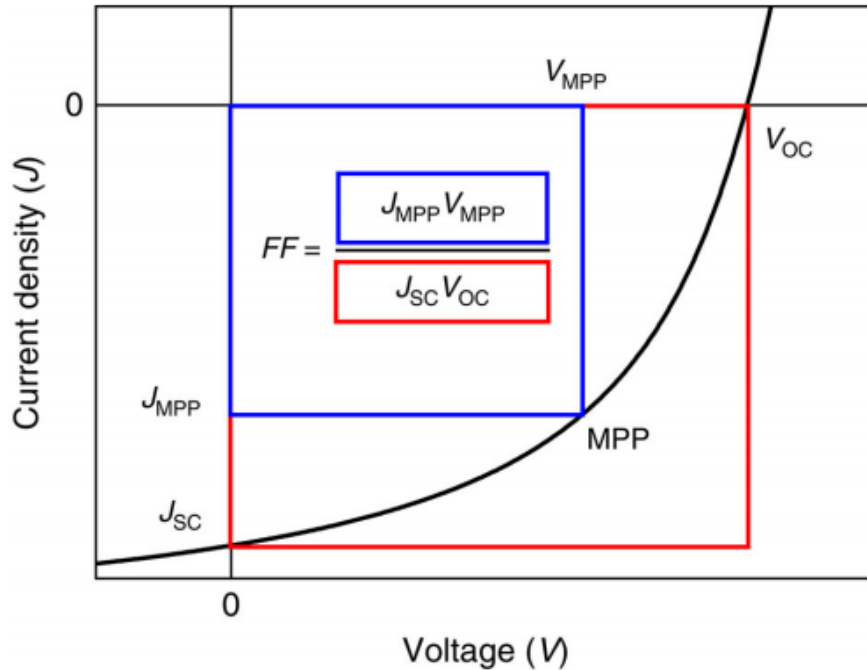


תרגול 11 – תאי שמש – חלק א

זרם קצר I_{sc} – הזרם בתא השמש כאשר לא מופעל על התא ממתח חיצוני. זרם זה נוצר מגרעיה של ני"מ בעקבות הארה.

מתח ריקס V_{oc} – המתח המקסימלי האפשרי שניתן לקבל מתא שמש, כאשר הזרם הוא אפס. מתח זה מתקבל כאשר התא במעגל פתוח.

Fill Factor (FF) – היחס בין ההספק המקסימלי שמתקבל מתא השמש, למכפלה בין זרם הקצר למתח הריקס. ככל שעקומת הזרם-מתח קרובה יותר לאופיין ריבועי, כך ה-FF גבוה יותר.



מומלץ לבקר באתר PVEducation ולהתנסות בסימולציות השונות המדגימות ביצועי תאי שמש.

שאלה 1

נתון תא שמש מבוסס סיליקון בעל שטח חתך של 1.7cm^2 . זרם הזליגה בתנאי חושך הוא -3.3mA וההתנגדות הפנימית של התא היא 4Ω . בתנאי הארה עולה זרם התא, המופעל בתנאי קצר, $I_{sc} = -36\text{mA}$.

- א. מהו המתח במעגל פתוח V_{oc} של המעגל?
- ב. התא מחובר לצרכן חשמלי, בעל התנגדות R_L . נקודת העבודה של התא נקבעת על פי ההתנגדות שיש לתא. יש למצא את נקודת העבודה האופטימלית של התא (R_{opt} , I_{opt}) לקבלת מקסימום הספק יציאה. מהו ההספק בתנאי עבודה אלו?
- ג. יש לחשב את ה-FF של התא.
- ד. יש לשרטט את דיאגרמת פסי האנרגיה של ההתקן בעת הארה, בהנחת תא שמש מבוסס דיודת pin.

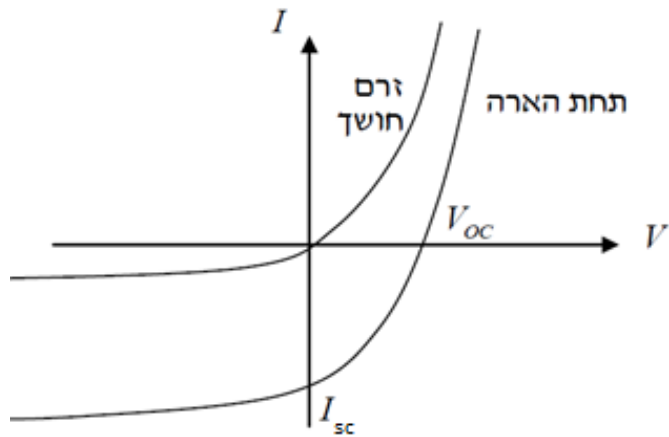
פתרון

א.

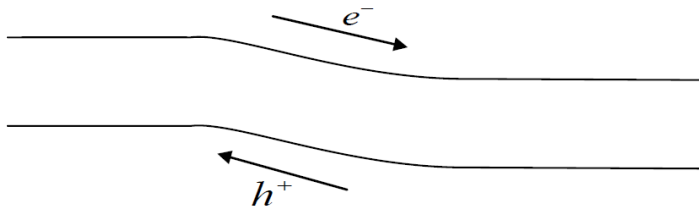
זרם בדיודת תחת הארה:

$$J(V) = J_{sc} - J_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

(נוסחה 1 הרצאה 12)



הביטוי $J_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$ מתאר את עקום הזרם ללא הארה ו J_{sc} הוא הזרם המתווסף עקב גנרציה של נושאי המטען בשכבת המחסור ותנועתם בכיוון השלילי.

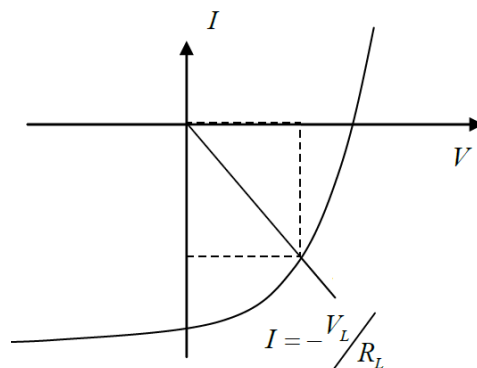


בתנאי נתק :

$$J(V) = 0 = J_{sc} - J_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

$$V_{oc} \approx \frac{KT}{q} \ln \left(\frac{J_{sc}}{J_0} \right) = 0.421V$$

ב.



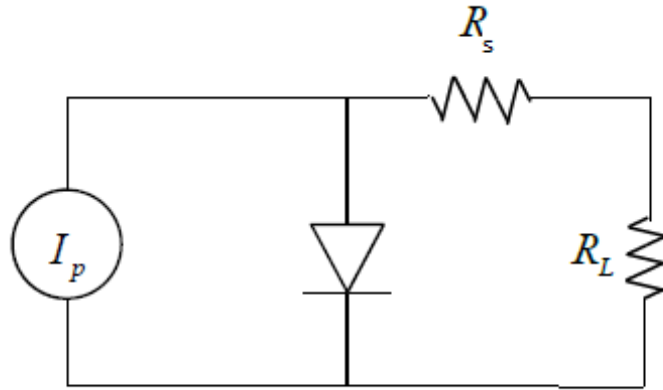
כאשר :

V_L – מתח על הצרכן
 R_L – ההתנגדות של הצרכן

הספק היציאה :

$$P = IV_L$$

נרצה למצא קשר בין V_L ל I_L .
 המעגל החשמלי :



מתח היציאה מהתא :

$$V = V_L + IR_s = V_L + \left(\frac{V}{R_L + R_s} \right) R_s$$

ולכן

$$V_L = V \left(\frac{R_L}{R_L + R_s} \right)$$

נחלץ את הביטוי למתח ממשוואה (1) :

$$V = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc} - I}{I_0} + 1 \right)$$

כיוון ש $I_0 \ll I_{sc} - I$:

$$V = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc} - I}{I_0} \right)$$

הצבה בביטוי להספק היציאה :

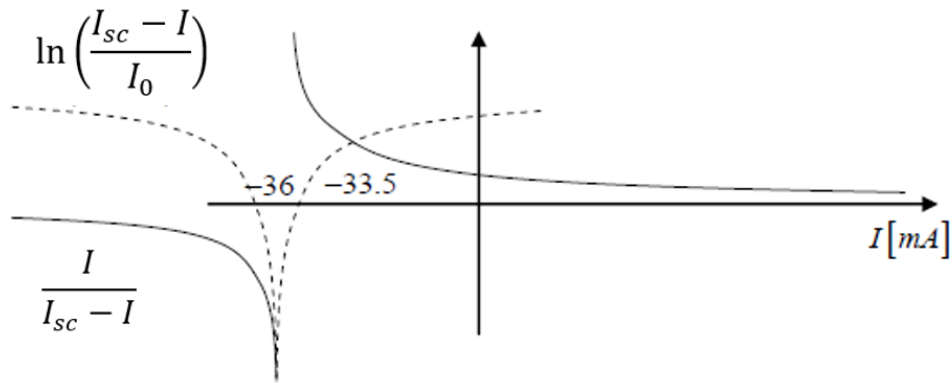
$$P = I \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc} - I}{I_0} \right) \left(\frac{R_L}{R_L + R_s} \right)$$

נמצא את I עבורו ההספק מקסימאלי ע"י מציאת הערך המקסימלי של P :

$$\frac{dP}{dI} = 0 = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc} - I}{I_0} \right) \left(\frac{R_L}{R_L + R_s} \right) + I \frac{kT}{q} \left(\frac{R_L}{R_L + R_s} \right) \cdot \frac{-1}{I_{sc} - I}$$

$$\ln \left(\frac{I_{sc} - I}{I_0} \right) = \frac{I}{I_{sc} - I}$$

נתפור משוואה זו ע"י פתרון גרפי (קוד מצורף)



ולכן :

$$I_{opt} = -33.5mA$$

המתח האופטימלי :

$$V = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc} - I}{I_0} \right) = 0.026 \ln \left(\frac{-0.036 + 0.033}{-3.3 \cdot 10^{-9}} \right)$$

$$V_{opt} = 0.35V$$

כיוון שנתונה התנגדות פנימית, ניתן לומר כי הדיודה לא אידיאלית. המתח שמיוצא בתא :

$$V_{tot} = \underbrace{I_{tot} R_s}_{\text{הפנימי הנגד על המתח}} + \underbrace{I_{tot} R_L}_{\text{הצרכן על המתח}}$$

כאשר R_L הינה התנגדות הצרכן כשהוא פועל **בדיוק** בנקודת העבודה האופטימלית של הדיודה

$$R_L = \frac{V_{opt} - |I_{opt}| R_s}{|I_{opt}|} = \frac{0.35 - 0.033 \cdot 4}{0.033} = 6.6 \Omega$$

$$FF = \frac{J_m V_m}{J_{sc} V_{oc}} = \frac{0.033 \cdot 0.35}{0.036 \cdot 0.421} = 0.76 = 76.2\%$$

ג. צומת pin תחת הארה :

