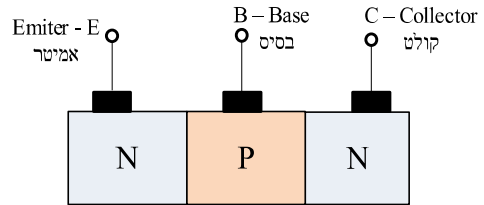
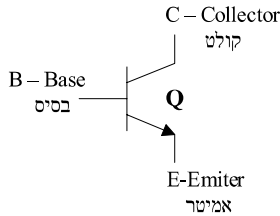


טרנזיסטור כמתג

תאוריה

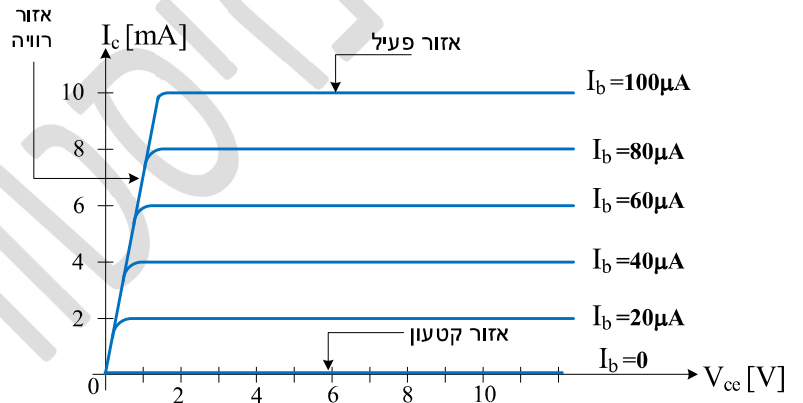
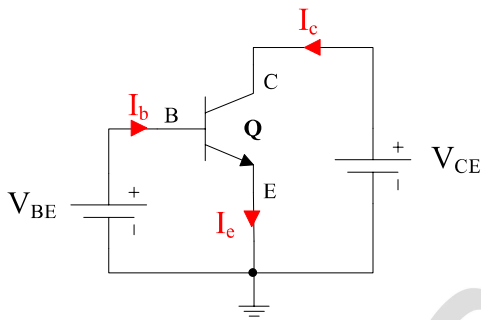
טרנזיסטור ביפולרי

מבנה טרנזיסטור NPN



חיבור

אופיין הטרנזיסטור הטרנזיסטור



אזור רוויה

אזור זה משמש כמתג במצב on כי המתח V_{CE} קרוב ל-0

$$V_{CE} = V_{CEsat}$$

$$\beta \cdot I_B > I_C$$

V_{CEsat} הוא הגבול בין אזור רוויה לאזור פעיל והוא משתנה עבור זרמים שונים, מניחים ערך קבוע למרות השינוי.

אזור פעיל

אזור זה משמש כאזור שבו הטרנזיסטור משמש כמגבר

$$V_{CE} > V_{CEsat}$$

$$\beta \cdot I_B = I_C$$

אזור קטעון

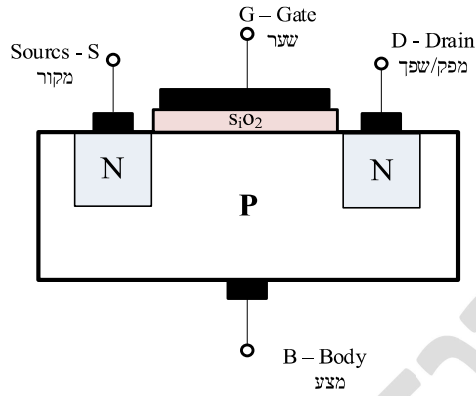
אזור זה משמש כמתג במצב off, מצב נתק הזרם שווה 0.

$$I_B=0, I_C=0, I_E=0$$

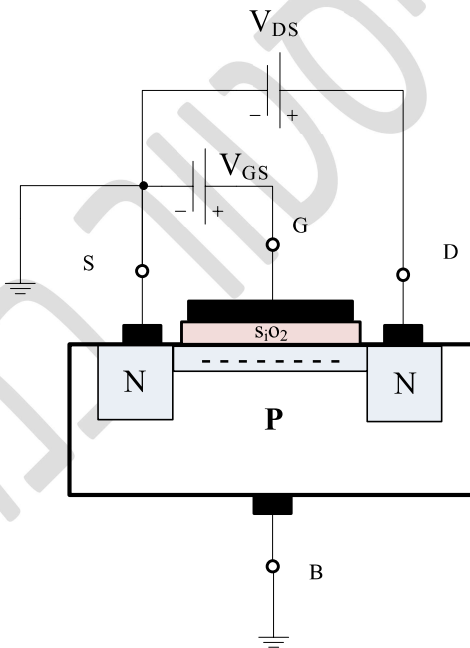
MOSFET כמתג באמצעות

טרנזיסטור MOSFET n Channel מסוג הרחבה (Enhancement)

מבנה

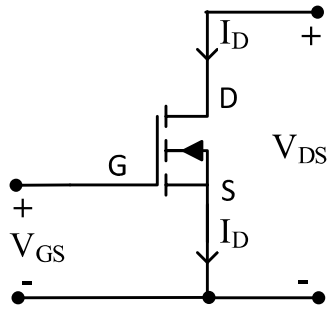


פעולה

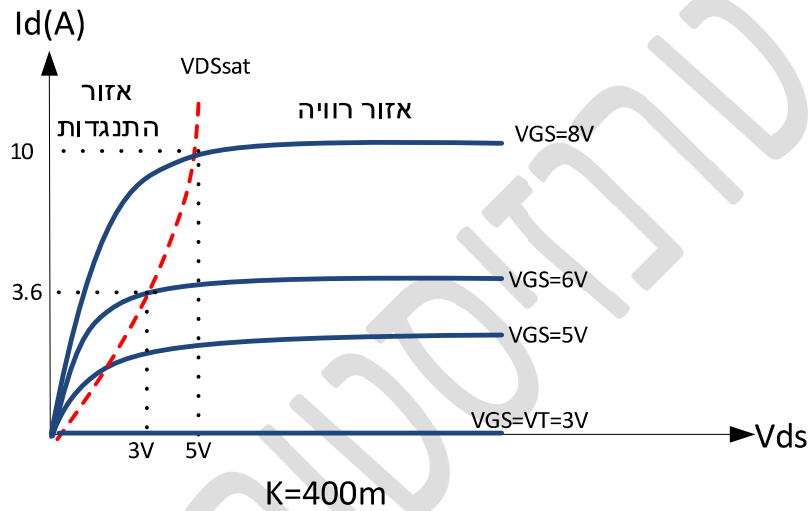


חיבור ממתח V_{GS} מעל ערך V_T יוצר שכבת הולכה באמצעות אלקטרונים ואז תהיה זרימה מ-D ל-S ככל שמתח V_{GS} גדול יותר שכבה תגדל והזרם יהיה גדול יותר.

אופיין ונוסחאות



$K - \text{מקדם } \left(\frac{A}{V^2}\right)$
 $V_T - \text{מתח צביטה (V)}$



אזור רוויה

$$V_{GS} > V_T, \quad V_{DS} > V_{GS} - V_T$$

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

אזור התנגדות

$$V_{GS} > V_T, \quad V_{DS} < V_{GS} - V_T$$

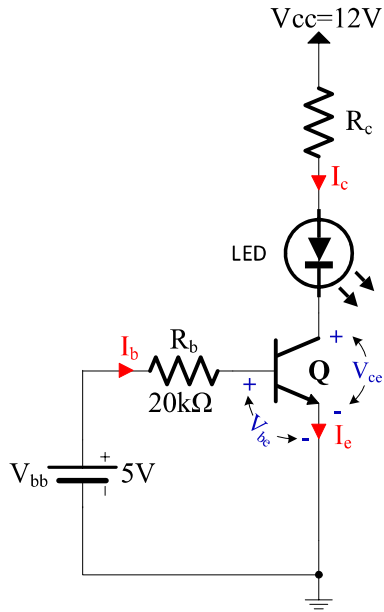
$$I_D = 2K \cdot \left[(V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

חישוב מקורב עבור מתח V_{DS} נמוך (רואים באופיין שבמתחים נמוכים הקו הוא לינארי ורק אחר כך מתעגל לקראת נקודת הסף):

$$I_D \cong 2K \cdot (V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS}$$

אזור קטעון

$$I_D = 0, \quad V_{GS} < V_T$$

שאלה 1

נתון

$$I_{led} = 20mA$$

$$V_{led} = 1.5V$$

$$\beta = 150$$

$$V_{be} = 0.7V \quad V_{cesat} = 0.2V$$

א. חשב את נגד R_c לקבלת זרם ב-LED של 20mA

(הנח שהטרנזיסטור ברוויה)

ב. בדוק האם מתקיים התנאי שהטרנזיסטור ברוויה.

פתרון

$$I_{cmax} = I_{led} = \frac{V_{cc} - V_{cesat} - V_{led}}{R_c}$$

$$R_c = \frac{V_{cc} - V_{cesat} - V_{led}}{I_{led}} = \frac{12 - 0.2 - 1.5}{20m} = 515$$

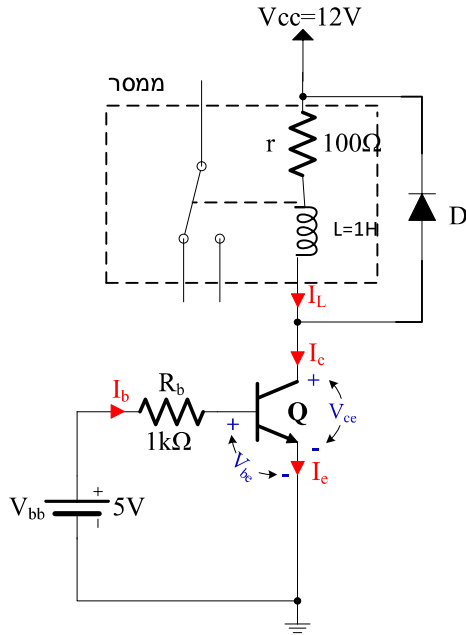
$$I_b = \frac{V_{bb} - V_{be}}{R_b} = \frac{5 - 0.7}{20K} = 0.215mA$$

$$\beta I_b = 32.25m > I_{cmax} = 20m$$

מתקיים התנאי לרוויה

שאלה 2

נתון מעגל להפעלת ממסר.



$$\beta = 100$$

$$V_{be} = 0.7V \quad V_{cesat} = 0.2V$$

- הסבר את תפקיד הדיודה.
- בדוק את התנאי שהטרנזיסטור ימצא במצב רוויה.
- חשב את ערך הנגד R_b המכסימלי שיבטיח את רווית הטרנזיסטור.

פתרון

- דיודה מגינה על הטר' מפני מתח גבוה.
-

$$I_{cmax} = \frac{V_{cc} - V_{cesat}}{r} = \frac{12 - 0.2}{100} = 118mA$$

$$I_b = \frac{V_{bb} - V_{be}}{R_b} = \frac{5 - 0.7}{1k} = 4.3mA$$

$$\beta I_b = 430m > I_{cmax} = 118m \quad \text{מתקיים התנאי לרוויה}$$

ג.

$$R_{bmax} = \frac{V_{bb} - V_{be}}{I_{bmin}} = \frac{V_{bb} - V_{be}}{I_{cmax}/\beta} = \frac{5 - 0.7}{118m/100} = 3.644k$$

שאלה 3

נתון מעגל למיתוג ממסר

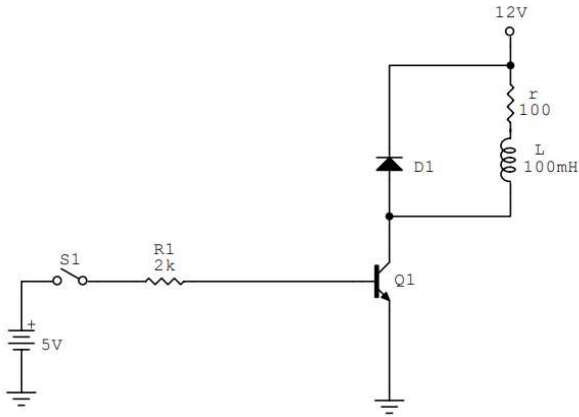
$$\beta = 150$$

$$V_{be} = 0.7v$$

$$V_{cesat} = 0v$$

דיודה אידיאלית

זרם תפיסה - 60mA זרם התרה - 40mA



המפסק נסגר למשך 1 שנייה ולאחר מכן נפתח.

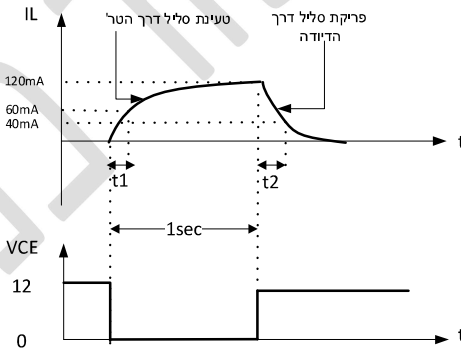
א. שרטט וחשב צורות הגלים I_L, V_{ce2} לאורך כל התהליך.

ב. חשב את הזמן שהממסר נתפס מרגע סגירת המפסק והזמן שהממסר נפתח מרגע פתיחת המפסק.

ג. חשב את ערכו של הנגד בבסיס המכסימלי שיבטיח רוית הטר.

פתרון

א.



ב.

$$t_1 = \frac{L}{r} \ln \frac{120m - 0}{120m - 60m} = 0.69ms$$

$$t_2 = \frac{L}{r} \ln \frac{0 - 120m}{0 - 40m} = 1.1ms$$

ג.

$$\beta I_b = 150 \cdot \frac{5 - 0.7}{R_b} > I_{cmax} = 120m$$

$$R_{bmax} = 150 \cdot \frac{5 - 0.7}{120m} = 5.375K$$

שאלה 4

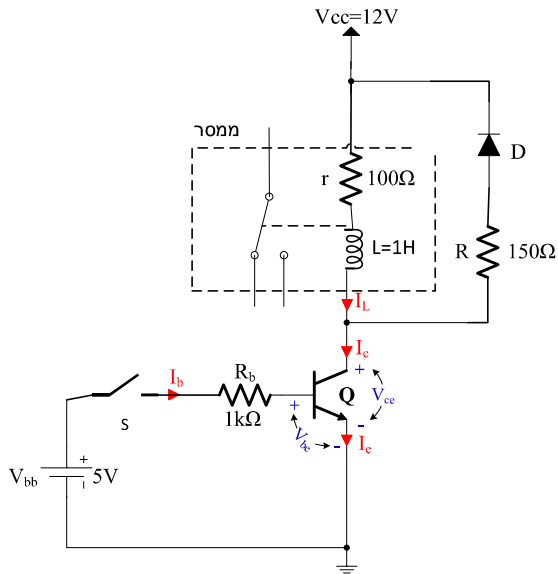
נתון מעגל להפעלת ממסר.

$$\beta = 100$$

$$V_{be} = 0.7V \quad V_{cesat} = 0V$$

א. בדוק את התנאי שהטרנזיסטור ימצא במצב רוויה.

ב. המפסק S נסגר למשך שניה, שרטט וחשב את צורות

הגלים של : I_c , I_L , V_{ce} 

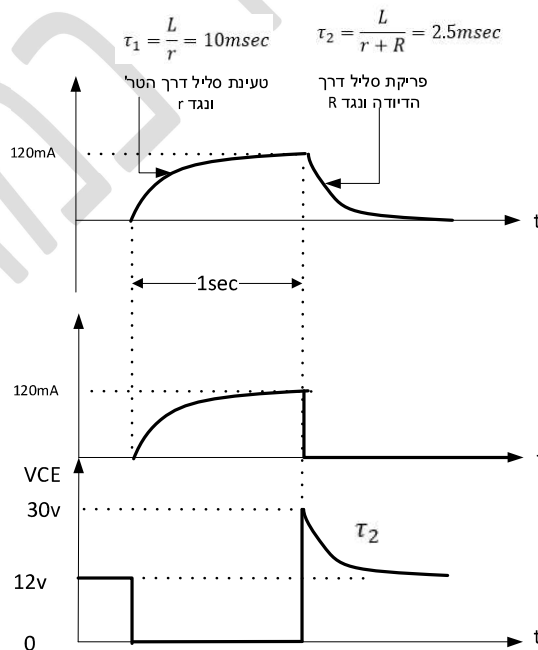
תשובה

א.

$$I_{cmax} = \frac{V_{cc} - V_{cesat}}{r} = \frac{12 - 0}{100} = 120mA$$

$$I_b = \frac{V_{bb} - V_{be}}{R_b} = \frac{5 - 0.7}{1k} = 4.3mA$$

$$\beta I_b = 430mA > I_{cmax} = 120mA \quad \text{מתקיים התנאי לרוויה}$$

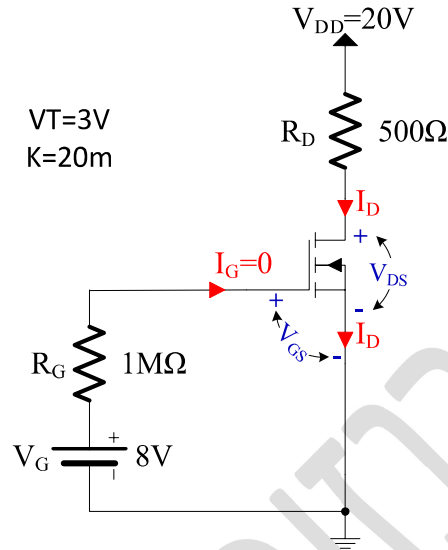
ב. מתח מגיע ל-30V לפי : $V_{ce} = I_{Lmax} \cdot R + V_{cc} = 120mA \cdot 150 + 12 = 30V$ 

$$\tau_1 = \frac{L}{r} = 10msec$$

$$\tau_2 = \frac{L}{r+R} = 2.5msec$$

שאלה 5

בדוק באיזה מצב הטרנזיסטור וחשב בקירוב את הזרם I_D ומתח V_{DS}



פתרון

הטרנזיסטור יכול להיות במצב התנגדות או רוויה ($V_{GS} > V_T$)
 נניח שהטרנזיסטור במצב התנגדות (סביר אם עובדים עם הטרנזיסטור כמתג)
 נפתור לפי נוסחה מקורבת בהנחה שערך V_{DS} קטן מנקודת הגבול.

$$I_D \cong 2K \cdot (V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS} = 40m(8 - 3) \cdot V_{DS}$$

$$I_D \cong 200m \cdot V_{DS}$$

נוכל לראות את ה-MOS כנגד שערכו $V_{DS}/I_D = 5$ שהוא בטור לנגד R_D , לכן הזרם I_D שווה:

$$I_D \cong \frac{V_{DD}}{R_D + R_{DS}} = \frac{20}{500 + 5} = 39.6mA$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D = 20 - 39.6m \cdot 500 = 0.2V$$

נבדוק אם אכן הטרנזיסטור באזור ההתנגדות שבו מתקיים:

$$V_{DS} < V_{GS} - V_T$$

$$0.2 < 8 - 3 = 5 \quad \text{ואכן}$$

הערה: הנוסחה המקורבת מתאימה עבור מקרה זה בו ערך V_{DS} קטן מנקודת הגבול.

נפתור בצורה מדויקת ונבחן את השגיאה.

$$I_D = 2K \left[(V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] = 40m \left[(8 - 3) \cdot V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D = 20 - 500I_D$$

$$\frac{20 - V_{DS}}{500} = 40m \left[5 \cdot V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

$$20 - V_{DS} = 20 \left[5 \cdot V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

$$10V_{DS}^2 - 101V_{DS} + 20 = 0$$

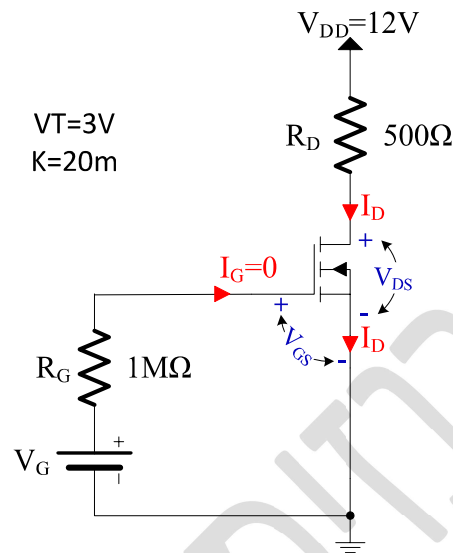
$$V_{DS} = \mathbf{0.202V}, 9.897V$$

התשובה $V_{DS}=0.202V$ מתאימה לאזור ההתנגדות שבו : $V_{DS} < V_{GS} - V_T = 5V$

רואים שערך המדויק קרוב לקירוב שעשינו.

שאלה 6 **

- א. חשב V_G מינימלי שבו הטרנזיסטור יהיה במצב התנגדות.
 ב. חשב V_{DS} הגבולי בין אזור התנגדות לאזור רוויה.

פתרון

א. הגבול שבו הטרנזיסטור בין מצב התנגדות לאזור רוויה, הוא כאשר $V_{DS} = V_{GS} - V_T$

ובו מתקיים גם משוואת אזור הרוויה: $I_D = K \cdot (V_{GS} - V_T)^2$

$$I_D = K \cdot (V_{GS} - V_T)^2 = 20m \cdot (V_G - 3)^2$$

$$V_{DS} = 12 - I_D \cdot 500$$

$$V_{DS} = V_{GS} - V_T = V_G - 3$$

$$12 - I_D \cdot 500 = V_G - 3$$

$$12 - 20m \cdot (V_G - 3)^2 \cdot 500 = V_G - 3$$

$$10 \cdot V_G^2 - 59 \cdot V_G + 75 = 0$$

$$V_G = 4.046V, 1.853V$$

נבחר ערך שהוא גדול מ- V_T שהוא: $V_G = 4.046V$

$$V_{DS} = V_{GS} - V_T = 4.046 - 3 = 1.058V \quad \text{ב.}$$

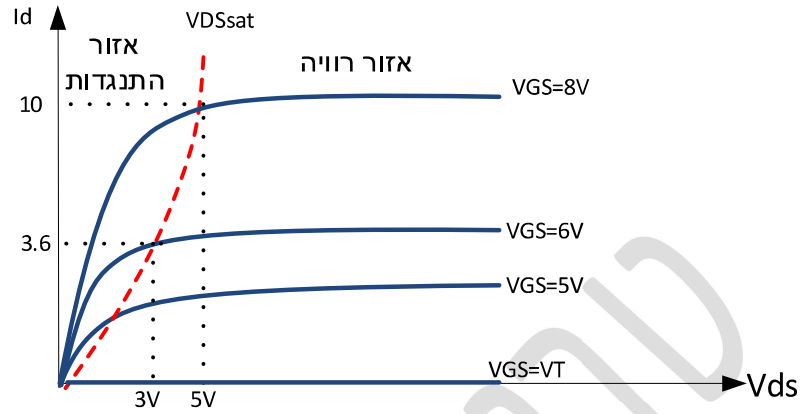
הערה: כדי להשתמש בנוסחה מקורבת של אזור התנגדות: $I_D \cong 2K \cdot (V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS}$

צריך שמתח $V_{DS} \ll 1.058V$

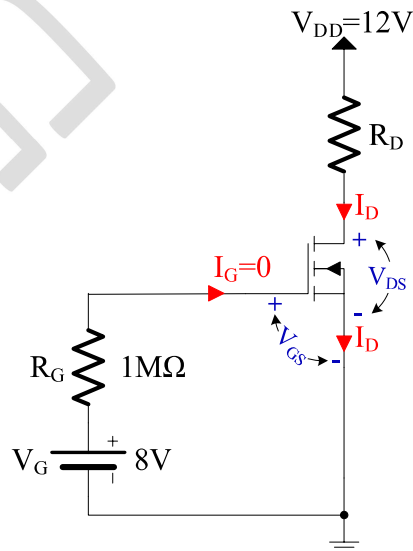
שאלה 7

נתון אופיין של MOSFET

הקו המקווקו באדום מיצג את נקודת הגבול בין אזור ההתנגדות לאזור הרוויה.



- חשב את ערך V_T
- חשב את המקדם K
- עבור $V_{GS}=8V$, חשב בקירוב את התנגדות R_{DS} (אזור התנגדות) עבור מתחים קטנים ($V_{DS} < V_{DSsat}$)
- דרוש שמתח $V_{DS}=0.1V$, חשב את ערך R_D



פתרון

א. נתון בגרף $V_{DSsat}=5V$ עבור $V_{GS}=8V$

$$V_T = V_{GS} - V_{DSsat} = 8 - 5 = 3V \text{ לכן}$$

ב. נתון בגרף $I_D=10A$ באזור הרחיה עבור $V_{GS}=8V$

לפי הנוסחה :

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

נקבל :

$$K = I_D / (V_{GS} - V_T)^2 = 10 / (8 - 3)^2 = 400m(A/V^2)$$

ג. נוסחה מקורבת להתנגדות היא:

$$I_D \cong 2K \cdot (V_{GS} - V_T) \cdot V_{DS}$$

ולכן ההתנגדות RDS מחושבת לפי:

$$R_{DS} \cong 1 / [2K \cdot (V_{GS} - V_T)] = 1 / [800m(8 - 3)] = 0.25\Omega$$

ד. לפי מחלק מתח :

$$V_{DS} = V_{DD} \cdot R_{DS} / (R_{DS} + R_D) = 12 \cdot 0.25 / (0.25 + R_D) = 0.1V$$

$$R_D = 29.75\Omega \text{ נקבל}$$