را گرفته است. مدار نوسان ساز دیگری که نشان داده شده است مدار میلر[7] است. عملکرد این مدارها و عملکرد مؤلفه‌های آن به‌عنوان تمرین (۴ـ۱۳) برای خواننده تعیین شده است.



شکل ۴ـ۲۳ نوسان سازهای کریستالی (الف) پیرس و (ب) میلر

تمرینها

۴ـ۱ به‌طور خلاصه ضرورت استفاده از منطقهٔ آشکارسازی را در گیرنده‌ای که برای دریافت علامتهای مدوله شده ـ دامنه به‌کار می‌رود بیان کنید.

به‌کمک نموداری عملکرد یك دیود نیمه‌هادی را در آشکارسازی موج مدوله شدهٔ دامنه تشریح کنید.

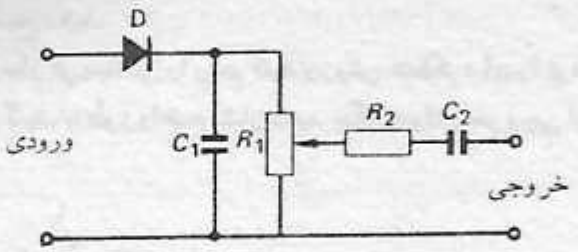
۴ـ۲ (الف) توضیح دهید چگونه منحنی ولتاژ ـ ورودی / جریان ـ خروجی دیود نیمه‌هادی برای جداسازی موج مدوله شده به‌کار برده می‌شود.

(ب) یك علامت مدوله شدهٔ دامنه به‌ورودی آشکارساز دیودی ژرمانیم[8] شکل ۴ـ۲۴ داده شده است. با مراجعه به موجهای جریان یا ولتاژ، عملکرد هر مؤلفهٔ مدار در آشکارساز را تشریح کنید.

۴ـ۳ (الف) شکل موج یك حامل مدوله شدهٔ دامنه را رسم کنید که تا عمق ۴۰٪ مدوله شده است. یك محور برای

6. Pierce circuit 7. Miller circuit 8. germanium

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۴ـ۲۴

نشان دادن مقادیر مربوط رسم کنید. (ب) با مراجعه به شکل رسم شدهٔ خود توضیح دهید پاکت موج چه چیزی را نشان می‌دهد. (ج) چرا برای دریافت علامتهای مدوله شدهٔ دامنه در یك گیرندهٔ رادیویی لازم است از منطقهٔ آشکارساز استفاده شود؟ (د) مزایا و معایب نسبی دیودهای گرمایونی (ترمویونیك) و نیمه‌هادی را برای استفاده در یك چنین منطقهٔ آشکارساز بیان کنید.

۴ـ۴ نمودار مداری یك نوسان ساز ترانزیستوری کنترل شدهٔ کریستالی را رسم کنید و عملکرد آن را توضیح دهید. عوامل تعیین کنندهٔ پایداری فرکانس چنین نوسان سازی را ذکر کنید.

۴ـ۵ مداریکی از نوسان سازهای کلپیتس یا هارتلی را با استفاده از ترانزیستور پیوندی رسم کنید. به‌طور خلاصه عملکرد آن را توضیح دهید و مقادیر مناسب مؤلفه‌های آن را تعیین کنید در صورتی که فرکانس لازم MHz=۱ باشد. بعضی از عواملی را که در پایداری فرکانس مؤثرند نام ببرید.

۴ـ۶ نمودار مداری یك نوسان ساز LC را که از ترانزیستور پیوندی استفاده می‌کند رسم کنید و عملکرد آن را توضیح دهید. دلایل به‌کار بردن ترکیب بخصوص ترانزیستور را بیان و هرگونه عاملی را که سبب افزایش پایداری عملکرد می‌شود ذکر کنید.

۴ـ۷ (الف) نمودار مشخص شدهٔ گیرندهٔ رادیویی a.m. سوپرهترودین را رسم کنید و منظور از هر منطقه را توضیح دهید. (ب) برای منطقهٔ آشکارساز اولا مداری را که در آن مقادیر مؤلفه‌های نمونه مشخص شده‌اند بکشید و ثانیاً شکل موجهای ورودی و خروجی را رسم کنید.

۴ـ۸ مزایای عملکرد یك تقویت کنندهٔ فشاری ـ کششی چیست؟ نمودار مداری تقویت کنندهٔ فشاری ـ کششی کلاس B را که در آن چگونگی برقراری بایاس مشخص شده است رسم کنید. به کمك نمودارهای شکل موج مناسب، عملکرد مدار را توضیح دهید. چرا داشتن ترانزیستورهای تطبیق داده شده ضروری است؟

۴ـ۹ نمودار مداری ــ بعلاوهٔ منطقهٔ راه‌اندازــ یك تقویت کنندهٔ فشاری ـ کششی را رسم کنید که با زوج مکملی به‌عنوان منطقهٔ خروجی توأم شده است. عملکرد مدار را توضیح دهید. دو مزیّت مدار را در استفاده از ترانسفورماتورها بیان کنید.

۴ـ۱۰ نمودار مداری یك تقویت کنندهٔ میزان شده دو منطقه‌ای را رسم کنید که برای استفاده در قسمت تقویت کنندهٔ i.f. گیرندهٔ سوپرهترودین مناسب است. عملکردهای اصلی این تقویت کننده چیست؟ توضیح دهید (۱) چرا معمولا مدار میزان شدهٔ جمع کننده اتصال به‌مرکز است و (۲) چرا سیم پیچ ثانویهٔ ترانسفورماتور جفت کننده همیشه میزان نیست؟

۴ـ۱۱ تقویت کنندهٔ میزان شده‌ای دارای بهرهٔ ۱۵ در فرکانس تشدید (عملکرد) خود است. چند منطقهٔ معین باید به‌طور سری به هم وصل شوند تا بهرهٔ کلی حداقل ۳۰۰۰ را بدهند؟ بهرهٔ کلی در فرکانسهای ۳dB یك منطقه چقدر خواهد بود؟

۴ـ۱۲ نمودار مداری آشکارساز ترانزیستوری را رسم کنید و عملکرد آن و همچنین عملکرد هر کدام از مؤلفه‌های

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

نشان داده شده را توضیح دهید.

۴ـ۱۳ نمودار مداری نوسان ساز کریستالی را رسم کنید و روش عملکرد آن را توضیح دهید. عملکرد هر مؤلفهٔ نشان داده شده را بیان کنید. به‌طور واضح نشان دهید چگونه ولتاژ خروجی از مدار شما دریافت می شود.

تمرینهای کوتاه

۴ ـ ۱۴ عملکردهای تقویت کنندهٔ فرکانسهای رادیویی میزان شده چیست؟ منظور از پهنای مدار ۳dB تقویت کننده چیست؟

۴ـ۱۵ منظور از توأم کردن منطقه‌های تقویت کنندهٔ میزان شده چیست؟ چه موقعی توأم کردن می تواندمطلوب باشد و چه مشکلاتی در این رابطه وجود دارد؟

۴ـ۱۶ نمودارمداری یك تقویت کنندهٔ میزان شده را رسم کنید و منظور از هر مؤلفه را توضیح دهید.

۴ـ۱۷ اختلافهای بین تقویت کنندهٔ فرکانس رادیویی و تقویت کنندهٔ فرکانس میانی برای استفاده دریك گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین چیست؟

۴ـ۱۸ فرق بین یك آشکارساز خطی و غیرخطی را توضیح دهید.

۴ـ۱۹ چرا در گیرندهٔ رادیویی باید یك منطقهٔ آشکارساز اضافه شود؟ مؤلفه‌های فرکانسهای موجوددر خروجی آشکارساز دیودی کدامند؟

۴ـ۲۰ بارمطلوب برای ترانزیستور خروجی درمنطقهٔ تقویت کنندهٔ تك انتها شدهٔ کلاس A برابر ۱۰۰۰ اهم است. نسبت دورهای ترانسفورماتور خروجی برای تطبیق ترانزیستور به بلندگوی ۸ اهمی باید چقدر باشد؟

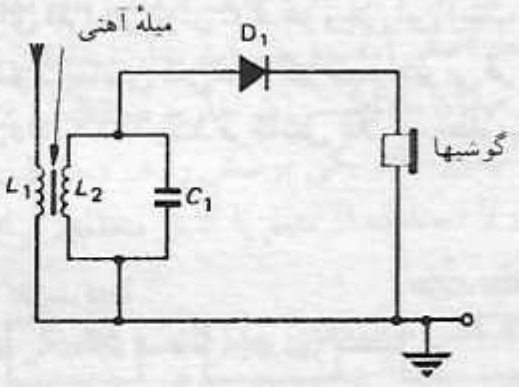
Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

۵ گیرنده‌های رادیویی

اصول

عملکرد گیرندهٔ رادیویی عبارت است از: انتخاب علامت مطلوب از بین تمامی علامتهای گرفته شده توسط آنتن، و حذف سایر علامتها؛ خارج کردن خبر موجود از علامت مدوله شده؛ تهیهٔ خروجی فرکانس صوتی باتوان کافی برای به‌کار انداختن بلندگو یا دستگاه گیرندهٔ دیگر.

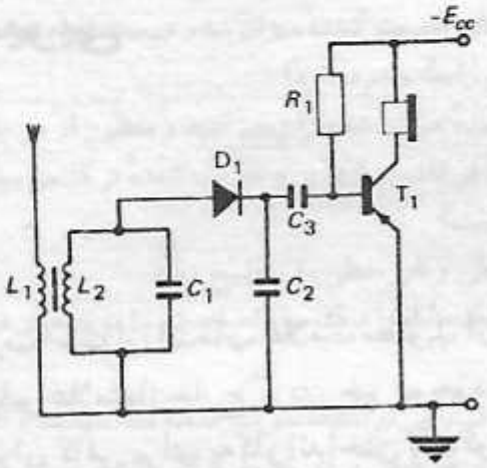
نمودارمداری ساده‌ترین نوع گیرندهٔ رادیویی در شکل ۵ـ۱ نشان داده شده است. فرکانس مطلوبی را می‌توان با استفاده از خاصیت گزینندگی مدار تشدید موازی از بین تعدادی از فرکانسها انتخاب کرد. در این گیرنده، گزینش با تنظیم خازن C_1 برای دادن تشدید در فرکانس علامت مطلوب، انجام می‌شود. دیود D_1 به‌صورت آشکارساز غیر خطی عمل می‌کند وعلامت فرکانس صوتی ــ بعلاوهٔ تعدادی ازسایر مؤلفه‌ها ــ را جدا می‌کند که ازمیان گوشیها برای تبدیل شدن به‌صوت عبور می‌کنند؛ به علت کافی نبودن توان استفاده از بلندگو عملی نیست. غالباً ممکن است این نکته موردنظر باشد که از عبور مؤلفه‌های r.f. آشکارساز خروجی از میان گوشیها جلوگیری شود؛ این کار به‌آسانی با مهارکردن گوشیها توسط خازن مناسب انجام می‌شود.



شکل ۵ـ۱ گیرندهٔ رادیویی ساده

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

توان خروجی فرکانس صوتی (a.f.) گیرندهٔ ساده را می‌توان با استفاده از تقویت کنندهٔ فرکانس صوتی مطابق شکل ۵ ـ ۲ افزایش داد. علامت مطلوب به‌وسیلهٔ مدار تشدید ـ موازی L_2C_1 انتخاب می‌شود، و C_2 مؤلفه‌های r.f. آشکارساز خروجی را کنارگذر می‌کند. خازن C_3 مؤلفهٔ d.c. آشکارساز خروجی را که به‌تقویت کننده می‌رسد، تشکیل می‌دهد و ترتیبهای بایاس را معکوس می‌کند.



شکل ۵ ـ ۲ اساس گیرندهٔ رادیویی یك ترانزیستوری

در توان صوتی که به گیرنده می‌رسد، احتمالا می‌تواند افزایش بیشتری حاصل شود، در صورتی که از بهرهٔ a.f. منطقهٔ دوم و یا شاید سوم استفاده شود، ولی دو مانع برای این پیشنهاد وجود دارد: اولا نسبت علامت به‌اغتشاش خروجی ممکن است بدتر شود؛ ثانیاً واپیچیدگی موج خروجی در صورتی می‌تواند کاهش یابد که از آشکارساز دیودی خطی به‌جای آشکارساز غیرخطی استفاده شود. برای این که آشکارساز دیودی بتواند بازدهی خوبی ــ با واپیچیدگی کم ــ داشته باشد، باید ولتاژ r.f. که به پایانه‌های ورودی آن داده می‌شود دارای مقدار رأسی تقریباً ۱ ولت باشد.

بنابراین، روش بهتر برای افزایش توان a.f. خروجی این است که از یك یا چند منطقهٔ بهرهٔ فرکانس رادیویی استفاده شود. نمایش کلی مدار گیرندهٔ رادیویی **فرکانس رادیویی میزان شده** (t.r.f.) در شکل ۵ ـ ۳ نشان داده شده است. فرکانس علامت مطلوب که به‌وسیلهٔ مدارهای میزان

شکل ۵ ـ ۳ گیرندهٔ رادیویی فرکانس رادیویی میزان شده

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

شده در تقویت کنندهٔ r.f. انتخاب شده است، تقویت می شود و به منطقهٔ آشکارسازداده می شود. در صورت تهیهٔ بهرهٔ r.f. کافی می توان از آشکارسازدیودی استفاده کرد؛ در غیر این صورت به نوعی آشکارسازی غیر خطی هم نیازخواهد بود. خروجی آشکارشده به‌وسیلهٔ تقویت کنندهٔ a.f. تا سطحی لازم برای عمل کردن بلندگو، تقویت می شود.

فرکانسهای حامل در نوار موجهای متوسط و بلند در فواصل ۹ کیلوهرتز از هم قرار دارند و گیرندهٔ رادیویی باید قادر به انتخاب یك فرکانس حامل و حذف دو فرکانس حامل مجاور آن باشد. برای رسیدن به‌بهترین انتخاب مورد نظر، لازم است که از دو یا چند مدار تشدید در منطقهٔ r.f. استفاده شود که هر کدام باید دارای خازن متغیری باشند تا گیرنده را جهت دریافت علامتهای موجود بر روی فرکانسهای حامل مختلف تنظیم کنند. برای اینکه عملکرد گیرنده خیلی پیچیده نشود، مدارهای میزان شده باید طوری ترتیب داده شوند که بتوانند همه با هم به‌وسیلهٔ یك پیچ کنترل میزان شوند. این نیازمعمولا با نصب تمام خازنهای میزان کننده بر روی همان محور بنیادی برآورده می شود، که به‌آنها *توأم* شده گویند. متأسفانه، از نظر مکانیکی توأم کردن بیش از سه یا چهارخازن و اطمینان به‌اینکه خازنهای پراکندهٔ مربوطه مساوی باشد، مشکل است و این تعداد خازنها به‌ندرت برای انتخاب گیرندهٔ مناسب کافی هستند.

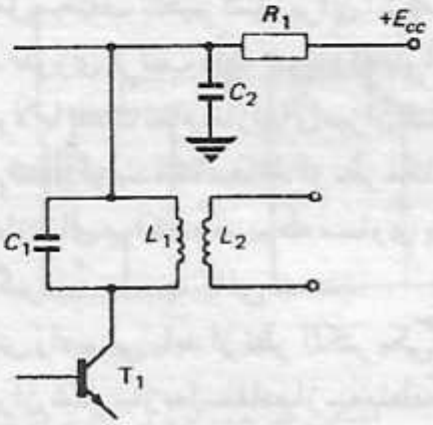
مدارهای میزان شدهٔ فرکانس رادیویی باید از نظر الکتریکی از یکدیگر عایق بندی شوند، یعنی به‌عنوان مثال چهارمدار میزان شده نیاز به‌استفاده از سه‌منطقهٔ تقویت کننده خواهند داشت. بهرهٔ تقویت کنندهٔ سه‌منطقه‌ای زیاد است و فقط به کسر کوچکی از ولتاژ خروجی آن برای ظاهر شدن در ورودی اولین منطقهٔ نوسان سازی جهت عملکرد نیاز خواهد داشت. چون ظرفیتهایی که مدارهای ورودی و خروجی تقویت کننده را میزان می کنند بر روی همان محور بنیادی نصب شده‌اند، گریز از پس خور غیرمطلوب بسیار مشکل است.

پس خور غیرمطلوب انرژی فرکانس رادیویی از یك منطقه به‌منطقهٔ دیگر می تواند به‌علت جفت شدگیهای مغناطیسی هم اتفاق بیفتد. با نصب هر منطقه در داخل یك محفظهٔ فلزی یا پوشش می توان از جفت‌شدگی بین منطقه‌ای مغناطیسی جلوگیری کرد. در این‌صورت میدان مغناطیسی ای که به‌وسیلهٔ منطقه به‌وجود آمده است یك e.m.f. در پوشش القا می کند و باعث جاری شدن جریانهای گردابی می‌شود. این جریانهای گردابی شار مغناطیسی دیگری به‌وجود می آورند که در جهت مخالف شار اصلی است و بنابراین با آن مخالفت می کند. در نتیجه، مقدار کمی ــ در صورت وجود ــ از میدان مغناطیسی در خارج محفظهٔ پوششی باقی می‌ماند. اگر پوشش به‌زمین وصل شود میدانهای الکتریکی پوشش را هم محافظت می کند. بازده پوشش می تواند با شبکه‌سازی دقیق و با استفاده از سیم یا کابل محافظ برای اتصالهای ورودی و خروجی به‌مقدار بیشتری افزایش یابد.

همچنین می توان برای جفت شدن منطقه‌های جداگانه به یکدیگر از مقاومت ظاهری منبع تغذیهٔ توان استفاده کرد. به‌منظور کاهش اثر جفت‌شدگی منبع تغذیهٔ توان تا سطحی قابل اغماض، معمولا ازمدارجداکننده استفاده می شود. مدارجداکنندهٔ ساده شامل مقاومتی است که

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

به‌طور سری به‌منبع تغذیه توان وصل شده و خازنی که‌از انتهای مربوط به‌تقویت کنندهٔ مقاومت، به‌زمین، مطابق شکل ۵ ـ ۴، وصل شده است. جریانهای فرکانس علامت که ازمدار میزان شدهٔ جمع کننده عبور می کنند با دو مسیر مواجه می شوند: ازیك طرف با مسیر خازن C_2 به‌زمین با مقاومت ظاهری کم، و ازطرف دیگر با مسیری با مقاومت ظاهری بزرگ‌تر ازمیان R_1 و منبع توان به‌زمین. بنابراین، جریانهای فرکانس علامت به‌منبع تغذیهٔ توان وارد نمی شوند. مسلماً عیب مدار جداکننده‌این است که ولتاژ d.c. در دوسر مقاومت سری R افت می کند و ولتاژ منبع تغذیهٔ جمع کنندهٔ منطقه را کاهش می‌دهد.



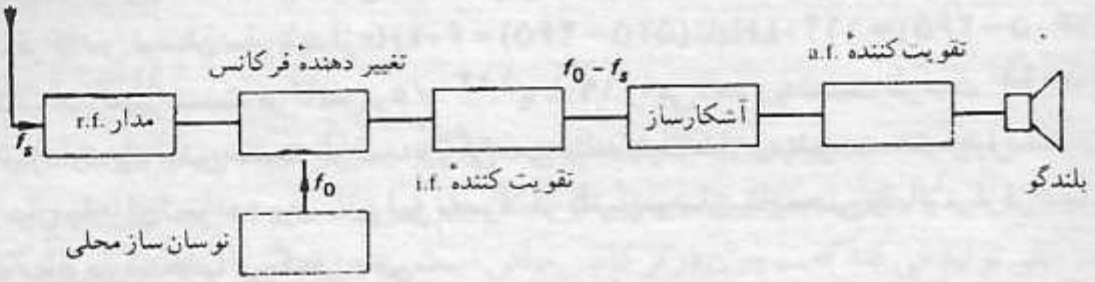
شکل ۵ ـ ۴ جداکردن منبع تغذیهٔ توان

عیب دیگر گیرندهٔ فرکانس رادیویی میزان شده در این است که به منطقه‌های تقویت کنندهٔ فرکانس رادیویی که‌بتوانند در فرکانسهای مختلفی تنظیم شوند نیازدارد. بهره و گزینندگی یك منطقهٔ تقویت کننده میزان شده به‌وسیلهٔ مشخصه‌های مقاومت ظاهری / فرکانس مدار میزان شدهٔ جمع کننده تعیین می شود. مقاومت ظاهری در حالت تشدید یك مدار میزان شدهٔ موازی برابر L/C اهم و فرکانس تشدید آن $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ هرتز است. چون بهرهٔ ولتاژ تشدید به نسبت L/C بستگی دارد، حاصل کار منطقهٔ تقویت کننده بستگی به‌میزان کردن آن به‌وسیلهٔ خازن متغیر یا بوبین متغیر دارد. اگر لازم باشد که منطقه برای فرکانس بالاتری میزان شود، در این صورت یا ظرفیت و یا القای مدار میزان شده باید کاهش یابد. اگر ظرفیت کاهش یابد، بهرهٔ درحال تشدید افزایش می‌یابد ولی اگر القا کاسته شود بهرهٔ تشدید کاهش می‌یابد. تغییر نسبت L/C همچنین بر شکل مشخصهٔ بهره / فرکانس منطقه اثر می گذارد. افزایش L/C کل منحنی را بالا می برد ولی رأس آن را بیشتر از کناره‌ها بالا می برد؛ یعنی، افزایش نسبت L/C هم بهرهٔ تشدید و هم گزینندگی را افزایش می‌دهد. در گیرندهٔ فرکانس رادیویی میزان شده این آثار مطلوب نیستند، چون معمولا لازم است که عملکرد در تمام فرکانسها دارای بهرهٔ مشابه باشد. علاوه بر آن، استفاده ازچندین منطقه به‌طور زنجیره‌ای موجب باریك شدن پهنای نوار می شود.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین

تمام مشکلات مربوط به گیرندهٔ رادیویی (t.r.f.) می‌تواند به‌آسانی حل شود در صورتی که تهیهٔ قسمت اعظم بهره و گزینندگی لازم در یك فرکانس ثابت ممکن باشد. این موضوع، اصل اساسی متداول‌ترین نوع گیرندهٔ رادیویی به‌نام **گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین** است.



شکل ۵ـ۵ گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین

شمای کلی گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین در شکل ۵ ـ ۵ نشان داده شده است؛ روش عملکرد آن به‌طور خلاصه از این قرار است: علامت مطلوب، فرکانس f_s، از منطقهٔ فرکانس رادیویی عبور می‌کند و همراه با ولتاژ خروجی نوسان‌ساز محلی در فرکانس f_o به تغییر دهندهٔ فرکانس یا مخلوط کننده داده می‌شود. یکی از محصولهای عملیات مخلوط کردن، یا تفاضل $f_o - f_s$ یا $f_s - f_o$ بر حسب اینکه کدام فرکانس بزرگ‌تر باشد. فرکانس تفاضل **فرکانس میانی** (i.f.) نام دارد و به‌وسیلهٔ تقویت کنندهٔ i.f. انتخاب و تقویت می‌شود. تقویت کنندهٔ i.f. از مدارهای میزان شدهٔ جفت شده با درجهٔ انتخاب بالا یا *ترانسفورماتورهای i.f.* برای دریافت مشخصهٔ بهره/فرکانس لازم استفاده می‌کند. خروجی مدوله شدهٔ تقویت کنندهٔ i.f. آشکار می‌شود و ولتاژ فرکانس صوتی (a.f.) آشکار شده به‌وسیلهٔ تقویت کنندهٔ a.f. تا سطحی که برای عملکرد بلندگو لازم است تقویت می‌شود.

تقویت کنندهٔ i.f. در فرکانس ثابتی عمل می‌کند که به‌وسیلهٔ سازندهٔ آن تنظیم شده است و به‌آسانی محافظت می‌شود تا پس‌خور را به‌اندازه‌ای کاهش دهد که از ناپایداری جلوگیری شود. این امر باعث می‌شود که بهره و گزینندگی لازم نسبتاً به‌آسانی فراهم شود.

انتخاب فرکانس نوسان‌سازهای محلی

فرکانس میانی گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین عبارت است از تفاضل فرکانس علامت مطلوب و فرکانس نوسان‌ساز محلی. دو امکان وجود دارد: فرکانس نوسان‌ساز محلی می‌تواند بزرگ‌تر از فرکانس علامت باشد و یا بالعکس.

گیرنده‌ای را با فرکانس میانی ۴۶۵kHz در نظر بگیرید که قادر است در طول نوار فرکانس

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

متوسط ۵۲۵kHz تا ۱۶۰۵kHz تنظیم شود. اگر فرکانس نوسان سازمحلی بزرگ تر ازفرکانس علامت مطلوب باشد، نوسان ساز باید درفاصلهٔ ۹۹۰kHz = (۴۶۵ + ۵۲۵) تا ۲۰۷۰kHz = (۴۶۵ + ۱۶۰۵) قابل تنظیم باشد، نسبت فرکانس ۲۰۷۰/۹۹۰ یا ۲/۰۹۱ : ۱ است. برای چنین نسبت فرکانسی نیازاست تا ازخازن متغیری با نسبت ظرفیت ظرفیت حداقل/ظرفیت حداکثر برابر $(۲/۰۹۱)^۲$ یا ۴/۳۷۲ : ۱ استفاده شود. یك چنین نسبت ظرفیتی به‌سادگی به‌دست می آید.

امکان دیگر این است که فرکانس علامت ازفرکانس نوسان سازمحلی بزرگ تر باشد. دراین صورت فرکانس نوسان ساز باید از ۶۰kHz = (۴۶۵ − ۵۲۵) تا ۱۱۴۰kHz = (۴۶۵ − ۱۶۰۵) تغییر کند. این تغییر نسبت فرکانس ۱۱۴۰/۶۰ یا ۱۹ : ۱ را می دهد و به‌نسبت ظرفیت [۱۹]۲، یا ۳۶۱ نیازدارد. یك چنین نسبت ظرفیت بزرگی نمی تواند با یك خازن متغیر به‌دست آید ودستیابی به آن آسان وارزان نخواهد بود. بنابراین معمولا فرکانس نوسان سازمحلی را بالاتر ازفرکانس علامت مطلوب انتخاب می کنند؛ یعنی،

$$f_o = f_s + f_i \qquad (۱-۵)$$

مؤلفهٔ فرکانس مجموع خروجی مخلوط کننده برای فرکانس میانی انتخاب نشده است، چون دراین صورت باید i.f. بزرگ تر از بالاترین فرکانس گسترهٔ تنظیم گیرنده باشد. عوامل مختلفی که به انتخاب فرکانس میانی کمك می کند بعداً مطرح خواهند شد؛ دراینجا کافی است اشاره شود که استفاده از فرکانس مجموع مانع استفاده از فرکانس میانی مطلوب خواهد شد.

اغلب گیرنده‌های مخابراتی چندین نوار فرکانس درنوار فرکانسهای متوسط و بلند را تحت پوشش دارند، و تقریباً از ۱/۶MHz تا ۳۰MHz قابل تنظیم هستند. بازهم فرکانس نوسان ساز محلی باید بالاتر از فرکانس علامت انتخاب شود. گیرنده‌هایی که در نوارهای V.H.F. و U.H.F. کارمی کنند ممکن است فرکانس نوسان سازشان پایین تر ازنوار فرکانس علامت قابل تنظیم ویا بالاتر ازآن باشد. به‌عنوان مثال، گیرندهٔ رادیویی f.m. درطول نوار فرکانس ۸۷/۵kHz تا ۱۰۰MHz تنظیم می شود و از فرکانس میانی ۱۰/۷MHz استفاده می کند. اگر فرکانس نوسان ساز محلی طوری انتخاب شود که بالاتر از فرکانس علامت باشد، نسبت ظرفیت لازم برابر می شود با ۱/۲۷۱/۱، درحالی که اگر فرکانس علامت بالاتر ازفرکانس نوسان سازباشد نسبت ظرفیت موردنیاز ۱/۳۲۵ : ۱ خواهد بود. واضح است که اختلافی بسیار جزئی بین دو نسبت ظرفیت وجود دارد.

تداخل کانال مجازی

مهم نیست که گیرندهٔ سوپرهترودین برای چه فرکانسی تنظیم شده است، همیشه فرکانس دیگری نیزهست که فرکانس میانی را تهیه می کند. این فرکانس دیگر را **فرکانس مجازی** نامند.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

علامت مجازی دارای فرکانس f_{im} است، به‌طوری که‌اختلاف بین آن و فرکانس نوسان‌ساز محلی برابر با فرکانس میانی f_i است. یعنی،

$$f_i=f_{im}-f_o$$

با جایگزینی f_o از رابطهٔ(۵ ـ ۱)خواهیم داشت:

$$f_i=f_{im}-(f_s+f_i)$$

یا:

$$f_{im}=f_s=2f_i \qquad (۵ ـ ۲)$$

بنابراین علامت مجازی از علامت مطلوب به‌اندازهٔ دوبرابر فرکانس میانی جدا خواهد بود. باید از رسیدن علامت مجازی به‌مخلوط‌کننده جلوگیری شود، در غیراین صورت علامت تداخلی تولید می‌کند که ــ چون در فرکانس میانی است ــ نمی‌تواند با انتخابِ تقویت کنندهٔ i.f. محدود شود. در منطقهٔ r.f. باید مدار تشدیدی با انتخاب مناسب اضافه شود تا موقعی که برای فرکانس علامت مطلوب تنظیم می‌شود علامت مجازی را رد کند. ضرورت تنظیم به‌علت تغییر فرکانس علامت مطلوب و در نتیجه فرکانس علامت مجازی است. داشتن مدار تشدیدی با انتخاب نسبتاً خوب برای پذیرفتن علامت مطلوب و حذف علامت مجازی، هنگامی که جدایی آنها کسر قابل توجهی از فرکانس علامت مطلوب باشد، مشکل نیست. با افزایش فرکانس علامت، قسمت جدایی فرکانس کوچک‌تر و بازده حذف فرکانس تصویری کمتر می‌شود.

هرمقدار جزئی از علامت مجازی که به مخلوط‌کننده برسد علامتی تولید خواهد کرد که به‌شکل تداخل صحبت درخروجی گیرنده ظاهر می‌شود. اگر یك علامت فقط چند کیلوهرتز دورتر از علامت مجازی به‌مخلوط‌کننده برسد، دو علامت i.f. ایجاد شده به یکدیگر برخورد می‌کنند تا صدای سوتی در خروجی گیرنده به‌وجود آورند.

نسبت پاسخ مجازی عبارت است از نسبت ولتاژها ــ برحسب دسی‌بل ــ در فرکانسهای علامت مطلوب و علامت مجازی، که لازم است در پایانه‌های ورودی گیرنده داده شوند تا همان صوت خروجی را تولید کنند.

مثال ۵ ـ ۱

یك گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین دارای فرکانس میانی ۴۶۵kHz است و برای ۱۰۶۵kHz تنظیم شده است. (الف) فرکانس نوسان‌ساز محلی، و (ب) فرکانس علامت تصوری را محاسبه کنید.

حل:

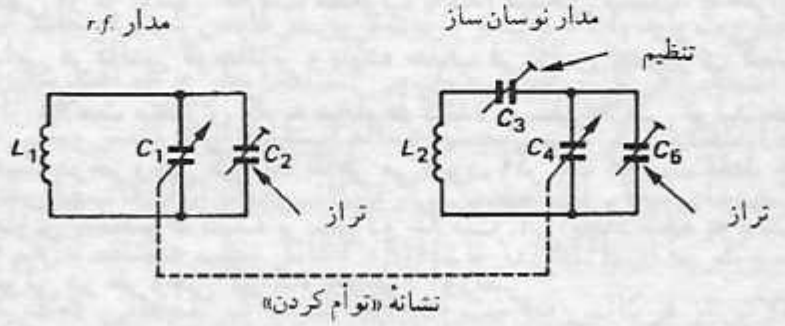
از رابطهٔ(۵ـ۱)، $f_o = ۱۰۶۵ + ۴۶۵ = ۱۵۳۰\text{kHz}$

واز رابطهٔ (۵ ـ ۲)، $f_{im} = ۱۰۶۵ + ۹۳۰ = ۱۹۹۵\text{kHz}$

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

توأم کردن و ردگیری

گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین برای اینکه فرکانس علامت معینی را دریافت کند لازم است که تقویت کنندهٔ فرکانس رادیویی برای فرکانس علامت f_s (ودر اصل حذف فرکانس مجازی)، ونیز نوسان‌ساز محلی برای فرکانس $f_i + f_s$ ــ که در آن f_i فرکانس میانی است ــ تنظیم شوند. برای اینکه بتوان گیرنده را با یك کنترل میزان کننده میزان کرد، خازنهای متغیری، که قسمتی از مدارهای تشدید نوسان‌ساز و r.f. را تشکیل می‌دهند، بر روی یك محور منفرد نصب یا به‌عبارتی **توأم** می‌شوند. چون فرکانسهایی که مدارهای نوسان‌ساز r.f. در آنها کار می‌کنند متفاوتند، توأم کردن سبب پایداری نمی‌شود. نگهداشتن اختلاف فرکانس ثابت بین مدارهای فرکانس رادیویی و نوسان‌ساز را **ردگیری** گویند. ترتیب دادن ردگیری درسی که تقریباً در طول تمام گسترهٔ میزان کردن گیرنده نگهداشته شود، مشکل است. روش معمول ترتیب دادن ردگیری کافی این است که مقادیر مساوی ظرفیت میزان کردن در مدارهای نوسان‌ساز و r.f. فراهم شود و در مدار نوسان‌ساز از القا کمتری نسبت به مدار r.f. استفاده به‌عمل آید. همچنین ضرورت گنجاندن ظرفیتهای سری و موازی ــ که به‌ترتیب خازنهای *تنظیم* و *تراز* نامیده می‌شوند ــ مطابق شکل ۵ـ۶ پیش می‌آید. درگیرنده‌ای که برای کل گسترهٔ میزان سازی میزان شده است خازنهای تنظیم و



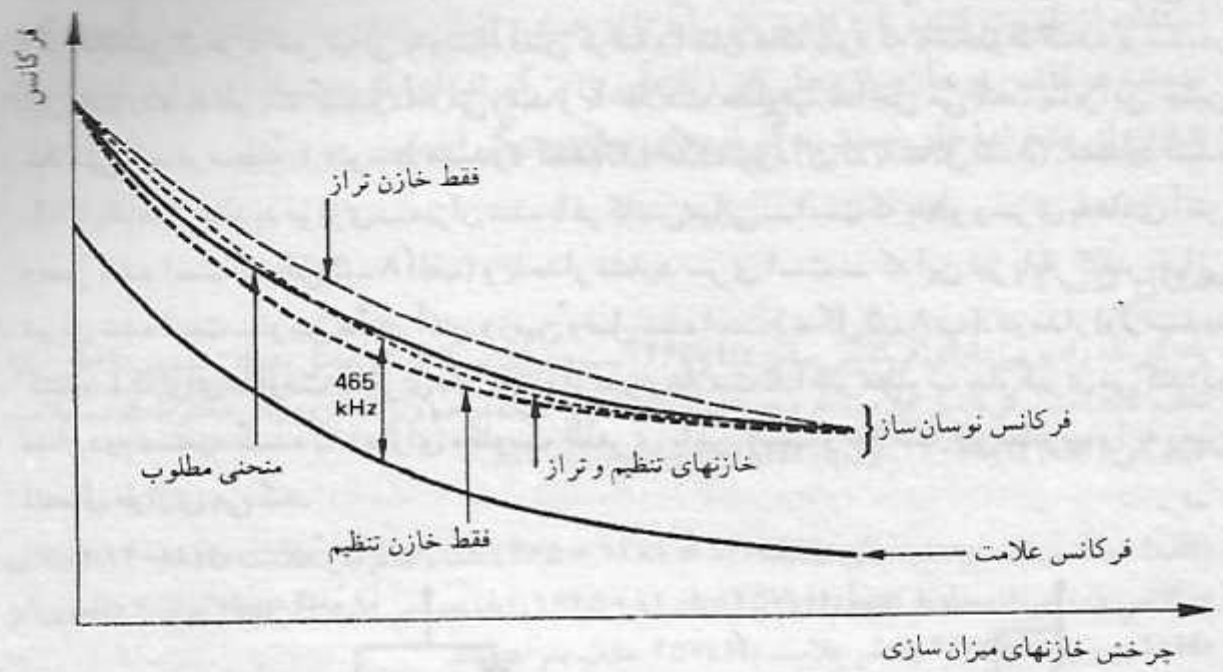
شکل ۵ـ۶ کاربرد خازنهای تنظیم و تراز

تراز برای به‌حداقل رساندن خطای ردگیری به کار می‌روند. این موضوع به‌وسیلهٔ منحنیهایی در شکل ۵ـ۷ نشان داده شده است. منحنی ایدآل نشان دهندهٔ شرایطی است که در آن اختلاف فرکانس بین مدارهای نوسان‌ساز و فرکانس علامت همیشه مساوی فرکانس میانی باشد که ۴۶۵kHz فرض شده است.

گزینندگی کانال مجاور

فاصلهٔ بین فرکانسهای حامل که بین فرستنده‌های مختلف تخصیص یافته است به‌وسیلهٔ طیف فرکانس موجود، یعنی ۹kHz برای فرستندهای رادیویی در نوار موج متوسط، محدود شده است. **گزینندگی** گیرندهٔ رادیویی عبارت است از توانایی آن در حذف علامتهای فرکانس حامل مجاور

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۵ـ۷ منحنیهای ردگیری

فرکانس حامل علامت مطلوب. گزینندگی اصولا با مشخصهٔ بهره/فرکانس تقویت کننده i.f. تعیین می شود.

نسبت کانال مجاور عبارت است از نسبت ولتاژهای ورودی ــ برحسب دسی بل ــ در فرکانسهای علامت مطلوب و کانال مجاور موردلزوم برای تهیهٔ همان توان خروجی.

مثال ۵ـ۲

یك گیرندهٔ سوپرهترودین برای فرکانس معینی تنظیم شده است که در آن ولتاژ ورودی ۱۰μV توان خروجی ۵۰mW را تولید می کند. اگر ولتاژ علامت لازم در فرکانس کانال مجاور برای تهیهٔ همان توان خروجی برابر ۱mW باشد، نسبت کانال مجاور را حساب کنید.

$$\text{نسبت کانال مجاور} = ۲۰\log_{۱۰}\left(\frac{۱\times۱۰^{-۳}}{۱۰\times۱۰^{-۶}}\right) = ۵۰\text{dB}$$

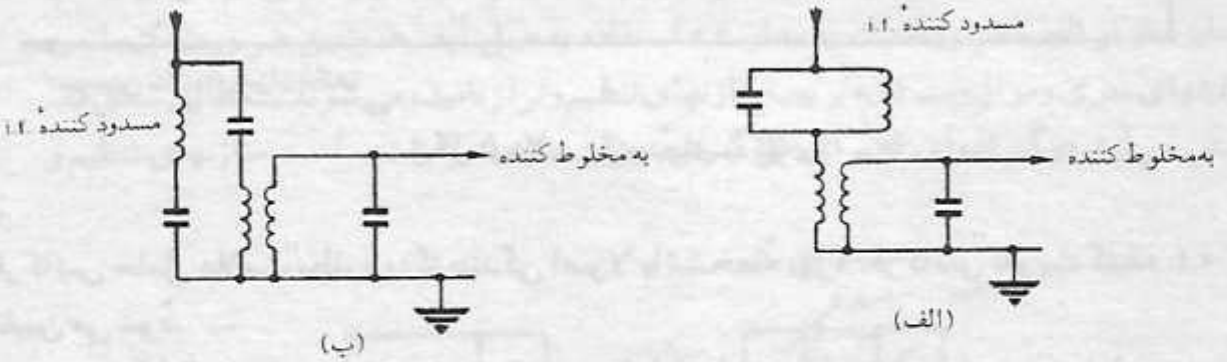
حساسیت

حساسیت گیرندهٔ رادیویی توانایی آن در دریافت علامتهای خیلی کوچك و تهیهٔ یك خروجی با نسبت علامت به‌اغتشاش رضایتبخش است. معمولا علامت ورودی حداقل، برحسب مدوله شدن ۳۰٪ در ۱۰۰۰Hz برای تهیهٔ توان خروجی ۵۰mW، با نسبت علامت به‌اغتشاش ۱۵dB بیان می شود. اضافه کردن نسبت علامت به‌اغتشاش در اندازه گیری حساسیت لازم است، چون درغیر این صورت ممکن است توان خروجی شامل اغتشاش زیاد و غیرقابل استفاده باشد.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

عبور از i.f.

اگر علامتی در فرکانس میانی به‌وسیلهٔ آنتن گرفته و اجازه داده شود که به‌مخلوط کننده برسد، در این صورت به‌تقویت کنندهٔ i.f. می‌رسد و با علامت مطلوب تداخل می‌کند. بنابراین چنین علامتی باید در منطقهٔ r.f. توسط **مسدود کنندهٔ i.f.** حذف شود (ن. ك به‌شکل ۵ـ۸). مسدود کنندهٔ i.f. یا یك مدار تشدید موازی ــ میزان شده با فرکانس میانی ــ است که به‌طور سری به‌هادی آنتن وصل شده است (شکل ۵ـ۸ الف) و یا مدار تشدید سری است ــ که این نیز با فرکانس میانی میزان شده است ــ و بین هادی آنتن و زمین وصل شده است (شکل ۵ـ۸ ب). در مدار اول مسدود کنندهٔ i.f. دارای مقاومت ظاهری بالاست و از عبور علامت i.f. غیر مطلوب جلوگیری می‌کند؛ در مدار دوم مسدود کنندهٔ i.f. دارای مقاومت ظاهری پایین است و علامت غیرمطلوب را به زمین اتصال موازی می‌کند.



شکل ۵ـ۸ مسدودکننده‌های *i.f.*

سایر منابع تداخل

گیرندهٔ سوپرهترودین همچنین به‌وسیلهٔ تعدادی از منابع تداخل دیگر نیز هدف قرار می‌گیرد. *تداخل هم‌کانالی* حاصل از علامتی دیگر در همان فرکانس است که نمی‌تواند به‌وسیلهٔ خودگیرنده محدود شود. اتفاق افتادن این تداخل نتیجهٔ شرایط انتشار غیرمعمول است که دریافت انتقالهایی را از ایستگاه فاصلهٔ دور (از لحاظ جغرافیایی) توسط آنتن عملی می‌سازد. هماهنگهای فرکانس نوسان‌ساز محلی ممکن است با ایستگاههای غیر مطلوب، یا با هماهنگهای تولید شده به‌وسیلهٔ مخلوط کننده، ترکیب شود، تا مؤلفه‌های فرکانس تفاضل مختلفی تولید کند که بعضی از آنها ممکن است در بین نوار عبوری تقویت کنندهٔ i.f. قرار گیرند. همچنین ممکن است دو علامت r.f. که به‌ورودی مخلوط کننده رسیده‌اند با همدیگر برخورد و مؤلفه‌ای در فرکانس میانی تولید کنند.

تشعشع نوسان‌ساز محلی

نوسان‌ساز محلی در فرکانس رادیویی کار می‌کند و ممکن است یا مستقیماً و یا با جفت شدن به یك

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

آنتن تشعشع کند. تشعشع مستقیم به‌وسیلهٔ پوشش نوسان ساز محدود می شود، و تشعشع از آنتن یا استفاده از تقویت کنندهٔ r.f. کاهش می یابد تا از رسیدن ولتاژ نوسان ساز به آنتن جلوگیری کند. تشعشع فرکانس نوسان ساز محلی اثر زیان آوری بر گیرنده‌ای که به‌وسیلهٔ آن تولید شده است ندارد ولی منبع تداخلی نسبت به گیرنده‌های مجاور دیگر است.

مثال ۵ـ۳

یك گیرندهٔ رادیویی دارای فرکانس میانی ۴۶۵kHz است و برای دریافت یك حامل مدوله نشده در ۱۲۰۰kHz تنظیم شده است. فرکانس علامت خروجی صوتی را حساب کنید، در صورتی که در ورودی مخلوط کننده علامت سینوسی (الف) ۱۲۰۸kHz، و (ب) ۴۶۲kHz وجود داشته باشد.

حل:

(الف) فرکانس نوسان ساز محلی ۱۶۶۵kHz = ۱۲۰۰ + ۴۶۵ است و بنابراین علامت ۱۲۰۸kHz اختلاف فرکانس خروجی از مخلوط کنندهٔ ۴۵۷kHz = ۱۲۰۸ − ۱۶۶۵ را به‌وجود می آورد. اگر پهنای نوار i.f. فقط برابر ۹kHz بر روی ۴۶۵kHz باشد، علامت ۴۵۷kHz حذف خواهد شد.

(ب) علامت ۴۶۲kHz در خروجی مخلوط کننده ظاهر می شود و از طریق تقویت کنندهٔ i.f. عبور و با علامت ۴۶۵kHz برخورد می کند تا تن ۳kHz را در خروجی گیرنده تهیه کند.

انتخاب فرکانس میانی

عوامل اصلی قابل توجه در انتخاب فرکانس میانی برای گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین عبارتند از: (الف) پهنای نوار i.f. موردنیاز، (ب) علامتهای تداخل، (ج) بهرهٔ لازم i.f. و پایداری، و (د) گزینندگی کانال مجاور مورد لزوم.

حداقل پهنای نوار ضروری تقویت کنندهٔ i.f. به‌نوع گیرنده بستگی دارد و برای یك گیرندهٔ رادیویی با مدولاسیون دامنه برابر ۹kHz است. چون پهنای نوار مدار میزان شدهٔ جفت شده نسبت مستقیم به فرکانس تشدید آن دارد، هرقدر پهنای نوار لازم بیشتر باشد فرکانس میانی باید بالاتر باشد. فرکانس میانی نباید در بین گسترهٔ میزان سازی گیرنده قرار گیرد، بنابراین منطقهٔ r.f. می تواند مسدود کنندهٔ i.f. را برای جلوگیری از تداخل اضافه کند. ولی برای ساده کردن طرح و ساختمان تقویت کنندهٔ i.f. فرکانس میانی باید تا حد ممکن پایین باشد. با به‌کار گرفتن فرکانس میانی پایین گزینندگی کانال مجاور مناسب آسان تر حاصل می شود؛ ولی از طرف دیگر، حذف کانال مجازی با انتخاب فرکانس میانی بالا آسان تر خواهد بود.

انتخاب فرکانس میانی برای گیرنده باید براساس سازشی بین این دو عامل مخالف باشد. اغلب گیرنده‌های رادیویی مدوله شدهٔ دامنه از فرکانس میانی بین ۴۵۰ و ۴۷۰kHz استفاده می کنند؛ گیرنده‌های ارتباطی a.m. اغلب از فرکانس میانی ۱/۴MHz استفاده می کنند، ولی گیرنده‌های رادیویی مدولاسیون فرکانس، که به‌پهنای نوار i.f. حدود ۲۰۰kHz نیاز دارند، از فرکانس میانی ۱۰/۷MHz استفاده می کنند.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

استفاده از تقویت کنندهٔ r.f.

در فرکانسهایی تا حدود 5MHz و حوالی آن، اغتشاشی که به‌وسیلهٔ آنتن گرفته می شود خیلی بیشتر از اغتشاشی است که در داخل گیرنده (که قسمت اعظم آن در منطقهٔ تغییر دهندهٔ فرکانس ایجاد می شود) تولید شده است. تقویت کنندهٔ r.f. اغتشاش آنتن را به‌همان حد علامت تقویت می کند و افزایشی جزئی ــ درصورت وجود ــ در نسبت علامت به‌اغتشاش ایجاد می کند. در فرکانسهای بالاتر اغتشاش آنتن کاهش می یابد و اغتشاش تولید شده به‌وسیلهٔ تغییردهندهٔ فرکانس مسلط می شود؛ دراین صورت با استفاده از تقویت کنندهٔ r.f.، نسبت علامت به اغتشاش گیرنده افزایش می یابد. تقویت کنندهٔ r.f. همچنین نوسان ساز محلی را از آنتن جدا می کند و به‌طور قابل توجهی تشعشع نوسان ساز محلی را کاهش می دهد. با افزودن تقویت کنندهٔ r.f. می توان از دو یا چند مدار میزان شده با حذف کانال مجازی خوب استفاده کرد.

معمولا در گیرنده‌های رادیویی موج متوسط مدولاسیون دامنه، از تقویت کنندهٔ r.f. استفاده نمی شود، درحالی که تمام انواع دیگر که در فرکانسهای بالاتر عمل می کنند از یك یا چند منطقهٔ بهرهٔ r.f. استفاده می کنند.

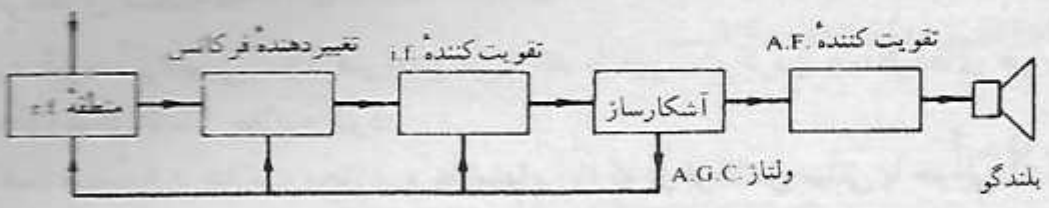
تنظیم خودکار بهره (a.g.c.)[1]

علامتهایی که به پایانه‌های ورودی گیرندهٔ رادیویی می‌رسند به‌مرور تضعیف می شوند و در صورتی که از **تنظیم خودکار بهره** استفاده نشود، تنظیم کنندهٔ صدا برای کم و بیش ثابت نگهداشتن خروجی گیرنده به‌تنظیم مداوم نیاز خواهد داشت. عملکرد سیستم a.g.c. این است که بهرهٔ گیرنده را طوری تغییر دهد که توان خروجی را ــ حتی در مقابل تغییرات بزرگ در سطح علامت ورودی ــ به‌اندازهٔ قابل قبولی ثابت نگهدارد. بنابراین بهرهٔ گیرنده باید به‌وسیلهٔ سیستم a.g.c. هنگام دریافت یك علامت ورودی با دامنهٔ بزرگ کاهش و برای علامت ورودی کوچك افزایش یابد. تغییرات در بهرهٔ گیرنده همچنین، از یك ایستگاه به‌ایستگاه دیگر، برای جلوگیری از تغییرات سطح خروجی به حدی بالاتر از آنچه که گیرنده میزان شده است، به‌کار می رود، و همچنین از واپیچیدگی تقویت کنندهٔ a.f. در اثر افزایش بار در علامتهای ورودی بزرگ‌تر جلوگیری می کند.

مداربندی a.g.c. درگیرنده‌های رادیویی خارج از بحث رایج این کتاب است، ولی اصول اصلی آن به شرح زیر است: ولتاژ مستقیمی به‌وسیلهٔ مدار a.g.c. در خروجی تقویت کنندهٔ i.f. ایجاد می شود که با سطح *حامل* (نه سطح فرکانس جانبی) نسبت مستقیم دارد. این ولتاژ به یك یا چند مخلوط کنندهٔ r.f. و طبقه‌های i.f. برگشت داده می شود تا ترتیبهای ولتاژ بایاس هر منطقه را تکمیل کند (شکل ۵ ـ ۹). مدار طوری ترتیب یافته است که افزایش ولتاژ بایاس بهرهٔ هر منطقهٔ

1. a.g.c. = Automatic Gain Control

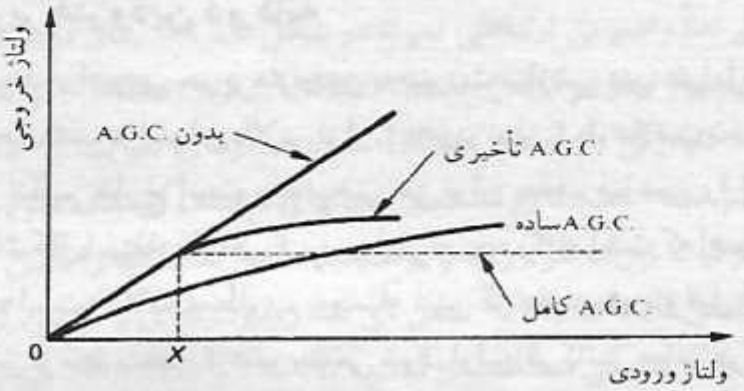
Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۵ـ۹ عملکرد تنظیم خودکار بهره در یك گیرنده

تحت کنترل را کاهش می‌دهد.

با *a.g.c.* ساده کنترل ولتاژی ایجاد می‌شود و بهرهٔ گیرندهٔ کاهش می‌یابد، و بلافاصله ولتاژ حاملی در خروجی تقویت کنندهٔ *i.f.* ظاهر می‌شود. مطلوب این است که بهرهٔ کامل گیرنده برای علامتهای خیلی ضعیف موجود باشد، و بنابراین اغلب از *a.g.c.* تأخیری استفاده می‌شود. تنظیم خودکار بهرهٔ تأخیری طوری ترتیب یافته است که ولتاژ a.g.c. تا موقع رسیدن علامت ورودی به مقدار از پیش تعیین شده‌ای به‌وجود نیاید، که معمولا در این موقع توان کامل خروجی تقویت کنندهٔ صوتی می‌تواند حاصل شود.



شکل ۵ـ۱۰ منحنیهای تنظیم خودکار بهره

مشخصه‌های خروجی/ورودی برای گیرندهٔ رادیویی (الف) بدون a.g.c. (ب) با a.g.c. ساده، و (ج) با a.g.c. تأخیری در شکل ۵ـ۱۰ نشان داده شده است. سیستم a.g.c. ایدآل، تا موقعی که علامت ورودی به مقدار از پیش تعیین شدهٔ X برسد، نباید عمل کند، و بنابراین خروجی گیرنده را ثابت نگه‌می‌دارد (خط چین در شکل ۵ـ۱۰). اثرهای پژمرش انتخابی با استفاده از a.g.c. کاهش نمی‌یابد ــ در حقیقت عکس آن درست است. هنگامی که پژمرش انتخابی وجود دارد، حامل ممکن است به‌خوبی و سریع ــ وقتی یك یا هردو نوار جانبی از نظر مقدار افزایش یابند ــ کاهش یابد. این امر سبب افزایشی در بهرهٔ گیرنده می‌شود و پژمرش انتخابی را مهم می‌کند. به‌همین ترتیب، بهرهٔ گیرنده ممکن است با افزایش سطح حامل ــ موقعی که یك یا هردو نوار جانبی کم می‌شوند ــ به‌سرعت کاهش یابد.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

عملکردهای منطقه‌ها

عملکرد گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین می‌تواند با فهرست کردن عملکردهای هر یك از منطقه‌های شکل ۵ ـ ۹ خلاصه شود:

(الف) *منطقهٔ r.f.* علامت مجازی و علامتهایی را که در فرکانس میانی یا حوالی آن وجود دارند مسدود می‌کند. آنتن را به‌گیرنده جفت می‌کند و تشعشع نوسان‌ساز محلی را کاهش می‌دهد. می‌تواند تقویت علامت را تهیه کند و نسبت علامت به اغتشاش را افزایش دهد.

(ب) *تغییردهندهٔ فرکانس.* فرکانس علامت مطلوب را به فرکانس میانی تبدیل می‌کند.

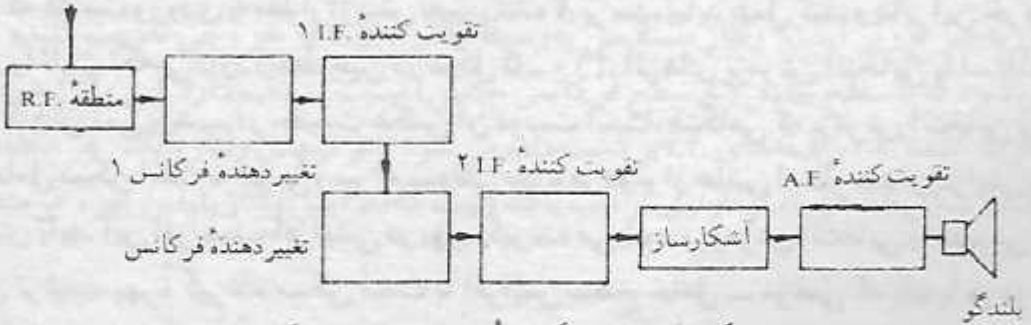
(ج) *تقویت کنندهٔ i.f.* قسمت اعظم بهره و گزینندگی گیرنده را فراهم می‌کند.

(د) *آشکارساز.* خبر a.f. را از خروجی مدوله شدهٔ تقویت کنندهٔ i.f. جدا و ولتاژ a.g.c. را تهیه می‌کند.

(هـ) *تقویت کنندهٔ a.f.* خروجی آشکار شده را تقویت می‌کند تا توان کافی برای عملکرد بلندگو را فراهم کند.

گیرنده‌های سوپر هترودین دوگانه

فرکانس میانی گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین به‌صورت سازشی بین عوامل مختلفی است که قبلا در موردشان بحث شد. در انتهای بالایی نوار m.f. و در نوار h.f.، علامت مجازی فقط به‌اندازهٔ درصد کوچکی از تنظیم خارج است و به‌سختی می‌توان حذف مناسبی را انجام داد. یکی از روشهای رفع این اشکال استفاده از *اصول سوپرهترودین دوگانه* است که اصول آن در شکل ۵ـ ۱۱ نشان داده شده است. علامت مطلوب به‌وسیلهٔ آنتن گرفته می‌شود و قبل از رسیدن به اولین تغییردهندهٔ فرکانس توسط منطقهٔ r.f. تقویت می‌شود. اولین فرکانس میانی می‌تواند به‌اندازه‌ای که برای انجام حذف مجازی لازم است برسد؛ به‌عنوان مثال، عملکرد گیرنده در نوار h.f. ممکن است دارای اولین i.f. به‌اندازهٔ ۴MHz باشد. اولین نوسان‌ساز محلی باید فرکانس متغیری داشته باشد تا فرکانس علامت مطلوب همیشه بتواند به‌فرکانس میانی ترجمه شود. فرکانس دومین نوسان‌ساز محلی ثابت است چون ورودی به‌تغییر دهندهٔ دوم همیشه در همان فرکانس انجام



شکل ۵ ـ ۱۱ گیرندهٔ سوپرهترودین دوگانه

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

می شود. فرکانس میانی دوم در ابتدا انتخاب می شود تا گزینندگی کانال مجاور مناسبی را به‌دست دهد که اغلب حدود ۱۰۰kHz است.

مثال ۵ـ۴

یك گیرندهٔ سوپرهتروودین دوگانه دارای فرکانسهای میانی ۴MHz و ۱۰۰MHz است و برای دریافت علامتی در ۲۰MHz تنظیم شده است. فرکانسهای اولین و دومین نوسان‌سازهای محلی را حساب کنید.

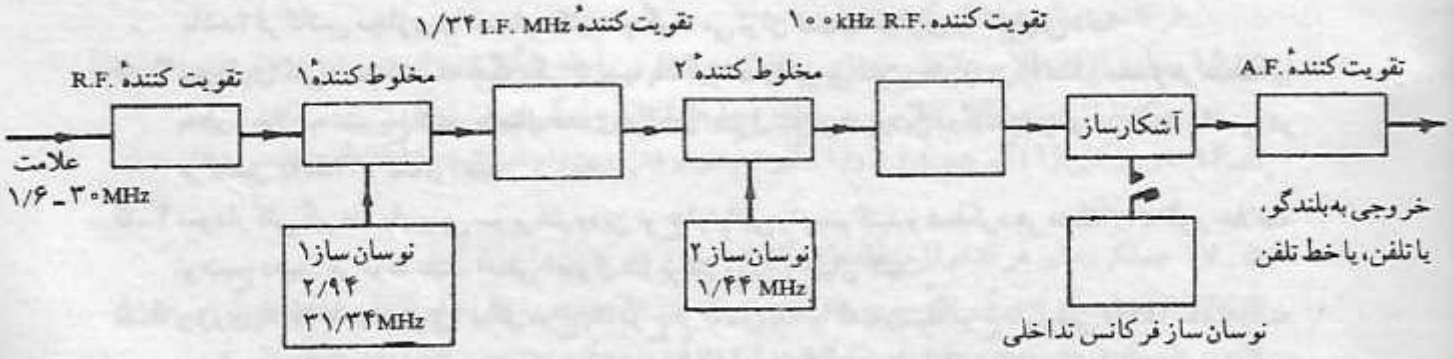
$$f_{o1}=f_s+f_{i1}=۲۰+۴=۲۴\text{MHz}$$

$$f_{o2}=f_{i1}+f_{i2}=۴۰۰۰+۱۰۰=۴۱۰۰\text{kHz}$$

گیرنده‌های ارتباطی

اصطلاح *گیرندهٔ ارتباطی* اغلب به گیرنده‌ای اطلاق می شود که برای دریافت علامتهایی در چندنوار فرکانس مختلف طراحی شده است، و ممکن است از نوع سوپرهتروودین دوگانه یا نوع دیگری باشد. برای به‌حداقل رساندن اغتشاش و تداخل، مطلوب آن است که از حداقل پهنای نوار ممکن برای هر نوع علامت دریافتی استفاده شود، و معمولا نوعی پهنای نوار i.f. متغیر تهیه می شود. بعضی از گیرنده‌ها نیز امکان دریافت علامتهای تلگرافی نوار باریك را دارند.

نمودار کلی گیرندهٔ رادیویی ارتباطی نمونه در شکل ۵ـ۱۲ نشان داده شده است. پوشش فرکانس گیرنده به‌چهار نوار فرکانس مختلف (۱/۶ـ۴MHz، ۴ـ۱۰MHz، ۱۰ـ۲۰MHz و ۲۰ـ۳۰MHz) با کلیدزنی در مقادیر مختلف القای مدارهای تقویت r.f.، مخلوط کنندهٔ ۱ و نوسان‌ساز ۱ تقسیم شده است. لازم است از بوبینهای مختلف استفاده شود چون خازن متغیر نمی تواند نسبت ظرفیت بزرگ ضروری مربوط به یك مقدار ساده القا را تأمین کند. تقویت کنندهٔ i.f. دوم در یك فرکانس ثابت ۱۰۰kHz عمل می کند و با وسیله‌ای با گزینندگی متغیر تهیه شده است. هر کدام از پنج گزینندگی مختلف، در گسترهٔ ۴۰۰Hz تا ۸۰۰۰Hz، می تواند با کلیدزنی به مدار صافیهای کریستالی مختلف، انتخاب شود. به‌همین ترتیب پهنای نوارهای مختلف می تواند با کلیدزنی مقادیر مختلف مقاومت دوسر القای مدارهای میزان شدهٔ جفت شده‌ای حاصل شود که



شکل ۵ـ۱۲ گیرندهٔ ارتباطی

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

در منطقهٔ i.f. نهایی به کار می‌رود.

غالباً گزینندگی متغیر با گیرنده‌های ارتباطی تهیه می‌شود به‌طوری که بتوان پهنای نوار مناسب برای خدمات بخصوصی را انتخاب کرد. به‌عنوان مثال، دریافت علامتهای رادیویی صوتی به بزرگ‌ترین پهنای نوار ۸kHz نیاز دارد، در حالی که برای دریافت مکالمه باریک‌ترین پهنای نوار را می‌توان به‌کار برد، به‌طوری که با حفظ مفهوم بودن خبر هم اغتشاش و هم تداخل کانال مجاور کاهش یابد. پهنای نوار باریک ۴۰۰Hz برای دریافت علامتهای تلگرافی C.W. (موج پیوسته) به‌کار می‌رود.

برای دریافت علامتهای رمز مورس رادیوتلگرافی C.W. یک نوسان‌ساز فرکانس ـ تداخلی قابل تنظیم به‌مدار کلید می‌شود. علامت ظاهر شده در خروجی تقویت کنندهٔ دوم i.f. شامل وجود، یا عدم وجود، یک حامل مدوله نشدهٔ ۱۰۰kHz برای نشان دادن نقطه‌ها، خطها، و فواصل رمز مورس است. آشکارساز در گیرندهٔ رادیویی برای پاسخ دادن به مدولاسیون حامل طراحی می‌شود و موقعی که یک علامت C.W. به پایانه‌های ورودی آن داده می‌شود یک خروجی صفر تهیه می‌کند. برای اینکه علامت رمز مورس شنیدنی شود لازم است که حامل ۱۰۰kHz خروجی تقویت کنندهٔ i.f. نهایی با خروجی نوسان‌ساز فرکانس ـ تداخلی، تداخل یابد. فرآیند *تداخل* مؤلفه‌ای را در فرکانسی معادل با اختلاف بین حامل و فرکانسهای نوسان‌ساز فرکانس تداخل، تهیه می‌کند. با انتخاب مناسب فرکانس نوسان‌ساز فرکانس ـ تداخلی، فرکانس تفاضل می‌تواند طوری ترتیب یابد که در بین نوار عبوری تقویت کنندهٔ صوتی قرار گیرد.

تمرینها

۵ـ۱ به‌کمک نموداری کلی، عملکردهای منطقه‌های مختلف یک گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین نوع ارتباطی را توضیح دهید. به‌طور خلاصه ذکر کنید چگونه پهنای نوارهای مختلف ۱۲، ۵، ۱ و ۰/۱ کیلوهرتز را می‌توان به‌دست آورد.

۵ـ۲ یک گیرندهٔ رادیویی دارای فرکانس میانی ۴۵۰kHz است، و برای دریافت ایستگاهی که روی فرکانس ۱۴۰۰kHz تشعشع می‌کند میزان شده است. درچه فرکانسی عبور از i.f. اتفاق می‌افتد؟ حداقل پهنای نوار r.f. لازم چقدر است، درصورتی که بالاترین فرکانس مدوله‌ای که درفرستنده به‌کار رفته است برابر ۶kHz باشد؟ فرکانس مجازی را حساب کنید. چگونه می‌توان نسبت مجازی را افزایش داد؟

۵ـ۳ نموداری کلی رسم کنید که چگونگی ترتیب یک گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین را نشان دهد و هر منطقه را به‌طور خلاصه تشریح کنید. با مثال عددی مزایای اصول سوپرهترودین دوگانه را برای دریافت علامتی در فرکانس ۱۴MHz نشان دهید.

۵ـ۴ نمودار کلی گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین نوع ارتباطی را رسم کنید و عملکرد هر منطقه را به‌طور خلاصه توضیح دهید. هرگونه عیب اصلی اصول سوپرهترودین را بیان کنید.

۵ـ۵ بر روی یک کاغذ میلیمتری، شکل موج یک موج فرکانس بالا را که به‌وسیلهٔ موج سینوسی ۱kHz مدولهٔ دامنه شده است برای عمقهای زیر رسم کنید: (الف) ۲۰٪ و (ب) ۶۰٪. موج حامل مدوله نشده دارای جذر میانگین مجذور (r.m.s.) ۰/۷۷ است.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

مختصراً توضیح دهید چه پهنای نواری در (الف) منطقه‌های .r.f، (ب) منطقه‌های .i.f، و (ج) منطقه‌های صوتی یك گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین لازم است، در صورتی که دریافت علامت مدوله شدهٔ دامنه‌ای موردنظر باشد که در آن بالاترین فرکانس مدوله شده برابر ۴/۵kHz است.

۵ـ۶ نمودار کلی یك گیرندهٔ سوپرهترودین را رسم کنید. اصطلاحهای *گزینندگی کانالی* مجاور و *حذف مجازی* را توضیح دهید و به‌طور خلاصه تشریح کنید که چه قسمتهایی از گیرنده اصولاً عملکرد آن را در هرکدام ازاین مفاهیم تعیین می کند. اگر گیرنده‌ای دارای فرکانس میانی ۴۵۰kHz باشد، فرکانس مجازی آن را وقتی که برای علامت ۱۴۰۰kHz میزان شده است حساب کنید.

۵ـ۷ نمودار کلی گیرندهٔ ارتباطی همه‌کارهٔ سوپرهترودین را رسم کنید، و مختصراً عملکرد هر منطقه را توضیح دهید. مزایای اصلی افزودن یك منطقهٔ تقویت کنندهٔ .r.f را توضیح دهید.

۵ـ۸ نمودار کلی گیرندهٔ رادیویی ارتباطی سوپرهترودین را رسم کنید. عوامل اصلی ای که موارد زیر را کنترل می کند بیان کنید: (الف) انتخاب فرکانس میانی، (ب) استفاده از منطقهٔ تقویت فرکانس رادیویی، (ج) پهنای نوار فرکانس میانی.

اصطلاحهای زیر را به‌طور خلاصه توضیح دهید: (۱) حذف کانال مجازی، (۲) گزینندگی کانال مجاور، (۳) تنظیم خودکار بهرهٔ تأخیری.

۵ـ۹ (الف) اصطلاحهای زیر را که در دریافت سوپرهترودین به‌کار می روند تشریح کنید: (۱) دریافت کانال دوم یا کانال مجازی، (۲) گزینندگی کانال مجاور، و (۳) تغییردهندهٔ فرکانس. (ب) توضیح دهید در کجای گیرندهٔ سوپرهترودین مؤثرترین حذف کانال مجازی و گزینندگی کانال مجاور حاصل می شود. (ج) چرا فرآیند تغییر فرکانس به‌کار می رود؟

۵ـ۱۰ (الف) به‌کمك نموداری کلی عملکرد گیرندهٔ سوپرهترودین را توضیح دهید. (ب) دو اصل ضروری برای هرکدام از منطقه‌های زیر درگیرندهٔ سوپرهترودین را با دلیل ذکر کنید: (۱) فرکانس رادیویی، (۲) تغییردهندهٔ فرکانس، (۳) فرکانس میانی، (۴) فرکانس صوتی، و (۵) خروجی.

تمرینهای کوتاه

۵ـ۱۱ نمودار کلی گیرندهٔ .t.r.f را رسم و عناوین آن را ذکر کنید.

۵ـ۱۲ مشکلات مربوط به توأم کردن منطقه‌های تقویت کنندهٔ .r.r چندگانه را توضیح دهید.

۵ـ۱۳ توضیح دهید چرا لازم است بین منطقه‌های تقویت کنندهٔ .r.f که در یك فرکانس کار می کنند از پوشش و جداکننده استفاده شود.

۵ـ۱۴ عوامل مؤثر در انتخاب فرکانس میانی برای گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین را بیان کنید. مقادیر نمونهٔ فرکانس میانی را ذکر کنید.

۵ـ۱۵ منظور از اصطلاح علامت مجازی به‌کاربرده شده در رابطه با گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین چیست؟ چگونه از رسیدن این علامت به منطقهٔ مخلوط کننده جلوگیری می شود؟

۵ـ۱۶ نمودار کلی (۱) گیرندهٔ .t.r.f، و (۲) گیرندهٔ سوپرهترودین را رسم کنید. مزایای گیرندهٔ سوپرهترودین چیست؟

۵ـ۱۷ عملکردهای هرکدام از منطقه‌های گیرندهٔ سوپرهترودین را بیان کنید.

۵ـ۱۸ (الف) چگونه درگیرندهٔ سوپرهترودین فرکانس علامت موردنظر به‌فرکانس میانی تبدیل می شود؟ (ب) مزایای تهیهٔ منطقهٔ تقویت کنندهٔ .r.f در گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین چیست؟

۵ـ۱۹ منظور از موارد زیر چیست: (۱) تنظیم خودکار بهرهٔ ساده، و (۲) تنظیم خودکار بهرهٔ تأخیری. چرا از آنها

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

استفاده می شود؟

۵ ـ ۲۰ اختلافهای بین گیرندهٔ رادیویی گیرندهٔ ارتباطی را ذکر کنید.

۵ ـ ۲۱ منظور از اصول سوپرهترودین دوگانه چیست و چرا گاهی اوقات به‌کار می‌رود؟

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

۶ فرستنده‌های رادیویی

مقدمه

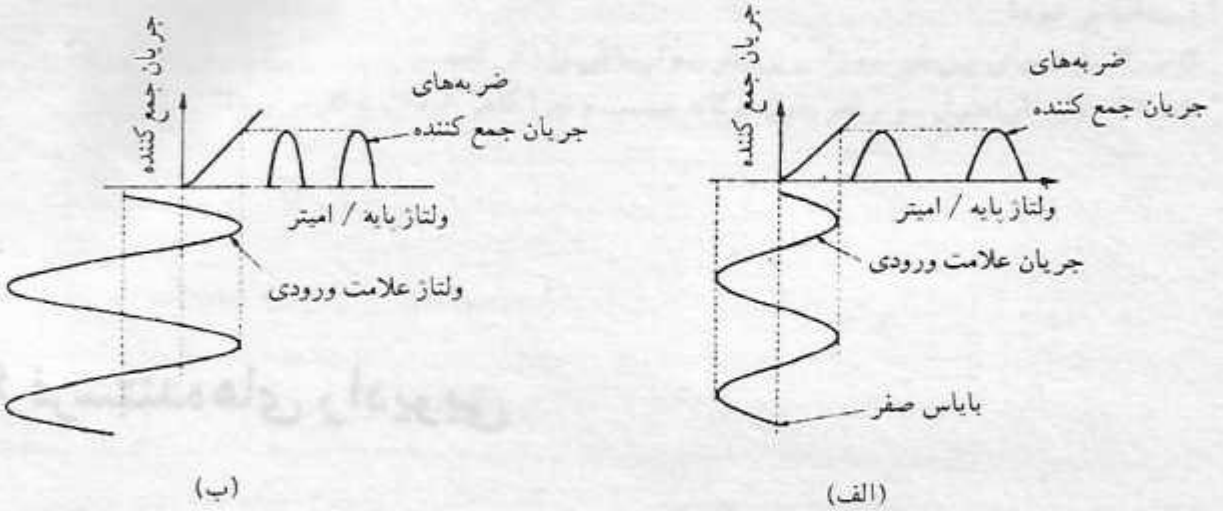
عملکرد فرستندهٔ رادیویی در سیستم ارتباطی ترجمهٔ علامت فرکانس صوتی به قسمت لازم طیف فرکانس و تقویت علامت به‌سطح توان تشعشع مطلوب است. فرستندهٔ رادیویی ممکن است از مدولاسیون دامنه یا فرکانس برای رسیدن به ترجمهٔ فرکانس لازم استفاده کند و چنانچه مدولاسیون دامنه به‌کار رود، ممکن است دارای نوار جانبی دوگانه، تك نوار جانبی و یا نوار جانبی مستقل باشد. فرستنده‌های رادیویی فرکانس متوسط در فرکانس ثابتی کار می‌کنند ولی فرستندهٔ رادیویی فرکانس بالا ممکن است بتواند در دو یا چند فرکانس ثابت عمل کند. با تغییر شرایط انتشار در یونوسفر، اغلب لازم است که فرکانس عملکرد یك شبکهٔ رادیو تلفنی فرکانس بالا به‌منظور تأمین خدمات تغییر یابد. بنابراین فرستنده‌های ارتباطی فرکانس بالا باید دارای ظرفیت تغییر فرکانس سریع باشند. در این کتاب فقط فرستنده‌های مدولاسیون دامنهٔ فرکانس بالا بحث خواهند شد.

تقویت کننده‌های توان فرکانس رادیویی

چنانچه از تقویت کننده‌ای با عملکرد در کلاس A، به‌علت این که دارای واپیچیدگی علامت کم است، استفاده شود، حداکثر بازده نظری که در آن توان d.c. که از منبع تغذیه گرفته می‌شود به‌خروجی توان علامت a.c. تبدیل می‌شود، فقط ۵۰٪ است، و بازده‌های عملی ــ بخصوص برای تقویت کننده‌هایی که از لامپهای گرمایونی استفاده می‌کنند ــ از این مقدار هم کمتر است. برای رسیدن به بازده‌ای بزرگ‌تر از این مقدار، می‌توان یا از شرایط کلاس B یا کلاس C یك تقویت کننده استفاده کرد.

درعملکرد کلاس B (ن. ك. به‌شکل ۶ ـ ۱)، نقطهٔ کار در نقطهٔ قطع قراردارد. جریان خروجی فقط در طول نیم‌دورهای تناوبی موج علامت جاری می‌شود. واضح است که موج جریان خروجی به‌مقدار زیادی واپیچیدگی یافته است؛ بنابراین بایاس کلاس B فقط می‌تواند با

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۶ ـ ۱ بایاس کلاس B و C

مدارهایی به کار رود که قادرند مجدداً نیم دورهای حذف شدهٔ موج علامت را جبران کنند. یك چنین مدارهایی را تقویت کننده‌های *فشاری ـ کششی* و تقویت کننده‌های *فرکانس رادیویی میزان شده* گویند. عملکرد کلاس B دارای حداکثر بازده نظری ۷۸/۵٪ است.

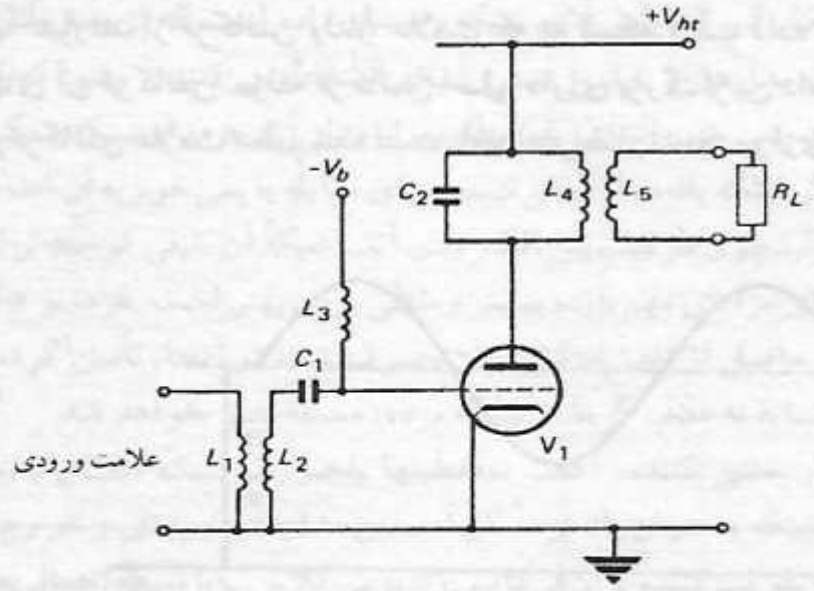
با بایاس کلاس C حتی بازده بزرگ‌تری را نیز می‌توان به‌دست آورد. با بایاس کلاس C ــ که در شکل ۱ ـ ۶ نشان داده شده است ــ نقطهٔ کار کاملاً قبل از نقطهٔ قطع قرار دارد. جریان خروجی به‌شکل یك سری از ضربه‌های باریکی جاری می‌شود که دارای مدت زمانی کمتر از نصف زمان تناوب موج علامت ورودی هستند. از بایاس کلاس C در تقویت کننده‌های توان فرکانس رادیویی استفاده می‌شود، چون بازدهٔ آنُد می‌تواند خیلی بالا، و شاید تا مقدار ۸۰٪ باشد. هنگامی که دستگاههایی با توان بالا مورد نظر باشند یك چنین بازده زیاد دارای اهمیت بسیار است. به‌عنوان مثال، برای به‌دست آوردن توان خروجی ۶۰kW به توان ورودی ۷۵kW ــ در صورتی که بازده برابر ۸۰٪ باشد ــ نیاز خواهد بود. ولی اگر بازده به ۷۰٪ کاهش یابد توان ورودی باید برابر ۸۵/۷kW شود. فرستنده‌های توان بالا در منطقه‌های توان بالای نهایی خود از مدار کلاس C لامپ گرمایونی استفاده می‌کنند، هرچند برخی از منطقه‌های اولیه ــ اگر نه همهٔ آنها ــ احتمالا ترانزیستوری خواهند بود. فرستنده‌های توان پایین جدید اغلب به‌طور کامل ترانزیستوری‌اند.

نمودار مدار اساسی **تقویت کنندهٔ توان فرکانس رادیویی کلاس C** در شکل ۶ ـ ۲ الف و ب نشان داده شده است. یك لامپ سه‌قطبی (تریود) در هر دو مدار نشان داده شده است، ولی در عمل اغلب فرستنده‌ها از لامپ چهارقطبی (تترود) استفاده می‌کنند. اختلاف بین دومدار در روشی است که مدار میزان شدهٔ آنُد آنها وصل شده است؛ در مدار تغذیه ـ سری شکل ۶ ـ ۲ الف، مدار میزان شده به‌طور سری به منبع تغذیهٔ h.t. وصل شده است، در حالی که در مدار تغذیه موازی مدار شکل ۲ ـ ۶ ب مدار میزان شده از منبع تغذیهٔ توان عایق شده است. مدار تغذیهٔ موازی به دو جزءِ اضافی $C_۲$ و $L_۲$ نیاز دارد. $C_۲$ از ایجاد مسیر مقاومت کم برای جریان d.c. ــ که از منبع تغذیهٔ توان به‌زمین به‌وسیلهٔ القای $L_۵$ مدار میزان شده گرفته شده است ــ جلوگیری می‌کند. بو بین $L_۴$ از

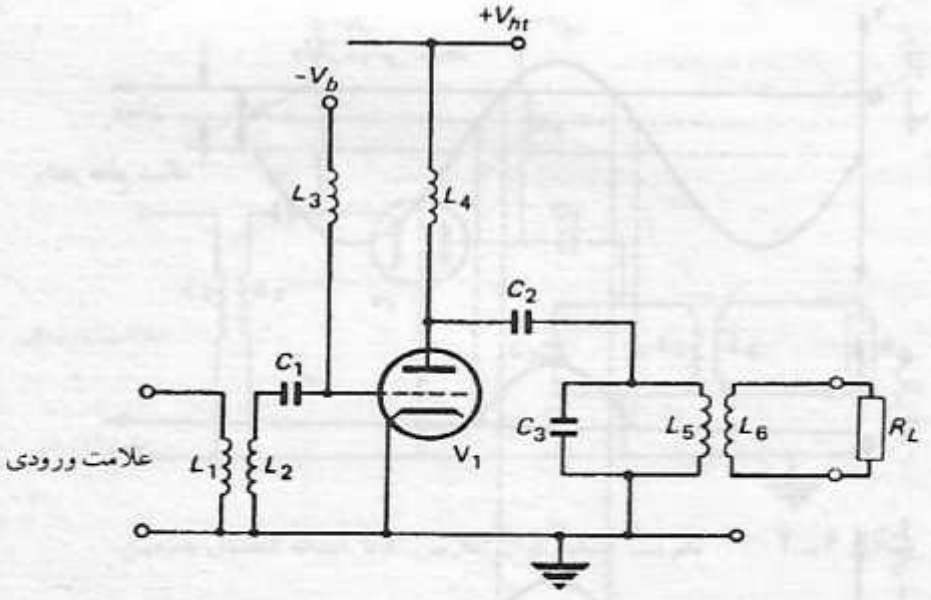
Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

عبور جریانهای فرکانس علامت به منبع تغذیهٔ توان، به‌جای ورود به‌مدار میزان شده، جلوگیری می‌کند. در هر دو مدار لامپ طوری بایاس شده است که در شرایط کلاس C، به‌وسیلهٔ ولتاژ بایاس منفی V_b که از طریق بوبین L_3 داده می‌شود عمل می‌کند؛ عملکرد L_3 ممانعت از اتصال جریانهای فرکانس علامت به‌زمین از طریق منبع بایاس است. ضرورت خازن C_1 به این دلیل است که منبع تغذیهٔ بایاس از طریق L_2 به‌زمین اتصال کوتاه نشود.

چون لامپ کاملا در نقطهٔ کار قبل از نقطهٔ قطع بایاس شده است، جریان آنُد فقط در طول رأسهای نیم‌دورهای مثبت ولتاژ علامت ورودی ــ وقتی که ولتاژ علامت بزرگ‌تر از ولتاژ بایاس



(الف)

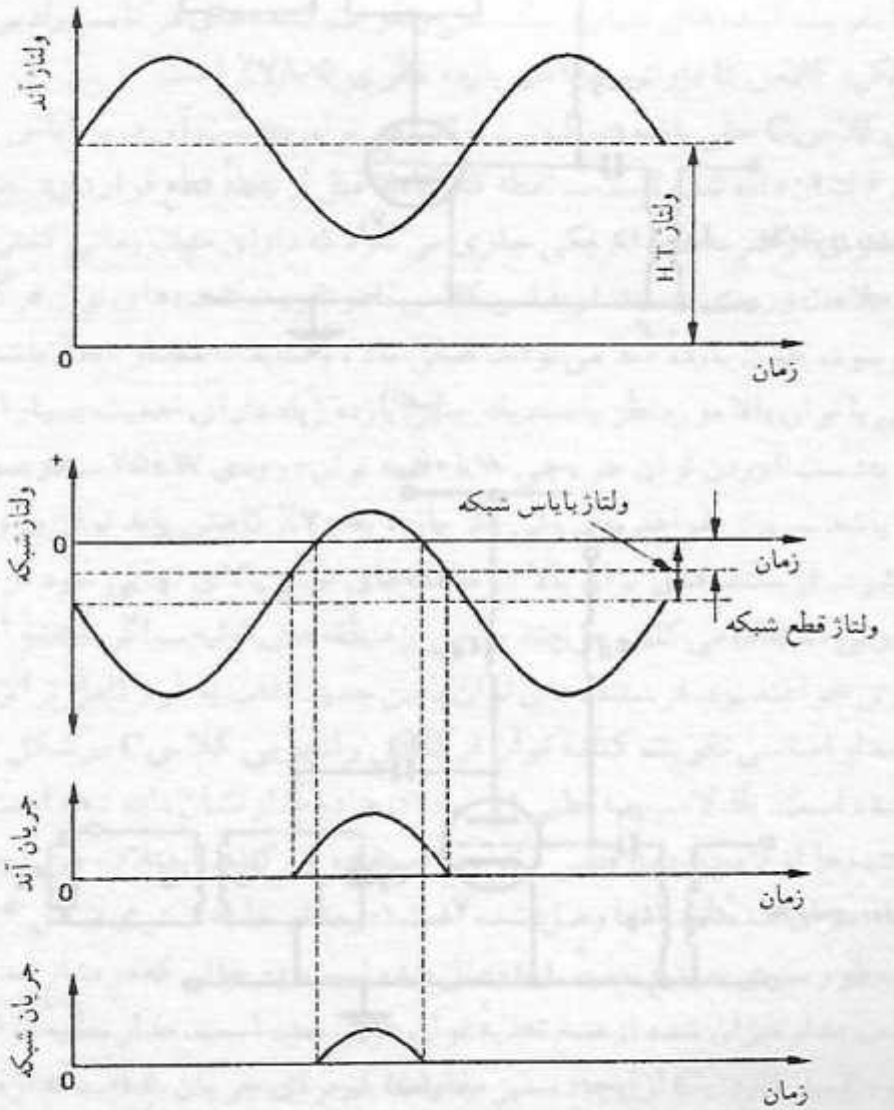


(ب)

شکل ۶ـ۲ تقویت کننده‌های توان کلاس C

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

است ــ جاری می شود (ن. ك. به‌شکل ۶ ـ ۳). با لامپ سه‌قطبی معمولا ولتاژ علامت، پتانسیل شبکه را نسبت به کاتد، در رأسهای نیم دورهای مثبت آن، مثبت می کند. این عمل باعث جاری شدن جریان شبکه می شود ولی خصوصاً، نسبت به‌سایر امکانها، سبب جریان آند بزرگ‌تری می شود. لامپ چهار قطبی دارای بهرهٔ بزرگ‌تری از سه‌قطبی است، و می توان جریان آند کافی را بدون این که نیازی به مثبت کردن شبکه باشد به‌دست آورد. بنابراین مدارهای کلاس C چهارقطبی با جریان شبکه کار نمی کنند. جریان آند به‌صورت یك سری ضربه‌هایی جاری می شود که زمان تناوبی کمتر از نصف زمان تناوب ولتاژ علامت دارند. بدیهی است که جریان آند به‌شکل موج سینوسی نیست و در تعدادی از فرکانسهای مختلف دارای مؤلفه‌هایی است. این فرکانسها عبارتند از فرکانس ولتاژ علامت که به شبکهٔ لامپ داده شده است و تعدادی از هماهنگهای آن فرکانس. مؤلفهٔ فرکانس اصلی دارای بزرگ‌ترین دامنه است. مدار آند برای تشدید در فرکانس علامت تنظیم شده است. امپدانس مدار تشدید موازی در فرکانس تشدید خود



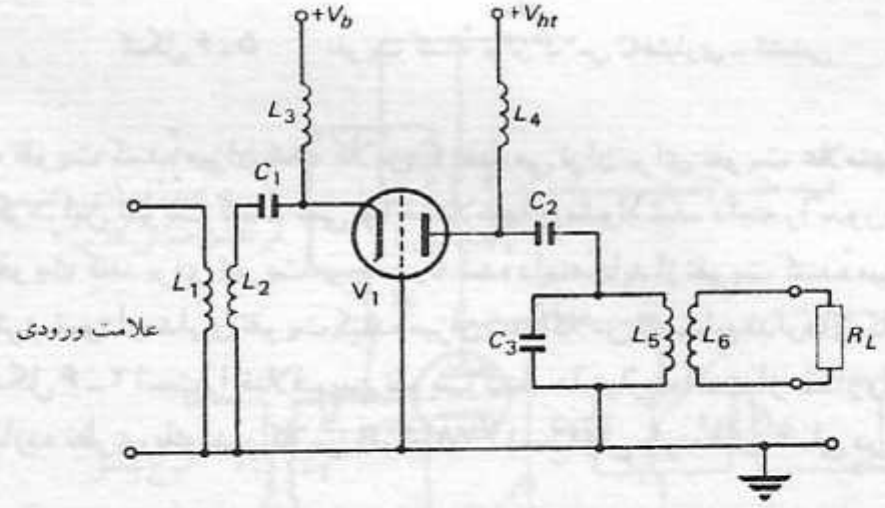
شکل ۶ ـ ۳ شکل موجهای جریان و ولتاژ در تقویت کنندهٔ کلاس C

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

به مقدار حداکثرش می‌رسد و در این صورت به‌طور خالص مقاومتی (اهمی) خواهد بود. در تمام فرکانسهای دیگر امپدانس مدار آند خیلی کوچک‌تر است و به‌طور خالص مقاومتی نخواهد بود. بنابراین ولتاژی که در دوسر مدار میزان شدهٔ آند ظاهر می‌شود فقط در فرکانس علامت وجود دارد و به‌شکل موج سینوسی است. ولتاژی که در دوسر مدار آند ایجاد شده است نسبت مستقیم با ولتاژ منبع تغذیهٔ h.t. دارد. شکل ۶ ـ ۳ شکل موجهای ولتاژها و جریانهای شبکه و آند در کلاس C تقویت کنندهٔ توان r.f. میزان شده را نشان می‌دهد. دقت کنید که ولتاژهای شبکه و آند در فاز مخالف یکدیگرند و جریان شبکه برای زمان تناوب کوتاه‌تری نسبت به جریان آند جاری می‌شود.

گرچه نمودار کلی شکل ۶ ـ ۲ بایاس لازم شبکه را نشان داده است که از منبع ولتاژ بایاس جداگانهٔ V_b است، اغلب مدارها از *بایاس نشتی* شبکه استفاده می‌کنند.[۱] وقتی که از لامپ سه‌قطبی استفاده می‌شود، پس‌خور انرژی غیرمطلوب از مدار آند به مدار شبکه ممکن است باعث ناپایداری شود، مگر اینکه یک مدار خنثی کننده برای مقابله با پس‌خور به‌آن اضافه شود. چهارقطبی این عیب را ندارد چون ظرفیتِ بین الکترودی آند ـ شبکهٔ آن خیلی کوچک‌تر است. از طرف دیگر، سه‌قطبی دارای مزایای مهم بازده بیشتر و خطی بودن بهتر است. هردونوع لامپ را باید با نوعی گرماگیری حاصل از آند، به‌دلیل توان مصرف شده در آنجا، تأمین کرد، ولی در چهارقطبی به‌علت نیاز مشابه به‌جذب گرما از شبکهٔ پرده، مسئله بدتر خواهد شد.

برای اجتناب از مدار خنثی کننده، اغلب سه‌قطبیها به‌صورت شبکهٔ *اتصال* به‌زمین کار می‌کنند؛ در این صورت شبکه به‌عنوان یک پردهٔ کارآمد بین مدارهای ورودی و خروجی عمل می‌کند. نمودار مداری یک تقویت کنندهٔ توان فرکانس رادیویی کلاس C با شبکهٔ اتصال به‌زمین در



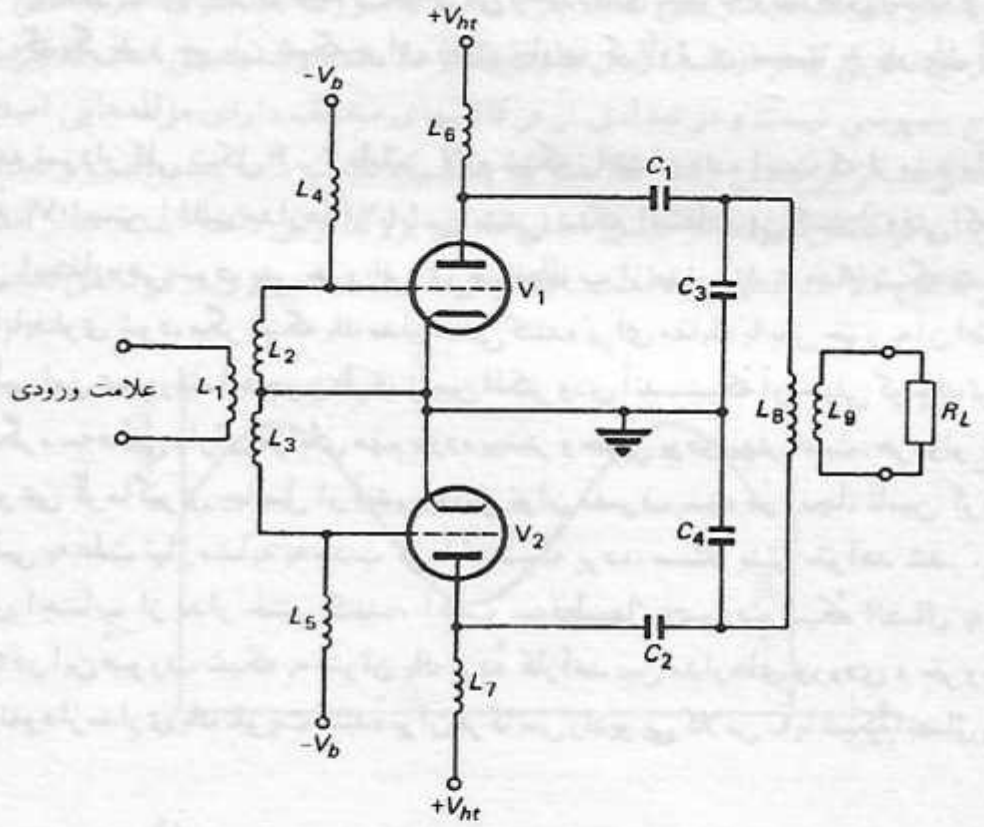
شکل ۶ ـ ۴ تقویت کنندهٔ توان کلاس C با شبکهٔ اتصال به‌زمین

۱. شرح مفصل‌تر این مطلب در جلد اول کتاب الکترونیک آمده است که بزودی با برگردان همین مترجم ازطرف انتشارت سروش منتشر می‌شود.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

شکل ۶ـ۴ نشان داده شده است. عملکردهای مؤلفه‌های مدارها، مشابه مؤلفه‌های مدارهای شکل ۶ ـ ۲ است، ولی دقت شود که ولتاژ بایاس V_b اکنون دارای پتانسیل مثبت است.

ازیك نوع لامپ معین می توان خروجی اضافه‌تری را نیز دریافت کرد در صورتی که دو لامپ ازاین نوع دریك تقویت کنندهٔ فشاری ـ کششی کلاس C به کار روند. شکل ۶ـ۵ نمودار مداری را نشان می دهد.



شکل ۶ـ۵ تقویت کنندهٔ توان کلاس C فشاری ـ کششی

ازیك تقویت کنندهٔ میزان شدهٔ کلاس C فقط می توان برای تقویت علامتهایی با دامنهٔ ثابت استفاده کرد. این تقویت کننده نمی تواند علامتهای مدوله شدهٔ دامنه را بدون واپیچیدگی قابل توجهی تقویت کند. برای تقویت موج مدوله شدهٔ دامنه، باید از تقویت کنندهٔ میزان شدهٔ کلاس B استفاده کرد. نمودار مداری تقویت کنندهٔ میزان شدهٔ کلاس B مشابه مدارهای کلاس C نشان داده شده در شکل ۶ ـ ۲ است، اختلاف بین تقویت کننده‌ها عبارت است از مقدار ولتاژ بایاس شبکه. حداکثر بازده نظری یك مدار کلاس B، ۷۸/۵٪ است ولی بازده‌های عملی در حدود ۶۰ ـ ۵۰٪ هستند.

ضرب کننده‌های فرکانس

جریان آند تقویت کنندهٔ میزان شدهٔ کلاس C به‌صورت یك سری ازضربه‌های کمتر از نصف موج

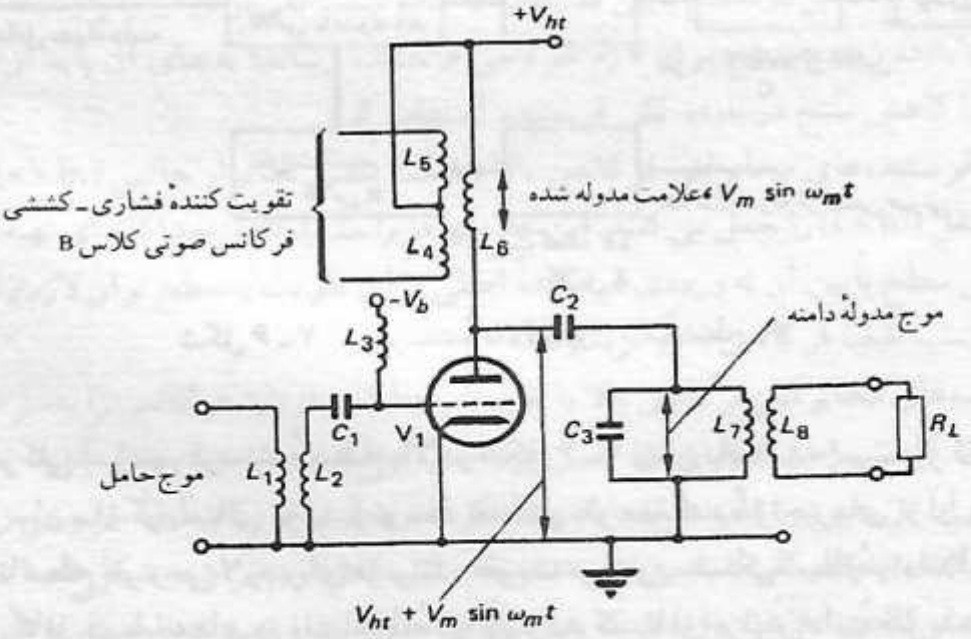
Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

سینوسی جاری می‌شوند و شامل مؤلفه‌هایی در فرکانس علامت ورودی و هماهنگهای آن فرکانس هستند. اگر مدار آند برای تشدید در یکی از هماهنگهای فرکانس علامت میزان شده باشد، ولتاژی که در دوسرِ بار ایجاد شده است در فرکانس هماهنگ خواهد بود. بنابراین اگر آند برای سومین هماهنگ فرکانس ورودی میزان شده باشد، مدار، فرکانس ورودی را در ضریب سه ضرب خواهد کرد. مقدار ولتاژ خروجی که می‌توان از ضرب کنندهٔ فرکانس دریافت کرد با افزایش شمارهٔ هماهنگی که مدار برای آن میزان شده است کاهش می‌یابد. در عمل، بیشترین عامل ضرب ۵ است؛ وقتی به درجهٔ بیشتری از ضرب فرکانس نیاز باشد از اتصال زنجیره‌ای دو یا چند ضرب کننده استفاده می‌شود.

تقویت کننده‌های میزان شدهٔ کلاس C بامدولهٔ دامنه

ولتاژ خروجی تقویت کنندهٔ میزان شدهٔ کلاس C نسبت مستقیم با مقدار ولتاژ تغذیهٔ آندی (h.t.) دارد که به مدار داده شده است. بنابراین اگر ولتاژ تغذیه (h.t.) بتواند مطابق با مشخصه‌های علامت مدوله شده تغییر کند، موج مدولهٔ شدهٔ دامنه به‌دست خواهد آمد. این نتیجه را می‌توان با ارائهٔ علامت مدوله به مدار آند به‌طور سری با ولتاژ منبع تغذیه به‌دست آورد. نمودار مدار اساسی تقویت کنندهٔ *میزان شدهٔ کلاس C مدوله شدهٔ آند* در شکل ۶ ـ ۶ نشان داده شده است.

ولتاژ خروجی تقویت کنندهٔ فشاری ـ کششی کلاس B فرکانس صوتی به مدار آند V_1 از طریق القای متقابل بین L_5/L_4 و L_6 جفت شده است. بنابراین ولتاژ علامت مدوله به‌طور سری به ولتاژ منبع تغذیهٔ d.c. وصل شده است به‌طوری که ولتاژ منبع تغذیهٔ مؤثری که به لامپ داده شده



شکل ۶ ـ ۶ تقویت کنندهٔ توان کلاس C مدوله شدهٔ آند

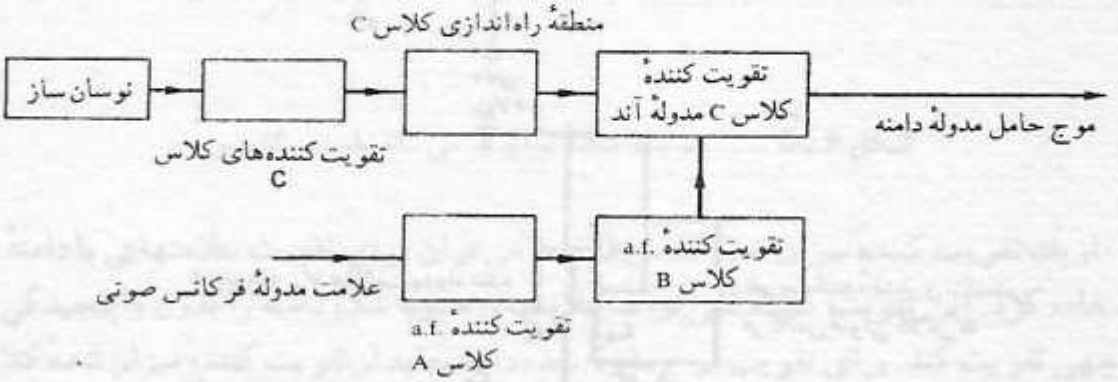
Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

عبارت است از مجموع ولتاژهای منبع تغذیه و مدوله یعنی: $V_{tt} + V_m \sin \omega t$. مقدار ولتاژ رأس که در دوسر مدار تشدید $C_۲L_۷$ ایجاد شده است مستقیماً با ولتاژ منبع تغذیهٔ مؤثر متناسب است و بنابراین با شکل موجی مشابه علامت مدوله تغییر می یابد یعنی، مدولهٔ دامنه شده است.

منطقهٔ مدولهٔ کلاس B باید قابلیت این را داشته باشد که یك ولتاژ خروجی به اندازهٔ کافی بزرگ را برای تغییر ولتاژ منبع تغذیه به مقداری لازم جهت دریافت عمق مدولاسیون مورد نظر تهیه کند. به‌عنوان مثال برای مدولاسیون ۸۰٪، ولتاژ رأس علامت مدوله در مدار آند باید برابر $۰/۸V_{tt}$ باشد.

فرستنده‌های مدولاسیون دامنه

اصول اساسی فرستندهٔ مدولاسیون دامنه این است که موج حامل از نوسان سازی با پایداری زیاد ــ اغلب از نوع کریستالی ــ گرفته و تقویت می شود، و بعضی اوقات به‌وسیلهٔ تعدادی از تقویت کننده‌های فرکانس رادیویی ضرب فرکانس می‌شود تا به دامنه و فرکانس خروجی موردنظر برسد. در منطقه‌ای از فرستنده باید موج حامل به‌وسیلهٔ علامت فرکانس صوتی مدولهٔ دامنه شود. فرآیند مدولاسیون می تواند در منطقهٔ تقویت کنندهٔ نهایی انجام شود، جایی که حامل در سطح توان نهایی خود است، و یا می تواند در منطقهٔ سطح پایین انجام شود و سپس موج مدوله شده باید تا سطح توان مورد نیاز تقویت شود. دونوع اساسی فرستنده به‌ترتیب فرستنده‌های سطح بالا و سطح پایین نام دارند.

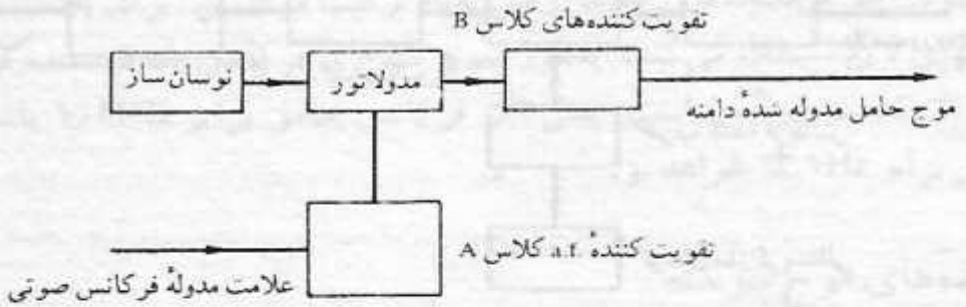


شکل ۶ـ۷ فرستندهٔ مدولاسیون دامنهٔ سطح بالا

نمودار کلی اساسی **فرستندهٔ سطح بالا** در شکل ۶ـ۷ نشان داده شده است. فرکانس حامل بوسیلهٔ نوسان ساز کریستالی تولید و توسط تعدادی تقویت کنندهٔ زنجیره‌ای توان میزان شدهٔ کلاس C تا سطح خروجی لازم برای فرستنده تقویت می شود. عملکرد منطقهٔ راه‌انداز این است که ولتاژی کافی در پایانه‌های ورودی منطقهٔ نهایی تولید کند تا از افزایش دامنهٔ ضربه‌های جریان آند به‌اندازه‌ای که سطح توان حامل لازم به‌دست آید اطمینان حاصل شود. علامت مدوله به‌وسیلهٔ

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

تقویت کنندهٔ صوتی کلاس A تقویت و سپس به تقویت کنندهٔ فشاری ـ کششی کلاس B داده می شود. خروجی منطقهٔ کلاس B به مدار آند منطقهٔ نهایی جفت می شود و موج حامل سطح بالا را مدولهٔ دامنه می کند. مزیّت مدولاسیون سطح بالا این است که در آن، منطقه‌های تقویت کنندهٔ کلاس C با بازده زیاد می توانند در قسمت فرکانس بالای فرستنده به‌کار گرفته شوند. در این صورت بازده کلی فرستنده زیاد خواهد بود. عیب مدولاسیون سطح بالا در توان فرکانس صوتی بالا آن است که منطقهٔ کلاس B باید منطقهٔ خروجی با مدولهٔ کافی را تغذیه کند، که خود به مدار گران‌قیمت و بزرگی (از نظر فیزیکی) نیاز دارد.



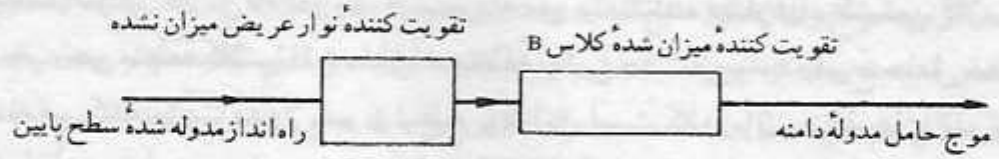
شکل ۶ـ۸ فرستندهٔ مدولاسیون دامنهٔ سطح پایین

شکل ۶ـ۸ نمودار کلی **فرستندهٔ مدولاسیون دامنهٔ سطح پایین** را نشان می دهد. در این مدار فرآیند مدولاسیون در سطح پایین انجام می شود و سپس موج مدوله شده به سطح توان لازم تقویت می شود. اکنون برآوردن نیازهای قسمت فرکانس صوتی فرستنده آسان‌تر و ارزان‌تر است. چون موج حامل در سطح پایین مدولهٔ دامنه شده است نمی توان آن را به‌وسیلهٔ طبقه‌های کلاس C با بازده زیاد به‌سطح توان لازم خروجی فرستنده رساند؛ به‌جای آن باید از طبقه‌های کلاس B با کاهش منتج در بازده کلی فرستنده استفاده کرد.

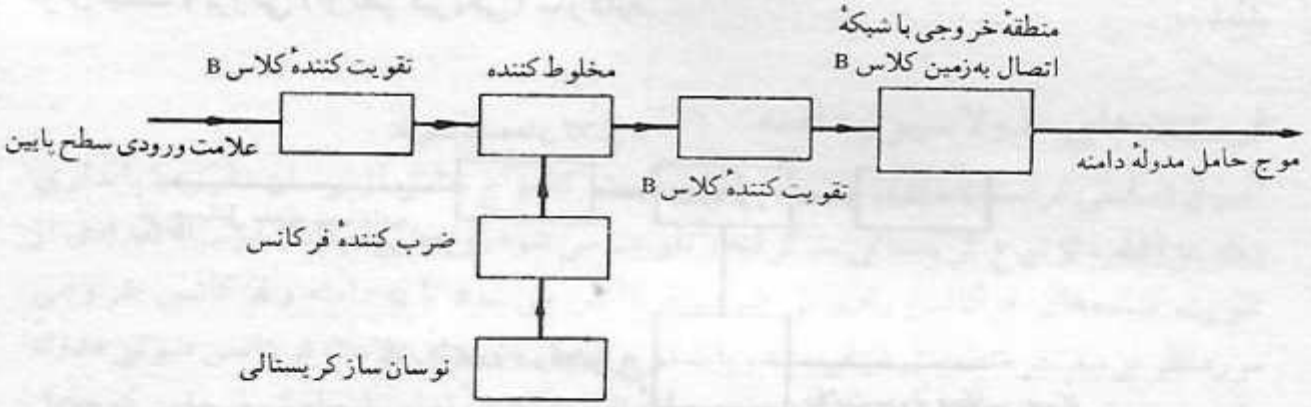
اغلب فرستنده‌های مخابراتی فرکانس بالا علامت تلفنی تک‌نوار جانبی (s.s.b.) و یا نوار جانبی مستقل (i.s.b.) را حمل می کنند. این علامتها در *واحد راه‌انداز* جداگانه‌ای تهیه می شوند که خروجی سطح پایین آن به ورودی فرستندهٔ اصلی برای تقویت به‌سطح توان لازم و ترجمه به قسمت مناسب طیف فرکانس داده می شود.

فرستنده‌های مخابراتی فرکانس بالا با تغییر شرایط انتشار باید فرکانس را به‌سرعت تغییر دهند. برای کاهش زمان لازم برای تغییر فرکانس عملکرد، فرستنده‌های جدید معمولا از مدارهای نوار عریض در اغلب طبقه‌ها استفاده کرده و به‌طور خودکار طبقهٔ خروجی را میزان و باردهی می کنند. نمودار کلی اساسی فرستنده مخابراتی h.f. خودمیزان در شکل ۶ـ۹ نشان داده شده است. فرکانس علامت ورودی که به‌وسیلهٔ واحد راه‌انداز تهیه شده است از طریق مدار کنترل (نشان داده نشده است) سمت می گیرد و این مدار به‌طور خودکار منطقهٔ خروجی کلاس B

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۶ـ۹ فرستندهٔ خودمیزان



شکل ۶ـ۱۰ فرستندهٔ مخابراتی فرکانس بالا

را به فرکانس خروجی میزان می کند.

نوع دیگر فرستندهٔ مخابراتی h.t. که می تواند علامتهای تلفنی نوار جانبی را مخابره کند در شکل ۶ـ۱۰ نشان داده شده است. علامت راه اندازی ورودی در فرکانس ثابت ۳/۱MHz است و قبل از اینکه به ورودی مدار مخلوط کننده داده شود تقویت می شود. نوسان کنندهٔ کریستالی در یك فرکانس طوری عمل می کند که بعد از چند برابر شدن در مخلوط کننده با علامت راه اندازی ترکیب می شود تا فرکانس تفاضلی را تهیه کند که در فرکانس عملکردِ مورد نظر است. فرکانس تفاضل انتخاب و به‌وسیلهٔ منطقهٔ خروجی کلاس B تقویت می شود. در اینجا سطح توان علامت به‌مقدار مطلوب افزایش می یابد. میزان سازی تمام منطقه‌های فرکانس متغیر، خودکار خواهد بود.

پایداری فرکانس

فرکانسی که فرستندهٔ رادیویی در آن کار می کند باید در محدوده‌های توافق بین المللی ثابت نگهداشته شود تا از تداخل (در فرکانس) کانالهای مجاور جلوگیری شود. در حالت سیستمهای s.s.b. و i.s.b. حامل محدود شده باید دوباره به گیرنده‌ای با فرکانس درست وارد شود. واضح است که اگر فرکانس حامل در فرستنده ثابت نباشد برآوردن این نیاز مشکل خواهد بود. نوسان سازی که فرکانس حامل فرستنده از آن به‌دست می آید باید از نوع فرکانس پایدار ــ هم

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

کوتاه مدت و هم بلندمدت ــ باشد. اگر فرکانس عملکرد فرستنده غالباً تغییر یابد، نوعی نوسان ساز فرکانس متغیر باید به کار رود ولی در این صورت رسیدن به پایداری فرکانس مورد نظر مشکل خواهد بود.

بیشترین پایداری فرکانس به‌وسیلهٔ *نوسان ساز کریستالی* به‌دست می آید. در فرکانسهای نزدیك انتهای بالایی نوار h.f. معمولا از نوسان ساز کریستالی استفاده می کنند که در فرکانس پایین عمل می کند و سپس از یك یا چند منطقهٔ چند برابر کنندهٔ فرکانس برای به‌دست آوردن فرکانس ارسالی مطلوب استفاده می شود. نوسان ساز کریستالی یك مدار فرکانس ثابت است، و اگر فرستنده‌ای باید در فرکانسهای متفاوتی کار کند لازم است که به مدارهای کریستالی مختلف متصل شود. اکثر فرستنده‌های جدید از فنی به‌نام ترکیب *فرکانس*[۲] برای به‌دست آوردن تمام فرکانسهای لازم استفاده می کنند. به‌طور نمونه پایداری فرکانس یك فرستندهٔ فرکانس بالا برابر ۱ ± قسمت در $۱۰^{۶}$ است، یعنی اگر فرکانس حامل برابر ۱۰MHz باشد، پایداری فرکانس برابر ۱Hz ± خواهد بود.

فرستنده‌های موج پیوسته

ازموج حامل سینوسی می توان برای ارسال علامتهای تلگرافی، با کلیدزنی آن بر اساس یك رمز تلگراف انتخاب شده، استفاده کرد.[۳] معمولا برای این منظور رمز مورس انتخاب می شود. به‌موج حامل، موج پیوسته گویند چون وقتی وصل می شود هیچ یك از پارامترهای آن مثل دامنه، فرکانس یا فاز تغییر نمی کند. فرکانس حامل می تواند به تعداد نقاط مختلفی در فرستندهٔ رادیویی قطع و وصل شود ولی معمولا منطقهٔ خروجی کلید می شود. این عمل بدین معناست که کلید کردن در نقطه‌ای دور از نوسان ساز انجام می شود و برای تضمین این است که عملیات کلیدکردن روی فرکانس حامل اثر نگذارد. عمل **کلید کردن** می تواند با چندین روش مختلف حاصل شود ولی دو روش رایج در شکل ۶ـ۱۱ نشان داده شده است. شکل ۶ـ۱۱ الف مدار کلیدکردن آند را نشان می دهد، وقتی کلید کار می کند، ولتاژ منبع تغذیهٔ h.t. به آند لامپ داده و موج حامل در پایانه‌های خروجی مدار ظاهر می شود. چون ولتاژهای بالا در مدار آند وارد می شوند، معمولا ــ جهت اطمینان خاطر از ایمنی متصدی ــ کلید به‌جای عملکرد مستقیم از طریق یك رله عمل می کند. روش دیگر قطع و وصل حامل در شکل ۶ـ۱۱ ب نشان داده شده است و شامل بایاس کردن لامپ قبل از حالت قطع است که حتی در رأسهای نیم‌دورهای مثبت ولتاژ ورودی هم هدایت نمی کند. وقتی که کلید باز است، لامپ، ولتاژ بایاس معمولی کلاس B یا C را از طریق بوبین $L_۱$ خواهد

۲. توضیح بیشتر این مطلب در جلد دوم کتاب حاضر آمده است که با برگردان همین مترجم بزودی از طرف انتشارات سروش منتشر می شود.

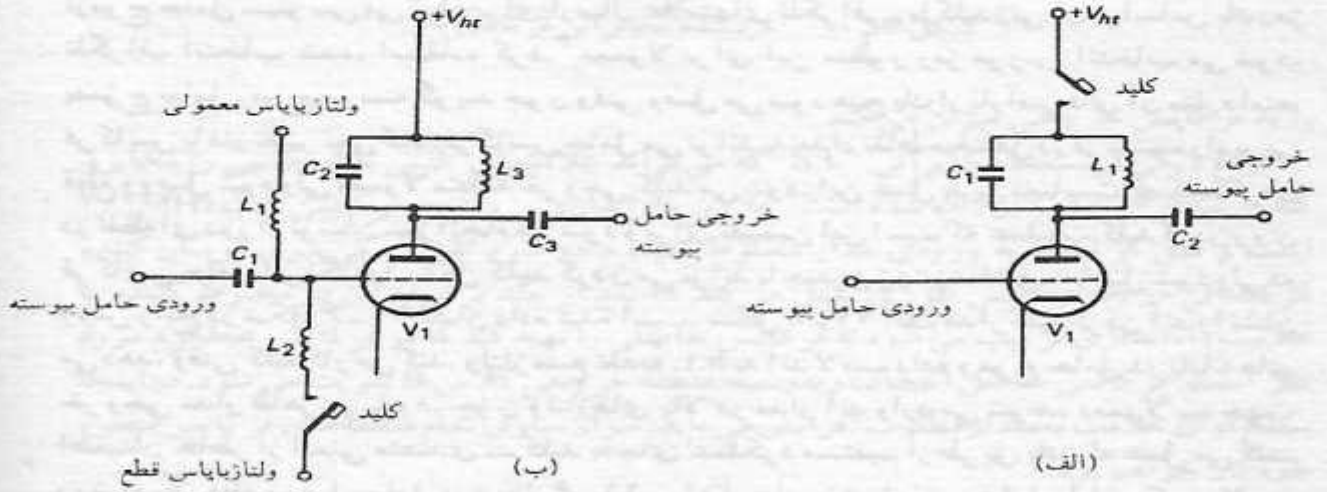
۳. به کتاب *سیستمهای انتقال در مخابرات*، نوشتهٔ دی. سی. گرین. ترجمهٔ محمد رهبر، انتشارات سروش مراجعه کنید.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

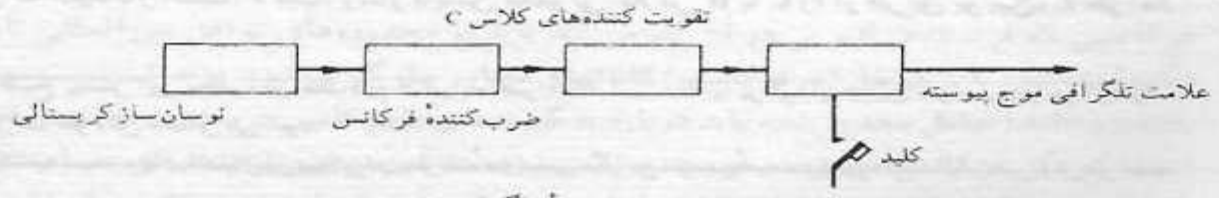
داشت. وقتی که کلید عمل می کند، یك ولتاژ بایاس اضافی با مقدار کافی اعمال می شود تا اطمینان حاصل شود که لامپ هدایت نمی کند. نوع ترانزیستوری این مدارها برای استفاده در فرستنده های توان پایین نیز موجودند.

نمودار کلی فرستندهٔ تلگرافی موج پیوسته (c.w.) در شکل ۶ ـ ۱۲ نشان داده شده است. در این فرستنده از نوسان ساز کریستالی استفاده شده است تا اطمینان حاصل شود که فرکانس حاملی که به‌وسیلهٔ فرستنده تشعشع شده است کاملا پایدار است. فرکانس نوسان ساز تا مقدار فرکانس ارسالی موردنظر ضرب می شود و سپس به‌وسیلهٔ یك یا چند تقویت کنندهٔ میزان شدهٔ کلاس C به سطح موردنیاز برای راه‌اندازی کامل منطقهٔ خروجی تقویت می شود. منطقهٔ خروجی، توان حامل را به سطح موردنظر بالا می برد و به‌وسیلهٔ یکی از روشهایی که قبلا گفته شد قطع و وصل می شود.

فرآیند قطع ناگهانی موج حامل سینوسی تعداد زیادی هماهنگ تولید می کند که سبب تداخل فرکانسهای حامل مجاور می شوند. جهت کاهش پهنای نوار اشغال شده به‌وسیلهٔ علامت c.w. معمولا مدار صافی مناسبی به‌ترتیب کلیدکردن افزوده می شود.



شکل ۶ ـ ۱۱ روشهای کلید کردن



شکل ۶ ـ ۱۲ فرستندهٔ تلگرافی موج پیوسته

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

منطقه‌های خروجی

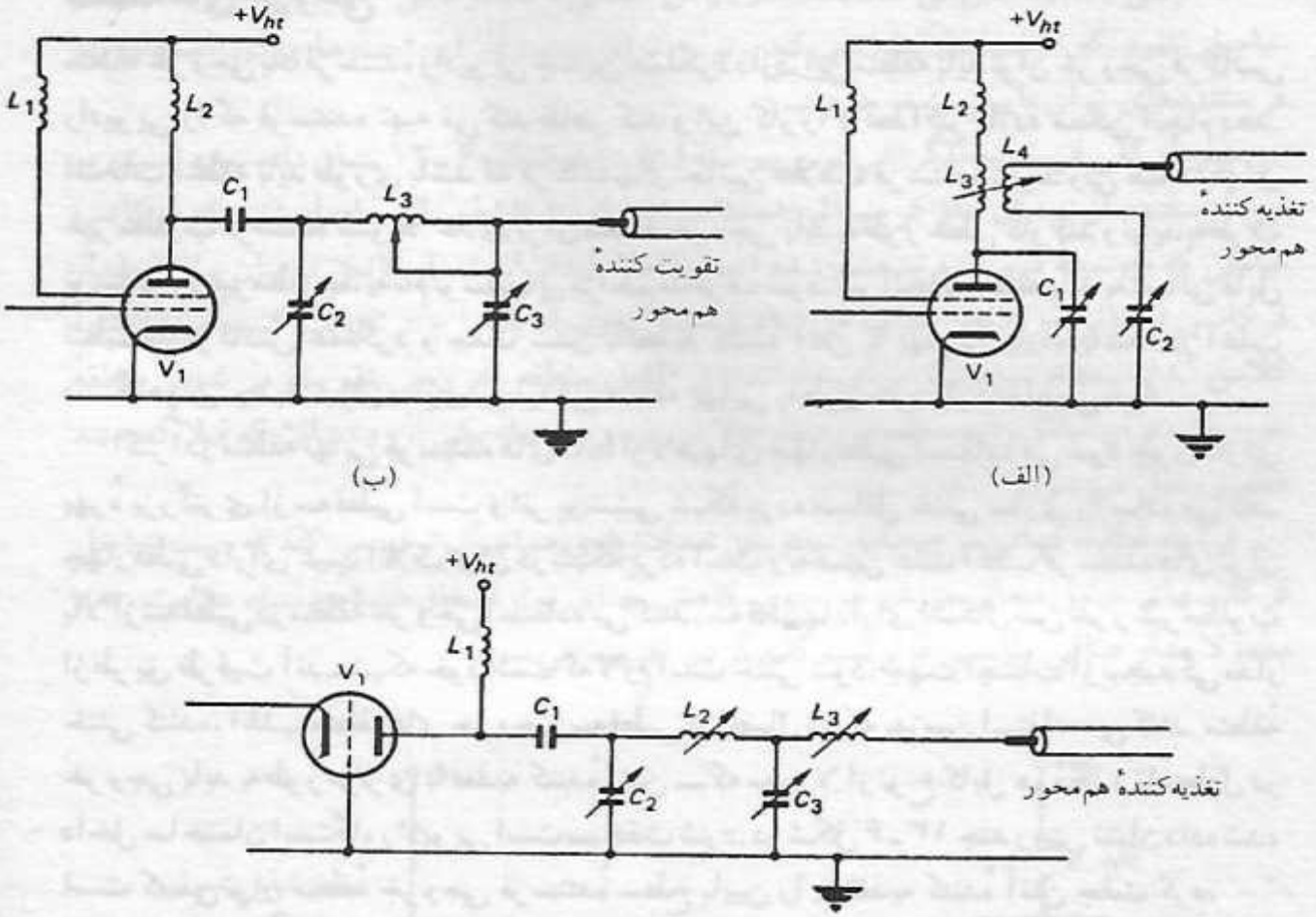
منطقهٔ خروجی یك فرستندهٔ رادیویی چندین عملکرد دارد. این منطقه باید توان خروجی فرکانس رادیویی را که فرستنده تهیه می کند ظاهر کند و این کار را با حداکثر بازده ممکن انجام دهد. انتخاب منطقه باید طوری باشد که فرکانسهای جانبی علامت فرستاده شوند ولی هماهنگهای غیر مطلوب فرستاده نشوند. علاوه بر آن منطقهٔ خروجی باید به‌طور خطی کار کند و نباید به‌طرف نوسانهای غیر مطلوب، به‌نام *نوسانهای مزاحم* منحرف شود. سرانجام، منطقه باید به‌آسانی قابل تنظیم به فرکانس عملکرد و جفت شدن به‌تغذیه کنندهٔ آنتن با بهترین بازده باشد؛ در اغلب دستگاههای جدید میزان سازی و باردهی منطقهٔ نهایی به‌طور خودکار انجام می شود.

اکثراً در منطقهٔ نهایی فرستنده‌های h.f. از لامپهای چهارقطبی استفاده می شود چون دارای بهرهٔ بزرگتری از سه‌قطبی است و اثر پوششی شبکهٔ پرده مسائل خنثی سازی را ساده می کند. چهارقطبی دارای عیب اتلاف توان در شبکهٔ پرده است و به‌همین علت اغلب فرستنده‌های توان بالا از سه‌قطبی در منطقهٔ خروجی استفاده می کنند. سه‌قطبیها دارای اِشکال پس خور غیر مطلوب از طریق ظرفیت آند ـ شبکه خود است که لازم است خنثی شود. جهت اجتناب از پیچیدگی مدار خنثی کننده، اغلب منطقه‌های خروجی سه‌قطبی از اتصال شبکه به‌زمین استفاده می کنند. منطقهٔ خروجی باید به‌طور مؤثری با تغذیه کنندهٔ آنتن ــ که معمولا از نوع کابل هم‌محور نامتعادل در داخل ساختمان ایستگاه رادیویی است ــ جفت شود. در شکل ۶ ـ ۱۳ چند روش نشان داده شده است که می توان منطقهٔ خروجی فرستندهٔ سطح پایین را به تغذیه کنندهٔ آنتن جفت کرد.

در شکل ۶ ـ ۱۳ الف یك لامپ چهارقطبی به تغذیه کنندهٔ هم‌محوری با القای متقابل بین بوبینهای L_3 و L_4 جفت شده است. باری که لامپ با آن کار می کند می تواند با تنظیم مناسب جفت شدگی بین L_3 و L_4 به بهترین مقدار تنظیم شود. بوبینهای L_1 و L_2 به‌صورت هواکاه‌های فرکانس رادیویی تهیه شده‌اند تا ازورود جریانهای r.f. به خط تغذیهٔ توان h.t. ممانعت کنند. مدار آند با تنظیم خازن C_1 برای تشدید در فرکانس عملکرد مطلوب میزان شده است، در حالی که تشدید مدار ثانویه L_4C_2 ورود حداکثر جریان به تغذیه کننده را تضمین می کند. ترتیب جفت شدن تغذیه کننده ـ منطقهٔ خروجی دیگری که تعداد مؤلفه‌های متغیر را یکی کم می کند در شکل ۶ ـ ۱۳ ب نشان داده شده است. در این مدار آند لامپ چهارقطبی با خازن C_1 به شبکهٔ خروجی نوع π جفت شده است. منطقه به‌وسیلهٔ خازنهای متغیر C_2 و C_3 میزان شده است، در حالی که جفت شدگی بهینه به‌تغذیه کننده با تنظیم مناسب مقدار بوبین L_3 حاصل می شود. L_1 و L_2 هواکاه‌های فرکانس رادیویی هستند. شکل ۶ ـ ۱۳ ج روشی معمول را نشان می دهد که در آن منطقهٔ خروجی سه‌قطبی به تغذیه‌کننده‌اش جفت شده است و به نظر می‌رسد که مشابه مدار چهارقطبی شکل ۶ ـ ۱۳ ب است، به‌استثنای اینکه دو بوبین باید برای مقدار جفت شدگی بهینهٔ تغذیه کننده ـ لامپ تنظیم شوند.

شکل ۶ ـ ۱۴ نمودار مداری منطقهٔ خروجی فرستندهٔ مدولاسیون سطح بالا را نشان می دهد.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



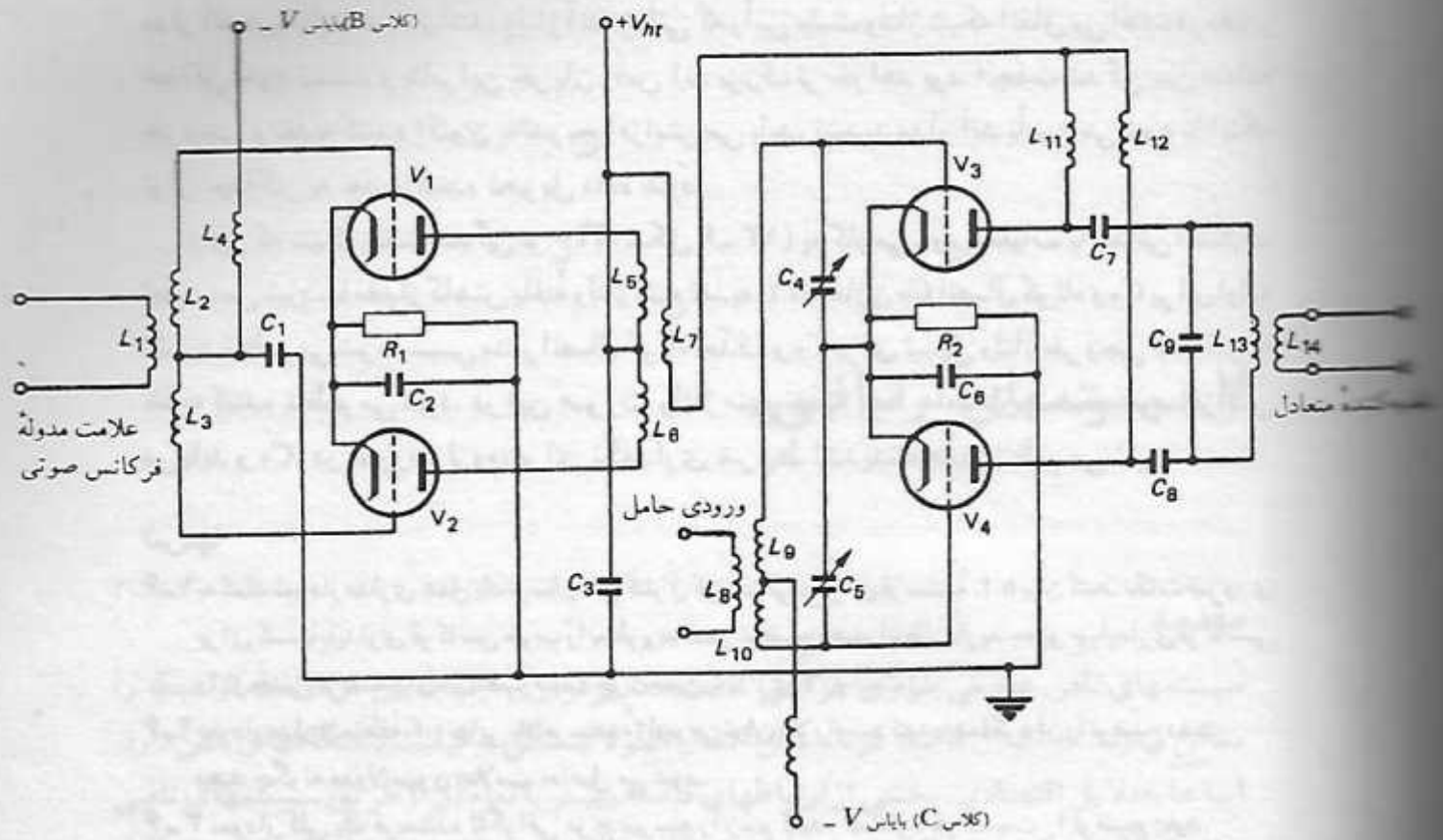
شکل ۶ـ۱۳ منطقه‌های خروجی فرستنده

منطقهٔ خروجی کلاس C دارای دو لامپ سه‌قطبی V_3 و V_4 است که به‌طور فشاری ـ کششی برای افزایش توان خروجی وصل شده‌اند. ولتاژ خروجی منطقهٔ مدولهٔ کلاس B در دو سر بوبین L_7 ظاهر می‌شود و ولتاژ h.t. را که به V_3 و V_4 داده شده است مدوله می‌کند. تشریح عملکرد هر کدام از مؤلفه‌های مختلف به‌عنوان تمرین به خواننده واگذار می‌شود (تمرین ۶ـ۴). در عمل، مداری از این نوع با خازنهایی که بین آند یك لامپ و شبکهٔ لامپ دیگر به منظور خنثی سازی وصل شده است ومقاومتهای سری با شبکه‌های سه‌قطبی جهت جلوگیری از نوسانهای غیرمطلوب به‌کار برده می‌شود.

تطبیق تغذیه کنندهٔ آنتن به‌فرستنده

برای اینکه منطقهٔ خروجی فرستنده حداکثر توان ممکن را به تغذیه کننده ــ که آن را به آنتن وصل می‌کند ــ ارائه دهد دو نیاز باید برآورده شود. اولا، مدار آند باید در فرکانس عملکرد تشدید شود و ثانیاً مقاومت ظاهری ورودی تغذیه کننده باید به‌وسیلهٔ شبکهٔ جفت شدگی به بار بهینه برای لامپ

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۶ـ۱۴ منطقهٔ خروجی فرستندهٔ سطح بالا

خروجی تبدیل شود. مدار آند با تنظیم صحیح القا و یا ظرفیتش میزان می شود، و بار بهینه با تغییر جفت شدگی القا بین مدار آند و تغذیه کننده حاصل می شود. بار بهینه برای لامپ خروجی مقداری است که حداکثر توان خروجی ممکن را بدون افزایش نرخهای ولتاژ، جریان یا توان لامپ تهیه می کند. برای به‌دست آوردن توان خروجی حداکثر همچنین لازم است که ولتاژی که منطقهٔ خروجی را راه‌اندازی می کند به‌اندازهٔ کافی بزرگ باشد و این ممکن است به تنظیم دقیق جفت شدگی بین منطقهٔ راه‌اندازی و منطقهٔ خروجی نیاز داشته باشد.

مراحل مربوط به میزان کردن و باردهی منطقهٔ خروجی در جزییات با فرستندهٔ بخصوصی که به‌کار برده شده است تغییر می یابد ولی اصول کلی آن به شرح زیر است. جفت شدگی بین تغذیه کننده و منطقهٔ خروجی به مقدار کمی کاهش می یابد. بنابراین مدار آند منطقهٔ خروجی به تشدید در فرکانس عملکرد میزان می شود، تشدید به‌وسیلهٔ جریان آند که به مقدار حداقل می رسد مشخص می شود. (علت اینکه چرا تشدید با حداقل جریان آند مشخص می شود باید معلوم باشد. وقتی که مدار میزان شدهٔ آند در حال تشدید است مقاومت ظاهری آن مقدار حداکثر را دارد و به‌طور خالص مقاومتی است و ولتاژ آند در فاز مخالف با ولتاژ شبکه تغییر می یابد. هنگامی که ولتاژ شبکه در رأس نیم‌دور مثبت آن است، جریان آند مقدار حداکثر خود و ولتاژ آند مقدار حداقل خود را دارد. اگر

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

مدار آند در حال تشدید نباشد، ولتاژ آند، زمانی که رأس مثبت ولتاژ شبکه اتفاق می افتد، در مقدار حداقل خود نیست و بنابراین جریان رأس آند بزرگ‌تر خواهد بود.) جفت شدگی بین منطقهٔ خروجی و تغذیه کننده اکنون به‌تدریج افزایش می یابد. تشدید مدار آند تأمین می شود تا اینکه توان حداکثر به تغذیه کننده تحویل داده شود.

وقتی که شبکهٔ جفت شدگی نوع π (شکل ۶ـ۱۳) به کار می رود عملیات با اندکی اختلاف تعقیب می شود. با مقدار کاهش یافتهٔ ولتاژ منبع تغذیه .h.t، خازن C_3 اتصال کوتاه و C_2 برای ارائهٔ تشدید تنظیم می شود. سپس مدار اتصال کوتاه حذف و C_3 برای تبدیل ولتاژ خروجی حداکثر به تغذیه کننده تنظیم می شود. در این صورت ولتاژ منبع تغذیهٔ .h.t به مقدار صحیح خود افزایش می یابد و C_2، در صورت لزوم، برای نگهداری شرایط تشدید، مجدداً تنظیم می شود.

تمرینها

۶ـ۱ به کمک نمودار مداری عمل یك نوسان ساز کنترل کریستالی را برای فرستندهٔ .h.f بیان کنید. نکات ضروری برای کسب پایداری فرکانس خوب را به‌طور مختصر توضیح دهید. انتظار دارید چه نوع پایداری فرکانسی را از چنین فرستنده‌ای دریافت کنید؟ چرا چنین پایداری لازم است؟

۶ـ۲ نمودار مداری منطقهٔ .r.f نهایی یك فرستندهٔ رادیویی توان بالا را رسم کنید و عملکرد آن را توضیح دهید. دهید چگونه مدولاسیون علامت حاصل می شود.

۶ـ۳ نمودار کلی یك فرستندهٔ تلگرافی موج پیوسته را رسم کنید. عملکرد هر قسمت را توضیح دهید.

۶ـ۴ عملکرد هر مؤلفه‌ای را که در شکل ۶ـ۱۴ نشان داده شده است ذکر کنید. با منحنیهای شکل موج، عملکرد مدار را توضیح دهید.

۶ـ۵ هر کدام از منطقه‌های خروجی را که در شکل ۶ـ۱۳ داده شده است مجدداً رسم کنید و مدارهای ورودی مناسب را به‌آنها بیفزایید. منظور از هر مؤلفهٔ رسم شدهٔ جدید را ذکر کنید.

۶ـ۶ نمودار کلی یك فرستندهٔ مدولاسیون دامنه را رسم کنید. مشخص کنید که مدار شما از نوع سطح بالا یا سطح پایین است و عملکرد آن را بیان کنید.

۶ـ۷ به‌طور ساده مراحل تطبیق منطقهٔ خروجی یك فرستندهٔ رادیویی را به تغذیه کنندهٔ آنتن خود تشریح کنید.

۶ـ۸ نمودار مداری یك تقویت کنندهٔ توان .r.f کلاس C را که از لامپ چهارقطبی استفاده می کند رسم کنید و عملکرد آن را توضیح دهید. جواب خود را با منحنیهای شکل موج مناسب نشان دهید.

۶ـ۹ نمودار مداری یك تقویت کنندهٔ کلاس C مدوله شدهٔ آند را رسم کنید و عملکرد آن را توضیح دهید.

تمرینهای کوتاه

۶ـ۱۰ مدار منطقهٔ تقویت کنندهٔ نهایی را در یك فرستندهٔ رادیویی مدولاسیون دامنه رسم و تشریح کنید.

۶ـ۱۱ به‌طور خلاصه توضیح دهید چرا یك فرستندهٔ رادیویی مدولاسیون دامنه (الف) باید دارای پایداری فرکانس خوب باشد، و (ب) آیا می توان ضرب کنندهٔ فرکانس را به‌آن افزود؟

۶ـ۱۲ به کمك منحنیهای شکل موج، توضیح دهید منظور از بایاس کلاس B و کلاس C یك لامپ سه قطبی چیست؟

۶ـ۱۳ استفاده از لامپهای چهارقطبی در تقویت کننده‌های توان .r.h کلاس B و کلاس C را مقایسه کنید.

۶ـ۱۴ منظور از ضرب کردن فرکانس چیست. روشی را که می توان در عمل به‌کار برد بیان کنید.

۶ـ۱۵ عملکرد هر مؤلفه‌ای را که در تقویت کنندهٔ توان کلاس C فشاری ـ کششی شکل ۶ـ۵ نشان داده شده است توضیح دهید.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

۷ سیستمهای ارتباطی

مقدمه

سیستمهای تلفن عمومی طوری طراحی شده‌اند که برقراری ارتباط بین هردونقطه از شبکه را ممکن سازند. در اتصال فاصله کوتاه عمل انتقال اصولا بستگی به کیفیت دستگاههای تلفن دارد. اساساً به‌دلایل اقتصادی، بخشی از ارتباطهای فاصله بیشتر یا تمام آن ازطریق سیستمهای تلفنی چند کاناله هدایت می شوند. سیستمهای چند کاناله نیز به‌نوبهٔ خود ممکن است ازطریق کابل هم‌محور نوار پهن یا ازطریق کانالی در سیستم رادیو رله u.h.f. یا s.h.f. هدایت شوند. هردو سیستم همچنین قدرت انتقال علامتهای تلویزیونی را دارند. اصول عملکرد سیستمهای تلفنی چندکاناله وساختمان کابل هم‌محوردر کتابی دیگر تشریح شده است.[۱] ولی سیستمهای رادیو- رله در همین فصل مطرح خواهد شد.

مدارهای بین المللی

مدارهای بین المللی ازطریق ماورای بحار به‌وسیلهٔ سیستمهای چندکاناله هدایت می شوند که یا ازطریق کابل هم‌محور زیردریایی و یا ماهوارهٔ زمینی فرستاده می شوند. **کابلهای زیردریایی** سالهاست که در سراسر دنیا نصب شده‌اند؛ به‌عنوان مثال، چنین مسیرهایی بین انگلستان و چندین نقطه از اروپا، بین انگلستان و آمریکا، و بین انگلستان و کانادا نصب شده است. اغلب سیستمهای کابل زیردریایی با انتقال دریك جهت با اشغال یك نوار فرکانسها، و انتقال درجهت دیگر در نوار فرکانس بالاتر کار می کنند. سیستمهای زیردریایی جدید با فراهم کردن ۱۸۴۰ کانال که هرکدام دارای پهنای نوار ۳kHz هستند فرکانسهای تا ۱۳/۷MHz را می فرستند. این سیستمها به‌دلیل اینکه هرنوع تغییری در آنها مشکلات زیادی به همراه دارد، بابالاترین درجهٔ اعتماد طراحی شده‌اند. کابلهای زیردریایی بسیار گران هستند و ظرفیت حمل تردد آنها برای

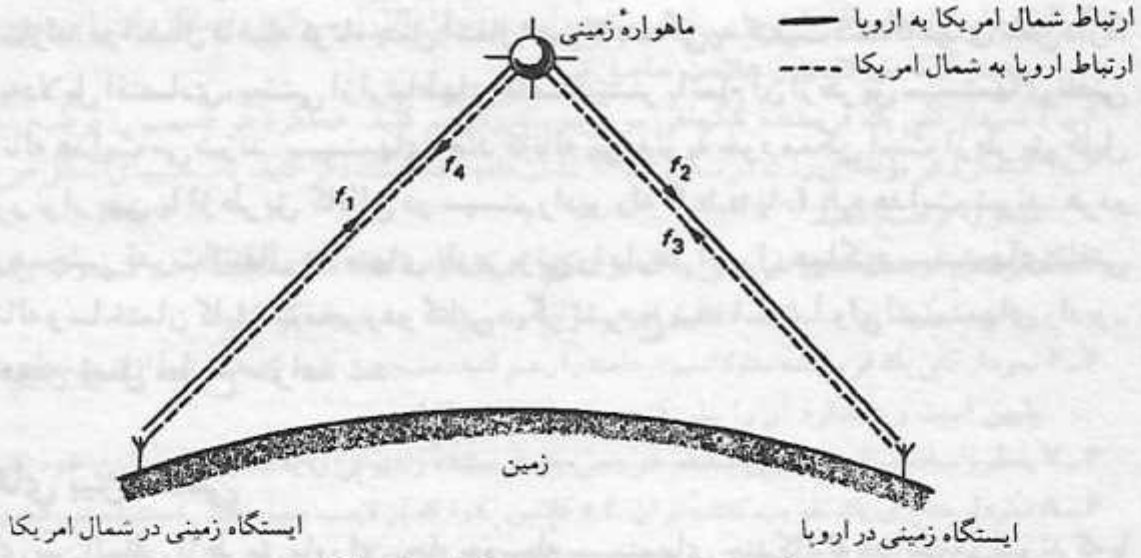
۱. ر.ك. به کتاب *سیستمهای انتقال درمخابرات*، نوشتهٔ دی. سی. گرین، ترجمهٔ محمد رهبر، انتشارات سروش.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

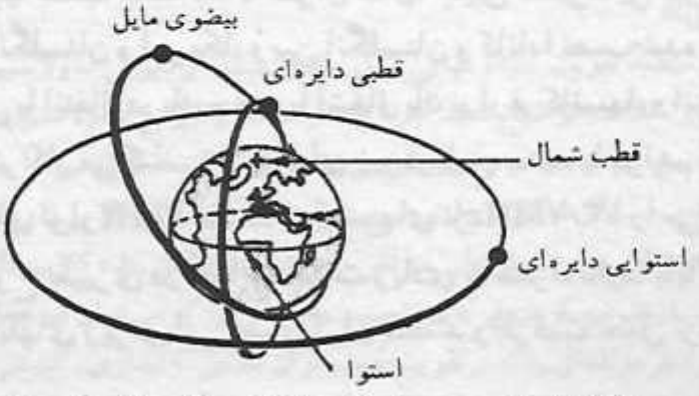
برآوردن نیازهای مخابراتی بین المللی کافی نیست. به‌منظور افزایش قابل توجه ظرفیت تردد موجود شبکه‌های مخابراتی بین المللی، یك سیستم ماهوارهٔ زمینی تهیه شده است.

اصول اساسی سیستم مخابراتی **ماهوارهٔ زمینی** در شکل ۷ ـ ۱ نشان داده شده است. ایستگاههای زمینی با شبکه‌های تلفنی سراسری خود مجتمع شده‌اند و علاوه بر آن ایستگاههای اروپایی با یکدیگر به‌طور کامل اتصال فیمابین شده‌اند. در این سیستم چهارفرکانس به‌کار برده شده است: ایستگاه شمال آمریکا روی فرکانس f_1 مخابره و فرکانس f_4 را دریافت می کند، ایستگاههای اروپایی فرکانس f_3 را ارسال و فرکانس f_2 را دریافت می کنند. عملکرد ماهواره دریافت علامتهایی است که به‌طرفش فرستاده می شود. سپس تغییر فرکانس دادن آنها (f_1 به f_2 یا f_3 به f_4) و بعد تقویتشان قبل از ارسال به‌سوی ایستگاه زمینی در انتهای دیگر شبکه.

ماهوارهٔ زمینی می تواند در چند مدار مختلف در اطراف کرهٔ زمین قرار گیرد؛ مدارهای ممکن شامل مدارهای بیضی و دایره‌ای در صفحه‌های استوایی و قطبی زمین است، یا در زاویه‌ای با یکی از این صفحه‌ها قرار دارد. سه‌مدار ممکن در شکل ۷ ـ ۲ نشان داده شده است.



شکل ۷ ـ ۱ سیستم مخابراتی ماهوارهٔ زمینی

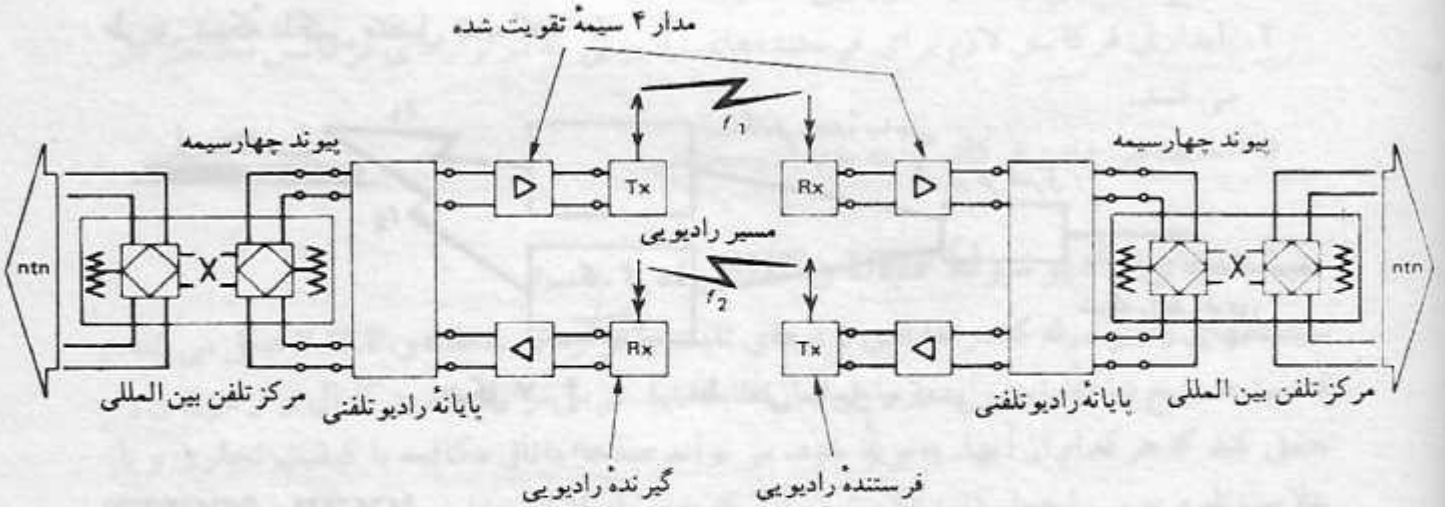


شکل ۷ ـ ۲ بعضی از حالتهای ممکن مدارهای ماهوارهٔ زمینی

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

ماهواره‌های مخابراتی ــ معروف به اینتلست[۲] ۳ و ۴ ــ به‌عنوان سیستمی جهانی به‌وسیلهٔ **COMSAT** (اتحادیهٔ ارتباطات ماهواره‌ای)[۳] از طرف واحدی بین المللی به‌نام **INTELSAT** (کنسرسیوم مخابرات بین المللی ماهواره‌ای)[۴] عمل می کنند. این سیستم از ماهواره‌های مخابراتی ای استفاده می کند که در مدار دایره‌ای استوایی در ارتفاع ۳۵۸۸۰km حرکت می کنند. این مدار خاص مدار همزمان نامیده می شود، چون ماهواره‌ای که در این مدار حرکت می کند در بالای قسمت بخصوصی از سطح زمین به‌نظر ثابت می رسد. در سیستم **INTELSAT** ماهواره‌ها در بالای اقیانوسهای اطلس، هند و آرام ثابت هستند. تعداد زیادی از ایستگاههای زمینی ــ که هر یك ازطریق ادارهٔ تلفن کشور مربوطه کار می کند ــ به یك ماهواره ارتباط دارند. هر ایستگاه زمینی تردد خود را به ماهواره‌ای در فرکانسهای حامل خاصی می فرستند که در نوار ۶/۴۲۵GHz ـ ۵/۹۲۵ قرار دارند. تمام علامتهایی که توسط ماهواره می رسند در فرکانسهای حامل نوار ۴/۲۰۰GHz ـ ۳/۷۰۰ به‌زمین برگردانده می شوند، و هر ایستگاه زمینی فرکانسهای حامل بخصوصی را انتخاب می کند که تردد آن ایستگاه مربوط را حمل می کند.

علاوه بر شبکهٔ مخابراتی بین المللی کابل زیردریایی و سیستمهای چند کانالهٔ ماهواره‌ای، تعدادی **شبکه‌های رادیویی چهار ـ سیمه** وجود دارند که در نوار فرکانس بالای ۳۰MHz ـ ۳ کار می کنند. شکل ۷ ـ ۳ ترتیب نمونهٔ آن را نشان می دهد. نوعی از عملکرد s.s.b. ــ به‌نام نوار جانبی مستقل (i.s.b.) ــ امکان دو مدار مکالمهٔ کیفیت بالا و یا چهار مدار مکالمهٔ کیفیت تجاری (۳kHz ـ۵) را فراهم می کند که در پهنای نوار ۱۲kHz جای می گیرند. مشترك تلفن در یك کشور، از طریق شبکه پیوند و رابطه راه دور آن کشور، به مرکز تلفن بین المللی کشور خود متصل شده



شکل ۷ ـ ۳ مدار رادیو تلفن بین المللی

2. Intelsat 3. COMSAT = Communication Satellite Corporation
4. Intelsat = International Telecommunication Satellite Consortium

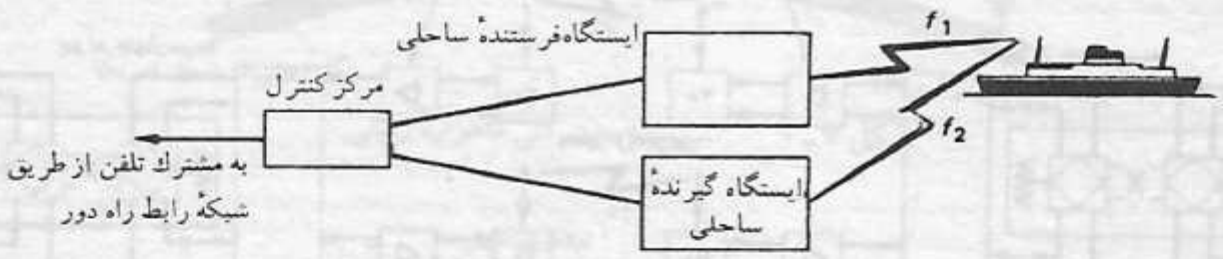
Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

است. در اینجا تلفنچی تقاضای برقراری مکالمه را دریافت می کند و از طریق مدار رادیویی به کشور موردنظر، با تلفنچی ای در مرکز تلفن بین المللی طرف مقابل ارتباط برقرار می کند. سپس ارتباط به‌وسیلهٔ تلفنچی آن کشور کامل می شود. در نتیجهٔ پیشرفتهای اخیر، ارتباط می تواند به‌طور خودکار، با شماره گیری رمز صحیح، بدون کمك تلفنچی برقرار شود. علامتهای عبوری بین دومشترك تلفن تا خود شبکهٔ رادیویی در فرکانس صوتی است؛ درفرستنده، علامتها حاملی را در نوار h.f. مدولهٔ دامنه می کنند و موج حاصل به گیرندهٔ نقطهٔ دور فرستاده می شود. از فرکانسهای مختلف برای دوجهت مخابره از طریق شبکهٔ رادیویی استفاده می شود تا از امکان سوت زدن در اطراف مدار جلوگیری شود.

رادیو تلفنهای کشتی

گاهی ارتباط تلفنی بین مشترك تلفن و یك کشتی در دریا ضرورت پیدا می کند؛ ترتیب برقراری چنین ارتباطی در شکل ۷ ـ ۴ نشان داده شده است. مشترك تلفن از طریق شبکهٔ رابط راه دور به مرکز کنترل متصل است. مرکز کنترل به‌وسیلهٔ کابل به تعدادی از ایستگاههای رادیویی فرستنده و گیرندهٔ ساحلی ارتباط دارد که هر کدام از این دستگاهها با نقاط مختلف دنیا مبادلهٔ ارتباطی دارند. مرکز کنترل ارتباط لازم را با کشتی در نقطهٔ دور از طریق زوج مناسب ایستگاه رادیویی برقرار می کند. برای تهیهٔ پوشش خوب در منطقهٔ بخصوصی از دنیا، هر ایستگاه فرستنده، به‌طور همزمان، در چند فرکانس مختلف مخابره می کند.

ترتیب مشابه دیگری نیز برای ارتباط تلگرافی با کشتیها در دریا وجود دارد، با این فرق اساسی که در آن از دستگاههای چاپ از راه دور (تله پرینتر) استفاده می شود که به‌مرکز کنترل از طریق شبکهٔ تلکس متصل شده‌اند.



شکل ۷ ـ ۴ ارتباط تلفنی ساحل به کشتی

CCITT[5] و CCIR[6]

برای اطمینان از سازگاری بین شبکه‌های تلفنی کشورهای مختلف که بخشی از یك اتصال تلفنی

5. CCITT = Consultative Committee for International Telegraphy and Telephones
6. CCIR = Consultative Committee for International Radio

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

بین المللی را تشکیل می دهند، لازم است که فرکانسهای حامل، پهنای نوارها، سطوح اغتشاش و سایر پارامترهای مربوطه استاندارد شوند. وظیفهٔ مشخص کردن پارامترهای سیستمهای مخابراتی تعیین شده برای استفادهٔ ممکن در شبکهٔ بین المللی به *اتحادیهٔ بین المللی مخابرات* (ITU)[۷] داده شده است. ITU کار استاندارد کردن را از طریق *کمیتهٔ مشورتی بین المللی رادیو* (CCIR) و *کمیتهٔ مشورتی بین المللی تلگراف و تلفن* (CCITT) انجام می دهد. دو کمیته در فواصلی تشکیل جلسه می دهند تا مسائل مخابراتی بین المللی و سیاستها را مطرح کنند و در این جلسه‌ها از اکثر کشورها، و احتمالا همهٔ کشورها، نمایندگانی شرکت دارند. کمیته‌های فرعی برای بررسی و تحقیق در مسائل خاص مخابرات و ارائهٔ پیشنهادهایی برای حل آنها تشکیل می شوند. پیشنهادهای CCITT و CCIR اجباری نیست ولی اغلب دستگاهها برای تطبیق با پیشنهادهای مناسب ساخته شده‌اند. کاربرد پیشنهادهای CCITT/CCIR در دستگاههایی که برای مسیرهای مخصوص سراسری به‌کار می روند برای هر ادارهٔ مخابراتی خاص، موضوع مهمی است، مثلا، تمام دستگاههای ادارهٔ مخابرات با مقادیر پیشنهاد شده تطبیق ندارند، ازطرف دیگر، تطبیق تمام دستگاههای مشابه‌ای که هنگام برقراری یك اتصال بین المللی به‌کار می روند با تمام پیشنهادهای مناسب ارائه شده ضروری است، در غیر این صورت اغلب اتصالها عملکرد انتقال نامناسبی خواهند داشت.

عناوین زیر از پیشنهادهای CCITT/CCIR هستند که کاربردهای رایجی دارند:

۱. فرکانسهای حامل و پهنای نوارهای مورد استفاده به‌وسیلهٔ گروه تلفنی ۱۲ کانالهٔ اصلی.
۲. روشی که گروههای ۱۲ کاناله می توانند با یکدیگر ترکیب شوند تا سیستمهای هم محوری را با ظرفیت بیشتر تشکیل دهند.
۳. طرح کلید زنی رابط راه دور بین المللی.
۴. پایداری فرکانس لازم برای فرستنده‌های رادیویی که در نوارهای فرکانس مختلف کار می کنند.
۵. اختصاص دادن فرکانسها به خدمات مختلف.

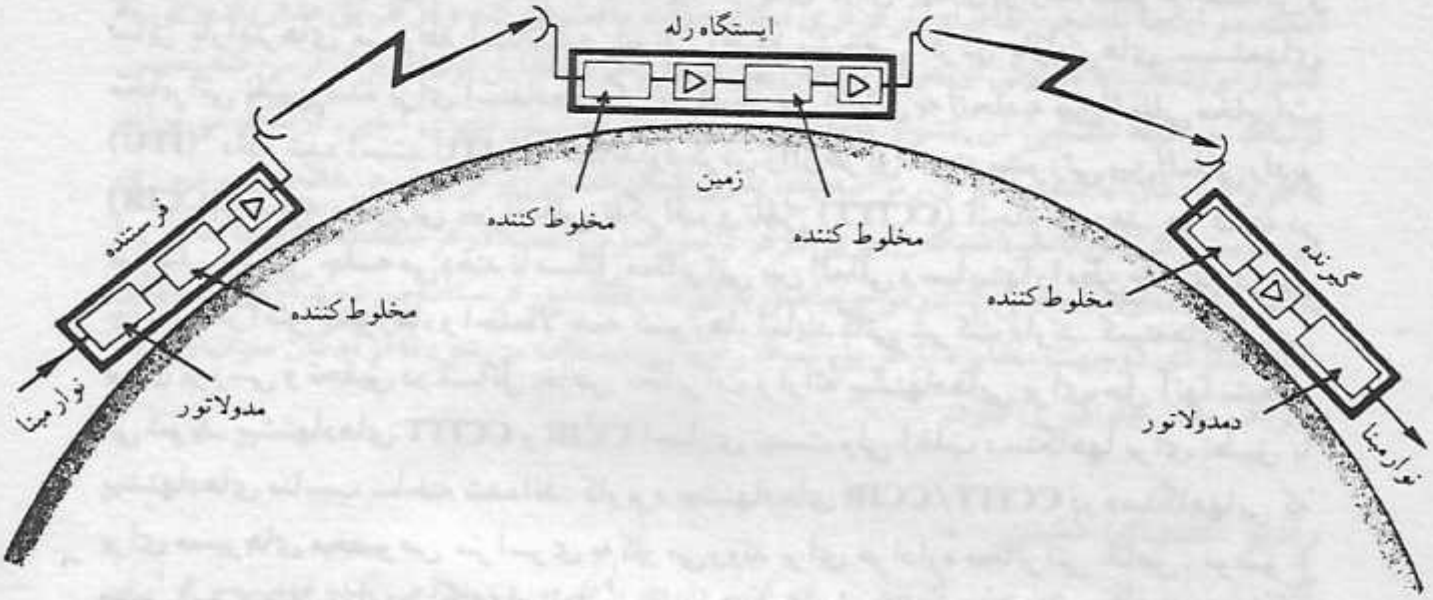
سیستمهای رادیو ـ رلهٔ UHF و SHF

سیستمهای رادیو ـ رله که در تعدادی نوارهای ثابت در نوارهای **u.h.f.** و **S.H.F.** عمل می کنند، قسمت صحیح شبکهٔ رابط راه دور را می سازند. یك سیستم می تواند چندین کانال نوار عریض را حمل کند که هرکدام از آنها، به‌نوبهٔ خود، می تواند صدها کانال مکالمه یا کیفیت تجاری و یا علامت تلویزیونی را حمل کند؛ علامت مرکبی که به‌وسیلهٔ کانال حمل می شود *نوار مبنا* نام دارد.

نمودار کلی اساسی سیستم رادیو ـ رله در شکل ۷ـ۵ نشان داده شده است. مُد انتشار در این فرکانسها موج فضایی است. آنتنهای دقیقاً جهت یافته شده بازدهی زیادی دارند و با سطح توان

7. ITU = International Telecommunications Union

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



شکل ۷ـ۵ اصول سیستم رادیو ـ رله

منتقل شده در محدودهٔ ۱ وات به کار می روند که در نتیجه می توان شبکه‌هایی با طول تقریبی خط دید فراهم کرد. در اغلب موارد که به پوشش یا فواصل بیشتری نیاز است باید چندین ایستگاه رله در فواصل مناسب در طول مسیر شبکه نصب شوند. در شکل ۷ ـ ۵ برای سهولت کار فقط یك ایستگاه رادیو ـ رله نشان داده شده است. در فرستنده، علامت نوار مبنا حامل ۷۰MHz (که فرکانس پیشنهادی **CCIR** است) را مدوله می کند و خروجی مدوله شدهٔ فرکانس به مخلوط کننده داده می شود. در این منطقه علامت به قسمت مناسب نوار u.h.f. یا s.h.f. تبدیل و سپس قبل از تغذیه آنتن فرستنده تقویت می شود. در ایستگاه رله، علامت دریافت شده به فرکانس میانی ۷۰MHz ترجمه و تقویت می شود و سپس قبل از تقویت و تشعشع مجدد به گیرنده به قسمت جدید طیف فرکانس برده می شود. در گیرنده، علامت ورودی به فرکانس میانی ۷۰MHz تبدیل، تقویت و سپس دمدوله می شود تا علامت نوار مبنای اصلی را تهیه کند. سپس علامت نوار مبنا ممکن است به‌وسیلهٔ یك جفت کابل هم محور به محل دیگری ارسال شود و یا اگر در این محل کانالهای صوتی مورد تقاضا باشند، علامت به دستگاههای پایانهٔ گیرندهٔ سیستم تلفنی چند کاناله داده می شود.

تمرینها

۷ـ۱ توضیح دهید چرا لازم است به پیشنهادهای **CCITT** و **CCIR** در رابطه با عملکرد مشخصهٔ خط و سیستمهای مخابراتی رادیویی توجه شود. چند مثال ذکر کنید.

۷ـ۲ نموداری کلی رسم کنید که در آن دوروش عملی برقراری ارتباط تلفنی بین دو نقطهٔ موجود در دو قاره را نشان دهد.

۷ـ۳ نمودار کلی شبکهٔ رادیو تلفنی فرکانس بالای بین المللی را رسم کنید. عملکرد هر قسمت از نمودار رسم شده را توضیح دهید و معایب مربوط به این سیستم را بیان کنید.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

۷ـ۴ دلایل به‌کار بردن کابلهای زیردریایی، ماهواره‌های زمینی و شبکه‌های رادیویی h.f. را در شبکهٔ تلفنی بین المللی توضیح دهید.

۷ـ۵ نمودارهای کلی سیستمهای ارتباطی سادهٔ زیر را رسم کنید:

(الف) شبکهٔ رادیو تلفنی بین مشترکهای قاره‌های مختلف.

(ب) مکالمهٔ تلفنی ماورای بحار بین مشترك درخشکی و کشتی در دریا.

در هردو حالت فرکانسهای حامل و پهنای نوارها را ذکر کنید.

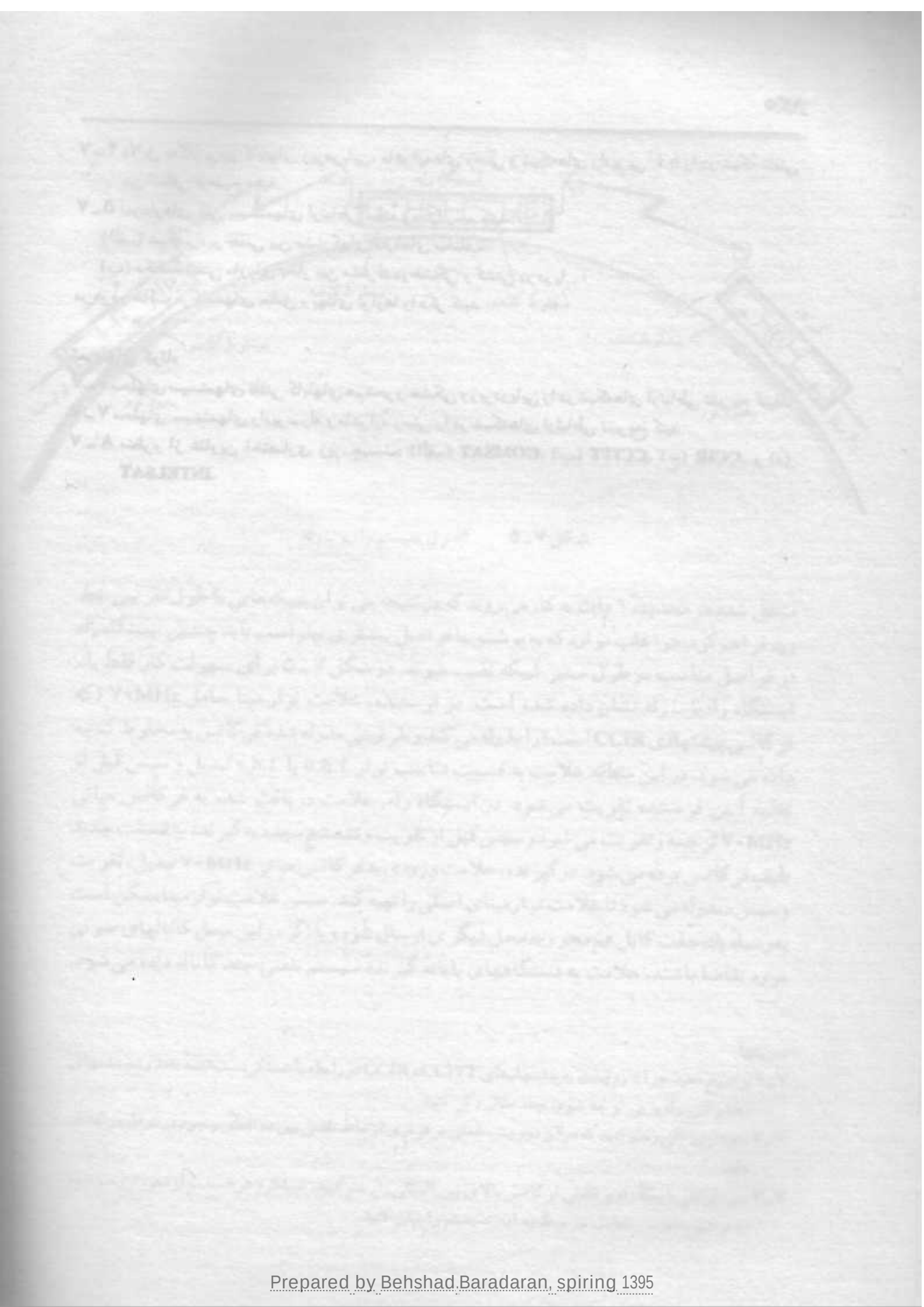
تمرینهای کوتاه

۷ـ۶ محلهای سیستمهای تلفنی کابلهای هم‌محور خشکی و زیردریایی را در شبکه‌های ارتباطی تشریح کنید.

۷ـ۷ محلهای سیستمهای رادیو ـ رله و ماهوارهٔ زمینی را در شبکه‌های ارتباطی تشریح کنید.

۷ ـ ۸ منظور از عناوین اختصاری زیر چیست: (الف) **COMSAT**، (ب) **CCITT**، (ج) **CCIR**، و (د) **INTELSAT**.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395



جوابهای عددی تمرینها

۱ـ۱ $Z_0 = 300\Omega$ ، $2/5 \times 10^8 m/s$ ، $16/67 mA$

۱ـ۴ $500 W$

۱ـ۸ 50Ω ، 50Ω

۱ـ۹ $2/65 \times 10^8 m/s$ ، 340Ω

۱ـ۱۰ $214/3 nH/m$ ، $59/5 pF/m$

۱ـ۱۷ 24° ، 12°

۲ـ۱ $0/08m$ ، $0/255m$ ، $0/282m$ ، $0/268m$

۲ـ۵ $0/056m$ ، $0/177m$ ، $0/196m$ ، $0/186m$

۲ـ۶ $2/6 dB$

۲ـ۱۲ $0/5m$ ، $1/58m$ ، $1/75m$ ، $1/67m$

۲ـ۱۴ $\%41/86$ ، $180 W$

۲ـ۱۵ $50/48 kW$ ، $\%80$

۲ـ۱۶ $3/98 dB$

۲ـ۱۸ $13 dB$

۲ـ۲۶ $37/5m$

۴ـ۲۰ $3/54 : 1$

۵ـ۲ $23000 kHz$ ، $92 kHz$ ، $450 kHz$

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

هدفهای آموزش

الف. تشعشع. آنتنها و خطوط

۱. *اصول اساسی و شکل خطوط بدون افت را می‌شناساند.*

۱ـ۱ توضیح می‌دهد که خطوط دوقلو یا متمرکز انرژی را با خود تشعشعی کم تبدل می‌کنند.

۱ـ۲ منحنی معادل خط بدون افت را بر حسب توزیع L و C رسم می‌کند.

۱ـ۳ مشخصات مقاومت مشخصهٔ خط و مقادیر نمونهٔ آن را بیان می‌کند.

۱ـ۴ توضیح می‌دهد وقتی مقاومت بار مساوی مقاومت مشخصهٔ خط باشد حداکثر توان منتقل می‌شود.

۱ـ۵ به‌طور نموداری اصول پیشرفت موج در طول خط را بیان می‌کند.

۱ـ۶ با بیانی غیر ریاضی بازتابهای موجها در ناپیوستگی o.c. و s.c. در خطوط $\lambda/4$ را تشریح می‌کند.

۲. *اصول سادهٔ تشعشع را تشریح می‌کند.*

۲ـ۱ دو قطبی $\lambda/2$ را به‌عنوان خط بازشدهٔ مدار باز $\lambda/4$ تشریح می‌کند.

۲ـ۲ الگوهای میدانهای الکتریکی و مغناطیسی دوقطبی سادهٔ $\lambda/2$ را رسم می‌کند.

۲ـ۳ تصویر یك موج الکترومغناطیسی را که از میدان محلی جدا شده است رسم می‌کند.

۲ـ۴ تشریح می‌کند که برای عملی کردن تشعشع به‌فرکانسهای بالا نیاز است.

۲ـ۵ نحوهٔ تشخیص میدانهای القا و تشعشع را ذکر می‌کند.

۲ـ۶ پلاریزاسیون میدان الکترومغناطیسی را مشخص می‌کند.

۲ـ۷ چگونگی تشخیص موج زمینی و هوایی را بیان می‌کند.

۲ـ۸ اثرهای شکست در لایهٔ یونوسفر را بیان می‌کند.

۲ـ۹ با بیانی غیر ریاضی فاصلهٔ گریزفرکانس بحرانی؛ m.u.f.، فرکانس تردد بهینه را تشریح می‌کند.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

۲ـ۱۰ پدیده و دلایل پژمرش را بیان می کند.
۲ـ۱۱ نحوهٔ انتخاب فرکانسها در نوار h.f. را تشریح می کند.
۲ـ۱۲ استفاده از نوارهای VHF را در ارتباطات نقطه‌به‌نقطه بیان می کند.
۳. *مشخصات بعضی از آنتنهای میله‌ای را بیان می کند.*
۳ـ۱ شدت میدان موج الکتریکومغناطیسی را تشریح می کند.
۳ـ۲ یکسان بودن آنتنهای فرستنده و گیرنده را تشریح می کند.
۳ـ۳ مقاومت تشعشع برای آنتن را معرفی می کند.
۳ـ۴ الگوهای تشعشع دوقطبی $\lambda/2$ ساده را رسم می کند.
۳ـ۵ اثر جداگانه و ترکیب بازتابنده و جهت دهنده را بیان می کند.
۳ـ۶ بهرهٔ آنتن را برحسب تشعشع کنندهٔ متجانس بیان می کند.
۳ـ۷ توان تشعشع شدهٔ مؤثر را بیان می کند.
۳ـ۸ تشریح می کند که تك‌قطبی مارکونی از دو قطبی مشتق شده است.
۳ـ۹ نیاز به زمین خوب یا پارسنگ معادل را تشریح می کند.
۳ـ۱۰ نیاز به میزان کردن آنتن عمودی عملی را تشریح می کند.
۳ـ۱۱ آنتنهای T و L وارونه را به‌عنوان شکلهای عملی آنتن عمودی رسم می کند.
۳ـ۱۲ ارتفاع مؤثر آنتن را معرفی می کند.

ب. گیرنده‌های رادیویی

۴. *نیازهای اصولی برای دریافت علامت رادیویی a.m. را ذکر می کند.*
۴ـ۱ نموداری کلی را رسم می کند که نشان دهندهٔ میزان کردن، دمدولاسیون قبلی، تقویت، دمدولاتور و تقویت a.f. است.
۴ـ۲ ترتیب سادهٔ تقویت کنندهٔ میزان شدهٔ متغیر r.f. را تشریح می کند.
۴ـ۳ دمدولاتور دیودی ساده و چگونگی عملکرد آن را معرفی می کند.
۴ـ۴ تقویت کنندهٔ a.f. ابتدایی تغذیه کنندهٔ بلندگو را معرفی می کند.
۵. *توجه به عملکرد و مختصری از گیرندهٔ TRF.*
۵ـ۱ اشکالهای منطقه‌های تقویت کنندهٔ r.f. چندگانهٔ توأم را بیان می کند.
۵ـ۲ گزینندگی و نیازهای پهنای نوار برای دریافت نوار جانبی دوگانه a.m. در نوار h.f. را مطرح می کند.
۵ـ۳ دربارهٔ لزوم پوشش وجدا کردن بین منطقه‌ایی که در یك فرکانس کار می کنند، توضیح می دهد.
۶. *گیرندهٔ سوپر هترودین را معرفی می کند.*
۶ـ۱ اصول تبدیل علامتهای فرکانس متغیر به فرکانس ثابت (i.f.) را توضیح می دهد.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

۶ـ۲ مزایای تقویت در فرکانس ساده را تشریح می کند.
۶ـ۳ چگونگی انتخاب فرکانس میانی را تشریح می کند.
۶ـ۴ مشخصات و مدار تقویت کنندهٔ فرکانس میانی را ذکر می کند.
۶ـ۵ گسترهٔ فرکانس نوسان‌ساز محلی را برای گسترهٔ فرکانس علامت معین محاسبه می کند.
۶ـ۶ نیاز به انتخاب r.f. را بیان می کند.
۶ـ۷ تداخل کانال دوم (مجازی) را تعریف می کند.

ج. فرستنده‌های رادیویی

۷. *عملکردهای منطقهٔ فرستندهٔ CW/AM را بیان می کند.*

۷ـ۱ نمودار کلی فرستنده‌های CW و AM (نوار h.f.) را رسم می کند.
۷ـ۲ عملکرد هر قسمت از نمودار ۷ـ۱ را تشریح می کند.
۷ـ۳ نیاز به پایداری فرکانس را بیان می کند.
۷ـ۴ نوسان‌سازهای کریستالی و فرکانس متغیر را معرفی می کند.
۷ـ۵ روشها و ضرورتهای کلید کردن را تشریح می کند.
۷ـ۶ ضرورت و اصول ضرب کردن فرکانس را بیان می کند.
۷ـ۷ ضرورت یك منطقهٔ راه‌اندازی را تشریح می کند.
۷ـ۸ منطقهٔ نهایی تقویت کنندهٔ توان h.f. ساده با ترتیب جفت شدگی آنتن را تشریح می کند.
۷ـ۹ چگونگی دست‌یابی به مدولاسیون دامنهٔ سطح بالا را نشان می‌دهد.
۷ـ۱۰ مراحل عملی برای تطبیق آنتن به‌فرستنده را بیان می کند.

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

واژه‌نامه

فارسی ـ انگلیسی

آرایش	array
آشکارساز	detector
آنتن	aerial
آنتن مجازی	image aerial
آنتن T	T-aerial
آنتن مبنا	reference antenna
آنتن میله‌ای	elementary aerial
آنتن L وارونه	inverted-L-aerial
آنتن یك قطبی	unipole aerial
اتصال به‌مدار میزان شده	tuned-circuit tapping
اثر پوششی	screening effect
ارتفاع مؤثر (آنتن)	effective height
اُفت مقاومتی	loss-resistance
القا، بوبین، بوبین القایی	inductance
الگو	pattern
الگوی تشعشع	radiation pattern
امیتر ـ مشترك، صادرکننده ـ مشترك	common-emitter
انتشار	propagation
انعکاس، بازتاب	reflection
انکسار، شکست	refraction
ایزوتروپیك، متجانس	isotropic
بازتاب، انعکاس	reflection
بازتابنده	reflector
بازتابیده	reflected
بازده	efficiency
بدون اُفت	loss-free
بوبین، القا، بوبین القایی	inductance
بهره	gain
پارازیتی، جنبی	parasitic
پارامتر، مشخصه	parameter
پارسنگ زمینی	counterpoise earth
پاگیری، مقاومت ظاهری	impedance
پایداری فرکانس	frequency stability
پایه ـ مشترك	common-base
پرده، پوشش	screen
پرکردن، شارژ	charge
پژمرش، محوشدگی	fading
پژمرش بخشی	selective fading
پژمرش عمومی	general fading
پس‌خور	feedback
پوش ـ پول، فشاری ـ کششی	push-pull
پوشش، پرده	screen
پهنای اشعه	beamwidth

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

bandwidth	پهنای نوار
demodulation	پیاده کردن، دمدولاسیون
demodulator	پیاده کن، دمدولاتور
incident	تابشی
tetrode	تردد، چهارقطبی
image channel interference	تداخل کانال مجازی
co-channel interference	تداخل هم کانالی
trimmer	تراز
traffic	ترافیك، تردد
transistor	ترانزیستور
traffic	تردد، ترافیك
thermionic	ترمویونیك، گرمایونی
triode	تریود، سه‌قطبی
resonant	تشدید
radiation	تشعشع
radiator	تشعشع کننده
isotropic radiator	تشعشع کنندهٔ متجانس
attenuation	تضعیف
diffract	تفرق
amplifier	تقویت کننده
tuned amplifier	تقویت کننده‌های میزان شده
feeder	تغذیه کننده
padder	تنظیم
automatic gain control(a.g.c.)	تنظیم خودکار بهره
ganging	توأم کردن
effective radiated power	توان تشعشع شدهٔ مؤثر
wavefront	جبههٔ موج
decoupling	جداکردن، دکوپلاژ
eddy current	جریان گردابی
coupling	جفت شدگی، کوپلاژ
inductive coupling	جفت شدگی القایی
collector	جمع کننده، کلکتور
tunned collector	جمع کنندهٔ میزان شده
parasitic	جنبی، پارازیتی
director	جهت دهنده
choke	چوك، هواکاه
tetrode	چهارقطبی، تترود
maximum usable freqaency	حداکثر فرکانس مفید
sensitivity	حساسیت
capacitor	خازن
by-pass capacitor	خازن کنارگذر
directivity	خاصیت جهتی
discharge	خالی کردن، دشارژ
transmission line	خط انتقال
twin transmission line	خط انتقال دوقلو
twin line	خط دوقلو
coaxial line	خط هم‌محور
self-radiation	خودپخشی
self-tuning	خودمیزان
discharge	دشارژ، خالی کردن
decoupling	دکوپلاژ، جداکردن
demodulation	دمدولاسیون، پیاده کردن
turn	دور
cycle	دور، سیکل
dipole	دوقطبی
diode	دیود
dielectric	دی الکتریك، عایق
ship-to-shore radio-telephony	رادیو تلفن کشتی به ساحل

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

radio-navigation	رادیو دریایی
tracking	ردگیری
class	رده، کلاس
cascade	زنجیره‌ای
compatibility	سازگاری
velocity of propagation	سرعت انتشار
phase velocity	سرعت فاز
group velocity	سرعت گروهی
high-level	سطح بالا
low-level	سطح پایین
double-superhetrodyne	سوپرهترودین دوگانه
triode	سه‌قطبی، تریود
earth-satellite system	سیستم ماهوارهٔ زمینی
relay station systems	سیستمهای ایستگاه رله
satellite radio systems	سیستمهای رادیویی ماهواره‌ای
cycle	سیکل، دور
charge	شارژ، پر کردن
grid	شبکه
screen grid	شبکهٔ پرده
multi hop links	شبکه‌های چندمسیری
refraction	شکست، انکسار
common-emitter	صادر کننده ـ مشترک، امیتر ـ مشترک
antinode	ضدگرهی
primary coefficients	ضرایب اولیه
secondary coefficients	ضرایب ثانویه
frequency multiplier	ضرب کنندهٔ فرکانس
attenuation factor	ضریب تضعیف
phase-change coefficient	ضریب تغییر فاز
refractive index	ضریب شکست
absolute refractive index	ضریب شکست مطلق
capacitance	ظرفیت
dielectric	عایق، دی الکتریك
porcelain insulator	عایق چینی
intermediate frequency breakthrough	عبور از فرکانس میانی
skip distance	فاصلهٔ گریز
transmitter	فرستنده
radio transmitter	فرستندهٔ رادیویی
critical frequency	فرکانس بحرانی
traffic frequency	فرکانس ترافیك
tuned-radio frequency(t.r.f.)	فرکانس رادیویی میزان شده
audio frequency	فرکانس صوتی
optimum working frequency	فرکانس کارکرد بهینه
intermediate frequency(i.f.)	فرکانس میانی
push-pull	فشاری ـ کششی، پوش ـ پول
polarization	قطبیت
cut-off	قطع
adjacent channel	کانال مجاور
class	کلاس، رده
collector	کلکتور، جمع کننده
keying	کلید کردن
volume control	کنترل صدا
coupling	کوپلاژ، جفت شدگی
thermionic	گرمایونی، ترمویونیك

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

گره	node
گلبرگ	lobe
گیرندهٔ رادیویی	radio receiver
گیرندهٔ رادیویی سوپرهترودین	superhetrodyne radio receiver
مؤلفهٔ واکنشی	reactive component
متجانس، ایزوتروپیك	isotropic
محوشدگی، پژمرش	fading
مُد	mode
مدار	orbit
مدار-باز	open-circuit
مدارمعادل	equivalent circuit
مدارهای تلفنی بین المللی	international telephony circuits
مدولهٔ دامنه	amplitude-modulated
مسدودکننده	trap
مشخصه، پارامتر	parameter
مقاومت واکنشی	reactance
مقاومت تشعشع	radiation resistance
مقاومت ظاهری، پاگیری	impedance
مقاومت ظاهری مشخصه	characteristic impedance
منطقهٔ راه انداز	driver stage
منطقهٔ میانی	interstage
منطقه‌های زنجیره‌ای	cascaded stages
موج الکترومغناطیسی	electromagnetic wave
موج پیوسته	continuous wave(C.W.)
موج زمینی	ground wave
موج ساکن	standing wave
موج سطحی	surface wave
موج فضایی	space wave
موج مرکب	complex wave
موج هوایی	sky wave
میان تغذیه	center-fed
میدان القا	induction field
میدان تشعشع	radiation field
میزان شده تکی	single-tuned
میزان شدهٔ دوگانه(تقویت کننده)	double tuned
نسبت جلو به عقب(آنتن)	front-to-back ratio
نشت	leakance
نوارجانبی دوگانه	double sideband(d.s.b.)
نوارمبنا	baseband
نوسان ساز	oscillator
نوسان ساز کلپیتس	Colpitts oscillator
نوسان ساز کریستالی	Crystal oscillator
نوسان ساز هارتلی	Hartley oscillator
نوسان مزاحم	parasitic oscillation
نوك خازنی(ظرفیتی)	capacitance top
واکنشی، راکتیو	reactive
واگرا	divergent
هاله	corona
هواکاه، چوك	choke
یك قطبی	monopole
یونوسفر	ionospher

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

واژنامه

انگلیسی ـ فارسی

absolute refractive index
ضریب شکست مطلق

adjacent channel
کانال مجاور

aerial
آنتن

amplifier
تقویت کننده

amplitude-modulated
مدولهٔ دامنه

antinode
ضدگرهی

array
آرایش

attenuation
تضعیف

attenuation coefficient
ضریب تضعیف

attenuation factor
عامل تضعیف

audio frequency
فرکانس صوتی

automatic gain control(a.g.c.)
تنظیم خودکار بهره

bandwidth
پهنای نوار

baseband
نوار مبنا

beamwidth
پهنای اشعه

by-pass capacitor
خازن کنارگذر

capacitance
ظرفیت

capacitance top
توک خازنی (ظرفیتی)

capacitor
خازن

cascade
زنجیره ای

cascaded stages
منطقه‌های زنجیره ای

center-fed
میان تغذیه

characteristic impedance
مقاومت ظاهری مشخصه

charge
پر کردن، شارژ

choke
هواکاه، چوک

class
کلاس، رده

coaxial line
خط هم محور

co-channel interference
تداخل هم کانالی

Colpitts oscillator
نوسان ساز کلپیتس

collector
جمع کننده، کلکتور

common-base
پایه ـ مشترک

common-emitter
امیتر ـ مشترک، صادرکننده ـ مشترک

compatibility
سازگاری

complex wave
موج مرکب

compromise
سازش

continuous wave(C.W.)
موج پیوسته

corona
هاله

counterpoise earth
پارسنگ زمینی (آنتن)

coupling
جفت شدگی، کوپلاژ

critical frequency
فرکانس بحرانی

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

Crystal oscillator	نوسان ساز کریستالی
cut-off	قطع
cycle	دور، سیکل
decoupling	جدا کردن، دکوپلاژ
demodulation	دمدولاسیون، پیاده کردن
demodulator	دمدولاتور، پیاده کن
detector	آشکارساز
dielectric	عایق، دی الکتریك
diode	دیود
dipole	دوقطبی
directivity	خاصیت جهتی (آنتن)
director	جهت دهنده
discharge	خالی کردن، دشارژ
divergent	واگرا
double sideband(d.s.b.)	نوارجانبی دوگانه
double-superhetrodyne	سوپرهترودین دوگانه
double tuned	میزان شدهٔ دوگانه (تقویت کننده)
driver stage	منطقهٔ راه انداز
earth-satellite system	سیستم ماهوارهٔ زمینی
eddy current	جریان گردابی
effective height	ارتفاع مؤثر (آنتن)
effective radiated power	توان تشعشع شدهٔ مؤثر
efficiency	بازده
electromagnetic wave	موج الکترومغناطیسی
elementary aerial	آنتن میله‌ای
equivalent circuit	مدار معادل
fading	پژمرش، محو شدگی
feedback	پس خور
feeder	تغذیه کننده
frequency stability	پایداری فرکانس
front-to-back ratio	نسبت جلو به عقب (آنتن)
gain	بهره
ganging	توأم کردن
general fading	پژمرش عمومی
grid	شبکه
ground wave	موج زمینی
group velocity	سرعت گروهی
Hartley oscillator	نوسان ساز هارتلی
high-level	سطح بالا
intermediate frequency(i.f.)	فرکانس میانی
intermediate frequency breakthrough	عبور از فرکانس میانی
image aerial	آنتن مجازی
image channel interference	تداخل کانال مجازی
impedance	مقاومت ظاهری، پاگیری
incident	تابشی
inductance	القا، بوبین
induction field	میدان القا
inductive coupling	جفت شدگی القایی
international telephony circuits	مدارهای تلفنی بین المللی
interstage	منطقهٔ میانی
inverted-L aerial	آنتن L وارونه
ionosphere	یونوسفر
isotropic	متجانس، ایزوتروپیك
isotropic radiator	تشعشع کنندهٔ متجانس
keying	کلید کردن
leakance	نشت
lobe	گلبرگ
loss-free	بدون اُفت
loss-resistance	اُفت مقاومتی

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

low-level	سطح پایین
maximum usable frequency	حداکثر فرکانس مفید
mode	مُد
monopole	یك قطبی
multi hop links	شبکه‌های چندمسیری
node	گره
open-circuit	مدار-باز
optimum working frequency	فرکانس کارکرد بهینه
orbit	مدار
oscillator	نوسان‌ساز
padder	تنظیم
parameter	مشخصه، پارامتر
parasitic	جنبی، پارازیتی
parasitic oscillation	نوسان مزاحم
pattern	الگو
phase-change coefficient	ضریب تغییر فاز
phase velocity	سرعت فاز
polarization	قطبیت
porcelain insulator	عایق چینی
primary coefficients	ضرایب اولیه
propagation	انتشار
push-pull	فشاری-کششی، پوش-پول
radiation	تشعشع
radiation field	میدان تشعشع
radiation pattern	الگوی تشعشع
radiation resistance	مقاومت تشعشع
radiator	تشعشع کننده
radio-navigation	رادیو دریایی
radio receiver	گیرندهٔ رادیویی
radio transmitters	فرستندهٔ رادیویی
reactance	مقاومت واکنشی، راکتانس
reactive	واکنشی، راکتیو
reactive component	مؤلفهٔ واکنشی
relay station systems	سیستمهای ایستگاه رله
reference antenna	آنتن مبنا
reflected	بازتابیده
reflection	بازتاب، انعکاس
reflector	بازتابنده
refraction	شکست، انکسار
refractive index	ضریب شکست
resonant	تشدید
satellite radio systems	سیستمهای رادیویی ماهواره‌ای
screen	پوشش، پرده
screening effect	اثر پوششی
screen grid	شبکهٔ پرده
secondary coefficients	ضرایب ثانویه
selective fading	پژمرش بخشی
self-radiation	خودپخشی
self-tuning	خودمیزان
sensitivity	حساسیت
ship-to-shore radio-telephony	رادیو تلفن کشتی به ساحل
single-tuned	میزان شدهٔ تکی
skip distance	فاصلهٔ گریز
sky wave	موج هوایی
space wave	موج فضایی
standing wave	موج ساکن
superhetrodyne radio receiver	گیرندهٔ سوپر هترودین
surface wave	موج سطحی

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

T-aerial	آنتن T
tetrode	چهارقطبی، تترود
thermionic	گرمایونی، ترمویونیك
tracking	ردگیری
traffic	تردد، ترافیك
traffic frequency	فرکانس ترافیك
transistor	ترانزیستور
transmission line	خط انتقال
transmitter	فرستنده
trap	مسدودکننده
trimmer	تراز
triode	سه‌قطبی، تریود
tuned amplifiers	تقویت کننده‌های میزان شده
tuned-circuit tapping	اتصال به مدار میزان شده
tuned collector	جمع کنندهٔ میزان شده
tuned radio frequency (t.r.f.)	فرکانس رادیویی میزان شده
turn	دور
twin line	خط دوقلو
twin transmission line	خط انتقال دوقلو
unipole aerial	آنتن یك قطبی
velocity of propagation	سرعت انتشار
volume control	کنترل صدا
wavefront	جبههٔ موج

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395

اختصارات

a.f.	audio frequency	فرکانس صوتی
a.g.c.	automatic gain control	تنظیم خودکار بهره
CCIR	Consultative Committee for International Radio	کمیتهٔ مشورتی بین المللی رادیو
CCITT	Consultative Committee for International Telegraphy Telephones	کمیتهٔ مشورتی بین المللی تلگراف و تلفن
COMSAT	Communication Satellite Corporation	اتحادیهٔ ارتباطات ماهواره‌ای
C.W.	continuous wave	موج پیوسته
d.s.b.	double sideband	نوار جانبی دوگانه
i.f.	intermediate frequency	فرکانس میانی
INTELSAT	International Telecommunication Satellite Consortium	کنسرسیوم مخابرات بین المللی ماهواره‌ای
im	intermediate	میانی
i.s.b.	independent sideband	نوار جانبی مستقل
ITU	International Telecommunications Union	اتحادیهٔ بین المللی مخابرات
m.m.f.	magnetic motive force	نیروهای مغناطیسی
m.u.f.	maximum usable frequency	حداکثر فرکانس مفید
R_d	dynamic resistance	مقاومت دینامیکی
s.s.b.	single sideband	تک نوار جانبی
t.r.f.	tuned-radio frequency	فرکانس رادیویی میزان شده

Prepared by Behshad Baradaran, spiring 1395