

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשע"ג, 2013

סמל השאלון: 711001

נספחים: א. נספח לשאלה 9

ב. נספח לשאלה 10

ג. נוסחאון באלקטרוניקה

תקבילית א' לכיתה י"ג

ד. נוסחאון במבוא להנדסת חשמל

לכיתה י"ג

תורת האלקטרוניקה והחשמל ט'

מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים

(כיתה י"ג)

הוראות לנבחן

א. משך הבחינה: ארבע שעות.

ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה: בשאלון זה שלושה פרקים, ובהם עשר שאלות.

יש להשיב על **חמש שאלות בלבד: שאלה אחת לפחות**

מכל אחד משני הפרקים הראשונים, **ושאלה אחת** מן הפרק השלישי. לכל שאלה – 20 נקודות. סך-הכול – 100 נקודות.

ג. חומר עזר מותר לשימוש: מחשבון.

ד. הוראות מיוחדות:

1. ענה על מספר השאלות הנדרש בשאלון. המעריך יקרא ויעריך את מספר השאלות

הנדרש בלבד, לפי סדר כתיבתן במחברתך, ולא יתייחס לתשובות נוספות.

2. התחל כל תשובה לשאלה חדשה בעמוד חדש.

3. רשום את כל תשובותיך **אך ורק בעט**.

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

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

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

7. בכתיבת פתרונות חישוביים, קבלת מֶרֶב הנקודות מותנית בהשלמת כל המהלכים שלהלן, בסדר שבו הם רשומים:

* רישום הנוסחה המתאימה.

* הצבה של כל הערכים ביחידות המתאימות.

* חישוב (אפשר באמצעות מחשבון).

* רישום התוצאה המתקבלת, יחד עם יחידות המידה המתאימות.

* ליווי הפתרון החישובי בהסבר קצר.

בשאלון זה 10 עמודים ו-26 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות הן לנבחנות והן לנבחנים.

השאלות

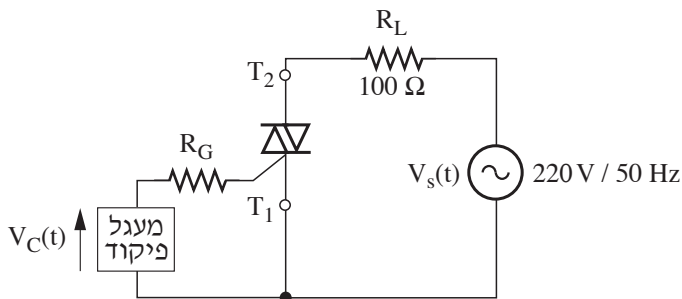
ענה על חמש מבין השאלות 1-10. עליך לענות על שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון, על שאלה אחת לפחות מן הפרק השני, ועל שאלה אחת מן הפרק השלישי.

פרק ראשון: אלקטרוניקה תקבילית א'

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

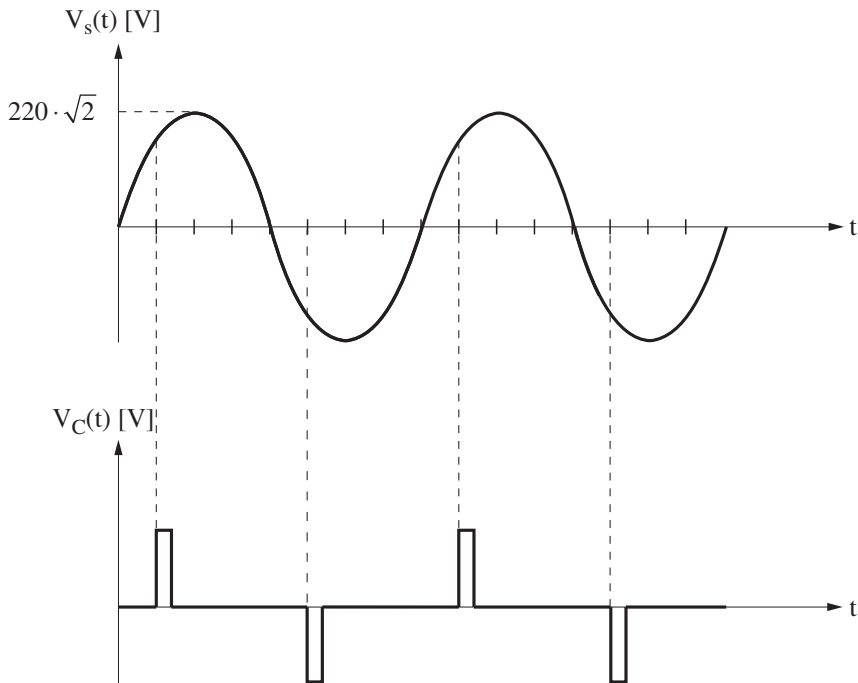
שאלה 1

באיור א' לשאלה 1 נתון מעגל חשמלי לבקרת ההספק על נגד העומס R_L . מעגל הפיקוד מספק ל-TRIAC אות דירבון $V_C(t)$.



איור א' לשאלה 1

באיור ב' לשאלה מתוארות צורות הגלים של המתחים $V_s(t)$ ו- $V_C(t)$, כפונקציה של הזמן.

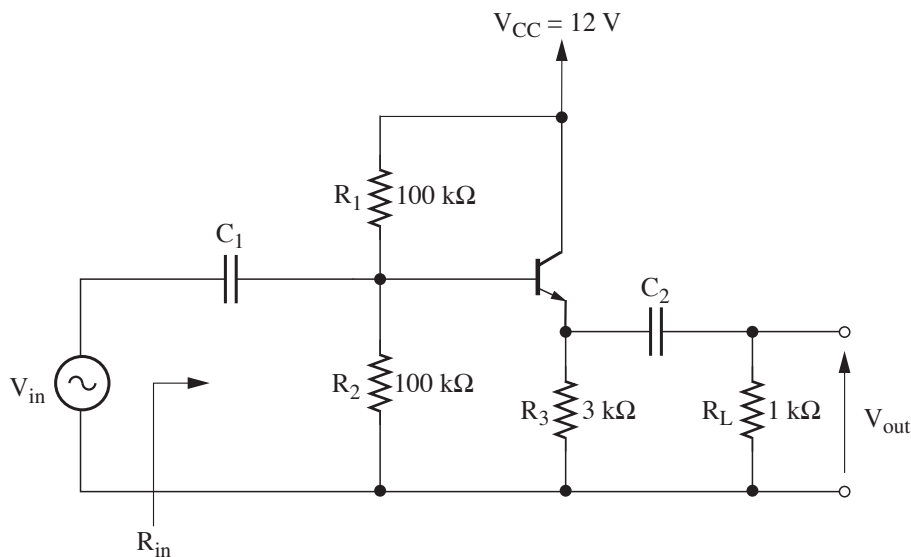


איור ב' לשאלה 1

- א. העתק למחברתך את צורות הגלים שבאיור ב', וסרטט מתחתיהן, בהתאמה, את צורות הגלים $V_{T_2T_1}(t)$ ו- $V_{R_L}(t)$ כפונקציה של הזמן, כאשר זווית ההצתה היא $\alpha = \frac{\pi}{4}$.
- ב. חשב את ההספק היעיל המועבר לעומס R_L , כאשר זווית ההצתה היא $\alpha = \frac{\pi}{4}$.
- ג. היעזר בגרף המתאים בנוסחאון (אלקטרוניקה תקבילית א'), ומצא את זווית ההצתה המאפשרת לקבל על נגד העומס R_L הספק $P_L = 98 \text{ W}$.

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון המעגל החשמלי של מגבר, המבוסס על טרנזיסטור דו־נושאי (BJT).
היגבי הקבלים במעגל – זניחים.



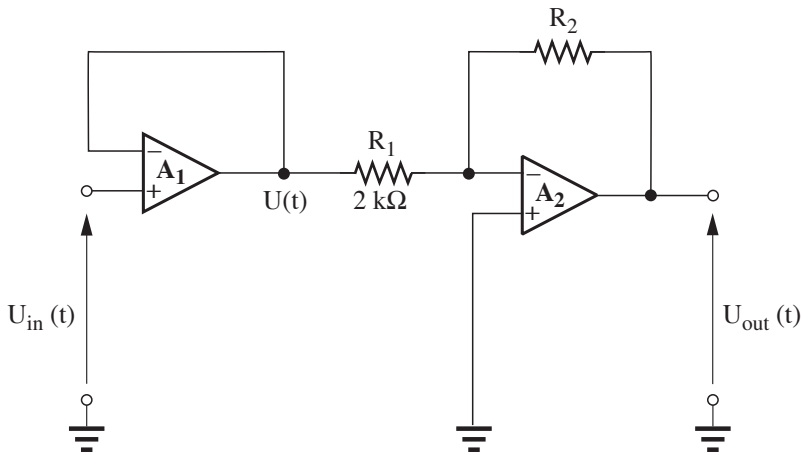
איור לשאלה 2

נתוני הטרנזיסטור הם: $h_{FE} = h_{fe} = 100$; $V_{BE} = 0.6 \text{ V}$; $h_{ie} = 2 \text{ k}\Omega$

- א. חשב את נקודת־העבודה של הטרנזיסטור בזרם ישר (DC).
- ב. סרטט תרשים תמורה מקורב של המעגל עבור מתח חילופין.
- ג. חשב את הגבר המתח של המעגל, $A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}}$.
- ד. חשב את התנגדות המבוא של המעגל, R_{in} .

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון מעגל חשמלי. מתח המבוא $U_{in}(t)$ הוא אות חילופין סינוסואידלי בעל תדר של 10 kHz ומשרעת (אמפליטודה) של 0.5 V. במוצא המעגל מתקבל אות מתח חילופין $U_{out}(t)$ שמשרעתו 6 V.

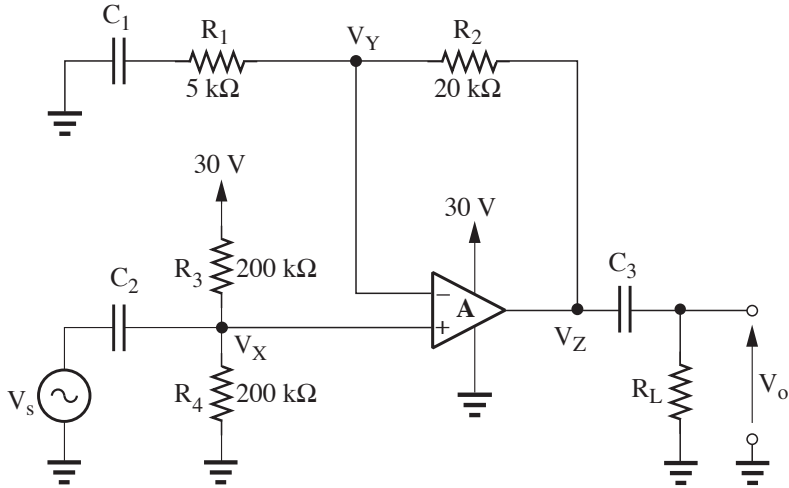


איור לשאלה 3

- א. סרטט, זה מתחת לזה בהתאמה, את האותות $U_{in}(t)$, $U(t)$ ו- $U_{out}(t)$. ציין בסרטוטך את ערכי המתחים והזמנים.
- ב. מה תפקידו של הרכיב A_1 , ומה תפקידו של הרכיב A_2 ?
- ג. חשב את הגבר המעגל $A = \frac{U_{out}}{U_{in}}$, ובטא אותו ביחידות dB $(A[dB] = 20 \cdot \log A)$.
- ד. חשב את התנגדותו של הנגד R_2 .

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתון מעגל חשמלי המבוסס על מגבר עוקב אידיאלי. היגבי הקבלים במעגל – זניחים.



איור לשאלה 4

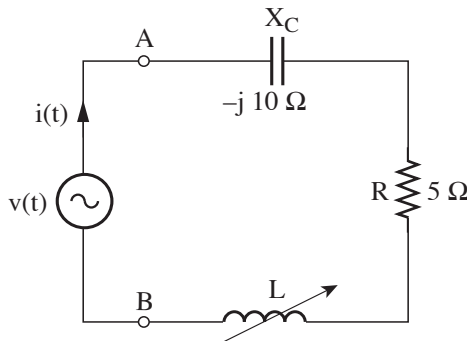
- א. מה יהיו ערכי המתחים V_X , V_Y , V_Z ו- V_O כאשר $V_s = 0$?
- ב. חשב את הגבר המעגל, $A_V = \frac{V_O}{V_s}$.
- ג. מספקים למבוא המעגל מתח חילופין $V_s(t) = 2 \cdot \sin(\omega t)$. סרטט, זה מתחת לזה בהתאמה, את צורות הגל של המתחים $V_s(t)$, $V_Z(t)$ ו- $V_O(t)$. ציין בסרטוטך את ערכי המתחים.
- ד. מקצרים את הנגד R_3 . מה יהיו ערכי המתחים V_Z ו- V_O ? נמק את תשובתך.

פרק שני: מבוא להנדסת חשמל

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

שאלה 5

באיור לשאלה 5 מתואר מעגל חשמלי.



איור לשאלה 5

$v(t)$ הוא אות חילופין סינוסואידלי שתדרו הזוויתי $1000 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$ ומשרעתו (האמפליטודה שלו) היא 10 V .

L הוא סליל שהשראותו לא קבועה, והיגבו משתנה בין 5 j ל- 15 j .

א. חשב את תחום השינוי של השראות הסליל ואת תחום השינוי של עכבת המעגל (העכבה הנמדדת בין הנקודות A ו-B).

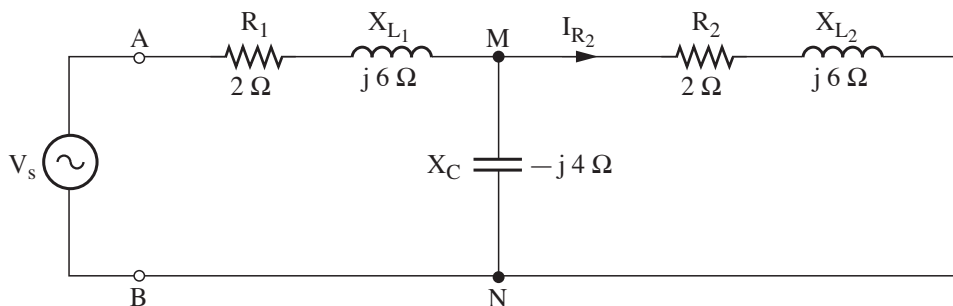
ב. 1. חשב את השראות הסליל L שעבורה הזרם $i(t)$ יהיה בעל עוצמה מרבית.

2. מהו ערכה של זווית המופע בין $v(t)$ ל- $i(t)$ במצב הזה?

ג. חשב את ההספק הפעיל של המעגל כאשר הזרם $i(t)$ בעל עוצמה מרבית.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 מתואר מעגל חשמלי. נתון שהמתח בין הנקודות M ו-N הוא $V_{MN} = 20 \angle 0^\circ \text{ V}$.

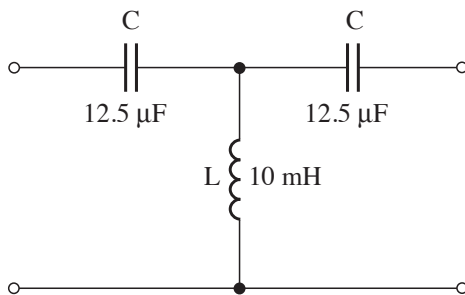


איור לשאלה 6

- א. חשב את הזרם I_{R2} .
 - ב. חשב את העכבה השקולה כלפי מקור המתח V_s (העכבה הנמדדת בין הנקודות A ו-B).
 - ג. קבע את אופי המעגל (קיבולי או השראותי). נמק את תשובתך.
 - ד. חשב את מתח המקור V_s .
- הערה: רשום את כל תוצאות חישוביך בהצגה מרוכבת.

שאלה 7

באיור לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי של מסנן מסוג K קבוע.

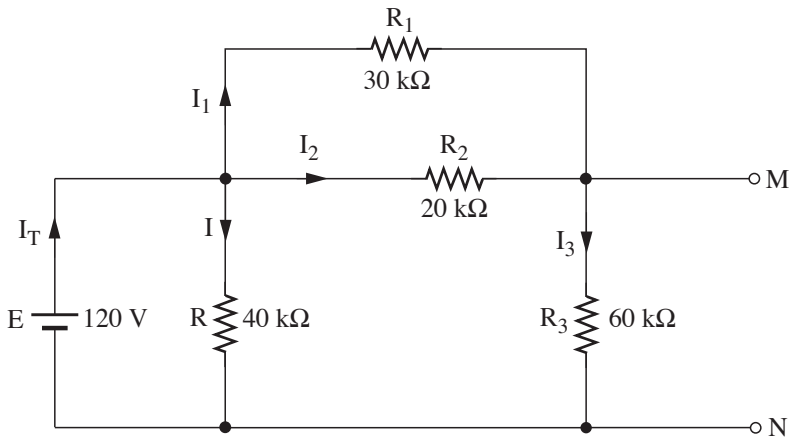


איור לשאלה 7

- א. ציין את סוג המסנן הזה (LP או HP).
- ב. חשב את תדר הפוגה ואת העכבה האופיינית של המסנן.
- ג. חשב את הניחות (ב־dB וב־Neper) בתדר זוויתי $\omega_1 = 1435 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$.
- ד. באיזה תדר זוויתי (ω_2) הפרש המופע יהיה -45° ?

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון מעגל חשמלי.



איור לשאלה 8

- א. חשב את הזרמים I , I_3 ו־ I_T .
- ב. סרטט את מעגל התמורה של תבנין עבור עומס המחובר בין הנקודות M ו־N.
- ג. מחברים בין הנקודות M ו־N מד־מתח לא אידיאלי שהתנגדותו $990 \text{ k}\Omega$. איזה מתח יראה מד־המתח?

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 העוסק בדיודות פולטות אור (LED). עליך לענות על הסעיפים שלהלן בעברית, רק על-פי הכתוב במאמר.
- ציין שני יתרונות לשימוש בדיודה פולטת אור כרכיב תצוגה.
 - מה קובע את הצבע של דיודה פולטת אור?
 - מפל המתח הקדמי האופייני על דיודה פולטת אור הוא 2.8 V בזרם של 20 mA. מהו צבע האור שהדיודה הזו פולטת, ומהו תחום אורכי-הגל של שיא הפליטה שלה?
 - איך מווסתים את עוצמת האור של דיודה פולטת אור?

שאלה 10

- בנספח לשאלה 10 מובא קטע של מאמר בשפה האנגלית העוסק בנושא האולטראסאונד. עליך לענות על הסעיפים שלהלן בעברית, רק על-פי הכתוב במאמר.
- מהו תחום התדרים שמשדרת מכונת האולטראסאונד לגוף האדם?
 - באיזה קבוע פיזיקלי נעזרת מכונת האולטראסאונד כדי לחשב את המרחק בין הגשוש הממיר (Transducer probe) לרקמה הנבדקת?
 - מדוע המאמר מדמה את הגשוש הממיר (Transducer probe) לפה ולאוזניים של מכונת האולטראסאונד?
 - ציין שתיים מהפעולות המבוצעות על-ידי ה-CPU במכונת האולטראסאונד.

בהצלחה!

זכות היוצרים שמורה למדינת ישראל.
אין להעתיק או לפרסם אלא ברשות משרד החינוך.

Using LEDs – It's Easy!

LIGHT EMITTING DIODES or 'LEDs' are now very widely used in almost every area of electronics, mainly as indicator and display devices.

They're very well suited for this kind of use, because they are physically quite rugged and hence much more reliable than filament-type incandescent lamps. They also run much cooler and are much more efficient, requiring far less electrical power input for the same amount of light output.

Other common uses for LEDs are as a source of either visible or infra-red light, transmitted as a carrier for data and other information over short 'line of sight' distances.

A LED is basically just a specialised type of P-N junction diode, made from a thin chip of fairly heavily doped semiconductor material. When it is forward biased to reduce the potential barrier provided by the junction's narrow depletion layer, electrons from the semiconductor's conduction band can combine with holes from the valence band, releasing sufficient energy to produce photons of light. Because the chip is thin a reasonable number of these photons can leave it and radiate away as its light output.

Unlike diodes made for detection and rectification, which are generally made from either germanium or silicon, LEDs are made from *compound* semiconductor materials such as gallium arsenide (GaAs), gallium phosphide (GaP), gallium arsenide-phosphide (GaAsP), silicon carbide (SiC) and gallium indium nitride (GaInN). The exact choice of semiconductor determines the wavelength of peak emission of photons — and hence the colour of the light emitted, in the case of visible light LEDs. It can also determine the electro-optical conversion efficiency, and hence the light output for a given amount of forward conduction current.

Another parameter determined by the compound semiconductor used in a LED is the forward voltage drop for a given forward conduction current.

Table 1 shows the peak emission wavelength for the most common types of LED, with the nominal colour indicated and also the typical forward voltage drop for a current level of 20mA.

Table 1: Typical LED characteristics				
Nominal Colour	Semiconductor material	Peak Emission wavelength	V _{FORWARD} @ 20mA	
			Typical	Range
Infra-red	GaAs	870-940nm	1.2V	1.1 - 1.6V
Red	GaAsP/GaP	650-700nm	2.0V	1.5 - 2.6V
Orange	GaAsP/GaP	620-650nm	2.0V	1.7 - 2.8V
Yellow	InGaAlP	580-620nm	2.4V	1.7 - 3.0V
Green	GaP	510-560nm	2.8V	1.7 - 4.0V
Blue	GaN/SiC	420-470nm	3.6V	3.2 - 4.3V
White	GaN/SiC	460-570nm	3.6V	3.2 - 4.3V

The construction of a typical LED is shown in Fig. 1 above. LEDs with leads like that shown are made in a variety of package shapes and sizes, of which the 3mm, 5mm and 10mm diameter 'bullet' type with a spherical front lens are the most common. Other much smaller packages are used for surface-mount LEDs.

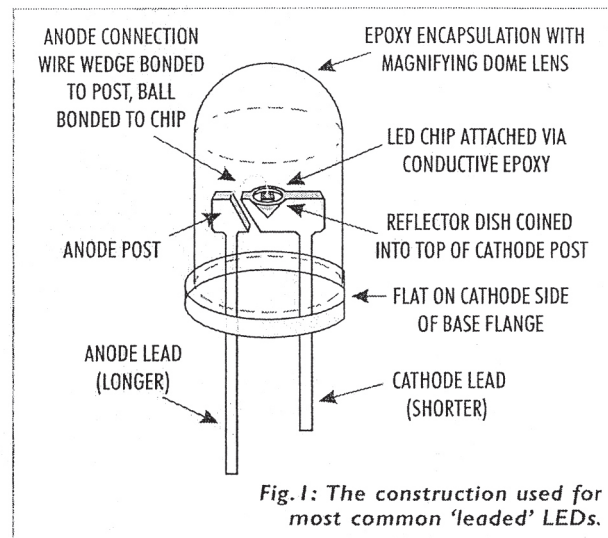
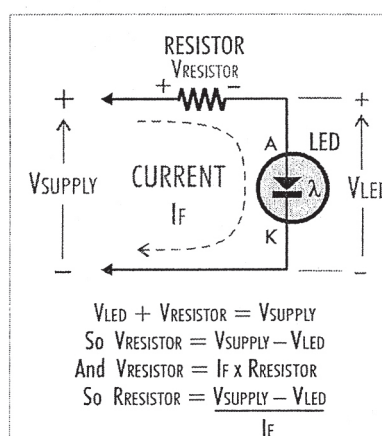


Fig. 1: The construction used for most common 'lead' LEDs.

How they're used

In most cases LEDs are operated from a low voltage DC supply, with a series resistor (Fig.2) to limit the forward current to a suitable value — from say 5-6mA for a simple pilot lamp or status indicator application to 20mA or more where more light output is needed. As you can see the series resistor value is easily worked out knowing the required operating current I_F , the supply voltage and the LED's forward voltage drop at this current level.

The LED's voltage drop V_{LED} can usually be estimated from the figures given in Table 1 for a current of 20mA, although the actual voltage drop will be a bit lower for much lower current levels. Note that the resistor value is not especially critical, so once you calculate the theoretical resistor value you can pick the nearest preferred value.



Where V_{LED} is found from LED data and I_F is chosen to give desired light output (brightness)

Fig. 2: In most cases LEDs are operated from DC, and a simple series resistor is used to set the forward current level. The value of the required resistor is easily calculated knowing the LED's forward voltage drop, the supply voltage and the current you want, as you can see.

How Ultrasound Works

Ultrasound or **ultrasonography** is a medical imaging technique that uses high frequency sound waves and their echoes. The technique is similar to the echolocation used by bats, whales and dolphins, as well as sonar used by submarines.

What is Ultrasound?

In ultrasound, the following events happen:

1. The ultrasound machine transmits high-frequency (1 to 5 megahertz) sound pulses into your body using a probe.
2. The sound waves travel into your body and hit a boundary between tissues (e.g. between fluid and soft tissue, soft tissue and bone).
3. Some of the sound waves get reflected back to the probe, while some travel on further until they reach another boundary and get reflected.
4. The reflected waves are picked up by the probe and relayed to the machine.
5. The machine calculates the distance from the probe to the tissue or organ boundaries using the speed of sound in tissue (5,005 ft/s or 1,540 m/s) and the time of the each echo's return (usually on the order of millionths of a second).
6. The machine displays the distances and intensities of the echoes on the screen, forming a two dimensional image.

In a typical ultrasound, millions of pulses and echoes are sent and received each second. The probe can be moved along the surface of the body and angled to obtain various views.

The Ultrasound Machine

A basic ultrasound machine has the following parts:

- **Transducer probe** - probe that sends and receives the sound waves
- **Central processing unit (CPU)** - computer that does all of the calculations and contains the electrical power supplies for itself and the transducer probe
- **Transducer pulse controls** - changes the amplitude, frequency and duration of the pulses emitted from the transducer probe
- **Display** - displays the image from the ultrasound data processed by the CPU
- **Keyboard/cursor** - inputs data and takes measurements from the display
- **Disk storage device** (hard, floppy, CD) - stores the acquired images
- **Printer** - prints the image from the displayed data

The transducer probe is the main part of the ultrasound machine. The transducer probe makes the sound waves and receives the echoes. It is, so to speak, the mouth and ears of the ultrasound machine. The transducer probe generates and receives sound waves using a principle called the **piezoelectric (pressure electricity) effect**.

In the probe, there are one or more quartz crystals called **piezoelectric crystals**.

When an electric current is applied to these crystals, they change shape rapidly.

The rapid shape changes, or vibrations, of the crystals produce sound waves that travel outward. Conversely, when sound or pressure waves hit the crystals, they emit electrical currents. Therefore, the same crystals can be used to send and receive sound waves.

The probe also has a sound absorbing substance to eliminate back reflections from the probe itself, and an acoustic lens to help focus the emitted sound waves.

In addition to probes that can be moved across the surface of the body, some probes are designed to be inserted through various openings of the body (vagina, rectum, esophagus) so that they can get closer to the organ being examined (uterus, prostate gland, stomach); getting closer to the organ can allow for more detailed views.

The CPU is the brain of the ultrasound machine. The CPU is basically a computer that contains the microprocessor, memory, amplifiers and power supplies for the microprocessor and transducer probe. The CPU sends electrical currents to the transducer probe to emit sound waves, and also receives the electrical pulses from the probes that were created from the returning echoes. The CPU does all of the calculations involved in processing the data. Once the raw data are processed, the CPU forms the image on the monitor. The CPU can also store the processed data and/or image on disk.

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום לנחשת נכתן

נוסחאון באלקטרוניקה תקבילית א' לכיתה י"ג (8 עמודים)

דיודת צומת

משוואת זרם-מתח של דיודה מעשית:

- זרם הדיודה - I_D [A]
- זרם זליגה אחורי - I_S [A]
- מתח הדיודה - V_D [V]
- מתח התלוי בטמפרטורה - V_T [V]

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1 \right)$$

$$\eta = \begin{cases} 1 - \text{גרמניום} \\ 2 - \text{סיליקון} \end{cases}$$

$$V_D = \eta V_T \ln \left(\frac{I_D}{I_S} + 1 \right)$$

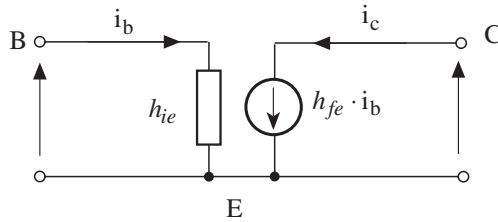
טרנזיסטור דו-נושאי (בתחום הפעיל)

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

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

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

תרשים תמורה מקורב מסוג h של טרנזיסטור דו-נושאי



טרנזיסטור FET (איזור הרוויה)

זרם האפיק - I_D [A]

זרם האפיק עבור $V_{gs} = 0$ - I_{DSS} [A]

המתח בין השער למקור - V_{gs} [V]

מתח צביטה - V_p [V]

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

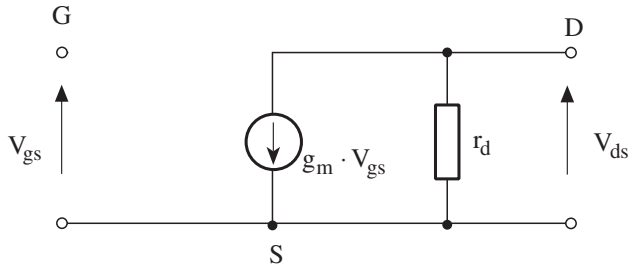
$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_p} \right)$$

מוליכות הדדית - $g_m \left[\frac{1}{\Omega} \right]$

מוליכות הדדית עבור $V_{gs} = 0$ - $g_{m0} \left[\frac{1}{\Omega} \right]$

$$g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|}$$

תרשים תמורה מקורב של FET



טרנזיסטור MOSFET (איזור הרוויה)

עבור טרנזיסטור מסוג N – CHANNEL :

מתח צביטה $- V_T$ [V]

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

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

תנאי הרוויה:

$$V_{GS} > V_T$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_T$$

הערה: מעגל התמורה לאות חילופין של טרנזיסטור MOSFET זהה לזה של טרנזיסטור JFET .

מתחים וזרמים בגל סינוס עם זווית הצתה

א. בקרת חצי גל בעומס אומי

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

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

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

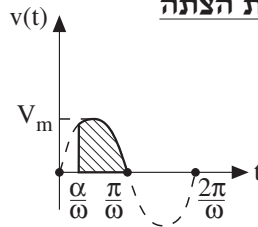
$$V_L = V_{RMS} = \frac{V_m}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

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

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

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

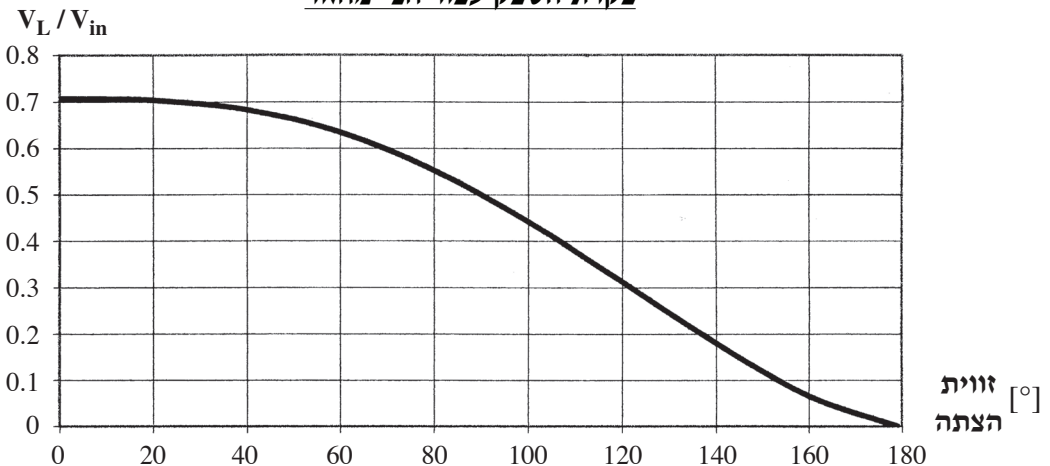
$$V_{in} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$



α [rad] - זווית הצתה

מתח הגל בתלות בזמן	-	$v(t)$ [V]
הערך הממוצע של המתח	-	V_{AV} [V]
הערך היעיל של המתח	-	V_{RMS} [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 המתח על העומס	-	V_L [V]
הערך היעיל של מתח הכניסה	-	V_{in} [V]

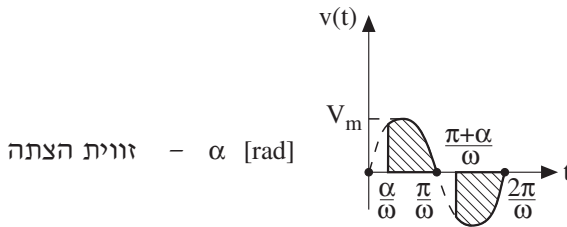
בקרת הספק עבור חצי מחזור



המשך בעמוד 5

ב. בקרת גל שלם בעומס אומי

ב.



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

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

$$V_{AV} = 0$$

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

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

$$I_{AV} = 0$$

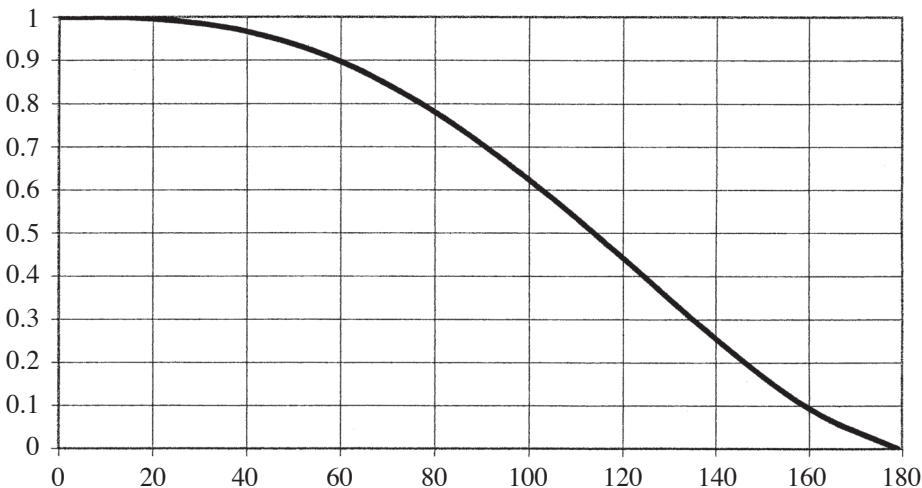
$$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$$

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

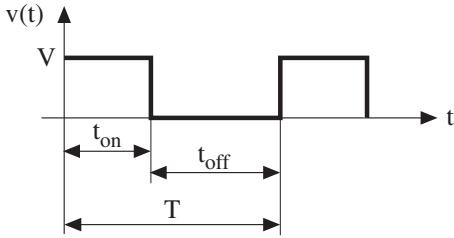
- $v(t)$ [V] - מתח הגל בתלות בזמן
- V_{AV} [V] - הערך הממוצע של המתח
- V_{RMS} [V] - הערך היעיל של המתח
- V_m [V] - הערך המרבי של המתח
- ω $\left[\frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]$ - מהירות זוויתית (תדר זוויתי)
- t [sec] - זמן
- R [Ω] - התנגדות העומס
- P [W] - הספק על העומס
- I_{AV} [A] - הערך הממוצע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

בקרת הספק עבור מחזור שלם

V_L / V_{in}



המשך בעמוד 6



- D – מחזור פעולה (Duty Cycle)
- t_{on} [sec] – זמן הולכה
- t_{off} [sec] – זמן פוגה
- T [sec] – זמן המחזור

מתחים וזרמים בגל מלבני

$$D = \frac{t_{on}}{T}$$

$$V_{AV} = D \cdot V$$

$$V_{RMS} = \sqrt{D} \cdot V$$

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

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

מיישרים

א. יישור חד-מופעי – חצי גל בעומס אומי

- V_{AV} [V] – הערך הממוצע של המתח
- V_m [V] – הערך המרבי של המתח
- V_{RMS} [V] – הערך היעיל של המתח
- I_{AV} [A] – הערך הממוצע של הזרם
- I_{RMS} [A] – הערך היעיל של הזרם
- R [Ω] – התנגדות העומס
- P [W] – הספק על העומס

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

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

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

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

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

ב. יישור חד-מופעי – גל שלם בעומס אומי

הערך הממוצע של המתח	-	V_{AV} [V]
הערך המרבי של המתח	-	V_m [V]
הערך היעיל של המתח	-	V_{RMS} [V]
הערך הממוצע של הזרם	-	I_{AV} [A]
הערך היעיל של הזרם	-	I_{RMS} [A]
התנגדות העומס	-	R [Ω]
הספק על העומס	-	P [W]

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

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

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

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

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

מתח אדווה במיישר חצי גל

מתח גליות (אדווה)	-	ΔV [V]
מתח מרבי במוצא	-	$V_{o_{max}}$ [V]
תדר מתח הכניסה	-	f [Hz]
התנגדות העומס	-	R [Ω]
קיבול קבל הסינון	-	C [F]

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

מתח אדווה במיישר גל שלם

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

מגברי הפרש

$$V_o = A_1 \cdot V_1 + A_2 \cdot V_2$$

מתח מבוא $- V_1$ [V]

$$A_1 = \frac{V_o}{V_1} \Big|_{V_2 = 0}$$

מתח מבוא $- V_2$ [V]

$$A_2 = \frac{V_o}{V_2} \Big|_{V_1 = 0}$$

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]

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

$$A_d = \frac{V_o}{V_d} \Big|_{V_c = 0} = \frac{V_o}{2V_i}$$

$$A_c = \frac{V_o}{V_c} \Big|_{V_d = 0} = \frac{V_o}{V_i}$$

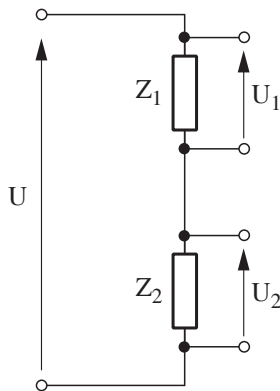
בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום לנכתוב תשובות

נוסחאון במבוא להנדסת חשמל לכיתה י"ג

(15 עמודים)

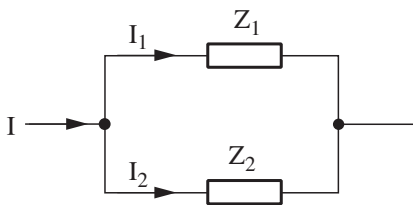


מחלק מתח

$$U_1 = \frac{U \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$U_2 = \frac{U \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

מחלק זרם



$$I_1 = \frac{I \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

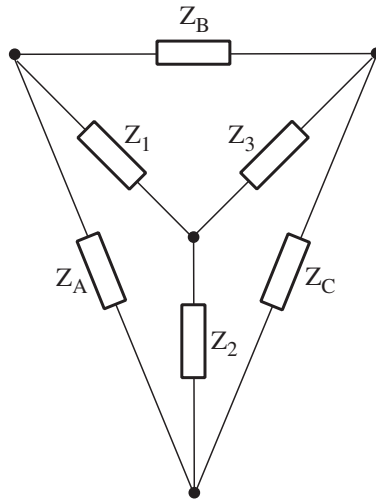
$$I_2 = \frac{I \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

ההמרה של כוכב במשולש

$Y \rightarrow \Delta$
$Z_A = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_3}$
$Z_B = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_2}$
$Z_C = \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}{Z_1}$

ההמרה של משולש בכוכב

$\Delta \rightarrow Y$
$Z_1 = \frac{Z_A Z_B}{Z_A + Z_B + Z_C}$
$Z_2 = \frac{Z_A Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$
$Z_3 = \frac{Z_B Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$



זרם חילופין סינוסואידלי

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

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

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

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

$$T = \frac{1}{f}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{-j}{\omega C}$$

$$X_L = j\omega L$$

$$M = k \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

$$X_M = j\omega M = j k \sqrt{|X_{L1}| \cdot |X_{L2}|}$$

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]

היגב השראותי - X_L [Ω]

היגב קיבולי - X_C [Ω]

השראות הדדית - M [H]

מקדם הצימוד ($0 \leq k \leq 1$) - k

השראות עצמית של סליל 1 - L_1 [H]

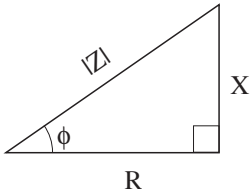
השראות עצמית של סליל 2 - L_2 [H]

היגב ההשראות ההדדית - X_M [Ω]

התנגדות המעגל	-	R	[Ω]
היגב המעגל	-	X	[Ω]
עכבת המעגל	-	Z	[Ω]

$$Z = R \pm jX$$

משולש העכבות



$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\sin \phi = \frac{X}{|Z|}$$

;

$$\cos \phi = \frac{R}{|Z|}$$

;

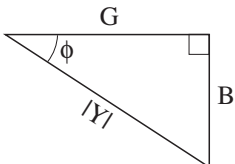
$$\tan \phi = \frac{X}{R}$$

מוליכות המעגל	-	G	[S]
מניחות המעגל	-	B	[S]
מתירות המעגל	-	Y	[S]

$$Y = G \pm jB$$

$$Y = \frac{1}{Z}$$

משולש המתירויות



$$|Y| = \sqrt{G^2 + B^2}$$

$$\sin \phi = \frac{B}{|Y|}$$

;

$$\cos \phi = \frac{G}{|Y|}$$

;

$$\tan \phi = \frac{B}{G}$$

הספקים בזרם חילופין

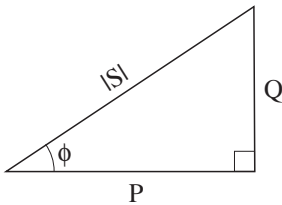
- P [W] – הספק פעיל
 $|I_R|$ [A] – הערך המוחלט של הזרם בנגד
 $|U_R|$ [V] – הערך המוחלט של המתח על הנגד
 Q [VAr] – הספק היגבי
 $|I_X|$ [A] – הערך המוחלט של זרם ההיגב
 $|U_X|$ [V] – הערך המוחלט של מתח ההיגב
 S [VA] – הספק מדומה
 $|I_Z|$ [A] – הערך המוחלט של זרם העכבה
 $|U_Z|$ [V] – הערך המוחלט של מתח העכבה
 I_Z^* [A] – הצמוד של זרם העכבה

$$P = |I_R| \cdot |U_R| = |I_R|^2 \cdot R = \frac{|U_R|^2}{R}$$

$$Q = |I_X| \cdot |U_X| = |I_X|^2 \cdot |X| = \frac{|U_X|^2}{|X|}$$

$$|S| = |I_Z| \cdot |U_Z| = |I_Z|^2 \cdot |Z| = \frac{|U_Z|^2}{|Z|}$$

$$S = P \pm jQ = U_Z \cdot I_Z^*$$



משולש ההספקים

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$Q = |S| \cdot \sin \phi$$

$$P = |S| \cdot \cos \phi$$

מעגל תהודה

טורי/מקבילי

תדירות התהודה	-	f_0	[Hz]
השראות	-	L	[H]
קיבול	-	C	[F]
גורם הטיב של המעגל בתהודה	-	Q_0	
רוחב הפס	-	BW	[Hz]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$BW = \frac{f_0}{Q_0}$$

גורם הטיב במעגל טורי

תדירות זוויתית בתהודה	-	ω_0	[rad / sec]
התנגדות	-	R	[Ω]

$$Q_0 = \frac{\omega_0 L}{R}$$

גורם הטיב במעגל מקבילי

$$Q_0 = \frac{R}{\omega_0 L}$$

מקדמים של רשת זוגיים

ABCD מקדמי

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

$$V_1 = A \cdot V_2 + B \cdot I_2$$

$$I_1 = C \cdot V_2 + D \cdot I_2$$

Z מקדמי

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

$$V_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_2$$

$$V_2 = Z_{21} \cdot I_1 + Z_{22} \cdot I_2$$

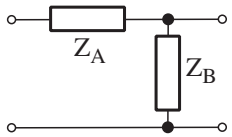
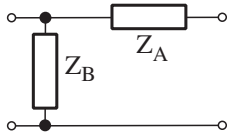
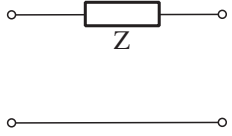
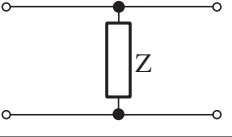
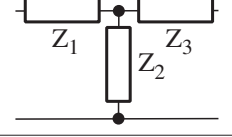
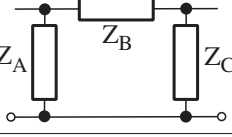
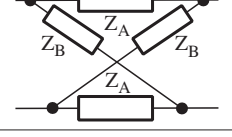
Y מקדמי

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

$$I_1 = Y_{11} \cdot V_1 + Y_{12} \cdot V_2$$

$$I_2 = Y_{21} \cdot V_1 + Y_{22} \cdot V_2$$

מקדמי ABCD של רשת זוגיים

	A	B	C	D
	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B}$	Z_A	$\frac{1}{Z_B}$	1
	1	Z_A	$\frac{1}{Z_B}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B}$
	1	Z	0	1
	1	0	$\frac{1}{Z}$	1
	$1 + \frac{Z_1}{Z_2}$	$\frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2} + Z_1 + Z_3$	$\frac{1}{Z_2}$	$1 + \frac{Z_3}{Z_2}$
	$1 + \frac{Z_B}{Z_C}$	Z_B	$\frac{Z_A + Z_B + Z_C}{Z_A \cdot Z_C}$	$1 + \frac{Z_B}{Z_A}$
	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$	$\frac{2 Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$	$\frac{2}{Z_B - Z_A}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_B - Z_A}$

הערה: זרם המבוא I_1 נכנס לרשת, וזרם המוצא I_2 יוצא מהרשת.

מקדמי Z ו- Y של רשת זוגיים

	Z			Y		
	Z_{11}	$Z_{12} = Z_{21}$	Z_{22}	Y_{11}	$Y_{12} = Y_{21}$	Y_{22}
	$Z_A + Z_B$	Z_B	Z_B	$\frac{1}{Z_A}$	$-\frac{1}{Z_A}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$
	Z_B	Z_B	$Z_A + Z_B$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$	$-\frac{1}{Z_A}$	$\frac{1}{Z_A}$
	∞	∞	∞	$\frac{1}{Z}$	$-\frac{1}{Z}$	$\frac{1}{Z}$
	Z	Z	Z	∞	∞	∞
	$Z_1 + Z_2$	Z_2	$Z_2 + Z_3$	$\frac{Z_2 + Z_3}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$	$\frac{-Z_2}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$	$\frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 Z_3 + Z_2(Z_1 + Z_3)}$
	$\frac{Z_A (Z_B + Z_C)}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_A \cdot Z_C}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_C (Z_A + Z_B)}{Z_A + Z_B + Z_C}$	$\frac{Z_A + Z_B}{Z_A \cdot Z_B}$	$-\frac{1}{Z_B}$	$\frac{Z_B + Z_C}{Z_B \cdot Z_C}$
	$\frac{Z_B + Z_A}{2}$	$\frac{Z_B - Z_A}{2}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$	$\frac{Z_A - Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$	$\frac{Z_A + Z_B}{2 Z_A \cdot Z_B}$

הערה: זרם המבוא I_1 וזרם המוצא I_2 נכנסים לרשת.

טבלה השוואתית של מקדמי זוגיים

	[Z]		[Y]		A B C D	
[Z]	Z_{11}	Z_{12}	$\frac{Y_{22}}{ Y }$	$\frac{-Y_{12}}{ Y }$	$\frac{A}{C}$	$\frac{AD - BC}{C}$
	Z_{21}	Z_{22}	$\frac{-Y_{21}}{ Y }$	$\frac{Y_{11}}{ Y }$	$\frac{1}{C}$	$\frac{D}{C}$
[Y]	$\frac{Z_{22}}{ Z }$	$\frac{-Z_{12}}{ Z }$	Y_{11}	Y_{12}	$\frac{D}{B}$	$\frac{-(AD - BC)}{B}$
	$\frac{-Z_{21}}{ Z }$	$\frac{Z_{11}}{ Z }$	Y_{21}	Y_{22}	$\frac{-1}{B}$	$\frac{A}{B}$
A	$\frac{Z_{11}}{Z_{21}}$	$\frac{ Z }{Z_{21}}$	$\frac{-Y_{22}}{Y_{21}}$	$\frac{-1}{Y_{21}}$	A	B
B						
C	$\frac{1}{Z_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{Z_{21}}$	$\frac{- Y }{Y_{21}}$	$\frac{-Y_{11}}{Y_{21}}$	C	D
D						

הערות

- א. עבור מקדמי ABCD – זרם המוצא I_2 יוצא מהרשת.
עבור מקדמי Y ו-Z – זרם המוצא I_2 נכנס לרשת.
- ב. $|Y|$, $|Z|$ הם דטרמיננטים של המטריצות [Z] ו-[Y], בהתאמה.

רשתות זוגיים

$$Z_O = \sqrt{Z_{SC} Z_{OC}}$$

עכבה אופיינית $- Z_O$ $[\Omega]$

עכבת המבוא כאשר
המוצא בקצר $- Z_{SC}$ $[\Omega]$

עכבת המבוא כאשר
המוצא בנתק $- Z_{OC}$ $[\Omega]$

מקדם זוגיים $- B$

מקדם זוגיים $- C$

(עבור רשת
סימטרית בלבד)

$$Z_O = \sqrt{\frac{B}{C}}$$

מהצד
האחד { עכבת הברואה $- Z_{O1}$ $[\Omega]$
עכבת המבוא כאשר
המוצא בקצר $- Z_{SC1}$ $[\Omega]$
עכבת המבוא כאשר
המוצא בנתק $- Z_{OC1}$ $[\Omega]$

מהצד
האחר { עכבת הברואה $- Z_{O2}$ $[\Omega]$
עכבת המבוא כאשר
המוצא בקצר $- Z_{SC2}$ $[\Omega]$
עכבת המבוא כאשר
המוצא בנתק $- Z_{OC2}$ $[\Omega]$

$$Z_{O1} = \sqrt{Z_{SC1} Z_{OC1}}$$

$$Z_{O2} = \sqrt{Z_{SC2} Z_{OC2}}$$

קבוע ההתפשטות $- \gamma$

קבוע הניחות $- \alpha$ [neper]

קבוע המופע, זווית המופע
בין הזרמים I_1 ו- I_2 $- \beta$ [rad]

ניחות $- N$

$$e^\gamma = e^{\alpha + j\beta} = e^\alpha \angle \beta$$

$$N = e^\alpha = \left| \frac{I_1}{I_2} \right|$$

$$N[\text{dB}] = 20 \log N$$

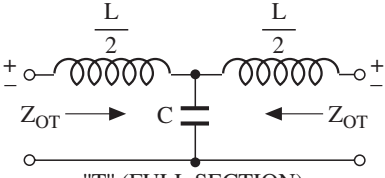
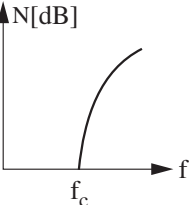
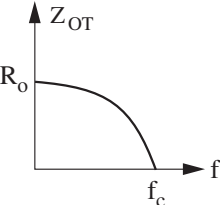
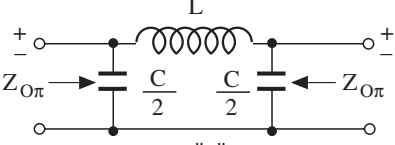
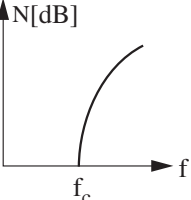
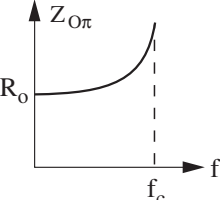
$$1 \text{ neper} = 8.69 \text{ dB}$$

מסננים מסוג K קבוע

התנגדות אופיינית R_o [Ω] -

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

מסנן LPF

constant-K LOW PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
 "T" (FULL SECTION)		
 "π"		
$L = \frac{R_o}{\pi f_c} \quad ; \quad C = \frac{1}{\pi f_c R_o}$		$R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$

תדר פוגה f_c [Hz] -

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

כאשר $\omega < \omega_c$:

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

כאשר $\omega > \omega_c$:

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

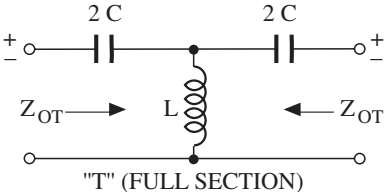
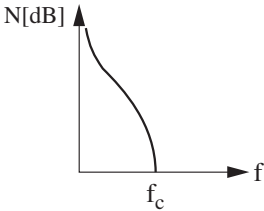
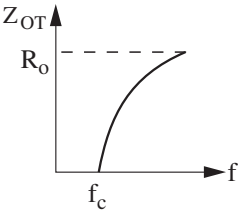
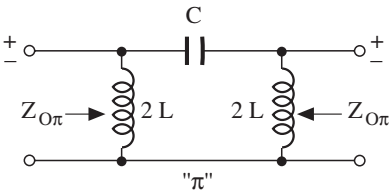
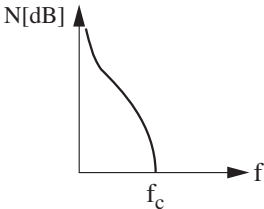
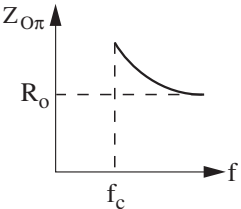
עכבה אופיינית של רשת T - Z_{OT} [Ω]
סימטרית מעבירה נמוכים

$$Z_{OT}(\omega) = R_o \sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2}$$

עכבה אופיינית של רשת π - $Z_{O\pi}$ [Ω]
סימטרית מעבירה נמוכים

$$Z_{O\pi}(\omega) = \frac{R_o}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2}}$$

HPF מסנן

constant-K HIGH PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
 "T" (FULL SECTION)		
 "pi"		
$L = \frac{R_o}{4 \pi f_c} \quad ; \quad C = \frac{1}{4 \pi f_c R_o}$		$R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$

תדר פוגה - f_c [Hz]

$$f_c = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$$

כאשר $\omega > \omega_c$:

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

כאשר $\omega < \omega_c$:

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

עכבה אופיינית של רשת T - Z_{OT} [Ω]
סימטרית מעבירה גבוהים

$$Z_{OT}(\omega) = R_o \sqrt{1 - \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)^2}$$

עכבה אופיינית של רשת π - $Z_{O\pi}$ [Ω]
סימטרית מעבירה גבוהים

$$Z_{O\pi}(\omega) = \frac{R_o}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)^2}}$$

בהצלחה!