הצעה לפתרון מלא – חשמל ואלקטרוניקה לטכנאים

בחינת גמר • אביב תש"ף 2020 • 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 תש"ף 2020. בשאלון עשר שאלות, והנבחן עונה על חמש בלבד – שתיים לפחות מן הפרק הראשון. נוסח השאלות הוא של משרד החינוך; הפתרונות נכתבו במלואם ואומתו נומרית על ידי פהד גאנם.

fahed-lab.com · פהד גאנם

שאלה 1 – שיטת זרמי החוגים בשלושה חוגים

נתונים: $E = 24\ V$ • $R_1 = 20\ \Omega$ • $R_2 = 20\ \Omega$ • $R_3 = 40\ \Omega$ • $R_4 = 20\ \Omega$ • $R_5 = 20\ \Omega$ • $R_6 = 40\ \Omega$

💡 **מבנה המעגל:** מלבן חיצוני שבתוכו שתי מחיצות. המחיצה האנכית האמצעית מכילה את R_3 למעלה ואת R_5 למטה, ונקודת המפגש ביניהן היא הצומת B. המחיצה האופקית האמצעית מכילה את R_1 ואת המקור E, והיא מחברת את הצומת A שעל הקו השמאלי אל B. שלושת החוגים מסומנים באיור **בכיוון השעון**: חוג 1 למעלה-משמאל, חוג 2 למטה-משמאל, וחוג 3 מימין.

⚠️ **קוטביות המקור:** באיור, קוטבו החיובי של E פונה **שמאלה** – אל צד R_1 ואל הנקודה A. לכן במעבר מ-A ל-B נכנסים אל הקוטב החיובי ויוצאים מן השלילי, והפוטנציאל **יורד** ב-24 V.

סעיף א1 – מערכת המשוואות

בשיטת זרמי החוגים כותבים לכל חוג משוואת מתחים. נגד שמשותף לשני חוגים מופיע בסימן שלילי, מפני ששני החוגים עוברים בו בכיוונים מנוגדים.

חוג 1 – הנגדים שלו הם R_2, R_3 ו-R_1, והוא חולק את R_3 עם חוג 3 ואת R_1 עם חוג 2:

$$I_1(R_2 + R_3 + R_1) - I_2 \cdot R_1 - I_3 \cdot R_3 = E$$

חוג 2 – הנגדים שלו הם R_1, R_5 ו-R_6, והוא חולק את R_1 עם חוג 1 ואת R_5 עם חוג 3. הוא עובר במקור מן הקוטב החיובי אל השלילי, ולכן כא"מ נכנס בסימן שלילי:

$$-I_1 \cdot R_1 + I_2(R_1 + R_5 + R_6) - I_3 \cdot R_5 = -E$$

חוג 3 – הנגדים שלו הם R_3, R_4 ו-R_5, ואין בו מקור כלל:

$$-I_1 \cdot R_3 - I_2 \cdot R_5 + I_3(R_3 + R_4 + R_5) = 0$$

סעיף א2 – שלושת זרמי החוגים

נציב את הערכים ונחלק כל משוואה ב-20:

fahed-lab.com · פהד מאגם

$$80I_1 - 20I_2 - 40I_3 = 24 \rightarrow 4I_1 - I_2 - 2I_3 = 1.2$$

$$-20I_1 + 80I_2 - 20I_3 = -24 \rightarrow -I_1 + 4I_2 - I_3 = -1.2$$

$$-40I_1 - 20I_2 + 80I_3 = 0 \rightarrow -2I_1 - I_2 + 4I_3 = 0$$

נפתור את המערכת. חיבור המשוואה הראשונה עם השנייה מבטל איברים ומוביל במהירות לתוצאה:

$$\mathbf{I_1 = 0.3\ A\ ;\ I_2 = -0.2\ A\ ;\ I_3 = 0.1\ A}$$

הסימן השלילי של I_2 מלמד שזרם החוג השני זורם בפועל **נגד** כיוון השעון, בניגוד לחץ שסומן באיור.

אימות – נציב את שלושת הזרמים בכל אחת מן המשוואות:

$$4(0.3) - (-0.2) - 2(0.1) = 1.2 + 0.2 - 0.2 = 1.2\ \checkmark$$

$$-(0.3) + 4(-0.2) - (0.1) = -0.3 - 0.8 - 0.1 = -1.2\ \checkmark$$

$$-2(0.3) - (-0.2) + 4(0.1) = -0.6 + 0.2 + 0.4 = 0\ \checkmark$$

סעיף ב – הזרם דרך R_3

הנגד R_3 משותף לחוג 1 ולחוג 3, ולכן הזרם בו הוא הפרש שני זרמי החוגים:

$$I(R_3) = I_1 - I_3 = 0.3 - 0.1$$

$$\mathbf{I(R_3) = 0.2\ A\ \ B\ כלפי מטה, אל הצומת}$$

סעיף ג – המתח בין A ל-B

נלך מ-A אל B דרך המחיצה האמצעית. הזרם בה הוא הפרש זרמי החוגים 2 ו-1:

$$I(A\rightarrow B) = I_2 - I_1 = -0.2 - 0.3 = -0.5\ A$$

$$U_{AB} = I(A\rightarrow B)\cdot R_1 + E = (-0.5)\times 20 + 24 = -10 + 24$$

$$\mathbf{U_{AB} = 14\ V\ \ (A\ גבוהה\ מ\text{-}B\ הנקודה)}$$

אימות במאזן הספקים: ששת הנגדים בולעים יחד 12 W, והמקור היחיד במעגל מוסר בדיוק 12 W ✓

fahed-lab.com · פהד גאנם

💉 בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – שלושת זרמי החוגים.

fahed-lab.com · פהד גאנם

שאלה 2 – אותו זרם בשתי שיטות

נתונים: $E = 20\ V$ • $I_S = 2\ A$ • $R_1 = 12\ \Omega$ • $R_2 = 8\ \Omega$

💡 **מבנה המעגל:** שלושה ענפים מקבילים בין הפס העליון לפס התחתון. משמאל המקור E בטור עם R_1, באמצע R_2 לבדו, ומימין מקור הזרם I_S שחיציו כלפי מעלה. השאלה מבקשת את אותו זרם בשתי שיטות שונות – וזו הזדמנות לוודא את התשובה בעצמנו.

סעיף א – שיטת ההרכבה

שלב ראשון – רק מקור המתח פועל. מקור זרם שאינו פועל מוחלף בנתק, ולכן הענף הימני נמחק. נשארת לולאה פשוטה של R_1 ו-R_2 בטור:

$$I'(R_2) = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{20}{12 + 8} = 1\ A \quad \text{כלפי מטה}$$

שלב שני – רק מקור הזרם פועל. מקור מתח שאינו פועל מוחלף בקצר, ולכן R_1 נמתח בין שני הפסים ומופיע במקביל ל-R_2. שני האמפרים מתחלקים ביניהם ביחס הפוך להתנגדויות:

$$I''(R_2) = I_S \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 2 \times \frac{12}{20} = 1.2\ A \quad \text{כלפי מטה}$$

שתי התרומות זורמות באותו כיוון, ולכן הן נאספות בחיבור:

$$I(R_2) = 1 + 1.2$$

$$\boxed{I(R_2) = 2.2\ A \quad \text{כלפי מטה}}$$

סעיף ב – שיטת מתחי הצמתים

נסמן ב-V את מתח הפס העליון מעל הפס התחתון, ונכתוב את חוק הזרמים בצומת העליון:

fahed-lab.com · פתרונות

$$\frac{20 - V}{12} + 2 = \frac{V}{8}$$

כפל ב-24: $2(20 - V) + 48 = 3V \rightarrow 40 - 2V + 48 = 3V$

$5V = 88 \rightarrow V = 17.6\ V$

$$I(R_2) = \frac{17.6}{8} = 2.2\ A \checkmark$$

התשובה בדיוק – $I(R_2) = 2.2\ A$

💡 **איזו שיטה עדיפה כאן?** מתחי הצמתים – מפני שיש רק צומת אחד לא ידוע, ומשוואה אחת מספיקה. ההרכבה דורשת שני מעגלים נפרדים ושתי חלוקות זרם, אך היא מלמדת משהו שהמשוואה מסתירה: כמעט מחצית הזרם ב-R_2 מגיעה ממקור המתח, והשאר ממקור הזרם. השאלה ביקשה את שתיהן בדיוק כדי שהתוצאות יאמתו זו את זו.

🧪 בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – שתי ההרכבות והסכום שלהן.

fahed-lab.com · פרופ' פאהד

שאלה 3 – שלושה ענפים מקביליים בזרם חילופין

נתונים: $u(t) = 6\sqrt{2}\cdot\sin(1000t)$ V • $R_1 = R_2 = 60\ \Omega$ • $L_1 = L_2 = 30$ mH • $C_1 = C_2 = 50\ \mu$F

💡 **מבנה המעגל:** שלושה ענפים מקבילים על המקור. בענף הראשון שני נגדים **במקביל** זה לזה, בשני שני סלילים **בטור**, ובשלישי שני קבלים **בטור**. שימו לב להבדל – הנגדים במקביל והשאר בטור, וזו בדיוק הנקודה שנועדה להכשיל.

סעיף א – שלושת הרכיבים השקולים

המשרעת היא $6\sqrt{2}$, ולכן הערך היעיל של המקור הוא 6 V, והתדר הזוויתי הוא 1000 רדיאן לשנייה.

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{60 \times 60}{120} = 30\ \Omega$$

$$L = L_1 + L_2 = 30 + 30 = 60\ \text{mH}$$

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{50 \times 50}{100} = 25\ \mu\text{F}$$

$$\boxed{R = 30\ \Omega\ ;\ L = 60\ \text{mH}\ ;\ C = 25\ \mu\text{F}}$$

ומכאן שתי העכבות:

$$X_L = \omega L = 1000 \times 0.06 = 60\ \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{1000 \times 25 \cdot 10^{-6}} = 40\ \Omega$$

סעיף ב – שלושת זרמי הענפים

על שלושת הענפים מונח אותו מתח, ולכן כל זרם מתקבל בחלוקה ישירה. נבחר את מתח המקור כציר הייחוס:

jahed-lab.com · מתד גאנם

$$I_R = \frac{6\angle 0°}{30} = 0.2\angle 0° \text{ A} = 0.2 \text{ A}$$

$$I_L = \frac{6\angle 0°}{j60} = 0.1\angle -90° \text{ A} = -j0.1 \text{ A}$$

$$I_C = \frac{6\angle 0°}{-j40} = 0.15\angle 90° \text{ A} = +j0.15 \text{ A}$$

$$\mathbf{I_R = 0.2 \text{ A} \; ; \; I_L = 0.1\angle -90° \text{ A} \; ; \; I_C = 0.15\angle 90° \text{ A}}$$

💡 **שימו לב לסימנים:** זרם הסליל **מפגר** אחרי המתח ב-90° ולכן הוא שלילי-מדומה, וזרם הקבל **מקדים** ב-90° ולכן חיובי-מדומה. שני הזרמים האלה מנוגדים זה לזה בדיוק, ולכן הם מחסירים זה מזה – וזה מה שיקבע את אופי המעגל.

סעיף ג – הזרם הכולל

חוק הזרמים בצומת העליון, בהצגה המלבנית:

$$I = I_R + I_L + I_C = 0.2 + j(-0.1 + 0.15) = 0.2 + j0.05$$

$$|I| = \sqrt{0.2^2 + 0.05^2} = 0.206 \text{ A} \; ; \; \phi = \arctan \frac{0.05}{0.2} = 14.04°$$

$$\mathbf{I = 0.206\angle 14.04° \text{ A}}$$

הזווית חיובית – הזרם הכולל **מקדים** את המתח, ולכן המעגל קיבולי. הקבל גבר על הסליל, אף שעכבתו קטנה יותר: במעגל מקבילי, העכבה הקטנה היא זו שמושכת את הזרם הגדול.

סעיף ד – העכבה השקולה

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{6\angle 0°}{0.206\angle 14.04°}$$

fahed-lab.com · פרופ' נאדם

$$\mathbf{Z = 29.1\angle -14.04^\circ\ \Omega = 28.24 - j7.06\ \Omega}$$

אימות בדרך המוליכויות, שהיא הדרך הטבעית למעגל מקבילי:

$$Y = \frac{1}{30} + \frac{1}{j60} + \frac{1}{-j40} = 0.0333 + j0.00833\ S$$

$$|Y| = 0.03436\ S \rightarrow |Z| = \frac{1}{0.03436} = 29.1\ \Omega\ \checkmark$$

🧪 בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – שלושת זרמי הענפים והסכום הווקטורי.

fahed-lab.com · פרופ' פאהד גאנם

שאלה 4 – עומס תלת-מופעי בחיבור משולש, ומעבר לכוכב

נתונים: $U_L = 400\ V$ • $f = 50\ Hz$ • $Z = 16 + j12\ \Omega$ בכל מופע

סעיף א – הזרם המופעי והזרם הקווי

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

$$|Z| = \sqrt{(16^2 + 12^2)} = \sqrt{400} = 20\ \Omega \ ;\ \phi = \arctan\frac{12}{16} = 36.87°$$

$$I_{ph} = \frac{U_L}{|Z|} = \frac{400}{20} = 20\ A$$

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_{ph} = 1.732 \times 20 = 34.64\ A$$

$$\mathbf{I_{ph} = 20\ A \ ;\ I_L = 34.64\ A}$$

סעיף ב – מקדם ההספק

$$\cos\phi = \frac{R}{|Z|} = \frac{16}{20} = 0.8$$ מפגר – עומס השראי

סעיף ג – שלושת ההספקים ומשולש ההספקים

$$P = 3 \cdot I_{ph}^2 \cdot R = 3 \times 400 \times 16 = 19200\ W$$

$$Q = 3 \cdot I_{ph}^2 \cdot X = 3 \times 400 \times 12 = 14400\ var$$

$$S = 3 \cdot U_L \cdot I_{ph} = 3 \times 400 \times 20 = 24000\ VA$$

$$\mathbf{P = 19.2\ kW \ ;\ Q = 14.4\ kvar \ ;\ S = 24\ kVA}$$

אימות: המשולש חייב להיסגר, והנוסחה הקווית חייבת לתת את אותו הספק מדומה:

fahed-lab.com · פהד גאנם

$$\sqrt{(19.2^2 + 14.4^2)} = \sqrt{(368.6 + 207.4)} = \sqrt{576} = 24 \text{ kVA} \checkmark$$

$$\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L = 1.732 \times 400 \times 34.64 = 24000 \text{ VA} \checkmark$$

במשולש ההספקים: הניצב האופקי הוא $P = 19.2$ kW, הניצב האנכי הוא $Q = 14.4$ kvar כלפי מעלה, והיתר הוא $S = 24$ kVA. זהו משולש 3-4-5 מוכפל, ולכן כל צלעותיו יוצאות מספרים עגולים.

סעיף ד – אותו עומס בחיבור כוכב

בכוכב כל עכבה מקבלת את המתח המופעי – קטן פי שורש שלוש – ולכן הזרם בה קטן פי שורש שלוש:

$$I_{ph}(Y) = \frac{400 \div \sqrt{3}}{20} = \frac{231}{20} = 11.55 \text{ A}$$

$$P(Y) = 3 \times 11.55^2 \times 16 = 3 \times 133.3 \times 16$$

– שליש מן המשולש $P(Y) = 6400$ W $= 6.4$ kW

💡 **הכלל שכדאי לזכור בעל פה:** אותו עומס, אותה רשת – במשולש ההספק גדול פי שלושה מאשר בכוכב. זו הסיבה שמנוע גדול מותנע בכוכב, שבו זרם ההתנעה קטן פי שלושה, ורק כשהוא מגיע למהירות מלאה הוא עובר למשולש.

🧪 בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – משולש ההספקים והמעבר למשולש או לכוכב.

fahed-lab.com · פרופ' פהד גאנם

שאלה 5 – בקרת הספק בטיריסטור

נתונים: דופקי הצתה בזוויות 45° ו-225° • יעיל $f = 50\ Hz$ • $V_{in} = 220\ V$ • $R_L = 100\ \Omega$

💡 **מבנה המעגל:** טיריסטור (SCR) בטור עם העומס על רשת החילופין. בניגוד לטריאק, הטיריסטור מוליך **בכיוון אחד בלבד** – מן האנודה אל הקתודה – ולכן זוהי בקרת **חצי גל**.

⚠️ **הדופק בזווית 225° הוא דופק סרק.** בזווית הזאת נמצאים באמצע חצי המחזור השלילי, האנודה שלילית ביחס לקתודה, והטיריסטור חסום בכל מקרה – הצתה לא תפעיל אותו. רק דופקי ה-45° עושים משהו, ולכן זווית ההצתה האפקטיבית היא $\alpha = 45°$ והבקרה היא חצי-גלית.

סעיף א – צורות הגלים

המתח על העומס הוא אפס לאורך כל חצי המחזור השלילי, ואפס גם מתחילת חצי המחזור החיובי ועד רגע ההצתה. מרגע ההצתה ועד חציית האפס הוא עוקב אחרי מתח הרשת. התוצאה: פעימה חיובית אחת בכל מחזור, שראשיתה קטומה.

המתח על הטיריסטור הוא ההשלמה: הוא נושא את מלוא מתח הרשת כשהרכיב חסום – הן בחצי המחזור השלילי כולו והן בתחילת החיובי – ונופל לאפס רק בזמן ההולכה. סכום שני המתחים בכל רגע שווה תמיד למתח הרשת.

סעיף ב – המתח וההספק על העומס

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

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

$$V_m = 220 \cdot \sqrt{2} = 311.1\ V \ ; \ \alpha = 45° = 0.785\ rad \ ; \ \sin 90° = 1$$

$$V_L = \frac{311.1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{\pi - 0.785 + 0.5}{\pi}\right)} = 155.6 \times \sqrt{0.909} = 155.6 \times 0.9534$$

$$\boxed{V_L = 148.3\ V}$$

fahed-lab.com · פהד לאב

$$P(R_L) = \frac{V_L^2}{R_L} = \frac{148.3^2}{100} = \frac{21993}{100}$$

$$P(R_L) = 220\ W$$

אימות מן הגרף שבנוסחאון: היחס שבין מתח העומס למתח הרשת הוא 0.674 — ובגרף "בקרת הספק עבור חצי מחזור" זהו בדיוק הערך שמעל זווית ההצתה 45° ✓

💡 **נקודת ייחוס שכדאי לזכור:** בזווית הצתה אפס — כלומר בלי בקרה כלל — הטיריסטור מוליך חצי מחזור מלא, והיחס הוא 0.707 ולא 1. חצי גל מוסר תמיד רק מחצית מן ההספק, ובקרת הזווית מקצצת ממנו הלאה.

סעיף ג — זווית ההצתה להספק של 100 W

נעבוד אחורה — מן ההספק המבוקש אל המתח, ומן המתח אל היחס:

$$V_L = \sqrt{P \cdot R_L} = \sqrt{100 \times 100} = 100\ V$$

$$\frac{V_L}{V_{in}} = \frac{100}{220} = 0.455$$

נכנסים עם היחס 0.455 אל גרף בקרת ההספק שבנוסחאון וקוראים ממנו את זווית ההצתה:

$$\alpha \approx 98°$$

בדיקה חוזרת בנוסחה: עבור 98° מתקבל 100.0 V ולכן 100.0 W בדיוק ✓ שימו לב שזווית זו כבר עברה את 90°, כלומר הטיריסטור מוצת אחרי שיא הגל — שם כל תוספת זווית מקצצת הרבה יותר הספק.

🧪 בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית — צורת הגל וההספק בכל זווית הצתה.

fahed-lab.com · פהד גאוס

שאלה 6 – טרנזיסטור כמתג לנורה

נתונים: $V_{CC} = 12\ V \cdot R = 100\ \Omega \cdot \beta = 80 \cdot V_{BE} = 0.8\ V \cdot V_{CE}(sat) = 0.5\ V$

💡 **מבנה המעגל:** הנורה יושבת בין המקור לבין הקולט, הפולט מוארק, ומפסק S בטור עם R_B מזין את הבסיס. הטרנזיסטור אינו עובד כאן כמגבר אלא כ**מתג**: או חסום לגמרי, או רווי לגמרי – ואף פעם באמצע.

סעיף א1 – מצב הטרנזיסטור כשהמפסק פתוח

מפסק פתוח פירושו שאין מסלול כלל אל הבסיס, ולכן זרם הבסיס הוא אפס. בלי זרם בסיס אין זרם קולט:

הטרנזיסטור נמצא בחיתוך (cut-off)

סעיף א2 – הזרם בנורה במצב זה

$$I_C = \beta \cdot I_B = 80 \times 0 = 0$$

– הנורה כבויה $I(\text{נורה}) = 0$

על הטרנזיסטור נופל כל מתח ההזנה, 12 V, ועל הנורה לא נופל דבר.

סעיף ב – הזרם בנורה כשהמפסק סגור

ברוויה נופלים על הטרנזיסטור 0.5 V בלבד, וכל היתר נופל על הנורה:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}(sat)}{R} = \frac{12 - 0.5}{100} = \frac{11.5}{100}$$

$$I_C = 0.115\ A = 115\ mA$$

סעיף ג – הערך המרבי של הנגד R_B

כדי שהטרנזיסטור יהיה רווי דרוש זרם בסיס גדול **לפחות** כמו זה שמפיק את זרם הקולט הזה:

fahed-lab.com · פהד גאנם

$$I_B(min) = \frac{I_C}{\beta} = \frac{115}{80} = 1.44\ mA$$

על הלולאה שבין המקור לבסיס נופלים 0.8 V על המפגש, וכל היתר על R_B:

$$R_B(max) = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B(min)} = \frac{12 - 0.8}{1.44 \cdot 10^{-3}} = \frac{11.2}{1.44 \cdot 10^{-3}}$$

$$\mathbf{R_B(max) = 7.79\ k\Omega}$$

⚠️ **למה דווקא ערך מרבי:** נגד גדול יותר יזרים פחות זרם בסיס, הטרנזיסטור ייצא מן הרוויה, מפל המתח עליו יגדל והנורה תאיר חלש. נגד **קטן** יותר רק יעמיק את הרוויה – וזה בטוח. בתכנון מעשי בוחרים בכוונה ערך קטן פי שניים או שלושה מן המרבי, כדי לא להסתמך על β מדויק שמשתנה מרכיב לרכיב ועם הטמפרטורה.

🧪 בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – זרם הנורה כפונקציה של נגד הבסיס.

fahed-lab.com · פרופ' פהד

שאלה 7 – שלושה מגברי שרת ומגבר מסכם

נתונים: $V_1 = 2\ V$ • $V_2 = 1\ V$ • הזנה $\pm 12\ V$ • $R_1 = 1\ k\Omega$ • $R_2 = 2\ k\Omega$ • $R_3 = 1\ k\Omega$ • $R_4 = 1\ k\Omega$ • $R_5 = 1\ k\Omega$ • $R_6 = 2\ k\Omega$ • $R_7 = 2\ k\Omega$

⚠️ **קוטביות המקור V_1 – כאן נופלים.** באיור, קוטבו **החיובי של V_1 מחובר לאדמה**, ולכן ההדק שיוצא ממנו אל R_1 יושב על $-2\ V$. המקור V_2 מצויר הפוך, עם הקוטב החיובי כלפי מעלה, ולכן הוא מזין את A_2 ב-$+1\ V$. מי שמתעלם מן ההבדל מקבל את כל השאלה בסימן הפוך.

סעיף א – תפקידו של כל מגבר

A_1 – מגבר הופך. הכניסה החיובית מוארקת, האות מגיע דרך R_1 אל השלילית ו-R_2 הוא המשוב. הוא מגדיל את האות פי שניים והופך את סימנו.

A_2 – מגבר לא-הופך. האות מגיע ישירות אל הכניסה החיובית, ורשת R_3 ו-R_4 מחוברת אל השלילית. הוא מגדיל את האות ושומר על סימנו.

A_3 – מגבר מסכם הופך. שני אותות נכנסים אליו דרך R_5 ו-R_6 אל אותה כניסה שלילית, ו-R_7 הוא המשוב. הוא מחבר את שני האותות במשקלים שונים והופך את סימן הסכום.

סעיף ב – שני מתחי המוצא הראשונים

$$V_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot V_1 = -\frac{2}{1} \times (-2) = +4\ V$$

$$V_{o2} = V_2 \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) = 1 \times (1 + 1) = +2\ V$$

$$\boxed{V_{o1} = +4\ V \ ; \ V_{o2} = +2\ V}$$

סעיף ג – מתח המוצא

הכניסה השלילית של A_3 היא אדמה מדומה, ולכן כל אות מזרים דרך הנגד שלו זרם עצמאי, וסכום הזרמים עובר כולו דרך R_7:

fahed-lab.com פתר גאנם

$$V_{out} = -R_7 \cdot \left(\frac{V_{o1}}{R_5} + \frac{V_{o2}}{R_6} \right) = -2 \cdot \left(\frac{4}{1} + \frac{2}{2} \right)$$

$$V_{out} = -2 \times (4 + 1) = -2 \times 5$$

$$\mathbf{V_{out} = -10\ V}$$

בדיקה חשובה: מתחי ההזנה הם ±12 V, והמוצא הגיע ל-10 V- — קרוב לגבול אך עדיין בתוכו, ולכן אין חיתוך. תוספת קטנה ב-V_1 הייתה מפילה את המעגל אל הרוויה.

סעיף ד — הערך והקוטביות של V_1 שיאפסו את המוצא

המוצא מתאפס כאשר סכום שני הזרמים בכניסה השלילית הוא אפס. מתח V_2 אינו משתנה, ולכן תרומתו נשארת קבועה:

$$\frac{V_{o1}}{1} + \frac{2}{2} = 0 \rightarrow V_{o1} = -1\ V$$

$$V_{o1} = -2 \cdot V_1 \rightarrow V_1 = \frac{-1}{-2} = 0.5\ V$$

בקוטביות הפוכה מזו שבאיור $V_1 = 0.5\ V$

כלומר: במקום 2 V- צריך 0.5 V+. גם הגודל וגם הסימן משתנים — הקוטב החיובי חייב לפנות אל R_1 ולא אל האדמה.

🧪 בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית — ארבעת המתחים והמסכם שבסוף.

fahed-lab.com · פהד גאנם

שאלה 8 – רשת מעבירת גבוהים, משווה ונורית

נתונים: $E = 5\ V \cdot C = 10\ \mu F \cdot R = 500\ k\Omega \cdot R_1 = 20\ k\Omega \cdot R_2 = 30\ k\Omega \cdot V_{LED} = 1.5\ V \cdot I_{LED} = 10\ mA$

💡 **מבנה המעגל:** שלושה חלקים בשרשרת. ראשון – מקור ומפסק. שני – רשת מעבירת גבוהים (קבל בטור, נגד מקביל למוצא), שמוצאה הוא הנקודה A. שלישי – משווה ללא משוב, שהכניסה החיובית שלו מחוברת ל-A והשלילית למתח הייחוס שבנקודה X. במוצא – נגד ונורית.

סעיף א – התנגדות הנגד R_L

כשהמוצא גבוה הוא נמצא במתח ההזנה, 5 V. על הנורית נופל מפל קבוע וכל היתר נופל על הנגד:

$$V(R_L) = 5 - 1.5 = 3.5\ V$$

$$R_L = \frac{3.5}{10 \cdot 10^{-3}}$$

$$\boxed{R_L = 350\ \Omega}$$

סעיף ב – המתחים כשהמפסק פתוח

מתח הייחוס נקבע במחלק המתח בין R_1 ל-R_2, והוא אינו תלוי כלל במפסק:

$$V_X = 5 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5 \times \frac{30}{50} = 5 \times 0.6$$

$$\boxed{V_X = 3\ V}$$

מתח המוצא. כשהמפסק פתוח אין אות במבוא, הקבל אינו טעון ועל הנגד R אין מפל – כלומר הנקודה A נמצאת באפס. הכניסה החיובית נמוכה מן השלילית, ולכן המשווה יושב ברוויה התחתונה:

$$\boxed{V_o = 0\ V \text{ – הנורית כבויה}}$$

סעיף ג – צורת המתחים אחרי סגירת המפסק

fahed-lab.com · פתח נאנם

ברגע הסגירה קופץ המבוא מאפס ל-5 V. הקבל אינו מאפשר קפיצה במתח שעליו, ולכן **כל הקפיצה עוברת מיד אל הנקודה A**, ומשם היא דועכת בקבוע הזמן של הרשת:

$$\tau = R \cdot C = 500 \cdot 10^{3} \times 10 \cdot 10^{-6} = 5 \text{ sec}$$

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

הגרפים. V_A קופץ ל-5 V ודועך מעריכית לעבר האפס. V_o קופץ ל-5 V יחד איתו ונשאר שם כל עוד V_A גדול מ-3 V; ברגע שהוא יורד מתחת ל-3 V המוצא צונח לאפס ונשאר שם. שני הגרפים מצוירים זה מתחת לזה על אותו ציר זמן, ועל ציר V_A מסמנים את קו הסף 3 V.

סעיף ד – מתי תיכבה הנורית

הנורית נכבית ברגע שמתח הנקודה A משתווה למתח הייחוס:

$$5 \cdot e^{-t/5} = 3 \rightarrow e^{-t/5} = 0.6$$

$$\frac{t}{5} = \ln \frac{5}{3} = 0.511 \rightarrow t = 5 \times 0.511$$

$$\boxed{t = 2.55 \text{ sec}}$$

💡 **מה המעגל הזה עושה בפועל:** הוא הופך **שינוי** באות המבוא לדופק בעל אורך קבוע. כל עוד המבוא קבוע – גבוה או נמוך – הקבל חוסם והנורית כבויה; רק ברגע המעבר נדלקת הנורית לשתי שניות וחצי. זהו העיקרון של מעגל חד-יציב, והוא משמש בגלאי תנועה, בהתראות ובכל מקום שבו רוצים להגיב לאירוע ולא למצב.

🧪 בגרסת האתר יש כאן סימולציה אינטראקטיבית – הפריקה מול סף המשווה.

fahedlab.com · פתרונות

פרק שלישי – אנגלית טכנית • שאלות 9–10

שאלות 9–10 – אנגלית טכנית

שתי השאלות האחרונות נשענות על קטעי קריאה באנגלית: שאלה 9 עוסקת ב**הגנה על אספקת החשמל** – מדוע היא נחוצה, מהי מערכת אל-פסק, מה תפקידה של יחידת המיתוג ומה ההבדל בין שני סוגי האל-פסק; ושאלה 10 ב**דירוג האטימות IP** – מה הקוד מגדיר, מה מייצגות שתי הספרות, פענוח קוד נתון ורמת ההגנה המומלצת. 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** שעליהן מבוססת התשובה – סעיף בלי מספרי שורות מאבד ניקוד גם אם תוכנו נכון.

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

fahed-lab.com · פהד נאנם