

บทที่ 2

คุณลักษณะอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า

2.1 บทนำ

เทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว และเข้ามามีบทบาทสำคัญในภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนถึงการนำพลังงานไฟฟ้าจากระบบโฟโตโวลตาอิกไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพจนกระทั่งสามารถต่อกับกริดระบบไฟฟ้าได้โดยตรง อินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้ากำลังได้รับการวิจัยและพัฒนาให้มีสมรรถนะและความเชื่อถือได้สูง สามารถใช้งานได้กว้างขวางยิ่งขึ้น

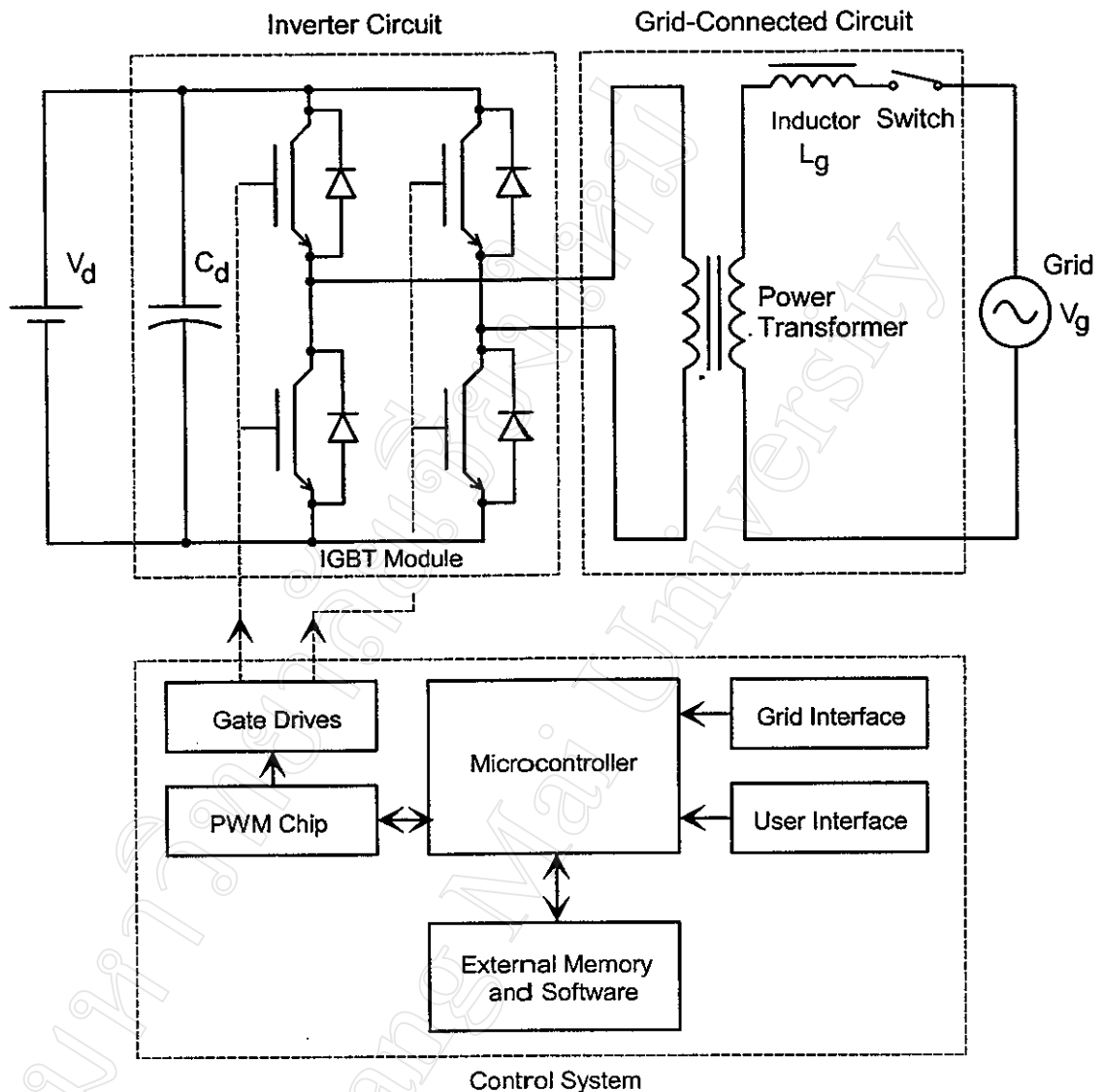
อินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า มีโครงสร้างและส่วนประกอบคล้ายกับอินเวอร์เตอร์สำหรับมอเตอร์กระแสสลับทั่วไป การพัฒนาให้อินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้าได้นั้น อินเวอร์เตอร์จะต้องมีคุณลักษณะเพิ่มขึ้นอีกหลายอย่าง เช่น การซิงโครไนซ์กับกริดระบบไฟฟ้า การควบคุมกำลังไฟฟ้า และระบบป้องกันโดยวิธีเฉพาะ ดังจะกล่าวรายละเอียดในบทนี้

2.2 ส่วนประกอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า

อินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้ามีส่วนประกอบที่สำคัญแบ่งเป็นสามส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งวงจรอินเวอร์เตอร์ ส่วนที่สองวงจรต่อกับกริดระบบไฟฟ้า และส่วนที่สามระบบควบคุม ดังแสดงเป็นแผนภาพในรูปที่ 2.1

วงจรอินเวอร์เตอร์ประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ (C_d) และไอจีบีทีต่อแบบบรีดจ์เฟสเดียว โดยรับแรงดันกระแสตรง (V_d) จากระบบโฟโตโวลตาอิก คือ แผงเซลล์อาทิตย์ หรือแบตเตอรี่ แปลงแรงดันกระแสตรงเป็นแรงดันกระแสสลับ ส่วนวงจรต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ประกอบด้วย หม้อแปลงกำลังมีหน้าที่แปลงแรงดันกระแสสลับจากวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งมีขนาดแรงดันต่ำให้สูงขึ้นเท่ากับแรงดันกริดระบบไฟฟ้า (V_g) ผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งทำหน้าที่จำกัดกระแสและต่อกับกริดระบบไฟฟ้าด้วยสวิตช์

ระบบควบคุมประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ หน่วยประมวลผลโดยทั่วไปจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ควบคุมอินเวอร์เตอร์และซิงโครไนซ์กับกริดระบบไฟฟ้า และยังมีส่วนกำเนิดสัญญาณขับเคลื่อนไอจีบีทีด้วยเทคนิคพีดับเบิลยูเอ็มจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 2.3



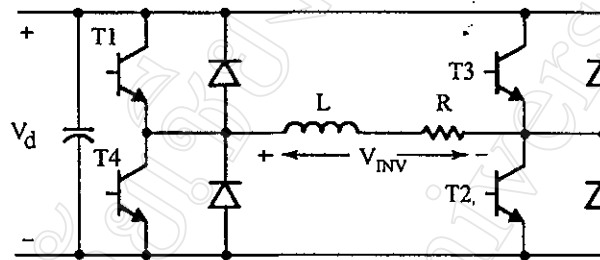
รูปที่ 2.1 แผนผังส่วนประกอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า

2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์และเทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม

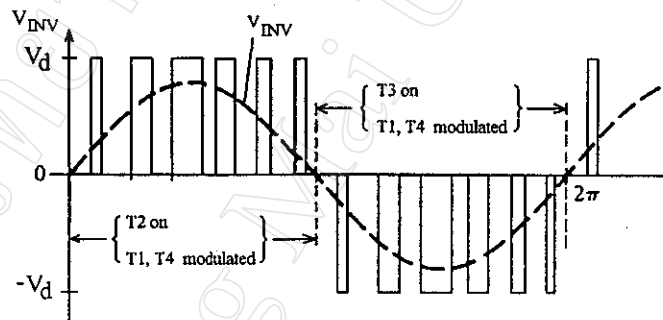
วงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันคงที่แสดงในรูปที่ 2.2 ก) ทำหน้าที่แปลงแรงดันกระแสตรงเป็นแรงดันกระแสสลับโดยสามารถควบคุมขนาดแรงดันและความถี่ให้คงที่ได้ วงจรอินเวอร์เตอร์จะต้องกำเนิดรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตใกล้เคียงสัญญาณไซน์มากที่สุด โดยใช้เทคนิคการผสมสัญญาณตามความกว้างของพัลส์หรือพีดับเบิลยูเอ็ม (Pulse Width Modulation : PWM) การผสมสัญญาณประกอบด้วย สัญญาณพาหะ (Carrier signal : V_c) มีความถี่เป็น f_c และสัญญาณอ้างอิง (Reference signal : V_r) มีความถี่เป็น f_r ความถี่สัญญาณพาหะจะมีค่าสูงกว่าความถี่สัญญาณอ้างอิงเป็น n เท่า การผสมสัญญาณทั้งสองโดยใช้ตัวเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator)

แสดงดังรูปที่ 2.2 ค) สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มทีได้รับการผสมสัญญาณตามความกว้างพัลส์ จะนำไปขับเคลื่อนของสวิตช์กำลังในวงจรอินเวอร์เตอร์ จะทำให้ได้แรงดันเอาต์พุต ในรูปที่ 2.2 ข)

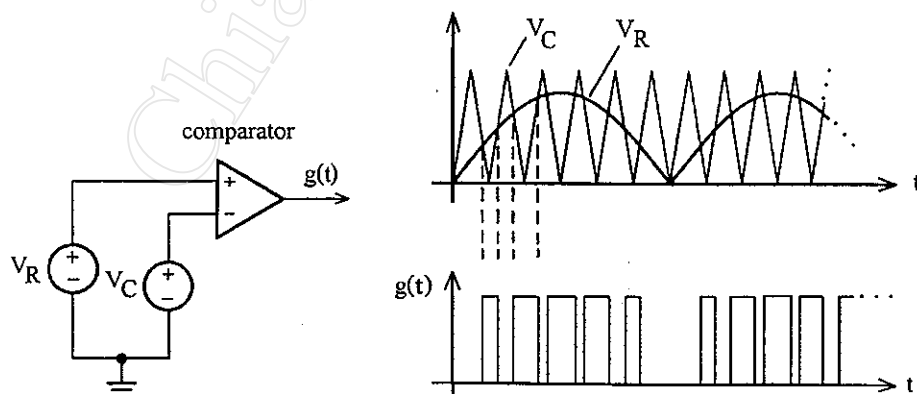
ถ้าแรงดันกระแสตรงด้านอินพุตคงที่ แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากอินเวอร์เตอร์หรือแรงดันอินเวอร์เตอร์จะแปรผันตามอัตราส่วนของค่ายอดสัญญาณอ้างอิงกับค่ายอดของสัญญาณพาหะหรือดัชนีมอดูเลต (Modulation index : ma) ส่วนความถี่แรงดันเอาต์พุต จะเท่ากับความถี่สัญญาณอ้างอิง



(ก) วงจรอินเวอร์เตอร์



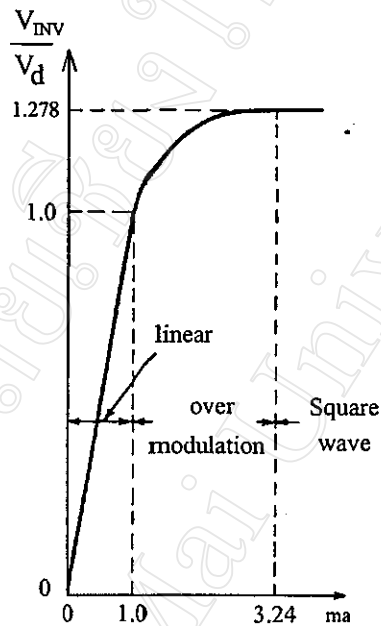
(ข) รูปคลื่นแรงดันอินเวอร์เตอร์



(ค) การผสมสัญญาณตามความกว้างพัลส์

รูปที่ 2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์และการผสมสัญญาณตามความกว้างพัลส์ [11]

แรงดันอินเวอร์เตอร์ จะแปรผันเป็นเส้นตรงกับดัชนีมอดูเลต เมื่อดัชนีมอดูเลตน้อยกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง ถ้าดัชนีมอดูเลตมากกว่าหนึ่งเป็นการผสมความกว้างพัลส์เกิน จะทำให้รูปคลื่นแรงดันอินเวอร์เตอร์เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีมอดูเลตกับแรงดันอินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ma กับ V_{INV} [13]

$|V_R|$ = ค่ายอดคลื่นของสัญญาณอ้างอิง

$|V_C|$ = ค่ายอดคลื่นของสัญญาณพาหะ

V_{INV} = แรงดันอินเวอร์เตอร์

ma = ดัชนีมอดูเลต (modulation index)

$$ma = |V_R| / |V_C| \quad (2.1)$$

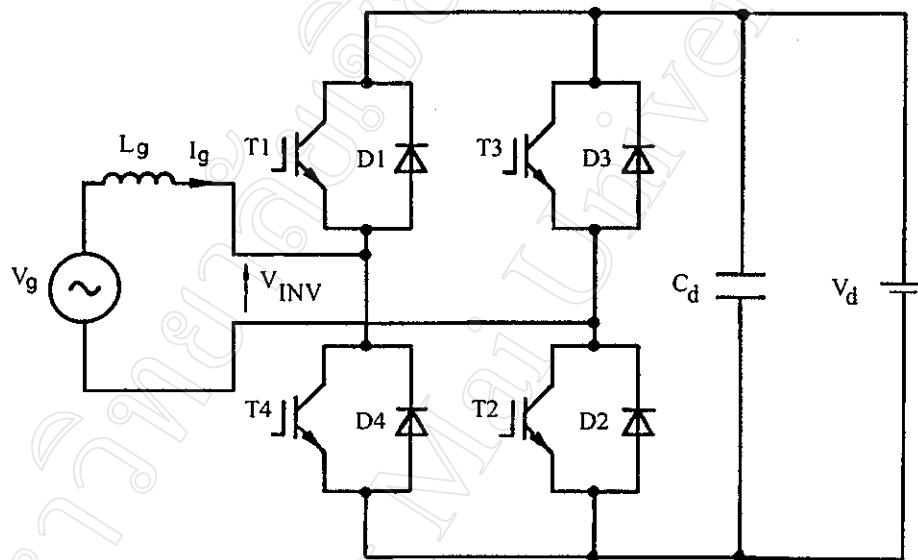
$$V_{INV} = V_d \times ma \quad (\text{linear range}) \quad (2.2)$$

รูปคลื่นกระแสและแรงดันอินเวอร์เตอร์จะมีความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ ซึ่งความผิดเพี้ยนจะลดลงเมื่อความถี่สัญญาณพาหะสูงขึ้น ได้มีการพัฒนากำเนิดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มด้วยการประมวลผลแบบดิจิทัลจากชิปเฉพาะงาน ผลที่ได้คือความผิดเพี้ยนของกระแสและแรงดันจะเกิดขึ้นน้อยที่สุด

2.4 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า [12,13]

วงจรอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 2.4 โดยตัดหม้อแปลงกำลังออกไปก่อน การต่อแรงดันอินเวอร์เตอร์กับแรงดันกริดระบบไฟฟ้ามีข้อกำหนดสามประการ คือ

- ขนาดแรงดันเท่ากัน
- ความถี่แรงดันเท่ากัน
- มุมเฟสแรงดันเท่ากัน



รูปที่ 2.4 วงจรอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า [12]

จากรูปที่ 2.4 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้าแบบเฟสเดียว มีส่วนประกอบดังนี้ แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง (V_d) สวิตช์กำลังกำลังความเร็วสูงใช้ไอจีบีทีถูกควบคุมด้วยเทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม ตัวเหนี่ยวนำ (L_g) และกริดระบบไฟฟ้า

V_d = แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง แรงดันกระแสตรง

I_d = กระแสแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง

V_{INV} = แรงดันอินเวอร์เตอร์

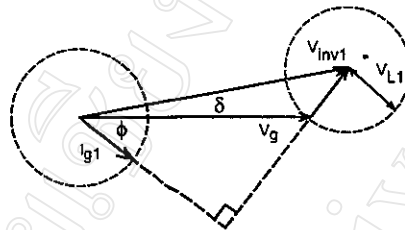
L_g = ตัวเหนี่ยวนำ

V_g = แรงดันกริดระบบไฟฟ้า

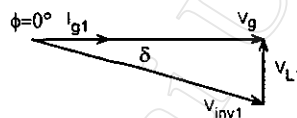
I_g = กระแสกริดระบบไฟฟ้า

V_{Lg} = แรงดันตัวเหนี่ยวนำ L_g

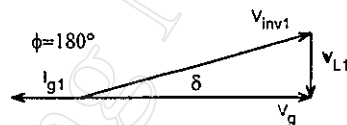
กำหนดให้ V_g เป็นจุดอ้างอิงเฟสเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ กระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้า ดังต่อไปนี้



ก) เฟสเซอร์คุณลักษณะการทำงานทั่วไป



ข) เฟสเซอร์แสดงมุมกำลังเป็นบวก ตัวประกอบกำลังเป็นหนึ่ง



ค) เฟสเซอร์แสดงมุมกำลังเป็นลบ ตัวประกอบกำลังเป็นหนึ่ง
รูปที่ 2.5 แผนภาพเฟสเซอร์แรงดันและกระแส [13]

$$V_g = V_{g(max)} \sin(\omega t + 0^\circ) \quad (2.3)$$

$$V_{inv} = V_{inv(max)} \sin(\omega t + \delta^\circ) \quad (2.4)$$

$$\omega = 2\pi f$$

f = ความถี่แรงดันกริดระบบไฟฟ้า (ความถี่พื้นฐาน)

V_{Lg1} = แรงดันตัวเหนี่ยวนำที่ความถี่พื้นฐาน

I_{g1} = กระแสกริดระบบไฟฟ้าที่องค์ประกอบความถี่พื้นฐาน

V_{inv1} = แรงดันอินเวอร์เตอร์ที่องค์ประกอบความถี่พื้นฐาน

$$V_g = V_{INV} + V_{Lg} \quad (2.5)$$

$$V_{Lg} = L_g \, di_g / dt \quad (2.6)$$

$$V_g = V_{INV1} + V_{Lg1} \quad (2.7)$$

$$V_{Lg1} = j\omega L_g I_{g1} \quad (2.8)$$

$$V_{Lg1} \cos \phi = \omega L_g I_{g1} \cos \phi = V_{INV1} \sin \delta \quad (2.9)$$

$$V_g - \omega L_g I_{g1} \sin \phi = V_{INV1} \cos \delta \quad (2.10)$$

$$I_{g1} = \frac{V_g - V_{INV1}}{j\omega L_g} \quad (2.11)$$

$$P_g = V_g I_{g1} \cos \phi = \frac{V_g V_{INV1}}{\omega L_g} \sin \delta \quad (2.12)$$

$$Q_g = V_g I_{g1} \sin \phi = \frac{V_g^2}{\omega L_g} \left(1 - \frac{V_{INV1}}{V_g} \cos \delta \right) \quad (2.13)$$

δ = มุมกำลัง (Power angle) คือมุมระหว่างแรงดันกริดระบบไฟฟ้ากับอินเวอร์เตอร์

ϕ = มุมระหว่างแรงดันและกระแสกริดระบบไฟฟ้า (V_g, I_{g1})

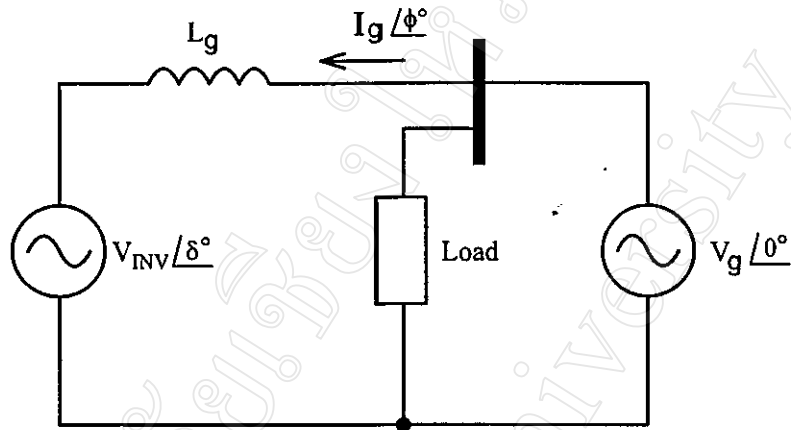
S_g = กำลังปรากฏ (Apparent power) กริดระบบไฟฟ้า

P_g = กำลังแอกทีฟ (Active Power) กริดระบบไฟฟ้า

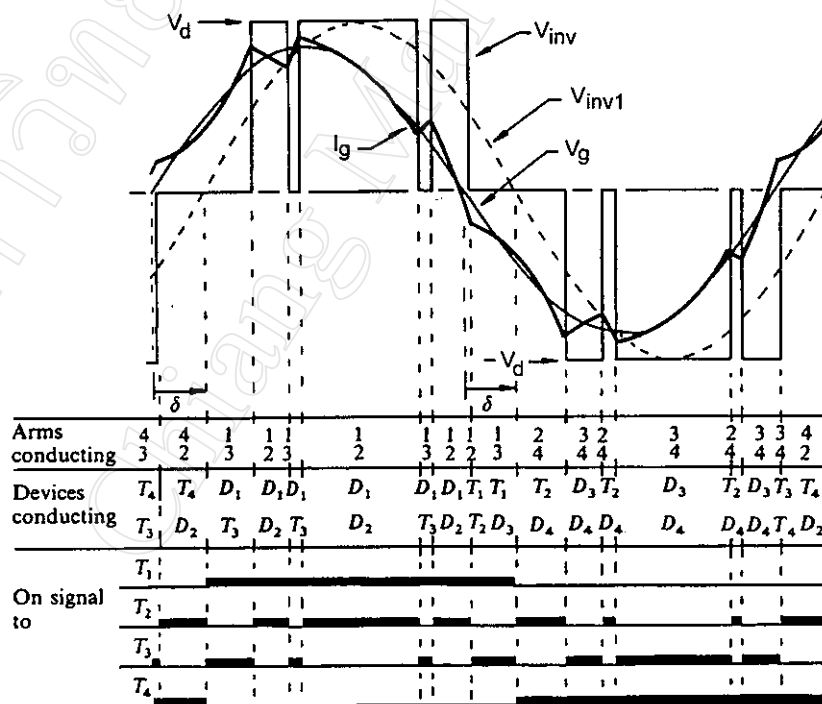
Q_g = กำลังรีแอกทีฟ (Reactive power) กริดระบบไฟฟ้า

รูปที่ 2.5 แสดงแผนภาพเฟสเซอร์ของแรงดันและกระแส และรูปที่ 2.6 แสดงวงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า เขียนได้เป็นจากสมการที่ 2.5 - 2.13 จากสมการที่ 2.12 สมมติว่าแรงดันกริดระบบไฟฟ้าและแรงดันอินเวอร์เตอร์มีค่าคงที่ กำลังแอกทีฟที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามมุมกำลัง ถ้ามุมกำลังเป็นบวกหรือมุมเฟส V_{INV1} ถ้ามุม V_g กำลังแอกทีฟจะไหลจากกริดระบบไฟฟ้าไปแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง แสดงรูปคลื่นสัญญาณต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 2.7

ถ้ามุมกำลังมีค่าเป็นลบ คือมุมเฟสแรงดัน V_{INV} นานกว่า V_g กำลังแอกทีฟจะไหลจากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงไปยังกริดระบบไฟฟ้า แสดงรูปคลื่นสัญญาณต่างๆ ที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า



รูปที่ 2.7 รูปคลื่นสัญญาณต่างๆ ที่มุมกำลังเป็นบวก [12]

2.5 การควบคุมตัวประกอบกำลัง

$$P_q \propto \sin \delta \quad (2.14)$$
$$Q_g = c_1 (1 + c_2 V_{INV1}/V_g) \quad (2.15)$$

$$Q_g \propto V_{INV1} \quad (2.16)$$

ดังนั้นการจ่ายกำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์จะต้องควบคุมให้กำลังรีแอกทีฟมีค่าน้อยที่สุดและกำลังแอกทีฟมีค่ามากที่สุด ซึ่งจะเป็นผลทำให้ตัวประกอบกำลังมีค่าใกล้เคียงหนึ่งมากที่สุด กำลังแอกทีฟควบคุมด้วยการปรับมุมกำลัง ส่วนกำลังรีแอกทีฟควบคุมด้วยการปรับดัชนีมอดูเลต เพื่อให้แรงดันอินเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับแรงดันกริดระบบไฟฟ้าเสมอ แม้ว่าแรงดันกระแสตรงหรือแรงดันกริดระบบไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป การควบคุมตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงใกล้เคียงหนึ่งผลที่ได้คือ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์จะมีค่าสูงด้วย

2.6 ผลของฮาร์มอนิก และตัวเหนี่ยวนำ L_g

แรงดันอินเวอร์เตอร์ที่ได้จากการสวิตช์ด้วยเทคนิคพีดับเบิลยูเอ็ม ทำให้รูปคลื่นแรงดันอินเวอร์เตอร์ไม่เป็นรูปคลื่นไซน์มีฮาร์มอนิกปะปนมาด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้รูปคลื่นกระแสกริดระบบไฟฟ้าผิดเพี้ยนด้วย รวมทั้งเป็นผลมาจากการต่อหม้อแปลงกำลังระหว่างอินเวอร์เตอร์กับกริดระบบไฟฟ้า (ดังรูปที่ 2.1) จะทำให้รูปคลื่นกระแสกริดระบบไฟฟ้าผิดเพี้ยนมากขึ้นอีกเนื่องจากผลของแกนหม้อแปลงกำลัง ผลของฮาร์มอนิกจะทำให้หม้อแปลงกำลังมีกำลังสูญเสียมากขึ้น ความร้อนสูงขึ้น และตัวประกอบกำลังต่ำลง

จากสมการที่ 2.12 $P_g = V_g I_{g1} \cos \phi$ นั้นเมื่อกระแสกริดระบบไฟฟ้ามีความผิดเพี้ยนหรือมีฮาร์มอนิกจะไม่สามารถนำมาใช้คำนวณได้ เนื่องจากผลของฮาร์มอนิกจะทำให้ตัวประกอบกำลัง ประกอบด้วยสองส่วนคือ DPF (Displacement Power Factor) และความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวม ของกระแสกริดระบบไฟฟ้า (THDi) เขียนเป็นสมการได้คือ

$$P_g = V_g I_g \text{ DPF} \frac{1}{\sqrt{1 + \text{THDi}^2}} \quad (2.17)$$

$$\text{DPF} = \cos \phi_1 \quad (2.18)$$

$$\text{PF} = \text{DPF} \times \frac{1}{\sqrt{1 + \text{THDi}^2}} \quad (2.19)$$

ϕ_1 = มุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแสกริดระบบไฟฟ้าที่ความถี่พื้นฐาน

THDi = ความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกรวมของกระแสกริดระบบไฟฟ้า (Total Harmonic Distortion of grid current)

DPF = Displacement Power Factor

PF = ตัวประกอบกำลัง (Power Factor)

การลดฮาร์มอนิกหรือความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสและแรงดันกริดระบบไฟฟ้าสามารถทำได้ คือ การเพิ่มความถี่การสวิตช์ด้วยฟิวด์เบิลยูเอ็ม และออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำ L_g ให้เหมาะสมกับกำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ การเพิ่มความถี่การสวิตช์ให้สูงระดับกิโลเฮิร์ตซ์จะทำให้รูปคลื่นกระแสใกล้เคียงไซน์มากขึ้น และตัวเหนี่ยวนำ L_g ที่มีค่าสูงจะช่วยลดความผิดเพี้ยนและความพลัวของกระแสกริดระบบไฟฟ้า แต่การเพิ่มขนาดตัวเหนี่ยวนำ L_g จะทำให้กำลังเอาต์พุตลดลงได้

2.7 การตรวจสอบและป้องกันสภาวะ Islanding

ขณะที่อินเวอร์เตอร์จ่ายกำลังไฟฟ้าต่อกับกริดระบบไฟฟ้า เมื่อกริดระบบไฟฟ้าเกิดผิดปรongเป็นเหตุให้ไม่มีแรงดันไฟฟ้าจากกริดระบบไฟฟ้า ทำให้อินเวอร์เตอร์เป็นตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดเพียงตัวเดียว การทำงานของอินเวอร์เตอร์ในสภาวะนี้เรียกว่า Islanding [17, 18, 21, 22] ซึ่งแรงดันที่ปรากฏขึ้นที่กริดระบบไฟฟ้าก็คือแรงดันอินเวอร์เตอร์นั่นเอง

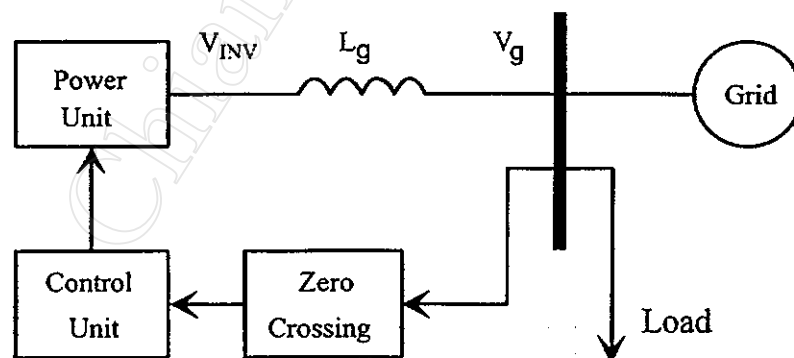
ในสภาวะที่กำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ไม่สมดุลกับโหลด การเกิดสภาวะ Islanding จะทำให้แรงดันและความถี่จะมีค่าสูงขึ้นหรือต่ำกว่าปกติ การตรวจสอบขนาดแรงดันและความถี่กริดระบบไฟฟ้าจะพบสภาวะ Islanding ได้รวดเร็ว แต่ถ้ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์สมดุลกับโหลด แรงดันและความถี่ที่ตรวจสอบได้จะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การตรวจสอบขนาดแรงดันและความถี่เพียงอย่างเดียวจะใช้เวลานาน ดังนั้นระบบตรวจสอบ Islanding จะต้องมีการทดสอบเพิ่มขึ้นจึงจะทราบว่าเกิดสภาวะ Islanding ได้รวดเร็ว วิธีการตรวจสอบสภาวะ Islanding จึงมีสองวิธี คือ การตรวจสอบการเลื่อนเฟสฉับพลัน (Sudden Phase Shift Detection) และวิธีตรวจสอบโดยทดสอบปรับความถี่แรงดันอินเวอร์เตอร์ (Frequency Variation Method)

2.7.1 การตรวจสอบการเลื่อนเฟสลับพลัน [21]

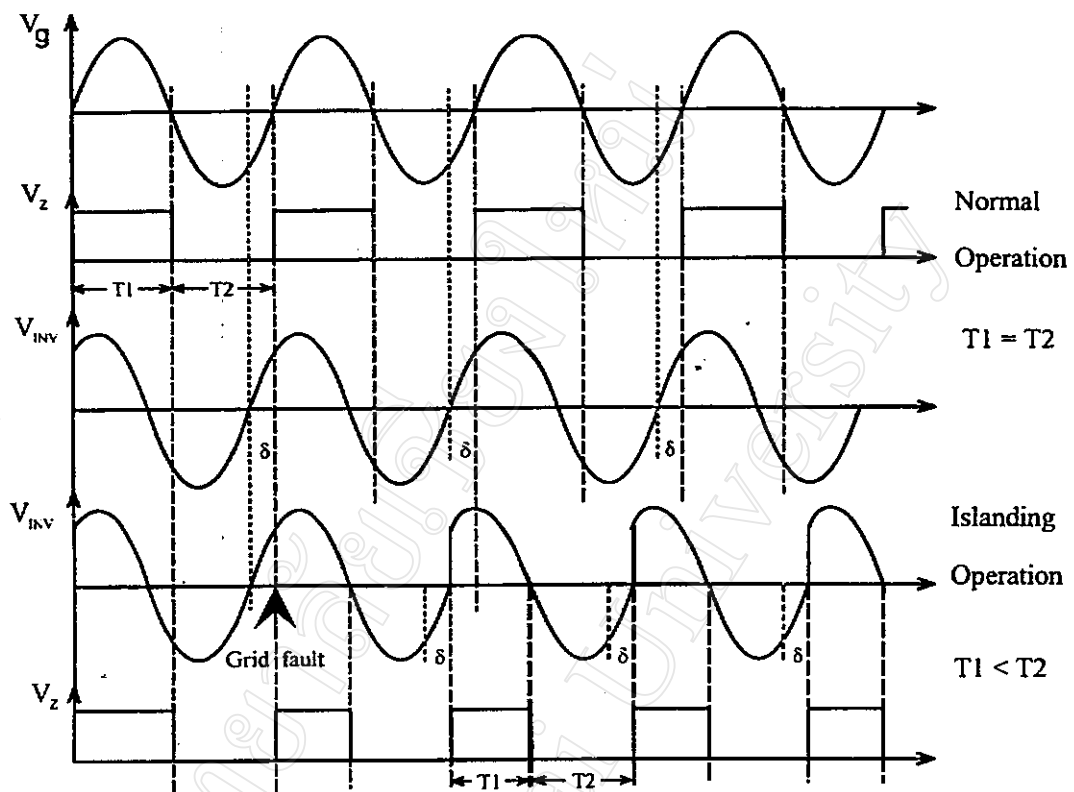
การตรวจสอบการเลื่อนเฟสลับพลันเป็นวิธีป้องกันแบบพาสซีฟ (Passive Method) ปกติแรงดันกริดระบบไฟฟ้า (V_g) คาบเวลาระหว่าง 0-180 องศา (ช่วงบวก) และ 180-360 องศา (ช่วงลบ) จะมีคาบเวลาเท่ากัน ถ้ากริดระบบไฟฟ้าผิดปกติแรงดันกริดระบบไฟฟ้าก็คือแรงดันอินเวอร์เตอร์ (V_{INV}) นั้นเอง ซึ่งแรงดันอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นจะถูกโปรแกรมให้นำหน้าแรงดันกริดระบบไฟฟ้าเท่ากับมุมกำลัง (δ) เสมอดังนั้นจะเกิดการเลื่อนเฟสทำให้คาบเวลาช่วงบวกและช่วงลบมีค่าไม่เท่ากัน จากหลักการนี้สามารถตรวจสอบสถานะ Islanding ได้

จากรูปที่ 2.9 ระบบควบคุมอินเวอร์เตอร์จะตรวจวัด V_g โดยผ่านวงจร Zero Crossing Detector ได้สัญญาณ V_z มีลักษณะเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีเฟสตรงกับเฟสของ V_g แสดงในรูปที่ 2.10 ในสถานะปกติคาบเวลา T_1 มีค่าเท่ากับ T_2 อินเวอร์เตอร์จะสร้างแรงดัน V_{INV} ให้มีมุมเฟสนำหน้าแรงดันกริด V_g เท่ากับมุมกำลัง โดยใช้ V_z เป็นสัญญาณอ้างอิง อินเวอร์เตอร์จะควบคุมให้แรงดัน V_{INV} จะถูกสร้างขึ้นทุก ๆ ไซเคิล เริ่มต้นด้วยมุมกำลัง ตั้งแต่ขอบขาขึ้นของ V_z จนครบ 360 องศา ดังนั้นแรงดันกริดจะล้าหลังแรงดัน V_{INV} เท่ากับมุมโหลด

เมื่อกริดระบบไฟฟ้าเกิดผิดปกติไม่มีแรงดันกริดระบบไฟฟ้า แรงดันที่ระบบควบคุมวัดได้จะมีมุมเฟสประมาณเท่ากับ V_{INV} สัญญาณขอบขาขึ้นของ V_z จึงเป็นสัญญาณ V_{INV} ดังนั้นถ้าอินเวอร์เตอร์ยังคงรักษามุมกำลังเท่าเดิม จะทำให้อินเวอร์เตอร์สร้างแรงดัน V_{INV} เริ่มต้นที่เป็นมุมกำลัง โดยที่ควรจะเป็นมุมศูนย์องศา คาบเวลาของ T_1 จึงไม่เท่ากับ T_2 ทำให้เกิดการเลื่อนเฟสลับพลัน แสดงในรูปที่ 2.10



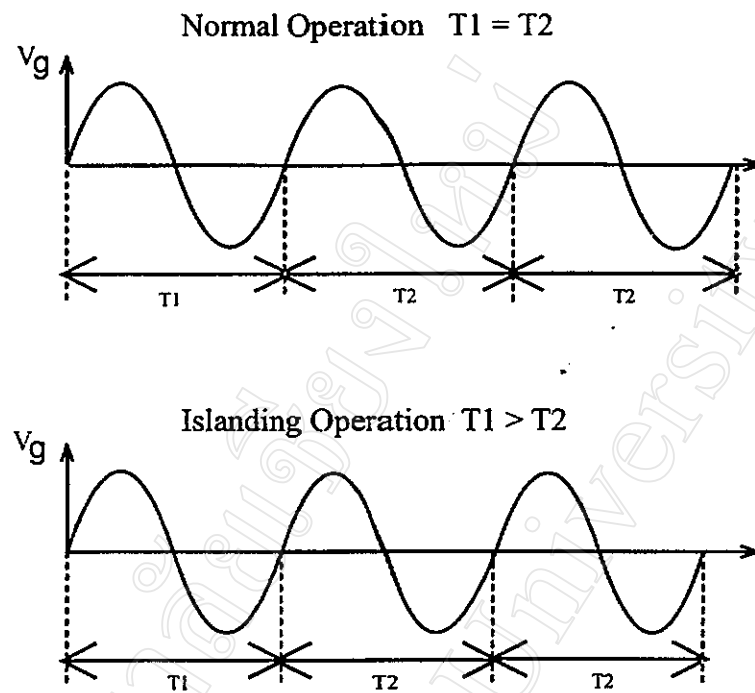
รูปที่ 2.9 แผนผังการตรวจวัดสัญญาณกริดระบบไฟฟ้า



รูป 2.10 แสดงรูปคลื่นสัญญาณที่เกิดขึ้น โดยวิธีตรวจสอบการเลื่อนเฟสขั้วคลื่น

2.7.2 การตรวจสอบโดยทดสอบปรับความถี่แรงดันอินเวอร์เตอร์ [21]

การปรับความถี่แรงดันอินเวอร์เตอร์ เป็นวิธีการตรวจสอบแบบแอคทีฟ (Active Method) ความถี่แรงดันกริดระบบไฟฟ้าปกติจะคงที่ เมื่ออินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้าจะตรวจวัดความถี่แรงดันกริดระบบไฟฟ้าได้ 50 เฮิร์ตซ์ ดังนั้นการทดสอบจะโปรแกรมให้อินเวอร์เตอร์ปรับความถี่แรงดันอินเวอร์เตอร์ให้แตกต่างจากความถี่กริดระบบไฟฟ้าเป็นระยะ ๆ ถ้าหากแรงดันกริดระบบไฟฟ้าปกติไม่ผิดพียง การเปลี่ยนความถี่แรงดันอินเวอร์เตอร์จะไม่ทำให้ความถี่ที่กริดระบบไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง แต่ถ้ากริดระบบไฟฟ้าผิดพียงความถี่แรงดันกริดระบบไฟฟ้าที่ตรวจสอบได้จะเท่ากับความถี่แรงดันอินเวอร์เตอร์ที่โปรแกรมไว้ ทำให้สามารถตรวจสอบพบสถานะ Islanding ได้ รูปที่ 2.11 แสดงความถี่แรงดันกริดเปลี่ยนแปลงเมื่อกริดระบบไฟฟ้าผิดพียง โดยปรับความถี่แรงดันอินเวอร์เตอร์สูงขึ้นดังนั้นคาบเวลาของแรงดันที่ชั่ว $T2$ จะน้อยกว่า $T1$



รูปที่ 2.11 แสดงผลจากการปรับความถี่แรงดันอินเวอร์เตอร์ [21]

2.7.3 การป้องกันสถานะ Islanding

การทำงานของอินเวอร์เตอร์ในสถานะ Islanding อาจเป็นอันตรายต่อกริดระบบไฟฟ้าได้ เช่น การหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อซ่อมบำรุงกริดระบบไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์อาจจะจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปในกริดระบบไฟฟ้าได้ ดังนั้นเมื่ออินเวอร์เตอร์ตรวจสอบพบสถานะ Islanding นี้ อินเวอร์เตอร์จะต้องหยุดการทำงานของอินเวอร์เตอร์และหยุดต่อกับกริดระบบไฟฟ้าทันที การจะต่ออินเวอร์เตอร์กับกริดระบบไฟฟ้าอีกครั้งจะต้องรอนกว่าแรงดันกริดระบบไฟฟ้าปรากฏขึ้นมาอีกครั้ง