

บทที่ 4 ผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อ ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

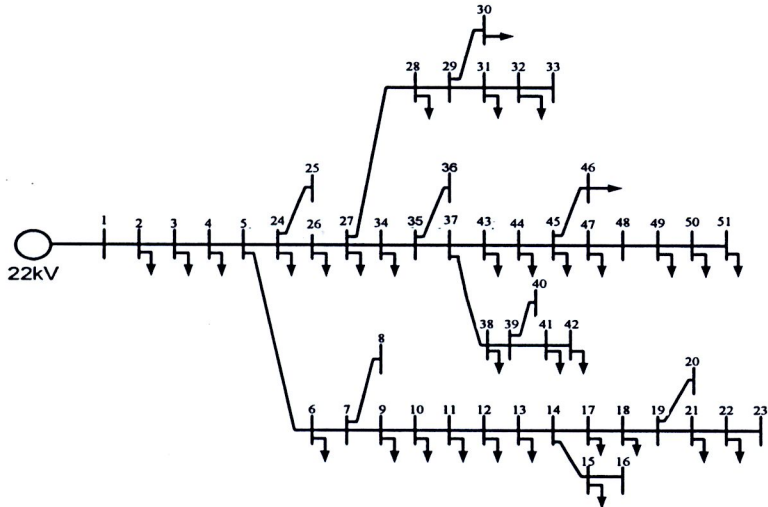
การหาผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อระบบจำหน่ายในบทนี้จะแบ่งเป็นสามขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการจำลองระบบจำหน่ายด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งระบบจำหน่ายที่จำลองนั้นเป็นข้อมูลระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อการจำลองระบบจำหน่าย ขั้นตอนที่สองเป็นการจำลองแหล่งจ่ายที่มีพฤติกรรมที่เหมาะสมในการใช้แทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเมื่อได้ระบบจำหน่ายในขั้นตอนที่หนึ่งและแหล่งจ่ายที่ใช้แทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในขั้นตอนที่สองแล้ว ทำให้ได้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออยู่ในระบบจำหน่าย ขั้นตอนสุดท้ายจำลองให้เกิดฟอลต์ในระบบจำหน่ายที่จำลองขึ้น โดยฟอลต์ที่จำลองขึ้นนี้จะทำโดยสมมติให้เกิดฟอลต์ขณะมีและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออยู่ เพื่อหาว่าระบบจำหน่ายที่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออยู่นั้นเมื่อเกิดฟอลต์แล้วระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้กระแสฟอลต์มีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างไร ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไป

4.1 การจำลองระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่นำมาจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น มีขนาดพิกัดแรงดัน 22 กิโลโวลต์ พิกัดกำลัง 2.2 เมกกะวัตต์ ภาระทางไฟฟ้ารวม 2.48 เมกกะวีเอ จำนวนสายในระบบ 4 สาย จำนวนโหลดบัส 51 โหลดบัส ดังตารางที่ 4.1 การจำลองระบบจำหน่ายนั้นกำหนดให้มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพียงแหล่งเดียว ใดอะแกรมที่แสดงระบบจำหน่ายที่ใช้ในการจำลองแสดงในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ระบบจำหน่ายที่ใช้ในการจำลอง

พิกัดแรงดัน	22 KV
พิกัดกำลัง	2.232 MW
ภาระทางไฟฟ้ารวมของระบบ	2.48 MVA
จำนวนสายในระบบ	4
จำนวนโหลดบัส	51

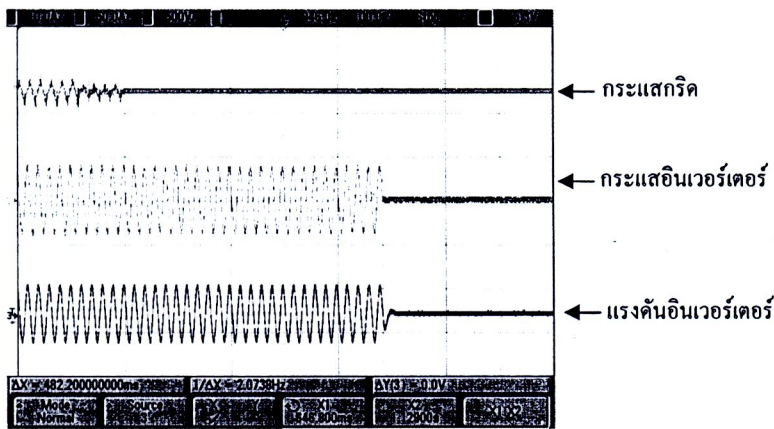


รูปที่ 4.1 ไคอะแกรมระบบจำหน่ายขนาด 51 บัส

รูปที่ 4.1 แสดงไคอะแกรมระบบจำหน่ายที่มีจำนวนบัส 51 บัส จำนวนสาย 4 สาย รายละเอียดของระบบจำหน่ายได้แสดงไว้แล้วในตารางที่ 4.1 จากไคอะแกรมแสดงให้เห็นว่าระบบจำหน่ายนั้นมีแหล่งจ่ายเพียงแหล่งเดียว

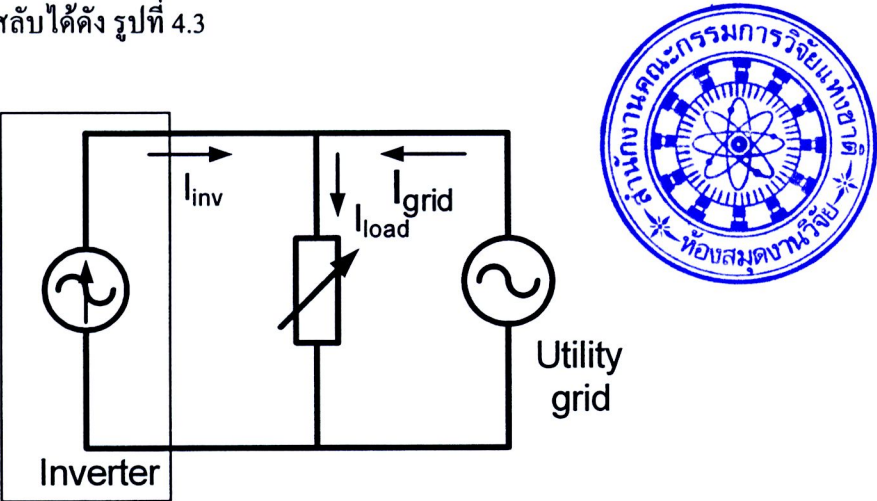
4.2 จำลองแหล่งจ่ายที่ใช้แทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

จากการทดสอบอินเวอร์เตอร์ในบทที่ผ่านมาพบว่าอินเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบแม้ผ่านการทดสอบหน้าที่การป้องกันการเกิด Islanding ตามมาตรฐาน IEEE-1547 และ IEC 1627 แล้วก็ตาม เพื่อจำลองแหล่งจ่ายที่ใช้แทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น เมื่อสังเกตเวลาที่อินเวอร์เตอร์ใช้ในการหยุดจ่ายกระแส ตั้งแต่ระบบจำหน่ายหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า และอินเวอร์เตอร์ตรวจพบและหยุดจ่ายกระแส ใช้เวลาน้อยที่สุด 28 มิลลิวินาทีและเวลามากที่สุด 639.6 มิลลิวินาที (จากการทดสอบ) ซึ่งแม้ว่าตามมาตรฐานจะกำหนดค่าเวลาที่อินเวอร์เตอร์ต้องหยุดจ่ายกระแสภายในเวลาที่กำหนดคือ 2 วินาทีก็ตาม จากการทดสอบและบันทึกผลรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเมื่อลดขนาดจากสูงสุดลงต่ำสุดจะไม่เหมือนกับพฤติกรรมของกระแสของเครื่องจักรกลชนิดหมุนขณะเกิดฟอลต์คือกระแสและแรงดันของอินเวอร์เตอร์จะไม่มีส่วนของ ชับทรานเซียน ทรานเซียน ด้วยพฤติกรรมการหยุดจ่ายกระแสของอินเวอร์เตอร์นี้สามารถพิจารณาจำลองแหล่งจ่ายที่มีพฤติกรรมเช่นนี้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้แทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อต่อเข้าไปในระบบจำหน่ายที่จำลองขึ้น ซึ่งรูปคลื่นของการหยุดจ่ายกระแสของอินเวอร์เตอร์แสดงในรูปที่ 4.2



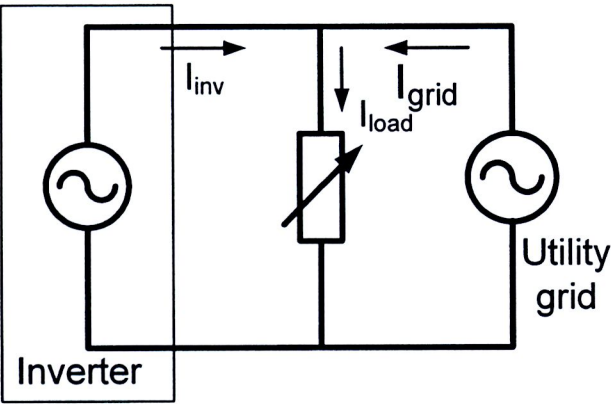
รูปที่ 4.2 รูปคลื่นกระแสดกริด กระแสและแรงดันอินเวอร์เตอร์ ที่ภาระ 105% ของกำลังรวมอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 4.2 แสดงรูปคลื่นกระแสดกริด กระแสไฟฟ้าและแรงดันอินเวอร์เตอร์ขณะหยุดจ่ายกระแสจากรูปแสดงให้เห็นว่าขณะเมื่อกริดหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าแล้วอินเวอร์เตอร์จะไม่หยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าตามกระแสดกริด แต่ยังคงจ่ายกระแสไปอีกชั่วระยะเวลาหนึ่ง กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ที่ยังคงจ่ายอยู่นั้นมีขนาดของ I_{pp} และ V_{pp} คงที่ จากรูปที่ 4.2 กระแสที่อินเวอร์เตอร์จ่ายมีขนาด $90 A_{pp}$ และขณะหยุดจ่ายก็ยังมีขนาดคงที่ที่ $90 A_{pp}$ และลดลงจนเป็นศูนย์ ด้วยพฤติกรรมการหยุดจ่ายกระแสของอินเวอร์เตอร์นี้สามารถนำมาพิจารณาจำลองแหล่งจ่ายในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า และด้วยพฤติกรรมของอินเวอร์เตอร์ที่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้างกล่าว สามารถจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าชนิดคงที่และสามารถเขียนไดอะแกรมของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับได้ดัง รูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ไดอะแกรมแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ

ในขณะที่อินเวอร์เตอร์ก็จ่ายแรงดันไฟฟ้าด้วยดังในรูปที่ 4.2 แรงดันที่อินเวอร์เตอร์ที่จ่ายมีขนาด 630 V_{p-p} และขณะหยุดจ่ายก็ยังมีขนาดคงที่ที่ 630 V_{p-p} และลดลงจนเป็นศูนย์ ดังนั้นเราสามารถจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่เราสามารถเขียนไดอะแกรมของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสกลับได้ ดังรูปที่ 4.4

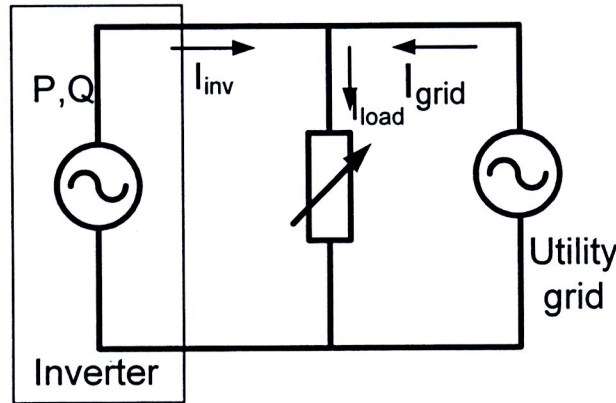


รูปที่ 4.4 ไดอะแกรมแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสกลับ

จากการที่อินเวอร์เตอร์มีการจ่ายกระแสและแรงดันที่คงที่ สามารถเขียนสมการกำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

$$P_{source} = I_{source} \times V_{source} \tag{4.1}$$

ในสมการที่ 4.1 P_{source} คือกำลังไฟฟ้าแหล่งจ่าย I_{source} คือกระแสไฟฟ้าแหล่งจ่าย และ V_{source} คือแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่าย กำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าคูณด้วยแรงดันไฟฟ้า เนื่องจาก I_{source} มีขนาดคงที่และ V_{source} มีขนาดคงที่ เมื่อกระแสและแรงดันคงที่เราจึงสามารถจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบคงที่ได้ ไดอะแกรมแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสกลับได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.5

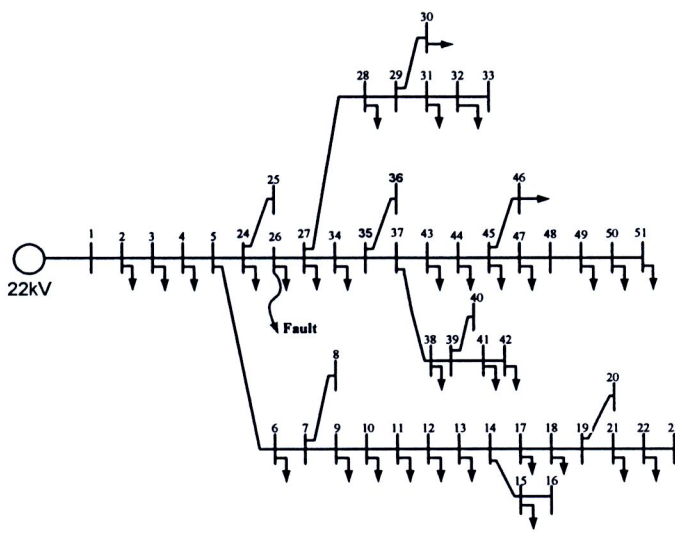


รูปที่ 4.5 ไดอะแกรมแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสกลับ

ดังนั้นการจำลองให้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแทนด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายทั้งสามเพราะที่ต้องการหาผลเปรียบเทียบว่าแหล่งจ่ายชนิดไหนเหมาะสมที่จะใช้แทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.3 ผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อระบบจำหน่าย

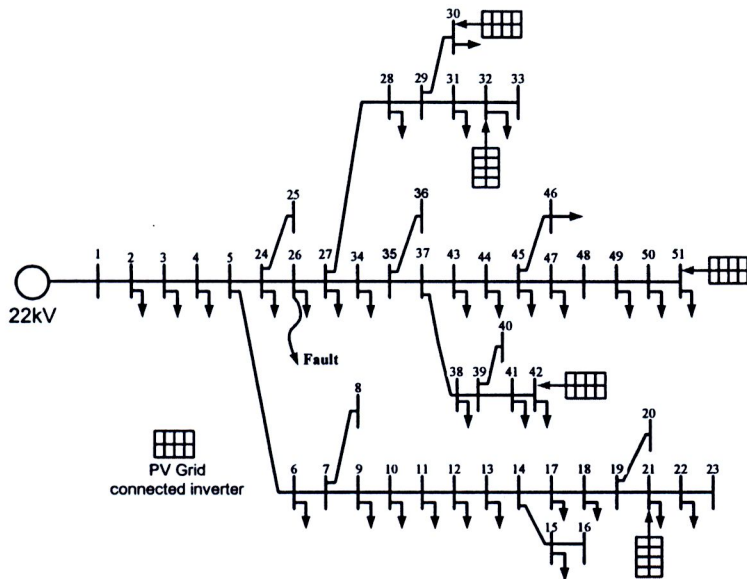
ในหัวข้อที่ผ่านมาได้ทำการจำลองระบบจำหน่ายและแหล่งจ่ายสำหรับแทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อจากนี้จะเป็นการหาผลกระทบจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อระบบจำหน่ายขณะเกิดฟอลต์ การหาผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อระบบจำหน่ายขณะเกิดฟอลต์นั้นเราจำลองให้เกิดฟอลต์ในระบบจำหน่ายขณะมีและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออยู่ กล่าวคือเมื่อเราจำลองให้เกิดฟอลต์ในระบบจำหน่ายขณะ ไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นนั้น จะจำลองฟอลต์ที่เกิดกับระบบไฟฟ้ากำลังทั่วไปมีด้วยกันสี่แบบคือ ฟอลต์สามเฟส ฟอลต์ชนิดเฟสเดียวลงกราวด์ ฟอลต์ชนิดสองเฟส และฟอลต์ชนิดสองเฟสลงกราวด์ ซึ่งทำการจำลองให้เกิดฟอลต์ทั้งสี่ชนิด แล้วบันทึกค่าขณะเกิดฟอลต์ทั้งสี่ชนิดโดยไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออยู่ในระบบจำหน่าย ดังได้แสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 โค้ดแอมระบบจำหน่ายและเกิดฟอลต์ในระบบจำหน่าย

เมื่อเราจำลองฟอลต์ในระบบจำหน่ายที่ไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออยู่และทำการบันทึกกระแสฟอลต์ของแต่ละชนิดแล้ว จากนั้นต่อระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (จำลองด้วยแหล่งจ่ายต่าง ๆ) ต่อเข้ากับบัสต่างๆที่เป็นโหลดบัส โดยที่ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จะติดตั้งแบบกระจาย ที่บัส 21, 30, 32, 42 และ 51 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.7 และจากการที่เราใช้แหล่งจ่ายต่าง ๆ ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อแทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นั้นก็เพื่อที่จะหา

แหล่งจ่ายที่เหมาะสมในการแทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นในการจำลองให้เกิดฟอลต์ในระบบจำหน่ายนั้นจึงต้องติดตั้งแหล่งจ่ายที่แทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสามเข้าไปในระบบจำหน่าย โดยแทนที่ละแหล่งจ่ายแล้วทำให้เกิดฟอลต์ชนิดสามเฟส ฟอลต์ชนิดเฟสเดียวลงกราวด์ ฟอลต์ชนิดสองเฟส และฟอลต์ชนิดสองเฟสลงกราวด์ตามลำดับ แล้วบันทึกผลกระทบแอฟฟอลต์แต่ละชนิด โดยเริ่มจากแหล่งจ่ายแรงดัน แหล่งจ่ายกระแส และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า



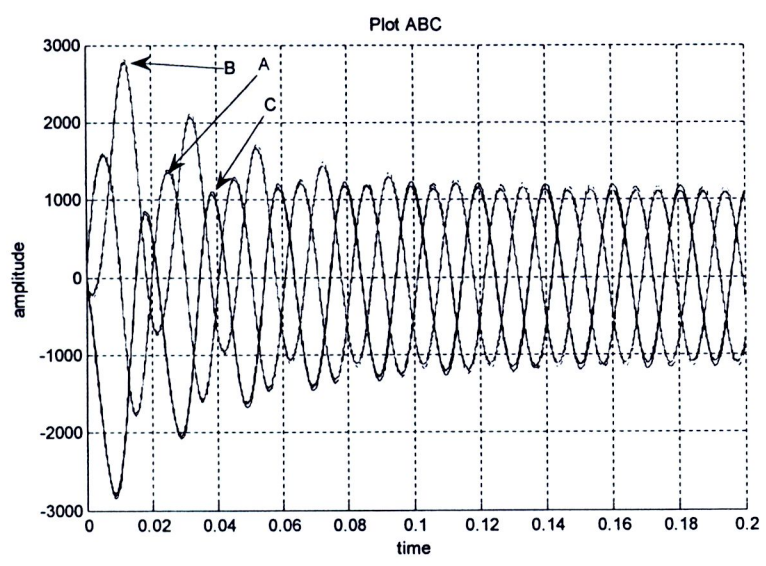
รูปที่ 4.7 ไดอะแกรมระบบจำหน่ายที่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับระบบจำหน่ายและเกิดฟอลต์ในระบบจำหน่าย

รูปที่ 4.7 แสดงไดอะแกรมระบบจำหน่ายขนาด 51 บัสที่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับระบบจำหน่ายที่บัส 21, 30, 32, 42 และ 51 ตามลำดับ และเกิดฟอลต์ในระบบจำหน่าย และการที่ได้จำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายต่าง ๆ นั้น แหล่งจ่ายแรงดันเป็นแหล่งจ่ายเดียวที่ไม่สามารถปรับลดได้ ส่วนแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้นสามารถปรับลดได้ ดังนั้นในการจำลองแหล่งจ่ายเพื่อแทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เราจะค่อยๆ เพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าและปริมาณกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบจำหน่ายเสมือนประหนึ่งว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีปริมาณเพิ่มขึ้นแล้วทำให้เกิดฟอลต์และบันทึกค่ากระแสฟอลต์ตามปริมาณกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเพิ่มเข้าไป ปริมาณของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มเข้าไบนั้นจะเริ่มที่ 33%, 66% และ 100% ของภาระรวมของระบบจำหน่ายและปริมาณกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มเข้าไปในระบบจำหน่ายจะเริ่มที่ 10% แล้วเพิ่มขึ้นทีละ 10% จนถึง 100% ของภาระรวมของระบบจำหน่าย กล่าวโดยสรุปคือเมื่อเพิ่มปริมาณของกระแสไฟฟ้าเข้าป้อนหนึ่ง ทำการจำลองให้เกิดฟอลต์ทั้งสี่ชนิดโดยจำลองให้เกิดทีละชนิดและบันทึกผล

กระแสฟอลท์แต่ละชนิด แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าก็เช่นเดียวกัน คือเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบ จำหน่ายแล้วทำการจำลองให้เกิดฟอลท์ทั้งสี่ชนิดและบันทึกค่ากระแสของฟอลท์แต่ละชนิด เปรียบเทียบผลกระแสฟอลท์จากแหล่งจ่ายต่าง ๆ (รายละเอียดผลกระแสฟอลท์แสดงในภาคผนวก จ)

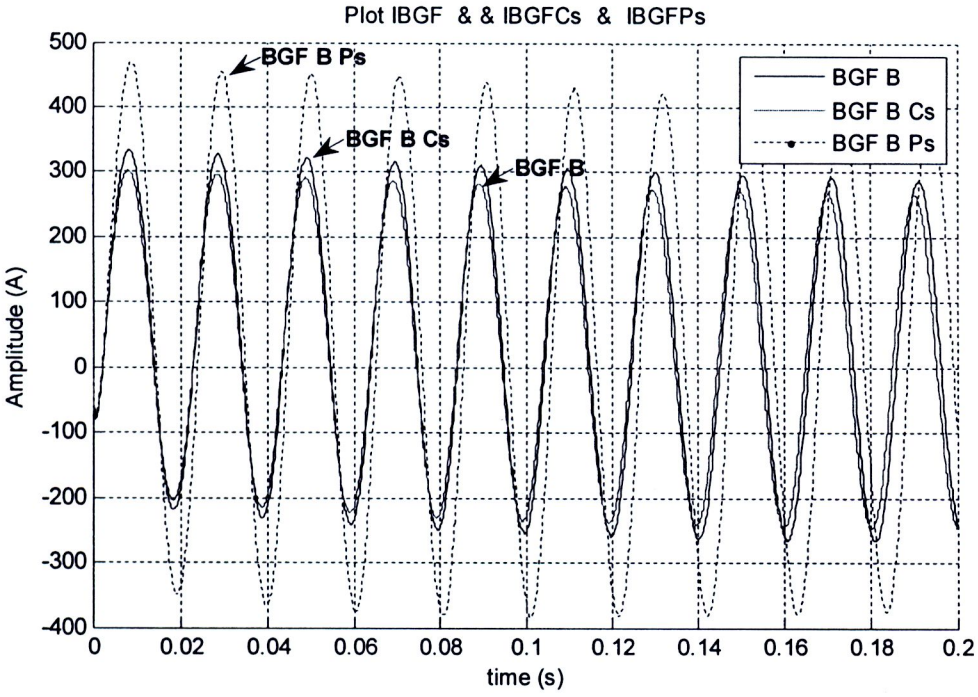
4.3.1 กระแสฟอลท์ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับระบบจำหน่าย

กระแสฟอลท์ที่เกิดจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (แหล่งจ่ายต่างๆ) ที่ต่อเข้าไปในระบบจำหน่ายจะได้แสดงในหัวข้อนี้ ซึ่งผลของกระแสฟอลท์ที่บันทึกนั้นจะแบ่งออกเป็น กระแสฟอลท์ขณะไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออยู่ในระบบจำหน่าย กระแสฟอลท์ขณะมีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบจำหน่าย (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ถูกแทนด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า) กระแสฟอลท์ขณะมีแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบจำหน่าย (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ถูกแทนด้วยแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า) ซึ่งแหล่งจ่ายกระแสจะเพิ่มกระแสไฟฟ้าขึ้น 33%, 66% และ 100% ของการรวมของระบบจำหน่ายตามที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา และกระแสฟอลท์ขณะมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบจำหน่าย (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ถูกแทนด้วยแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า) ซึ่งแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเริ่มตั้งแต่ 10% จนถึง 100% ของการรวมของระบบจำหน่ายโดยเพิ่มขึ้นทีละ 10% กระแสฟอลท์ที่บันทึกนั้นจะแยกเป็นกระแสฟอลท์ชนิดสามเฟส กระแสฟอลท์ชนิดสองเฟส กระแสฟอลท์ชนิดสองเฟสลงกราวด์ และสุดท้ายคือกระแสฟอลท์ชนิดเฟสเดียวลงกราวด์



รูปที่ 4.8 รูปคลื่นกระแสฟอลท์แบบสามเฟสเมื่อมีการติดตั้ง PV = 100%

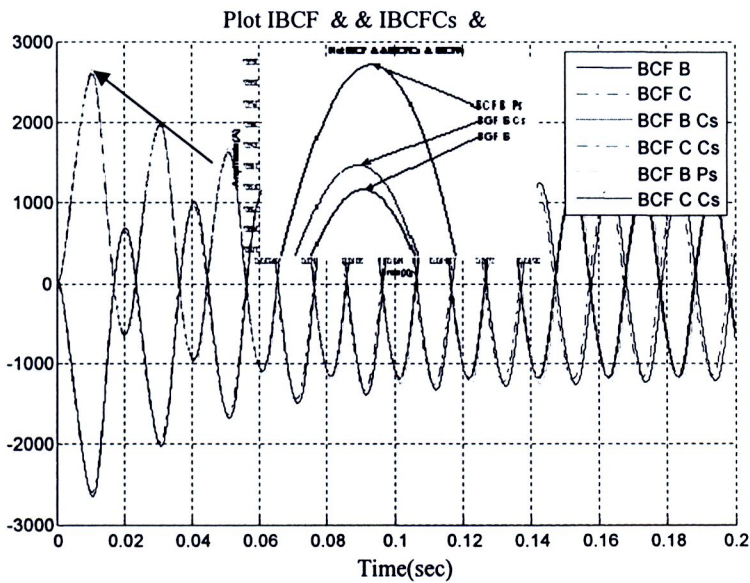
รูปที่ 4.8 แสดงรูปคลื่นกระแสฟอลท์แบบสามเฟส ซึ่งพบว่าระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าเป็นเครื่องจักรกลชนิดหมุนเป็นแหล่งจ่ายเมื่อเกิดฟอลท์ขึ้นกระแสฟอลท์จะมีค่าสูงและลดลงอย่างรวดเร็วในเวลาต่อมา การนำค่ากระแสฟอลท์ไปใช้งานนั้นจะนำค่ากระแสฟอลท์ในช่วงครึ่งไซเคิลแรกซึ่งเรียกว่าช่วงซับทรานเซียนด์ (Sub transient) ดังนั้นการจำลองระบบจำหน่ายให้เกิดฟอลท์ขึ้นจะบันทึกผลกระแสในรูปครึ่งไซเคิลแรกของกระแสฟอลท์ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.9 รูปคลื่นกระแสฟอลท์แบบเฟสเดียวลงกราวด์เมื่อมีการติดตั้ง PV = 100%

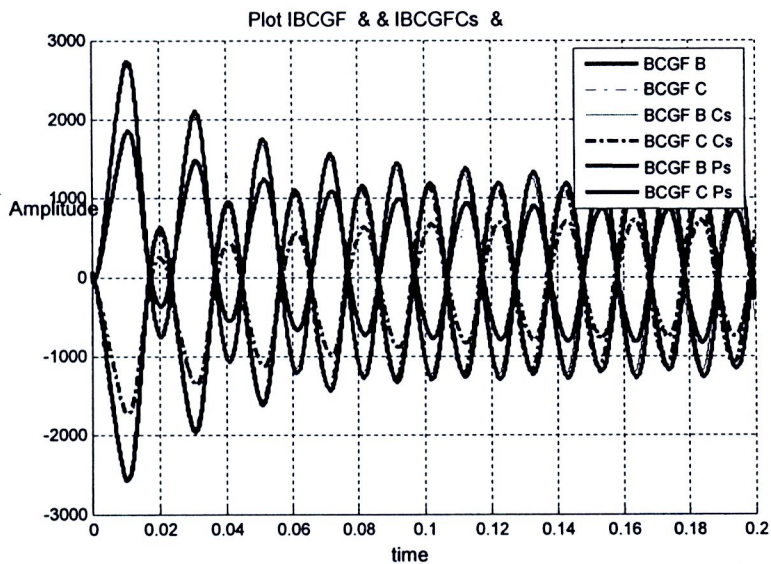
รูปที่ 4.9 แสดงรูปคลื่นของฟอลท์ชนิดเฟสเดียวลงกราวด์ซึ่งจะเปรียบเทียบผลของกระแสขณะเกิดฟอลท์แบบที่ไม่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่อเข้ากับกระแสฟอลท์ที่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่ (ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยแทนด้วยแหล่งจ่ายกระแสและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์) จากรูปแสดงให้เห็นรูปคลื่นที่ต่ำที่สุดแสดงกระแสฟอลท์ของระบบจำหน่ายที่ไม่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่ รูปคลื่นที่สูงขึ้นแสดงให้เห็นคลื่นของกระแสฟอลท์ที่มีแหล่งจ่ายกระแส และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เป็นรูปคลื่นสูงสุดตามลำดับ จากรูป 4.9 เส้น BGF B คือ กระแสฟอลท์ของเฟส B ที่ไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออยู่ในระบบ เส้น BGF B Cs คือ กระแสฟอลท์เฟส B ที่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออยู่ในระบบ (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แทนด้วยแหล่งจ่ายกระแส) และ เส้น BGF B Ps คือกระแสฟอลท์เฟส B ที่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แทนด้วยแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อในระบบ

รูปที่ 4.10 แสดงรูปคลื่นของฟอลต์ชนิดสองเฟสลัดวงจรซึ่งจะเปรียบเทียบผลของกระแสขณะเกิดฟอลต์แบบที่ไม่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่กับกระแสฟอลต์ที่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่ (ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยแทนด้วยแหล่งจ่ายกระแสและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์) จากรูปแสดงให้เห็นรูปคลื่นที่ต่ำที่สุดคือกระแสฟอลต์ของระบบจำหน่ายที่ไม่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่ รูปคลื่นที่สูงขึ้นเป็นคลื่นของกระแสฟอลต์ที่มีแหล่งจ่ายกระแส และรูปคลื่นของกระแสฟอลต์ที่มีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่เป็นรูปคลื่นสูงสุดตามลำดับ

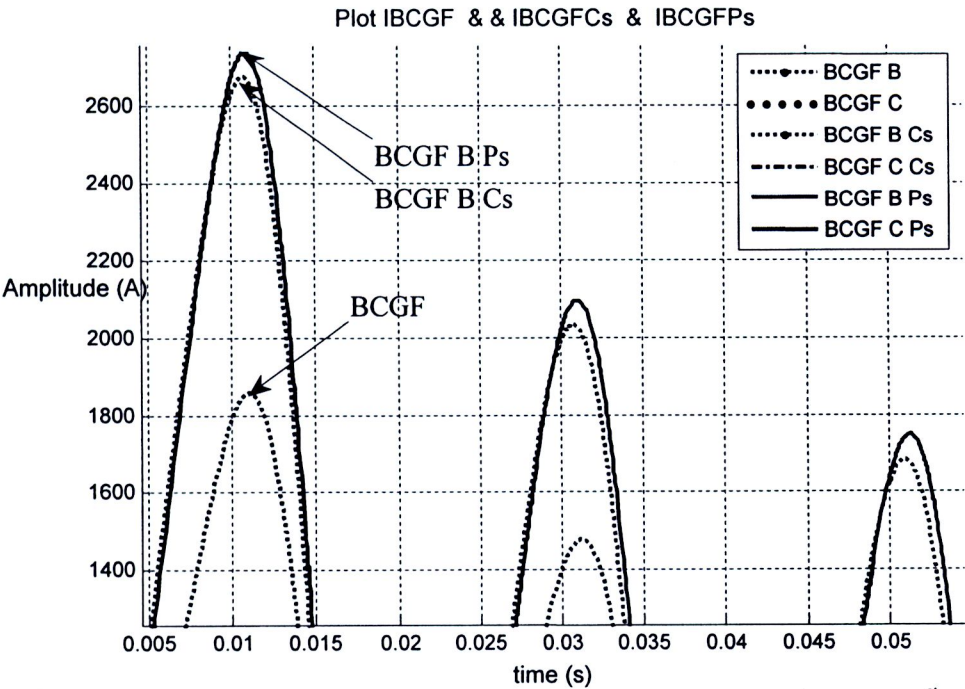


รูปที่ 4.10 รูปคลื่นกระแสฟอลต์แบบสองเฟสลัดวงจรเมื่อมีการติดตั้ง PV = 100%

จากรูปที่ 4.10 เส้น BCF B คือกระแสฟอลต์ที่เฟส B เส้น BCF C คือกระแสฟอลต์ที่เฟส C เส้น BCF B Cs คือกระแสฟอลต์ที่เฟส B โดยมีแหล่งจ่ายกระแสต่ออยู่ (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แทนด้วยแหล่งจ่ายกระแส) เส้น BCF C Cs คือกระแสฟอลต์ที่เฟส C โดยมีแหล่งจ่ายกระแสต่ออยู่ (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แทนด้วยแหล่งจ่ายกระแส) เส้น BCF B Ps คือกระแสฟอลต์ที่เฟส B โดยมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่ออยู่ (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แทนด้วยแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า) เส้น BCF C Ps คือกระแสฟอลต์ที่เฟส C โดยมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่ออยู่ (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แทนด้วยแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า)



รูปที่ 4.11 รูปคลื่นกระแสฟอลท์ชนิดสองเฟสลัดวงจรลงกราวด์เมื่อมีการติดตั้ง PV=100%



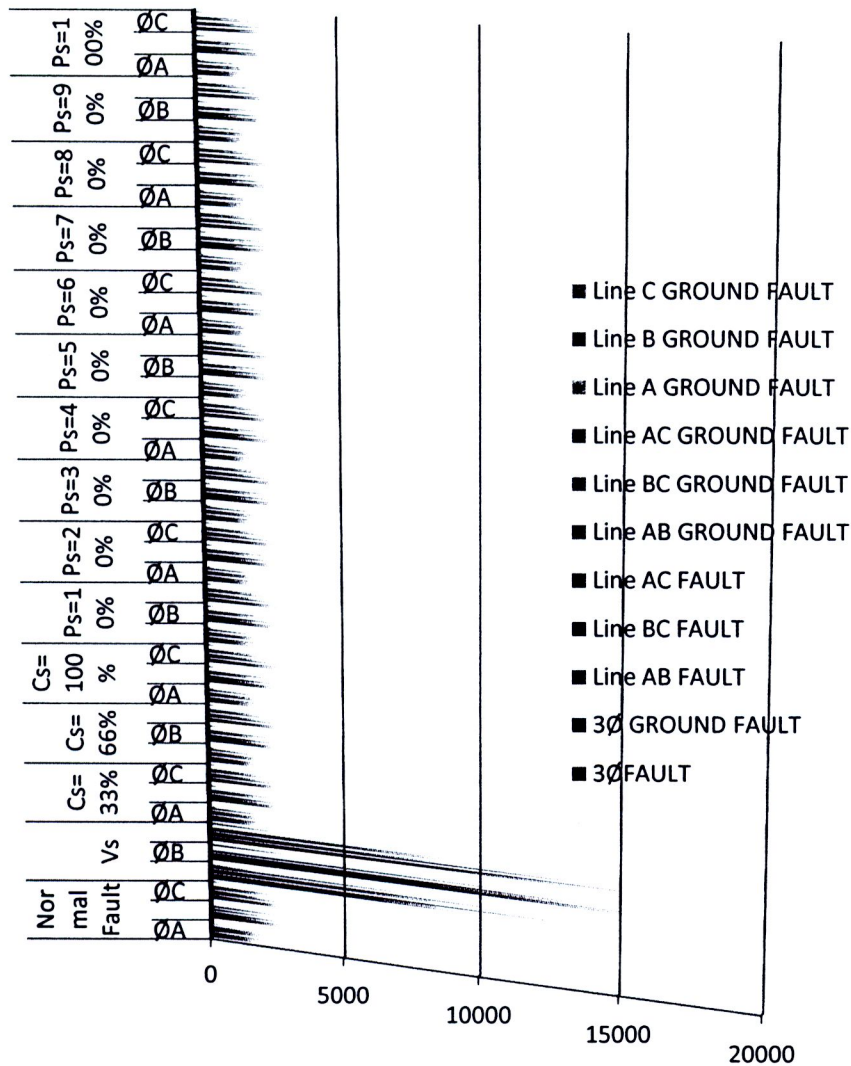
รูปที่ 4.12 รูปขยายรูปคลื่นกระแสฟอลท์ชนิดสองเฟสลัดวงจรลงกราวด์เมื่อมีการติดตั้ง PV=100%

รูปที่ 4.11 แสดงรูปคลื่นระดับกระแสฟอลท์แบบสองเฟสลัดวงจรลงกราวด์และรูปที่ 4.12 แสดงรูปขยายระดับกระแสฟอลท์แบบสองเฟสลัดวงจรลงกราวด์ ซึ่งในรูปนี้ BCGF คือการลัดวงจรระหว่างเฟส B และเฟส C ลงกราวด์ BCGFCs คือการลัดวงจรระหว่างเฟส B และเฟส C ลงกราวด์ มีแหล่งจ่ายกระแสต่ออยู่ในระบบ และ BCGF Ps คือการลัดวงจรระหว่างเฟส B และเฟส C ลงกราวด์มีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่ออยู่ในระบบ เปรียบเทียบผลของกระแสขณะเกิดฟอลท์แบบที่ไม่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่กับกระแสฟอลท์ที่มีระบบหน่วยผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่ (ระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยแทน

ด้วยแหล่งจ่ายกระแสและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์) จากรูปแสดงให้เห็นรูปคลื่นที่ต่ำที่สุดแสดงกระแสฟอลต์ของระบบจำหน่ายที่ไม่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่ รูปคลื่นที่สูงขึ้นแสดงรูปคลื่นของกระแสฟอลต์ที่มีแหล่งจ่ายกระแส และรูปคลื่นของกระแสฟอลต์ที่มีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เป็นรูปคลื่นสูงสุดตามลำดับ

จากกระแสฟอลต์ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีแหล่งจ่ายแบบต่างๆต่อเข้ากับระบบจำหน่าย โดยการแทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (จำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์) นั้นพบว่าการแทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันนั้นจะทำให้กระแสฟอลต์เพิ่มขึ้นสูงเกินความเป็นจริงซึ่งไม่สามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าได้ ต่างกับการแทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า กระแสฟอลต์จากแหล่งจ่ายทั้งสองจะค่อยๆมีค่ามากขึ้นตามเปอร์เซ็นต์การเพิ่มปริมาณกระแสหรือกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปในระบบ ดังนั้นการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันจึงไม่เหมาะสมสำหรับจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แต่แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะเหมาะสมในการแทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ขนาดของกระแสฟอลต์ของระบบจำหน่าย จากเหตุการณ์ต่างๆและแหล่งจ่ายต่างๆ ได้แสดงในรูปที่ 4.13 จากรูปจะเห็นได้ว่ากระแสฟอลต์ที่เกิดจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าสูงมากเกินความเป็นจริง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแหล่งจ่ายแรงดันนี้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปแทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวแล้ว จากรูปที่ 4.13 Normal Fault คือ ฟอลต์ปกติที่ไม่มีแหล่งจ่ายต่อในระบบขณะเกิดฟอลต์ C_s คือผลของกระแสฟอลต์ที่มีแหล่งจ่ายเป็นแหล่งกำเนิดกระแส เช่น $C_s = 33\%$ นั้นหมายถึงขนาดของปริมาณกระแสที่ป้อนเข้าไปในระบบขนาด 33% ของภาระรวม และ P_s คือผลของกระแสฟอลต์ที่มีแหล่งจ่ายเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่ออยู่ในระบบ เช่น $P_s = 10\%$ นั้นหมายถึงขนาดของปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปในระบบขนาด 10% ของภาระรวมเป็นต้น ทั้งสามแหล่งจ่ายกำเนิดกระแสฟอลต์ที่ละแหล่งจ่ายที่ละเหตุการณ์ เมื่อสังเกตจากรูปที่ 4.13 จะพบว่ากระแสฟอลต์ที่มาจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะสูงมากเมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายอื่นๆ



รูปที่ 4.13 กราฟกระแสฟอลท์จากเหตุการณ์ต่างๆและแหล่งจ่ายต่างๆ

4.4 ผลกระทบต่ออุปกรณ์ป้องกัน

เซอร์กิตเบรกเกอร์ทั่ว ๆ ไปจะต้องตัดกระแสลัดวงจรที่ไม่สมมาตร คือยังมีส่วนประกอบของกระแสตรงที่กำลังลดลงรวมอยู่ด้วย ซึ่งก็คือกระแสนินเตอร์รัปติง กระแสนินเตอร์รัปติงจะพิจารณาให้อยู่ในช่วง ทรานเซียนต์ ดังนั้นจึงมีค่าต่ำกว่ากระแสชั่วขณะและขึ้นอยู่กับความเร็วในการตัดกระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เช่น 1.5, 3, 5 หรือ 8 ไซเคิล ซึ่งความเร็วในการตัดกระแสนี้จะเริ่มนับเวลาตั้งแต่เกิดการลัดวงจรขึ้นจนกระทั่งอาร์ก (Arc) ที่หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ดับลง สำหรับค่าของกระแสลัดวงจรสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.27 และพิกัดการตัดกระแสสามารถหาได้จากสมการ 2.26 การคำนวณกระแสลัดวงจรและพิกัดการตัดกระแส เพื่อหาผลกระทบต่ออุปกรณ์ป้องกันใน

วิทยานิพนธ์นี้ แบ่งเป็นขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ไม่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่และขนาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่ สามารถแสดงได้ดังนี้

จากสมการที่ 2.27 ($IC = I_f'' \times MF$) กระแส I_f'' ได้จากตารางที่ จ.1 (กระแส I_f'' ที่ได้จากตารางที่ จ.1 คูณด้วย 0.707 เพื่อทำเป็นค่าประสิทธิผล) แฟกเตอร์การคูณจากรูปที่ 2.19 สมมติให้บัสที่ลัดวงจรมีอัตราส่วน X/R มีค่าเท่ากับ 24 และเบรกเกอร์มีความเร็วในการตัดกระแสที่ 3 ไซเคิล ดังนั้นตามเส้นโค้งในรูปที่ 2.19 จะได้แฟกเตอร์การคูณเท่ากับ 1.1 เมื่อแทนค่าในสมการจะได้กระแสอินเตอร์รัปติง

$$IC = \left[\frac{2785.76}{\sqrt{2}} \right] \times 1.1$$

= 2166.49 A

เมื่อทำการหา กระแส IC ได้นำไปแทนค่าในสมการที่ 2.26 จะได้พิกัดการตัดกระแส (MVA) คือ

$$MVA = \sqrt{3} \times 22 \times 2.17$$

= 82.55 MVA

การคำนวณกระแสที่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่ (กรณีเป็นแหล่งจ่ายกระแส) จากสมการที่ 2.27 ($IC = I_f'' \times MF$) กระแส I_f'' ได้จากตารางที่ จ.2 (กระแส I_f'' ที่ได้จากตารางที่ จ.1 คูณด้วย 0.707 เพื่อทำเป็นค่าประสิทธิผล) แฟกเตอร์การคูณจากรูปที่ 2.19 สมมติให้บัสที่ลัดวงจรมีอัตราส่วน X/R มีค่าเท่ากับ 24 และเบรกเกอร์มีความเร็วในการตัดกระแสที่ 3 ไซเคิล ดังนั้นตามเส้นโค้งในรูปที่ 2.19 จะได้แฟกเตอร์การคูณเท่ากับ 1.1 เมื่อแทนค่าในสมการจะได้กระแสอินเตอร์รัปติง

$$IC = \left[\frac{2812.23}{\sqrt{2}} \right] \times 1.1$$

= 2187.07 A

เมื่อทำการหากระแส IC นำไปแทนค่าในสมการที่ 2.26 จะได้พิกัดการตัดกระแส (MVA) คือ

$$MVA = \sqrt{3} \times 22 \times 2.19$$

= 83.45 MVA

การคำนวณกระแสที่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่ (กรณีเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า) จากสมการที่ 2.27 ($IC = I_f'' \times MF$) กระแส I_f'' ได้จากตารางที่ จ.3 (กระแส I_f' ที่ได้จากตารางที่ จ.1 คูณด้วย 0.707 เพื่อทำเป็นค่าประสิทธิผล) แฟกเตอร์การคูณจากรูปที่ 2.19 สมมติให้บัสที่ลัดวงจรมีอัตราส่วน X/R มีค่าเท่ากับ 24 และเบรกเกอร์มีความเร็วในการตัดกระแสที่ 3 ไชเกิล ดังนั้นตามเส้นโค้งในรูปที่ 2.19 จะได้แฟกเตอร์การคูณเท่ากับ 1.1 เมื่อแทนค่าในสมการจะได้กระแสอินเตอร์รัปติง มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่ (กรณีเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า) จากสมการที่ 2.27 กระแส I_f'' ได้จากตารางที่ จ.3 แฟกเตอร์การคูณจากรูปที่ 2.2 จะได้กระแสอินเตอร์รัปติง

$$IC = \left[\frac{2848.97}{\sqrt{2}} \right] \times 1.1$$
$$= 2215.64 \text{ A}$$

เมื่อทำการหา กระแส IC ได้นำไปแทนค่าในสมการที่ 2.26 จะได้ พิกัดการตัดกระแส (MVA) คือ

$$MVA = \sqrt{3} \times 22 \times 2.22$$
$$= 84.59 \text{ MVA}$$

จากการคำนวณกระแสอินเตอร์รัปติงและพิกัดการตัดกระแสของระบบจำหน่ายที่จำลองขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้พบว่าเมื่อเกิดกระแสฟลท์ในระบบจำหน่ายที่ทำการจำลอง กระแสและพิกัดของกระแสรอบจำหน่ายที่ไม่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่มีค่าน้อยกว่ากระแสและพิกัดของกระแสรอบจำหน่ายที่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่ในที่นี้คือระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงการเปรียบเทียบในตารางข้างล่าง

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบกระแสลัดวงจรจากแหล่งจ่ายต่างๆ

	No Source	Current Source	Power Source
กระแสอินเตอร์รัปติง(A)	2166.49	2187.07	2215.64
พิกัดการตัดกระแส (MVA)	82.55	83.45	84.59

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบกระแสอินเตอร์รัปต์และพิกัดการตัดวงจรของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีและไม่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบจำหน่ายที่มีระบบผลิตไฟฟ้ารายย่อยต่ออยู่ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระแสตัดวงจรมีค่าเพิ่มขึ้นและพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็มีค่าเพิ่มขึ้น

4.5 สรุปผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อระบบ

จำหน่ายไฟฟ้า

จากการที่ได้จำลองระบบจำหน่ายและทำให้เกิดฟอลต์ในที่จำลองขึ้นและบันทึกผลกระทบฟอลต์โดยไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออยู่ในระบบจำหน่าย และจากการทดสอบอินเวอร์เตอร์ในบทที่ผ่านมาจะพบพฤติกรรมการหยุดจ่ายกระแสของอินเวอร์เตอร์แบบต่อกับระบบจำหน่ายที่ใช้สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์โดยการลดระดับของแรงดันและกระแส และพฤติกรรมการใช้เวลาในการหยุดจ่ายกระแสของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งรูปคลื่นแรงดันและกระแสได้แสดงแล้วในบทที่ผ่านมา พฤติกรรมการลดขนาดของกระแสและแรงดันทำให้สามารถหาแหล่งจ่ายที่ใช้แทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการจำลองระบบจำหน่ายได้ และอินเวอร์เตอร์ใช้เวลาระยะหนึ่งกว่าที่กระแสและแรงดันจะลดลงเป็นศูนย์ จากการทดสอบขนาดของกระแสและขนาดของแรงดันคงที่ก่อนที่จะหยุดจ่าย ด้วยพฤติกรรมนี้ทำให้เราสามารถหาแบบจำลองแหล่งจ่ายในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อแทนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ได้ คือจำลองระบบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า จำลองระบบด้วยแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า และจำลองระบบด้วยแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เมื่อจำลองให้เกิดฟอลต์ชนิดต่าง ๆ ในระบบจำหน่ายโดยที่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออยู่ (ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ถูกแทนด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าและแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในการจำลอง) กระแสฟอลต์ที่เกิดจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อกับระบบจำหน่าย เมื่อเปรียบเทียบกับกระแสฟอลต์ของระบบจำหน่ายที่ไม่มีระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออยู่ พบว่ากระแสฟอลต์จากระบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จะเสริมกับกระแสฟอลต์เดิมทำให้กระแสฟอลต์มีขนาดเพิ่มขึ้นดังได้แสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.8 - 4.12 ดังนั้นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เข้าไปในระบบจำหน่าย เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นแล้วกระแสฟอลต์นี้จะมีค่าสูงขึ้นจากการที่กระแสฟอลต์สูงขึ้นเมื่อนำมาคำนวณกระแสอินเตอร์รัปต์ และพิกัดการตัดกระแสก็จะเห็นได้ว่ากระแสอินเตอร์รัปต์และพิกัดการตัดกระแสเปลี่ยนไป นั่นย่อมส่งผลถึงอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งการจำลองและการคำนวณได้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบดังกล่าวมาแล้ว