

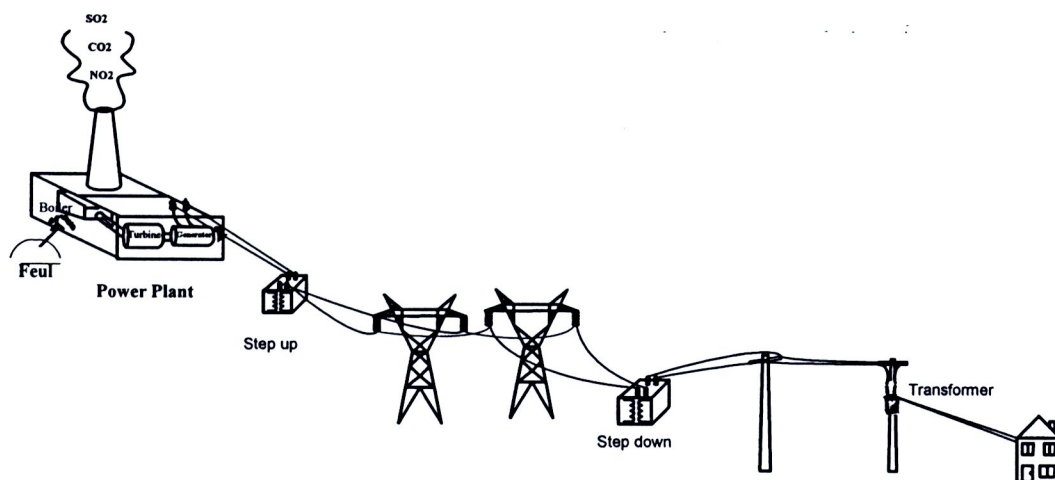
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการมีส่วนในกระแสฟอลท์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายนั้น มีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องหลายส่วน ประกอบด้วยระบบผลิตไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ฟอลท์ในระบบไฟฟ้า และมาตรฐานของระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อย ทุกระบบจะต้องทำงานสอดคล้องกันเพื่อที่จะทำให้การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายสามารถจ่ายไฟฟ้าได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและระบบจำหน่ายมีความน่าเชื่อถือ

2.1 ระบบผลิตไฟฟ้า

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันประกอบไปด้วย แหล่งผลิตไฟฟ้า (Electrical Generation) ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง (Transmission) และระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution) ซึ่งแหล่งผลิตไฟฟ้าส่วนมากยังเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีผู้ผลิตจำนวนไม่มากและใช้พลังงานจากได้พื้นที่พิภพเป็นส่วนใหญ่ นั่นคือเชื้อเพลิงจากฟอสซิล การนำเชื้อเพลิงชนิดนี้มาใช้โดยการเผาไหม้ซึ่งจะทำให้คาร์บอนและไฮโดรเจนที่อยู่ในเชื้อเพลิงรวมกับออกซิเจนในอากาศเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ นอกจากนี้ยังมีสารอื่นๆ อันเป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตที่เจือปนอยู่ในเชื้อเพลิงอีก เช่น ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน ก็จะถูกปลดปล่อยออกมาเป็นแก๊สซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_2) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ตัวอย่างระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าที่มีแหล่งกำเนิดพลังงานที่ผลิตและป้อนระบบเพียงแหล่งเดียวและใช้พลังงานจากฟอสซิลเป็นหลัก โดยระบบผลิตไฟฟ้าหลักจะแสดงในรูปที่ 2.1 จากรูป 2.1 แสดงถึงระบบผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันประกอบไปด้วยแหล่งผลิตไฟฟ้า ซึ่งในรูปนี้กำหนดให้เป็นโรงต้นกำลังผลิตไฟฟ้าด้วยถ่านหิน เมื่อผลิตไฟฟ้าได้จะส่งเข้าระบบส่งจ่ายไฟฟ้า โดยการแปลงไฟฟ้าแรงดันต่ำให้เป็นไฟฟ้าแรงดันสูงเข้าระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง และเมื่อจะจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่ายต้องมีหม้อแปลงไฟฟ้าลดระดับแรงดันไฟฟ้าเหมาะสมเพื่อต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อใช้ตามบ้านเรือนต่อไป หากมีฟอลท์ในระบบผลิตหรือจำหน่ายไฟฟ้าแล้วจะเกิดไฟฟ้าดับในบริเวณกว้าง (เฉพาะรูปนี้) ซึ่งในความเป็นจริงแล้วระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าต่างๆ ได้วางระบบป้องกันการเกิดฟอลท์ไว้อย่างดี แต่ระบบมีขนาดใหญ่ราคาแพงระยะทางจากแหล่งผลิตไฟฟ้าถึงผู้ใช้ไฟฟ้ามีระยะทางที่ไกลการขยายเขตการให้บริการเป็นไปได้แต่ต้นทุนสูงทำให้

บางพื้นที่ขาดแคลนไฟฟ้า จากการขาดแคลนไฟฟ้าทำให้การพัฒนาประเทศเป็นไปอย่างช้าและเหลื่อมล้ำกันในบางพื้นที่ทำให้ประชาชนผู้ใช้บริการเดือดร้อนจากการไม่มีไฟฟ้าใช้



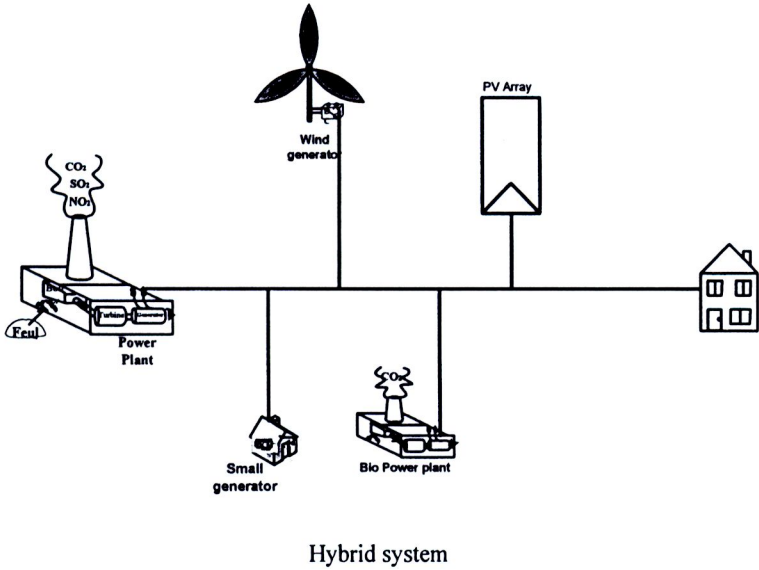
รูป 2.1 ระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าในปัจจุบัน

2.2 ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อย (Distributed Generation System: DG)

การแก้ไขปัญหาการขยายเขตพื้นที่การให้บริการไฟฟ้าที่มีต้นทุนสูง มีราคาแพงและลดการเกิดก๊าซพิษที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากฟอสซิลก็คือการสนับสนุนให้เกิดผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อยเพื่อให้เกิดการผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดกลางขนาดเล็กเพื่อผลิตไฟฟ้าให้ไปถึงมือผู้บริโภคอย่างทั่วถึงโดยนำพลังงานทดแทนมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า เพื่อลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลและสอดคล้องกับการลดภาวะโลกร้อนซึ่งเราเรียกระบบผลิตไฟฟ้านี้ว่าระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อย ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าที่อยู่ใกล้กับบริเวณของผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งอาจจะเชื่อมโยงเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าหรือไม่ก็ได้ [1] แต่เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยจึงควรเชื่อมโยงเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าซึ่งจะทำให้ระบบผลิตไฟฟ้านั้นสามารถส่งไฟฟ้าเข้าระบบได้เมื่อมีไฟฟ้าเหลือใช้และสามารถดึงไฟฟ้าจากระบบมาใช้เมื่อความต้องการมากกว่าที่ผลิตได้ โดยปกติระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยจะมีขนาดเล็กแต่ก็ไม่มีข้อจำกัดชัดเจนว่าต้องมีขนาดเท่าใด อาจมีขนาดเป็น กิโลวัตต์ (kW) จนถึงหลายเมกกะวัตต์ (MW) ก็ได้ซึ่งในแต่ละมาตรฐานได้กำหนดขนาดของระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยไว้ดังนี้ มาตรฐาน IEEE-1547 กำหนดให้ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยมีขนาดน้อยกว่า 10 เมกกะวัตต์ ลงมา US Department of Energy (US DOE) ได้ให้ความหมายว่า ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อย หมายถึง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดน้อยกว่า 50 เมกกะวัตต์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดไม่กี่โลวัตต์ จนถึง 50 เมกกะวัตต์ EPRI (Electric Power Research Institute) ได้ให้ความหมายว่า ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อย

หมายถึง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (1kW-50MW) และหรือเครื่องสะสมพลังงานที่อยู่ใกล้ผู้ใช้ไฟฟ้า ในประเทศอังกฤษและเวลส์ได้ให้ความหมายของระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยว่า โรงคั่นกำลังที่สามารถจ่ายพลังงานได้ 100 เมกกะวัตต์ The International council on large Electric system (CIGRE) ให้ความหมายว่า ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อย คือหน่วยกำเนิดพลังงานที่ไม่ได้เป็นกลุ่ม ต่ออยู่กับระบบจำหน่ายและมีขนาดน้อยกว่า 100 เมกกะวัตต์

ในประเทศไทยระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยมีขนาดตามผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อยขึ้นอยู่กับประเภทของผู้ประกอบการ ผู้ประกอบการประเภท IPP (Independent Power Producer) มีขนาดมากกว่า 90 เมกกะวัตต์ ผู้ประกอบการประเภท SPP (Small power producer) ผลิตไฟฟ้ามากกว่า 10 เมกกะวัตต์ แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 90 เมกกะวัตต์ และผู้ประกอบการประเภท VSPP (Very small power producer) มีกำลังผลิตไฟฟ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 เมกกะวัตต์



รูปที่ 2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน

จากรูปที่ 2.2 แสดงถึงระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าประกอบไปด้วยแหล่งผลิตไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่ ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาจากหลายแห่ง หลายชนิด เช่น พลังงานลม พลังงานจากแสงอาทิตย์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ได้พลังงานมาจากพืชพลังงาน และจากแหล่งอื่นๆ จากที่กล่าวมาแล้วระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยจะต่อกับ

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าหรือไม่ก็ได้ แต่เพื่อให้เกิดประโยชน์กับผู้ใช้งานจึงควรที่จะต้องขนานกับระบบจำหน่ายเพื่อที่จะนำพลังงานไฟฟ้าที่เหลือใช้จำหน่ายคืนให้กับระบบ ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดค่าใช้จ่ายในการขยายเขตการให้บริการไฟฟ้าให้ทั่วถึงในทุกพื้นที่

2.3 เทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อย (DG Technologies)

ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยเป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กมีกำลังการผลิตน้อยย่อมสามารถหาแหล่งเชื้อเพลิง หรือแหล่งพลังงานสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าได้ง่ายซึ่งหาได้ตามท้องถิ่น สามารถปรับแหล่งพลังงานได้ด้วยความเหมาะสมซึ่งมีด้วยกันหลายชนิดประเภท เช่น การใช้พลังงานน้ำจากเขื่อนขนาดเล็กมาผลิตกระแสไฟฟ้า การใช้ก๊าซจากมูลสัตว์มาผลิตไฟฟ้า การนำพืชพลังงานมาผลิตไฟฟ้า การนำพลังงานลมมาผลิตไฟฟ้า การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เป็นต้น แหล่งพลังงานที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ล้วนเป็นพลังงานทดแทนหรือเป็นพลังงานจากธรรมชาติ

2.3.1 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ (Hydro Power Plant)

หลักการผลิตกระแสไฟฟ้าคือ จะใช้แรงดันน้ำที่กักเก็บในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) มาดันให้กังหันน้ำ (Turbine) หมุนโดยกังหันน้ำซึ่งเป็นตัวดันกำลังต่อเชื่อมกับส่วนที่หมุน (Rotor) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ด้วยแกน shaft ในแนวตั้ง ทำให้ Rotor หมุนตามด้วยความเร็วรอบที่เท่ากัน กับ Turbine เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรง (Excite) เพื่อกระตุ้นให้ขดลวดของโรเตอร์ (rotor winding) จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่ ขดลวดของโรเตอร์ เมื่อสนามแม่เหล็กหมุนตัดกับขดลวดที่อยู่กับที่ (Stator winding) แรงดันไฟฟ้าจะถูกสร้างขึ้นที่ขดลวดของสเตเตอร์ นี่เป็นหลักการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังน้ำขนาดใหญ่ที่มีอยู่ในประเทศไทย ส่วนพลังน้ำที่ใช้ขับเคลื่อนให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถใช้กับชุมชนห่างไกลจะใช้ชุดแม่เหล็กถาวรแทนในการสร้างสนามแม่เหล็กและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดเล็กสามารถติดตั้งไว้ตามลำธารเล็ก ๆ ที่มีน้ำไหลตลอดปีได้

2.3.2 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวล (Biomass)

ชีวมวลคือสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น แกลบได้จากการสีข้าวเปลือก ชานอ้อย ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย เศษไม้ ได้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนได้จากสวนป่าที่ปลูกไว้ กากปาล์ม ได้จากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออกจากผลปาล์มสด กากมันสำปะหลัง ได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ชังข้าวโพด ได้จากการสีข้าวโพดเพื่อนำเมล็ดออก กากและกะลามะพร้าวได้จากการนำมะพร้าวมาปอกเปลือกออกเพื่อนำเนื้อมะพร้าวไปผลิตกะทิและน้ำมันมะพร้าว ส่วนหลักได้จากการผลิตแอลกอฮอล์เป็น

ต้น โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล เป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน เชื้อเพลิงที่ใช้ไม่ใช่เชื้อเพลิงจากฟอสซิล แต่เป็นเชื้อเพลิงจากชีวมวล เช่น ไม้ฟืน แกลบ ชากพืช เป็นต้น



2.3.3 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม (Wind Turbine)

การจำแนกชนิดของกังหันลม จำแนกได้ 2 ประเภท ได้แก่ กังหันลมที่มีแกนหมุนในแนวราบ และ กังหันลมที่มีแกนหมุนในแนวตั้ง

2.3.3.1 กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine)

เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลม มีอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลม เรียกว่า หางเสือ และมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมพัดแรง เช่น ลมพายุและตั้งอยู่บนเสาที่แข็งแรง กังหันลมแบบแกนนอน ได้แก่ กังหันลมวินด์มิลล์ (Windmills) กังหันลมใบเลื่อยลำแพน นิยมใช้กับเครื่องสูบน้ำ กังหันลมแบบกังล้อจักรยาน กังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าแบบพรอปเพลเลอร์ (Propeller)

2.3.3.2 กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)

เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง

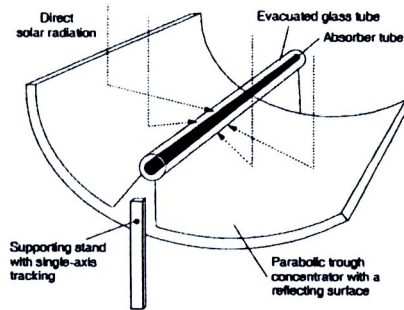
หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้นเมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุนและได้เป็นพลังงานกลออกมา พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหัน จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไป โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม

2.3.4 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

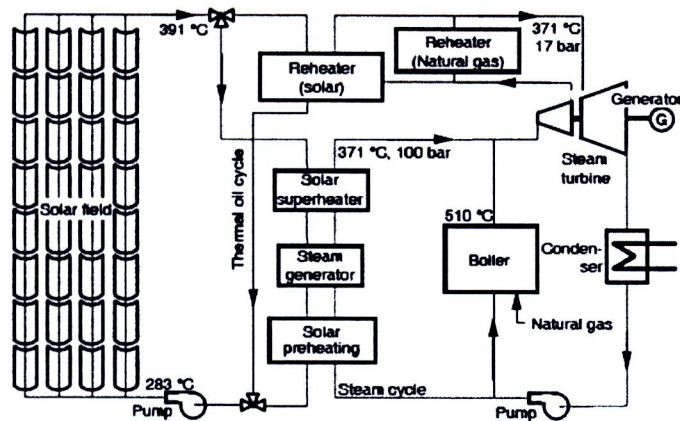
พลังงานแสงอาทิตย์มีประโยชน์มากมาย พลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาประยุกต์ใช้ผลิตไฟฟ้าจะใช้พลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาสะสมเพื่อต้มน้ำหรืออบอากาศให้มีความร้อน นำพลังงานความร้อนที่ได้ไปต้มน้ำ ต่อจากขบวนการนี้ก็เหมือนกับการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิล แต่แตกต่างกันตรงที่มาของเชื้อเพลิง ดังจะยกตัวอย่างพอสังเขปของเทคโนโลยีการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้า เช่นการผลิตไฟฟ้าจากการสะท้อนแสงในแนวโค้ง หลักการก็คือ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 25 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 247170
เลขเรียกหนังสือ

การสะท้อนแสงอาทิตย์ให้รวมแสงที่ท่อน้ำทำให้น้ำร้อนและส่งผ่านน้ำร้อนนี้ไปยังระบบการผลิตไฟฟ้าต่อไป รูปหลักการการทำให้น้ำร้อนดังแสดงในรูปที่ 2.3 และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยการสะท้อนแสงในแนวโค้งนี้แสดงในรูปที่ 2.4

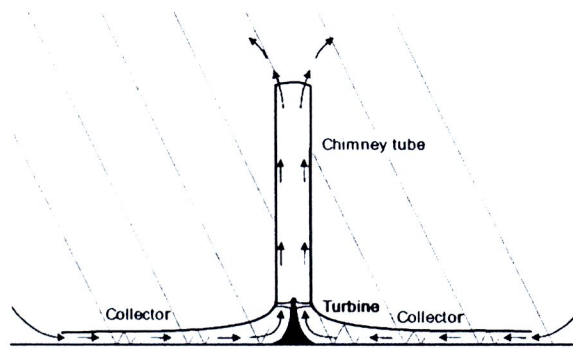


รูปที่ 2.3 โครงสร้างการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการให้ความร้อนกับน้ำในท่อโดยหลักการสะท้อนแสงแบบโค้ง [12]



รูปที่ 2.4 ระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นสะท้อน โค้ง [12]

นอกจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยน้ำร้อนที่ได้จากการรวมแสงด้วยแผ่นโค้งนี้ยังมีวิธีการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์อีกหลายแบบ ดังตัวอย่างต่อไปคือ การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยความร้อนจากการสะท้อนแสงไปกระทบกับปล่องขนาดใหญ่อาศัยหลักพลศาสตร์ การไหลของอากาศ กล่าวคือเมื่ออากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้นอากาศเย็นเคลื่อนเข้ามาแทนที่ การไหลของอากาศในปล่องนี้ทำให้ใบพัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ในปล่องอากาศหมุน กำเนิดพลังงานไฟฟ้าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

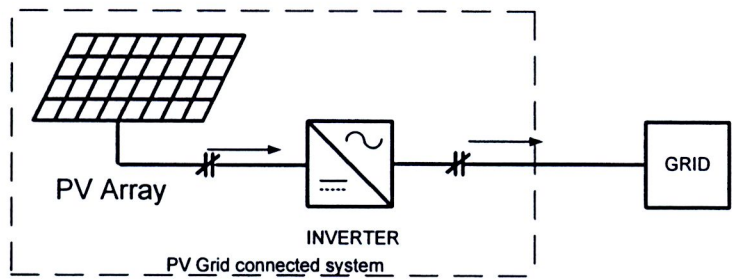


รูปที่ 2.5 การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการเคลื่อนตัวของอากาศ [12]

รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยอาศัยหลักพลศาสตร์ การเคลื่อนตัวของอากาศร้อนลอยขึ้น โดยฐานของปล่องอากาศนั้น จะติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงให้แสงกระทบกับปล่องทำให้อากาศในปล่องมีอุณหภูมิสูงขึ้น ที่ฐานของปล่องก็ทำให้อากาศที่ไหลเข้าไปในปล่องด้านล่างและลอยขึ้นสู่ด้านบนของปล่อง ความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าจากด้านล่างสู่ด้านบนสามารถขับเคลื่อนกังหันผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งในปล่องอากาศให้หมุนสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ นี่เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งที่มีการนำเทคโนโลยีความร้อนจากแสงอาทิตย์มาผลิตพลังงานไฟฟ้า และอีกตัวอย่างของการนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าคือเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

เทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยที่กล่าวมาข้างต้นนี้ล้วนมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน มีทั้งก่อให้เกิดผลกระทบทางเสียงเช่นกังหันลม ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เป็นต้น ข้อเสียอีกประการหนึ่งที่สำคัญที่ต้องพิจารณาการนำระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยมาใช้คือ เสถียรภาพของระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยที่ใช้พลังงานจากธรรมชาติ เพราะความแปรปรวนของธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้ เสถียรภาพของระบบจึงขึ้นอยู่กับธรรมชาติ ส่วนข้อดีของระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยคือการต่อขนานระบบจำหน่ายไฟฟ้าและสามารถลดเวลาการขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าได้ ลดต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าสร้างความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้มากยิ่งขึ้น

2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.6 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.6 แสดงระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย ระบบจะประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์สำหรับต่อกับระบบจำหน่ายและระบบจำหน่าย แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้อินเวอร์เตอร์ๆ จะแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อต่อเข้ากับระบบจำหน่าย

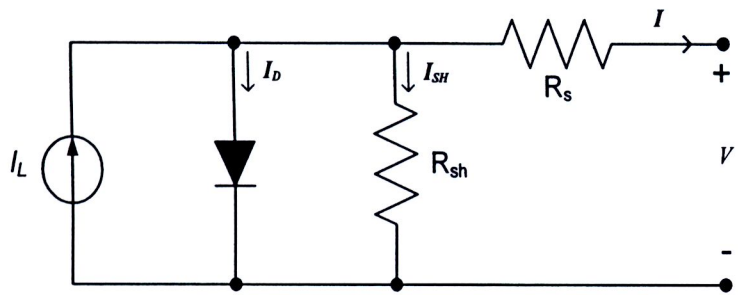
2.4.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าเมื่อได้รับแสงที่มีระดับความเข้มเหมาะสมต่อช่วงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์นั้น การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ต้องทราบคุณสมบัติทั่วไปทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งโดยทั่วไปจะแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

2.4.1.1 ลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ต้องทราบคุณสมบัติทั่วไปทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งโดยทั่วไปจะแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เริ่มต้นที่วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงรูปที่ 2.7 เป็นการต่อขนานระหว่างแหล่งกำเนิดแสง และไดโอด (รอยต่อพี-เอ็น) นอกจากนี้ต้องขนานกับความต้านทาน R_{sh} และต่ออนุกรมกับความต้านทานอนุกรม R_s ตามลำดับ จากการต่อวงจรสมมูลในรูปที่ 2.7 สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.1 นั่นคือผลลัพธ์ของกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เกิดมาจากกระแสที่ได้จากแหล่งพลังงานแสงหักลบด้วยกระแสที่ไหลผ่านไดโอดและกระแสที่ไหลผ่านความต้านทาน R_{sh} ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแต่ละส่วนต่างๆ ก็ทำให้เกิดค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละจุดขึ้นดังสมการที่ 2.2 นั่นคือ แรงดันไฟฟ้า ณ จุด

ใด ๆ เท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตบวกด้วยผลคูณระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานอนุกรม เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้ปรากฏการณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะได้จำลองวงจรไฟฟ้าเทียบเคียง บนพื้นฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ซึ่งในทางอุดมคติเซลล์แสงอาทิตย์จำลองโดยแหล่งจ่ายกระแสต่อขนานกับไดโอด แต่ในทางปฏิบัติจะมีความต้านทานต่อขนานกับวงจรอื่นเนื่องมาจากรอยต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ และความต้านทานอนุกรม ซึ่งเป็นผลมาจากการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งาน วงจรดังกล่าวแสดงตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรเทียบเคียงเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูป

$$I = I_L - I_D - I_{SH} \tag{2.1}$$

เมื่อ

- I = กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต มีหน่วยเป็นแอมแปร์
- I_L = กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งพลังงานแสง มีหน่วยเป็นแอมแปร์
- I_D = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด มีหน่วยเป็นแอมแปร์
- I_{SH} = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทาน Shunt มีหน่วยเป็นแอมแปร์

จากรูปเมื่อมีกระแสไหลจะได้แรงดันตกคร่อมดังนี้

$$V_j = V + IR_s \tag{2.2}$$

เมื่อ

- V_j = แรงดันตกคร่อม ไดโอดและความต้านทานขนาน (R_{SH})
- V = แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต มีหน่วยเป็นโวลต์
- I = กระแสไฟฟ้าเอาต์พุตมีหน่วยเป็นแอมแปร์
- R_s = ความต้านทานอนุกรม มีหน่วยเป็นโอห์ม

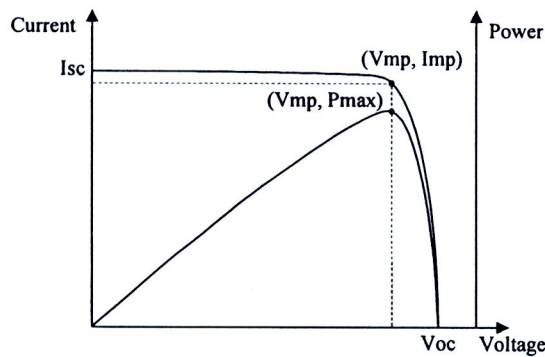
ลักษณะทางสัณฐานของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีแสง ลักษณะกระแส-แรงดันไฟฟ้า (I-V curve) แสดงดังรูปที่ 2.8

2.4.1.2 กระแสลัดวงจร (Short circuit current: I_{sc})

กระแสลัดวงจรเป็นกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เป็นศูนย์ เป็นกระแสไฟฟ้าสูงที่สุดเมื่อเซลล์ได้รับความเข้มแสง และมีความต้านทานอนุกรมเป็นศูนย์ กระแสลัดวงจรจะขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์หรือพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์

2.4.1.3 แรงดันวงจรเปิด (Open circuit voltage: V_{oc})

แรงดันวงจรเปิดเป็นแรงดันสูงสุดที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อกระแสไฟฟ้าของเซลล์เป็นศูนย์ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กราฟลักษณะกระแส - แรงดันและกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2.8 แสดงรูปกราฟลักษณะกระแสและแรงดันและกำลังไฟฟ้า โดยที่ I_{sc} คือกระแสลัดวงจร V_{oc} แรงดันวงจรเปิด P_{MAX} คือกำลังไฟฟ้าสูงสุด

2.4.1.4 กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power point: P_{max})

คือจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดบนกราฟ กระแส-แรงดันไฟฟ้า เป็นจุดสูงสุดของผลคูณระหว่างกระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Current at maximum power point: I_{mp}) กับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Voltage at maximum power point: V_{mp})

2.4.1.5 ฟิลล์แฟคเตอร์ (Fill Factor)

คือค่าที่ใช้กำหนดคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอัตราส่วนระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จ่ายได้จริงกับ ผลคูณระหว่างของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

$$F.F. = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{SC} \times V_{OC}} \text{ หรือ } F.F. = \frac{P_{max}}{I_{SC} \times V_{OC}} \quad (2.3)$$

2.4.2 การนำระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ มาใช้งาน

การนำระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ มาใช้งานสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือแบบอิสระและแบบต่อเข้ากับระบบจำหน่าย

2.4.2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (Stand-alone System)

เป็นการแสดงถึงการนำระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานแบบอิสระ ซึ่งไม่ต่อเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า และมีแบตเตอรี่สำรองไว้ใช้ในเวลากลางคืน ไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกประจุในแบตเตอรี่เพื่อสำรองไว้ใช้งานในช่วงเวลาที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ เช่น ในเวลากลางคืนหรือในวันที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เมื่อมีความต้องการการใช้ไฟฟ้า ไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับที่จะใช้งาน ระบบประเภทนี้มักใช้ในพื้นที่ห่างไกลที่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าไม่สามารถเข้าถึง

2.4.2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Grid connected System)

ไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยอินเวอร์เตอร์เพื่อต่อขนานกับระบบจำหน่ายเพื่อที่จะนำพลังงานไฟฟ้าที่เหลือใช้จำหน่ายคืนให้กับระบบ และหากต้องการพลังงานไฟฟ้าก็สามารถดึงไฟฟ้าจากระบบมาใช้งานได้ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ในการลดค่าใช้จ่ายในการขยายเขตการให้บริการไฟฟ้าให้ทั่วถึงในทุกพื้นที่

2.5 อินเวอร์เตอร์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์อุปกรณ์อย่างหนึ่งที่จำเป็นต่อระบบนี้คืออินเวอร์เตอร์เพราะอินเวอร์เตอร์คือเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับทั่วไป และอินเวอร์เตอร์แบบที่ต่อเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายย่อมต้องมีหน้าที่การทำงานที่สอดคล้องตามมาตรฐานสากลเป็นที่ยอมรับ จากการสำรวจของ IEA (International Energy Agency) [13] อินเวอร์เตอร์ที่ใช้งานในปัจจุบัน ผลการสำรวจดังนี้

2.5.1 อินเวอร์เตอร์

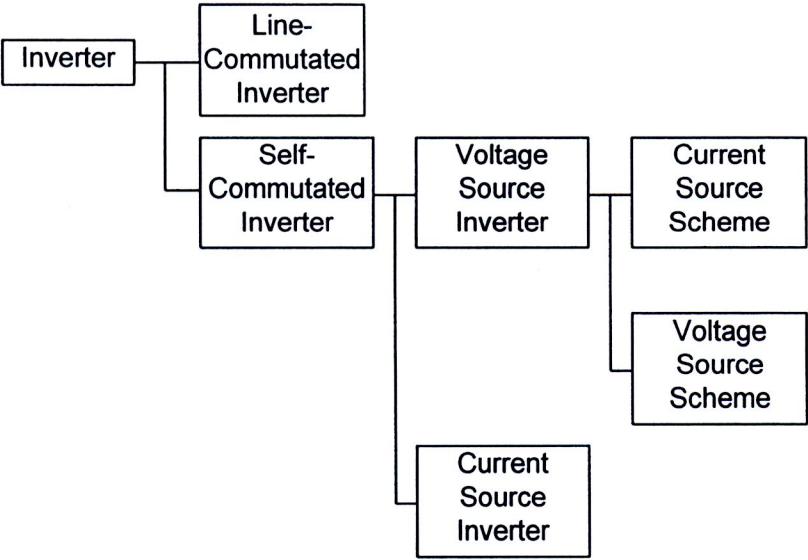
อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยทั่วไปอินเวอร์เตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ Line-commutated inverter และ Self-commutated inverter

Line-commutated inverter ใช้อุปกรณ์สวิตช์ประเภทไทรสเตอร์ ซึ่งสามารถควบคุมช่วงเวลาการนำกระแสได้ แต่ไม่สามารถควบคุมการหยุดนำกระแสที่ตัวสวิตช์ได้ การหยุดนำกระแสจะทำโดยลดกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายให้มีค่าเท่ากับศูนย์ ส่วนแบบ Self-commutated inverter ใช้อุปกรณ์สวิตช์ประเภท IGBT หรือ MOSFET ซึ่งสามารถควบคุมการนำกระแสและหยุดนำกระแสที่ตัวอุปกรณ์สวิตช์ได้ นอกจากนี้ยังมีข้อดีในแง่สามารถควบคุมรูปคลื่นของแรงดันและกระแสทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับได้อย่างอิสระ สามารถปรับค่าตัวประกอบกำลัง (power factor) ได้ และสามารถลดกระแสฮาร์มอนิกส์เข้าสู่ระบบไฟฟ้า ด้วยข้อดีเหล่านี้ทำให้อินเวอร์เตอร์แบบ self commutated จึงเหมาะกับการใช้งานในระบบผลิตกำลังงานแบบกระจาย (distributed power source) เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

2.5.2 เทคโนโลยีของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์แบ่งตามวิธีการสวิตช์ตัวอุปกรณ์ได้เป็น 2 ประเภท คือ Line commutated และ Self commutated ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.5.1 โดยที่อินเวอร์เตอร์แบบ Self-commutated inverter สามารถแบ่งตามลักษณะแหล่งจ่ายทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบแหล่งจ่ายแรงดัน (voltage source) และแบบแหล่งจ่ายกระแส (current source) เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจัดเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันเอาต์พุตค่าค่อนข้างคงที่ในขณะที่ทำงาน แต่กระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ดังนั้นอินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมจะใช้งานกับเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นแบบแหล่งจ่ายแรงดัน

เมื่อพิจารณาจากด้านไฟฟ้ากระแสสลับ อินเวอร์เตอร์แบบนี้สามารถแบ่งการควบคุมได้เป็น 2 แบบ คือแบบควบคุมกระแสเอาต์พุต (current control scheme) และแบบควบคุมแรงดันเอาต์พุต (voltage control scheme) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 อินเวอร์เตอร์แบบควบคุมแรงดันเอาต์พุต เหมาะกับการใช้งานกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (off-grid PV system) ในขณะที่แบบควบคุมกระแสเอาต์พุตเหมาะกับการใช้งานกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid-connected system) เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นแหล่งจ่ายกระแสที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายและมีหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้าและระบบจำหน่าย นอกจากนี้การควบคุมแบบนี้ยังสามารถปรับให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าสูงโดยใช้วงจรควบคุมอย่างง่าย และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าของระบบ



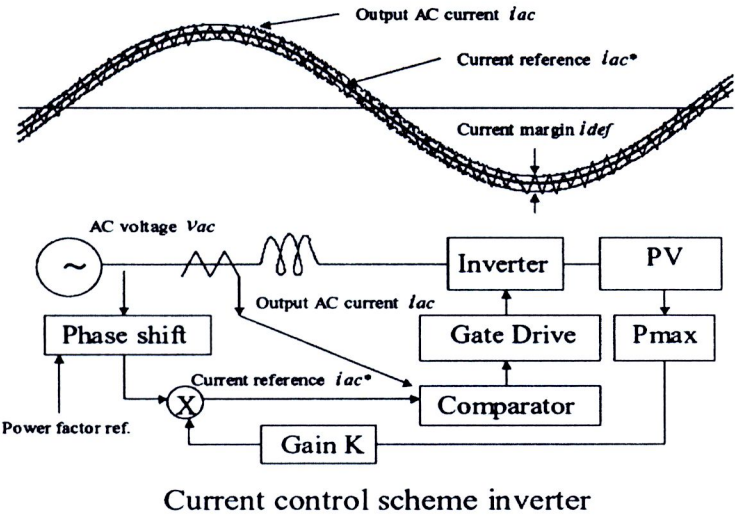
รูปที่ 2.9 การแบ่งประเภทอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน เมื่อพิจารณาทางฝั่งไฟฟ้ากระแสสลับสามารถทำงานได้ทั้งแบบควบคุมแรงดันและแบบควบคุมกระแส ในกรณีให้ทำงานแบบควบคุมแรงดัน แรงดันทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะถูกควบคุมให้มีลักษณะเช่นเดียวกับแรงดันอ้างอิง โดยใช้เทคนิค Pulse-width modulation (PWM) ซึ่งแรงดันเอาต์พุตจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่เป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์เพื่อควบคุมให้สัญญาณแรงดันเอาต์พุตมีลักษณะเดียวกับสัญญาณอ้างอิง ในกรณีอินเวอร์เตอร์ทำงานแบบควบคุมกระแสนั้น (แสดงในรูปที่ 2.10) การควบคุมการนำกระแสและหยุดนำกระแสของอุปกรณ์สวิตช์ มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมสัญญาณกระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ให้มีลักษณะเช่นเดียวกับสัญญาณอ้างอิง

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์แบบควบคุมแรงดันเอาต์พุต และแบบควบคุมกระแสเอาต์พุต

	แบบควบคุมแรงดันเอาต์พุต (Voltage Control Scheme)	แบบควบคุมกระแสเอาต์พุต (Current Control Scheme)
ชนิดวงจรควบคุม	Self Commutated Voltage Source Inverter	
สัญญาณเอาต์พุตที่ควบคุม	แรงดันไฟฟ้าด้าน AC	กระแสไฟฟ้าด้าน AC
กระแสลัดวงจรเมื่อเกิด fault	สูง	ต่ำ (อยู่ในระดับควบคุม)
การทำงานแบบ stand alone	ใช้งานได้	ไม่ใช่

ตารางที่ 2.1 แสดงความแตกต่างของอินเวอร์เตอร์ชนิดควบคุมแรงดันเอาต์พุตและชนิดควบคุมกระแสเอาต์พุต ในกรณีระบบอิสระที่ไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ชนิดควบคุมแรงดันเอาต์พุตเป็นชนิดที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ทั้งชนิดควบคุมแรงดันเอาต์พุตและชนิดควบคุมกระแสเอาต์พุตสามารถใช้ได้กับระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า แต่อินเวอร์เตอร์ชนิดควบคุมกระแสเอาต์พุตเหมาะแก่การใช้งานกับระบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้ากว่า เพราะสามารถควบคุมค่าตัวประกอบกำลังได้ง่ายและเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับในสายส่งจะสามารถควบคุมกระแสชั่วครู่ (Transient current) ได้



รูปที่ 2.10 ไดอะแกรมของอินเวอร์เตอร์ชนิด Voltage type แบบควบคุมกระแสเอาต์พุต [13]

2.5.3 เงื่อนไขการทำงานของอินเวอร์เตอร์

เงื่อนไขการทำงานของอินเวอร์เตอร์เป็นช่วงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่จะให้เริ่มและหยุดการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ด้านแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ และไฟฟ้ากระแสตรง และขนาดที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับกำลังเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.5.3.1 ช่วงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและความถี่ใช้งาน

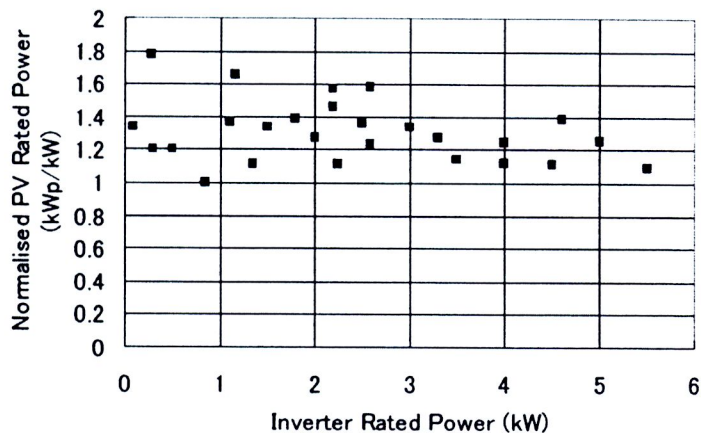
เนื่องจากมาตรฐานของระดับแรงดันและความถี่ใช้งานในแต่ละประเทศแตกต่างกัน ดังนั้นช่วงระดับแรงดันและความถี่ที่อินเวอร์เตอร์สามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดปัญหากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ในแต่ละประเทศจึงแตกต่างกันด้วย เช่น สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส ในยุโรปมีระดับแรงดัน 230 V และความถี่ 50 Hz ในญี่ปุ่นใช้ 101/202 V และความถี่ 50/60 Hz ในสหรัฐอเมริกาใช้ระดับแรงดัน 120/240V ความถี่ 60 Hz สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส ในยุโรปใช้ระดับแรงดัน 380/400 V ความถี่ 50 Hz ในญี่ปุ่นใช้ระดับแรงดัน 220 V ความถี่ 50-60 Hz และในสหรัฐอเมริกาใช้ 480 V ความถี่ 60 Hz เป็นต้น สำหรับค่ามาตรฐานเหล่านี้ การเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้า ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ยังสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดปัญหาคืออยู่ในช่วง +10% และ -15% ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของความถี่อยู่ในช่วง ± 0.4 ถึง 1% การเปลี่ยนแปลงแรงดันนี้มาตรฐาน IEEE-1547 กำหนดให้แรงดันอยู่ในช่วง 88-110%

2.5.3.2 ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ช่วงแรงดันการทำงานของอินเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับพิกัดกำลังของอินเวอร์เตอร์ระดับแรงดันด้านไฟฟ้ากระแสสลับและจุดมุ่งหมายของการออกแบบ เพราะฉะนั้นจึงมีช่วงแรงดันได้หลากหลาย สำหรับอินเวอร์เตอร์ขนาดไม่เกิน 1 kW ทำงานอยู่ในช่วงแรงดัน 14-25 V, 27-50 V, 45-100 V, 48-120 V และ 55-110 V สำหรับอินเวอร์เตอร์ขนาด 1-10 kW ช่วงแรงดันการทำงานอยู่ในช่วง 45-95 V, 72-145 V, 75-225 V, 100-350 V, 125-375 V, 139-400 V, 150-500 V, 250-600 V และ 350-750 V และสำหรับอินเวอร์เตอร์ขนาดใหญ่กว่า 10 kW ใช้ระดับแรงดันทำงานในช่วง 200-500 V และ 450-800 V

2.5.3.3 ขนาดที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับกำลังเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพิกัดกำลังของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และพิกัดกำลังของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้งาน จากการสำรวจพบว่าโดยเฉลี่ยแล้วระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดพิกัดกำลังประมาณ 1.3 เท่าของพิกัดกำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ผลการสำรวจขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขนาดของอินเวอร์เตอร์ [13]

2.5.4 ค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ของอินเวอร์เตอร์

กระแสฮาร์มอนิกส์เป็นสาเหตุทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหายได้ การใช้เทคนิค PWM ในอินเวอร์เตอร์ ช่วยทำให้ค่ากระแสฮาร์มอนิกส์ลดลง จากการสำรวจพบว่ากระแสฮาร์มอนิกส์มีค่าอยู่ในช่วง 3 ถึง 5% ของกระแสหลักมูลของอินเวอร์เตอร์ ค่าฮาร์โมนิกนี้จะสอดคล้องกับมาตรฐาน IEEE-1547 ซึ่ง กำหนดให้มี THD ไม่เกิน 5%

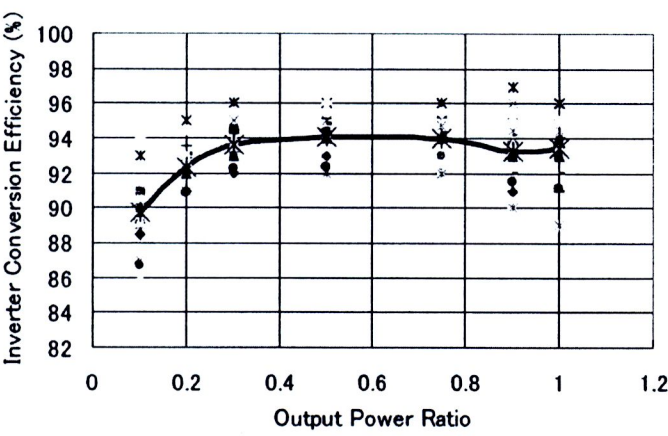
2.5.5 ค่าตัวประกอบกำลัง

การลดลงของค่าตัวประกอบกำลังทำให้เกิดการกระเพื่อมของระดับแรงดันในระบบสายส่งได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องควบคุมค่าตัวประกอบกำลังไม่ให้ลดลง จากการสำรวจพบว่าค่าตัวประกอบกำลังของ อินเวอร์เตอร์ส่วนใหญ่มีค่า 100% ที่การทำงานของฟักัดอินเวอร์เตอร์ และมีค่า 90% เมื่อกำลังเอาต์พุต ของอินเวอร์เตอร์ลดลงจนถึง 10% ของค่าฟักัด เนื่องด้วยอินเวอร์เตอร์ส่วนใหญ่ที่ใช้งานเป็นแบบ ควบคุมกระแส ดังนั้นโดยปกติค่าตัวประกอบกำลังจะควบคุมให้ทำงานที่ 100% ได้อินเวอร์เตอร์บาง ตัวสามารถปรับค่าตัวประกอบกำลังได้ สำหรับอินเวอร์เตอร์ประเภทควบคุมกระแสนั้น การปรับค่า ตัวประกอบกำลังกระทำโดยการเคลื่อนเฟสของกระแสอ้างอิง AC เมื่อเทียบกับเฟสของแรงดัน ไฟฟ้า AC จุดประสงค์ของการปรับค่าตัวประกอบกำลัง ก็เพื่อไม่ให้ระดับแรงดันในสายส่งเพิ่มขึ้นเนื่องจาก การเพิ่มขึ้นของกำลังเอาต์พุตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้เนื่องจากการไหลของกำลังไฟฟ้าจาก ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบสายส่ง จะมีผลให้ระดับแรงดัน ณ จุดเชื่อมต่อมีระดับสูงเกินปกติได้

การควบคุมค่าตัวประกอบกำลังของอินเวอร์เตอร์ตามมาตรฐาน IEEE-1547 นั้นกำหนดไม่ต่ำกว่า 0.9 นำหน้าหรือล้าหลัง ซึ่งผลการสำรวจแสดงให้เห็นว่าอินเวอร์เตอร์ส่วนมากได้มาตรฐาน

2.5.6 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 2.12 แสดงค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่ได้จากการสำรวจ พบว่าที่กำลังเอาต์พุต 10% ของ พิกัดอินเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพเฉลี่ยประมาณ 90% และประสิทธิภาพสูงสุดของ อินเวอร์เตอร์โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 94-96% ที่กำลังเอาต์พุตมากขึ้น ซึ่งถือว่าเพียงพอสำหรับการ ใช้งานในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.12 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ [13]

2.5.7 การแยกส่วนระหว่างด้านไฟฟ้ากระแสสลับและด้านไฟฟ้ากระแสตรง

เป็นการป้องกันไฟฟ้ากระแสตรงไม่ให้ไหลไปยังด้าน AC ทำโดยการแยกส่วนวงจร DC ที่ต่อกับ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้ออกจากวงจร AC ทางด้านที่ต่อกับระบบจำหน่าย ในกรณีที่กระแสตรงไหล ไปยังด้าน AC อาจทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบสายส่งเกิดการอิ่มตัว และมีความร้อนสูงหรืออาจ เกิดกระแสฮาร์มอนิกส์ปริมาณสูงซึ่งมาตรฐาน IEEE-1547 กำหนดให้ไม่เกิน 1% ของพิกัดอินเวอร์ เตอร์ วิธีแยกส่วนวงจร DC ให้ออกจากวงจร AC กระทำโดย การใช้หม้อแปลงต่อที่เอาต์พุตของ อินเวอร์เตอร์ ผลเสียของวิธีนี้คืออินเวอร์เตอร์จะมีขนาดและน้ำหนักมากขึ้น กรณีอินเวอร์เตอร์ที่มี วงจรกระแสสลับความถี่สูงคั่นอยู่ระหว่างภาค DC และภาค AC กรณีนี้การแยกส่วนเอาต์พุตของ อินเวอร์เตอร์ ทำให้สามารถใช้หม้อแปลงที่มีขนาดเล็กลงได้เป็นผลให้อินเวอร์เตอร์มีขนาดและ น้ำหนักลดลง กรณีที่ไม่ต้องใช้หม้อแปลงแยกส่วน ทำให้อินเวอร์เตอร์มีน้ำหนักเบาและขนาดเล็กเมื่อ เทียบกับ 2 ประเภทแรกทีกล่าวมา แต่อินเวอร์เตอร์แบบนี้ต้องมีวงจรตรวจจับที่ภาค AC เพื่อ ตรวจสอบส่วนประกอบ DC ที่ซ่อนทับบนสัญญาณ AC และต้องมีวงจรตรวจเช็คระบบกราวด์ (grounding detection circuit) ที่ภาค DC

2.5.8 วงจรควบคุมกำลังของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่มีวงจรติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking (MPPT)) จากอะเรย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่ากำลังสูงสุดดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงตามระดับความเข้มแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ อาจมีอินเวอร์เตอร์ที่ทำงานแบบควบคุมกำลังเพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้า DC ให้มีค่าคงที่ แต่อินเวอร์เตอร์ที่ทำงานลักษณะนี้จะมีการใช้งานน้อย

2.5.9 เงื่อนไขการเริ่มทำงานและการหยุดทำงานของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะเริ่มทำงานได้ ก็ต่อเมื่อระดับแรงดันและความถี่ด้าน AC ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด รวมทั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต้องสามารถผลิตพลังงานได้ในระดับที่เหมาะสม ในตอนกลางคืนเมื่อไม่มีแสงอาทิตย์อินเวอร์เตอร์ควรหยุดทำงานเองได้โดยอัตโนมัติและเริ่มทำงานเมื่อมีแสง

จากการสำรวจพบว่าเมื่อมีความเข้มแสงอาทิตย์เพียงพอ อินเวอร์เตอร์ส่วนใหญ่จะเริ่มทำงานหลังจากวงจรตรวจสอบแรงดันด้าน AC และ DC อยู่ในช่วงที่กำหนดหลังจากตรวจสอบแล้วจะคอยจน 10 วินาที เป็นอย่างน้อยหรือหลายนาทีจึงจะเริ่มทำงาน ถ้าอินเวอร์เตอร์พบว่าระดับแรงดันด้าน ACอยู่นอกย่านการทำงานที่กำหนด อินเวอร์เตอร์จะหยุดทำงานทันที ในกรณีตรวจพบว่าระดับแรงดันไฟฟ้า DC มีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดถึงแม้แรงดันไฟฟ้าด้าน AC จะอยู่ในช่วงที่กำหนดก็ตาม อินเวอร์เตอร์จะรอประมาณ 20 นาทีก่อนเริ่มหยุดทำงาน

2.5.10 การป้องกันของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มีฟังก์ชันสำหรับควบคุมเอาต์พุต การตัดตัวเองออกจากระบบเพื่อความปลอดภัย และการหยุดทำงานในกรณีเกิดเหตุการณ์ไม่ปกติในระบบหรือด้านระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อ สามารถสรุปลักษณะฟังก์ชันการป้องกันได้คือ

2.5.10.1 หน้าที่การป้องกันด้านอุปกรณ์

ได้แก่การป้องกันด้านไฟฟ้ากระแสตรง การป้องกันด้านไฟฟ้ากระแสสลับ และการป้องกันอื่นๆ การป้องกันด้านกระแสตรง เช่น การป้องกันกำลังไฟฟ้าเกินพิกัด แรงดันเกินพิกัด แรงดันต่ำกว่าพิกัด กระแสเกินพิกัด และการเกิดความผิดปกติจากระบบกราวด์ด้าน DC (DC grounding fault) การป้องกันด้านไฟฟ้ากระแสสลับ เช่นการป้องกันระดับแรงดันเกินพิกัด ระดับแรงดันต่ำกว่าพิกัด

กระแสไฟฟ้าเกินพิกัด การเพิ่ม/ลดของความถี่และการเกิดฟอลท์ (Fault) จากระบบกราวด์ด้าน AC นอกจากนี้ สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่ไม่มีหม้อแปลงแยกส่วน จำเป็นต้องมีระบบตรวจเช็คส่วนประกอบ ไฟฟ้ากระแสตรง และการป้องกันอื่น ๆ เช่น การป้องกันการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ การตรวจจับแรงดัน และกระแส ในวงจรควบคุมและบอกถึงสถานะของวงจรและสามารถป้องกันด้วยวงจรควบคุม การป้องกันต่าง ๆ ต้องทำงานควบคู่กันไปในตัวอินเวอร์เตอร์ และต้องป้องกันฟ้าผ่า และแรงดันเสิร์จได้ด้วย

2.5.10.2 หน้าที่การป้องกันการเกิด Islanding

ในระบบจำหน่ายหากเกิดสิ่งผิดปกติขึ้น อินเวอร์เตอร์ที่ต่ออยู่ต้องสามารถตัดตัวเองออกจากระบบจำหน่าย หลักการตรวจจับของอินเวอร์เตอร์สามารถสรุปได้กล่าวคือ หลักการทำงานของ การตรวจจับปรากฏการณ์ Islanding ที่เกิดขึ้นคือการตรวจจับ แรงดัน ความถี่ ให้อยู่ในกรอบที่ตั้งค่าจำกัดไว้ซึ่งอินเวอร์เตอร์ส่วนมากใช้ นอกจากการจำกัดค่าแรงดันและความถี่ที่อยู่ในกรอบแล้วในวงจรควบคุมยังมีการตรวจจับอัตราการเปลี่ยนความถี่ การเปลี่ยนแปลงเฟสของแรงดันและการติดตามแรงดันตกในไฟฟ้าสามเฟส การตรวจจับความถี่ที่เลื่อนออกไป การตรวจจับความถี่ที่มีแนวโน้มที่เปลี่ยนไป ในอินเวอร์เตอร์บางตัววงจรควบคุมจะใช้ซอฟต์แวร์ในการควบคุมซึ่งไม่มีต้นทุนค่าอุปกรณ์

2.6 ฟอลท์ในระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าที่ดีนั้นไม่ได้มีเพียงการผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้าในขณะโหลตต้องการเท่านั้น แต่ต้องมีการป้องกันอุปกรณ์จากการเกิดความผิดปกติอันเกิดจากการลัดวงจรด้วยซึ่งการเกิดลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นมีหลายสาเหตุจากหลายประการ เช่น การเสื่อมของฉนวน อุบัติเหตุทางธรรมชาติ และอุบัติเหตุที่เกิดจากมนุษย์เป็นต้น เมื่อเกิดลัดวงจรในระบบไฟฟ้าอุปกรณ์ป้องกันประเภทเซอร์กิตเบรกเกอร์หรือฟิวส์ สมควรสามารถตัดกระแสไฟฟ้าได้อย่างปลอดภัยโดยอุปกรณ์ไม่เสียหาย การเลือกระบบป้องกันที่ผิดพลาดจะทำความเสียหายต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าได้ และอุปกรณ์ป้องกันอาจได้รับความเสียหายจนไม่อาจนำมาใช้ได้อีก

การเกิดการลัดวงจรหรือฟอลท์ในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแบ่งฟอลท์ออกเป็นสองประเภทคือ ฟอลท์แบบสมมาตร (Symmetrical fault) หรือที่เรียกว่า การลัดวงจรสามเฟส และฟอลท์ไม่สมมาตร (Unsymmetrical fault) ซึ่งได้แก่การลัดวงจรแบบ เฟส-เฟส (Line to Line Fault) เฟส - กราวด์ (Line to Ground Fault) เฟส – เฟส - กราวด์ (Double Line to Ground Fault) การลัดวงจรแบบสมมาตรไม่ได้รุนแรงกว่าการลัดวงจรแบบไม่สมมาตรเสมอไป ในระบบส่งและจำหน่ายไฟฟ้านั้น การศึกษาความผิดปกติในระบบไฟฟ้านั้น ก็เพื่อประโยชน์ในการที่จะทราบระดับกระแสลัดวงจรสูงสุดและค่าสุดของบัสต่าง ๆ นำค่าระดับกระแสลัดวงจรไปกำหนดขนาดพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ กำหนด

รูปแบบของรีเลย์ป้องกัน ในการป้องกันระบบไฟฟ้าอุปกรณ์ป้องกันต้องสามารถทนสภาพการเกิดฟลตทั้งกระแสและ/หรือ แรงดันในช่วงเวลาหนึ่ง จนกว่าฟลตจะถูกกำจัดออกไปออกไปโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ป้องกันทั้งจากความร้อนและทางกล

2.6.1 แหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจร

เมื่อเกิดการลัดวงจรเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการหาขนาดของของกระแสลัดวงจร เพื่อที่จะนำมาพิจารณาเลือกขนาดของอุปกรณ์ป้องกันได้อย่างถูกต้อง โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจรของระบบไฟฟ้ากำลังมีอยู่ 3 แหล่ง คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส มอเตอร์ซิงโครนัสและซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ มอเตอร์เหนี่ยวนำ เรียกรวมน่าเครื่องจักรชนิดหมุน

เมื่อเกิดการลัดวงจรแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าที่จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะจ่ายกระแสไปยังจุดลัดวงจร โดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังคงผลิตแรงดันและจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบ ทั้งนี้เพราะว่าโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังคงได้รับแรงดันกระตุ้นเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กกระตุ้น ในขณะที่เดียวกันเครื่องต้นกำลังก็ยังคงขับให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้หมุนด้วยความเร็วตามปกติ ซึ่งแรงดันที่ผลิตได้นี้เองจะเป็นสิ่งที่กำเนิดกระแสลัดวงจรที่มีค่าสูงไหลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังจุดลัดวงจรของระบบ และกระแสลัดวงจรนี้จะถูกจำกัดโดยอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอิมพีแดนซ์ของวงจรระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและที่จุดที่เกิดลัดวงจร สำหรับการลัดวงจรที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลัดวงจรจะถูกจำกัดโดยอิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอิมพีแดนซ์ของวงจรระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจุดที่เกิดการลัดวงจร

จากแหล่งกำเนิดกระแสลัดวงจรที่กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นได้ว่ารูปแบบรีแอกแตนซ์ของเครื่องจักรกลชนิดหมุนนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา การคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานกับเซอร์กิตเบรกเกอร์และรีเลย์ป้องกันนั้นจะมีรีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และของมอเตอร์

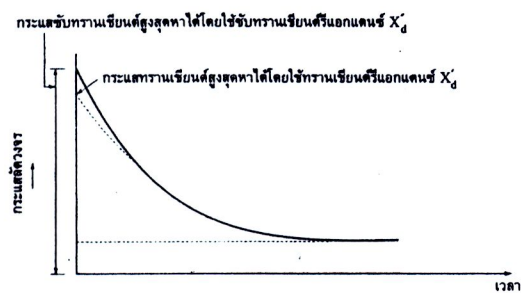
3 ค่าคือ

2.6.1.1 ขั้บทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์ (Subtransient Reactance: X_D'') เป็นค่ารีแอกแตนซ์ของขดลวดสเตเตอร์จะปรากฏขึ้นทันทีที่เกิดการลัดวงจรและใช้สำหรับหาค่ากระแสขั้บทรานเซียนต์ (Subtransient current) ในระหว่างไซเคิลแรก ๆ ของความถี่กระแสลัดวงจร

2.6.1.2 ทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์ (Transient Reactance: X_D') เป็นค่ารีแอกแตนซ์เริ่มต้น (Initial reactance) ของขดลวดสเตเตอร์ใช้สำหรับหากระแสทรานเซียนต์ (Transient current) ในช่วงเวลา

ต่อมาจากข้อทราบเขียนรีแอกแตนซ์ ทราบเขียนรีแอกแตนซ์จะมีผลถึง 0.5 วินาทีหรือนานกว่านี้ขึ้นอยู่กับ การออกแบบเครื่องจักรกลไฟฟ้า

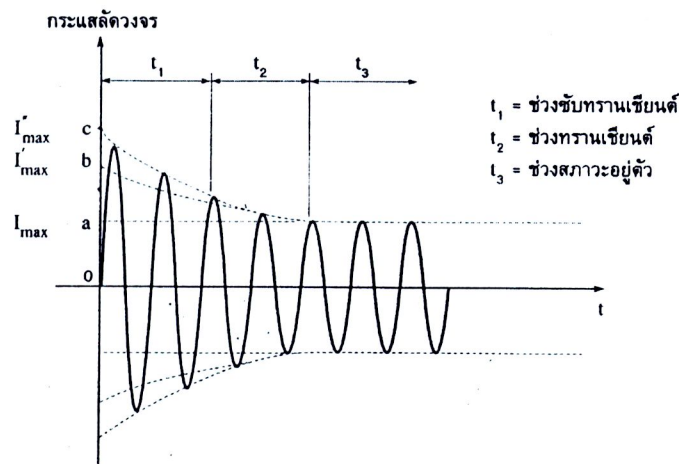
2.6.1.3 ซิงโครนัสรีแอกแตนซ์ (Synchronous Reactance: X_d) เป็นรีแอกแตนซ์สำหรับใช้หากระแส ที่ไหลในสภาวะอยู่ตัว (Steady - State) ซึ่งจะมีผลก็ต่อเมื่อเวลาได้ผ่านไปหลายวินาทีหลังจากการเกิด การลัดวงจรขึ้น สำหรับค่าซิงโครนัสรีแอกแตนซ์จะไม่นำมาใช้เพื่อคำนวณหากระแสลัดวงจรเพื่อไป หาขนาดเซอร์กิตเบรกเกอร์หรือฟิวส์ แต่จะใช้สำหรับการศึกษาเพื่อตั้งค่ารีเลย์ให้ทำงาน (Relay setting) สภาวะทราบเขียนรีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะเกิดฟอลต์ 3 เฟส



รูปที่ 2.13 กระแสลัดวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แปรตามเวลา [14]

2.6.2 กระแสลัดวงจรและรีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (Short-Circuit Current and the Reactance of Synchronous Generators)

การลัดวงจรแบบสมมาตรเกิดจากการลัดวงจรที่ขั้วต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะแบ่งกระแส ลัดวงจรออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ช่วงทราบเขียนรีแอกแตนซ์ (Subtransient) เป็นช่วงเวลาที่เกิดฟอลต์



รูปที่ 2.14 รูปคลื่นกระแสลัดวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสขณะไม่ได้จ่ายโหลด [14]

ในครึ่งไซเคิลแรกหลังจากนั้น กระแสจะลดลงอย่างรวดเร็ว ช่วงต่อมาคือช่วง (transient) เป็นช่วงหลังจากเกิดฟอลต์ไปแล้ว 3 ไซเคิล หลังจากนั้นก็จะเข้าสู่ช่วงสถานะคงตัว (steady state) เป็นช่วงสุดท้ายดังรูปที่ 2.14

เทอมของตัวแปรในการคำนวณกระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถกำหนดได้จากรูป 2.14

ระยะ oa คือค่าสูงสุดของกระแสสภาวะอยู่ตัว $I_{\max}$ ถ้ากระแสนี้คูณด้วย 0.707 ก็จะได้ค่ากระแสประสิทธิภาพสภาวะอยู่ตัว I (steady state rms current) ถ้าแรงดันขณะไม่มีโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า E_G หารด้วยกระแสอยู่ตัวจะได้รีแอกแตนซ์ที่เรียกว่า ซิงโครนัสรีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือรีแอกซ์แดนซ์ตามแกนในแนวตรง X_d ระยะ ob คือค่าสูงสุดของกระแสในสภาวะทรานเซียนต์ $I'_{\max}$ (maximum transient current) ถ้ากระแสนี้คูณด้วย 0.707 ก็คือกระแสทรานเซียนต์ I' ถ้าแรงดันขณะไม่มีโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า E_G ก่อนการเกิดลัดวงจรหารด้วย I' จะได้รีแอกแตนซ์ที่เรียกว่าทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์ หรือทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์ตามแกนในแนวตรง X'_d (direct-axis transient reactance) ระยะ oc ค่าสูงสุดของกระแสซับทรานเซียนต์ $I''_{\max}$ (maximum subtransient current) ถ้ากระแสนี้คูณด้วย 0.707 จะได้กระแสที่เรียกว่า กระแสซับทรานเซียนต์ I'' หรืออาจจะเรียกว่ากระแสประสิทธิภาพสมมาตรเริ่มต้น (initial symmetrical rms current) สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำงานขณะไม่มีเกิดฟอลต์ 3 เฟส ที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีรีแอกแตนซ์ที่เกิดจาก E_G / I'' เรียกว่า ซับทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์ตามแกนในแนวตรง X''_d (direct-axis subtransient reactance)

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานขณะไม่มีโหลดก่อนเกิด ฟอลต์ 3 เฟสที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเอง จะทำให้มีค่ากระแสและรีแอกแตนซ์ตามที่ได้อธิบายไว้ข้างต้นตามสมการต่อไปนี้

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{E_G}{X_d} \quad (2.4)$$

$$I' = \frac{I'_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{E_G}{X'_d} \quad (2.5)$$

$$I'' = \frac{I''_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{E_G}{X''_d} \quad (2.6)$$

เมื่อ

I = กระแสสภาวะอยู่ตัว (rms)

I' = กระแสทรานเซียนต์ (rms) โดยไม่รวมส่วนประกอบกระแสตรง

I'' = คือ กระแสซับทรานเซียนต์ (rms) โดยไม่รวมส่วนประกอบกระแสตรง

$I_{\max}$ = กระแสสูงสุดสภาวะอยู่ตัว

$I'_{\max}$ = กระแสสูงสุดสภาวะทรานเซียนต์

$I''_{\max}$ = กระแสสูงสุดสภาวะซับทรานเซียนต์

X_d = ซิงโครไนส์รีแอกแตนซ์ตามแกนในแนวตรง

X'_d = ทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์ตามแนวในแนวตรง

X''_d = ซับทรานเซียนต์รีแอกแตนซ์ตามแกนในแนวตรง

E_G = แรงดันประสิทธิผลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด และเป็นแรงดันระหว่างไลน์กับนิวทรัล

2.7 การวิเคราะห์ฟลต

จุดประสงค์ เพื่อเป็นการศึกษาการการลัดวงจรในระบบผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้า เพื่อสามารถนำไปใช้ในการเลือกฟักัดของอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า และการตั้งค่ารีเลย์ได้อย่างเหมาะสม

เปอร์ยูนิต (Per unit system) ในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่จะมีแรงดันอยู่หลายระดับ เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ระบบ เราจะต้องทำการแปลงค่าต่างๆในระบบโดยเทียบกับฐานค่าหนึ่ง ในการคำนวณฟลตขั้นแรกต้องแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของทุกอุปกรณ์ในระบบให้มีค่าฐาน (base) เดียวกันก่อน ค่าเปอร์ยูนิตที่นิยมใช้เป็น common MVA base คือ 100 แต่เราสามารถสร้างฐานต่างๆ ได้ดังนี้

Nominal phase to phase voltage : kV_b = Phase to Phase Voltage in kV

Base MVA : MVA_b = Three phase MVA

Base phase current : $kA_b = \frac{MVA_b}{\sqrt{3}kV_b}$ kA (2.7)

Base phase impedance: $Z_b = \frac{kV_b^2}{MVA_b} = \frac{kV_b}{\sqrt{3}kA_b}$ ohm (Ω) (2.8)

ดังนั้น เราสามารถเปลี่ยน Impedance Z ให้เป็น per unit ได้โดย

$$Z_{pu} = \frac{Z(\Omega)}{Z_b} = Z(\Omega) \times \frac{MVA_b}{(kV_b)^2} \quad (2.9)$$

หรือ

$$Z(\Omega) = \frac{Z_{pu} \times kV_b^2}{MVA_b} \tag{2.10}$$

3 Phase MVA สามารถเปลี่ยนเป็น per-unit ได้

$$MVA_{pu} = \frac{MVA}{MVA_b} = \frac{\sqrt{3}kV \times kA}{\sqrt{3}kV_b \times kA_b} = V_{pu} \times I_{pu} \tag{2.11}$$

การเปลี่ยนค่า Per unit impedance จาก base MVA 1 ไปยัง base MVA 2 จะใช้สมการ

$$Z_{(MVA2)} = Z_{(MVA1)} \times \frac{MVA2}{MVA1} \tag{2.12}$$

การเปลี่ยนค่า Per unit impedance จาก base kV1 ไปยัง base kV2

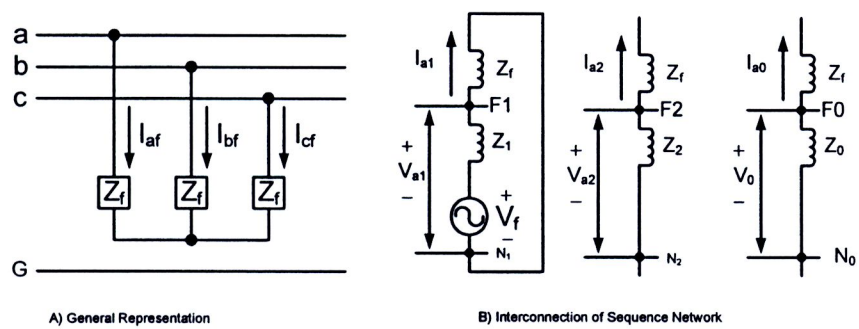
$$Z_{(kV2)} = Z_{(kV1)} \times \left(\frac{kV1}{kV2}\right)^2 \tag{2.13}$$

ถ้ารวมการเปลี่ยน Base ทั้ง kV และ MVA จะได้

$$Z_{pu(new_base)} = Z_{pu(old_base)} \times \left(\frac{kV_{oldbase}}{kV_{newbase}}\right)^2 \times \frac{MVA_{new}}{MVA_{old}} \tag{2.14}$$

2.7.1 ฟอลต์ชนิดสามเฟส (Three phase fault)

ฟอลต์ชนิดนี้เกิดจากสายตัวนำทั้ง 3 สายลัดวงจรถึงกันพร้อมกันทั้ง 3 สายและเนื่องจากฟอลต์ประเภทนี้เกิดขึ้นไม่บ่อยนัก และระบบไฟฟ้าเป็นแบบ 3 สายสมดุล อาจเรียก Fault ประเภทนี้ว่า Symmetrical Fault ซึ่งจะมีไดอะแกรมดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรเทียบเคียงฟอลต์ชนิดสามเฟส

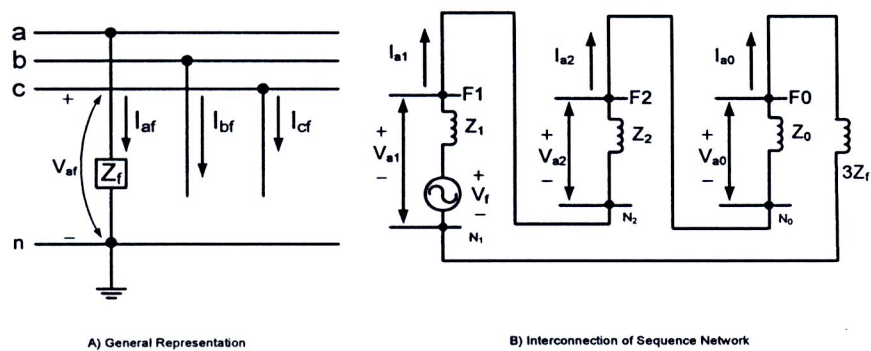
การคำนวณหากระแสใน Sequence Network สมการที่ใช้ในการคำนวณพิจารณาจากวงจรใน Sequence Network ดังนี้

$$I_{a2} = I_{a0} = 0 \tag{2.15}$$

$$\begin{aligned} I_{a1} &= \frac{V_F}{Z_1 + Z_f} \\ &= I_F \end{aligned} \tag{2.16}$$

2.7.2 ฟอลต์ชนิดเฟสเดียวลงกราวด์ (Single Line to ground fault)

วงจรการเกิด Single Line to ground fault สามารถแสดงด้วยรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วงจรเทียบเคียงฟอลต์ชนิดเฟสเดียวลงกราวด์

การคำนวณหากระแสใน Sequence Network สมการที่ใช้ในการคำนวณพิจารณาจากวงจรใน Sequence Network ดังนี้

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = \frac{I_{af}}{3}$$

(2.17)

$$I_{a1} = \frac{V_F}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$

(2.18)

จากค่ากระแสใน Sequence Network จะหาค่ากระแสในแต่ละเฟส (ขณะเกิด Fault) ได้จากสมการ

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix}$$

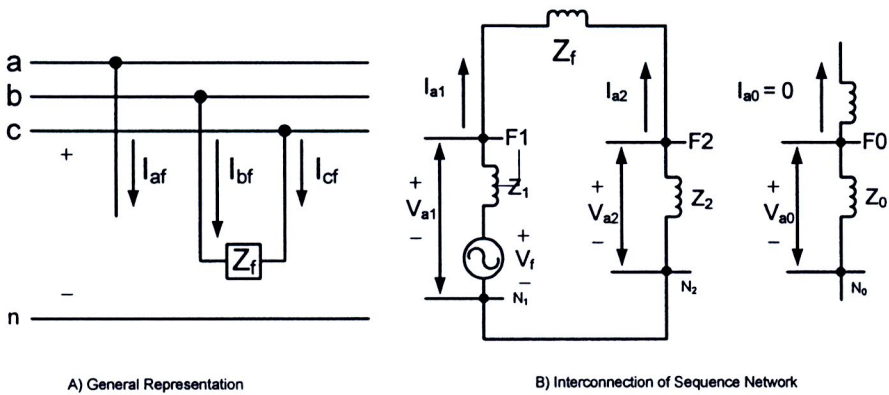
(2.19)

$$I_{af} = I_{a0} + I_{a1} + I_{a2} = 3I_{a0}$$

(2.20)

2.7.3 ฟอลต์ชนิดสองเฟสลัดวงจร (Line to Line Fault)

วงจรการเกิด Line to Line Fault สามารถแสดงด้วยรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 วงจรเทียบเคียงฟอลต์ชนิดสองเฟสลัดวงจร

การคำนวณหากระแสใน Sequence Network สมการที่ใช้ในการคำนวณพิจารณาจากวงจรใน Sequence Network ดังนี้

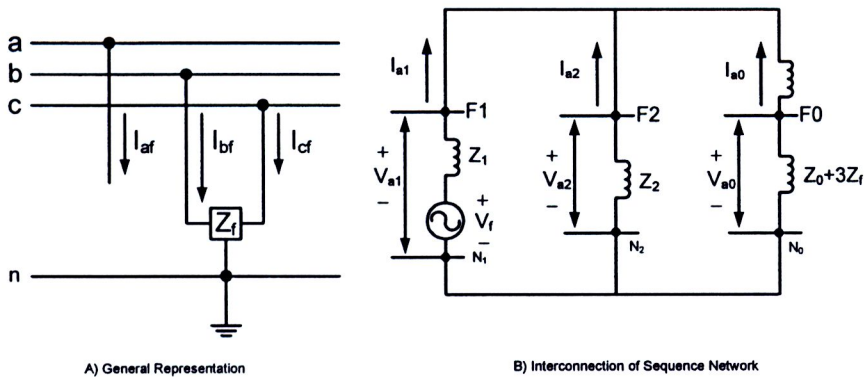
$$I_{a1} = -I_{a2} = \frac{V_F}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \tag{2.21}$$

จากค่ากระแสใน Sequence Network จะหาค่ากระแสในแต่ละ เฟส (ขณะเกิด Fault) ได้จากสมการ 2.19 ถ้าระบบไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลง กระแสฟอลต์สำหรับ Line to Line Fault อาจทำการหาได้ดังนี้

$$I_{F(L-L)} = I_{F(3\text{ ph})} \times \frac{\sqrt{3}}{2} \tag{2.22}$$

2.7.4 ฟอลต์ชนิดสองเฟสถึงวงจรลงกราวด์ (Double Line to Ground Fault)

วงจรการเกิด Double Line to Ground Fault สามารถแสดงด้วยรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 วงจรเทียบเคียงฟอลต์ชนิดสองเฟสลงกราวด์

การคำนวณหากระแสใน Sequence Network สมการที่ใช้ในการคำนวณพิจารณาจากวงจรใน Sequence Network ดังนี้

$$I_{a1} = \frac{V_F}{Z_1 + Z_2 (Z_0 + 3Z_f) / (Z_2 + Z_0 + 3Z_f)} \tag{2.23}$$

$$I_{a2} = I_{a1} \frac{Z_0 + 3Z_f}{(Z_2 + Z_0 + 3Z_f)} \tag{2.24}$$

$$I_{a0} = I_{a1} \frac{Z_2}{(Z_2 + Z_0 + 3Z_f)} \quad (2.25)$$

จากค่ากระแสใน Sequence Network จะหาค่ากระแสในแต่ละ Phase (ขณะเกิด Fault) ได้จากสมการ 2.21

โดยที่

$$\begin{aligned} V_f &= \text{แรงดันที่จุด Fault} \\ Z_0 &= \text{Zero Sequence Impedance} \\ Z_1 &= \text{Positive Sequence Impedance} \\ Z_2 &= \text{Negative Sequence Impedance} \\ Z_f &= \text{Fault Impedance} \\ I_{a0} &= \text{Zero Sequence Current} \\ I_{a1} &= \text{Positive Sequence Current} \\ I_{a2} &= \text{Negative Sequence Current} \\ I_F &= \text{Fault Current} \\ a &= 1 \angle 120^\circ \end{aligned}$$

2.8 การเลือกขนาดพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (The Selection of Circuit

Breakers Rating)

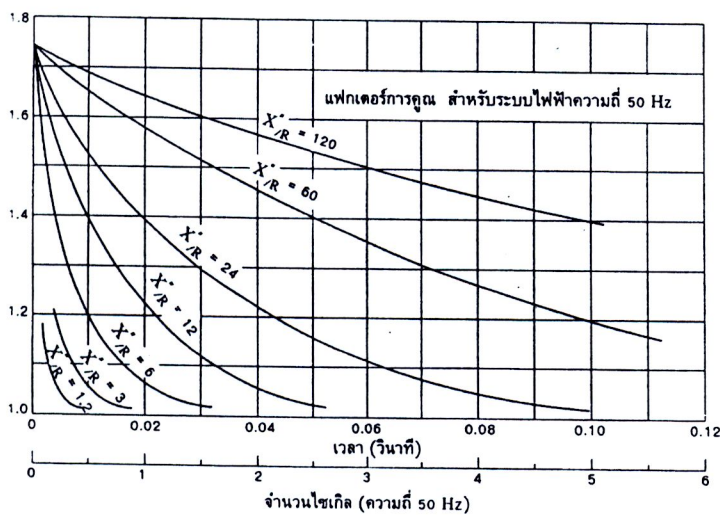
กระแสฟอลท์หรือกระแสลัดวงจรที่ได้พิจารณามาแล้วนั้นเป็นกระแสชั้ทรานเซียนต์ที่สมมาตร ซึ่งยังไม่ได้รวมผลของส่วนประกอบกระแสตรงเข้าไปด้วยในความเป็นจริงถ้าเกิดฟอลท์ที่จุดใดๆ ของรูปคลื่นแรงดันที่ไม่ใช่ค่ายอดจะต้องมีส่วนประกอบกระแสตรงรวมอยู่ด้วย จึงทำให้กระแสฟอลท์รวมเป็นกระแสชั้ทรานเซียนต์ไม่สมมาตรและจะมีผลทำให้ค่าประสิทธิผลของกระแสฟอลท์รวมนี้มีค่าสูงกว่ากระแสชั้ทรานเซียนต์สมมาตร

2.8.1 แฟกเตอร์การคูณ (Multiplying Factor)

แฟกเตอร์การคูณใช้สำหรับเปลี่ยนค่าประสิทธิผลของรูปคลื่นกระแสสลับสมมาตรเป็นกระแสประสิทธิผลที่ไม่สมมาตร โดยรวมส่วนประกอบกระแสตรงเข้าไปด้วย การเลือกค่าแฟกเตอร์การคูณเพื่อนำมาใช้งานนั้นจะพิจารณาได้ดังนี้ เป็นกรณีทั่วไปสำหรับระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันมากกว่า 600 โวลต์ เราสามารถใช้แฟกเตอร์การคูณที่ค่า 1.6 คูณกับค่าประสิทธิผลที่ครึ่งไซเคิลแรกของกระแสสลับ

สมมาตรก็จะได้กระแสไม่สมมาตรรวมสำหรับระบบไฟฟ้าที่มีแรงดัน 5000 โวลต์ และน้อยกว่าที่ไม่มีการผลิตไฟฟ้าในท้องถิ่นนั้น (Local generation) หมายความว่าต้องรับพลังไฟฟ้าจากบัสที่ต้องผ่านหม้อแปลงหรือสายส่งที่ยาว แฟกเตอร์การคูณที่ใช้คำนวณกระแสไม่สมมาตรรวมที่ครึ่งไซเคิลแรกสามารถลดลงได้เป็นค่า สำหรับระบบไฟฟ้าที่มีแรงดัน 600 โวลต์และน้อยกว่า แฟกเตอร์การคูณเพื่อคำนวณกระแสไม่สมมาตรรวมที่ครึ่งไซเคิลแรกคือ 1.25

สำหรับการคำนวณกระแสไม่สมมาตรรวมในช่วงเวลาที่ยาวกว่าครึ่งไซเคิลแรก เช่น 3 ถึง 8 ไซเคิล ซึ่งสอดคล้องกับเวลาในการตัดกระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เราสามารถหาแฟกเตอร์การคูณได้จากเส้นโค้งอัตราส่วน X/R (X/R ratio curve) ในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 เส้นโค้งแฟกเตอร์การคูณที่สอดคล้องกับการลดลงของส่วนประกอบกระแสตรงตามการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วน X/R ต่าง ๆ กัน [14]

2.8.2 กระแสชั่วขณะ (momentary current)

กระแสลัดวงจรเริ่มต้นภายในเวลาครึ่งไซเคิลแรกหลังจากเกิดลัดวงจร หรือกระแสชั้ทรานเซียนต์จะเป็นส่วนสำคัญที่ใช้สำหรับหากระแสชั่วขณะของเซอร์กิตเบรกเกอร์ กล่าวคือในการคำนวณหาค่าประสิทธิผลของกระแสลัดวงจรเริ่มต้นที่จุดใด ๆ ของวงจรในระบบไฟฟ้ากำลังโดยไม่ต้องนำส่วนประกอบกระแสตรงมาคิดด้วยนั้นสามารถทำได้โดยคูณกระแสชั้ทรานเซียนต์นี้ด้วยแฟกเตอร์การคูณเพื่อยกระดับของกระแสชั้ทรานเซียนต์ให้สูงขึ้นเป็นกระแสไม่สมมาตรรวมตามที่ได้กล่าวในหัวข้อก่อนหน้านี้ การทำเช่นนี้เพื่อให้เซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถทนทานต่อแรงกระทำทางกลที่เกิดขึ้นในช่วงครึ่งไซเคิลแรกหลังจากเกิดลัดวงจรขึ้น โดยเราจะเรียกกระแสลัดวงจรประสิทธิผล

เริ่มต้นนี้ว่า กระแสชั่วขณะ (Momentary current) ซึ่งเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่นำมาใช้งานต้องสามารถทนทานต่อกระแสชั่วขณะนี้ได้สำหรับทางปฏิบัติแฟกเตอร์ที่ใช้คูณกับกระแสชั้พทรานเซียนด์จะมี ความสอดคล้องกับระดับแรงดันของระบบที่นำเซอร์กิตเบรกเกอร์ไปใช้งานดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แฟกเตอร์ที่ใช้คูณกับกระแสชั้พทรานเซียนด์เพื่อกำหนดหาค่ากระแสชั่วขณะที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ต้องทนทานได้

ระดับแรงดันทำงานของ เซอร์กิตเบรกเกอร์	แฟกเตอร์การคูณสำหรับคำนวณหา กระแสชั่วขณะ
แรงดันมากกว่า 5 kV	1.6
แรงดัน 5 kV และน้อยกว่า	1.5
แรงดัน 600 V และน้อยกว่า	1.25

2.8.3 อินเตอร์รัปติงคาปาซิตีของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (The Interrupting Capacity of Circuit Breaker)

พิกัดการตัดกระแส (Interrupting rating) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะกำหนดเป็นหน่วยกิโลโวลต์-แอมแปร์ (kVA) หรือเมกะโวลต์ - แอมแปร์ (MVA) โดยพิกัดการตัดกระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่าดังสมการต่อไปนี้

$$kVA = \sqrt{3} \times V_{CB} \times IC \tag{2.26}$$

เมื่อ

- V_{CB} = ระดับแรงดันของบัสที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ต่ออยู่ kV
- IC = ระดับกระแสที่เซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถรับได้เมื่อน้ำสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดกระแสเราเรียก IC ว่า กระแสอินเตอร์-รัปติง (Interrupting Current)

2.8.4 กระแสอินเตอร์รัปติง IC

เซอร์กิตเบรกเกอร์ทุกๆ ไปจะต้องตัดกระแสลัดวงจรที่ไม่สมมาตรคือ ยังมีส่วนประกอบกระแสตรงที่กำลังลดลงรวมอยู่ ซึ่งเป็นกระแสอินเตอร์รัปติงนั่นเอง กระแสอินเตอร์จะพิจารณาให้อยู่ในช่วงทรานเซียนด์ ดังนั้นจึงมีค่าต่ำกว่ากระแสชั่วขณะ และขึ้นอยู่กับความเร็วในการตัดกระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เช่น 1.5, 3, 5 หรือ 8 ไซเกิล ซึ่งความเร็วในการตัดกระแสนี้จะเริ่มนับเวลาตั้งแต่เกิดการลัดวงจร

ขึ้นจนกระทั่งอาร์ก (Arc) ที่หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ดับ (ex-tinction) ลง สำหรับค่าของกระแสอินเตอร์รับติ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$IC = I_f' \times MF \quad (2.27)$$

เมื่อ

I_f' = กระแสชั้บทรานเซียนต์ที่คำนวณได้จากการศึกษาการลัดวงจร

MF = แฟกเตอร์การคูณหาได้จากเส้นโค้งในรูปที่ 2.19

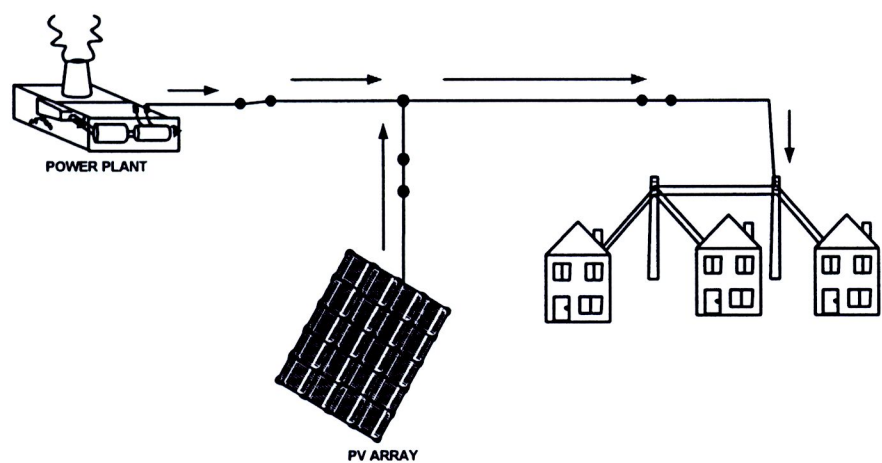
จากการคำนวณหากระแสลัดวงจรที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการได้มาซึ่งค่าของกระแสของลัดวงจรหรือค่ากระแสฟอลท์นั้นจะคำนวณแหล่งกำเนิดกระแสที่มาจากเครื่องจักรกลชนิดหมุนเพียงอย่างเดียว ระบบผลิตไฟฟ้าแต่เดิมจะมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่เพียงไม่กี่แห่ง ส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับพื้นที่ที่ต้องการใช้ไฟฟ้า แต่ในปัจจุบันได้มีการกำหนดนโยบายให้ใช้พลังงานทดแทนมาผลิตไฟฟ้า ซึ่งการคำนวณหากระแสลัดวงจรแต่เดิมไม่ได้มีการนำระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อย มาพิจารณา แต่การคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรในระบบที่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่จะต้องนำมาพิจารณาเพื่อค่ากระแสลัดวงจรที่ได้นั้นถูกต้อง

2.9 การจ่ายไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระ (Islanding)

การจ่ายไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระ (Islanding) คือการจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าบางส่วนในขณะที่ระบบจำหน่ายไม่มีการจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า กล่าวคือในระบบจำหน่ายที่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่หากเกิดสิ่งผิดปกติขึ้นในระบบจำหน่าย ไม่ว่าจะเป็นการเกิดลัดวงจรระหว่างสายตัวนำ สายระบบจำหน่ายขาด ดันไม้ล้มใส่สายไฟฟ้า หรือแม้กระทั่งระบบจำหน่ายไฟฟ้าหยุดจ่ายไฟฟ้าเพื่อการบำรุงรักษา หรือเพื่อปรับปรุงระบบจำหน่าย ทำให้ระบบจำหน่ายไม่มีไฟฟ้าอยู่ในระบบ แต่หากระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยยังจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยไม่รับรู้ว่าจะระบบจำหน่ายไม่มีไฟฟ้าอยู่เปรียบเสมือนระบบจำหน่ายเป็นทะเลและระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยเป็นเกาะที่โผล่ขึ้นมากลางทะเลในขณะที่ไม่มีเกาะอื่นๆอยู่ (หมายถึงพลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่าย) ดังแสดงในรูปที่ 2.20

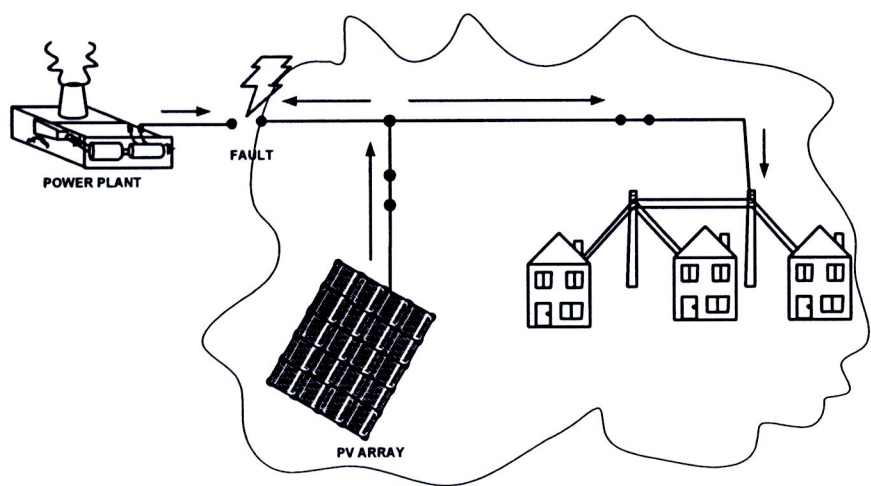
ปรากฏการณ์นี้เป็นอันตรายอย่างมากต่อผู้ปฏิบัติงานในระบบจำหน่าย ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยอาจไม่เข้าใจว่าระบบจำหน่ายรอบข้างหยุดจ่ายพลังงานไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้ ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยจึงต้องตรวจจับปรากฏการณ์ Islanding และหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยทันที การตรวจจับปรากฏการณ์ Islanding นั้นมีหลายวิธี เช่น ตรวจจับความถี่ในระบบจำหน่าย เมื่อระบบจำหน่ายมีความผิดปกติทางความถี่ ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยก็ต้องรับรู้และตัดตัวเองออกจากระบบจำหน่ายทันที การตรวจวัดระดับแรงดันในระบบจำหน่ายก็เช่นเดียวกันเมื่อระบบจำหน่ายมีความผิดปกติด้านแรงดันไฟฟ้า เช่น

แรงดันไฟฟ้า สูงหรือต่ำเกินไประบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยก็ต้องสามารถตรวจจับความผิดปกตินี้ได้และตัดตัวเองออกจากระบบจำหน่ายทันที เทคนิคการตรวจจับความผิดปกตินี้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยว่าจะนำเทคโนโลยีใดมาใช้หรือจะใช้แบบผสมก็สามารถทำได้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต



รูปที่ 2.20 ระบบผลิตไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขนานกับระบบจำหน่าย

จากรูปที่ 2.20 แสดงให้เห็นถึงระบบจำหน่ายที่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่กับระบบจำหน่ายระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยเป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับระบบจำหน่ายเพื่อเสริมพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่าย เพื่อให้ระบบจำหน่ายมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น



รูปที่ 2.21 ปรากฏการณ์ Islanding

จากรูปที่ 2.21 แสดงปรากฏการณ์ Islanding ในระบบจำหน่ายจากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติในระบบจำหน่ายจากรูป เป็นเหตุการณ์การเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้า ระบบจำหน่ายหยุดการจ่ายไฟฟ้าแต่ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยไม่สามารถรับรู้ถึงเหตุการณ์นั้น และยังคงจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบอย่างต่อเนื่อง เป็นผลให้กระแสจากระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยไหลกลับไปหาจุดที่เกิดฟอลต์

2.10 มาตรฐานการป้องกัน กำลังไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อสำหรับระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่อกับระบบจำหน่าย

การนำระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับระบบจำหน่าย จำเป็นต้องมีมาตรฐานที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ทั้งมาตรฐานการทำงานและมาตรฐานการป้องกัน ประเทศผู้ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบจำหน่ายได้มีการศึกษาจัดทำข้อกำหนดและมาตรฐานในการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นมาตรฐานการทำงานเพื่อไม่ให้ไปรบกวนคุณภาพของระบบไฟฟ้าเดิมแล้วยังรวมถึงการออกแบบระบบป้องกันจากการเชื่อมต่อกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับระบบจำหน่าย เพื่อป้องกันไม่ให้ระบบจำหน่ายเดิมเสียหายเนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าที่ต่อเข้าไปในระบบซึ่งมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับได้แก่

2.10.1 มาตรฐาน IEEE Std.929-2000, “Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems”.

มาตรฐานนี้ให้คำแนะนำในทางปฏิบัติของการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อย เข้ากับระบบไฟฟ้า เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงาน ผู้ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อย และผู้ติดตั้งระบบได้เข้าใจถึงวิธีการปฏิบัติหลักเกณฑ์การเชื่อมต่อ โดยเนื้อหาเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ป้องกันคุณภาพกำลังไฟฟ้า และวิธีปฏิบัติของการไฟฟ้า นอกจากนั้นได้กล่าวถึงสภาวะ Islanding ของระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อย เมื่อไม่มีการเชื่อมต่อการไฟฟ้า รวมทั้งเทคนิคในการหลีกเลี่ยงการเกิด Islanding สำหรับการผลิตไฟฟ้าแบบกระจายซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการทดสอบอย่างน้อยที่สุดซึ่งกระบวนการทดสอบนี้ใช้เฉพาะระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยขนาดเล็กที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ที่มีพิกัดแรงกำลังไฟฟ้าไม่เกิน 10 กิโลวัตต์หรือน้อยกว่า (ปัจจุบันยกเลิกและใช้มาตรฐาน IEEE-1547 แทน)

2.10.2 มาตรฐาน IEEE Std 1547.1™-2005 IEEE Standard Conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems

มาตรฐานนี้ได้กำหนดกระบวนการขั้นตอนการทดสอบอุปกรณ์ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละชนิด ขั้นตอนการทดสอบโดยข้อกำหนดต่างๆในมาตรฐานนี้ได้ถูกเปรียบเทียบกับมาตรฐานอื่นๆดังแสดงในตารางที่ 2.3

2.10.3 มาตรฐาน IEC 61727 Photovoltaic (PV) systems –Characteristics of the Utility interface

เป็นมาตรฐานสำหรับกำหนดคุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์สำหรับต่อขนานเข้ากับระบบจำหน่ายโดยข้อกำหนดในการหยุดจ่ายกระแสในมาตรฐานนี้ได้ถูกเปรียบเทียบกับมาตรฐานอื่นดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สรุปข้อกำหนดมาตรฐานต่างๆ ที่สำคัญ

มาตรฐาน	IEEE 1547	IEC 61727	กฟภ.	กฟน.
กำลังไฟฟ้า(ปกติ)	30 kW	10 kW	10 kW	10 kW
แรงดันไฟฟ้า (ปกติ)	88% - 110% (97V - 121V)	85% - 110% (196V - 253V)	200V – 240V	214 V – 237V
ความถี่ไฟฟ้า(ปกติ)	59.3 – 60.5 Hz	50±1 Hz	50±0.5 Hz	50±0.5 Hz
ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	—	0.9 (นำหน้า, ล้าหลัง)	0.9 (นำหน้า, ล้าหลัง)	0.85 (นำหน้า, ล้าหลัง)
การจ่ายไฟฟ้า กระแสตรงเข้าระบบ	น้อยกว่า 0.5% ของพิกัดกระแสอินเวอร์เตอร์	ไม่เกิน 1%ของ พิกัดกระแสอินเวอร์เตอร์	น้อยกว่า 0.5% ของพิกัดกระแสอินเวอร์เตอร์	ไม่เกินร้อยละ 0.5% ของพิกัดกระแสอินเวอร์เตอร์
ความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิก สูงสุด(THD)	5%	5%	ไม่เกิน 5 %	ไม่เกิน 5 %

ในส่วนของประเทศไทย หน่วยงานที่รับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายย่อย ได้มีข้อกำหนดเกี่ยวกับการรับซื้อ ไว้ได้แก่ ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2551 ระเบียบการไฟฟ้านครหลวงว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าพ.ศ. 2551

ทั้งสองระเบียบออกมาเพื่อใช้กับผู้ขอใช้บริการ ดังนี้ ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer: SPP) ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very Small Power Producer : VSPP) ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผู้ประกอบกิจการไฟฟ้ารายอื่น ซึ่งระเบียบทั้งสองฉบับนี้มีข้อกำหนดที่อ้างอิงจากมาตรฐานต่างประเทศเช่นของการไฟฟ้าภูมิภาคในการกำหนดคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ สำหรับเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 61727 เป็นต้น และได้ปรับเปลี่ยนมาตรฐานให้เหมาะสมกับประเทศไทย ดังนั้นจึงขอสรุปข้อกำหนดตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.4 ผลตอบสนองของอินเวอร์เตอร์ต่อการเกิด Islanding มาตรฐานต่างๆ

มาตรฐาน	Trip time(sec)
IEC 61727	≤ 2
IEEE 1547	2
กฟภ.	0.5*
กฟน.	0.1

*อยู่ในระหว่างการปรับปรุงระเบียบการเชื่อมต่อฯ โดยใช้ 0.5 วินาทีเป็นการชั่วคราว

จากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้นการนำระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าสำหรับต่อขนานเข้ากับระบบจำหน่ายนั้น ต้องคำนึงถึงเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้เพื่อให้เหมาะสมอินเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้ก็ต้องเลือกให้เหมาะสมและผ่านการทดสอบตามมาตรฐานสากลเป็นที่ยอมรับเมื่อเกิดเหตุผิดปกติขึ้น อินเวอร์เตอร์สามารถตัดตัวเองออกจากระบบได้ แม้มาตรฐานจะออกมารัดกุมป้องกันระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยที่เมื่อติดตั้งขนานกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแล้วจะไม่รบกวนระบบจำหน่ายไฟฟ้า ให้เสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของระบบลดลง แต่การคำนวณกระแสลัดวงจรไม่ได้กล่าวถึง ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยในการคำนวณกระแสลัดวงจร และในแต่ละมาตรฐานนั้นได้กำหนดเวลาของผลตอบสนองต่อการเกิด Islanding ไว้ต่างกันซึ่งผลของเวลานั้นเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งจะกล่าวในบทถัดไป