

اصول سیستم‌های مخابراتی - بهار ۱۴۰۴

دکتر هادی امیری

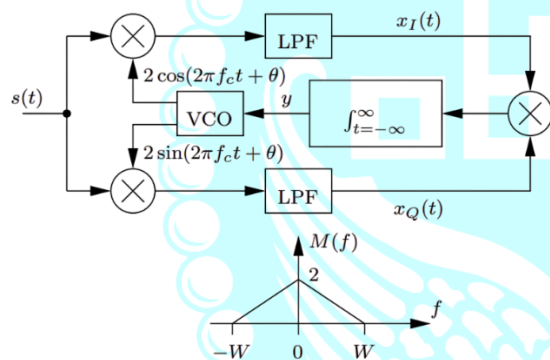
تمرین ۳ : مدولاسیون دامنه

طراح تمرین : امیر مرتضی رضائی

۱. سیستم نشان داده شده در شکل زیر را در نظر بگیرید. سیگنال ورودی  $s(t)$  به صورت زیر است:

$$s(t) = m(t) \cos(2\pi f_c t)$$

که در آن  $m(t)$  یک سیگنال پیام با مقادیر حقیقی است. طیف  $m(t)$  در شکل نشان داده شده است. فیلترهای پایین‌گذر (LPF) ایده‌آل هستند و در باند عبور  $[-W, W]$  بهره‌ای برابر با ۲ دارند. همچنین داده شده است که  $f_c \gg W$ .



(الف) سیگنال‌های  $x_I(t)$ ،  $x_Q(t)$  و  $y$  را تعیین کنید.

(ب) برای چه مقادیری از  $\theta$ ،  $y$  برابر با صفر خواهد بود؟

۲. خروجی یک مدولاتور دامنه به‌ازای سیگنال پیام تک‌تون (کسینوسی) به‌صورت زیر است:

$$s(t) = A \cos(\pi 400t) + B \cos(\pi 360t) + B \cos(\pi 440t).$$

توان حامل ۱۰۰ وات و بازدهی توان (نسبت توان باندهای جانبی به توان کل) ۴۰٪ است.

(الف) رابطه‌ای برای بازدهی توان برحسب  $\mu$  (ضریب مدولاسیون) دست آورید.

(ب) مقادیر  $A$ ،  $B$  و ضریب مدولاسیون  $\mu$  را محاسبه کنید.



۳. با استفاده از سیگنال پیام

$$m(t) = \frac{1}{1+t^2},$$

سیگنال مدوله شده را برای حالات زیر محاسبه کنید:

(الف) مدولاسیون دامنه (AM) با ضریب ۵۰٪. (حامل به صورت کسینوسی در نظر گرفته شود).

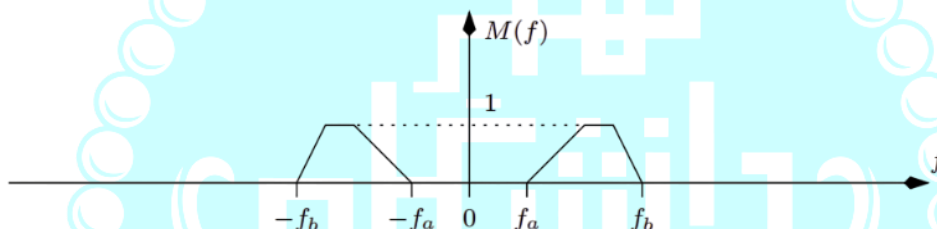
(ب) مدولاسیون DSB-SC. (حامل به صورت کسینوسی در نظر گرفته شود).

(ج) مدولاسیون USSB.

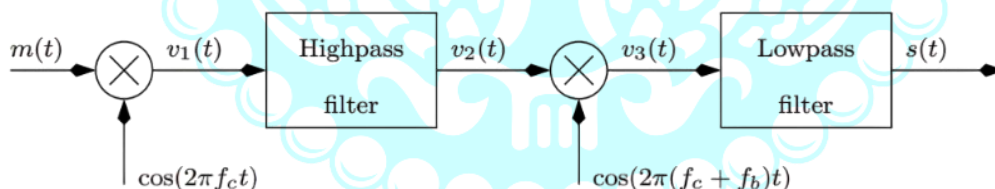
توجه کنید که در تمامی موارد، مساحت زیر منحنی تبدیل فوریه سیگنال مدوله شده باید برابر با یک باشد.

(راهنمایی: تبدیل هیلبرت سیگنال  $m(t)$  به صورت  $\hat{m}(t) = \frac{t}{1+t^2}$  می باشد. چرا؟ امتیازی)

۴. طیف سیگنال صوتی  $m(t)$  در خارج از بازه  $f_a < |f| < f_b$  صفر است (مطابق شکل).



برای حفظ حریم خصوصی ارتباطات، این سیگنال به یک سیستم اسکرامبلر به شکل زیر اعمال می شود که از اجزای زیر به صورت سری تشکیل شده است: ضرب کننده، فیلتر بالاگذر، ضرب کننده دوم، و فیلتر پایین گذر. موج حامل اعمال شده به ضرب کننده اول دارای فرکانس  $f_c$  است، در حالی که موج حامل اعمال شده به ضرب کننده دوم دارای فرکانس  $f_b + f_c$  است. هر دو موج حامل دارای دامنه واحد هستند. فیلترهای بالاگذر و پایین گذر ایده آل با بهره واحد بوده و هر دو دارای فرکانس قطع یکسان در  $f_c$  هستند. فرض کنید  $f_c > f_b$ .



(الف) طیف سیگنال های  $v_1(t)$ ،  $v_2(t)$  و  $s(t)$  را رسم کرده و عبارت مربوط به  $v_3(t)$  و خروجی اسکرامبلر  $s(t)$  را بدست آورید.

(ب) نشان دهید که سیگنال صوتی اصلی  $m(t)$  را می توان از  $s(t)$  با استفاده از یک آن اسکرامبلر که مشابه همین اسکرامبلر است، بازیابی کرد.



۵. در یک سیستم VSB سیگنال پیام  $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$  به صورت زیر مدوله می‌شود:

$$s(t) = \frac{A_m A_c}{2} [a \cos(2\pi(f_c + f_m)t) + (1-a) \cos(2\pi(f_c - f_m)t)]$$

که  $a$  ضریب تضعیف دو باند کناری نسبت به یکدیگر است. ( $0 \leq a \leq 1$ )

(الف) مولفه‌ی متعامد<sup>۱</sup> این سیگنال را بیابید.

(ب) اگر سیگنال VSB به علاوه‌ی موج حامل  $A_c \cos(2\pi f_c t)$  ارسال شود و آن را از طریق یک آشکارساز دامنه دریافت کنیم، فرمول اعوجاج<sup>۲</sup> ناشی از بخش متعامد را در خروجی به دست آورید. (راهنمایی: پس از افزودن موج حامل، می‌توان پوش سیگنال را به فرم  $E(t) = k[1 + k'm(t)]\sqrt{1 + D(t)}$  بدست آورد که در آن  $k$  و  $k'$  مقادیر ثابت هستند و  $D(t)$  همان اعوجاج است.)

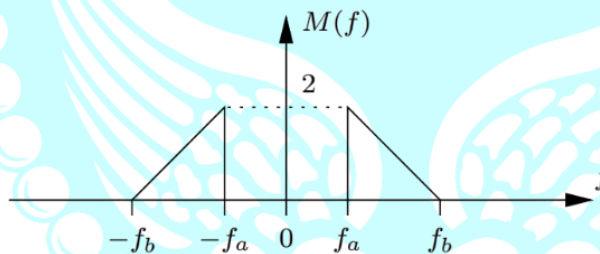
(ج) به‌ازای چه مقدار از  $a$  به‌ترتیب بیشترین و کمترین اعوجاج را داریم؟

۶. سیگنالی به فرم زیر را در نظر بگیرید:

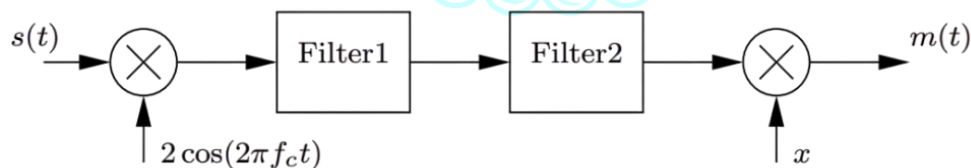
$$s(t) = \hat{m}(t) \cos(2\pi f_c t) - m(t) \sin(2\pi f_c t),$$

که در آن  $\hat{m}(t)$  تبدیل هیلبرت سیگنال  $m(t)$  می‌باشد.

(الف) طیف  $s(t)$  را هنگامی که طیف  $m(t)$  مطابق شکل زیر است، رسم کنید. (نقاط مهم روی محورها را مشخص نمایید.)



(ب) می‌خواهیم  $m(t)$  را از  $s(t)$  با استفاده از طرح نشان داده‌شده در شکل زیر بازیابی کنیم. مشخصات filter1، filter2 و مقدار  $x$  را تعیین کنید.



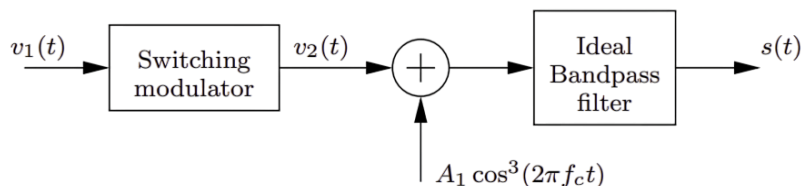
<sup>1</sup> Quadrature component

<sup>2</sup> Envelope detector

<sup>3</sup> distortion



۷. مدولاتور زیر را در نظر بگیرید:



که داریم:

$$v_1(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + m(t)$$

$$v_2(t) = v_1(t) g_p(t),$$

$$g_p(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{2n-1} \cos(2\pi f_c (2n-1)t).$$

هدف، بدست آوردن سیگنال AM به نام  $s(t)$  در فرکانس مرکزی  $3f_c$  است.

(الف) طیف فیلتر میان‌گذر ایده‌آل (BPF) مورد نیاز برای تولید  $s(t)$  را رسم کنید. بهره فیلتر را  $k$  و پهنای باند  $m(t)$  را  $[-W, W]$  در نظر بگیرید.

(ب) عبارت  $s(t)$  را با فرض بهره  $k$  برای فیلتر BPF بنویسید.

(ج) با فرض توان حامل ۱۰ وات و مدولاسیون ۱۰۰٪، و حداکثر مقدار مطلق  $m(t)$  برابر ۲ ولت، مقادیر  $A_1$  و  $k$  را محاسبه کنید.

۸. (امتیازی) سیگنال پیام پایین‌گذر  $m(t)$  با پهنای باند  $W$  از طریق روش مدولاسیون USSB منتقل می‌شود:

$$x_c(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) - A_c \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$$

که در آن  $f_c \gg W$ .

(الف) معادل پایین‌گذر سیگنال  $x_c(t)$  را بدست آورید.

(ب) اگر سیگنال حامل با دامنه  $A_p$  به  $x_c(t)$  اضافه شود و آن را  $y(t)$  بنامیم:

$$y(t) = A_p \cos(2\pi f_c t) + x_c(t),$$

پوش سیگنال  $y(t)$  را بیابید.

(ج) تحت چه شرایطی می‌توان سیگنال پیام را تقریباً از  $y(t)$  با استفاده از آشکارساز پوش بازیابی کرد؟