

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשע"ח, 2018

סמל השאלון: 733001

נספחים: א. נספח לשאלה 9

ב. נספח לשאלה 10

ג. נוסחאון בתורת החשמל לכיתה

י"ג

ד. נוסחאון באלקטרוניקה א'

לכיתה י"ג

ה. מילון מונחים

חשמל ואלקטרוניקה ט'

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

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה עשר שאלות. יש להשיב על חמש שאלות

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

שים לב: 1. חובה לענות על שתי שאלות לפחות מהפרק

הראשון ועל שאלה אחת לפחות מהפרק

השני.

2. חובה לענות על שאלה אחת מהפרק השלישי.

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 מֶרב 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, ביחד 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 11 עמודים ו-24 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

◀ המשך מעבר לדף

בהצלחה!

השאלות

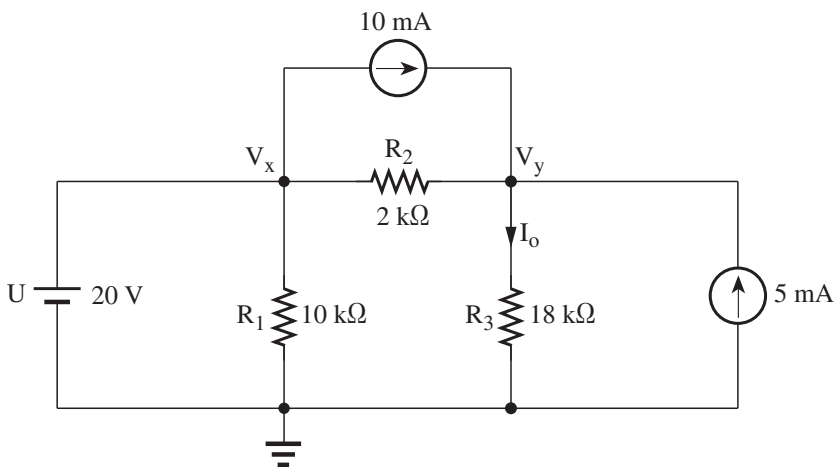
ענה על חמש מבין השאלות 1–10. עליך לענות על שתי שאלות לפחות מן הפרק הראשון, על שאלה אחת לפחות מן הפרק השני, ועל שאלה אחת מן הפרק השלישי.

פרק ראשון: תורת החשמל

ענה על שתי שאלות לפחות מבין השאלות 1–4 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון מעגל לזרם ישר.



איור לשאלה 1

א. חשב את הזרם I_0 . בחישובך התבסס על שיטת ההרכבה (סופרפוזיציה).

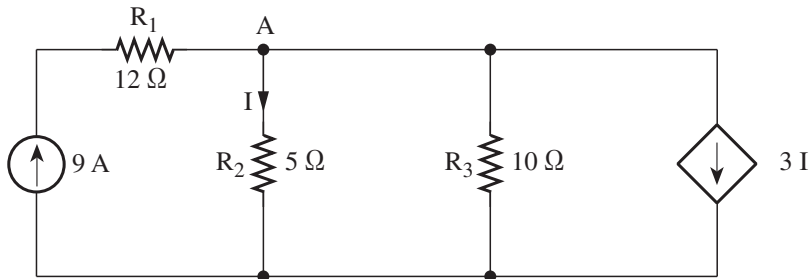
ב. חשב את הפוטנציאלים V_x ו- V_y .

ג. חשב את ההספק הכולל הנמסר למעגל.

ד. הוכח, באמצעות חישוב, כי במעגל מתקיים מאזן הספקים.

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי לזרם ישר, המוזן ממקור זרם בלתי-תלוי וממקור זרם תלוי.

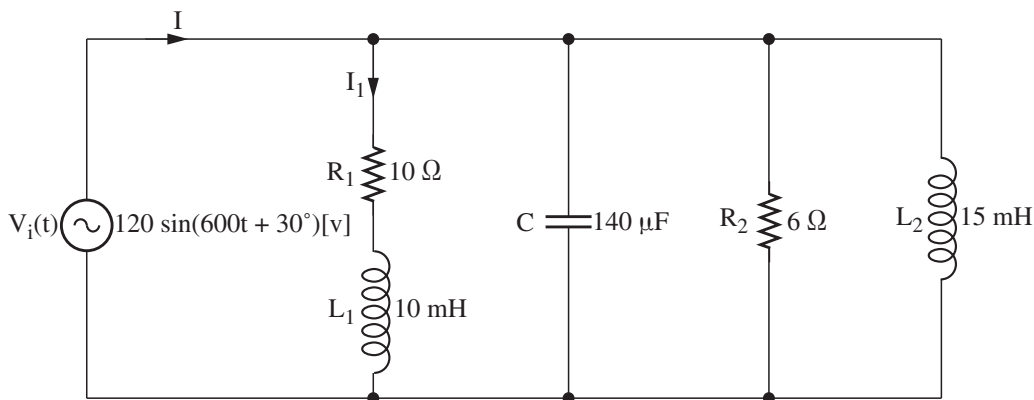


איור לשאלה 2

- א. רשום את משוואת הזרמים של קירכהוף עבור הנקודה A.
- ב. חשב את המתח על-פני מקור הזרם הבלתי-תלוי.
- ג. חשב את המתח על-פני מקור הזרם התלוי.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי לזרם חילופין.



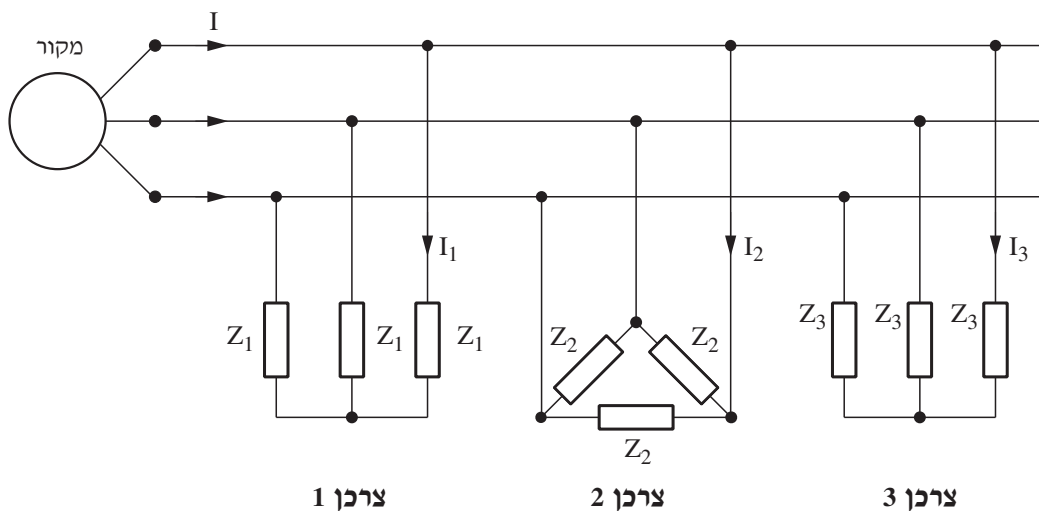
איור לשאלה 3

- א. 1. חשב את המתירות של כל ענף (4 ענפים). רשום תשובותיך כמספרים מרוכבים.
2. חשב את המתירות השקולה של המעגל. רשום את תשובתך כמספר מרוכב.
- ב. 1. חשב את הזרם בכל ענף ואת הזרם השקול של המעגל. רשום תשובותיך כמספרים מרוכבים.
2. סרטט במחברתך דיאגרמה פאזורית של הזרמים במעגל.
- ג. משנים את התדר הזוויתי של מקור המתח ל- $300 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$. האם הזרם I_1 יקטן, יגדל או לא ישתנה? נמק את קביעתך.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתונה רשת תלת-מופעית $f = 50 \text{ Hz}$, $U_n = 400 \text{ V}$. אל הרשת מחוברים שלושה צרכנים.

נתוני הצרכנים: $\bar{Z}_1 = (8 + j6) \Omega$, $\bar{Z}_2 = (10 + j10) \Omega$, $\bar{Z}_3 = -j12 \Omega$.



איור לשאלה 4

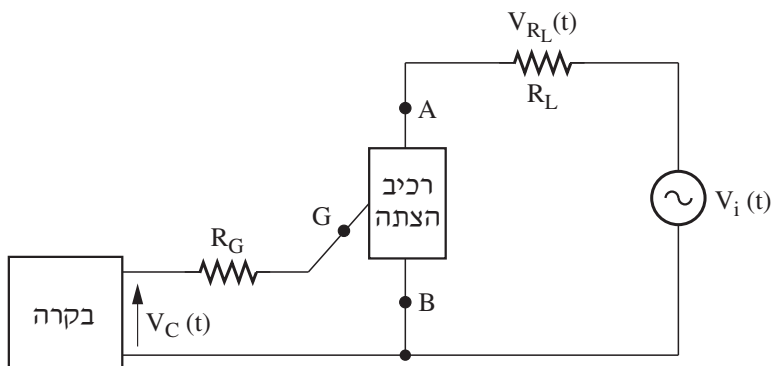
- א. חשב את הזרמים I , I_1 , I_2 , I_3 . רשום תשובותיך כמספר מרוכב.
- ב. 1. חשב את ההספק הפעיל, את ההספק ההיגבי ואת ההספק המדומה של המקור.
2. סרטט במחברתך את משולש ההספקים של המקור.
- ג. מה צריך להיות קיבולו של צרכן 3 על-מנת שההספק הנמסר על-ידי המקור יהיה ממשי בלבד?

פרק שני: אלקטרוניקה א'

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

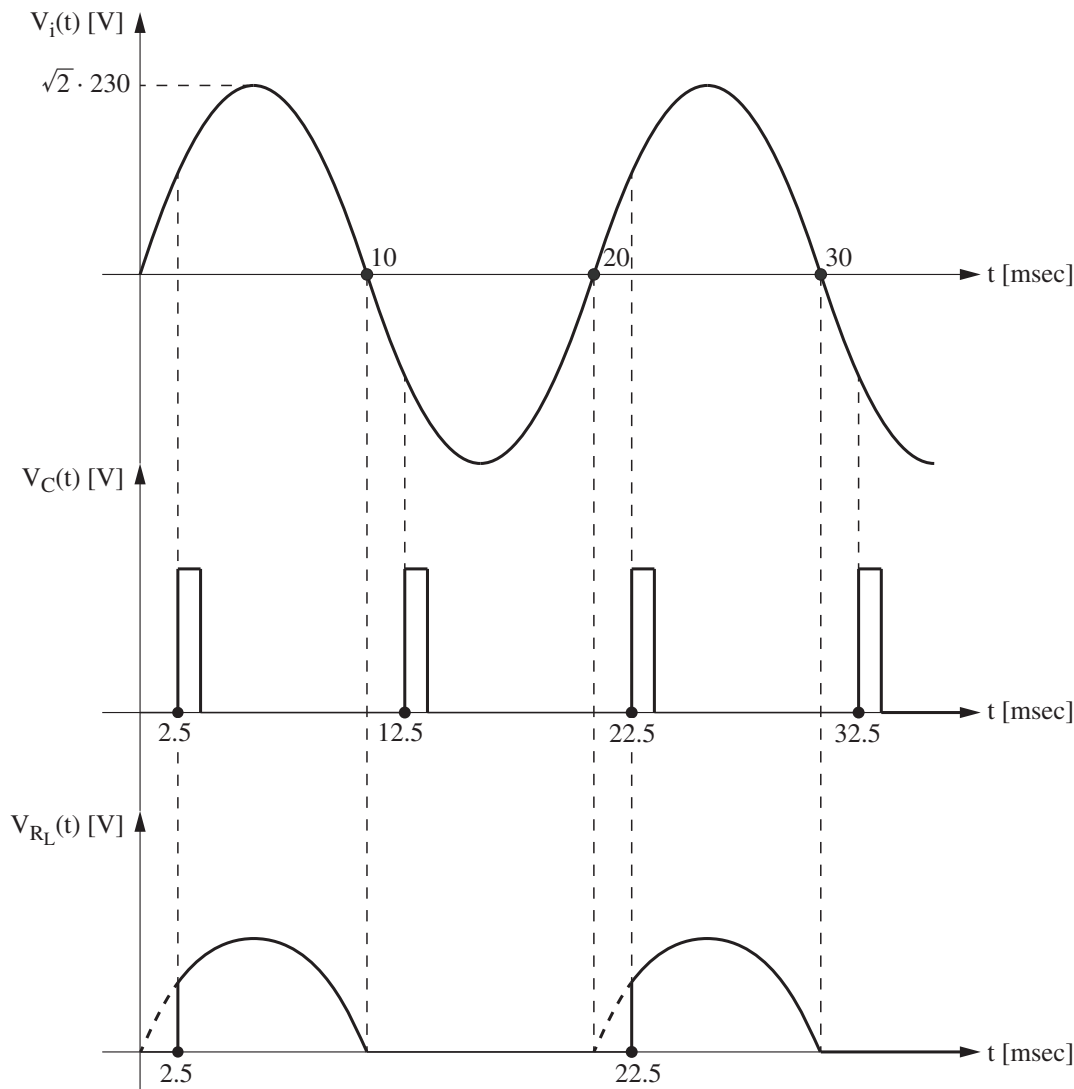
שאלה 5

באיור א' לשאלה 5 מתואר מעגל המשמש לבקרת הספק של העומס, $R_L = 100 \Omega$. הבקרה מבוצעת באמצעות רכיב הצתה.



איור א' לשאלה 5

באיור ב' לשאלה 5 מתוארות צורות הגלים של המתחים $V_i(t)$ (מתח הכניסה), $V_C(t)$ (מתח ההצתה), ו- $V_{RL}(t)$ (המתח על העומס) כפונקצייה של הזמן.



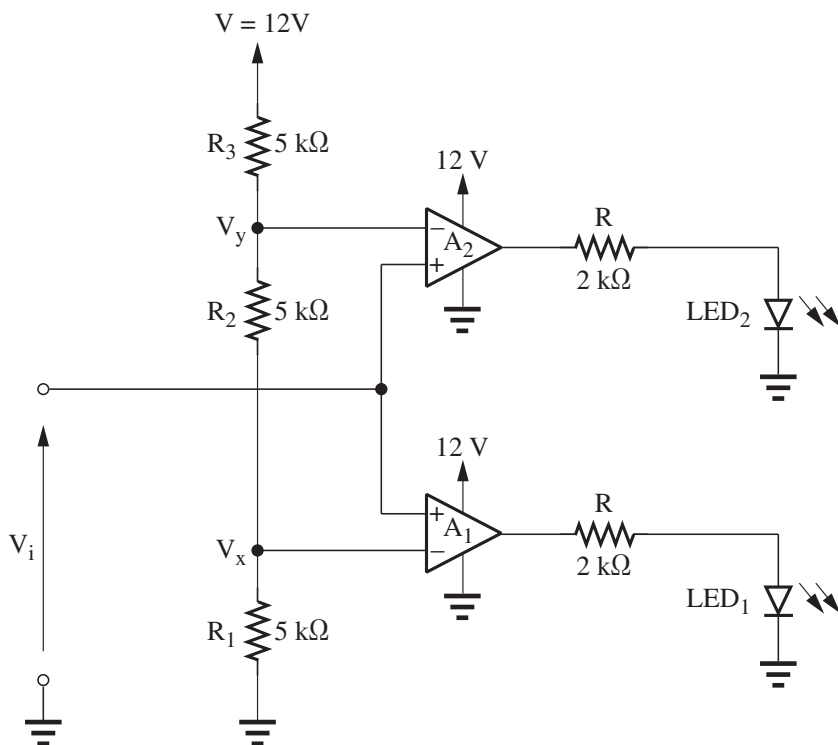
איור ב' לשאלה 5

- א. מהו רכיב ההצתה במעגל, SCR או TRIAC ? נמק את תשובתך.
- ב. העתק למחברתך את צורות הגלים שבאיור ב', וסרטט מתחתיהן, בהתאמה, את צורת הגל על הדקי רכיב ההצתה $V_{AB}(t)$.
- ג. חשב את ההספק המתפתח על העומס R_L .

שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתון מעגל חשמלי הכולל מגברי שרת אידיאליים.

נתון: $V_{LED} = 1.5 \text{ V}$.

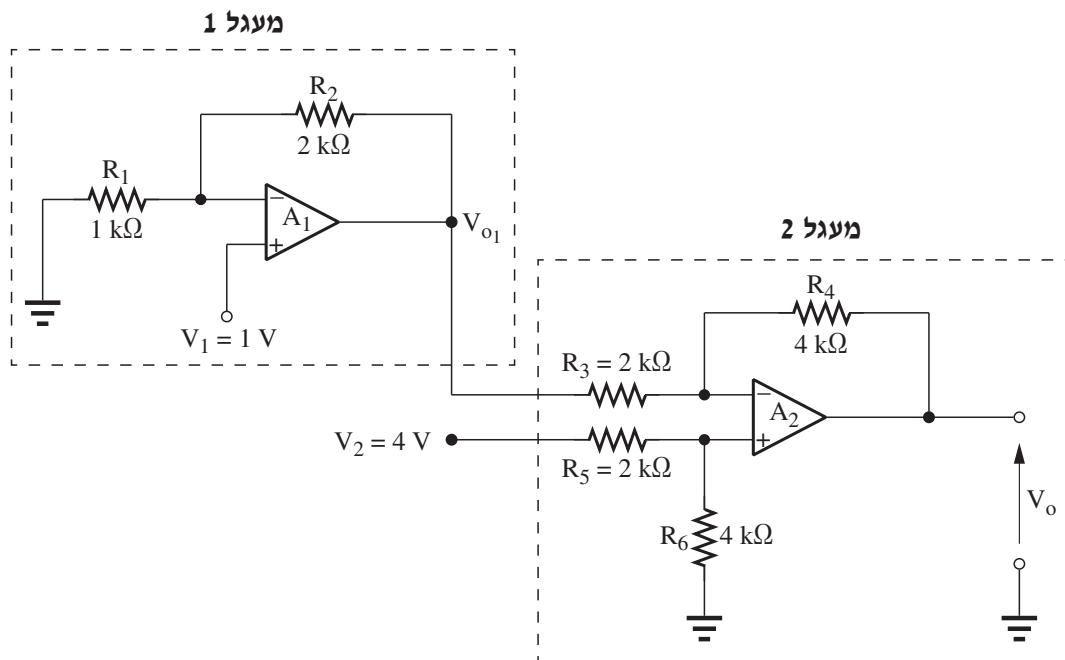


איור לשאלה 6

- א. חשב את המתחים בנקודות V_x , V_y .
- ב. ציין מהו מצבה של כל אחת מנוריות ה-LED (דולקת או כבויה) כאשר המתח V_i הוא:
 1. 3 V
 2. 6 V
 3. 9 V
- ג. חשב את הזרם הזורם דרך נורת LED_1 כאשר היא דולקת.

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי הכולל מגברי שרת אידיאליים.



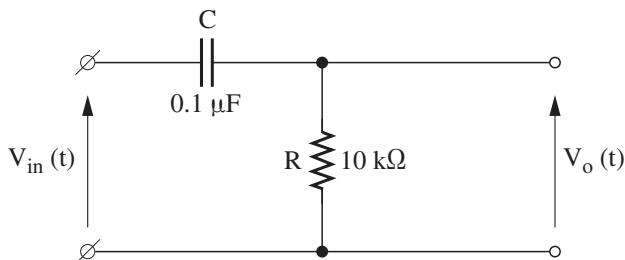
איור לשאלה 7

- הסבר את תפקידו של מעגל 1 ואת תפקידו של מעגל 2.
- חשב את המתחים V_{o1} ו- V_o .
- הצע ערכים לנגדים R_4 ו- R_6 כך שמתח המוצא V_o יהיה 4 V .

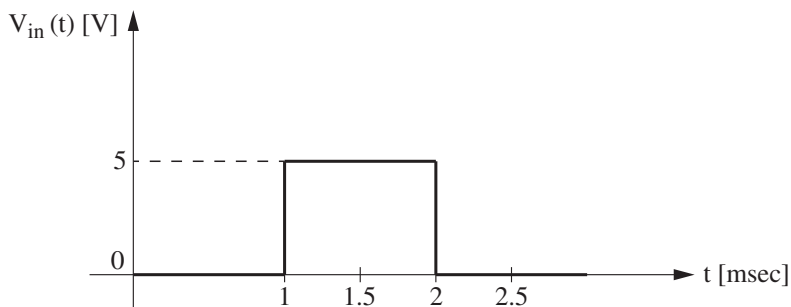
שאלה 8

באיור א' לשאלה 8 נתון מעגל חשמלי.

באיור ב' לשאלה נתון גרף המתאר את מתח המבוא $V_{in}(t)$ כפונקצייה של הזמן.



איור א' לשאלה 8



איור ב' לשאלה 8

א. העתק למחברתך את הגרף שבאיור ב', וסרטט מתחתיו, בהתאמה, גרף המתאר את מתח המוצא כפונקצייה של הזמן, $V_o(t)$.

ב. 1. חשב את מתח המוצא בזמן $t = 1.5 \text{ msec}$.

2. חשב את מתח המוצא בזמן $t = 2.5 \text{ msec}$.

ג. חשב את המתח על-פני הקבל בזמן $t = 1.5 \text{ msec}$.

פרק שלישי: אנגלית טכנית

ענה על שאלה אחת מבין השאלות 9-10 (לכל שאלה – 20 נקודות).

שאלה 9

בנספח לשאלה 9 מובא קטע ששורותיו ממוספרות. כתוב את תשובותיך לסעיפים א'-ד' בעברית, רק לפי הכתוב בקטע. ציין את מספרי השורות בקטע שעליהן התבססת בתשובתך לכל סעיף.

- א. ציין את **חמשת** תפקידיו העיקריים של ציוד המיתוג בלוחות מתח נמוך.
- ב. בקטע מצוינות **שלוש** דרישות שציוד מבודד חייב למלא. ציין את שלושתן.
- ג. הסבר כיצד מתבצעת בדיקת המצב הפתוח של המגעים בציוד מבודד.
- ד. מהם הערכים המותרים של זרם זליגה הזורם בין המגעים הפתוחים של כל מופע (פאזה) בציוד המבודד?

שאלה 10

בנספח לשאלה 10 מובא קטע ששורותיו ממוספרות. כתוב את תשובותיך לסעיפים א'-ד' בעברית, רק לפי הכתוב בקטע. ציין את מספרי השורות בקטע שעליהן התבססת בתשובתך לכל סעיף.

- א. ציין **ארבע** סיבות להיווצרותם של קצרים במערכות חשמליות.
- ב. כאשר מתרחש קצר במנוע, נוצרות תופעות אלקטרודינמיות שליליות. ציין את כולן.
- ג. ציין **שלוש** פעולות הכרחיות שיש לבצע לצורך ניתוקו המידי של זרם קצר.
- ד. ציין את הסיבות להתאמת ההגנה לעומס יתר.

בהצלחה!

The basic functions of LV (low voltage) switchgear

Courtesy of Schneider Electric

- 1 National and international standards define the manner in which electric circuits of LV installations must be realized, and the capabilities and limitations of the various switching devices which are collectively referred to as switchgear.

The main functions of switchgear are:

- 5
- electrical protection;
 - electrical isolation of sections of an installation;
 - local or remote switching;
 - over-voltage protection;
 - under-voltage protections are provided by specific devices (lightning and various other
- 10 types of voltage-surge arrester; relays associated with: contactors, remotely-controlled circuit breakers, and with combined circuit breaker/isolators...and so on).

1.1 Electrical Protection

Electrical protection assures:

- 15
- protection of circuit elements against the thermal and mechanical stresses of short-circuit currents;
 - protection of persons in the event of insulation failure;
 - protection of appliances and apparatus being supplied (e.g. motors, etc.).

1.2 Isolation

- 20 The aim of isolation is to separate a circuit or apparatus, or an item of plant (such as a motor, etc.) from the remainder of a system which is energized, in order that personnel may carry out work on the isolated part in perfect safety.

In principle, all circuits of an LV installation shall have means to be isolated. In practice, in order to maintain an optimum continuity of service, it is preferred to provide a means of isolation at the origin of each circuit.

- 25 An isolating device must fulfil the following requirements:
- all poles of a circuit, including the neutral (except where the neutral is a PEN conductor) must be open;
 - it must be provided with a means of locking open with a key (e.g. by means of a padlock) in order to avoid an unauthorized reclosure by inadvertence;
 - 30 – it must conform to a recognized national or international standard concerning clearance between contacts, overvoltage withstand capability, etc. and also:

Verification that the contacts of the isolating device are, in fact, open. The verification may be:

- either visual, where the device is suitably designed to allow the contacts to be seen
- or mechanical, by means of an indicator solidly welded to the operating shaft of the

35 device. In this case the construction of the device must be such that, in the eventuality that the contacts become welded together in the closed position, the indicator cannot possibly indicate that it is in the open position.

Leakage currents. With the isolating device open, leakage currents between the open contacts of each phase must not exceed:

- 40
- 0.5 mA for a new device
 - 6.0 mA at the end of its useful life.

Voltage-surge withstand capability, across open contacts. The isolating device, when open must withstand a 1.2/50 μ s impulse, having a peak value of 5, 8 or 10 kV .

AC motors starting and protection systems

Courtesy of Schneider Electric

1 In any event, motors always require two protections:

- protection against short circuits,
- protection against overload (overheating).

Protection against short circuits

5 Overview

A short circuit is a direct contact between two points of different electric potential:

- alternating current: phase-to-phase contact, phase-to-neutral contact, phase-to-ground contact or contact between windings in a phase,
- direct current: contact between two poles or between the ground and the pole insulated from it.

10

This can have a number of causes: damage to the varnish insulating the conductors, loose, broken or stripped wires or cables, metal foreign bodies, conducting deposits (dust, moisture, etc.), seepage of water or other conducting fluids, wrong wiring in assembly or maintenance.

A short circuit results in a sudden surge of current which can reach several hundred times the working current within milliseconds. A short circuit can have devastating effects and severely damage equipment. It is typified by two phenomena.

15

A thermal phenomenon

A thermal phenomenon corresponding to the energy released into the electrical circuit crossed by the short circuit current I for at time t . This thermal effect can cause:

- melting of the conductor contacts,
- destruction of the thermal elements in a bimetal relay,
- generation of electrical arcs,
- fire in the equipment.

20

An electrodynamic phenomenon

An electrodynamic phenomenon between conductors producing intensive mechanical stress as the current crosses and causing:

- distortion of conductors forming the motor windings,
- breakage of the conductors' insulating supports,
- repulsion of the contacts (inside the contactors) likely to melt and weld them.

25

- 30 These results are dangerous to property and people. It is therefore imperative to guard against short circuits with protection devices that can detect faults and interrupt the short circuit rapidly, before the current reaches its maximum value.

Definitions and characteristics

The main characteristics of short-circuit protection devices are:

- 35 – breaking capacity: the highest value in the estimated short-circuit current that a protection device can break at a given voltage,
 – closing capacity: the highest value a protection device can reach at its rated voltage in specified conditions. The closing value is k times the break capacity.

Magnetic circuit breakers

- 40 These circuit breakers protect plant from short circuits within the limits of their breaking capacity and by means of magnetic triggers (one per phase).

Magnetic circuit breaking is all-pole from the outset: one magnetic trigger will simultaneously open all the poles.

For low short-circuit currents, circuit breakers work faster than fuses.

- 45 This protection complies with the IEC 60947-2 standard.

To break a short-circuit current properly, there are three imperatives:

- early detection of the faulty current,
- rapid separation of the contacts,
- breakage of the short-circuit current.

50 Protection against overload

Overview

Overload is the commonest fault in motors. It is revealed by an increase in the current absorbed by the motor and by thermal effects. The insulation category sets normal motor heating at an ambient temperature of 40°C . Any overshoot of this operating limit leads to a

- 55 reduction in lifetime by premature ageing of the insulating material.

It should however be noted that overloads leading to overheating will not have any immediately detrimental effects if they are short and infrequent. They do not necessarily involve stopping the motor but it is important to restore normal conditions very quickly.

The importance of proper protection against overload is easy to understand:

- 60 – it preserves the lifetime of motors by preventing them from working in overheating conditions.

- it ensures operating continuity by:
 - preventing motors from stopping abruptly
 - after tripping, enabling restart in the best conditions of safety for people and equipment.

65 Depending on the level of protection required, overload protection can be provided by relays:

- overload, thermal (bimetal) or electronic relays, which provide minimum protection against;
 - overload, by controlling the current absorbed on each phase,
 - unbalanced or missing phase, by a differential device,

70 – positive temperature coefficient (PTC) thermistor probe relays,
– overtorque relays,
– multifunction relays.

מקום למחברות נבחן

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון בתורת החשמל לכיתה י"ג

(8 עמודים)

(הגדלים בנוסחאון מופיעים ביחידות SI)

1. זרם ישר

התנגדות ומוליכות

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

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

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

זרם חשמלי

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

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

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

אנרגיה בזרם ישר

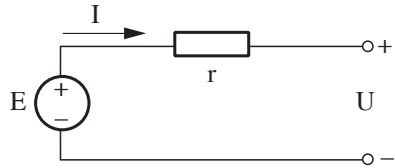
אנרגיה - W [J או $\text{W} \cdot \text{sec}$]זמן - t [sec]הספק - P [W]

$$W = P \cdot t$$

כא"מ של מקור מתח

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

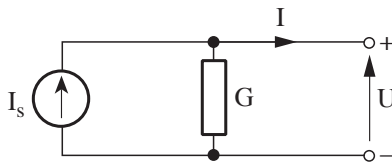
הכא"מ	-	E	[V]
מתח ההדקים	-	U	[V]
התנגדות פנימית	-	r	[Ω]
זרם	-	I	[A]



מקור זרם

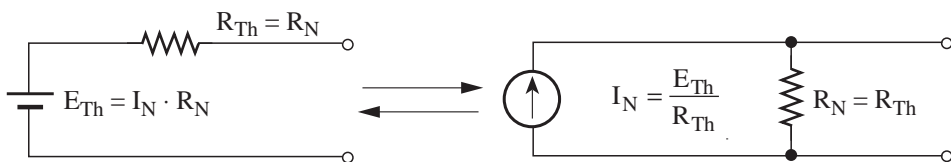
$$I_s = I + G \cdot U$$

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



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

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

3. מגנטיות ואלקטרומגנטיות

כוח מגנטו-מניע

F_m [AT]	-	כוח מגנטו-מניע
N	-	מספר כריכות
I [A]	-	זרם
H [AT/m]	-	עוצמת השדה המגנטי
		במעגל מגנטי
ℓ [m]	-	אורך המסלול המגנטי

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

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

חוק אמפר

H [A / m]	-	עוצמת השדה המגנטי
r [m]	-	במרחק r ממוליך
B [$\frac{Wb}{m^2}$]	-	שדה מגנטי (השראה מגנטית)
		של מוליך נושא זרם I
		במרחק r מהמוליך

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

$$B = \mu H$$

חדירות (חלחלות)	-	μ	$\left[\frac{H}{m} \right]$	$\mu = \mu_o \cdot \mu_r$
חדירות (חלחלות) יחסית	-	μ_r		
חדירות (חלחלות) האוויר	-	μ_o	$\left[\frac{H}{m} \right]$	$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$
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	$\left[\frac{AT}{Wb} \right]$	$\Phi = \frac{NI}{R_m}$
שדה מגנטי (השראה מגנטית)	-	B	$\left[\frac{Wb}{m^2} \right]$	
במרכז סליל ארוך שאורכו ℓ				
שטח חתך	-	A	[m ²]	

כוח המופעל על מוליך נושא זרם/מטען נע

מהירות קווית	-	v	[m / sec]	$F = B \cdot q \cdot v \cdot \sin \alpha$
מטען	-	q	[C]	
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		
השראות עצמית של הסליל	-	L	[H]	$L = N \frac{d\Phi}{dI}$
השראות הדדית	-	M^*	[H]	
מקדם הצימוד	-	k		$E = -L \frac{dI}{dt}$
האנרגיה האגורה בסליל	-	W	[W · sec או J]	$L = \frac{N^2}{R_m}$
				$M^* = k \sqrt{L_1 L_2}$
				$W = \frac{1}{2} LI^2$
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]	

זרם חילופין סינוסואידלי

.4

ערך רגעי של הזרם	-	$i(t)$	[A]	$i(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$
ערך מרבי של הזרם - תנופת הזרם	-	$I_{\max}$	[A]	
זווית מופע	-	α	[rad]	$u(t) = U_{\max} \sin(\omega t + \alpha)$
זמן	-	t	[sec]	
ערך רגעי של המתח	-	$u(t)$	[V]	
ערך מרבי של המתח - תנופת המתח	-	$U_{\max}$	[V]	$I_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{\max}$
ערך יעיל של הזרם	-	I_{eff}	[A]	
ערך יעיל של המתח	-	U_{eff}	[V]	$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{\max}$
זמן המחזור	-	T	[sec]	$\omega = 2\pi f$ $T = \frac{1}{f}$
תדירות זוויתית	-	ω	[rad / sec]	
תדירות	-	f	[Hz , cycles / sec]	$X_L = \omega L$ $X_C = \frac{1}{\omega C}$
היגב השראותי	-	X_L	[Ω]	
היגב קיבולי	-	X_C	[Ω]	

הספקים

.5

הספק פעיל	-	P	[W]	$\text{tg} \varphi = \frac{Q}{P}$ $P = S \cos \varphi$
הספק מדומה	-	S	[VA]	
הספק היגבי	-	Q	[VAr]	$S = P \pm jQ$ $Q = S \sin \varphi$
זווית מופע	-	φ	[° , rad]	
קיבול	-	C	[F]	שיפור מקדם ההספק
זווית מופע אחרי השיפור	-	φ_2	[° , rad]	$C = \frac{P}{\omega U^2} (\text{tg} \varphi_1 - \text{tg} \varphi_2)$
זווית מופע לפני השיפור	-	φ_1	[° , rad]	

6. רשתות תלת-מופעיות

בוכב סימטרי

$$I_L = I_{ph}$$

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

$$\begin{aligned} \text{זרם קווי} & - I_L \quad [A] \\ \text{זרם מופעי} & - I_{ph} \quad [A] \\ \text{מתח שלוב (קווי)} & - U_L \quad [V] \\ \text{מתח מופעי} & - U_{ph} \quad [V] \end{aligned}$$

משולש סימטרי

$$U_L = U_{ph}$$

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

הספק תלת מופעי

$$\begin{aligned} \text{הספק מדומה תלת-מופעי} & - S \quad [VA] \\ \text{הספק פעיל תלת-מופעי} & - P \quad [W] \\ \text{הספק היגבי תלת-מופעי} & - Q \quad [VAr] \end{aligned}$$

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

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

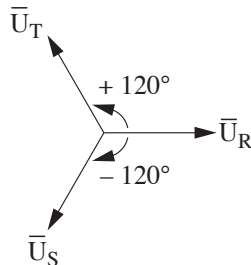
$$Q = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \sin \varphi$$

ייצוג מתחים מופעיים במישור המרוכב של רשת תלת-מופעית סימטרית

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

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

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



7. המרה כוכב-משולש

.7

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

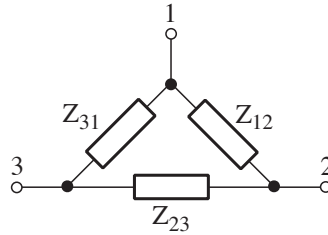
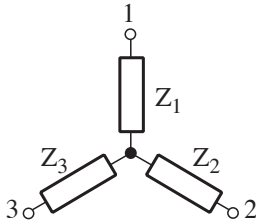
$$Z_{12} = \frac{Z_1 \cdot Z_2 + Z_2 \cdot Z_3 + Z_3 \cdot Z_1}{Z_3}$$

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

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

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

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



8. תופעות מעבר

.8

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]

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

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

בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

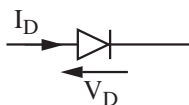
מקום למחברות נבחן

נוסחאון באלקטרוניקה א' לכיתה י"ג

(9 עמודים)

דיודת צומת

סימול:



א. דיודה אידיאלית

ממתח קדמי - $V_D = 0$ (קֶצֶר)

ממתח אחורני - $I_D = 0$ (נִתְק)

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
מתח מוצא	-	V_o [V]
מתח מבוא	-	V_i [V]
הגבר מתח בדציבלים	-	A_V [dB]

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

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

הגבר זרם	-	A_I
זרם מוצא	-	I_o [A]
זרם מבוא	-	I_i [A]
הגבר זרם בדציבלים	-	A_I [dB]

$$A_I = \frac{I_o}{I_i}$$

$$A_I = 20 \log \frac{I_o}{I_i}$$

הגבר הספק	-	A_P
הספק מוצא	-	P_o [W]
הספק מבוא	-	P_i [W]
נגד עומס	-	R_L [Ω]
התנגדות מבוא	-	R_i [Ω]

$$A_P = \frac{P_o}{P_i} = A_V \cdot A_I = A_I^2 \cdot \frac{R_L}{R_i} = A_V^2 \cdot \frac{R_i}{R_L}$$

הגבר הספק	-	A_P [dB]
הגבר כולל של N דרגות המחוברות בשרשרת (קסקדה)	-	A_{VT}

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

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

$$A_{VT}(\text{dB}) = A_{V1}(\text{dB}) + A_{V2}(\text{dB}) + A_{V3}(\text{dB}) + \dots + A_{VN}(\text{dB})$$

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] -

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

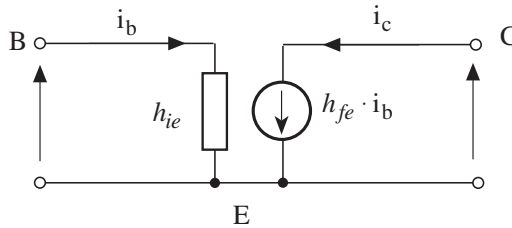
טרנזיסטור דו-נושאי (בתחום הפעיל)

- 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 RE	עם נגד RE
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] -

$$A_1 = \left. \frac{V_o}{V_1} \right|_{V_2 = 0}$$

$$A_2 = \left. \frac{V_o}{V_2} \right|_{V_1 = 0}$$

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] -

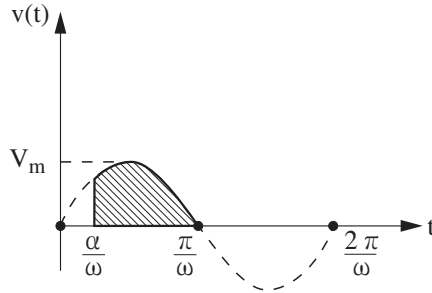
$$V_c = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$A_d = \left. \frac{V_o}{V_d} \right|_{V_c = 0} = \frac{V_o}{2V_i}$$

$$A_c = \left. \frac{V_o}{V_c} \right|_{V_c = 0} = \frac{V_o}{V_i}$$

מתחים וזרמים בגל סינוס עם זווית הולכה

א. בקרת חצי גל בעומס אומי



זווית הצתה α [rad]

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

מתח הגל בתלות בזמן $v(t)$ [V]

הערך הממוצע של המתח V_{AV} [V]

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

הערך היעיל של המתח על העומס $V_{RMS} = V_L$ [V]

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

הערך המרבי של המתח V_m [V]

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

מהירות זוויתית ω $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
(תדר זוויתי)

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

זמן t [sec]

התנגדות העומס R [Ω]

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

הספק על העומס P [W]

הערך הממוצע של הזרם I_{AV} [A]

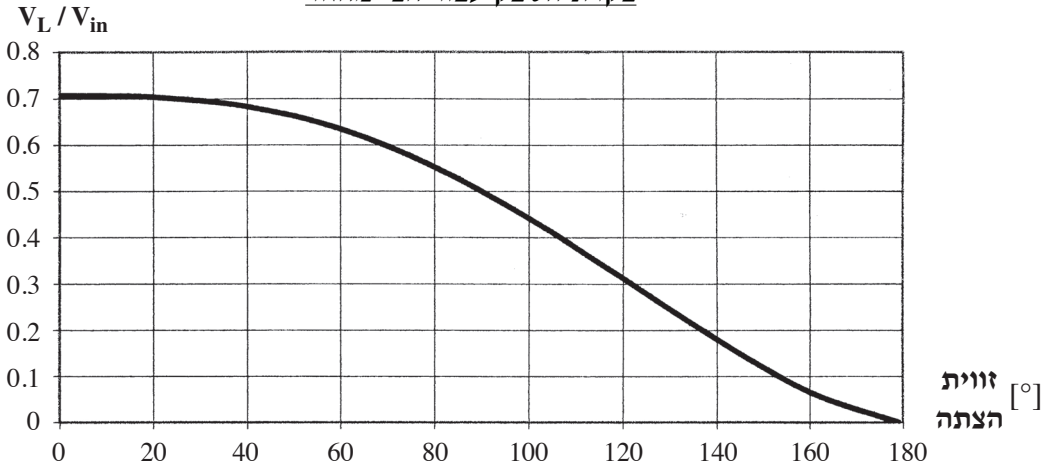
$$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$$

הערך היעיל של הזרם I_{RMS} [A]

הערך היעיל של מתח המבוא V_{in} [V]

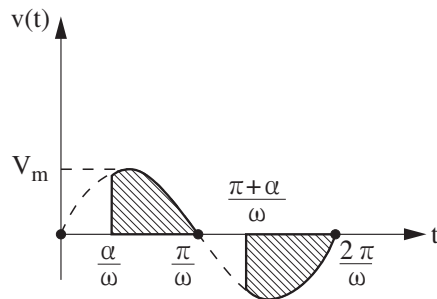
$$V_{in} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

בקרת הספק עבור חצי מחזור



בקרת גל שלם בעומס אומי

ב.



α [rad] - זווית הצתה

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

$v(t)$ [V] - מתח הגל בתלות בזמן

V_{AV} [V] - הערך הממוצע של המתח

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

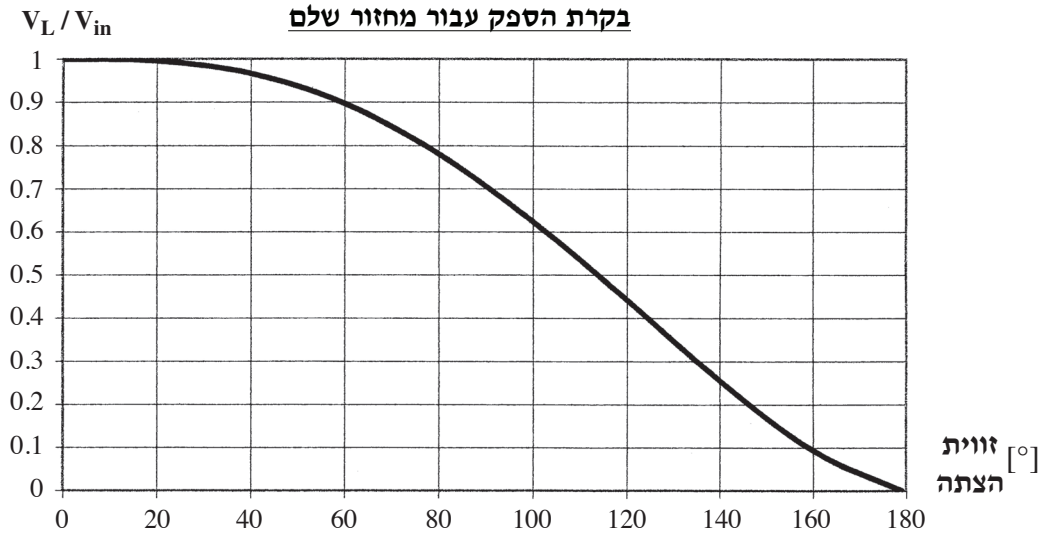
$V_{RMS} = V_L$ [V] - הערך היעיל של המתח על העומס

$$V_{AV} = 0$$

V_m [V] - הערך המרבי של המתח

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

ω - מהירות זוויתית (תדר זוויתי)	$\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$	$P = \frac{V_{\text{RMS}}^2}{R}$
t - זמן	$[\text{sec}]$	$I_{\text{AV}} = \frac{V_{\text{AV}}}{R}$
R - התנגדות העומס	$[\Omega]$	$I_{\text{RMS}} = \frac{V_{\text{RMS}}}{R}$
P - הספק על העומס	$[\text{W}]$	$V_{\text{in}} = \frac{V_{\text{m}}}{\sqrt{2}}$
I_{AV} - הערך הממוצע של הזרם	$[\text{A}]$	
I_{RMS} - הערך היעיל של הזרם	$[\text{A}]$	
V_{in} - הערך היעיל של מתח המבוא	$[\text{V}]$	



מיישרים

א. יישור חד-מופעי – חצי גל בעומס אומי

$$V_{AV} = \frac{V_m}{\pi}$$

הערך המרבי של המתח – V_m [V]

$$V_{RMS} = \frac{V_m}{2}$$

הערך הממוצע של המתח – V_{AV} [V]

הערך היעיל של המתח – V_{RMS} [V]

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

הערך הממוצע של הזרם – I_{AV} [A]

הערך היעיל של הזרם – I_{RMS} [A]

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

התנגדות העומס – R [Ω]

הספק על העומס – P [W]

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

ב. יישור חד-מופעי – גל שלם בעומס אומי

$$V_{AV} = \frac{2V_m}{\pi}$$

הערך המרבי של המתח – V_m [V]

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

הערך הממוצע של המתח – V_{AV} [V]

הערך היעיל של המתח – V_{RMS} [V]

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

הערך הממוצע של הזרם – I_{AV} [A]

הערך היעיל של הזרם – I_{RMS} [A]

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

התנגדות העומס – R [Ω]

הספק על העומס – P [W]

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

מתח אדווה במיישר חצי גל

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

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

מתח אדווה במיישר גל שלם

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

משוואת הדפקים היסודית

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

- 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] -

$$\tau = R \cdot C$$

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

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] -

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

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

בהצלחה!

נספח: מילון מונחים (2 עמודים)

לשאלון 733001, אביב תשע"ח

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
power control	Контроль мощности	التحكم في القدرة	בקרת הספק
strike pulses	Пульс зажигания	نبض الاشتعال	דופקי הצתה
phasor diagram	Векторно угловая диаграмма	مُخَطَّط المِطَوار	דיאגרמה פאזורית
imaginary power	Мнимая мощность	القدرة الوهمية	הספק מדומה
active power	Активная мощность	القدرة الفعّالة	הספק ממשי
reactive power	Общая мощность	القدرة الارتكاسيّة	הספק עיוור
strike angles	Угол зажигания	زاوية الاشتعال	זוויות הצתה
alternative current	Переменный ток	التيار المتردد	זרם חילופין
temperature sensor	Термо датчик	مُستشعر حرارة	חיישן טמפרטורה
permeability	Проницаемость	نفاذيّة	חלחלות
air gap	Воздушный зазор	فجوة الهواء	חריץ אוויר
quadratic core	Квадратный сердечник	قلب رباعي	ליבה ריבועית
operational amplifier	Операционный усилитель	مُضَخَّم تشغيلي	מגבר שרת
magnetic reluctance	Магнитное сопротивление	الممانعة المغناطيسية	מיאון מגנטי
magnetic circuit	Магнитная цепь	الدائرة المغناطيسية	מעגל מגנטי
discharge circuit	Цепь разрядки	دائرة التفريغ	מעגל פריקה
switch	Выключатель	مفتاح / مُبدّل	מפסק
saturation state	Состояние насыщения	حالة التشبع	מצב רוויה
power factor	Коэффициент мощности	معامل القدرة	מקדם הספק
current source	Источник тока	مصدر التيار	מקור זרם
transistor switch	Транзисторный ключ	مُبدّل ترانزستور	מתג טרנזיסטורי

תרגום המונח			המונח
אנגלית	רוסית	ערבית	
magnetic field strength	Сила магнитного поля	قوة المجال المغناطيسي	עוצמת השדה המגנטי
waveform	Форма волны	الشكل الموجي	צורת הגל
time constant	Временная постоянная	ثابت زمني	קבוע-זמן
magnetic flux	Магнитный поток	التدفق المغناطيسي	שטף מגנטי
superposition method	Метод наложения	طريقة التراكب	שיטת ההרכבה (סופרפוזיציה)