

הצעה לפתרון מלא – חשמל ואלקטרוניקה לטכנאים

בחינת גמר • אביב תשפ"ה 2025 • 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"ה 2025. 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: מקור זרם ושלושה מקורות מתח

נתונים: $I_1 = 3 \text{ A}$, $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 6 \Omega$, $R_4 = 3 \Omega$, $R_5 = 4 \Omega$, $E_2 = 10 \text{ V}$, $E_3 = 3 \text{ V}$, $E_4 = 12 \text{ V}$

קריאת המעגל לפני החישוב: הפס התחתון מוארק, ולכן הוא אפס הייחוס. שלושת המקורות מחוברים כך: המקור E_4 פונה עם קוטבו החיובי אל הצומת A, ולכן הקצה השני שלו נמצא ב-12V; המקור E_2 פונה עם קוטבו החיובי כלפי מעלה, ולכן הצומת שבין R_2 ל- E_2 מקובע ל-10V; והמקור E_3 פונה עם קוטבו החיובי כלפי מטה, אל R_3 .

סעיף א – מערכת משוואות הצמתים

בכל צומת סכום הזרמים היוצאים שווה לזרם הנכנס. בענף שיש בו מקור מתח בטור עם נגד, מחסירים או מוסיפים את מתח המקור למונה – לפי הקוטביות שקראנו:

$$\text{צומת A: } 3 = \frac{V_A}{5} + \frac{V_A - V_B}{4} + \frac{V_A - 12 - V_B}{3}$$

$$\text{צומת B: } \frac{V_A - V_B}{4} + \frac{V_A - 12 - V_B}{3} = \frac{V_B - 10}{2} + \frac{V_B + 3}{6}$$

סעיף ב – המתחים בצמתים

נכפול את משוואת הצומת הראשון ב-60 ואת השנייה ב-12, ונקבל מערכת של שתי משוואות בשני נעלמים:

$$47 \cdot V_A - 35 \cdot V_B = 420$$

$$7 \cdot V_A - 15 \cdot V_B = -6$$

נחלץ את המתח בצומת A מן המשוואה השנייה ונציב בראשונה:

$$V_A = \frac{15 \cdot V_B - 6}{7}$$

$$47 \cdot (15 \cdot V_B - 6) - 245 \cdot V_B = 2940$$

$$705 \cdot V_B - 282 - 245 \cdot V_B = 2940 \rightarrow 460 \cdot V_B = 3222$$

$$V_A = 14.15 \text{ V} ; V_B = 7.00 \text{ V}$$

אימות: נציב את שני המתחים בחזרה במשוואת הצומת A ונבדוק שסכום הזרמים היוצאים שווה לזרם שמזרים המקור:

$$I(R_1) = \frac{14.15}{5} = 2.83 \text{ A} ; I(R_5) = \frac{14.15 - 7.00}{4} = 1.79 \text{ A} ; I(R_4) = -1.62 \text{ A}$$

$$2.83 + 1.79 - 1.62 = 3.00 \text{ A} \checkmark$$

סעיף ג – הזרם דרך R_4 וכיוונו

הזרם בענף העליון נקבע מהפרש הפוטנציאלים על פני הענף כולו, כולל מתח המקור שבתוכו:

$$I(R_4) = \frac{V_A - 12 - V_B}{3} = \frac{14.15 - 12 - 7.00}{3} = \frac{-4.85}{3}$$

$$I(R_4) = 1.62 \text{ A} - \text{מ-B ל-A}$$

הסימן השלילי מלמד שהזרם זורם בכיוון ההפוך לזה שהנחנו: הוא נכנס אל הענף מן הצומת B ויוצא אל הצומת A. הסיבה פיזיקלית – המקור E_4 פועל כאן נגד הפרש הפוטנציאלים שבין שני הצמתים, וגובר עליו.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – המעגל פתור מחדש בכל הזזה של מחוון. 

שאלה 2 – מתירויות ומעגל מקבילי בזרם חילופין

נתונים: $u(t) = 100 \cdot \sin(1000t + 50^\circ) \text{ V}$ • $R_1 = 20 \ \Omega$ • $R_2 = 30 \ \Omega$ • $R_3 = 10 \ \Omega$ • $L_1 = 5 \text{ mH}$ • $L_2 = 10 \text{ mH}$ • $C_1 = 100 \text{ nF}$

שני דברים לפני החישוב: ראשית, ארבעת הענפים מחוברים כולם במקביל אל המקור, ולכן **אותו מתח מופיע על כל ענף** – וזה בדיוק המצב שבו נוח לעבוד במתירויות ולא בעכבות, כי מתירויות מקביליות פשוט מתחברות. שנית, נעבוד בפאזורי משרעת: $U = 100 \angle 50^\circ \text{ V}$. מי שעובד בערכים אפקטיביים יחלק את כל התוצאות ב- $\sqrt{2}$.

סעיף 1 – המתירות של כל ענף

נחשב תחילה את הריאקטנסים בתדר הזוויתי הנתון:

$$X(C_1) = \frac{1}{\omega \cdot C_1} = \frac{1}{1000 \times 100 \cdot 10^{-9}} = 10\ 000 \ \Omega$$

$$X(L_1) = \omega \cdot L_1 = 1000 \times 5 \cdot 10^{-3} = 5 \ \Omega$$

$$X(L_2) = \omega \cdot L_2 = 1000 \times 10 \cdot 10^{-3} = 10 \ \Omega$$

כעת המתירות של כל ענף – הופכי העכבה שלו:

$$Y_1 = \frac{1}{R_1 - jX(C_1)} = \frac{1}{20 - j10\ 000} = 0.2 \cdot 10^{-6} + j100 \cdot 10^{-6} \text{ S}$$

$$Y_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{30} = 33.3 \text{ mS}$$

$$Y_3 = \frac{1}{R_3 + jX(L_1)} = \frac{1}{10 + j5} = 0.08 - j0.04 \text{ S}$$

$$Y_4 = \frac{1}{jX(L_2)} = \frac{1}{j10} = -j0.1 \text{ S}$$

$$Y_1 = 100 \angle 89.9^\circ \ \mu\text{S} ; Y_2 = 33.3 \angle 0^\circ \text{ mS} ; Y_3 = 89.4 \angle -26.6^\circ \text{ mS} ; Y_4 = 100 \angle -90^\circ \text{ mS}$$

סעיף 2 – המתירות השקולה

מתירויות של ענפים מקביליים מתחברות בחיבור פשוט – זה כל היתרון שבשיטה:

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4$$

$$Y = (0.0000002 + 0.03333 + 0.08 + 0) + j(0.0001 - 0.04 - 0.1)$$

$$Y = 0.1133 - j0.1399 \text{ S} = 0.18 \angle -51^\circ \text{ S}$$

החלק המדומה שלילי, ולכן המעגל בכללותו הוא בעל אופי **השראותי** – שני הסלילים גוברים על הקבל.

סעיף ב – זרמי הענפים והזרם הכולל

הזרם בכל ענף הוא מכפלת מתח המקור במתירות של אותו ענף:

$$I_1 = U \cdot Y_1 = 100 \angle 50^\circ \times 100 \cdot 10^{-6} \angle 89.9^\circ = 0.01 \angle 139.9^\circ \text{ A}$$

$$I_2 = U \cdot Y_2 = 100 \angle 50^\circ \times 0.03333 \angle 0^\circ = 3.33 \angle 50^\circ \text{ A}$$

$$I_3 = U \cdot Y_3 = 100 \angle 50^\circ \times 0.0894 \angle -26.6^\circ = 8.94 \angle 23.4^\circ \text{ A}$$

$$I_4 = U \cdot Y_4 = 100 \angle 50^\circ \times 0.1 \angle -90^\circ = 10 \angle -40^\circ \text{ A}$$

$$I = U \cdot Y = 100 \angle 50^\circ \times 0.18 \angle -51^\circ = 18 \angle -1^\circ \text{ A}$$

$$I = 18 \angle -1^\circ \text{ A}$$

אימות: נחבר את ארבעת זרמי הענפים בהצגה מלבנית ונשווה לזרם הכולל:

$$\text{Re: } -0.008 + 2.14 + 8.21 + 7.66 = 18.00$$

$$\text{Im: } 0.006 + 2.55 + 3.56 - 6.43 = -0.31$$

$$|I| = 18.00 \text{ A} \angle -1^\circ \checkmark$$

מה מספר לנו הענף הראשון: הזרם דרכו הוא 10 mA בלבד, שלושה סדרי גודל פחות מן האחרים. הסיבה: 

$X(C_1) = 10 \text{ k}\Omega$ מול $R_1 = 20 \text{ }\Omega$ – הקבל חוסם כמעט לחלוטין, והנגד שבטור איתו כמעט אינו משפיע.

סעיף ג – מה קורה לזרם I כשהתדר יורד

ריאקטנס הקבל הפוך ביחסו לתדר. הורדת התדר הזוויתי מ-1000 ל-500 מכפילה אותו:

$$X(C_1) = \frac{1}{500 \times 100 \cdot 10^{-9}} = 20\ 000\ \Omega$$

הזרם I_1 יקטן – בקירוב לחצי מערכו

ההנמקה בלי חישוב: בענף הזה הקבל הוא השולט המוחלט – הריאקטנס שלו גדול פי חמש מאות מן הנגד שבטור. לכן עכבת הענף כמעט שווה לריאקטנס עצמו, וכשהוא מוכפל, הזרם נחלק בשניים.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – דיאגרמת הפאזורים של זרמי הענפים. 

פארה גאנבם . fahed-lab.com

שאלה 3 – שתי עכבות מקבילות בטור

נתונים: $f = 60 \text{ Hz}$ • $U = 120 \angle 0^\circ \text{ V}$ • $R_1 = 20 \ \Omega$ • $R_2 = 40 \ \Omega$ • $|X(L_1)| = |X(C_1)| = 10 \ \Omega$ • $|X(L_2)| = |X(C_2)| = 30 \ \Omega$

סעיף א – הקיבול של C_1 וההשראות של L_2

שני הרכיבים נגזרים ישירות מן הריאקטנס הנתון ומן התדר:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X(C_1)} = \frac{1}{2\pi \times 60 \times 10} = 2.653 \cdot 10^{-4} \text{ F}$$

$$L_2 = \frac{X(L_2)}{2\pi \cdot f} = \frac{30}{2\pi \times 60} = 7.96 \cdot 10^{-2} \text{ H}$$

$$C_1 = 265.3 \ \mu\text{F} ; L_2 = 79.6 \text{ mH}$$

סעיף ב – העכבה השקולה בין A ל-B

בכל אחת משתי הקבוצות יש ענף טורי המקביל לרכיב יחיד. נחשב כל קבוצה בנפרד:

$$Z_1 = \frac{(R_1 + jX(L_1)) \cdot (-jX(C_1))}{R_1 + jX(L_1) - jX(C_1)} = \frac{(20 + j10) \cdot (-j10)}{20} = \frac{100 - j200}{20}$$

$$Z_1 = 5 - j10 \ \Omega$$

$$Z_2 = \frac{(R_2 - jX(C_2)) \cdot (jX(L_2))}{R_2 - jX(C_2) + jX(L_2)} = \frac{(40 - j30) \cdot (j30)}{40} = \frac{900 + j1200}{40}$$

$$Z_2 = 22.5 + j30 \ \Omega$$

שתי הקבוצות מחוברות בטור, ולכן העכבות מתחברות:

$$Z_{AB} = Z_1 + Z_2 = (5 + 22.5) + j(-10 + 30) = 27.5 + j20$$

$$Z_{AB} = 34 \angle 36^\circ \ \Omega$$

שימו לב לתופעה ב- Z_1 : הריאקטנסים שווים בגודלם, ולמרות זאת המקבילית אינה מתאפסת ואינה אינסופית – כי הענף ההשראותי כולל גם נגד. השוויון $|X(L)| = |X(C)|$ מבטל את החלק המדומה רק במעגל טורי טהור.

סעיף ג – הזרם הכולל ואופי המעגל

$$I = \frac{U}{Z_{AB}} = \frac{120\angle 0^\circ}{34\angle 36^\circ}$$

$$I = 3.53\angle -36^\circ \text{ A} - \text{אופי המעגל השראותי}$$

זווית העכבה חיובית, כלומר הזרם מפגר אחרי המתח – סימן ההיכר של מעגל השראותי.

סעיף ד – הזרמים I_1 ו- I_2

שני הזרמים האלה מתחלקים בתוך הקבוצה הראשונה, ולכן נחשב תחילה את המתח על אותה קבוצה:

$$U(Z_1) = I \cdot Z_1 = 3.53\angle -36^\circ \times 11.18\angle -63.4^\circ = 39.46\angle -99.5^\circ \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{U(Z_1)}{R_1 + jX(L_1)} = \frac{39.46\angle -99.5^\circ}{22.36\angle 26.6^\circ} = 1.76\angle -126^\circ \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{U(Z_1)}{-jX(C_1)} = \frac{39.46\angle -99.5^\circ}{10\angle -90^\circ} = 3.95\angle -9.5^\circ \text{ A}$$

$$I_1 = 1.76\angle -126^\circ \text{ A} ; I_2 = 3.95\angle -9.5^\circ \text{ A}$$

אימות: סכום שני הזרמים הוא $2.08 - j2.85$, שגודלו 3.53 A וזוויתו -36° – בדיוק הזרם הכולל שחישבנו בסעיף ג

✓

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – שתי המקביליות, העכבה השקולה ושלושת הזרמים. 🧪

שאלה 4 – העמסת מד המתח ושגיאת המדידה

נתונים: $U = 100 \text{ V}$ • $R_1 = 20 \text{ k}\Omega$ • $R_2 = 40 \text{ k}\Omega$

 **הרעיון של השאלה כולה:** מד מתח אמיתי אינו צופה מן הצד – הוא נגד שמתחבר במקביל לנגד הנמדד, ובכך משנה את המעגל שאותו הוא מודד. ככל שהתנגדותו הפנימית גדולה יותר, כך ההפרעה קטנה יותר.

סעיף א – מד מתח מנותק (מדידה אידאלית)

בלי המד, שני הנגדים מהווים מחלק מתח פשוט:

$$V(R_2) = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 100 \times \frac{40}{20 + 40}$$

$$V(R_2) = 66.67 \text{ V}$$

סעיף ב – מד מתח שהתנגדותו $40 \text{ k}\Omega$

המד מתחבר במקביל ל- R_2 , ולכן הזרוע התחתונה של המחלק קטנה:

$$R_2 \parallel R_V = \frac{40 \times 40}{40 + 40} = 20 \text{ k}\Omega$$

$$V = 100 \times \frac{20}{20 + 20} = 50 \text{ V}$$

$$66.67 \text{ V} \text{ במקום } 50 \text{ V המד יראה}$$

סעיף ג – מד מתח שהתנגדותו $1 \text{ M}\Omega$

$$R_2 \parallel R_V = \frac{40 \times 1000}{40 + 1000} = 38.46 \text{ k}\Omega$$

$$V = 100 \times \frac{38.46}{20 + 38.46} = 65.79 \text{ V}$$

65.79 V המד יראה

סעיף ד – שגיאה מוחלטת ושגיאה יחסית

שגיאה מוחלטת היא ההפרש בין הערך האמיתי לערך הנמדד, והיא נמדדת באותן יחידות של הגודל עצמו – כאן בוולט. **שגיאה יחסית** היא היחס בין השגיאה המוחלטת לערך האמיתי, ומבוטאת באחוזים; היא זו שאומרת אם המדידה טובה או לא, כי היא מנרמלת את השגיאה לגודל הנמדד.

$$\text{עבור המד של } 40 \text{ k}\Omega: 66.67 - 50 = 16.67 \text{ V} ; \frac{16.67}{66.67} \times 100 = 25\%$$

$$\text{עבור המד של } 1 \text{ M}\Omega: 66.67 - 65.79 = 0.88 \text{ V} ; \frac{0.88}{66.67} \times 100 = 1.32\%$$

מד בעל התנגדות פנימית גבוהה פי 25 מקטין את השגיאה פי 19 – 1.32% מול 25%

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – עקומת השגיאה כפונקציה של התנגדות המד. 🧪

פרק שני – אלקטרוניקה א' ומערכות ספרתיות • שאלות 5-8

שאלה 5 – שני מגברי שרת אידאליים

נתונים: $V_1 = 4\text{ V}$ • $V_2 = 6\text{ V}$ • $R_1 = 2\text{ k}\Omega$ • $R_2 = 3\text{ k}\Omega$ • $R_3 = 10\text{ k}\Omega$ • $R_4 = 10\text{ k}\Omega$ • $R_5 = 4\text{ k}\Omega$ • $R_6 = 8\text{ k}\Omega$ • $R_7 = 2\text{ k}\Omega$

שני כללי היסוד: במגבר שרת אידאלי עם משוב שלילי אין זרם הנכנס אל הכניסות, ומתחי שתי הכניסות שווים. זה לזה. כל הפתרון נשען עליהם.

סעיף א – המתחים בנקודות A ו-B

המקור V_1 מחובר ישירות לכניסה החיובית של המגבר הראשון, והנקודה A היא הכניסה השלילית שלו. לפי הקצר המדומה:

$$V_A = V_1 = 4\text{ V}$$

הנקודה B היא הכניסה השלילית של המגבר השני, ולכן היא שווה למתח בכניסה החיובית שלו – הנקודה C, שנקבעת על ידי מחלק המתח של R_5 ו- R_6 על המקור V_2 :

$$V_C = V_2 \cdot \frac{R_6}{R_5 + R_6} = 6 \times \frac{8}{4 + 8} = 4\text{ V}$$

$$V_B = V_C = 4\text{ V}$$

$$V_A = 4\text{ V} ; V_B = 4\text{ V}$$

סעיף ב – המתחים $V(o1)$ ו- $V(o)$

הקומה הראשונה בנויה כמגבר לא-הופך: האות נכנס לכניסה החיובית, R_1 יורד מן הנקודה A אל האדמה, ו- R_2 סוגר את המשוב:

$$V_{o1} = V_1 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 4 \times \left(1 + \frac{3}{2}\right) = 4 \times 2.5$$

$$V_{o1} = 10 \text{ V}$$

הקומה השנייה היא מגבר הופך, אלא שכניסתו החיובית אינה מוארכת אלא יושבת על 4 V. לכן כל המפלים נמדדים ביחס למתח הזה:

$$I(R_3) = \frac{V_{o1} - V_B}{R_3} = \frac{10 - 4}{10 \cdot 10^3} = 0.6 \text{ mA}$$

$$V_o = V_B - I(R_3) \cdot R_4 = 4 - 0.6 \cdot 10^{-3} \times 10 \cdot 10^3 = 4 - 6$$

$$V_o = -2 \text{ V}$$

סעיף ג – הזרמים דרך R_3 , R_5 ו- R_7

את הזרם דרך R_3 כבר חישבנו, והוא ממשיך במלואו דרך R_4 – שכן אל כניסת המגבר אין זרם. הזרם דרך R_5 הוא זרם מחלק המתח, והזרם דרך R_7 הוא זרם העומס שמספק המגבר:

$$I(R_3) = 0.6 \text{ mA}$$

$$I(R_5) = \frac{V_2 - V_C}{R_5} = \frac{6 - 4}{4 \cdot 10^3} = 0.5 \text{ mA}$$

$$I(R_7) = \frac{V_o}{R_7} = \frac{-2}{2 \cdot 10^3} = -1 \text{ mA}$$

$$I(R_3) = 0.6 \text{ mA} ; I(R_5) = 0.5 \text{ mA} ; I(R_7) = 1 \text{ mA} \text{ (מן האדמה אל המוצא המגבר)}$$

הסימן השלילי בזרם האחרון אינו תקלה: מתח המוצא שלילי, ולכן הזרם בנגד R_7 זורם מן האדמה אל המוצא, והמגבר בולע אותו.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – שרשרת המתחים בשתי הקומות. 

שאלה 6 – רשת RC בכניסת אות ריבועי

נתונים: 5 V ואז $t = 3\text{ msec}$, -7.5 V עד $t = 1\text{ msec}$, עד 5 V אות הכניסה: $t = 0$ בזמן $V(C) = 5\text{ V}$ • $C = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ • $R = 10\text{ k}\Omega$

סעיף א – סוג הרשת וקבוע הזמן

הנגד בטור והמוצא נלקח על הקבל – זוהי **רשת מעבירת נמוכים** (רשת אינטגרציה). מתח הקבל אינו יכול להשתנות בקפיצה, ולכן המוצא אינו מעתיק את קפיצות הכניסה אלא מטפס אליהן מעריכית:

$$\tau = R \cdot C = 10 \cdot 10^3 \times 0.1 \cdot 10^{-6} = 1\text{ msec}$$

$$\tau = 1\text{ msec}; \text{ רשת מעבירת נמוכים}$$

סעיף ב – צורת אות המוצא

בקטע הראשון, בין אפס לזמן 1 msec , מתח הכניסה הוא 5 V ומתח הקבל כבר 5 V – אין הפרש, ולכן **שום דבר אינו קורה** והמוצא נשאר קבוע.

בזמן 1 msec צונחת הכניסה ל- -7.5 V . הקבל מתחיל להיפרק ואז להיטען בקוטביות הפוכה, לעבר -7.5 V , לפי המשוואה הכללית:

$$V_o(t) = V_\infty + (V_0 - V_\infty) \cdot e^{-t/\tau}$$

$$V_o(t) = -7.5 + (5 + 7.5) \cdot e^{-(t-1)/1\text{ms}} = -7.5 + 12.5 \cdot e^{-(t-1)/1\text{ms}}$$

הקטע הזה נמשך שתי מילישניות – שני קבועי זמן בלבד – ולכן הקבל אינו מספיק להגיע ליעדו. בזמן 3 msec עולה הכניסה בחזרה ל- 5 V , והקבל מתחיל להיטען כלפי מעלה מן הערך שאליו הגיע.

$$V_o(0 \dots 1\text{ msec}) = 5\text{ V} \rightarrow V_o(3\text{ msec}) = -5.81\text{ V} \rightarrow V_o(t \rightarrow \infty) = 5\text{ V}$$

סעיף ג – מתח המוצא בשני זמנים

1. בזמן 3 msec – בסוף הקטע השני, שני קבועי זמן אחרי תחילתו:

$$V_o(3\text{ msec}) = -7.5 + 12.5 \cdot e^{-2} = -7.5 + 12.5 \times 0.1353$$

$$V_o(3 \text{ msec}) = -5.81 \text{ V}$$

2. בזמן 4 msec – קבוע זמן אחד אחרי הקפיצה חזרה, כשנקודת המוצא היא V -5.81 והיעד V 5:

$$V_o(t) = 5 + (-5.81 - 5) \cdot e^{-(t-3)/1\text{ms}}$$

$$V_o(4 \text{ msec}) = 5 - 10.81 \times e^{-1} = 5 - 10.81 \times 0.3679$$

$$V_o(4 \text{ msec}) = 1.02 \text{ V}$$

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – אות הכניסה ומתח הקבל על אותו ציר זמן. 

פרד האגים · fahed-lab.com

שאלה 7 – מגבר טרנזיסטורי בפולט משותף

נתונים: $V_{CC} = 15\text{ V}$ • $V_{BE} = 0.7\text{ V}$ • $\beta = h_{fe} = 100$ • $h_{ie} = 1\text{ k}\Omega$ • $R_B = 500\text{ k}\Omega$ • $R_C = 1\text{ k}\Omega$ • $R_E = 0.5\text{ k}\Omega$ • $R_L = 3\text{ k}\Omega$

סעיף א – נקודת העבודה

בזרם ישר הקבלים מהווים נתק. נכתוב משוואת מתחים ללולאת הבסיס: מן המקור דרך R_B , מעבר הבסיס-פולט, ונגד הפולט אל האדמה. דרך נגד הפולט זורם זרם הפולט, ולכן הוא מופיע במשוואה מוכפל ב- $(\beta+1)$:

$$V_{CC} = I_B \cdot R_B + V_{BE} + (1 + \beta) \cdot I_B \cdot R_E$$

$$I_B = \frac{15 - 0.7}{500 \cdot 10^3 + 101 \times 0.5 \cdot 10^3} = \frac{14.3}{550.5 \cdot 10^3} = 26\text{ }\mu\text{A}$$

מזרם הבסיס נובעים זרם הקולט וזרם הפולט:

$$I_C = \beta \cdot I_B = 100 \times 26 \cdot 10^{-6} = 2.6\text{ mA}$$

$$I_E = 101 \times 26 \cdot 10^{-6} = 2.63\text{ mA} \rightarrow V_E = 2.63 \cdot 10^{-3} \times 500 = 1.31\text{ V}$$

כעת לולאת המוצא – מן המקור, דרך R_C , דרך הטרנזיסטור מקולט לפולט, ודרך R_E אל האדמה:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C - V_E = 15 - 2.6 - 1.31$$

$$I_C = 2.6\text{ mA} ; V_{CE} = 11.09\text{ V}$$

⚠ אל תשמיטו את מתח הפולט: חישוב שמחסיר רק את המפל על נגד הקולט, בלי המפל על נגד הפולט, היה נותן 12.4 V – נקודת עבודה שגויה. נגד הפולט מרים את הפולט מעל האדמה, וחייבים להחסיר גם אותו.

סעיף ב – מעגל התמורה לאות חילופין

בזרם חילופין הקבלים מהווים קצר: קבל המעקף מקצר את נגד הפולט אל האדמה, ומקור ההזנה נחשב אף הוא אדמה. מעגל התמורה כולל אפוא: בכניסה – מקור האות מול R_B במקביל ל- h_{ie} ; ביציאה – מקור זרם מבוקר בעוצמת $h_{fe} \cdot i_b$ מול R_C במקביל ל- R_L .

$$R_B \parallel h_{ie} = 500 \text{ k}\Omega \parallel 1 \text{ k}\Omega \approx 0.998 \text{ k}\Omega$$

$$R_C \parallel R_L = \frac{1 \times 3}{1 + 3} = 0.75 \text{ k}\Omega$$

סעיף ג – הגבר המתח

מתח המוצא הוא זרם המקור המבוקר כפול העכבה שהוא רואה, ומתח הכניסה הוא זרם הבסיס כפול h_{ie} . הסימן השלילי מבטא את היפוך הפאזה של מגבר בפולט משותף:

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-h_{fe} \cdot (R_C \parallel R_L)}{h_{ie}} = \frac{-100 \times 0.75 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3}$$

$$A_V = -75$$

מדוע ההגבר צנוע יחסית: העומס $3 \text{ k}\Omega$ מקטין את נגד הקולט $1 \text{ k}\Omega$ ל- $0.75 \text{ k}\Omega$. בלי העומס היה מתקבל הגבר של -100 – וזו בדיוק הסיבה שקבל הצימוד והעומס נכנסים לחישוב האות ולא לחישוב הקיטוב.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – קו העומס ונקודת העבודה. 

שאלה 8 – פישוט פונקציה בוליאנית

$$\bar{C} \cdot f(A,B,C) = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C + \bar{A} \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot B \quad \text{נתונים:}$$

סעיף א – ערך הפונקציה בצירוף נתון

נציב $A=0, B=0, C=1$. אז המשלים של A הוא 1, המשלים של B הוא 1, והמשלים של C הוא 0:

$$f = (1 \cdot 1 \cdot 1) + (1 \cdot 0) + (1 \cdot 0 \cdot 0)$$

$$f = 1 + 0 + 0$$

$$f(0,0,1) = 1$$

מספיק שאיבר אחד בסכום מקבל אחד כדי שהפונקציה כולה תקבל אחד – כאן זהו האיבר הראשון.

סעיף ב – פישוט למינימום ליטרלים

המשלים של A משותף לשלושת האיברים, ולכן נוציא אותו כגורם משותף:

$$f = \bar{A} \cdot (\bar{B} \cdot C + \bar{C} + B \cdot \bar{C})$$

בתוך הסוגריים נוציא את המשלים של C כגורם משותף משני האיברים האחרונים, ונשתמש בכך שסכום של משתנה עם אחד הוא תמיד אחד:

$$\bar{C} + B \cdot \bar{C} = \bar{C} \cdot (1 + B) = \bar{C}$$

$$f = \bar{A} \cdot (\bar{B} \cdot C + \bar{C})$$

נותר לפשט את הסוגריים. לפי כלל הבליעה, סכום של משתנה עם מכפלה שמכילה את משלימו מוותר על המשלים:

$$\bar{C} + \bar{B} \cdot C = \bar{C} + \bar{B}$$

$$f = \bar{A} \cdot (\bar{B} + \bar{C}) = \bar{A} \cdot \overline{B \cdot C}$$

$$\text{– שלושה ליטרלים } f = \bar{A} \cdot (\bar{B} + \bar{C})$$

בהצגת סכום-של-מכפלות אפשר לכתוב את אותה פונקציה גם כך:

$$f = \bar{A} \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot \bar{C}$$

שתי ההצגות שקולות; הראשונה חסכונית יותר בליטרלים והשנייה נוחה יותר למימוש ישיר בשערי AND ו-OR. נוודא בטבלת אמת:

A	B	C	f
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

הפונקציה מקבלת אחד רק כאשר A הוא אפס וגם B ו-C אינם שניהם אחד – בדיוק מה שאומרת הצורה המפושטת.

סעיף ג – מימוש בשערים לוגיים

הצורה המפושטת מתורגמת ישירות לשלושה שערים: שער NOT על A, שער NAND על B ועל C, ושער AND שמכפיל את שני המוצאים:

$$f = \bar{A} \cdot \overline{B \cdot C} \rightarrow \text{NOT}(A) \rightarrow \text{AND} \leftarrow \text{NAND}(B, C)$$

אפשרות שקולה: מימוש הצורה השנייה דורש שלושה שערי NOT, שני שערי AND ושער OR – שישה שערים במקום שלושה. זה בדיוק מה שמרוויחים מן הפישוט לפני המימוש.

בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – שלושת השערים של הצורה המפושטת, חיים.

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, ושאלה 10 בבית חכם. בכל שאלה ארבעה סעיפים, והנבחן 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.

faheed-lab.com