

310098052
304999261

ר"ר שניידר
ר"ר מר

תקשורת מודולציה - 1

PM Modulation (2)

$$V_m(t) = \begin{cases} 1, & |t| \leq T_{m1} \\ 0, & T_{m1} < |t| < T_{m2} \end{cases}$$

$$f_m = \frac{1}{T_m}, \quad T_m \text{ זמן מחזור}$$

$\Delta\phi_{max}$ גודל הפיזיקלי של PM מודולציה $V_m(t)$

$$\phi(t) \triangleq K_{PM} \cdot V_m(t), \quad K_{PM} = \frac{\Delta\phi_{max}}{|V_m(t)|_{max}} \quad \text{פר PM מודולציה קבוע}$$

$$|V_m(t)|_{max} = 1 \Rightarrow K_{PM} = \Delta\phi_{max}, \quad \phi(t) = \Delta\phi_{max} \cdot V_m(t)$$

$$V_{LPE}(t) = 0.5 e^{j\phi(t)} = 0.5 e^{j\Delta\phi_{max} \cdot V_m(t)} \quad // \quad T_m = \frac{1}{f_m} \text{ זמן מחזור}$$

$$V_{LPE} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \cdot e^{j2\pi f_m n t}, \quad C_n = \frac{1}{T_m} \int_{-T_{m2}}^{T_{m2}} V_{LPE}(t) e^{-j2\pi f_m n t} dt \quad \text{דליט פורייה}$$

$$\begin{aligned} C_n &= \frac{1}{2T_m} \int_{-T_{m1}}^{T_{m1}} e^{j\Delta\phi_{max}} e^{-j2\pi f_m n t} dt + \frac{1}{2T_m} \int_{T_{m1}}^{T_{m2}} e^{-j2\pi f_m n t} dt = \\ &= \frac{e^{j\Delta\phi_{max}}}{2j2\pi f_m n T_m} \left(e^{-j\frac{\pi n}{2}} - e^{j\frac{\pi n}{2}} \right) + \frac{1}{2j2\pi f_m n T_m} \left(e^{j\pi n} - e^{j\frac{\pi n}{2}} - (e^{-j\pi n} - e^{-j\frac{\pi n}{2}}) \right) = \\ &= \frac{1}{n} \text{sinc}\left(\frac{n}{2}\right) \cdot \left(e^{j\Delta\phi_{max}} + e^{-j\pi n} \right) = \frac{1}{n} \text{sinc}\left(\frac{n}{2}\right) e^{j\frac{\Delta\phi_{max}}{2}} e^{-j\frac{\pi n}{2}} \left(e^{j(\cdot)} + e^{-j(\cdot)} \right) = \\ &= \text{Exp}\left[j\frac{1}{2}\Delta\phi_{max}\right] \cdot \text{Exp}\left[-j\frac{1}{2}\pi n\right] \cos\left(\frac{1}{2}\Delta\phi_{max} + \frac{1}{2}\pi n\right) \cdot \frac{1}{2} \text{sinc}\left(\frac{n}{2}\right) \end{aligned}$$

$$|C_0| = \cos\left(\frac{1}{2}\Delta\phi_{max}\right) \frac{1}{2} \text{sinc}(0) = \frac{1}{2} \cos\left(\frac{1}{2}\Delta\phi_{max}\right) \quad \text{נדרוש } n=0 \text{ נקודה}$$

$$\text{sinc}\left(\frac{n}{2}\right) = 0 \text{ עבור } |C_n| = 0 \quad \text{נקודה } n \neq 0$$

$$\begin{aligned} \cos(\cdot) &= \cos\left(\frac{1}{2}\Delta\phi_{max}\right) \cos\left(\frac{1}{2}\pi n\right) - \sin\left(\frac{1}{2}\Delta\phi_{max}\right) \sin\left(\frac{1}{2}\pi n\right) \\ &= -\sin\left(\frac{1}{2}\Delta\phi_{max}\right) \sin\left(\frac{1}{2}\pi n\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos\left(\frac{1}{2}\Delta\phi_{max} + \frac{1}{2}\pi n\right) \frac{1}{2} \text{sinc}\left(\frac{n}{2}\right) &= -\sin\left(\frac{1}{2}\Delta\phi_{max}\right) \sin\left(\frac{1}{2}\pi n\right) \cdot \frac{1}{2} \text{sinc}\left(\frac{n}{2}\right) = -\frac{1}{\pi n} \sin\left(\frac{1}{2}\Delta\phi_{max}\right) \sin^2\left(\frac{1}{2}\pi n\right) = \\ &= -\frac{1}{\pi n} \sin\left(\frac{1}{2}\Delta\phi_{max}\right) (1 - \cos(\pi n)) = -\frac{1}{\pi n} \sin\left(\frac{1}{2}\Delta\phi_{max}\right) \end{aligned}$$

$$n_c(\epsilon) \triangleq \min\{n \mid |C_n| \leq \epsilon\} \quad \text{צפיפות קרוסות}$$

$$(1) \Delta\phi_{max} = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \sin\left(\frac{1}{2}\Delta\phi_{max}\right) = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$|C_n| \leq \epsilon \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}\pi n} \leq \epsilon \Rightarrow n \geq \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{\pi \epsilon} \Rightarrow n_c(\epsilon) = \left\lceil \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{\pi \epsilon} \right\rceil$$

$$(2) \Delta\phi_{max} \ll 1 \Rightarrow \sin\left(\frac{1}{2}\Delta\phi_{max}\right) \approx \frac{1}{2}\Delta\phi_{max}$$

$$|C_n| \leq \epsilon \Rightarrow \frac{1}{2\pi n} \Delta\phi_{max} \leq \epsilon \Rightarrow n \geq \frac{1}{2\pi \epsilon} \Delta\phi_{max} \Rightarrow n_c(\epsilon) = \left\lceil \frac{1}{2\pi \epsilon} \Delta\phi_{max} \right\rceil$$

AM and FM Modulations (3)

$Z(t)$ אות $\bar{F} = 2f_m$ $V_m(t) = \cos(2\pi f_m t)$ אות \bar{F}

$X(t) = \cos(2\pi f_c t + 2\pi \Delta f_d \int_{-\infty}^t Z(\tau) d\tau)$: f_c F_M $X(t)$ - $Z(t)$ אות

$V_m(t)$ $Z(t)$ אות SSB $V_m(t)$ $Z(t)$ אות

• USSB: $Z(t) = V_m(t) \cos(2\pi \bar{F} t) - \hat{V}_m(t) \sin(2\pi \bar{F} t) = \cos(2\pi f_m t) \cos(2\pi 2f_m t) - \sin(2\pi f_m t) \sin(2\pi 2f_m t) = \cos(2\pi 3f_m t)$

: $f_m' = 3f_m$ F_M $X(t)$ f_m F_M $X(t)$

$B_x^{USSB} = 2f_m'(1 + \beta_{FM}) = 6f_m(1 + \beta_{FM}) = 6f_m + 2\Delta f_d$ // $\beta_{FM} = \frac{1}{f_m} \Delta f_d = \frac{1}{3f_m} \Delta f_d$

• LSSB: $Z(t) = V_m(t) \cos(2\pi \bar{F} t) + \hat{V}_m(t) \sin(2\pi \bar{F} t) = \cos(2\pi f_m t)$

: f_m F_M $X(t)$ f_m F_M $X(t)$

• $B_x^{LSSB} = 2f_m(1 + \beta_{FM}) = 2f_m + 2\Delta f_d$ // $\beta_{FM} = \frac{1}{f_m} \Delta f_d$

$V_m(t)$ $Z(t)$ אות DSB $V_m(t)$ $Z(t)$ אות

$Z(t) = V_m(t) \cos(2\pi \bar{F} t) = \cos(2\pi f_m t) \cos(2\pi 2f_m t) = \frac{1}{2} \cos(2\pi f_m t) + \frac{1}{2} \cos(2\pi 3f_m t)$

$X(t) = \cos(2\pi f_c t + 2\pi \Delta f_d \int_{-\infty}^t \frac{1}{2} \cos(2\pi f_m \tau) + \frac{1}{2} \cos(2\pi 3f_m \tau) d\tau) =$
 $= \cos(2\pi f_c t + \underbrace{\frac{1}{2} \Delta f_d}_{\beta_1} \sin(2\pi f_m t) + \underbrace{\frac{1}{6} \Delta f_d}_{\beta_2} \sin(2\pi 3f_m t))$

$\varphi(t) = \beta_1 \sin(2\pi f_m t) + \beta_2 \sin(2\pi 3f_m t)$

$V_{LPE} = e^{j\varphi(t)} = \text{EXP}[j\beta_1 \sin(2\pi f_m t)] \cdot \text{EXP}[j\beta_2 \sin(2\pi 3f_m t)]$

• $\text{EXP}[j\beta \sin(2\pi f_m t)] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \text{EXP}[j2\pi f_m n t]$

$C_n = f_m \int_{-\frac{1}{2f_m}}^{\frac{1}{2f_m}} e^{j\beta \sin(2\pi f_m t)} e^{-j2\pi f_m n t} dt = \int_{-\pi}^{\pi} e^{j\beta \sin x} e^{-j2\pi n x} dx = \int_{-\pi}^{\pi} e^{j(\beta \sin x - 2\pi n x)} dx = J_n(\beta)$

$C_0 = J_0(\beta_2)$ $\text{EXP}[j\beta_2 \sin(2\pi 3f_m t)]$ $J_0(\beta_2)$ $J_K(\beta_2)$

$\Rightarrow V_{LPE}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_n(\beta_1) J_k(\beta_2) \frac{e^{j2\pi f_m n t} e^{j2\pi 3f_m k t}}{e^{j2\pi f_m (n+3k)t}}$

$\mathcal{F}\{V_{LPE}(t)\} = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_n(\beta_1) J_k(\beta_2) \delta(f - (nf_m + 3kf_m))$

$\Rightarrow X(f) = V_{LPE}(f - f_c) + V_{LPE}^*(f - f_c)$

$= \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_n(\beta_1) J_k(\beta_2) [\delta(f - (f_c + nf_m + 3kf_m)) + \delta(f + f_c + nf_m + 3kf_m)]$

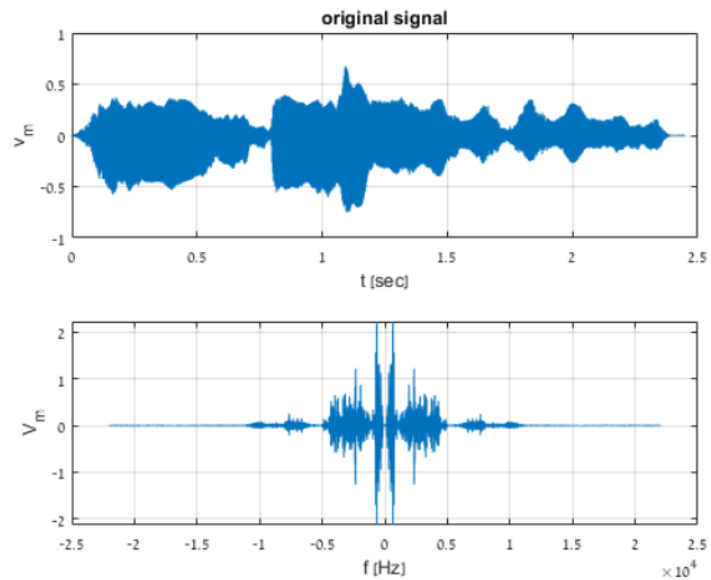
תקשורת מודרנית – עבודת מטלב 1:

:AM and FM Modulation (1

:Data Generator (1.1

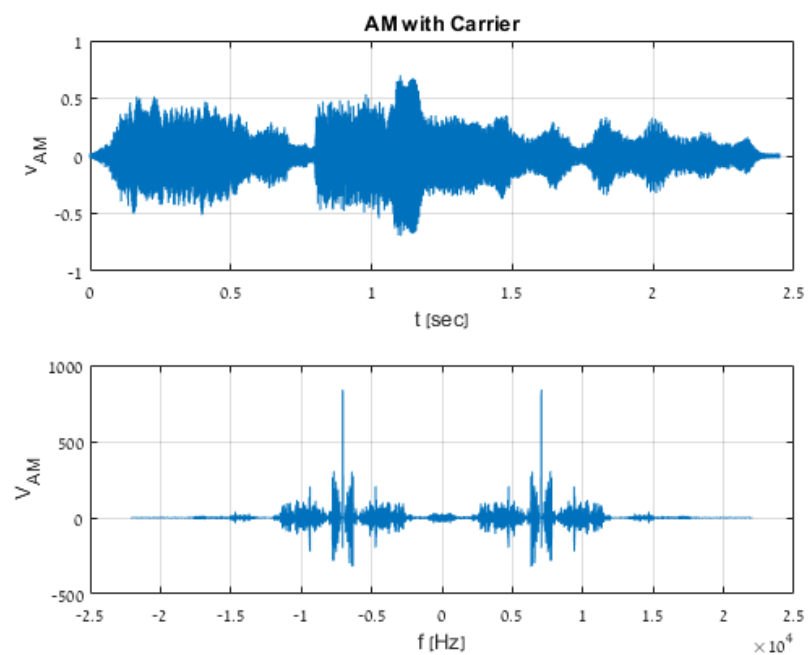
להלן הגרף של $v_m(t)$ ושל $V_m(f)$:

נשים לב כי רוחב הפס הינו 1100Hz.



:Modulator (1.2

לאחר מודולצית אפנון AM יחד עם גל נושא (פונקציית ammod) נקבל את האותות $v_{AM}(t)$, $V_{AM}(f)$. להלן הגרפים שלהם:

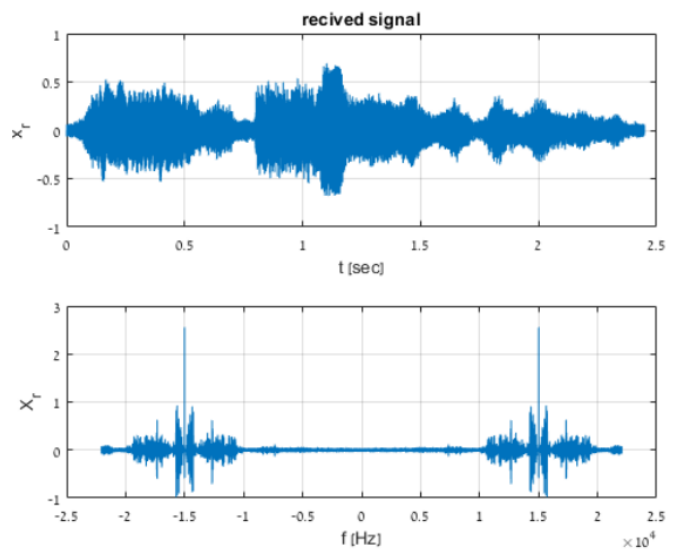


ניתן לראות את ההתנהגות הצפויה לפיה בציר הזמן גל סינוסי המוגבל ע"י הגרף $v_m(t)$. בעוד שבציר התדר קיבלנו שכפול הגרף $V_m(f)$ כאשר נוסף לו הגל נשא.

בהשמעת $v_{AM}(t)$ השמע היה זהה אך בתדר גבוהה עד כדי קושי שמיעה לאוזן האנושית. הדבר יושב בקנה אחד יחד עם הגרף $V_{AM}(t)$ בו רואים שמיקום התדרים גבוה יותר.

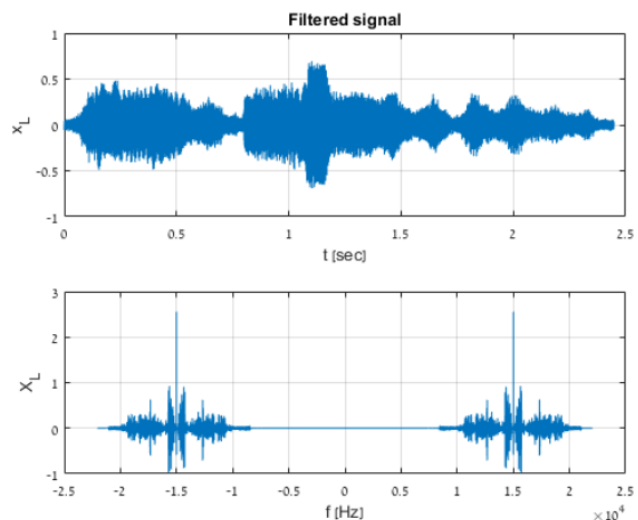
(1.3) Channel:

קבענו כי $\sqrt{\frac{N_0}{2}} = 0.02$ ויצרנו את האות $z(t)$ (ע"י הפונקציה $randn$). הגדרנו את האות המתקבל ע"י $x_r(t) = v_{AM}(t) + z(t)$ {פורייה} $X_r(f)$. להלן הגרפים שלהם:



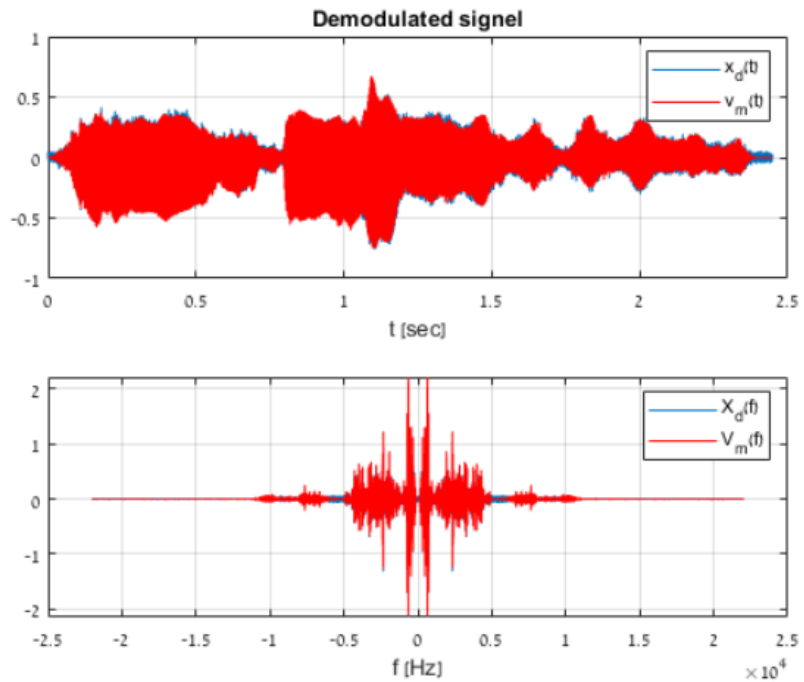
(1.4) Demodulator:

העברנו את $x_r(t)$ במסנן BPF בטווח התדרים $8500\text{Hz}-21000\text{Hz}$ לקבלת $x_L(t)$.
להלן הגרפים של $x_L(t)$ ושל $X_L(f)$:



כעת נבצע demodulation לאות $x_L(t)$ (פונקציית amdemod) ונעביר את האות במסנן LPF בעל תדר מקסימלי של 8500Hz לקבלת $x_d(t)$.

להלן הגרפים של $x_L(t)$, $X_L(f)$, $x_d(t)$, $X_d(f)$:

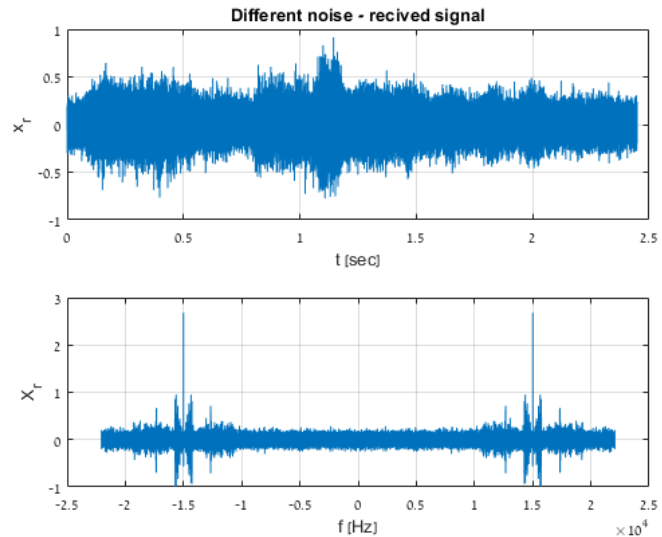


האותות כמעט מתלכדים (הבדלים בגלל חוסר אידיאליות). לאות השמע נוסף רעש סטטי.

קיבלנו בחישוב הקורלציה של האותות 0.9844

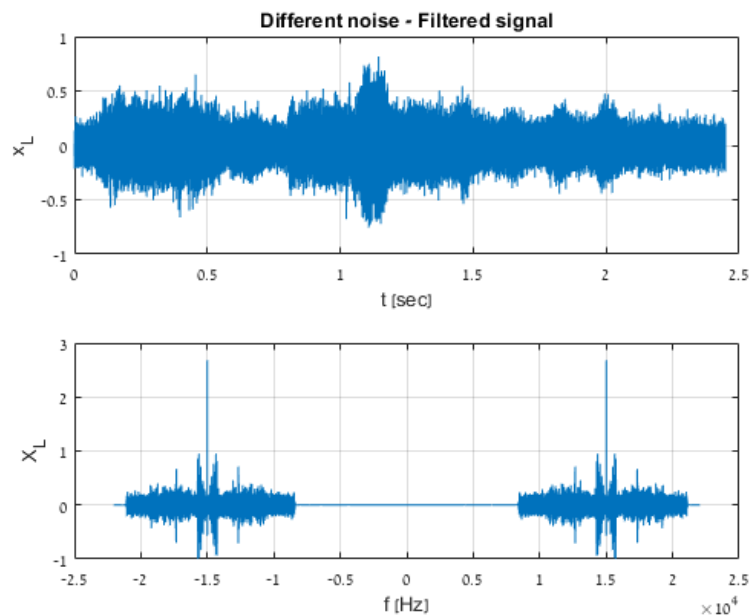
(1.5) Different noise:

קבענו כי $\sqrt{\frac{N_0}{2}} = 0.01$ ויצרנו את האות $z(t)$ (ע"י הפונקציה $randn$). הגדרנו את האות המתקבל ע"י $x_r(t) = v_{AM}(t) + z(t)$ {פורייה} $X_r(f)$. להלן הגרפים שלהם:



כצפוי האות רועש יותר מהמקרה הקודם.

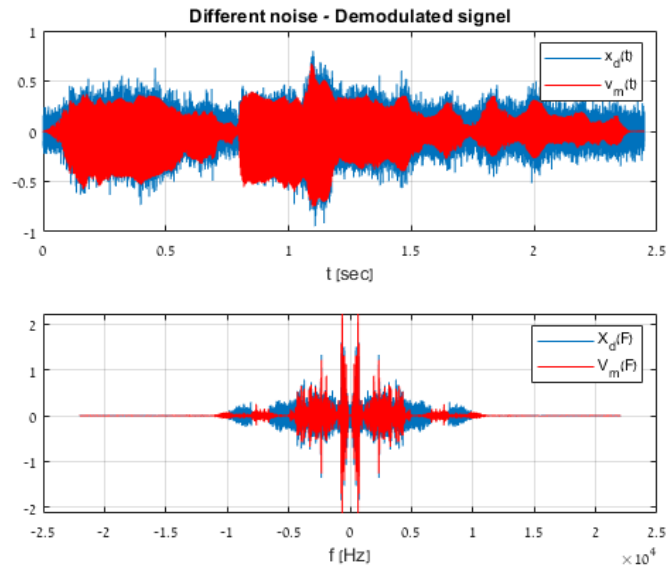
העברנו את $x_r(t)$ במסנן BPF בטווח התדרים 8500Hz-21000Hz לקבלת $x_L(t)$.
להלן הגרפים של $x_L(t)$ ושל $X_L(f)$:



גם כאן ניכר כי הגרפים מלאים ביותר רעש.

כעת נבצע demodulation לאות $x_L(t)$ (פונקציית amdemod) ונעביר את האות במסנן LPF בעל תדר מקסימלי של 8500Hz לקבלת $x_d(t)$.

להלן הגרפים של $x_L(t)$, $X_L(f)$, $x_d(t)$, $X_d(f)$:



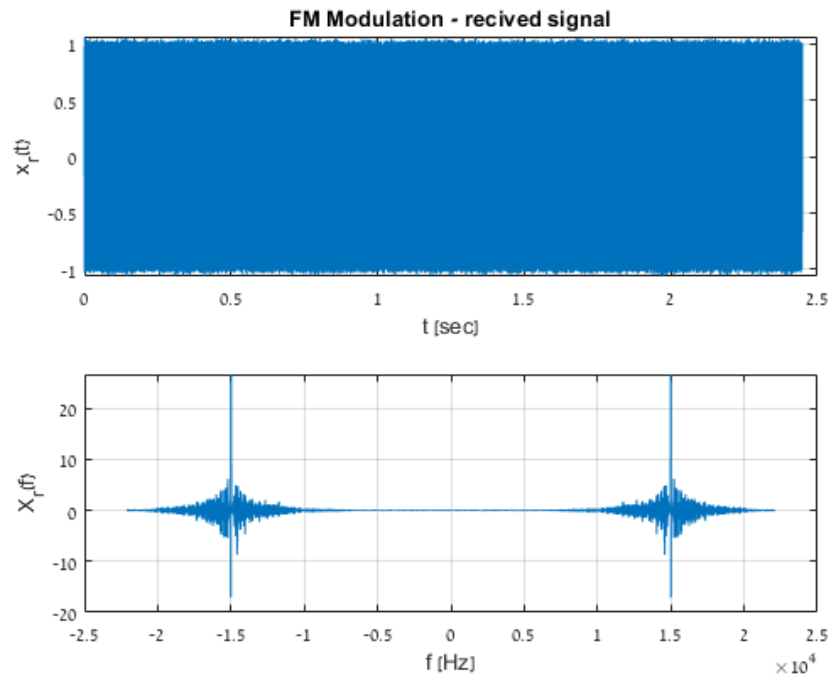
כאן ההבדל בא לידי ביטוי בשוני יותר גדול בין הגרפים.

בהשמעת הקטע עוצמת הרעש הסטטי גדלה.

קיבלנו בחישוב הקורלציה של האותות 0.8514

FM modulation

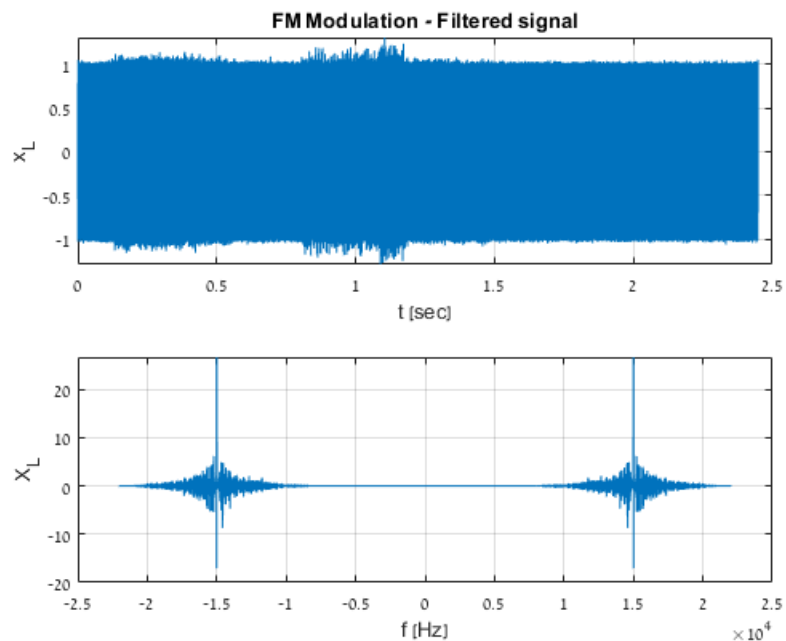
לאחר מודולציה אפנון FM יחד עם גל נושא (פונקציית fmod) נקבל את האותות $V_{AM}(f)$, $v_{AM}(t)$. קבענו כי $\sqrt{\frac{N_0}{2}} = 0.02$ ויצרנו את האות $z(t)$ (ע"י הפונקציה randn). הגדרנו את האות המתקבל ע"י $x_r(t) = v_{FM}(t) + z(t)$ {פורייה} $X_r(f) \leq$ להלן הגרפים שלהם:



אמנם בפלט זה לא ניכר אך ישנם שינויים בתדירויות הגל.

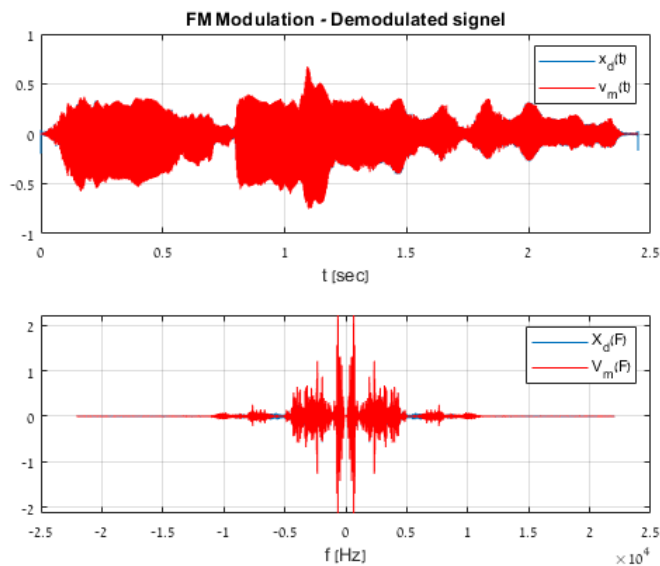
העברנו את $x_r(t)$ במסנן BPF בטווח התדרים 8500Hz-21000Hz לקבלת $x_L(t)$.

להלן הגרפים של $x_L(t)$ ושל $X_L(f)$:



כעת נבצע demodulation לאות $x_L(t)$ (פונקציית fmdemod) ונעביר את האות במסנן LPF בעל תדר מקסימלי של 8500Hz לקבלת $x_d(t)$.

להלן הגרפים של $x_d(t)$, $X_d(f)$, $x_L(t)$, $X_L(f)$:



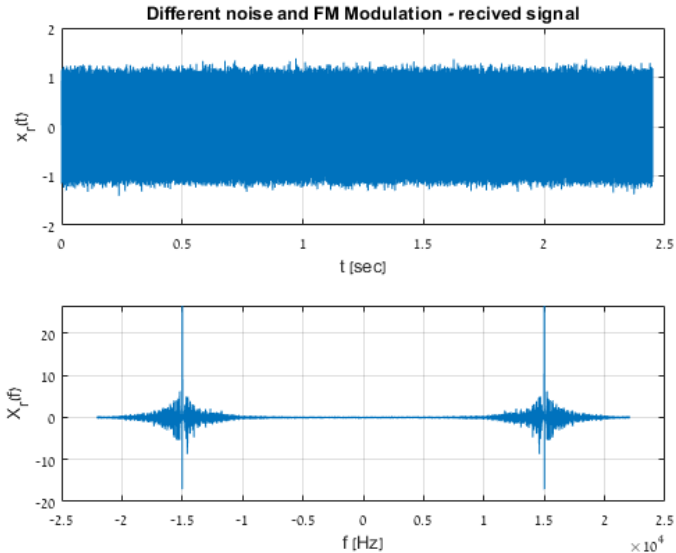
נשים לב כי ישנה כמעט התלכדות מלאה.

בהשמעת הקטע נוספו רעשים סטטיים שוליים.

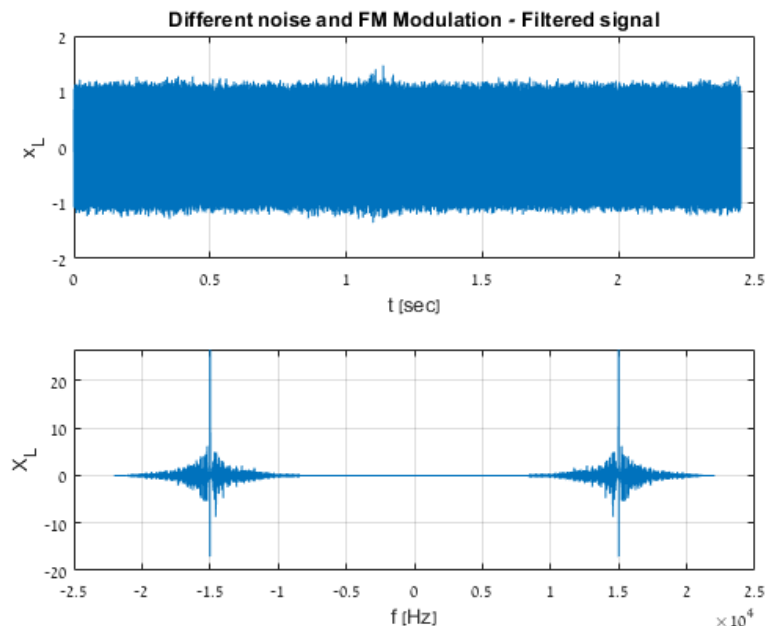
קיבלנו בחישוב הקורלציה של האותות 0.9878

Different noise and FM modulation

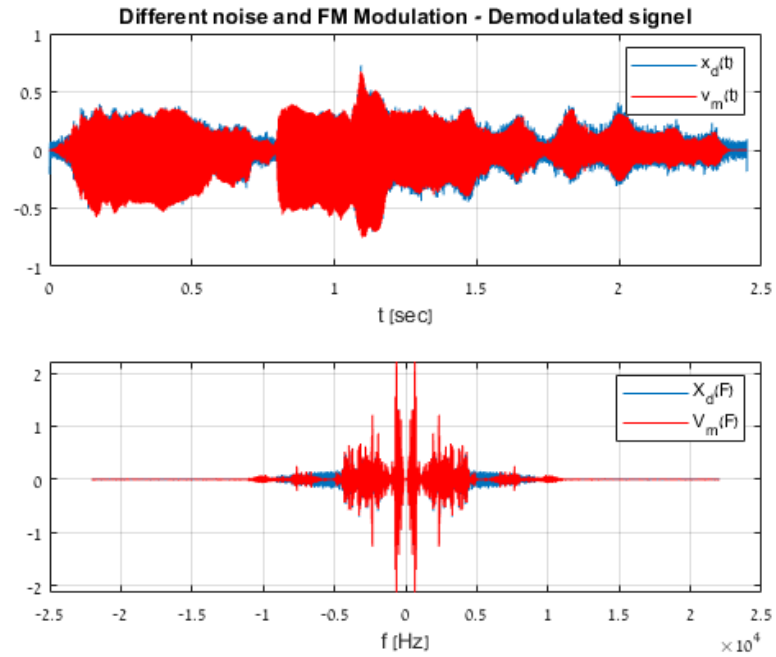
לאחר מודולצית אפנון FM יחד עם גל נושא (פונקציית fmod) נקבל את האותות $V_{AM}(f)$, $v_{AM}(t)$. קבענו כי $\sqrt{\frac{N_0}{2}} = 0.01$ ויצרנו את האות $z(t)$ (ע"י הפונקציה randn). הגדרנו את האות המתקבל ע"י $x_r(t) = v_{FM}(t) + z(t)$ {פורייה} $X_r(f) \leq$ להלן הגרפים שלהם:



בניגוד לאפנון AM כאן שינוי ערך הרעש משפיע בצורה יותר מינורית על האות. העברנו את $x_r(t)$ במסנן BPF בטווח התדרים 8500Hz-21000Hz לקבלת $x_L(t)$. להלן הגרפים של $x_L(t)$ ושל $X_L(f)$:



כעת נבצע demodulation לאות $x_L(t)$ (פונקציית fmdemod) ונעביר את האות במסנן LPF בעל תדר מקסימלי של 8500Hz לקבלת $x_d(t)$. להלן הגרפים של $x_L(t)$, $X_L(f)$, $x_d(t)$, $X_d(f)$:



הבדל הרעש אמנם מורגש אך מינורי לעומת אפנון ה-AM.

בהשמעת הקטע הופיעו רעשים סטטיים (יותר נמוכים מאפנון ה-AM).

קיבלנו בחישוב הקורלציה של האותות 0.9667

לסיכום, כפי שהוסבר בכיתה ניתן לראות כי אפנון ה-FM מדויק יותר בהינתן רעשים.