

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשע"ח, 2018

סמל השאלון: 733003

נספחים: א. נספח לשאלה 7

ב. נוסחאון במערכות חשמל

לכיתה י"ד

ג. נוסחאון באלקטרוניקה ב'

לכיתה י"ד

ד. מילון מונחים

חשמל ואלקטרוניקה ה'

מגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגייה

(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:

1. ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר השאלות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.

2. התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.

3. רשום את כל תשובותיך אך ורק בעט.

4. הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בבהירות.

5. כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה של תשובותיך.

6. אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.

7. 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.

8. לנוחותך, לשאלון זה מצורף מילון מונחים בשפות עברית, ערבית, אנגלית ורוסית. תוכל להיעזר בו בעת הצורך.

בשאלון זה 10 עמודים ו-25 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

השאלות

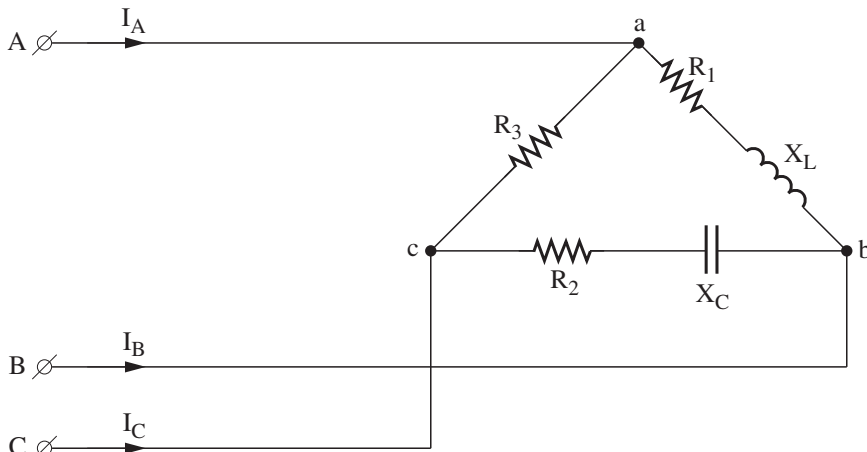
בשאלון זה שני פרקים, ובהם שמונה שאלות. יש להשיב על ארבע שאלות בלבד,
שאלה אחת לפחות מכל פרק.
לכל שאלה – 25 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

פרק ראשון: מערכות חשמל

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

שאלה 1

באיור לשאלה 1 מתוארת רשת תלת-מופעית המזינה עומס תלת-מופעי אסימטרי, אשר מחובר
בחיבור משולש.



איור לשאלה 1

המתחים השלובים של הרשת התלת-מופעית הם:

$$\bar{U}_{AB} = 400 \angle 0^\circ \text{ V} \quad \bar{U}_{BC} = 400 \angle -120^\circ \text{ V} \quad \bar{U}_{CA} = 400 \angle 120^\circ \text{ V}$$

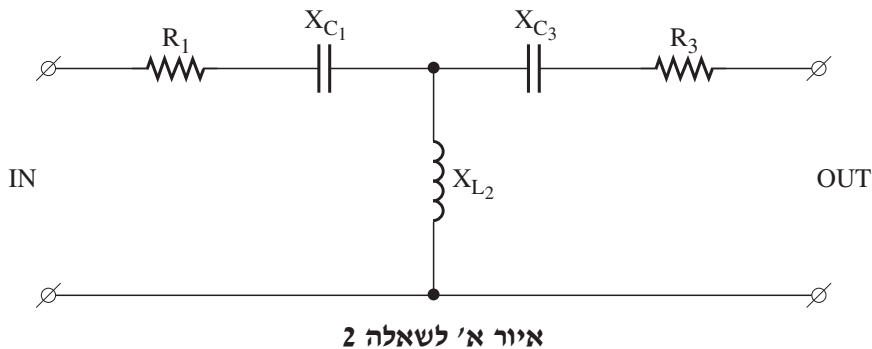
נתוני העומס התלת-מופעית הם:

$$R_1 = 15 \, \Omega, \quad R_2 = 10 \, \Omega, \quad R_3 = 8 \, \Omega, \quad X_L = 16 \, \Omega, \quad X_C = 20 \, \Omega$$

- א. חשב את הזרמים המופיעים בענפי העומס. הצג את תשובתך בהצגה מרוכבת.
- ב. חשב את הזרמים הקווים I_A , I_B , I_C . הצג את תשובתך בהצגה מרוכבת.
- ג. חשב את ההספק הפעיל הנצרך על-ידי העומס.

שאלה 2

באיור א' לשאלה 2 מתוארת רשת זוגיים.



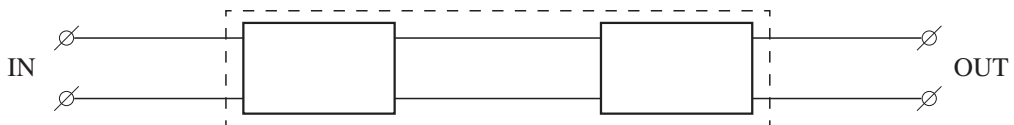
נתוני הרשת הם:

$$R_1 = R_3 = 2 \, \Omega$$

$$X_{C1} = X_{C3} = 5 \, \Omega$$

$$X_{L2} = 3 \, \Omega$$

- א. חשב את העכבה האופיינית של הרשת.
- ב. חשב את מקדמי הזוגיים A, B, C, D של רשת הזוגיים הנתונה.
- ג. באיור ב' לשאלה מתוארת רשת שבה כל מלבן מייצג את רשת הזוגיים המופיעה באיור א'.

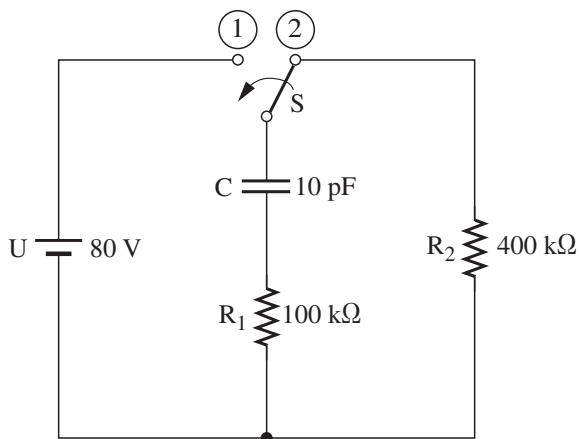


איור ב' לשאלה 2

חשב את מקדמי הזוגיים A, B, C, D של הרשת השקולה.

שאלה 3

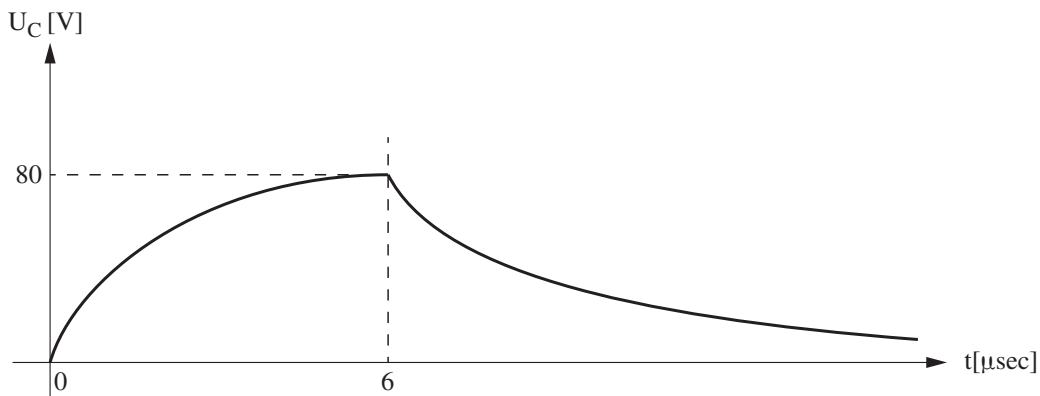
באיור א' לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי.



איור א' לשאלה 3

- המפסק S נמצא במצב (2) זמן רב מאוד. בזמן $t = 0$ מעבירים את המפסק S למצב (1).
א. כתוב ביטוי המתאר את המתח U_C על הקבל C במעגל הנתון, כפונקצייה של הזמן. חשב את ערכו של המתח בזמן $t = 0.5 \mu\text{sec}$.
ב. סרטט במחברתך גרף המתאר את המתח על-פני הנגד R_1 כפונקצייה של הזמן בתחום $0 \leq t \leq 7 \mu\text{sec}$, וציין את ערך המתח על הנגד בזמן $t = 0.5 \mu\text{sec}$.

ג. החליפו את הנגד R_1 בנגד R אחר שערכו אינו ידוע. מדדו את ערכי המתחים על הקבל C והתקבל הגרף הזה:

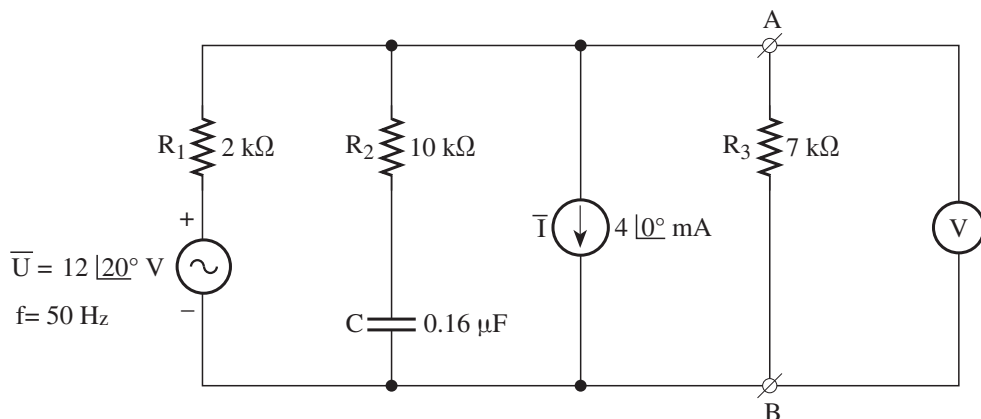


איור ב' לשאלה 3

1. באיזה מצב נמצא המפסק לאחר $t = 6 \mu\text{sec}$? נמק את תשובתך.
2. חשב מהו ערכו של הנגד R .

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתון מעגל חשמלי.



איור לשאלה 4

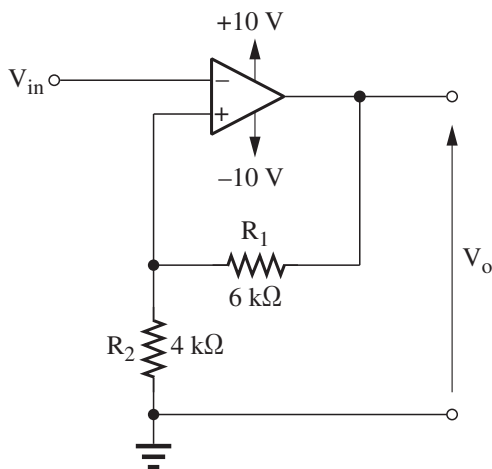
- א. חשב את הזרם הזורם דרך הקבל C . הצג תשובתך כמספר מרוכב.
- ב. בין הנקודות A ו-B מחובר מד מתח. חשב את ערך קריאתו.

פרק שני: אלקטרוניקה ב'

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

שאלה 5

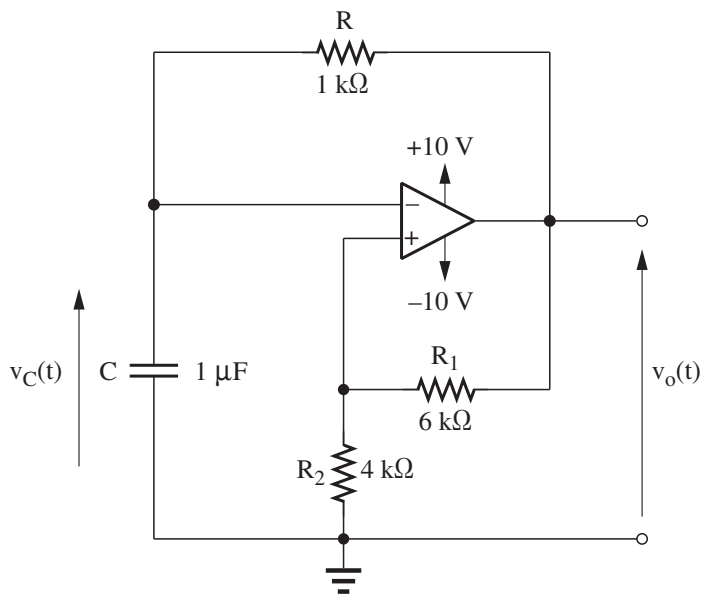
באיור א' לשאלה 5 מתואר מעגל חשמלי של משווה מסוג שמיט-טריגר. מגבר השרת שבמעגל אידיאלי.



איור א' לשאלה 5

א. סרטט את אופיין המעבר של המעגל, V_o , כפונקצייה של V_{in} .

ב. למעגל המתואר באיור א' הוסיפו קבל C ונגד R כפי שמתואר באיור ב' לשאלה.



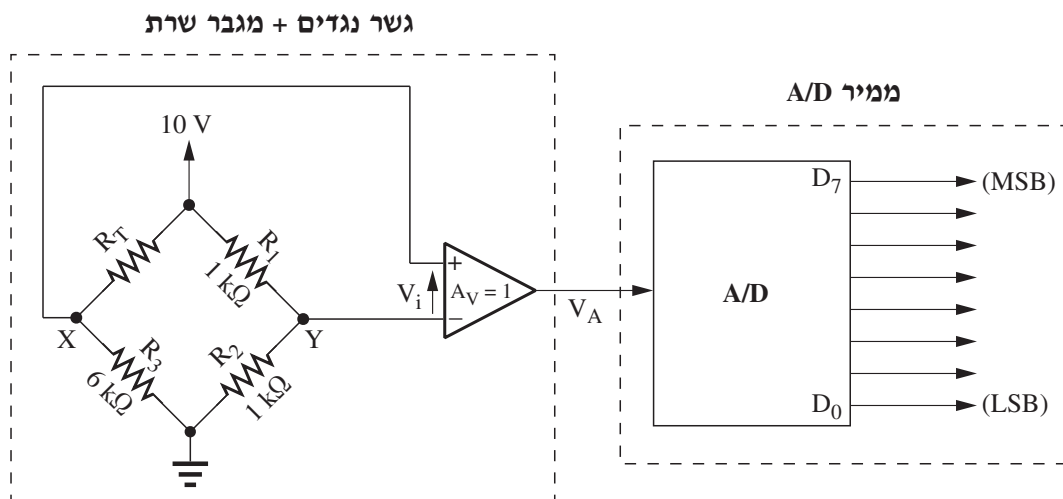
איור ב' לשאלה 5

סרטט במחברתך זו מתחת לזו, בהתאמה, את צורת המתח $v_C(t)$ על הקבל ואת צורת מתח המוצא, $v_o(t)$, כפונקצייה של הזמן. ציין את ערכי המתחים על-גבי הסרטוט.

ג. חשב את תדר התנודות של המתח במוצא המעגל שבאיור ב'.

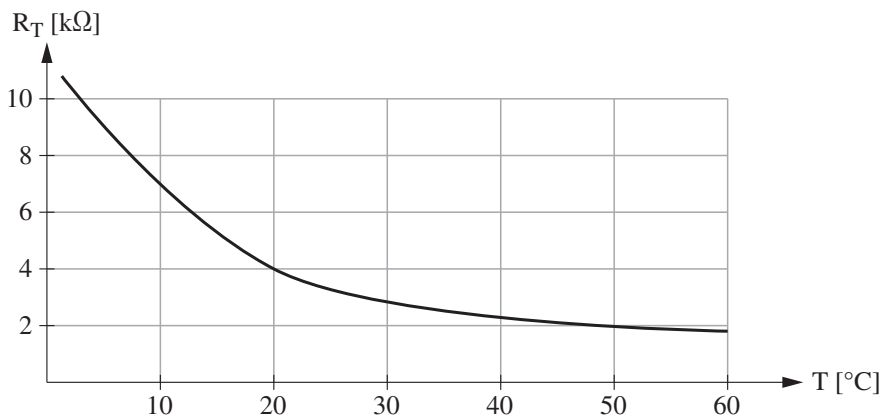
שאלה 6

באיור א' לשאלה 6 נתון מעגל חשמלי הכולל גשר נגדים, מגבר שרת אידיאלי וממיר A/D. המעגל משמש למדידת טמפרטורה.



איור א' לשאלה 6

באיור ב' לשאלה מתואר האופייין של חיישן הטמפרטורה R_T .

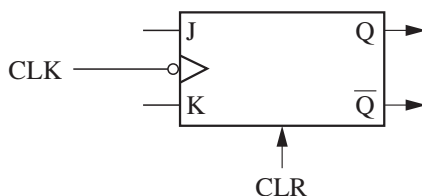


איור ב' לשאלה 6

- א. חשב את מתח המוצא של המגבר V_A בטמפרטורה של 20°C .
- ב. למוצא המגבר מחובר ממיר A/D בעל רזולוציה של 20 mV .
חשב את הערך הספרתי המתקבל במוצא ממיר ה-A/D בטמפרטורה של 20°C .
- ג. באיזו טמפרטורה יתקבל במוצא ממיר ה-A/D הערך $125_{(10)} = 01111101_{(2)}$?

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון דלגלג מסוג J-K המדורבן קצה שלילי (פועל בירידת שעון).
המבוא CLR הוא אסינכרוני ופעיל במצב של 1.



איור לשאלה 7

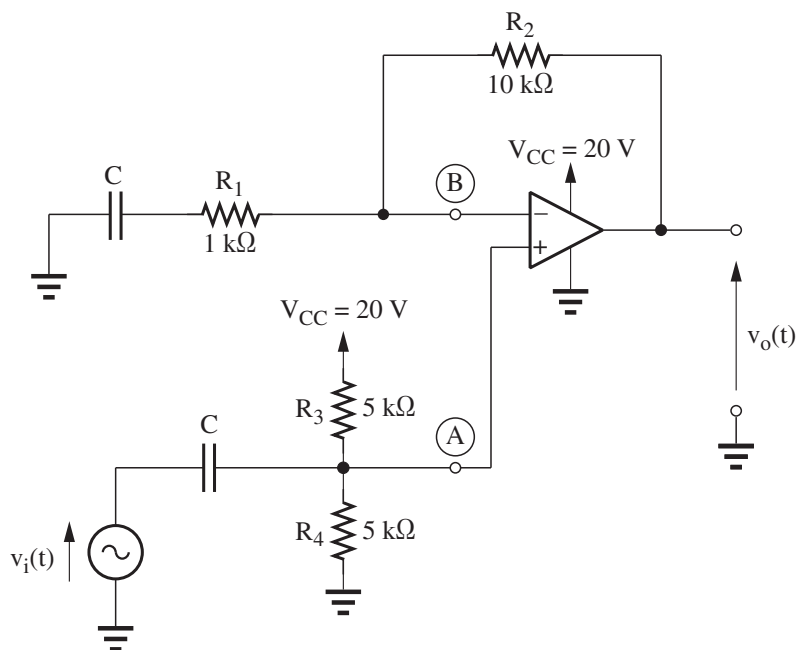
בנספח לשאלה 7 נתונה טבלת המצבים של הדלגלג ומתואר אות דופק השעון המסופק לדלגלג.

- א. השלם את טבלת המצבים של הדלגלג על-גבי הנספח.
- ב. השלם על-גבי הנספח את צורת אות המוצא, Q, כפונקצייה של הזמן,
כאשר $\text{CLR} = '0'$, $J = K = '1'$.
הנח שבמצב ההתחלתי $Q = '0'$.

הערה: הדבק את מדבקת הנבחן שלך במקום המיועד לכך בנספח לשאלה 7, והדק אותו
למחברת הבחינה.

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון מעגל חשמלי הכולל מגבר שרת וספק יחיד. מגבר השרת אידיאלי, והיגבי הקבלים זניחים.



איור לשאלה 8

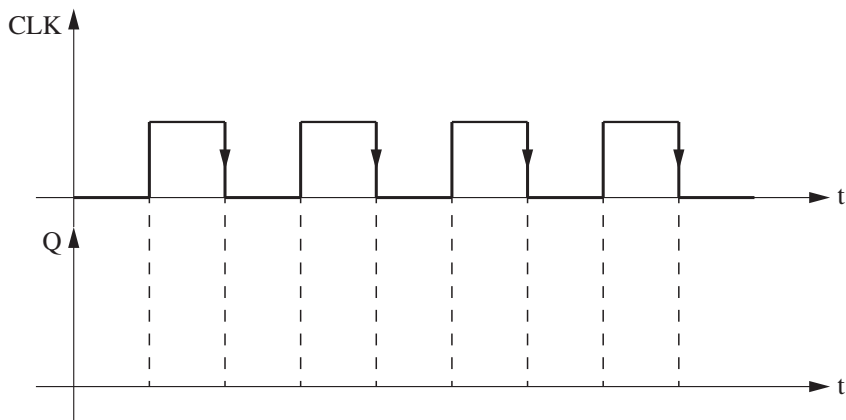
- א. חשב את המתחים V_A , V_B ו- V_o כאשר מתח המקור v_i מנותק.
- ב. חשב את הגבר מתח החילופין $\frac{V_o}{V_i}$.
- ג. סרטט במחברתך, זו מתחת לזו בהתאמה, את צורות המתחים $v_i(t)$, $v_A(t)$ ו- $v_o(t)$ כפונקצייה של הזמן, כאשר $v_i(t) = 0.3 \sin(\omega t)$.

בהצלחה!

טבלת המצבים של הדלגלג

CLR	CLK	J	K	Q_n המצב הנוכחי	$Q_n + 1$ המצב הבא
0	0	1	1	0	
1	0	0	0	1	
0	1	0	0	1	
0	1	0	1	0	
0	1	1	0	0	
0	1	1	1	0	
1	1	1	1	0	

אות דופק השעון המסופק לדלגלג



הערה: הדבק את מדבקת הנבחן שלך במקום המיועד לכך בנספח לשאלה 7, והדק אותו למחברת הבחינה.

מקום מדינת ישראל

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות חשמל לכיתה י"ד

(17 עמודים)

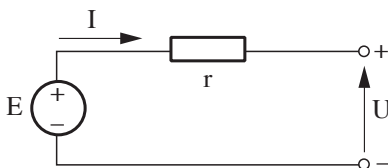
(הגדלים בנוסחאון מופיעים ביחידות SI)

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]

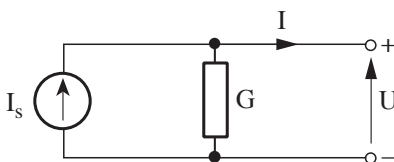
$$E = U + I \cdot r$$



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]	
עוצמת השדה החשמלי	-	E	[V / m]	$E = \frac{k \cdot q}{r^2} = \frac{U}{r}$
קבוע	-	k	$\left[\frac{V \cdot m}{C} \right]$	$k = 9 \cdot 10^9$
מטען	-	q	[C]	$1 C = 6.24 \cdot 10^{18} e$
מרחק מהמטען	-	r	[m]	
מטען האלקטרון	-	e	[C]	

קבל לוחות

קבוע דיאלקטרי של החומר	-	ϵ	[F / m]	$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8.85 \cdot 10^{-12}$
קבוע דיאלקטרי של הריק	-	ϵ_0	[F / m]	
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]	$W = \frac{1}{2} \cdot C U^2$
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 $\text{V} \cdot \text{sec}$]	$E = -N \frac{d\Phi}{dt}$
כא"מ מושרה	- E	[V]	
מספר כריכות הסליל	- N		$L = N \frac{d\Phi}{dI}$
השראות עצמית של הסליל	- L	[H]	
השראות הדדית	- M^*	[H]	$E = -L \frac{dI}{dt}$
מקדם הצימוד	- k		
האנרגיה המגנטית האגורה בסליל	- W	[J או $\text{W} \cdot \text{sec}$]	$L = \frac{N^2}{R_m}$
			$M^* = k \sqrt{L_1 L_2}$
			$W = \frac{1}{2} LI^2$

4. רכיבים פסיביים ליניאריים

סליל

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

קבל

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

5. תופעות מעבר

מעגל RC

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

מעגל RL

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

6. מעגל תהודה RLC טורי/מקבילי

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

במעגל תהודה טורי:

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

במעגל תהודה מקבילי:

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

7. המרה כוכב-משולש

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

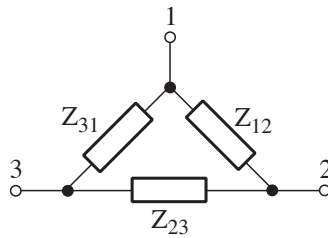
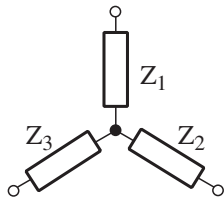
$$Z_{12} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_3}$$

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

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

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

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



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]
זמן המחזור	-	T	[sec]
תדירות זוויתית	-	ω	[rad / sec]
תדירות	-	f	[Hz , cycles / sec]
היגב השראותי	-	X_L	[Ω]
היגב קיבולי	-	X_C	[Ω]

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

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

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

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

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

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

9. הספקים

הספק פעיל	-	P	[W]
הספק מדומה	-	S	[VA]
הספק היגבי	-	Q	[VAr]
זווית מופע	-	φ	[°, 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

בוכב סימטרי

$$I_L = I_{ph}$$

$$I_L \text{ [A]} - \text{זרם קווי}$$

$$I_{ph} \text{ [A]} - \text{זרם מופעי}$$

$$U_L \text{ [V]} - \text{מתח שלוב (קווי)}$$

$$U_{ph} \text{ [V]} - \text{מתח מופעי}$$

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

משולש סימטרי

$$U_L = U_{ph}$$

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

הספק תלת מופעי

$$S \text{ [VA]} - \text{הספק מדומה תלת-מופעי}$$

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

$$P \text{ [W]} - \text{הספק פעיל תלת-מופעי}$$

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

$$Q \text{ [VAr]} - \text{הספק היגבי תלת-מופעי}$$

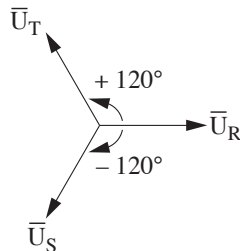
$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \sin \varphi$$

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

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

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

$$P_1 = P_2 + \Delta P$$

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

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

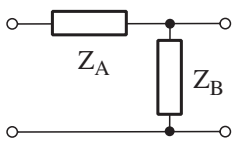
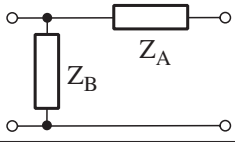
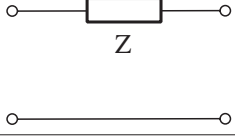
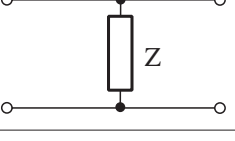
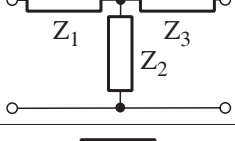
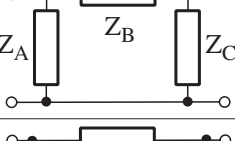
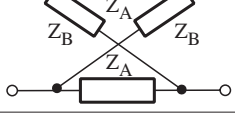
Y מקדמי

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

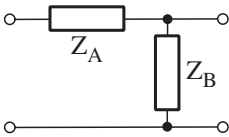
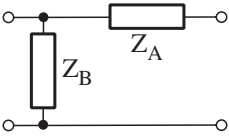
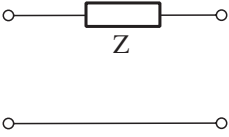
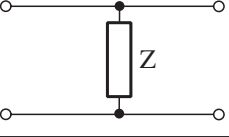
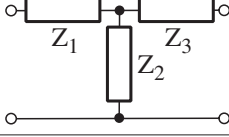
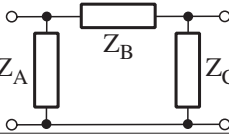
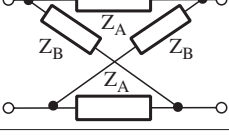
h מקדמי

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

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 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	$\frac{-h_{22}}{h_{21}}$	$\frac{-1}{h_{21}}$
	$\frac{ Z }{Z_{22}}$	$\frac{Z_{12}}{Z_{22}}$	$\frac{1}{Y_{11}}$	$\frac{-Y_{12}}{Y_{11}}$	$\frac{B}{D}$	$\frac{AD-BC}{D}$	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.
 עבור מקדמי Y ו-Z – זרם המוצא I_2 נכנס לרשת.
- ב.** $|Z|$, $|Y|$, ו- $|h|$ הם דטרמיננטים של המטריצות $[Z]$, $[Y]$, ו- $[h]$, בהתאמה.

רשתות זוגיים

Z_O [Ω]	- עכבה אופיינית	$Z_O = \sqrt{Z_{SC} Z_{OC}}$
Z_{SC} [Ω]	- עכבת המבוא כאשר המוצא בקצר	
Z_{OC} [Ω]	- עכבת המבוא כאשר המוצא בנתק	(עבור רשת סימטרית בלבד) $Z_O = \sqrt{\frac{B}{C}}$
B	- מקדם זוגיים	
C	- מקדם זוגיים	

$\left\{ \begin{array}{l} \text{מהצד} \\ \text{האחד} \end{array} \right.$	Z_{O1} [Ω]	- עכבת הבבואה	$\left\{ \begin{array}{l} Z_{O1} = \sqrt{Z_{SC1} Z_{OC1}} \\ Z_{O2} = \sqrt{Z_{SC2} Z_{OC2}} \end{array} \right.$
	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 הבבואה	
	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	$N = e^\alpha = \left \frac{I_1}{I_2} \right $
(1 neper = 8.69 dB)		
β [rad]	- קבוע המופע, זווית המופע בין הזרמים I_2 ו- I_1	$N[\text{dB}] = 20 \log N$
N	- ניחות	

12. מסננים

התנגדות אופיינית – R_o [Ω]

$$R_o = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

הגבר מתח – A_V

מתח מוצא – V_o [V]

מתח מבוא – V_i [V]

$$A_V = \frac{V_o}{V_i}$$

הגבר מתח בדציבלים – A_V [dB]

$$A_V = 20 \log \frac{V_o}{V_i}$$

הגבר הספק – A_P

הספק מוצא – P_o [W]

הספק מבוא – P_i [W]

$$A_P = \frac{P_o}{P_i}$$

הגבר הספק בדציבלים – A_P [dB]

$$A_P = 10 \log \frac{P_o}{P_i}$$

LPF – קבוע K

תדר פוגה – f_c [Hz]

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

כאשר $\omega < \omega_c$

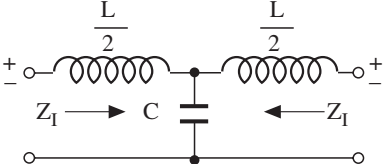
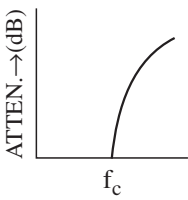
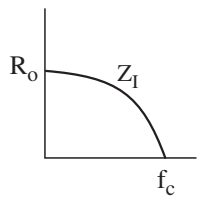
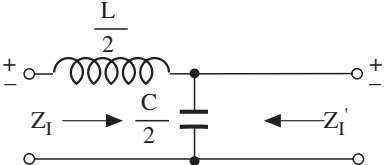
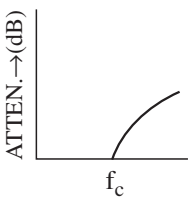
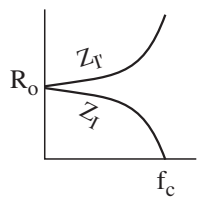
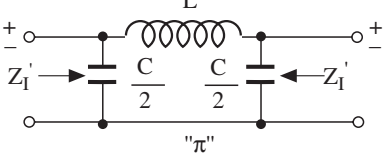
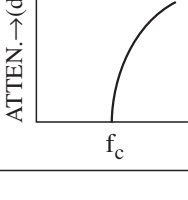
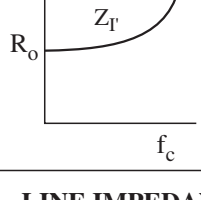
$$\beta = 2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

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 $\omega > \omega_c$:

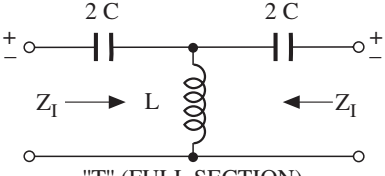
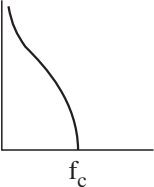
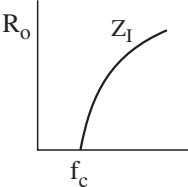
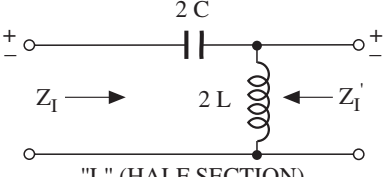
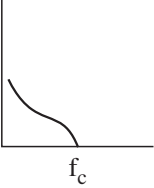
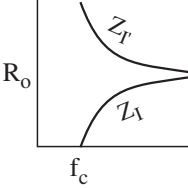
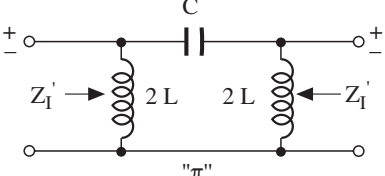
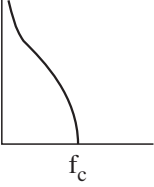
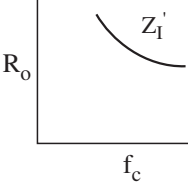
$$\beta = -2 \sin^{-1} \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)$$

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

מקור נוסף בקת נבחן

נוסחאון באלקטרוניקה ב'

לכיתה י"ד

(5 עמודים)

משוב שלילי

הגבר בחוג סגור - A_f

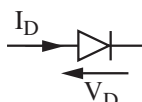
הגבר בחוג פתוח - A

מקדם המשוב - β

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

דיודת צומת

סימול:



א. דיודת אידיאלית:

ממתח קדמי - $V_D = 0$ (קֶצֶר)

ממתח אחורני - $I_D = 0$ (נֶתֶק)

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] -

זרם האפיק עבור I_{DSS} [A] -

$V_{gs} = 0$

המתח בין השער למקור V_{gs} [V] -

מתח צביטה V_p [V] -

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

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

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

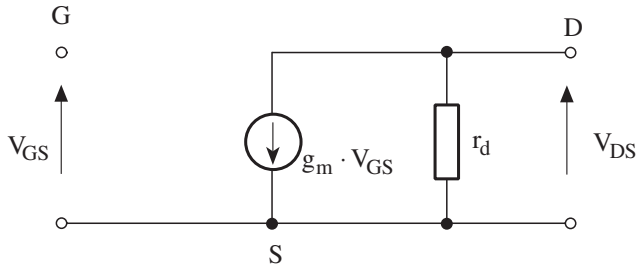
$$I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$$

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	$\emptyset$	$\emptyset$	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
	0	0
	1	1

בהצלחה!

נספח ד': מילון מונחים (2 עמודים)

לשאלון 733003, אביב תשע"ח

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
output signal	Выходной сигнал	إشارة إخراج	אות מוצא
clock signal	Тактовый сигнал	إشارة ساعة	אות שעון
determinants	Детерминанты	مُحدّد ج. مُحدّدات	דטרמיננטים
flip-flop	Триггер	نَطَاط / قَلَاب	דלגלג
pins	Ножка	رَبَاط	הדקים
false power	Мнимая мощность	القدرة الوهميّة	הספק מדומה
reactive power	Реактивная мощность	القدرة الارتكاسيّة	הספק עיוור
active power	Активная мощность	القدرة الفعّالة	הספק פעיל
inductive	Индуктивный	حَتِّي	השראותי
alternative current	Переменный ток	التّيَّار المُتَرَدّد	זרם חילופין
star connection	Соединение звездой	اتّصال نجمي	חיבור כוכב
direct inputs	Установочные входы	مدخل مباشر	מבואות ישירים
instrumentation amplifier	Измерительный усилитель	مُضخّم فارقيّ (جهازيّ)	מגבר מכשור
operational amplifier	Операционный усилитель	مُضخّم تشغيليّ	מגבר שרת
counter	Счётчик	عَدّاد	מונה
three-phase generator	Трёх фазный генератор	مُولّد ثلاثيّ الأطوار	מחולל תלת-מופע
resonance state	Состояние резонанса	حالة رنين	מצב תהודה
quality factor	Коэффициент добротности	معامل النوعيّة	מקדם טיב
three-phase load	Трёхфазная нагрузка	حِمْل ثلاثيّ الأطوار	עומס תלת-מופע

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
characteristic impedance	Характерное реактивное сопротивление	الممانعة المميّزة	עכבה אופיינית
inductive coupling	Индуктивная пара	تقارن حثّي	צימוד השראותי
capacitor	Конденсатор	مُكثّف	קבל
feed line	Линия питания	خطّ التغذية	קו הזנה
free running oscillator	Мультивибратор	مُذبذب حرّ الأداء	רב־רטט חופשי
loop current method	Способ контурных токов	طريقة حلقة التيار	שיטת זרמי החוגים
half power frequencies	Частоты полумощности	تردد نصف القدرة	תדרי מחצית ההספק