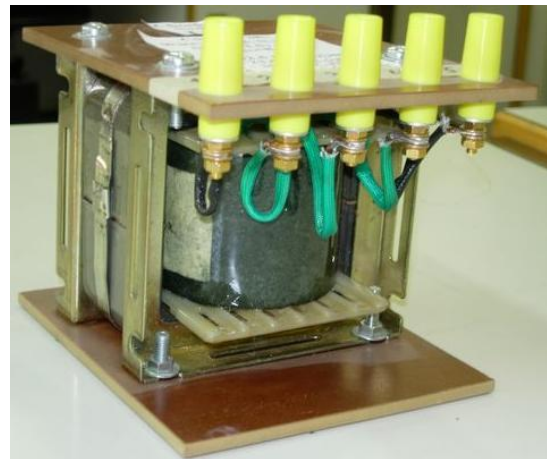
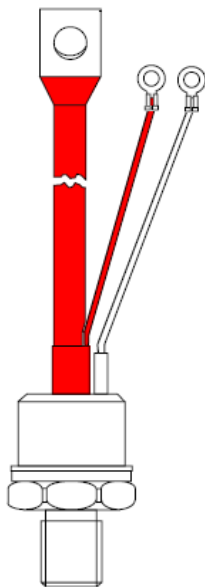


אוניברסיטת בן גוריון  
הפקולטה לטכנולוגיה  
המחלקה להנדסת חשמל ומחשבים  
מעבדה לאלקטרוניקה תעשייתית  
361-1-4373

ניסוי מס' 5

### מתגים אלקטרוניים במעגלים זרם ישר

### ניתוק מאולץ



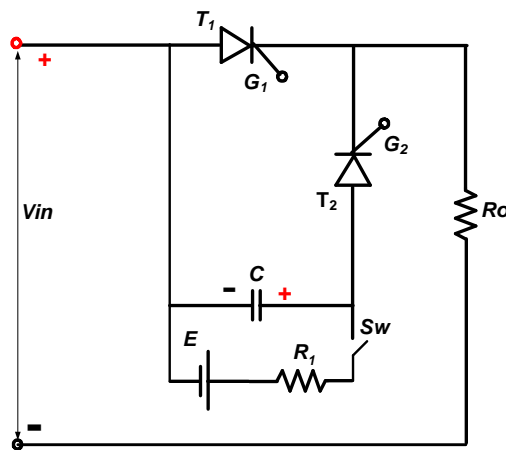
## מבוא

בעת העבודה של טריסטור רגיל במעגל זרם ישיר נוצרת בעיה: לאחר הדלקת הטריסטור ע"י חיבור הפולס ל-gate, לא ניתן לנתק את הטריסטור ע"י ה-gate. במעגל זרם חילופין טריסטור מתנתק בעצמו כאשר המתח מחליף קוטביות והזרם מתאפס. לכן, על מנת לנתק טריסטור במעגל זרם ישיר, צריך להפעיל מתח הפוך ולהוריד את הזרם לערך קטן מזרם ההחזקה (holding current).

שיטה זו נקראת - ניתוק מאולץ (forced commutation). מתח הפוך בד"כ מסופק ע"י הקבל, ומופעל על הטריסטור בעזרת הטריסטור הנוסף. בניסוי זה מתוארות מספר שיטות לניתוק מאולץ של טריסטור ושימושן למשנה זרם ישיר.

מעגל עם מקור חיצוני נוסף.

מעגלים, בעלי מיתוג מאולץ, מחולקים לפי שיטת טעינת הקבל למעגלים, בעלי מקור אנרגיה חיצוני נוסף, ומעגלים, המנצלים את האנרגיה של מקור DC העיקרי אשר מספק גם אנרגיה לעומס.



איור 1. מעגל עם מקור חיצוני נוסף

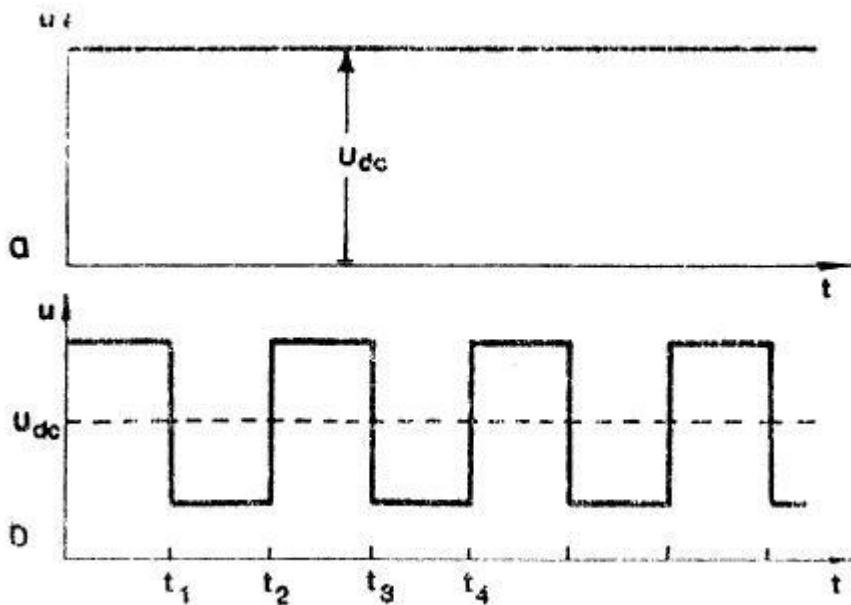
נניח, שברגע  $t_0$  טריסטור  $T_1$  פתוח והזרם זורם מכיוון המקור  $V_{in}$  דרך טריסטור  $T_1$  ועומס  $R_0$ . נניח, שקבל  $C$  טעון באופן מלא בקוטביות המופיעה באיור 1. ברגע מסוים  $t_1$  טריסטור  $T_2$  מקבל פולס הצתה. כתוצאה מכך, טריסטור  $T_2$  נפתח וקבל  $C$  מתחבר לטריסטור  $T_1$  הפתוח. מכיוון ששני הטריסטורים פתוחים, נוצר זרם פריקה הזורם כנגד הזרם של טריסטור  $T_1$ . הזרם עולה באופן מהיר עקב היעדרות של השראות, וה טריסטור  $T_1$  נסגר באופן מיידי. הקבל  $C$  ממשיך להתפרק דרך טריסטור  $T_2$  לעומס  $R_0$  במשך הזמן  $\Delta t \sim R_0 C$ . לאחר מכן, מעגל טעינת הקבל  $C$ , המכיל מקור  $E$  ונגד הגבלה  $R_1$  נסגר על ידי מתג  $Sw$ . במשך  $\Delta t \leq R_1 C$  הקבל  $C$  נטען ע"י זרם נמוך, מתג  $Sw$  נפתח ומעגל שוב מוכן למחזור פעולה חדש. ניתוח מעגלים, המנצלים את האנרגיה של מקור DC העיקרי אשר מספק גם אנרגיה לעומס, יוצגו בהמשך.

1. ממיר DC-DC Chopper

יעודם של ממירי DC TO DC או ה- Choppers הוא ויסות אמפליטודת מתח ה-DC.

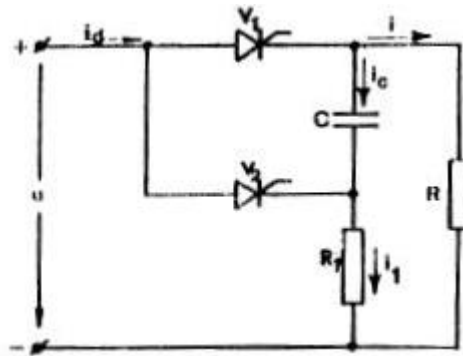
ישנם ממירים מסוגים רבים, נציין כמה מהם:

- א. ממיר מוריד ("down" or "buck" converter), בממיר זה מתח היציאה נמוך ממתח הכניסה.
  - ב. ממיר מעלה ("up" or "boost" converter), בממיר זה מתח היציאה יהיה גבוה ממתח הכניסה.
  - ג. ממיר מעלה-מוריד (buck-boost), מתח היציאה בממיר זה יכול להיות גם נמוך וגם גבוה ממתח הכניסה.
- עקרון הפעולה של ממירים אלו מבוסס על קטיעה בזרם ה-DC, ומכאן השם Choppers. בכל הממירים שהוזכרו, אות הכניסה מתחבר ומתנתק מהמעגל לפרקי זמן קצובים. פרק הזמן בו מתח הכניסה מחובר לעומס נקרא זמן ההולכה, והזמן בו מתח הכניסה מנותק מהעומס נקרא זמן אי ההולכה. זמן החפיפה בין זמן ההולכה וזמן אי ההולכה נקרא זמן החפיפה או זמן הקומוטציה.
- הדגמה של זמנים אלו מתוארת בציור מס' 5.1.



ציור מס' 5.1

בציור מס' 5.2 ניתן לראות מעגל טיפוסי של ממירים מסוג זה.



ציור מס' 5.2: RC Chopper

ננתח מעגל זה:

משוואות המעגל:

$$U = v_1 + Ri$$

$$U = v_1 + V_c + R_1 i_1$$

$$U = v_2 + R_1 i_1$$

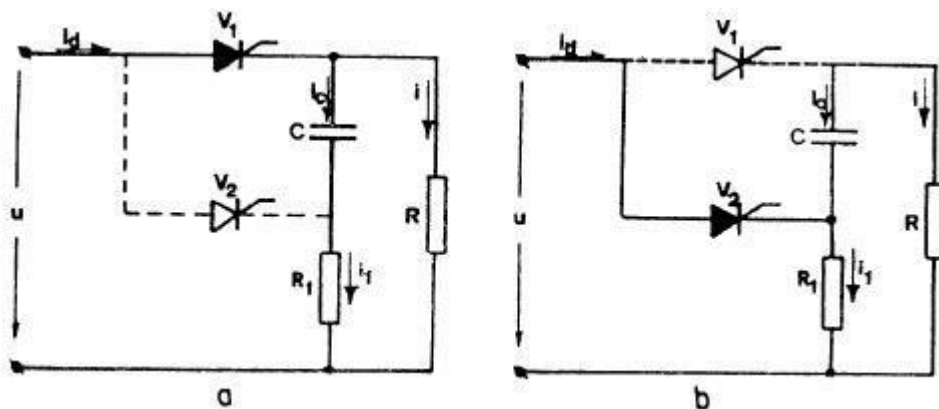
נניח שתחילה לא זורם זרם במעגל. וכן תנאי ההתחלה על הקבל הינם אפס.

$$U = v_1 = v_2$$

$$V_c(0) = 0$$

$$i(0) = i_1(0) = 0$$

כעת, כיוון שמתח הכניסה הינו קבוע וחיובי, אזי הצח על הטרנסטורים הינו חיובי. ברגע  $t = 0$ , נצית את טריסטור 1, וכיוון שהוא בממתח חיובי, הרי הוא יחל להוליך. כעת הזרם יזרום בשני ענפים: ענף העומס, וענף ה-RC, כמוראה בציור מס' 5.3.a.



ציור מס' 5.3 - שני מצבי הפעולה ה-RC Chopper

כיוון שטריסטור 1 מוליך, הרי נקבל:

$$v_1 = 0$$

$$U = Ri$$

$$U = v_c + R_1 i_1$$

$$i_c = C \cdot \frac{dV_c}{dt} = i_1$$

$$i_d = i + i_c$$

פתרון משוואות אלו, תוך שימוש בתנאי התחלה יהיה:

$$i = \frac{U}{R}$$

$$V_c = U \left[ 1 - e^{-\frac{t}{R_1 C}} \right]$$

$$i_c = i_1 = \frac{U}{R_1} \cdot e^{-\frac{t}{R_1 C}}$$

מתח הקבל יטען למתח המקור  $U$ , ולכן הזרם דרכו יגיע לאפס. זהו שלב ראשון בתהליך הקומוטציה, שהוא שלב טעינת הקבל.

המתח על טריסטור מס' 2 מגיע למתח הכניסה כאשר הזרם  $i_1$  נופל לאפס (כפי שניתן לראות ממשוואות המעגל). במצב זה, טריסטור מס' 2 יחל להוליך כאשר יקבל פולס הצתה (כפי שרואים בציור מס' 5.3.b). נניח כי ברגע  $t = t_1$  מגיע פולס הצתה לטריסטור מס' 2.

משוואות המעגל יהיו:

$$U = R_1 i_1$$

$$U = -v_c + Ri$$

$$i = -i_c = -C \cdot \frac{dV_c}{dt}$$

$$i_d = i_1 - i_c$$

כאמור, בחלק מחזור זה, הקבל יטען דרך הנגד  $R$  למתח שלילי  $-U$ . פתרון המשוואות יהיה:

$$i_1 = \frac{U}{R_1}$$

$$V_c = -U + Ae^{-\frac{t}{RC}}$$

נציב תנאי התחלה:

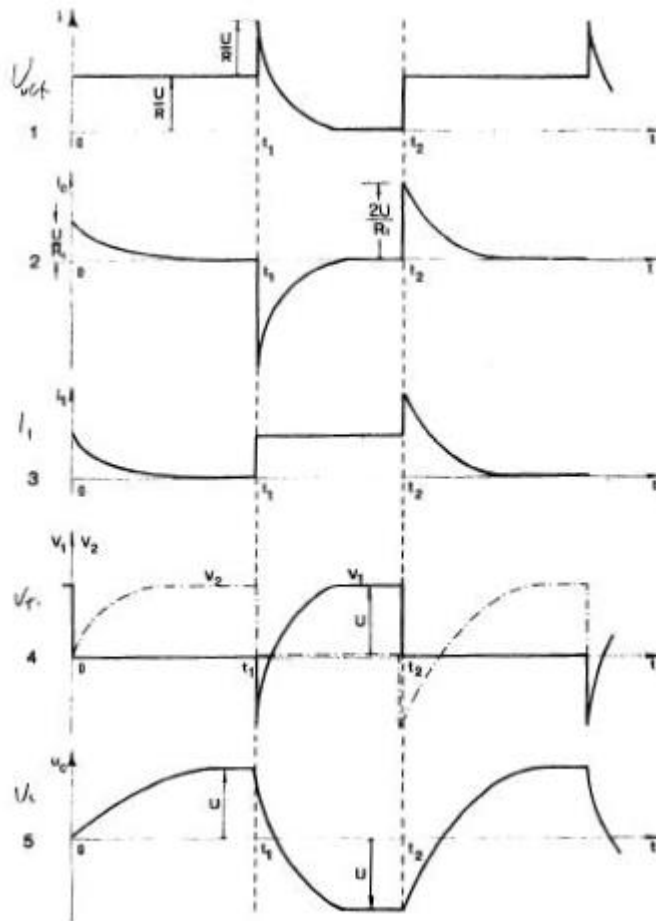
$$V_c(t = t_1) = U$$

נקבל:

$$V_c = -U \left[ 1 - 2e^{-\frac{t-t_1}{RC}} \right]$$

$$i = -i_c = 2\frac{U}{R} e^{-\frac{t-t_1}{RC}}$$

תיאור של תוצאות אלו ניתן לראות במיור מס' 5.4.



ציור מס' 5.4 - המתחים והזרמים ב- RC Chopper

החיסרון של מעגל זה הינו הפסדי הספק גדולים.

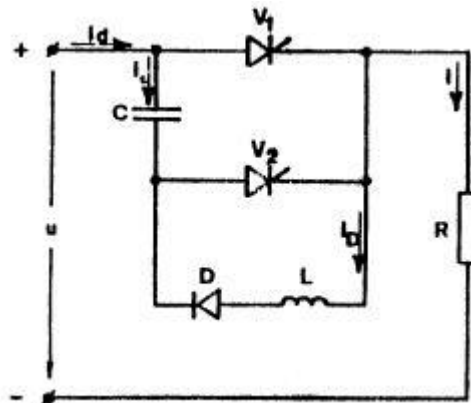
חיסרון נוסף: זרם המקור הינו תמיד גדול מ- 0. כיוון שאנו צריכים להצית טריסטורים, הרי תיווצר במעגל קשת.

הסבר:

ברגע  $t = t_1$  טריסטור מס' 2 מתחיל להוליך, אך טריסטור מס' 1 עדיין אינו כבוי. המתח על טריסטור 1 עולה מ- $-U$ , ברגע  $t = t_1$ , למצב היציב. מתח הקבל במצב היציב בעל קוטביות הפוכה למתח המקור ולא זורם זרם בעומס. כלומר, באופן מעשי, נוכל לראות זאת כאילו העומס אינו מחובר לכניסה. התהליך חוזר על עצמו כאשר טריסטור 1 מתחיל להוליך. כדי להוריד את ההפסדים, עלינו להגדיל את ההתנגדות  $R_1$  וע"י כך נגדיל את זמן שינוי קוטביות הקבל. כיוון ש- $\tau$  גדל ( $\tau = R_1 C$ ), תגובת המעגל קטנה. ולכן פעולת המעגל תהיה יעילה עבור הספקים נמוכים. נתאר מעגל  $LC$  הפותר בעיות אלו.

## 2. ממיר $LC$ :

הממיר המתואר בציור מס' 5.5 הינו ממיר מעשי ואמין מאוד.



ציור מס' 5.5- ממיר  $LC$

אופן ניתוח המעגל דומה לניתוח המעגל הקודם.

משוואות המעגל:

$$U = v_1 + Ri$$

$$U = V_c + v_2 + Ri$$

$$U = V_c - V_d - L \cdot \frac{di_d}{dt} + Ri$$

$$i_c = C \cdot \frac{dV_c}{dt}$$

נניח שוב תנאי התחלה אפס:

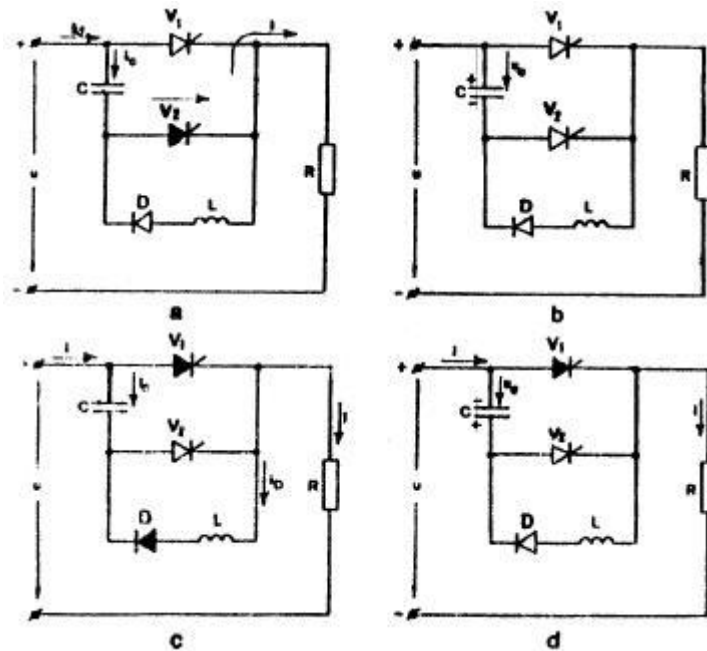
$$i_d(0) = i(0) = 0$$

$$V_c(0) = 0$$

מאחר והמתח על טריסטורים 1 ו-2 חיובי, נוכל להצית כל אחד מהם.  
נניח שנצית את טריסטור 1 ראשון.

הקבל במצב זה לא יטען והמתח עליו יישאר אפס, ולכן המתח על טריסטור 2 יהיה 0 ולא נוכל להציתו. במצב זה, הצתת טריסטור 1 מקצרת חלק מהמעגל, ולכן נצטרך להצית את טריסטור 2 ראשון.

נניח כי ברגע  $t = 0$  מוצת טריסטור מס' 2 כמוראה בציור מס' 5.6.a.



ציור מס' 5.6 - מצבי הפעולה של ממיר LC

במצב זה, משוואות המעגל הופכות להיות:

$$v_2 = 0$$

$$U = V_c + Ri$$

$$i_d = i = i_c = C \cdot \frac{dV_c}{dt}$$



פתרון המשוואות יהיה:

$$V_c = U \left[ 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right]$$

$$i_c = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

כפי שניתן לראות מפתרון המשוואות, הקבל יטען למתח המקור  $U$ , ולכן יפסיק לזרום זרם במעגל, כמוראה בציור מס' b.4.6.

נבדוק את המתח על טריסטור מס' 1, ונראה כי הוא חיובי ולכן ניתן להציית אותו.

$$v_1 = v_2 + V_c = U$$

נניח כי אנו מציתים את טריסטור מס' 1 ברגע  $t = t_1$ .

נקבל:  $v_1 = 0$ , משוואות המעגל יהיו:

$$U = Ri$$

$$V_c = -L \cdot \frac{di_d}{dt}$$

$$i_c = -i_d = C \cdot \frac{dV_c}{dt}$$

ברגע שטריסטור מס' 1 יחל להוליך, זרם מתחיל לזרום שוב במעגל, הן דרך העומס והן דרך הסליל והדיודה. מהמשוואות לעיל נוכל לקבל את המשוואה הבאה מסדר שני:

$$\frac{d^2V_c}{dt^2} + \frac{V_c}{LC} = 0$$

עם תנאי התחלה:

$$V_c(t_1) = U$$

$$i_c(t_1) = 0$$

פתרון המשוואה יהיה:

$$V_c = U \cdot \cos\left(\sqrt{\frac{t-t_1}{LC}}\right)$$

$$i_c = -i_d = -\sqrt{\frac{C}{L}} \cdot U \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{t-t_1}{LC}}\right)$$

כאמור, זרם יזרום במעגל עד אשר הזרם  $i_C$  ידעך ל-0. דבר זה קורה ברגע:

$$t = t_2 = t_1 + \pi\sqrt{LC}$$

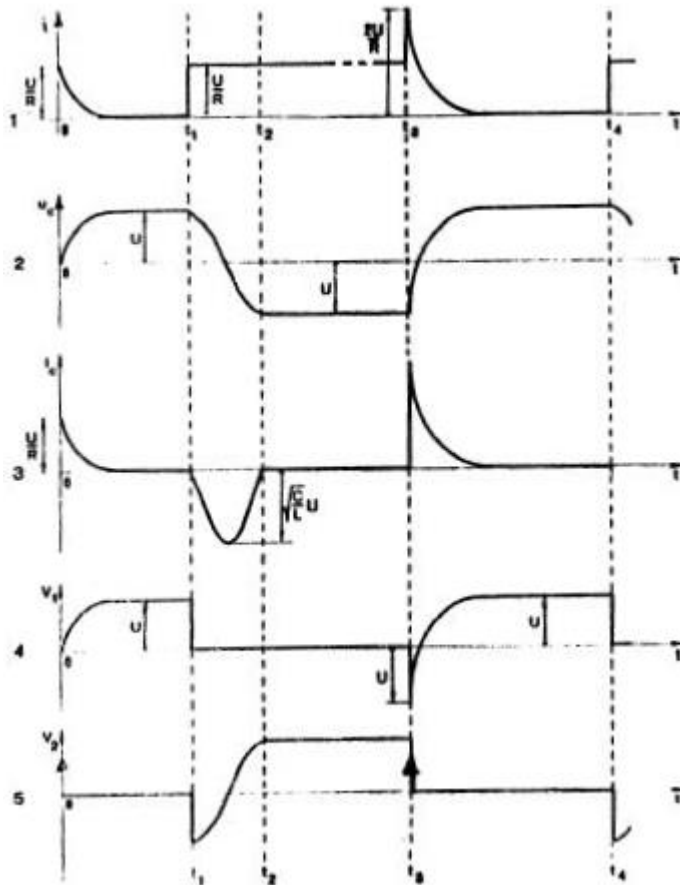
(הזרם אינו יכול לשנות את כיוונו כיוון שהדיודה מגבילה אותו).

הקבל יטען למתח המקור, אך בקוטביות הפוכה  $V_C(t_2) = -U$ , הדיודה תפסיק להוליך, ורק טריסטור 1 ימשיך

להוליך. מצב זה ימשיך עד לרגע בו טריסטור 2 יוצת, ברגע  $t = t_3$ .

מרגע זה, התהליך חוזר שוב על עצמו, אך עם תנאי התחלה שונים. בצורה זו, המתח  $V_C$  והזרם  $i_C$  יתכנסו לגל מחזורי קבוע.

פתרון גרפי של ממיר זה מתואר בציור מס' 5.7.



ציור מס' 5.7 - צורות המתחים והזרמים בממיר LC

סיכום אופן פעולת ממיר זה:

א. שלב א':

טריסטור 2 מוליך, הקבל נטען והזרם על העומס יורד.

ב. שלב ב':

כאשר הקבל טוען למתח המקור  $U$  הזרם בעומס הינו אפס. שני הטריסטורים אינם מוליכים.

ג. שלב ג':

טריסטור מס' 1 והדיודות מוליכים, הקבל מתפרק דרך הדיודה. מתח העומס שווה למתח המקור וזרם העומס קבוע.

ד. שלב ד':

טריסטור 1 מוליך, ומתח הקבל הינו  $V_C = -U$ .  
זמן המחזור המינימאלי יהיה זמן הטעינה והפריקה של הקבל.

מסקנות:

מהניתוח שנעשה עבור שי הממירים RC ו-LC ניתן להסיק מספר מסקנות עבור מעגלי *Chopper*. מעגלים אלו מכילים בד"כ 2 טריסטורים.

כאשר מוליך אחד מהטריסטורים מתקבל מצב מסוים (למשל מתח הכניסה עובר במלואו ליציאה). כאשר מוליך הטריסטור השני, מתקבל מצב נוסף שהוא בד"כ טעינה או פריקה של קבל או סליל. צירוף שני מצבים אלו יוצר מתח DC ביציאה שהוא שונה ממתח הכניסה.

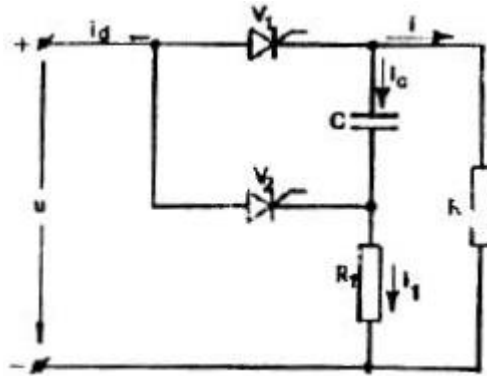
הערה חשובה: המתח המתקבל, כפי שכבר ראינו, אינו מתח DC נקי, ולכן אנו חייבים להוסיף מסנן ע"מ לקבל את המתח הדרוש המיושר.

3. מטרת הניסוי:

הכרת תהליך *Forced commutation* בממיר *Chopper DC-DC*.

4. שאלות הכנה:

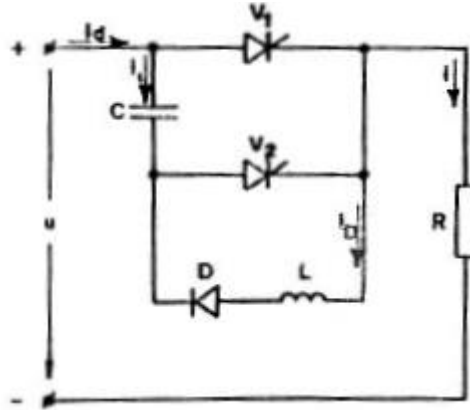
א. בציור מס' 5.8 מתואר ממיר *RC*.



ציור מס' 5.8 - ממיר *RC*

- 1) הסבר את פעולת המעגל.
- 2) נתח את פעולת המעגל באופן מדויק. מצא ביטויים לגדלים הבאים:
  - א) מתח היציאה  $V_R$ .
  - ב) מתח על אחד הטריסטורים ( $V_1$ ).
  - ג) המתח על הקבל  $V_C$ .
  - ד) הזרם  $i_1$ .
- 3) שרטט גרפים עבור הביטויים שקיבלת בסעיף הקודם.
- 4) חשב את מתח ה-DC ביציאה (מתח ממוצע) וקבע שני מצבים קיצונים למתח זה (מצא גבול מינימאלי וגבול מקסימאלי).
- 5) הסבר מהם חסרונותיו דל מעגל זה, וכיצד ניתן להתגבר עליהם.

ב. בצורך מס' 5.9 מתואר ממיר LC.



ציור מס' 5.9 - ממיר LC

- (1) הסבר את פעולת המעגל. התייחס לסדר הצתות הטרנסטורים (ללא ניתוח).
- (2) נתח את פעולת המעגל. מצא ביטויים עבור המתחים הבאים:
  - (א) מתח היציאה  $V_R$ .
  - (ב) המתח הקבל  $V_C$ .
  - (ג) מתח אחד הטרנסטורים.
  - (ד) הזרם  $i_D$ .
- (3) שרטט גרפים עבור הביטויים שקיבלת בסעיף הקודם.
- (4) מהם יתרונות מעגל זה על פני הממיר הקודם (ממיר RC)?

## 6. תרגילים להכנה

בצע ניסוי סימולטורי (ניספה 8).

בדוח מכין יש להציג רק תוצאות סימולציה ומסקנות

7. ציוד והתקנים

מידגם;

1. LEM module (Hall sensor) – מד זרם, רגישות -  $1A \Rightarrow 0.1V$ ; יח' 2
2. -M רב מודד, יח' 2;
3. -R<sub>o</sub> ראוסטט  $3A \sim / \Omega 80 \div 50 \Omega$ ;
4. -R<sub>1</sub> ראוסטט  $1A \sim / \Omega 50 \div \Omega 400$ ;
5. -C סט קבלים;
6. -L<sub>o</sub> סליל (Reactor) במעגל העומס  $\sim 500mH/8A$ ;
7. סקופ ווירטואלי "PICO" מקבוצה 200 או מקבוצה 3000 ( $V_{in} \leq 20V$ );
8. מחשב עם תכנה לסקופ KeySight (נספח 5);
9. ספק כוח זרם ישר - "DC source" ( $\sim 20V / 2A$ );
10. קבלי מדידה (probes) עם מחלק 1:10 – יח' 2.
11. מדגם
12. קבל מדידה (BNC-BNC) – יח' 2;
13. קבל (BNC-yellow bananas) gate – יח' 2;
14. חוטים:

טבלה 1

שם בסקיצה	קמות	"מ"	סוג	
b-b1.5	5	1.5	<b>בננה-בננה (50V), אדום</b> (Test leads with stackable non-protected plugs on both ends)	1
b-b0.5	1	0.5	<b>בננה-בננה (50V), אדום</b>	2
b-b0.2	2	0.2	<b>בננה-בננה (50V), אדום</b>	3
b-b1.5	1	1.5	בננה-בננה (50V), שחור	4
b-b0.5	1	0.5	בננה-בננה (50V), שחור	5
b-b1.0	2	1.0	<b>בננה-בננה (50V), סגול</b>	6
b-b0.5	1	0.5	<b>בננה-בננה (50V), סגול</b>	7
b-b0.2	2	0.2	<b>בננה-בננה (50V), סגול</b>	8

8. הגדרות

- I<sub>o</sub> זרם העומס;
- I<sub>dc</sub> רכיב זרם ישר בזרם העומס
- I<sub>rms</sub> – רכיב זרם חילופין של זרם העומס;
- I<sub>st</sub> זרם סגירת הטיריסטור;
- DU  $\Delta t/T$
- $\Delta t$  פער זמן בין הצתות עוקבות של טיריסטורים;
- T זמן מחזור של פולסי הצתת טיריסטורים;
- t<sub>on</sub> – אורך הרמה של פולס הזרם שעובר אל פילטר היציאה ואל העומס.

**9. הכנה לניסוי**

1. חבר את שני הערוצים 1 ו-3 לסקופ וכייל אותם ל-1:1.
  2. הפעל את מחולל אותות ( PULSE GENERATOR )
  3. בעזרת כבל BNC-BNC ומרכזיה, חבר ערוץ 1 של המחולל לסקופ.
  4. על ידי סמנים, מדוד את התדירות המקסימלית  $f_{max}$  והמינימלית  $f_{min}$  של המחולל ורשום בטבלה 2
  5. הצב את התדירות המינימלית
  6. סובב את ידית DU למצב שמאלי קיצוני.
  7. בעזרת כבל BNC-BNC ומרכזיה, חבר ערוץ 2 של המחולל לסקופ.
  8. על ידי סמנים, מדוד את פערי הזמן המקסימלי  $\Delta t_{max}$  והמינימלי  $\Delta t_{min}$  בין הצתות עוקבות של טיריסטורים ורשום בטבלה 2
  9. בתדירות המינימלית, מדוד את שיא המתח  $V_{peak}$  ורוחב הפולסים  $\Delta t_{pls}$ . במידת הצורך, שנה את רגישות ציר הזמן.
  10. מדוד את גבולות הוויסות של התדירות והפרשי זמן בין הפולסים:
- מדוד את פערי הזמן המינימליים והמקסימליים  $\Delta t_{max}$ ,  $\Delta t_{min}$  בהתאמה, בתדר המינימלי והמקסימלי. טבלה 2

$f_{min} =$					
$f_{max} =$					
שיא המתח $V_{peak}, V$	פערי הזמן המקסימלי $\Delta t_{max}, mS$	פערי הזמן המינימלי $\Delta t_{min} mS$	רוחב הפולסים $\Delta t_{pls}, \mu S$		f, Hz
			Ch.1	Ch.2	
					$f_{min} =$
					$f_{max} =$

11. שמור גלי פולסים בקובץ image (...\*.jpg). שמור צורת מבנה הפולס.
12. חקירת מבנה הפולס.
13. שנה את רגישות ציר הזמן כך שניתן ליהיה לזהות את מבנה הפולס בערוץ 1, מלא טבלה 3 ושמור בקובץ (...\*.jpg) image

טבלה 3

Pulse(burst) width, mS	HF pulses per one burst	Carrier freq. $f_{car}, Hz$	Carrier freq. pulse, ton

14. נתק את ה- PULSE GENERATOR

## 10. מהלך הניסוי

### סגירת טיריסטור על ידי מקור חיצוני

1. הרכב סכימה לפי איור 10.1

בננה-בננה (50V), אדום 1.5מ" - 5

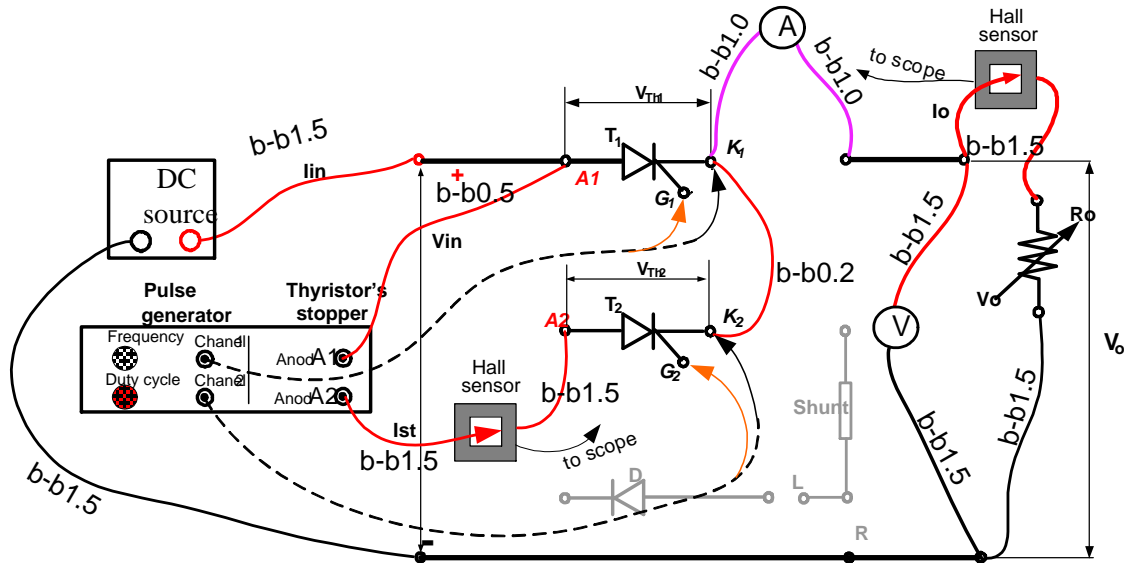
בננה-בננה (50V), אדום 0.5מ" - 1

בננה-בננה (50V), שחור 1.5מ" - 1

בננה-בננה (50V), שחור 0.5מ" - 1

בננה-בננה (50V), סגול 1.0מ" - 2

בננה-בננה (50V), סגול 0.2מ" - 1



איור 10.1. מעגל עם מקור חיצוני נוסף

2. כויל ערוצים 1 ו-3 בסקופ ל-1:10.

3. הפעל את PULSE GENERATOR ו-"Stopper"

4. הצב את התדירות המינימלית ופער זמני הצתה מינימלי

5. בדוק את הצורות של הפולסים בשערים של טיריסטורים.

6. קבע שהתדר של הפולסים נמצא באמצע תווך התדר.

7. שמור בקובץ image (\*.jpg, ...) את צורות גלי המתח  $V_{G1}$  ו- $V_{G2}$  בשערים של טיריסטורים 1,2.

8. הפעל את ספק הכוח "DC source" של הסכימה.

9. בעזרת הראוסטט  $R_0$  קבע את הערך של הזרם  $I_0^{plateau}$  בין  $1.5A \div 2A$  (החלק הישר של הסיגנל בזמן ההולכה).

10. מצא את התדירות המקסימלית לעבודה יציבה של המעגל, כאשר ה-duty cycle מקסימלי. במידה וייצור

הפולסים ייפסק, הורד את התדירות עד שהפולסים יופיעו שוב. אם הפולסים לא מתחדשים, כבה את

מקור ה-DC ולאחר מספר שניות הפעל ובדוק שוב.

11. שמור צורות הזרם המוצא  $I_0$  וזרם סגירת הטייריסטור  $I_{st}$  עבור תדירות מינימלית ומקסימלית  $f_{max}$ .

12. מדוד את אופיין הויסות עבור תדירות מינימלית ומקסימלית  $I_0, V_0=f(DU)$



- הפעל ערוץ Math ומדוד זרם ההפרש בין שני מדי הזרם. מדוד את  $I_{in\_DC}$ .

- מדוד ב- 6 נקודות בתדירות מינימלית ובתדירות מקסימלית ורשום תוצאות בטבלאות 4,5.

- עליך למדוד את מתח המקור המשני. לשם כך עליך לכבות את המקור הראשי ולהשאיר את מחולל

האותות פועל ואז למדוד את  $V_{th2\_peak}$ . לאחר מכן הפעל מחדש את המקור.

טבלה 4

$$V_{in} = \quad , V_{dc}; V_{th2\_peak} = \quad , V_{dc}$$

$I_{st\_DC}$ , A	$I_{in\_DC}$ , A	$t_{on}$ , mS	T, mS	$f_{min} =$			
				$V_{O\_DC}$ , V	$V_{O\_RMS}$ , V	$I_{O\_DC}$ , A	$I_{O\_RMS}$ , A

טבלה 5

$I_{st\_DC}$ , A	$I_{in\_DC}$ , A	$t_{on}$ , mS	T, mS	$f_{max} =$			
				$V_{O\_DC}$ , V	$V_{O\_RMS}$ , V	$I_{O\_DC}$ , A	$I_{O\_RMS}$ , A

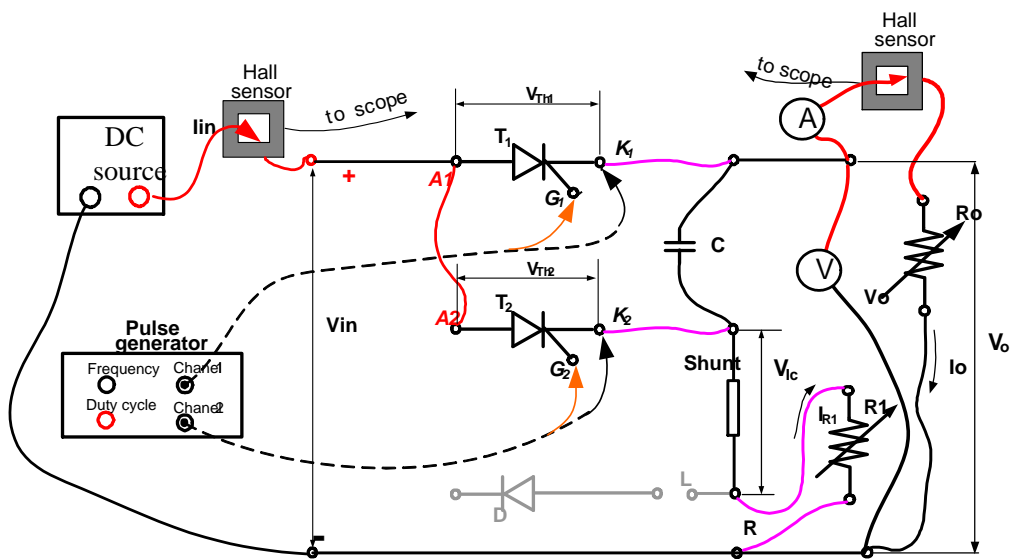
13. נתק את ספק הכוח "DC source".

14. נתק את ה- PULSE GENERATOR.

## סכימת Chopper-RC

1. הרכב סכימה לפי איור 10.2

- בננה-בננה (50V), אדום 1.5מ" - 4
- בננה-בננה (50V), אדום 0.2מ" - 2
- בננה-בננה (50V), שחור 1.5מ" - 1
- בננה-בננה (50V), שחור 0.5מ" - 1
- בננה-בננה (50V), סגול 1.0מ" - 2
- בננה-בננה (50V), סגול 0.5מ" - 2
- בננה-בננה (50V), סגול 0.2מ" - 2



איור 10.2 . מעגל RC-Chopper

2. כוון את הריאוסטט  $R_o$  למצב ההתנגדות המקסימלית וראוסטט  $R_1$  ל-  $20 \div 30 \Omega$  לפי הסרגל שעל הריאוסטט.

3. הפעל את PULSE GENERATOR

4. הפעל את ספק הכוח "DC source" של הסכימה.

5. קבע שהתדר של הפולסים נמצא באמצע תווך התדר.

6. בעזרת הריאוסטט  $R_o$  קבע את הערך של הזרם  $I_o^{plateau}$  (הזרם במהלך הסינגל היציב האופקי אל המוצא)

$$\text{בין } 1.5A \div 2A.$$

7. מדוד את האופיין הוויסות עבור תדירות מינימלית ומקסימלית  $I_o, V_o = f(DU)$

מדוד את הזוגות מתה-זרם של כניסה ויציאה ע"י סקופ.

8. רשום תוצאות בטבלאות 6,7 בדומה לניסוי הקודם.

$$V_{in} = \quad , V_{dc}$$

$I_{in\_DC}$ , A	$t_{on}$ , mS	T, mS	$f_{min} =$			
			$V_{O\_DC}$ , V	$V_{O\_RMS}$ , V	$I_{O\_DC}$ , A	$I_{O\_RMS}$ , A

$I_{in\_DC}$ , A	$t_{on}$ , mS	T, mS	$f_{max} =$			
			$V_{O\_DC}$ , V	$V_{O\_RMS}$ , V	$I_{O\_DC}$ , A	$I_{O\_RMS}$ , A

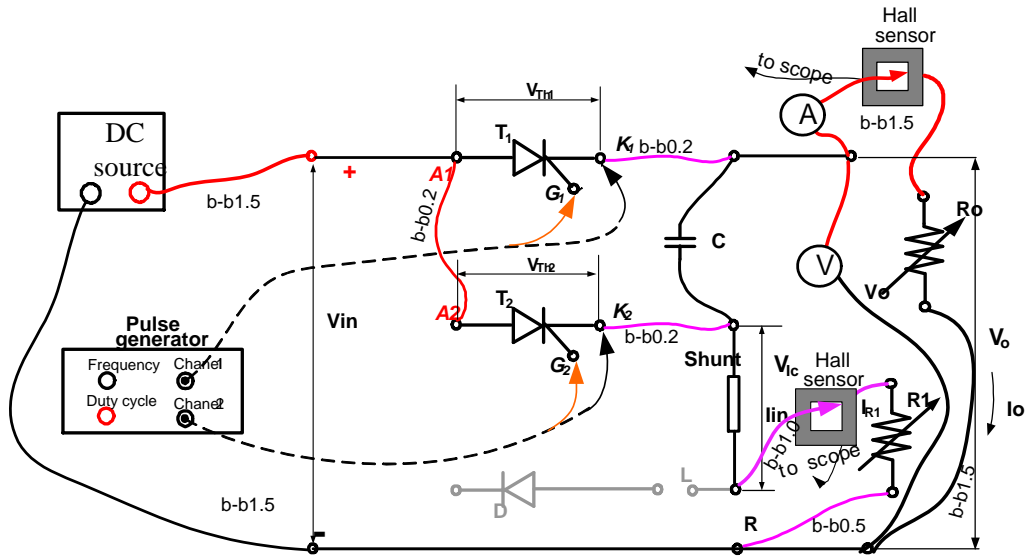
9. בנקודה אחרונה (  $DU = \max$  ) שמור בקובץ image (...\*.jpg) את צורות הגלים של:

10.  $V_o, I_o$  ;  $V_{in}, I_{in}$  .

11. נתק את ספק הכוח "DC source"

12. ניתוח תהליכים במעגל:

13. חבר את החיישנים וקבלי המדידה כבאיור 10.3 .



איור 10.3 RC-Chopper Analysis

14. חבר מעגל כבאיור 10.3. שמור בקובץ image (\*.jpg, ...) את צורות הגלים של:

$V_{Th1}, V_{Th2}$  ו-  $I_o, V_{G1}; I_{R1}, I_o; V_{Th1}, I_o$

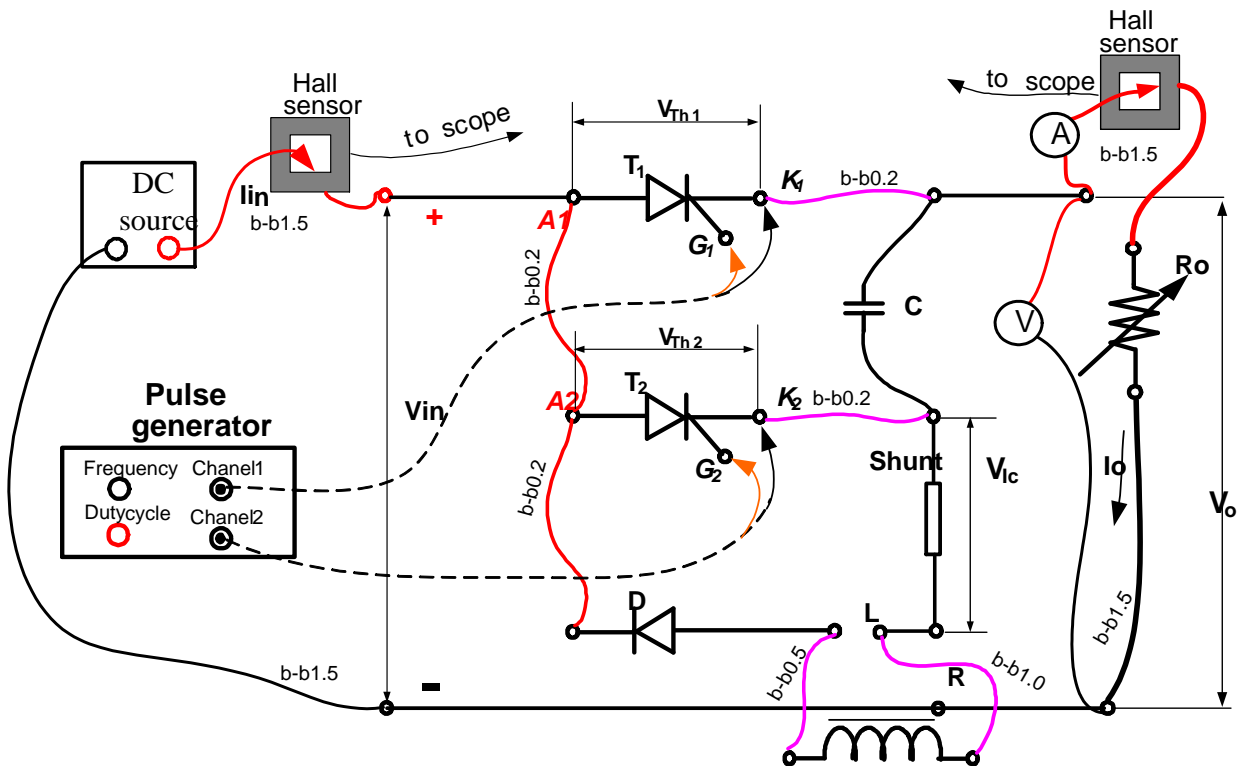
15. נתק את ספק הכוח "DC source".

16. נתק את ה- PULSE GENERATOR.

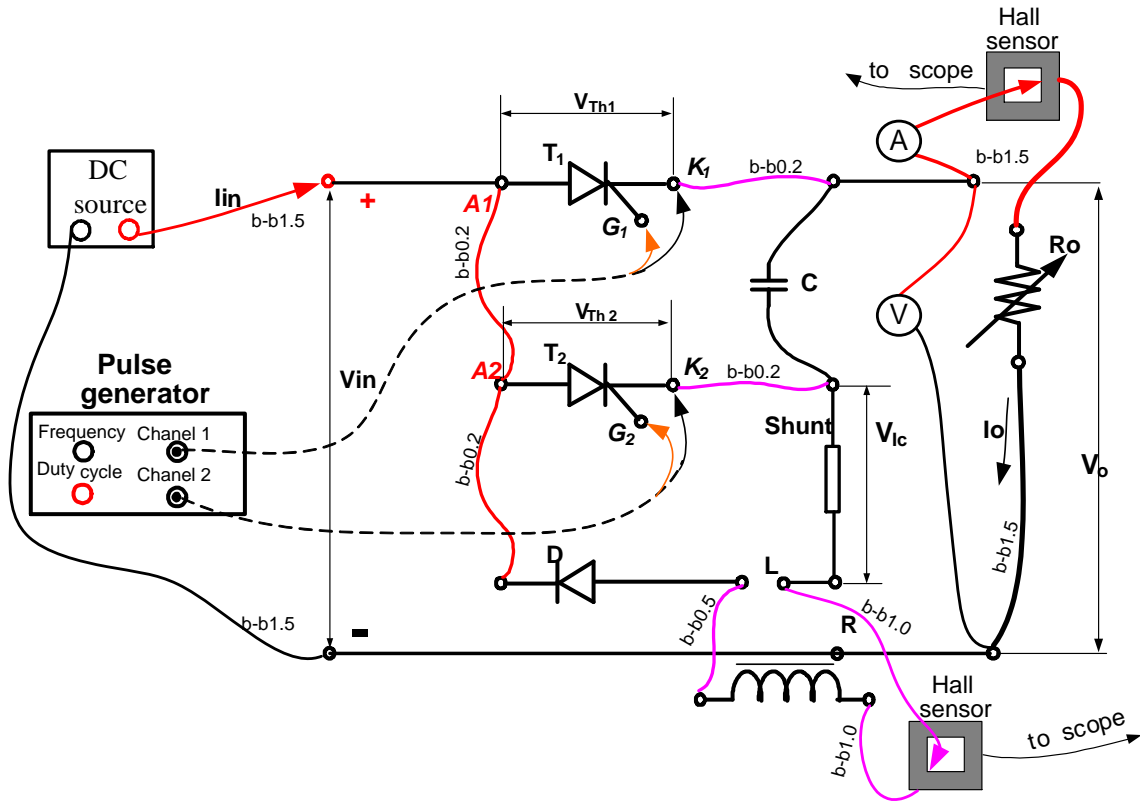
**Chopper-LC סכימת**

1. הרכב את הסכימה לפי איור 10.4 .

- 4 - בננה-בננה (50V), אדום "1.5מ"
- 2 - בננה-בננה (50V), אדום "0.2מ"
- 1 - בננה-בננה (50V), שחור "1.5מ"
- 1 - בננה-בננה (50V), שחור "0.5מ"
- 2 - בננה-בננה (50V), סגול "1.0מ"
- 2 - בננה-בננה (50V), סגול "0.5מ"
- 2 - בננה-בננה (50V), סגול "0.2מ"



איור 10.4 . LC-Chopper. Input-output characteristics



איור 10.5 . LC-Chopper analysis

2. כוון מתח מקור DC ל-35V.
3. כוון את הסליל L לערך  $\sim 3\text{mH} \div 1$ .
4. הפעל את PULSE GENERATOR.
5. קבע שהתדר של הפולסים נמצא באמצע תווך התדר.
6. בעזרת הראוסטט  $R_o$  קבע את הערך של הזרם  $I_o^{\text{plateau}}$  בין  $1.5\text{A} \div 2\text{A}$ .
7. הפעל את הספק כוח "DC source" של הסכימה.
8. אם פעימות הזרם במבוא ובמוצא של CHOPPER נעלמו, נתק וסגור את מחבר בנקודה K1 במעגל.
9. מדוד את האופייין הוויסות עבור תדירות מינימלית ומקסימלית  $V_o=f(DU)$ ,  $I_o$ . מדוד את מתח-זרם של כניסה ויציאה ע"י סקופ ורב מודד.
10. רשום תוצאות בטבלאות 8,9 כמקודם.

$$V_{in} = \quad , V_{dc}$$

$I_{in\_DC}$ , A	$t_{on}$ , mS	T, mS	$f_{min} =$			
			$V_{O\_DC}$ , V	$V_{O\_RMS}$ , V	$I_{O\_DC}$ , A	$I_{O\_RMS}$ , A

$I_{in\_DC}$ , A	$t_{on}$ , mS	T, mS	$f_{max}^{Stable} =$			
			$V_{O\_DC}$ , V	$V_{O\_RMS}$ , V	$I_{O\_DC}$ , A	$I_{O\_RMS}$ , A

11. בנקודה אחרונה ( $DU = \max$ ) שמור בקובץ image (...\*.jpg) את צורות הגלים של:

$V_o, I_o ; V_{in}, I_{in}$

12. נתק את ספק הכוח "DC source"

ניתוח תהליכים במעגל:

13. חבר את החיישנים וקבלי המדידה כבאיור 10.5 .
14. שמור בקובץ image (...\*.jpg) את צורות הגלים של:  $I_L, I_o; I_L, V_{IC}; V_{Th1}, I_o;$  .
15. כוון את הסליל L לערך  $\sim 10\text{mH}$  .
16. שמור בקובץ image (...\*.jpg) את צורות הגלים של:  $I_L, I_o; I_L, V_{IC}; V_{Th1}, I_o;$  .
17. נתק את ספק הכוח "DC source" .
18. נתק את ה- PULSE GENERATOR .
19. סדר את העמדה.

עיבוד התוצאות

פתח ב- [//www.ee.bgu.ac.il/~indela](http://www.ee.bgu.ac.il/~indela) Appendix 7  $\Leftarrow$  קובץ EXEL : "Lab5 \_\_\_"

חישוב הנצילות לפי טבלאות 4-5 יתבצע לפי

$$\eta_{45} = \frac{I_{out_{RMS}} \cdot V_{out_{RMS}}}{I_{in_{DC}} \cdot V_{in_{DC}} + I_{st_{DC}} \cdot V_{th_{2peak}}}$$