ממירי מתח ממותגים (044139)

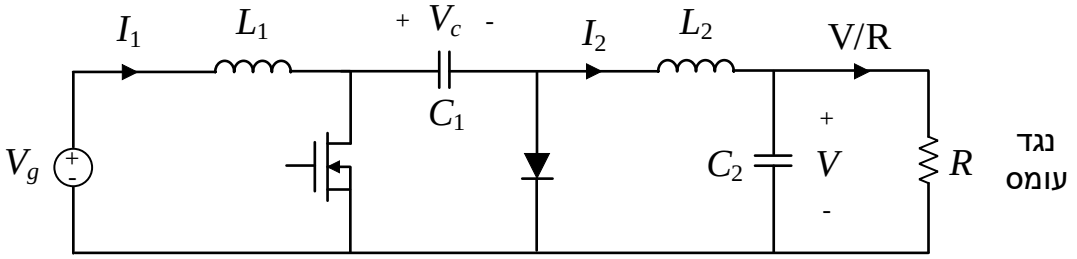
מועד ב'
חורף 2020-2021

- משך הבחינה 3 שעות.
- מותר להשתמש בכל חומר עזר כתוב.
- מותר להשתמש במחשבון.
- השימוש בטלפונים ניידים, מחשבים ניידים או כל רכיב תקשורת אסור.
- יש לענות על כל השאלות.
- מותר ומומלץ להשתמש בקרובים סבירים.
- אין לכתוב את המבחן בעט אדום.
- **יש להקפיד על הפרדה ברורה בין הסעיפים השונים.**
- **יש לנמק באופן מלא את כל שלבי הפתרון.**
- **יש להדגיש את התשובות הסופיות.**

ב ה צ ל ח ה !

שאלה 1 (50 נק')

נתבונן בממיר מסוג Cuk :



(זהו ממיר חדש, שלא ראינו בהרצאות או בתרגולים)

הנחות:

- הממיר עובד ב – CCM:
  - בחלק הראשון של המחזור מוליך הטרנזיסטור (בלבד).
  - בחלק השני של המחזור מוליכה הדיודה (בלבד).
- הדיודה והטרנזיסטור מתנהגים כמו מתגים אידיאליים, והממיר חסר הפסדים.
- הקבלים גדולים מאוד, והמתחים על פניהם קבועים בקירוב.

נתונים:

- ה – duty-cycle הוא D
- תדר המיתוג הוא f_s
- מתח הכניסה הוא V_g
- כמו כן נתונים הסלילים L_1, L_2 המופיעים בשרטוט, ונגד העומס R .

<u>סעיף א (25 נקודות)</u>

חשבו את הגבר המתח V/V_g, ואת הגבר הזרם $\frac{V/R}{I_1}$.

<u>פתרון - סעיף א</u>

המתח הממוצע על L_1 חייב להתאפס:

$$DV_g + (1-D)(V_g - V_c) = 0$$

המתח הממוצע על L_2 חייב להתאפס:

$$D(-V_c - V) + (1-D)(-V) = 0$$

הזרם הממוצע בקבל C_1 חייב להתאפס:

$$DI_2 + (1-D)I_1 = 0$$

הזרם הממוצע בקבל C_2 חייב להתאפס:

$$D\left(I_2-\frac{V}{R}\right)+(1-D)\left(I_2-\frac{V}{R}\right)=0$$

אלגברה:

$$V_g=(1-D)V_c$$
$$-DV_c=V$$
$$DI_2+(1-D)I_1=0$$
$$I_2=\frac{V}{R}$$

נציב ונקבל:

$$V_g=(1-D)\left(-\frac{V}{D}\right)$$
$$D\frac{V}{R}+(1-D)I_1=0$$

ולכן

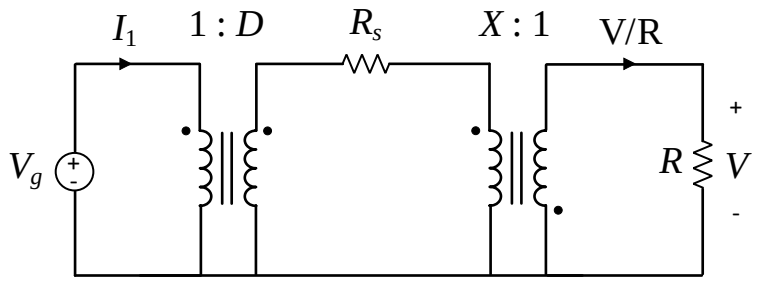
$$\frac{V}{V_g}=-\frac{D}{1-D}$$
$$\frac{V/R}{I_1}=-\frac{1-D}{D}$$

זוהי התשובה המבוקשת.

ניתן להכפיל את המשוואות זו בזו, ולראות שאכן מתקיים שימור הספק: $V_gI_1=\frac{V^2}{R}$.

<u>סעיף ב (10 נקודות)</u>

להלן מודל אות ממוצע של הממיר:



חשבו את הנגד R_s והקבוע X המופיעים באיור.

<u>פתרון - סעיף ב</u>

הממיר חסר הפסדים ולכן $R_s=0$.

בנוסף, לפי הגבר המתח שחושב בסעיף הקודם מקבלים ישירות $X=1-D$.

סעיף ג (5 נקודות)

כעת נתון שבכל מחזור מיתוג מפסידים אנרגיה W. חשבו את נצילות הממיר (η) כפונקציה של D, f_s, V, R, W. כמו כן חשבו את תדר המיתוג f_s שעבורו הנצילות היא 90%.

פתרון - סעיף ג

הנצילות:

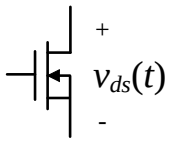
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{\frac{V^2}{R}}{\frac{V^2}{R} + Wf} = \frac{V^2}{V^2 + RWf}$$

תדר המיתוג שעבורו הנצילות היא 90%:

$$\frac{V^2}{V^2 + RWf} = 0.9 \qquad \Rightarrow \qquad f = \frac{V^2}{9RW}$$

סעיף ד (10 נקודות)

נסמן את המתח על הטרנזיסטור כך:



אילו מהמשפטים הבאים נכון?

- ככל ש - D גדול יותר, כך $v_{ds}(t)$ המקסימאלי גדול יותר.
- ככל ש - D גדול יותר, כך $v_{ds}(t)$ המקסימאלי קטן יותר.

נמקו את תשובתכם (תשובה נכונה עם נימוק שגוי לא תתקבל).

פתרון - סעיף ד

מתח השיא על הטרנזיסטור מתקבל בחלק השני של המחזור, כאשר הטרנזיסטור כבוי והדיודה מוליכה.
בחלק זה המתח הוא

$$v_{ds}(t) = V_c$$

לפי ההנחות של התרגיל, המתח V_c בקירוב קבוע.

כפי שעשינו בפתרון לסעיף א', המתח הממוצע על L_1 חייב להתאפס, ולכן

$$DV_g + (1-D)(V_g - V_c) = 0$$

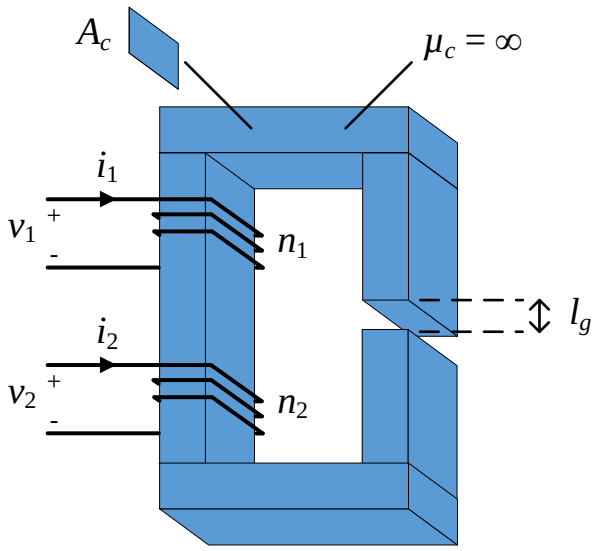
ומכאן מקבלים

$$V_c = \frac{V_g}{1-D}$$

ולכן, ככל ש - D גדול יותר, כך $v_{ds}(t)$ המקסימאלי גדול יותר.

שאלה 2 (50 נק')

נתבונן בהתקן המגנטי הבא:



נתונים:

- מספר הליפופים בסליל העליון הוא n_1, ומספר הליפופים בסליל התחתון הוא n_2.
- הפרמאביליות של הליבה המגנטית אינסופית $(\mu_c = \infty)$.
- הפרמאביליות של האוויר היא μ_0.
- שטח החתך של הליבה הוא A_c.
- אורך המסלול המגנטי במרכז ההתקן (כולל חריץ האוויר) הוא l_m.
- אורך חריץ האוויר הוא l_g.

<u>סעיף א (10 נקודות)</u>

חשבו את ההשראות העצמית של הסליל העליון (L_1) ושל הסליל התחתון (L_2).

<u>פתרון - סעיף א</u>

עבור הסליל העליון: אנו מעוניינים למצוא את ההשראות העצמית של הסליל, ולכן נניח לצורך החישוב ש $i_2 = 0$. כעת, מכיוון שהפרמאביליות של הליבה אינסופית, ניתן להסיק שהשדה המגנטי בליבה שווה לאפס.

משום כך, לפי חוק אמפר, השדה המגנטי בחריץ האוויר הוא

$$H_g l_g = n_1 i_1 \quad \Rightarrow \quad H_g = \frac{n_1 i_1}{l_g}$$

וצפיפות השטף המגנטי בחריץ האוויר היא

$$B = \mu_0 H_g = \frac{\mu_0 n_1 i_1}{l_g}$$

מכיוון שאין מקורות מגנטיים, B שקיבלנו זהה בכל ההתקן, גם בליבה וגם בחריץ האוויר.

כעת, לפי חוק פאראדיי, המתח שמושרה בסליל העליון הוא

$$v_1 = n_1 A_c \frac{dB}{dt} = \frac{\mu_0 n_1^2 A_c}{l_g} \frac{di_1}{dt}$$

ולכן ההשראות העצמית של הסליל העליון היא

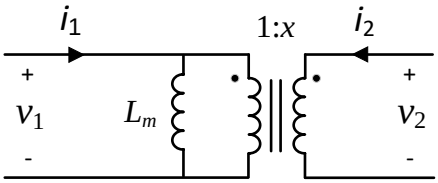
$$L_1 = \frac{\mu_0 n_1^2 A_c}{l_g}$$

ובצורה דומה, ההשראות העצמית של הסליל התחתון היא

$$L_2 = \frac{\mu_0 n_2^2 A_c}{l_g}$$

<u>סעיף ב (10 נקודות)</u>

ניתן לייצג את היחס בין המתחים והזרמים על ידי המעגל השקול הבא:



(השנאי בשרטוט הוא שנאי אידיאלי).

חשבו את ההשראות L_m ואת יחס ההשנאה x המופיעים בשרטוט.

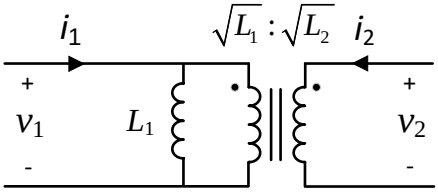
הביעו את תשובתכם כפונקציה של $n_1, n_2, \mu_0, A_c, l_m, l_g$.

<u>פתרון - סעיף ב</u>

מקדם הצימוד בהתקן מסוג זה הוא $k=1$. ניתן להסיק זאת במספר דרכים:

1. במעגל השקול המופיע בשאלה לא מופיעות השראויות זליגה
2. ראינו ש - $k=1$ בהרצאה, כאשר דיברנו על משוואות השנאי.
3. אם נקצר את הסליל התחתון, B חייב להיות אפס בכל ההתקן (לפי חוק פאראדיי), ולכן המתח המושרה בשני הסלילים חייב להיות אפס, מכיוון שהם מלופפים על אותו חלק של המעגל מגנטי. כלומר, אם מקצרים את הסליל התחתון, המתח v_1 חייב להיות אפס לכל זרם i_1. לפי המעגל השקול של השנאי נובע מכך שהשראות הזליגה חייבת להיות אפס, ומקדם הצימוד חייב להיות $k=1$.

מכיוון ש $k=1$, המעגל השקול שמתאר את ההתקן המגנטי הוא

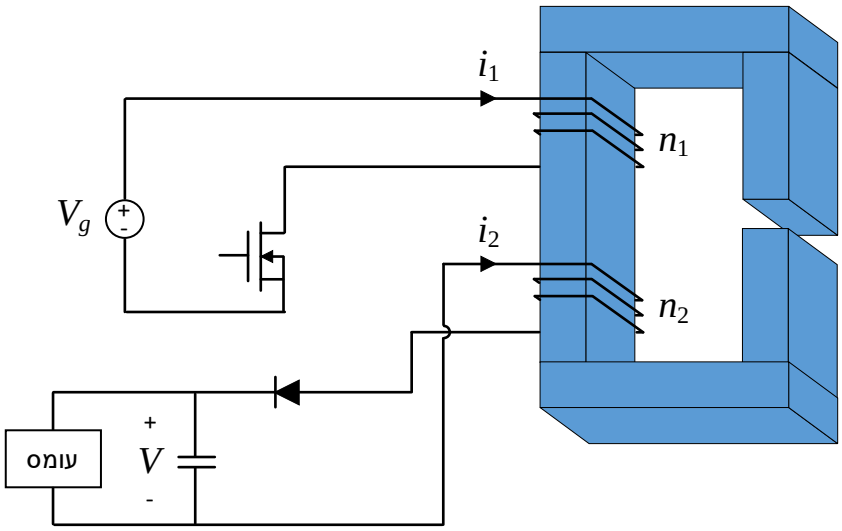


ומכאן ניתן להסיק ש

$$L_m = L_1 = \frac{\mu_0 n_1^2 A_c}{l_g}$$

$$x = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} = \sqrt{\frac{\frac{\mu_0 n_2^2 A_c}{l_g}}{\frac{\mu_0 n_1^2 A_c}{l_g}}} = \frac{n_2}{n_1}$$

כעת מחברים את ההתקן המגנטי כחלק מהממיר הבא:



הנחות:

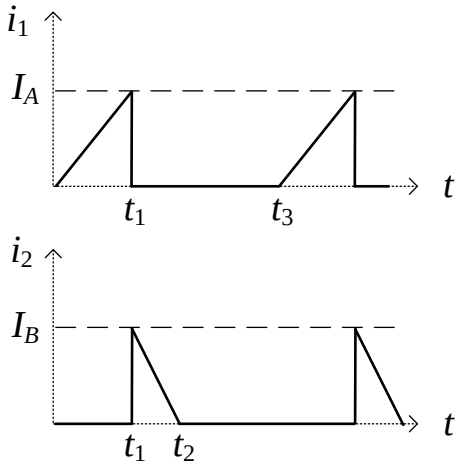
- הטרנזיסטור והדיודה מתוארים כמתגים אידיאליים, והממיר חסר הפסדים.
- קבל המוצא גדול מאוד, והמתח עליו (V) בקירוב קבוע.
- הממיר <u>עובד ב – DCM</u>, ומחזור המיתוג מחולק לשלושה חלקים:
  - בחלק הראשון של המחזור מוליך הטרנזיסטור.
  - בחלק השני של המחזור מוליכה הדיודה.
  - בחלק השלישי של המחזור גם הטרנזיסטור וגם הדיודה אינם מוליכים.

נתונים:

- זמן המחזור הוא T_s.
- ה – duty-cycle הוא D, כלומר הטרנזיסטור מוליך בפרק הזמן $[0, DT_s]$.
- מתח הכניסה הוא V_g.
- מתח המוצא הוא V.

סעיף ג (20 נקודות)

הזרמים i_1, i_2 המופיעים בשרטוט נתונים באיור הבא:



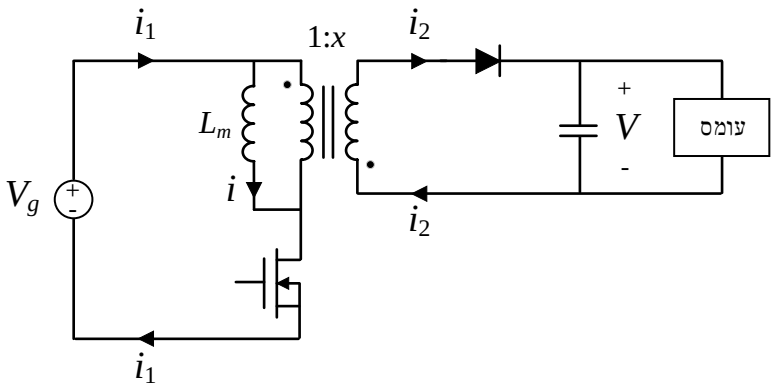
חשבו את הקבועים t_1, t_2, t_3, I_A, I_B המופיעים באיור.

הביעו את תשובותיכם כפונקציה של T_s, D, V_g, V, L_m, x.

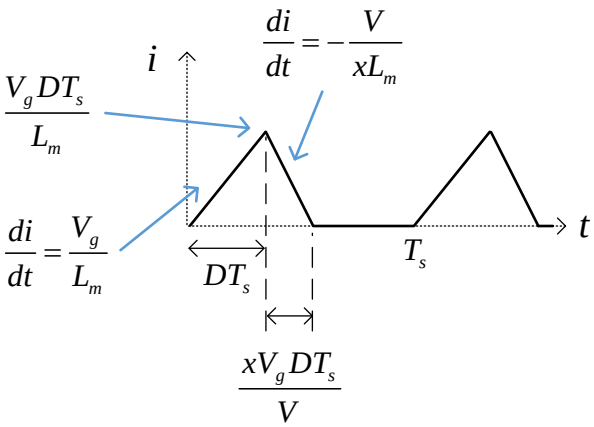
שימו לב – ההשראות L_m ויחס ההשנאה x מופיעים בשרטוט בסעיף ב'.

פתרון - סעיף ג

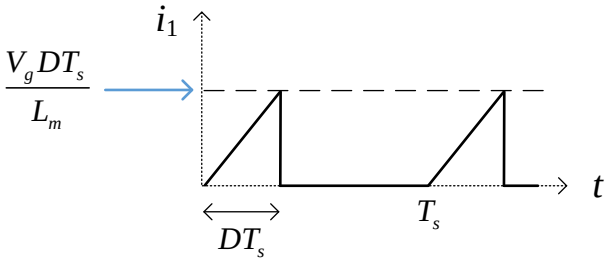
הממיר הוא ממיר flyback שראינו בהרצאה ובתרגול. הממיר מתואר על ידי המעגל השקול הבא:



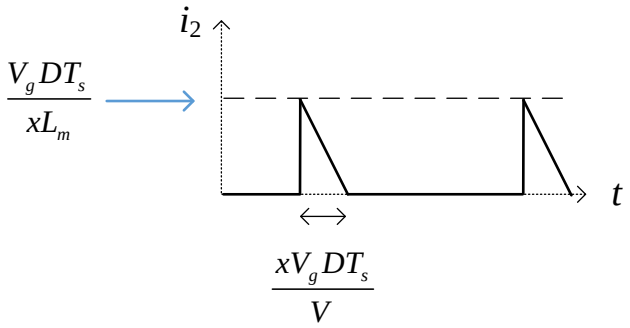
נתון שהממיר עובד ב – DCM, ולכן הזרם $i(t)$ בהשראות המגנוט נראה כך:



בחלק הראשון של המחזור מתקיים $i_1(t)=i(t)$ ולכן הזרם $i_1(t)$ נראה כך:



בחלק השני של המחזור מתקיים $i_2(t)=i(t)/x$, ולכן הזרם $i_2(t)$ נראה כך:



ומכאן מתקבלים הקבועים

$$t_1 = DT_s$$

$$t_2 = DT_s + \frac{xV_g DT_s}{V} = DT_s\left(1 + x\frac{V_g}{V}\right)$$

$$t_3 = T_s$$

$$I_A = \frac{V_g DT_s}{L_m}$$

$$I_B = \frac{V_g DT_s}{xL_m}$$

<u>סעיף ד (10 נקודות)</u>

באותו ממיר, חשבו את הזרם לעומס (I_{out}). הביעו את התשובה כפונקציה של t_1, t_2, t_3, I_A, I_B המופיעים באיור בסעיף ג'. ניתן להניח שקבל המוצא גדול מאוד, ולכן המתח והזרם בעומס קבועים בקירוב.

<u>פתרון - סעיף ד</u>

הזרם לעומס הוא הממוצע של הזרם $i_2(t)$ לאורך מחזור:

$$I_{out} = \frac{1}{t_3}\int_{t_1}^{t_2} i_2(t)\,dt = \frac{1}{t_3}\cdot\frac{1}{2} I_B (t_2 - t_1) = \frac{t_2 - t_1}{2t_3} I_B$$