

תרגול 12 – תאי שמש חלק ב'

שאלה 1 – חיבור טורי של תאי שמש

נתון תא שמש מבוסס סיליקון עבורו $I_{MPP}=3.23A$, $V_{MPP}=0.5V$, $I_{sc}=3.4A$; $I_0=6 \cdot 10^{-10}A$. בנוסף נתון כי $n=36$.

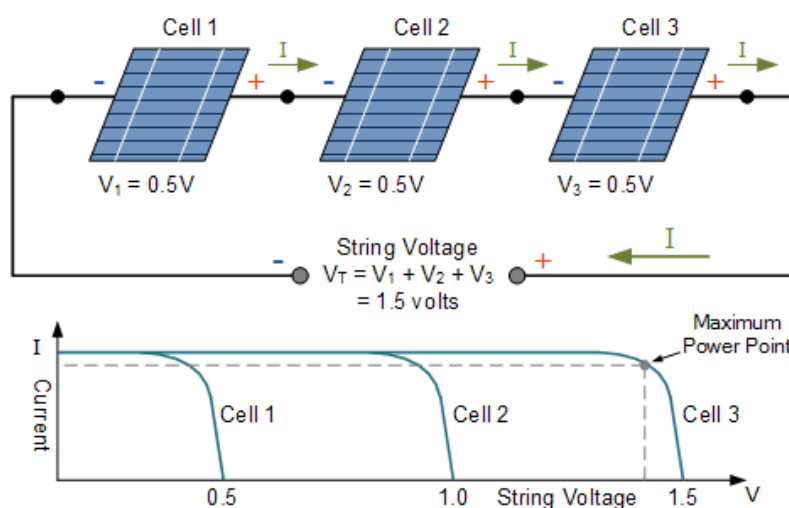
- מהו היתרון בחיבור מספר תאי שמש בטור? יש לחשב את ההבדל בהספק שמיצר בתא שמש אחד, הפועל בתנאי MPP, לעומת ההספק של מערכת בעלת n תאי שמש זהים, המחוברים בטור. יש להזניח התנגדויות.
- כעת נתון ערכי ההתנגדויות בטור ובמקביל הינן $R_p=6.6\Omega$ ו- $R_s=0.005\Omega$. מהו ההספק המיוצר ב- n תאי שמש זהים, המחוברים בטור? נתון כי $V_D=0.5V$ (עבור תא בודד).

פתרון

- עבור תא שמש בודד, ההספק יהיה:

$$P = IV = 3.23 \cdot 0.5 = 1.615W$$

עבור n תאי שמש המחוברים בטור, הזרם במעגל קבוע

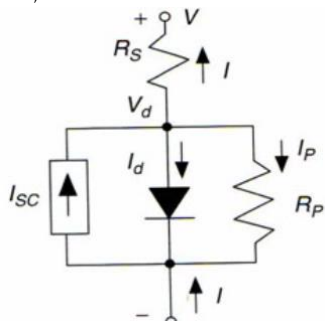


ולכן ההספק במערכת יהיה:

$$P = IV = n \cdot (3.23 \cdot 0.5) = 36 \cdot (3.23 \cdot 0.5) = 58.14W$$

חיבור n תאי שמש בטור יהיה nP ההספק של תא יחיד.

- ראשית נשרטט את המעגל האקוויולנטי המתאר את הבעיה, עבור תא שמש יחיד:



ראינו כי הזרם בדיודה תחת הארה (עבור מקדם אידיאליות $n=1$):

$$I(V) = I_{sc} - I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

כעת ניקח בחשבון את השפעת ההתנגדות הטורית והמקבילית הנתונה:

$$I(V) = I_{SC} - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{KT}} - 1 \right) - \left(\frac{V + IR_s}{R_p} \right)$$

כדי לפתור את המשוואה הנ"ל בצורה אנליטית, נניח כי $V \gg IR_s$:

$$I(V) = I_{SC} - I_0 \left(e^{\frac{qV_D}{KT}} - 1 \right) - \left(\frac{V_D}{R_p} \right)$$

$$I(V) = 3.4 - 6 \cdot 10^{-10} \left(e^{\frac{0.5}{0.026}} - 1 \right) - \left(\frac{0.5}{6.6} \right) = 3.19A$$

כעת נוודא את נכונות ההנחה:

$$IR_s = 3.19 \cdot 0.005 = 1.56mV \ll V_D$$

הבדל של יותר משני סדרי גודל, ולכן הקירוב מוצדק.

מתח היציאה מתא בודד:

$$V = V_D - IR_s$$

מתח היצירה מ- n תאים:

$$V_n = n(V_D - IR_s) = 36 \cdot (0.5 - 3.19 \cdot 0.005) = 17.42V$$

כעת ניתן לחשב את ההספק:

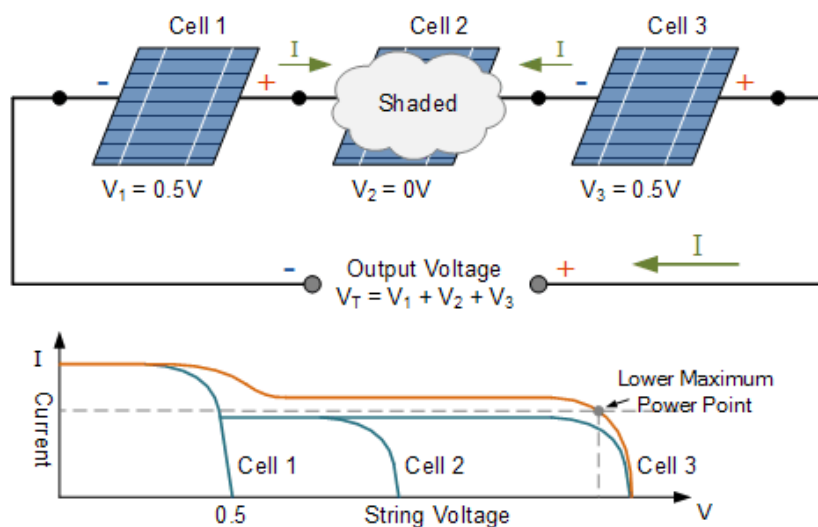
$$P = I \cdot V_n = 3.19 \cdot 17.42 = 55.59W$$

שאלה 2 – הצללה של תאי שמש

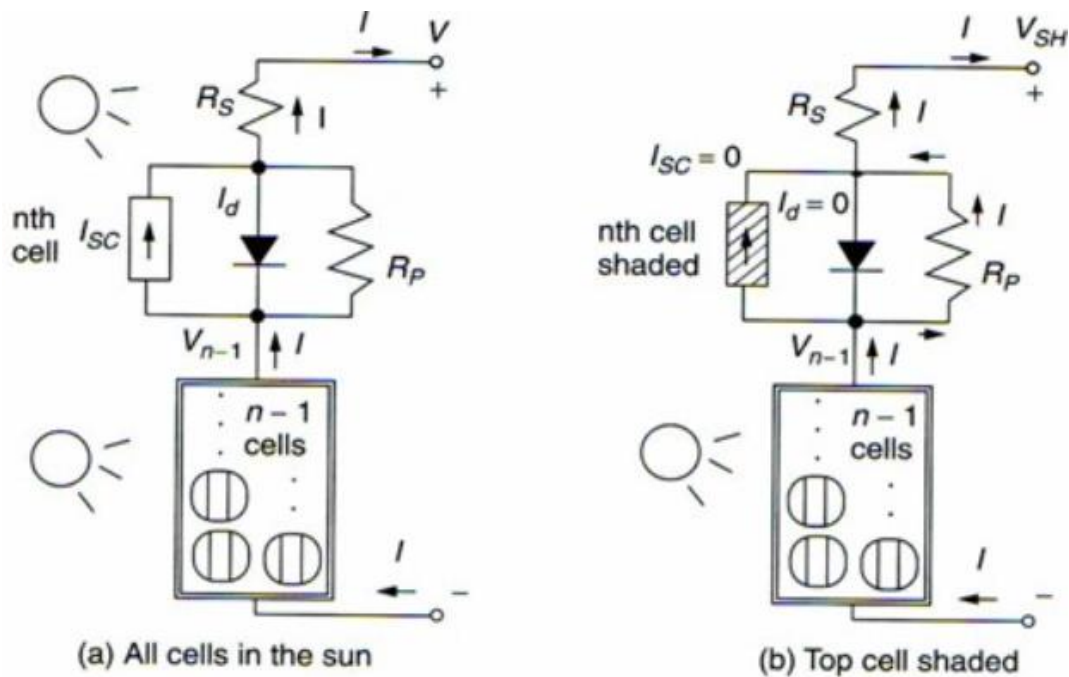
- נתונה מערכת של n תאים המחוברים בטור, כאשר אחד מהתאים מוצל באופן מלא. איך ישתנה ההספק במעגל זה, בהשוואה למצב בו כל התאים מוארים באופן מלא? נתון כי כאשר כל התאים מוארים באופן מלא, מתח היציאה מהמערכת הוא $V_{out}=19.41V$. בנוסף, ניתן להניח כי הזרם במעגל קבוע ושווה ל- $I=2.14A$, ועל כל תא קיימות ההתנגדויות טורית ומקבילית של $R_p=6.6\Omega$; $R_s=0.005\Omega$.
- כיצד ניתן למנוע את הירידה החדה בהספק המערכת בהינתן הצללה? יש לשרטט את המעגל האקוויוולנטי החדש של התא המוצל עבור הפתרון המוצע.

פתרון

- תיאור הבעיה בצורה סכמתית:



עבור מערכת של n תאים המחוברים בטור, נבחן את המעגל האקוויוולנטי עבור התא ה- i המוצל, בהשוואה לתא ה- i במערכת של n תאים בה אף אחד מהם לא מוצל:



משמאל (שרטוט a), כל ה- n התאים חשופים להארה בצורה שווה, וכיוון שהחיבור הוא טורי, אותו הזרם יעבור בכל התאים. מימין (שרטוט b), אחד מהתאים מוצל, וזרם הקצר I_{sc} בתא זה מונחת לאפס. מסיבה זו הדיודה בממתח אחורי, $I_d=0$, ולכן הזרם החוצה את תא זה חייב לעבור דרך R_p (ודרך R_s). ניתן לראות שהזרם דרך התא המוצל הוא הזרם דרך ההתנגדות המקבילית שלו וזרם הרוויה של הדיודה. שני אלמנטים אלו קיימים גם כאשר התא פועל בממתח קדמי, אך לרוב אפשר להזניח את ההשפעה של ההתנגדות המקבילית. כתוצאה מכך, על מנת להעביר את הזרם שנוצר בתאים האחרים (כיוון שמדובר בחיבור טורי), הזרם עובר בתא המוצל בממתח אחורי. מהסיבה הזו, תא זה הופך לצרכן של הספק.

תא השמש המוצל מייצר זרם נמוך משאר התאים הלא מוצלים, והתוצאה היא שהספק המערכת כולה מוגבל עפ"י הזרם המיוצר בתא השמש המוצל, שכן הזרם במעגל זה קבוע.

מתח היציאה מה התאים המחוברים בטור, כאשר אחד מהם מוצל:

$$V_{SH} = V_{n-1} - I(R_p + R_s)$$

נתון מתח היציאה מהתא כאשר כל התאים מוארים, ולכן המתח על $n-I$ התאים המוארים הינו:

$$V_{n-1} = \left(\frac{n-1}{n}\right)V$$

ולכן

$$V_{SH} = \left(\frac{n-1}{n}\right)V - I(R_p + R_s)$$

השינוי במתח היציאה, עבור I נתון:

$$\begin{aligned} \Delta V &= V - V_{SH} = V - \left[\left(\frac{n-1}{n}\right)V - I(R_p + R_s)\right] \\ &= \frac{V}{n} + I(R_p + R_s) \end{aligned}$$

כעת נציב את הערכים הנתונים:

$$\Delta V = \frac{19.41}{36} + 2.14(6.6 - 0.005) = 14.65V$$

מתח היציאה החדש:

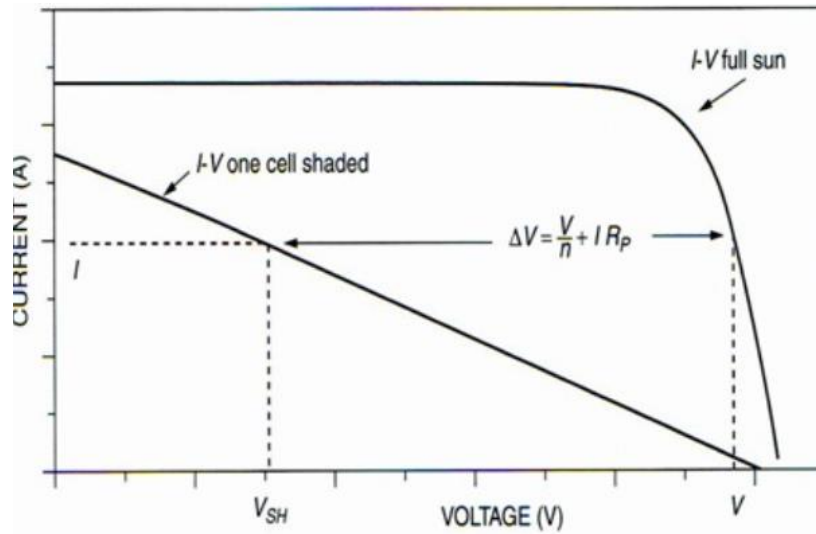
$$V_{SH} = V - \Delta V = 19.41 - 14.65 = 4.75V$$

ולכן ההספק עבור מערכת זו :

$$P = IV = 2.14 \cdot 4.75 = 10.18W$$

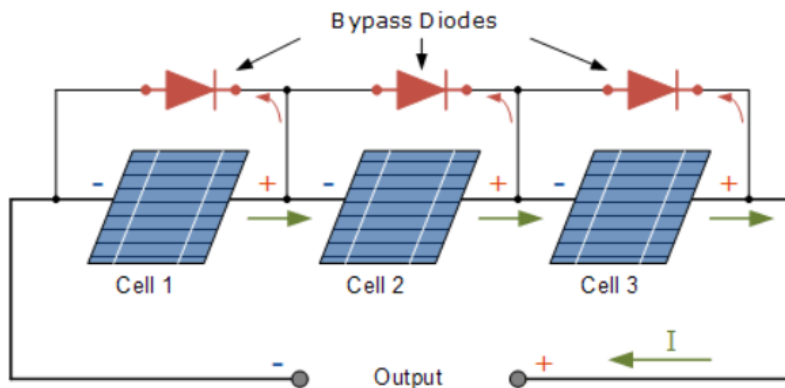
כאשר ההספק עבור מערכת זו, כאשר אף תא אינו מוצל :

$$P = 2.14 \cdot 19.41 = 41.53$$



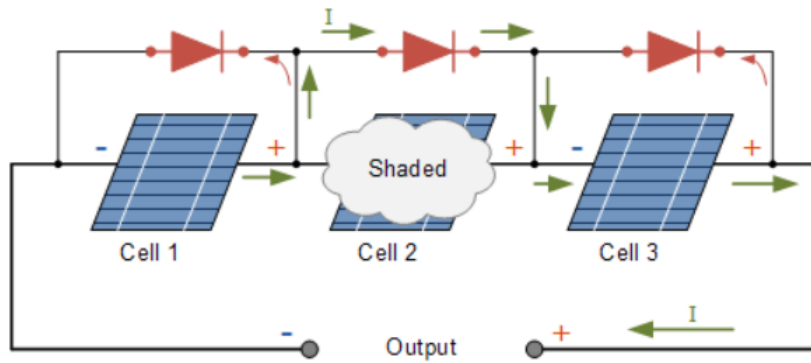
הצללה של אחד התאים גורמת לו להפוך לצרכן הספק ולירידה דרמטית בנצילות המערכת.

2. דיודות מעקף (Bypass Diodes) הן דיודות המחוברות במקביל ובממתח אחורי לכל אחד מתאי השמש במערכת.



כאשר כל התאים מוארים בעוצמה שווה מהשמש, הזרם העובר בדיודות המעקף הינו זרם זליגה, שכן דיודות אלו מחוברות בממתח אחורי ביחס לזרם הזורם בתאים, ומכאן שהספק המערכת לא נפגע.

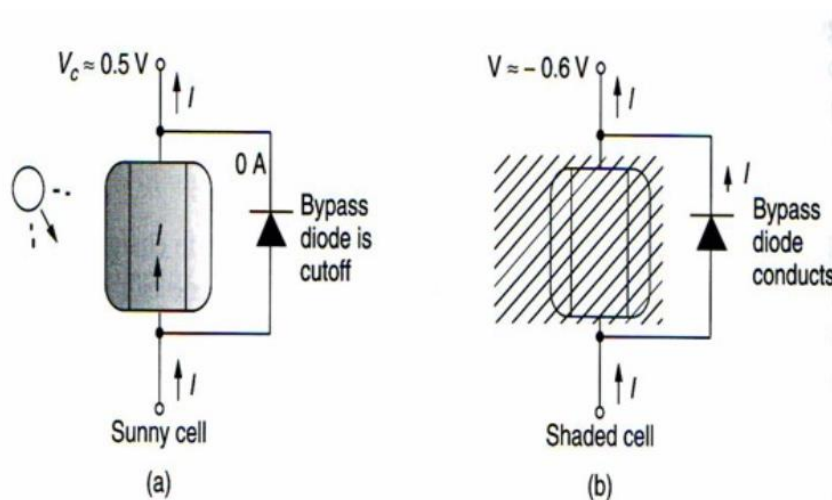
עם זאת, כאשר אחד התאים מוצל באופן מלא או חלקי, דיודת המעקף שמחוברת לתא זה משמשת כנתיב חלופי לתנועת הזרם במעגל.



כפי שראינו בסעיף הקודם, התא המוצל מתנהג כמו דיודה בממתח אחורי, ולכן דיודת המעקף המחוברת אליו במקביל מתנהגת כדיודה בממתח קדמי, ביחס אליו, ומעבירה את הזרם שהגיע לתא זה לתא הבא אחריו.

במצב זה הספק המערכת יהיה

$$P = I \cdot [(n - 1)V] + [-I_{Bypass\ diode}V]$$



אופייני מתח-זרם בתא זה-

