

הצעה לפתרון מלא – חשמל ואלקטרוניקה לטכנאים

בחינת גמר • אביב תשפ"ב 2022 • שאלון 733001 • שאלות 1-10

✦ בנוי על ידי פהד גאנם ✦

על המסמך: הצעה לפתרון מלא לשאלון 733001 – חשמל ואלקטרוניקה לטכנאים, מגמת הנדסת חשמל, בקרה ואנרגייה (כיתה י"ג), אביב תשפ"ב 2022. בשאלון עשר שאלות, והנבחן עונה על חמש בלבד. נוסח השאלות הוא של משרד החינוך; הפתרונות נכתבו במלואם ואומתו נומרית על ידי פהד גאנם.

פהד גאנם
faheed-lab.com

פרק ראשון – תורת החשמל • שאלות 4-1

שאלה 1 – מתחי צמתים עם שני מקורות זרם

נתונים: $I_1 = 2 \text{ A}$ • $I_4 = 3 \text{ A}$ • $E_2 = 10 \text{ V}$ • $E_3 = 12 \text{ V}$ • $R_1 = 3 \Omega$ • $R_2 = 5 \Omega$ • $R_3 = 3 \Omega$ • $R_4 = 1 \Omega$

מבנה המעגל: הפס התחתון הוא הצומת A והוא מוארק. הצומת B מוזן ממקור הזרם I_1 שחיציו כלפי מעלה, ויורד אל האדמה דרך R_1 . מן B יוצא ענף אל הצומת C דרך R_2 בטור עם E_2 , שקוטבו החיובי פונה אל B. הצומת C יורד אל האדמה בשלושה ענפים: R_3 בטור עם E_3 שקוטבו החיובי כלפי מעלה, הנגד R_4 לבדו, ומקור הזרם I_4 שחיציו כלפי מטה.

סעיף א – מערכת המשוואות

במעגל שני צמתים בלבד שאינם ידועים, B ו-C, מפני שהצומת A נבחר כייחוס ומתחו אפס. בכל צומת נכתוב שסכום הזרמים הנכנסים שווה לסכום היוצאים.

הצומת B. מקור הזרם מזרים אליו שני אמפרים, והם מתחלקים בין R_1 לבין הענף שאל C:

$$2 = \frac{U_B}{3} + \frac{U_B - U_C - 10}{5}$$

הצומת C. מה שנכנס אליו מן הענף השמאלי יוצא בשלושת הענפים היורדים:

$$\frac{U_B - U_C - 10}{5} = \frac{U_C - 12}{3} + \frac{U_C}{1} + 3$$

שני דברים שכדאי לשים לב אליהם. ראשית, מקור זרם אידיאלי נכנס למשוואה כמספר קבוע ולא כמנה – הוא אינו תלוי במתחי הצמתים כלל. שנית, מקור המתח בתוך ענף פשוט מזיז את המונה: בענף של E_2 יוצאים מן הקוטב החיובי ולכן מחסירים 10, ובענף של E_3 הקוטב החיובי פונה כלפי מעלה ולכן החיסור הוא $U_C - 12$.

סעיף ב – המתחים בנקודות B ו-C

נכפול את שתי המשוואות ב-15 ונסדר:

$$5U_B + 3(U_B - U_C - 10) = 30 \rightarrow 8U_B - 3U_C = 60$$

$$3(U_B - U_C - 10) = 5(U_C - 12) + 15U_C + 45 \rightarrow 3U_B - 23U_C = 15$$

מן המשוואה הראשונה נבודד ונציב בשנייה:

$$U_B = \frac{60 + 3U_C}{8}$$

$$3 \cdot \frac{60 + 3U_C}{8} - 23U_C = 15 \rightarrow 180 + 9U_C - 184U_C = 120$$

$$175U_C = 60 \rightarrow U_C = \frac{12}{35}$$

$$U_B = 7.63 \text{ V} ; U_C = 0.34 \text{ V}$$

אימות במאזן הספקים – חמשת הרכיבים הפעילים מוסרים יחד $W_{66.29}$, וארבעת הנגדים בולעים בדיוק $W_{66.29}$ ✓

סעיף ג – הזרם בנגד R_2 וכיוונו

$$I(R_2) = \frac{U_B - U_C - E_2}{R_2} = \frac{7.63 - 0.34 - 10}{5} = \frac{-2.71}{5}$$

$$I(R_2) = 0.54 \text{ A B-ל-C-}$$

הסימן השלילי אינו טעות אלא תשובה: הנחנו בכתיבת המשוואות שהזרם זורם מ-B ל-C, והתוצאה מלמדת שהוא זורם בכיוון ההפוך. הסיבה היא המקור E_2 – עשרת הוולטים שלו גדולים מהפרש מתחי הצמתים, ולכן הוא זה שקובע את הכיוון.

נבדוק זאת בחוק הזרמים בצומת B: הנגד R_1 מושך 2.54 A , ומקור הזרם מספק רק 2 A – לכן חייבים להגיע אל B עוד 0.54 A מן הענף של R_2 , בדיוק כפי שהתקבל ✓

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – שני הצמתים וששת הענפים. 

שאלה 2 – מעגל מעורב בזרם חילופין

נתונים: $U = 80\angle 90^\circ \text{ V}$ • $R_1 = 6 \Omega$ • $X(L_1) = 12 \Omega$ • $X(C_2) = 5 \Omega$ • $R_3 = 5 \Omega$ • $X(C_3) = 5 \Omega$ • $R_4 = 10 \Omega$ • $X(L_4) = 15 \Omega$

מבנה המעגל: מן המקור יוצא ענף ראשי ובו R_1 ו- L_1 בטור, ובו זורם I_1 . הענף מגיע לצומת שממנו יורד הקבל C_2 (הזרם I_2) ויוצא ענף שני ובו R_3 , C_3 , R_4 ו- L_4 כולם בטור (הזרם I_3). שני הענפים נסגרים על הפס התחתון.

סעיף א – העכבה השקולה

תחילה נכווץ את ארבעת הרכיבים שבטור בענף הימני:

$$Z_3 = R_3 + R_4 + j(X_{L_4} - X_{C_3}) = 15 + j(15 - 5) = 15 + j10 \Omega$$

$$Z_3 = 18.03\angle 33.69^\circ \Omega ; Z_2 = -j5 = 5\angle -90^\circ \Omega$$

שני הענפים במקביל:

$$Z_p = \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} = \frac{5\angle -90^\circ \times 18.03\angle 33.69^\circ}{15 + j10 - j5} = \frac{90.14\angle -56.31^\circ}{15.81\angle 18.43^\circ}$$

$$Z_p = 5.70\angle -74.74^\circ = 1.5 - j5.5 \Omega$$

ולבסוף הענף הראשי בטור עם המקביל:

$$Z_T = R_1 + jX_{L_1} + Z_p = 6 + j12 + 1.5 - j5.5$$

$$Z_T = 7.5 + j6.5 \Omega = 9.93\angle 40.91^\circ \Omega$$

החלק המדומה חיובי – המעגל השראי, למרות שני הקבלים שבתוכו.

סעיף ב – שלושת הזרמים

$$I_1 = \frac{U}{Z_T} = \frac{80\angle 90^\circ}{9.93\angle 40.91^\circ} = 8.06\angle 49.09^\circ \text{ A}$$

המתח על שני הענפים המקביליים הוא המתח שנותר אחרי הענף הראשי, ואפשר לקבלו ישירות מן העכבה המקבילית:

$$U_p = I_1 \cdot Z_p = 8.06 \angle 49.09^\circ \times 5.70 \angle -74.74^\circ = 45.95 \angle -25.66^\circ \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{U_p}{Z_2} = \frac{45.95 \angle -25.66^\circ}{5 \angle -90^\circ} = 9.19 \angle 64.34^\circ \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{U_p}{Z_3} = \frac{45.95 \angle -25.66^\circ}{18.03 \angle 33.69^\circ} = 2.55 \angle -59.35^\circ \text{ A}$$

$$I_1 = 8.06 \angle 49.09^\circ \text{ A} ; I_2 = 9.19 \angle 64.34^\circ \text{ A} ; I_3 = 2.55 \angle -59.35^\circ \text{ A}$$

שימו לב ש- I_2 גדול מ- I_1 – הזרם בענף אחד גדול מן הזרם הכולל. בזרם ישר זה בלתי אפשרי, ובזרם חילופין זו תופעה רגילה: שני זרמי הענפים כמעט מנוגדים בפאזה, ולכן הסכום הווקטורי שלהם קטן מן הגדול שבהם.

אימות בחוק הזרמים – נחבר את שני זרמי הענפים בהצגה המלבנית:

$$I_2 = 3.98 + j8.28 ; I_3 = 1.30 - j2.19$$

$$I_2 + I_3 = 5.28 + j6.09 = 8.06 \angle 49.09^\circ \text{ A} \checkmark$$

סעיף ג1 – שלושת ההספקים

ההספק המדומה מתקבל ממכפלת המתח בצמוד של הזרם הכולל:

$$S = U \cdot I_1 = 80 \times 8.06 = 644.9 \text{ VA}$$

$$P = S \cdot \cos \phi = 644.9 \times \cos(40.91^\circ) = 487.3 \text{ W}$$

$$Q = S \cdot \sin \phi = 644.9 \times \sin(40.91^\circ) = 422.3 \text{ var}$$

$$P = 487.3 \text{ W} ; Q = 422.3 \text{ var} ; S = 644.9 \text{ VA}$$

אימות ישיר – ההספק הממשי מתפתח על שלושת הנגדים בלבד, כל אחד עם הזרם שלו:

$$P = I_1^2 \cdot R_1 + I_3^2 \cdot (R_3 + R_4) = 8.06^2 \times 6 + 2.55^2 \times 15$$

$$P = 389.9 + 97.4 = 487.3 \text{ W } \checkmark$$

סעיף ג2 – משולש ההספקים

הניצב האופקי הוא $P = 487.3 \text{ W}$, הניצב האנכי הוא $Q = 422.3 \text{ var}$ ומצויר כלפי מעלה מפני שהמעגל השראי, והיתר הוא $S = 644.9 \text{ VA}$. הזווית שבין P לבין S היא 40.91° – בדיוק זווית העכבה השקולה, ומקדם ההספק הוא 0.756 .

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – משולש ההספקים של המעגל כולו. 🧪

פאחד גאנבם · fahed-lab.com

שאלה 3 – מן הזרם בענף אל מתח המקור

נתונים: $f = 70 \text{ Hz}$ • $I_3 = 3\angle 30^\circ \text{ A}$ • $R_1 = 3 \Omega$ • $C_1 = 500 \mu\text{F}$ • $C_3 = 100 \mu\text{F}$ • $L_3 = 12 \text{ mH}$ • $R_2 = 5 \Omega$ • $L_2 = 20 \text{ mH}$ • $C_2 = 150 \mu\text{F}$

מבנה המעגל: מן ההדק A יוצא ענף ראשי ובו R_1 ו- C_1 בטור, והוא מגיע לצומת D. מן D יורד ענף ובו C_3 ו- L_3 בטור אל הצומת E – בו זורם הזרם הנתון I_3 . מן D יוצא גם ענף שני ובו L_2 ו- R_2 בטור, שנסגר אף הוא על E. הכיוון בשאלה הפוך מן הרגיל: נתון זרם בענף אחד, ומבקשים למצוא ממנו את מתח המקור.

סעיף א – העכבה הכוללת ואופי המעגל

תחילה נתרגם את כל הקבלים והסלילים לעכבות בתדר של 70 הרץ:

$$X(C_1) = \frac{1}{2\pi \times 70 \times 500 \times 10^{-6}} = 4.55 \Omega$$

$$X(C_3) = \frac{1}{2\pi \times 70 \times 100 \times 10^{-6}} = 22.74 \Omega$$

$$X(C_2) = \frac{1}{2\pi \times 70 \times 150 \times 10^{-6}} = 15.16 \Omega$$

$$X(L_3) = 2\pi \times 70 \times 0.012 = 5.28 \Omega$$

$$X(L_2) = 2\pi \times 70 \times 0.020 = 8.80 \Omega$$

$$Z_3 = j(5.28 - 22.74) = -j17.46 = 17.46\angle -90^\circ \Omega$$

$$Z_2 = 5 + j(8.80 - 15.16) = 5 - j6.36 = 8.09\angle -51.83^\circ \Omega$$

שני הענפים במקביל, והתוצאה בטור עם הענף הראשי:

$$Z_p = \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} = \frac{17.46\angle -90^\circ \times 8.09\angle -51.83^\circ}{5 - j23.82} = \frac{141.3\angle -141.83^\circ}{24.34\angle -78.14^\circ}$$

$$Z_p = 5.80\angle -63.69^\circ = 2.57 - j5.20 \Omega$$

$$Z_{AB} = 3 - j4.55 + 2.57 - j5.20$$

$$Z_{AB} = 5.57 - j9.75 \Omega = 11.23 \angle -60.25^\circ \Omega$$

החלק המדומה שלילי – אופי המעגל קיבולי, והזרם הכולל מקדים את המתח בזווית של 60.25° .

סעיף ב – הזרם I_2

שני הענפים המקביליים חולקים את אותו מתח, ואת המתח הזה נחשב מן הזרם הנתון:

$$U_{DE} = I_3 \cdot Z_3 = 3 \angle 30^\circ \times 17.46 \angle -90^\circ = 52.38 \angle -60^\circ \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{U_{DE}}{Z_2} = \frac{52.38 \angle -60^\circ}{8.09 \angle -51.83^\circ}$$

$$I_2 = 6.47 \angle -8.17^\circ \text{ A}$$

סעיף ג – מתח המקור

הזרם הכולל הוא סכום שני זרמי הענפים, והחיבור נעשה בהצגה המלבנית:

$$I_3 = 2.60 + j1.50 ; I_2 = 6.41 - j0.92$$

$$I_1 = I_2 + I_3 = 9.01 + j0.58 = 9.02 \angle 3.69^\circ \text{ A}$$

$$U = I_1 \cdot Z_{AB} = 9.02 \angle 3.69^\circ \times 11.23 \angle -60.25^\circ$$

$$U = 101.3 \angle -56.56^\circ \text{ V}$$

אימות בדרך אחרת – נחבר את המתח על הענף הראשי אל המתח על המקבילית ונראה שמתקבל אותו פאזור:

$$U(R_1, C_1) = I_1 \cdot (3 - j4.55) = 9.02 \angle 3.69^\circ \times 5.45 \angle -56.59^\circ = 49.1 \angle -52.9^\circ \text{ V}$$

$$U(R_1, C_1) + U_{DE} = (29.6 - j39.2) + (26.2 - j45.4) = 55.8 - j84.6$$

$$|55.8 - j84.6| = 101.3 \text{ V} \angle -56.56^\circ \checkmark$$

 **מדוע נוח לפתור שאלה כזאת דווקא מן הענף פנימה החוצה:** מרגע שידוע זרם באחד הענפים המקביליים, המתח על שניהם ידוע – ומשם הדרך אל הזרם השני, אל הזרם הכולל ואל מתח המקור היא רק שרשרת של כפל וחילוק פאזורים, בלי אף משוואה.

 בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – שלושת הזרמים סביב הזרם הידוע.

פהד גאנבם · fahed-lab.com

שאלה 4 – עומס תלת-מופעי סימטרי בחיבור משולש

נתונים: $U_L = 400 \text{ V}$ • $f = 50 \text{ Hz}$ • $Z = 12 + j4 \Omega$ בכל מופע

סעיף א – הזרם המופעי והזרם הקווי

בחיבור משולש כל עכבה מחוברת בין שני קווים, ולכן המתח עליה הוא המתח הקווי המלא:

$$|Z| = \sqrt{12^2 + 4^2} = \sqrt{160} = 12.65 \Omega ; \phi = \arctan \frac{4}{12} = 18.43^\circ$$

$$I_{ab} = \frac{U_L}{|Z|} = \frac{400}{12.65} = 31.62 \text{ A}$$

הזרם הקווי גדול פי שורש שלוש מן המופעי ומפגר אחריו ב- 30° :

$$I_a = \sqrt{3} \cdot I_{ab} = 1.732 \times 31.62 = 54.77 \text{ A}$$

$$I_{ab} = 31.62 \angle -18.43^\circ \text{ A} ; I_a = 54.77 \angle -48.43^\circ \text{ A}$$

בהצגה מלבנית, כשמתח הקו a-b נבחר כייחוס:

$$I_{ab} = 30 - j10 \text{ A}$$

$$I_a = 36.34 - j40.97 \text{ A}$$

סעיף ב – מקדם ההספק

$$\cos \phi = \frac{R}{|Z|} = \frac{12}{12.65} = 0.949$$

$$\cos \phi = 0.949 \text{ מפגר – עומס השראי}$$

סעיף ג1 – שלושת ההספקים

$$P = 3 \cdot I_{ab}^2 \cdot R = 3 \times 1000 \times 12 = 36000 \text{ W}$$

$$Q = 3 \cdot I_{ab}^2 \cdot X = 3 \times 1000 \times 4 = 12000 \text{ var}$$

$$S = 3 \cdot U_L \cdot I_{ab} = 3 \times 400 \times 31.62 = 37947 \text{ VA}$$

$$P = 36 \text{ kW} ; Q = 12 \text{ kvar} ; S = 37.95 \text{ kVA}$$

אימות: הנוסחה הקווית והנוסחה המופעית חייבות לתת אותו הספק מדומה, והמשולש חייב להיסגר:

$$\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_a = 1.732 \times 400 \times 54.77 = 37947 \text{ VA} \checkmark$$

$$\sqrt{(36^2 + 12^2)} = \sqrt{1440} = 37.95 \text{ kVA} \checkmark$$

סעיף ג2 – משולש ההספקים

הניצב האופקי הוא $P = 36 \text{ kW}$, הניצב האנכי הוא $Q = 12 \text{ kvar}$ ומצויר כלפי מעלה, והיתר הוא $S = 37.95 \text{ kVA}$. הזווית שביניהם היא 18.43° .

ההשוואה שכדאי לעשות: אותה עכבה בדיוק, לו הייתה מחוברת בכוכב על אותה רשת, הייתה צורכת 12 kW בלבד – שליש. זו הסיבה שמנוע גדול מותנע בכוכב ורק אחר כך עובר למשולש.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – משולש ההספקים והמעבר בין משולש לכוכב.

פרק שני – אלקטרוניקה א' • שאלות 5-8

שאלה 5 – רשת RC מעבירת גבוהים עם דופק מלבני

נתונים: 4.5 msec משך הדופק • 5 V דופק • $R = 10 \text{ k}\Omega$ • $C = 0.2 \mu\text{F}$

סעיף א1 – סוג המסנן

הקבל יושב בטור בין המבוא למוצא, והנגד מקביל למוצא. בתדרים נמוכים עכבת הקבל גבוהה והוא חוסם, ובתדרים גבוהים היא נמוכה והאות עובר כמעט במלואו:

high pass – מסנן מעביר גבוהים

במישור הזמן אותה רשת בדיוק נקראת **מעגל גוזר**: היא מגיבה למדרגות של אות המבוא ומתעלמת מן החלקים הקבועים שלו.

סעיף א2 – צורת שני המתחים

$$\tau = R \cdot C = 10 \times 10^3 \times 0.2 \times 10^{-6} = 2 \text{ msec}$$

המבוא הוא מלבן: קופץ ל- 5 V ברגע אפס, נשאר שם 4.5 msec וחוזר לאפס.

המוצא מתנהג אחרת לגמרי. הקבל אינו מאפשר קפיצה במתח שעליו, ולכן כל קפיצה של המבוא עוברת **במלואה** אל המוצא ומשם דועכת:

ודועך 5 V קופץ אל V_{out} : $t = 0$ ברגע

ודועך 5 V צונח ב- V_{out} : $t = 4.5 \text{ msec}$ ברגע

התוצאה היא שני חודים חדים – חיובי בעליית הדופק ושלילי בירידתו – עם דעיכה מעריכית ביניהם. זו בדיוק צורת האות של מעגל גוזר.

סעיף ב – משוואות מתח המוצא

בזמן הדופק, כלומר בתחום שבין אפס ל- 4.5 msec , הקבל נטען דרך הנגד והמוצא דועך מן הערך שאליו קפץ:

$$V_{out}(t) = 5 \cdot e^{-t/2} \text{ V}$$

הזמן במילישניות

$$V_{out}(4.5) = 5 \cdot e^{-2.25} = 5 \times 0.1054$$

$$V_{out}(4.5 \text{ msec}) = 0.53 \text{ V}$$

אחרי הדופק יורד המבוא ב-5 V בבת אחת. הקפיצה עוברת במלואה אל המוצא, ולכן הוא נופל מ-0.53 V אל -4.47 V, ומשם דועך אל האפס:

$$V_{out}(t) = -4.47 \cdot e^{-(t-4.5)/2} \text{ V}$$

$$V_{out}(6.5) = -4.47 \cdot e^{-1} = -4.47 \times 0.3679$$

$$V_{out}(6.5 \text{ msec}) = -1.65 \text{ V}$$

⚠️ הטעות הנפוצה כאן היא להתחיל את הדעיכה השנייה מ-5 V ולא מ-4.47 V. הקבל אינו "מתאפס" בסוף הדופק – הוא נשאר טעון ב-4.47 V, וזה בדיוק המתח שנותר על הנגד ברגע הירידה.

סעיף ג – מתי המוצא יורד ל-2.5 V

זהו בדיוק חצי מן הערך ההתחלתי, ולכן:

$$5 \cdot e^{-t/2} = 2.5 \rightarrow e^{-t/2} = 0.5$$

$$t = 2 \cdot \ln 2 = 2 \times 0.693$$

$$t = 1.39 \text{ msec}$$

🧪 בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – הקפיצה למעלה בהתחלה והצניחה בסוף.

שאלה 6 – בקרת הספק בעומס אומי באמצעות טריאק

נתונים: 2.5 msec דופקי הצתה כל • $f = 50 \text{ Hz}$ • $V_{\text{RMS}} = 230 \text{ V}$ • $R_L = 80 \Omega$ אחרי חציית האפס

מבנה המעגל: הטריאק יושב בטור עם העומס על רשת החילופין. בניגוד לטיריסטור, הטריאק מוליך בשני כיווני הזרם, ולכן מערכת הבקרה שולחת דופק הצתה בכל חצי מחזור – וזו בקרת גל שלם.

סעיף א – צורות הגלים

מן הגרפים שבשאלה עולה שדופק ההצתה מגיע 2.5 msec אחרי כל חציית אפס. מחזור שלם ברשת של 50 הרץ נמשך 20 msec, וחצי מחזור נמשך 10 msec – כלומר 180° :

$$\alpha = \frac{2.5}{10} \times 180^\circ = 45^\circ$$

המתח על העומס הוא אפס מתחילת כל חצי מחזור ועד רגע ההצתה, ומרגע ההצתה ואילך הוא עוקב אחרי מתח הרשת עד חציית האפס הבאה. התוצאה היא סינוס שראשיתו קטומה בכל חצי מחזור, בשני הכיוונים.

המתח על הטריאק הוא ההפך המדויק: הוא נושא את מלוא מתח הרשת כל עוד הרכיב חסום, ונופל לאפס ברגע ההצתה ועד סוף חצי המחזור. סכום שני המתחים בכל רגע שווה למתח הרשת.

סעיף ב – המתח היעיל על העומס

נשתמש בנוסחת בקרת הגל השלם בעומס אומי, כפי שהיא מופיעה בנוסחאון:

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

$$\alpha = 45^\circ = 0.785 \text{ rad} ; \sin 2\alpha = \sin 90^\circ = 1$$

$$V_L = 230 \cdot \sqrt{\left(\frac{\pi - 0.785 + 0.5}{\pi} \right)} = 230 \cdot \sqrt{0.909} = 230 \times 0.953$$

$$V_L = 219.3 \text{ V}$$

מה מלמדת התוצאה: זווית הצתה של 45° חותכת רבע מכל חצי מחזור, ובכל זאת המתח היעיל יורד רק ב-4.6 אחוזים. הסיבה היא שהחלק הקטום נמצא סמוך לחציית האפס, שם משרעת הסינוס קטנה ותרומתה לערך היעיל זניחה. רק סביב 90° מתחילה הבקרה לעבוד באמת.

סעיף ג – ההספק היעיל על העומס

$$P(R_L) = \frac{V_L^2}{R_L} = \frac{219.3^2}{80} = \frac{48093}{80}$$

$$P(R_L) = 601 \text{ W}$$

להשוואה – בלי בקרה כלל, כשהעומס מחובר ישירות לרשת, ההספק היה 661 W. הבקרה בזווית 45° הורידה אותו ב-9 אחוזים בלבד.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – צורת הגל על העומס בכל זווית הצתה.

שאלה 7 – משווה עם חיישן אור והתראת LED

$$v_{in} = 6 \text{ V} \cdot V_{CC} = 9 \text{ V} \cdot R_1 = 42 \text{ k}\Omega \cdot R_2 = 12 \text{ k}\Omega \cdot R_3 = 6 \text{ k}\Omega \cdot V_{LED} = 1.2 \text{ V} \cdot I_{LED} = 15 \text{ mA}$$

מבנה המעגל: מגבר השרת עובד כאן ללא משווא כלל – זהו **משווה**. בכניסה החיובית יושבת הנקודה X, שהיא מחלק מתח בין חיישן האור לבין R_1 . בכניסה השלילית יושבת הנקודה Y, שהיא מחלק מתח קבוע בין R_2 ל- R_3 ומשמש מתח ייחוס. המוצא קופץ אל מתח ההזנה כאשר X גבוה מ-Y, ואל האפס כאשר הוא נמוך ממנו.

סעיף א – המתח בנקודה Y

הכניסה השלילית אינה מושכת זרם, ולכן המחלק אינו מועמס:

$$V_Y = 6 \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 6 \times \frac{6}{12 + 6} = 6 \times \frac{1}{3}$$

$$V_Y = 2 \text{ V}$$

סעיף ב – ערכו של R_4

כשהנורית דולקת המוצא נמצא במתח ההזנה המלא. על הנורית נופל מפל קבוע, וכל היתר נופל על הנגד:

$$V(R_4) = V_{CC} - V_{LED} = 9 - 1.2 = 7.8 \text{ V}$$

$$R_4 = \frac{7.8}{15 \times 10^{-3}}$$

$$R_4 = 520 \text{ }\Omega$$

סעיף ג – התנגדות החיישן שבה הנורית דולקת

הנורית דולקת כאשר המוצא גבוה, כלומר כאשר המתח בנקודה X עולה על מתח הייחוס. נמצא את ההתנגדות שבה שני המתחים משתווים – זהו סף ההפעלה:

$$V_x = 6 \cdot \frac{R_1}{R(\text{LDR}) + R_1} = 2$$

$$6 \times 42 = 2 \cdot (R(\text{LDR}) + 42) \rightarrow 252 = 2R(\text{LDR}) + 84$$

$$R(\text{LDR}) = \frac{168}{2}$$

– סף ההדלקה $R(\text{LDR}) = 84 \text{ k}\Omega$

ההתנגדות של חיישן אור **יורדת** ככל שההארה מתחזקת. לכן הנורית דולקת בכל ההתנגדויות הקטנות מן הסף:

$$R(\text{LDR}) < 84 \text{ k}\Omega \rightarrow \text{הנורית דולקת}$$

מן האופיין שבשאלה: בהארה של 2 klux ההתנגדות היא $60 \text{ k}\Omega$ ובהארה של 5 klux היא $30 \text{ k}\Omega$ – שתיהן מתחת לסף, והנורית דולקת. הסף עצמו, $84 \text{ k}\Omega$, נמצא על העקומה בהארה של 1.5 klux , ולכן זהו גבול ההפעלה של המעגל.

מדוע צריך משווה ולא סתם נגד עם נורית: החיישן משנה את התנגדותו בהדרגה, והנורית הייתה מתעמעמת ומתבהרת ברציפות. המשווה הופך את המעבר ההדרגתי הזה להחלטה חדה – דלוק או כבוי – סביב סף מוגדר, וזה מה שהופך את המעגל למערכת חיווי ולא לתאורת רקע.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – סף המשווה מול התנגדות החיישן.

שאלה 8 – שלושה מגברי שרת אידאליים

נתונים: $V_{in1} = 2\text{ V}$ • $V_{in2} = 1\text{ V}$ • $R_1 = 2\text{ k}\Omega$ • $R_2 = 4\text{ k}\Omega$ • $R_4 = 1\text{ k}\Omega$ • $R_5 = 5\text{ k}\Omega$ • $R_6 = 10\text{ k}\Omega$ • $R_7 = 2\text{ k}\Omega$ • $R_3 = 1\text{ k}\Omega$

סעיף א – תפקידו של כל מגבר

המגבר A – הכניסה החיובית מוארכת, האות מגיע דרך R_1 אל הכניסה השלילית ו- R_2 הוא המשוב. זהו **מגבר הופך** בהגבר 2.

המגבר B – האות מגיע ישירות אל הכניסה החיובית, ורשת R_5 ו- R_6 מחוברת אל הכניסה השלילית. זהו **מגבר לא-הופך** בהגבר 3.

המגבר C – מוצאו של A מגיע דרך R_3 אל הכניסה החיובית, מוצאו של B מגיע דרך R_4 אל הכניסה השלילית, ו- R_7 הוא המשוב. זהו **מגבר הפרש**, המגיב להפרש שבין שני האותות.

סעיף ב – שלושת מתחי המוצא

המגבר A – הכניסה השלילית היא אדמה מדומה:

$$V_{out1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_{in1} = -\frac{4}{2} \times 2$$

המגבר B – המשוב מעתיק את מתח הכניסה החיובית אל הצומת שבין R_5 ל- R_6 :

$$V_{out2} = V_{in2} \cdot \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) = 1 \times \left(1 + \frac{10}{5}\right)$$

$$V_{out1} = -4\text{ V} ; V_{out2} = +3\text{ V}$$

המגבר C. דרך R_3 אין זרם כלל, שהרי היא מובילה אל כניסה של מגבר שרת אידאלי, ולכן על הכניסה החיובית יושב מוצאו של A במלואו:

$$V_+ = V_{out1} = -4 \text{ V} \rightarrow V_- = -4 \text{ V}$$

$$I(R_4) = \frac{V_{out2} - V_-}{R_4} = \frac{3 - (-4)}{1 \text{ k}\Omega} = 7 \text{ mA}$$

$$V_{out} = V_- - I(R_4) \cdot R_7 = -4 - 7 \times 2$$

$$V_{out} = -18 \text{ V}$$

אימות בנוסחת מגבר ההפרש:

$$V_{out} = V_{out1} \left(1 + \frac{R_7}{R_4}\right) - V_{out2} \cdot \frac{R_7}{R_4} = -4 \times 3 - 3 \times 2$$

$$V_{out} = -12 - 6 = -18 \text{ V} \checkmark$$

⚠ התוצאה מחייבת מתחי הזנה של לפחות $\pm 18 \text{ V}$. עם הזנה מקובלת של $\pm 15 \text{ V}$ המוצא היה נחתך ונעצר על -15 V – נקודה שכדאי לציין בתשובה גם כשלא שואלים עליה במפורש.

סעיף ג – הזרמים בנגדי המשוב

בנגד R_2 . הכניסה השלילית של A יושבת על אפס (אדמה מדומה), והכניסה אינה בולעת זרם – לכן כל הזרם שנכנס דרך R_1 ממשיך דרך R_2 :

$$I(R_1) = \frac{2 - 0}{2 \text{ k}\Omega} = 1 \text{ mA}$$

$$I(R_2) = \frac{0 - (-4)}{4 \text{ k}\Omega} = 1 \text{ mA} \checkmark$$

בנגד R_6 . הכניסה השלילית של B עוקבת אחרי החיובית ויושבת על 1 V . דרך R_5 יורד אל האדמה זרם, ואותו זרם בדיוק מגיע דרך R_6 מן המוצא:

$$I(R_5) = \frac{1}{5 \text{ k}\Omega} = 0.2 \text{ mA}$$

$$I(R_6) = \frac{3 - 1}{10 \text{ k}\Omega} = 0.2 \text{ mA} \checkmark$$

$$I(R_2) = 1 \text{ mA} ; I(R_6) = 0.2 \text{ mA}$$

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – שלושת המוצאים בשרשרת. 

פחד גאנבם · fahed-lab.com

פרק שלישי – אנגלית טכנית • שאלות 9-10

שאלות 9-10 – אנגלית טכנית

שתי השאלות האחרונות נשענות על קטעי קריאה באנגלית המצורפים לשאלון בנספחים א' ו-ב': שאלה 9 עוסקת באנרגייה סולרית – מה השמש מסוגלת לייצר, מדוע חלק גדול מאנרגייתה אינו זמין לאדם ומדוע היא יקרה למרות שהיא חינמית; ושאלה 10 באנרגייה תרמית – הקולטים, מבנם, נצילותם ואפשרות השימוש הישיר. הנבחן עונה על אחת מהן בלבד.

 **שלושה כללים שמזכים בניקוד המלא:** עונים **בעברית** ולא באנגלית; מסתמכים **רק על הכתוב בקטע** ולא על ידע כללי; ולכל סעיף מציינים את **מספרי השורות** בקטע שעליהן מבוססת התשובה – סעיף בלי מספרי שורות מאבד ניקוד גם אם תוכנו נכון.

מכיוון שהתשובות נגזרות ישירות מנוסח הקטעים המצורפים, אין כאן פתרון מספרי לצטט. עברו על הקטע, סמנו בו את השורות הרלוונטיות לכל סעיף, וכתבו תשובה קצרה ומדויקת המפנה אליהן.