



เทคนิคการตรวจจับการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระแบบแอคทีฟ
ในการต่อต้านการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
ที่เชื่อมต่อน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

Active Islanding Detection Techniques of Anti-Islanding for
Grid-Connected Distributed Generation

มานพ ยิ่งรัมย์^{1*} และคณิศร สุริยราช²

Received: July, 2016; Accepted: October, 2016

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเทคนิคการตรวจจับการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระแบบแอคทีฟในการต่อต้านการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว โดยจะให้เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบเปลี่ยนแรงดันเป็นตัวแทนของเทคนิคตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแอคทีฟ ผลการจำลองการทำงานด้วย Matlab/Simulink แสดงให้เห็นว่าเทคนิคเปลี่ยนแรงดันสามารถตรวจจับสภาวะการแยกตัวอิสระได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งไม่มีพื้นที่ไร้การตรวจจับแต่มีการรบกวนระบบทุก ๆ ครั้ง เนื่องจากระบบควบคุมของอินเวอร์เตอร์จัดสัญญาณของการเปลี่ยนแรงดันเพื่อตรวจสอบว่าสภาวะที่เกิดขึ้นเป็นสภาวะการแยกตัวอิสระหรือไม่ ในทำนองเดียวกันเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแอคทีฟทั้งหมดมีการรบกวนโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อตรวจสอบสภาวะที่เกิดขึ้น

คำสำคัญ : การตรวจจับการแยกตัวอิสระ; หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว; เชื่อมต่อกริด

¹ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

² แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคชัยภูมิ

* Corresponding Author E - mail Address: manopyin@hotmail.com

Abstract

This paper presents active islanding detection techniques of anti-islanding for grid-connected distributed generation by voltage shift islanding detection method representing active islanding detection techniques. Simulation results on Matlab/Simulink show that the voltage shift method has detected the island fast and it has not nondetection zone. However, it perturbs the system every time which the control system of inverter injected a signal of voltage shift to check that occurrence condition is islanding condition. Similarly, active islanding detection techniques have perturbed the power system network to check occurrence condition.

Keywords: Islanding Detection; Distributed Generation; Grid-Connected

บทนำ

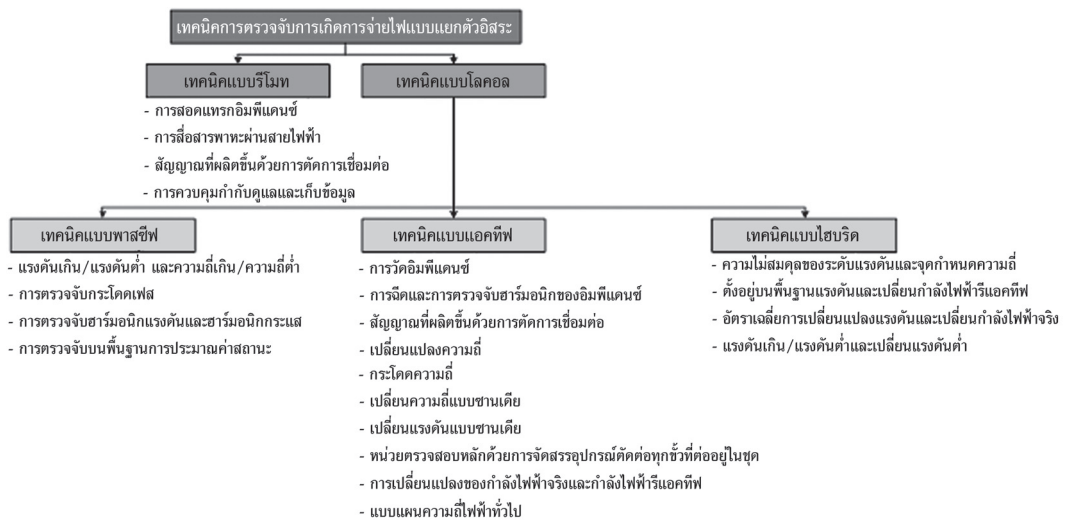
เทคนิคการตรวจจับการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระ สามารถแบ่งได้หลัก ๆ คือ 1) เทคนิคการตรวจจับการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระแบบรีโมท (Remote Islanding Detection Technique) และ 2) เทคนิคการตรวจจับการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระแบบโลคอล (Local Islanding Detection Technique) โดยที่เทคนิคแบบโลคอลยังสามารถแบ่งได้เป็น เทคนิคแบบพาสซีฟ (Passive Technique) เทคนิคแบบแอคทีฟ (Active Technique) และเทคนิคแบบไฮบริด (Hybrid Technique) ซึ่งเทคนิคทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 1 [1]

ในบทความเทคนิคการตรวจจับการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระแบบแอคทีฟในการต่อต้านการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ตอนที่ 1 [2] ได้สรุปรายละเอียดเทคนิคแบบแอคทีฟทั้ง 10 เทคนิคไว้แล้ว ส่วนในบทความนี้เป็นการนำเสนอลักษณะการใช้งานเทคนิคการต่อต้านการแยกตัวอิสระด้วยเทคนิคแบบเปลี่ยนแรงดัน (Voltage Shift Technique) [3] - [5] เพื่อเป็นตัวแทนของเทคนิคในกลุ่มแอคทีฟ ผลการจำลองการทำงานจะแสดงให้เห็นถึงจุดเด่นและจุดด้อยของเทคนิคในกลุ่มนี้ รายละเอียดต่าง ๆ ของบทความมีดังต่อไปนี้

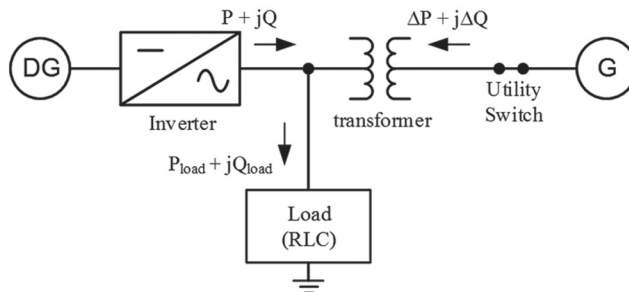
โครงสร้างหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

การต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังนั้นสามารถแบ่งตามการต่อได้ 2 ประเภท คือ การต่อผ่านอินเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนรูปคลื่นให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับก่อนเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ากำลัง เรียกหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวประเภทนี้ว่า หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวฐานอินเวอร์เตอร์ (Inverter-Based DG) อีกประเภทคือหน่วยผลิตไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนรูปคลื่นให้เป็นกระแสสลับเพราะกำเนิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส เรียกหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวประเภทนี้ว่า หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวฐานซิงโครนัส (Synchronous-Based DG) [6]

ในบทความนี้เป็นการนำหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวฐานอินเวอร์เตอร์มานำเสนอ ลักษณะการต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้าแสดงดังในรูปที่ 2



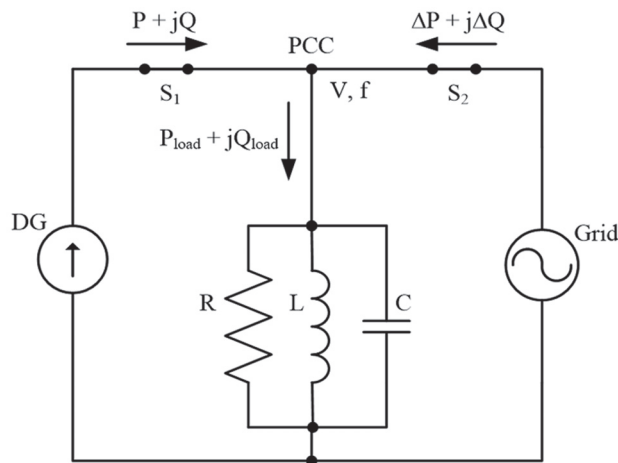
รูปที่ 1 สรุปเทคนิคการตรวจจบบการแยกตัวอิสระ



รูปที่ 2 การต่อ DG เข้าโครงข่ายไฟฟ้าผ่านอินเวอร์เตอร์

โดยทั่วไปสามารถสันนิษฐานได้ว่าโหลดเป็นโครงสร้างของวงจร RLC ขนาน และสามารถแปลงวงจรในรูปที่ 2 เป็นวงจรสมมูลในรูปที่ 3 [7] - [8]

จากรูปที่ 3 จะเห็นโนด “PCC” หรือ จุด PCC ซึ่งจุดนี้เป็นจุดที่จะทำการวัดค่าต่าง ๆ ทั้งก่อนและหลังการเกิดสภาวะการแยกตัวอิสระ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน



รูปที่ 3 วงจรสมมูลของ DG เข้าโครงข่ายไฟฟ้าผ่านอินเวอร์เตอร์

ขั้นตอนเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบเปลี่ยนแรงดัน [9]

ในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นถึง ฟังก์ชันขั้นตอนการแก้ปัญหาการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระของเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบเปลี่ยนแรงดัน ก่อนนำไปเขียนโปรแกรมในบล็อกของ Matlab/Simulink

แนวทางการใช้งานเทคนิคนี้ได้ให้รายละเอียดในบทความที่ได้รับการตีพิมพ์แล้ว [2] ในหัวข้อ 2.7 Sandia Voltage Shift (SVS) ชื่อหรือลักษณะบางประการอาจต่างกันบ้าง แต่หลัก ๆ คือ เปลี่ยนแรงดัน (Voltage Shift) โดยสรุปเทคนิคนี้จะทำการเปลี่ยนขนาดแรงดัน โดยทำการเปลี่ยนแรงดันอินเวอร์เตอร์ให้มีขนาดมากกว่ารีเลย์แรงดันสูงเกิน (Over Voltage Relay; OVR) หรือน้อยกว่ารีเลย์แรงดันต่ำเกิน (Under Voltage Relay; UVR) ซึ่งหากสภาวะที่เกิดขึ้นเป็นสภาวะการแยกตัวอิสระ OVR หรือ UVR จะทำงานเป็นผลให้อินเวอร์เตอร์หลุดออกจากโครงข่ายระบบไฟฟ้า

ดังนั้นสามารถวาดผังงานรวมทั้งให้รายละเอียดต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาสภาวะการแยกตัวอิสระ โดยใช้เทคนิคเปลี่ยนแรงดัน (Voltage Shift Technique) ดังต่อไปนี้

จากรูปที่ 4 สามารถอธิบายแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

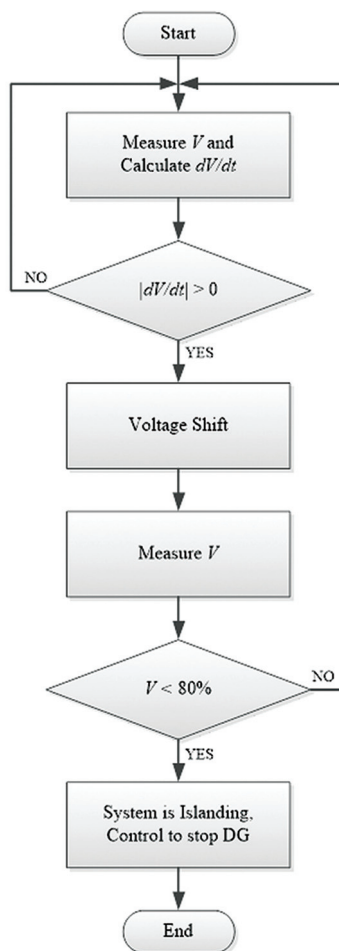
เริ่มจากระบบทำการวัดแรงดัน ณ จุด PCC (V_{PCC}) ในทุก ๆ คาบเวลา และทำการคำนวณ dV/dt ของ V_{PCC}

ต่อมาเปรียบเทียบ $|dV/dt| > 0$ หรือไม่ หากมากกว่าจะดำเนินการในขั้นตอนต่อไป แต่หากไม่มากกว่าจะเป็นการกลับไปเริ่มต้นใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนแรก (ในทางปฏิบัติเนื่องจากระดับของแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยอยู่เสมอ ดังนั้นการกำหนดการเปรียบเทียบค่าอาจไม่ใช่ศูนย์ซึ่งควรจะมีค่ามากกว่าศูนย์เล็กน้อย นอกจากนี้ยังสามารถใช้ความถี่แทนที่แรงดันในการเปรียบเทียบ)

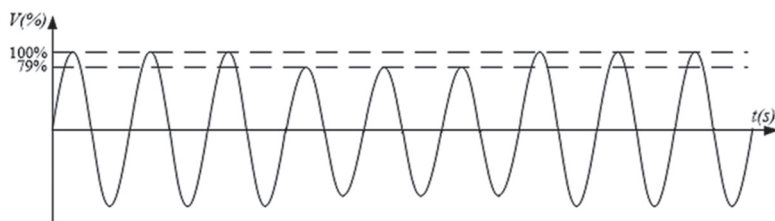
เมื่อ $|dV/dt| > 0$ จะทำการควบคุมอินเวอร์เตอร์จ่ายแรงดันต่ำเข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง ในบทความนี้ทำการกำหนดแรงดันต่ำกว่า 80% เมื่อเทียบกับแรงดันปกติ ดังนั้นเมื่อแรงดันปกติคือ 220 V จะได้แรงดันที่ต้องจ่ายให้ต่ำกว่า 176 V ($220 \times 80\%$) โดยปกติแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์สามารถ

เปลี่ยนแปลงได้โดยเปลี่ยนแรงดันกระแสตรงก่อนทำการสับสวิตช์เพื่อแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหรือให้ระบบควบคุมทำการเปลี่ยนอัตราขยาย ในงานวิจัยนี้ทำการเปลี่ยนแรงดันกระแสตรงก่อนที่จะทำการสับสวิตช์เพื่อแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้น้อยกว่า 176 V จำนวน 3 รูปคลื่น เพื่อฉีดเข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง ลักษณะของรูปคลื่นแสดงดังในรูปที่ 5

ต่อมาจะทำการเปรียบเทียบ V_{PCC} ว่าต่ำกว่า 80% (176 V) หรือไม่ [9] ก่อนการเกิดสภาวะการแยกตัวอิสระแรงดันปกติคือ 100% (220 V) ดังนั้นหากแรงดันต่ำกว่า 80% แสดงว่าสภาวะการแยกตัวอิสระได้เกิดขึ้นแล้ว จะเกิดขบวนการต่อไปคือระบบควบคุมอินเวอร์เตอร์จะสั่งให้หยุดจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง แต่ถ้า V_{PCC} ไม่ต่ำกว่า 80% (176 V) แสดงว่าสภาวะการแยกตัวอิสระไม่ได้เกิดขึ้นขบวนการจะกลับไปเริ่มใหม่ตั้งแต่แรก



รูปที่ 4 ขั้นตอนของเทคนิคเปลี่ยนแรงดัน



รูปที่ 5 ลักษณะของรูปคลื่นชนิดเข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้า

กระบวนการต่อมาจะทำการวัดแรงดัน V เป็นการวัด ณ จุด PCC หรือเรียกว่า V_{PCC}

ในกรณีที่วัดแรงดันต่ำกว่า 176 V จำนวน 3 รูปคลื่น เข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อทำการตรวจสอบสถานะที่เกิดขึ้น โดยถ้าสถานะที่เกิดขึ้นไม่ใช่สถานะการแยกตัวอิสระ สิ่งที่เกิดขึ้นคือ V_{PCC} จะยังเท่าเดิม แต่ P (กำลังไฟฟ้าจริงของ DG) จะลดลงโดยจะหักผัน ΔP (กำลังไฟฟ้าจริงของกริด) ซึ่งจะเพิ่มขึ้น โดยสามารถพิสูจน์จากการวิเคราะห์สมการดังต่อไปนี้ รวมทั้งจะพิสูจน์ด้วยการแสดงผลการจำลองการทำงานในลำดับต่อไป

ในสภาวะปกติ กำลังไฟฟ้าจริงของโหลดจะเป็นการร่วมกันจ่ายของกำลังไฟฟ้าจริงของ DG และกำลังไฟฟ้าจริงของกริด โดยสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน ณ จุด PCC รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริงมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ตกคร่อมโหลดด้วย ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังสมการที่ (1)

$$P_{load} = P_{DG} + P_{Grid} = \frac{V^2}{R} \quad (1)$$

$$V = \sqrt{R \cdot (P_{DG} + P_{Grid})} \quad (2)$$

ทำการอนุพัทธ์สมการที่ (1) จะได้

$$\frac{\partial(P_{DG} + P_{Grid})}{\partial V} = 2 \cdot \frac{V}{R} \quad (3)$$

$$\frac{\partial(P_{DG} + P_{Grid})}{\partial V} = 2 \cdot \frac{\sqrt{R \cdot (P_{DG} + P_{Grid})}}{R} \quad (4)$$

$$\frac{\partial(P_{DG} + P_{Grid})}{\partial V} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(P_{DG} + P_{Grid})}{R}} \quad (5)$$

การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าจริงจะแสดงได้ตามสมการ

$$\Delta P_{DG} + \Delta P_{Grid} = 2 \cdot \Delta V \cdot \sqrt{\frac{P_{load}}{R}} \quad (6)$$

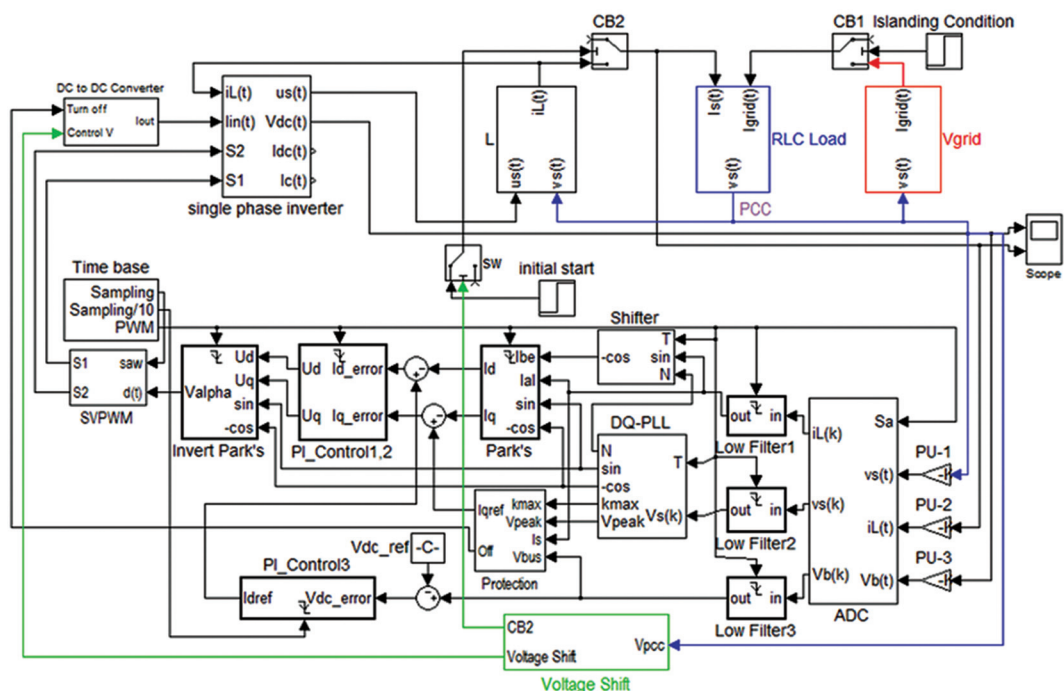
จากสมการที่ (6) แสดงให้เห็นว่า R และ P_{load} เป็นค่าคงที่ เมื่อระบบควบคุมของอินเวอร์เตอร์ฉีดแรงดันต่ำกว่า 176 V (80%) จำนวน 3 รูปคลื่น เข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลังจากมีการซิงโครไนซ์ระหว่าง DG กับกริดแล้ว (เชื่อมต่อกับกริดแบบปกติ) หากไม่มีสภาวะการแยกตัวอิสระเกิดขึ้น $V_{PCC} (\Delta V)$ จะมีค่าเท่าเดิม แต่ ΔP_{DG} จะลดลงโดยผกผันกับ ΔP_{Grid} ที่จะเพิ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงของ DG และกำลังไฟฟ้าจริงของกริดจะเป็นการร่วมกันจ่ายให้เพียงพอต่อโหลด

การจำลองเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบเปลี่ยนแรงดันโดย Matlab/Simulink

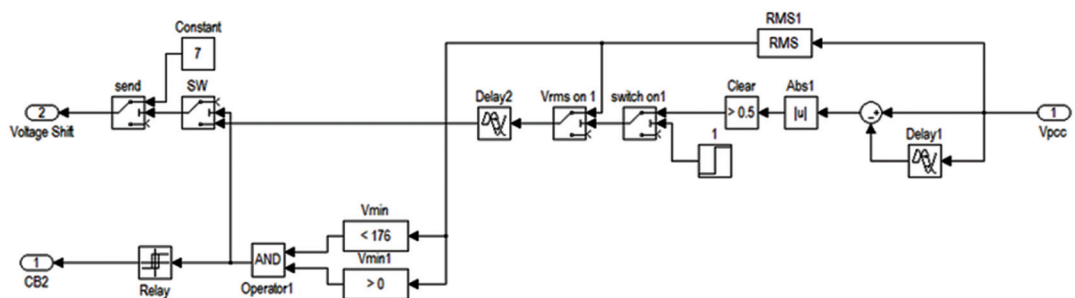
ในหัวข้อนี้จะเป็นการสาธิตการทำงานของเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบเปลี่ยนแรงดันโดย Matlab/Simulink ซึ่งแบบจำลองที่ใช้ในการสาธิตแสดงในรูปที่ 6 เป็นแบบจำลองอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สำหรับเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่แรงดัน 220 V_{rms} /50 Hz ขนาดกำลังด้านเอาต์พุต 1.5 kW [1], [10] ส่วนโหลดที่ใช้ในแบบจำลองเป็นการขนาน RLC ที่มีค่าคงที่ และความถี่รีโซแนนซ์ของโหลดเท่ากับความถี่ของโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง ส่วนรายละเอียดภายในบล็อกต่อต้านสภาวะการแยกตัวอิสระ (Anti-Islanding Condition) ซึ่งใช้เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบเปลี่ยนแรงดัน แสดงในรูปที่ 7

ในรูปที่ 7 แสดงภายในบล็อกของเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบเปลี่ยนแรงดัน ซึ่งเป็นบล็อกที่อยู่ภายในรูปที่ 6 การเขียนโปรแกรมภายในบล็อกมาจากขั้นตอนตามรูปที่ 4

จากขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคเปลี่ยนแรงดันในขั้นตอนเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบเปลี่ยนแรงดัน [9] จะเห็นว่าในทุก ๆ กรณีที่ตรวจจับความผิดปกติ (ความเปลี่ยนแปลงของแรงดัน; $|dV/dt| > 0$) ได้ เทคนิคนี้จะทำการฉีดสัญญาณคือแรงดันต่ำกว่า 176 V จำนวน 3 รูปคลื่น เข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อทำการตรวจสอบสภาวะที่เกิดขึ้น ดังนั้นผลการจำลองการทำงานในรูปที่ 8 และ 9 สามารถเป็นตัวแทนในทุกกรณี



รูปที่ 6 แบบจำลองอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สำหรับเชื่อมต่อโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง

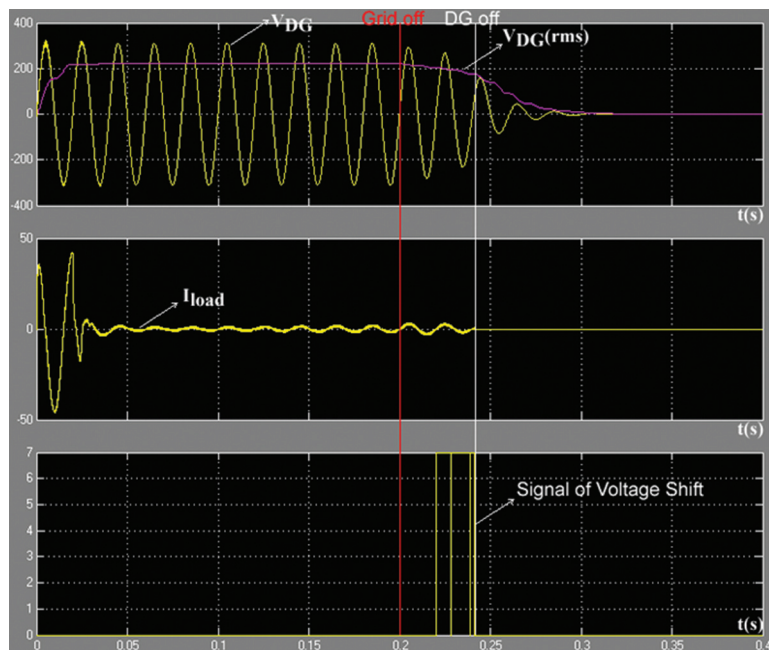


รูปที่ 7 บล็อกของเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบเปลี่ยนแรงดัน [9]

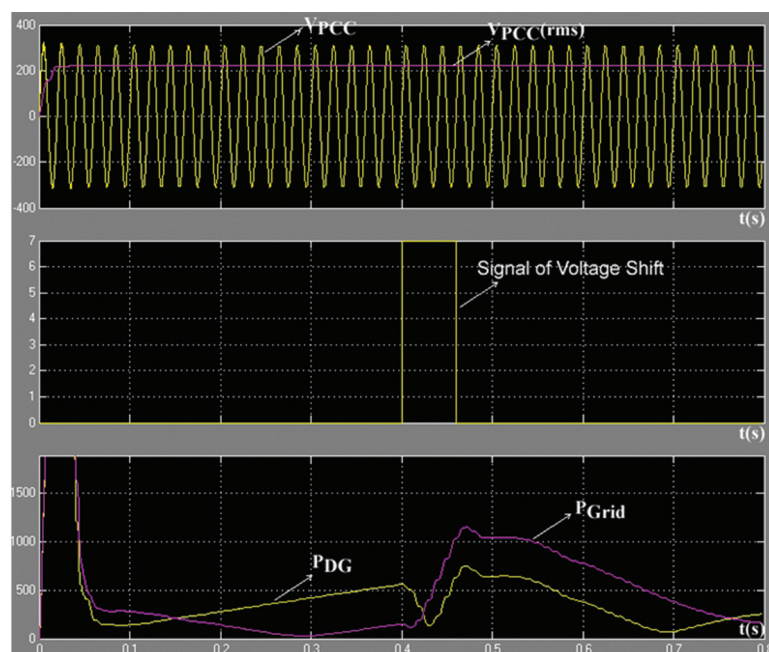
ในการจำลองการทำงาน จะสร้างสภาวะการแยกตัวอิสระโดยทำการปลดกริดออกไป ณ เวลา 0.2 วินาที

จากรูปที่ 8 สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อสภาวะการแยกตัวอิสระเกิดขึ้นตามที่กำหนดไว้คือ ณ เวลา 0.2 วินาที มันจะสร้างความเปลี่ยนแปลงของแรงดันให้เกิดขึ้นจนทำให้บล็อกของเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบเปลี่ยนแรงดันสามารถตรวจจับได้ ซึ่งจะทำให้การฉีดแรงดันต่ำกว่า 176 V จำนวน 3 รูปคลื่นเข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง จากนั้นจะทำการวัดแรงดัน ณ จุด PCC คือ V_{PCC} เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับจากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าแรงดันที่วัดได้มีค่าน้อยกว่า 176 V ซึ่งทำให้ระบบควบคุมสั่งให้ DG หยุดจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง ณ เวลา 0.24 วินาที แสดงว่าเทคนิคเปลี่ยนแรงดันนี้สามารถต่อต้าน

สภาวะการแยกตัวอิสระได้ภายใน 0.04 วินาที แต่เทคนิคนี้รับกวนระบบในทุก ๆ ครั้งเมื่อทำการตรวจสอบสภาวะที่เกิดขึ้น



รูปที่ 8 ผลการจำลองการทำงานของเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบเปลี่ยนแรงดัน



รูปที่ 9 การฉีดแรงดันต่ำกว่า 176 V จำนวน 3 รูปคลื่น เข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังในกรณีที่ไม่ใช่สภาวะการแยกตัวอิสระ

ในรูปที่ 9 แสดงถึงผลการจำลองการทำงานในสภาวะที่ไม่ใช่การแยกตัวอิสระ โดยในการจำลองการทำงานจะไม่ทำการตรวจสอบ $|dV/dt| > 0$ แต่จะทำการฉีดแรงดันต่ำกว่า 176 V จำนวน 3 รูปคลื่น ณ เวลา 0.4 - 0.46 วินาที จากผลการจำลองการทำงานจะเห็นได้ว่า V_{PCC} ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่สิ่งที่เปลี่ยนแปลงคือ P_{DG} จะลดลงซึ่งผกผันกับ P_{Grid} ที่จะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับสมการที่ (6)

สรุป

ในบทความนี้ได้นำเสนอตัวอย่างการใช้งานรวมทั้งจุดเด่นและจุดด้อยของเทคนิคในกลุ่มเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแอคทีฟโดยใช้เทคนิคเปลี่ยนแรงดันเป็นตัวแทนในกลุ่มนี้ จากผลการจำลองการทำงานโดย Matlab/Simulink แสดงให้เห็นจุดเด่นของเทคนิคเปลี่ยนแรงดัน สามารถตรวจจับและต่อต้านสภาวะการแยกตัวอิสระได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งไม่มีพื้นที่ไร้การตรวจจับ แต่จุดด้อยคือจะทำให้เกิดการรบกวนระบบในทุก ๆ ครั้งเมื่อทำการตรวจสอบสภาวะที่เกิดขึ้นว่าเป็นสภาวะการแยกตัวอิสระหรือไม่

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

References

- [1] Manop Yingram. (2015). Development of Anti-Islanding Hybrid Detection Technique in Grid-Connected Distributed Generation. Ph.D. Eng Thesis, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Thailand. (in Thai)
- [2] Manop Yingram. (2016). Active Islanding Detection Techniques of Anti-Islanding for Grid-Connected Distributed Generation: Part 1. Ladkrabang Engineering Journal. Vol. 33. No. 2. pp. 1-7
- [3] D. Velasco, C.L. Trujillo, G. Garcera and E. Figueres. (2010). Review of Anti-Islanding Techniques in Distributed Generators. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 14. Issue 6. pp. 1608-1614
- [4] Byunggyu Yu, Mikihiro Matsui and Gwonjong Yu. (2010). A Review of Current Anti-Islanding Methods for Photovoltaic Power System. Solar Energy. Vol. 84. Issue 5. pp.745-754
- [5] Wen Hu, and Yun-Lian Sun. (2009). A Compound Scheme of Islanding Detection According to Inverter. Power and Energy Engineering Conference. APPEEC 2009. Asia-Pacific

- [6] Manop Yingram and Suttichai Premrudeepreechacharn. (2014). Investigation of Relationship Between Voltage and Nondetection Zone of OUV/OUF of Local Islanding Detection Techniques. *Journal of Clean Energy Technologies*. Vol. 2. No. 4. pp. 299-304. (in Thai)
- [7] Zhihong Ye, Amol Kolwalkar, Yu Zhang, Pengwei Du and Reigh Walling. (2004). Evaluation of Anti-Islanding Schemes Based on Nondetection Zone Concept. *IEEE Transactions on Power Electronics*. Vol. 19. No. 5. pp. 1171-1176
- [8] M. Valentini, S. Munk-Nielsen, F. Valderrey Sanchez and U. Martinez De Estibariz. (2008). A New Passive Islanding Detection Method for Grid-Connected PV Inverters. *IEEE Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*. pp. 223-228
- [9] Manop Yingram, Kittiwut Chinnabutr, Wirapong Chansanam and Rapin Kudpik. (2015). Perturbation of Active Islanding Detection Techniques in Power System Network. *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTICON), 12th International Conference on*. pp. 1-4
- [10] Saitarn Muangpongoen. (2011). Anti-islanding for Grid-Connected Single Phase Inverter. M.Eng Thesis, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (in Thai)