บทที่ 2

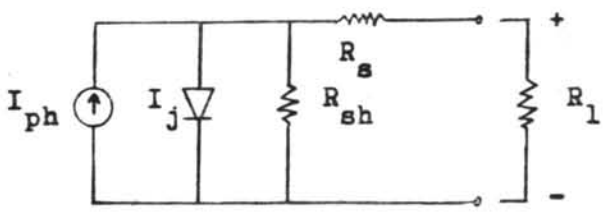
แถวแผงเซลแสงอาทิตย์

เซลแสงอาทิตย์

เซลแสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ชนิดหนึ่งซึ่งก่อให้เกิดกระบวนการโฟโตโวลตาอิค เพื่อเปลี่ยนรูปของพลังงานจากพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ได้เริ่มมีการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับเซลแสงอาทิตย์มานานหลายสิบปีแล้ว เมื่อเกิดวิกฤตการณ์น้ำมันมีราคาแพง การพัฒนาเทคนิคการผลิตเซลแสงอาทิตย์ก็มีขึ้นอย่างมาก เพื่อที่จะให้ได้เซลแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงและราคาอยู่ในเกณฑ์ที่จะซื้อขายกันได้ ในปี พ.ศ.2525 เซลแสงอาทิตย์ที่มีขายในประเทศไทยของเราราคาประมาณ 300 บาทต่อกำลังงานสูงสุดหนึ่งวัตต์ จากเซลแสงอาทิตย์ และทำเป็นแผงเซลแสงอาทิตย์ ซึ่งโดยมากเป็นเซลแสงอาทิตย์หลาย ๆ เซลต่ออนุกรมกัน เซลแสงอาทิตย์ที่จะกล่าวต่อไปในวิทยานิพนธ์เรื่องนี้เป็นเซลที่มีขายแพร่หลายในท้องตลาด คือ เซลแสงอาทิตย์แบบซิลิกอน ซึ่งถูกนำมาใช้ในการทดลองเรื่องระบบสูบน้ำขนาดเล็กนี้ด้วย

วงจรสมมูลย์ของเซลแสงอาทิตย์

เซลแสงอาทิตย์ถูกแทนด้วยวงจรสมมูลย์ในทางวิศวกรรมไฟฟ้า [1] ได้ดังภาพที่ 2.1 เพื่อบ่งบอกถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลแสงอาทิตย์ เซลแสงอาทิตย์มีคุณสมบัติของไดโอดอยู่ด้วยนั้นเกิดจากรอยต่อ พี-เอ็น หรือรอยต่อ เอ็น-พี ของซิลิกอน



ภาพที่ 2.1 วงจรสมมูลย์ของเซลแสงอาทิตย์

I_{ph} คือ กระแสที่เกิดจากแสงตกกระทบบนเซลแสงอาทิตย์

I_j คือ กระแสที่ผ่านรอยต่อ พี – เอ็น หรือ เอ็น – พี ของซิลิกอน ในทิศทางตรงข้ามกับกระแสที่ไหลออกมาจากเซล

R_s คือ ความต้านทานอนุกรมของเซลแสงอาทิตย์

R_{sh} คือ ความต้านทานขนานของเซลแสงอาทิตย์

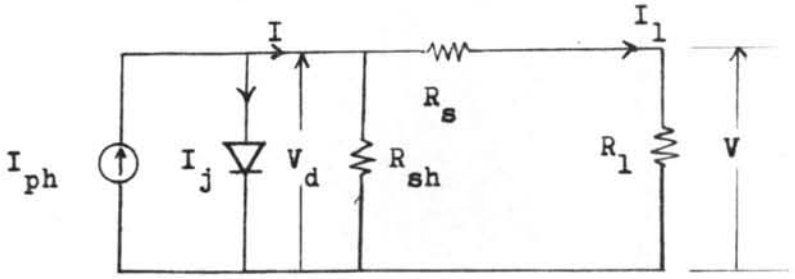
R_l คือ ความต้านทานของภาระไฟฟ้าที่ต่อกับสองขั้วของเซลแสงอาทิตย์

I_l คือ กระแสที่ผ่านความต้านทาน R_l

สมการของเซลแสงอาทิตย์

ในการวิเคราะห์การทำงานของเซลแสงอาทิตย์นั้น ต้องการสมการที่จะแสดงคุณลักษณะของกระแสและแรงดันที่เกิดขึ้นกับเซลแสงอาทิตย์ เมื่อภาระทางไฟฟ้า (R_l) ของเซลแสงอาทิตย์ และค่าการรับรังสีเปลี่ยนแปลงไป

ค่าการรับรังสี (Solar irradiance or insolation) หมายถึง ค่าพลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นที่หนึ่งตารางหน่วย อาจใช้หน่วยมิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หรือวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งในที่นี้จะใช้หน่วยอย่างหลัง



ภาพที่ 2.2 วงจรสมมูลย์ของเซลแสงอาทิตย์ที่มีภาระไฟฟ้าต่ออยู่

เมื่อพิจารณาภาพที่ 2.2 ภาระไฟฟ้าต่ออยู่กับเซลแสงอาทิตย์แล้วย่อมเกิดกระแส I_l ไหลผ่าน R_l

V คือ แรงดันคร่อม R_l หน่วยเป็นโวลท์

I_l คือ กระแสผ่าน R_l หน่วยเป็นแอมแปร์

V_d คือ แรงดันที่รอยต่อของซิลิกอนไดโอดขณะไบแอสตรง (Forward-biased diode voltage) หน่วยเป็นโวลท์

I_o คือ กระแสไหลกลับอิ่มตัวของไดโอด (Reverse saturation current of diode) หน่วยเป็นแอมแปร์

λ คือ q/AKT หน่วยเป็น (โวลท์)$^{-1}$

q คือ ประจุไฟฟ้าของอิเลคตรอน 1 ตัว คือ 1.602×10^{-19} คูลอมบ์

K คือ ค่าคงที่โบลท์ซแมน คือ 1.38×10^{-23} จูลต่อองศาสัมบูรณ์

T คือ อุณหภูมิของเซลแสงอาทิตย์ หน่วยเป็นองศาสัมบูรณ์

V_t คือ แรงดันจากความร้อน (Thermal voltage)

$V_t = \frac{KT}{q}$ หน่วยเป็นโวลท์

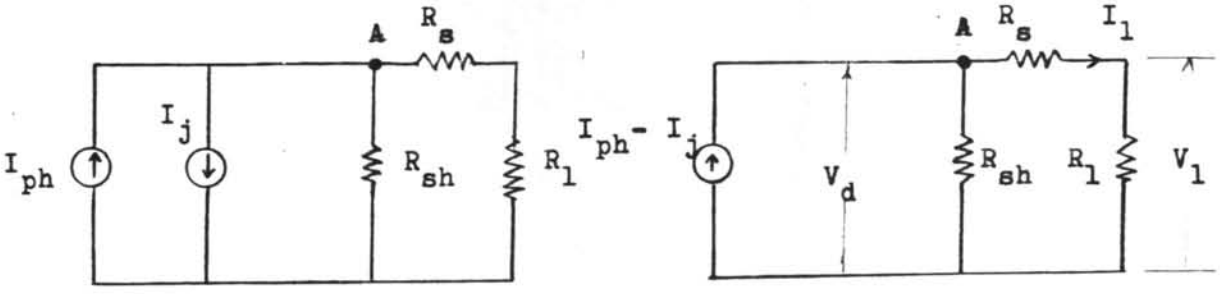
A คือ แฟคเตอร์แห่งความสมบูรณ์แบบ (Junction perfection factor)

จากคุณสมบัติของไดโอด

$$I_j = I_o(e^{\lambda V_d} - 1) \qquad \text{..... (2.1)}$$

$$\lambda = \frac{1}{AV_t}$$

เมื่อพิจารณาภาพที่ 2.2 และมอง I_j ที่ผ่านรอยต่อของไดโอดเป็นเหมือนกระแสจากแหล่งจ่ายกระแส (current source) ที่ขนานอยู่กับแหล่งจ่ายกระแส I_{ph} ดังภาพที่ 2.3 ก. จากนั้นรวมแหล่งจ่ายกระแส I_{ph} และ I_j เข้าด้วยกัน เป็นแหล่งจ่ายกระแส $I_{ph} - I_j$ ดังภาพ 2.3 ข. คิดตามกฎของเคอร์ชอฟที่จุด A.



ก. ข.

ภาพที่ 2.3 วงจรใช้หาสมการของเซลแสงอาทิตย์

$$I_{ph} - I_j = \frac{V_d}{R_{sh}} + I_1$$

$$= \frac{V_1 + I_1 R_s}{R_{sh}} + I_1$$

$$= \frac{V_1}{R_{sh}} + I_1 \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}}\right)$$

เมื่อกำหนดให้ $\beta = 1 + \frac{R_s}{R_{sh}}$

$$I_{ph} - I_j = V_1/R_{sh} + \beta I_1 \quad \text{..... (2.2)}$$

แทนค่า I_j จากสมการที่(2.1) ในสมการที่(2.2)

$$I_{ph} = V_1/R_{sh} + \beta I_1 + I_o(e^{\lambda V_d} - 1)$$

$$e^{\lambda V_d} = \left[\frac{I_{ph} - \beta I_1 - V_1/R_{sh}}{I_o}\right] + 1$$

$$V_d = \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{I_{ph} - \beta I_1 - V_1/R_{sh}}{I_o} + 1\right]$$

เพราะว่า $V_d = V_1 + I_1 R_s$

$$\therefore V_1 = -I_1 R_s + \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{I_{ph} - \beta I_1 - V_1/R_{sh}}{I_o} + 1\right] \text{...(2.3)}$$

ถ้า R_{sh} มีค่ามาก ๆ สมมุติว่า $R_{sh} \rightarrow \infty$

$$V_1 = -I_1 R_s + \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{I_{ph} - \beta I_1}{I_o} + 1\right]$$

คุณสมบัติของเซลแสงอาทิตย์อย่างหนึ่ง คือ กระแสลัดวงจรของเซลแสงอาทิตย์นั้นจะแปรตามค่าการรับรังสี [2]

เมื่อ I_{sc} คือ กระแสลัดวงจรของเซลแสงอาทิตย์ และ ϕ คือ ค่าการรับรังสี

$$I_{sc} \propto \phi$$

$$\phi \propto I_{sc}$$

$$\phi = K_{ph} I_{sc}$$

K_{ph} คือ ค่าคงที่ของเซลแสงอาทิตย์ถูกฉายด้วยรังสี วัดที่อุณหภูมิคงที่หนึ่ง ๆ และคิดโดยประมาณ

$$I_{ph} = \beta I_{sc}$$

$$\therefore I_{ph} = \beta \phi / K_{ph}$$

แทน I_{ph} ในสมการที่ (2.3)

$$V_l = -I_l R_s + \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{\beta \phi / K_{ph} - \beta I_l - V_l / R_{sh}}{I_o} + 1 \right] \ldots\ldots (2.4)$$

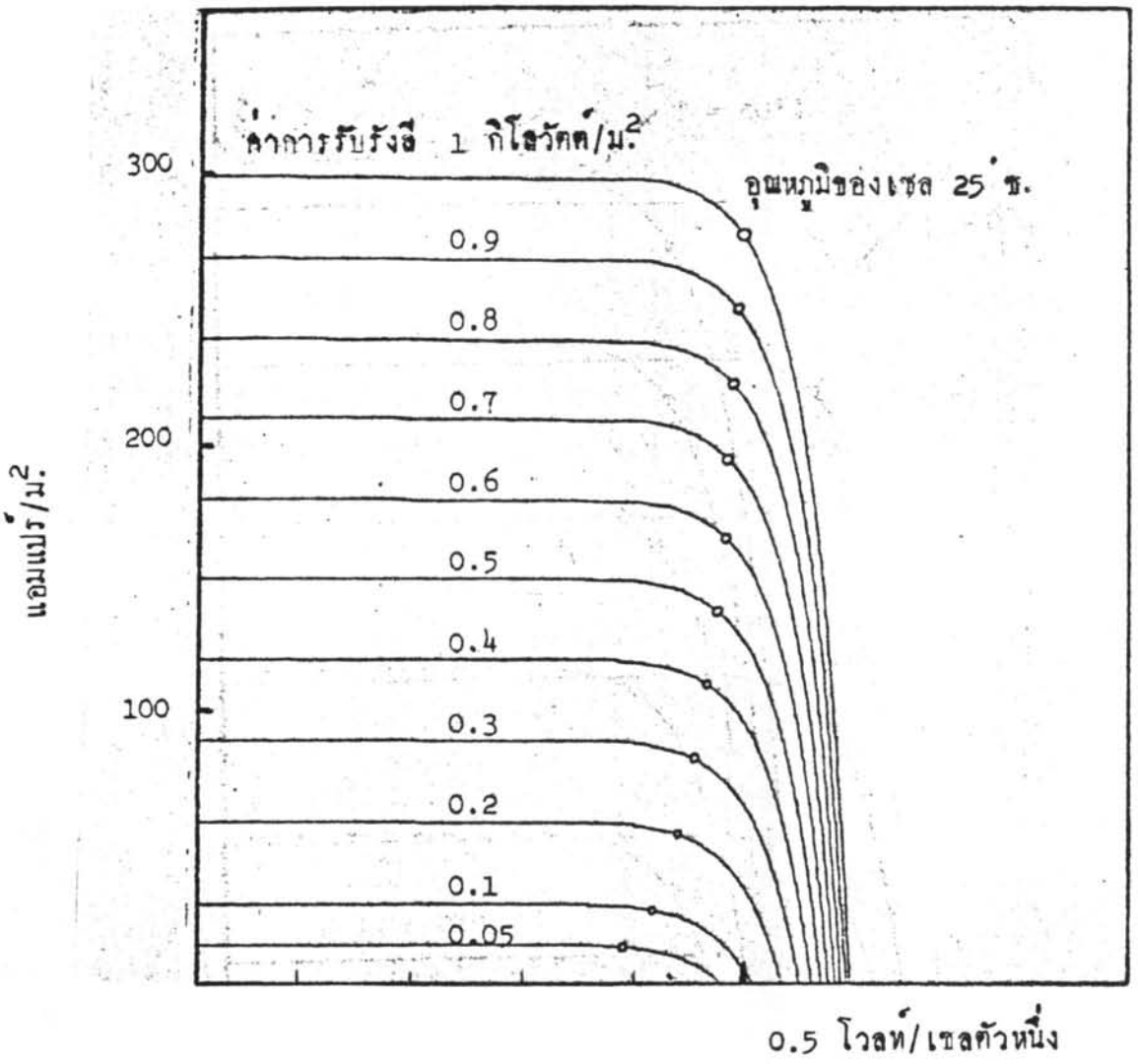
สมการ (2.4) เป็นสมการของเซลแสงอาทิตย์ที่แสดงความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเมื่ออุณหภูมิของเซลแสงอาทิตย์คงที่

<u>คุณลักษณะกระแสและแรงดันของเซลแสงอาทิตย์</u> [3]

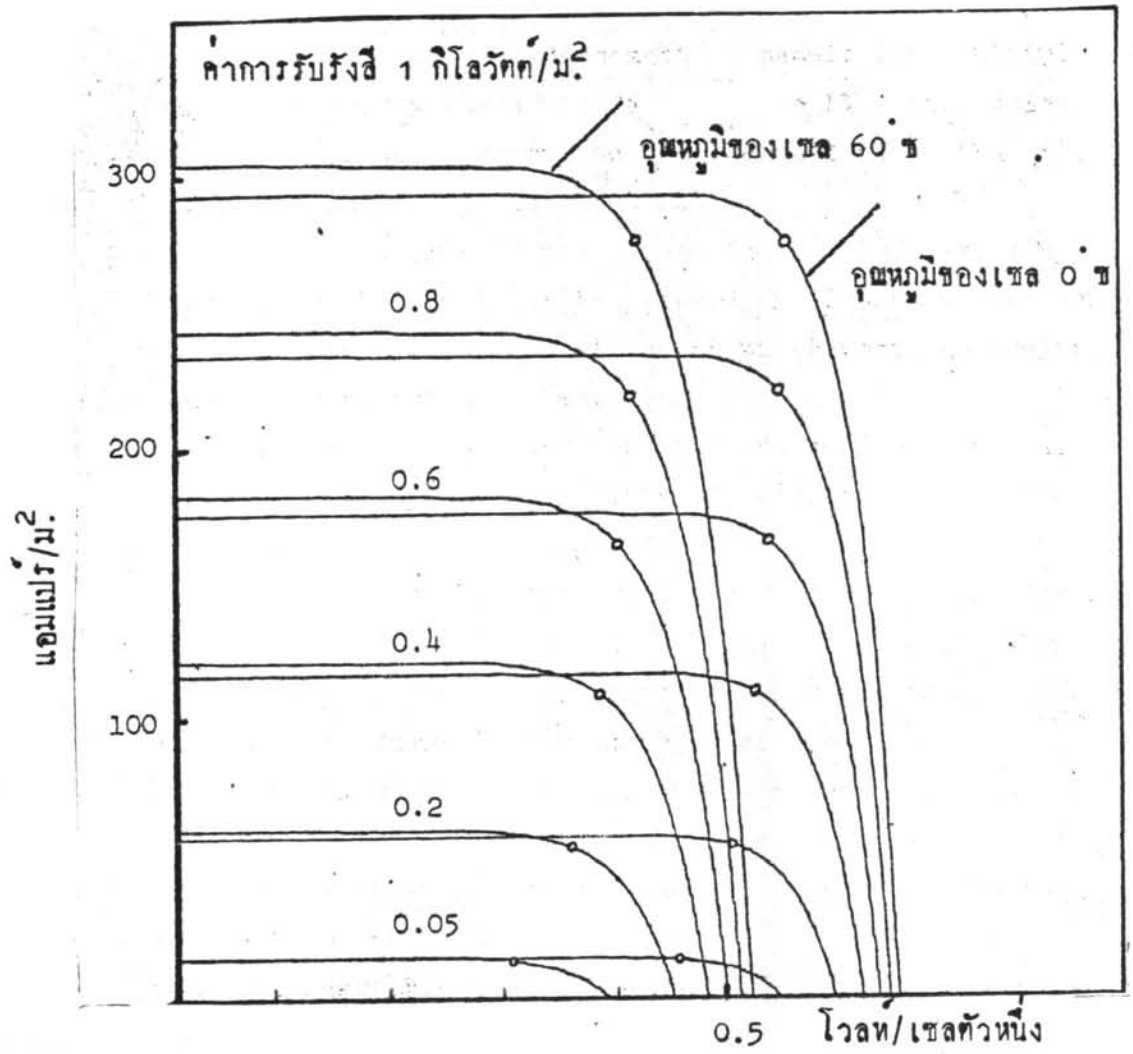
จากสมการที่ (2.4) แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิคงที่ แต่ค่าการรับรังสีที่ตกลงบนเซลแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป ย่อมทำให้ได้เส้นคุณลักษณะกระแสและแรงดันเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังภาพที่ 2.4 แกน x เป็นค่าแรงดัน ส่วนแกน Y เป็นค่าความหนาแน่นกระแส (current density) มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อตารางเมตร

ถ้าเราหาบพื้นที่รับแสงของเซล เช่น เซลแสงอาทิตย์เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 ซม. มีพื้นที่ 1.9635×10^{-3} ตารางเมตร เราก็สามารถหาค่ากระแสจากเซลได้โดยนำความหนาแน่นกระแสไปคูณกับพื้นที่เซลนั้น

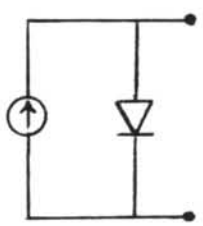
ตัวอย่าง ที่ค่าการรับรังสี 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ความหนาแน่นของกระแสลัดวงจร (แรงดันมีค่าศูนย์) มีประมาณ 300 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เซลเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. มีค่ากระแสลัดวงจร $300 \times 1.9635 \times 10^{-3} = 0.589$ แอมแปร์



ภาพที่ 2.4 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงค่าการรับรังสีต่อเส้นคุณลักษณะกระแสและแรงดันของเซลแสงอาทิตย์ จุดกลมแสดงถึงค่าที่เซลแสงอาทิตย์ให้กำลังงานสูงสุดที่ค่าการรับรังสีนั้น ๆ



ภาพที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิต่อเซลแสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.6 วงจรแทนเซลแสงอาทิตย์อย่างง่าย

จากภาพที่ 2.4 สังเกตเห็นว่าที่จุดกำลังงานสูงสุดนั้น เซลแสงอาทิตย์ให้แรงดันประมาณ 0.5 โวลท์ และแรงดันเปิดวงจร (กระแสมีค่าศูนย์) มีค่าสูงสุดไม่เกิน 0.7 โวลท์

ผลของอุณหภูมิต่อเส้นคุณลักษณะกระแสและแรงดัน แสดงไว้ในภาพที่ 2.5

โดยทั่วไปที่ค่าการรับรังสีประมาณ 1,000 วัตท์/ตารางเมตร เซลแสงอาทิตย์เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. หนึ่งเซล ให้กำลังงานสูงสุดประมาณ 1 วัตท์ ส่วนเซลแสงอาทิตย์เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. หนึ่งเซลให้กำลังสูงสุดประมาณ 0.25 วัตท์ ที่แรงดันประมาณ 0.5 โวลท์ ทั้งสองกรณี

แผงเซลแสงอาทิตย์

เนื่องจากเซลแสงอาทิตย์หนึ่งเซลมีแรงดันประมาณ 0.5 โวลท์ ดังนั้นถ้าจะนำเซลแสงอาทิตย์ไปใช้กับภาระไฟฟ้าที่ต้องการแรงดันมากกว่านี้จึงต้องนำเซลแสงอาทิตย์มาต่ออนุกรมกันให้แรงดันทั้งหมดสูงขึ้น ส่วนกระแสของเซลขึ้นอยู่กับพื้นที่รับแสงของเซลแสงอาทิตย์หนึ่งเซลนั้น เช่น เซลเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 ซม. ให้กระแสได้สูงสุดประมาณ 2.5 แอมแปร์ ที่ค่าการรับรังสี 1,000 วัตท์ต่อตารางเมตร ถ้าต้องการกระแสมากกว่าก็ต้องนำเซลมาต่อขนานกันให้กระแสมีค่าเท่ากับผลรวมของกระแสแต่ละเซลที่ขนานกันนั้น

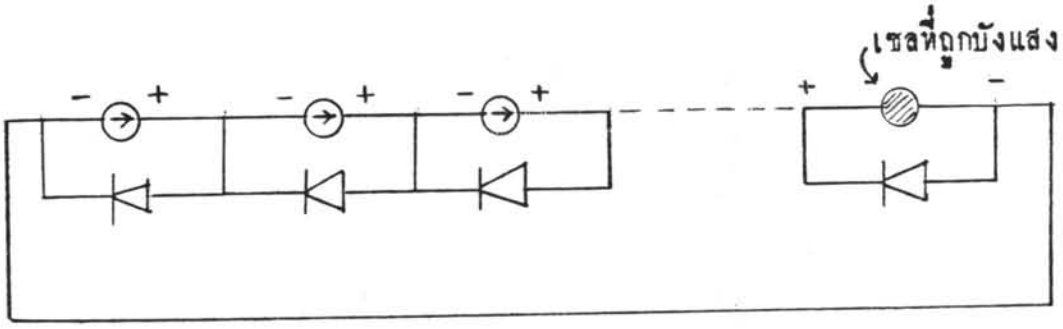
แผงเซลแสงอาทิตย์แบบเซลต่ออนุกรมและแบบเซลต่อขนาน

ถ้าเซลแสงอาทิตย์ต่อกันแบบอนุกรม เราต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของเซลในกรณีเกิดเงาบังบนเซลแสงอาทิตย์ นั่นคือ ไม่ให้แรงดันของเซลที่ไม่ถูกบังแสงไปทำอันตรายต่อเซลที่ถูกบังแสงนั้น วิธีการ คือต้องจำกัดจำนวนเซลที่จะมาต่ออนุกรมกัน หรือใช้ไดโอดเข้าช่วย

เพื่อง่ายต่อการอธิบาย เซลแสงอาทิตย์หนึ่งเซลถูกแทนด้วยสัญญลักษณ์ ตามภาพที่ 2.6 คือเป็นแหล่งจ่ายกระแส และมีไดโอดต่อขนานอยู่

การถูกไบอัสกลับของเซลแสงอาทิตย์

การถูกไบอัสกลับของเซลอาจนำไปสู่ความเสียหายของตัวเซล แม้เพียงหนึ่งเซลก็ทำให้แผงที่เซลต่ออนุกรมกันเสียหายทั้งแผง คือ ให้กำลังงานออกมาน้อย [3] การไบอัสกลับเกิดขึ้นในกรณีที่เซลหลายเซลต่ออนุกรมกันตามภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 แผงเซลแสงอาทิตย์แบบเซลต่ออนุกรมกัน

กรณีรุนแรงที่สุดคือแผงถูกลัดวงจร เซลที่ถูกบังย่อมถูกไบอัสกลับด้วยแรงดันค่าหนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับผลบวกของแรงดันจากแต่ละเซลที่ได้รับแสง ค่าแรงดันจากแต่ละเซลมีค่าเกือบใกล้เคียงกับค่าแรงดันเปิดวงจร คือ ประมาณ 0.5 โวลท์ เพราะว่าเซลที่ถูกบังแสงนั้น ขณะนี้เป็นเหมือนภาระไฟฟ้าซึ่งมีความต้านทานมาก การออกแบบให้แผงเซลแสงอาทิตย์แบบเซลต่ออนุกรมมีความปลอดภัย คือ ผลบวกของแรงดันจากเซลที่ได้รับแสงต้องน้อยกว่าค่าแรงดันพัง (Breakdown voltage) ของเซลที่ถูกบังแสงนั้น

นั่นคือ

$$(n-1)V_{oc} < V_{br} \quad \text{.....} \quad (2.5)$$

n คือ จำนวนเซลที่ต่ออนุกรมกันในแผงนั้น

V_{oc} คือ แรงดันเปิดวงจรของเซล ประมาณ 0.5 โวลท์

V_{br} คือ แรงดันพังของเซลแสงอาทิตย์ เมื่อถูกไบอัสกลับ ซึ่งค่าที่ปลอดภัยของเซล คือ เซลไม่ควรถูกไบอัสกลับด้วยแรงดัน $V_{br} \geq 20$ โวลท์ [3]

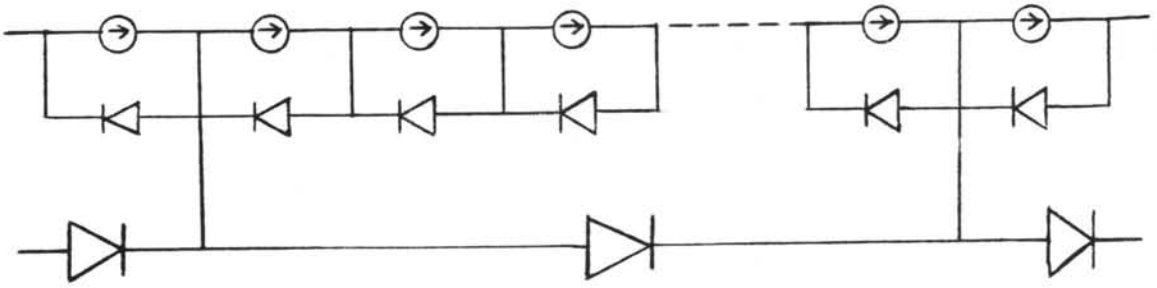
ถ้าจะลองออกแบบว่าแผงเซลแสงอาทิตย์แบบเซลต่ออนุกรมว่า ควรมีเซลต่อกันไม่เกินกี่เซล ก็คำนวณหา n จากอสมการที่ (2.5)

$$(n-1) \times 0.5 < 20$$

$$0.5\,n < 20.5$$

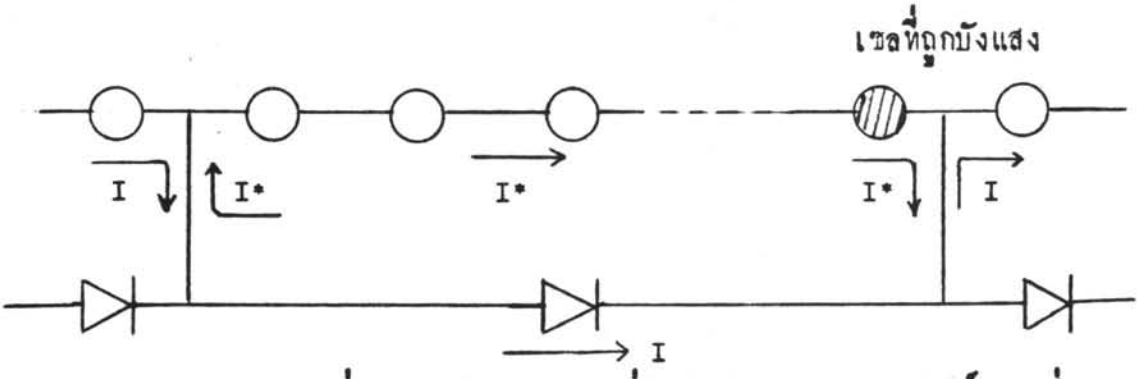
$$n < 41 \quad \text{เซล}$$

แต่ถ้าต้องการแรงดันสูง ๆ จากแผงแบบเซลต่ออนุกรม ก็ทำได้โดยต่อไดโอด (Bypass diode)ขนานกับเซลที่อนุกรมกับ n เซลนั้น โดยให้ไดโอดถูกไบอัสกลับ ขณะที่เซลทุกเซลจ่ายกระแสตามปกติ ตามภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 แผงเซลแสงอาทิตย์ที่ต่อบายพาสไดโอดไว้

เมื่อมีเซลหนึ่งถูกบังแสง ตามภาพที่ 2.9 กระแส I* ของแผงที่มีเซลถูกบังแสงมีค่าต่ำ เซลที่ถูกบังนี้ถูกไบอัสกลับด้วยแรงดันจากเซลที่ทำงานตามปกติในแผงนั้น บายพาสไดโอดถูกไบอัสตาม (Forward-bias) ด้วยกระแส I จากแผงอื่น บายพาสไดโอดเสมือนถูกลัดวงจร ทำให้แผงที่มีเซลถูกบังแสงมีแรงดันไบอัสกลับจากเซลในแผงนี้เท่านั้น แรงดันจากเซลนอกแผงจะไม่มีส่วนในการไบอัสกลับต่อเซลที่ถูกบังแสงนี้เลย จึงเกิดความปลอดภัยต่อแผงนั้น ถ้าออกแบบแผงตามอสมการที่ (2.5) แล้ว



ภาพที่ 2.9 แสดงกระแสที่ไหลในแผงเซลแสงอาทิตย์ ขณะที่เซลหนึ่งถูกบังแสง

การถูกไบอัสตามของเซลแสงอาทิตย์

ตามภาพที่ 2.10 ก) เซลแสงอาทิตย์หลาย ๆ เซลต่อขนานกันอยู่ เมื่อเซลหนึ่งถูกบังแสง เซลนั้นย่อมถูกไบอัสตาม [3] อธิบายได้ตามภาพที่ 2.10 ข) ซึ่งเป็นวงจรสมมูลย์ ของแผงเซลแบบต่อขนาน จะเห็นว่าเซลที่ถูกบังแสงนั้น ขณะนี้เปรียบเสมือนไดโอดซึ่งถูกไบอัสตามด้วยแรงดัน V จากเซลที่ทำงานตามปกติ

สมมติว่ามีเซล n เซลขนานกันอยู่ ย่อมได้ว่า

$$(n-1)(I_{sc} - I_d) = I \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.6)$$

I_{sc} คือ กระแสลัดวงจรของเซลหนึ่งเซล

I_d คือ กระแสไดโอดภายในเซล (Internal diode current)

I คือ กระแสไหลในเซลที่ถูกบังแสง

ถ้าเซล n เซล มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ (identical) แรงดัน V คร่อมไดโอดของเซลปกติ ก็ย่อมเป็นแรงดันของเซลที่ถูกบังแสง ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านไดโอด I_d ก็เท่ากับ I ด้วย

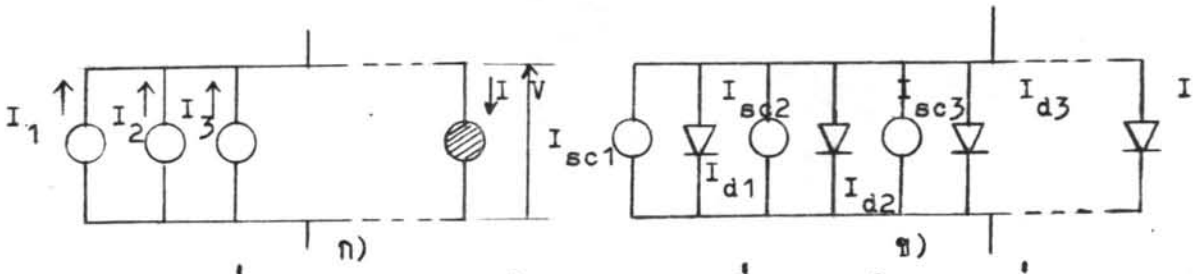
เราทราบว่า จากคุณสมบัติของไดโอด ตามสมการ (2.1)

$$I = I_o(\exp \frac{V}{AV_t} - 1)$$

โดยการประมาณให้ I_o มีค่าน้อยมาก, $I = I_o(\exp \frac{V}{AV_t})$ ..... (2.7)

จากสมการ (2.6) และ $I = I_d$ ได้ว่า

$$I = \frac{n-1}{n} I_{sc} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.8)$$



ภาพที่ 2.10 ก) การถูกไบอัสตามของเซลที่ถูกบังแสงในแผงเซลต่อขนาน

ข) วงจรสมมูลย์ของ ก)

จากสมการ (2.8) จะเห็นว่าถ้าจำนวนเซลที่ขนานกันมีจำนวนมากใกล้อนันต์ (inifinity) กระแสที่ไหลในเซลที่ถูกบังแสงย่อมเข้าใกล้กระแสลัดวงจรของเซล พลังงานแย่ความร้อน (Power dissipation) ในกรณีนี้เป็นไปตาม

$$\lim_{n \to \infty} P_d = I_{sc} V_{oc} = \frac{P_m}{F.F} \quad \text{..... (2.9)}$$

P_d คือ พลังงานแย่ความร้อน

P_m คือ พลังงานสูงสุดจากเซลที่ได้รับแสง

F.F คือ ฟิลแฟคเตอร์ (Fill factor) ของเซล มีค่าเท่ากับผลคูณของกระแสและแรงดันที่จุดกำลังงานสูงสุด หารด้วยผลคูณของกระแสลัดวงจรและแรงดันเปิดวงจร

$$F.F = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}} = \frac{P_m}{I_{sc} V_{oc}}$$

ค่าพลังงาน P_d จากสมการนี้มีค่าต่ำ ไม่มากพอที่จะทำให้เซลเสียหายได้ แต่ถ้าเซลมีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน (not identical) กรณีร้ายแรงที่สุดเกิดขึ้นกับเซลที่ถูกบังแสง ซึ่งให้แรงดันเปิดวงจรน้อยที่สุด จากสมการที่ (2.7) ได้ว่า

$$V_{oc} = AV_t \ln \frac{I_{sc}}{I_o} \quad \text{..... (2.10)}$$

ถ้า V^*_{oc} เป็นแรงดันเปิดวงจรของเซลที่ถูกบังแสง ซึ่ง V^*_{oc} นี้ มีค่าน้อยกว่า V_{oc} ของเซลอื่นที่ได้รับแสง

$$V^*_{oc} = AV_t \ln \frac{I_{sc}}{I^*_o} \quad \text{..... (2.11)}$$

จากสมการที่ (2.10), (2.11)

$$\Delta V_{oc} = V_{oc} - V^*_{oc} = AV_t \ln \frac{I^*_o}{I_o} \quad \text{..... (2.12)}$$

จากสมการ (2.6) เขียนใหม่ได้ว่า

$$(n-1)(I_{sc} - I_o \exp \frac{V}{AV_t}) = I^*_o \exp \frac{V}{AV_t} \quad \text{..... (2.13)}$$

จากสมการที่ (2.13)

$$(n-1)I_{sc} - (n-1)(I_o \exp \frac{V}{AV_t}) = I_o^* \exp \frac{V}{AV_t}$$

$$(n-1)I_{sc} = \frac{I_o^* \exp \frac{V}{AV_t}}{I_o^*} [(n-1)I_o + I_o^*]$$

$$(n-1)I_{sc} = \frac{I}{I_o^*} \left[(n-1)I_o + I_o^* \right]$$

$$I = \frac{(n-1)I_{sc}}{(n-1)\frac{I_o}{I_o^*} + 1} \quad \text{,.....} \quad (2.14)$$

จากสมการที่ (2.12) $$I = \frac{(n-1)}{(n-1)\exp -\frac{\Delta V_{oc}}{AV_t} + 1} I_{sc} \quad \text{.....} \quad (2.15)$$

จากสมการที่ (2.15) นำไปหากระแสไหลในเซลที่ถูกบังแสง เมื่อ V_{oc} ของเซลไม่เท่ากับเซลอื่นที่ได้รับแสง

พลังงานแผ่ความร้อนในเซลที่ถูกบังแสงหาได้จาก

$$P_d = VI = IAV_t \ln (I/I_o^*) \quad \text{.....} \quad (2.16)$$

ซึ่ง I_o^* หาได้จากสมการที่ (2.11) เมื่อหาบ V_{oc}^*

จากสมการที่ (2.15) จะเห็นว่า เมื่อ ΔV_{oc} มีค่ามากขึ้น ค่าของ $\exp \left[- \frac{V_{oc}}{AV_t} \right]$ ย่อมน้อยลง และมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ทำให้ค่า I มีค่ามากกว่า I_{sc} ดังนั้นในการต่อแผงเซลแบบเซลต่อขนานกันต้องคำนึงถึงแรงดันจากเซล (V_{oc}) ไม่ให้แตกต่างกันมาก

จากสมการที่ (2.15) ถ้าให้ $I = I_{sc}$ นั่นคือ

$$\frac{n-1}{(n-1)\exp \left[- \frac{\Delta V_{oc}}{AV_t} \right] + 1} = 1$$ นำไปหาค่า n ได้

007412

แถวแผงเซลแสงอาทิตย์

ในท้องตลาดเซลแสงอาทิตย์ที่ซื้อขายกัน มักทำเป็นแผงเซลแบบเซลต่ออนุกรมกัน มีแรงดันเปิดวงจรของแผงต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับจำนวนเซลที่ต่ออนุกรมกันนั้น กระแสลัดวงจรก็ขึ้นอยู่กับพื้นที่รับแสงของเซลแสงอาทิตย์หนึ่งเซลบนแผงนั้น ทั้งแรงดันและกระแสจากเซลแสงอาทิตย์ดังกล่าวย่อมขึ้นอยู่กับค่าการรับรังสีที่แสงอาทิตย์ตกลงบนเซลแสงอาทิตย์ด้วย

กำลังงานที่ได้จากแผงก็ขึ้นอยู่กับกระแสและแรงดันจากเซลแสงอาทิตย์ แผงที่ผลิตออกจำหน่ายมีกำลังงานตั้งแต่ 2 วัตต์ไปจนถึงประมาณ 35 วัตต์ ตัวอย่างเช่น แผงเซลแบบเซลต่ออนุกรมของบริษัทหนึ่งในอเมริกา มีเซลแสงอาทิตย์แบบซิลิกอน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 ซม. จำนวน 35 เซลต่ออนุกรมกัน หรือ 33 เซลต่ออนุกรมกัน มีคุณสมบัติตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของแผงเซลแสงอาทิตย์ของบริษัทผลิตแห่งหนึ่ง ซึ่งแผงนี้มีจำนวนเซลที่ต่ออนุกรมกัน 35 เซล และ 33 เซล เส้นผ่าศูนย์กลางของเซลประมาณ 10 ซม. ที่ค่าการรับรังสี 1000 วัตต์/ม.^{2}

	อุณหภูมิ 28° ซ.		อุณหภูมิ 45° ซ.	
	35 เซล	33 เซล	35 เซล	33 เซล
แรงดันเปิดวงจร (โวลท์)	20.3	20.0	18.9	18.0
กระแสลัดวงจร (แอมแปร์)	2.5	2.5	2.5	2.5
แรงดันที่จุดกำลังงานสูงสุด (โวลท์)	16.1	16.0	14.6	14.6
กระแสที่จุดกำลังงานสูงสุด (แอมแปร์)	2.3	2.05	2.3	2.05
กำลังงานสูงสุด (วัตต์)	37.0	33.0	34.0	30.0

จาก ARCO Solar, Inc., 20554 Plummer Street

Chatsworth California 91311

จากข้อมูลในตารางที่ 2.1 ชี้ให้เห็นว่า ถ้าภาระไฟฟ้าที่จะใช้เซลแสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานนั้นต้องการกำลังงานมากกว่ากำลังงานที่ได้จากแผงเดียว ก็ต้องนำแผงเหล่านั้นมาต่ออนุกรม และ/หรือ ขนานกัน เพื่อให้มีแรงดันและกระแสเหมาะกับความต้องการของภาระไฟฟ้านั้น เราเรียกกลุ่มของแผงเซลแสงอาทิตย์นี้ว่า แถวแผงเซลแสงอาทิตย์ (Solar-cell array) เรียกย่อ ๆ ว่า แถวแผง (array) ถ้าเรามีเซลแสงอาทิตย์เซลเดี่ยวหลาย ๆ เซลมาต่อขนานและ/หรืออนุกรมกัน ก็เรียกกลุ่มของเซลแสงอาทิตย์นี้ว่า แถวแผงเซลแสงอาทิตย์ เช่นกัน วงจรสมมูลย์ของแถวแผงเซลแสงอาทิตย์สามารถเขียนได้ดังภาพที่ 2.1 และสมการแสดงความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน ยังคงใช้สมการที่ 2.4 แต่ค่าคงที่ R_s, R_{sh}, I_o, λ และ K_{ph} เป็นค่าคงที่ของแถวแผง ตัวอย่างการวิเคราะห์ ในหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้ใช้กลุ่มของเซลแสงอาทิตย์ในการวิเคราะห์ ส่วนในการทดลองใช้กลุ่มของแผงเซลแสงอาทิตย์แบบติดตั้งคงที่ เพื่อทดลองรายละเอียด จะอยู่ในหัวข้อการวิเคราะห์และหัวข้อการทดลองต่อไป