

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תש"ף, 2020

סמל השאלון: 733003

נספחים: א. נוסחאון במערכות חשמל

לכיתה י"ד

ב. נוסחאון באלקטרוניקה ב'

לכיתה י"ד

ג. מילון מונחים

חשמל ואלקטרוניקה ה'

מגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגיה

(כיתה י"ד)

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שני פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש להשיב על ארבע שאלות בלבד, שאלה אחת לפחות מכל פרק. לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

- ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר השאלות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
- התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
- רשום את כל תשובותיך אך ורק בעט.
- הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בבהירות.
- כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה של תשובותיך.
- אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
- בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:
 - * רישום הנוסחה המתאימה.
 - * הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
 - * חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
 - * רישום התוצאה המתקבלת, יחד עם יחידות המידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.
- לנוחותך, לשאלון זה מצורף מילון מונחים בשפות עברית, ערבית, אנגלית ורוסית. תוכל להיעזר בו בעת הצורך.

בשאלון זה 9 עמודים ו-21 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר, אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

השאלות

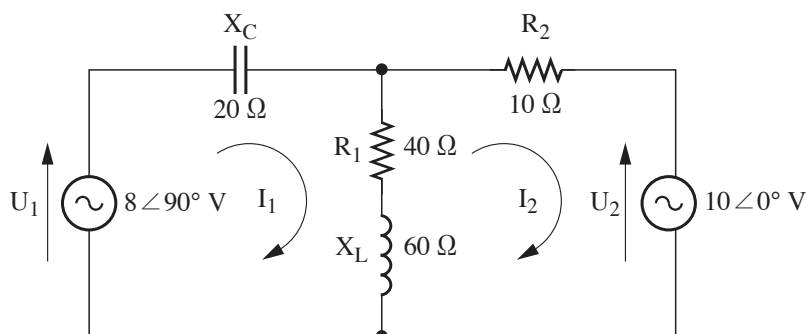
בשאלון זה שני פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש להשיב על ארבע שאלות בלבד, שאלה אחת לפחות מכל פרק. לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

פרק ראשון: מערכות חשמל

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 1–4 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון מעגל חשמלי לזרם חילופין.



איור לשאלה 1

א. (12 נק')

1. (8 נק') רשום את המשוואות של זרמי החוגים I_1 ו- I_2 .

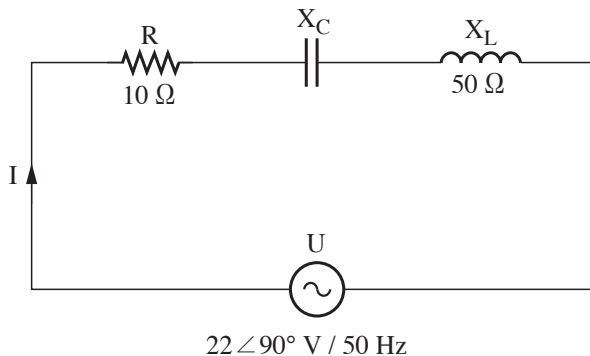
2. (4 נק') רשום ייצוג מטריציאלי של המשוואות.

ב. (8 נק') חשב את הזרם I_2 באמצעות דטרמיננטים.

ג. (5 נק') חשב את ההספק בנגד R_1 .

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי לזרם חילופין.



איור לשאלה 2

א. (4 נק')

1. (2 נק') מה צריך להיות היגב הקבל כדי שהמעגל יימצא במצב תהודה?

2. (2 נק') מה תהיה העכבה השקולה במעגל במצב הזה?

ב. (4 נק') חשב את גורם הטיב ואת רוחב־הפס של המעגל במצב תהודה.

ג. (8 נק') חשב את הזרם I ואת המתח על כל אחד מהרכיבים במעגל במצב תהודה.

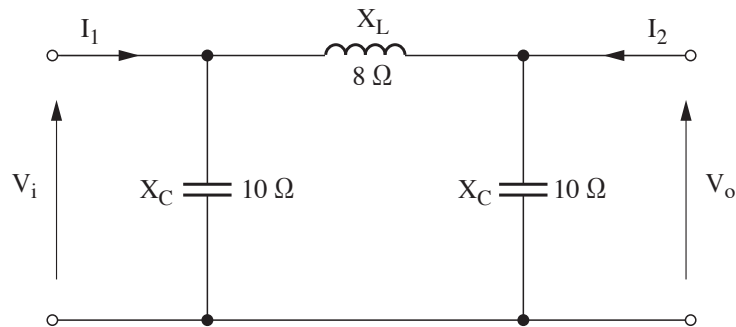
מחליפים את הקבל שאת היגבו מצאת בסעיף א' בקבל אחר שהיגבו 60Ω .

ד. (6 נק') חשב את העכבה השקולה ואת הזרם I במעגל.

ה. (3 נק') כתוב ביטוי לזרם I במעגל, כפונקצייה של הזמן.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון תרשים של רשת זוגיים.



איור לשאלה 3

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

ב. (8 נק') חשב את עכבת המבוא של הרשת, כאשר:

1. המוצא בנתק. (4 נק')

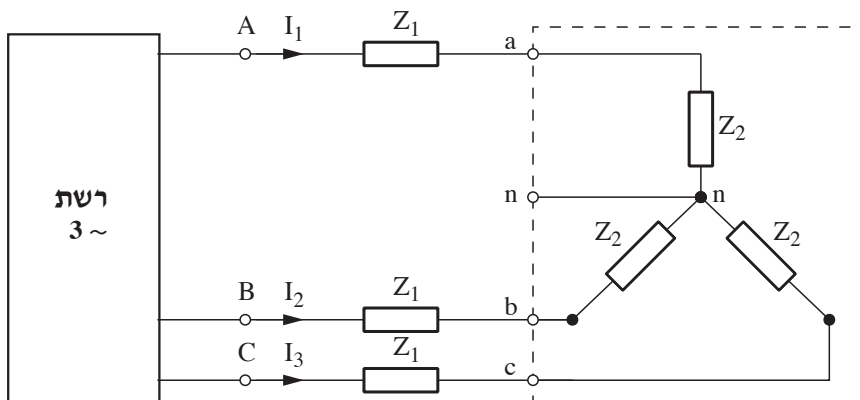
2. המוצא בקצר. (4 נק')

ג. (5 נק') חשב את העכבה האופיינית של הרשת.

ד. (4 נק') חשב את יחס המתחים $\left| \frac{V_o}{V_i} \right|$ כאשר המוצא בנתק.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתונה רשת תלת-מופעית, המזינה עומס תלת-מופעני דרך קו הזנה. העומס מחובר בחיבור כוכב, ועכבתו למופע היא $Z_2 = (80 + j20) \Omega$. עכבתו למופע של קו ההזנה היא $Z_1 = (2 + j0.5) \Omega$. המתחים המופעיים של העומס הם: $\bar{V}_{an} = 115 \angle 0^\circ \text{ V}$; $\bar{V}_{bn} = 115 \angle -120^\circ \text{ V}$; $\bar{V}_{cn} = 115 \angle +120^\circ \text{ V}$



איור לשאלה 4

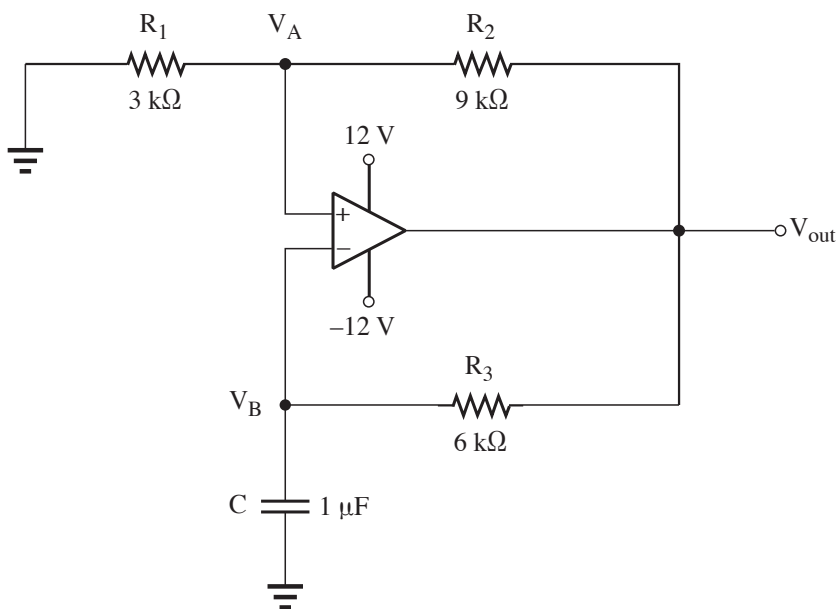
- א. (6 נק') חשב את הזרמים הקווים I_1, I_2, I_3 . כתוב את תשובותיך בהצגה מרוכבת.
- ב. (6 נק') חשב את המתחים המופעיים V_{Cn}, V_{Bn}, V_{An} . כתוב את תשובותיך בהצגה מרוכבת.
- ג. (8 נק') חשב את ההספק הפעיל, את ההספק ההיגבי ואת ההספק המדומה של הרשת.
- ד. (5 נק') חשב את המתח הקווי (השלוש) V_{AB} . כתוב את תשובתך בהצגה מרוכבת.

פרק שני: אלקטרוניקה ב'

ענה על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 5-8 (לכל שאלה – 25 נקודות).

שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתון מעגל חשמלי של רב־רטט חופשי. מגבר־השרת במעגל – אידיאלי.



איור לשאלה 5

- א. (15 נק') סרטט, זה מתחת לזה בהתאמה, את צורות המתחים V_A , V_B ו- V_{out} , כפונקצייה של הזמן. ציין בסרטוטך ערכים משמעותיים של מתחים וזמנים.
- ב. (10 נק') חשב את התדר ואת מחזור הפעולה (Duty Cycle) של מתח־המוצא V_{out} .

שאלה 6

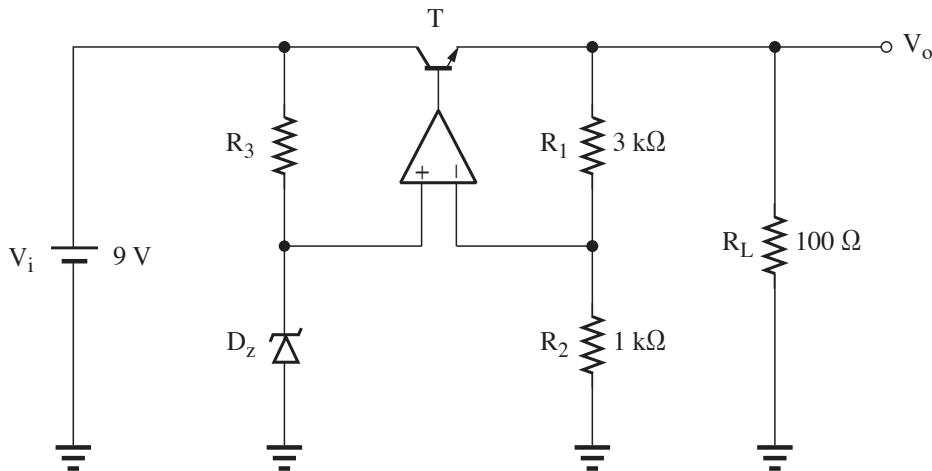
באיור לשאלה 6 נתון מעגל חשמלי של מייצב מתח.

$$V_Z = 1.4 \text{ V} ; I_{Z_{\min}} = 2 \text{ mA} ; P_{Z_{\max}} = 56 \text{ mW}$$

נתוני דיודת־הזנר הם:

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V} ; \beta = 100$$

נתוני הטרנזיסטור הם:

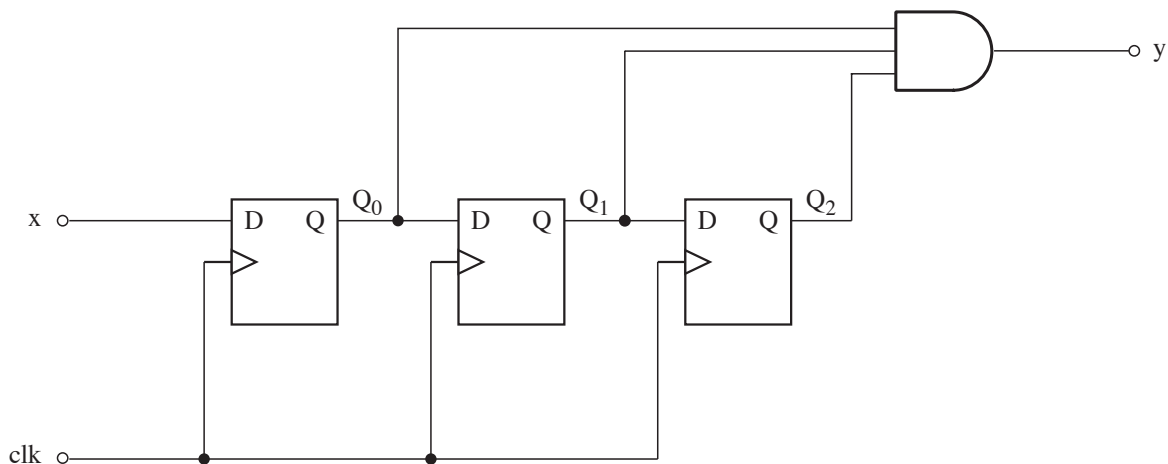


איור לשאלה 6

- א. (7 נק') חשב את מתח־המוצא V_o .
- ב. (6 נק') חשב את זרם הבסיס, I_B , של הטרנזיסטור.
- ג. (6 נק') חשב את ההספק המתפתח בטרנזיסטור.
- ד. (6 נק') חשב את ערכו של הנגד R_3 , הנדרש כדי שהזרם העובר בדיודת־הזנר יהיה 10 mA.

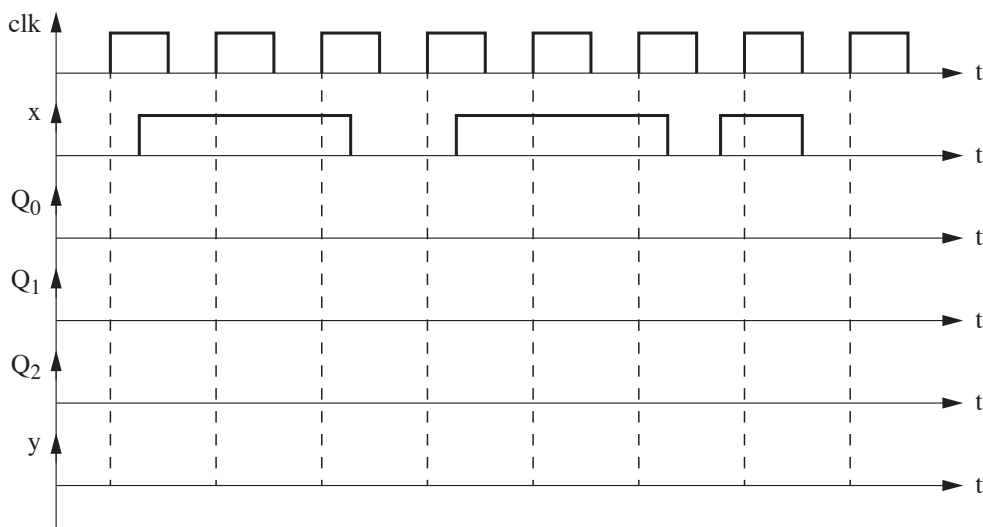
שאלה 7

באיור א' לשאלה 7 נתון מעגל ספרתי הכולל אוגר הזזה ושער לוגי. כל אחד מדלגלי ה-D במעגל פועל בעליית אות השעון. המצב התחלתי של מוצאי הדלגלים הוא: $Q_0 = Q_1 = Q_2 = '0'$.



איור א' לשאלה 7

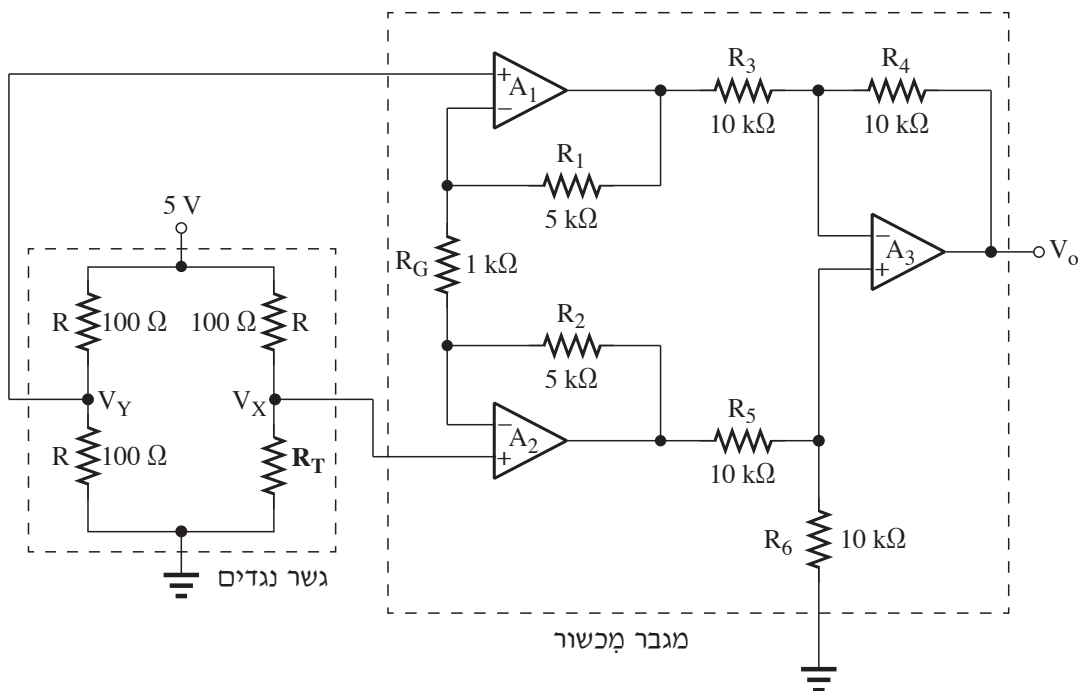
- 9 נק') א. רשום את טבלת-האמת של דלגל D ואת טבלת-האמת של השער הלוגי.
16 נק') ב. באיור ב' לשאלה נתונה צורת האות במבוא x של אוגר-ההזזה עבור שמונה מחזורים של אות השעון. העתק למחברתך את האיור, וסרטט זה מתחת לזה, בהתאמה, את צורות הגלים במוצאים: Q_0, Q_1, Q_2, y .



איור ב' לשאלה 7

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון מעגל חשמלי הכולל גשר נגדים ומגבר מכשור. גשר הנגדים כולל תרמיסטור שהתנגדותו, R_T , תלויה בטמפרטורה.



איור לשאלה 8

התנגדות הנגד R_T תלויה בטמפרטורה לפי הנוסחה: $R_T = 100 + 0.5 \cdot T$.
הטמפרטורה T נמדדת ב- $^{\circ}\text{C}$, והתנגדות הנגד R_T נמדדת ב- Ω .

- א. (5 נק') חשב את המתח V_X בטמפרטורה של 0°C .
- ב. (8 נק') חשב את מתח המוצא V_O בטמפרטורה של 0°C .
- ג. (12 נק') חשב את המתחים V_X ו- V_O בטמפרטורה של 100°C .

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות חשמל לכיתה י"ד

(16 עמודים)

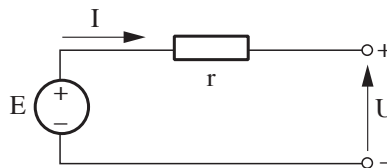
(הגדלים בנוסחאון מופיעים ביחידות SI)

1. מקור מתח ומקור זרם

כא"מ של מקור מתח

הכא"מ	-	E	[V]
מתח ההדקים	-	U	[V]
התנגדות פנימית	-	r	[Ω]
זרם	-	I	[A]

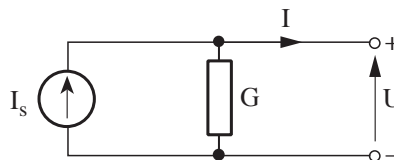
$$E = U + I \cdot r$$



זרם של מקור זרם

זרם המקור	-	I_s	[A]
מוליכות פנימית של מקור זרם	-	G	[S]

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



2. אלקטרוסטטיקה

שדה חשמלי ופוטנציאל חשמלי

פוטנציאל חשמלי	- U	[V]	$U = \frac{k \cdot q}{r} = \frac{W}{q}$
אנרגיה פוטנציאלית חשמלית	- W	[W · sec או J]	$E = \frac{k \cdot q}{r^2} = \frac{U}{r}$
עוצמת השדה החשמלי	- E	[V / m]	$k = 9 \cdot 10^9$
קבוע	- k	$\left[\frac{V \cdot m}{C} \right]$	$1 C = 6.24 \cdot 10^{18} e$
מטען	- q	[C]	
מרחק מהמטען	- r	[m]	
מטען האלקטרון	- e	[C]	

קבל לוחות

קבוע דיאלקטרי של החומר	- ε	[F / m]	
קבוע דיאלקטרי של הריק	- ε ₀	[F / m]	$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8.85 \cdot 10^{-12}$
קבוע דיאלקטרי יחסי	- ε _r		$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$
קיבול הקבל	- C	[F]	$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad C = \frac{Q}{U}$
המתח על הקבל	- U	[V]	
מטען הקבל	- Q	[C]	$W = \frac{1}{2} \cdot CU^2$
המרחק בין לוחות הקבל	- d	[m]	
שטח החתך של לוחות הקבל	- A	[m ²]	
האנרגיה החשמלית האגורה בקבל	- W	[W · sec או J]	

3. מגנטיות ואלקטרומגנטיות

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

4. רכיבים פסיביים ליניאריים

סליל

$$[V] \quad u_L(t) \quad - \quad \text{מתח רגעי על הסליל}$$

$$- \quad \frac{di_L(t)}{dt} \quad \text{שינוי זרם בסליל}$$

$$[H] \quad L \quad - \quad \text{השראות הסליל}$$

$$[A] \quad i_L(t) \quad - \quad \text{זרם רגעי בסליל}$$

$$[A] \quad I_{L0} \quad - \quad \text{זרם התחלתי בסליל}$$

$$[W] \quad p_L(t) \quad - \quad \text{הספק רגעי בסליל}$$

$$u_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$$

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(t) dt + I_{L0}$$

$$p_L(t) = L \cdot i_L(t) \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$$

$$p_L(t) = u_L(t) \left(\frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(t) dt + I_{L0} \right)$$

קבל

$$[A] \quad i_C(t) \quad - \quad \text{זרם רגעי בקבל}$$

$$- \quad \frac{du_C(t)}{dt} \quad \text{שינוי מתח בקבל}$$

$$[F] \quad C \quad - \quad \text{קיבול הקבל}$$

$$[V] \quad u_C(t) \quad - \quad \text{מתח רגעי על הקבל}$$

$$[V] \quad U_{C0} \quad - \quad \text{מתח התחלתי על הקבל}$$

$$[W] \quad p_C(t) \quad - \quad \text{הספק רגעי בקבל}$$

$$i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(t) dt + U_{C0}$$

$$p_C(t) = C \cdot u_C(t) \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$$

$$p_C(t) = i_C(t) \left(\frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(t) dt + U_{C0} \right)$$

5. תופעות מעבר

מעגל RC

מתח על הקבל	$u_C(t)$	[V]	$u_C(t) = U_{C\infty} - (U_{C\infty} - U_{C0})e^{-\frac{t}{\tau}}$
מתח סופי (עבור $t \rightarrow \infty$) על הקבל	$U_{C\infty}$	[V]	
מתח התחלתי על הקבל	U_{C0}	[V]	$\tau = RC$
זמן	t	[sec]	$i_C(t) = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
קבוע הזמן	τ	[sec]	
זרם בקבל	$i_C(t)$	[A]	
מתח המקור	E	[V]	

מעגל RL

זרם בסליל	$i_L(t)$	[A]	$i_L(t) = I_{L\infty} - (I_{L\infty} - I_{L0})e^{-\frac{t}{\tau}}$
זרם סופי (עבור $t \rightarrow \infty$) בסליל	$I_{L\infty}$	[A]	
זרם התחלתי בסליל	I_{L0}	[A]	$\tau = \frac{L}{R}$
מתח על הסליל	$u_L(t)$	[V]	
מתח התחלתי על הסליל	U_{L0}	[V]	$u_L(t) = U_{L0} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

6. מעגל תהודה RLC טורי/מקבילי

תדר התהודה	f_o	[Hz]	$f_o = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$	$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
תדר התהודה הזוויתי	ω_o	$\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$		$BW = \frac{f_o}{Q_o}$
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

$$Z_1 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$$

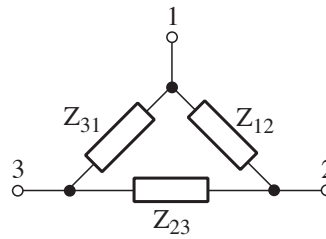
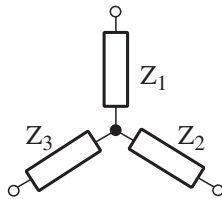
$$Z_{12} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_3}$$

$$Z_2 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$$

$$Z_{23} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_1}$$

$$Z_3 = \frac{Z_{23} \cdot Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}}$$

$$Z_{31} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_2}$$



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]

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

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

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

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

זמן המחזור	-	T [sec]
תדירות זוויתית	-	ω [rad / sec]

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

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]
הספק מדומה	-	S [VA]
הספק היגבי	-	Q [VAr]
זווית מופע	-	φ [$^\circ$, rad]

$$\text{tg } \varphi = \frac{Q}{P} \quad P = S \cos \varphi$$

$$S = P \pm jQ \quad Q = S \sin \varphi$$

10. רשתות תלת-מופעיות

כוכב סימטרי

זרם קווי	-	I_L	[A]
זרם מופעי	-	I_{ph}	[A]
מתח שלוב (קווי)	-	U_L	[V]
מתח מופעי	-	U_{ph}	[V]

$$I_L = I_{ph}$$

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_{ph}$$

משולש סימטרי

$$U_L = U_{ph}$$

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_{ph}$$

הספק תלת מופעי

הספק מדומה תלת-מופעי	-	S	[VA]
הספק פעיל תלת-מופעי	-	P	[W]
הספק היגבי תלת-מופעי	-	Q	[VAr]

$$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cos \varphi$$

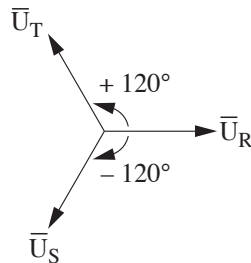
$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \sin \varphi$$

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

- זרם במוליך האפס - $\bar{I}_N$ [A]
- זרם קווי - $\bar{I}_L$ [A]
- הספק בתחילת קו ההזנה - P_1 [W]
- הספק בסוף קו ההזנה - P_2 [W]
- נצילות המערכת - η
- הפסדי הספק בקו ההזנה - ΔP [W]

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

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

$$P_1 = P_2 + \Delta P$$

11. מקדמים של רשת זוגיים

מקדמי ABCD

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

מקדמי Z

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

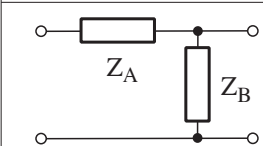
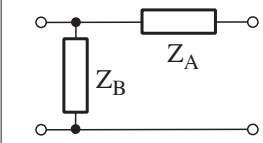
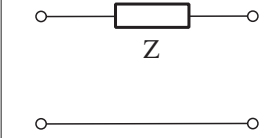
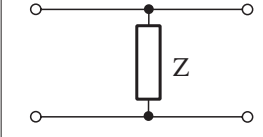
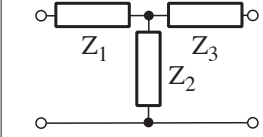
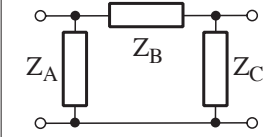
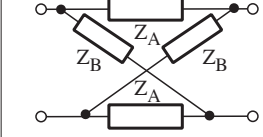
מקדמי Y

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

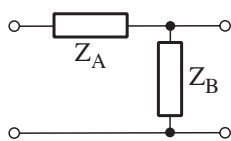
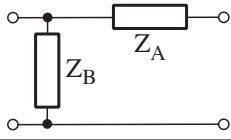
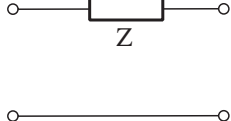
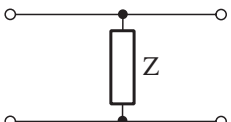
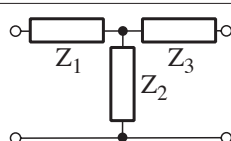
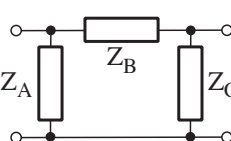
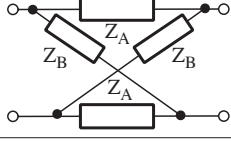
מקדמי h

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

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 I_1 וזרם היציאה I_2 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	$\frac{-h_{22}}{h_{21}}$	$\frac{-1}{h_{21}}$
[h]	$\frac{ Z }{Z_{22}}$	$\frac{Z_{12}}{Z_{22}}$	$\frac{1}{Y_{11}}$	$\frac{-Y_{12}}{Y_{11}}$	$\frac{B}{D}$	$\frac{AD-BC}{D}$	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}
[g]	$\frac{1}{Z_{11}}$	$\frac{-Z_{12}}{Z_{11}}$	$\frac{ Y }{Y_{22}}$	$\frac{Y_{12}}{Y_{22}}$	$\frac{C}{A}$	$\frac{-(AD-BC)}{A}$	$\frac{h_{22}}{ h }$	$\frac{-h_{12}}{ h }$
	$\frac{Z_{21}}{Z_{11}}$	$\frac{ Z }{Z_{11}}$	$\frac{-Y_{21}}{Y_{22}}$	$\frac{1}{Y_{22}}$	$\frac{1}{A}$	$\frac{B}{A}$	$\frac{-h_{21}}{ h }$	$\frac{h_{11}}{ h }$

הערות

- א. עבור מקדמי ABCD – זרם המוצא I_2 יוצא מהרשת.
- ב. עבור מקדמי Y ו-Z – זרם המוצא I_2 נכנס לרשת.
- ג. $|Z|$, $|Y|$, ו- $|h|$ 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)

$$Z_O = \sqrt{\frac{B}{C}}$$

- Z_{O1} [Ω] - עכבת הברואה
 - Z_{SC1} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר
 - Z_{OC1} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק
 - Z_{O2} [Ω] - עכבת הברואה
 - Z_{SC2} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר
 - Z_{OC2} [Ω] - עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק
- מהצד
האחד
- מהצד
האחר

$$Z_{O1} = \sqrt{Z_{SC1} Z_{OC1}}$$

$$Z_{O2} = \sqrt{Z_{SC2} Z_{OC2}}$$

- γ - קבוע ההתפשטות
 - α [neper] - קבוע הניחות
 - β [rad] - קבוע המופע, זווית המופע בין הזרמים I_1 ו- I_2
 - N - ניחות
- (1 neper = 8.69 dB)

$$e^\gamma = e^{\alpha + j\beta} = e^\alpha \angle \beta$$

$$N = e^\alpha = \left| \frac{I_1}{I_2} \right|$$

$$N[\text{dB}] = 20 \log N$$

12. מסגנים

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 $\omega < \omega_c$:

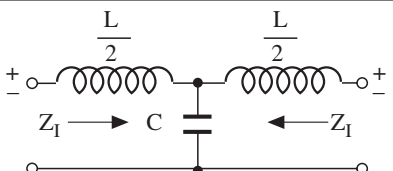
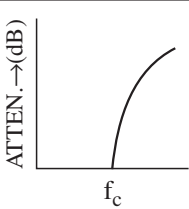
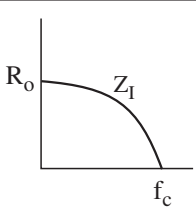
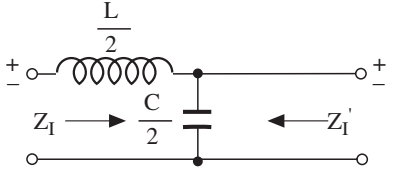
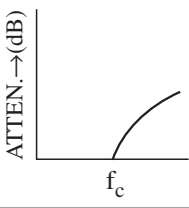
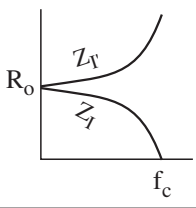
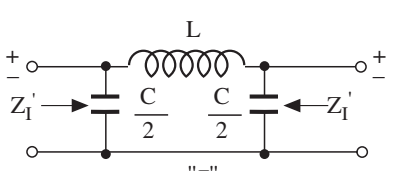
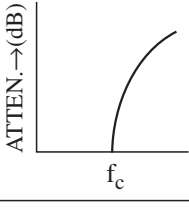
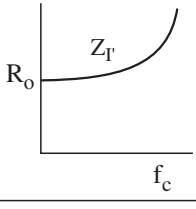
$$\beta = 2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

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"		
$L = \frac{R_o}{\pi f_c} ; \quad C = \frac{1}{\pi f_c R_o}$		
$R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$		

HPF – קבוע K

f_c [Hz] – תדר פוגה

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

כאשר $\omega > \omega_c$:

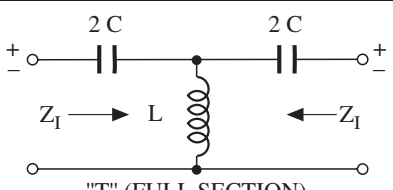
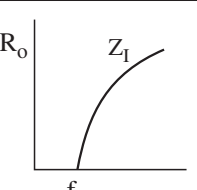
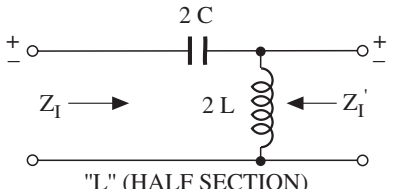
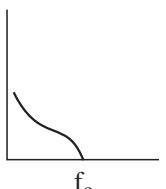
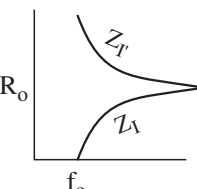
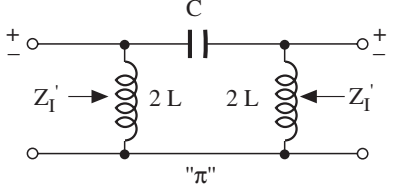
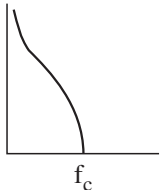
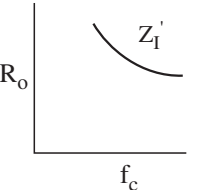
$$\beta = -2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)$$

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	 f_c
 "L" (HALF SECTION)	 f_c	 f_c
 "pi"	 f_c	 f_c
$L = \frac{R_o}{4\pi f_c} \quad ; \quad C = \frac{1}{4\pi f_c R_o}$		
$R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$		

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון באלקטרוניקה ב' לכיתה י"ד

(4 עמודים)

משוב שלילי

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

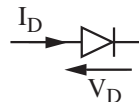
A_f – הגבר בחוג סגור

A – הגבר בחוג פתוח

β – מקדם המשוב

דיודת צומת

סימול:



א. דיודה אידיאלית:

ממתח קדמי – $V_D = 0$ (קצר)

ממתח אחורני – $I_D = 0$ (ננעק)

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)

- I_D [A] זרם האפיק
- I_{DSS} [A] זרם האפיק עבור $V_{gs} = 0$
- V_{gs} [V] המתח בין השער למקור
- V_p [V] מתח צביטה

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_p} \right)^2$$

- g_m $\left[\frac{1}{\Omega} \right]$ מוליכות הדדית

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_p} \right)$$

- g_{m0} $\left[\frac{1}{\Omega} \right]$ מוליכות הדדית עבור $V_{gs} = 0$

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|}$$

טרנזיסטור MOSFET (אזור הרוויה)

עבור טרנזיסטור מסוג N-CHANNEL :

- V_T [V] מתח צביטה

$$I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$$

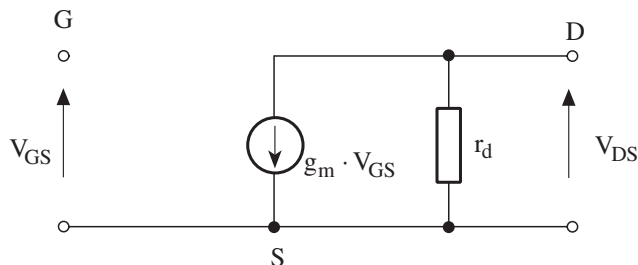
- k $\left[\frac{mA}{V^2} \right]$ מקדם

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	$\emptyset$	$\emptyset$	N.C
$\downarrow$	0	0	N.C
$\downarrow$	0	1	0
$\downarrow$	1	0	1
$\downarrow$	1	1	$\bar{Q}_{n-1}$ (שינוי מצב)

טבלת מצבים של SRFF (סינכרוני)

CLK	S	R	Q
0, 1	$\emptyset$	$\emptyset$	N.C
$\downarrow$	0	0	N.C
$\downarrow$	0	1	0
$\downarrow$	1	0	1
$\downarrow$	1	1	מצב אסור

טבלת מצבים של DFF

CLK	D	Q
1, 0	$\emptyset$	N.C
$\downarrow$	0	0
$\downarrow$	1	1

בהצלחה!

נספח: מילון מונחים

לשאלון 733003, אביב תש"ף

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
clock signal	Тактовый сигнал	إشارة ساعة	אות שעון
determinants	Детерминанты	مُحدّد ج. مُحدّدات	דטרמיננטים
flip-flop	Триггер	نَطَاط / قَلَاب	דלגלג
reactive power	Реактивная мощность	القدرة الارتكاسيّة	הספק היגבי
false power	Мнимая мощность	القدرة الوهميّة	הספק מדומה
active power	Активная мощность	القدرة الفعّالة	הספק פעיל
inductive	Индуктивный	حَثِّي	השראותי
alternative current	Переменный ток	التيّار المُتردّد	זרם חילופין
star connection	Соединение звездой	اتّصال نجمي	חיבור כוכב
instrumentation amplifier	Измерительный усилитель	مُضخّم فارقيّ (جهازيّ)	מגבר מכשור
operational amplifier	Операционный усилитель	مُضخّم تشغيليّ	מגבר שרת
counter	Счётчик	عدّاد	מונה
resonance state	Состояние резонанса	حالة رنين	מצב תהודה
quality factor	Коэффициент добротности	معامل النوعيّة	מקדם טיב
three-phase load	Трёхфазная нагрузка	حِثْل ثلاثيّ الأطوار	עומס תלת־מופעי
characteristic impedance	Характерное реактивное сопротивление	الممانعة المميّزة	עכבה אופיינית
feed line	Линия питания	خطّ التغذية	קו הזנה
capacitive	Конденсатор	مُكثّف	קיבולי
free running oscillator	Мультивибратор	مُذبذب حرّ الأداء	רב־רטט חופשי