

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשפ"ב, 2022

סמל השאלון: 733001

נספחים: א. נספח לשאלה 9

ב. נספח לשאלה 10

ג. מילון מונחים

ד. נוסחאון בתורת החשמל לכיתה י"ג

ה. נוסחאון באלקטרוניקה א' לכיתה י"ג

חשמל ואלקטרוניקה ט'

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

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שלושה פרקים ובהם עשר שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד. לכל

שאלה – 20 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

שימו לב: חובה לענות על שאלה אחת לפחות מהפרק הראשון,

על שאלה אחת לפחות מהפרק השני,

ועל שאלה אחת בלבד מהפרק השלישי.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון, מילונית, וכן כל חומר הכתוב (בכתב יד או בהדפסה) על שלושה דפי A4, משני

הצדדים.

ד. הוראות מיוחדות:

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

2. התחילו כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.

3. כתבו את כל התשובות אך ורק בעט.

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

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

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

7. בכתבת הפתרונות החשובים, קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם כתובים:

* כתיבת הנוסחה המתאימה.

* הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.

* חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).

* כתיבת התוצאה המתקבלת, ביחד עם יחידות המידה המתאימות.

* ליווי הפתרון החשובי בהסבר קצר.

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

9. צרפו את שלושת דפי ה-A4 למחברת הבחינה.

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

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

בשאלון זה 11 עמודים ו-20 עמודי נספחים.

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

השאלות

בשאלון זה שלושה פרקים ובהם עשר שאלות. יש לענות על חמש שאלות בלבד: על שאלה אחת לפחות מהפרק הראשון, על שאלה אחת לפחות מהפרק השני ועל שאלה אחת בלבד מהפרק השלישי.

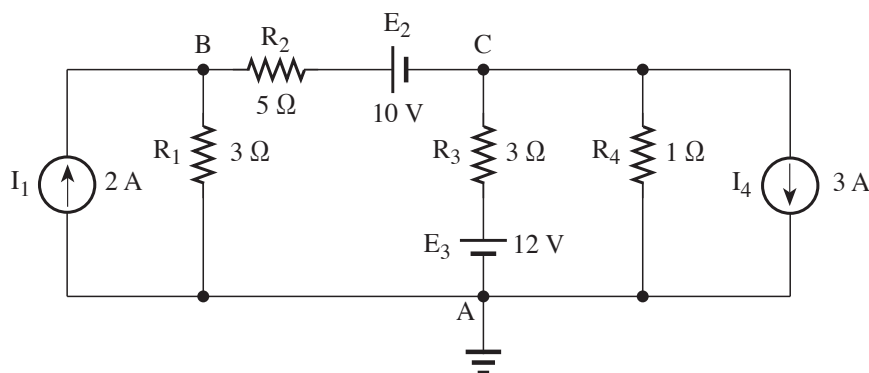
פרק ראשון: תורת החשמל

ענו על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 1-4 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון מעגל חשמלי לזרם ישר.

הנקודה A מחוברת לפוטנציאל האפס.

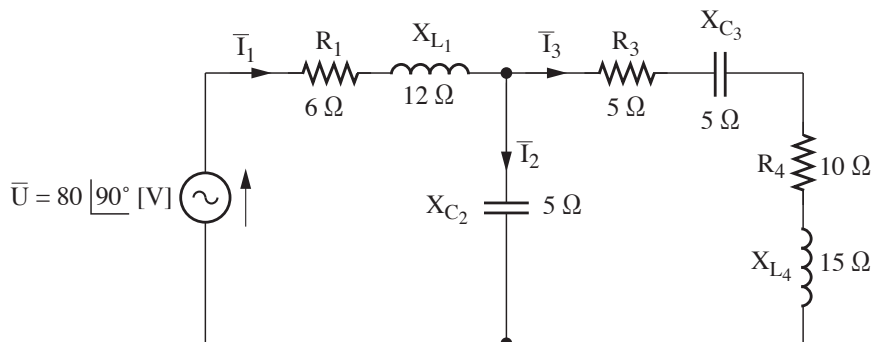


איור לשאלה 1

- א. (8 נק') כתבו מערכת משוואות לחישוב המתחים בנקודות B ו-C (U_C , U_B) בשיטת מתחי הצמתים.
- ב. (8 נק') חשבו את המתחים U_B ו- U_C .
- ג. (4 נק') חשבו את הזרם הזורם דרך הנגד R_2 , וציינו את כיוונו (מ-C ל-B או מ-B ל-C).

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי לזרם חילופין.

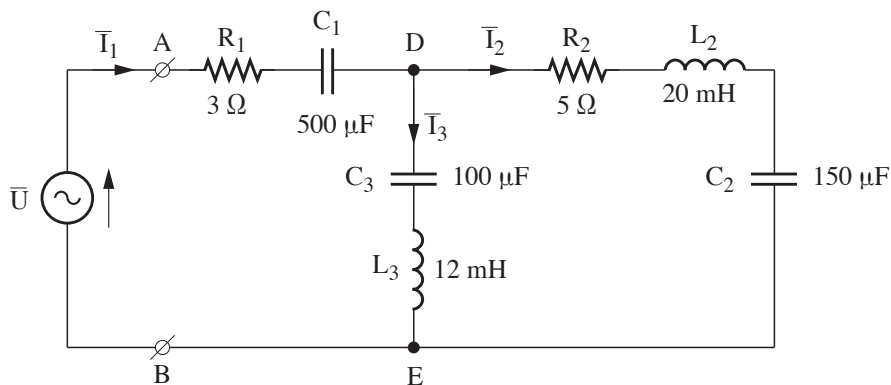


איור לשאלה 2

- א. (8 נק') חשבו את העכבה השקולה של המעגל. כתבו את התשובה בהצגה מרוכבת.
- ב. (8 נק') חשבו את הזרמים $\bar{I}_1$, $\bar{I}_2$ ו- $\bar{I}_3$. כתבו את התשובה בהצגה מרוכבת.
- ג. (4 נק')
2. (2 נק') 1. חשבו את ההספק הממשי, את ההספק ההיגבי ואת ההספק המדומה של המעגל.
2. (2 נק') 2. סרטטו את משולש ההספקים של המעגל. הציגו על-גבי הסרטוט את הערכים שחישבתם בתשובה לסעיף ג'1.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי לזרם חילופין. ערכו של תדר מקור המתח הוא $f = 70 \text{ Hz}$.
נתון כי ערכו של הזרם I_3 במעגל הוא $\bar{I}_3 = 3 \angle 30^\circ \text{ A}$.

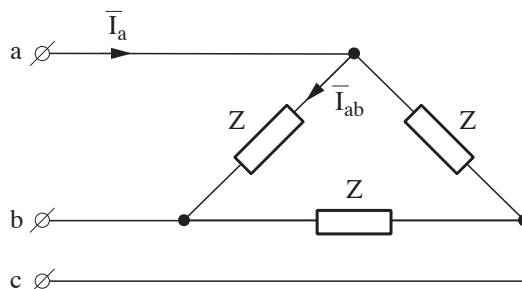


איור לשאלה 3

- א. (8 נק') חשבו את העכבה הכוללת של המעגל (בין הנקודות A ו-B), וקבעו את אופי המעגל.
- ב. (8 נק') חשבו את הזרם $\bar{I}_2$. כתבו את התשובה בהצגה מרוכבת.
- ג. (4 נק') חשבו את מתח המקור $\bar{U}$. כתבו את התשובה בהצגה מרוכבת.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 מתואר עומס תלת-מופעי סימטרי, המחובר לרשת תלת-מופעית $400 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$.
העכבה למופע של העומס היא: $Z = (12 + j4) \Omega$.



איור לשאלה 4

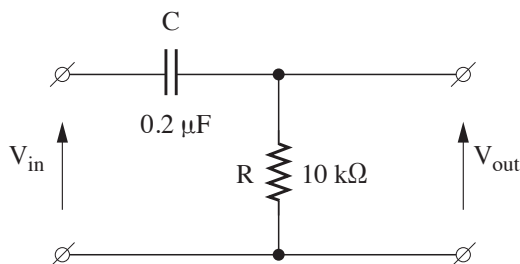
- א. (8 נק') חשבו את הזרם המופעי $\bar{I}_{ab}$ של העומס ואת הזרם $\bar{I}_a$ בקו ההזנה. כתבו את התשובה בהצגה מרוכבת.
- ב. (6 נק') חשבו את מקדם ההספק של הרשת.
- ג. (6 נק')
1. (3 נק') חשבו את ההספק הממשי, את ההספק ההיגבי ואת ההספק המדומה של העומס.
2. (3 נק') סרטטו את משולש ההספקים של העומס התלת-מופעי.

פרק שני: אלקטרוניקה א'

ענו על שאלה אחת לפחות מבין השאלות 5-8 (לכל שאלה – 20 נקודות).

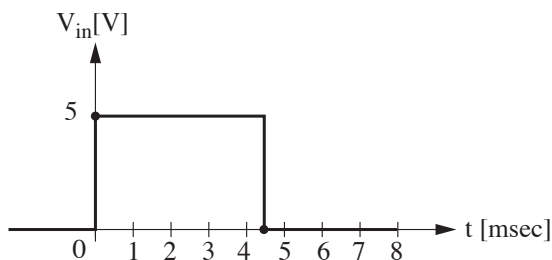
שאלה 5

באיור א' לשאלה 5 נתונה רשת חשמלית.



איור א' לשאלה 5

לרשת זו מספקים את הדופק המתואר באיור ב' לשאלה.



איור ב' לשאלה 5

א. (8 נק')

1. (4 נק') זהו את סוג המסנן.

2. (4 נק') סרטטו, זו מתחת לזו, בהתאמה, את צורות המתחים V_{in} ו- V_{out} כפונקצייה של הזמן.

ב. (6 נק') כתבו את משוואת מתח המוצא, V_{out} , כפונקצייה של הזמן, וחשבו את ערכו של V_{out} כאשר:

1. (3 נק') $t = 4.5 \text{ msec}$

2. (3 נק') $t = 6.5 \text{ msec}$

ג. (6 נק') חשבו כעבור כמה זמן מרגע $t = 0$ ערכו של מתח המוצא יהיה $V_{out} = 2.5 \text{ V}$.

שאלה 6

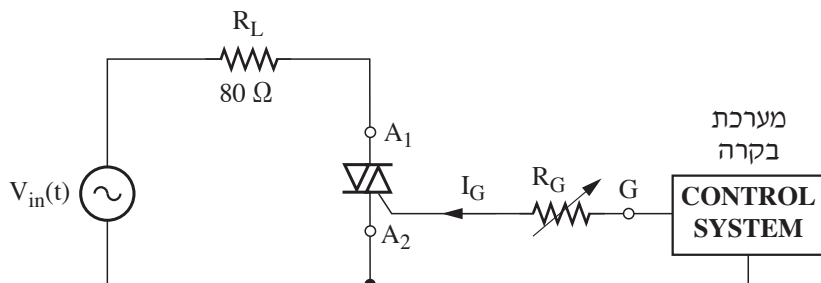
באיור א' לשאלה 6 מתואר מעגל המשמש לבקרת הספק. הבקרה נעשית באמצעות TRIAC.

נתונים:

$$R_L = 80 \Omega$$

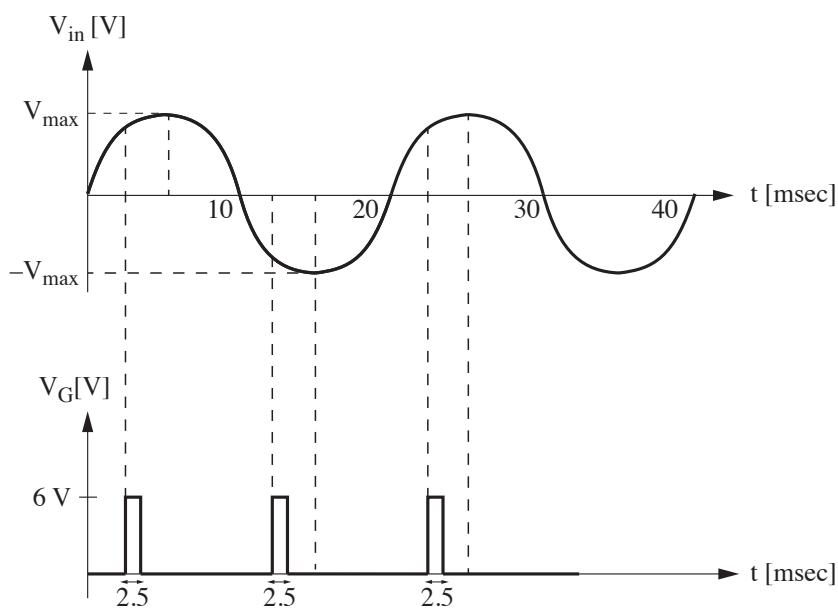
$$V_{RMS} = 230 V$$

$$f = 50 Hz$$



איור א' לשאלה 6

באיור ב' לשאלה מתוארות צורות הגלים של המתחים V_{in} (מתח המבוא) ו- V_G (מתח הבקרה) כפונקצייה של הזמן.



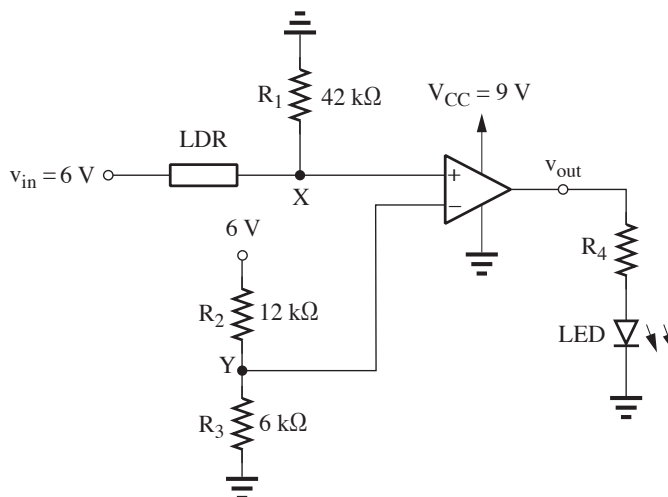
איור ב' לשאלה 6

- 6 נק') א. העתיקו למחברת את צורות הגלים שבאיור ב' לשאלה, וסרטטו מתחתיהן, בהתאמה, את צורות הגלים $V_{A1,2}(t)$ ו- $V_{R_L}(t)$ לאורך שני מחזורים.
- 7 נק') ב. חשבו את המתח היעיל על פני העומס, V_{R_L} .
- 7 נק') ג. חשבו את ההספק היעיל על העומס, P_{R_L} .

שאלה 7

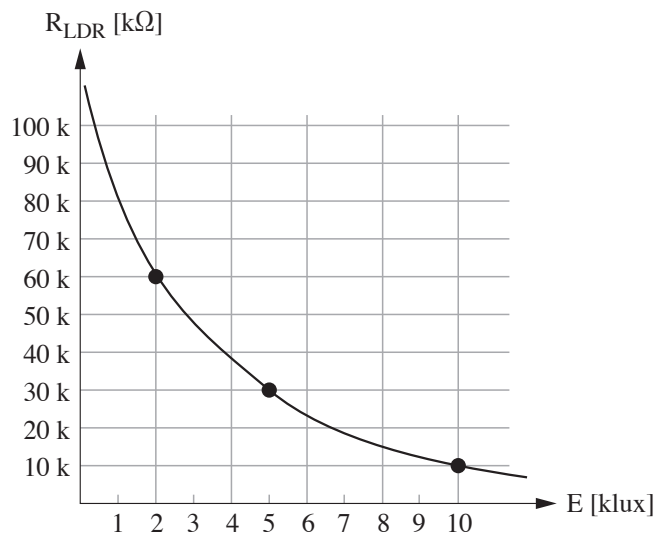
באיור א' לשאלה 7 מתואר מעגל חשמלי המשמש לחיווי של עוצמת האור. המעגל כולל חיישן אור מסוג LDR (Light Dependent Resistor) ודיודת LED.

- (6 נק') א. חשבו את המתח בנקודה Y, (V_Y) .
- (8 נק') ב. דיודת ה-LED דולקת וזורם בה זרם של 15 mA. חשבו את ערכו של הנגד R_4 . נתון: $V_{LED} = 1.2 \text{ V}$.



איור א' לשאלה 7

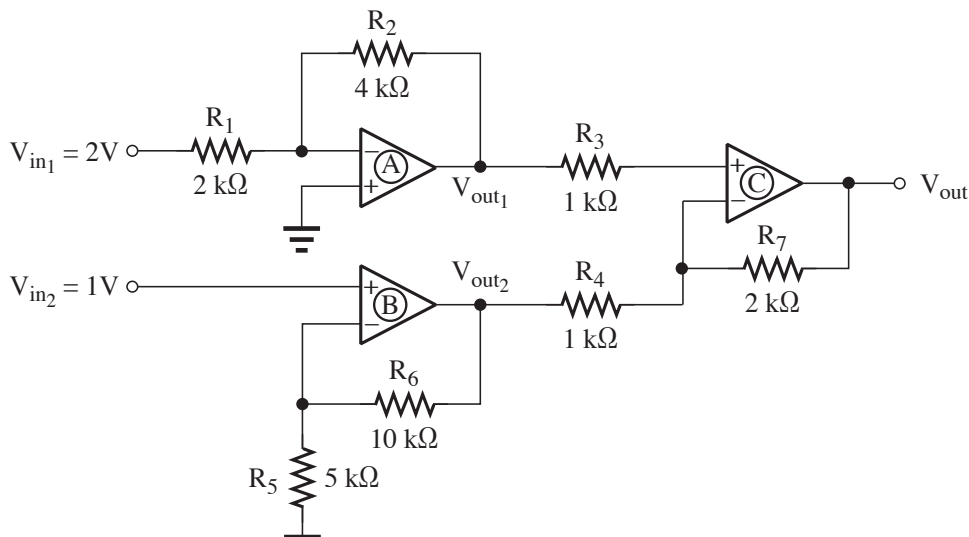
באיור ב' לשאלה נתון אופייין של חיישן LDR, המתאר את ההתנגדות R_{LDR} כפונקצייה של עוצמת ההארה, E .
(6 נק') ג. היעזרו באופייין שבאיור ומצאו מהי ההתנגדות של חיישן ה-LDR שבה דיודת ה-LED דולקת.



איור ב' לשאלה 7

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון מעגל הכולל שלושה מגברי שרת אידיאליים.



איור לשאלה 8

- א. (7 נק') ציינו את תפקידו של כל אחד מהמגברים (A) ו-(B) ו-(C).
- ב. (7 נק') חשבו את המתחים V_{out1} , V_{out2} ו- V_{out} .
- ג. (6 נק') חשבו את הזרם הזורם דרך הנגדים R_6 ו- R_2 .

פרק שלישי: אנגלית טכנית

ענו על שאלה אחת בלבד מבין השאלות 9–10.

שאלה 9 – אנרגייה סולרית

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 בתשובתכם לכל סעיף.

- 5 (נק') א. ציינו שלושה דברים שקרני השמש מסוגלות לייצר.
- 5 (נק') ב. הסבירו את ההבדל בין אנרגיית השמש ובין שאר צורות האנרגייה המוזכרות בקטע.
- 5 (נק') ג. על פי הקטע, השמש היא מקור אנרגייה בעל עוצמה רבה. הסבירו מדוע אחוז גבוה מאנרגיית השמש אינו זמין לאדם.
- 5 (נק') ד. אנרגיית השמש קיימת בחינם. מדוע בכל זאת היא יקרה?

שאלה 10 – אנרגייה תרמית

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 בתשובתכם לכל סעיף.

- 5 (נק') א. ציינו מה משמש לקליטת אנרגיית שמש ולהפיכתה לאנרגיית חום.
- 5 (נק') ב. ציינו אילו קולטים הם השימושיים ביותר, ותארו כיצד הם בנויים.
- 5 (נק') ג. האם אפשר להשתמש באנרגיית השמש באופן ישיר? נמקו את התשובה.
- 5 (נק') ד. ציינו מהי נצילות הקולטים, ובמה תלויה היעילות שלהם.

בהצלחה!

Solar Energy

Ashok, S.. "solar energy". Encyclopedia Britannica, 22 Oct. 2021,
<https://www.britannica.com/science/solar-energy>. Accessed 2 February 2022.

- 1 **Solar energy**, radiation from the Sun capable of producing heat, causing chemical reactions, or generating electricity. The total amount of solar energy incident on Earth is vastly in excess of the world's current and anticipated energy requirements. If suitably harnessed, this highly diffused source has the potential to satisfy all future
- 5 energy needs. In the 21st century solar energy is expected to become increasingly attractive as a renewable energy source because of its inexhaustible supply and its nonpolluting character, in stark contrast to the finite fossil fuels coal, petroleum, and natural gas.
- 10 The Sun is an extremely powerful energy source, and sunlight is by far the largest source of energy received by Earth, but its intensity at Earth's surface is actually quite low. This is essentially because of the enormous radial spreading of radiation from the distant Sun. A relatively minor additional loss is due to Earth's atmosphere and clouds, which absorb or scatter as much as 54 percent of the incoming sunlight. The sunlight that reaches the ground consists of nearly 50 percent
- 15 visible light, 45 percent infrared radiation, and smaller amounts of ultraviolet and other forms of electromagnetic radiation.
- The potential for solar energy is enormous, since about 200,000 times the world's total daily electric-generating capacity is received by Earth every day in the form of solar energy. Unfortunately, though solar energy itself is free, the high cost of its
- 20 collection, conversion, and storage still limits its exploitation in many places. Solar radiation can be converted either into thermal energy (heat) or into electrical energy, though the former is easier to accomplish.

Thermal Energy

Ashok, S.. "solar energy". Encyclopedia Britannica, 22 Oct. 2021,
<https://www.britannica.com/science/solar-energy>. Accessed 2 February 2022.

- 1 Among the most common devices used to capture solar energy and convert it to thermal energy are flat-plate collectors, which are used for solar heating applications. Because the intensity of solar radiation at Earth's surface is so low, these collectors must be large in area. Even in sunny parts of the world's temperate regions,
- 5 for instance, a collector must have a surface area of about 40 square meters (430 square feet) to gather enough energy to serve the energy needs of one person. The most widely used flat-plate collectors consist of a blackened metal plate, covered with one or two sheets of glass, that is heated by the sunlight falling on it. This heat is then transferred to air or water, called carrier fluids, that flow past the back of the
- 10 plate. The heat may be used directly, or it may be transferred to another medium for storage. Flat-plate collectors are commonly used for solar water heaters and house heating. The storage of heat for use at night or on cloudy days is commonly accomplished by using insulated tanks to store the water heated during sunny periods. Such a system, can supply a home with hot water drawn from the storage tank, or,
- 15 with the warmed water flowing through tubes in floors and ceilings, it can provide space heating. Flat – plate collectors typically heat carrier fluids to temperatures ranging from 66 to 93 °C (150 to 200 °F). The efficiency of such collectors (i.e., the proportion of the energy received that they convert into usable energy) ranges from 20 to 80 percent, depending on the design of the collector.

נספח ג': מילון מונחים
לשאלון 733001, אביב תשפ"ב

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

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]

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$J = \frac{I}{A}$$

אנרגייה בזרם ישר

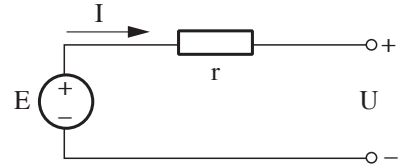
אנרגייה	-	W	[W · sec או J]
זמן	-	t	[sec]
הספק	-	P	[W]

$$W = P \cdot t$$

כא"מ של מקור מתח

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

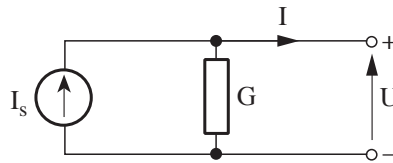
$$E = U + I \cdot r$$



מקור זרם

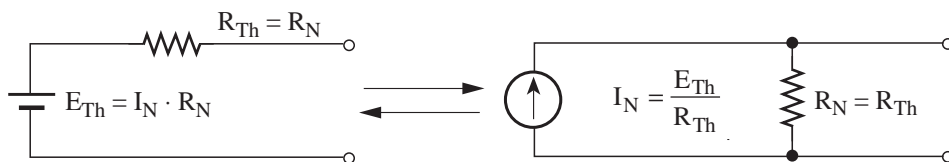
זרם המקור	-	I_s	[A]
מוליכות פנימית של מקור זרם	-	G	[S]

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



2. פתרון מעגלים באמצעות משפטי רשת

המרה מנורטון לתבנית ומתבנית לנורטון



העברת הספק מקסימלי לעומס אומי

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

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

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

$$V_{ab} = \frac{\frac{V_s}{R} + \sum I_s}{\sum \frac{1}{R}}$$

3. מגנטיות ואלקטרומגנטיות

כוח מגנטור-מניע

$$F_m \text{ [AT]} - \text{כוח מגנטור-מניע}$$

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

$$N - \text{מספר כריכות}$$

$$I \text{ [A]} - \text{זרם}$$

חוק אמפר

$$H \text{ [AT/m]} - \text{עוצמת השדה המגנטי במעגל מגנטי}$$

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

$$\ell \text{ [m]} - \text{אורך המסלול המגנטי}$$

$$H \text{ [A / m]} - \text{עוצמת השדה המגנטי במרחק } r \text{ ממוליך}$$

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

$$r \text{ [m]} - \text{מרחק מהמוליך}$$

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

$$B = \mu H$$

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 ארוך 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]	

כא"מ מושרה	-	E	[V]	$E = -N \frac{d\Phi}{dt}$
מספר כריכות הסליל	-	N		$L = N \frac{d\Phi}{dI}$
השראות עצמית של הסליל	-	L	[H]	$E = -L \frac{dI}{dt}$
השראות הדדית	-	M^*	[H]	$L = \frac{N^2}{R_m}$
מקדם הצימוד	-	k		$M^* = k \sqrt{L_1 L_2}$
האנרגייה האגורה בסליל	-	W	[J או W · sec]	$W = \frac{1}{2} L I^2$
מומנט הפועל על הכריכה	-	M	[N · m]	$M = B \cdot A \cdot I \cdot \sin \theta$
שטח פני הכריכה	-	A	[m ²]	$M = \Phi \cdot I \cdot \sin \theta$
הזווית בין הניצב למישור הכריכה לבין קווי השדה	-	θ	[°, rad]	$E_{\max} = B \cdot A \cdot \omega$
מהירות זוויתית	-	ω	[rad / sec]	$\omega = \frac{v}{R}$
מהירות קווית	-	v	[m / sec]	$\omega = \frac{\theta}{t}$
רדיוס הכריכה	-	R	[m]	$\omega = \frac{2\pi n}{60}$
מהירות סיבוב	-	n	[rpm]	

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]

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

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

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

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

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

זמן המחזור	-	T	[sec]
תדירות זוויתית	-	ω	[rad / sec]
תדירות	-	f	[Hz , cycles / sec]

היגב השראותי	-	X_L	[Ω]
היגב קיבולי	-	X_C	[Ω]

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

5. הספקים

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

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

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

שיפור מקדם ההספק

קיבול	-	C	[F]
זווית מופע אחרי השיפור	-	φ_2	[° , rad]
זווית מופע לפני השיפור	-	φ_1	[° , rad]

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

6. 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-מופע

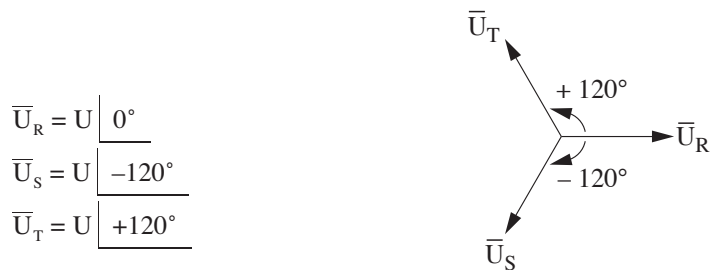
הספק מדומה תלת-מופע	-	S	[VA]
הספק פעיל תלת-מופע	-	P	[W]
הספק היגבי תלת-מופע	-	Q	[VAr]

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

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

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

ייצוג מתחים מופעיים במישור המרוכב של רשת תלת-מופעית סימטרית

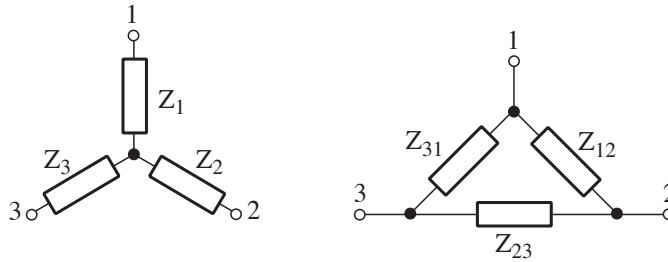


7. המרה כוכב-משולש

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

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

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



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]

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

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

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 - $I_D = 0$ (נפתק)

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

המשך בעמוד 2

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 מבזבז	-	P_{diss}	[W]

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

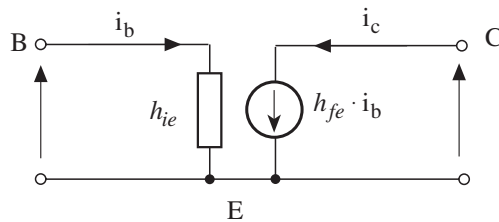
טרנזיסטור דו-נושאי (בתחום הפעיל)

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)

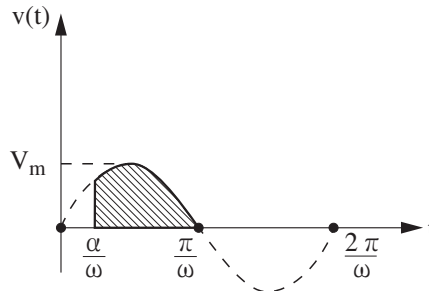
	ללא נגד R_E	עם נגד R_E
A_I	$-h_{fe}$	$-h_{fe}$
R_i	h_{ie}	$h_{ie} + (1 + h_{fe}) R_E$
A_V	$-\frac{h_{fe} \cdot R_L}{h_{ie}}$	$-\frac{h_{fe} \cdot R_L}{R_i}$
R_o	∞	∞
R_L	R_L	R_L

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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 [Ω]

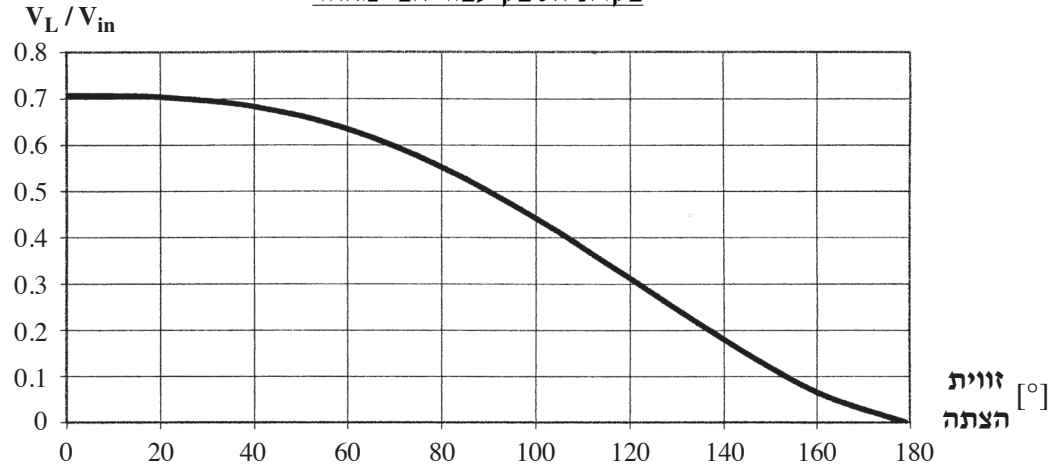
הספק על העומס - P [W]

הערך הממוצע של הזרם - I_{AV} [A]

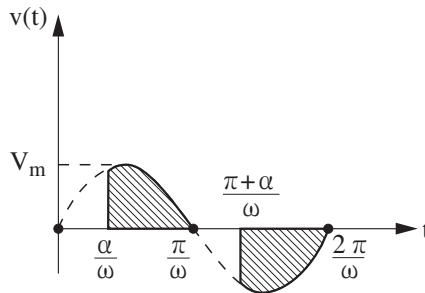
הערך היעיל של הזרם - I_{RMS} [A]

הערך היעיל של מתח המבוא - V_{in} [V]

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] |

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

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

$$V_{AV} = 0$$

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

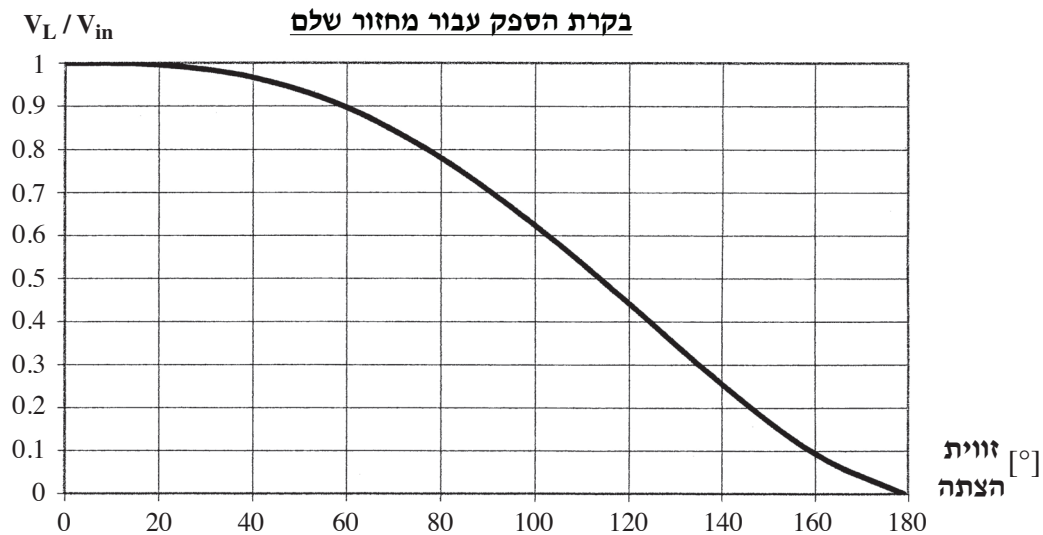
מהירות זוויתית (תדר זוויתי)	-	ω	$\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
זמן	-	t	[sec]
התנגדות העומס	-	R	[Ω]
הספק על העומס	-	P	[W]
הערך הממוצע של הזרם	-	I_{AV}	[A]
הערך היעיל של הזרם	-	I_{RMS}	[A]
הערך היעיל של מתח המבוא	-	V_{in}	[V]

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

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

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

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



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]

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

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