

הצעה לפתרון מלא – חשמל ואלקטרוניקה לטכנאים

בחינת גמר • אביב תשפ"ג 2023 • 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"ג 2023. 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
fahed-lab.com

פרק ראשון – תורת החשמל • שאלות 4-1

שאלה 1 – שיטת מתחי הצמתים עם שלושה מקורות

נתונים: $E_1 = 15 \text{ V}$ • $E_3 = 15 \text{ V}$ • $E_4 = 18 \text{ V}$ • $R_1 = 3 \Omega$ • $R_3 = 3 \Omega$ • $R_4 = 2 \Omega$ • $R_5 = 10 \Omega$ • $R_6 = 6 \Omega$

מבנה המעגל: הפס התחתון מוארק ומשמש צומת ייחוס. הצומת A יורד אל האדמה דרך E_1 ו- R_1 בטור, ומחובר אל הצומת B בשני ענפים מקבילים – R_6 לבדו, ו- R_3 בטור עם E_3 . הצומת B יורד אל האדמה דרך R_5 , ובמקביל דרך R_4 בטור עם E_4 . באיור: קוטבו החיובי של E_1 פונה כלפי מעלה אל A, קוטבו החיובי של E_3 פונה אל B, וקוטבו החיובי של E_4 פונה כלפי מטה אל האדמה.

סעיף א – מערכת המשוואות

בשיטת מתחי הצמתים כותבים בכל צומת את חוק הזרמים של קירכהוף, כשכל זרם ענף מבוטא במתחי הצמתים. מקור מתח בתוך ענף אינו מפריע: הוא פשוט מוסיף או מחסיר את כא"מ שלו במונה, לפי הקוטביות שלו.

הצומת A. שלושה ענפים יוצאים ממנו – אל האדמה דרך E_1 ו- R_1 , אל B דרך R_6 , ואל B דרך R_3 ו- E_3 . סכום הזרמים היוצאים הוא אפס:

$$\frac{U_A - 15}{3} + \frac{U_A - U_B}{6} + \frac{U_A + 15 - U_B}{3} = 0$$

הצומת B. שני הזרמים הנכנסים אליו משמאל שווים לשני הזרמים היורדים ממנו אל האדמה:

$$\frac{U_A - U_B}{6} + \frac{U_A + 15 - U_B}{3} = \frac{U_B}{10} + \frac{U_B + 18}{2}$$

מניין ה-15 והמינוס: בענף של E_1 יוצאים מ-A דרך הקוטב החיובי, ולכן הפוטנציאל יורד ב-15 לפני שהוא נופל על R_1 – ומכאן המונה $U_A - 15$. בענף של E_3 נכנסים אל הקוטב השלילי ויוצאים מן החיובי, ולכן הפוטנציאל עולה ב-15 בדרך אל B. בענף של E_4 הקוטב החיובי נוגע באדמה, ולכן ראשו של R_4 יושב על 18 V-.

סעיף ב – המתחים בנקודות A ו-B

נכפול את המשוואה הראשונה ב-6 ואת השנייה ב-30, ונכנס איברים:

$$2(U_A - 15) + (U_A - U_B) + 2(U_A + 15 - U_B) = 0$$

$$5U_A - 3U_B = 0$$

$$5(U_A - U_B) + 10(U_A + 15 - U_B) = 3U_B + 15(U_B + 18)$$

$$-5U_A + 11U_B + 40 = 0$$

מן המשוואה הראשונה מתקבל $5U_A = 3U_B$. נציב במשוואה השנייה:

$$-3U_B + 11U_B + 40 = 0 \rightarrow 8U_B = -40$$

$$U_B = -5 \text{ V} \rightarrow U_A = \frac{3 \times (-5)}{5} = -3 \text{ V}$$

$$U_A = -3 \text{ V} ; U_B = -5 \text{ V}$$

שני המתחים שליליים, ואין בכך פסול: המקור E_4 מושך את הצומת B מתחת לפוטנציאל האדמה, והצומת A נגרר אחריו.

אימות בחוק הזרמים בצומת A – נחשב את שלושת הזרמים היוצאים ממנו ונסכם:

$$\frac{-3 - 15}{3} = -6 \text{ A} ; \frac{-3 + 5}{6} = 0.33 \text{ A} ; \frac{-3 + 15 + 5}{3} = 5.67 \text{ A}$$

$$-6 + 0.33 + 5.67 = 0 \checkmark$$

סעיף ג – הזרם בנגד R_3 וכיוונו

$$I(R_3) = \frac{U_A + 15 - U_B}{R_3} = \frac{-3 + 15 + 5}{3} = \frac{17}{3}$$

$$I(R_3) = 5.67 \text{ A ב-A ל-B}$$

💡 **למה דווקא מ-A ל-B, אף ש-A נמוך יותר?** מפני שבתוך הענף עצמו יושב המקור E_3 ומעלה את הפוטנציאל ב-15 V. ההפרש שדוחף את הזרם אינו $U_A - U_B = 2$ V אלא $U_A - U_B = 17 - 2 = 15$ V ולכן הזרם זורם מן הצומת הנמוך אל הגבוה.

סעיף ד – ההספק המתפתח על R_5

על R_5 יושב מתח הצומת B במלואו, שכן קצהו השני מוארק:

$$P(R_5) = \frac{U_B^2}{R_5} = \frac{(-5)^2}{10} = \frac{25}{10}$$

$$P(R_5) = 2.5 \text{ W}$$

אימות במאזן הספקים – סכום ההספקים על חמשת הנגדים הוא 292 W, ובדיוק אותם 292 W מספקים שלושת המקורות יחד ✓

🔧 בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – מתחי שני הצמתים והזרם ביניהם.

שאלה 2 – שיטת ההרכבה עם מקור זרם ומקור מתח

$$I = 6 \text{ A} \cdot E = 10 \text{ V} \cdot R_1 = 2 \Omega \cdot R_2 = 4 \Omega \cdot R_3 = 10 \Omega \cdot R_4 = 5 \Omega$$

נתונים:

מבנה המעגל: מקור הזרם, R_1 ו- R_2 יושבים כולם על אותו ענף אחד – ולכן דרך שלושתם זורמים אותם 6 A בדיוק, ושני הנגדים האלה אינם משפיעים כלל על חלוקת הזרם. הענף הזה מזרים 6 A אל הצומת העליון האמצעי, וממנו יורד R_3 אל הפס התחתון, ובמקביל יוצא R_4 בטור עם המקור E.

סעיף א – הזרם ב- R_3 בשיטת ההרכבה

שלב ראשון – רק מקור הזרם פועל. מקור מתח שאינו פועל מוחלף בקצר, ולכן R_4 נמתח ישירות אל הפס התחתון ומופיע במקביל ל- R_3 . ששת האמפרים מתחלקים בין שני הנגדים ביחס הפוך להתנגדויות:

$$I'(R_3) = 6 \times \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 6 \times \frac{5}{15} = 2 \text{ A}$$

כלפי מטה

שלב שני – רק מקור המתח פועל. מקור זרם שאינו פועל מוחלף בנתק, ולכן הענף של R_1 , R_2 ומקור הזרם נמחק מן המעגל לגמרי. נשארת לולאה פשוטה: המקור, R_4 ו- R_3 בטור:

$$I''(R_3) = \frac{E}{R_4 + R_3} = \frac{10}{5 + 10} = 0.67 \text{ A}$$

כלפי מטה

שתי התרומות זורמות באותו כיוון – כלפי מטה דרך R_3 – ולכן הן נאספות בחיבור:

$$I(R_3) = 2 + 0.67$$

$$I(R_3) = 2.67 \text{ A}$$

כלפי מטה

אימות בשיטת מתחי הצמתים. נסמן ב-U את מתח הצומת העליון האמצעי מעל הפס התחתון:

$$6 = \frac{U}{10} + \frac{U - 10}{5} \rightarrow 0.3U = 8 \rightarrow U = 26.67 \text{ V}$$

$$I(R_3) = \frac{26.67}{10} = 2.67 \text{ A } \checkmark ; I(R_4) = \frac{26.67 - 10}{5} = 3.33 \text{ A}$$

$$2.67 + 3.33 = 6 \text{ A } \checkmark$$

סעיף ב – ההספק המתפתח על R_3

$$P(R_3) = I^2 \cdot R_3 = 2.67^2 \times 10 = 7.11 \times 10$$

$$P(R_3) = 71.1 \text{ W}$$

סעיף ג – מדידת המתח על R_2

1. מקום מד-המתח. מד-מתח נמדד תמיד **במקביל** לרכיב הנמדד – שני מגעיו מתחברים לשני קצות R_2 , בלי לנתק דבר במעגל. מד-מתח אידאלי הוא בעל התנגדות אינסופית, ולכן אינו מושר זרם ואינו משנה את המעגל כלל.

2. הקריאה. R_2 יושב על ענף מקור הזרם, ולכן זורמים דרכו 6 A מלאים ללא תלות בשאר המעגל:

$$U(R_2) = I \cdot R_2 = 6 \times 4$$

$$U(R_2) = 24 \text{ V}$$

נקודה שחוזרת בכל שאלה עם מקור זרם: נגד שיושב בטור עם מקור זרם אידאלי אינו משנה דבר ביתר המעגל – הוא רק מוסיף מתח על עצמו. לכן R_1 ו- R_2 אינם מופיעים באף חישוב של סעיפים א' ו-ב', ורק כאן, כשמבקשים את המתח עליהם, הם מקבלים תפקיד.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – מקור הזרם מתחלק בין שני הענפים. 

שאלה 3 – שני ענפים מקביליים בזרם חילופין

נתונים: $U = 100\angle 30^\circ \text{ V}$ • $f = 50 \text{ Hz}$ • $L = 0.2 \text{ H}$ • $C = 25 \mu\text{F}$ • $R_1 = 60 \Omega$ • $R_2 = 200 \Omega$

מבנה המעגל: בין ההדקים A ו-B מחוברים שני ענפים במקביל. הענף השמאלי הוא L בטור עם R_1 , והנקודה F נמצאת ביניהם. הענף הימני הוא C בטור עם R_2 , והנקודה G נמצאת ביניהם.

סעיף א – העכבה השקולה ואופי המעגל

תחילה נתרגם את הסליל ואת הקבל לעכבות בתדר הנתון:

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 50 \times 0.2 = 62.83 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 25 \times 10^{-6}} = 127.32 \Omega$$

$$Z_1 = R_1 + jX_L = 60 + j62.83 = 86.88\angle 46.32^\circ \Omega$$

$$Z_2 = R_2 - jX_C = 200 - j127.32 = 237.1\angle -32.48^\circ \Omega$$

שתי עכבות במקביל – מכפלה חלקי סכום. את המכפלה נוח לחשב בהצגה הקוטבית ואת הסכום בהצגה המלבנית:

$$Z_{AB} = \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{86.88\angle 46.32^\circ \times 237.1\angle -32.48^\circ}{(60 + 200) + j(62.83 - 127.32)}$$

$$Z_{AB} = \frac{20600\angle 13.84^\circ}{260 - j64.49} = \frac{20600\angle 13.84^\circ}{267.9\angle -13.94^\circ}$$

$$Z_{AB} = 76.89\angle 27.77^\circ \Omega = 68.04 + j35.83 \Omega$$

החלק המדומה חיובי, ולכן **אופי המעגל השראי** – הזרם הכולל מפגר אחרי המתח בזווית של 27.77° . הענף ההשראי גובר, מפני שהעכבה שלו קטנה בהרבה מזו של הענף הקיבולי.

סעיף ב – שלושת הזרמים

על שני הענפים מונח אותו מתח מקור, ולכן כל זרם ענף מתקבל בחלוקה ישירה:

$$I = \frac{U}{Z_{AB}} = \frac{100\angle 30^\circ}{76.89\angle 27.77^\circ} = 1.30\angle 2.23^\circ \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{100\angle 30^\circ}{86.88\angle 46.32^\circ} = 1.15\angle -16.32^\circ \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{100\angle 30^\circ}{237.1\angle -32.48^\circ} = 0.42\angle 62.48^\circ \text{ A}$$

$$I = 1.30\angle 2.23^\circ \text{ A} ; I_1 = 1.15\angle -16.32^\circ \text{ A} ; I_2 = 0.42\angle 62.48^\circ \text{ A}$$

אימות בחוק הזרמים: סכום שני זרמי הענפים חייב לתת את הזרם הכולל. חיבור פאזורים נעשה בהצגה המלבנית בלבד:

$$I_1 = 1.105 - j0.323 ; I_2 = 0.195 + j0.374$$

$$I_1 + I_2 = 1.300 + j0.051 = 1.30\angle 2.23^\circ \text{ A} \checkmark$$

סעיף ג – הדיאגרמה הפאזורית

נבחר את פאזור המתח U כציר הייחוס ונצייר אותו בזווית 30° מעל הציר הממשי. ממנו יוצאים שני פאזורי הזרם:

– הענף ההשראי U מפגר אחרי 46.32° –

– הענף הקיבולי U מקדים את 32.48° –

– הסכום הווקטורי U מפגר אחרי 27.77° –

שלושת הפאזורים יוצאים מאותה ראשית, ופאזור הזרם הכולל הוא האלכסון של מקבילית הנבנית על I_1 ועל I_2 . מכיוון ש- I_1 ארוך פי שניים וחצי מ- I_2 , המקבילית נוטה חזק לצד ההשראי – ולכן הסכום נופל מתחת למתח ולא מעליו.

סעיף ד – הפרש הפוטנציאלים בין F ל-G

שתי הנקודות אינן מחוברות זו לזו, ולכן נמדוד כל אחת מהן ביחס לפס התחתון B. דרך R_1 זורם I_1 ודרך R_2 זורם I_2 :

$$U_F = I_1 \cdot R_1 = 1.15\angle -16.32^\circ \times 60 = 69.06\angle -16.32^\circ \text{ V}$$

$$U_G = I_2 \cdot R_2 = 0.42\angle 62.48^\circ \times 200 = 84.36\angle 62.48^\circ \text{ V}$$

החיסור נעשה בהצגה המלבנית:

$$U_F = 66.28 - j19.41 ; U_G = 38.98 + j74.81$$

$$U_{FG} = (66.28 - 38.98) + j(-19.41 - 74.81) = 27.30 - j94.22$$

$$U_{FG} = 98.1 \angle -73.84^\circ \text{ V}$$

⚠ שימו לב שהפרש המתחים בין שתי הנקודות (V 98) גדול מכל אחד מן המתחים בנפרד – תוצאה שנראית מוזרה בזרם ישר, ובזרם חילופין היא שגרתית: שני הפאזורים כמעט מאונכים זה לזה, ולכן החיסור הווקטורי שלהם ארוך משניהם.

🔧 בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – הענף ההשראי, הענף הקיבולי והסכום שלהם.

שאלה 4 – עומס תלת-מופעי סימטרי בחיבור כוכב

נתונים: $U_L = 400 \text{ V}$ • $f = 50 \text{ Hz}$ • $Z = 8 + j2 \Omega$ בכל מופע

סעיף א – הזרם הקווי והזרם המופעי

בחיבור כוכב כל עכבה מחוברת בין קו לבין נקודת האפס, ולכן המתח עליה הוא המתח המופעי – קטן פי שורש שלוש מן המתח הקווי:

$$U_{ph} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{400}{1.732} = 231 \text{ V}$$

$$|Z| = \sqrt{8^2 + 2^2} = \sqrt{68} = 8.25 \Omega ; \phi = \arctan \frac{2}{8} = 14.04^\circ$$

$$I_{ph} = \frac{U_{ph}}{|Z|} = \frac{231}{8.25} = 28.01 \text{ A}$$

$$I_{ph} = I_L = 28.01 \text{ A}$$

הכלל שאסור לבלבל: בכוכב הזרם הקווי שווה לזרם המופעי, והמתחים הם שנחלקים בשורש שלוש. במשולש ההפך הוא הנכון – המתחים שווים והזרמים נחלקים. 💡

סעיף ב – מקדם ההספק

מקדם ההספק נקבע כולו על ידי זווית העכבה, ואינו תלוי כלל בסוג החיבור:

$$\cos \phi = \frac{R}{|Z|} = \frac{8}{8.25} = 0.97$$

$$\text{מפגר – עומס השראי } \cos \phi = 0.97$$

סעיף ג – שלושת ההספקים

בעומס סימטרי מחשבים מופע אחד וכופלים בשלוש:

$$P = 3 \cdot I_{ph}^2 \cdot R = 3 \times 28.01^2 \times 8 = 18823 \text{ W}$$

$$Q = 3 \cdot I_{ph}^2 \cdot X = 3 \times 28.01^2 \times 2 = 4706 \text{ var}$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L = 1.732 \times 400 \times 28.01 = 19403 \text{ VA}$$

$$P = 18.82 \text{ kW} ; Q = 4.71 \text{ kvar} ; S = 19.4 \text{ kVA}$$

אימות: שלושת ההספקים חייבים לסגור משולש ישר-זווית, ומקדם ההספק חייב להתקבל גם מהם:

$$\sqrt{(18.82^2 + 4.71^2)} = \sqrt{(354.2 + 22.2)} = 19.4 \text{ kVA} \checkmark$$

$$\frac{P}{S} = \frac{18.82}{19.4} = 0.97 \checkmark$$

סעיף ד – משולש ההספקים

הניצב האופקי הוא ההספק הממשי $P = 18.82 \text{ kW}$, הניצב האנכי הוא ההספק ההיגבי $Q = 4.71 \text{ kvar}$ ומצויר כלפי מעלה מפני שהעומס השראי, והיתר הוא ההספק המדומה $S = 19.4 \text{ kVA}$. הזווית שבין P לבין S היא 14.04° – בדיוק זווית העכבה. המשולש שטוח מאוד, וזו התמונה הגרפית של מקדם הספק גבוה.

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

פרק שני – אלקטרוניקה א' • שאלות 5-8

שאלה 5 – מגבר טרנזיסטורי בקיטוב קבוע

נתונים: $V_{CC} = 10\text{ V}$, $\beta = h_{fe} = 70$, $h_{ie} = 2\text{ k}\Omega$, $V_{BE} = 0.7\text{ V}$, $V_{CE} = 6\text{ V}$, $R_L = 4\text{ k}\Omega$, $I_B = 15\text{ }\mu\text{A}$

מבנה המעגל: קיטוב בנגד בסיס יחיד – R_B מוביל ישירות מן המקור אל הבסיס, R_C מוביל מן המקור אל הקולט, והפולט מוארק. הקבלים C_1 ו- C_2 מפרידים בין המבוא והעומס לבין נקודת העבודה, ובתדר העבודה הם נחשבים לקצר.

סעיף א – ערכו של הנגד R_B

לולאת המבוא עוברת מן המקור דרך R_B אל הבסיס, ומן הפולט אל האדמה. על המפגש בסיס-פולט נופלים 0.7 V , וכל היתר נופל על R_B :

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{10 - 0.7}{15 \times 10^{-6}} = \frac{9.3}{15 \times 10^{-6}}$$

$$R_B = 620\text{ k}\Omega$$

סעיף ב – ערכו של הנגד R_C

זרם הקולט נגזר מזרם הבסיס דרך מקדם ההגבר:

$$I_C = \beta \cdot I_B = 70 \times 15\text{ }\mu\text{A} = 1.05\text{ mA}$$

בלולאת המוצא הפולט מוארק, ולכן כל המתח שאינו נופל על הטרנזיסטור נופל על R_C :

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{10 - 6}{1.05 \times 10^{-3}} = \frac{4}{1.05 \times 10^{-3}}$$

$$R_C = 3.81 \text{ k}\Omega$$

⚠ שגיאה נפוצה: לכתוב $R_C = V_{CC} \div I_C$ ולשכוח להחסיר את המתח שנופל על הטרנזיסטור עצמו. במעגל הזה הפולט מוארק ואין גגד פולט, ולכן החיסור היחיד הוא של V_{CE} – אבל בשאלות שבהן קיים גגד פולט צריך לחסר גם אותו.

סעיף ג – מעגל תמורה לאות חילופין

במעגל התמורה לאות חילופין מקצרים את מקור המתח הישר ואת שני הקבלים. מה שנשאר הוא:

בין הבסיס לפולט $h_{ie} = 2 \text{ k}\Omega$

מקור זרם מבוקר בקולט $\beta \cdot i_b = 70 \cdot i_b$

העומס האפקטיבי $R_C \parallel R_L = 3.81 \parallel 4$

קיצור המקור מוריד את R_C אל האדמה, ולכן הוא מופיע במקביל ל- R_L – ולא בטור עמו. זו הנקודה היחידה שבה המעגל לאות חילופין שונה מן המעגל הישר, והיא זו שקובעת את ההגבר.

סעיף ד – הגבר המתח

$$R_{ac} = R_C \parallel R_L = \frac{3.81 \times 4}{3.81 + 4} = \frac{15.24}{7.81} = 1.95 \text{ k}\Omega$$

$$A_V = - \frac{\beta \cdot R_{ac}}{h_{ie}} = - \frac{70 \times 1.95}{2}$$

$$A_V = -68.3$$

סימן המינוס מציינ היפוך פאזה של 180° בין המבוא למוצא – תכונה קבועה של מגבר בפולט משותף. גודל ההגבר הוא 68.3.

🔧 בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – מנקודת העבודה המבוקשת אל שני הנגדים.

שאלה 6 – מגבר שרת לא-הופך עם אות סינוס

נתונים: $v_i(t) = 2 \cdot \sin(314t) \text{ V}$ • $V_{CC} = \pm 10 \text{ V}$ • $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ • $R_2 = 3 \text{ k}\Omega$ • $R_3 = 2 \text{ k}\Omega$ • $R_L = 2 \text{ k}\Omega$

מבנה המעגל: אות המקור מגיע דרך R_1 אל הכניסה החיובית, ורשת המשב R_2 ו- R_3 מחוברת אל הכניסה השלילית – R_3 אל האדמה ו- R_2 אל המוצא. זו התצורה הלא-הופכת.

סעיף א1 – ביטוי למתח המוצא

כניסות מגבר שרת אידאלי אינן מושכות זרם. לכן דרך R_1 אין זרם כלל, אין עליו מפל מתח, וכל אות המקור מגיע אל הכניסה החיובית כמות שהוא:

$$v_+ = v_i(t) = 2 \cdot \sin(314t) \text{ V}$$

המשב השלילי משווה את שתי הכניסות, ולכן על R_3 יושב אותו מתח בדיוק. מכאן ההגבר של התצורה הלא-הופכת:

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_3} = 1 + \frac{3}{2} = 2.5$$

$$v_o(t) = 2.5 \times 2 \cdot \sin(314t)$$

$$v_o(t) = 5 \cdot \sin(314t) \text{ V}$$

⚠️ הגד R_1 אינו משתתף בהגבר – לא ב-1 ולא ב-2.5. תפקידו היחיד הוא הגנה ואיזון זרמי דליפה. בכל פעם שנגד יושב בטור עם כניסת מגבר שרת אידאלי, המתח עליו הוא אפס.

נבדוק שהמוצא אינו נחתך: המשרעת המרבית היא 5 V , ומתחי ההזנה הם $\pm 10 \text{ V}$ – יש מרווח נוח, והגל יוצא סינוס נקי.

סעיף א2 – הערך היעיל של מתח המוצא

$$V_o = \frac{v_{o,\max}}{\sqrt{2}} = \frac{5}{1.414}$$

$$V_o = 3.54 \text{ V}$$

סעיף ב – הזרם היעיל בעומס

מוצא מגבר שרת אידאלי הוא מקור מתח, ולכן מלוא מתח המוצא מונח על העומס:

$$I_L = \frac{V_o}{R_L} = \frac{3.54}{2000}$$

$$I_L = 1.77 \text{ mA}$$

סעיף ג – שרטוט שני האותות

שני הגלים מצוירים זה מתחת לזה על אותו ציר זמן, לאורך שני מחזורים:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{314} = 20 \text{ msec}$$

$$v_i : +2 \text{ V} \dots -2 \text{ V}$$

$$v_o : +5 \text{ V} \dots -5 \text{ V}$$

שני הגלים חוצים את האפס באותם רגעים בדיוק ומגיעים לשיא באותם רגעים – אין ביניהם היפוך פאזה ואין הסטה בזמן. ההבדל היחיד הוא בגובה: המוצא גדול פי 2.5. שני מחזורים מלאים נמשכים 40 msec.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – אות הכניסה ואות המוצא על אותו ציר. 

שאלה 7 – טעינת קבל, מגבר לא-הופך ונורית LED

נתונים: $E = 10 \text{ V}$, $R_1 = 3 \text{ k}\Omega$, $C = 1 \text{ mF}$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 10 \text{ V}$, $V_{LED} = 1.8 \text{ V}$, $I_{LED} = 12 \text{ mA}$

מבנה המעגל: שני חלקים נפרדים. בכניסה – מקור, מפסק, R_1 וקבל C , שהוא מעגל טעינה רגיל. אחריו – מגבר שרת בתצורה לא-הופכת, שהכניסה החיובית שלו מחוברת אל הקבל, ורשת המשוב R_2 ו- R_3 קובעת את ההגבר. הכניסה של המגבר אינה מושכת זרם, ולכן היא אינה מפריעה לטעינה כלל.

סעיף א – צורת שני המתחים כפונקצייה של הזמן

קבוע הזמן של מעגל הטעינה:

$$\tau = R_1 \cdot C = 3 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-3} = 3 \text{ sec}$$

$$V_C(t) = E(1 - e^{-t/\tau}) = 10(1 - e^{-t/3}) \text{ V}$$

המגבר הלא-הופך מכפיל את המתח הזה בהגבר שלו:

$$A_V = 1 + \frac{R_3}{R_2} = 1 + \frac{1}{1} = 2$$

$$V_O(t) = 2 \cdot V_C(t) = 20(1 - e^{-t/3}) \text{ V}$$

⚠ הביטוי הזה תקף רק כל עוד המוצא נמצא בתחום ההזנה. מתח ההזנה הוא 10 V, ולכן ברגע שהמכפלה מגיעה ל-10 V המוצא נעצר שם ונשאר רווי – הוא לעולם לא יגיע ל-20 V.

הגרף. V_C עולה מאפס בעקומה מעריכית ומתקרב ל-10 V; אחרי קבוע זמן אחד (3 שניות) הוא ב-6.3 V ואחרי חמישה קבועי זמן (15 שניות) הוא כבר על 10 V למעשה. V_O עולה באותה צורה בדיוק אך בקצב כפול, מגיע ל-10 V אחרי כשתי שניות, ומשם ואילך הוא קו ישר אופקי בגובה 10 V.

סעיף ב – מתי נדלקת הנורית

הנורית נדלקת כאשר המוצא מגיע ל-10 V, כלומר כאשר מתח הקבל מגיע למחצית הערך הזה:

$$2 \cdot V_C = 10 \rightarrow V_C = 5 \text{ V}$$

$$10(1 - e^{-t/3}) = 5 \rightarrow e^{-t/3} = 0.5$$

$$t = 3 \cdot \ln 2 = 3 \times 0.693$$

$$t = 2.08 \text{ sec}$$

קיצור דרך שכדאי לזכור: הזמן שבו קבל מגיע למחצית מתח הטעינה הוא תמיד 0.693τ , בלי תלות במתח המקור. כאן זה 0.693 כפול 3 שניות. 💡

סעיף ג – התנגדות הנגד R_L

כשהנורית דולקת, המוצא נמצא על 10 V , ועליו יושבים בטור הנגד R_L והנורית. עליה נופל מפל קבוע של 1.8 V , וכל היתר נופל על הנגד:

$$V(R_L) = V_o - V_{LED} = 10 - 1.8 = 8.2 \text{ V}$$

$$R_L = \frac{8.2}{12 \times 10^{-3}}$$

$$R_L = 683 \ \Omega$$

מתוך סדרת הנגדים המסחרית ייבחר הערך $680 \ \Omega$, והזרם בפועל יהיה 12.06 mA – הפרש זניח.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – הקבל נטען, המגבר מכפיל, והנורית נדלקת. 🧪

שאלה 8 – שלושה מגברי שרת אידאליים

נתונים: $V_1 = -3 \text{ V}$ • $V_2 = -6 \text{ V}$ • $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$ • $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ • $R_3 = 2 \text{ k}\Omega$ • $R_4 = 3 \text{ k}\Omega$ • $R_5 = 8 \text{ k}\Omega$ • $R_6 = 6 \text{ k}\Omega$ • $R_7 = 6 \text{ k}\Omega$ • $R_8 = 3 \text{ k}\Omega$

קוטביות שני המקורות: באיור מסומן הקוטב השלילי של V_1 ושל V_2 כלפי מעלה, והקוטב החיובי מחובר לאדמה. לכן שני המקורות מזינים את המעגל במתח **שלילי**: המקור הראשון ב-3V מתחת לאדמה והשני ב-6V מתחתיה. התעלמות מן הסימון הזה היא הטעות היחידה שמפילה את כל השאלה.

סעיף א – שני מתחי המוצא הראשונים

המגבר A_1 – תצורה לא-הופכת. המקור V_1 מחובר ישירות לכניסה החיובית, R_1 מוביל מן הכניסה השלילית אל האדמה ו- R_2 הוא המשוב:

$$V_{o1} = V_1 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = -3 \times \left(1 + \frac{10}{5}\right) = -3 \times 3$$

המגבר A_2 – תצורה הופכת. הכניסה החיובית מוארקת, המקור V_2 מגיע דרך R_3 ו- R_4 הוא המשוב:

$$V_{o2} = -\frac{R_4}{R_3} \cdot V_2 = -\frac{3}{2} \times (-6)$$

$$V_{o1} = -9 \text{ V} ; V_{o2} = +9 \text{ V}$$

שני המגברים קיבלו מתח שלילי, ובכל זאת המוצאים יצאו הפוכים בסימן – משום שהתצורה הראשונה שומרת על הסימן והשנייה הופכת אותו.

סעיף ב1 – המתח בנקודה A

R_7 ו- R_8 בונים מחלק מתח פשוט בין המוצא של A_1 לבין האדמה. הנקודה A מחוברת לכניסת מגבר שרת, ולכן היא אינה מושכת זרם והמחלק אינו מועמס כלל:

$$V_A = V_{o1} \cdot \frac{R_8}{R_7 + R_8} = -9 \times \frac{3}{6 + 3} = -9 \times \frac{1}{3}$$

$$V_A = -3 \text{ V}$$

סעיף ב2 – הזרם בנגד R_2

במגבר A_1 המשוב משווה את שתי הכניסות, ולכן על הכניסה השלילית יושבים אותם -3 V . דרך R_1 זורם:

$$I(R_1) = \frac{0 - (-3)}{5 \text{ k}\Omega} = 0.6 \text{ mA}$$

הכניסה עצמה אינה בולעת זרם, ולכן אותו זרם חייב לעבור דרך R_2 . נבדוק זאת ישירות:

$$I(R_2) = \frac{-3 - (-9)}{10 \text{ k}\Omega} = \frac{6}{10 \text{ k}\Omega}$$

$$I(R_2) = 0.6 \text{ mA}$$

סעיף ג – מתח המוצא

המגבר A_3 מקבל את V_A בכניסה החיובית ואת V_{o2} דרך R_5 בכניסה השלילית – זהו מגבר הפרש. המשוב קובע שגם על הכניסה השלילית יושבים -3 V , ולכן:

$$I(R_5) = \frac{V_{o2} - V_A}{R_5} = \frac{9 - (-3)}{8 \text{ k}\Omega} = \frac{12}{8 \text{ k}\Omega} = 1.5 \text{ mA}$$

$$V_o = V_A - I(R_5) \cdot R_6 = -3 - 1.5 \times 6$$

$$V_o = -12 \text{ V}$$

אימות בנוסחת מגבר ההפרש, שנותנת את אותה תוצאה בשורה אחת:

$$V_o = V_A \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) - V_{o2} \cdot \frac{R_6}{R_5} = -3 \times 1.75 - 9 \times 0.75$$

$$V_o = -5.25 - 6.75 = -12 \text{ V} \checkmark$$

את הזרם כבר חישבנו בסעיף הקודם, ונותר לקבוע את כיוונו. הנקודה B נמצאת על $+9\text{ V}$ והנקודה C על -3 V , ולכן הזרם זורם מן הגבוה אל הנמוך:

$$I(R_5) = 1.5\text{ mA} \text{ מ-B ל-C}$$

💡 מדוע הנקודה C יושבת על -3 V ולא על האדמה? מפני שהכניסה החיובית של A_3 אינה מוארקת אלא מחוברת ל- V_A . הכלל "אדמה מדומה" תקף רק כאשר הכניסה השנייה מוארקת ממש; כאן המשוב עוקב אחרי V_A , וזו הנקודה שסביבה נבנה כל החישוב.

🧪 בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – ארבעת המתחים בשרשרת שלושת המגברים.

faheed-lab.com . אהד פא

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 סולארית ובהבדל בין מערכת פוטו-וולטאית לבין מערכת תרמו-סולארית מרוכזת, ושאלה 10 בבנייה ירוקה ובעקרונותיה. 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.