

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 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, מילוניות.
- ד. הוראות מיוחדות:
- ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר השאלות הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.
 - התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.
 - רשום את כל תשובותיך אך ורק בעט.
 - הקפד לנסח את תשובותיך כהלכה ולסרטט את תרשימיך בבהירות.
 - כתוב את תשובותיך בכתב-יד ברור, כדי לאפשר הערכה נאותה של תשובותיך.
 - אם לדעתך חסרים נתונים הדרושים לפתרון שאלה, אתה רשאי להוסיף אותם, בתנאי שתנמק מדוע הוספת אותם.
 - בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:
 - * רישום הנוסחה המתאימה.
 - * הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.
 - * חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).
 - * רישום התוצאה המתקבלת, ביחד עם יחידות המידה המתאימות.
 - * ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.
 - לנוחותך, לשאלון זה מצורף מילון מונחים בשפות עברית, ערבית, אנגלית ורוסית. תוכל להיעזר בו בעת הצורך.
- כתוב במחברת הבחינה בלבד, בעמודים נפרדים, כל מה שברצונך לכתוב כטייטה (ראשי פרקים, חישובים וכדומה).
רשום "טייטה" בראש כל עמוד טייטה. רישום טייטות כלשהן על דפים שמחוץ למחברת הבחינה עלול לגרום לפסילת הבחינה!

בשאלון זה 9 עמודים ו-22 עמודי נספחים.

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

בהצלחה!

המשך מעבר לדף

השאלות

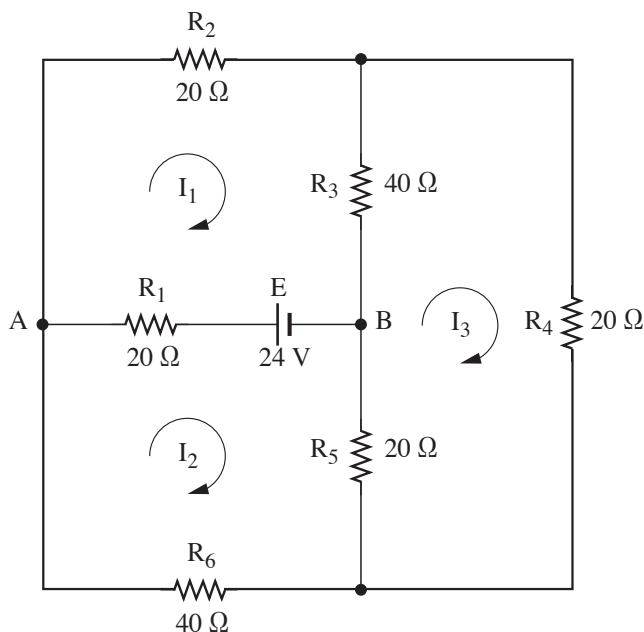
ענה על חמש מבין השאלות 1-10. עליך לענות על שתי שאלות לפחות מן הפרק הראשון, על שאלה אחת לפחות מן הפרק השני, ועל שאלה אחת מן הפרק השלישי.

פרק ראשון: תורת החשמל

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

שאלה 1

באיור לשאלה 1 נתון מעגל חשמלי לזרם ישר.



איור לשאלה 1

א. (12 נק')

1. כתוב את המשוואות של זרמי החוגים במעגל. (6 נק')

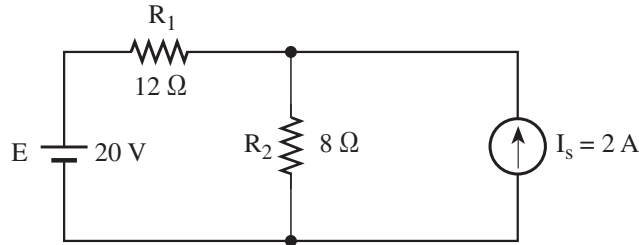
2. חשב את זרמי החוגים I_1 , I_2 ו- I_3 . (6 נק')

ב. (4 נק') חשב את הזרם העובר בנגד R_3 .

ג. (4 נק') חשב את המתח בין הנקודות A ו-B במעגל.

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון מעגל חשמלי לזרם ישר.



איור לשאלה 2

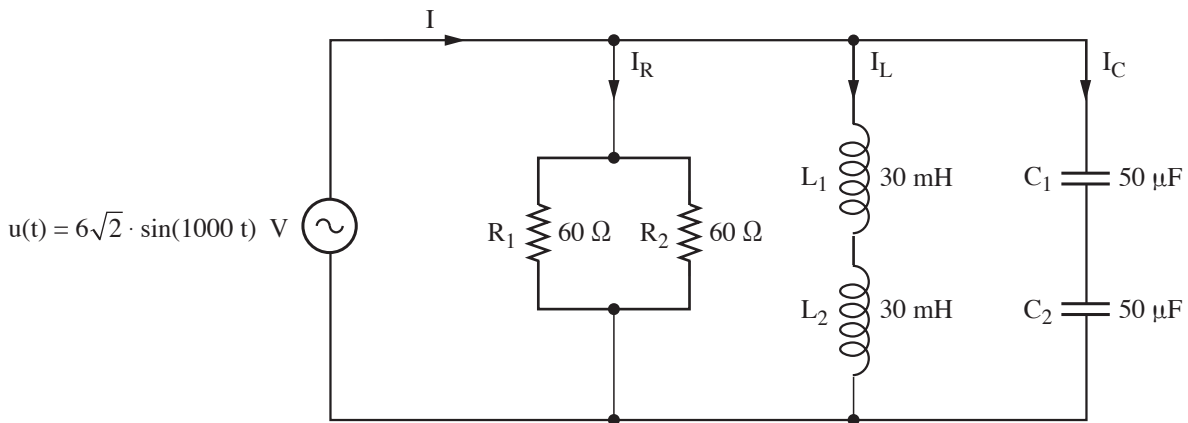
חשב את הזרם העובר בנגד R_2 באמצעות:

10 נק' א. שיטת ההרכבה (הסופרפוזיציה).

10 נק' ב. משפט תבנין או שיטת מתחי הצמתים.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי לזרם חילופין.



איור לשאלה 3

6 נק' א. חשב את ההתנגדות השקולה של הנגדים, את הקיבול השקול של הקבלים ואת ההשראות השקולה של הסלילים.

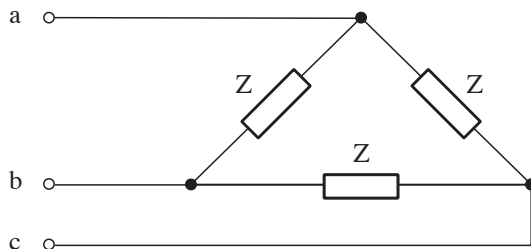
6 נק' ב. חשב את הזרמים I_R , I_L ו- I_C . כתוב את תשובותיך בהצגה מרוכבת.

4 נק' ג. חשב את הזרם I . כתוב את תשובתך בהצגה מרוכבת.

4 נק' ד. חשב את העכבה השקולה של המעגל.

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: $Z = (16 + j12) \Omega$.



איור לשאלה 4

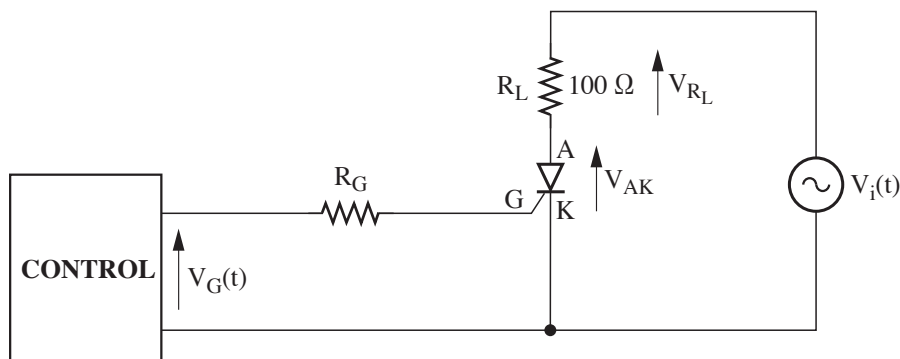
- א. (6 נק') חשב את הזרם המופעי בכל ענף של העומס ואת הזרם בכל אחד מקווי ההזנה.
- ב. (4 נק') חשב את מקדם ההספק של הרשת.
- ג. (8 נק') חשב את ההספק הממשי, את ההספק ההיגבי ואת ההספק המדומה של העומס, וסרטט את משולש ההספקים של העומס.
- ד. (2 נק') מחברים את עכבות העומס בחיבור כוכב. חשב את ההספק הממשי של העומס.

פרק שני: אלקטרוניקה א'

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

שאלה 5

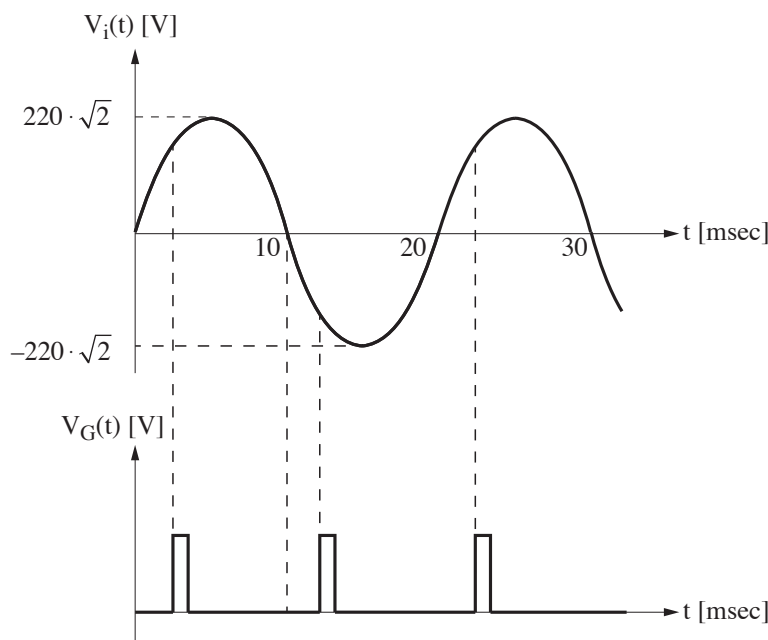
באיור א' לשאלה 5 נתון מעגל חשמלי המשמש לבקרת ההספק של נגד העומס R_L .
הבקרה מבוצעת באמצעות SCR.



איור א' לשאלה 5

מערכת הבקרה מספקת דופקי הצתה ל-SCR, בזווית של 45° ובזווית של 225° בכל מחזור (כלומר, זוויות ההצתה הן: $\alpha = 45^\circ + k \cdot 180^\circ$, $k = 0, 1, 2, 3 \dots$).

באיור ב' לשאלה מתוארות צורות הגלים של המתחים $V_i(t)$ ו- $V_G(t)$.



איור ב' לשאלה 5

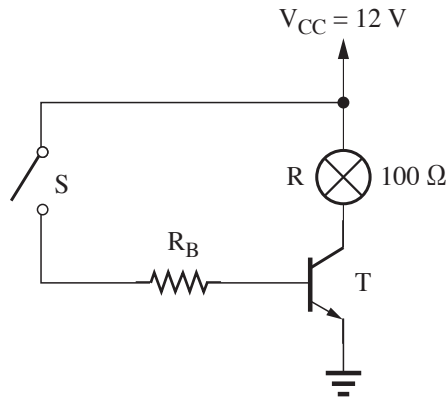
10 נק') א. העתק למחברתך את צורות הגלים שבאיור ב', וסרטט מתחת להן, בהתאמה, את צורות הגלים של המתחים V_{AK} ו- V_{RL} , כפונקצייה של הזמן.

5 נק') ב. חשב באמצעות נוסחה או מצא באמצעות הגרף המתאים את ההספק המתפתח על נגד העומס R_L .

5 נק') ג. מצא את זווית ההצתה הנדרשת לצורך קבלת הספק של 100 W בעומס.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתון מעגל חשמלי המשמש למיתוג נורה שהתנגדותה $R = 100 \Omega$.
הטרנזיסטור T במעגל משמש כמתג. נתונים: $V_{CE_{SAT}} = 0.5 V$, $V_{BE} = 0.8 V$, $\beta = 80$.



איור לשאלה 6

(8 נק') א. המפסק S פתוח.

(4 נק') 1. באיזה מצב נמצא הטרנזיסטור T?

(4 נק') 2. מהו הזרם העובר דרך הנורה במצב הזה?

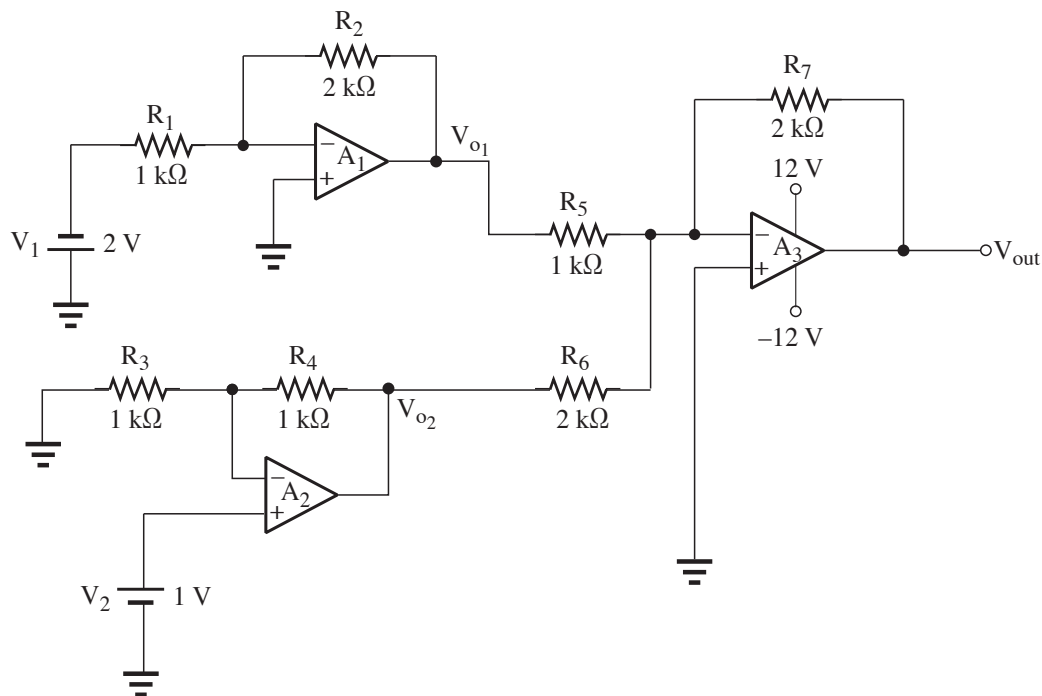
סוגרים את המפסק S, והטרנזיסטור נכנס למצב רוויה.

(6 נק') ב. חשב את הזרם העובר דרך הנורה.

(6 נק') ג. חשב את ערכו המרבי של נגד הבסיס R_B , שיבטיח את רוויית הטרנזיסטור.

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי. מגבריההשרת במעגל – אידיאליים.

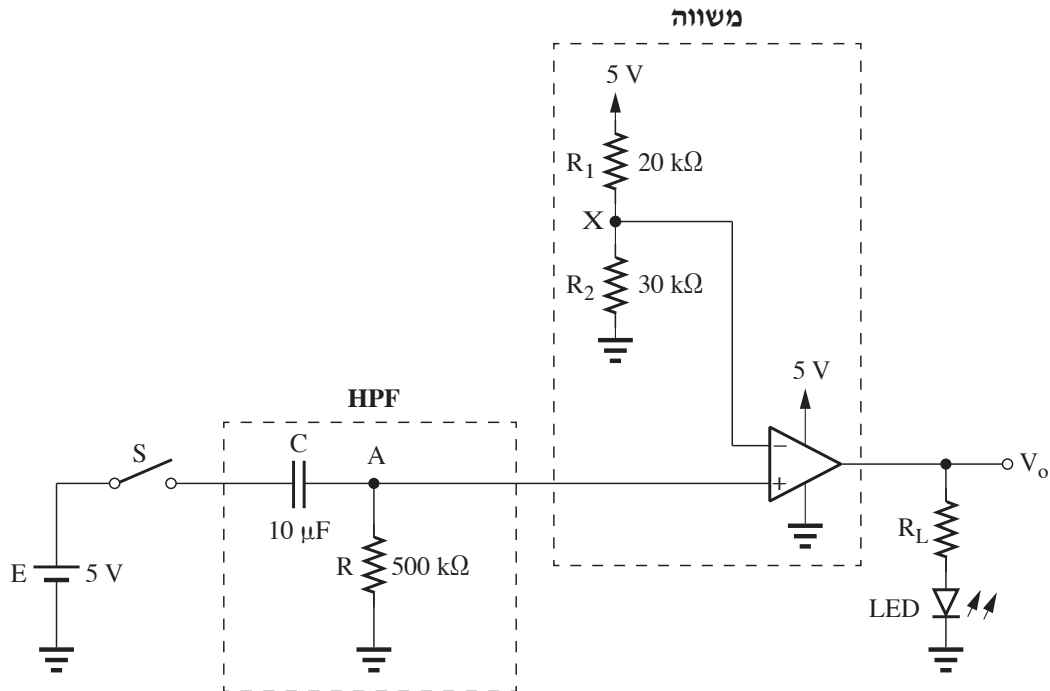


איור לשאלה 7

- א. (6 נק') ציין את תפקידו של כל אחד ממגבריההשרת במעגל.
- ב. (6 נק') חשב את המתחים V_{o1} , V_{o2} .
- ג. (6 נק') חשב את מתח המוצא V_{out} .
- ד. (2 נק') מה צריכים להיות הערך והקוטביות של מתח המקור V_1 , כדי שמתח המוצא V_{out} יהיה 0 V?
הערה: ערכו של המתח V_2 אינו משתנה.

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון מעגל חשמלי, הכולל מסנן מעביר גבוהים (HPF) ומשווה. מגבר־השרת שבמעגל – אידיאלי. נתוני נורית ה־LED הם: $V_{LED} = 1.5 \text{ V}$, $I_{LED} = 10 \text{ mA}$.



איור לשאלה 8

המתח על הקבל C הוא 0 V . ברגע $t = 0$ סוגרים את המפסק S .

- א. (6 נק') חשב את ההתנגדות של הנגד R_L , הנדרשת לצורך פעולה תקינה של נורית ה־LED .
- ב. (6 נק') חשב את המתח בנקודה X ואת מתח־המוצא (V_o) כאשר המפסק S פתוח.
- ג. (6 נק') סרטט, זה מתחת לזה בהתאמה, את המתח בנקודה A ואת מתח־המוצא (V_o) כפונקצייה של הזמן, החל מרגע סגירת המפסק.
- ד. (2 נק') כעבור כמה זמן מרגע סגירת המפסק תכבה נורית ה־LED ?

פרק שלישי: אנגלית טכנית

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

שאלה 9

בנספח לשאלה 9 מובא קטע של מאמר בשפה האנגלית, ששורותיו ממוספרות.

כתוב את תשובותיך לסעיפים א' – ד' בעברית, רק על-פי הכתוב במאמר. ציין את מספרי השורות בקטע, שעליהן התבססת בתשובתך לכל סעיף.

- (6 נק') א. ציין **שלוש** סיבות להגנה על אספקת החשמל (power protection) .
- (4 נק') ב. מהי מערכת אל-פסק?
- (4 נק') ג. מה תפקידה של יחידת המיתוג במערכת האל-פסק?
- (6 נק') ד. הסבר את ההבדל בין שתי מערכות האל-פסק המוצגות בעמוד השני במאמר.

שאלה 10

בנספח לשאלה 10 מובא קטע של מאמר בשפה האנגלית, ששורותיו ממוספרות.

כתוב את תשובותיך לסעיפים א' – ד' בעברית, רק על-פי הכתוב במאמר. ציין את מספרי השורות בקטע, שעליהן התבססת בתשובתך לכל סעיף.

- (6 נק') א. מה מגדיר קוד IP לפי הכתוב בשורות 1-9 ?
- (5 נק') ב. מה מייצגות שתי הספרות בקוד IP ?
- (5 נק') ג. על ציוד חשמלי הופיע הקוד: IP54D . הסבר את משמעותו.
- (4 נק') ד. מהי רמת ה-IP המומלצת לציוד חשמלי הממוקם במסדרונות, ומדוע?

בהצלחה!

POWER PROTECTION

Why is power protection important?

No company can afford to leave its IT (Information Technology) assets unprotected from power issues.

Here are a few of the reasons why:

- **Even short outages can be trouble.** Losing power for as little as a quarter second can trigger events that may keep IT equipment unavailable for anywhere from 15 minutes to many hours. And downtime is costly.
- **Utility power isn't clean.** By law, electrical power can vary widely enough to cause significant problems for IT equipment. According to current U.S. standards, for example, voltage can legally vary from 5.7 percent to 8.3 percent under absolute specifications.
- **Utility power isn't 100 percent reliable.** In the U.S., in fact, its only 99.9 percent reliable, which translates into a likely nine hours of utility outages every year.
- **Generators and surge suppressors aren't enough.** Generators can keep systems operational during an utility outage, but they take time to startup and provide no protection from power spikes and other electrical disturbances.

What is UPS?

Put simply, UPS (Uninterrupted Power Supply) is a device that:

1. Provides backup power when utility power fails, either long enough for critical equipment to shut down gracefully so that no data is lost, or long enough to keep required loads operational until a generator comes online.
2. Conditions incoming power so that all-too-common sags and surges don't damage sensitive electronic gear.

Basic structure

Figure 1 shows the basic structure of UPS, which consists of the following circuits and the battery :

1. Rectifier : Circuit which converts AC power to DC power
2. Inverter : Circuit which converts DC power to AC power
3. Bypass : Circuit which directly outputs AC power
4. Switch : Circuit which switches between inverter output and bypass output.

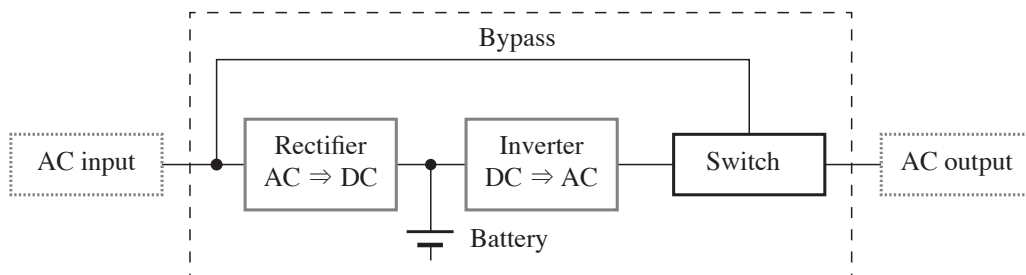


Fig 1: Basic structure of UPS

In the event of a power outage or failure occurring in the AC input, the UPS continues supplying power from the battery to the AC output.

Online UPS : A system of supplying power by converting AC input (utility power) to DC and reconvert it to stable AC by the inverter while constantly charging the battery.

30 Supplies power without momentary power breaks in the event of a power outage.

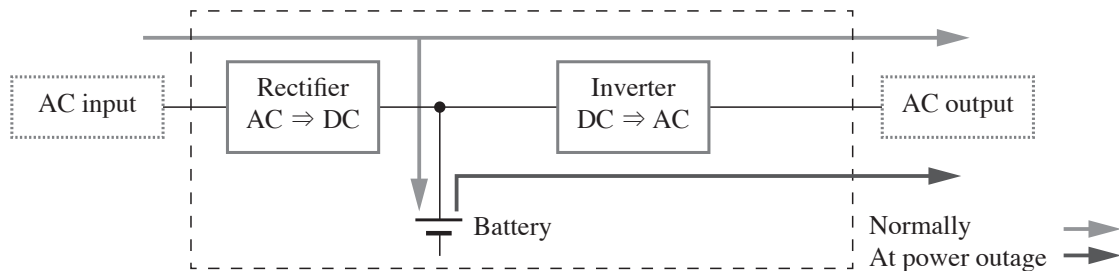


Fig 2: Online UPS

Standby UPS : A system where normally AC input (utility power) is output as is to connected devices, and when a power outage or abnormal voltage is detected, inverter starts feeding using power from the battery.

In the event of a power outage, a few milliseconds of momentary break occurs in AC output.

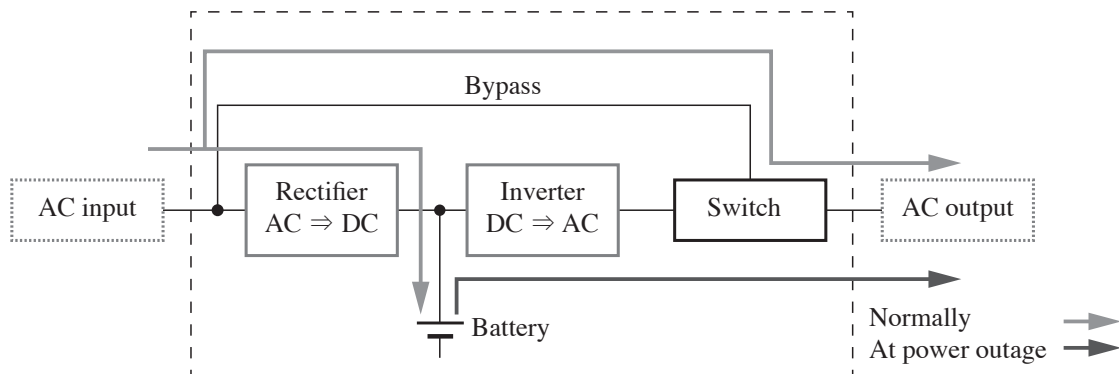


Fig 3: Standby UPS

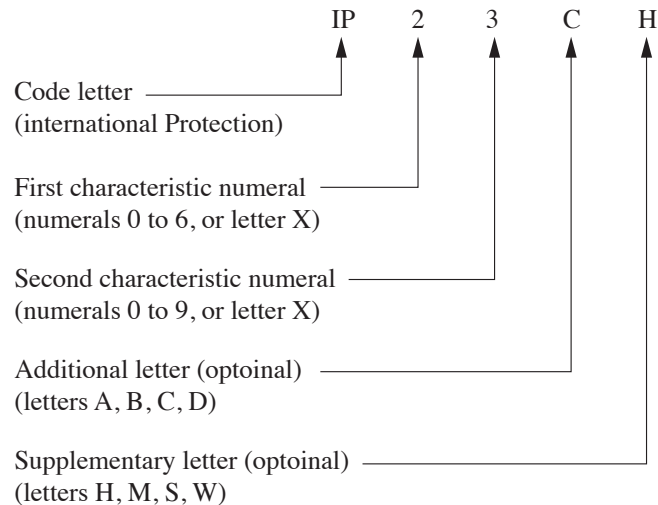
Protection provided for enclosed equipment: IP code

The degree of protection provided by an enclosure is indicated in the IP code, recommended in IEC 60529.

Protection is afforded against the following external influences:

- Penetration by solid bodies
- Protection of persons against access to live parts
- Protection against the ingress of dust
- Protection against the ingress of liquids

Note: the IP code applies to electrical equipment for voltages up to and including 72.5 kV.



Where a characteristic numeral is not required to be specified, it shall be replaced by the letter "X" ("XX" if both numerals are omitted). Additional letters and/or supplementary letters may be omitted without replacement.

Unless the rules, standards and regulations of a specific country stipulate otherwise, Schneider Electric recommends

the following IP values :

IP codes according to conditions		
Normal without risk of vertically falling water	Technical rooms	30
Normal with risk of vertically falling water	Hallways	31
Very severe with risk of splashing water from all directions	Workshops	54/55

A brief description of the IP Code elements is given in the following chart :

Element	Numerals or letters	Meaning for the protection of equipment	Meaning for the protection of persons
Code letters	IP		
First characteristic numeral	0 1 2 3 4 5 6	Against ingress of solid foreign objects (non-protected) ≥ 50 mm diameter ≥ 12.5 mm diameter ≥ 2.5 mm diameter ≥ 1.0 mm diameter Dust-protected Dust-tight	Against access to hazardous parts with : (non-protected) Back of hand Finger Tool Wire Wire Wire
Second characteristic numeral	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Against ingress of water with harmful effects (non-protected) Vertically dripping Dripping (15° tilted) Spraying Splashing Jetting Powerful jetting Temporary immersion Continuous immersion High pressure and temperature water jet	
Additional letter (optional)	A B C D		Against access to hazardous parts with : Back of hand Finger Tool Wire
Supplementary letter (optional)	H M S W	Supplementary information specific to : High-voltage apparatus Motion during water test Stationary during water test Weather conditions	

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

נוסחאון בתורת החשמל לכיתה י"ג

(8 עמודים)

(הגדלים בנוסחאון מופיעים 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

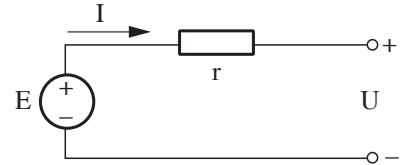
אנרגייה	-	W	[W · sec או J]
זמן	-	t	[sec]
הספק	-	P	[W]

$$W = P \cdot t$$

כא"מ של מקור מתח

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

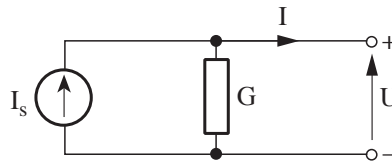
$$E = U + I \cdot r$$



מקור זרם

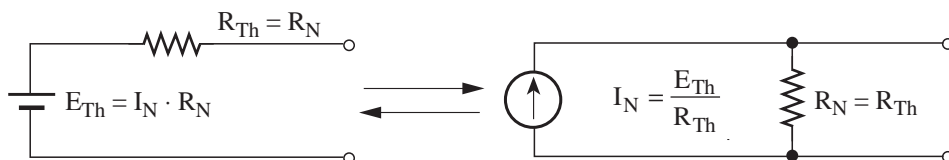
זרם המקור	-	I_s	[A]
מוליכות פנימית של מקור זרם	-	G	[S]

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



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

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

$$N - \text{מספר כריכות}$$

$$I \text{ [A]} - \text{זרם}$$

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

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

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

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

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

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

חוק אמפר

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

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

$$B = \mu H$$

חדירות (חלחלות)	-	μ	$\left[\frac{H}{m} \right]$	$\mu = \mu_o \cdot \mu_r$
חדירות (חלחלות) יחסית	-	μ_r		$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$
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

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

$$I_L = I_{ph}$$

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

משולש סימטרי

$$U_L = U_{ph}$$

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

הספק תלת-מופע

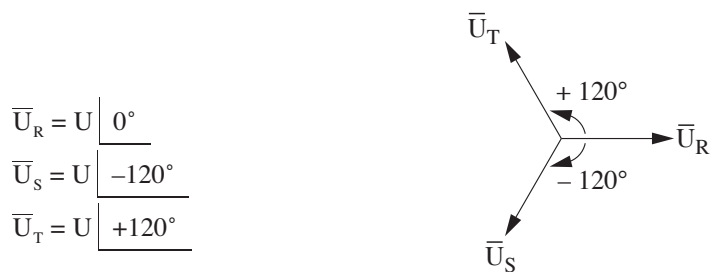
- S [VA] – הספק מדומה תלת-מופע
- P [W] – הספק פעיל תלת-מופע
- Q [VAr] – הספק היגבי תלת-מופע

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

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

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

ייצוג מתחים מופעיים במישור המרוכב של רשת תלת-מופעית סימטרית

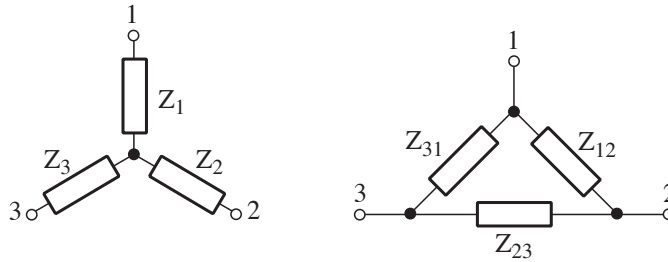


7. המרה כוכב-משולש

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

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

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



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]

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

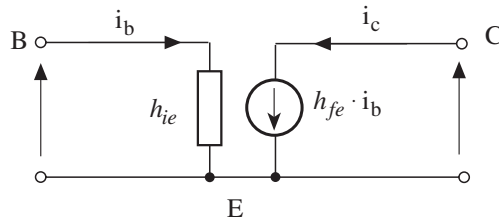
טרנזיסטור דו-נושאי (בתחום הפעיל)

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)

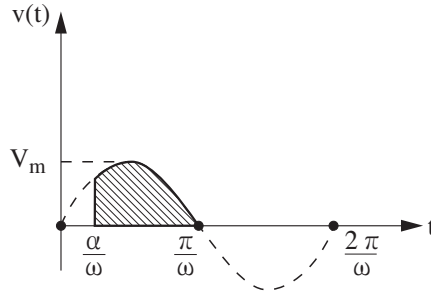
	ללא נגד R_E	עם נגד R_E
A_I	$-h_{fe}$	$-h_{fe}$
R_i	h_{ie}	$h_{ie} + (1 + h_{fe}) R_E$
A_V	$-\frac{h_{fe} \cdot R_L}{h_{ie}}$	$-\frac{h_{fe} \cdot R_L}{R_i}$
R_o	∞	∞
R_L	R_L	R_L

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



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

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

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

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

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

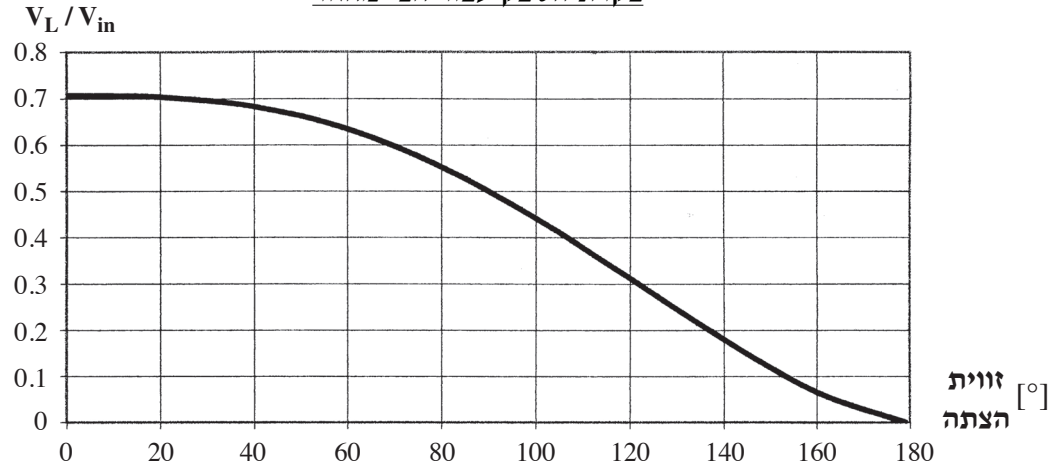
$$I_{AV} = \frac{V_{AV}}{R}$$

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

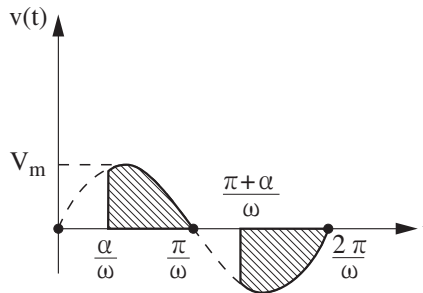
$$V_{in} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

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	$[\Omega]$
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]

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] –

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

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

$$V_{AV} = 0$$

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

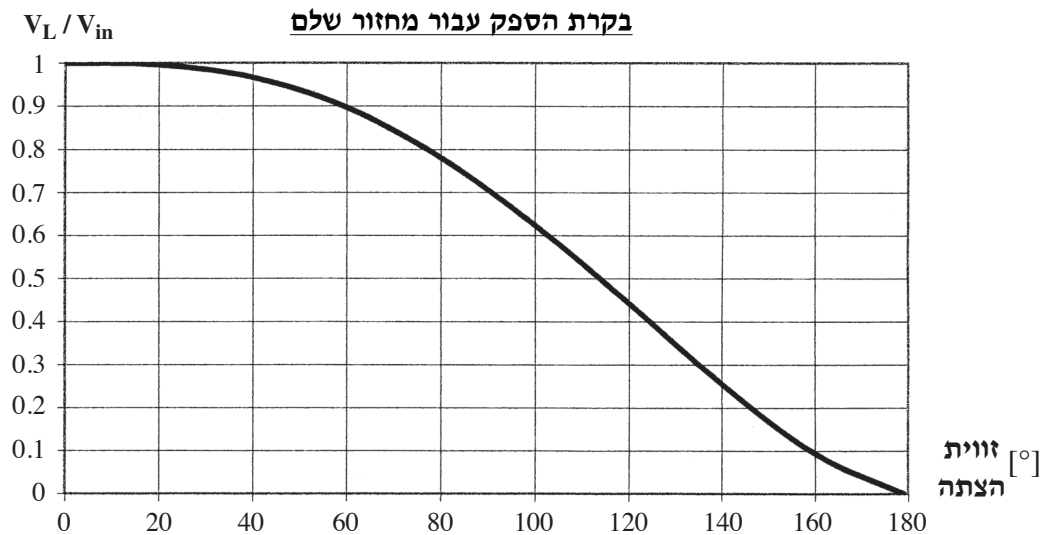
מהירות זוויתית (תדר זוויתי)	-	ω	$\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$
זמן	-	t	[sec]
התנגדות העומס	-	R	$[\Omega]$
הספק על העומס	-	P	[W]
הערך הממוצע של הזרם	-	I_{AV}	[A]
הערך היעיל של הזרם	-	I_{RMS}	[A]
הערך היעיל של מתח המבוא	-	V_{in}	[V]

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

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

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

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



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]

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

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

נספח: מילון מונחים
לשאלון 733001, אביב תש"ף

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)