ממירי מתח ממותגים
גיליון שיעורי בית 4

<u>זמן הגשה</u>

- יש להגיש את הגיליון עד תרגול מספר 13.

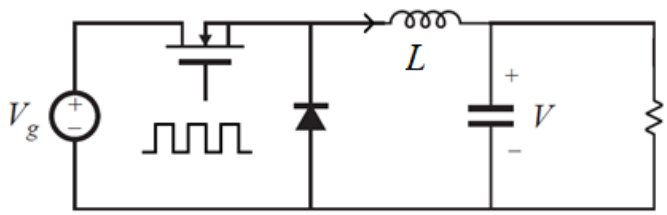
<u>הנחיות כלליות</u>

- מומלץ להגיש את התרגיל בזוגות.
- אנא ציינו בבירור שמות ומספרי תעודות זהות בעמוד הראשון.
- אנא הגישו את התרגיל כקובץ PDF לתיבת ההגשה באתר הקורס.
- אפשר להגיש גיליון הרשום בכתב יד. במקרה זה סרקו אותו והגישו קובץ PDF.
- אתם מוזמנים לפנות לצוות הקורס בכל שאלה.

<u>שאלה 1</u>

שאלה זו עוסקת בתכנון סליל בממיר Buck.

נתבונן בממיר הבא:



הנחות:

- הממיר עובד ב – CCM.
- הממיר חסר הפסדים.
- הדיודה והטרנזיסטור הם מתגים אידיאליים.
- קבל המוצא גדול מאוד, והמתח עליו קבוע.

נתונים:

$V_g = 40\ \text{V}$ $\qquad f_s = 50\ \text{kHz}$

$V = 20\ \text{V}$ $\qquad P_{out} = 100\ \text{W}$

א. חשבו את ה – duty-cycle, ואת הזרם הממוצע בסליל (I) .

ב. חשבו את ההשראות L שעבורה $\Delta i = 0.1I$, כאשר Δi היא אדוות הזרם בסליל (ripple).
כמו כן חשבו את הזרם המקסימאלי בסליל $I_{\max} = I + \Delta i$.

כעת יש לתכנן סליל עם השראות L , וזרם מקסימאלי $I_{\max}$.

נתונים:

צפיפות השטף המגנטי המקסימאלית בליבה	$B_{\max} = 0.25\ \mathrm{T}$
מקדם הניצול של החלון	$K_u = 0.5$
ההתנגדות הסגולית של חוטי הנחושת בטמפרטורת החדר	$\rho = 1.724 \cdot 10^{-8}\ \ \Omega \cdot \mathrm{m}$
הפרמאביליות של הריק	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \dfrac{\mathrm{V \cdot s}}{\mathrm{A \cdot m}}$
ההתנגדות הרצויה של הסליל	$R = 40\ \mathrm{m\Omega}$

ג. בחרו ליבה מגנטית בגודל מתאים מהרשימה הבאה:
(שימו לב ליחידות: K_g בטבלה נתון ב - cm^5)

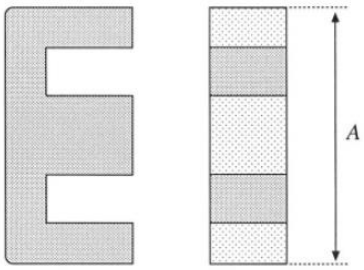


Fig. D.2

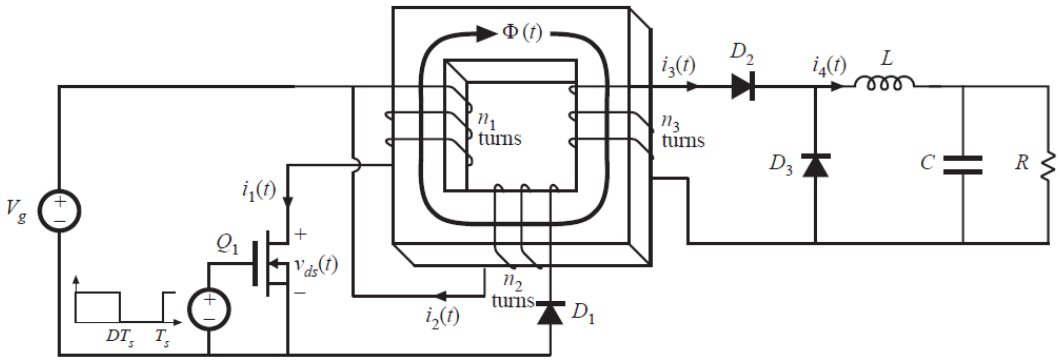
Core type (A) (mm)	Geometrical constant K_g (cm^5)	Geometrical constant K_{gfe} (cm^4)	Cross-sectional area A_c (cm^2)	Bobbin winding area W_A (cm^2)	Mean length per turn MLT (cm)	Magnetic path length ℓ_m (cm)	Core weight (g)
EE12	$0.731 \cdot 10^{-3}$	$0.458 \cdot 10^{-3}$	0.14	0.085	2.28	2.7	2.34
EE16	$2.02 \cdot 10^{-3}$	$0.842 \cdot 10^{-3}$	0.19	0.190	3.40	3.45	3.29
EE19	$4.07 \cdot 10^{-3}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$	0.23	0.284	3.69	3.94	4.83
EE22	$8.26 \cdot 10^{-3}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$	0.41	0.196	3.99	3.96	8.81
EE30	$85.7 \cdot 10^{-3}$	$6.7 \cdot 10^{-3}$	1.09	0.476	6.60	5.77	32.4
EE40	0.209	$11.8 \cdot 10^{-3}$	1.27	1.10	8.50	7.70	50.3
EE50	0.909	$28.4 \cdot 10^{-3}$	2.26	1.78	10.0	9.58	116
EE60	1.38	$36.4 \cdot 10^{-3}$	2.47	2.89	12.8	11.0	135
EE70/68/19	5.06	$75.9 \cdot 10^{-3}$	3.24	6.75	14.0	18.0	280

רשמו את נתוני הליבה: $A_c,\ W_A, MLT$.

ד. חשבו את אורך חריץ האוויר (l_g), מספר הליפופים (n), ואת שטח החתך של המוליך (A_w).
רמז: בחישובים יש להמיר יחידות מ - cm ל - m .

שאלה 2

נתבונן בממיר מסוג Forward :



הנחות:

- הממיר עובד ב – CCM.
- הממיר חסר הפסדים. הדיודות והטרנזיסטורים אידיאליים.
- קבל המוצא גדול מאוד, והמתח עליו (V) קבוע.
- השדות המגנטיים מחוץ לליבה זניחים, וניתן להניח צימוד מלא בין הסלילים.

נתוני הממיר:

$V_g = 48\ \text{V}$ $\qquad$ $L = 6.2\ \mu\text{H}$

$f_s = 200\ \text{kHz}$ $\qquad$ $R = 0.33\ \Omega$

$D = 0.252$

נתוני השנאי:

$A_c = 0.41\ \text{cm}^2$ (cross-section area)

$l_m = 3.96\ \text{cm}$ (magnetic path length)

$\mu = 3000\mu_0$ (permeability of the core)

$n_1 = 11$, $n_2 = 22$, $n_3 = 3$

א. חשבו את השראות המגנוט של השנאי, כאשר
   a. היא מיוצגת במקביל לסליל 1.
   b. היא מיוצגת במקביל לסליל 2.
   c. היא מיוצגת במקביל לסליל 3.

ב. שרטטו בצורה מדויקת את הזרמים $i_1(t), i_2(t), i_3(t), i_4(t)$ לאורך שני מחזורים. עבור כל צורת גל חשבו את הזרם המקסימאלי. רמז: חשבו את הזרמים בסדר זה: $i_4(t)$, $i_3(t)$, $i_m(t)$ (הזרם בהשראות המגנוט, כאשר היא מיוצגת במקביל לסליל 1), $i_2(t)$, $i_1(t)$.

ג. שרטטו את השטף המגנטי $\Phi(t)$ בליבה.

ד. בחרו את החומר המגנטי המתאים ביותר ליישום זה, מהרשימה הבאה:

Material	B_{sat}	Relative core loss
ferrite	0.4 T	low
powdered iron	0.8 T	medium
iron laminations	1.5 T	high

רמז: מהי צפיפות השטף המקסימאלית $B_{\max}$ בליבה ?

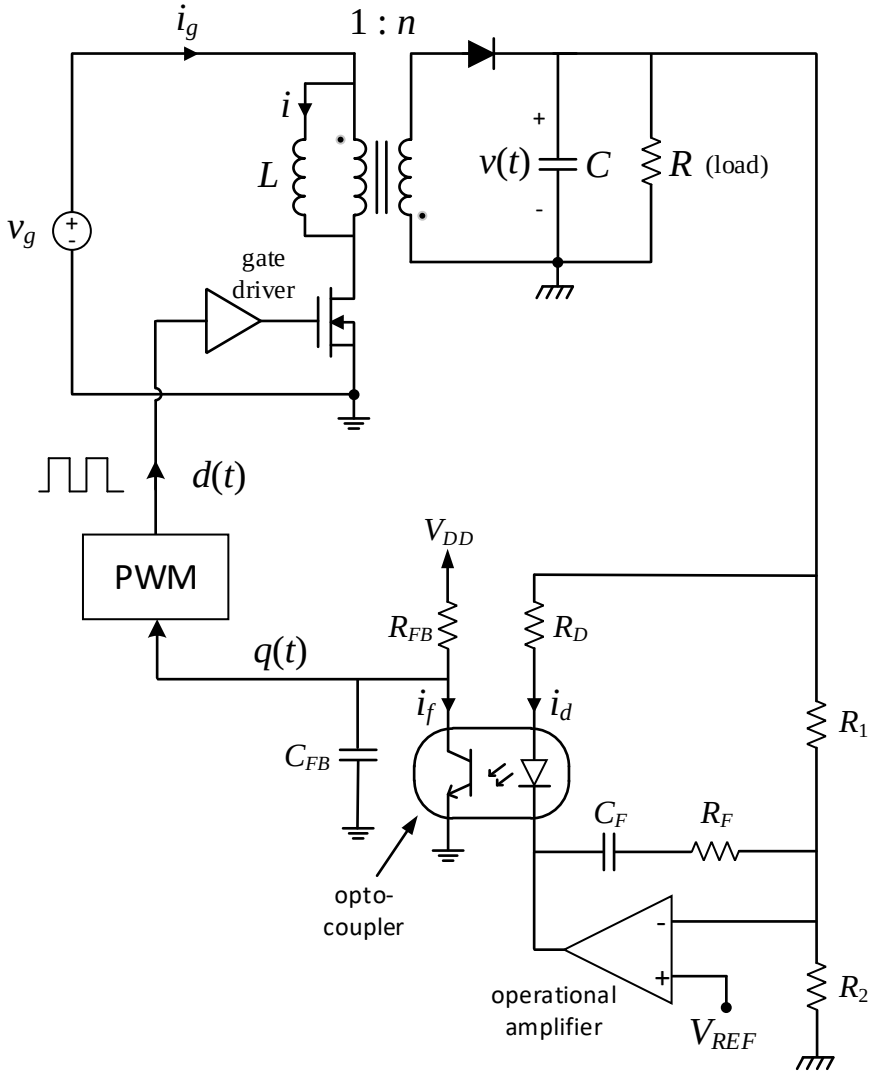
ה. שרטטו באופן איכותי את לולאת ההיסטרזיס בדיאגרמת $B-H$.

ו. כעת נתון ששטח לולאת ההיסטרזיס הינו $3\ \mathrm{J/m^3}$. חשבו את הפסד ההספק בליבה המגנטית, ואת נצילות הממיר. ניתן להזניח את כל ההפסדים האחרים.

ז. שרטטו את המתח $v_{ds}(t)$ על הטרנזיסטור, וחשבו את המתח המקסימאלי.

<u>שאלה 3</u>

להלן ממיר Flyback הכולל מערכת משוב שלילי לבקרה על מתח המוצא:



הנחות:

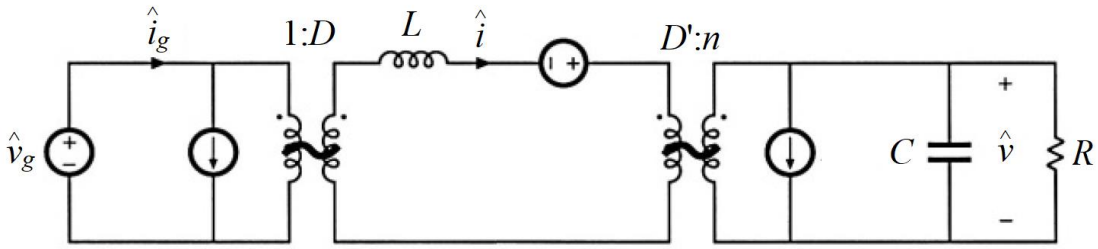
- הממיר חסר הפסדים,
- הממיר עובד ב – CCM,
- ניתן להתעלם מהשראויות הזליגה של השנאי,
- לאורך מחזור מיתוג יחיד האות הממוצע כמעט קבוע,
- הזרם בהשראות המגנוט משולש בקירוב, ומתח המוצא $v(t)$ בעל אדווה זניחה,
- מגבר השרת אידיאלי,
- V_{DD} הוא מתח קבוע,
- V_{REF} הוא מתח קבוע,
- ה – duty-cycle נתון ע"י $d(t)=q(t)/V_m$, כאשר V_m מתח נתון,
- ה – opto-coupler מאופיין על ידי קבוע נתון

$$\mathrm{CTR}=\hat{i}_f/\hat{i}_d$$

(להסבר נוסף ראו הרצאה בנושא 'יישומים').

א. חשבו את V , D, I_g , I , Q , I_F בנקודת העבודה, כפונקציה של נתוני המעגל.
הניחו כי נתונים המתחים V_g, V_{DD}, V_{REF} .

ב. הממיר מתואר באות קטן ע"י מעגל שקול:



(מעגל זה כולל את דרגת ההספק בלבד, ולא מייצג את מערכת הבקרה)

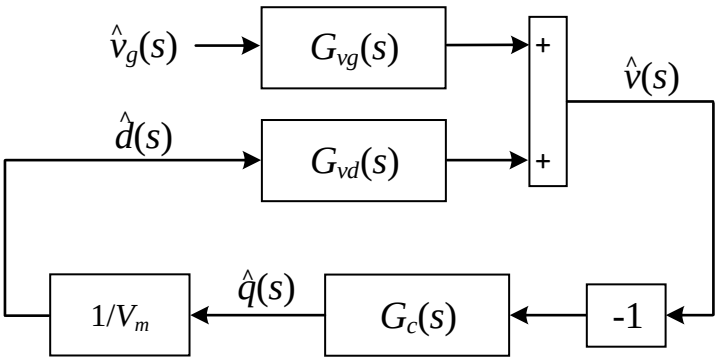
חשבו את הערך של מקורות הזרם ומקור המתח המופיעים באיור.

ג. דרגת ההספק של הממיר מתוארת באות קטן על ידי המשוואה

$$\hat{v}(s)=G_{vd}(s)\hat{d}(s)+G_{vg}(s)\hat{v}_g(s)$$

חשבו את פונקציות התמסורת $G_{vd}(s), G_{vg}(s)$.

ד. להלן תרשים זרימת אות המתאר את המעגל:



חשבו את $G_c(s)$.

רמז: ראו הרצאה בנושא 'יישומים'.

ה. חשבו את הגבר החוג $T(s)$ ואת פונקציית התמסורת $\hat{v}(s)/\hat{v}_g(s)$.

הציגו את התשובה כתלות בפונקציות התמסורת שחושבו בסעיפים הקודמים.

ו. נניח שמתח הכניסה כולל רעש קטן בתדר של 100 הרץ:

$$v_g(t)=V_g+\hat{v}_g(t)=V_g+5\cos(\omega_0 t)\quad [\mathrm{V}]\qquad,\quad \omega_0=2\pi 100$$

וכמו כן נתון כי $\left|G_{vg}(j\omega_0)\right|=-20\ \mathrm{dB}$

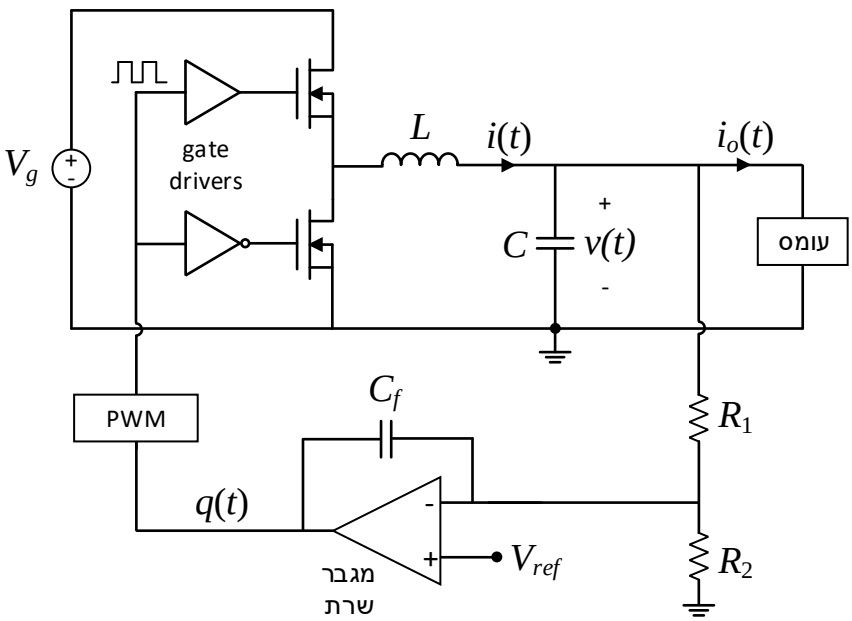
חשבו במקורב את $\left|T(j\omega_0)\right|$ כך שאמפליטודת הרעש במתח המוצא $v(t)$ תהיה $10\ \mathrm{mV}$.

רשמו את התשובה ביחידות dB.

<u>שאלה 4</u>

(זוהי שאלה ממבחן מועד א', חורף 2019-2020)

להלן ממיר Buck הכולל מערכת משוב שלילי לבקרה על מתח המוצא:



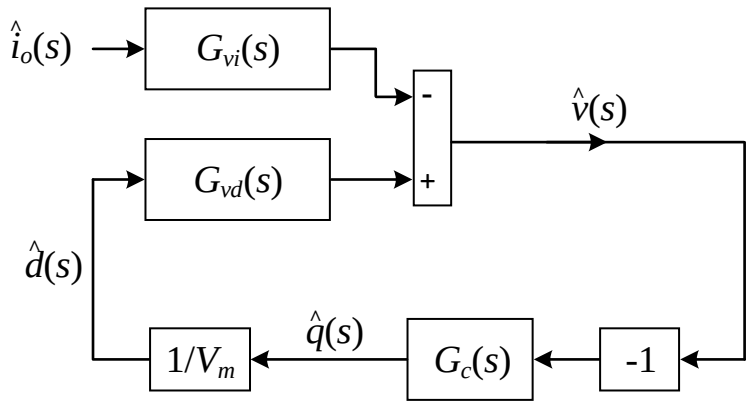
הנחות:

- הממיר חסר הפסדים
- מגבר השרת אידיאלי, ובנקודת העבודה המתח בין הכניסות שלו אפס.
- הזרם בנגד R_1 זניח לעומת הזרם בעומס (i_o).
- V_{ref} הוא מתח קבוע
- V_g הוא מתח קבוע
- ה – duty-cycle נתון ע"י $d(t)=\frac{q(t)}{V_M}$, כאשר V_M מתח נתון.
- הטרנזיסטור העליון מוליך בחלק הראשון של מחזור המיתוג.

א. מהו התחום של $d(t)$ שעבורו הממיר עובד ב – CCM ? נמקו.

ב. חשבו את V, D בנקודת העבודה, כפונקציה של נתוני המעגל.

בסעיפים הבאים הדינאמיקה של הממיר מתוארת כתרשים זרימת אות:



כל האותות המוצגים בתרשים הם אותות קטנים.

התמסורות $G_{vd}(s), G_{vi}(s)$ מייצגות את דרגת ההספק של הממיר, ו - $G_c(s)$ מייצגת את מערכת הבקרה.

ג. חשבו את פונקציות התמסורת $G_{vi}(s)$, $G_{vd}(s)$ כפונקציה של נתוני המעגל.

ד. חשבו את פונקציית התמסורת $G_c(s)$, כפונקציה של נתוני המעגל.

ה. רשמו ביטוי להגבר החוג $T(s)$ כפונקציה של $G_{vd}(s), G_{vi}(s), G_c(s)$ והמתח V_m .

ו. בסעיף זה בלבד הגבר החוג נתון ע"י

$$T(s)=\frac{10^8}{\left(1+\frac{s}{A}\right)\cdot\left(1+\frac{s}{10A}\right)\left(1+\frac{s}{100A}\right)}$$

כאשר A קבוע חיובי כלשהו.

שרטטו באופן איכותי את הגבר החוג $T(s)$, וחשבו את שולי הפאזה (phase-margin).

שימו לב: במבחן צריך לדעת לשרטט עקומי בודה פשוטים, כמו בשאלה זו.