فصل اول : مقدمه‌ای بر سیستمهای مخابراتی

۱-۱- مقدمه

در سیستمهای مخابراتی اطلاعات بصورت سیگنال‌های الکتریکی مخابره یا ارسال می‌شود. شکل موج این سیگنالها پیچیده بوده (پیچیدگی سیگنال به معنی این است که نمی‌توان آنرا با یک تابع ساده ریاضی مدل کرد) و دائماً در حال تغییرند (با گذشت زمان شکل موج تغییر پیدا می‌کند)؛ ولی طیف فرکانسی آنها با توجه به منبع سیگنال و یا فیلترهای موجود در قسمت فرستنده محدود می‌گردد.

سیگنال‌ها می‌توانند توصیف کننده پدیده‌های فیزیکی گوناگونی باشند و برای آشکارسازی آنها از سنسورهای متفاوتی استفاده می‌شود؛ مانند آشکارسازی سیگنال صوت با استفاده از یک میکروفن و یا آشکارسازی سیگنال تصویر با استفاده از دوربین. در اغلب موارد اطلاعات مربوط به یک سیگنال در یک منحنی متغیر زمانی, فرکانسی, یا حوزه‌های دیگر نهفته شده است.

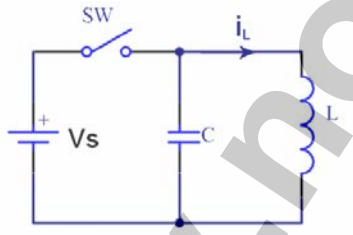
بعنوان مثال برای نمایش یک موج سینوسی بر حسب زمان داریم:

$$x(t) = A\cos(\omega_0 t + \phi) = \frac{A}{2}(e^{i(\omega_0 t+\phi)} + e^{-i(\omega_0 t+\phi)}) \qquad (۱-۱)$$

که در رابطه فوق $\omega_0 = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ فرکانس بر حسب رادیان بر ثانیه است. پارامتر T معمولا برای توابع متناوب تعریف می‌شود و برابر با مدت زمانی است که طول می‌کشد تا یک سیکل تکرار گردد.

* **نکته :** سیگنال یک تعریف برای بیان چگونگی اطلاعات گرفته شده از یک سنسور است, در حالیکه فرکانس, فاز و دامنه جزء مشخصه‌های یک سیگنال می‌باشند.

برای تولید یک شکل موج سینوسی ساده‌ترین راه، استفاده از یک مدار LC است. همانطور که در مدار شکل ۱-۱ نشان داده شده است, با وصل کردن کلید و قطع سریع آن (پالس ضربه), با توجه به اینکه در مدار مقاومتی وجود ندارد, خازن سریع شارژ می‌شود. در اینحالت جریان عبوری از سلف از رابطه زیر بدست می‌آید:



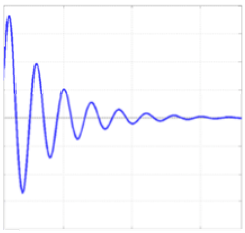
$$I_L = V_S\sqrt{\frac{C}{L}}\sin\omega_0 t$$
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (۲-۱)$$

شکل ۱-۱: مدار نوسان‌ساز LC

همانطور که رابطه فوق نشان می‌دهد در اینحالت جریان سلف یک موج سینوسی است که با فرکانس $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ نوسان می‌کند. بعنوان مثال در صورتیکه در مدار شکل فوق $C = 1nF$, $L = 1mH$ و $V_S = 2v$ باشد, دراینصورت $I_L(t) = 2\sin 10^6 t\ mA$ است. اما با توجه به اینکه در عمل, سلف و یا خازن ایده‌ال نیستند (بعلت مقاومت داخلی سری شده

www.noandishaan.com

با خازن یا سلف واقعی)، بعد از مدتی توان در مدار تلف شده و همانگونه که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است, با گذشت زمان شکل موج خروجی (جریان سلف)، میرا می‌شود. سرعت میرایی رابطه مستقیمی با مقدار مقاومت دارد.



شکل ۱-۲: جریان سلف به ازای ورودی ضربه در مدار LC موازی عملی

۱-۲- مفهوم تحلیل و سنتز فرکانسی

منظور از تحلیل فرکانسی یک موج بدست آوردن اجزای کسینوسی و سینوسی آن به کمک تبدیلات ریاضی است که معمولا این مقادیر توسط تحلیل یا تبدیل فوریه محاسبه می‌شود. مفهوم سنتز فرکانسی بمعنی ساخت یک موج با جمع کردن امواج سینوسی و کسینوسی است. این دو تعریف عکس یکدیگر بوده و کاملاً با هم متفاوتند .

برای درک بهتر این مفاهیم و بعنوان نمونه، یک شکل موج پالسی را در نظر بگیرید. در صورت بدست آوردن تبدیل فوریه این شکل خواهید دید که یک پالس در واقع مجموعه‌ای از توابع سینوسی با فرکانسهای مختلف است. در صورت عبور پالس از یک فیلتر پایین‌گذر (حذف مولفه‌های فرکانس بالا), لبه‌های پالس هموار خواهد شد و در صورتیکه پالس را از یک فیلتر بالاگذر (حذف فرکانسهای پایین) عبور دهیم, سطح پالس تغییر خواهد کرد. این مطلب نشان می‌دهد که در یک شکل موج پالسی، سطح پالس توسط فرکانس‌های پایین ساخته می‌شود, در حالیکه قسمت بالارونده یا پایین‌رونده آن, توسط فرکانس‌های بالا ایجاد می‌گردد.

در حالت کلی و در مبحث پردازش سیگنالها, در بررسی زمانی یک سیگنال مکانهایی که تغییرات شدید داریم, مبین فرکانسهای بالا و مکانهایی که تغییرات کمی داریم, مبین فرکانسهای پایین است.

۱-۳- یافتن مؤلفه‌های فرکانسی یک سیگنال

بسته به اینکه سیگنال مورد مطالعه متناوب یا غیر متناوب و پیوسته یا گسسته زمانی باشد, از تحلیل فوریه و یا تبدیل فوریه برای بدست آوردن مولفه‌های فرکانسی استفاده می‌شود. در صورتیکه سیگنال *پیوسته و متناوب* زمانی (با دوره تناوب T) باشد, می‌توان آنرا بصورت زیر نوشت:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=-\infty}^{+\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \qquad (۳-۱)$$

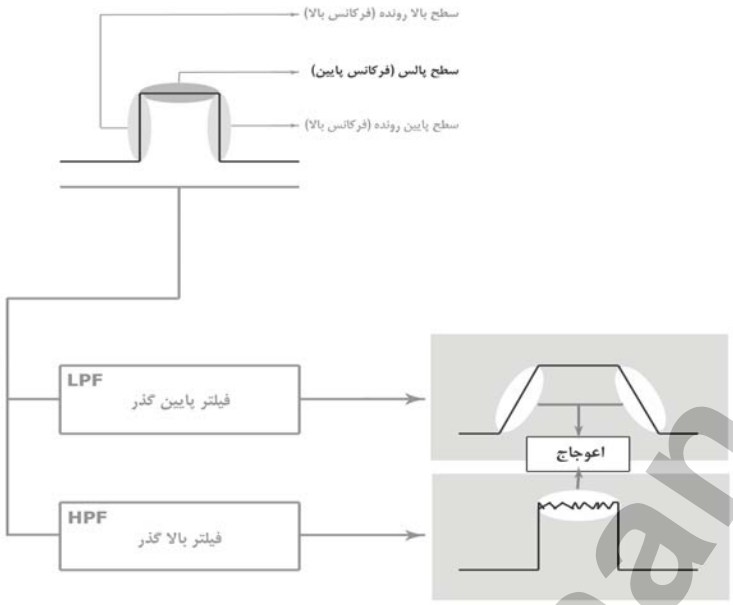
که در رابطه فوق ضرایب a_n و b_n از روابط زیر بدست می‌آیند:

$$a_n = \frac{1}{T} \int_{d-T/2}^{d+T/2} x(t) \cos n\omega t \qquad (۴-۱)$$

$$b_n = \frac{1}{T} \int_{d-T/2}^{d+T/2} x(t) \sin n\omega t \qquad (۵-۱)$$

* **نکته:** در صورت *گسسته* بودن سیگنال, در رابطه فوق کافیست بجای انتگرال, زیگما قرار داده شود.

www.noandishaan.com



شکل ۱-۳: با عبور یک سیگنال پالس از فیلتر پایین‌گذر با حذف مولفه‌های فرکانس بالا، سیگنال شکل موج اول و با عبور از یک فیلتر بالا گذر با حذف مولفه‌های فرکانس پایین، شکل موج دوم حاصل می‌شود.

برای یافتن مولفه‌های فرکانسی یک شکل موج *غیر متناوب و پیوسته* زمانی از تبدیل فوریه استفاده می‌کنیم. در اینحالت داریم:

$$X(\omega) = \frac{1}{T_0}\int x(t)\, e^{-j\omega t} dt \qquad (۱-۶)$$

که در رابطه فوق T_0 بازه‌ای است که در آن شکل موج قرار گرفته است و $X(\omega)$ شکل موج انتقال یافته به حوزه فرکانس است.

با استفاده از روابط تحلیل و تبدیل فوریه می‌توان طیف فرکانسی یک سیگنال که از کنار هم قرار دادن مولفه‌های فرکانسی یک سیگنال بر حسب انرژی آنها بدست می‌آید و پهنای باند آنرا بدست آورد. همچنین با استفاده از روابط معکوس تبدیل و تحلیل فوریه می‌توان به کمک مولفه‌های فرکانسی یک سیگنال, مولفه‌های زمانی آنرا محاسبه نمود.

بطور خلاصه با استفاده از تحلیل فوریه می‌توان یک تابع متناوب را بر حسب مجموعه‌ای از توابع سینوسی و کسینوسی بدست آورد. همچنین به کمک تبدیل فوریه می‌توان تابع فرکانسی یک سیگنال غیر متناوب را بدست آورد.

* **نکته:** در مدارات مخابراتی با افزایش پهنای باند سیستم می‌توان اطلاعات بیشتری را ارسال نمود, اما پیچیدگی مدار افزایش می‌یابد. به همین علت سعی بر این است که تا حد ممکن پهنای باند سیستم کم شود. با توجه به اینکه سیگنالهای تصویری حاوی اطلاعات بیشتری نسبت به سیگنالهای صوتی می‌باشند, از اینرو مداراتی که برای ارسال تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرند بمراتب پیچیده‌تر از مدارات مخابراتی صوتی می‌باشند.

۱-٤- سیستمهای مخابرات رادیویی

ساده‌ترین سیستمی که به عنوان یک سیسنم رادیویی ابداع گردید، سیستم کد مورس بود. در اینحالت برای ارسال اطلاعات از یک موج تک فرکانسی استفاده می‌شود. در این سیستم هر حرف, بصورت رشته‌ای از صفر و یک کد می‌گردد و

www.noandishaan.com

ارسال سیگنال بمنزله یک و عدم ارسال آن بمنزله صفر می‌باشد. در قسمت گیرنده سیگنال ارسال شده دریافت شده و سپس کد موردنظر و واژه معادل آن آشکار می‌گردد.

با توجه به اینکه در اکثر سیستم‌های مخابراتی حجم وسیعی از اطلاعات ارسال می‌گردد، در اینحالت پهنای باند فرکانسی وسیعی موردنیاز است. بنابراین از این سیستم برای ارسال اطلاعات از یک مسیر مشترک نمی‌توان استفاده کرد؛ زیرا جداسازی آنها در گیرنده ممکن نیست. از طرف دیگر برای ارسال و دریافت بهتر یک شکل موج بایستی طول آنتن قسمت فرستنده و یا گیرنده نصف طول موج سیگنال پیام باشد. از طرفی با ثابت در نظر گرفتن سرعت موج $(C = 3\times10^8\, m/s)$, طول موج سیگنال با فرکانس آن رابطه معکوس دارد. از اینرو برای سیگنالهای فرکانس پایین, طول آنتن بایستی بسیار زیاد باشد.

۱-۵- اجزای یک سیستم رادیویی

فرایندی که به کمک آن می‌توان با تبدیل شکل موج پیام آنرا به قسمت گیرنده ارسال نمود, مدولاسیون نامیده می‌شود. برای مدوله کردن یک سیگنال می‌توان از مشخصه‌های دامنه, فرکانس و یا فاز آن استفاده نمود. مدولاسیون در واقع سوار کردن موج پیام بر روی یک موج حامل یا کریر است. بدین علت از مدولاسیون استفاده می‌شود که طول آنتن را مستقل از فرکانس سیگنال پیام و فقط وابسته به موج کریر می‌کند. در شکل ۱-۴ نمودار بلوکی یک سیستم رادیویی ساده نشان داده شده است. در سیستمهای پیچیده‌تر ممکن است برای افزایش کارایی سیستم چند بلوک اضافه گردد, اما اساس ساختار سیستمهای مخابراتی بصورت زیر است. در ادامه عملکرد هر بلوک تشریح شده است.

۱- منبع سیگنال پیام می تواند میکروفن, دوربین و یا سنسورهای دیگر که اطلاعات را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کنند, باشد.

۲- با استفاده از یک تقویت‌کننده دامنه سیگنال ورودی افزایش می‌یابد و معمولا بهمراه تقویت, سیگنال ورودی نیز فیلتر می‌گردد تا پهنای باند مدار محدود گردد. پهنای باند مدار رابطه مستقیمی با پیچیدگی طراحی مدار دارد.

۳- وظیفه نوسان‌ساز ایجاد یک موج تک فرکانسی رادیویی است. در این قسمت فرکانس حامل یا کسر صحیحی از آن ایجاد می‌گردد. برای افزایش پایداری نوسان‌ساز معمولا از کریستال کوارتز استفاده می‌شود. منظور از پایداری فرکانسی نوسان‌ساز تولید شکل موجی است که تغییرات فرکانسی آن کم باشد.

۴- با استفاده از تقویت‌کننده سطح توان سیگنال به حد لازم می‌رسد. معمولا برای دستیابی به بازده مناسب از تقویت‌کننده کلاس C که دارای بازده ٪۹۰ می‌باشد, استفاده می‌شود.

۵- مدولاتور وسیله‌ای است که ورودیهای ان سیگنال پیام و سیگنال حامل است و خروجی آن سیگنال مدوله شده فرکانس رادیویی است. یکی از مهمترین قسمتهای مدار قسمت فرستنده, بخش مدولاتور آن است.

۶- آنتن امواج الکترومغناطیسی را به امواج الکتریکی و یا بالعکس تبدیل می‌کند. آنتن قسمت فرستنده امواج الکتریکی را به یک موج الکترومغناطیسی با پلاریزاسیون مطلوب تبدیل می‌کند. پلاریزاسیون خاصیتی از موج است که توصیف‌کننده جهت تشعشع آن می‌باشد. اگر تنها یک گیرنده ثابت موردنظر باشد, آنتن طوری طراحی می‌شود که انرژی تشعشعی تا حد ممکن در جهت آنتن گیرنده منتشر شود.

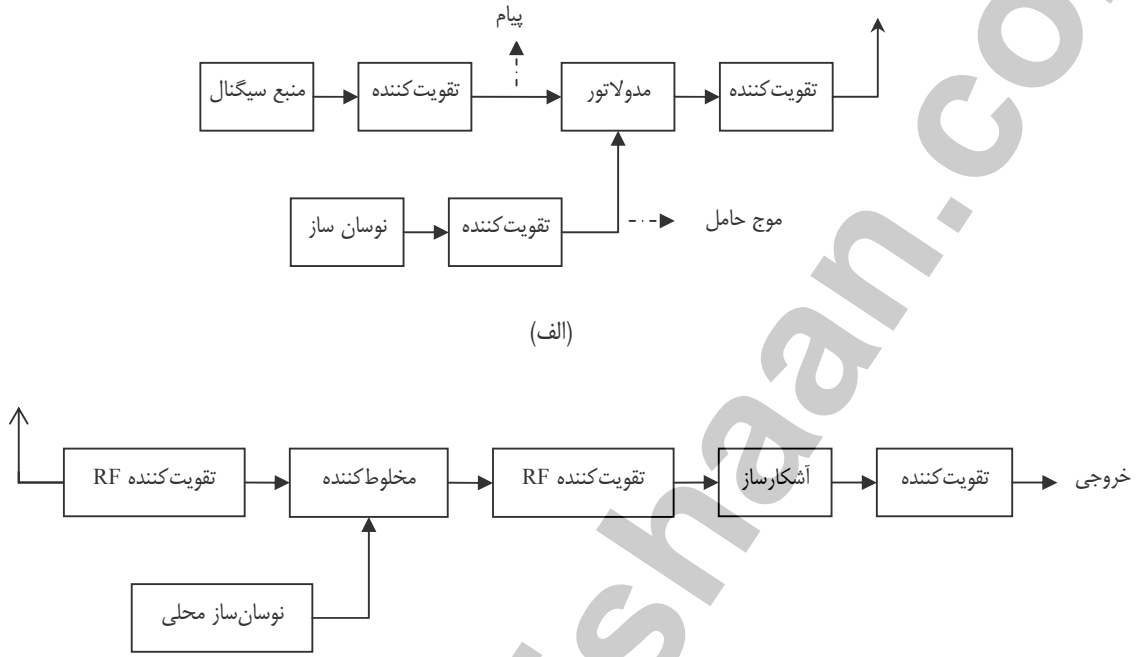
۷- نوسان‌ساز محلی وظیفه تولید یک سیگنال با هدف تبدیل سیگنال به فرکانس مورد نیاز مخلوط کننده را بر عهده دارد.

۸- مخلوط کننده یک عنصر غیر خطی است که ورودی آن دو فرکانس مختلف و خروجی آن یک سیگنال با چندین فرکانس مختلف است که عبارتند از: ۱- جمع فرکانسی سیگنالهای ورودی, ۲- اختلاف فرکانسی سیگنالهای ورودی, ۳-

www.noandishaan.com

فرکانس اصلی دو سیگنال ورودی که در بسیاری از مواقع پارازیتی است و در خروجی فیلتر می‌شود, و ۴- حاصلضرب مدولاسیون داخلی ناخواسته ورودیها.

۹- آشکارساز سیگنال پیام را از سیگنال مدوله شده جدا می‌سازد.



شکل ۱-۴: نمودار بلوکی ساده شده (الف) قسمت فرستنده و (ب) قسمت گیرنده

www.noandishaan.com