

סוג הבחינה: גמר לבתי-ספר לטכנאים ולהנדסאים

מועד הבחינה: אביב תשס"ט, 2009

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 הערכה: 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 11 עמודים ו-26 עמודי נספחים.

ההנחיות בשאלון זה מנוסחות בלשון זכר,

אך מכוונות לנבחנות ולנבחנים כאחד.

השאלות

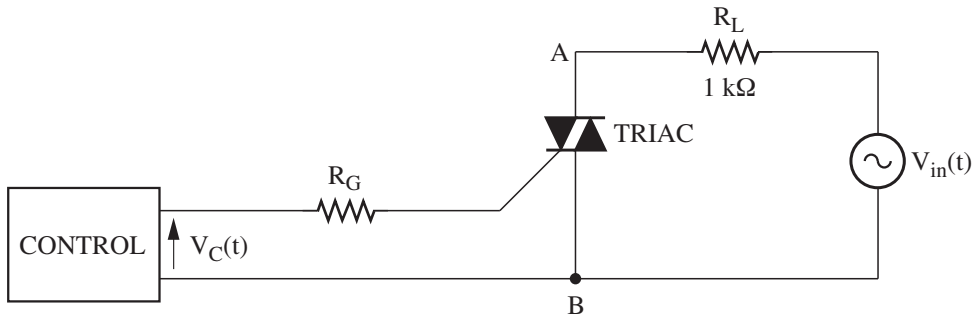
ענה על חמש מבין השאלות 1–10. עליך לענות על שאלה אחת לפחות מן הפרק הראשון, על שאלה אחת לפחות מן הפרק השני, ועל שאלה אחת מן הפרק השלישי.

פרק ראשון: אלקטרוניקה תקבילית א'

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

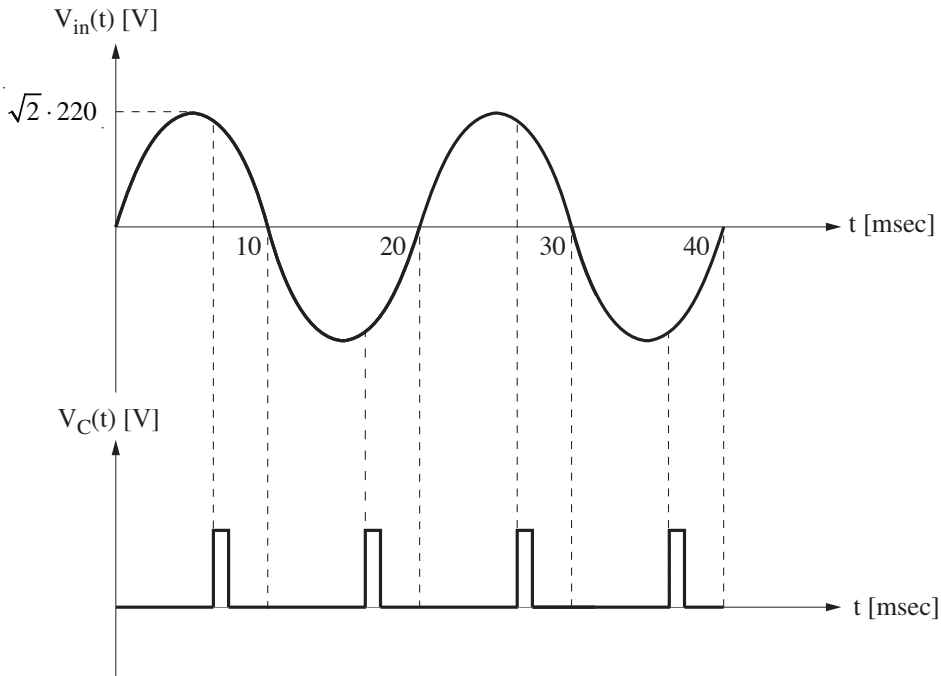
שאלה 1

המעגל החשמלי שבאיור א' לשאלה 1 משמש לבקרת ההספק על נגד־העומס R_L . הבקרה מבוצעת באמצעות TRIAC. מתח ההולכה של ה־TRIAC הוא $V_f = 1\text{ V}$, וזווית־ההצתה שלו היא $\alpha = 120^\circ$.



איור א' לשאלה 1

באיור ב' לשאלה מתוארות צורות הגלים של המתחים $V_{in}(t)$ ו־ $V_C(t)$, כפונקציה של הזמן.

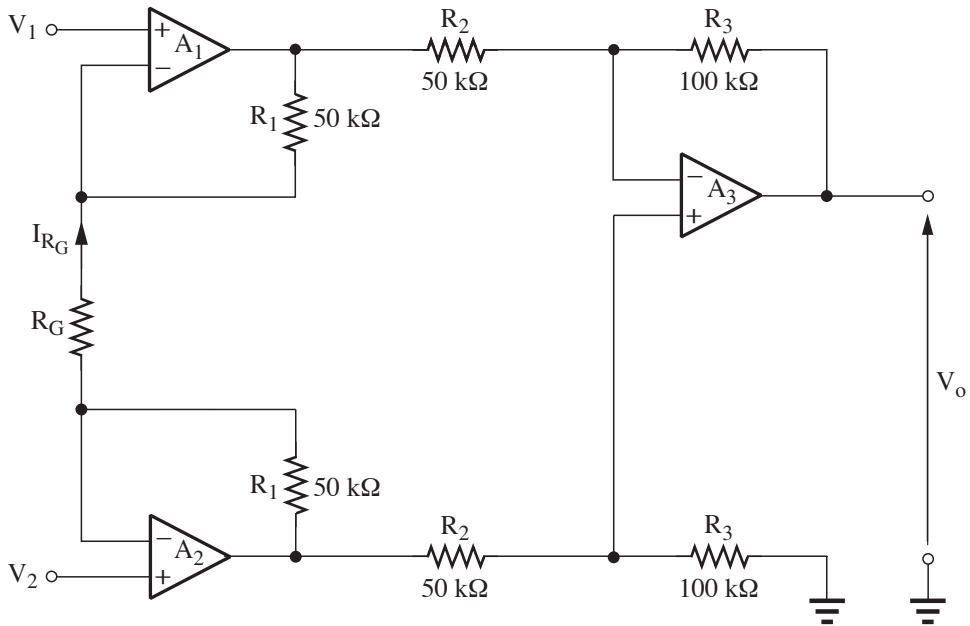


איור ב' לשאלה 1

- א. העתק למחברתך את צורות הגלים שבאיור ב', וסרטט מתחתיהן, בהתאמה, את V_{AB} (המתח בין הנקודות A ו-B במעגל) ו- V_{R_L} , כפונקציה של הזמן.
- ב. היעזר בגרף המתאים בנוסחאון (אלקטרוניקה תקבילית א'), וחשב את ההספק המועבר לעומס R_L , כאשר:
1. $\alpha = 120^\circ$ (כמו בנתוני-המעגל)
 2. $\alpha = 60^\circ$
- ג. בהסתמך על חישוביך בסעיף ב', רשום כיצד משפיעה זווית-ההצתה של ה-TRIAC על ההספק המועבר לעומס R_L .

שאלה 2

באיור לשאלה 2 נתון המעגל החשמלי של מגבר מְכָשׁוּר. מגברי השרת שבמעגל – אידיאליים.



איור לשאלה 2

- רשום שלושה מאפיינים של מגבר מכשור אידיאלי.
- בטא את הזרם I_{RG} באמצעות מתחיהמבוא V_1 ו- V_2 והנגד R_G .
- חשב את ערכו של מתח המוצא V_o כאשר נתון:

$$V_1 = 30 \text{ mV} ; V_2 = 50 \text{ mV} ; R_G = 2 \text{ k}\Omega$$

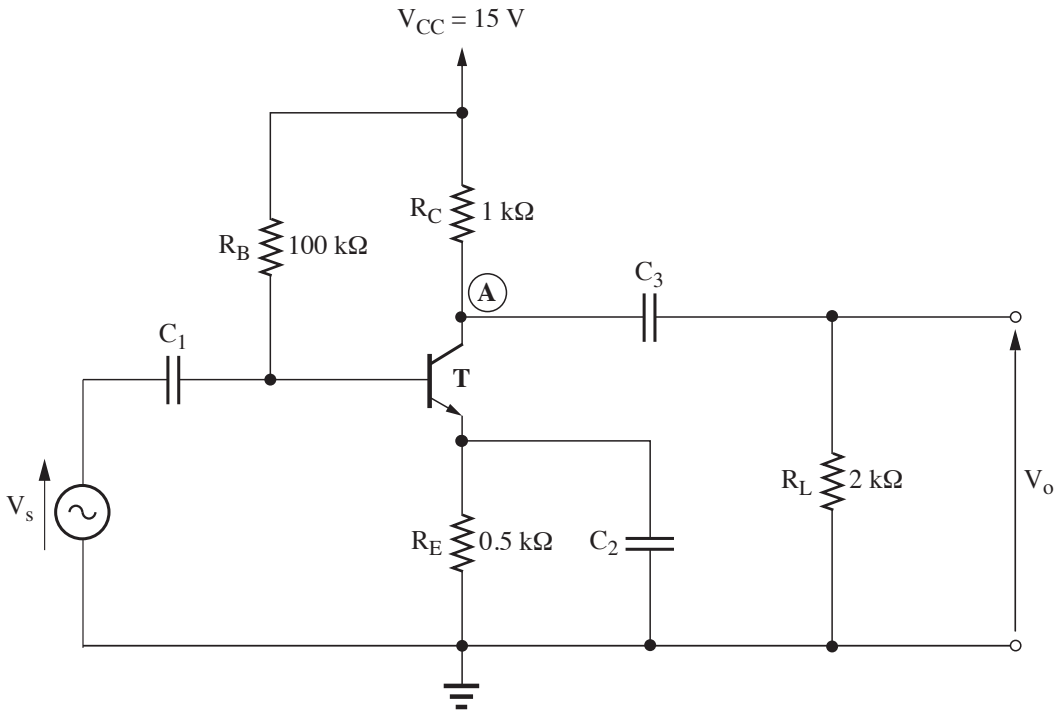
- כיצד ישתנה הגבר המתח A_V של מגבר המכשור הזה, כאשר משנים את התנגדות הנגד R_G מ- $2 \text{ k}\Omega$ ל- 100Ω ? נמק את תשובתך.

שאלה 3

באיור לשאלה 3 נתון המעגל החשמלי של דרגת-הגברה טרנזיסטורית. נתוני הטרנזיסטור הדורנשאי (BJT) הם:

$$h_{fe} = \beta = 50 ; h_{ie} = 1 \text{ k}\Omega ; V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

היגבי הקבלים במעגל – זניחים.



איור לשאלה 3

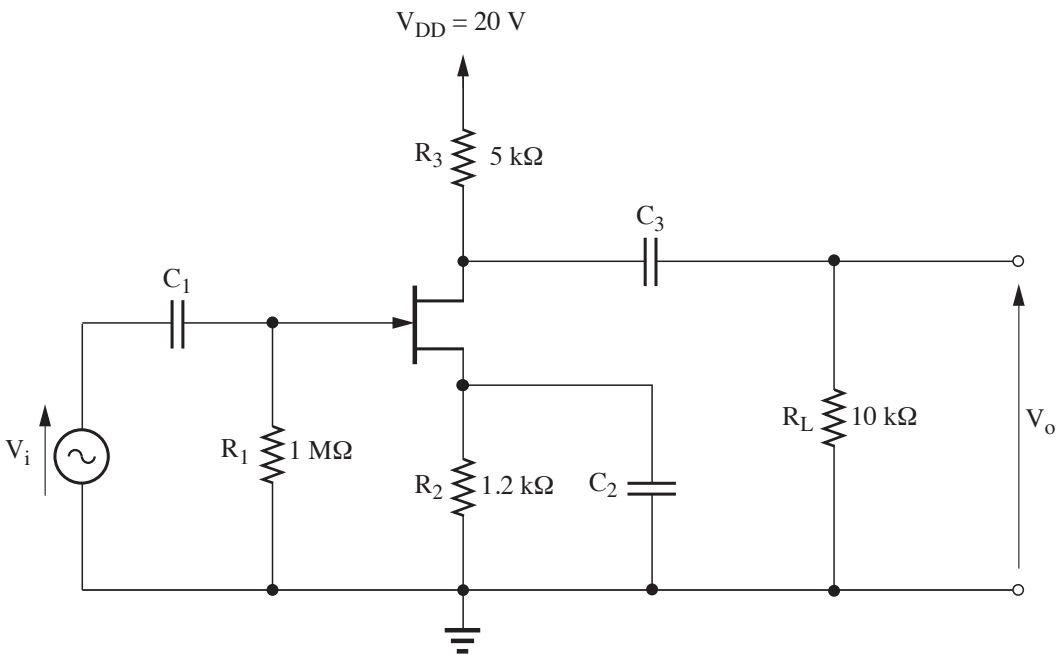
- א. חשב את נקודת-העבודה (V_{CE} , I_C) של הטרנזיסטור T.
- ב. סרטט את מעגל-התמורה לאות-חילופין (AC) של המעגל הזה.
- ג. רשום ביטוי להגבר המעגל $A_{V_s} = \frac{V_o}{V_s}$, וחשב את ערכו.
- ד. סרטט באופן איכותי, זה מתחת לזה בהתאמה, את המתחים V_{A} (המתח בנקודה A) ו- V_o כפונקציה של הזמן, כאשר: $V_s = 0.1 \cdot \sin(\omega t) \text{ [V]}$.

שאלה 4

באיור לשאלה 4 נתון המעגל החשמלי של דרגת-הגברה טרנזיסטורית. נתוני הטרנזיסטור תוצא-השדה (JFET) הם:

$$V_p = -6 \text{ V} ; I_{DSS} = 12 \text{ mA} ; r_d \rightarrow \infty$$

היגבי הקבלים במעגל – זניחים.



איור לשאלה 4

א. חשב את נקודת-העבודה (I_D , V_{GS} , V_{DS}) של דרגת-ההגברה הזו.

ב. סרטט את מעגל-התמורה לאות-חילופין (AC) של הדרגה הזו.

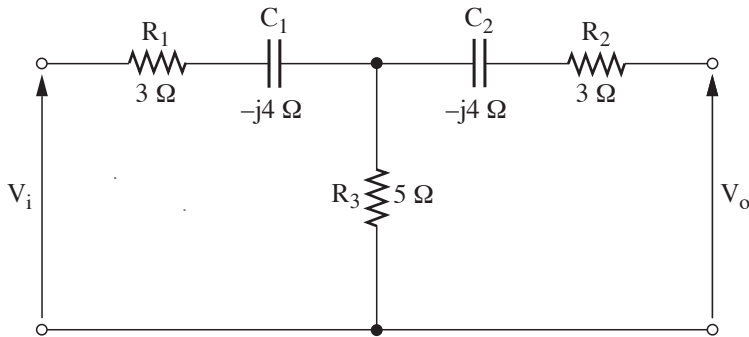
ג. חשב את הגבר המעגל $A_V = \frac{V_o}{V_i}$.

פרק שני: מבוא להנדסת חשמל

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

שאלה 5

באיור לשאלה 5 נתון המעגל החשמלי של רשת זוגיים.

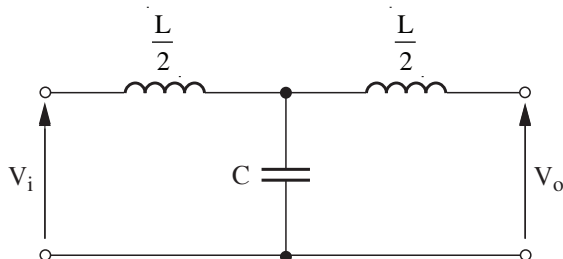


איור לשאלה 5

- א. חשב את מקדמי Z של רשת הזוגיים הזו.
- ב. חשב את מקדמי ABCD של רשת הזוגיים הזו.
- ג. חשב את עכבת-המבוא של הרשת כאשר המוצא מקוצר.
- ד. חשב את העכבה האופיינית של הרשת הזו.

שאלה 6

באיור לשאלה 6 נתון המעגל החשמלי של מסנן מסוג K קבוע.



איור לשאלה 6

ההתנגדות האופיינית של המסנן היא 50Ω , ותדר הפוגה שלו הוא $\frac{10^6}{\pi}$ Hz.

א. חשב את הערכים של רכיבי המעגל $\frac{L}{2}$ ו- C .

ב. חשב את ניחות המסנן (ביחידות neper וביחידות dB) כאשר:

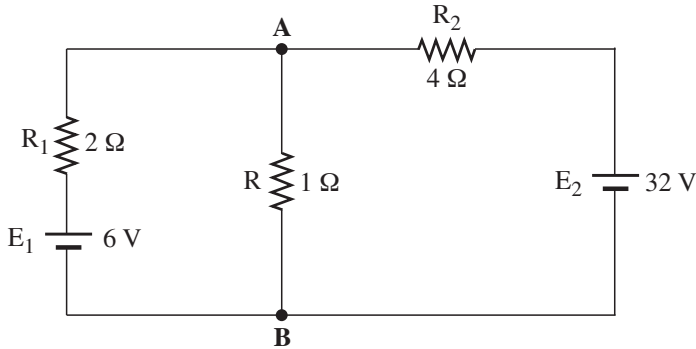
$$1. f = \frac{10^5}{\pi} \text{ Hz}$$

$$2. f = \frac{10^7}{\pi} \text{ Hz}$$

ג. חשב את זווית-המופע בין V_o ובין V_i כאשר $f = \frac{10^5}{\pi}$ Hz.

שאלה 7

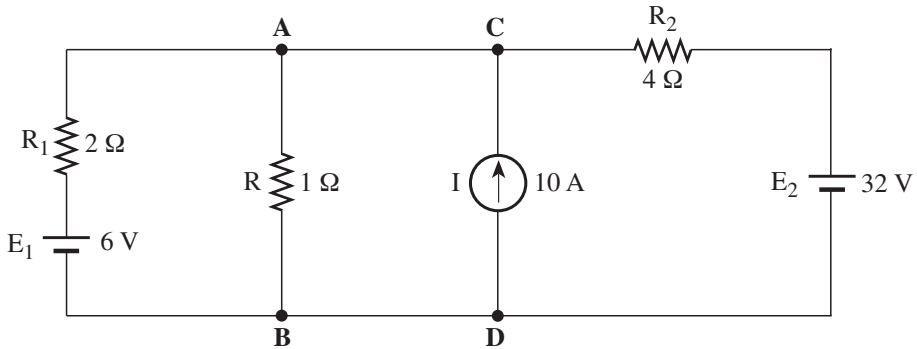
א. באיור א' לשאלה 7 נתון מעגל חשמלי.



איור א' לשאלה 7

חשב את הזרם העובר בנגד R , וציין את כיוונו (מ $^-$ A ל $^-$ B או מ $^-$ B ל $^-$ A).

ב. למעגל הנתון מוסיפים מקור-זרם I בין הנקודות C ו- D, כמתואר באיור ב' לשאלה.



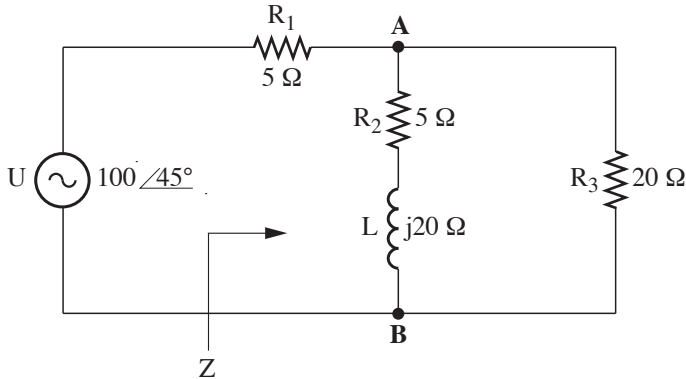
איור ב' לשאלה 7

1. המר את חלקי-המעגל ACDB למקור-מתח עם התנגדות טורית, וחשב (בשיטת זרמי-החוגים) את הזרם בנגד R_2 .

2. חשב את הזרם העובר בנגד R במעגל הנתון באיור ב', וציין את כיוונו (מ $^-$ A ל $^-$ B או מ $^-$ B ל $^-$ A).

שאלה 8

באיור לשאלה 8 נתון מעגל חשמלי.



איור לשאלה 8

א. חשב את עכבת-המעגל Z , שמקורה-המתח U "רואה". הצג אותה כמספר מרוכב:

1. שצורתו $Z = X + jY$.

2. שצורתו $Z = |Z| \angle \alpha$.

ב. חשב את המתח על הנגד R_1 ואת המתח בין הנקודות A ו-B במעגל. הצג את תשובותיך כמספרים מרוכבים שצורתם $V = |V| \angle \alpha$.

ג. חשב את ההספק הפעיל המסופק למעגל על-ידי מקורה-המתח U .

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.

עליך לענות על הסעיפים שלהלן בעברית, רק על-פי הכתוב במאמר.

- א. מהו הנושא שבו עוסק קטע המאמר?
- ב. מה תפקידו של מגבר השרת במעגל המתואר במאמר?
- ג. איזה שינוי מציע מחבר הקטע ביחס למחלק-המתח בין הנגדים R_1 ו- R_2 במוצא המעגל, ומה מאפשר השינוי לבצע?
- ד. ציין הצעת-פתרון אחת של מחבר הקטע להקטנת האדווה (ripple) של מתח-המוצא.

שאלה 10

בנספח לשאלה 10 מובאים דפי-מפרט בשפה האנגלית.

עליך לענות על הסעיפים שלהלן בעברית, רק על-פי הכתוב בדפי-המפרט.

- א. מהו היתרון שיש למגברים המתוארים בדפי-המפרט לגבי חיבורם לעומס קיבולי?
- ב. הסבר שלושה מתוך ארבעת המושגים האלה:
 1. התנגדות מבוא
 2. זרם-היסט מבוא
 3. הגבר-מתח לאות גדול
 4. זמן התייצבות
- ג. ציין את הערך המאפיין של כל אחד מן המושגים שהסברת בסעיף ב', עבור מגבר מסוג LF155A.

בהצלחה!

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

Regulated Power Supply

An operational amplifier can provide the gain for a feedback voltage regulator (Fig. 1).

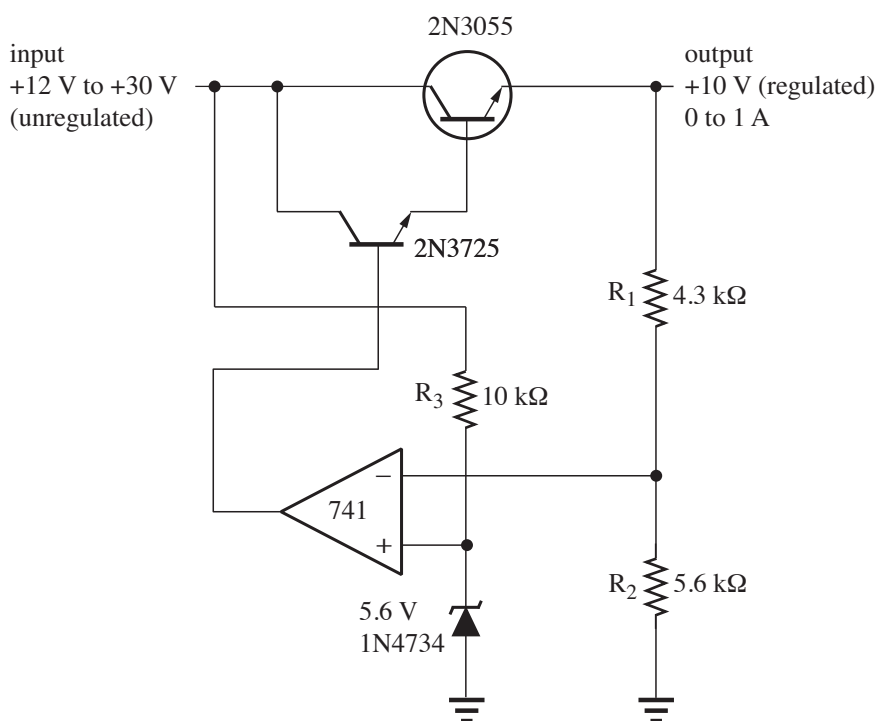


Fig. 1

The operational amplifier compares a sample of the output with the zener reference, changing the drive to the Darlington "pass transistor" as needed. This circuit supplies 10 Volts regulated, at up to 1 Ampere load current.

Some notes about this circuit:

1. The voltage divider that samples the output could be a potentiometer, for adjustable output voltage.
2. For reduced ripple at the zener, the $10\text{ k}\Omega$ resistor should be replaced by a current source. Another solution is to bias the zener from the output; that way you take advantage of the regulator you have built.
Caution: When using this trick, you must analyze the circuit carefully to be sure it will start up when power is first applied.
3. The circuit as drawn could be damaged by a temporary short circuit across the output, because the operational amplifier would attempt to drive the Darlington pair into heavy conduction. Regulated power supplies should always have circuitry to limit "fault" current.
4. Integrated circuit voltage regulators are available in tremendous variety, from the time-honored 723 to the recent 3-terminal adjustable regulators with internal current limit and thermal shutdown. These devices, complete with temperature-compensated internal zener reference and pass transistor, are so easy to use that you will almost never use a general-purpose operational amplifier as a regulator. The exception might be to generate a stable voltage within a circuit that already has a stable power-supply voltage available.

LF155/LF156/LF157 Series Monolithic JFET Input Operational Amplifiers

General Description

These are the first monolithic JFET input operational amplifiers to incorporate well matched, high voltage JFETs on the same chip with standard bipolar transistors (BI-FET™ Technology). These amplifiers feature low input bias and offset currents/low offset voltage and offset voltage drift, coupled with offset adjust which does not degrade drift or common-mode rejection. The devices are also designed for high slew rate, wide bandwidth, extremely fast settling time, low voltage and current noise and a low $1/f$ noise corner.

Advantages

- Replace expensive hybrid and module FET op amps
- Rugged JFETs allow blow-out free handling compared with MOSFET input devices
- Excellent for low noise applications using either high or low source impedance—very low $1/f$ corner
- Offset adjust does not degrade drift or common-mode rejection as in most monolithic amplifiers
- New output stage allows use of large capacitive loads (5,000 pF) without stability problems
- Internal compensation and large differential input voltage capability

Applications

- Precision high speed integrators
- Fast D/A and A/D converters
- High impedance buffers
- Wideband, low noise, low drift amplifiers
- Logarithmic amplifiers

- Photocell amplifiers
- Sample and Hold circuits

Common Features

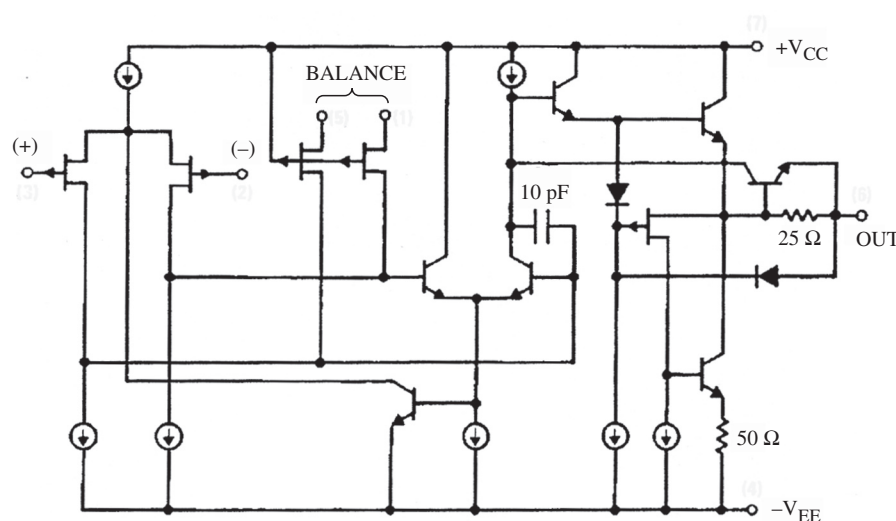
(LF155A, LF156A, LF157A)

- Low input bias current 30 pA
- Low Input Offset Current 3 pA
- High input impedance $10^{12}\Omega$
- Low input offset voltage 1 mV
- Low input offset voltage temp. drift $3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- Low input noise current $0.01 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
- High common-mode rejection ratio 100 dB
- Large dc voltage gain 106 dB

Uncommon Features

	LF155A	LF156A	LF157A ($A_V = 5$)	Units
■ Extremely fast settling time to 0.01%	4	1.5	1.5	μs
■ Fast slew rate	5	12	50	$\text{V}/\mu\text{s}$
■ Wide gain bandwidth	2.5	5	20	MHz
■ Low input noise voltage	20	12	12	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$

Simplified Schematic



Definition of Terms

Input Offset Voltage: That voltage which must be applied between the input terminals through two equal resistances to obtain zero output voltage.

Input Offset Current: The difference in the currents into the two input terminals when the output is at zero.

Input Bias Current: The average of the two input currents.

Input Common-Mode Voltage Range: The range of voltages on the input terminals for which the amplifier is operational. Note that the specifications are not guaranteed over the full common-mode voltage range unless specifically stated.

Common-Mode Rejection Ratio: The ratio of the input common-mode voltage range to the peak-to-peak change in input offset voltage over this range.

Input Resistance: The ratio of the change in input voltage to the change in input current on either input with the other grounded.

Supply Current: The current required from the power supply to operate the amplifier with no load and the output midway between the supplies.

Output Voltage Swing: The peak output voltage swing, referred to zero, that can be obtained without clipping.

Large-Signal Voltage Gain: The ratio of the output voltage swing to the change in input voltage required to drive the output from zero to this voltage.

Power Supply Rejection Ratio: The ratio of the change in input offset voltage to the change in power supply voltage producing it. The typical curves in this sheet show values for each supply independently changed. The electrical specification, however, is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously, in accordance with common practice.

Settling Time: The time required for the error between input and output to settle to within a specified limit after an input is applied to the circuit.

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]

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

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

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

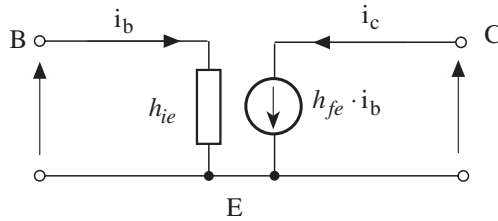
טרנזיסטור דו-נושאי (בתחום הפעיל)

- 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]

$V_{gs} = 0$

המתח בין השער למקור - V_{gs} [V]

מתח צביטה - V_p [V]

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

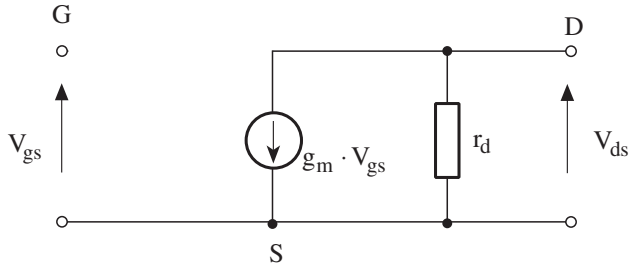
$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} \left(1 - \frac{V_{gs}}{V_p} \right)$$

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

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

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

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

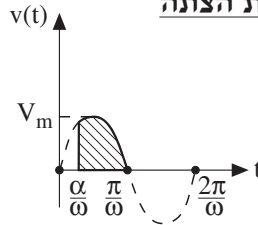
$$V_L = V_{RMS} = \frac{V_m}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)}$$

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

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

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

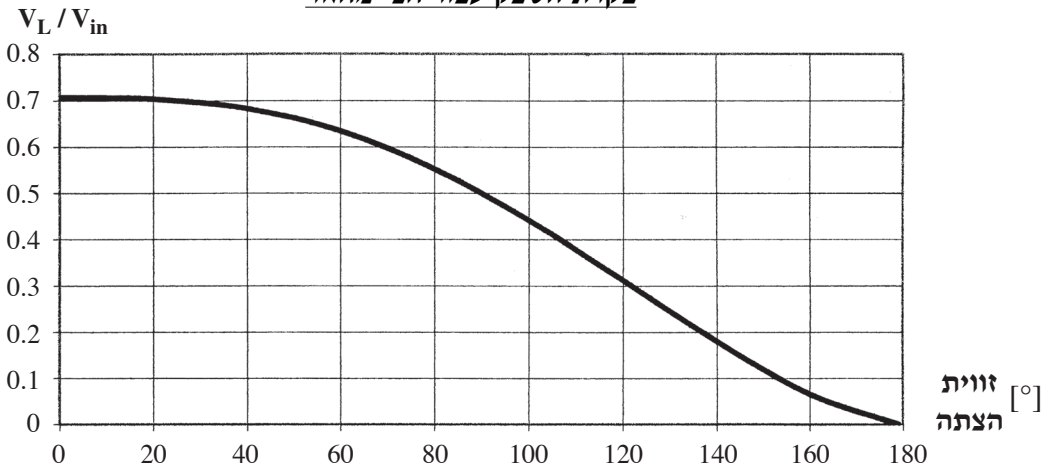
$$V_{in} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$



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]

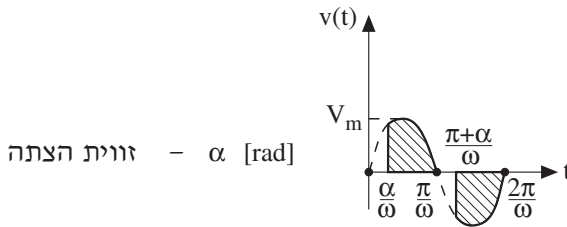
בקרת הספק עבור חצי מחזור



המשך בעמוד 5

ב. בקרת גל שלם בעומס אומי

ב.



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

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

$$V_{AV} = 0$$

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

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

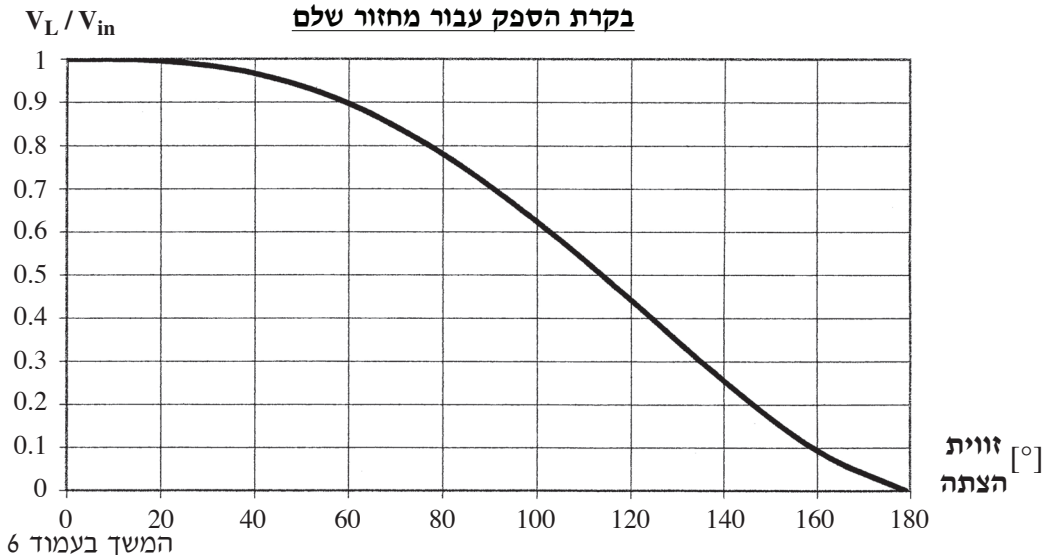
$$I_{AV} = 0$$

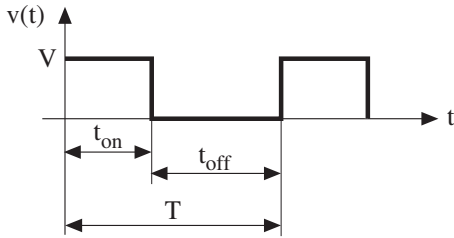
$$I_{RMS} = \frac{V_{RMS}}{R}$$

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

- $v(t)$ [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





- 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

- 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

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

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

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

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

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

מתח אדווה במיישר חצי גל

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

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

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]

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

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

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

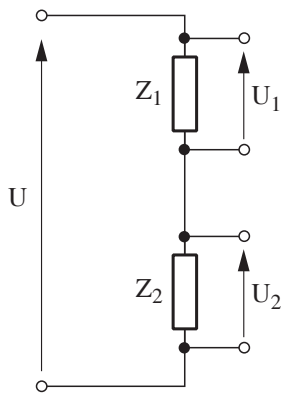
בהצלחה!

אין להעביר את הנוסחאון
לנבחן אחר

מקום לנכתוב תשובות

נוסחאון במבוא להנדסת חשמל לכיתה י"ג

(14 עמודים)

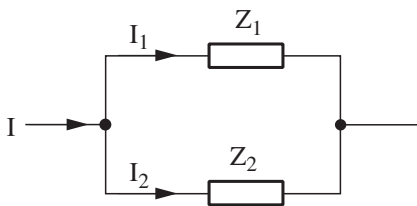


מחלק מתח

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

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

מחלק זרם



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

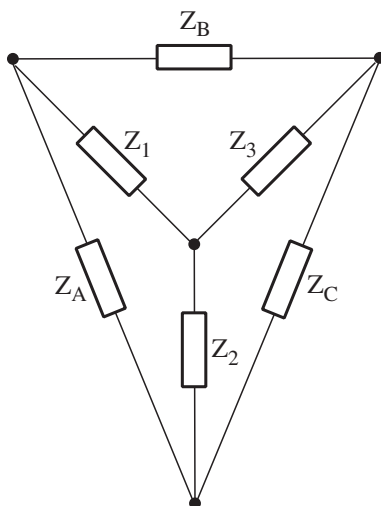
$$I_2 = \frac{I \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

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

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

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

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

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

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

$$\omega = 2\pi f$$

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

$$X_L = j\omega L$$

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

$$X_M = j\omega M = j k \sqrt{|X_{L_1}| \cdot |X_{L_2}|}$$

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]

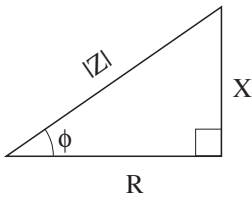
התנגדות המעגל - R [Ω]

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]

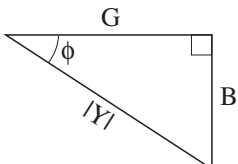
מניחות המעגל - B [S]

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

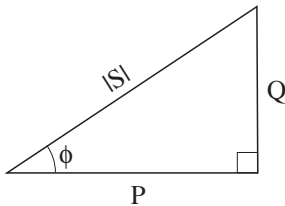
הספק פעיל	-	P	[W]
הערך המוחלט של הזרם בנגד	-	$ I_R $	[A]
הערך המוחלט של המתח על הנגד	-	$ U_R $	[V]
הספק היגבי	-	Q	[VAr]
הערך המוחלט של זרם ההיגב	-	$ I_X $	[A]
הערך המוחלט של מתח ההיגב	-	$ U_X $	[V]
הספק מדומה	-	S	[VA]
הערך המוחלט של זרם העכבה	-	$ I_Z $	[A]
הערך המוחלט של מתח העכבה	-	$ U_Z $	[V]
הצמוד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

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

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

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

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



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

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

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

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

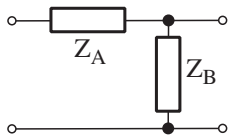
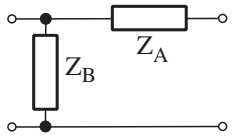
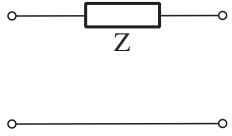
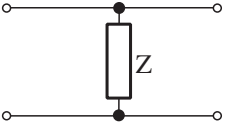
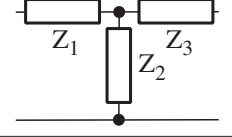
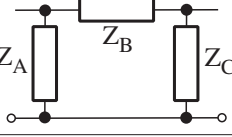
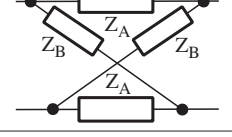
Y מקדמי

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

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

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

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 B C D	$\frac{Z_{11}}{Z_{21}}$	$\frac{ Z }{Z_{21}}$	$\frac{-Y_{22}}{Y_{21}}$	$\frac{-1}{Y_{21}}$	A	B
	$\frac{1}{Z_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{Z_{21}}$	$\frac{- Y }{Y_{21}}$	$\frac{-Y_{11}}{Y_{21}}$	C	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 $[Y]$ ו- $[Z]$, 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 $- Z_{OC}$ $[\Omega]$

עבור רשת סימטרית מתקיים:

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

מקדם זוגיים $- B$

מקדם זוגיים $- C$

עכבת הברואה $- Z_{O1}$ $[\Omega]$

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

עכבת הברואה $- Z_{O2}$ $[\Omega]$

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

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

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

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

קבוע ההתפשטות $- \gamma$

קבוע הניחות $- \alpha$ [neper]

קבוע המופע, זווית המופע $- \beta$ [rad]

בין הזרמים I_1 ו- I_2

ניחות $- N$

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

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

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

מסננים מסוג K קבוע

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

R_o [Ω] – התנגדות אופיינית

מסנן LPF

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

f_c [Hz] – תדר פוגה

כאשר $\omega < \omega_c$:

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

כאשר $\omega > \omega_c$:

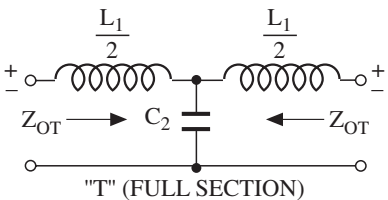
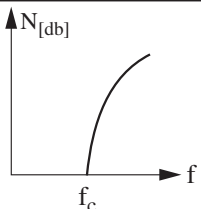
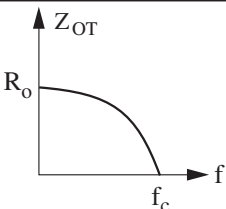
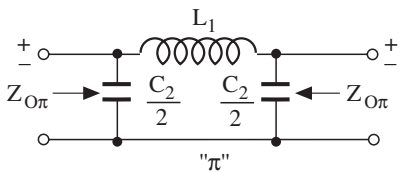
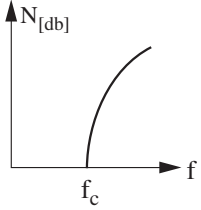
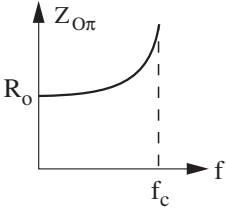
$$\alpha = 2 \cosh^{-1} \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)$$

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

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

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

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

constant-K LOW PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
 "T" (FULL SECTION)		
 "pi"		
$L_1 = \frac{R_0}{\pi f_c} \quad ; \quad C_2 = \frac{1}{\pi f_c R_0}$		$R_0 = \text{LINE IMPEDANCE}$

מסנן HPF

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 $\omega < \omega_c$:

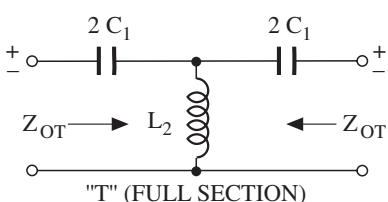
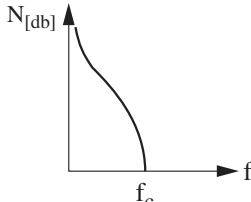
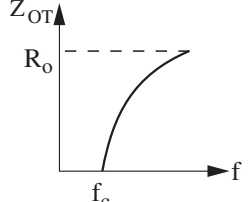
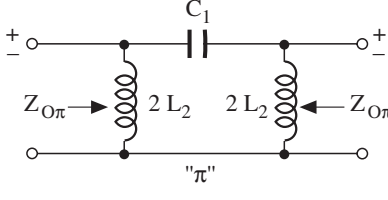
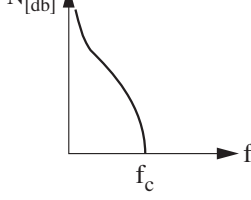
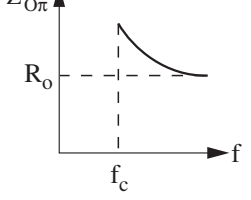
$$\alpha = 2 \cosh^{-1} \left(\frac{\omega_c}{\omega} \right)$$

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

$Z_{OT} \text{ } [\Omega]$ - עכבה אופיינית של רשת T
 סימטרית מעבירה גבוהים

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

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

constant-K HIGH PASS FILTER		
CONFIGURATION	ATTENUATION	IMPEDANCE
 "T" (FULL SECTION)		
 "π"		
$L_2 = \frac{R_o}{4 \pi f_c} \quad ; \quad C_1 = \frac{1}{4 \pi f_c R_o}$		$R_o = \text{LINE IMPEDANCE}$

בהצלחה!