

فصل دوم

شناسایی از راه امواج

ره آوردی نوین از فن آوری ارتباطات

مباحث نظری در باب فیزیک سامانه های شناسایی رادیویی

آنچه در این فصل خواهید آموخت:

- که مفاهیم پایه فیزیک مانند انرژی، نیرو، میدان، توان، سرعت، کار، مفهوم کمیت فیزیکی و واحدها
- که تشخیص روش های انتشار یا مخابره امواج رادیویی
- که توصیف کارایی و مشخصات آنتن ها
- که محاسبه توان تابشی خروجی آنتن ها براساس بهره، نوع کابل، طول کابل آنها و توان رسیده از پی گیر در سناریوهای نمونه

درآمد فصل

کار اصلی یک سامانه شناساگر ایجاد ارتباط مخابراتی بین یک نشانه و یک نشانه‌خوان است. این ارتباط با استفاده از امواج رادیویی انجام می‌گیرد. امواج رادیویی بخش خاصی از طیف بسامدهای الکترومغناطیس هستند که بسامدهای رادیویی نامیده می‌شوند. انتشار این گونه موج‌ها براساس قوانین فیزیکی صورت می‌گیرد. هدف این فصل آشنا ساختن شما با مفاهیم فیزیکی مربوط به این نوع ارتباطات است. بر این اساس فصل حاضر به سه بخش جداگانه تقسیم خواهد شد. بخش اول پیرامون نحوه تولید و نشر امواج رادیویی حامل داده‌ها از یک منبع تا آنتن فرستنده است. در بخش دوم به چگونگی تابش امواج از یک آنتن و تحلیل‌های مربوطه پرداخته می‌شود و در آخر نیز بحث با روند سیر امواج رادیویی در فضای آزاد و موانع و مخاطرات پیش روی آنها به پایان خواهد رسید.

مخابرات رادیویی

اگر بخواهیم یک سامانه شناساگر را در یک جمله معرفی کنیم می‌توان گفت وسیله‌ای است برای تشخیص و تعیین هویت یک شیء با استفاده از امواج رادیویی. بنابراین مفاهیم و عناصر مربوط به مخابرات داده‌ها از راه امواج در چنین فرایندی نقش اساسی خواهند داشت. در این سامانه‌ها، مخابره داده مابین دو دستگاه صورت می‌گیرد. یکی دستگاه نشانه‌خوان است که به اطلاعات شیء مورد شناسایی نیاز دارد و دیگری نشانه، که حاوی اطلاعات موردنظر خواهد بود. اما قبل از پرداختن به چگونگی مخابرات در سامانه‌های شناسایی، لازم است برخی از مفاهیم بنیادی در مورد ماهیت و روش‌های مخابره امواج بررسی شوند.

عناصر مخابرات رادیویی

در یک مخابره رادیویی بخش خاصی از طیف بسامدهای امواج الکترومغناطیس مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین کلیه ضوابط فیزیکی که در مورد مخابره امواج الکترومغناطیس حامل داده برقرار هستند در مورد امواج رادیویی نیز صادق خواهند بود. به این ترتیب در مخابرات رادیویی نیز چهار عنصر اصلی ایفای نقش می‌نمایند که عبارتند از:

- موج داده‌ها: ^۱ موجی که حاوی اطلاعات (داده‌ها) اصلی برای ارسال به یک گیرنده است.
- موج حامل: ^۲ موجی که داده‌ها را حمل می‌کند.

1. Data signal

2. Carrier signal

- **تبدیل:**^۱ فرایندی که طی آن موج داده‌ها درون موج حامل جاسازی (سوار) شده و محصول نهایی را برای فرارسانی از راه آنتن تولید می‌کند.
- **آنتن:**^۲ وسیله‌ای که برای فرارسانی و دریافت سیگنال‌هایی نظیر امواج رادیویی استفاده می‌شود.

نکته: در یک سامانه شناسایی، نشانه و نشانه‌خوان هر کدام آنتنی دارند که از طریق آن با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. از آنجایی که در این ارتباط یک نشانه نقش پاسخ‌گویی به پی‌گیری‌های یک نشانه‌خوان را بازی می‌کند آن را پاسخ‌گوی ارسال^۳ نیز می‌نامند. همچنین به دلیل آنکه نشانه‌خوان‌ها، هم کار پی‌گیری و هم کار دریافت اطلاعات نشانه‌ها را برعهده دارند به آنها فرستنده/گیرنده^۴ نیز گفته می‌شود.

حال باید دید که این چهار عنصر برای برقراری یک ارتباط مخابراتی چگونه عمل می‌کنند؟ اول از همه توجه داشته باشید که اطلاعات با اعمال یک سری تغییرات در موج حامل ایجاد می‌شوند. موج حامل سیگنالی با بسامد و ولتاژ ثابت است (به‌عنوان مثال یک سیگنال سینوسی). این سیگنال حاوی هیچ‌گونه اطلاعاتی نیست. شاید با یک مثال مسئله کمی روشن‌تر شود. اگر فردی برای صحبت با دیگران از آواهای ثابتی استفاده کند مسلماً منظورش به شنونده منتقل نخواهد شد. اصولاً همه ما برای فرارسانی نظراتمان به دیگران از جملات متفاوت و کلمات متفاوت استفاده می‌کنیم. در مخابرات رادیویی نیز داستان از همین قرار است. در یک مخابره رادیویی با استفاده از روشی تحت‌عنوان *تبدیل (مدولاسیون)*، موج حامل توسط اطلاعات (داده‌ها) رمزگذاری می‌شود. در واقع شما موج داده‌ها را که حاوی اطلاعات اصلی است دریافت کرده و آن را در درون موج رادیویی ثابتی به نام حامل، جایگزین (سوار) می‌کنید. علی‌النهایی می‌توان گفت در این فرایند سیگنال داده‌ها موج حامل را دچار تغییر می‌کند (تبدیل یا مدوله‌سازی).

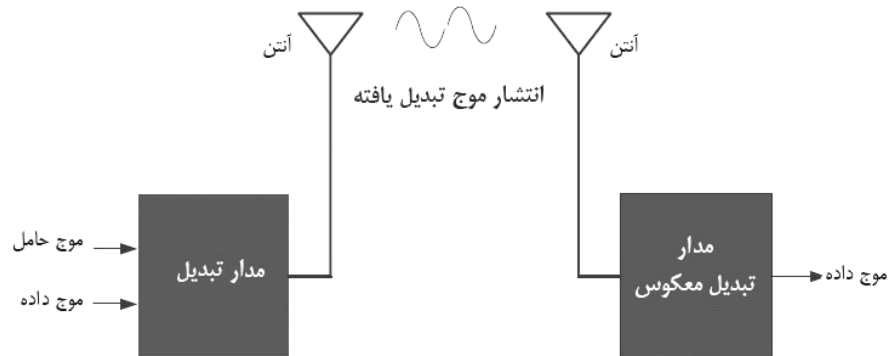
اما هنگام فرارسانی، تنها محصول نهایی (یعنی هر دو موج حامل و داده همراه یکدیگر و در قالب یک موج واحد تبدیل یافته) است که در فضا به پرواز در می‌آید. در طرف دیگر موج تبدیل یافته ارسالی توسط آنتن گیرنده دریافت شده و به‌منظور استخراج داده‌ها تبدیل معکوس روی آن صورت می‌گیرد (دمدوله می‌شود). این فرایند در شکل ۱-۲ به تصویر کشیده شده است.

1. Modulation

2. Antenna

3. Transponder

4. Transceiver



شکل ۲-۱: فرایند مخابرات رادیویی با روش تبدیل امواج

هر صدایی زیبایی خودش را دارد. توجه کنید که موج داده‌ها نیز به خودی خود حاوی اطلاعات است. اطلاعات این موج همان نوساناتی است که جوهره وجودی آن را تشکیل داده‌اند. پس شاید بپرسید که چرا در یک مخابرات رادیویی همان موج داده‌های اصلی ارسال نمی‌شود و یا اصولاً چرا یک فرستنده رادیویی امواج را (قبل از ارسال) تبدیل می‌کند.

دلایل تبدیل امواج

برای استفاده از تبدیل امواج دلایل زیادی می‌تواند وجود داشته باشد. اما ما تنها به دو مورد آن که مربوط به بحث این کتاب است اشاره می‌کنیم:

مسئله انتشار

اصولاً یک موج داده شامل تعداد زیادی مؤلفه (موج) است که هر کدام بسامد خاص خود را دارند. مسئله‌ای که در رابطه با مؤلفه‌های بسامد پائین وجود دارد این است که در کمتر رسانه‌ای انتشار اینگونه مؤلفه‌ها بدون اعوجاج صورت می‌گیرد. تبدیل می‌تواند این مسئله را حل کند. در این فرایند با انتقال مؤلفه‌های بسامد پائین به موج حاملی که بسامد بالاتری دارد مشکل مرتفع می‌گردد.

مسئله فرارسانی (انتقال)

طول یک موج داده که بسامد پائینی دارد زیاد است و بر همین اساس برای ارسال و دریافت اینگونه امواج به آنتن‌هایی با طول بالا نیاز خواهد بود. زیرا بنابر یک قاعده تجربی برای حصول تابش مناسب از یک آنتن، طول آنتن حداقل باید به اندازه یک چهارم طول موج‌هایی باشد که به آن می‌رسند. به‌عنوان مثال فرض کنید بسامد مؤلفه‌ای ۱ KHz باشد. در این صورت طول موج (λ) آن برابر است با :

$$\lambda = c / f = (3 \times 10^8)(\text{m/s}) / 10^3(1/\text{s}) = 300\text{km}$$

$$\text{طول آنتن} = \frac{\lambda}{4} \text{km}$$

یعنی برای فرارسانی این مؤلفه به آنتنی با حداقل 75 کیلومتر ارتفاع نیاز خواهد بود (که عملاً غیرممکن است).

با تبدیل مؤلفه مذکور این مشکل نیز حل خواهد شد. تبدیل، این مؤلفه را در موج حاملی با بسامد بالاتر می‌نشانند. در تمرین زیر خواهید دید که امواج حامل بسامد بالا، به آنتن‌های کوتاه‌تری نیاز دارند. به‌عنوان مثال برای ارسال موج حاملی با بسامد 900 MHz آنتنی به طول 8.3 cm کفایت خواهد کرد.

تمرین ۱-۲

طول کمیته آنتن یک گوشی تلفن همراه که با بسامد 900 MHz کار می‌کند را به‌دست آورید.

حل:

$$\lambda = c / f = (3 \times 10^8)(\text{m/s}) / (900 \times 10^6(1/\text{s})) = 1/3\text{cm}$$

$$\text{طول آنتن} = \lambda / 4(\text{m}) = 1/12(\text{m}) = 8.33\text{cm}$$

در نگاهی دیگر فرایند تبدیل، باند بسامد (گستره بسامد مؤلفه‌های مختلف یک موج) یک موج داده را به باندهای بسامد بالاتر ترفیع می‌بخشد تا فرارسانی آن ایمن و کم مخاطره انجام شود. از این رو لازم است باندهای مختلف بسامد در مخابرات رادیویی و نقش آنها را بیشتر بررسی کنیم.

باندهای بسامد در بحث تبدیل امواج

در مبحث تبدیل امواج، برای اشاره به باندهای مختلف بسامد اصطلاحات خاصی مطرح است. یک *باند بسامد*^۱ محدوده خاصی از بسامدهای مختلف است. این اصطلاحات عبارتند از:

• باند پایه^۲

به گستره بسامدهای موج داده اصلی که هنوز تبدیل روی آن صورت نگرفته است، باند پایه گفته می‌شود.

1. Frequency Band

2. BaseBand

● باند جانبی^۱

باند بسامدی است که در پائین یا بالای باند بسامد موج حامل قرار دارد و شامل بسامدهایی است که طی فرایند تبدیل ایجاد شده‌اند.

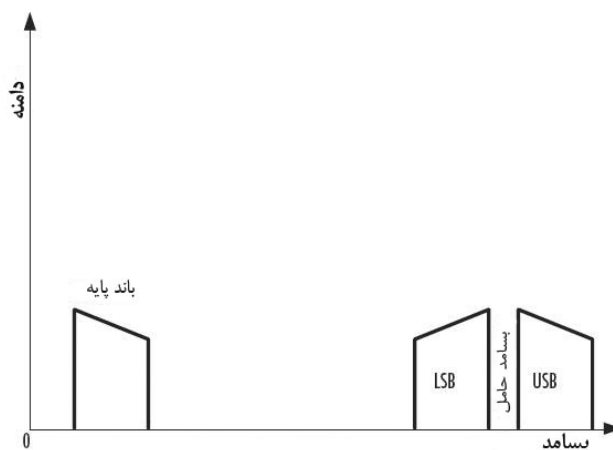
● باند جانبی بالا (USB)^۲

باندی جانبی است که بالای باند بسامد موج حامل قرار دارد.

● باند جانبی پائین (LSB)^۳

باندی جانبی است که پائین باند بسامد موج حامل قرار دارد.

به شکل ۲-۲ توجه کنید. اطلاعات (داده‌ها) از طریق باندهای جانبی حمل می‌شوند. شما در فصل اول با مشخصه‌های اصلی یک موج یعنی دامنه، بسامد و فاز آشنا شدید. حال شاید از خودتان بپرسید در حین فرایند تبدیل کدام یک از مشخصه‌های یک موج تغییر خواهد کرد؟ پاسخ آن است که در این فرایند می‌توان هر کدام از مشخصه‌های موج را به دلخواه تغییر داد و بر همین اساس نیز تبدیل انواع مختلفی پیدا می‌کند.



شکل ۲-۲: در فرایند تبدیل، این باندهای جانبی هستند که اطلاعات را حمل می‌کنند

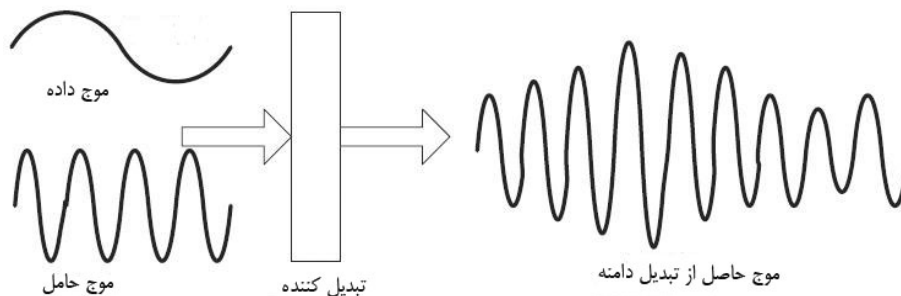
1. SideBand
2. Upper SideBand
3. Lower SideBand

انواع تبدیل (مُدولاسیون)

بسته به اینکه فرایند تبدیل روی کدامیک از مشخصه‌های موج حامل صورت گیرد نوع تبدیل متفاوت خواهد بود. به‌عنوان مثال اگر تبدیل روی دامنه موج حامل اعمال شود تبدیلی از نوع دامنه خواهیم داشت. به همین شکل تبدیل بسامد و تبدیل فاز نیز، به ترتیب تغییر در بسامد و فاز موج حامل را در پی خواهند داشت.

تبدیل دامنه (AM) و رمزگذاری با جابه‌جایی دامنه (ASK)

تبدیل دامنه^۱ روشی است که طی آن دامنه (فاصله قله تا دره و لتاژ) موج حامل به‌صورت تابعی از زمان و متناسب با طول موج داده‌ها، تغییر داده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲-۳ می‌بینید، موج حامل اولیه، در ابتدا دارای دامنه ثابتی است اما پس از تبدیل، ارتفاع هر فراز و فرود آن با پستی و بلندی‌های موج داده‌ها تناسب یافته است.



شکل ۲-۳: سوارسازی موج داده‌ها روی موج حامل

در این روش موجی تولید می‌شود که توان آن در دو بخش بسامد موج حامل و باندهای بسامد جانبی متمرکز و تقسیم شده است. پهنای هر یک از باندهای جانبی با پهنای باند موج حامل اولیه (تبدیل نیافته) برابر بوده و هر باند جانبی تصویر باند جانبی دیگر است. این نوع تبدیل را تبدیل دو بانده همراه با حامل^۲ یا DSB-FC می‌نامند و بدان معناست که در این نوع تبدیل برای فرارسانی اطلاعات از کل توان دو باند جانبی به اضافه توان موج حامل استفاده می‌شود. این نوع تبدیل را به اختصار تبدیل دو بانده (یا DSB) نیز می‌گویند. دو ایراد اساسی به این نوع تبدیلات وارد است:

۱. تنها یکی از باندهای جانبی برای فرارسانی اطلاعات کفایت می‌کند (زیرا باندهای جانبی هر دو مشابهند) و استفاده از هر دو باند چیزی جز اتلاف بی‌مورد توان را در پی نخواهد داشت.

1. Amplitude Modulation

2. Double Side Band Full Carrier

۲. نیمی از کل توان صرف باند بسامد موج حامل که حاوی هیچ‌گونه اطلاعاتی نیست، می‌شود. راهکار رفع ایرادات فوق این است که یا توانی صرف ارسال موج حامل اصلی نشود و یا ارسال یکی از باندهای جانبی را متوقف کنیم. راهکار دیگری نیز می‌تواند وجود داشته باشد و آن ترکیبی از راهکارهای قبلی است. بر این اساس تبدیل دامنه نیز خود به چند نوع مختلف تقسیم می‌شود:

● **دو بانده همراه با حامل تضعیف شده (DSB-RC):^۱**

در این نوع تبدیل دامنه، از کل توان باندهای جانبی در فرارسانی استفاده می‌شود اما (دامنه) موج حامل تضعیف خواهد شد. به‌طور کلی در این نوع تبدیل کارهای زیر انجام می‌شود:

- بسامدهای حاصل از این نوع تبدیل به‌صورت کاملاً متقارن در بالا و پائین باند بسامد موج حامل قرار داده می‌شوند.
- دامنه موج حامل ارسالی، تضعیف شده و در سطح پائین‌تری نسبت به سطح موج حامل اصلی (یعنی موج حامل پیش از تبدیل) قرار می‌گیرد.

● **دو بانده همراه با حامل فرو نشسته (DSB-SC):^۲**

نوع خاصی از تبدیل دامنه DSB-RC است که برای اجرای آن، کار کمی متفاوت‌تر است:

- بسامدهای حاصل از این نوع تبدیل به صورت کاملاً متقارن در بالا و پائین باند بسامد موج حامل قرار داده می‌شوند.
- سطح دامنه موج حامل ارسالی تا پائین‌ترین سطحی که از لحاظ عملی امکان‌پذیر است تضعیف یا اصطلاحاً فرونشسته می‌شود.

● **تک بانده (SSB):^۳**

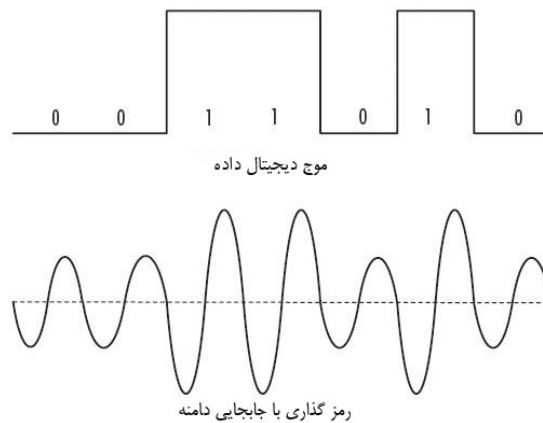
نوع خاصی تبدیل دامنه است که تنها از یک باند جانبی در آن استفاده می‌شود. در این نوع تبدیل موج حامل نیز با همان دامنه اصلی و بدون تغییر ارسال خواهد شد و به همین دلیل آن را *تبدیل تک بانده همراه با حامل*^۴ (SSB-FC) هم می‌نامند. توجه داشته باشید که در یک تبدیل دامنه نیازی به استفاده از هر دو باند جانبی نخواهد بود و می‌توان یکی از آنها را در سمت فرستنده حذف کرد و درعین حال هیچ داده‌ای را هم از دست نداد. از مزایای این نوع تبدیل می‌توان به توان مصرفی کم فرستنده، اشغال پهنای باند کمتر برای ارسال (تقریباً به اندازه نصف پهنای باند لازم در DSB) و همچنین توان تحمل نویز بالاتر در سمت گیرنده اشاره کرد.

1. Double Side Band Reduced Carrier
 2. Double Side Band Suppressed-Carrier
 3. Single Side Band
 4. Single Side Band Full Carrier

● تک بانده همراه با حامل فرونشسته (SSB-SC):

نوع خاصی از تبدیل SSB است که در آن ارسال خود موج حامل نیز متوقف می‌شود. در این روش با توقف موج حامل و یکی از باندهای جانبی، میزان کارایی سامانه تبدیل به‌طور نسبی افزایش می‌یابد. درحالتی که موج داده‌ها یک موج دیجیتال باشد تبدیل دامنه را رمزگذاری (کلیدزنی) یا جابجایی دامنه^۱ یا ASK گویند. استفاده از واژه (کلیدزنی) در این عبارت دلیل تاریخی دارد و به زمان کاربری تلگراف باز می‌گردد. در آن زمان اپراتورها با قطع و وصل کردن یک کلید در فواصل زمانی مشخص پیام‌ها را رمزگذاری و ارسال می‌کردند. در اینجا رمزگذاری (کلیدزنی) روی مشخصه‌ای از موج، مثل دامنه، بسامد و یا فاز آن، انجام می‌شود تا موج داده‌ها برای نمایش یک‌ها یا صفرها تغییر یابد.

در ASK برای نمایش داده‌های دودویی، دامنه موج حامل تغییر داده می‌شود. در این روش برای ارسال اطلاعات دودویی، به هر کدام از الگوهای بیتی دامنه‌های متفاوتی اختصاص داده می‌شود. نمونه‌ای از تبدیل ASK را می‌توانید در شکل ۲-۴ مشاهده کنید. این شکل نمونه‌ای از یک موج حامل تبدیل یافته که برای ارسال موجی از داده‌های دودویی (به ارزش 0011010) تولید می‌شود را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که دوره تناوب موج تبدیل یافته با دوره تناوب موج اصلی یکسان بوده و تنها دامنه موج تغییر پیدا کرده است. در این مثال دامنه‌ای به اندازه یک واحد، نشان‌دهنده داده دودویی صفر و دامنه‌ای به اندازه دو واحد، نشان‌دهنده داده دودویی یک است.



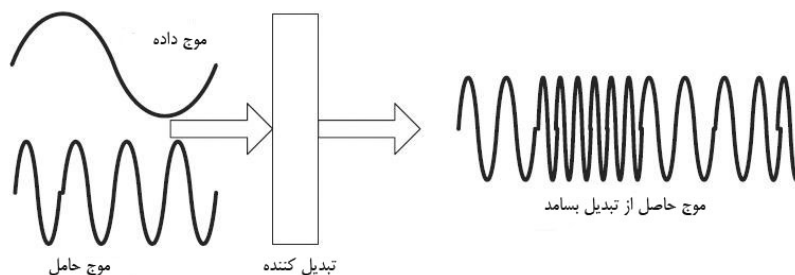
شکل ۲-۴: نمونه‌ای از رمزگذاری با جابجایی دامنه (ASK)

رمزگذاری موج حامل را می‌توان به جای جابجایی دامنه با جابجایی یا تغییر بسامد آن انجام

داد.

تبدیل بسامد (FM) و رمزگذاری با جابه‌جایی بسامد (FSK)

در تبدیل بسامد^۱ اطلاعات با تغییر در بسامد موج حامل تولید می‌شوند. درحالی‌که در تبدیل دامنه، تنها دامنه موج حامل تغییر می‌کند و بسامد آن ثابت باقی می‌ماند. در کاربردهای آنالوگ این روش، بسامد موج حامل درست متناسب با تغییرات دامنه موج داده‌ها تغییر داده می‌شود.



شکل ۲-۵: نمونه‌ای از یک تبدیل بسامد

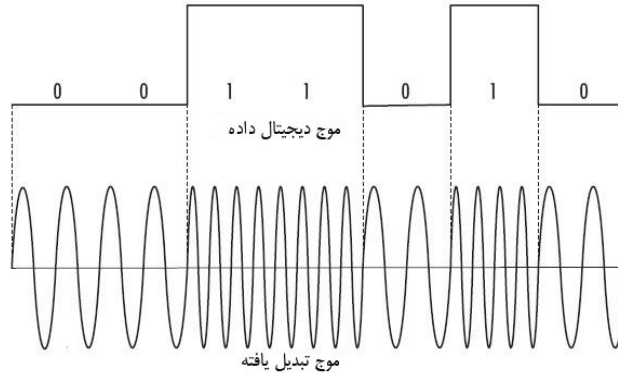
اگر موج داده‌ها یک موج دیجیتال باشد تبدیل بسامد را رمزگذاری با جابه‌جایی بسامد^۲ یا FSK می‌گویند. در این حالت به ازاء هر کدام از داده‌های دیجیتال، بسامد موج حامل به اندازه خاصی تغییر می‌کند.

نکته: معمولاً برای ارسال امواج از باند بسامدهای فوق بالا (UHF)، از روش تبدیل بسامد و برای ارسال امواج صوتی (باند LF) از روش تبدیل دامنه استفاده می‌شود.

پس در FSK برای نمایش هر داده دیجیتال بسامد موج حامل تغییر داده می‌شود به این ترتیب اطلاعات دودویی با استفاده از امواجی با بسامدهای متفاوت که به ازای هر کدام از الگوهای بیتی در نظر گرفته شده‌اند ارسال می‌شوند (یک بسامد نشان‌دهنده یک و بسامد دیگر نشان‌دهنده صفر دودویی خواهد بود). واضح است که اندازه بسامدهای انتخاب شده باید متناسب با پهنای باند کانال فراسانی باشد.

شکل ۲-۶ نمونه ساده‌ای از تبدیل یک موج به روش FSK را نشان می‌دهد. موج تبدیل یافته عدد دودویی 0011010 را در خود حمل می‌کند.

1. Frequency Modulation
2. Frequency Shift Keying



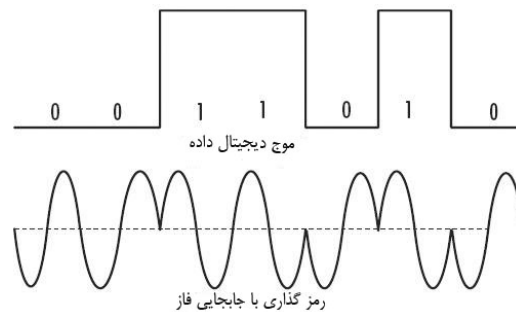
شکل ۲۶: نمونه‌ای از رمزگذاری با جابه‌جایی بسامد (FSK)

حال اگر به جای تغییر دامنه یا بسامد، فاز موج حامل تغییر داده شود تبدیل را تبدیل فاز می‌گویند.

تبدیل فاز (PM) و رمزگذاری با جابه‌جایی فاز (PSK)

تبدیل فاز^۱ نوع دیگری تبدیل است که از تغییر فاز موج حامل برای نمایش اطلاعات استفاده می‌کند. تبدیل فاز برخلاف تبدیل دامنه و بسامد کاربرد زیادی ندارد. اگر تبدیل فاز برای فرارسانی امواج داده دیجیتال به کار رود آن را رمزگذاری با جابه‌جایی فاز^۲ یا PSK می‌گویند.

بنابراین رمزگذاری با جابه‌جایی فاز روشی است که در آن نمایش داده‌های دیجیتال با جابه‌جایی در روند تناوب موج حامل صورت می‌گیرد. در این روش برای ارسال اطلاعات دودویی، هر الگوی بیتی فاز متفاوتی نسبت به الگوی بیتی دیگر دارد. شکل ۲۷-۲ نمونه‌ای از رمزگذاری با جابه‌جایی فاز را نشان می‌دهد.



شکل ۲۷: نمونه‌ای از رمزگذاری با جابه‌جایی فاز (PSK)

1. Phase Modulation
2. Phase Shift Keying