

- נספחים: א. נספח לשאלה 9
ב. נספח לשאלה 10
ג. נוסחאון בתורת החשמל
לכיתה י"ג
ד. נוסחאון באלקטרוניקה א'
לכיתה י"ג
ה. נוסחאון במערכות ספרתיות
לכיתה י"ג
ו. מילון מונחים

חשמל ואלקטרוניקה ט'

מגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגיה (כיתה י"ג)

הוראות לנבחנים

- א. משך הבחינה: ארבע שעות ו-45 דקות.
- ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה עשר שאלות. עליכם לענות על חמש שאלות בלבד. לכל שאלה – 20 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.
- ג. חומר עזר מותר בשימוש: מחשבון, מילוני, וכן כל חומר הכתוב (בכתב יד או בהדפסה) על שלושה דפי A4, משני הצדדים.
- ד. הוראות מיוחדות:
- ענו על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר התשובות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברת, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
 - התחילו כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
 - כתבו את כל התשובות אך ורק בעט.
 - הקפידו לנסח את התשובות כהלכה וסרטטו את התרשימים בבהירות.
 - כתבו את התשובות בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה שלהן.
 - בכל שאלה ניתנו הנתונים לפתרונה. אם לדעתכם חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתם רשאים להוסיף אותם, בתנאי שתנמקו מדוע הוספתם אותם.
 - בכתיבת הפתרונות החשובים, קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהן, בסדר שבו הם כתובים:
- * כתיבת הנוסחה המתאימה.
 - * הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
 - * חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
 - * כתיבת התוצאה המתקבלת, ביחד עם יחידות המידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החשובי בהסבר קצר.
8. בנספח ו' לשאלון מובא מילון מונחים בשפות עברית, ערבית, אנגלית ורוסית. תוכלו להיעזר בו בעת הצורך.
9. צרפו את שלושת דפי ה-A4 (חומר העזר שהשתמשו בו) למחברת הבחינה.

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

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

בשאלון זה 10 עמודים ו-27 עמודי נספחים.

השאלות בשאלון זה מנוסחות בלשון רבים, אף על פי כן על כל תלמידה וכל תלמיד להשיב עליהן באופן אישי.

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

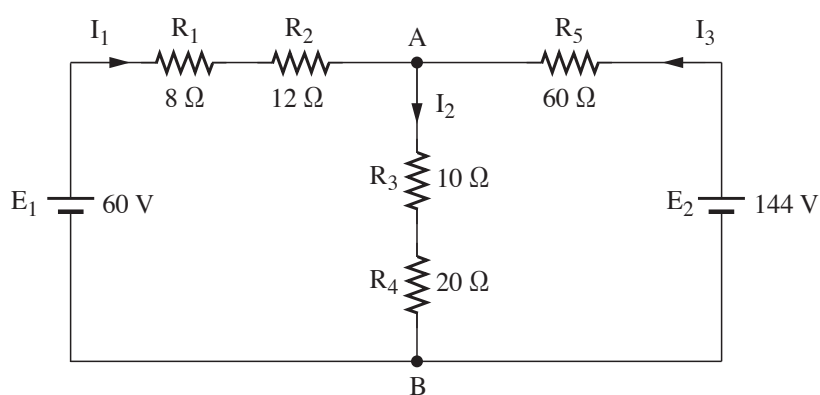
השאלות

בשאלון זה עשר שאלות. עליכם לענות על חמש שאלות מן השאלות 1–10 (לכל שאלה – 20 נקודות).

תורת החשמל

שאלה 1

באיור לשאלה 1 מתואר מעגל חשמלי.

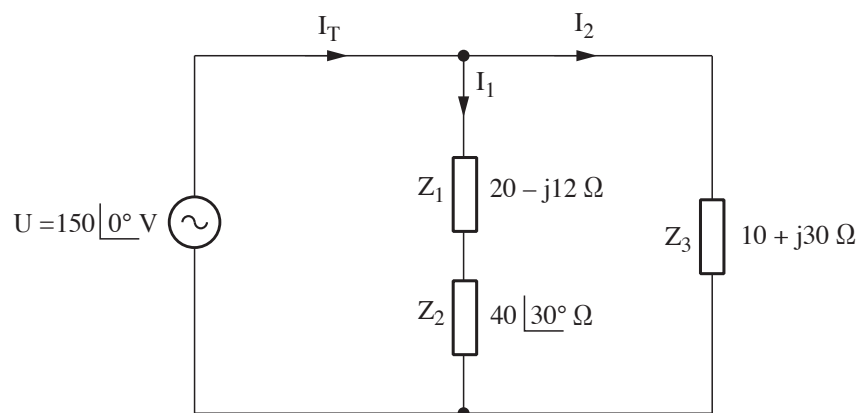


איור לשאלה 1

- א. (9 נק') חשבו את הזרמים I_1 , I_2 ו- I_3 בשיטת ההרכבה (סופרפוזיציה) או בשיטת זרמי חוגים.
- ב. (6 נק') חשבו את המתח בין הנקודות A ו-B.
- ג. (5 נק') חשבו את ההספק המתפתח בנגד R_5 .

שאלה 2

באיור לשאלה 2 מתואר מעגל חשמלי.

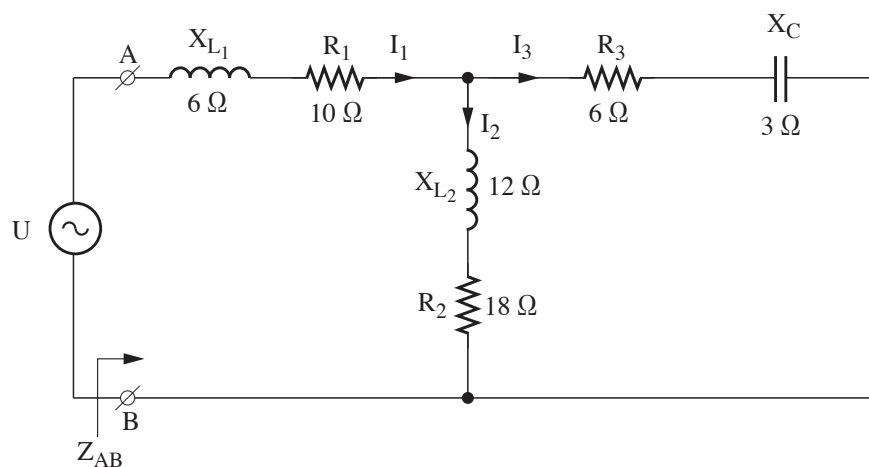


איור לשאלה 2

- א. (5 נק') חשבו את העכבה השקולה של המעגל, Z_T .
- ב. (5 נק') חשבו את פאזורי הזרמים I_1 , I_2 ו- I_T .
- ג. (5 נק') חשבו את פאזור המתח על העכבה Z_2 .
- ד. (5 נק') חשבו את ההספק הממשי בעכבה Z_3 .

שאלה 3

באיור לשאלה 3 מתואר מעגל חשמלי שבו הזרם $I_3 = 3 \angle 50^\circ \text{ A}$

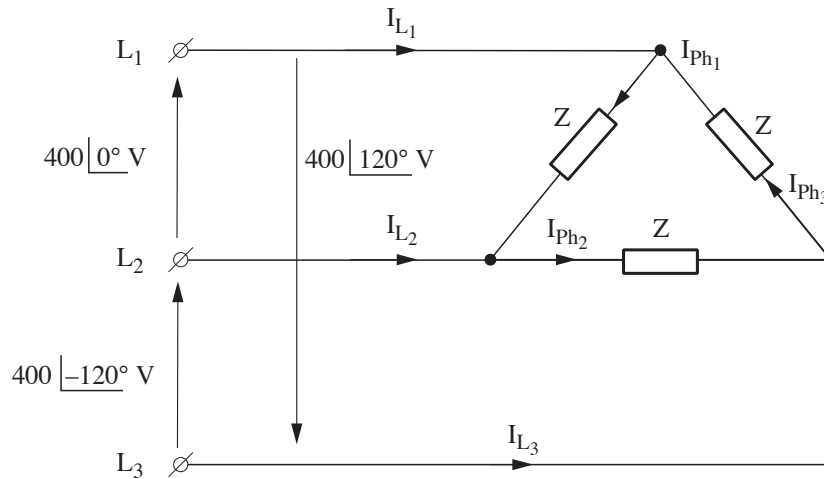


איור לשאלה 3

- א. (6 נק') חשבו את העכבה השקולה Z_{AB} (העכבה בין הנקודות A ו-B) של המעגל. כתבו את התשובה בהצגה מרוכבת.
- ב. (4 נק') קבעו את אופי המעגל (קיבולי או השראותי). נמקו את התשובה.
- ג. (6 נק') חשבו את הזרם I_1 הזורם במעגל. כתבו את ערכו בהצגה מרוכבת.
- ד. (4 נק') חשבו את גורם ההספק של המעגל.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 מתואר עומס תלת-מופעי סימטרי המחובר בחיבור משולש. העומס מוזן על-ידי רשת תלת-מופעית $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$. העכבה למופע של העומס היא: $Z = (20 + j16) \Omega$.



איור לשאלה 4

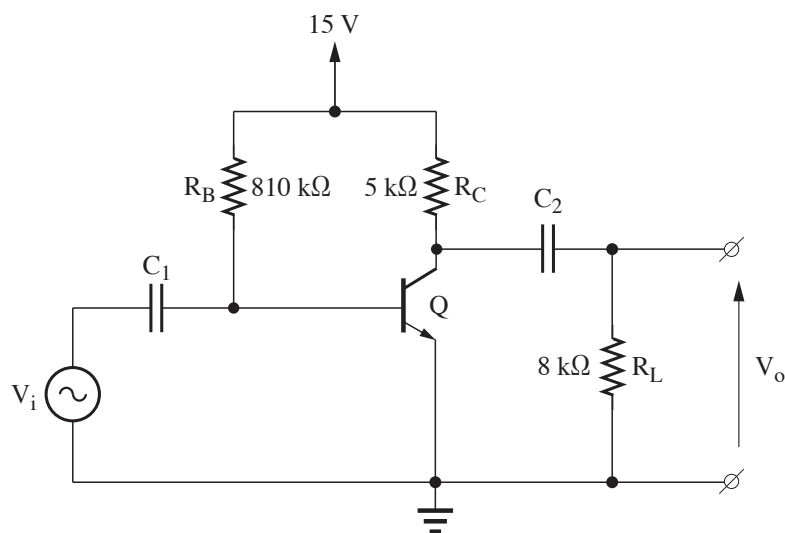
- א. (8 נק') 1. חשבו את הזרם המופעי הזורם בכל אחד מענפי העומס. כתבו את התשובה בהצגה מרוכבת.
2. חשבו את הזרם הקווי I_{L1} . כתבו את התשובה בהצגה מרוכבת.
- ב. (8 נק') 3. חשבו את ההספק הממשי, את ההספק ההיגבי ואת ההספק המדומה של העומס.
- ג. (4 נק') 4. סרטטו את משולש ההספקים של המעגל.

אלקטרוניקה א'

שאלה 5

באיור לשאלה 5 מתואר מעגל חשמלי של מגבר טרנזיסטורי. היגבי הקבלים במעגל זניחים.

נתוני הטרנזיסטור Q הם: $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$; $\beta = h_{fe} = 100$; $h_{ie} = 1 \text{ k}\Omega$

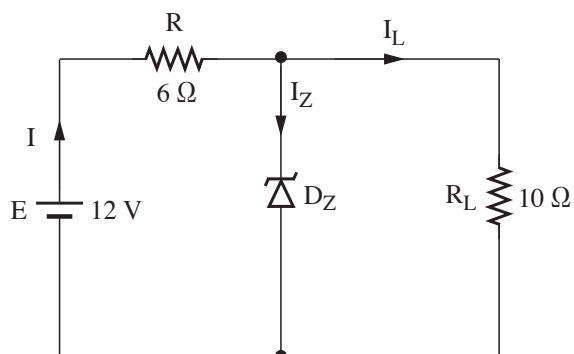


איור לשאלה 5

- א. (8 נק') חשבו את נקודת העבודה של הטרנזיסטור Q (I_C , V_{CE}).
- ב. (6 נק') סרטטו מעגל תמורה לאות חילופין של המעגל המתואר.
- ג. (6 נק') חשבו את הגבר המתח $A_V = \frac{V_o}{V_i}$.

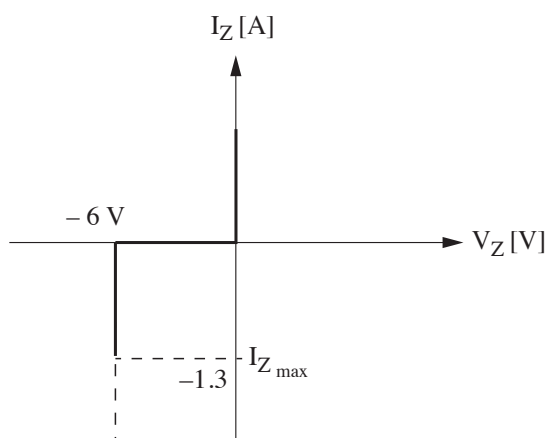
שאלה 6

באיור א' לשאלה 6 מתואר מעגל חשמלי הכולל דיודת זנר.



איור א' לשאלה 6

דיודת הזנר D_Z , היא בעלת אופיין אידיאלי הנתון באיור ב' לשאלה 6.

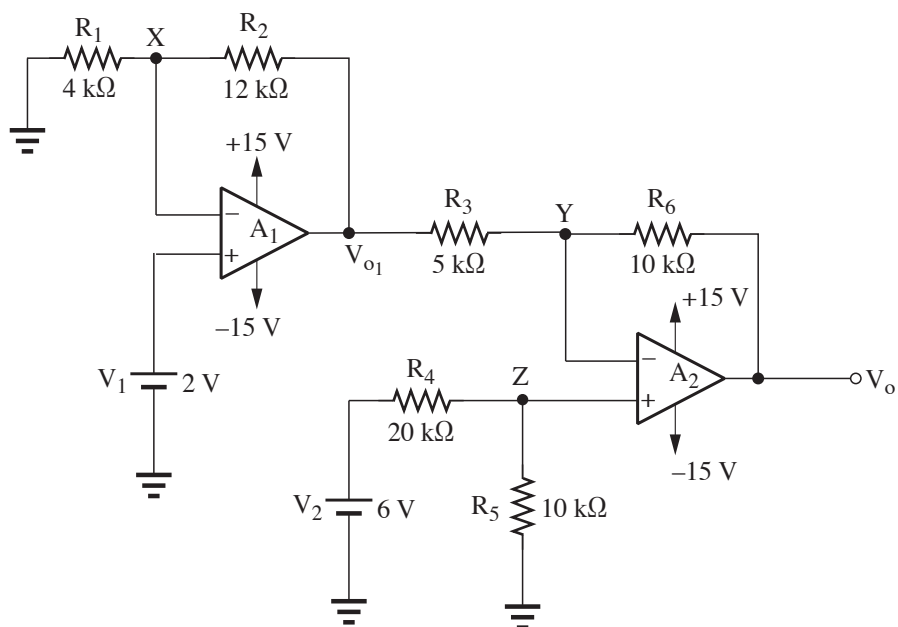


איור ב' לשאלה 6

- (6 נק') א. חשבו את ערכו של המתח על פני נגד העומס R_L .
- (8 נק') ב. חשבו את הזרמים I ו- I_Z .
- (6 נק') ג. חשבו מה צריך להיות ערכו של נגד העומס R_L , כדי שבדיודת הזנר יזרום זרם של 0.8 A .

שאלה 7

באיור לשאלה 7 מתואר מעגל חשמלי הכולל שני מגברי שרת אידיאליים.

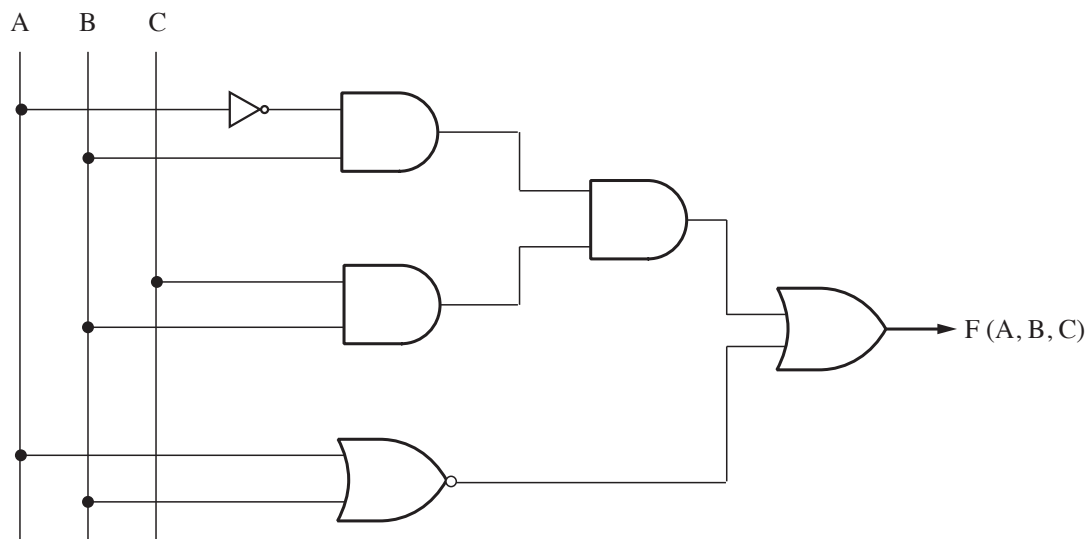


איור לשאלה 7

- א. (6 נק') חשבו את המתח בנקודות X, Y, Z.
- ב. (5 נק') חשבו את המתח V_{o1} .
- ג. (5 נק') חשבו את מתח המוצא V_o .
- ד. (4 נק') מקצרים את הנגד R_6 . חשבו את מתח המוצא V_o במצב זה.

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון מימוש של הפונקצייה הלוגית $F(A,B,C)$ בעזרת שערים לוגיים.



איור לשאלה 8

- א. כתבו ביטוי המתאר את פונקציית המוצא $F(A,B,C)$. (6 נק')
- ב. צמצמו את פונקציית המוצא $F(A,B,C)$ למינימום ליטרלים. (8 נק')
- ג. ממשו את הפונקצייה המפושטת באמצעות שערים לוגיים. (6 נק')

אנגלית טכנית

שאלה 9

בנספח לשאלה 9 מובא קטע ממאמר בשפה האנגלית. השורות בקטע ממוספרות.

כתבו את התשובות לסעיפים א'–ד' בעברית, רק על-פי הכתוב בקטע. ציינו את מספרי השורות בקטע, שעליהן התבססתם בתשובה לכל סעיף.

(5 נק') א. מתי משתמשים באנרגייה שהופקה מתחנת כוח של אגירה שאובה?

(5 נק') ב. כיצד פועלת התחנה?

(5 נק') ג. מה קורה כשהאגם העליון מתמלא במי גשמים?

(5 נק') ד. 1. מהם שני תפקידיה של הטורבינה?

2. כיצד הטורבינה פועלת?

שאלה 10

בנספח לשאלה 10 מובא קטע ממאמר בשפה האנגלית. השורות בקטע ממוספרות.

כתבו את התשובות לסעיפים א'–ד' בעברית, רק על-פי הכתוב בקטע. ציינו את מספרי השורות בקטע, שעליהן התבססתם בתשובה לכל סעיף.

(5 נק') א. כיצד פועלת טורבינת רוח?

(5 נק') ב. הגדירו את המושג "אנרגיית רוח".

(5 נק') ג. טורבינות רוח משמשות כיום ליצירת חשמל. למה הן שימשו בעבר?

(5 נק') ד. הסבירו אילו כוחות פועלים על המדחף של הטורבינה שגורמים לתנועתו הסיבובית.

בהצלחה!

Pumped-storage hydroelectricity (PSH)

en. wikipedia.org/wiki/Pumped-storage_hydroelectricity

- 1 Pumped-storage hydroelectricity (PSH), or pumped hydroelectric energy storage (PHES), is a type of hydroelectric energy storage used by electric power systems for load balancing.

The method stores energy in the form of gravitational potential energy of water, pumped from a lower elevation reservoir to a higher elevation. Low-cost surplus off-peak electric power is typically used to run the pumps.

- 5 During periods of high electrical demand, the stored water is released through turbines to produce electric power.

Although the losses of the pumping process make the plant a net consumer of energy overall, the system increases income by selling more electricity during periods of peak demand, when electricity prices are highest. If the upper lake collects significant rainfall or is fed by a river then the plant may be a net energy producer in the manner of a traditional hydroelectric plant.

10 Basic principle

At times of low electrical demand, excess generation capacity is used to pump water into the upper reservoir.

When there is higher demand, water is released back into the lower reservoir through a turbine, generating electricity.

Reversible turbine/generator assemblies act as a combined pump and turbine generator unit. Variable speed operation further optimizes the round trip efficiency in pumped hydro storage plants.

- 15 In micro-PSH applications, a group of pumps and Pump As Turbine (PAT) could be implemented respectively for pumping and generating phases. The same pump could be used in both modes by changing rotational direction and speed: the operation point in pumping usually differs from the operation point in PAT mode.

How Do Wind Turbines Work?

energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work

- 1 Wind turbines work on a simple principle: instead of using electricity to make wind (like a fan) wind turbines use wind to make electricity. Wind turns the propeller-like blades of a turbine around a rotor, which spins a generator, which creates electricity.

- 5 Wind flow patterns and speeds vary greatly across the United States and are modified by bodies of water, vegetation, and differences in the area. Humans use this wind flow, or motion energy, for many purposes: sailing, flying a kite, and even generating electricity.

The terms "wind energy" and "wind power" both describe the process by which the wind is used to generate mechanical power or electricity. This mechanical power can be used for specific tasks (such as grinding grain or pumping water) or a generator can convert this mechanical power into electricity.

- 10 A wind turbine turns wind energy into electricity using the aerodynamic force from the rotor blades, which work like an airplane wing or helicopter rotor blade. When wind flows across the blade, the air pressure on one side of the blade decreases. The difference in air pressure across the two sides of the blade creates both lift and drag.

- 15 The force of the lift is stronger than the drag and this causes the rotor to spin. The rotor connects to the generator, either directly (if it's a direct drive turbine) or through a shaft and a series of gears (a gearbox) that speed up the rotation and allow for a physically smaller generator. This translation of aerodynamic force to rotation of a generator creates electricity.

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון בתורת החשמל לכיתה י"ג

(8 עמודים)

(הגדלים בנוסחאון נתונים ביחידות SI)

1. זרם ישר

התנגדות ומוליכות

התנגדות	-	R	[Ω]
התנגדות סגולית	-	ρ	$\left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$
אורך המוליך	-	ℓ	[m]
שטח החתך של המוליך	-	A	[mm ²]
מוליכות	-	G	[S]

$$R = \frac{\rho \ell}{A}$$

$$G = \frac{1}{R}$$

זרם חשמלי

זרם	-	I	[A]
מטען	-	Q	[C]
זמן	-	t	[sec]
צפיפות הזרם	-	J	[A / mm ²]
שטח החתך	-	A	[mm ²]

אנרגייה בזרם ישר

אנרגייה	-	W	[W · sec או J]
זמן	-	t	[sec]
הספק	-	P	[W]

כא"מ של מקור מתח

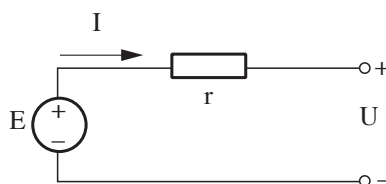
כא"מ	-	E	[V]
מתח ההדקים	-	U	[V]
התנגדות פנימית	-	r	[Ω]
זרם	-	I	[A]

מקור זרם

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

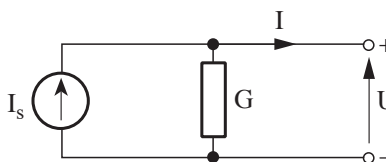
I_s [A] - זרם המקור

G [S] - מוליכות פנימית של מקור זרם



2. פתרון מעגלים באמצעות משפטי רשת

המרה מנורטון לתבנית ומתבנית לנורטון



העברת הספק מקסימלי לעומס אומי

$$P_{Lmax} = \frac{E_{th}^2}{4 \cdot R_{th}} \quad \text{עבור מעגל תבנין}$$

$$P_{Lmax} = \frac{I_N^2 \cdot R_N}{4} \quad \text{עבור מעגל נורטון}$$

נוסחת מילמן לרשת בעלת שני צמתים בלבד

- V_{ab} [V] – המתח בין הצמתים a ו-b
- R [Ω] – התנגדויות ענפים מקביליים
- I_s [A] – מקורות זרם בענפים
- V_s [V] – מקורות מתח בענפים

3. מגנטיות ואלקטרומגנטיות

כוח מגנטו-מניע

$$F_m$$
 [AT] – כוח מגנטו-מניע

$$N$$
 – מספר כריכות

$$F_m = N \cdot I = H \cdot \ell$$

$$I$$
 [A] – זרם

חוק אמפר

$$H$$
 [AT/m] – עוצמת השדה המגנטי במעגל מגנטי

$$\sum NI = \sum H\ell$$

$$\ell$$
 [m] – אורך המסלול המגנטי

$$H$$
 [A / m] – עוצמת השדה המגנטי במרחק r ממוליך

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

$$r$$
 [m] – מרחק מהמוליך

$$B$$
 $\left[\frac{Wb}{m^2} \right]$ – שדה מגנטי (השראה מגנטית) של מוליך נושא זרם I במרחק r מהמוליך

$$B = \mu H$$

חדירות (חלחלות)	-	μ	$\left[\frac{H}{m} \right]$	$\mu = \mu_o \cdot \mu_r$
חדירות (חלחלות) יחסית	-	μ_r		$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$
חדירות (חלחלות) האוויר	-	μ_o	$\left[\frac{H}{m} \right]$	
אורך המסלול המגנטי	-	ℓ	[m]	$R_m = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\ell}{A}$
שטף מגנטי	-	ϕ	[V · sec או Wb]	$B = \frac{\Phi}{A}$
מיאון מגנטי (התנגדות מגנטית)	-	R_m	$\left[\frac{AT}{Wb} \right]$	
שדה מגנטי (השראה מגנטית) במרכז סליל אורך שאורכו ℓ	-	B	$\left[\frac{Wb}{m^2} \right]$	$\Phi = \frac{NI}{R_m}$
שטח חתך	-	A	[m ²]	

כוח המופעל על מוליך נושא זרם/מטען נע

מהירות קווית	-	v	[m / sec]	
מטען	-	q	[C]	$F = B \cdot q \cdot v \cdot \sin \alpha$
זרם העובר במוליך	-	I	[A]	$F = B \cdot I \cdot \ell \cdot \sin \alpha$
אורך המוליך	-	ℓ	[m]	
הזווית בין כיוון תנועת המטען/ כיוון הזרם לבין קווי השדה	-	α	[° , rad]	

כוח הפועל בין שני מוליכים נושאי זרם

המרחק בין המוליכים	-	d	[m]	$F = \frac{\mu \ell}{2\pi d} \cdot I_1 \cdot I_2$
כוח	-	F	[N]	

E [V] – כא"מ מושרה

N – מספר כריכות הסליל

L [H] – השראות עצמית של הסליל

M* [H] – השראות הדדית

k – מקדם הצימוד

W [W · sec או J] – האנרגייה האגורה בסליל

M [N · m] – מומנט הפועל על הכריכה

A [m²] – שטח פני הכריכה

θ [° , rad] – הזווית בין הניצב למישור הכריכה לבין קווי השדה

ω [rad / sec] – מהירות זוויתית

v [m / sec] – מהירות קווית

R [m] – רדיוס הכריכה

n [rpm] – מהירות סיבוב

$$M = B \cdot A \cdot I \cdot \sin \theta$$

$$M = \Phi \cdot I \cdot \sin \theta$$

$$E_{\max} = B \cdot A \cdot \omega$$

$$\omega = \frac{v}{R}$$

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad \omega = \frac{2\pi n}{60}$$

4. 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]

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

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

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

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

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

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

5. הספקים

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

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

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

שיפור מקדם ההספק

קיבול	-	C [F]
זווית מופע אחרי השיפור	-	φ_2 [$^\circ$, rad]
זווית מופע לפני השיפור	-	φ_1 [$^\circ$, rad]

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\text{tg } \varphi_1 - \text{tg } \varphi_2)$$

6. רשתות תלת-מופעיות

כוכב סימטרי

$$I_L = I_{ph}$$

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

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

משולש סימטרי

$$U_L = U_{ph}$$

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

הספק תלת-מופעי

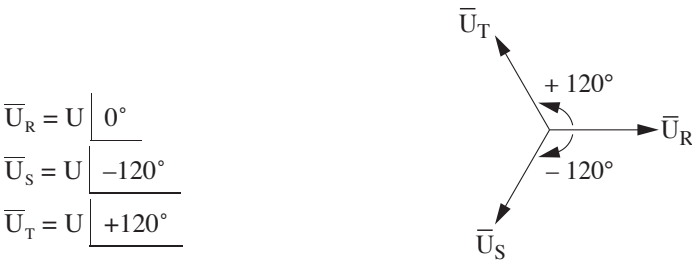
- S [VA] - הספק מדומה תלת-מופעי
- P [W] - הספק פעיל תלת-מופעי
- Q [VAr] - הספק היגבי תלת-מופעי

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

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

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

ייצוג מתחים מופעיים במישור המרוכב של רשת תלת-מופעית סימטרית

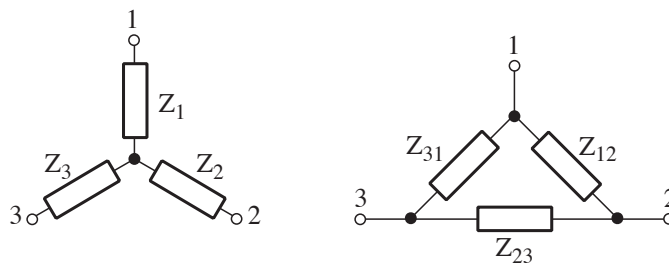


7. המרה כוכב-משולש

$$Z_1 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \quad Z_{12} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_3}$$

$$Z_2 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \quad Z_{23} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_1}$$

$$Z_3 = \frac{Z_{23} \cdot Z_{31}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{31}} \quad Z_{31} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_2}$$



8. תופעות מעבר

מתח המוצא על הקבל	-	$v_C(t)$	[V]
מתח סופי (עבור $t \rightarrow \infty$)	-	$V_{C\infty}$	[V]
מתח התחלתי על הקבל	-	V_{C0}	[V]
זמן	-	t	[sec]
קבוע הזמן	-	τ	[sec]

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

$$\tau = RC$$

זרם מוצא בסליל	-	$i_L(t)$	[A]
זרם סופי (עבור $t \rightarrow \infty$)	-	$I_{L\infty}$	[A]
זרם התחלתי בסליל	-	I_{L0}	[A]

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

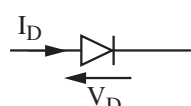
אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון באלקטרוניקה א' לכיתה י"ג

(9 עמודים)

דיודת צומת

סימול:



א. דיודה אידיאלית

ממתח קדמי - $V_D = 0$ (קצר)

ממתח אחורני - $I_D = 0$ (ניתק)

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

חישובי הגבר

הגבר מתח	-	A_V	$A_V = \frac{V_o}{V_i}$
מתח מוצא	-	V_o [V]	
מתח מבוא	-	V_i [V]	
הגבר מתח בדציבלים	-	A_V [dB]	$A_V = 20 \log \frac{V_o}{V_i}$
הגבר זרם	-	A_I	$A_I = \frac{I_o}{I_i}$
זרם מוצא	-	I_o [A]	
זרם מבוא	-	I_i [A]	
הגבר זרם בדציבלים	-	A_I [dB]	$A_I = 20 \log \frac{I_o}{I_i}$
הגבר הספק	-	A_P	$A_P = \frac{P_o}{P_i} = A_V \cdot A_I = A_I^2 \cdot \frac{R_L}{R_i} = A_V^2 \cdot \frac{R_i}{R_L}$
הספק מוצא	-	P_o [W]	
הספק מבוא	-	P_i [W]	
נגד עומס	-	R_L [Ω]	
התנגדות מבוא	-	R_i [Ω]	
הגבר הספק	-	A_P [dB]	$A_P = 10 \log \frac{P_o}{P_i}$
הגבר כולל של N דרגות המחוברות בשרשרת (קסקדה)	-	A_{VT}	$A_{VT}[\text{dB}] = A_{V1}[\text{dB}] + A_{V2}[\text{dB}] + A_{V3}[\text{dB}] + \dots + A_{VN}[\text{dB}]$
הגבר כולל של N דרגות, בדציבלים	-	A_{VT} [dB]	

מאזן הספקים

הספק מבוא	-	P_I	[W]
הספק נצרך מהספקים	-	P_{CC}	[W]
הספק העומס	-	P_L	[W]
הספק מבוזבז	-	P_{diss}	[W]

$$P_I + P_{CC} = P_L + P_{diss}$$

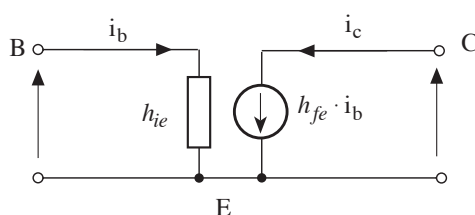
טרנזיסטור דו-נושאי (בתחום הפעיל)

זרם קולט	-	I_C	[A]
זרם פולט	-	I_E	[A]
זרם בסיס	-	I_B	[A]

$$I_C = \beta I_B, I_E = (\beta + 1) I_B, I_E = I_C + I_B$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{\beta}{\beta + 1}, \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

תרשים תמורה מקורב מסוג h של טרנזיסטור דו-נושאי



נוסחאות עבור טרנזיסטור בחיבור פולט משותף (CE)

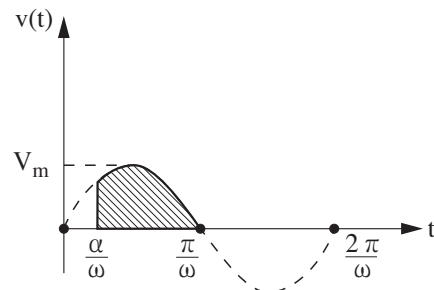
	ללא נגד R_E	עם נגד R_E
A_I	$-h_{fe}$	$-h_{fe}$
R_i	h_{ie}	$h_{ie} + (1 + h_{fe}) R_E$
A_V	$-\frac{h_{fe} \cdot R_L}{h_{ie}}$	$-\frac{h_{fe} \cdot R_L}{R_i}$
R_o	∞	∞
R_L	R_L	R_L

מגברי הפרש

מתח מבוא	-	V_1	[V]	$V_o = A_1 \cdot V_1 + A_2 \cdot V_2$
מתח מבוא	-	V_2	[V]	$A_1 = \frac{V_o}{V_1} \Big _{V_2 = 0}$
				$A_2 = \frac{V_o}{V_2} \Big _{V_1 = 0}$
הגבר הפרשי	-	A_d		$A_d = \frac{A_1 - A_2}{2}$
הגבר האות המשותף	-	A_c		$A_c = A_1 + A_2$
יחס דחיית האות המשותף	-	CMRR		$CMRR = \left \frac{A_d}{A_c} \right $
				$V_o = A_d \cdot V_d + A_c \cdot V_c$
הפרש מתחי המבוא	-	V_d	[V]	$V_d = V_1 - V_2$
ממוצע הסכום של מתחי המבוא	-	V_c	[V]	$V_c = \frac{V_1 + V_2}{2}$
				$A_d = \frac{V_o}{V_d} \Big _{V_c = 0} = \frac{V_o}{2V_i}$
				$A_c = \frac{V_o}{V_c} \Big _{V_d = 0} = \frac{V_o}{V_i}$

מתחים וזרמים בגל סינוס עם זווית הולכה

א. בקרת חצי גל בעומס אומי



זווית הצתה	-	α	[rad]
מתח הגל בתלות בזמן	-	$v(t)$	[V]
הערך הממוצע של המתח	-	V_{AV}	[V]
הערך היעיל של המתח על העומס	-	$V_{RMS} = V_L$	[V]
הערך המרבי של המתח	-	V_m	[V]
מהירות זוויתית (תדר זוויתי)	-	ω	$\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
זמן	-	t	[sec]
התנגדות העומס	-	R	$[\Omega]$
הספק על העומס	-	P	[W]
הערך הממוצע של הזרם	-	I_{AV}	[A]
הערך היעיל של הזרם	-	I_{RMS}	[A]
הערך היעיל של מתח המבוא	-	V_{in}	[V]

$$0 \leq \alpha \leq \pi$$

$$v(t) = V_m \cdot \sin \omega t$$

$$V_{AV} = \frac{V_m}{2\pi} [1 + \cos \alpha]$$

$$V_L = V_{RMS} = \frac{V_m}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right]}$$

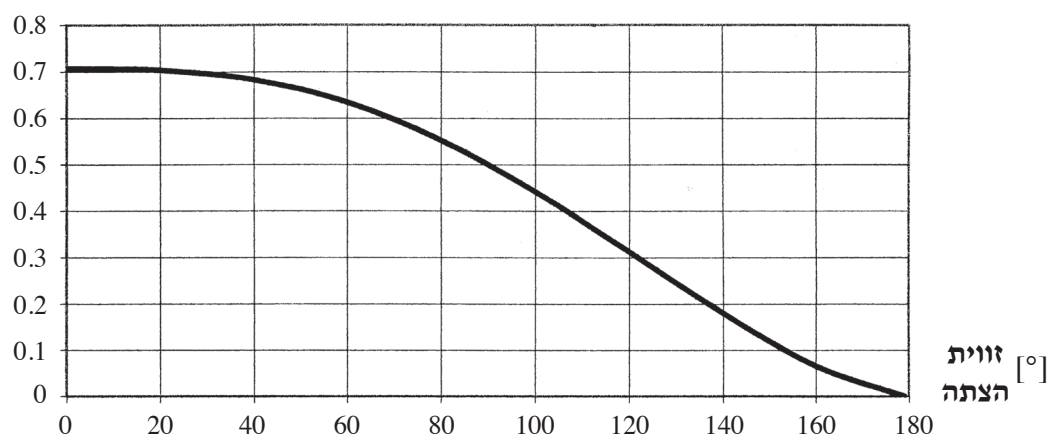
$$P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$$

$$I_{AV} = \frac{V_{AV}}{R}$$

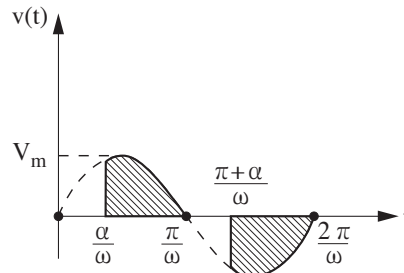
$$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$$

$$V_{in} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

בקרת הספק עבור חצי מחזור



ב. בקרת גל שלם בעומס אומי



- זווית הצתה α [rad] -
מתח הגל בתלות בזמן $v(t)$ [V] -
הערך הממוצע של המתח V_{AV} [V] -
הערך היעיל של המתח על העומס $V_{RMS} = V_L$ [V] -
הערך המרבי של המתח V_m [V] -

$$0 \leq \alpha \leq \pi$$

$$v(t) = V_m \cdot \sin \omega t$$

$$V_{AV} = 0$$

$$V_L = V_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right]}$$

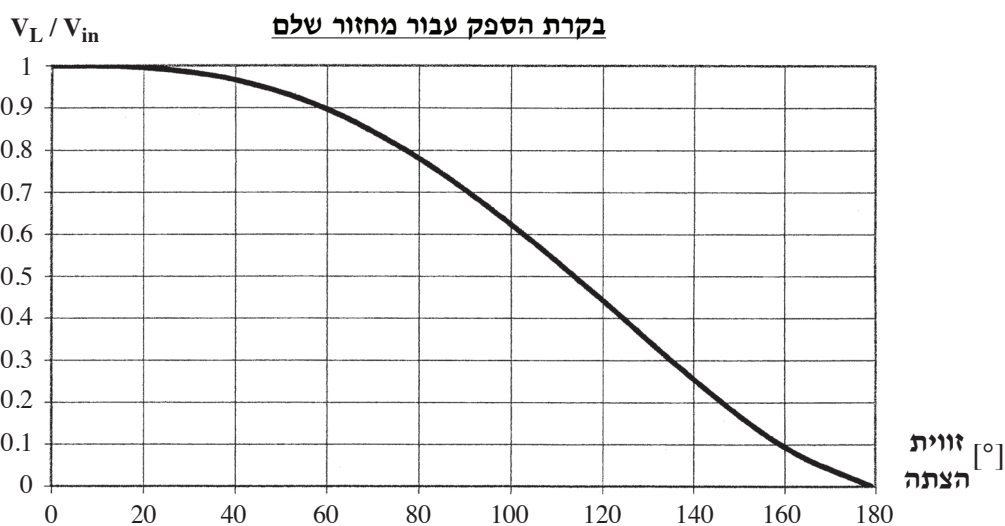
- מהירות זוויתית (תדר זוויתי) ω $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$ -
זמן t [sec] -
התנגדות העומס R [Ω] -
הספק על העומס P [W] -
הערך הממוצע של הזרם I_{AV} [A] -
הערך היעיל של הזרם I_{RMS} [A] -
הערך היעיל של מתח המבוא V_{in} [V] -

$$P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$$

$$I_{AV} = \frac{V_{AV}}{R}$$

$$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$$

$$V_{in} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$



מיישרים

א. יישור חד-מופעי - חצי גל בעומס אומי

הערך המרבי של המתח	-	V_m	[V]	$V_{AV} = \frac{V_m}{\pi}$
הערך הממוצע של המתח	-	V_{AV}	[V]	
הערך היעיל של המתח	-	V_{RMS}	[V]	$V_{RMS} = \frac{V_m}{2}$
הערך הממוצע של הזרם	-	I_{AV}	[A]	
הערך היעיל של הזרם	-	I_{RMS}	[A]	$I_{AV} = \frac{V_{AV}}{R}$
התנגדות העומס	-	R	[Ω]	
הספק על העומס	-	P	[W]	$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$
				$P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$

ב. יישור חד-מופעי - גל שלם בעומס אומי

הערך המרבי של המתח	-	V_m	[V]	$V_{AV} = \frac{2V_m}{\pi}$
הערך הממוצע של המתח	-	V_{AV}	[V]	
הערך היעיל של המתח	-	V_{RMS}	[V]	$V_{RMS} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$
הערך הממוצע של הזרם	-	I_{AV}	[A]	
הערך היעיל של הזרם	-	I_{RMS}	[A]	$I_{AV} = \frac{V_{AV}}{R}$
התנגדות העומס	-	R	[Ω]	
הספק על העומס	-	P	[W]	$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$
				$P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$

מתח אדווה במיישר חצי גל

מתח גליות (אדווה)	-	ΔV	[V]
מתח מרבי במוצא	-	$V_{o_{max}}$	[V]
תדר מתח הכניסה	-	f	[Hz]

$$\Delta V \approx \frac{V_{o_{max}}}{R \cdot C \cdot f}$$

מתח אדווה במיישר גל שלם

$$\Delta V \approx \frac{V_{o_{max}}}{2R \cdot C \cdot f}$$

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]

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

$$\tau = R \cdot C$$

$$\tau = \frac{L}{R}$$

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]

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

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

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון במערכות ספרתיות

לכיתה י"ג

(7 עמודים)

מעבר מבסיס b לבסיס 10 ($-m$) מספר המייצג מספר ספרות אחרי הנקודה)

$$\sum_{i=m}^{n-1} a_i b^i = a_{n-1} \cdot b^{n-1} + a_{n-2} \cdot b^{n-2} + \dots + a_1 \cdot b^1 + a_0 \cdot b^0 + a_{-1} \cdot b^{-1} + \dots + a_m \cdot b^m$$

קוד Gray

כל מספר נבדל מזה שלידו בסיבית אחת בלבד.

מעבר מקוד Gray לבינארי (סיבית ראשונה נשארת):

- בודקים סיבית אחרי סיבית משמאל לימין.
- מונים כמו אחדים יש משמאל לסיבית הנבדקת.
- אם מספר האחדים זוגי – לא משנים את הסיבית.
- אם מספר האחדים אי-זוגי – הופכים את הסיבית.

מעבר מבינארי לקוד Gray (סיבית ראשונה נשארת):

- בודקים סיבית אחרי סיבית משמאל לימין.
- מבצעים XOR בין הסיבית הנבדקת לסיבית משמאל.

אלגברה בוליאית.

כלל	ביטוי
משלים	$A + \bar{A} = 1$ $A \cdot \bar{A} = 0$
שלילה כפולה	$\bar{\bar{A}} = A$
כפילות - אידמפוטנטיות	$A + A = A$ $A \cdot A = A$
יחידה	$A + 1 = 1$ $A \cdot 1 = A$
אפס	$A + 0 = A$ $A \cdot 0 = 0$
חילוף - קומוטטיביות	$A + B = B + A$ $A \cdot B = B \cdot A$
פילוג - דיסטריבוטיביות	$A \cdot (B + C) = AB + AC$ $A + BC = (A + B) \cdot (A + C)$
קיבוץ - אסוציאטיביות	$A + (B + C) = (A + B) + C$ $A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$
חוק הספיגה	$A \cdot (A + B) = A$ $A + (A \cdot B) = A$
צמצום	$A + \bar{A} \cdot B = A + B$
דה מורגן	$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$ $\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$

ייצוגים קנוניים:

SOP (Sum Of Products) – הצגה קנונית של סכום של מכפלות.

POS (Products Of Sums) – הצגה קנונית של מכפלה של סכומים.

דוגמה:

	A	B	C	F
0	0	0	0	1
1	0	0	1	1
2	0	1	0	0
3	0	1	1	1
4	1	0	0	1
5	1	0	1	0
6	1	1	0	0
7	1	1	1	1

SOP – סכום מכפלות קנוני:

$$F(A, B, C) = \Sigma(0, 1, 3, 4, 7) = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C + \bar{A} \cdot B \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + A \cdot B \cdot C$$

POS – מכפלת סכומים קנונית:

$$F(A, B, C) = \Pi(2, 5, 6) = (A + \bar{B} + C)(\bar{A} + B + \bar{C})(\bar{A} + \bar{B} + C)$$

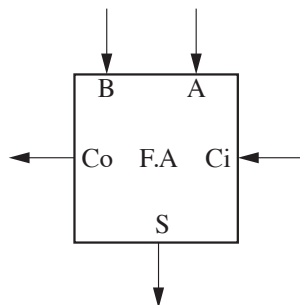
מפות קרנו:

CD \ AB				
	00	01	11	10
00	0	4	12	8
01	1	5	13	9
11	3	7	15	11
10	2	6	14	10

C \ AB				
	00	01	11	10
0	0	2	6	4
1	1	3	7	5

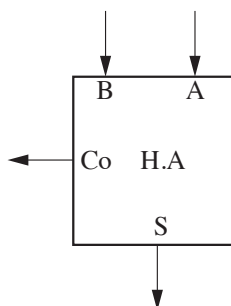
מסכמים

מסכם מלא – F.A (Full Adder)



Ci	A	B	S	Co
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

מסכם למחצה – H.A (Half Adder)

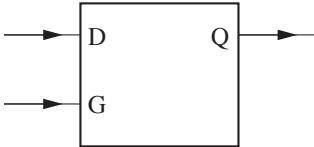
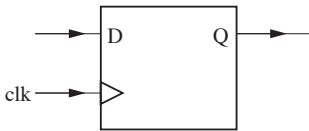
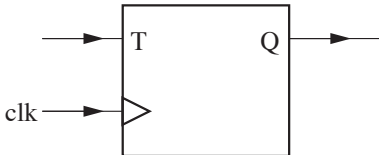
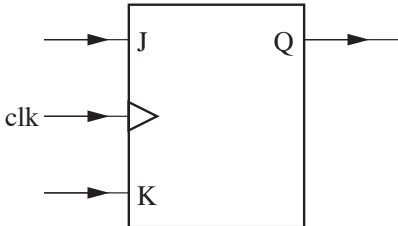
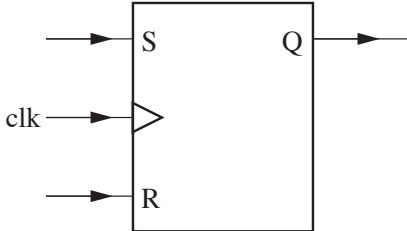


A	B	S	Co
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

מערכות צירופיות לניתוב וקידוד ופענוח מידע.

טבלת אמת	פונקציה	סמל	רכיב																																				
<table><tr><th>S</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>D0</td></tr><tr><td>1</td><td>D1</td></tr></table>	S	Y	0	D0	1	D1	$Y = \overline{S} \cdot D0 + S \cdot D1$		מרבב MUX 2 to 1																														
S	Y																																						
0	D0																																						
1	D1																																						
<table><tr><th>S1</th><th>S0</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>D0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>D1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>D2</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>D3</td></tr></table>	S1	S0	Y	0	0	D0	0	1	D1	1	0	D2	1	1	D3	$Y = \overline{S1} \cdot \overline{S0} \cdot D0 + \overline{S1} \cdot S0 \cdot D1 + S1 \cdot \overline{S0} \cdot D2 + S1 \cdot S0 \cdot D3$		MUX 4 to 1																					
S1	S0	Y																																					
0	0	D0																																					
0	1	D1																																					
1	0	D2																																					
1	1	D3																																					
<table><tr><th>Sm-1</th><th>...</th><th>S1</th><th>S0</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>D0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>D1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>D2</td></tr><tr><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>Dn-1</td></tr></table> $2^n = m$	Sm-1	...	S1	S0	Y	0	0	0	0	D0	0	0	0	1	D1	0	0	1	0	D2	...	...	...	...	...	1	1	1	1	Dn-1	$Y = \overline{Sm-1} \dots \overline{S1} \cdot \overline{S0} \cdot D0 + \overline{Sm-1} \dots \overline{S1} \cdot S0 \cdot D1 + \dots + Sm-1 \dots S1 \cdot S0 \cdot Dn-1$		MUX 2^n to 1						
Sm-1	...	S1	S0	Y																																			
0	0	0	0	D0																																			
0	0	0	1	D1																																			
0	0	1	0	D2																																			
...	...	...	...	...																																			
1	1	1	1	Dn-1																																			
<table><tr><th>S</th><th>Y0</th><th>1Y</th></tr><tr><td>0</td><td>D</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>D</td></tr></table>	S	Y0	1Y	0	D	0	1	0	D	$Y0 = \overline{S} \cdot D$ $Y1 = S \cdot D$		מפלג DMUX 1 to 2																											
S	Y0	1Y																																					
0	D	0																																					
1	0	D																																					
<table><tr><th>S1</th><th>S0</th><th>Y0</th><th>Y1</th><th>Y2</th><th>Y3</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>D</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>D</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>D</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>D</td></tr></table>	S1	S0	Y0	Y1	Y2	Y3	0	0	D	0	0	0	0	1	0	D	0	0	1	0	0	0	D	0	1	1	0	0	0	D	$Y0 = \overline{S1} \cdot \overline{S0} \cdot D$ $Y1 = \overline{S1} \cdot S0 \cdot D$ $Y2 = S1 \cdot \overline{S0} \cdot D$ $Y3 = S1 \cdot S0 \cdot D$		DMUX 1 to 4						
S1	S0	Y0	Y1	Y2	Y3																																		
0	0	D	0	0	0																																		
0	1	0	D	0	0																																		
1	0	0	0	D	0																																		
1	1	0	0	0	D																																		
<table><tr><th>Sm-1</th><th>...</th><th>S0</th><th>Y0</th><th>,</th><th>Yn-1</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>D</td><td></td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td></td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td></td><td>0</td></tr><tr><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td></td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td></td><td>D</td></tr></table> $2^n = m$	Sm-1	...	S0	Y0	,	Yn-1	0	0	0	D		0	0	0	1	0		0	0	0	0	0		0	...	...	...	...		0	1	1	1	0		D	$Y0 = \overline{Sm-1} \dots \overline{S0} \cdot D$ $Y1 = \overline{Sm-1} \dots S0 \cdot D$ $\dots$ $Yn-1 = Sm-1 \dots S0 \cdot D$		DMUX 1 to 2^n
Sm-1	...	S0	Y0	,	Yn-1																																		
0	0	0	D		0																																		
0	0	1	0		0																																		
0	0	0	0		0																																		
...	...	...	...		0																																		
1	1	1	0		D																																		

רכיבי זיכרון

סוג	סמל	טבלת אמת																	
LATCH מסוג DFF (נועל)	DFF-LATCH 	<table><tr><th>G</th><th>D</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>X</td><td>שומר מצב</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	G	D	Q	0	X	שומר מצב	1	0	0	1	1	1					
G	D	Q																	
0	X	שומר מצב																	
1	0	0																	
1	1	1																	
DFF	DFF 	<table><tr><th>clk</th><th>Q</th></tr><tr><td></td><td>D</td></tr></table>	clk	Q		D													
clk	Q																		
	D																		
TFF	TFF 	<table><tr><th>clk</th><th>T</th><th>Q</th></tr><tr><td></td><td>0</td><td>שומר מצב</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>הופך מצב</td></tr></table>	clk	T	Q		0	שומר מצב		1	הופך מצב								
clk	T	Q																	
	0	שומר מצב																	
	1	הופך מצב																	
JKFF	JKFF 	<table><tr><th>clk</th><th>J</th><th>K</th><th>Q</th></tr><tr><td rowspan="4"></td><td>0</td><td>0</td><td>שומר מצב</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>הופך מצב</td></tr></table>	clk	J	K	Q		0	0	שומר מצב	0	1	0	1	0	1	1	1	הופך מצב
clk	J	K	Q																
	0	0	שומר מצב																
	0	1	0																
	1	0	1																
	1	1	הופך מצב																
SRFF	SRFF 	<table><tr><th>clk</th><th>S</th><th>R</th><th>Q</th></tr><tr><td rowspan="4"></td><td>0</td><td>0</td><td>שומר מצב</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>מצב אסור</td></tr></table>	clk	S	R	Q		0	0	שומר מצב	0	1	0	1	0	1	1	1	מצב אסור
clk	S	R	Q																
	0	0	שומר מצב																
	0	1	0																
	1	0	1																
	1	1	מצב אסור																

לכל הדלגלגים יכולים להיות מבואות ישירים: SET, CLR **דוגמא בעמוד הבא.**

טבלת עירור

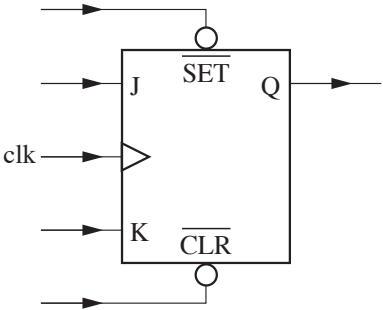
clk	PS	NS	JKFF		SRFF		TFF	DFF
	$Q_n \rightarrow Q_{n+1}$		J	K	S	R	T	D
	0	→ 0	0	X	0	X	0	0
	0	→ 1	1	X	1	0	1	1
	1	→ 0	X	1	0	1	1	0
	1	→ 1	X	0	X	0	0	1

don't care - X

דוגמה לדלגלג עם מבואות ישירים

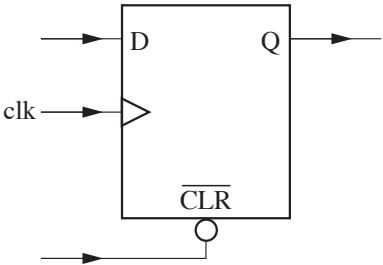
- JKFF עם מבואות ישירים אסינכרוניים (לא תלויים בשעון), עם עדיפות לאיפוס $\overline{CLR}$.

$\overline{CLR}$	$\overline{SET}$	clk	J	K	Q
0	X	X	X	X	0
1	0	X	X	X	1
1	1		0	0	שומר מצב
			0	1	0
			1	0	1
			1	1	הופך מצב



- DFF עם מבוא איפוס CLR סינכרוני (תלוי בשעון).

clk	$\overline{CLR}$	Q
	1	0
	0	D



נספח ו': מילון מונחים

לשאלון 733001, אביב תשפ"ד

המונח	תרגום המונח		
	ערבית	רוסית	אנגלית
דופקי הצתה	نبض الاشتعال	Пульс зажигания	strike pulses
הספק היגבי	القدرة الارتكاسية	Общая мощность	reactive power
הספק מדומה	القدرة الوهمية	Мнимая мощность	imaginary power
הספק ממשי	القدرة الفعالة	Активная мощность	active power
זרם חילופין	التيار المتردد	Переменный ток	alternative current
מגבר שרת	مُضَخَّم تشغيلي	Операционный усилитель	operational amplifier
מפסק	مفتاح / مُبَدِّل	Выключатель	switch
מצב רוויה	حالة التشبع	Состояние насыщения	saturation state
מקדם הספק	معامل القدرة	Коэффициент мощности	power factor
מתג	مُبَدِّل / محوّل	переключатель	switch
צורות הגלים	الشكل الموجي	Форма волны	waveform
שיטת ההרכבה (סופרפוזיציה)	طريقة التراكب	Метод наложения токов (метод суперпозиции)	superposition method