פתרון שאלה מס׳ 1

נתונים:

$$r=20,\ \alpha=0.01, A=10,$$
$$A_s=25, w_C=1000\pi,\ f_C=500$$
$$A_T=50, w_T=2\pi f_T\ ,\phi_T=0,\ 0\le f_T\le 30$$

א. על מנת למצוא את תחום התדרים של אות המוצא ממגבר ה- AC, נשתמש בביטוי למציאת $V_a(t)$:

$$(2)\quad V_a(t)=AV_0(t)=-A\frac{r}{(1+r)^2}\frac{\alpha A_C A_T}{2}\left[\cos((w_C-w_T)t-\phi_T)-\cos((w_C+w_T)t+\phi_T)\right]$$

לפי (2) תחום התדרים של אות המוצא מהמגבר f_a הוא:

$$\begin{array}{l} f_C+f_T \\ f_C-f_T \\ for\quad f_C=500\quad 0\le f_T\le 30 \\ \Rightarrow\quad 500\le f_C+f_T\le 530 \\ 470\le f_C-f_T\le 500 \\ 470\le f_a\le 530 \end{array}$$

ב. נרשום את הביטוי למתח המוצא מהמכפל ע״י שימוש בנוסחה (3):

$$(3)\quad V_d(t)=-A\frac{r}{(1+r)^2}\frac{\alpha A_C{}^2 A_T}{4}\left[\sin((2w_C+w_T)t+\phi_T)-\sin((2w_C-w_T)t-\phi_T)+2\sin(w_T t+\phi_T)\right]$$

נציב את כל הנתונים:

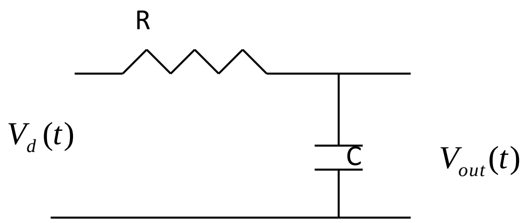
$$r=20,\ \alpha=0.01, A=10,$$
$$A_C=25, w_C=1000\pi,\ f_C=500$$
$$A_T=50, w_T=2\pi f_T\ ,\phi_T=0,\ 0\le f_T\le 30$$

$$(3)\qquad V_d(t) = -10\frac{20}{(1+20)^2}\frac{0.01\cdot 25^2\cdot 50}{4}\left[\sin((2\pi 1000+2\pi f_T)t)-\sin((2\pi 1000-2\pi f_T)t)+2\sin(2\pi f_T t)\right]=$$

$$=-35.43\left[\sin((2\pi 1000+2\pi f_T)t)-\sin((2\pi 1000-2\pi f_T)t)+2\sin(2\pi f_T t)\right]$$

ג. לפי הביטוי הנ"ל תחום התדרים של אות זה:

$$\begin{array}{ll} for & f_C = 500 \quad 0 \le f_T \le 30 \\ \Rightarrow & 1000 \le 2f_C + f_T \le 1030 \\ & 970 \le 2f_C - f_T \le 1000 \\ & \quad 0 \le f_T \le 30 \\ \multicolumn{2}{l}{0 \le f_d \le 30 \quad 970 \le f_d \le 1030} \end{array}$$



ד. נבטא את $V_{out}(t)$:

$$V_{out} = V_d \frac{1/jwC}{R+1/jwC} = V_d \frac{1}{1+jwRC} \underset{\tau=RC}{=} V_d \frac{1}{1+jw\tau}$$

$$|H(s)| = \frac{1}{\sqrt{1+w^2\tau^2}}$$

$$\prec H(s) = arctg(-w\tau)$$

נדרש כי רכיבי אות הבאים יונחתו לפחות ל 3%

$$(3) \qquad V_d(t) = -A\frac{r}{(1+r)^2}\frac{\alpha A_C{}^2 A_T}{4}\left[\underbrace{\sin((2w_C+w_T)t+\phi_T)}_{} - \underbrace{\sin((2w_C-w_T)t-\phi_T)}_{} + 2\sin(w_T t+\phi_T)\right]$$

נבדוק תחום תדרים של רכיבים אלו ונבחר תדר מייצג שעבורו נבדוק את ההנחתה (למה? תחשבו! ההסבר יועבר בתרגול!) כאשר עבור שאר התדרים נקבל הנחתה גדולה יותר.

***ז״א נחשב את ההנחתה המינימלית בתחום תדרים רלוונטי. הרכיבים הם בתחום תדרים $970-1030Hz$
ההנחתה המינימלית מתקבלת עבור התדר הנמוך ביותר (למה?) ולכן :

עבור $f = 970Hz$:

$$\left|H(s)\right| = \frac{1}{\sqrt{1+(2*970\pi)^2\tau^2}} = 0.03$$

$$\frac{1}{1+(2*970\pi)^2\tau^2} = 0.03^2$$

$$\tau = 4.47*10^{-3}$$

$$C = \frac{\tau}{R} \underset{R=20}{=} 273\mu F$$

ה. נחשב את ההנחתה המקסימלית ואת שינוי הפאזה של האות הנמדד כתוצאה מהוספת המסנן.
האות הנמדד הוא בתחום תדרים $0-30Hz$ ההנחתה המקסימאלית מתקבלת עבור התדר הגבוה ולכן :

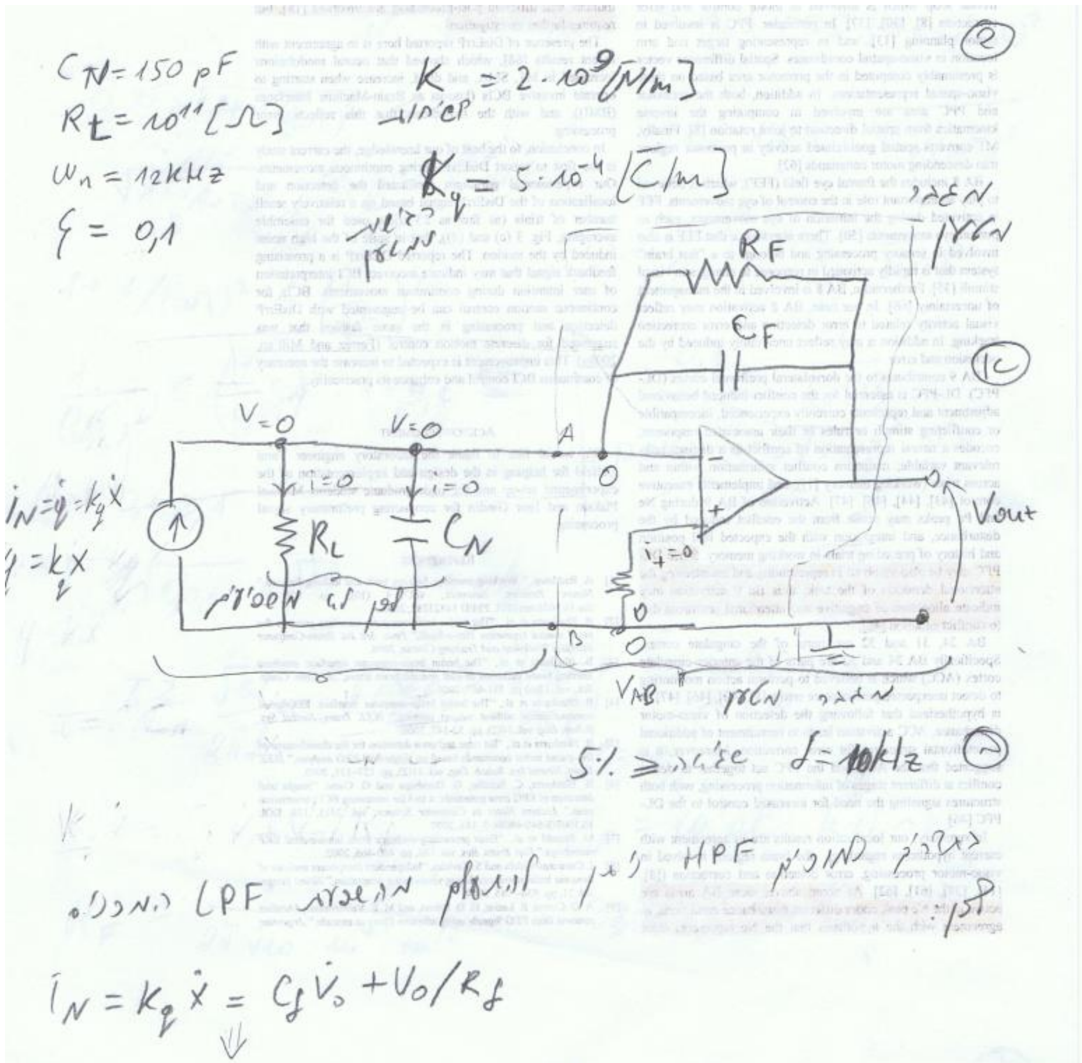
$$\left|H(s)\right| = \frac{1}{\sqrt{1+w^2\tau^2}}$$

$$\prec H(s) = arctg(-w\tau)$$

$$for \quad w = 60\pi \quad \tau = 4.47*10^{-3}\sec$$

$$\left|H(s)\right| = 0.765$$

$$\prec H(s) = -40^0$$



where $\tau_F = R_F C_F$ >> $\left|\dfrac{V_{out}(s)}{X(s)}\right| = \dfrac{K_q}{C_F}\dfrac{\tau_F \omega}{\sqrt{1+(\tau_F \omega)^2}}$ $\dfrac{V_{out}(s)}{X(s)} = \dfrac{K_q}{C_F}\dfrac{\tau_F s}{1+\tau_F s}$

שגיאה קטנה מ 5% >> $\tau_F > \dfrac{0.3}{2\pi} = 0.048\sec \leftarrow 3 f_L = \dfrac{3}{2\pi\tau_F} < 10\,Hz$

קבל סביר בסדר גודל של 1000pico >> $R_F = \tau_F / C_F > 0.048/10^\wedge(-9) > 48\,\mathrm{M}\Omega$

ג.

$$\boxed{\frac{V_o(s)}{s^2 X_b(s)} = \frac{K_q}{C_F}\frac{\tau_F s}{(\tau_F s+1)}\frac{(1/\omega_n^2)}{(s^2/\omega_n^2 + 2\xi s/\omega_n + 1)}}$$

ד. בתדרי ביניים >>

$$\boxed{\frac{V_o(s)}{s^2 X_b(s)} = \frac{K_q}{C_F}(1/\omega_n^2) = \frac{5*10^{-4}C/m}{10^{-6}F144*10^6/\sec^2} = 3.5*10^{-3}mV/(m/\sec^2)}$$

3

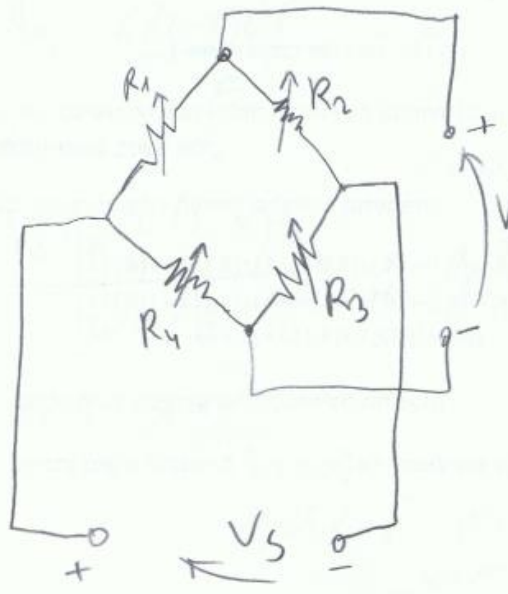
ט

3

ימין ש"ג
באותה צורה מלמטה

תחום מדידה, 0-60N

קיזוז: טמפ', כוח צירי,
ומומנט פיתול.
+
הגדלת רגישות.



$$\sigma = E\varepsilon \qquad\qquad \delta = G_F \varepsilon \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \overset{\sigma}{=} \frac{M t/2}{I E} \overset{I}{=} \frac{M t/2}{w t^3 E} 12 = \frac{6Mt}{w t^3 E} =$$

$$= \frac{6F(L-x)t}{w t^3 E} \overset{x=0}{=}$$

נבחר לקחת $x=0$

שלא, מה כוחות מרכבה פעולה גדול.

(3)

$$V_0 = K \frac{V_s}{4} \delta \overset{K=4}{=} V_s \delta = V_s G_F \varepsilon = \quad (4)$$

$$= V_s G_F \cdot \frac{6(L-x)tF}{w t^3 E} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S = \frac{V_s G_F 6(L-x)t}{w t^3 E} \overset{x=0}{=} 1,875 \cdot 10^{-4} \, \frac{V}{V/N} =$$

$$= 187,5 \; \mu V/V/N$$

(נגבר ע"מ להגיע ל $V_0 = 5V$

$$5V = K \cdot 1,875 \cdot 10^{-4} \cdot \overset{60N}{F_{max}}$$

נתוני כוללים המגבר נתן

תחום FS הנתון בשאלה $0 - 60N$

$$K = \frac{5}{1,875 \cdot 10^{-4} \cdot 60} = 444$$

כי אותם נגדים לפי: $CMRR = 75dB$ (3)

$$\frac{1}{CMRR} = \frac{1}{CMRR_A} + \frac{1}{CMRR_R} \Rightarrow CMRR_R = 0$$

$$CMRR_A \neq 75dB$$

$$A_c = \frac{A_d}{10^{75/20}} = \frac{A_d}{5623}$$

$$V_c = \frac{V_s}{2}$$

$$A_d = 444$$

מחושב? (ג)

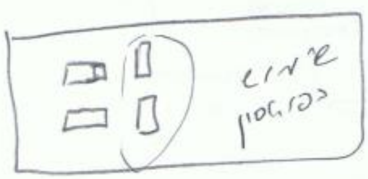
$$V_{error} = \frac{V_s}{2} \cdot A_c$$

$$error(FS) = \frac{V_{error}}{5} \cdot 100\% = \frac{\frac{8}{2} \cdot \frac{444}{5623}}{8} \cdot 100 = 4\%$$

(1) + (2)

$\Delta T = 20C^{\circ}$

כמו בתרגול הסדור הוא כולם על גב אחד של הקופסה
ובג'ישור נסגרו.



$$R_T = R_0(1 + \alpha T)$$

$$V_o = \frac{V_s}{2} \alpha \Delta T = \frac{5}{2} \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 20 = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$$

$$error(FS) = \frac{2{,}5 \cdot 10^{-3}}{5} \cdot 100 = 0{,}05\%$$