

פתרון מוצע לבחינת משה"ח במערכות הספק ומכונות חשמל והינע - 733913

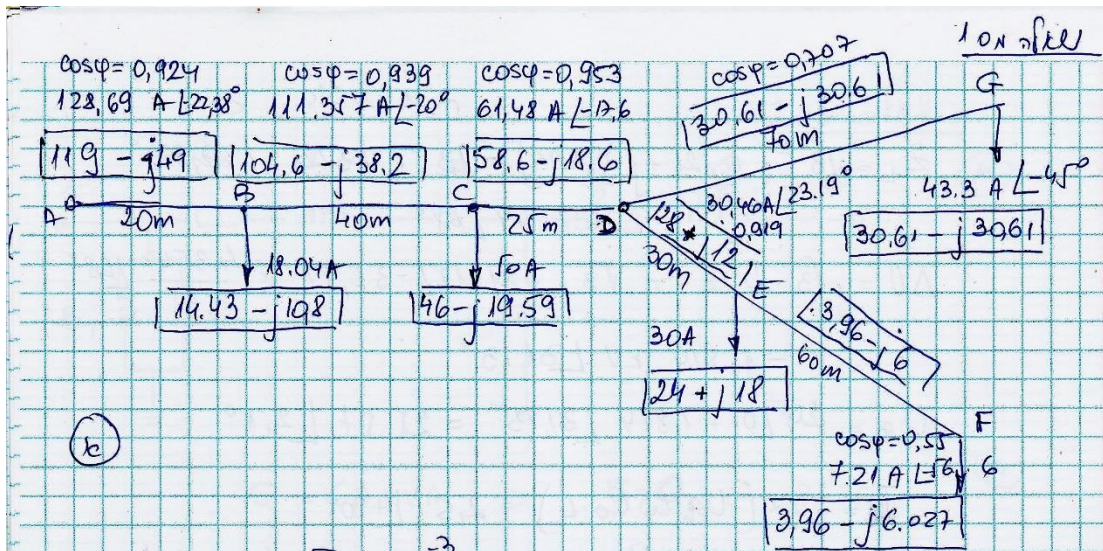
מועד אביב תשע"ח, מרץ 2018

מחבר: גב' פליציה קלרמן, מר יואב אפודי, מר גיל כהן מכללת אורט הרמלין

חלק ראשון – מערכות הספק

שאלה מספר 1

א.



$$\Delta U_{r_{DG}} = \sqrt{3} X_0 \sum L_k I_{rk} = \sqrt{3} \times 0.3 \times 10^{-3} \times 70 \times 30.6 = 1.11 \text{ V}$$

$$\Delta U_{r_{DG}} = \sqrt{3} \times 0.3 \times 10^{-3} \times (30 \times 12 - 60 \times 6) = 0 \text{ V}$$

$$\Delta U_{r_{\max}} = \sqrt{3} \times 0.3 \times 10^{-3} \times (20 \times 49 + 40 \times 38.2 + 25 \times 18.6) + 1.11 = 2.65 \text{ V}$$

ב.

$$\Delta U_{aN} = 5\% \Rightarrow \Delta U_{\max} = 20V \Rightarrow \Delta U_a = 20 - 2.65 = 17.35V$$

$$k = \frac{\sqrt{3}}{\gamma \Delta U_a} \times \sum L_k \cos \varphi_k$$

$$k = \frac{\sqrt{3}}{57 \times 17.35} \times (20 \times 0.924 + 40 \times 0.939 + 25 \times 0.953 + 70 \times 0.707) = 0.226$$

$$A_k = k \times I_k$$

$$A_{AB} = 128.69 \times 0.226 = 29.15 \rightarrow 35mm^2$$

$$A_{BC} = 111.35 \times 0.226 = 25.16 \rightarrow 25mm^2$$

$$A_{CD} = 61.48 \times 0.226 = 13.89 \rightarrow 16mm^2$$

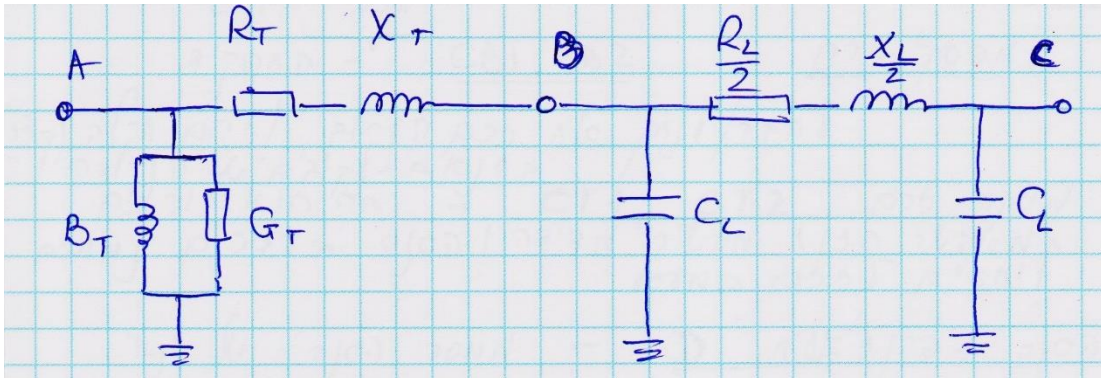
$$A_{DG} = 43.3 \times 0.226 = 9.8 \rightarrow 10mm^2$$

$$A_{DE} = 30.46 \times 0.226 = 6.88 \rightarrow 10mm^2$$

$$A_{EF} = 7.21 \times 0.226 = 1.64 \rightarrow 2.5mm^2$$

שאלה 2

א.



$S = 60 \text{ kVA} \rightarrow S = Q_c$ בק"ס (א)

$Q = (U^2 \omega C_0 \cdot L) \times 2$

$C_0 = \frac{0,0242}{\log \frac{Dm}{r}} = \frac{0,0242}{\log \frac{100}{1,085}} = 12,3 \cdot 10^{-3} \frac{\mu F}{km}$

$r = 10,85 \text{ mm}$ $d = 21,7 \text{ mm}$ $AL-Fe$ מוליץ סלולר
 $D = 1 \text{ m}$ המרחק בין הפאזות
 $60 \cdot 10^3 = [(24 \cdot 10^3)^2 \times 314 \times 12,3 \cdot 10^{-9} \times L] \times 2$
 $L = 13,485 \text{ km} \approx 13,5 \text{ km}$

$S = P + jQ = 16 + j12 \text{ MVA}$ (ב) אבסולו (ג)

$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{20 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \times 24 \cdot 10^3} = 481,12 \text{ A}$ $\angle -36,87^\circ$

$\Delta P = 3 \frac{R_L I^2}{2} = 3 \times \frac{0,121 \times 13,5}{2} \times 481,12^2 = 567,17 \text{ kW}$

$P_e = 20 \times 0,8 + 0,567 = 16,567 \text{ MW}$

$\Delta Q = 3 \frac{X_L}{2} \times 481,12^2 = 3 \times \frac{0,299 \times 13,5}{2} \times 481,12^2 = 1,4 \text{ MVAR}$

$Q_B = 20 \times 0,6 + 1,4 - 0,6 = 13,34 \text{ MVAR}$
 $\cos \phi = 0,778$

$R_0 = 0,121 \Omega/km$ $X_0 = 0,299 \Omega/km$ גיון בק"ס לאלף 10 p/m

אופטימיזציה

$$Z_L = 13.5 (0.121 + j 0.299) = 13.5 \cdot 0.3225 \angle 67.967^\circ$$

$$4.3544 \angle 68^\circ$$

$$\bar{\Delta U} = \sqrt{3} \cdot \bar{I} \cdot \bar{Z} = \sqrt{3} \cdot 481.12 \angle -36.87^\circ \times \frac{4.3544}{2} \angle 68^\circ$$

$$= 1.814 \text{ kV} \angle 31.13^\circ$$

$$U_B = 24 \angle 0^\circ + 1.814 \angle 31.13^\circ = 25.57 \angle 2.1^\circ$$

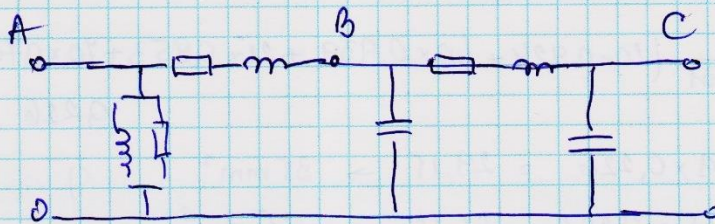
$$I_C = 2 \times (U_{ph} \omega C_0 \cdot L) = 2.5 \angle +90^\circ$$

$$I_B = 481.12 \angle -36.87^\circ + 2.5 \angle +90^\circ = 479.62 \angle -36.63^\circ$$

$$\phi = 36.63 + 2.1 = 38.73$$

$$\cos 38.73 = 0.78$$

מערכת אמונה יכולת פיוג ב



שאלה 3

א. מפסקי זרם CB1, CB2 – מכשיר מיתוג. תפקידם לחבר/לנתק את הזרם הנקוב / זרם תקלה (קצר) בתנאים הנקובים של הנקודה בה הוא מורכב.

משנה זרם CT1, CT2 – שנאי המאפשר הזנת מכשירי מדידה והגנה בערכים נמוכים ויחסיים לזרם במעגל.

הגנה דיפרנציאלי D – ממסר הגנה של שנאי בתחנת השנאה, מיועד להגנה על השנאי בפני תקלות פנימיות וחיצוניות בין 2 שנאי הזרם CT1 CT2.

הגנת יתרת זרם I > – מיועד להגן על השנאי בפני זרם יתר וזרם קצר. הוא בעל שני מגנטוני הפעלה – מושהה בפני עומס יתר ומיידי בפני זרמי קצר.

ב.

$$I_1 = \frac{S}{\sqrt{3}U_1} = \frac{45 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 160 \times 10^3} = 162.38 A$$

בחרים שנאי 200/5A – הסלילים מחוברים בכוכב.

$$I_2 = \frac{S}{\sqrt{3}U_2} = \frac{45 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 24 \times 10^3} = 1082.5 A$$

בחרים שנאי 1200/5 הסלילים מחוברים במשולש.

$$i_1 = \frac{5}{200} \times 162.38 = 4.05 A$$

$$i_2 = \frac{5}{1200} \times 1082.5 \times \sqrt{3} = 7.81 A$$

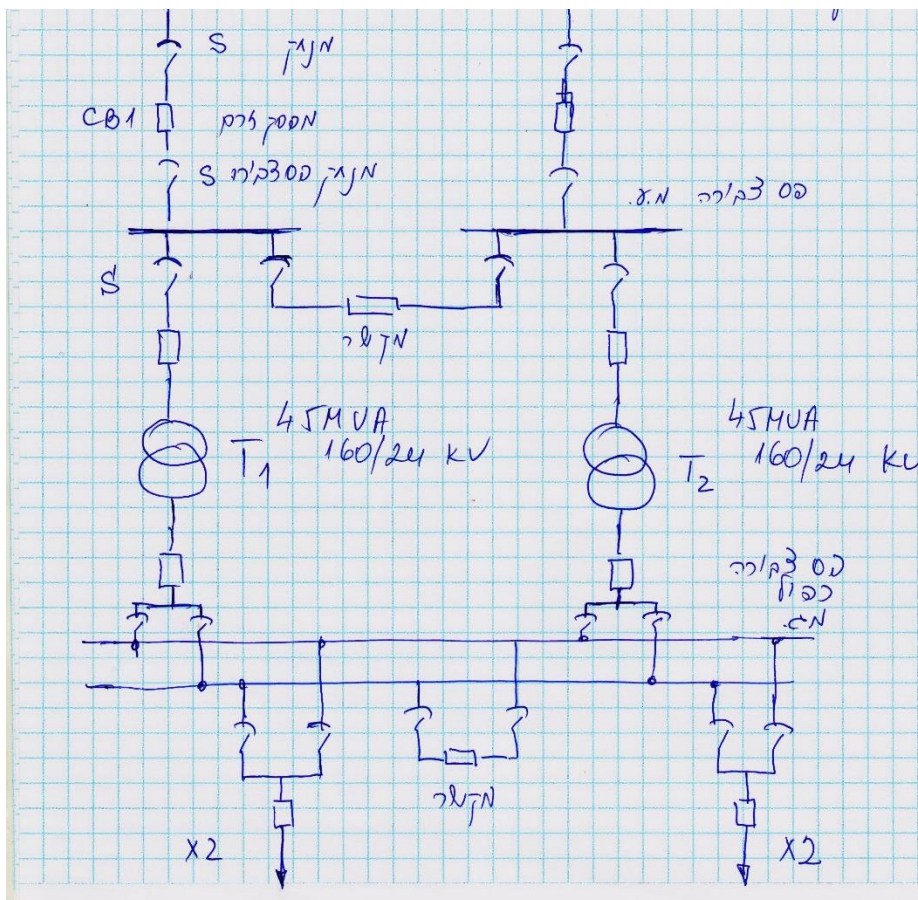
ג. סליל כיבוי לא מגן על השנאי – הוא מיועד לקזז את הזרם הקיבולי במקרה של קצר חד מופעי לאדמה.

שאלה 4

א.

מקום שימוש	מורכבות תפעולית	אמינות באספקה	
פס צבירה יחיד	נמוכה	נמוכה	מתח נמוך מתח גבוה – בתחנות ניידות
פסי צבירה כפולים	בינונית	בינונית	רוב תחנות מיתוג מתח גבוה/עליון ותחנות משנה חדשות
פסי צבירה כפולים עם פס העברה	גבוה	גבוה	רוב תחנות מיתוג והשנאה - מתח גבוה ועליון
מסדר מפסק וחצי	גבוה	גבוה ביותר	מסדר מתח על 400KV בתחנת מיתוג

ב.



חלק שני – המרת אנרגיה והינע ב'

שאלה 5

$$I_{ph_n} \quad \frac{I_{1n}}{\sqrt{3}} = \frac{69.2}{\sqrt{3}} = 40.3 \text{ A} \quad (e)$$

$$I_{1n} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi \cdot \eta} = \frac{37000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.8 \cdot 0.9} = 69.2 \text{ A}$$

$$f_2 = f_1 \cdot s = 50 \cdot 0.02 = 1 \text{ Hz}$$

$$s = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1000 - 980}{1000} = 0.02$$

$$M_n = 9.55 \frac{P_n}{n_n} = 9.55 \frac{37000}{980} = 360.6 \text{ Nm} \quad (p)$$

$$M_n = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{s_k}{s_n} + \frac{s_n}{s_k}}$$

$$360.6 = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{0.2}{0.02} + \frac{0.02}{0.2}} \Rightarrow M_k = 1821 \text{ Nm}$$

$$M_{st} = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{s_{st}}{s_k} + \frac{s_k}{s_{st}}} = \frac{2 \cdot 1821}{\frac{1}{0.2} + \frac{0.2}{1}} = 700.4 \text{ Nm} \quad (v=400 \text{ rpm})$$

$$\frac{M_{st}'}{M_{st}} = \left(\frac{U'}{U}\right)^2 = 0.8^2 = 0.64$$

$$M_{st}' = M_{st} \cdot 0.64 = 700.4 \cdot 0.64 = 448 \text{ Nm}$$

(U' = 0.8 U_n)

$$n' = 700 \text{ rpm}$$

(d)

$$s = \frac{n_s' - n'}{n_s'} \rightarrow n_s' = \frac{n'}{1-s} = \frac{700}{1-0.02} = 714.3 \text{ rpm}$$

$$n_s' = \frac{60 \cdot f'}{p} \rightarrow 714.3 = \frac{60 \cdot f'}{3} \rightarrow f' = 35.7 \text{ Hz}$$

$$\frac{U'}{U_n} = \frac{f'}{f_n} \rightarrow U' = U_n \cdot \frac{f'}{f_n} = 400 \cdot \frac{35.7}{50} =$$

$$U' = 285.7 \text{ V}$$

שאלה 6

$$I = I_{ph} = \frac{12 \text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 24 \text{ kV} \cdot 0.85} = 340 \text{ A} \quad (6)$$

$$\vec{I}_{ph} = 340 \angle -31.8^\circ$$

$$\vec{E}_{ph} = \vec{U}_{ph} + \vec{I}_{ph} \cdot jX_s = 13856 \angle 0^\circ + 340 \angle -31.8^\circ \cdot j8 = 15463 \angle 8.5^\circ \text{ V}$$

$$U_{ph} = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{24000}{\sqrt{3}} = 13856 \text{ V}$$

$$I_e = I_{e0} \cdot \frac{E_{ph}}{E_{ph0}} = 100 \cdot \frac{15463}{13856} = 111.6 \text{ A}$$

$$E_{ph0} = U_{ph0} = 13856 \text{ V}$$

$$E_{ph} = E_{ph0} \cdot \frac{I_e}{I_{e0}} = 13856 \cdot \frac{130}{100} = 18013 \text{ V} \quad (7)$$

$$P = \frac{3 \cdot E_{ph} \cdot U_{ph}}{X_s} \cdot \sin \theta$$

$$12 \cdot 10^6 = \frac{3 \cdot 18013 \cdot 13856}{8} \cdot \sin \theta \Rightarrow \theta = 7.36^\circ$$

$$Q = \frac{3}{X_s} [U_{ph} \cdot E_{ph} \cos \theta - U_{ph}^2] = \frac{3}{8} [13856 \cdot 18013 \cdot \cos 7.36^\circ - 13856^2]$$

$$Q = 20.83 \text{ MVAR}$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} = \frac{20.83}{16} = 1.302$$

↓

$$\cos \varphi = 0.609 \quad (L)$$

① קמחולף יעזרז קמזק של תר ע'ור.

② קמחולף מסנק הסנק סזל

הסנק ביזי (הסנק).

שאלה 7

נתון: $P_n = 12000$ ו $U = 300$ ו $R_a = 0.25$ ו $R_e = 120$ ו $n = 1660$ rpm

$$I_n = \frac{P_n}{U \cdot \eta} = \frac{12000}{300 \cdot 0.82} = 48.8 \text{ A}$$

$$I_e = \frac{U}{R_e} = \frac{300}{120} = 2.5 \text{ A}$$

$$I_{a_n} = I_n - I_e = 48.8 - 2.5 = 46.3 \text{ A}$$

$$E_n = U - I_{a_n} \cdot R_a = 300 - 46.3 \cdot 0.25 = 288.4 \text{ V}$$

$$K_e \phi = \frac{E_n}{n} = \frac{288.4}{1660} = 0.1731$$

$$n_0 = \frac{U}{K_e \phi} = \frac{300}{0.1731} = 1731 \text{ rpm}$$

$$I_e' = \frac{U}{R_e + R_{re}} = \frac{300}{120 + 30} = 2 \text{ A}$$

(c)

$$K_e \phi' = K_e \phi \cdot \frac{I_e'}{I_e} = 0.1731 \cdot \frac{2}{2.5} = 0.1385$$

נתון: $n = 1660$ rpm

$$n' = n = 1660 \text{ rpm}$$

$$E' = K_e \phi' \cdot n' = 0.1385 \cdot 1660 = 229.7$$

$$I_a' = \frac{U - E'}{R_a} = \frac{300 - 229.7}{0.25} = 280.8 \text{ A}$$

$$I' = I_a' + I_e' = 280.8 + 2 = 282.8 \text{ A}$$

② אחר גזירה ;

$$I_a \cdot I_e = I_a \cdot I_e$$

$$I_a = I_a \cdot \frac{I_e}{I_e} = 46.3 \cdot \frac{2.5}{2} = 57.9 \text{ A}$$

$$I' = I_a + I_e = 57.9 + 2 = 59.9 \text{ A}$$

$$n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{K_e \phi} = \frac{300 - 57.9 \cdot 0.25}{0.14424} = 1980 \text{ rpm}$$

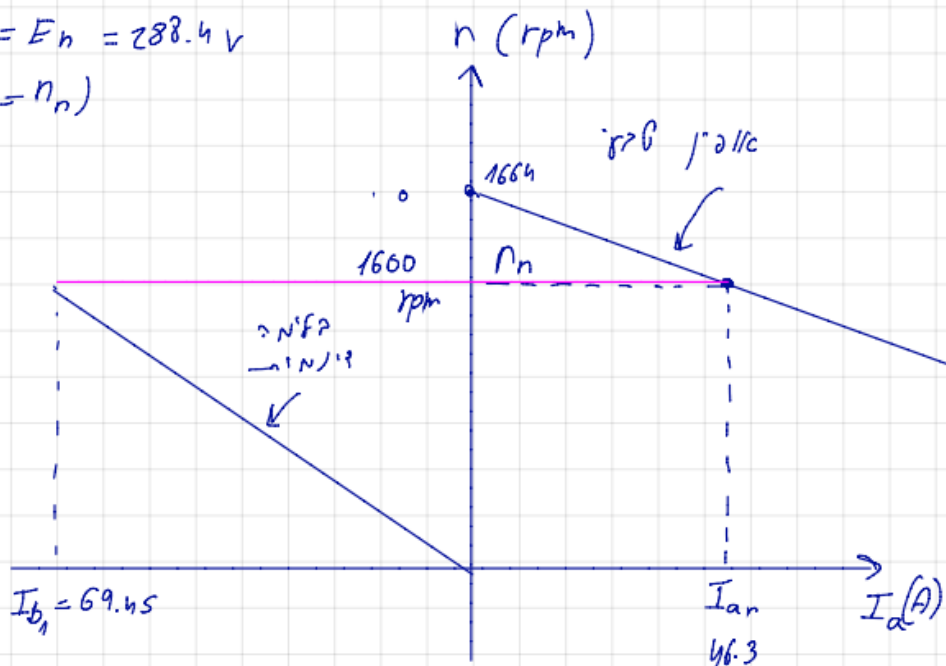
$$I_{b1} = 1.5 \cdot I_{an} = 1.5 \cdot 46.3 = 69.45 \text{ A}$$

③

$$I_{b1} = \frac{E_{b1}}{R_a + R_b} \quad 69.45 = \frac{288.4}{0.25 + R_b} \quad R_b = 3.9 \Omega$$

$$E_{b1} = E_n = 288.4 \text{ V}$$

$$(n_{b1} = n_n)$$

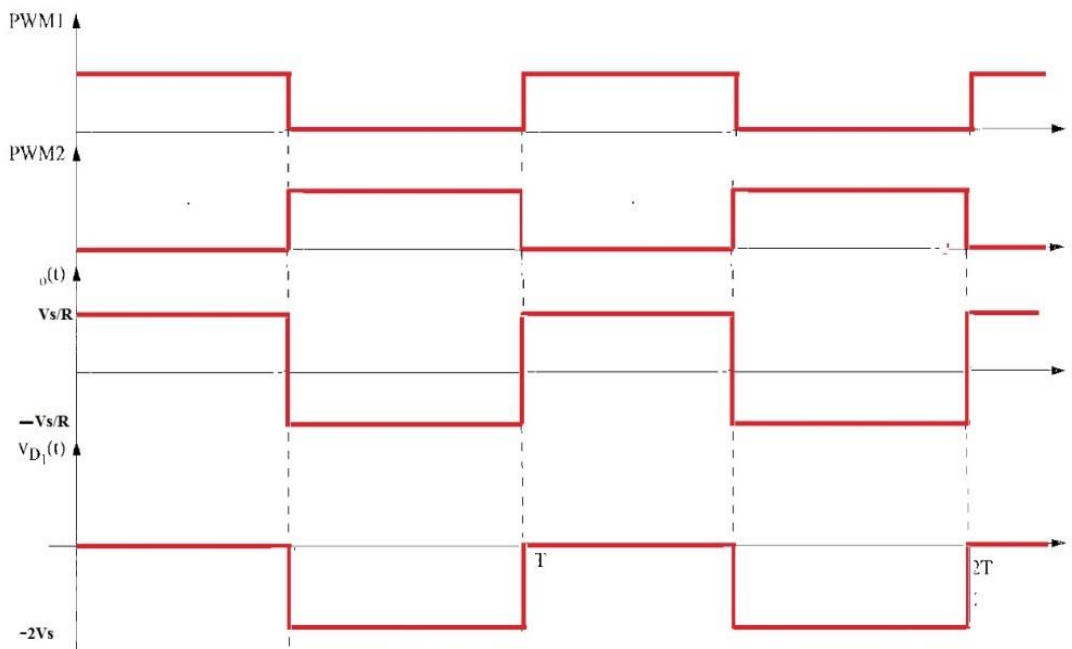


חלק שלישי – אלקטרוניקת הספק

שאלה 8

- א. המעגל נקרא חצי גשר (Half Bridge) והוא הופך מתח ישר לאות מלבני בעזרת שתי מקורות מתח.
- עקרון הפעולה של המעגל: במעגל שתי מקורות, שני טרנזיסטורים, שתי דיודות איפוס, אפנן PWM ונגד עומס. הטרנזיסטורים במעגל זה יכולים להימצא או במצב נתק (קטעון) או במצב קצר (רוויה). כאשר טרנזיסטור מספר 1 ברוויה, טרנזיסטור מספר 2 בנתק (מכיוון שיש מהפך בין הטרנזיסטורים) בזמן זה המקור העליון מספק את המתח לנגד העומס, להדק הימני של נגד העומס מגיע הפלוס של מקור המתח ולהדק השמאלי המינוס, בזמן זה המקור התחתון לא מנוצל ולא מספק מתח לנגד העומס.
- כאשר טרנזיסטור מספר 2 ברוויה, טרנזיסטור מספר 1 בנתק, בזמן זה המקור התחתון מספק מתח לנגד העומס, להדק הימני של נגד העומס מגיע המינוס של מקור המתח ולהדק השמאלי הפלוס. בזמן זה המקור התחתון לא מנוצל ולא מספק מתח לנגד העומס.
- ע"י כך מתקבל אות בעל ערך חיובי כשטרנז' מספר 1 ברוויה ובעל ערך שלילי כשטרנז' מספר 2 ברוויה.
- הערה: שני הטרנזיסטורים לא יכולים להיות בו זמנית במצב רוויה, או שהטרנזיסטור הראשון ברוויה או שהשני.
- תפקיד אפנן PWM לייצר פולסים לטרנזיסטורים ולגרום לכך שיעברו ממצב קטעון לרוויה בזמן המתאים.

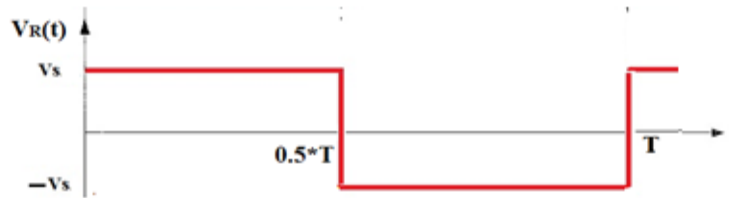
ב.



שרטוט מספר 1 - סעיף ב' שאלה 8

ג. 1. נתון:

$$D_{T1} = D_{T2} = 0.5$$



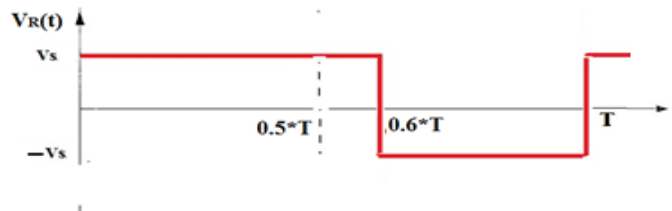
שרטוט מספר 2 - סעיף ג' שאלה 8 מחזור פעולה של 50%

$$V_{R(AVG)} = 0$$

אות סימטרי לכן:

הנגד מוזן לאורך חצי מחזור ב V_S ולאורך החצי השני של המחזור ב $-V_S$, על הנגד "נופל" לכל אורך המחזור המתח $|V_S|$ (ערך מוחלט של V_S) לכן:

$$V_{R(RMS)} = V_S$$



ג. 2. נתון:

שרטוט מספר 3 - סעיף ג' שאלה 8 מחזור פעולה של 60% ו-40%

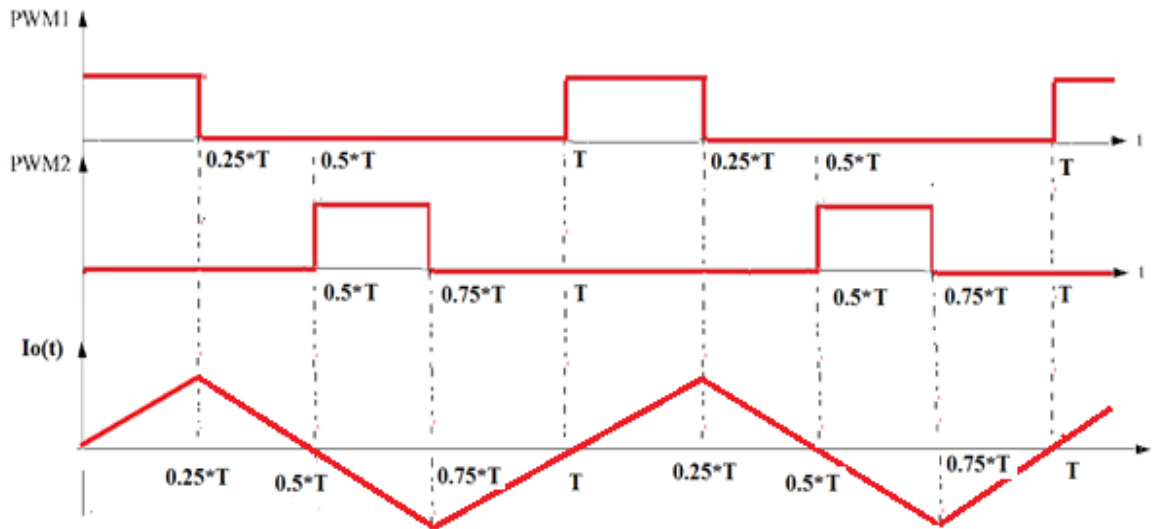
המתח הממוצע על הנגד מורכב מ 0.6 מהמחזור שהוא V_S ולאורך 0.4 מהמחזור שהוא $-V_S$, הערך של המתח הממוצע הוא סכום המתח של 0.6 המחזור ועוד סכום המתח של 0.4 מהמחזור לחלק 2.

$$V_{R(AVG)} = (V_S * D_{T1} - V_S * D_{T2}) / 2 = (V_S * 0.6 - V_S * 0.4) / 2 = 0.1 * V_S$$

הנגד מוזן לאורך 0.6 מהמחזור ב V_S ולאורך 0.4 מהמחזור ב $-V_S$, על הנגד "נופל" לכל אורך המחזור המתח $|V_S|$ (ערך מוחלט של V_S) לכן:

$$V_{R(RMS)} = V_S$$

ד. נתון עומס השראתי של נגד וסליל במקום נגד ונתון: $D_{T1} = D_{T1} = 0.25$

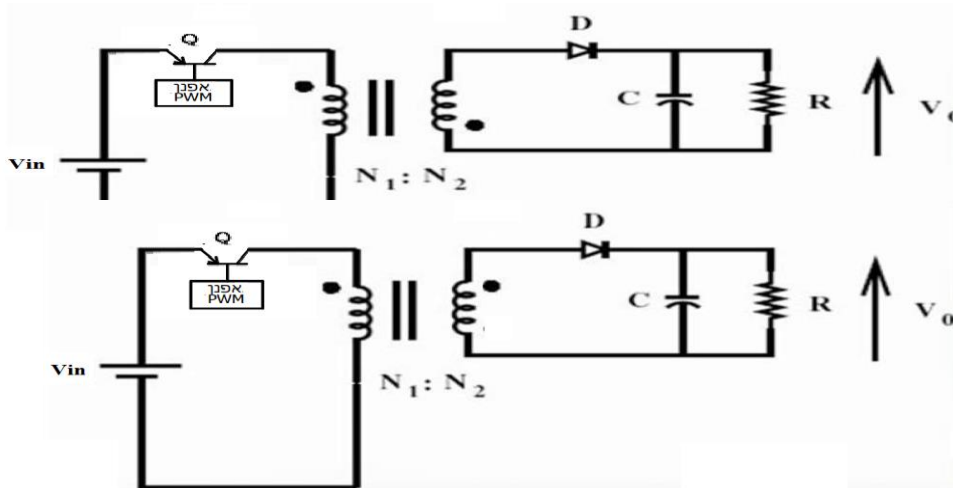


- הערה: השיפועים בגרף הזרם ונקודות המקסימום והמינימום של אות המוצא הם משוערים מכיוון שאין מספיק נתונים, שיפועים אלו תלויים במספר גורמים כגון: מתח הכניסה, ערך נגד העומס ועוד.

שאלה 9

א. ממיר FlyBuck הוא ממיר צף מכיוון שהוא מורכב משנאי שמבדיל בין המתח בכניסה למתח במוצא ולכן אין ביניהם קשר.

ב. ממירים Buck ו- Boost אינם הופכים את מתח המוצא מכיוון שאינם מורכבים משנאי, קוטיביות מתח המוצא של ממיר FlyBuck תלוי בשנאי שממנו מורכב הממיר, אם השנאי שומר מופע קוטיביות מתח המוצא זהה למתח קוטיביות הכניסה, אם אם השנאי הופך מופע קוטיביות המוצא הפוכה מקוטיביות הכניסה.



שרטוט מספר 2 לסעיף ב' שאלה 9 – FlyBuck שומר קוטיביות

ג. בממיר Buck זרם המוצא שווה לזרם הסליל מכיוון שהסליל נמצא בטור לגד במוצא.

ד. בממיר FlyBuck וב- Boost זרם הכניסה שווה לזרם הסליל מכיוון שהסליל נמצא בטור למקור.