

חשמל ואלקטרוניקה ה'

מגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגיה

(כיתה י"ד)

הוראות לנבחנים

א. משך הבחינה: ארבע שעות ו-45 דקות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שמונה שאלות.

עליכם לענות על ארבע שאלות בלבד.

לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר בשימוש:

1. כל חומר הכתוב (בכתב יד או בהדפסה) על שלושה דפי A4, משני הצדדים.

2. מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

1. ענו על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן

במחברת, ולא יתייחס לתשובות נוספות.

2. התחילו כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.

3. כתבו את כל התשובות אך ורק בעט.

4. הקפידו לנסח את התשובות כהלכה ולסרטט את התרשימים בבהירות.

5. כתבו את התשובות בכתב-יד ברור כדי לאפשר הערכה נאותה שלהן.

6. בכל שאלה ניתנו הנתונים לפתרונה. אם לדעתכם חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתם רשאים להוסיף אותם, בתנאי שתנמקו מדוע הוספתם אותם.

7. בכתובת פתרונות חישוביים, קבלת מרב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם כתובים:

* כתיבת הנוסחה המתאימה.

* הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.

* חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).

* כתיבת התוצאה המתקבלת, יחד עם יחידות המידה המתאימות.

* ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

8. בנספח ג' לשאלון זה מובא מילון מונחים בשפות עברית, ערבית, אנגלית ורוסית. תוכלו להיעזר בו בעת הצורך.

9. צרפו את שלושת דפי ה-A4 (חומר העזר המותר לשימוש) למחברת הבחינה.

הוראות למשגיחים: יש לוודא כי הנבחנים צירפו את דפי ה-A4 למחברת הבחינה.

כתבו במחברת הבחינה בלבד, בעמודים נפרדים, כל מה שברצונכם לכתוב כטייטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה).

כתבו "טייטה" בראש כל עמוד טייטה. כתיבת טייטות כלשהן על דפים שמחוץ למחברת הבחינה עלולה לגרום לפסילת הבחינה!

בשאלון זה 9 עמודים ו-18 עמודי נספחים.

השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים,

אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

בהצלחה!

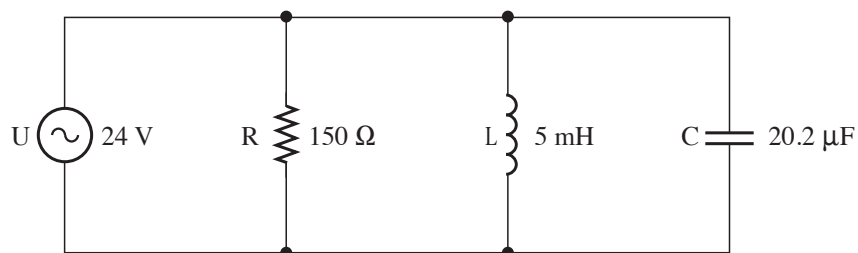
השאלות

ענו על ארבע שאלות מן השאלות 1-8 (לכל שאלה – 25 נקודות).

מערכות חשמל

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון מעגל חשמלי הנמצא במצב תהודה.

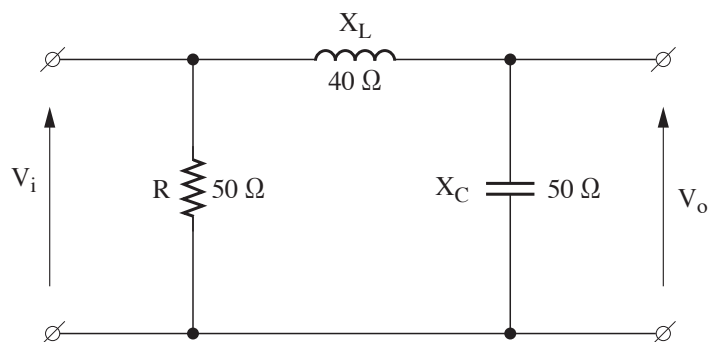


איור לשאלה 1

- (8 נק') א. חשבו את תדר התהודה.
- (9 נק') ב. חשבו את הזרם הזורם דרך כל אחד מן הרכיבים במעגל ואת הזרם הכללי.
- (8 נק') ג. חשבו את רוחב הפס של המעגל ואת מקדם הטיב שלו.

שאלה 2

באיור לשאלה 2 מתואר מעגל חשמלי הכולל רשת זוגיים.



איור לשאלה 2

א. (8 נק') חשבו את מקדמי Z של הרשת $(Z_{22}, Z_{21}, Z_{12}, Z_{11})$.

ב. (10 נק') חשבו את עכבת המבוא של הרשת כאשר:

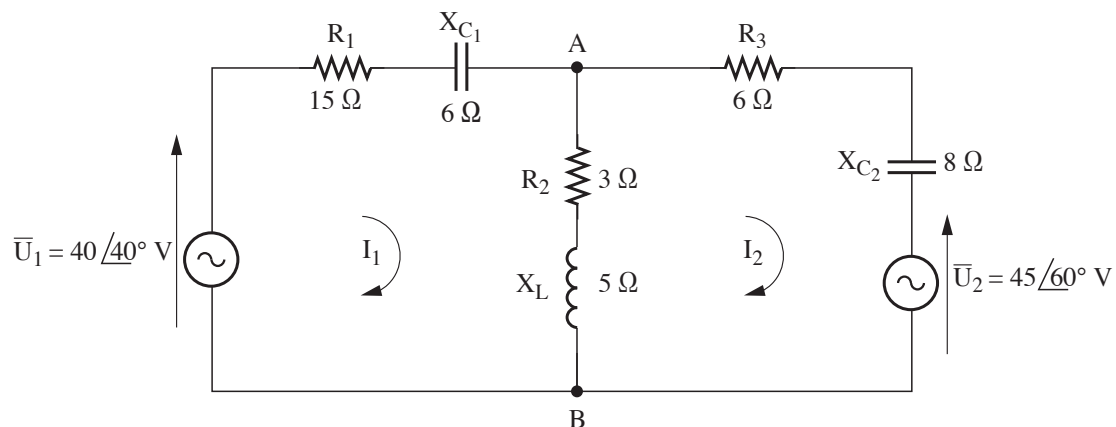
1. המוצא בקצר.

2. המוצא בנתק.

ג. (7 נק') חשבו את יחס התמסורת של הרשת, $\frac{V_o}{V_i}$.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 מתואר מעגל חשמלי.
התדר של כל אחד ממקורות המתח הוא 50 Hz .

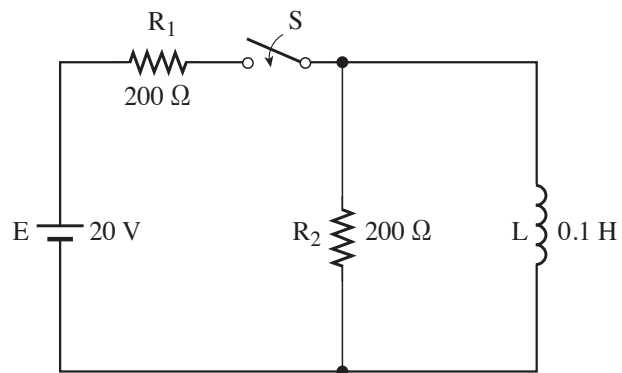


איור לשאלה 3

- א. (8 נק') כתבו את מערכת משוואות המתחים לפי שיטת זרמי החוגים.
- ב. (4 נק') כתבו ייצוג מטריציאלי של המשוואות שכתבתם בתשובה לסעיף א'.
- ג. (8 נק') חשבו את הזרמים $\bar{I}_1$, $\bar{I}_2$.
- ד. (5 נק') חשבו את המתח בין הנקודות A ו-B, $\bar{U}_{A-B}$.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתון מעגל חשמלי. המפסק S פתוח.



איור לשאלה 4

בזמן $t = 0$ סוגרים את המפסק S.

(5 נק') א. חשבו את קבוע זמן הטעינה של המעגל.

(8 נק') ב. חשבו את הזרם ואת המתח על פני הסליל בזמן $t = 2 \text{ msec}$.

בזמן $t = 5 \text{ msec}$ פותחים את המפסק S.

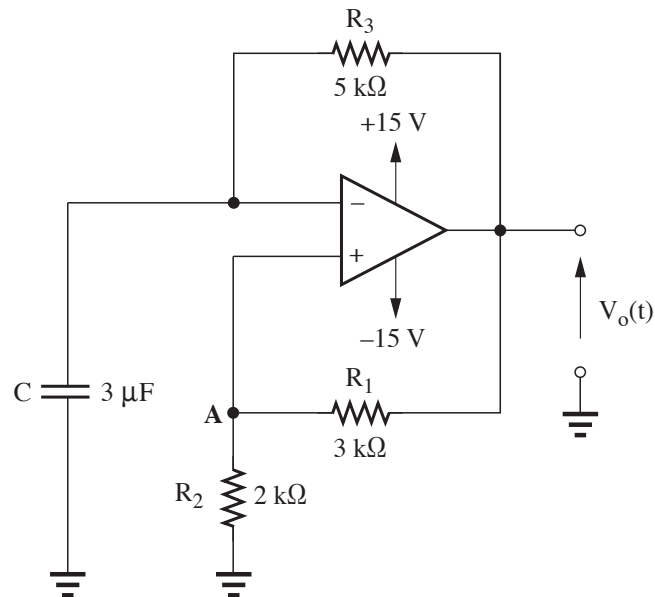
(6 נק') ג. חשבו את הזרם על פני הסליל בזמן $t = 6 \text{ msec}$.

(6 נק') ד. סרטטו במחברת גרף המתאר את צורת הזרם על הסליל כפונקצייה של הזמן, בתחום הזמנים $0 < t < 10 \text{ msec}$. ציינו, על-גבי הסרטוט, את ערכי הזרמים שחישבתם בסעיפים ב ו-ג.

אלקטרוניקה ב'

שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתון מעגל חשמלי של מתנד שמיט טריגר. מגבר השרת שבמעגל אידיאלי.

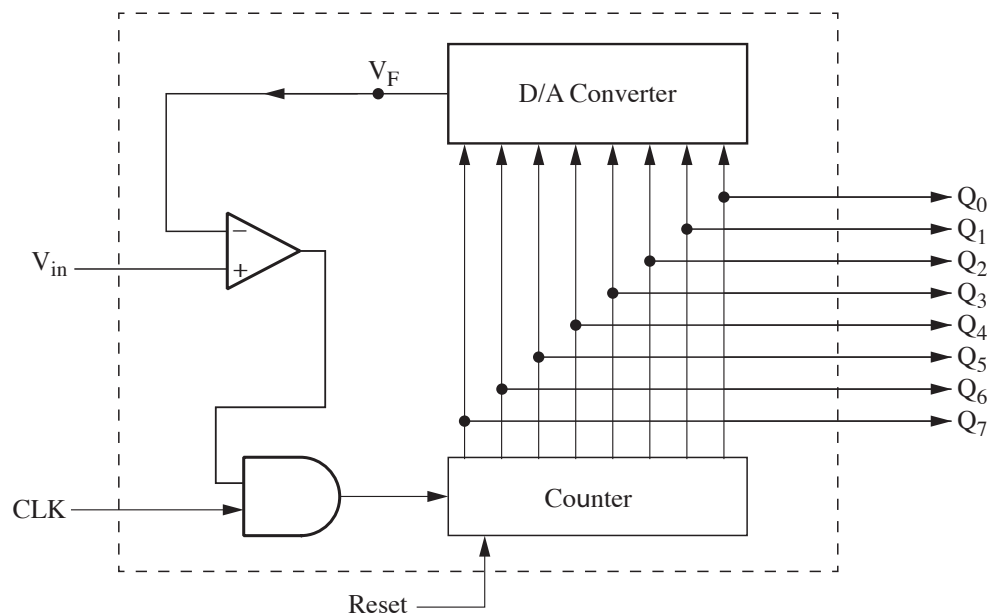


איור לשאלה 5

- א. (8 נק') חשבו את מתחי הסף של המתנד אשר יכולים להתקבל בנקודה A.
- ב. (10 נק') סרטטו במחברת, זו מתחת לזו בהתאמה, את צורת המתח על הקבל V_C , ואת צורת מתח המוצא V_o כפונקצייה של הזמן במצב המתמיד.
- ג. (7 נק') חשבו את זמן מחזור התנודות של מתח המוצא, V_o , ואת מחזור הפעולה (Duty Cycle).

שאלה 6

באיור לשאלה 6 מתואר ממיר A/D. נתון $f_{CLK} = 10 \text{ kHz}$.



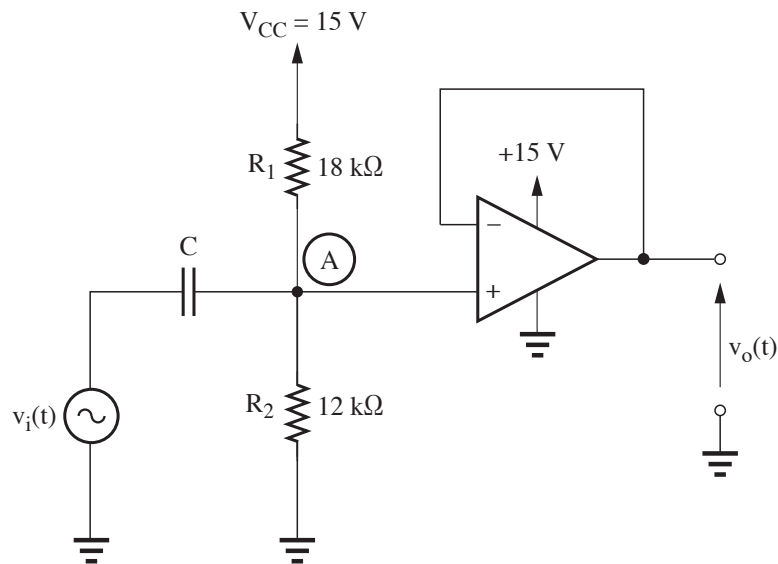
איור לשאלה 6

המתח V_F משתנה בהתאם למידע הספרתי במבוא ה-D/A. כאשר המתח הספרתי במוצא הוא $Q_{0...7} = (10000001)_2$ מתקבל במוצא ה-D/A Converter מתח של $V_F = 2.58 \text{ V}$.

- א. (8 נק') חשבו את כושר ההבחנה (רזולוציה) של הממיר.
- ב. (8 נק') חשבו את הצירוף הבינארי שיתקבל במוצא הממיר עבור מתח מבוא של $V_{in} = 4.01 \text{ V}$.
- ג. (9 נק') מהו ערכו המרבי של מתח המבוא V_{in} הניתן להמרה?

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי הכולל מגבר שרת וספק יחיד. מגבר השרת אידיאלי והיגב הקבל זניח.



איור לשאלה 7

- א. (10 נק') חשבו את המתח הישר בנקודה A, כאשר מקור המתח v_i מנותק.
- ב. (8 נק') חשבו את הגבר מתח החילופין $A_V = \frac{v_o}{v_i}$.
- ג. (7 נק') אות המבוא הוא אות סינוסואידלי מהצורה: $v_i(t) = 3 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 t) [V]$. סרטטו במחברת, זו מתחת לזו, את צורות המתחים v_i ו- v_o כפונקצייה של הזמן. ציינו בסרטוט את הערך המרבי של מתח המוצא, את הערך המזערי שלו ואת זמן המחזור שלו.

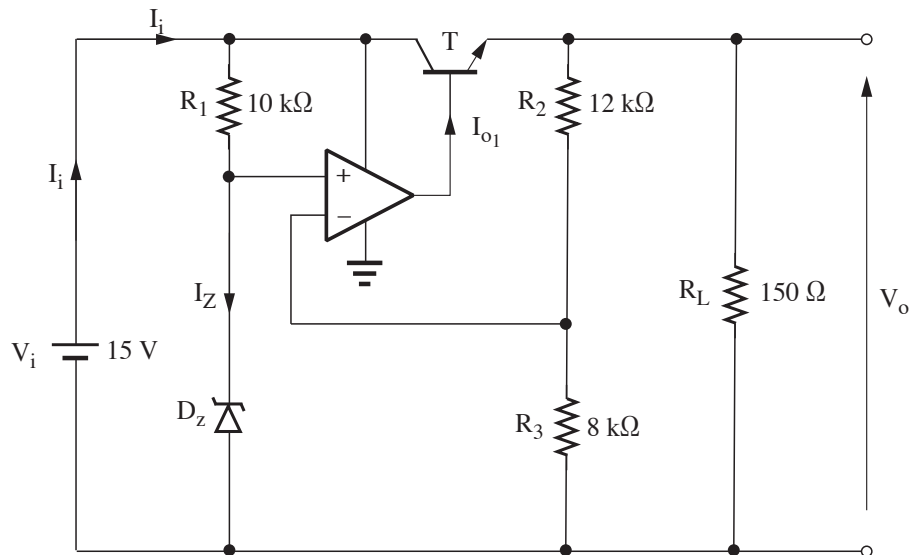
שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון מעגל חשמלי של מייצב מתח טורי.

נתוני המעגל: $V_{D_z} = 5.1 \text{ V}$, $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$, $\beta = 75$

מגבר השרת במעגל אידיאלי.

R_P – נגד משתנה



איור לשאלה 8

- 8 (נק') א. חשבו את מתח המוצא של המעגל.
- 5 (נק') ב. חשבו את הזרם הזורם דרך דיודת הזנר, I_Z .
- 6 (נק') ג. חשבו את הזרם במוצא מגבר השרת I_{o1} .
- 6 (נק') ד. חשבו את הזרם I_i שמספק מקור המתח V_i . הזניחו בחישוב את זרם ההזנה למגבר השרת.

בהצלחה!

זכות היוצרים שמורה למדינת ישראל.
אין להעתיק או לפרסם אלא ברשות משרד החינוך.

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות חשמל לכיתה י"ד

(13 עמודים)

(הגדלים בנוסחאון מופיעים ביחידות SI)

1. מקור מתח ומקור זרם

כא"מ של מקור מתח

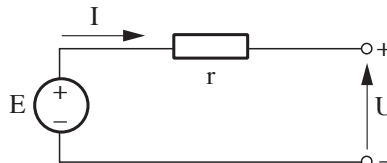
E [V] – הכא"מ

U [V] – מתח ההדקים

r [Ω] – התנגדות פנימית

I [A] – זרם

$$E = U + I \cdot r$$

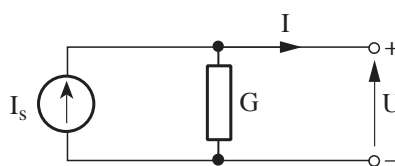


זרם של מקור זרם

I_s [A] – זרם המקור

G [S] – מוליכות פנימית של מקור זרם

$$I_s = I + G \cdot U$$



2. אלקטרוסטטיקה

שדה חשמלי ופוטנציאל חשמלי

פוטנציאל חשמלי	-	U	[V]
אנרגייה פוטנציאלית חשמלית	-	W	[J או W · sec]
עוצמת השדה החשמלי	-	E	[V / m]
קבוע	-	k	$\left[\frac{V \cdot m}{C} \right]$
מטען	-	q	[C]
מרחק מהמטען	-	r	[m]
מטען האלקטרון	-	e	[C]

$$U = \frac{k \cdot q}{r} = \frac{W}{q}$$

$$E = \frac{k \cdot q}{r^2} = \frac{U}{r}$$

$$k = 9 \cdot 10^9$$

$$1 C = 6.24 \cdot 10^{18} e$$

קבל לוחות

קבוע דיאלקטרי של החומר	-	ϵ	[F / m]
קבוע דיאלקטרי של הריק	-	ϵ_0	[F / m]
קבוע דיאלקטרי יחסי	-	ϵ_r	
קיבול הקבל	-	C	[F]
המתח על הקבל	-	U	[V]
מטען הקבל	-	Q	[C]
המרחק בין לוחות הקבל	-	d	[m]
טח החתך של לוחות הקבל	-	A	[m ²]
האנרגייה החשמלית האגורה בקבל	-	W	[J או W · sec]

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8.85 \cdot 10^{-12}$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad C = \frac{Q}{U}$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot C U^2$$

3. מגנטיות ואלקטרומגנטיות

השראה מגנטית (שדה מגנטי)	-	$B \quad \left[\frac{Wb}{m^2} \right]$	$B = \frac{\Phi}{A}$
שטח חתך	-	$A \quad [m^2]$	$E = -N \frac{d\Phi}{dt}$
שטף מגנטי	-	$\Phi \quad [V \cdot sec \text{ או } Wb]$	$L = N \frac{d\Phi}{dI}$
כא"מ מושרה	-	$E \quad [V]$	$E = -L \frac{dI}{dt}$
מספר הכריכות של הסליל	-	N	$L = \frac{N^2}{R_m}$
השראות עצמית של הסליל	-	$L \quad [H]$	$M^* = k \sqrt{L_1 L_2}$
השראות הדדית	-	$M^* \quad [H]$	$W = \frac{1}{2} LI^2$
מקדם הצימוד	-	k	
האנרגייה המגנטית האגורה בסליל	-	$W \quad [W \cdot sec \text{ או } J]$	

4. רכיבים פסיביים ליניאריים

סליל

מתח רגעי על הסליל	-	$u_L(t) \quad [V]$	$u_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$
שינוי זרם בסליל	-	$\frac{di_L(t)}{dt}$	$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(t) dt + I_{L0}$
השראות הסליל	-	$L \quad [H]$	
זרם רגעי בסליל	-	$i_L(t) \quad [A]$	$p_L(t) = L \cdot i_L(t) \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$
זרם התחלתי בסליל	-	$I_{L0} \quad [A]$	$p_L(t) = u_L(t) \left(\frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(t) dt + I_{L0} \right)$
הספק רגעי בסליל	-	$p_L(t) \quad [W]$	

קבל

זרם רגעי בקבל	-	$i_C(t) \quad [A]$	$i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$
שינוי מתח בקבל	-	$\frac{du_C(t)}{dt}$	$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(t) dt + U_{C0}$
קיבול הקבל	-	$C \quad [F]$	
מתח רגעי על הקבל	-	$u_C(t) \quad [V]$	$p_C(t) = C \cdot u_C(t) \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$
מתח התחלתי על הקבל	-	$U_{C0} \quad [V]$	$p_C(t) = i_C(t) \left(\frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(t) dt + U_{C0} \right)$
הספק רגעי בקבל	-	$p_C(t) \quad [W]$	

5. תופעות מעבר

מעגל RC

$$u_C(t) = U_{C\infty} - (U_{C\infty} - U_{C0}) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = RC$$

$$i_C(t) = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

מתח על הקבל - $u_C(t)$ [V]

מתח סופי (עבור $t \rightarrow \infty$) על הקבל - $U_{C\infty}$ [V]

מתח התחלתי על הקבל - U_{C0} [V]

זמן - t [sec]

קבוע הזמן - τ [sec]

מטען הקבל - $i_C(t)$ [A]

מתח המקור - E [V]

מעגל RL

$$i_L(t) = I_{L\infty} - (I_{L\infty} - I_{L0}) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = \frac{L}{R} \quad u_L(t) = U_{L0} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

זרם בסליל - $i_L(t)$ [A]

זרם סופי (עבור $t \rightarrow \infty$) בסליל - $I_{L\infty}$ [A]

זרם התחלתי בסליל - I_{L0} [A]

מתח על הסליל - $u_L(t)$ [V]

מתח התחלתי על הסליל - U_{L0} [V]

6. מעגל תהודה RLC טורי/מקבילי

$$f_o = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$BW = \frac{f_o}{Q_o}$$

תדר התהודה - f_o [Hz]

תדר התהודה הזוויתי - ω_o $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$

רוחב הפס - BW [Hz]

גורם הטיב - Q_o

במעגל תהודה טורי:

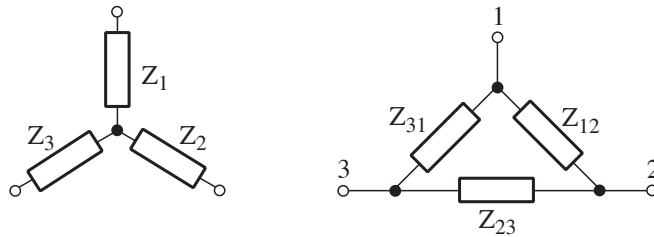
$$Q_o = \frac{X_L}{R}$$

במעגל תהודה מקבילי:

$$Q_o = \frac{R}{X_L}$$

7. המרה כוכב-משולש

$$\begin{aligned} Z_1 &= \frac{Z_{12} \cdot Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} & Z_{12} &= \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_3} \\ Z_2 &= \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} & Z_{23} &= \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_1} \\ Z_3 &= \frac{Z_{23} \cdot Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} & Z_{31} &= \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_2} \end{aligned}$$



8. זרם חילופין סינוסואידלי

ערך רגעי של הזרם	-	$i(t)$ [A]
ערך מרבי של הזרם – תנופת הזרם	-	$I_{\max}$ [A]
זווית מופע	-	α [rad]
זמן	-	t [sec]
ערך רגעי של המתח	-	$u(t)$ [V]
ערך מרבי של המתח – תנופת המתח	-	$U_{\max}$ [V]
ערך יעיל של הזרם	-	I_{eff} [A]
ערך יעיל של המתח	-	U_{eff} [V]

$$i(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$$

$$u(t) = U_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{\max}$$

$$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{\max}$$

$$\omega = 2\pi f \quad T = \frac{1}{f}$$

זמן המחזור - T [sec]

תדירות זוויתית - ω [rad / sec]

תדירות - f [Hz, cycles / sec]

היגב השראותי - X_L [Ω]

היגב קיבולי - X_C [Ω]

$$X_L = \omega L \quad X_C = \frac{1}{\omega C}$$

9. הספקים

הספק פעיל	-	P [W]	$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$	$P = S \cos \varphi$
הספק מדומה	-	S [VA]	$S = P \pm jQ$	$Q = S \sin \varphi$
הספק היגבי	-	Q [VAr]		
זווית מופע	-	φ [°, rad]		

10. רשתות תלת-מופעיות

כוכב סימטרי

זרם קווי	-	I_L [A]	$I_L = I_{ph}$
זרם מופעי	-	I_{ph} [A]	$U_L = \sqrt{3} \cdot U_{ph}$
מתח שלוב (קווי)	-	U_L [V]	
מתח מופעי	-	U_{ph} [V]	

משולש סימטרי

$U_L = U_{ph}$	$I_L = \sqrt{3} \cdot I_{ph}$
----------------	-------------------------------

הספק תלת מופעי

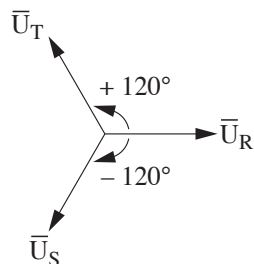
הספק מדומה תלת-מופע	-	S [VA]	$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$
הספק פעיל תלת-מופע	-	P [W]	$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cos \varphi$
הספק היגבי תלת-מופע	-	Q [VAr]	$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \sin \varphi$

ייצוג מתחים מופעיים במישור המרוכב של רשת תלת-מופעית סימטרית

$$\bar{U}_R = U \angle 0^\circ$$

$$\bar{U}_S = U \angle -120^\circ$$

$$\bar{U}_T = U \angle +120^\circ$$



רשת תלת-מופעית עם מוליך אפס

$$\bar{I}_N = \bar{I}_{L_1} + \bar{I}_{L_2} + \bar{I}_{L_3}$$

זרם במוליך האפס - $\bar{I}_N$ [A]

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

זרם קווי - $\bar{I}_L$ [A]

הספק בתחילת קו ההזנה - P_1 [W]

$$P_1 = P_2 + \Delta P$$

הספק בסוף קו ההזנה - P_2 [W]

נצילות המערכת η

הפסדי הספק בקו ההזנה ΔP [W]

11. מקדמים של רשת זוגיים

ABCD מקדמי

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} V_1 &= A \cdot V_2 + B \cdot I_2 \\ I_1 &= C \cdot V_2 + D \cdot I_2 \end{aligned}$$

Z מקדמי

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} V_1 &= Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2 \\ V_2 &= Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2 \end{aligned}$$

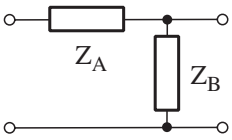
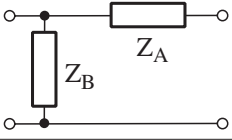
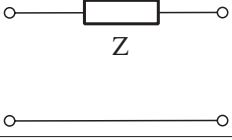
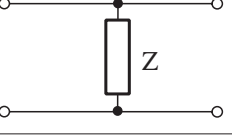
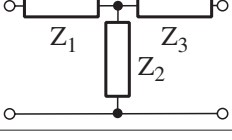
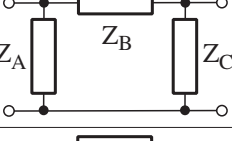
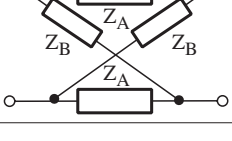
Y מקדמי

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} I_1 &= Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2 \\ I_2 &= Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2 \end{aligned}$$

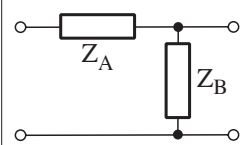
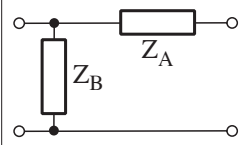
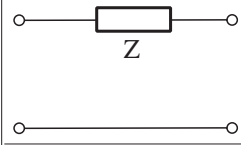
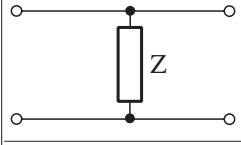
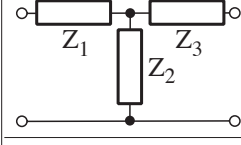
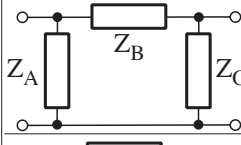
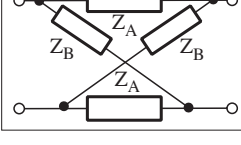
h מקדמי

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} V_1 &= h_{11} \cdot I_1 + h_{12} \cdot V_2 \\ I_2 &= h_{21} \cdot I_1 + h_{22} \cdot V_2 \end{aligned}$$

מקדמי ABCD של זוגיים

	A	B	C	D
	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B}$	Z_A	$\frac{1}{Z_B}$	1
	1	Z_A	$\frac{1}{Z_B}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B}$
	1	Z	0	1
	1	0	$\frac{1}{Z}$	1
	$1 + \frac{Z_1}{Z_2}$	$\frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2} + Z_1 + Z_3$	$\frac{1}{Z_2}$	$1 + \frac{Z_3}{Z_2}$
	$1 + \frac{Z_B}{Z_C}$	Z_B	$\frac{Z_A + Z_B + Z_C}{Z_A \cdot Z_C}$	$1 + \frac{Z_B}{Z_A}$
	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$	$\frac{2Z_A \cdot Z_B}{Z_B - Z_A}$	$\frac{2}{Z_B - Z_A}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$

מקדמי Z ו-Y של זוגיים

	Z			Y		
	Z ₁₁	Z ₁₂ = Z ₂₁	Z ₂₂	Y ₁₁	Y ₁₂ = Y ₂₁	Y ₂₂
	$Z_A + Z_B$	Z_B	Z_B	$\frac{1}{Z_A}$	$-\frac{1}{Z_A}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$
	Z_B	Z_B	$Z_A + Z_B$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$	$-\frac{1}{Z_A}$	$\frac{1}{Z_A}$
	∞	∞	∞	$\frac{1}{Z}$	$-\frac{1}{Z}$	$\frac{1}{Z}$
	Z	Z	Z	∞	∞	∞
	$Z_1 + Z_2$	Z_2	$Z_2 + Z_3$	$\frac{Z_2 + Z_3}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$	$\frac{-Z_2}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$	$\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$
	$\frac{Z_A(Z_B + Z_C)}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_A \cdot Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_C(Z_A + Z_B)}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$	$-\frac{1}{Z_B}$	$\frac{Z_B + Z_C}{Z_B \cdot Z_C}$
	$\frac{Z_A + Z_B}{2}$	$\frac{Z_A - Z_B}{2}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$	$\frac{Z_A - Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$

הערה: זרם הכניסה I₁ וזרם היציאה I₂ נכנסים לרשת.

טבלה השוואתית של מקדמי זוגיים

	[Z]		[Y]		A B C D		[h]	
[Z]	Z_{11}	Z_{12}	$\frac{Y_{22}}{ Y }$	$\frac{-Y_{12}}{ Y }$	$\frac{A}{C}$	$\frac{AD - BC}{C}$	$\frac{ h }{h_{22}}$	$\frac{h_{12}}{h_{22}}$
	Z_{21}	Z_{22}	$\frac{-Y_{21}}{ Y }$	$\frac{Y_{11}}{ Y }$	$\frac{1}{C}$	$\frac{D}{C}$	$\frac{h_{21}}{h_{22}}$	$\frac{1}{h_{22}}$
[Y]	$\frac{Z_{22}}{ Z }$	$\frac{-Z_{12}}{ Z }$	Y_{11}	Y_{12}	$\frac{D}{B}$	$\frac{-(AD - BC)}{B}$	$\frac{1}{h_{11}}$	$\frac{-h_{12}}{h_{11}}$
	$\frac{-Z_{21}}{ Z }$	$\frac{Z_{11}}{ Z }$	Y_{21}	Y_{22}	$\frac{-1}{B}$	$\frac{A}{B}$	$\frac{h_{21}}{h_{11}}$	$\frac{ h }{h_{11}}$
A B C D	$\frac{Z_{11}}{Z_{21}}$	$\frac{ Z }{Z_{21}}$	$\frac{-Y_{22}}{Y_{21}}$	$\frac{-1}{Y_{21}}$	A	B	$\frac{- h }{h_{21}}$	$\frac{-h_{11}}{h_{21}}$
	$\frac{1}{Z_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{Z_{21}}$	$\frac{- Y }{Y_{21}}$	$\frac{-Y_{11}}{Y_{21}}$	C	D	$\frac{-h_{22}}{h_{21}}$	$\frac{-1}{h_{21}}$
	$\frac{ Z }{Z_{22}}$	$\frac{Z_{12}}{Z_{22}}$	$\frac{1}{Y_{11}}$	$\frac{-Y_{12}}{Y_{11}}$	$\frac{B}{D}$	$\frac{AD - BC}{D}$	h_{11}	h_{12}
	$\frac{-Z_{21}}{Z_{22}}$	$\frac{1}{Z_{22}}$	$\frac{Y_{21}}{Y_{11}}$	$\frac{ Y }{Y_{11}}$	$\frac{-1}{D}$	$\frac{C}{D}$	h_{21}	h_{22}
[h]	$\frac{1}{Z_{11}}$	$\frac{-Z_{12}}{Z_{11}}$	$\frac{ Y }{Y_{22}}$	$\frac{Y_{12}}{Y_{22}}$	$\frac{C}{A}$	$\frac{-(AD - BC)}{A}$	$\frac{h_{22}}{ h }$	$\frac{-h_{12}}{ h }$
	$\frac{Z_{21}}{Z_{11}}$	$\frac{ Z }{Z_{11}}$	$\frac{-Y_{21}}{Y_{22}}$	$\frac{1}{Y_{22}}$	$\frac{1}{A}$	$\frac{B}{A}$	$\frac{-h_{21}}{ h }$	$\frac{h_{11}}{ h }$

הערות

- א. עבור מקדמי ABCD – זרם המוצא I_2 יוצא מהרשת.
עבור מקדמי Y ו-Z – זרם המוצא I_2 נכנס לרשת.
- ב. $|Z|$, $|Y|$, $|h|$ הם דטרמיננטים של המטריצות [Z] , [Y] , ו- [h] , בהתאמה.

רשתות זוגיים

- Z_O [Ω] - עכבה אופיינית
 Z_{SC} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר
 Z_{OC} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק
 B - מקדם זוגיים
 C - מקדם זוגיים

$$Z_O = \sqrt{Z_{SC} Z_{OC}}$$

(עבור רשת סימטרית בלבד) $Z_O = \sqrt{\frac{B}{C}}$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{מהצד} \\ \text{האחד} \end{array} \right.$	Z_{O1} [Ω] - עכבת הברואה	$\left\{ \begin{array}{l} Z_{O1} = \sqrt{Z_{SC1} Z_{OC1}} \\ Z_{O2} = \sqrt{Z_{SC2} Z_{OC2}} \end{array} \right.$
	Z_{SC1} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר	
	Z_{OC1} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק	
$\left\{ \begin{array}{l} \text{מהצד} \\ \text{האחר} \end{array} \right.$	Z_{O2} [Ω] - עכבת הברואה	
	Z_{SC2} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר	
	Z_{OC2} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק	

γ - קבוע ההתפשטות $e^\gamma = e^{\alpha + j\beta} = e^\alpha \angle \beta$
 α [neper] - קבוע הניחות
 (1 neper = 8.69 dB)
 β [rad] - קבוע המופע, זווית המופע בין הזרמים I_1 ו- I_2 $N = e^\alpha = \left| \frac{I_1}{I_2} \right|$
 N - ניחות $N[\text{dB}] = 20 \log N$

12. מסננים

R_o [Ω] - התנגדות אופיינית $R_o = \sqrt{\frac{L}{C}}$
 A_V - הגבר מתח
 V_o [V] - מתח מוצא
 V_i [V] - מתח מבוא $A_V = \frac{V_o}{V_i}$
 A_V [dB] - הגבר מתח בדציבלים $A_V = 20 \log \frac{V_o}{V_i}$
 A_P - הגבר הספק
 P_o [W] - הספק מוצא
 P_i [W] - הספק מבוא $A_P = \frac{P_o}{P_i}$
 A_P [dB] - הגבר הספק בדציבלים $A_P = 10 \log \frac{P_o}{P_i}$

K קבוע - LPF

f_c [Hz] - תדר פוגה

$$f_c = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{\pi R_o C}$$

כאשר $\omega < \omega_c$

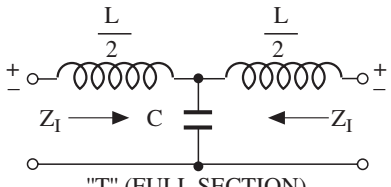
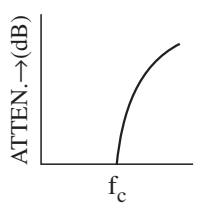
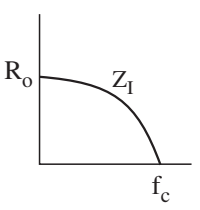
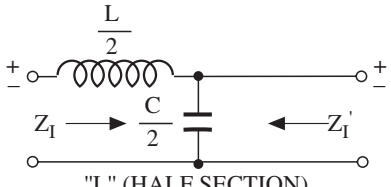
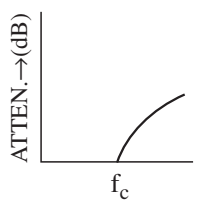
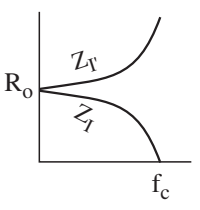
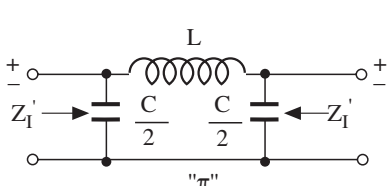
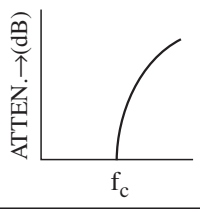
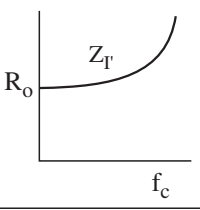
$$\beta = 2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

כאשר $\omega > \omega_c$

$$\alpha = 2 \cosh^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \angle \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + (f/f_c)^2}} \angle -\tan^{-1} (f/f_c)$$

$$A_V [\text{dB}] = -20 \log (f/f_c)$$

constant-K LOW PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
 "T" (FULL SECTION)		
 "L" (HALF SECTION)		
 "pi"		
$L = \frac{R_o}{\pi f_c} \quad ; \quad C = \frac{1}{\pi f_c R_o}$		$R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$

K קבוע - HPF

f_c [Hz] - תדר פוגה

$$f_c = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{4\pi R_o C}$$

כאשר $\omega > \omega_c$

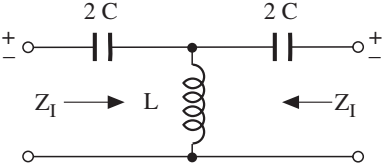
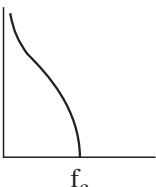
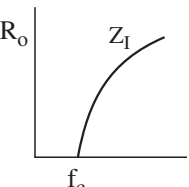
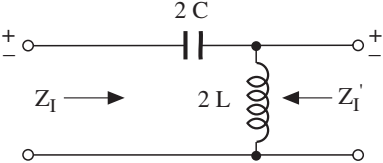
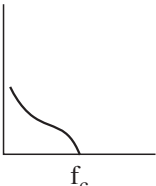
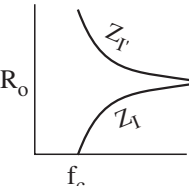
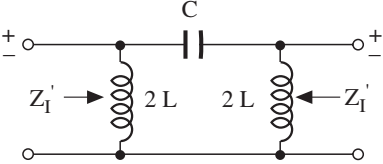
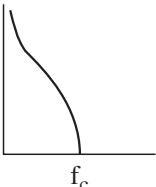
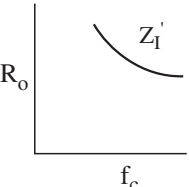
$$\beta = -2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)$$

כאשר $\omega < \omega_c$

$$\alpha = 2 \cosh^{-1} \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \angle \theta = \frac{-1}{\sqrt{1 + (f_c/f)^2}} \angle \tan^{-1} (f_c/f)$$

$$A_V [\text{dB}] = 20 \log (f_c/f)$$

constant-K HIGH PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
 "T" (FULL SECTION)	 f_c	 R_o f_c Z_1
 "L" (HALF SECTION)	 f_c	 R_o f_c Z_1 Z_1'
 "pi"	 f_c	 R_o f_c Z_1'
$L = \frac{R_o}{4 \pi f_c} \quad ; \quad C = \frac{1}{4 \pi f_c R_o}$ $R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$		

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון באלקטרוניקה ב' לכיתה י"ד

(4 עמודים)

משוב שלילי

הגבר בחוג סגור - A_f

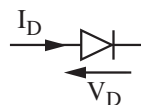
הגבר בחוג פתוח - A

מקדם המשוב - β

$$A_f = \frac{A}{1 + A\beta}$$

דיודת צומת

סימול:



א. דיודה אידיאלית:

ממתח קדמי - $V_D = 0$ (קצר)

ממתח אחורני - $I_D = 0$ (נתק)

ב. קירוב באמצעות V_γ :

ממתח קדמי - $V_D = V_\gamma$

ממתח אחורני - $I_D = 0$ ($V_D < V_\gamma$)

ג. קירוב באמצעות V_γ ו- R_f :

ממתח קדמי - $V_D = I_D \cdot R_f + V_\gamma$ ($V_D > V_\gamma$)

ממתח אחורני - $I_D = 0$ ($V_D < V_\gamma$)

טרנזיסטור FET (אזור הרוויה)

זרם האפיק	-	I_D [A]	$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_p} \right)^2$
זרם האפיק עבור $V_{gs} = 0$	-	I_{DSS} [A]	
המתח בין השער למקור	-	V_{gs} [V]	
מתח צביטה	-	V_p [V]	$g_m = \frac{2I_{DSS}}{ V_p } \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_p} \right)$
מוליכות הדדית	-	$g_m \left[\frac{1}{\Omega} \right]$	
מוליכות הדדית עבור $V_{gs} = 0$	-	$g_{m0} \left[\frac{1}{\Omega} \right]$	$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{ V_p }$

טרנזיסטור MOSFET (אזור הרוויה)

עבור טרנזיסטור מסוג N-CHANNEL :

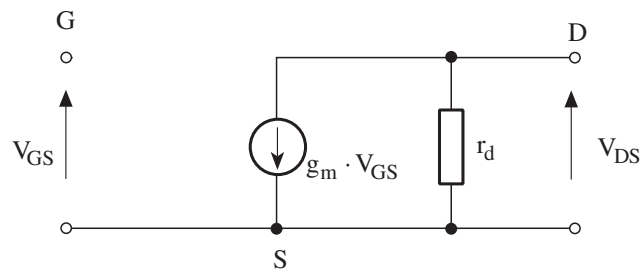
מתח צביטה	-	V_T [V]	
מקדם	-	$k \left[\frac{mA}{V^2} \right]$	$I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$

תנאי הרוויה

$$V_{GS} > V_T$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_T$$

תרשים תמורה מקורב של MOSFET



משוואת הדפקים היסודית

מתח המוצא	-	$V(t)$ [V]
מתח סופי (עבור $t \rightarrow \infty$)	-	V_∞ [V]
מתח התחלתי		V_{0+} [V]
זמן		t [sec]
קבוע הזמן		τ [sec]

$$V(t) = V_\infty - (V_\infty - V_{0+}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

טעינה לינארית

טעינת קבל בזרם קבוע:

מתח הקבל	-	$V_C(t)$ [V]
זרם הקבל	-	I_C [A]
קיבול	-	C [F]
זמן	-	t [sec]

$$v_C(t) = \frac{I_C}{C} \cdot t + V_C(0)$$

$$\Delta V_C = \frac{I_C}{C} \cdot \Delta t$$

טעינת סליל במתח קבוע:

זרם הסליל	-	$i_L(t)$ [A]
מתח הסליל	-	V_L [V]
השראות	-	L [H]

$$i_L(t) = \frac{V_L}{L} \cdot t + I_L(0)$$

$$\Delta I_L = \frac{V_L}{L} \cdot \Delta t$$

טבלת מצבים של JKFF

CLK	J	K	Q
1 , 0	∅	∅	N.C
	0	0	N.C
	0	1	0
	1	0	1
	1	1	$\bar{Q}_{n-1}$ (שינוי מצב)

טבלת מצבים של SRFF (סינכרוני)

CLK	S	R	Q
0 , 1	∅	∅	N.C
	0	0	N.C
	0	1	0
	1	0	1
	1	1	מצב אסור

טבלת מצבים של DFF

CLK	D	Q
1 , 0	∅	N.C
	0	0
	1	1

נספח ג': מילון מונחים

לשאלון 733003, אביב תשפ"ד

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
clock signal	Тактовый сигнал	إشارة ساعة	אות שעון
determinants	Детерминанты	مُحدِّد ج. مُحدِّدات	דטרמיננטים
flip-flop	Триггер	نَطَّاط / قَلَّاب	דלגלג
reactive power	Реактивная мощность	القدرة الارتكاسية	הספק היגבי
false power	Мнимая мощность	القدرة الوهمية	הספק מדומה
active power	Активная мощность	القدرة الفعَّالة	הספק פעיל
inductive	Индуктивный	حَثِّي	השראותי
alternative current	Переменный ток	التيَّار المُتَرَدِّد	זרם חילופין
star connection	Соединение звездой	اتِّصال نجمي	חיבור כוכב
instrumentation amplifier	Измерительный усилитель	مُضخِّم فارقِي (جهازِي)	מגבר מכשור
operational amplifier	Операционный усилитель	مُضخِّم تشغيلِي	מגבר שרת
counter	Счётчик	عَدَّاد	מונה
resonance state	Состояние резонанса	حالة رنين	מצב תהודה
quality factor	Коэффициент добротности	معامل النوعية	מקדם טיב
three-phase load	Трёхфазная нагрузка	حِمل ثلاثي الأطوار	עומס תלת-מופע
characteristic impedance	Характерное реактивное сопротивление	الممانعة المميَّزة	עכבה אופיינית
feed line	Линия питания	خط التغذية	קו הזנה
capacitive	Конденсатор	مُكثِّف	קיבולי
free running oscillator	Мультивибратор	مُذبذب حرّ الأداء	רב־רטט חופשי