

۱- الف) SSB (ب) FM (ج) AM (د) مدولاسیون پالسی (ه) DSB

۲- SSB تک آهنگ، FM، PPM و PDM

۳- پاسخ ضربه و پاسخ فرکانسی کانال عبارت است از:

$$\begin{aligned} h_c(t) &= 0.4\delta(t) + \delta(t - t_d) + 0.4\delta(t - 2t_d) \\ H_c(f) &= 0.4 + e^{-j\omega t_d} + 0.4e^{-j2\omega t_d} \\ &= e^{-j\omega t_d} (0.4e^{j\omega t_d} + 1 + 0.4e^{-j\omega t_d}) \\ &= e^{-j\omega t_d} (1 + 0.8 \cos \omega t_d) \end{aligned}$$

از رابطه‌ی بالا معلوم می‌شود که:

$$|H_c(f)| = 1 + 0.8 \cos(\omega t_d), \quad \angle H_c(f) = -\omega t_d$$

بنابراین کانال مورد نظر اعوجاج دامنه دارد و اعوجاج فاز ندارد.

پاسخ فرکانسی فیلتر متعادل ساز عبارت است از:

$$H_q(f) = \frac{ke^{-j\omega t_d}}{H_c(f)} = \frac{ke^{-j\omega t_d}}{1 + 0.8 \cos \omega t_d}$$

۴- DSB، SSB و FM استریو

مسئله ۱-

الف) $P_{sb} = \frac{1}{2} A_c^2 \mu^2 S_x$ $S_T = \frac{1}{2} A_c^2 + \frac{1}{2} A_c^2 \mu^2 S_x$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} A_c^2 \mu^2 S_x}{\frac{1}{2} A_c^2 + \frac{1}{2} A_c^2 \mu^2 S_x} \Rightarrow \boxed{\eta = \frac{\mu^2 S_x}{1 + \mu^2 S_x}}$$

ب)

$$\begin{aligned} x_c(t) &= 20 \cos 2\pi 150t + 6 \cos 2\pi 160t + 6 \cos 2\pi 140t \\ &= 20 \cos 2\pi 150t + 6 \cos 2\pi (150 + 10)t + 6 \cos 2\pi (150 - 10)t \\ &= 20 \cos 2\pi 150t + 12 \cos(2\pi 150t) \cos 2\pi 10t \\ &= 20(1 + 0.6 \cos 2\pi 10t) \cos 2\pi 150t \end{aligned}$$

از مقایسه‌ی این رابطه با رابطه‌ی زمانی مدولاسیون AM: $x_c(t) = A_c[1 + \mu x(t)] \cos \omega_c t$ خواهیم داشت:

$$\boxed{\mu = 0.6}$$

$$x(t) = \cos 2\pi 10t$$

و برای محاسبه راندمان:

$$x(t) = \cos 2\pi 10t \Rightarrow S_x = \frac{1}{2}$$

$$\eta = \frac{0.6^2 \times \frac{1}{2}}{1 + 0.6^2 \times \frac{1}{2}} = \frac{9}{59} \Rightarrow \boxed{\eta = 15.25\%}$$

و از فرمول بدست آمده در بند (ب):

$$x(t) = \Pi\left(\frac{t}{2\tau}\right) \cos \omega_c t$$

مسئله ۲- از تعریف $x(t)$ واضح است که:

$$X_1(f) = 2\tau \operatorname{sinc} 2\tau f$$

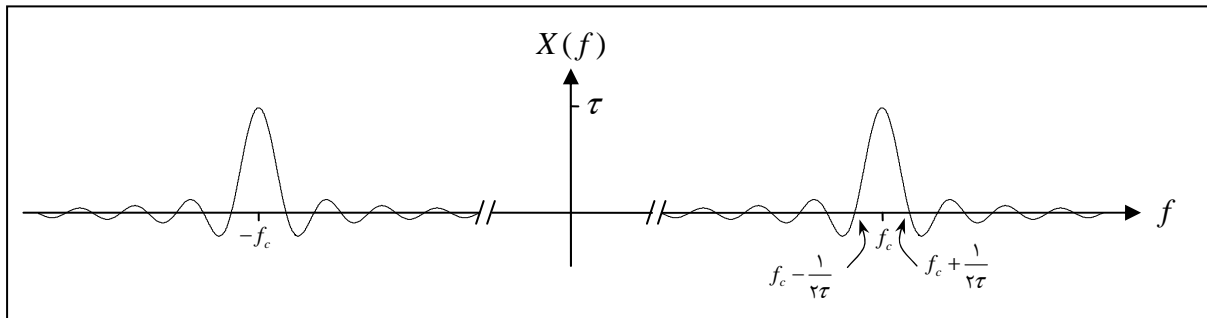
و با فرض $x_1(t) = \Pi\left(\frac{t}{2\tau}\right)$ خواهیم داشت:

بنابراین $x(t)$ به فرم یک سیگنال مدوله‌ی DSB است و داریم:

$$X(f) = \frac{1}{2} X_1(f - f_c) + \frac{1}{2} X_1(f + f_c)$$

بنابراین $X(f)$ به شکل دو نمودار شیفت یافته‌ی تابع سینک می‌باشد:

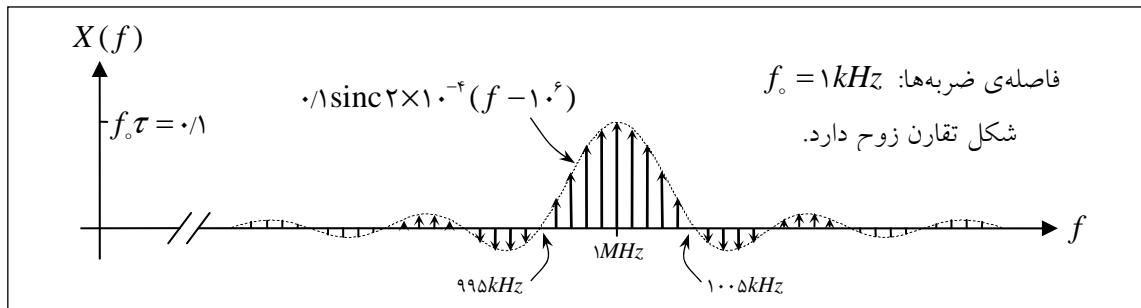
$$X(f) = \tau \operatorname{sinc} 2(f - f_c)\tau + \tau \operatorname{sinc} 2(f + f_c)\tau$$



ب) با تکرار این سیگنال یک سیگنال متناوب بدست می‌آید که آن را $\tilde{x}(t)$ می‌نامیم و ضرایب سری فوریه‌ی آن را بدست می‌آوریم. به این ترتیب خواهیم داشت:

$$\tilde{x}(t) \xrightarrow{FS} c(nf_0) \Rightarrow c(nf_0) = f_0 X(nf_0)$$

زیرا $X(f)$ تبدیل فوریه‌ی یک دوره‌ی تناوت از $\tilde{x}(t)$ است. بنابراین طیف این سیگنال متناوب یک قطار ضربه است که پوش آن تابع $f_0 X(f)$ می‌باشد، به شکل زیر: (تنها قسمت مثبت فرکانس رسم شده است).



$$z_c(t) = A_c \cos\left[\omega_c t + 2\pi f_\Delta \int^t x(\lambda) d\lambda\right], \quad z(t) = az_c^\vee(t) \Rightarrow \text{مسئله ۳- الف}$$

$$z(t) = A_c^\vee \cos^\vee\left[\omega_c t + 2\pi f_\Delta \int^t x(\lambda) d\lambda\right] = \frac{1}{2} A_c^\vee + \frac{1}{2} A_c^\vee \cos\left[2\omega_c t + 2\pi 2 f_\Delta \int^t x(\lambda) d\lambda\right]$$

پس از عبور از فیلتر میان‌گذر قسمت DC سیگنال حذف می‌شود و بنابراین خواهیم داشت:

$$x_c(t) = \frac{1}{2} A_c^\vee \cos\left[2\omega_c t + 2\pi 2 f_\Delta \int^t x(\lambda) d\lambda\right]$$

که یک سیگنال مدوله شده‌ی FM است با فرکانس مرکزی $2f_c$ و انحراف فرکانس $2f_\Delta$ ، بنابراین:

با این روش انحراف فرکانسی دو برابر می‌شود.

ب) واضح است که باید $f_{c_1} = \frac{f_c}{2}$ و $f_{\Delta_1} = \frac{f_{\Delta}}{2}$ باشد تا فرکانس مرکزی و انحراف فرکانسی مورد نظر حاصل شود.
 ج) فرکانس مرکزی فیلتر میان گذر باید f_c و پهنای باند آن $B \geq 2(f_{\Delta} + 2W)$ باشد تا سیگنال مدوله‌ی FM را عبور دهد و قسمت DC را حذف کند.

مسئله ۴- الف) آهنگ نایکویست برای سیگنال‌های مورد نظر عبارتند از:

$$x_1(t), x_p(t) \quad 3/6 \text{ kHz}$$

$$x_p(t), x_f(t) \quad 7/6 \text{ kHz}$$

$$x_{\delta}(t), \quad 15 \text{ kHz}$$

بنابراین برای آنکه بتوان این سیگنال‌ها را با یکدیگر ادغام کرد، فرکانس‌های نمونه برداری ذیل کمترین فرکانس‌های ممکن خواهد بود. (فرکانس‌های نمونه برداری باید بر یکدیگر بخش پذیر باشند).

$$x_1(t), x_p(t) \quad 3/8 \text{ kHz} \quad \text{کمی بیش از آهنگ نایکویست:}$$

$$x_p(t), x_f(t) \quad 7/6 \text{ kHz} \quad \text{برابر آهنگ نایکویست:}$$

$$x_{\delta}(t), \quad 15/2 \text{ kHz} \quad \text{کمی بیش از آهنگ نایکویست:}$$

ب) اگر در هر ثانیه ۷۶۰۰ قاب ارسال شود، می‌توان در هر قاب:

دو پالس از $x_{\delta}(t)$ (که می‌شود $2 \times 7600 = 15200$ پالس در ثانیه)،

یک پالس از $x_p(t)$ و یک پالس از $x_f(t)$ (که می‌شود هرکدام ۷۶۰۰ پالس در ثانیه)،

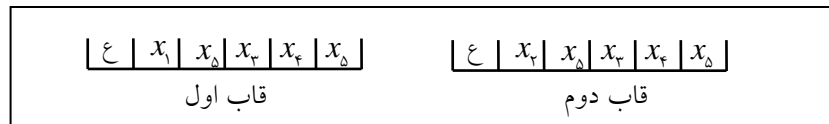
یک پالس از $x_1(t)$ یا $x_p(t)$ یکی در میان و به تناوب (که می‌شود هرکدام $7600/2 = 3800$ پالس در ثانیه)، قرار داد. به

این ترتیب جمعاً ۵ پالس در هر قاب قرار می‌گیرد که با پالس علامت، هر قاب ۶ پالس خواهد داشت، پس،

$$\text{تعداد پالس‌ها در هر قاب} \quad M = 6$$

$$\text{آهنگ سیگنال‌دهی} \quad r = 6 \times 7600 = 45600 \text{ پالس در ثانیه}$$

ج) ترتیب چینش پالس‌ها در دو قاب متوالی می‌تواند به شکل زیر باشد:



توجه کنید که در قاب اول x_1 هست و x_p نیست و در قاب دوم x_p هست و x_1 نیست؛ بنابراین هرکدام با نرخ ۳۸۰۰

نمونه در هر ثانیه ارسال می‌شوند. x_p و x_f هرکدام یک پالس در هر قاب (یعنی ۷۶۰۰ نمونه در ثانیه) دارند. سیگنال $x_{\delta}(t)$

در هر قاب دو نمونه (۱۵۲۰۰ نمونه در ثانیه) دارد. در این چینش پیداست که نمونه‌های هر سیگنال متساوی‌الفاصله هستند.

د) فاصله‌ی دو پالس متوالی $\frac{1}{r}$ می‌شود، پس بنابر فرض مسئله

$$\tau = \frac{1}{2} \times \frac{1}{45600}$$

و در صورت ارسال با مدولاسیون PAM، برای آنکه پالس‌ها در خروجی کانال انتقال قابل تشخیص باشند بایستی

$$B_T \geq \frac{1}{2\tau} = 45600 \text{ Hz}$$

باشد.

ه) در صورتی که سیگنال به صورت PAM/SSB با فیلتر باند پایه مدوله شود حداقل پهنای باند لازم عبارت است از:

$$B_T = \frac{1}{2} r = 22800 \text{ Hz}$$

و) اگر از روش ادغام FDM استفاده شود، با افزودن ۴ باند محافظ ۰/۵ کیلوهرتزی در بین آنها پهنای باند کل می‌شود:

$$B_T = 2 \times 1/8 + 2 \times 3/8 + 7/5 + 4 \times 0/5 = 20/7 \text{ kHz}$$

برای این کار سیگنال‌ها در حوزه‌ی فرکانس چنان کنار هم قرار می‌گیرند که سیگنال اول مدوله نشده و بقیه با رعایت باند محافظ مورد نظر مدوله USSB شده و کنار هم قرار می‌گیرند.