เทคนิคการตรวจจับการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟในการต่อต้านการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

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

มานพ ยิ่งรัมย์
ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอ เทคนิคการตรวจจับการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟในการต่อต้านการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ซึ่งเทคนิคเหล่านี้ประกอบด้วย Over/Under-Voltage (OUV) และ Over/Under-Frequency (OUF), Phase Jump Detection (PJD), detection of voltage and current harmonics และ detection based on state estimators พร้อมทั้งมีการสรุปมาตรฐานสำคัญที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย IEEE Std. 929, IEEE Std. 1547, The international standard IEC 62116, Japanese Standard (JET Std. 2002), และ Korean Standard (Korean PV 501, 2008) รวมทั้งยังได้แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างในการใช้ประโยชน์เทคนิคแบบพาสซีฟโดยใช้ over/under-voltage of passive islanding detection technique ในการทำการทดลอง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคแบบพาสซีฟ เป็นเทคนิคที่ ไม่มีการฉีดสัญญาณรบกวนเข้าไปยังโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง การนำไปดำเนินการใช้งานไม่ยาก มีราคาไม่แพง แต่ยังมีจุดอ่อนคือมี พื้นที่ไร้การตรวจจับ

คำสำคัญ : การตรวจจับการแยกอิสระ, หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว, เชื่อมต่อกริด

Abstract

This paper presents an overview of the passive islanding detection techniques, for power system network with distributed generation which they include Over/Under-Voltage (OUV) and Over/Under-Frequency (OUF), Phase Jump Detection (PJD), detection of voltage and current harmonics, and detection based on state estimators. The paper has synopsis of standards include IEEE Std. 929, IEEE Std. 1547, The international standard IEC 62116, Japanese Standard (JET Std. 2002), and Korean Standard (Korean PV 501, 2008). In addition to the paper showed used over/under-voltage of passive islanding detection technique in experimental. The experimental results show that the passive techniques have not signal injection of perturbation into the power system network, usability dose not difficult, and have not expensive but they have Non-Detection Zone (NDZ).

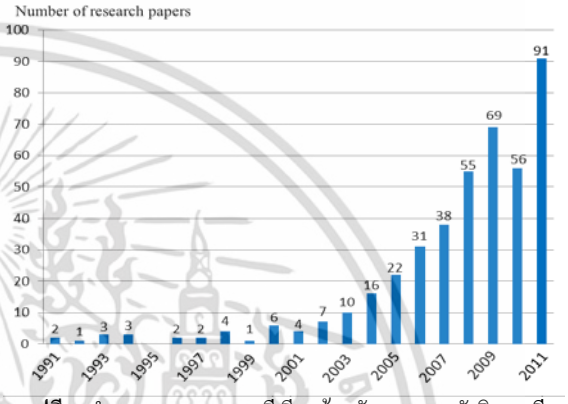
Keywords : Islanding Detection, Distributed Generation, Grid-Connected

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generation; DG) ได้รับความนิยมในการดำเนินการติดตั้งเข้าสู่ โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System Network) มากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้าที่ได้มาจากพลังงานทดแทน อาทิ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV module) และกังหันลม (Wind Turbine) [1] เพราะเป็นแหล่งพลังงานสะอาดที่สามารถช่วยสร้างเสถียรภาพให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง ลดปัญหาจากการปล่อย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อสร้างพลังงานไฟฟ้าอันเป็นสาเหตุของสภาวะโลกร้อน [2] แต่การต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวก็สร้างปัญหาให้กับระบบไฟฟ้ากำลังเช่นกัน หนึ่งในปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นคือ การเกิดสภาวะแยกตัวอิสระ (Islanding Condition) อันเป็นเหตุให้เกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระ หากสภาวะนี้เกิดขึ้นจะสร้างปัญหาตามมาหลายๆประการ จึงจำเป็นต้อง ต่อต้านสภาวะแยกตัวอิสระ (Anti-islanding Condition) ไม่ให้เกิดขึ้น

เทคนิคการตรวจจับสภาวะแยกตัวอิสระ (Islanding Detection Techniques) เพื่อตรวจจับสภาวะแยกตัวอิสระและต่อต้านการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระไม่ให้เกิดขึ้นนั้นมีอยู่หลากหลายเทคนิคซึ่งแต่ละเทคนิคมีข้อดีข้อเสียต่างๆ กันไป โดยการพัฒนาเทคนิครวมทั้งประเด็นที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแยกตัวอิสระยังคงได้รับความสนใจโดยเฉพาะในปัจจุบันดังจะเห็นได้จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงปริมาณบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ต่อปีในเวปไซต์ IEEE *Xplore* ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1991 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของการส่งบทความวิจัยลงตีพิมพ์มีแนวโน้มที่จะมากขึ้นเรื่อยๆ โดยสามารถที่จะแบ่งเทคนิคในการตรวจจับการแยกตัวอิสระได้เป็น 2 เทคนิคหลัก คือ เทคนิคการตรวจจับแบบรีโมท (Remote Islanding Detection Techniques) เทคนิคแบบรีโมทนี้จะใช้วิธีการในการตรวจจับผ่านระบบสื่อสาร ซึ่งเทคนิคนี้จะมีประสิทธิภาพสูงมากและไม่มี พื้นที่ไร้การตรวจจับ (Non-Detection Zone) แต่จุดด้อยคือมีราคาแพงมากจึงไม่เหมาะที่จะใช้กับหน่วยผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (หน่วยผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก คือ ขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 kW [3]) และเทคนิคการตรวจจับแบบโลคอล (Local Islanding Detection Techniques) เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้กับหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวขนาดเล็กเพราะราคาไม่แพง เทคนิคการตรวจจับแบบโลคอลนี้ยังสามารถที่จะแบ่งได้อีก 3 แบบ คือ เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟ (Passive Islanding Detection Techniques) เทคนิคนี้จะทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป อาทิ แรงดัน ความถี่ ผลรวมฮาโมนิกส์อื่นๆ ข้อดีคือเทคนิคนี้จะไม่มีการฉีดสัญญาณเข้าไปรบกวนระบบแต่ข้อเสียคือมี พื้นที่ไร้การตรวจจับกว้าง เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแอคทีฟ (Active Islanding Detection Techniques) เทคนิคนี้จะฉีดสัญญาณเข้าไปสู่ระบบในจังหวะที่เกิดความสงสัยว่าเกิดสภาวะการแยกตัวอิสระแล้วหรือไม่โดยเทคนิคนี้มีพื้นที่ไร้การตรวจจับเล็กกว่าแบบพาสซีฟ แต่มีข้อเสียคือมีสัญญาณเข้าไปรบกวนคุณภาพไฟฟ้าของระบบ และเทคนิคสุดท้ายคือเทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบไฮบริด (Hybrid Islanding Detection Techniques) เป็นการนำคุณลักษณะของทั้ง แบบพาสซีฟ และแบบแอคทีฟ มารวมกัน



รูปที่ 1: จำนวนของบทความที่เกี่ยวข้องกับ การแยกตัวอิสระ ที่ได้รับการตีพิมพ์ตั้งแต่ปี 1991 (Key word : Islanding)

ในบทความนี้จะนำเสนอ เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟ โดยในบทความจะกล่าวถึงสภาวะการแยกตัวอิสระ เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟว่าประกอบด้วยเทคนิคใดบ้างและมีมาตรฐานสำคัญอะไรที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งยกตัวอย่างการดำเนินการใช้งานเทคนิคแบบพาสซีฟ และสรุปเป็นส่วนสุดท้ายของบทความ

2. สภาวะการแยกตัวอิสระ

สภาวะการแยกตัวอิสระ (Islanding Condition) เป็นสภาวะที่เกิดขึ้นเมื่อ โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง หยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบเพื่อจ่าย ภาระไฟฟ้า (Load) แต่ หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generation) ยังคงจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าอยู่ สภาวะการแยกตัวอิสระนี้อาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น เกิดจากการเกิดการลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากำลังโดยในฝั่งของการไฟฟ้าสามารถตรวจจับการลัดวงจรนี้ได้และหยุดการจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ากำลัง ณ ตำแหน่งนั้นๆ แต่หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวไม่สามารถตรวจจับการลัดวงจรที่เกิดขึ้นนี้ได้จึงยังคงจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ากำลังเช่นเดิม หรือ อาจเกิดจากการทำงานที่ผิดพลาดของอุปกรณ์ของการไฟฟ้า หรือ ความล้มเหลวใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1: สรุปสาระสำคัญที่น่าสนใจที่สุดของมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการต่อต้านการแยกตัวอิสระ [6]

	IEC 62116	IEEE 1547	IEEE 929	JET Std. 2002	Korean PV 501, 2008
Quality factor, Q_f	1	1	2.5	0 (+ rotating machinery)	1
Required islanding detection time, t	t < 2 s	t < 2 s	t < 2 s	Passive: t < 0.5 s active: 0.5 s < t < 1 s	t < 0.5 s
Normal frequency range, f (nominal frequency f_0)	(f_0-1.5 Hz) ≤ f and f ≤ (f_0 + 1.5 Hz)	59.3Hz ≤ f ≤ 60.5Hz	59.3Hz ≤ f ≤ 60.5Hz	Setting value	59.3Hz ≤ f ≤ 60.5Hz
Normal voltage range, V (% of nominal voltage V_0)	85% ≤ V ≤ 115%	88% ≤ V ≤ 110%	88% ≤ V ≤ 110%	Setting value	88%<V ≤ 110%

การทำงานเนื่องจากความเสียหายของอุปกรณ์ของการไฟฟ้า หรือ เกิดจากความผิดพลาดของผู้ดูแลระบบของการไฟฟ้า หรือ ผลจากการกระทำจากธรรมชาติ หรือ อื่นๆ

การเกิด สภาวะการแยกตัวอิสระ นี้ควรจะหลีกเลี่ยง เพราะ เมื่อเกิดขึ้นแล้ว จะทำให้ แรงดันและความถี่ ณ จุดที่เกิดการแยกตัวออกไปนั้นเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นไปได้ที่ขนาดของแรงดันและความถี่ที่เกิดขึ้นจะไม่อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับของอุปกรณ์เป็นผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์นั้นๆ อาจส่งผลรบกวนการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆของการไฟฟ้า อาจสร้างอันตรายให้เกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงาน ณ สายส่งที่สัมพันธ์กับการเกิดสภาวะแยกตัวอิสระเพราะในสายส่งยังมีไฟฟ้าที่ส่งมาจากหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวแต่มีการสันนิฐานว่าไม่มีไฟฟ้าในสายส่งนั้นแล้ว เมื่อมีการกลับเข้ามาเชื่อมต่อในโครงข่ายระบบไฟฟ้าอีกครั้งหลังจากที่แยกออกไปก่อนหน้าอาจจะส่งผลให้เกิดการ รีทริป (Re-Tripping) หรือ เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ต่างๆ เพราะ เกิดความต่างเฟส [3],[4]

3. เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟ

การจะศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคที่ใช้ในการตรวจจับสภาวะแยกตัวอิสระ จะมีองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญคือ พื้นที่ไร้การตรวจจับ (Non-Detection Zone; NDZ) เป็นขอบเขตของความแตกต่างระหว่างกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาของหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวกับการบริโภคกำลังไฟฟ้าของโหลด ซึ่งหากดำเนิน การตรวจจับการแยกตัวอิสระ ภายใต้ขอบเขตนี้การตรวจจับจะล้มเหลว [5]

การแก้ปัญหาสภาวะการแยกตัวอิสระมีมาตรฐานหลักๆ ที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย IEEE Std. 929, IEEE Std. 1547, The international standard IEC 62116, UL 1741, Japanese Standard (JET Std. 2002), และ Korean Standard (Korean PV 501, 2008) โดยในตารางที่ 7 แสดงสรุปสาระสำคัญที่น่าสนใจที่สุดของมาตรฐาน โดยทั่วไปทุกมาตรฐานมีบทสรุปที่สำคัญตรงกันหรือไปทำนองเดียวกันว่าระบบเชื่อมต่อของหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจะต้องตรวจจับและหยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังภายในสองวินาทีเมื่อสภาวะแยกตัวอิสระเริ่มเกิดขึ้น [6],[7]

3.1 Over/Under-Voltage และ Over/Under-Frequency

Over/under-voltage (OUV) of passive islanding detection technique และover/under-frequency (OUF) of passive islanding detection technique ทั้งคู่เป็นเทคนิคที่เหมือนกันในการใช้งานแต่ต่างกันเพียงว่าจะวัดแรงดันหรือจะวัดความถี่ ณ จุด Point of Common Coupling (PCC) โดยสามารถใช้รีเลย์ตรวจจับ ณ จุด PCC เพื่อต่อต้านสภาวะการแยกตัวอิสระโดยทำการตั้งค่าของรีเลย์ให้ตรวจจับ แรงดัน/ความถี่ เกิน หรือ แรงดัน/ความถี่ ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน เพื่อให้เมื่อเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระเกิดขึ้นรีเลย์จะปลดหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวออกไปจากระบบ ส่วนหากไม่ใช้รีเลย์ก็สามารถให้ระบบควบคุมของหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวนั้นๆ สั่งให้หน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง [5],[8]

3.2 Phase jump

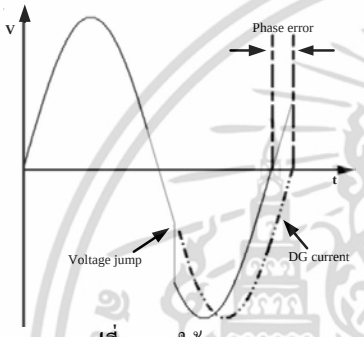
Phase jump of passive islanding detection technique หรือ Phase Jump Detection (PJD) เป็นวิธีการที่เกี่ยวข้องกับการติดตามการกระโดดของแรงดันอินเวอร์เตอร์อันเป็นผลมาจากความแตกต่างระหว่างแรงดันอินเวอร์เตอร์กับกระแสอินเวอร์เตอร์ที่ออกจากเอาท์พุท โดยในการใช้งานปกติกระแสอินเวอร์เตอร์จะอินเฟสกับแรงดันอินเวอร์เตอร์ผ่าน Phase Locked Loop (PLL) รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อการไฟฟ้าหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าระบบ ปรากฏการณ์นี้จะปรากฏเฉพาะกรณีที่ DG ใช้อินเวอร์เตอร์ต่อผ่านเข้าสู่โครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง โดยจุดเด่นของวิธีการ PJD คือ ง่ายในการดำเนินการใช้งานเนื่องจากอินเวอร์เตอร์ใช้ PLL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิงโครไนส์เข้ากับ กริด (Grid) โดยอินเวอร์เตอร์จะตัดตัวเองออกจากกริดถ้าเกิด phase error ระหว่างกระแสเอาท์พุทและแรงดันเอาท์พุทเกินกว่าขอบเขตที่กำหนดไว้ แต่วิธีการนี้มีข้อเสียคือยากที่จะดำเนินการในการกำหนดขอบเขตในโหลดบางประเภท เช่น มอเตอร์ [6],[7]

3.3 Detection of voltage and current harmonics

Detection of voltage and current harmonics of passive islanding detection technique เป็นวิธีการที่จะทำการวัด Voltage Total Harmonic Distortion (THD_V) ที่จุด PCC โดยนำค่าที่วัดได้เปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ หากค่าที่ได้เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้อินเวอร์เตอร์จะตัดตัวเอง



รูปที่ 2: การใช้งาน PJD.

ออกจากกริด โดยในการใช้งานปกติแรงดันที่ จุด PCC จะถูกควบคุมโดยกริด เมื่อเกิดสภาวะแยกตัวอิสระ DG จะควบคุมแรงดันที่ จุด PCC แทนและทำให้ปริมาณของฮาร์โมนิกส์เพิ่มขึ้น [6],[9],[10]

วิธีการนี้เป็นการ วัด Voltage Total Harmonic Distortion (THD_V) ที่ทุกฮาร์โมนิกส์ หรือ ใช้เพียงฮาโมนิกส์หลัก คือ 3rd, 5th และ 7th

มันเป็นไปได้ที่จะใช้ Phase Looked Loop (PLL) ในการติดตามจัดหาค่าของฮาร์โมนิกส์ ปริมาณสูงสุดของฮาร์โมนิกส์แรงดันกริด (Grid voltage harmonics) เป็นการรายงานในตารางที่ 2

ตารางที่ 2: ปริมาณแรงดันฮาร์โมนิกส์ [11]

Harmonic order (h)	3	5	7	9	11	13
Amplitude (%)	5	6	5	1.5	3.5	3

ข้อดีของวิธีการนี้คือประสิทธิภาพจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการใช้งานอินเวอร์เตอร์หลายตัวต่อเข้ากริด แต่อ่อนไหวต่อการรบกวนทำให้การตั้งเกณฑ์ยากมาก เช่น ใน โหลดไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear loads) ความผิดเพี้ยนที่จุด PCC สามารถสูงซึ่งอาจจะตรวจจับผิดพลาด

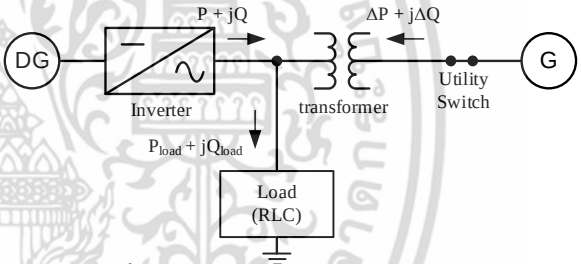
3.4 Detection based on state estimators [10].

Detection based on state estimators of passive islanding detection technique เป็นวิธีการที่มีไอเดียพื้นฐานในการประยุกต์การควบคุมแรงดันร่วมกับการควบคุมรีโซแนนซ์ โดยอัลกอริทึมอยู่บนฐานของ คาลมานฟิลเตอร์ (Kalman filters) เป็นการใช้การประเมินค่า ฮาร์โมนิกส์ ที่ 3rd และ 5th ของ แรงดันกริด

ข้อดีของเทคนิคนี้คือเป็นวิธีการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลัง มันมี NDZ ต่ำ และอัตราการตรวจจับการแยกตัวอิสระสูง อย่างไรก็ตามมันเรียกร้องความซับซ้อนมากขึ้นในการเขียนโปรแกรมเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่นๆ ของพาสซีฟในการตรวจจับการแยกตัวอิสระ

4. Over/Under-Voltage Technique

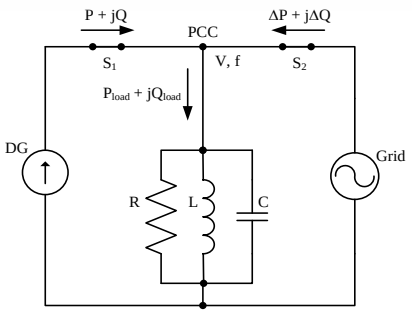
ในส่วนนี้จะแสดงการใช้ประโยชน์จาก Over/Under-voltage technique โดยจะกล่าวถึงการหา พื้นที่ไร้การตรวจจับ (NDZ) เพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นในการใช้ประโยชน์จากเทคนิคนี้ ปกติการหา NDZ ของแต่ละเทคนิคเป็นสิ่งที่ค้นหาได้ยาก แต่เทคนิค over/under-voltage สามารถค้นหาได้ [7] โดยจะแตกต่างกันระหว่างกรณีของ Inverter-based DG กับ Synchronous-based DG



รูปที่ 3: การต่อ DG เข้า Grid ผ่านอินเวอร์เตอร์

กรณี Over/Under-voltage of passive islanding detection technique of inverter-based DG สามารถหา Non-detection zone (NDZ) ด้วยการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

โดยทั่วไปสามารถสันนิฐานได้ว่าโหลดเป็นโครงสร้างของวงจร RLC ขนาน และสามารถแปลงวงจรในรูปที่ 3 เป็นวงจรสมมูลย์ในรูปที่ 4 [7],[12]



รูปที่ 4: วงจรสมมูลย์ของ DG ต่อเข้า Grid ผ่านอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4 จะเห็นโนด “PCC” หรือ จุด PCC ซึ่งจุดนี้เป็นจุดที่จะทำการวัดค่าต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการเกิดสภาวะการแยกตัวอิสระ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

เมื่อ กริดของการไฟฟ้า ต่อเข้ามา (S_2 is closed) เพื่อจ่ายโหลด $P + jQ$ จะไหลจาก DG system สู่โนด “PCC” และ $P_{load} + jQ_{load}$ จะไหลจากโนด “PCC” เข้าไปสู่โหลด โดยที่กำลังไฟฟ้าที่มาจาก กริดของการไฟฟ้า เข้าสู่โนด “PCC” คือ $\Delta P+j\Delta Q$ ดังนั้นจะวิเคราะห์ได้ดังสมการที่ (1)

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

และ มุมของโหลด ความถี่รีโซแนนซ์ และแฟคเตอร์คุณภาพ ดังสมการที่ (2)

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

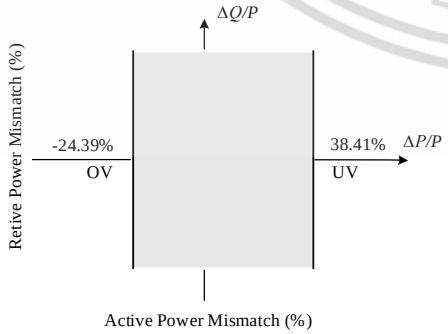
วิเคราะห์แล้วได้ พื้นที่ไร้การตรวจจับของกำลังไฟฟ้าจริง

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

จาก IEC 62116 ในตารางที่ 1 กำหนดค่า V_{max} = 115 %, V_{min} = 85 % แทนค่าที่ได้ในสมการที่ 3 (เลือกค่า IEC 62116 แทนค่าเพราะ ประเทศไทยใช้ความถี่ 50 Hz)

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

ดังนั้นสามารถวาด พื้นที่ไร้การตรวจจับ ได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5: พื้นที่ไร้การตรวจจับของ OUV

การทดลองต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นถึงปรากฏการณ์ของแรงดันที่เกิดขึ้นภายหลังจากเกิดสภาวะการแยกตัวอิสระเป็นอย่างไรรวมทั้งสัมพันธ์อย่างไรกับพื้นที่ไร้การตรวจจับ โดยเป็นการทดลองตามนิยามใน UL 1741-1999, IEEE Std. 929-2000 and IEEE Std. 1547-2003 [3],[4],[7]

โดยจะใช้ RLC ต่อขนานเข้าไปเป็นโหลด และให้ RLC โหลด มีความถี่รีโซแนนซ์เช่นเดียวกับความถี่ที่มาจากกริด นั้นคือจะได้ เพาเวอร์แฟคเตอร์ (PF) = 1 สภาวะที่กำหนดในการทดลองนี้เป็นสภาวะที่ยากในการตรวจจับการแยกตัวอิสระ และจะยากที่สุดในการตรวจจับการตัวแยกอิสระ เมื่อ กำลังไฟฟ้าจริงของ DG (P) เท่ากับ กำลังไฟฟ้าจริงของ Load (P_{load}) [3],[7] ในการทดลอง จะแทนที่ค่าต่างๆ ในรูปที่ 3 โดยให้ R เป็น R ชนิดปรับค่าได้ จะทำการวัดค่า R ขณะทดลองเป็น กำลังไฟฟ้าจริง (P_{load}), L = 101.424 mH C = 100 µF จะได้ X_L = 31.84 Ohm และ X_C = 31.84 Ohm ดังนั้นโหลดจะเป็นโหลดในสภาวะรีโซแนนซ์ เพราะ $X_L = X_C$ และจะทำให้ $Q_{load} = 0$ ด้วย นอกจากนี้จะแทน DG ด้วย DC Source และจะสร้างสภาวะการแยกอิสระโดย เปิดสวิทช์ S_2 ชุดทดลองพร้อมเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการทดลองแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 6: การทดลองในห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

ในการทดลองจะใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 1 kW ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจริงที่ออกมาจากอินเวอร์เอตร์จะเป็น P = 1 kW คงที่ และเพาเวอร์แฟคเตอร์จากอินเวอร์เตอร์จะเป็น PF = 1 การทดลองจะเปลี่ยนแปลง P_{load} จาก 600 W ถึง 1,200 W (100 W ต่อครั้ง) ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3: ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังไฟฟ้าจริง

P_{load} (kW)	P (kW)	ΔP (kW)	$\Delta P/P$ (%)	On Grid			Off Grid
				V_{PCC} (V)	V_{PCC}* 115%	V_{PCC}* 85%	V_{PCC} (V)
0.6	1	-0.4	-40	226.3	260.2	192.4	253.2
0.77	1	-0.3	-30	233.4	268.4	198.4	249.3
0.8	1	-0.2	-20	231.6	266.3	196.9	240.5
0.9	1	-0.1	-10	229.8	264.3	195.3	191.0
1	1	0	0	229.8	264.3	195.3	175.0
1.1	1	0.1	10	226.3	260.2	192.4	159.1
1.2	1	0.2	20	229.8	264.3	195.3	148.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

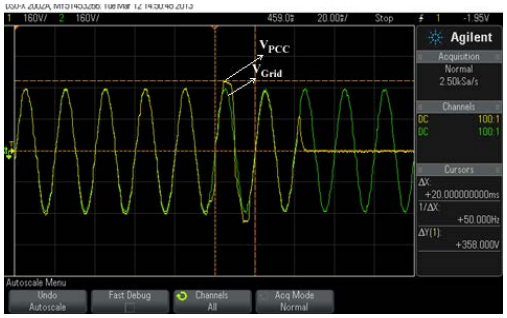
ผลการทดลองในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าผลการทดลองสอดคล้องกับสมการที่ (3) และรูปที่ 5 แต่อาจจะไม่ตรงกันอย่างสมบูรณ์เพราะการทดลองกระทำในโหลดที่ยากที่สุดในการตรวจจับการแยกตัวอิสระ โดยผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดังนี้ว่า หากการตรวจจับ แรงดันเกินหรือแรงดันต่ำ กระทำโดยการกำหนดให้คงที่โดยเทียบกับแรงดันที่ใช้ในประเทศไทยคือ 220 V ดังนั้นจะได้ว่าหากแรงดันเกินกว่า 253 V (220*115%) หรือ แรงดันต่ำกว่า 187 V (220*85%) แสดงว่าได้เกิด สภาวะแยกตัวอิสระขึ้นแล้ว และจะต้องสั่งให้ DG หยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าระบบ จะเห็นได้ว่าหลังจากที่ Off-Grid ทำให้เกิดสภาวะแยกตัวอิสระเกิดขึ้น แรงดันที่จุด PCC คือ V_{PCC} จากแถวที่ 1, 5, 6 และ 7 สูงกว่าเกณฑ์ของแรงดันเกินและต่ำกว่าเกณฑ์ของแรงดันต่ำ ซึ่งค่าเหล่านี้จะบ่งบอกว่าได้เกิดสภาวะแยกตัวอิสระขึ้นแล้ว ส่วนแรงดันที่เกิดขึ้นในแถวที่ 2. 3 และ 4 ไม่สามารถตรวจจับได้เพราะอยู่ใน พื้นที่ไร้การตรวจจับ ผลการทดลองอาจจะไม่ตรงอย่างสมบูรณ์แต่ก็พอให้สังเกตุเห็นได้ว่า พื้นที่ไร้การตรวจจับ คือ ระหว่าง

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

หากเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าจริงทำให้ $\Delta P/P$ เข้าไปอยู่ในพื้นที่นี้ จะทำให้แรงดันภายหลังการเกิดสภาวะแยกตัวอิสระที่จุด PCC คือ V_{PCC} จะไม่สูงกว่าเกณฑ์ของแรงดันเกินและไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ของแรงดันต่ำ ทำให้เทคนิคนี้ไม่สามารถตรวจจับการแยกตัวอิสระที่เกิดขึ้นได้ ส่วนรูปที่ 7 เป็นผลการทดลองจากการใช้เทคนิคนี้ โดยแรงดันที่เกิดขึ้นคือ V_{PCC} เป็นแรงดันที่สูงกว่าเกณฑ์ของแรงดันเกินทำให้อินเวอร์เตอร์สั่งหยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าระบบ โดย V_{Grid} เป็นแรงดันกริดอยู่อีกด้านของ S_2 เมื่อเทียบกับ PCC

5. สรุป

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เทคนิคการตรวจจับการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระแบบพาสซีฟเป็นเทคนิคที่ ไม่มีการฉีดสัญญาณรบกวนไปยังโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง การนำไปดำเนินการใช้งานไม่ยาก มีราคาไม่แพง แต่ยังมีจุดอ่อนคือมี พื้นที่ไร้การตรวจจับ



รูปที่ 7: การทดลองเมื่อ P_{load} = 600 W และ P = 1 kW

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ รศ. ดร. สุทธิชัย เปรมฤดีปรีชาชาญ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เป็นผู้ฝึกฝน ชี้แนะแนวทางในการทำงานวิจัย และการเขียนบทความวิจัย ในระดับนานาชาติ แก่ผู้เขียน

7. เอกสารอ้างอิง

[1] REN21, "Renewables 2012 global status report," Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2012.

[2] A. M. Massoud, K. H. Ahmed, S. J. Finney and B. W. Williams, "Harmonic distortion-based island detection technique for inverter-based distributed generation," IET Renewable Power Generation, Vol.3, No.4, pp.493–507, 2009.

[3] IEEE recommended practice for grid interface of photovoltaic (PV) systems, IEEE Std. 929, 2000.

[4] IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems. IEEE Std. 1547, 2003.

[5] 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.

[6] Byunggyu Yu, Mikihiko Matsui and Gwonjong Yu, "A review of current anti-islanding methods for photovoltaic power system," Solar Energy 84, pp.745–754, March 2010.

[7] 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.1171-1176, September 2004.

[8] Manop Yingram and Suttichai Premrudeepreechacharn, "Investigation Over/Under-Voltage Protection of Passive Islanding Detection Method of Distributed Generations in Electrical Distribution Systems," ICRERA, Japan, 2012.

[9] Jang S and Kim K., "An islanding detection method for distributed generations using voltage unbalance and total harmonic distortion of current," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.19, No.2, pp.745–52, April 2004.

[10] Liserre M, Pigazo A, Dell'Aquila A and Moreno VM., "An anti-islanding method for single-phase inverters based on a grid voltage sensorless control," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.53, No.5, pp.1418–26, October 2006.

[11] De Mango F, Liserre M, Aquila AD and Pigazo A., "Overview of anti-islanding algorithms for PV systems. Part I: Passive methods," 12th international power electronics and motion control conference, EPE-PEMC 2006, pp.1878–83, August 2006.

[12] 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้