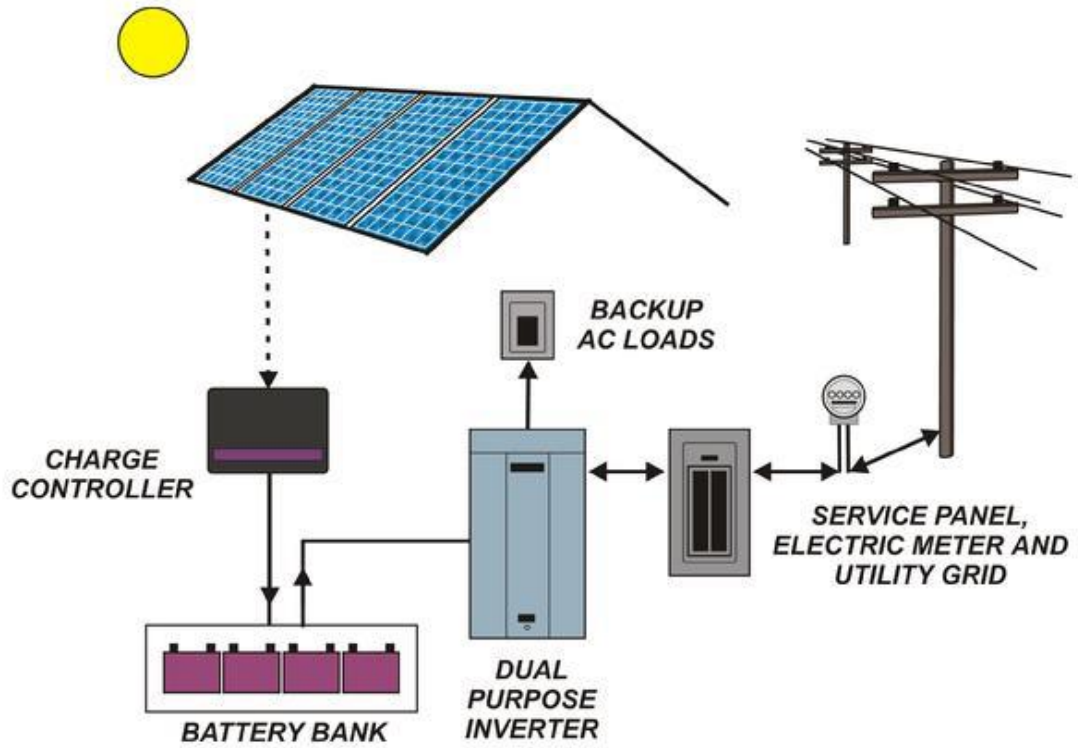
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

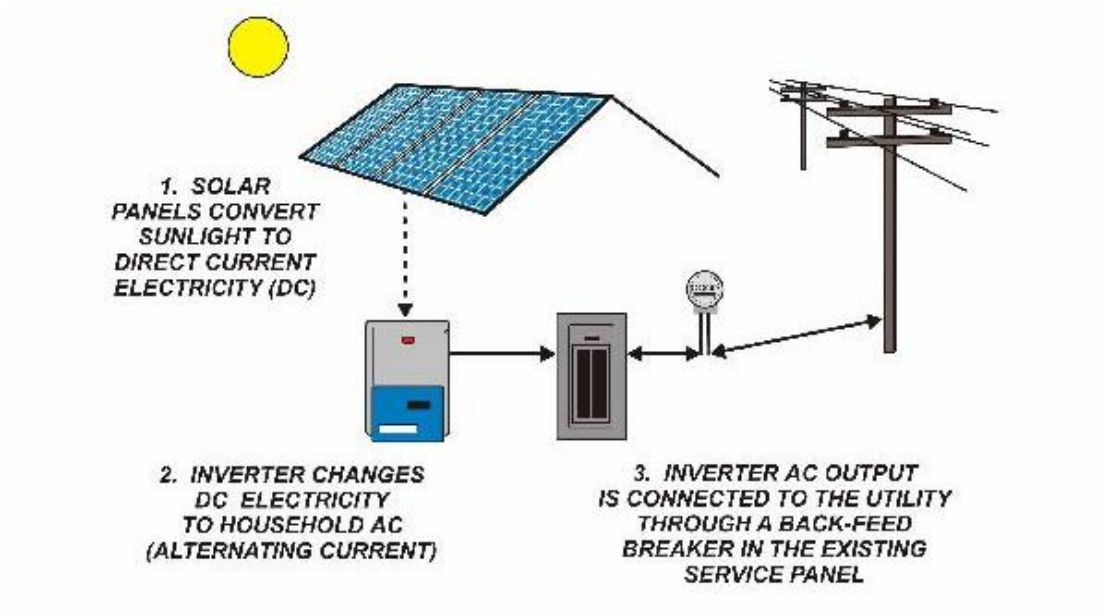
บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการทำการวิจัยของโครงการ การพัฒนาระบบเครื่องมือวัดผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ จังหวัดปทุมธานี ที่กล่าวถึงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆมาทำการทดลองเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เป็นไปได้ในการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตยย์ บทที่สองนี่จะประกอบไปด้วยทฤษฎีการใช้ง่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ เช่นการต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบ อยู่กับที่ Stand alone, Grid connected, Hybrid System การใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Thermocouple

2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

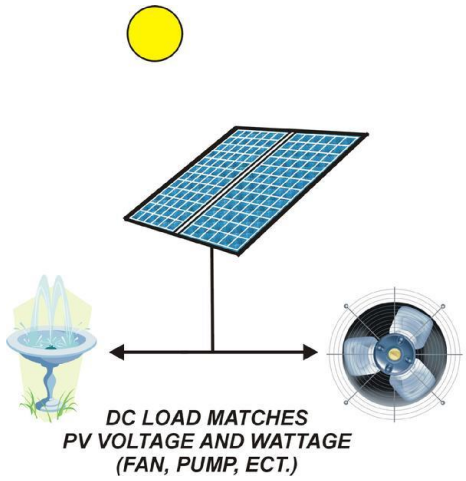
แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีกำเนิดในช่วงปี ค.ศ. 1950 ที่ Bell Telephone Laboratory ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยมีวัตถุประสงค์เบื้องต้น เพื่อผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ สำหรับใช้ในโครงการอวกาศ จากนั้นจึงนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้อย่างกว้างขวาง และขยายสู่ภาคอุตสาหกรรมการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของโลก ต่อมาเมื่อปี ค.ศ. 1973 เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันแพง นักวิจัยก็ได้พัฒนาเพื่อให้นำใช้งานมากขึ้น โดยพัฒนาให้ราคาถูกลงและมีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น รูปที่ 2.1 เป็นการนำเอาระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาต่อเพื่อใช้งานในบ้าน เรียกระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบนี้ว่า แบบอิสระ หรือ Stand Alone PV System ซึ่งในระบบจะประกอบไปด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ Solar Charger และแบตเตอรี่ สำหรับจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า (Store Energy for House hold loads)



รูปที่ 2.1 ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ [1]



รูปที่ 2.2 ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า [1]

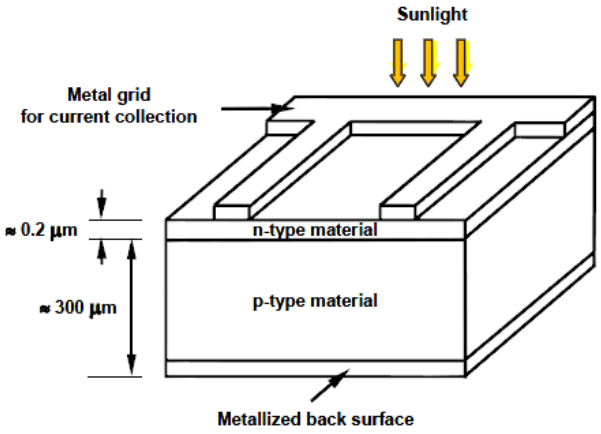


รูปที่ 2.3 ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับโหลดโดยตรง [1]

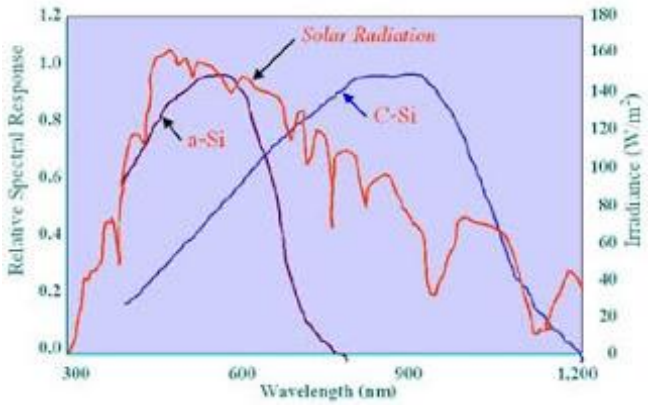
ทั้งสามระบบเป็นตัวอย่างของการใช้งานระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสิ้น ซึ่งวัตถุประสงค์ในการใช้งานก็ขึ้นอยู่กับ ความต้องการของผู้ใช้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งเมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงจากหลอดไฟ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนพลังงานแสงที่มีความร้อนสะสมอยู่ด้วย เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง คือได้ทั้งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง กับกระแสไฟฟ้า ถือได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้เป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใด ๆ ให้กับสิ่งแวดล้อมในขณะใช้งานหรือไม่ก็ตาม

วัสดุหลักในการใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ก็คือ ธาตุซิลิกอน (Silicon) ซึ่งเป็นธาตุที่หาได้ง่ายบนโลกนี้ เมื่อนำมาต่อกันเป็นเซลล์จะได้แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้า ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอน ดังรูปที่ 2.4 โดยธาตุซิลิกอน

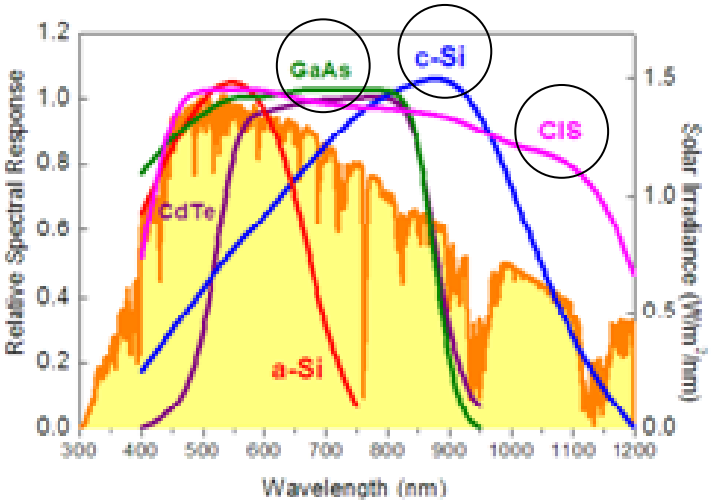
จะถูกทำให้เป็นแผ่นบางๆ โดยแผ่นบางๆของซิลิกอนจะหนาประมาณ 300 ไมโครเมตร ประกอบด้วย ชั้น 2 ชั้นที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างกัน ส่วนพื้นผิวด้านหลังก็ต่อเข้ากับโลหะที่เป็นตัวนำไฟฟ้าและด้านบนผิวที่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบ จะเป็นโลหะที่ต่อถึงกันเป็นโครงข่ายเพื่อให้แสงแทรกผ่านเข้าไปในเซลล์ได้โดยที่พื้นผิวจะเคลือบสารป้องกันการสะท้อนแสง เพื่อลดการสูญเสียปริมาณแสงให้น้อยสุดเท่าที่จะเป็นไปได้



รูปที่ 2.4 โครงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอน



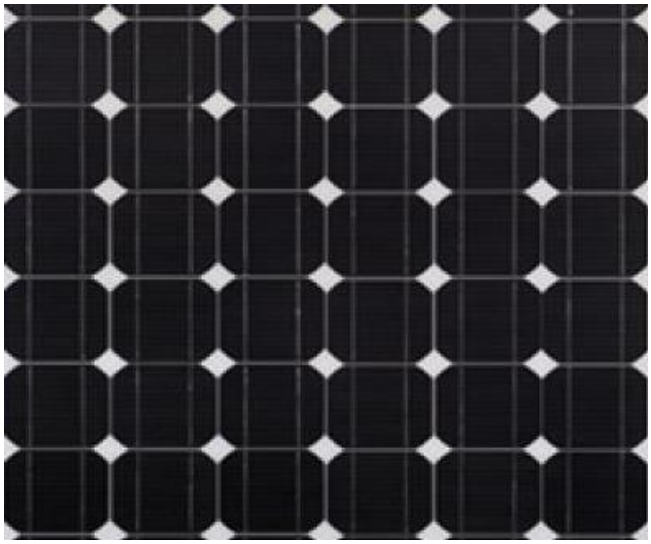
รูปที่ 2.5 ความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์ที่มีมีผลต่อธาตุต่างๆที่นำมาทำเซลล์แสงอาทิตย์ 1 [2]



รูปที่ 2.6 ความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์ที่มีมีผลต่อธาตุต่างๆที่นำมาทำเซลล์แสงอาทิตย์ 2 [2]

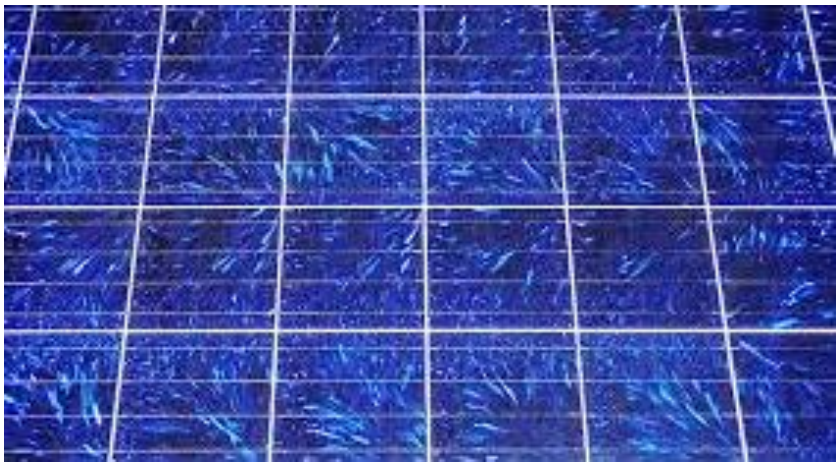
ความยาวคลื่นจากรูปที่ 2.5 – 2.6 แสดงให้เห็นความยาวของแสง Wavelength ในระดับ นาโนเมตร ที่มีผลต่อความเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ เมื่อพิจารณาจะพบว่าพื้นที่ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono Crystalline Silicon จะมีพื้นที่รับกับความเข้มแสงมากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นๆ ซึ่งเป็นเหตุผลว่าทำไม เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จึงมีประสิทธิภาพสูงมากกว่าชนิดอื่นๆ

2.1.1 ประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งตามวัสดุที่ใช้ในการผลิตเป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน (Mono Crystalline Silicon หรือ c-Si) ซิลิกอนเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีราคาถูกที่สุดแต่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดใน 3 กลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ เนื่องจากซิลิกอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถถลุงได้จากหินและทราย นิยมใช้ธาตุซิลิกอนในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์ ไอซี และแผงเซลล์แสงอาทิตย์เทคโนโลยี c-Si ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นิยมใช้งานในพื้นที่เฉพาะได้แก่ ในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นหลัก แต่อย่างไรก็ตามราคาค่อนข้างแพงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นๆ



รูปที่ 2.7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมหรือโพลีซิลิกอน (Polycrystalline Silicon Solar Cell หรือ pc-Si) จากความพยายามในการที่จะลดต้นทุนการผลิตของ c-Si จึงทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยี pc-Si ขึ้นเป็นผลให้ต้นทุนการผลิตของ pc-Si ต่ำกว่า c-Si ร้อยละ 10 อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยี pc-Si ก็ได้รับความนิยมและใช้งานกันอย่างแพร่หลายเช่นกัน



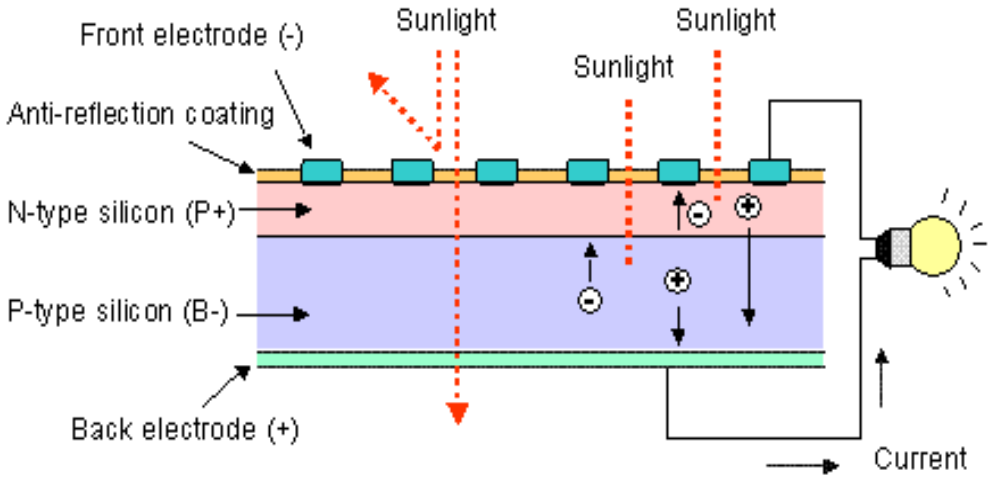
รูปที่ 2.8 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell หรือ a-Si) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิกอนเช่นกัน แต่จะไม่เป็นผลึก แต่ผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิกอน ซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่าย และข้อดีของ a-Si ไม่เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

รูปที่ 2.9 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน

2.1.2 หลักการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

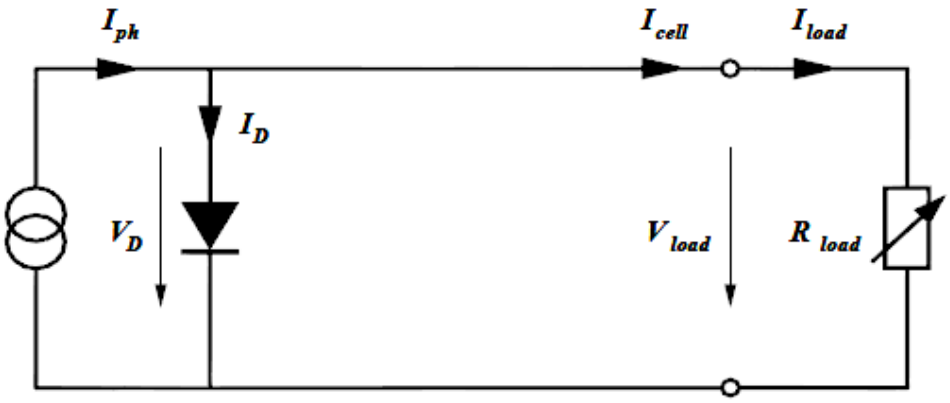
หลักการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เริ่มจากแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ เรียกว่า อิเล็กตรอน และประจุบวก เรียกว่า โฮล ซึ่งอยู่ในภายในโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) โดยโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นนี้ จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบ และทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าชนิดกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟ มอเตอร์ เป็นต้น ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรง ดังนั้น ถ้าต้องการจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ต้องต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรง ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 2.10 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีแสงสว่างจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สร้างประจุพาหะอิสระ ให้ไหลผ่านโหลดที่ต่ออยู่ โดยจำนวนของประจุพาหะนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสโหลดขึ้นภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคตินั้นจึงสามารถเขียนแทนด้วยวงจร ดังรูปที่ 2.7 รอยต่อ P-N junction นั้นจะเขียนแทนด้วย ไดโอด และแหล่งจ่ายกระแสซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ส่วนความต้านทานปรับค่าได้ก็คือโหลดนั่นเอง ทำให้เกิดสมการดังนี้



รูปที่ 2.11 วงจรเทียบการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะที่ต่ออยู่กับโหลด [3]

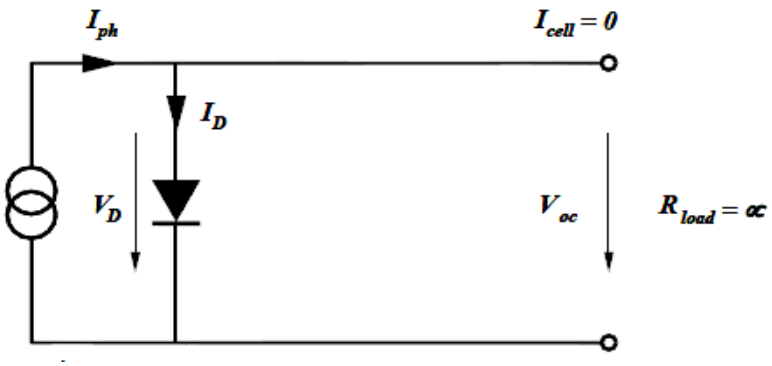
$$I_{cell} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \tag{2.1}$$

สมมุติเมื่อด้านปลายของขั้วต่อโหลดเกิดการลัดวงจร (Short-Circuit) ขึ้น (R load = 0) แรงดันด้านออกและแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดมีค่า 0 ตามสมการที่ 2.1 แรงดัน V=0 ดังนั้นกระแสทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการส่องแสงจะไหลไปที่เอาท์พุต ดังนั้นกระแสสูงสุดที่มีที่จุดนี้จะเรียกว่ากระแสลัดวงจร (Short-Circuit Current, ISC)

$$I_{ph} = I_{cell} = I_{ph} \tag{2.2}$$

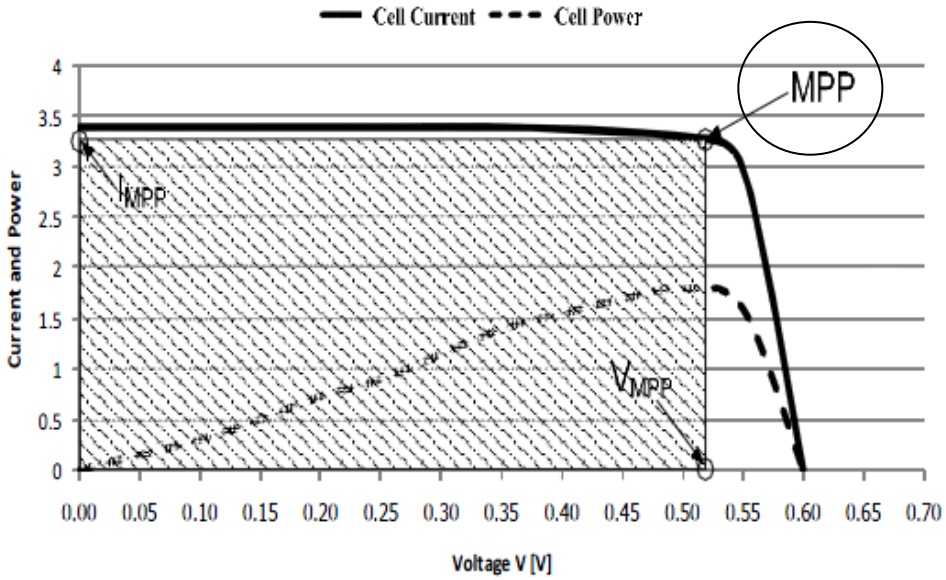
สำหรับโหลดที่มีค่าความต้านทานมาก ๆ (Open Circuit) แสดงในรูปที่ 2.7 กระแสด้านออกมีค่าเท่ากับ 0 $(I_{cell} = 0)$ ดังนั้นผลรวมของกระแสโฟโต ที่ไหลผ่านไดโอดภายในขณะเปิดวงจร Open-Circuit Voltage (V_{oc}) สามารถหาได้โดยสมการ (2.3) ดังรูปที่ 2.8

$$V_{oc} = \frac{\mathbf{kT}}{q} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \tag{2.3}$$



รูปที่ 2.12 วงจรเทียบการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะที่ Open Circuit [3]

เนื่องจากกำลังไฟฟ้า เกิดจากกระแสและแรงดัน ดังนั้นเส้นโค้งของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สามารถจ่ายได้ขึ้นอยู่กับระดับของแสงที่ได้รับ และเป็นไปตามรูปกราฟคุณสมบัติ I-V ที่ตรงข้ามไดโอดตามดังรูปที่ 2.8 ซึ่งจะมีจุดที่เกิดพลังงานสูงสุดเรียกว่า Maximum Power Point (MPP)



รูปที่ 2.13 เส้นโค้งกำลังไฟฟ้าและจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPP)

ถึงแม้จะมีค่ากระแสสูงสุดจะอยู่ที่จุดลัดวงจรก็ตาม แต่เมื่อค่าของแรงดันเท่ากับ 0 และดังนั้นค่ากำลังก็คือ 0 ด้วย และในทางกลับกันที่จุด เปิดวงจร ค่าของกำลังที่จุดนี้ก็เป็น 0 ด้วย ในระหว่างที่มีผลที่เกิดจากการรวมกันของกระแสและแรงดันที่ทำให้ค่าของกำลังมีค่าใกล้กับค่าสูงสุด เรียกว่า Maximum Power Point (MPP) ซึ่งเป็นจุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ ทำงานโดยได้รับความเข้มจากการส่องแสงแล้วส่งผ่านกำลังสูงสุด เมื่อพิจารณาที่เส้นกราฟส่วนโค้งของ I-V ค่าของ V_{MMP} และ I_{MMP} สามารถคำนวณได้จาก V_{oc} และ I_{sc} คือ

$$V_{MMP} \approx (0.75 - 0.9) V_{oc} \tag{2.4}$$

$$I_{MMP} \approx (0.85 - 0.95) I_{sc} \tag{2.5}$$

และค่า Fill Factor (FF) เป็นค่าที่นำมาพิจารณาเพื่อหาคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์โดย

$$FF = \frac{(V_{MPP} \times I_{MPP})}{(V_{oc} \times I_{sc})} \tag{2.6}$$

ซึ่งค่า Fill Factor หมายถึงค่าที่แสดงถึงคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะแสดงว่ากราฟคุณลักษณะเส้นโค้งของ I-V มีค่าเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมมากน้อยเพียงใด โดยปกติแล้ว ซิลิกอนเซลล์ จะมีค่าประมาณ 0.7 – 0.8 ส่วนกำลังด้านออกของเซลล์ก็คือ

$$P_{MPP} = V_{MPP} \times I_{MPP} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (2.7)$$

ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ หาได้จาก อัตราส่วนของ พลังงานไฟฟ้าด้านออก ต่อพลังงานแสงอาทิตย์ด้านเข้า (P_{in}) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\eta = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{P_{in}} \quad (2.8)$$

2.1.4 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการใช้ในแต่ละพื้นที่ มีตัวแปรดังนี้

ก. **ความเข้มของแสง** กระแสไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าแทบจะไม่แปลี่ยนไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้ม ของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรหรือ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรหรือ 750 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ข. **อุณหภูมิ** กระแสไฟฟ้าจะแปรผกผันกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น *ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาเซลเซียส ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5%* และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐาน กำหนดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ V_{oc}) ที่ 21 โวลต์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 โวลต์ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 2.5% (0.5% x 5 องศาเซลเซียส) นั่นคือ แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ V_{oc} จะลดลง 0.525 V (21 V x 2.5%) เหลือเพียง 20.475 องศาเซลเซียส (21V – 0.525V) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงด้วย

จากคุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสอาทิตย์ การจะเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่

ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่นแผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 วัตต์ ต่อ ตารางเมตร ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ ต่อ ตารางเมตร และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส แล้วจะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 วัตต์จะให้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า จากคุณสมบัติดังกล่าว การเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วยเพื่อประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุด

การทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิสูงๆ เป็นปัญหาที่สำคัญมากของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ แต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังคงทำงานได้แม้ในอุณหภูมิที่สูง 60 – 65 องศาเซลล์เซียส [4]

$$J_0 = \mathrm{BT}^{XTI_e} {}^{-Eg}\!\!\diagup\!\!_{KT} \tag{2.9}$$

$$\ln\left[\frac{J_0}{J_0\left(T_{nom}\right)}\right] = \mathrm{XTI}\ln\left(\frac{T}{T_{nom}}\right) + \frac{E_g}{kT_{nom}} - \frac{E_g}{kT} \tag{2.10}$$

$$E_g = E_{g^0} - \frac{GAP1 \times T^2}{GAP2 + T} \tag{2.11}$$

2.2 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องมือวัด (Instrument Transformer)

ในงานวิจัยจะต้องทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ทั้งกระแสสลับและกระแสตรง ปัญหาก็ คือ แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัดมีปริมาณสูงทำให้การวัดต้องมีการลดระดับแรงดันลง เพื่อให้สามารถทำการวัดและวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องมือ อุปกรณ์ขนาดเล็ก ซึ่งมีอยู่ในเครื่องมือวัดทั่วๆไป การลดขนาดของกระแสไฟฟ้าลงให้เหมาะสมกับเครื่องมือวัด โดยการใช้หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (VT) และหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (CT)

2.2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า (Voltage Transformer; V.T.)

หม้อแปลงไฟฟ้ามีหลักการทำงานเหมือนกับหม้อแปลงกำลังไฟฟ้า (Power Transformer) หน้าที่ทั่วไป ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้า 220Volts ที่ต่อคร่อมกับขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าให้ต่ำลง (Step down Transformer) เช่น 6Volts เพื่อให้เหมาะกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จาก หม้อแปลงไฟฟ้า สมการพื้นฐานที่แสดงค่าอัตราส่วนของP.T. แสดงดังนี้

$$a_1 = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \tag{2.12}$$

เมื่อ a_1 = อัตราส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformation Ratio)

V_1= แรงดันไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ
V_2 = แรงดันไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิ
N_1 = จำนวนรอบในขดลวดปฐมภูมิ
N_2 = จำนวนรอบในขดลวดทุติยภูมิ

รูปที่ 2.14 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า [5]

2.2.2 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer)

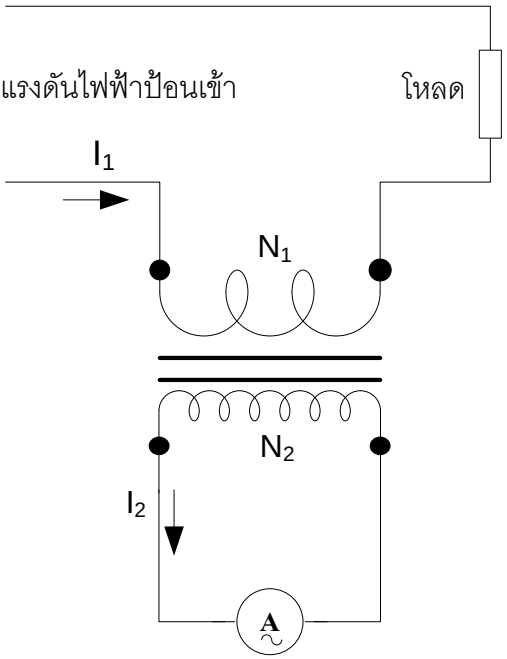
หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า ทำหน้าที่ลดกระแสไฟฟ้าใช้งานให้ต่ำลง เช่น 50/1A เพื่อให้เหมาะกับขนาดของกระแสใช้งานของเครื่องมือวัดต่างๆหรืออุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล DAQ หลักทำงานของหม้อแปลงคือ เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าจ่ายให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าทางด้าน ปฐมภูมิ (Primary) จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้ามีผลทำให้ มีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบๆ ตัวนำหรือขดลวดของหม้อแปลงนั้น โดยสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะไปเหนี่ยวนำ กับขดลวดขดที่สอง (Secondary) โดยมีขนาดแรงดัน และกระแสตามอัตราส่วนหม้อแปลง (Turn Ratio) ดังสมการที่ 2.3

$$a_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \tag{2.13}$$

เมื่อ I_1 = กระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิ
I_2 = กระแสไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิ
N_1 = จำนานรอบของขดลวดในขดลวดปฐมภูมิ
N_2 = จำนานรอบของขดลวดในขดลวดทุติยภูมิ
a_i = อัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส

การวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับ เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัด จะมีขนาดของกระแสไฟฟ้า ค่อนข้างมาก ทำให้การวัดกระแสไฟฟ้าโดยผ่าน เครื่องมือวัดอื่นๆจะทำให้ขนาดของ

ตัวนำของ เครื่องมือวัดอื่นๆ มีขนาดตัวนำค่อนข้างใหญ่ ดังนั้น การใช้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า ทำให้กระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีขนาดเล็กลง โดยมีตัวอย่างขนาดของ หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (CT) เช่น 30/5 A, 50/5 A, 300/5 A ซึ่งหมายความว่า ถ้ามีขนาดกระแสที่ใช้งาน 300A จะทำให้ขนาดกระแสที่วัดได้ของหม้อแปลงกระแสคือ 5 A โดยการต่อจะทำการลัดวงจร ด้านออก ไว้ตลอดเพื่อป้องกันอันตรายอันเกิดจาก แรงดันไฟฟ้าของ หม้อแปลงกระแสมากเกินไปทำให้ หม้อแปลงกระแสทำงานได้ไม่ถูกต้อง



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของหม้อแปลงกระแส

รูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นโครงสร้างของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (CT) ซึ่งทำหน้าที่ในการลดขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานให้มีขนาดที่เล็กลง เหมาะสมกับเครื่องมือวัด หรือเครื่องจัดเก็บข้อมูล

2.2.3 วงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider)

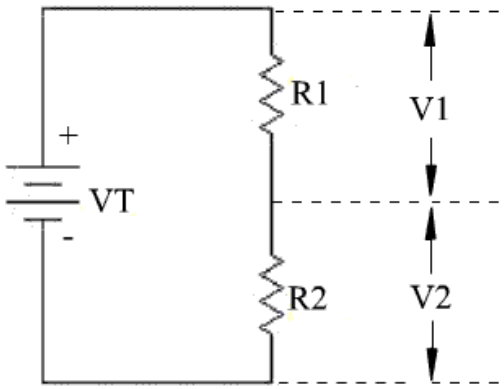
วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider) ใช้หลักการของวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม (Series Circuit) เนื่องจากวงจรอนุกรมมีแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานหรือโหลดไม่เท่ากัน วงจรแบ่งแรงดันแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีโหลด (Unloaded Voltage divider) และวงจรแบ่งแรงดันแบบมีโหลด (Loaded Voltage Divider)

2.2.3.1 วงจรแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด (Unload voltage divider)

วงจรการแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด (Unload voltage divider) ก็คือ วงจรแบบอนุกรม อาศัยการวิเคราะห์โดยพารามิเตอร์สองตัวคือ แรงดัน กับความต้านทาน ดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.6 โดยแสดงให้เห็นดังสมการต่อไปนี้

$$V_{R1} = \frac{R_1}{(R_1 + R_{2)}} V_T \qquad (2.14)$$

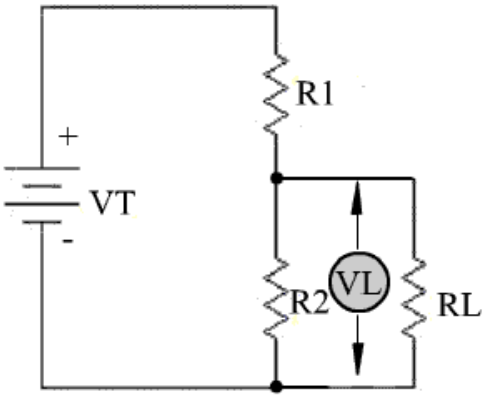
$$V_{R2} = \frac{R_2}{(R_1 + R_{2)}} V_T \qquad (2.2)$$



รูปที่ 2.16 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider)

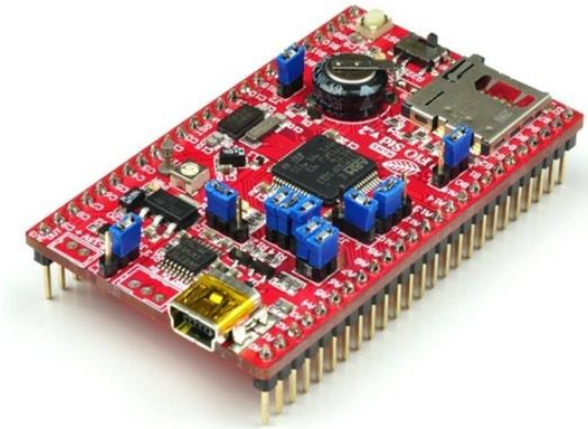
2.2.3.2 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (Loaded Voltage Divider)

ในวงจรอนุกรมที่คำนวณค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานต่างๆ เมื่อนำเอาโหลด (R_L) มาต่อคร่อมตัวต้านทานตัวใดตัวหนึ่งก็จะได้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด



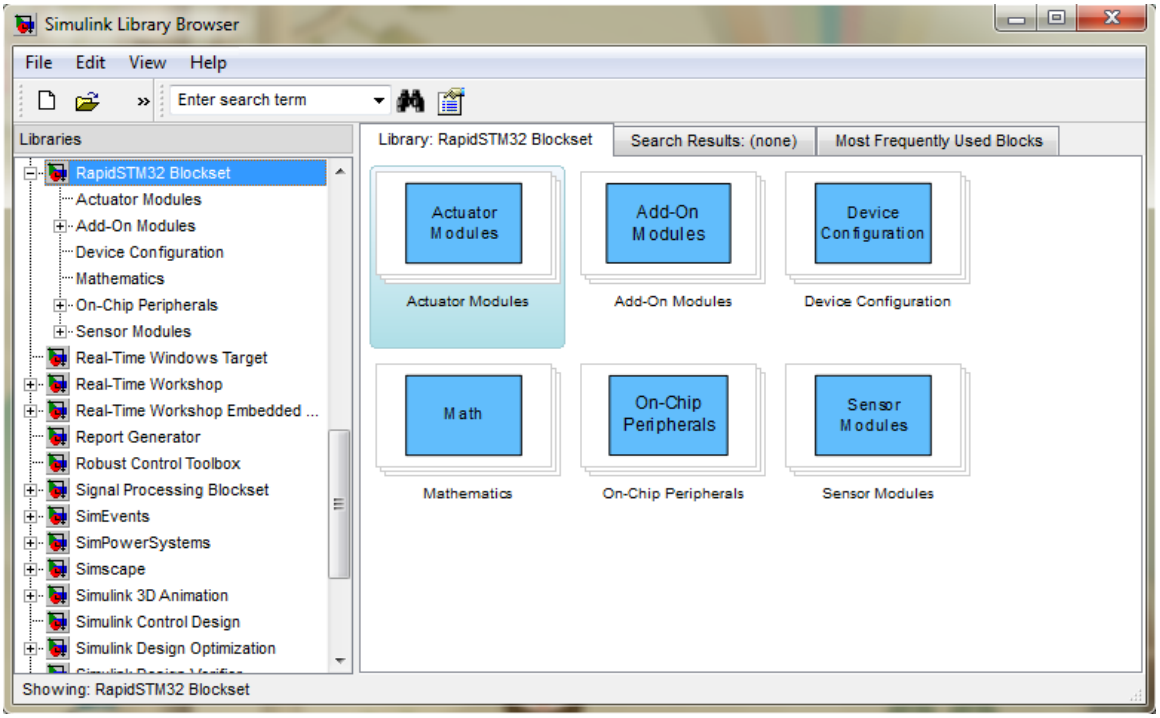
รูปที่ 2.17 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (Loaded Voltage Divider)

2.3 อุปกรณ์ FiO board Std และ RapidStm32 Blockset



รูปที่ 2.18 อุปกรณ์ FiO board Std

อุปกรณ์ FiO Board Std คือ ชุดทดลองระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ตระกูล STM32 ที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะ เพื่อใช้ร่วมกับ RapidStm32 Blockset ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นชุดกล่องคำสั่งที่สามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรม MATLAB และ Simulink Blockset รวมถึงการใช้งานกับกลไกสร้างโค้ดคำสั่ง (Code Generation) ทำให้สามารถแปลงโปรมแกรมแบบกราฟิก เป็นคำสั่งระบบสมองกลที่นำไปใช้งานเลย



รูปที่ 2.19 RapidStm32 Blockset

คุณสมบัติของอุปกรณ์ FiO board Standard ซึ่งอุปกรณ์ FiO board Standard นี้ใช้ ARM 32-bits CortexTM-M3 (STM32F103RET6) เป็นหน่วยประมวลผล สามารถคอมไพล์ (Compile) และดาวน์โหลด (Download) โปรแกรมอัตโนมัติ เมื่อใช้ร่วมกับ Rapid STM32 Blockset แรงดันไฟฟ้าภายในอุปกรณ์ FiO board Std เท่ากับ 3.3 โวลต์ กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 800 มิลลิแอมป์ นอกจากนี้อุปกรณ์ FiO board Standard มีอุปกรณ์ที่ติดต่อภายในตัวอยู่แล้วได้แก่ ออสซิเลเตอร์ 2 ตัว (Two Onboard Crystals) หน่วยความจำ 496 กิโลไบต์ (Kbytes) หลอด LED 3 ดวง ไอซี (IC) เทียบสัญญาณเวลามาตรฐาน ช่องใส่ Micro SD card

2.3.1 ซอฟต์แวร์ (Software) ที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ Fio board Standard ได้แก่

1) RapidSTM32 Blockset เวอร์ชั่น 0.3.6.1beta หรือ เวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า

2) Matlab 32-bits 2009a เวอร์ชั่น 7.8 หรือ เวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า

3) Simulink 2009 เวอร์ชั่น 7.3 หรือ เวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า

4) Real-Time Workshop 2009 เวอร์ชั่น 7.3 หรือ เวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า

5) Real-Time Workshop Embedded Coder 2009 เวอร์ชั่น 5.3 หรือ เวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า

6) RealView MDK for ARM เวอร์ชั่น 4.0 หรือ เวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า

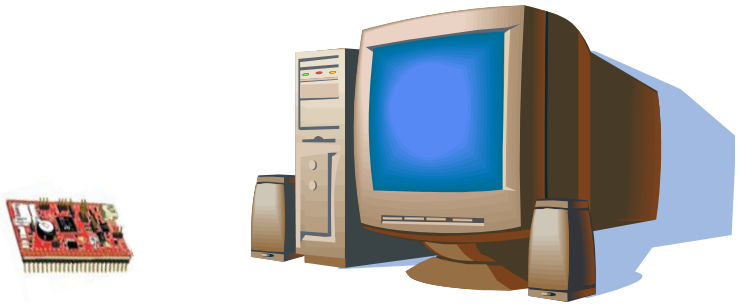
7) Microsoft Windows XP SP2 หรือ เวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า

8) Microsoft .Net Framework เวอร์ชั่น 3.5 หรือ เวอร์ชั่นที่ใหม่กว่า

2.3.2 การทดสอบการเชื่อมต่อ FiO board Std กับเครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer)

1) ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ FiO Board Std กับเครื่องคอมพิวเตอร์

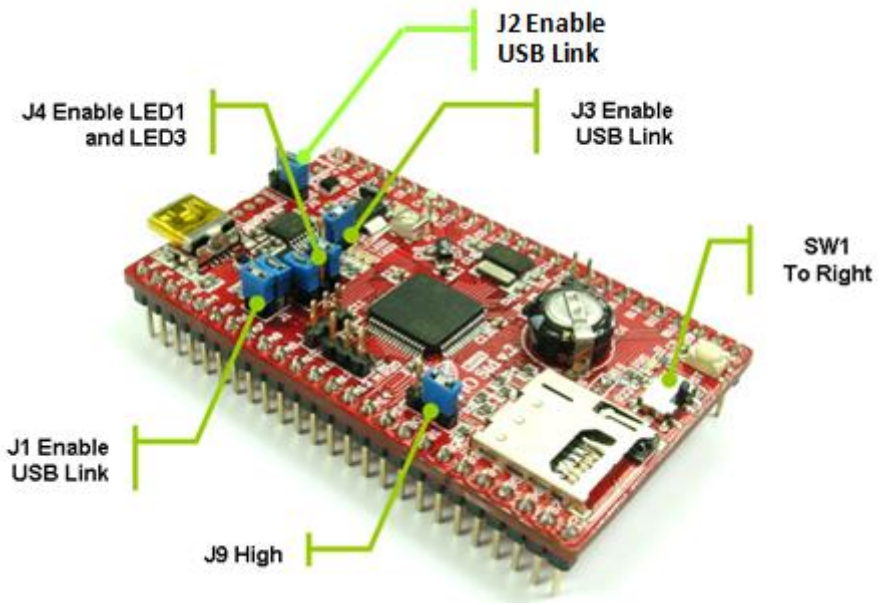
ทำการเชื่อมต่อผ่านสาย USB ของอุปกรณ์ FiO Board Std ไปที่พอร์ต (Port) USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 2.12 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ FiO Board Std กับเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.20 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ FiO Board Std กับเครื่องคอมพิวเตอร์

2) ตั้งค่า FiO Board Std ให้อยู่ในโหมดโปรแกรม (Program Mode)

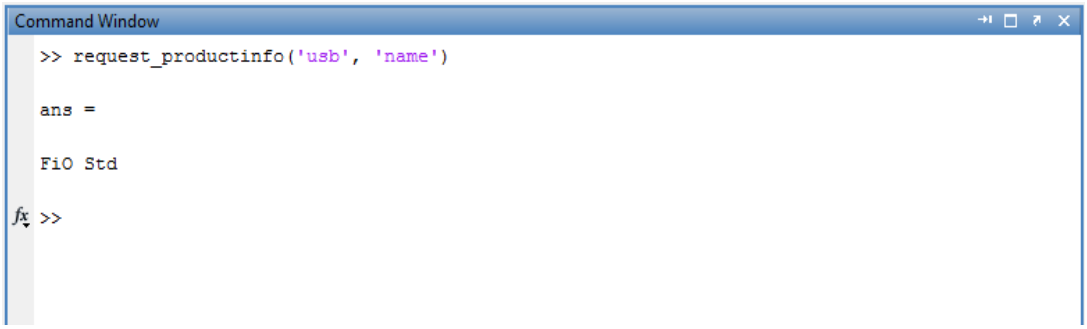
ในโหมดโปรแกรมนี้ FiO Board Std สามารถตั้งค่าโปรแกรมผ่านสาย USB โดยตั้งค่าสวิตช์1 (Switch1) และ จัมเปอร์ (Jumper1,Jumper2,Jumper3) ดังรูปที่ 2.13 หลังจากตั้งค่าสวิตช์และจัมเปอร์แล้ว ทำการกดปุ่ม Reset ทุกครั้ง



รูปที่ 2.21 การตั้งค่าสวิตช์1 (Switch1) และ จัมเปอร์ (Jumper1,Jumper2,Jumper3)

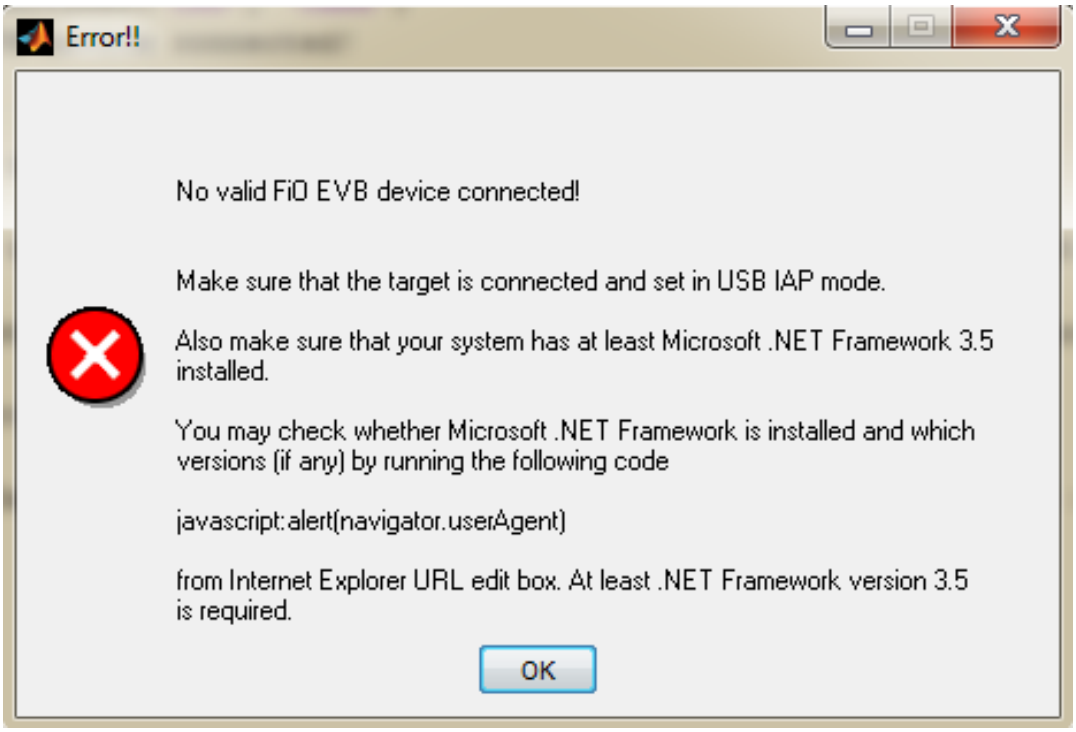
3) ทดสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ FiO Board Std กับคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนจะต้องทำการพิมพ์คำสั่งลงในโปรแกรม MATLAB โดยการพิมพ์คำสั่งลงในคอมมานด์ วินโดว์ (Command Windows) ว่า Request_productinfo('usb','name') หากอุปกรณ์ FiO Board Std มีการเชื่อมต่อจะปรากฏคำว่า FiO Std ดังรูปที่ 2.14



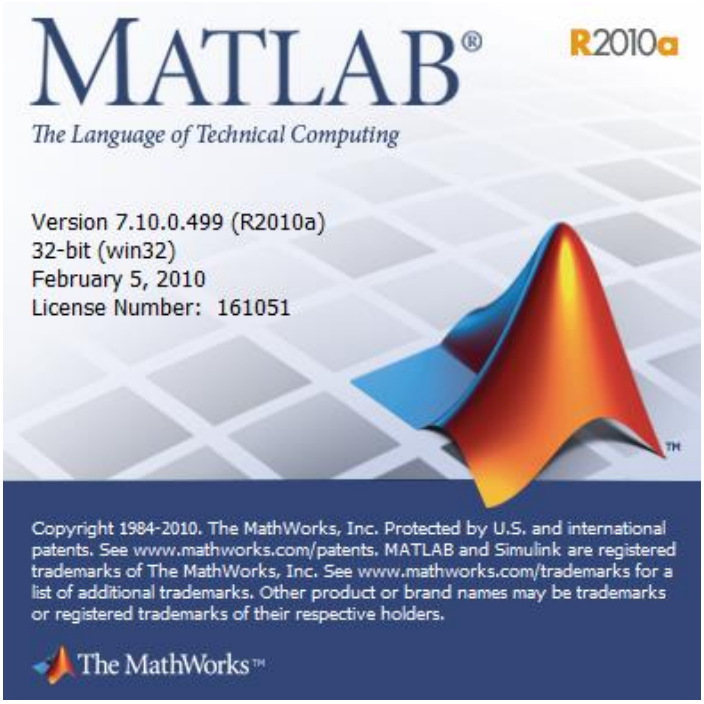
รูปที่ 2.22 การตรวจพบอุปกรณ์ FiO Board Std กับคอมพิวเตอร์

ถ้าหากทำการพิมพ์คำสั่งลงในโปรแกรม MATLAB โดยการพิมพ์คำสั่งลงในคอมมานด์ วินโดว์ (Command Windows) ว่า request_productinfo('usb','name') หากอุปกรณ์ FiO Board Std ไม่สามารถทำการเชื่อมต่อได้ จะปรากฏหน้าต่าง Error ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.23 อุปกรณ์ FiO Board Std ไม่สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้

2.4 **โปรแกรม** MATLAB



รูปที่ 2.24 โปรแกรม MATIAB

MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ชั้นสูง (High-Level Language) สำหรับการคำนวณทางเทคนิคที่ประกอบด้วยการคำนวณเชิงตัวเลข กราฟฟิคที่ซับซ้อน และการจำลองแบบเพื่อให้มองเห็นภาพพจน์ได้ง่ายและชัดเจนชื่อของ MATLAB ย่อมาจาก Matrix Laboratory เดิมโปรแกรม MATLAB ได้เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณทาง Matrix หรือเป็น Matrix Software ที่พัฒนาจากโปรเจคท์ (Project) ที่ชื่อ LINKPACK และ EISPACK

MATLAB ได้พัฒนามาด้วยการแก้ปัญหาที่ส่งมาจากหลายๆ ผู้ใช้เป็นระยะเวลาหลายปี จึงทำให้โปรแกรม MATLAB มีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้มากมาย ในบางมหาวิทยาลัยได้ใช้โปรแกรม MATLAB เป็นหลักสูตรพื้นฐานในการศึกษาทางด้านคณิตศาสตร์ วิศวกรรม และวิทยาศาสตร์แขนงต่างตลอดจนด้านอุตสาหกรรมได้ใช้โปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในงานวิจัย พัฒนาและวิเคราะห์

โปรแกรม MATLAB จะมีกล่องเครื่องมือที่ใช้ในการหาคำตอบเรียกว่า Toolbox โดยโปรแกรม MATLAB จะมี Toolbox ในแต่ละสาขา เช่น การประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing Toolbox) การประมวลผลภาพ (Image Processing Toolbox) ระบบควบคุม (Control System Toolbox) โครงข่ายประสาท (Neural Networks Toolbox) ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic Toolbox) เวฟเลท (Wavelet Toolbox) การติดต่อสื่อสาร (Communication Toolbox) สถิติ (Statistics Toolbox) และสาขาอื่นๆ มากมาย ภายใน Toolbox แต่ละสาขาก็จะมีฟังก์ชันต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในสาขานั้นๆ ให้เลือกประยุกต์ใช้งานเป็นจำนวนมาก

2.4.1 ข้อดีของโปรแกรม MATLAB

1) มีฟังก์ชันคณิตศาสตร์ให้เลือกใช้ในการคำนวณมากมายตลอดจนสามารถสร้างฟังก์ชันขึ้นมาใช้งานได้เองในสาขาที่ต้องการ โดยฟังก์ชันที่สร้างขึ้น (M-File) จะมีนามสกุลเป็น .m

2) Algorithm พัฒนาได้ง่ายไม่ยุ่งยาก สามารถแก้ไขปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนได้ง่าย และรวดเร็วกว่าโปรแกรมภาษาอื่นๆ เช่น C, Fortran, Basic เป็นต้น

3) มีโครงสร้างแบบจำลอง (Simulink) ซึ่งเป็น Package ที่นำไปสร้างบล็อกไดอะแกรมเพื่อใช้ทดสอบ และประเมินผลระบบ Dynamic ต่างๆ ก่อนนำไปใช้งานจริง

4) สามารถวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลได้ง่ายและรวดเร็ว

5) นำไปใช้งานในทางด้วนกราฟฟิคได้เป็นอย่างดีทั้งในด้านการแสดงภาพตั้งแต่สองมิติที่เป็น Rectangular, Polar, Stair Bar รวมทั้งภาพสามมิติในรูปแบบพื้นผิว (Surface) และระดับสูงต่ำ (Contour) ตลอดจนสามารถนำภาพมาต่อกัน และเก็บไว้เพื่อที่จะสร้างเป็นภาพเคลื่อนไหวได้อีกด้วย

6) ประยุกต์ใช้ในการสร้างรูปแบบ Graphical User Interface ได้โดยการเลือกใช้ object และเมนูต่างๆ โดยโปรแกรม MATLAB จะมีเครื่องมือให้เลือกใช้ เช่น เมนู รายการ ปุ่มกด และ Fields Object ต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกนำไปใช้ในการทำงานปฏิสัมพันธ์กันระหว่างผู้ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้

7) ทำการประมวลผลร่วมกับโปรแกรมอื่นได้ เช่น Fortran, Borland C/C++, Microsoft Visual C++ และ Watcom C/C++ ด้วยการเขียนฟังก์ชันที่เป็น mex ไฟล์โดยโปรแกรม MATLAB จะเรียกใช้จากโปรแกรมภาษา C และ Fortran

8) โปรแกรม MATLAB เป็นระบบ Interactive ซึ่งส่วนของข้อมูลพื้นฐานเป็นอาร์เรย์ที่ไม่ต้องการมิติ ทำให้โปรแกรม MATLAB สามารถทำการแก้ปัญหาทางเทคนิคต่างๆ ได้มากใช้เวลาในการประมวลผลน้อย และดีกว่าโปรแกรมภาษา C และ Fortran

2.4.2 โครงสร้างของโปรแกรม MATLAB

โครงสร้างของโปรแกรม MATLAB ประกอบด้วย 5 ส่วนใหญ่ คือ

1) ภาษาโปรแกรม MATLAB (The MATLAB language)

MATLAB เป็นโปรแกรมภาษาชั้นสูงที่ใช้ควบคุม Flow Statement ฟังก์ชัน โครงสร้างข้อมูลอินพุต เอาท์พุต และลักษณะโปรแกรม Object-Oriented Programming ทำให้การเขียนโปรแกรมไม่ยุ่งยากเมื่อเทียบกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาอื่นๆ เช่น C Fortran Basic เป็นต้น

2) สถาปัตยกรรมในการทำงานของ MATLAB

(The MATLAB Working Environment)

MATLAB จะมีกลุ่มของเครื่องมือที่เป็นประโยชน์สำหรับการทำงานของผู้ใช้โปรแกรม หรือโปรแกรมเมอร์ประโยชน์ที่กล่าวนี้ก็คือการจัดการตัวแปรใน Workspace การนำข้อมูลหรือการผ่านค่าตัวแปรเข้า/ออกและกลุ่มของเครื่องมือต่างๆ นี้ก็จะใช้สำหรับพัฒนา จัดการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรม (Debugging) ที่ได้เขียนขึ้น

3) ฟังก์ชันในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

(The MATLAB Mathematical Function Library)

MATLAB จะมีไลบรารีทั่วไปที่ใช้ในการคำนวณอย่างกว้าง เช่น Sine Cosine และพีชคณิตเชิงซ้อนโดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟังก์ชันหรือไลบรารีเพิ่มเติมขึ้นจากไลบรารีที่ใช้กันโดยทั่วไป เช่น ฟังก์ชันในการหา Eigenvalues และ Eigenvectors การแยกตัวประกอบและส่วนประกอบของเมตริกซ์ด้วยวิธีต่างๆ การวิเคราะห์ข้อมูล การหาความน่าจะเป็น และการแก้ปัญหาระบบของสมการเชิงเส้นที่เป็นพื้นฐานของสาขาวิชาต่างๆ เป็นต้น ทำให้โปรแกรม MATLAB มีฟังก์ชันสำหรับใช้งานค่อนข้างมากและครอบคลุมในรายละเอียดของการคำนวณสาขาต่างๆ ได้มากขึ้น

4) Handle Graphics

ระบบกราฟิกของ MATLAB จะประกอบด้วยคำสั่งชั้นสูงสำหรับการพล็อตกราฟโดยมีพื้นฐานอยู่บนแนวความคิดที่ว่าทุกๆ สิ่งบนหน้าต่างรูปภาพของโปรแกรม MATLAB จะเป็นวัตถุ (Object) ซึ่งมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว Handle Graphics ประกอบด้วยคำสั่งชั้นสูงให้ได้เลือกใช้ในการสร้าง Graphic User Interface บนพื้นฐานการประยุกต์ใช้งาน นอกจากนี้โปรแกรม MATLAB ยังมีฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการแสดงภาพสองมิติ ภาพสามมิติ และการสร้างภาพเคลื่อนไหว

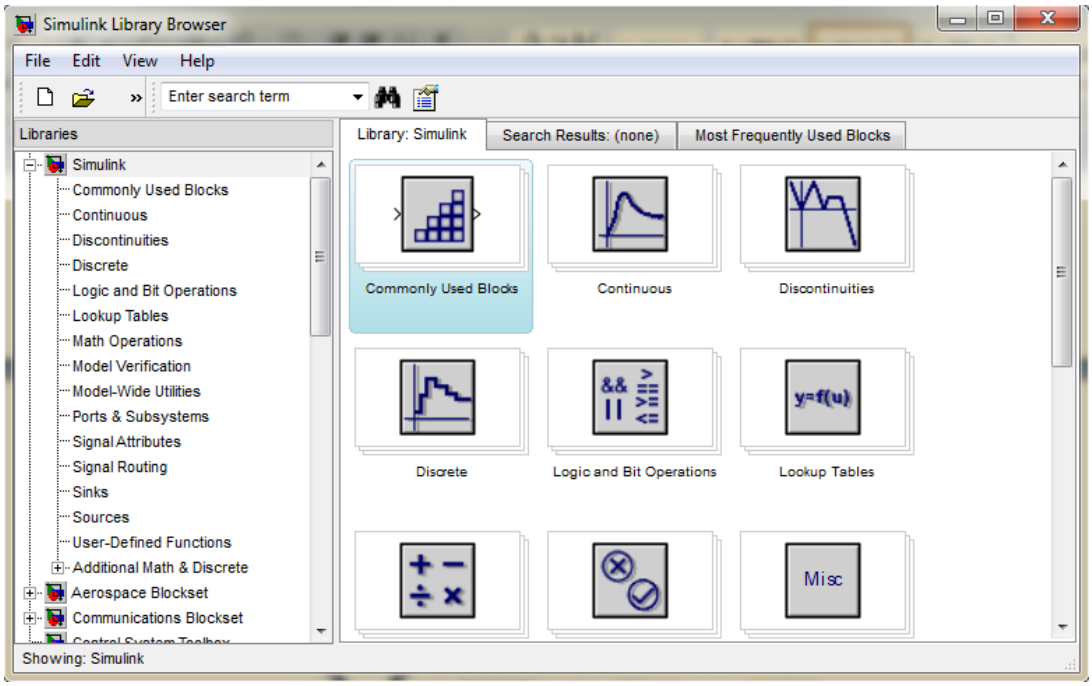
5) The MATLAB Application Program Interface (API)

API จะใช้เพื่อสนับสนุนการติดต่อจากภายนอกโดยใช้โปรแกรมที่เป็น mex ไฟล์ซึ่งเป็นไฟล์ซึ่งเป็นไฟล์ที่เขียนขึ้นโดยใช้ Mex ฟังก์ชันใน MATLAB ซึ่งจะเรียกใช้รูทีนจากโปรแกรมภาษา C และ Fortran หรืออาจกล่าวได้ว่า API เป็นไลบรารีที่เขียนด้วยโปรแกรมภาษา C และ Fortran ที่มีการเชื่อมต่อกับโปรแกรม MATLAB ด้วยไฟล์ที่เป็น Mex ฟังก์ชันอีกทั้ง MATLAB API นี้ยังมีความสามารถสำหรับการเรียก Routine จาก MATLAB (Dynamic Linking) ก็ได้

2.4.3 Simulink Library Browser ในโปรแกรม MATLAB

Simulink Library Browser เป็นโปรแกรมที่ควบคู่กับ MATLAB ซึ่งเป็นระบบ Interactive สำหรับการจำลองและวิเคราะห์ระบบไดนามิกต่างๆ ที่เป็นระบบเชิงเส้น (Linear) ระบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear) Simulink Library Browser เป็นโปรแกรม Mouse-Driver ใช้ระบบโมเดล

โดยการวาดบล็อกไดอะแกรมบนจอภาพด้วยการใช้เมาส์ทำให้โปรแกรม MATLAB สามารถทำการจำลองระบบได้หลายรูปแบบเชิงเส้น (Linear) ไม่เชิงเส้น (Nonlinear) เวลาต่อเนื่อง (Continuous-Times) เวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete-Time) และระบบหลายอัตรา (Multi rate) ซึ่งแต่ละรูปแบบที่นำมาสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์นี้ผู้ใช้จะต้องมีความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของบล็อกแต่ละบล็อกได้เป็นอย่างดี ตลอดจนเข้าใจระบบโดยรวมของงานที่จะกระทำด้วย



รูปที่ 2.25 หน้าของ Simulink Library Browser ในโปรแกรม MATLAB

Block set เป็นสิ่งที่เพิ่มเติมใน Simulink Library Browser โดยจะเป็นไลบรารีของบล็อกสำหรับการประยุกต์เฉพาะ เช่น การติดต่อสื่อสาร (Communications) การประมวลผลข้อมูล (Signal Processing) และระบบไฟฟ้ากำลัง (Power Systems)

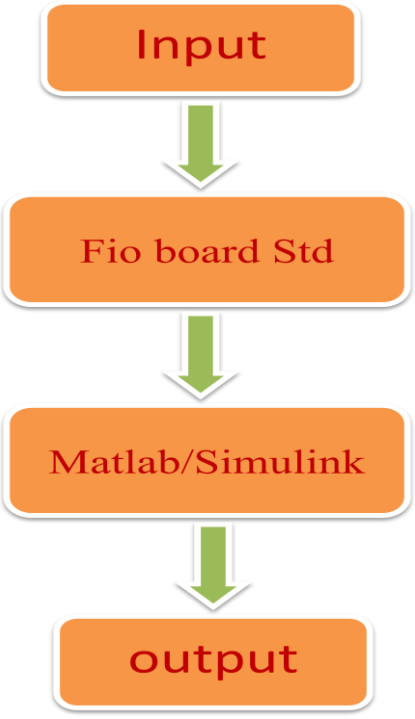
Real-Time Workshop เป็นโปรแกรมที่ให้คุณสร้าง C code จากบล็อกไดอะแกรมของคุณและสามารถกระทำกับบล็อกไดอะแกรมได้หลากหลายด้วยระบบเวลาจริง (Real-Time Systems)

2.5 ระบบการวัด การแสดงผลและ การบันทึก

ระบบการวัด การแสดงผลและ การบันทึก คือ ระบบสังเกตการณ์ทำงานของระบบการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบต่างๆ ซึ่งไม่ได้มีรูปแบบที่ตายตัวขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และเทคโนโลยีของเครื่องมือวัดที่ใช้ในโครงการนั้นๆ ในระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นส่วนมากจะตรวจสอบการทำงานเพื่อประเมินสมรรถนะของระบบ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจสอบแบบต่างๆ ประกอบกับซอร์ฟแวร์ที่เหมาะสมร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่สุด สำหรับระบบสังเกตการณ์ทำงานของระบบในปัจจุบันจะตรวจวัดและเก็บข้อมูลในรูปแบบข้อมูลดิจิตอล จึงจำเป็นต้องใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการออกแบบระบบสังเกตการ

ทำงานที่ดีจะต้องส่งผลกระทบต่อการทำงานของการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยที่สุด และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานของระบบเฝ้าสังเกตนั้นไม่ควรเกินร้อยละ 5 ของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบวัดบันทึกและแสดงผลดังกล่าว จำเป็นจะต้องใช้การตรวจวัดค่าต่างๆที่ต้องทราบค่าจากอุปกรณ์รับรู้ เพื่อส่งค่ามายังอุปกรณ์แปลงสัญญาณ อุปกรณ์ควบคุม และตัวอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ เนื่องจากระบบการตรวจสอบนี้จะใช้คอมพิวเตอร์ในการเก็บข้อมูลและสร้างรายงานในรูปแบบของตารางและกราฟ การที่จะออกแบบระบบวัดบันทึกผลที่มีเสถียรภาพสูง จำเป็นต้องเลือกฮาร์ดแวร์ให้เหมาะสมกับซอร์ฟแวร์ที่เลือกใช้ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์รับรู้ อุปกรณ์ Transducer Data logger ตัวรับและกระจายสัญญาณอินพุต/เอาต์พุต และการอินเตอร์เฟสฮาร์ดแวร์ต่างๆ ในการพัฒนาโปรแกรมที่จะใช้ในระบบวัดบันทึกผลและแสดงผลเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลและสังเกตการณ์ทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นทางเลือกที่ดี ซึ่งการพัฒนาจะสามารถทำได้พร้อมกันกับการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้า การปรับแต่งและแก้ไขโปรแกรมสามารถทำได้ง่าย ระบบสามารถทำงานได้ในระบบปฏิบัติการวินโดวส์ อุปกรณ์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานและมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย อุปกรณ์รับรู้ และเครื่องมือวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า เช่น วัดพลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าเป็นต้น



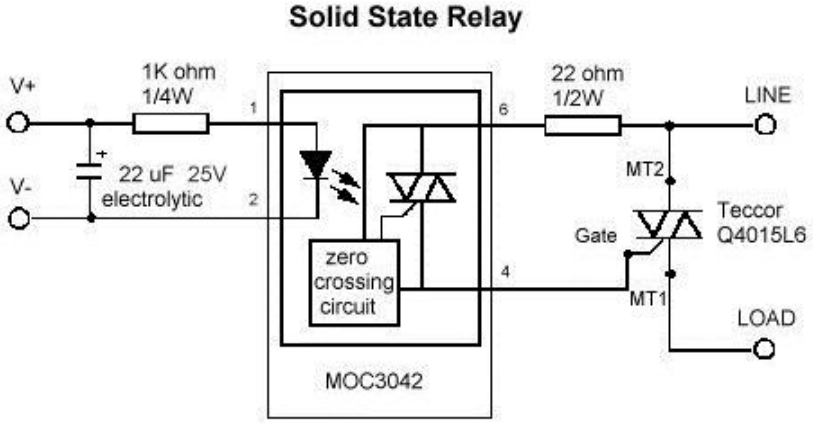
รูปที่ 2.26 โครงสร้างระบบวัดและแสดงผลพลังงานจากระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.6 Solid State Relay (Carlo Gavazzi)

การใช้งาน Solid State Relay เป็นการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาใช้งานในการควบคุมการจ่าย กระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ เนื่องจาก Solid State Relay มีการทำงานค่อนข้างง่ายต่อการใช้งานเนื่องจาก ตัวของอุปกรณ์เองต้องการเพียงแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขา 4, 3 ของ

อุปกรณ์เท่านั้น ส่วนขา 1, 2 จะเป็นส่วนของหน้าสัมผัสของอุปกรณ์ที่จะทำหน้าที่ คล้ายๆกับสวิทช์ นั่นหมายความว่า เมื่อมีแรงดันมาจ่ายให้กับอุปกรณ์ Solid State Relay ที่ขา 4, 3 จะทำให้หน้าสัมผัสปิดเข้าหากัน คล้ายกันกับสวิทช์ทำให้ โหลดที่ต่ออยู่ครบวงจร ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลที่โหลดได้

รูปที่ 2.27 Solid State Relay [5]



รูปที่ 2.28 Solid State Relay [5]

2.7 สรุป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ศึกษาเกี่ยวกับหลักการทำงานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คุณสมบัติทางไฟฟ้าและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และใช้เป็นหลักในการสร้างชุดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ FiO Board Std และ Rapid Stm32 Blockset ซึ่งอุปกรณ์ FiO Board Std และ Rapid Stm32 Blockset เป็นส่วนที่ทำหน้าเป็นหน่วยประมวลผลของชุดทดสอบ ศึกษาเกี่ยวกับโปรแกรม MATLAB ซึ่งโปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ FiO Board Std นอกจากนี้ศึกษาเกี่ยวกับระบบการวัด การแสดงผลและการบันทึกผล เป็นระบบสังเกตการณ์ทำงานของระบบการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์