

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ (Battery) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ต่อไป ถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (Galvanic Cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์หรือมากกว่าก็ได้ แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ได้ผลิตไฟฟ้า สามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (Recharge) ได้หลายครั้ง และประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100% จะอยู่ที่ประมาณ 80% เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุ/จ่ายประจุนั่นเอง แบตเตอรี่จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงและเสียหายได้ง่ายหากดูแลรักษาไม่ดีเพียงพอหรือใช้งานผิดวิธี รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เนื่องด้วยวิธีการใช้, การบำรุงรักษา, การประจุและอุณหภูมิ ฯลฯ โดยสามารถจำแนกแบตเตอรี่ออกได้ 2 กลุ่มสำคัญๆ คือ ตามการใช้งานและประเภทของโครงสร้าง



รูปที่ 2.1 ลักษณะของแบตเตอรี่แบบต่างๆ

2.1.1 แบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่มีหน้าที่สะสมพลังงานที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และจัดเก็บไว้ใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ผลิตไฟฟ้า หรือเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือเวลากลางคืน



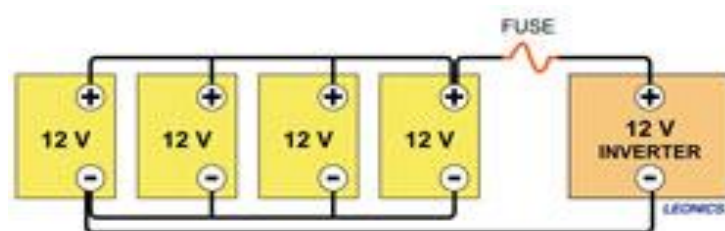
รูปที่ 2.2 ลักษณะของแบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

หากเปรียบเทียบกับระบบกักเก็บน้ำฝนก็คือถังเก็บน้ำนั่นเอง ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอิสระ (Stand-Alone Solar System) ต้องใช้แบตเตอรี่ทั้งสิ้น

2.1.2 ชนิดของแบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

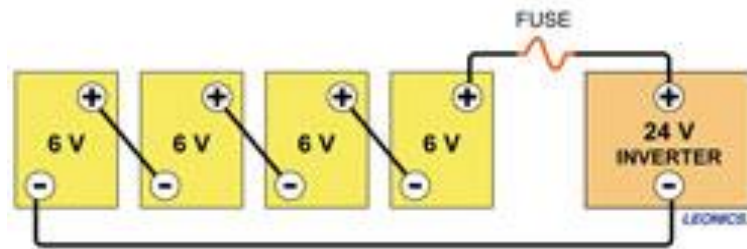
ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-Acid Battery) ด้วยเหตุผลนานาประการ ไม่ว่าจะเป็นราคาที่ถูกกว่าและหาซื้อได้ง่ายในทุกๆ ที่ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีส่วนประกอบสำคัญเป็นแผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวกและลบจมอยู่ในสารละลายกรดซัลฟริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุ โมเลกุลของซัลเฟอร์จากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่วและปล่อยอิเล็กตรอนออกมามากมาย เมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เอง และไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ให้แรงดัน 2 โวลต์ แบตเตอรี่ 12 โวลต์จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรม เซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้

ถ้าต้องการแรงดันมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่หลายลูกมาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันสูงขึ้นตามต้องการ



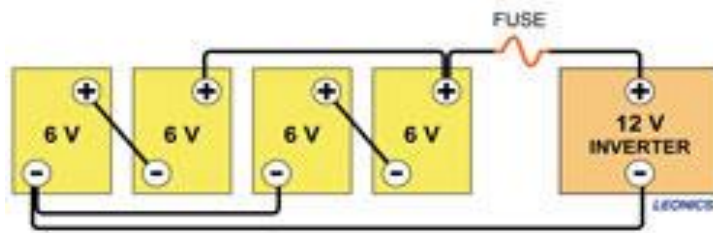
รูปที่ 2.3 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน

ถ้าต้องการกระแสมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่ 2 ลูกหรือมากกว่านั้นต่อกันแบบขนานจนได้กระแสที่ต้องการ



รูปที่ 2.4 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม

ถ้าต้องการแรงดันมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่หลายลูกมาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันสูงขึ้นตามต้องการ



รูปที่ 2.5 การต่อแบตเตอรี่แบบผสม

ถ้าต้องการแรงดันและกระแสมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่มาต่อกันแบบอนุกรมผสมกับแบบขนาน

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีอยู่หลายแบบด้วยกัน แต่ที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดคือ แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep Discharge Battery) เพราะถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานปริมาณเล็กน้อยได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดความเสียหาย จะสามารถใช้ไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่นี้ได้อย่างต่อเนื่องถึง 80% โดยแบตเตอรี่ไม่ได้รับความเสียหาย (แบตเตอรี่ทั่วไปที่ใช้ในการติดเครื่องยนต์ถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานสูงในช่วงเวลาสั้นๆ ถ้าใช้ไฟฟ้ามากกว่า 20-30% ของพลังงานที่เก็บอยู่ จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลงได้) ส่วนมากแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะที่ฝาครอบด้านบนเปิดออกได้ เพื่อให้สามารถตรวจสอบเซลล์และเติมน้ำในเวลาที่เหมาะสมได้ เรียกว่า แบตเตอรี่แบบเซลล์เปิด (Open Cell หรือ Unsealed หรือ Flooded Cell

Battery) มีบางชนิดที่ถูกปิดแน่นและไม่ต้องการการซ่อมบำรุง เรียกว่า แบตเตอรี่แบบไม่ต้องดูแลรักษา (Maintenance Free หรือ Sealed Battery)



รูปที่ 2.6 รูปแบบของแบตเตอรี่

ซ้าย: แบตเตอรี่แบบเซลล์เปิด

ขวา: แบตเตอรี่แบบไม่ต้องดูแลรักษา

2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

แสงอาทิตย์เป็นอีกหนึ่งแหล่งพลังงานที่สำคัญ ไม่ว่าแสงอาทิตย์จะตกลงบนพื้นที่ใดๆ ในโลก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งสิ้น ขณะเดียวกันเซลล์แสงอาทิตย์ก็เข้ามามีบทบาทในการเปลี่ยนแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานอันมีประโยชน์มหาศาลและนี่คือเรื่องราวที่คุณจะสัมผัสได้ใน “เส้นทางสู่พลังงานสีเขียว” สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้า มีอุปกรณ์ที่ถือเป็นหัวใจสำคัญ ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้าเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Panels) โดยเกิดจากการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายเซลล์มาต่อเข้าด้วยกัน และหากหลายๆ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกันเป็นชุดหรือแถวจะเป็น ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Arrays)

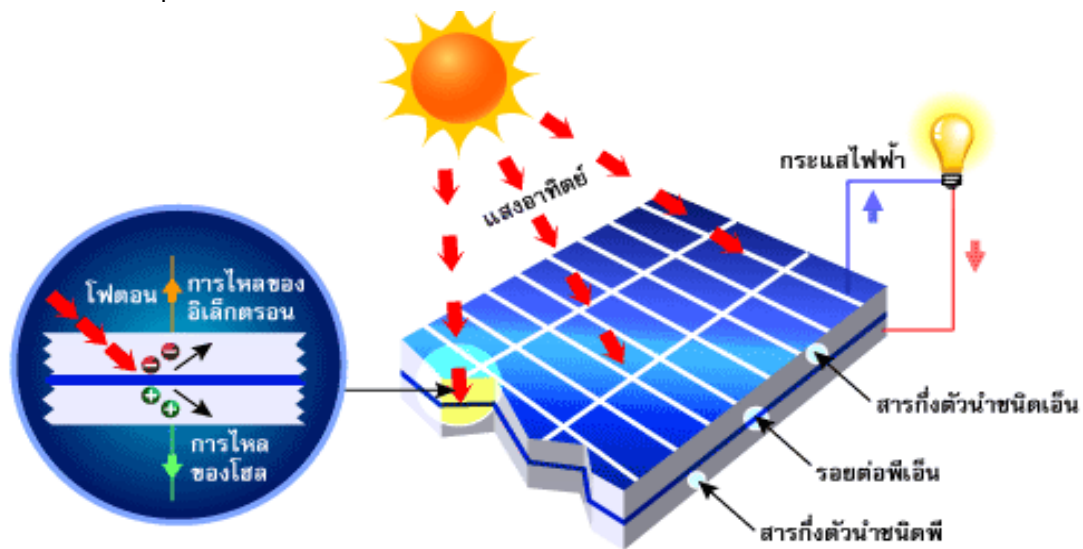
เซลล์แสงอาทิตย์ มีชื่อในภาษาอังกฤษหลายคำ เช่น Solar Cell, Photovoltaic หรือ PV เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon) ซึ่งมีราคาถูกและพบมากที่สุดบนพื้นโลก นำมาผ่านขั้นตอนต่างๆ ผลิตให้เป็นแผ่นบางและมีความบริสุทธิ์ คุณสมบัติที่สำคัญคือ เมื่อเซลล์ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรง รังสีของแสงที่มีอนุภาคของไฟฟ้าบวกคือ โฟตอน จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (มีอนุภาคของไฟฟ้าลบ) ที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำ จนทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากวงโคจรของอะตอมและเคลื่อนที่อย่างอิสระ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงโคจรจะเกิดเป็นไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น



รูปที่ 2.7 เซลล์แสงอาทิตย์

2.2.1 โครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างที่ใช้ทั่วไปคือ รอยต่อพีเอ็น (P-N Junction) ของสารกึ่งตัวนำ โดยนำซิลิคอนที่ผ่านขั้นตอนจนกระทั่งบริสุทธิ์มาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็น แล้วนำมาต่อกัน เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะถ่ายเทพลังงานให้อะตอมของสารกึ่งตัวนำ ทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮลอิสระที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ หากมีการต่อกับวงจรภายนอก (เช่น อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง) จะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนที่ให้ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของแผง Solar Cell

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน อาจมีรูปร่างได้หลายแบบ เช่น วงกลม, สี่เหลี่ยมจัตุรัส, สี่เหลี่ยมขอบมน หรือไม่มีเซลล์เลย ฯลฯ เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ว่าขนาดใดก็ตามจะให้แรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 โวลต์ กระแสไฟฟ้าที่แต่ละเซลล์ผลิตได้ขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์

2.2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ



(a) Single Crystalline Silicon Solar Cell



(b) Polycrystalline Silicon Solar Cell



(c) Amorphous Silicon Solar Cell

รูปที่ 2.9 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell และชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) น้ำหนักเบาและประสิทธิภาพเพียง 5-10%

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์, แคดเมียม เทลเลไนด์ และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียม อาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20-25%

2.2.3 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติพื้นฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น

ตัวอย่าง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว จะให้กระแสไฟฟ้าประมาณ 2-3 แอมแปร์ และให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.6 โวลต์ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มากนัก ดังนั้นเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าเพียงพอสำหรับใช้งาน จึงมีการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาต่อกัน เรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Modules) ลักษณะการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับความต้องการกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า

- การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน จะทำให้ได้กระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น
- การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น

2.2.4 ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystal) หรือ Monocrystalline มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

นำซิลิคอนที่ถลุงได้มาหลอมเป็นของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 1400 °C แล้วดึงผลึกออกจากของเหลว โดยลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ จนได้แท่งผลึกซิลิคอนเป็นของแข็ง แล้วนำมาตัดเป็นแว่นๆ นำผลึกซิลิคอนที่เป็นแว่น มาแพร่ซึมด้วยสารเจือปนต่างๆ เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นภายในเตาแพร่ซึมที่มีอุณหภูมิประมาณ 900-1000 °C แล้วนำไปทำขั้นตอนการสะท้อนแสงด้วยเตาออกซิเดชันที่มีอุณหภูมิสูง ทำขั้วไฟฟ้าสองด้านด้วยการฉาบโพลีโหระภาคใต้สุญญากาศ เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วจะต้องนำไปทดสอบประสิทธิภาพด้วยแสงอาทิตย์เทียม และวัดหาคุณสมบัติทางไฟฟ้า

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกรวม (Polycrystalline) มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้ นำซิลิคอนที่ถลุงและหลอมละลายเป็นของเหลวแล้วมาเทลงในแบบพิมพ์ เมื่อซิลิคอนแข็งตัว จะได้เป็น

แท่งซิลิคอนเป็นแบบผลึกรวม แล้วนำมาตัดเป็นแว่นๆ จากนั้นนำมาแพร่ซึมด้วยสารเจือปนต่างๆ และทำขั้วไฟฟ้าสองด้านด้วยวิธีการเช่นเดียวกับที่สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้ ทำการแยกสลายก๊าซซิลเลน (Silane Gas) ให้เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอน โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่อง Plasma CVD (Chemical Vapor Deposition) เป็นการผ่านก๊าซซิลเลนเข้าไปในกรอบแก้วที่มีขั้วไฟฟ้าความถี่สูง จะทำให้ก๊าซแยกสลายเกิดเป็นพลาสมา และอะตอมของซิลิคอนจะตกลงบนฐานหรือสแตนเลสสตีลที่วางอยู่ในกรอบแก้ว เกิดเป็นฟิล์มบางขนาดไม่เกิน 1 ไมครอน (0.001 มม.)

ขณะที่แยกสลายก๊าซซิลเลน จะผสมก๊าซฟอสฟีนและไดโบเรนเข้าไปเป็นสารเจือปน เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นสำหรับใช้เป็นโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ การทำขั้วไฟฟ้า มักใช้ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงที่ทำจาก ITO (Indium Tin Oxide)

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากเกลเลียม อาร์เซไนด์ มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

ขั้นตอนการปลูกชั้นผลึก ใช้เครื่องมือ คือ เตาปลูกชั้นผลึกจากสถานะของเหลว (LPE; Liquid Phase Epitaxy)

ขั้นตอนการปลูกชั้นผลึกที่เป็นรอยต่อเอ็นพี ใช้เครื่องมือ คือ เครื่องปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุล (MBE; Molecular Beam Epitaxy)

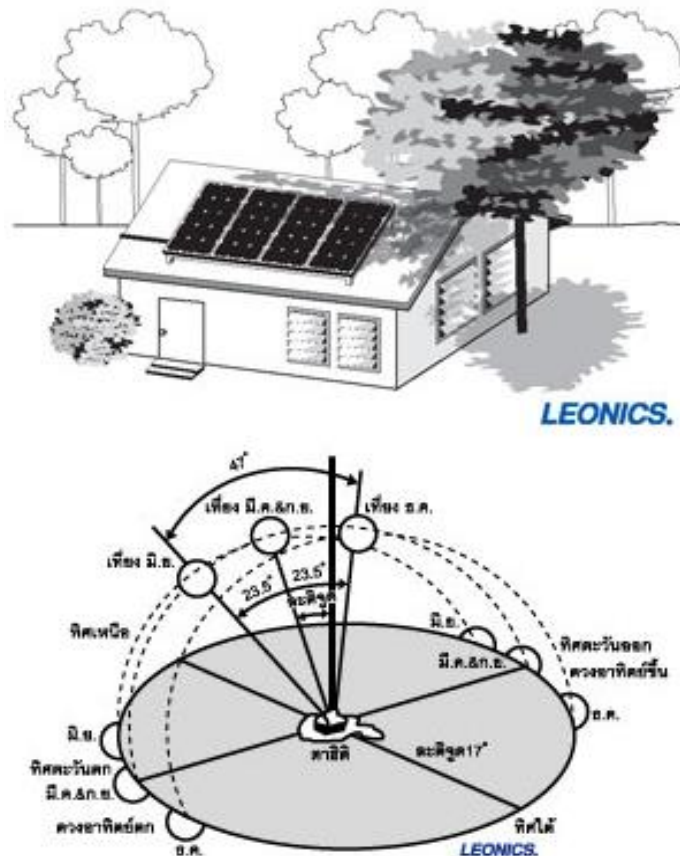
2.2.5 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์

ใช้พลังงานจากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ ไม่ก่อปฏิกิริยาที่จะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ เป็นการนำพลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่าและไม่วันหมดไปจากโลกนี้ สามารถนำไปใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทุกพื้นที่บนโลก และได้พลังงานไฟฟ้าใช้โดยตรง ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอื่นใดนอกจากแสงอาทิตย์ รวมถึงไม่มีการเผาไหม้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านอากาศและน้ำ ไม่เกิดของเสียขณะใช้งาน จึงไม่มีการปล่อยมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อม ไม่เกิดเสียงและไม่มีการเคลื่อนไหวขณะใช้งาน จึงไม่เกิดมลภาวะด้านเสียง เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ และไม่มีชิ้นส่วนใดที่มีการเคลื่อนไหวขณะทำงาน จึงไม่เกิดการสึกหรอ ต้องการการบำรุงรักษาน้อยมาก อายุการใช้งานยืนยาวและประสิทธิภาพสูงที่มีน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย เคลื่อนย้ายสะดวกและรวดเร็ว เนื่องจากมีลักษณะเป็นโมดูล จึงสามารถประกอบได้ตามขนาดที่ต้องการ ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไฮโดรคาร์บอน และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฯลฯ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจำพวกน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก ทำให้โลกร้อนขึ้น เกิดฝนกรด และอากาศเป็นพิษ ฯลฯ

2.2.6 สิ่งที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

พื้นที่ของแผง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีขนาดใหญ่ จะยิ่งผลิตไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น ความสว่างของแสงอาทิตย์ ยิ่งแสงอาทิตย์ตกลงบนแผงมาก จะยิ่งผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น หากมีร่มเงาบังแผงแม้

เพียง 1 เซลล์ ไฟฟ้าที่ผลิตได้อาจลดลงเหลือแค่ครึ่งหรือต่ำกว่านั้น ทิศทางการวางแผง ควรวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้หันไปทางด้านดวงอาทิตย์ เพื่อให้ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด ความร้อน แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานได้ดีในสภาพเย็น หากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร้อน จะผลิตไฟฟ้าได้น้อย



รูปที่ 2.10 การวางตำแหน่งของแผง Solar Cell

2.2.7 ข้อปฏิบัติเพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด

ต้องไม่มีร่มเงาบังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างเวลา 9.00 - 15.00 น. รวมถึงต้องคำนึงถึงด้วยว่าในแต่ละวันดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก นอกจากนี้ยังมีการเคลื่อนที่จากทิศเหนือไปยังทิศใต้ตามฤดูกาลด้วย สำหรับพื้นที่เขตร้อน ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนไปทางทิศเหนือมากที่สุดในเดือนมิถุนายน และจะเคลื่อนไปทางทิศใต้มากที่สุดในเดือนธันวาคม ควรหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามดวงอาทิตย์ อาจใช้อุปกรณ์ติดตามดวงอาทิตย์ (Solar Tracker) หรืออาจยึดแผงไว้กับที่ โดยเอียงแผงเป็นมุมเท่ากับละติจูดของสถานที่ติดตั้งและควรเอียงไม่น้อยกว่า 5 องศาจากแนวระนาบ สำหรับสถานที่ติดตั้งที่อยู่ใต้เส้นศูนย์สูตรควรหันแผงไปทางทิศเหนือ ส่วนสถานที่อยู่เหนือเส้นศูนย์

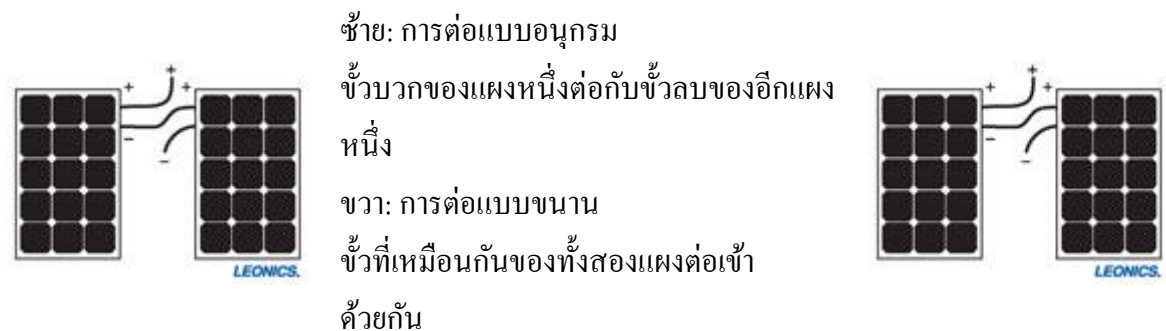
สูตรควรหันแผงไปทางทิศใต้ ติดตั้งแผงเหนือพื้นผิวที่จะติดตั้งอย่างน้อย 10 ซม. เพื่อให้อากาศไหลเวียนใต้แผงได้สะดวกเป็นการช่วยลดความร้อนที่ด้านหลังแผงได้

2.2.8 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าด้วยกัน

เพื่อเป็นการเพิ่มกำลังการผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงมีการนำหลายแผงมาต่อกัน ซึ่งมี 2 วิธีดังนี้

การต่อแบบอนุกรม ใช้ในกรณีที่ต้องการแรงดันไฟฟ้ามากกว่าที่ได้จากแผงเดียว แต่กระแสจะยังคงเท่ากับที่ได้จากแผงเดียว

การต่อแบบขนาน ใช้ในกรณีที่ต้องการกระแสที่มากขึ้น แต่แรงดันไฟฟ้าจะยังคงเท่ากับที่ได้จากแผงเดียว



รูปที่ 2.11 การต่อของเซลล์แสงอาทิตย์

หมายเหตุ:

นอกจาก 2 วิธีข้างต้นแล้ว ยังสามารถต่อแผงแบบอนุกรมผสมขนานได้ด้วย (หรือการต่อแบบขนานแล้วจึงต่อแบบอนุกรมก็จะให้ผลเหมือนกัน) หากต้องการทั้งแรงดันไฟฟ้าและกระแสที่เพิ่มขึ้น เช่น ใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ต้องใช้กระแสมากและใช้แบตเตอรี่มากกว่า 12 โวลต์ แผงที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างกัน (แผงที่มีแรงดันไฟฟ้าและกระแสต่างกัน) เมื่อนำมาต่อกันแบบต่างๆ จะมีผลดังนี้

การต่อแบบอนุกรม จะให้แรงดันไฟฟ้าเท่ากับผลรวมของแรงดันไฟฟ้าแต่ละแผง แต่กระแสที่ได้จะถูกจำกัดลงจนเกือบเท่ากับกระแสจากแผงที่มีปริมาณน้อยที่สุด

การต่อแผงแบบขนาน จะให้กระแสเท่ากับผลรวมของกระแสแต่ละแผง แต่แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะถูกจำกัดลงจนเกือบเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงต่ำที่สุด

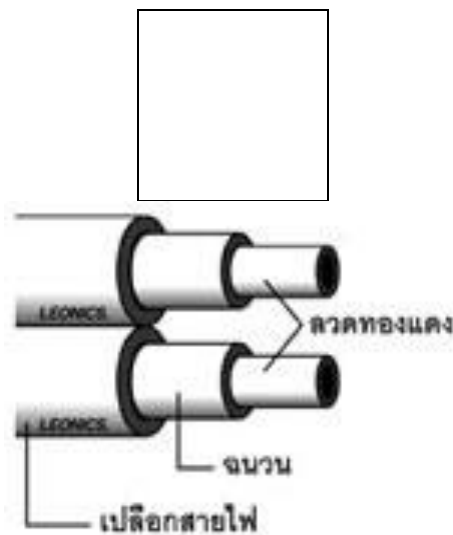
2.2.9 การเลือกชนิดและขนาดสายไฟฟ้าสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำ (DC) การออกแบบระบบจะต้องระมัดระวังในการพิจารณาเลือกชนิดและขนาดสายไฟให้เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ หากเลือกสายไฟที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้เกิดความร้อนสูงและเกิดไฟไหม้จากกระแสที่มากเกินไป รวมถึงการเลือกใช้ขนาดสายไฟและการต่อเชื่อมที่ถูกต้องจะทำให้ผู้ใช้ไม่ต้องไปดูแลรักษาเป็นเวลานานและปลอดภัยตลอดอายุการใช้งานเลยทีเดียว การเลือกชนิดและขนาดสายไฟได้ถูกต้อง จะช่วยเพิ่มสมรรถนะและความเชื่อถือของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสายไฟจะต้องมีขนาดเพียงพอที่จะให้ปริมาณไฟฟ้ามากที่สุดไหลไปตามสายไฟได้และเกิดการสูญเสียแรงดันในสายไฟน้อย รวมถึงสายไฟควรมีระยะสั้นเท่าที่จำเป็น เนื่องจากสายไฟมีความต้านทานอยู่ จึงต้องมีแรงดันในการผลักดันให้กระแสไหลไปตามสายไฟ ถ้าความต้านทานของสายไฟมากขึ้น ยังต้องใช้แรงดันมากขึ้น ปริมาณแรงดันที่ใช้ผลักดันกระแสนี้เรียกว่า แรงดันตกในสายไฟ

ข้อสังเกต :

ที่แรงดันเท่ากัน ไฟฟ้าจะไหลไปตามสายไฟขนาดใหญ่กว่าสายไฟขนาดเล็ก
สายไฟที่ยาวเกินไป จะทำให้สูญเสียแรงดันมากเกินไปด้วย

แรงดันตกในสายไฟเกิดจากปริมาณไฟฟ้าที่ไหลในสายไฟ, ขนาดสายไฟและความยาวสายไฟ โดยคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้ $\text{แรงดันที่สูญเสีย} = \text{กระแสไฟฟ้า} \times [0.02 \times \text{ความยาว(ม)} / \text{พื้นที่หน้าตัด (มม.}^2\text{)}]$



รูปที่ 2.12 รายละเอียดของสายไฟฟ้า

2.2.10 ชนิดของสายไฟฟ้า

ภายในสายไฟจะประกอบด้วยโลหะที่เป็นตัวนำไฟฟ้า (Conductor) เช่น อลูมิเนียมและทองแดง ฯลฯ โดยทั่วไปจะใช้สายไฟที่ทำจากตัวนำไฟฟ้าทองแดง ซึ่งมีหลายชนิด เช่น สายไฟทำจากทองแดง

เส้นใหญ่เส้นเดียวอยู่ภายในปลอกฉนวน, สายไฟทำจากทองแดงเส้นเล็กหลายๆ เส้นบิดอัดเป็นเกลียว อยู่ภายในปลอกฉนวน เรียกว่า สายไฟตีเกลียว (Stranded Wire) จะนิยมใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะมีความยืดหยุ่นสูง ต่างจากสายไฟสายเดี่ยวที่เมื่อบิดงอจะแตกหักได้ง่าย จึงไม่ใช้กัน และสายเคเบิล (Cable) ซึ่งรวมหลายตัวนำไฟฟ้าไว้ในสายไฟเส้นเดียว โดยมีฉนวนชั้นในหุ้มตัวนำไฟฟ้าแต่ละเส้นและฉนวนชั้นนอกหุ้มสายไฟทั้งหมดเข้าไว้ด้วยกัน การเลือกชนิดสายไฟต้องพิจารณาถึงปริมาณรวมของไฟฟ้าที่ไหลไปตามสายไฟ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง พร้อมกันนี้ควรติดตั้งฟิวส์เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วด้วย

2.2.11 การเลือกชนิดและขนาดสายไฟ

การเลือกชนิดและขนาดสายไฟ มีหลักในการพิจารณาดังต่อไปนี้ คือ อย่าใช้สายไฟที่ยาวเกินความต้องการใช้งานที่แท้จริง ค่าสูงสุดของแรงดันตกในสายไฟของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 12 โวลต์ ไม่ควรเกิน 0.5 โวลต์ และระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 24 โวลต์ ไม่ควรเกิน 1 โวลต์

ใช้ชนิดของสายไฟให้เหมาะสมกับการใช้งาน

- สายไฟที่ใช้งานแบบฝังดิน ต้องมีฉนวนที่ได้รับการออกแบบให้ทนต่อเชื้อราและความชื้นภายใต้ผิวดิน
- สายไฟที่ใช้งานกลางแจ้ง ต้องมีฉนวนที่ได้รับการออกแบบให้สามารถตากแดดตากฝนและทนต่ออุณหภูมิสูง หรือควรติดตั้งในรางสายไฟ
- สายไฟที่ใช้งานภายในบ้านหรืออาคาร ห้ามนำไปใช้งานผิดประเภทเป็นอันตราย เช่น นำไปใช้งานภายนอกหรือฝังดิน ฯลฯ

หมายเหตุ:

1. สายไฟที่ใช้ในการจ่ายกำลัง (วัตต์) ที่เท่ากัน ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 24 โวลต์ ต้องใช้สายไฟที่มีขนาด $\frac{1}{4}$ ของขนาด (มม²) สายไฟที่ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 12 โวลต์
2. การจ่ายกระแสปริมาณที่เท่ากันโดยไม่ให้เกิดแรงดันตกเพิ่มขึ้น ถ้าสายไฟมีความยาวเป็น 2 เท่า ต้องเพิ่มขนาด (มม²) ให้ใหญ่เป็น 2 เท่าด้วย
3. อย่าใช้สายไฟที่เล็กกว่า 2.5 มม² หรือ 12 AWG* ในการต่อสายไฟของระบบเซลล์แสงอาทิตย์
4. อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีมอเตอร์ไฟฟ้า (เช่น ตู้เย็น, เครื่องซักผ้าและเครื่องสูบน้ำ ฯลฯ ยกเว้นพัดลม) ต้องใช้สายไฟที่สามารถจ่ายกระแสอย่างน้อยที่สุดเป็น 2 เท่าของกระแสที่ต้องการในภาวะปกติ เพราะมอเตอร์ไฟฟ้าต้องการกระแสเพิ่มขึ้นในตอนเริ่มเดินเครื่อง

2.2.12 การเลือกขนาดสายไฟฟ้าที่เหมาะสม

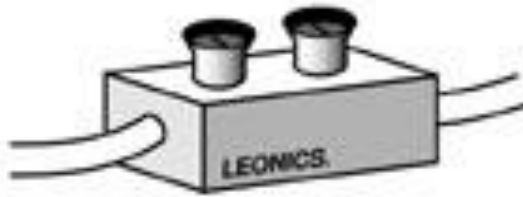
การกำหนดขนาดสายไฟที่เหมาะสมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นต้องใช้ตารางแสดงข้อมูลสำหรับการต่อสายไฟต่างๆ ของระบบ 12 โวลต์และ 24 โวลต์ ก่อนการใช้ตารางคุณจะต้องรู้ข้อมูลใน

การคำนวณขนาดสายไฟดังนี้ แรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์, ความยาวของสายไฟตลอดทั้งเส้น และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สูงสุดที่ต้องไหลไปตามสายไฟ ทั้งนี้คุณจะได้เลือกตารางที่ตรงกับความต้องการ ซึ่งจะนำเสนอรายละเอียดของตารางและตัวอย่างการคำนวณในตอนต่อไป

2.2.13 การต่อเชื่อมและเดินสายไฟฟ้า

การต่อสายไฟในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ควรทำเป็นอย่าง เพราะแรงดันไฟฟ้าที่นำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าให้ไหลไปตามสายไฟนั้นต่ำมาก ๆ วิธีที่ควรใช้ต่อสายไฟ คือ ใช้คอนเนกเตอร์แบบสกรู (Screw Connector) ช่วยให้ทำความสะอาดได้ง่ายและไม่ควรละเลยการตรวจเช็คสกรูและขันให้แน่นอยู่เสมอ การเดินสายไฟส่วนต่างๆ ของระบบควรติดตั้งในรางสายไฟ ข้อต่อแบตเตอรี่เป็นทางผ่านของพลังงานที่เข้าและออกแบตเตอรี่ทั้งสิ้น จึงควรใช้สกรูในการต่อเชื่อมและนำสกรูร้อยเข้าที่ขั้วแบตเตอรี่ อย่างนำสายไฟต่อโดยตรงกับขั้วแบตเตอรี่ จะเป็นการดีหากใช้คอนเนกเตอร์แบบสกรู

นอกจากนี้แล้ว คอนเนกเตอร์แบบสกรูยังเป็นตัวเชื่อมที่ดีสำหรับการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์อีกด้วย รวมถึงควรหมั่นเช็คเพื่อให้สกรูแน่นอยู่เสมอ ที่ขอเน้นย้ำ คือ ต้องทำความสะอาดและขันจุดต่อเชื่อมต่างๆ อย่างต่อเนื่อง ควรทำให้ได้อย่างน้อยที่สุดปีละ 1 ครั้ง เพราะหากเกิดรอยร้าวจะได้สูญเสียอย่างน้อยที่สุด



รูปที่ 2.13 คอนเนกเตอร์แบบสกรู ตัวเชื่อมที่ดีสำหรับการต่อสายไฟในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

หมายเหตุ

AWG (American Wire Gauge) สามารถแปลงเป็นหน่วย มม² ได้ดังนี้

4 AWG = 21.1 มม ²	10AWG = 5.28 มม ²	16AWG = 1.32 มม ²
6 AWG = 13.4 มม ²	12AWG = 3.32 มม ²	
8 AWG = 8.41 มม ²	14AWG = 2.09 มม ²	

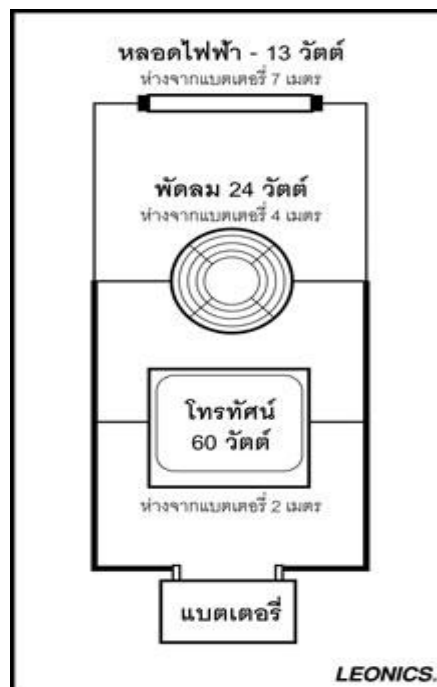
2.2.14 ข้อมูลขนาดสายไฟสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวอย่างตารางที่แสดงอยู่ในบทความนี้เป็นข้อมูลขนาดสายไฟที่แท้จริงเพื่อใช้ในการกำหนดขนาดสายไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือการต่อไปยังแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 12 โวลต์และ 24 โวลต์ ที่มีแรงดันตกไม่เกิน 0.5 โวลต์และ 1 โวลต์ตามลำดับ สามารถนำไปใช้ในการเลือกขนาดสายไฟทั้งที่เป็นการต่อสายไฟจากแผงไปยังแบตเตอรี่หรือการต่อสายไฟจากแบตเตอรี่ไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า (ไม่ว่าจะขึ้นเดียวหรือหลายชิ้นก็ตาม) ก่อนการใช้ตาราง ต้องทราบค่าแรงดันของระบบ

เซลล์แสงอาทิตย์, ความยาวของสายไฟตลอดทั้งเส้นและปริมาณกระแสมากที่สุดที่ต้องไหลในสายไฟ ค่าเหล่านี้จะทำให้เลือกใช้ตารางได้อย่างถูกต้อง การใช้ตาราง คุณยังจะต้องทราบค่ากระแส (แอมแปร์) หรือกำลัง (วัตต์) ด้วย จากนั้นวัดระยะของสายไฟตลอดทั้งเส้นที่ต้องใช้ (อาจประมาณค่าให้ใกล้เคียงก็ได้) แล้วจึงหาค่าจากตารางโดยดูค่าตามแนวขวางของแถวที่แสดงกำลังหรือกระแส ไล่ไปตามคอลัมน์ที่มีความยาวสายไฟจนถึงค่าที่ต้องการ เพียงเท่านี้คุณก็จะได้ค่าขนาดสายไฟที่แท้จริง หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (มม²)



รูปที่ 2.14 การต่อสายให้กับโหลด



รูปที่ 2.15 รูปตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 1

มีอุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ชิ้นต่อไปยังแบตเตอรี่ 12 โวลต์ (ดังรูป) โทรทัศน์ 60 วัตต์ ห่างจากแบตเตอรี่ 2 เมตร, พัดลม 24 วัตต์ ห่างจากแบตเตอรี่ 4 เมตรและหลอดไฟฟ้า 13 วัตต์ ห่างจากแบตเตอรี่ 7 เมตร

วิธีคำนวณ

ทราบว่าแรงดันของระบบคือ 12 โวลต์ จึงใช้ตารางแสดงข้อมูลสายไฟ 12 โวลต์เพื่อหาขนาดสายไฟที่ต้องใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชิ้น

โทรทัศน์ ต้องการกำลัง 60 วัตต์ อยู่ห่างจากเบตเตอร์ 2 เมตร เพราะฉะนั้นขนาดสายไฟที่ใช้ = 0.8 มม.^2

พัดลม ต้องการกำลัง 24 วัตต์ อยู่ห่างจากเบตเตอร์ 4 เมตร เพราะฉะนั้นขนาดสายไฟที่ใช้ = 0.64 มม.^2

หลอดไฟฟ้า ต้องการกำลัง 13 วัตต์ อยู่ห่างจากเบตเตอร์ 7 เมตร ขนาดสายไฟที่ใช้ = 0.61 มม.^2

รวมขนาดสายไฟต่างๆ เป็นค่าเดียว โดยสามารถแบ่งวงจรเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. สายไฟจากเบตเตอร์ไปยังโทรทัศน์ จะต้องมีความใหญ่พอที่จะส่งกำลังให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 3 ชิ้น ขนาดสายไฟที่ใช้ = $0.8 + 0.64 + 0.61 = 2.05 \text{ มม.}^2$
2. สายไฟจากโทรทัศน์ไปยังพัดลม ซึ่งต้องส่งกำลังให้กับพัดลมและหลอดไฟฟ้า ขนาดสายไฟที่ใช้ = $0.64 + 0.61 = 1.25 \text{ มม.}^2$
3. สายไฟจากพัดลมไปยังหลอดไฟฟ้า เพียงส่งกำลังให้กับหลอดไฟฟ้าเท่านั้น ขนาดสายไฟที่ใช้ = 0.61 มม.^2

การแยกคำนวณเช่นนี้เพื่อตรวจสอบขนาดสายไฟที่ต่างกันและเลือกใช้สายไฟขนาดใหญ่ที่สุดจากการคำนวณ ดังนั้น ขนาดสายไฟเล็กที่สุดที่จะนำไปใช้เป็น 2.05 มม.^2 แต่อาจใช้สายไฟขนาดใหญ่ขึ้นได้ (แนะนำ ให้ใช้สายไฟขนาดไม่ต่ำกว่า 2.5 มม.^2 ตามหลักการ

ตัวอย่างที่ 2

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 24 โวลต์ ใช้แผงขนาด 42 วัตต์สูงสุด จำนวน 14 แผงในการผลิตไฟฟ้าต่อสายไฟไปยังเบตเตอร์ที่อยู่ห่าง 12 เมตร ให้ใช้สายไฟขนาด 2.5 มม.^2 ที่มีอยู่

วิธีคำนวณ

ทราบว่าแรงดันของระบบเป็น 24 โวลต์ จึงใช้ตารางแสดงข้อมูลสายไฟ 24 โวลต์ในกาคำนวณผลรวมของวัตต์สูงสุด = $14 \times 42 = 588 \text{ วัตต์สูงสุด}$

การต่อแผงไปยังเบตเตอร์ ตารางฯ ที่กำลัง (วัตต์) 600 วัตต์และระยะสายไฟ 12 เมตร ขนาดสายไฟที่แท้จริงเป็น 12 มม.^2 ต้องใช้สายไฟขนาด 2.5 มม.^2 จำนวน 5 เส้น นำมารวมกันให้ได้ขนาดสายไฟที่ระบบต้องการ เพราะฉะนั้นผลรวมเป็น $2.5 \times 5 = 12.5 \text{ มม.}^2$

การต่อแผง แผงทั้งหมด 14 แผง ให้นำแผง 7 คู่วางเรียงเป็นแถว และใช้สายไฟขนาด 2.5 มม.^2 1 เส้นต่อแผง 1 คู่ เพราะฉะนั้นผลรวมขนาดสายไฟเป็น $2.5 \times 7 = 16.5 \text{ มม.}^2$ และมีค่าแรงดันตกต่ำมาก

ตารางที่ 2.1 ขนาดสายไฟที่แท้จริงสำหรับระบบ 12 โวลต์

กำลัง (W)	กระแส (A)	ระยะระหว่างแบตเตอรี่กับเครื่องใช้ไฟฟ้า (เมตร)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ขนาดสายไฟที่แท้จริง (ตารางมิลลิเมตร) ที่ต้องใช้สำหรับแรงดันตกไม่เกิน 0.5 โวลต์														
10	0.8	0.07	0.13	0.20	0.27	0.33	0.40	0.47	0.53	0.60	0.67	0.73	0.80	0.87	0.93	1.00
12	1.0	0.08	0.16	0.24	0.32	0.40	0.48	0.56	0.64	0.72	0.80	0.88	0.96	1.04	1.12	1.20
13	1.1	0.09	0.17	0.26	0.35	0.43	0.52	0.61	0.69	0.78	0.87	0.95	1.04	1.13	1.21	1.30
15	1.3	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50
20	1.7	0.13	0.27	0.40	0.53	0.67	0.80	0.93	1.07	1.20	1.33	1.47	1.60	1.73	1.87	2.00
24	2.0	0.16	0.32	0.48	0.64	0.80	0.96	1.12	1.28	1.44	1.60	1.76	1.92	2.08	2.24	2.40
28	2.3	0.19	0.37	0.56	0.75	0.93	1.12	1.31	1.49	1.68	1.87	2.05	2.24	2.43	2.61	2.80
30	2.5	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00
34	2.8	0.23	0.45	0.68	0.91	1.13	1.36	1.59	1.81	2.04	2.27	2.49	2.72	2.95	3.17	3.40
40	3.3	0.27	0.53	0.80	1.07	1.33	1.60	1.87	2.13	2.40	2.67	2.93	3.20	3.47	3.73	4.00
45	3.8	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	2.10	2.40	2.70	3.00	3.30	3.60	3.90	4.20	4.50
50	4.2	0.33	0.67	1.00	1.33	1.67	2.00	2.33	2.67	3.00	3.33	3.67	4.00	4.33	4.67	5.00
55	4.6	0.37	0.73	1.10	1.47	1.83	2.20	2.57	2.93	3.30	3.67	4.03	4.40	4.77	5.13	5.50
60	5.0	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00	4.40	4.80	5.20	5.60	6.00
65	5.4	0.43	0.87	1.30	1.73	2.17	2.60	3.03	3.47	3.90	4.33	4.77	5.20	5.63	6.07	6.50
70	5.8	0.47	0.93	1.40	1.87	2.33	2.80	3.27	3.73	4.20	4.67	5.13	5.60	6.07	6.53	7.00
75	6.3	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50
80	6.7	0.53	1.07	1.60	2.13	2.67	3.20	3.73	4.27	4.80	5.33	5.87	6.40	6.93	7.47	8.00
85	7.1	0.57	1.13	1.70	2.27	2.83	3.40	3.97	4.53	5.10	5.67	6.23	6.80	7.37	7.93	8.50
90	7.5	0.60	1.20	1.80	2.40	3.00	3.60	4.20	4.80	5.40	6.00	6.60	7.20	7.80	8.40	9.00
100	8.3	0.67	1.33	2.00	2.67	3.33	4.00	4.67	5.33	6.00	6.67	7.33	8.00	8.67	9.33	10.00
110	9.2	0.73	1.47	2.20	2.93	3.67	4.40	5.13	5.87	6.60	7.33	8.07	8.80	9.53	10.27	11.00
120	10.0	0.80	1.60	2.40	3.20	4.00	4.80	5.60	6.40	7.20	8.00	8.80	9.60	10.40	11.20	12.00
130	10.8	0.87	1.73	2.60	3.47	4.33	5.20	6.07	6.93	7.80	8.67	9.53	10.40	11.27	12.13	13.00
140	11.7	0.93	1.87	2.80	3.73	4.67	5.60	6.53	7.47	8.40	9.33	10.27	11.20	12.13	13.07	14.00
150	12.5	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00
200	16.7	1.33	2.67	4.00	5.33	6.67	8.00	9.33	10.67	12.00	13.33	14.67	16.00	17.33	18.67	20.00
300	25.0	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00	22.00	24.00	26.00	28.00	30.00

ตารางที่ 2.2 ขนาดสายไฟที่แท้จริงสำหรับระบบ 24 โวลต์

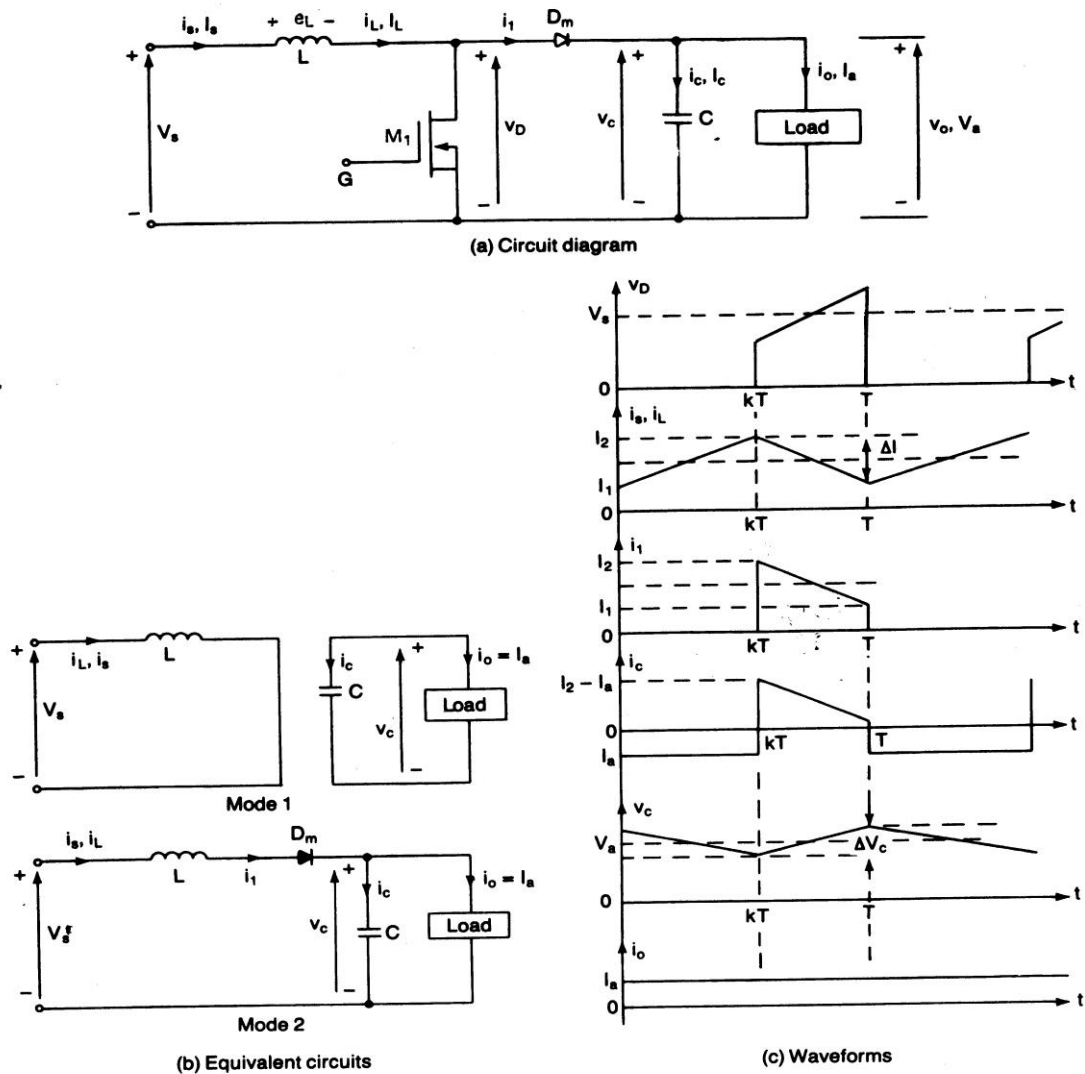
กำลัง (W)	กระแส (A)	ระยะระหว่างแบตเตอรี่กับเครื่องใช้ไฟฟ้า (เมตร)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ขนาดสายไฟที่แท้จริง (ตารางมิลลิเมตร) ที่ต้องใช้สำหรับแรงดันตก 1 โวลต์														
10	0.4	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.18	0.20	0.22	0.23	0.25
20	0.8	0.03	0.07	0.10	0.13	0.17	0.20	0.23	0.27	0.30	0.33	0.37	0.40	0.43	0.47	0.50
40	1.7	0.07	0.13	0.20	0.27	0.33	0.40	0.47	0.53	0.60	0.67	0.73	0.80	0.87	0.93	1.00
60	2.5	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50
80	3.3	0.13	0.27	0.40	0.53	0.67	0.80	0.93	1.07	1.20	1.33	1.47	1.60	1.73	1.87	2.00
100	4.2	0.17	0.33	0.50	0.67	0.83	1.00	1.17	1.33	1.50	1.67	1.83	2.00	2.17	2.33	2.50
120	5.0	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00
140	5.8	0.23	0.47	0.70	0.93	1.17	1.40	1.63	1.87	2.10	2.33	2.57	2.80	3.03	3.27	3.50
160	6.7	0.27	0.53	0.80	1.07	1.33	1.60	1.87	2.13	2.40	2.67	2.93	3.20	3.47	3.73	4.00
180	7.5	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	2.10	2.40	2.70	3.00	3.30	3.60	3.90	4.20	4.50
200	8.3	0.33	0.67	1.00	1.33	1.67	2.00	2.33	2.67	3.00	3.33	3.67	4.00	4.33	4.67	5.00
240	10.0	0.40	0.80	1.20	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00	4.40	4.80	5.20	5.60	6.00
280	11.7	0.47	0.93	1.40	1.87	2.33	2.80	3.27	3.73	4.20	4.67	5.13	5.60	6.07	6.53	7.00
300	12.5	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	7.50
350	14.6	0.58	1.17	1.75	2.33	2.92	3.50	4.08	4.67	5.25	5.83	6.42	7.00	7.58	8.17	8.75
400	16.7	0.67	1.33	2.00	2.67	3.33	4.00	4.67	5.33	6.00	6.67	7.33	8.00	8.67	9.33	10.00
450	18.8	0.75	1.50	2.25	3.00	3.75	4.50	5.25	6.00	6.75	7.50	8.25	9.00	9.75	10.5	11.25
500	20.8	0.83	1.67	2.50	3.33	4.17	5.00	5.83	6.67	7.50	8.33	9.17	10.0	10.8	11.6	12.50
550	22.9	0.92	1.83	2.75	3.67	4.58	5.50	6.42	7.33	8.25	9.17	10.0	11.0	11.9	12.8	13.75
600	25.0	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.00
650	27.1	1.08	2.17	3.25	4.33	5.42	6.50	7.58	8.67	9.75	10.8	11.9	13.0	14.0	15.1	16.25
700	29.2	1.17	2.33	3.50	4.67	5.83	7.00	8.17	9.33	10.5	11.6	12.8	14.0	15.1	16.3	17.50
750	31.3	1.25	2.50	3.75	5.00	6.25	7.50	8.75	10.0	11.2	12.5	13.7	15.0	16.2	17.5	18.75
800	33.3	1.33	2.67	4.00	5.33	6.67	8.00	9.33	10.6	12.0	13.3	14.6	16.0	17.3	18.6	20.00

หมายเหตุ:

อย่าลืมว่า ถ้ามีการต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้อุปกรณ์ในระบบ ควรเพิ่มขนาดสายไฟเป็น 2 เท่าของค่าจากตาราง

2.3 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)

วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ เป็นวงจรที่มีแรงดันเอาต์พุตสูงกว่าแรงดันอินพุต โดยมีลักษณะวงจรดังรูปที่ 2.16 ซึ่งจากรูปที่ 2.16 เป็นวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ Power MOSFET เป็นอุปกรณ์สวิตช์การทำงานของวงจรสามารถแบ่งเป็น 2 โหมดการทำงานดังรูปที่ 2.16 โดยมีรายละเอียดการทำงานแต่ละโหมดดังนี้



รูปที่ 2.16 วงจรบัสท์คอนเวอร์เตอร์ที่กระแส i_L ไหลอย่างต่อเนื่อง

โหมดการทำงานที่ 1

เริ่มต้นเมื่อ Power MOSFET M1-On ทำงาน ณ. เวลา $t=0$ กระแสอินพุทไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L และ Power MOSFET M1

โหมดการทำงานที่ 2

เริ่มต้นเมื่อ Power MOSFET M1-Off ณ. เวลา $t=t_1$ กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L , ไดโอด D_m , ตัวเก็บประจุ C , และโหลด กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L จะตกลงเมื่อ Power MOSFET M1-On อีกครั้งหนึ่งในไซเคิลถัดไปของการทำงาน พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำ L จะถูกส่งผ่านไปยังโหลด วงจรสมมูลของการทำงานทั้ง 2 โหมด แสดงได้ดังรูปที่ 2.16 (b) ลักษณะรูปคลื่นของแรงดันและกระแส แสดงได้ดังรูปที่ 2.16 (c) ซึ่งลักษณะกระแสไหลต่อเนื่องและกระแสไหลอย่างเป็นเชิงเส้น

กำหนดให้กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นจาก I_1 ไปยัง I_2 ในเวลา t_1 ดังนั้น

$$V_s = L \frac{I_2 - I_1}{t_1} = L \frac{\Delta I}{t_1} \quad 2.1$$

หรือ

$$t_1 = \frac{\Delta I L}{V_s} \quad 2.2$$

และกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ L ลดลงอย่างเป็นเชิงเส้นจาก I_2 ไปยัง I_1 ในเวลา t_2

$$V_s - V_a = -L \frac{\Delta I}{t_2} \quad 2.3$$

$$t_2 = \frac{\Delta I L}{V_a - V_s} \quad 2.4$$

โดยที่ $\Delta I = I_2 - I_1$ เป็นค่า peak-to-peak ของกระแสรีปเปิลของตัวเหนี่ยวนำ L จากสมการที่ 2.1 และ 2.3

$$\Delta I = \frac{V_s t_1}{L} = \frac{(V_a - V_s) t_2}{L} \quad 2.5$$

แทนค่า $t_1 = kT$ และ $t_2 = (1-k)T$ จะได้ค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยเท่ากับ

$$V_a = V_s \frac{T}{t_2} = \frac{V_s}{1-k} \quad 2.6$$

ซึ่งจะได้

$$(1-k) = \frac{V_s}{V_a} \quad 2.7$$

แทนค่า $k = t_1/T = t_1 f$ ลงในสมการที่ 2.7 จะได้

$$t_1 = \frac{V_a - V_s}{V_a f} \quad 2.8$$

สมมติให้ไม่มีการสูญเสียในวงจร, $V_s I_s = V_a I_a = V_s I_a / (1-k)$ และกระแสอินพุตเฉลี่ยมีค่า

$$I_s = \frac{I_a}{1-k} \quad 2.9$$

คาบเวลาในการสวิตช์สามารถหาได้จาก

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I L}{V_s} + \frac{\Delta I L}{V_a - V_s} = \frac{\Delta I L V_a}{V_s (V_a - V_s)} \quad 2.10$$

และค่า peak-to-peak ของกระแสรีปเปิล

$$\Delta I = \frac{V_s (V_a - V_s)}{f L V_a} \quad 2.11$$

หรือ

$$\Delta I = \frac{V_s k}{f L} \quad 2.12$$

เมื่อ Power MOSFET M1-On, ตัวเก็บประจุทำการจ่ายกระแสไหลคในเวลา $t = t_1$ ค่ากระแสตัวเก็บประจุเฉลี่ยระหว่างเวลา t_1 คือ $I_c = I_a$ และค่า peak-to-peak ของแรงดันรีปเปิลของตัวเก็บประจุ คือ

$$\Delta V_c = v_c - v_c(t=0) = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_c dt = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_a = \frac{I_a t_1}{C} \quad 2.13$$

แทนค่า $t_1 = (V_a - V_s)/(V_a f)$ จากสมการที่ 2.8 จะได้

$$\Delta V_c = \frac{I_a (V_a - V_s)}{V_a f C} \quad 2.14$$

หรือ

$$\Delta V_c = \frac{I_a k}{f C} \quad 2.15$$

สถานะของแรงดันที่ตัวเก็บประจุและกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำต่อเนื่อง

ถ้ากระแส I_L เป็นค่ากระแสที่ตัวเหนี่ยวนำเฉลี่ย ดังนั้นกระแสรีปเปิลที่ตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ

$$\Delta I = 2I_L$$

จากสมการที่ 2.6 และ 2.12 จะได้ว่า

$$\frac{kV_s}{fL} = 2I_L = 2I_a = \frac{2V_s}{(1-k)R} \quad 2.16$$

ซึ่งให้ค่าวิกฤติของตัวเหนี่ยวนำ L_c เป็น

$$L_c = L = \frac{k(1-k)R}{2f} \quad 2.17$$

ถ้า V_c เป็นค่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุเฉลี่ย ดังนั้น ค่าแรงดันรีปเปิลที่ตัวเก็บประจุ $\Delta V_c = 2V_a$ ใช้สมการที่ 2.16 จะได้

$$\frac{I_a k}{Cf} = 2V_a = 2I_a R \quad 2.18$$

ซึ่งจะให้ค่าวิกฤติของตัวเก็บประจุ C_c เป็น

$$C_c = C = \frac{k}{2fR} \quad 2.19$$

วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ สามารถให้แรงดันเอาต์พุตสูงขึ้นโดยไม่ต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากใช้ Power MOSFET เพียงหนึ่งตัวจึงทำให้ประสิทธิภาพสูง กระแสอินพุทไหลอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามค่ากระแสที่ค่าฟิสิกสูงจะไหลผ่านตัว Power MOSFET แรงดันเอาต์พุตจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคิวตี้ไซเคิล k และอาจจะยากต่อการคงค่าให้เสถียร กระแสเอาต์พุตเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่าค่ากระแสที่ตัวเหนี่ยวนำเพราะค่าแฟกเตอร์ $(1-k)$ และค่ากระแสอาร์เอ็มเอสที่สูงกว่าจะไหลผ่านตัวเก็บประจุที่เป็นตัวกรองเป็นผลให้ต้องใช้ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำในวงจรที่มีขนาดใหญ่ขึ้น