

เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ ในการต่อต้านการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วย Matlab/Simulink

Over/Under-Voltage Islanding Detection Technique of Anti-Islanding for Grid-Connected Distributed Generation on Matlab/Simulink

มานพ ยิ่งรัมย์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ ในการต่อต้านการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วย Matlab/Simulink เพื่อแสดงให้เห็นถึง ประสิทธิภาพ และเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง ในการนำเทคนิคนี้ไปใช้งาน จากผลการจำลองการทำงาน แสดงให้เห็นว่า เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถต่อต้านการแยกตัวอิสระได้อย่างรวดเร็ว ไม่มีการฉีดสัญญาณรบกวนไปยังโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง การนำไปดำเนินการใช้งานไม่ยาก แต่ยังมีจุดอ่อนเพราะมีพื้นที่ไร้การตรวจจับกว้าง คือ ถ้ากำลังไฟฟ้าจริงเข้าไปสู่ขอบเขต $-24.39 \% \leq \Delta P/P \leq 38.41 \%$ เมื่อสภาวะการแยกตัวอิสระเกิดขึ้นเทคนิคนี้ไม่สามารถตรวจจับสภาวะการแยกตัวอิสระได้

คำสำคัญ : การตรวจจับการแยกตัวอิสระ, หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว, เชื่อมต่อกริด

Abstract

This paper presents an over/under-voltage islanding detection technique of anti-islanding for grid-connected distributed generation on Matlab/Simulink. To demonstrate the effectiveness and relevant content for this technology bring to use. The simulation results show that the over/under-voltage islanding detection technique is a high efficiency, can the fast anti-islanding, has not signal injection of perturbation into the power system network, usability dose not difficult. But the technique has a weakness because it has a wide nondetection zone, if active powers to be inside $-24.39 \% \leq \Delta P/P \leq 38.41 \%$ when islanding condition occurs, the technique cannot detect islanding condition.

Keywords : Islanding Detection, Distributed Generation, Grid-Connected

1. บทนำ

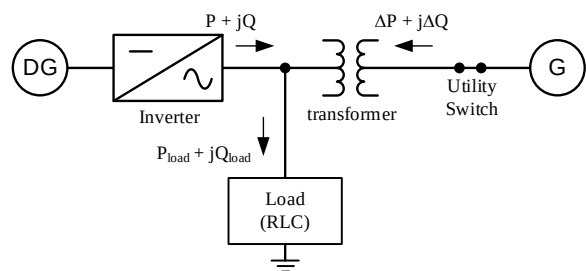
สถานการณ์การจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ให้เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generation; DG) เพราะเมื่อเกิดขึ้นแล้วจะส่งผลให้ แรงดันและความถี่ ณ จุดที่เกิดการแยกตัวออกไปนั้นเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นไปได้ที่ขนาดของแรงดันและความถี่ที่เกิดขึ้นจะไม่อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับของอุปกรณ์เป็นผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์นั้น ๆ อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของการไฟฟ้า อาจสร้างอันตรายให้เกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงาน ณ สายส่งที่สัมพันธ์กับการเกิดสถานะแยกตัวอิสระเพราะในสายส่งยังมีไฟฟ้าที่ส่งมาจากหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวแต่มีการสันนิษฐานว่าไม่มีไฟฟ้าในสายส่งนั้นแล้ว เมื่อมีการกลับเข้ามาเชื่อมต่อในโครงข่ายระบบไฟฟ้าอีกครั้งหลังจากที่แยกออกไปก่อนหน้านี้ อาจส่งผลให้เกิดการ รีทริป (Re-Tripping) หรือ เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เพราะ เกิดความต่างเฟส [1]

ในหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวขนาดใหญ่ เช่น หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวของ บริษัท ผลิตไฟฟ้า และน้ำเย็น จำกัด นั้น สามารถจัดการกับปัญหาการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระนี้ได้โดยการควบคุมแรงดันและความถี่ให้อยู่ในสถานะใช้งานปกติแล้วทำการจ่ายไฟฟ้าแบบไม่เชื่อมต่อการไฟฟ้าหรือเป็นการจ่ายไฟฟ้าแบบอิสระนั่นเอง โดยเรียกการใช้งานแบบนี้ว่า โหมดแยกตัวอิสระ (Island Mode) แต่ในหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวขนาดเล็กไม่เหมาะสมอย่างยิ่งที่จะใช้งานใน โหมดแยกตัวอิสระ เพราะมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะราคาที่สูงขึ้นมาก ส่วนเทคนิคที่นำมาใช้ในการตรวจจับสถานะการแยกตัวอิสระเพื่อทำการต่อต้านการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระในหน่วยผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กนั้น (หน่วยผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก คือ ขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 kW [2]) เป็นเทคนิคในกลุ่ม เทคนิคการตรวจจับแบบโลคอล (Local Islanding Detection Techniques) ซึ่งเทคนิคการตรวจจับแบบโลคอลนี้สามารถแบ่งได้อีก 3 แบบ คือ เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟ (Passive Islanding Detection Techniques) เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแอคทีฟ (Active Islanding Detection Techniques) และ เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบไฮบริด (Hybrid Islanding Detection Techniques)

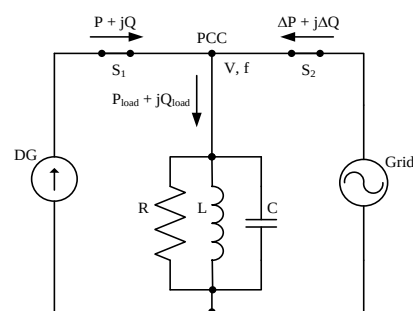
ในบทความนี้จะนำเสนอ เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเทคนิคนี้อยู่ในกลุ่มของเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟ เพื่อแสดงให้เห็นถึง ประสิทธิภาพ และเนื้อหาที่เกี่ยวข้องในการนำเทคนิคนี้ไปใช้งาน รายละเอียดต่าง ๆ ของบทความมีดังต่อไปนี้

2. พื้นที่ไร้การตรวจจับของเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ

พื้นที่ไร้การตรวจจับ (Non-Detection Zone; NDZ) เป็นขอบเขตของความแตกต่างระหว่างกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาของหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวกับการบริโภคกำลังไฟฟ้าของโหลด ซึ่งหากดำเนินการตรวจจับการแยกตัวอิสระ ภายใต้อุปกรณ์การตรวจจับจะล้มเหลว [3] ในกรณีเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ สามารถหาพื้นที่ไร้การตรวจจับได้ดังต่อไปนี้ [4]



รูปที่ 1 การต่อ DG เข้า Grid ผ่านอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2 วงจรสมมูลของ DG ต่อเข้า Grid ผ่านอินเวอร์เตอร์

โดยทั่วไปสามารถสันนิษฐานได้ว่าโหลดเป็นโครงสร้างของวงจร RLC ขนาน และสามารถแปลงวงจรในรูปที่ 1 เป็นวงจรสมมูลในรูปที่ 2 [4],[5]

จากรูปที่ 2 จะเห็นโหนด “PCC” หรือ จุด PCC ซึ่งจุดนี้เป็นจุดที่จะทำการวัดค่าต่าง ๆ ทั้งก่อนและหลังการเกิด

สภาวะการแยกตัวอิสระ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

เมื่อ กริดของการไฟฟ้า ต่อเข้ามา (S_2 is closed) เพื่อจ่ายโหลด $P + jQ$ จะไหลจาก DG system ผ่านจุด “PCC” และ $P_{load} + jQ_{load}$ จะไหลจากโหนด “PCC” เข้าไปสู่โหลด โดยที่ กำลังไฟฟ้าที่มาจาก กริดของการไฟฟ้า เข้าสู่โหนด “PCC” คือ $\Delta P + j\Delta Q$ ดังนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ดังสมการที่ (1)

$$\begin{aligned} P_{load} &= P + \Delta P \\ Q_{load} &= Q + \Delta Q \end{aligned} \quad (1)$$

มุมของโหลด ความถี่รีโซแนนซ์ และแฟกเตอร์คุณภาพ ดังสมการที่ (2)

$$\begin{aligned} |Z| &= \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2}} \\ \phi_{load} &= \tan^{-1}\left[Q_f \left(\frac{f_0}{f} - \frac{f}{f_0}\right)\right] \\ f_0 &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \\ Q_f &= R\sqrt{\frac{C}{L}} \end{aligned} \quad (2)$$

วิเคราะห์แล้วได้ พื้นที่เฝ้าการตรวจจับของกำลังไฟฟ้าจริง

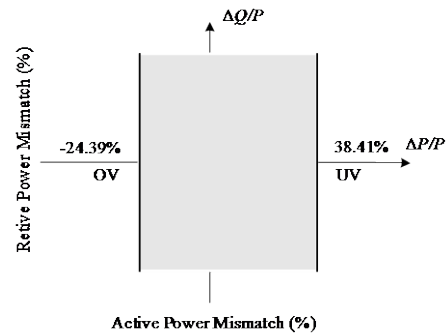
$$\left(\frac{V}{V_{max}}\right)^2 - 1 \leq \frac{\Delta P}{P} \leq \left(\frac{V}{V_{min}}\right)^2 - 1 \quad (3)$$

จาก IEC 62116 กำหนดค่า $V_{max} = 115\%$, $V_{min} = 85\%$ แทนค่าที่ได้ในสมการที่ 3 [1] (เลือกค่า IEC 62116 แทนค่าเพราะ ประเทศไทยใช้ความถี่ 50 Hz ซึ่งมาตรฐานที่เลือกนี้ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความถี่ไม่ได้ระบุถึงความถี่ไว้อย่างเฉพาะเจาะจง ซึ่งมาตรฐาน อื่น ๆ มักระบุในส่วนที่ใช้กับความถี่เป็น 60 Hz)

$$-24.39\% \leq \frac{\Delta P}{P} \leq 38.41\%$$

ดังนั้นสามารถวาด พื้นที่เฝ้าการตรวจจับ ได้ดังรูปที่ 3

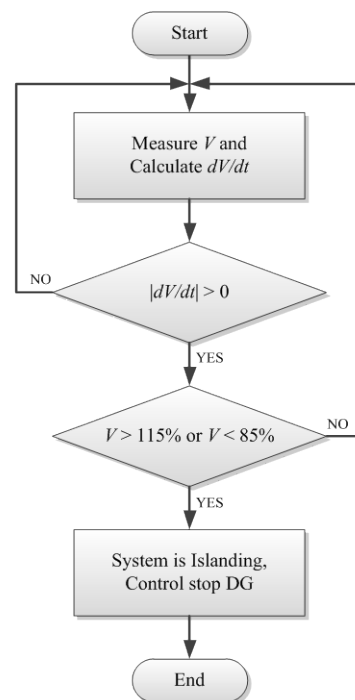
ในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงทั้งสามพื้นที่ หากเกิดสภาวะการแยกตัวอิสระเกิดขึ้นเมื่อกำลังไฟฟ้าจริงเข้าไปอยู่ในแต่ละพื้นที่ที่จะเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ กันคือ กรณี $\Delta P/P < -24.39\%$ จะเกิด แรงดันเกิน (OV) กรณี $-24.39\% \leq \Delta P/P \leq 38.41\%$ จะเกิด แรงดันใกล้เคียงแรงดันปกติ และ กรณี $\Delta P/P > 38.41\%$ จะเกิด แรงดันต่ำ (UV)



รูปที่ 3 พื้นที่เฝ้าการตรวจจับของ OUV

3. ขั้นตอนการแก้ปัญหาการแยกตัวอิสระ

ในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นถึง ฟังก์ชันขั้นตอนการแก้ปัญหาการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระของ เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ ก่อนนำไปเขียนโปรแกรมในบล็อกของ Matlab/Simulink



รูปที่ 4 ขั้นตอนของเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ

จากรูปที่ 4 สามารถอธิบายแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้ เริ่มจากระบบจะทำการวัดแรงดัน ณ จุด PCC (V_{PCC}) ในทุก ๆ คาบเวลา และทำการคำนวณ dV/dt ของ V_{PCC} ต่อมาเปรียบเทียบ $|dV/dt| > 0$ หรือไม่ หากมากกว่าจะดำเนินการในขั้นตอนต่อไป แต่หากไม่มากกว่าจะเป็นการกลับไปเริ่มต้นใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนแรก (ในทางปฏิบัติ เนื่องจากระดับของแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยอยู่

เสนอตั้งนั้นการกำหนดการเปรียบเทียบค่าอาจไม่ใช่ศูนย์ ซึ่งควรจะมีค่ามากกว่าศูนย์เล็กน้อย นอกจากนี้ยังสามารถใช้ความถี่แทนที่แรงดันในการเปรียบเทียบ)

ในขั้นตอนต่อมาจะทำการเปรียบเทียบ $V > 115\%$ (ถ้ากำหนดแรงดันก่อนการเกิดสภาวะการแยกตัวอิสระให้คงที่เท่ากับ 220 V จะได้ $220 \times 115\% = 253$ V) หรือ $V < 85\%$ ($220 \times 85\% = 187$ V) หรือไม่ ถ้ามากกว่าหรือน้อยกว่าตามเงื่อนไข จะกระทำในขั้นตอนต่อไปคือ ระบบควบคุมจะทำการปลด DG ออกจากโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง แต่ถ้าไม่เป็นจริงจะไปเริ่มต้นใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนแรก

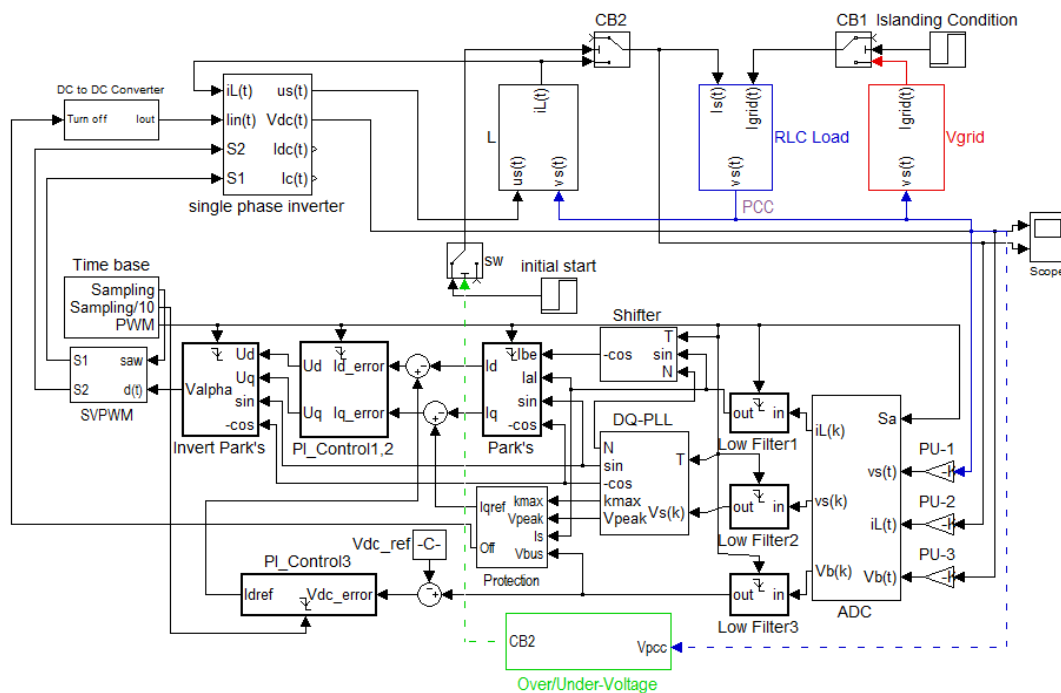
4. เทคนิคการตรวจจบบการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำด้วย Matlab/Simulink

ในหัวข้อนี้จะเป็นการสาธิตการทำงานของเทคนิคการตรวจจบบการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำด้วย Matlab/Simulink โดยแบบจำลองที่ใช้ในการสาธิตแสดงใน

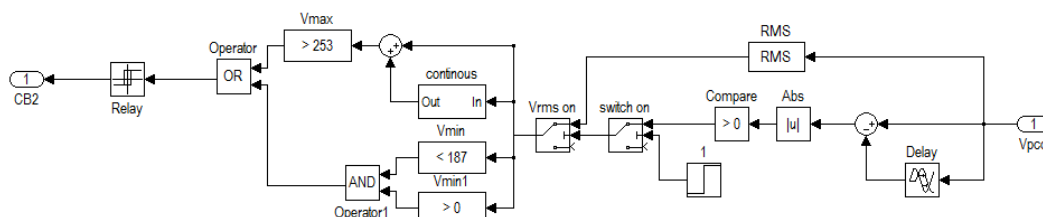
รูปที่ 5 เป็นแบบจำลองอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สำหรับเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่แรงดัน 220 V_{rms} / 50 Hz ขนาดกำลังด้านเอาต์พุต 1.5 kW [6] ส่วนโหลดที่ใช้ในแบบจำลองเป็นการขนาน RLC ที่มีค่าที่ และความถี่โชนั้นของโหลดเท่ากับความถี่ของโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง ดังเหตุในรูปที่ 5 จะมีบล็อกที่เชื่อมต่อบล็อกอื่น ๆ เป็นเส้นปะอยู่หนึ่งบล็อกเพื่อแสดงว่าในการจำลองการทำงานจะมีทั้งการใช้และไม่ใช้ บล็อกต่อต้านการแยกตัวอิสระ

ในรูปที่ 6 แสดงภายในบล็อกของเทคนิคการตรวจจบบการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ ซึ่งเป็นบล็อกที่อยู่ในรูปที่ 5 การเขียนโปรแกรมภายในบล็อกมาจากขั้นตอนตามรูปที่ 4

การจำลองการทำงานแบ่งเป็น 3 กรณี ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3 โดยสามารถอธิบาย ทั้ง 3 กรณี ได้ดังนี้ กรณี $\Delta P/P < -24.39\%$ จะเกิดขึ้นเมื่อ กำลังไฟฟ้าจริงของ DG



รูปที่ 5 แบบจำลองอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สำหรับเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วย Matlab/Simulink



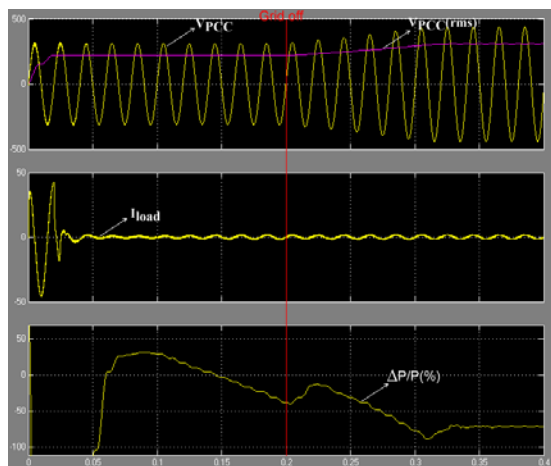
รูปที่ 6 บล็อกของเทคนิคการตรวจจบบการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ [7]

(P) มีปริมาณมากกว่า กำลังไฟฟ้าจริงของโหลด (P_{load}) มาก หากเกิดการแยกตัวอิสระขึ้น แรงดัน V_{PCC} จะมีค่ามากกว่า 253 V กรณี $-24.39\% \leq \Delta P/P \leq 38.41\%$ จะเกิดขึ้นเมื่อ กำลังไฟฟ้าจริงของ DG (P) มีค่าใกล้เคียงกับ กำลังไฟฟ้าจริงของโหลด (P_{load}) หากเกิดการแยกตัวอิสระขึ้น แรงดัน V_{PCC} จะมีค่าไม่มากกว่า 253 V และไม่น้อยกว่า 187 V กรณี $\Delta P/P > 38.41\%$ จะเกิดขึ้นเมื่อ กำลังไฟฟ้าจริงของ DG (P) มีปริมาณน้อยกว่า กำลังไฟฟ้าจริงของโหลด (P_{load}) มาก หากเกิดการแยกตัวอิสระขึ้น แรงดัน V_{PCC} จะมีค่าน้อยกว่า 187 V

จากนี้จะแสดงผลการทำงานของการทำงานของใช้เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ ในการต่อต้านการแยกตัวอิสระ โดยในการจำลองการทำงานจะสร้างสถานะการแยกตัวอิสระให้เกิดขึ้น (Grid หยุดจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่โหลด) ณ เวลา 0.2 s

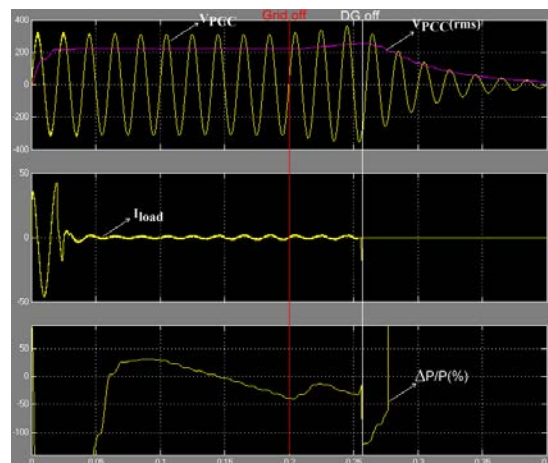
ก). กรณี $\Delta P/P < -24.39\%$

ในสภาวะปกติแรงดันและความถี่จะคงที่ เมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติเกิดขึ้นจึงจะส่งผลกระทบต่อแรงดันและความถี่ ในที่นี้เหตุการณ์ผิดปกติที่จะสร้างให้เกิดขึ้นคือการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระ ณ เวลา 0.2 s



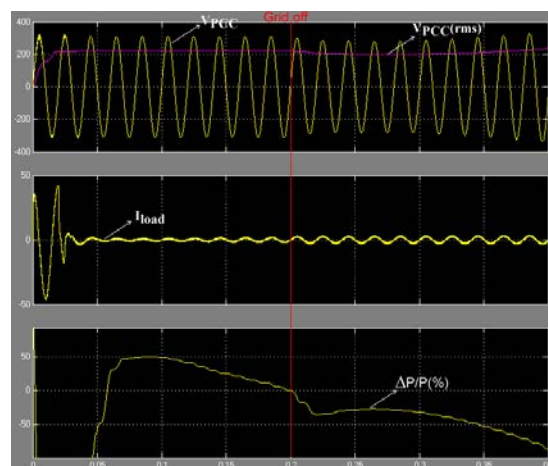
รูปที่ 7 กรณี $\Delta P/P < -24.39\%$ ไม่มีบล็อกต่อต้าน

รูปที่ 7 แสดงภายหลังสภาวะการแยกตัวอิสระเกิดขึ้น ณ เวลา 0.2 s ระดับของแรงดันจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอยู่ในขอบเขต $\Delta P/P < -24.39\%$ จึงทำให้ $V_{PCC} > 253$ V ส่วนรูปที่ 8 แสดง กรณี $\Delta P/P < -24.39\%$ และมีบล็อกต่อต้านการแยกตัวอิสระ จะเห็นได้ว่า สามารถหยุดการจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังที่เวลา 0.257 s หรือ หยุดได้ภายใน 3 รูปคลื่น นับแต่เกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระ

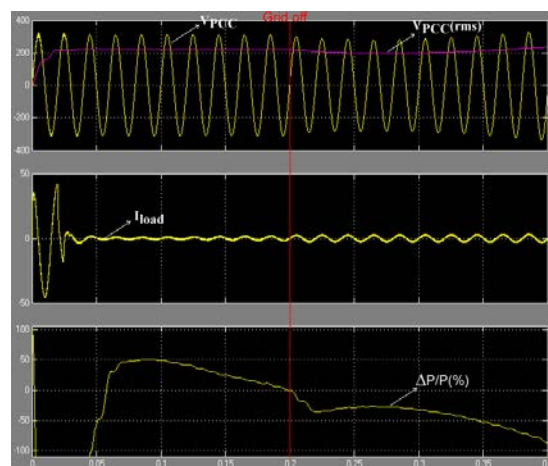


รูปที่ 8 กรณี $\Delta P/P < -24.39\%$ มีบล็อกต่อต้าน

ข). กรณี $-24.39\% \leq \Delta P/P \leq 38.41\%$



รูปที่ 9 กรณี $-24.39\% \leq \Delta P/P \leq 38.41\%$ ไม่มีบล็อกต่อต้าน

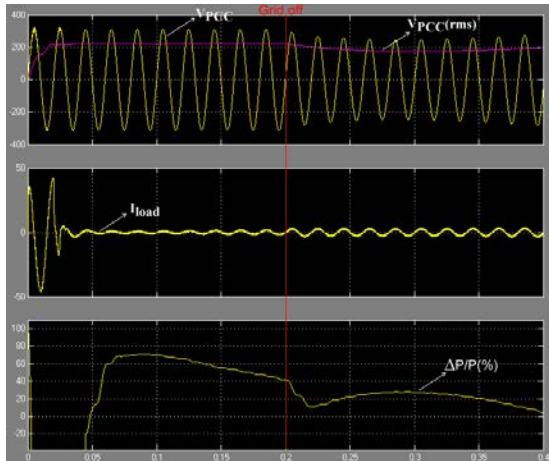


รูปที่ 10 กรณี $-24.39\% \leq \Delta P/P \leq 38.41\%$ มีบล็อกต่อต้าน

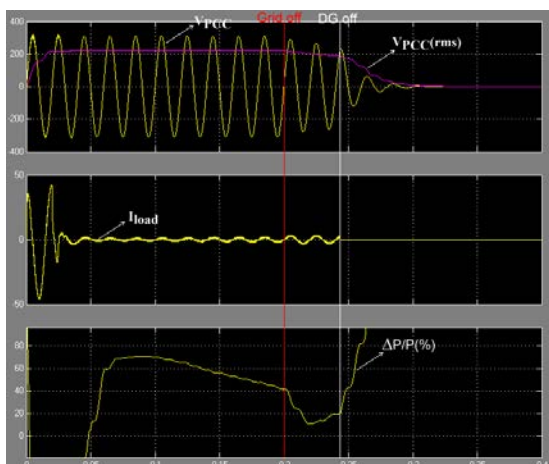
ในกรณีนี้จะเห็นได้ว่าทั้งรูปที่ 9 และรูปที่ 10 มีความคล้ายคลึงกัน เนื่องจากภายหลังการเกิดการแยกตัวอิสระ ณ เวลา 0.2 s แรงดัน V_{PCC} มีค่าไม่มากกว่า 253 V และไม่น้อยกว่า 187 เพราะ $\Delta P/P$ อยู่ในพื้นที่ที่ได้รับการตรวจจับ ดังนั้นการมีบล็อกการต่อต้านการแยกตัวอิสระก็ไม่

สามารถจะหยุดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระนี้ได้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดอ่อนของเทคนิคนี้

ค). กรณี $\Delta P/P > 38.41\%$



รูปที่ 11 กรณี $\Delta P/P > 38.41\%$ ไม่มีบล็อกต่อต้าน



รูปที่ 12 กรณี $\Delta P/P > 38.41\%$ มีบล็อกต่อต้าน

รูปที่ 11 แสดงภายหลังสถานะการแยกตัวอิสระ ณ เวลา 0.2 s ระดับของแรงดันจะลดลงเนื่องจากอยู่ในขอบเขตที่ $\Delta P/P > 38.41\%$ จึงทำให้ $V_{PCC} < 187\text{ V}$ ส่วนรูปที่ 12 แสดง กรณี $\Delta P/P > 38.41\%$ และมีบล็อกต่อต้านการแยกตัวอิสระ จะเห็นได้ว่า สามารถหยุดการจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่เวลา 0.244 s หรือ หยุดได้ภายใน 3 วัฏคลื่น นับแต่เกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระ

5. สรุป

เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถต่อต้านการแยกตัวอิสระได้อย่างรวดเร็ว ไม่มีการติดสัญญาณรบกวนไปยังโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง การนำไปดำเนินการใช้งานไม่ยาก แต่ยังมีจุดอ่อนเพราะมี

พื้นที่ใ้การตรวจจับกว้าง คือ ถ้ากำลังไฟฟ้าจริงเข้าไปสู่ขอบเขต $-24.39\% \leq \Delta P/P \leq 38.41\%$ เมื่อสถานะการแยกตัวอิสระเกิดขึ้นเทคนิคนี้ไม่สามารถตรวจจับสถานะการแยกตัวอิสระได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ผศ. ดร.พิสิษฐ์ ลีวชนกุล และนายสาขาร ม่วงโพธิ์เงิน สำหรับคำแนะนำต่าง ๆ ในการสร้างแบบจำลองอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส สำหรับเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วย Matlab/Simulink

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Yingram, "Passive Islanding Detection Techniques of Anti-Islanding for Grid-Connected Distributed Generation," *Ladkrabang Engineering Journal*, Vol.30, No.3, pp.19-24, September, 2556.
- [2] IEEE recommended practice for grid interface of photovoltaic (PV) systems, IEEE Std. 929, 2000.
- [3] D. Velasco, C.L. Trujillo, G. Garcera and E. Figueres, "Review of anti-islanding techniques in distributed generators," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, pp.1608–1614, February 2010.
- [4] Zhihong Ye, Amol Kolwalkar, Yu Zhang, Pengwei Du and Reigh Walling, "Evaluation of Anti-Islanding Schemes Based on Nondetection Zone Concept," *IEEE Transactions on Power Electronics* 19, pp.1171-6, September 2004.
- [5] M. Valentini, S. Munk-Nielsen, F. Valderrey Sanchez and U. Martinez De Estibariz, "A New Passive Islanding Detection Method for Grid-Connected PV Inverters," *International Symposium on Power Electronics*, 2008.
- [6] S. Muangpongoen, "Anti-islanding for Grid-connected Single Phase Inverter," M.Eng Thesis, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand, 2554.
- [7] M. Yingram, "Passive Islanding Detection Techniques of Anti-Islanding for Grid-Connected Distributed Generation on Matlab/Simulink," *Research Report*, Rajabhat Chaiyaphum University, Thailand, September 2557.