



การตรวจจับการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระภายใต้ระบบควบคุมโดยวิธีเฟสล็อกคูลูป
ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า
An Islanding Detection Method using Phase Lock Loop Method for Distributed Photovoltaic (PV) Systems

วุฒิวรงค์ จันทะสอน^{1*} และ อุเทน สุปัติ²

คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

wutthiwong06@yahoo.com¹, uthane@eng.src.ku.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอเทคนิคการตรวจจับการจ่ายไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระ(Islanding Detection) แบบพาสซีฟโดยวิธีเฟสล็อกคูลูป(Phase Lock Loop :PLL) วิธีตรวจจับการเกิดการจ่ายไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับหน่วยผลิตไฟฟ้าชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Photovoltaic system) ประกอบด้วย เทคนิคตรวจสอบโดยใช้ Over/Under-Frequency (OUF) เมื่อความถี่เกิดการเปลี่ยนแปลง อินเวอร์เตอร์ต้องหยุดจ่ายกำลังไฟฟ้าทันที โดยอ้างอิงจากมาตรฐานที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย IEEE Std. 929, IEEE Std. 1547 ในการจำลองและวิเคราะห์การทำงานของระบบใช้แบบจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อจำลองการทำงานและระบบการควบคุมอินเวอร์เตอร์ โดยวิธีเฟสล็อกคูลูปในบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจจับการแยกตัวอิสระโดยวิธีเฟสล็อกคูลูปสามารถตรวจจับได้รวดเร็วและแม่นยำ ทำให้สามารถปลดออกจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลักโดยรวดเร็วไม่เกิดความเสียหายกับอินเวอร์เตอร์และผู้ปฏิบัติงานที่จุดเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้า อีกทั้งไม่มีการฉีดสัญญาณรบกวนเข้าไปยังระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลัก

คำสำคัญ: การตรวจจับการเกิดการจ่ายไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระ, เฟสล็อกคูลูป

1. บทนำ

หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความนิยมในการดำเนินการติดตั้งเข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง(Power System Network)มากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้าที่ได้มาจากพลังงานทดแทนแผงเซลล์แสงอาทิตย์(PV module)[1] เพราะเป็นแหล่งพลังงานสะอาดที่สามารถช่วยสร้างเสถียรภาพให้กับระบบไฟฟ้ากำลังลดปัญหาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO₂)ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อสร้างพลังงานไฟฟ้าอันเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนแต่การต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ก็สร้างปัญหาให้กับระบบไฟฟ้ากำลังเช่นกันหนึ่งในปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นคือการเกิดสภาวะแยกตัวอิสระ(Islanding Condition)อันเป็นเหตุให้เกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระหากสภาวะนี้เกิดขึ้นจะทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์และเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานที่จุดเชื่อมต่อไฟฟ้ากำลังจึงจำเป็นต้องต่อต้านสภาวะแยกตัวอิสระ (Anti-islanding Condition)ไม่ให้เกิดขึ้นตามมาตรฐานIEEE Std. 929, IEEE Std. 1547 เมื่อเกิดสภาวะแยกตัวอิสระต้องหยุดการเชื่อมต่อใน 2 วินาทีที่เทคนิคการตรวจจับสภาวะแยกตัวอิสระ(Islanding Detection Techniques)[2]และต่อต้านการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระไม่ให้เกิดขึ้นนั้นมียุทธศาสตร์หลายเทคนิครวมทั้งประเด็นที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแยกตัวอิสระยังคงได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน

เทคนิคในการตรวจจับการแยกตัวอิสระมีสองเทคนิคหลักคือ [3][4]เทคนิคการตรวจจับแบบรีโมท (Remote Islanding Detection Techniques) ใช้วิธีการในการตรวจจับผ่านระบบสื่อสารซึ่งเทคนิคนี้จะมีประสิทธิภาพสูงมากแต่จุดด้อยคือมีราคาแพงและเทคนิคการตรวจจับแบบโลคอล(Local Islanding Detection Techniques)เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้กับหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวขนาดเล็กแบ่งได้อีกสามแบบคือวิธีแอคทีฟ, พาสซีฟและไฮบริด ในวิธีการแบบแอคทีฟ (Active Islanding Detection Techniques) นั้นจะทำการสร้างสัญญาณขนาดเล็กฉีดเข้าไปในระบบไฟฟ้าและตรวจสอบการตอบสนองที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณขนาดเล็ก วิธีการนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่สมดุลระหว่างโหลดและยังลดคุณภาพของระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับหน่วยผลิตไฟฟ้าชนิดเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากวิธีการแบบพาสซีฟ(Passive Islanding Detection Techniques) เทคนิคนี้จะทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป อาทิ แรงดันความถี่ ผลรวมฮาร์โมนิกส์ ข้อดีคือเทคนิคนี้จะไม่มีการฉีดสัญญาณเข้าไปในระบบไฟฟ้ากำลัง เทคนิคสุดท้ายคือเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบไฮบริด(Hybrid Islanding Detection Techniques)เป็นการนำคุณลักษณะของทั้งแบบพาสซีฟและแบบแอคทีฟมารวมกันวิธีการตรวจสอบการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับเชื่อมต่อการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยของบุคลากรที่ปฏิบัติงานและอุปกรณ์, เมื่อแรงดันและความถี่ที่จุดเชื่อมต่อเกิดการเปลี่ยนแปลง ในบทความนี้จะนำเสนอเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟ โดยใช้หลักการตรวจสอบแรงดันและความถี่ที่เปลี่ยนแปลงที่จุดเชื่อมต่อไฟฟ้ากำลัง ส่งสัญญาณให้อินเวอร์เตอร์หยุดจ่ายกำลังไฟฟ้า

2. สภาวะการแยกตัวอิสระ

สภาวะแยกตัวอิสระ (Islanding condition)เป็นสภาวะที่เกิดขึ้นเมื่อโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังหยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบแต่หน่วยผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ยังคงจ่ายกระแสเข้าสู่ระบบเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับภาวะไฟฟ้าอยู่การแยกตัวอิสระที่อาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น จากการลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถตรวจจับการลัดวงจรได้ และส่งปลดวงจรออก แต่หน่วยผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบอยู่ เมื่อเกิดสภาวะแยกตัวอิสระหน่วยผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต้องทำการตรวจจับและหยุดจ่ายกำลังไฟฟ้า เพราะจะทำให้แรงดันและความถี่ที่จุดเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ไม่อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับของอุปกรณ์เป็นผลทำให้เกิดความเสียหายต่ออินเวอร์เตอร์ และผู้ปฏิบัติงานที่จุดเชื่อมต่อไฟฟ้ากำลัง

3. เทคนิคการตรวจจัดการแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟ

การศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคที่ใช้ในการตรวจจับสภาวะแยกตัวอิสระ สภาวะแยกตัวอิสระจะมีองค์ประกอบอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญคือ พื้นที่ไร้การตรวจจับ (Non-Detection Zone :NDZ) เป็นขอบเขตของความแตกต่างระหว่างกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบเซลล์แสงอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้าของโหลดซึ่งหากดำเนินการตรวจจัดการแยกตัวอิสระภายใต้ของเขตที่การตรวจจับจะล้มเหลว [5] การแก้ปัญหาสภาวะแยกตัวอิสระมีมาตรฐานหลักๆ ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย IEEE Std. 929, [6], IEEE Std. 1547 [7] โดยในตารางที่ 1 แสดงสรุปสาระสำคัญที่น่าสนใจของมาตรฐาน ซึ่งมีข้อสรุปมาตรฐานที่ตรงกันคือ ระบบที่จะเชื่อมต่อของหน่วยผลิตไฟฟ้าจะต้องตรวจจัดการหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังภายในสองวินาทีเมื่อสภาวะแยกตัวอิสระเริ่มเกิดขึ้น

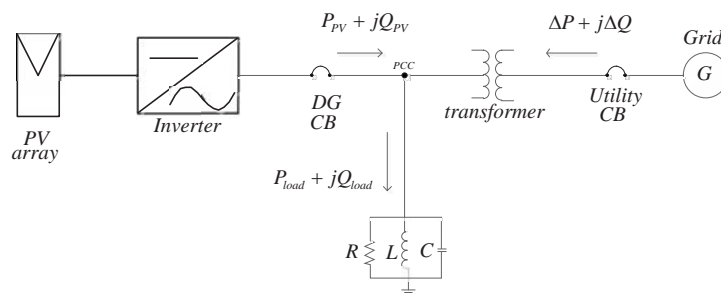
ตารางที่ 1 : มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการต่อต้านการแยกตัวอิสระ

	IEEE 1547	IEEE 929
Quality factor, Q_r	1	2.5
Required islanding detection time, t	$t < 2$ s	$t < 2$ s
Normal frequency range, f (nominal frequency f_0)	$59.3\text{Hz} \leq f \leq 60.5\text{Hz}$	$59.3\text{Hz} \leq f \leq 60.5\text{Hz}$
Normal voltage range, v (%) of nominal voltage V_0)	$88\% \leq v \leq 110\%$	$88\% \leq v \leq 110\%$

3.1 เทคนิคการตรวจจัดการแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟที่ความถี่สูง/ต่ำ (Over / Under -Frequency of passive in landing detection technique) เป็นเทคนิคที่วัดค่าความถี่ที่จุดต่อไฟฟ้ากำลัง โดยใช้ตัวตรวจจับด้วยวิธีเฟสล็อกคูลูปที่มีความถี่สูงหรือต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน เมื่อเกิดการจ่ายไฟฟ้าแบบแยกตัวอิสระเกิดขึ้น ตัวควบคุมจะปลดหน่วยผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้หยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่ายไฟฟ้ากำลัง

4. ระบบเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distributed PV system)

ระบบการตรวจจัดการแยกตัวอิสระแสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย โหลด หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ เซอร์คิตเบรกเกอร์ และจุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากำลัง (PCC) กำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากระบบจ่ายไฟฟ้าหลักไปยังโหลดจะมีความแตกต่างกับหน่วยผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับความต้องการของโหลด โดยปกติแล้วอินเวอร์เตอร์ควรที่จะออกแบบให้จ่ายกำลังไฟฟ้าจริง (Active power) เพื่อให้หน่วยผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด ส่วนกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive power) ที่โหลดนั้นสามารถดึงจากหน่วยผลิตไฟฟ้าหลัก



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของระบบและการไหลของกำลังไฟฟ้า

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วยแผงรับแสงและอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายไปยังจุดเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้าหลัก (PCC) เมื่อสวิตช์ทางด้านระบบจำหน่ายไฟฟ้าปิด จะมีการเชื่อมต่อของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน $P_{PV} + jQ_{PV}$ ไหลไปยังจุดเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้า (PCC) และกำลังไฟฟ้าที่โหลดเป็น $P_{load} + jQ_{load}$ และกำลังไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไหลไปจุดเชื่อมต่อเป็น $\Delta P + j\Delta Q$ สมการและความสัมพันธ์การไหลของกำลังไฟฟ้าคือ

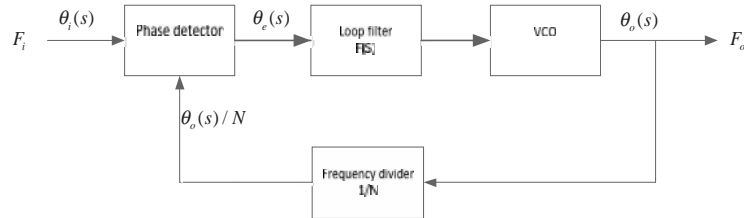
$$\Delta P = P_{load} - P_{PV}$$

$$\Delta Q = Q_{load} - Q_{PV}$$

และ (1)

5. ระบบการควบคุมเฟสล็อกคูลูป (Phase Lock Loop)

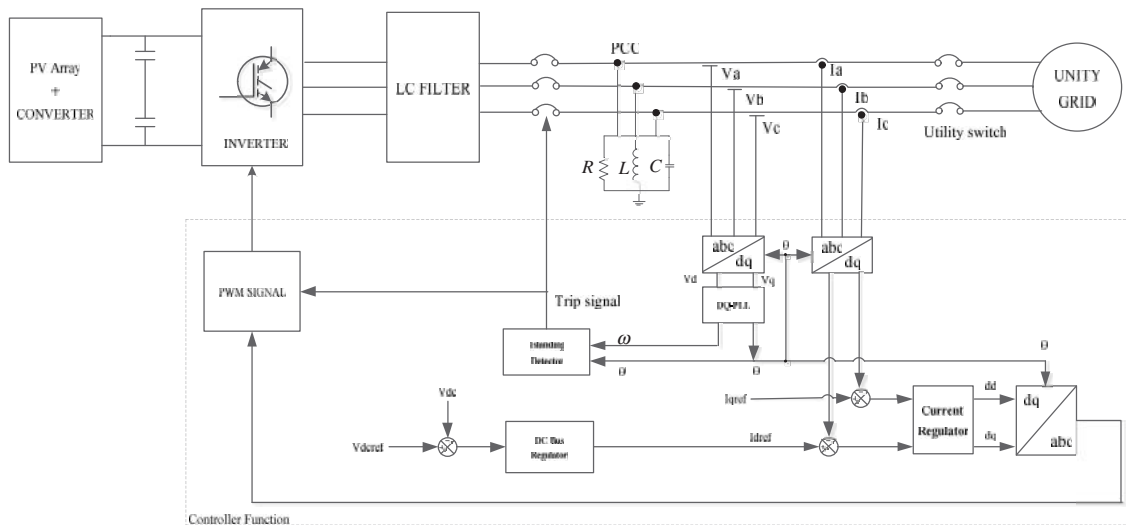
การควบคุมแบบเฟสล็อกคูลูป[8]ดังรูปที่ 2 เป็นบล็อกไดอะแกรมของเฟสล็อกคูลูปที่ใช้ตรวจจับเฟสและความถี่ทำหน้าที่สร้างสัญญาณป้อนกลับให้กับเฟสคอมพาราเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณสองส่วนและให้เอาต์พุตที่คงที่ออกมา เมื่อสัญญาณอินพุตทั้งสองเท่ากันและถ้าความถี่ของสัญญาณอินพุตทั้งสองแตกต่างกันสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากคอมพาราเตอร์เมื่อนำมาผ่านวงจรความถี่ต่ำ (Low-pass filter) จะได้สัญญาณที่นำไปใช้ป้อนให้กับ VCO เป็นการป้อนกลับแบบลูปปิด (Close loop) และระดับสัญญาณที่ป้อนให้กับอินพุต VCO นั้นจะเปลี่ยนเป็นความถี่เอาต์พุตวีซีโอในการพยายามทำให้ความถี่ตรงกันกับอินพุตของเฟสล็อกคูลูป (PLL input frequency) ถ้าความถี่ตรงกันก็จะอยู่ในสภาวะล็อก ระดับสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมจะคงที่ตรงเท่ากับอินพุตของเฟสล็อกคูลูปคงที่



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมของเฟสล็อกคูลูป

6. วิธีการควบคุมที่นำเสนอ

เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟ (Passive Islanding Detection Techniques) เทคนิคนี้จะใช้วิธีการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความถี่ โดยการเซตค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นไว้ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของค่าดังกล่าวแสดงว่าเกิดสภาวะแยกตัวอิสระในระบบจำหน่ายไฟฟ้า จึงต้องทำการต่อต้านสภาวะดังกล่าวหยุดการทำงานอินเวอร์เตอร์และปลดเมนสวิตช์



รูปที่ 3 โครงสร้างระบบการควบคุม

6.1 ระบบการควบคุมเฟสล็อกคูลูป (Phase Lock Loop) จากไดอะแกรมในรูปที่ 3 แสดงระบบการควบคุมที่นำเสนอในงานวิจัย เมื่อเกิดสภาวะแยกตัวอิสระที่จุดเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้า (PCC)

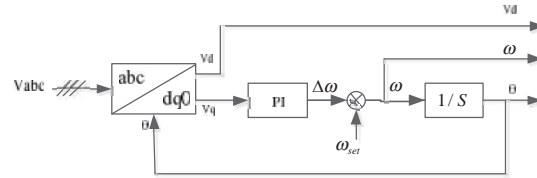
ขั้นตอนที่ 1 ระบบจะทำการวัดค่าแรงดันและกระแสที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณเวกเตอร์ V_d และ V_q ตามสมการที่ 2

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} -\cos \theta & -\cos(\theta + 2\pi/3) & -\cos(\theta - 2\pi/3) \\ \sin \theta & \sin(\theta + 2\pi/3) & \sin(\theta - 2\pi/3) \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อได้ขนาดของเวกเตอร์ V_q แล้วก็นำไปผ่านลูฟฟิลเตอร์โดยใช้การปรับขนาดแบบสัดส่วน (PI Controller)

ขั้นตอนที่ 4 สามารถประมาณขนาดมุมของความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป แล้วนำขนาดของมุมที่ได้นี้ไปทำการเปรียบเทียบกับขนาดที่กำหนดไว้ ก็จะได้สัญญาณที่นำไปหยุดการทำงานอินเวอร์เตอร์และปลดเมนสวิตซ์ดังรูปที่ 4

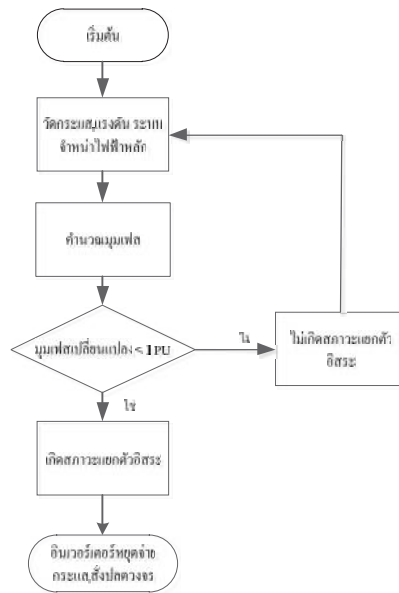


รูปที่ 4 โครงสร้างระบบ DQ-PLL

จากรูปที่ 4 แสดงบล็อกเฟสล็อกกลุ่ปซึ่งใช้ในการตรวจจับมุมเฟสที่เปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ทำการวัดที่จุดเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้ากำลัง

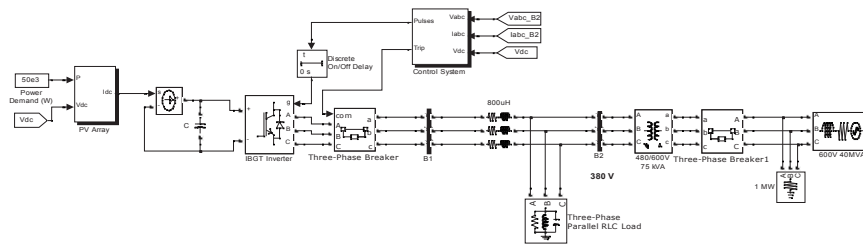
7. การจำลองระบบ

ในการจำลองการทำงานของระบบจะใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ขั้นตอนการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 5

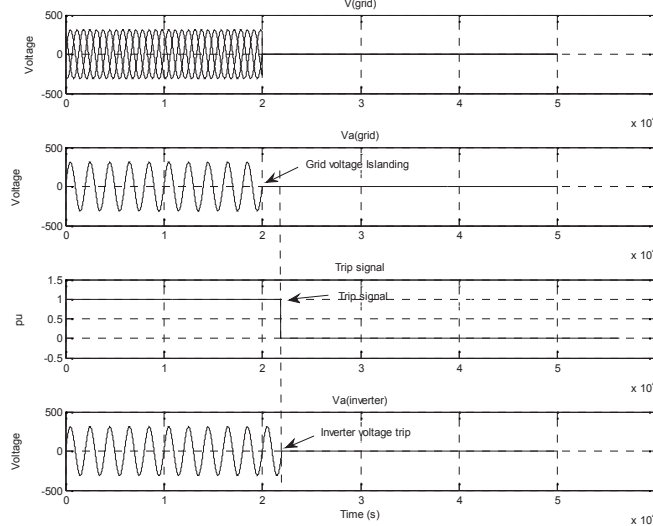


รูปที่ 5 อัลกอริทึมการทำงานของระบบ

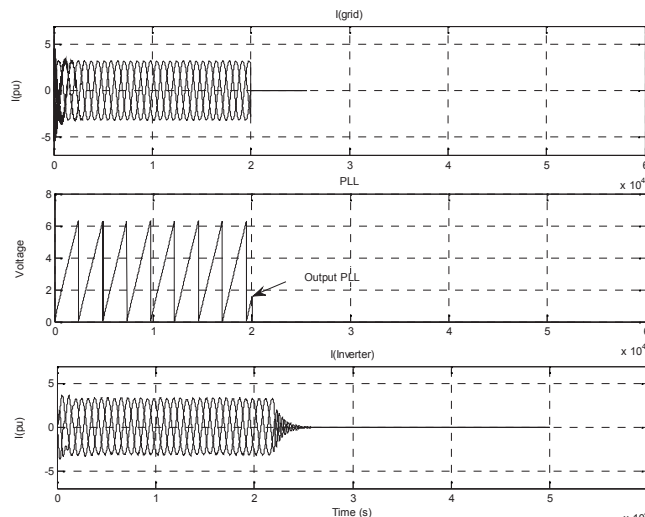
จากการทำงานของระบบพลังงานที่ได้จากหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำมาแปลงผันพลังงานไฟฟ้าโดยอินเวอร์เตอร์เพื่อนำไปเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลัก เมื่อเกิดสภาวะแยกตัวอิสระที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลัก แรงดันและมุมเฟสจะมีขนาดลดลง ระบบควบคุมเฟสล็อกกลุ่ปจะตรวจสอบความแตกต่างของมุมเฟสที่ลดลงนั้นได้ โดยวิธีการคำนวณทางซิงโครนัสเวกเตอร์ V_d และ V_q เมื่อนำค่าเวกเตอร์แรงดัน V_q ปรับเปลี่ยนลงสู่ระดับศูนย์ได้โดยใช้ PI controller จะได้ค่าของมุมเฟสที่ทำการตรวจสอบขณะนั้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้จะได้ค่ามุมเฟสที่ลดลง และนำสัญญาณนี้ไปสร้างเป็นสัญญาณทริบ เพื่อทำการปลดวงจรและหยุดอินเวอร์เตอร์ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 วงจรการจำลองการทำงาน



รูปที่ 7 กราฟแสดงผลจำลองการทำงานแรงดันที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลักสัญญาณสั่งทริปอินเวอร์เตอร์และแรงดันที่อินเวอร์เตอร์ จากรูปที่ 7 แสดงค่าแรงดันที่จุดเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้า (PCC) เมื่อเกิดสถานะแยกตัวอิสระที่เวลาสองวินาทีดังกราฟที่ 7.2 ระบบควบคุมจะทำการตรวจสอบและสั่งปลดวงจรในเวลา 0.22 วินาทีหรือ 1 ไซเคิลถัดมา ในกราฟที่ 7.4



รูปที่ 8 กราฟแสดงผลจำลองการทำงานกระแสที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลัก, สัญญาณเฟสล็อกคูลและกระแสที่อินเวอร์เตอร์ จากกราฟในรูปที่ 8 แสดงค่ากระแสที่ไหลจุดเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้า (PCC) เมื่อเกิดสถานะแยกตัวอิสระระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลักจะหยุดจ่ายกระแสไปยังจุดเชื่อมต่อกำลังไฟฟ้า และระบบควบคุมเฟสล็อกคูลจะทำการตรวจสอบได้ว่ามุมเฟสที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลักที่จุดเชื่อมต่อกำลังไฟฟาลดลงและเป็นศูนย์ดังแสดงในกราฟที่ 8.2 และสั่งปลดวงจรอินเวอร์เตอร์แสดงในกราฟที่ 8.3

8. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink แสดงให้เห็นว่า เทคนิคการตรวจจัดการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟด้วยเทคนิคเฟสล็อกคูลเป็นเทคนิคให้ผลตอบสนองด้านเวลาได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาน้อยกว่าหนึ่งวินาทีหรือภายในหนึ่งไซเคิลในตรวจจับสถานะแยกตัวอิสระเพื่อสั่งปลดวงจรอินเวอร์เตอร์ อีกทั้งยังมีความแม่นยำในการตรวจจับสัญญาณ และไม่มีการฉีดสัญญาณรบกวนไปยังระบบ



จำหน่ายไฟฟ้าหลัก การนำไปดำเนินการใช้งานไม่ยาก ราคาไม่สูงแต่มีจุดอ่อนคือมีพื้นที่ไร้การตรวจจับ บทความนี้ตรวจสอบการทำงานของระบบด้วยการจำลองการทำงานจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นการยืนยันผลการวิเคราะห์เทคนิคที่นำเสนอ ชุดทดลองต้นแบบอยู่ระหว่างดำเนินการจัดสร้างเพื่อใช้ทดสอบต่อไป

10.กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ และช่วยเหลือจากผู้ที่เกี่ยวข้องหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อุเทน สุปัติ อาจารย์ที่ให้คำปรึกษา ที่ท่านได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าของท่านให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางแก้ไขปัญหา และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยตลอดจนทำการตรวจสอบแก้ไขบทความจนสำเร็จลงได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Irvin J. Balaguer, E. I. O.-R. (SEPTEMBER 2010). "Survey of Distributed Generation Islanding Detection Methods" IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS (NO.5).
- [2] Irvin J. Balaguer, Q. L., Shuitao Yang, Uthane Supatti (JANUARY 2011). "Control for Grid-Connected and Intentional Islanding Operation of Distributed Power Generation" IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS (NO.1).
- [3] Manop Yingram, S. P. (2013) "Investigation Over/Under-Voltage Protection of Passive Islanding Detection Method of Distribution Generations in Electrical Distribution Systems."
- [4] มานพ ยิ่งรัมย์ (2556) "เทคนิคการตรวจจับการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟในการต่อต้านการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว" วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 30 ฉบับที่ 3 กันยายน 2556
- [5] Marwa Ashour, L. B.-B., Adel Gastli, Nasser Al-Emadi, Yara Fayyad (2013). "Matlab/Simulink Implementation & Simulation of Islanding Detection using Passive Methods" IEEE GCC Conference and exhibition
- [6] Board, I.-S. S. (Approved 30 January 2000). "IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems" IEEE Std 929-2000.
- [7] Friedman, T. B. N. R. (November 2003). "IEEE 1547 National Standard for Interconnecting Distributed Generation" NREL/JA-560-34875.
- [8] Stefano Bifaretti, A. L., Luca Solero, Fabio Crescimbeni (2013). "Anti-Islanding Detection based on a Robust PLL." IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS.