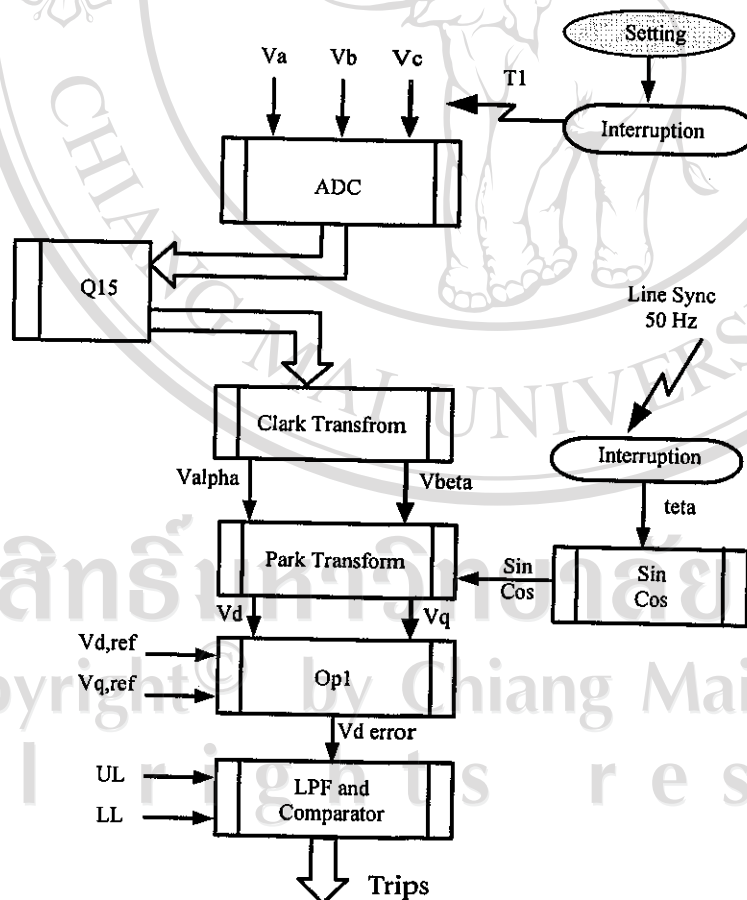


บทที่ 5 ผลการวิจัย

สำหรับบทนี้จะนำเสนอในส่วนผลการทดสอบของการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะชนิดสามเฟส โดยอาศัยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยจะแบ่งการทดสอบตามเงื่อนไขในสภาวะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะชนิดสามเฟสแบบสมดุลและแบบไม่สมดุล

5.1 การทดสอบของการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะชนิดสามเฟส

อัลกอริทึมที่ได้อธิบายในหัวข้อ 4.3 ของบทที่ 4 จะถูกนำมาปฏิบัติการในตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) TMS320F2812 โดยที่โปรแกรมซอฟต์แวร์จะเขียนด้วยภาษาซี (C Code) ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป Code Composer Studio (CCS) ของบริษัท Texas Instruments โดยโครงสร้างของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 5.1

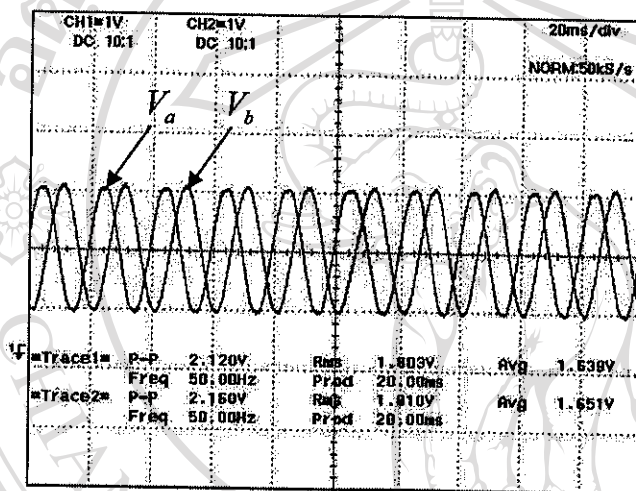


รูปที่ 5.1 โครงสร้างของโปรแกรมที่เขียนลงใน DSP

โดยสามารถอธิบายในแต่ละส่วนของโปรแกรมดังนี้

5.1.1 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to digital conversion: ADC)

อัลกอริทึมจะเริ่มจากการแปลงสัญญาณของแรงดันอินพุตซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล โดยที่โปรแกรมจะมีการสุ่มสัญญาณที่มีความถี่ 10 kHz ของ DSP และเก็บค่าจากการสุ่มสัญญาณไว้ในหน่วยความจำของ DSP ในรูปแบบของ Q15 จากนั้นจะถูกแปลงกับเป็นสัญญาณแอนะล็อกโดยตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก และจะถูกขยับระดับสัญญาณ (Offset) ขึ้นไป 1.65 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 5.2

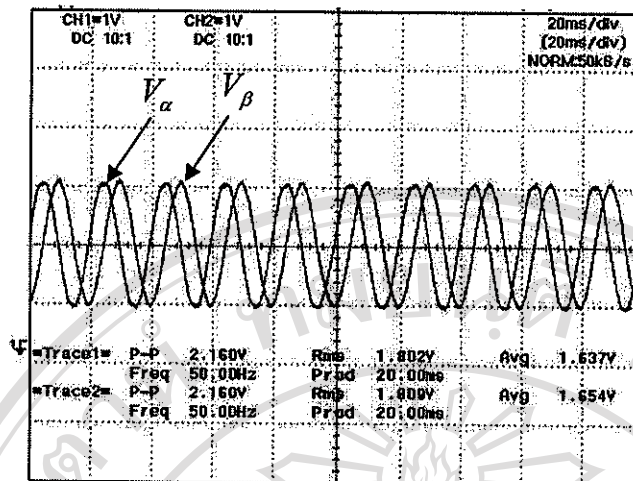


รูปที่ 5.2 การสุ่มสัญญาณของแรงดันอินพุตในรูปแบบของ Q15

5.1.2 การแปลงแรงดันสามเฟสเป็นแรงดันสองเฟสบนแกนหมุนหนึ่ง (Clark transform)

แรงดันอินพุตที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบของ Q15 จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณแรงดันสองเฟสบนแกนหมุนหนึ่งโดยใช้สมการที่ (3.2) ดังรูปที่ 5.3 จะแสดงผลการทดสอบการแปลงแรงดันชนิดสามเฟส (V_a, V_b, V_c) ให้ไปอยู่ในแกนหมุนหนึ่ง (V_α, V_β) ซึ่ง V_α จะมีรูปสัญญาณเหมือนกับ V_a และ V_β ก็มีรูปสัญญาณเหมือนกับ V_a เช่นกันแต่จะมีเฟสนำอยู่ 90°

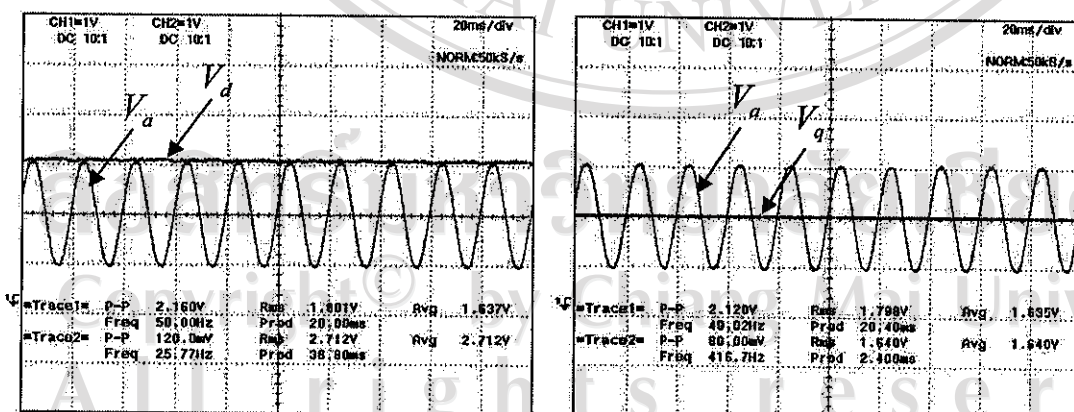
All rights reserved



รูปที่ 5.3 การแปลงแรงดันสามเฟสเป็นแรงดันสองเฟสบนแกนหยุดนิ่ง

5.1.3 การแปลงแรงดันสองเฟสบนแกนหยุดนิ่งไปอยู่ในแกนที่หมุนด้วยความเร็วเชิงโคจร (Park transform)

สัญญาณแรงดันสองเฟสบนแกนหยุดนิ่งจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงบนแกนที่หมุนด้วยความเร็วเชิงโคจร โดยใช้สมการที่ (3.5) ฟังก์ชันไซน์และโคไซน์ที่ใช้สำหรับการแปลงจะถูกเรียกมาจากตารางเปิดดู (Look-up table) ในหน่วยความจำของ DSP ซึ่งการสร้างค่าตรีโกณมิติเหล่านี้จะอิงกับความเร็วของแหล่งจ่าย รูปที่ 5.4 แสดงผลการทดสอบการแปลงแรงดันสองเฟสบนแกนหยุดนิ่งให้ไปอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงบนแกนที่หมุนด้วยความเร็วเชิงโคจร (V_d, V_q)



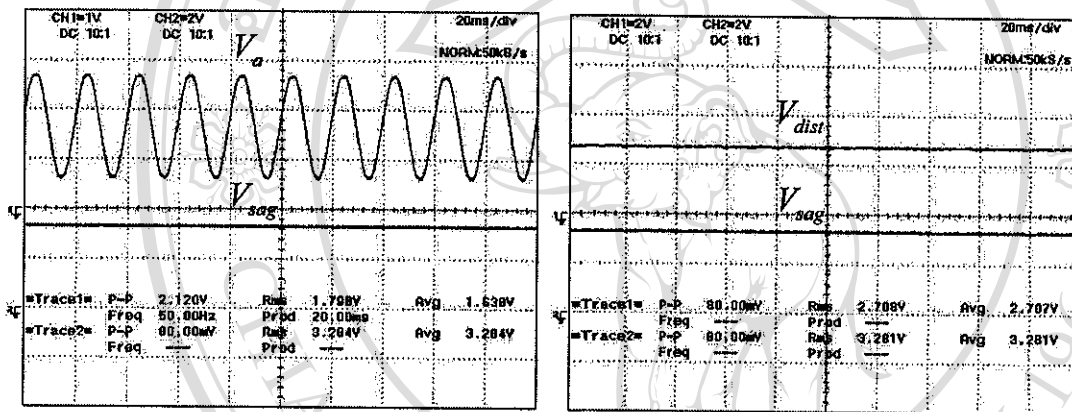
ก) แรงดันเฟส a (V_a) และสัญญาณ V_d

ข) แรงดันเฟส a (V_a) และสัญญาณ V_q

รูปที่ 5.4 แรงดันอินพุตหลังจากการแปลงให้อยู่ในรูปแรงดันกระแสตรงบนแกนที่หมุนด้วยความเร็วเชิงโคจร

5.1.4 กระบวนการตรวจจัดการรบกวน (Disturbance Detection)

ในกระบวนการนี้จะมี 2 ส่วนคือส่วนหาค่าความผิดพลาดของสัญญาณ V_d คำนวณจากสมการที่ (3.20) และส่วนตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (LPF) กับตัวเปรียบเทียบฮิสเทอรีซิส (Hysteresis comparator) โดยสัญญาณที่ผ่าน LPF (V_{dist}) จะถูกกรองให้มีความราบเรียบมากขึ้น และตั้งส่วนขอบเขตล่างที่ 90% ของแรงดันอินพุตในสภาวะปกติ และขอบเขตบนที่ตั้งที่ 5% นอกเหนือจากขอบเขตล่างเพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนจากค่าระลอก รูปที่ 5.5 แสดงแรงดันเฟส a (V_a) และสัญญาณของ V_{dist} ของแรงดันอินพุตในสภาวะปกติที่มีความสัมพันธ์กับสัญญาณ Trip Sag (V_{sag}) ซึ่งสัญญาณ V_{sag} จะผลิตออกทางช่องสัญญาณ I/O ของ DSP โดยมีระดับลอจิกเป็น “0” กับ “1”



ก) แรงดันเฟส a และสัญญาณ V_{sag}

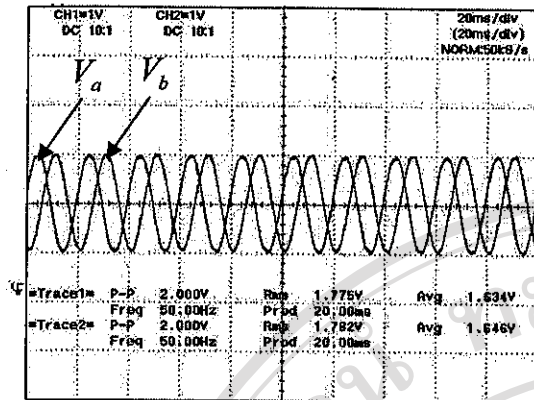
ข) สัญญาณ V_{dist} และสัญญาณ V_{sag}

รูปที่ 5.5 แรงดันเฟส a (V_a) และสัญญาณของ V_{dist} ของแรงดันอินพุตในสภาวะปกติที่มีความสัมพันธ์กับสัญญาณ Trip Sag (V_{sag})

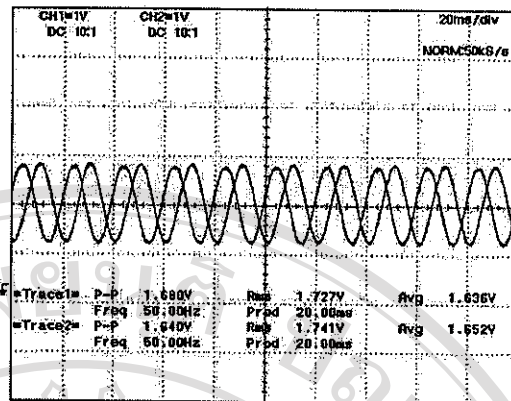
จากผลการทดสอบจะเห็นว่าในสภาวะแรงดันปกติ สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงบนแกนที่หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสและผ่าน LPF (V_{dist}) จะมีค่าเท่ากับค่าของแรงดันอ้างอิง จึงส่งผลให้สัญญาณ Trip Sag อยู่ในสภาวะปกติโดยมีระดับลอจิกเป็น “1” (3.3V) ดังรูปที่ 5.5 (ข)

5.2 ผลการทดสอบในสภาวะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะชนิดสามเฟสแบบสมดุล

การทดสอบในสภาวะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะชนิดสามเฟสแบบสมดุลจะทดสอบภายใต้แรงดันตกชั่วขณะขนาด 90% (แรงดันหายไป 10% และเหลือแรงดันอยู่ 90%) และขนาด 50% และได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 5.6 – 5.9

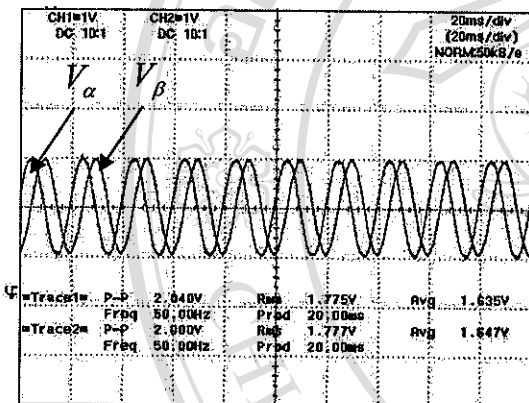


ก) 90% three-phase balanced sag

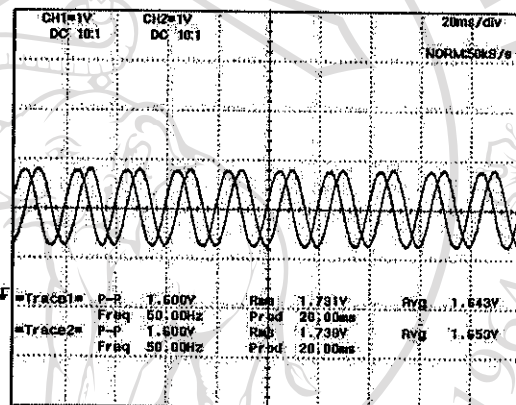


ข) 50% three-phase balanced sag

รูปที่ 5.6 การสุ่มสัญญาณของแรงดันอินพุตในสภาวะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบสมดุล



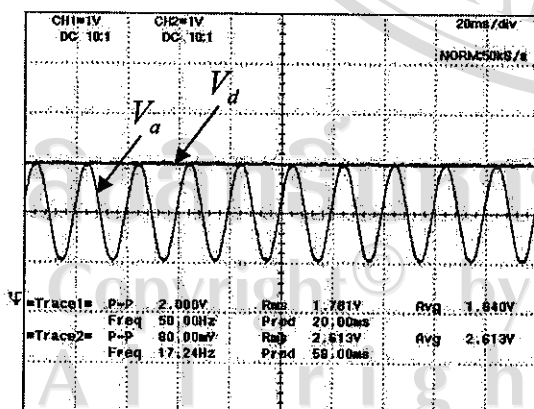
ก) 90% three-phase balanced sag



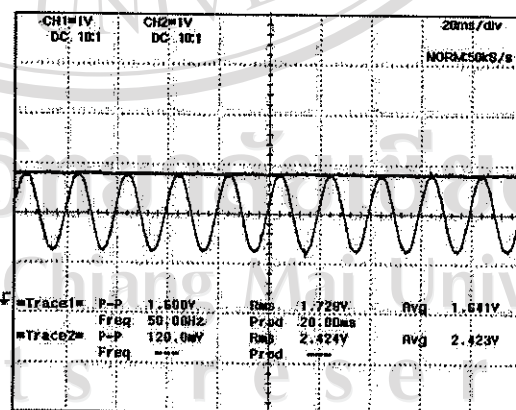
ข) 50% three-phase balanced sag

รูปที่ 5.7 การแปลงแรงดันสามเฟสเป็นแรงดันสองเฟสบนแกนหยุดนิ่ง

ในสภาวะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบสมดุล

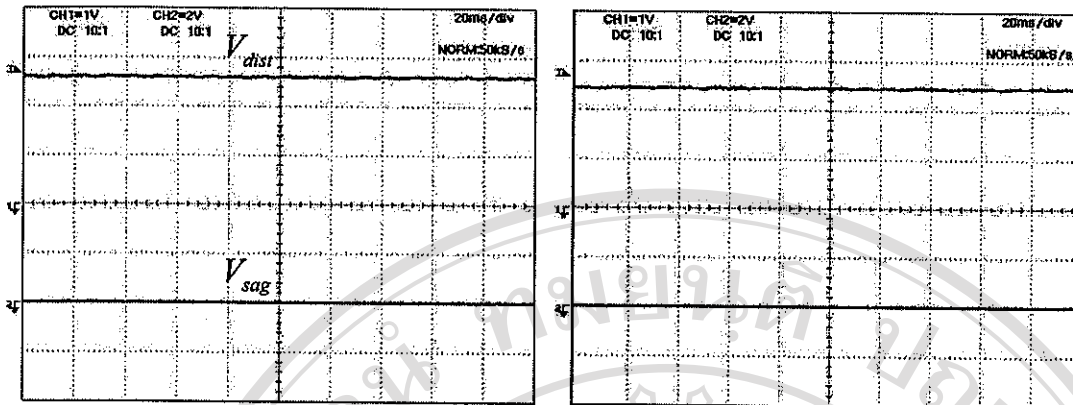


ก) 90% three-phase balanced sag



ข) 50% three-phase balanced sag

รูปที่ 5.8 แรงดันอินพุตหลังจากการแปลงให้อยู่ในรูปแรงดันกระแสตรงบนแกนที่หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสในสภาวะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบสมดุล



ก) 90% three-phase balanced sag

ข) 50% three-phase balanced sag

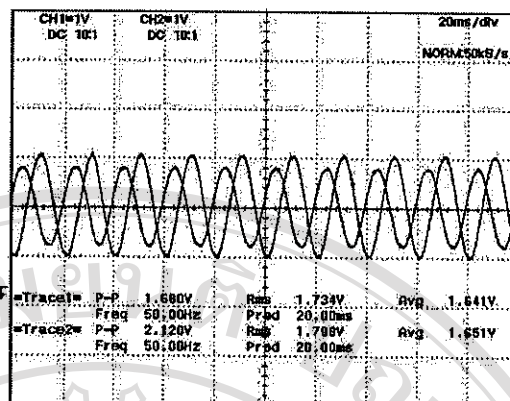
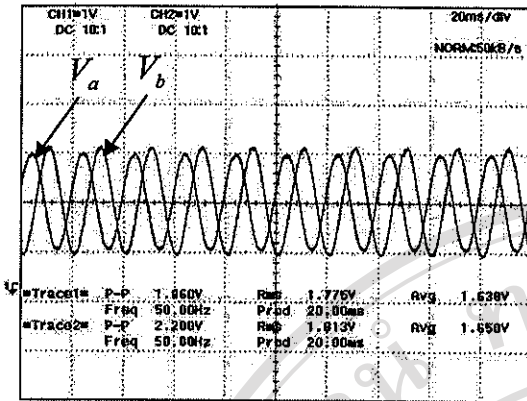
รูปที่ 5.9 สัญญาณของ V_{dist} และสัญญาณ Trip Sag (V_{sag})

ในสภาวะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบสมดุล

จากผลการทดสอบในสภาวะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบสมดุลจะเห็นว่าแรงดันกระแสตรงบนแกนหมุนดังรูปที่ 5.9 สัญญาณ V_{dist} จะมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีขนาดลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณในรูปที่ 5.5 ซึ่งเป็นสภาวะปกติ แต่สัญญาณจะไม่เกิดการแกว่ง เมื่อสัญญาณ V_{dist} มีค่าเป็นไปตามเงื่อนไขในขอบเขตที่ตั้งไว้ของตัวเปรียบเทียบฮิสเตอร์ซิส จึงส่งผลให้สัญญาณ Trip Sag เปลี่ยนจากระดับลอจิก “1” เป็นระดับลอจิก “0” ซึ่งจะทำให้เปลี่ยนการทำงานระหว่างสวิตช์หลักกับสวิตช์ช่วย

5.3 ผลการทดสอบในสภาวะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะชนิดสามเฟสแบบไม่สมดุล

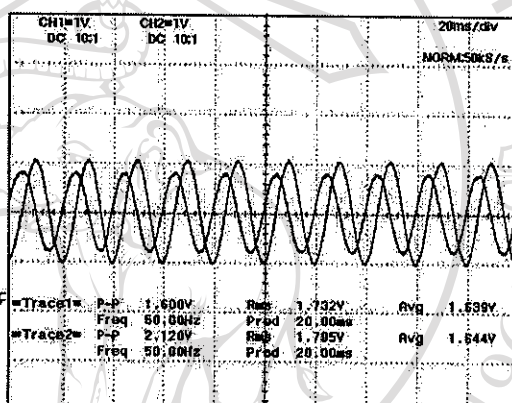
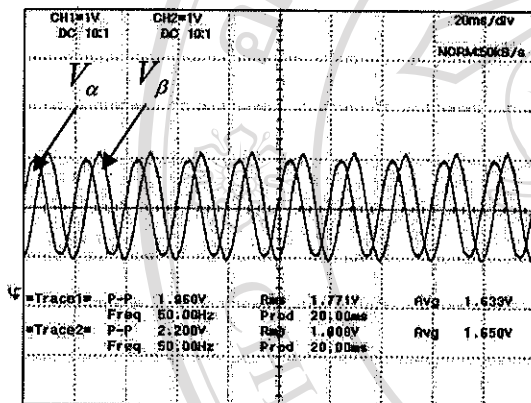
การทดสอบในสภาวะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะชนิดสามเฟสแบบไม่สมดุลจะทดสอบภายใต้แรงดันตกชั่วขณะขนาด 90% และขนาด 50% โดยตกลงไปหนึ่งเฟสที่เฟส a และได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 5.10 – 5.13



ก) 90% three-phase unbalanced sag

ข) 50% three-phase unbalanced sag

รูปที่ 5.10 การลุ่มสัญญาณของแรงดันอินพุตในสภาวะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะไม่แบบสมมูล

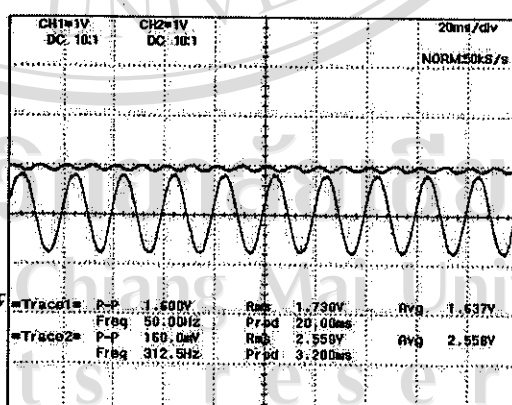
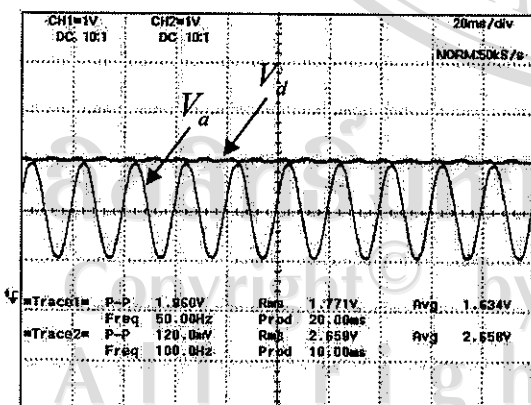


ก) 90% three-phase unbalanced sag

ข) 50% three-phase unbalanced sag

รูปที่ 5.11 การแปลงแรงดันสามเฟสเป็นแรงดันสองเฟสบนแกนหยุดนิ่ง

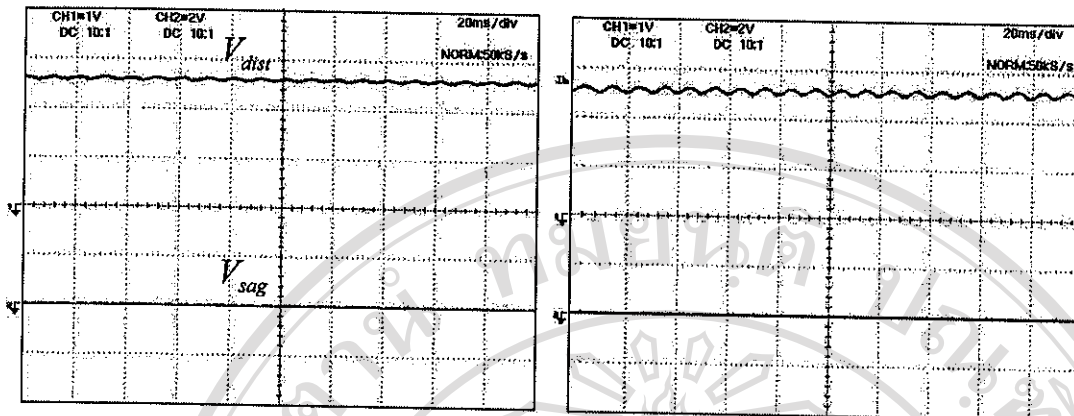
ในสภาวะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบไม่สมมูล



ก) 90% three-phase unbalanced sag

ข) 50% three-phase unbalanced sag

รูปที่ 5.12 แรงดันอินพุตหลังจากการแปลงให้อยู่ในรูปแรงดันกระแสตรงบนแกนที่หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสในสภาวะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบไม่สมมูล



ก) 90% three-phase unbalanced sag

ข) 50% three-phase unbalanced sag

รูปที่ 5.13 สัญญาณของ V_{dist} และสัญญาณ Trip Sag (V_{sag})

ในสถานการณ์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบไม่สมดุล

จากผลการทดสอบในสถานการณ์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบไม่สมดุลจะเห็นว่าแรงดันกระแสตรงบนแกนหมุนดังรูปที่ 5.13 สัญญาณ V_{dist} จะมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีขนาดลดลงเมื่อเทียบกับสัญญาณในรูปที่ 5.5 ซึ่งเป็นสภาวะปกติและจะเกิดการแกว่งโดยมีองค์ประกอบความถี่ 2ω คือความถี่ในการแกว่งจะเป็น 2 เท่าของความถี่มูลฐาน (Fundamention frequency) จึงส่งผลให้สัญญาณ Trip Sag เปลี่ยนจากระดับลอจิก “1” เป็นระดับลอจิก “0” ซึ่งจะทำให้เปลี่ยนการทำงานระหว่างสวิตช์หลักและสวิตช์ช่วย

5.4 ผลการประเมินอัลกอริทึม

แรงดันตกชั่วขณะชนิดสามเฟสสามารถเกิดได้ทั้งแบบสมดุลและแบบไม่สมดุล และมีขนาดของแรงดันลดลงตั้งแต่ 10% ถึง 90% ของแรงดันประสิทธิผลปกติ และสามารถเกิดขึ้นได้ที่เวลาต่าง ๆ ในช่วงหนึ่งคาบเวลา (20 มิลลิวินาที) [4] องค์ประกอบเหล่านี้จะทำให้ยากในการสร้างอัลกอริทึมเพื่อใช้สำหรับตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะ และจากผลการทดสอบสามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากองค์ประกอบได้ดังต่อไปนี้

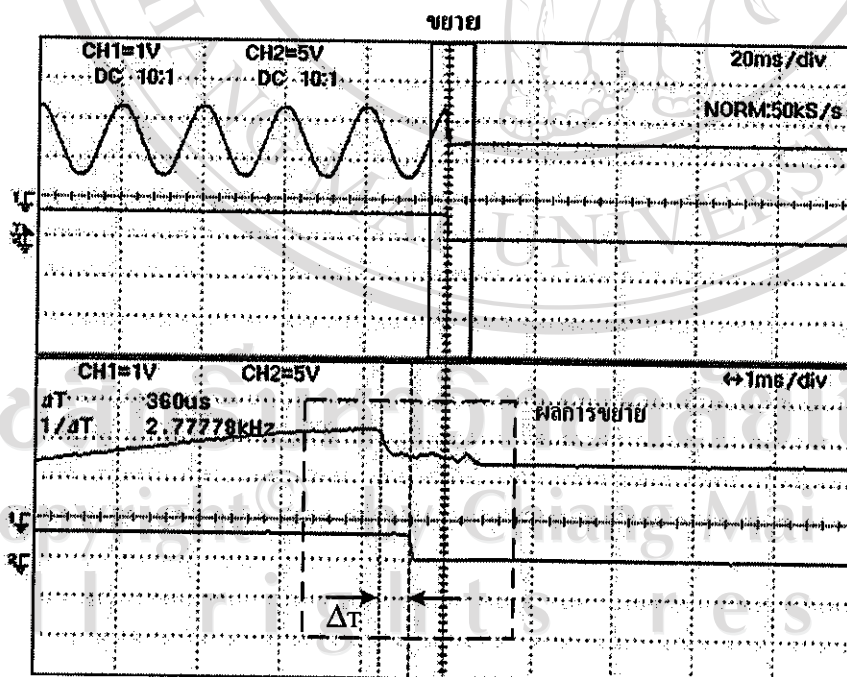
5.4.1 ผลกระทบของขนาดของแรงดันตก

ในกระบวนการตรวจจับการรบกวน สัญญาณที่ถูกใช้ตรวจจับการรบกวนคือ V_{dist} โดยที่สัญญาณ V_{dist} จะเป็นแรงดันกระแสตรงและไม่มีค่าระลอกในกรณีเกิดแรงดันตกชั่วขณะชนิดสามเฟสแบบสมดุล และจะเป็นแรงดันกระแสตรงและมีค่าระลอกบ้างในกรณีเกิดแรงดันตกชั่วขณะชนิดสามเฟสแบบไม่สมดุลโดยตกลงไปสองเฟส และสำหรับการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

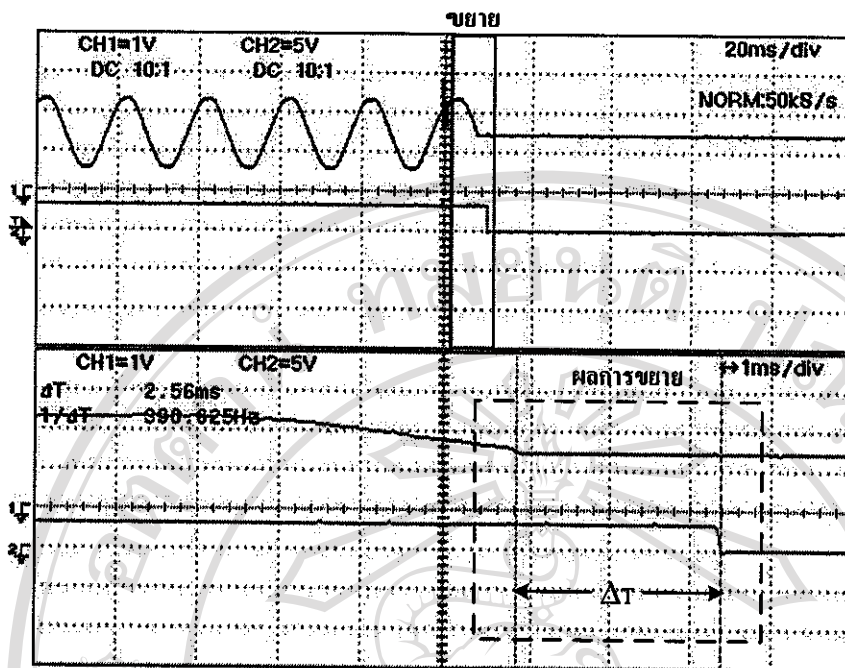
ชนิดสามเฟสแบบไม่สมดุลโดยตกลงไปหนึ่งเฟส จะมีการแกว่งของสัญญาณในช่วงระหว่างค่าศูนย์ถึงค่าสูงสุดตามขนาดของแรงดันตก และมีค่าระลอกของสัญญาณ V_{dist} ที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีก่อเกิดแบบอื่น จึงทำให้เป็นสภาวะที่ยากที่สุดสำหรับการตรวจจับอย่างทันทีทันใด และเมื่อเป็นแรงดันตกแบบตื้นจะมีเวลาหน่วงในการตรวจจับที่มาก

5.4.2 อิทธิพลของจุดบนคลื่น (point – on – wave) ที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ

ในการเกิดแรงดันตกชั่วขณะสามารถเกิดขึ้นได้ที่แรงดันเป็นศูนย์ถึงที่แรงดันสูงสุดหรือจุดใด ๆ ในหนึ่งคาบเวลา ซึ่งจะเรียกว่า จุดบนคลื่น (point – on – wave) ซึ่งรูปที่ 5.14 แสดงแรงดันตกที่มีขนาดของแรงดันเหลือน้อยกว่า 10% (Voltage interruptions) โดยตกลงไปหนึ่งเฟสแบบทันทีทันใด (Instantaneous) และหาเวลาหน่วงที่สัมพันธ์กับจุดบนคลื่นใน 2 กรณี คือกรณีที่มีเวลาหน่วงมากที่สุดและกรณีที่มีเวลาหน่วงน้อยที่สุด โดยรูปที่ 5.14 (ก) แสดงกรณีที่มีเวลาหน่วง (ΔT) น้อยที่สุดเท่ากับ $360 \mu s$ และรูปที่ 5.14 (ข) แสดงกรณีที่มีเวลาหน่วงมากที่สุดเท่ากับ $2.56 ms$ จึงพบว่าในกรณีเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่จุดบนคลื่นใกล้จุดตัดศูนย์ (Zero-crossing) ของสัญญาณไซน์จะทำให้ใช้เวลาในการตรวจจับที่มากและกรณีเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่จุดบนคลื่นใกล้จุดค่ายอด (Peak) ของสัญญาณไซน์จะทำให้ใช้เวลาในการตรวจจับที่น้อย ดังนั้นจากผลการทดสอบสรุปได้ว่าอิทธิพลของจุดบนคลื่นที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ ในกรณีที่มีเวลาหน่วงมากที่สุด อัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ใช้เวลาในการตรวจจับน้อยกว่า 1/4 คาบ (5 ms)



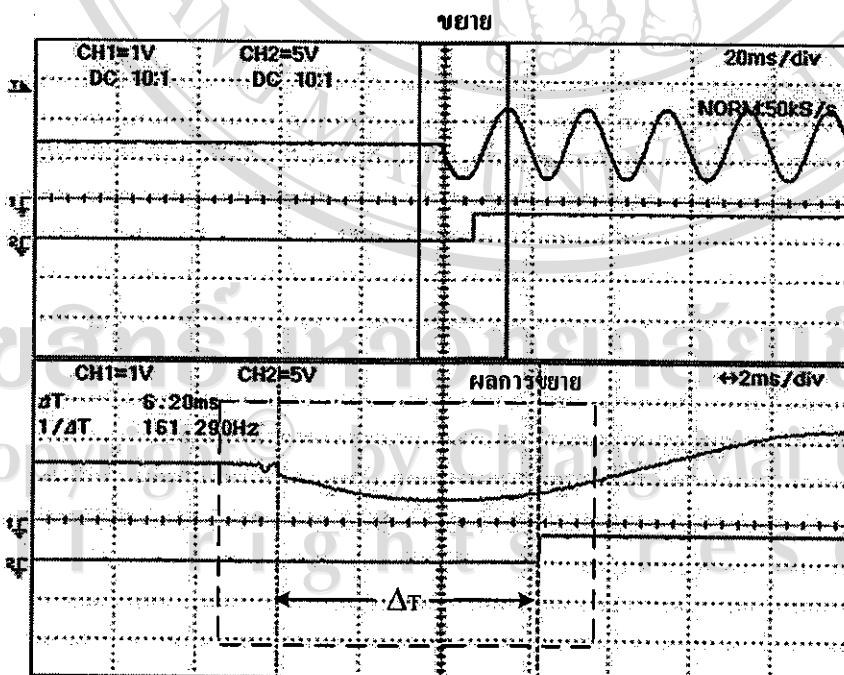
ก) กรณีที่มีเวลาหน่วงน้อยที่สุด



ข) กรณีที่มีเวลาหน่วงมากที่สุด

รูปที่ 5.14 จุดบนคลื่นของสัญญาณไซน์ที่มีผลต่อเวลาหน่วง

รูปที่ 5.15 แสดงเวลาหน่วงหลังจากเกิดแรงดันตกที่มีขนาดของแรงดันเหลือน้อยกว่า 10% พบว่ามีเวลาหน่วงเท่ากับ 6.2 ms

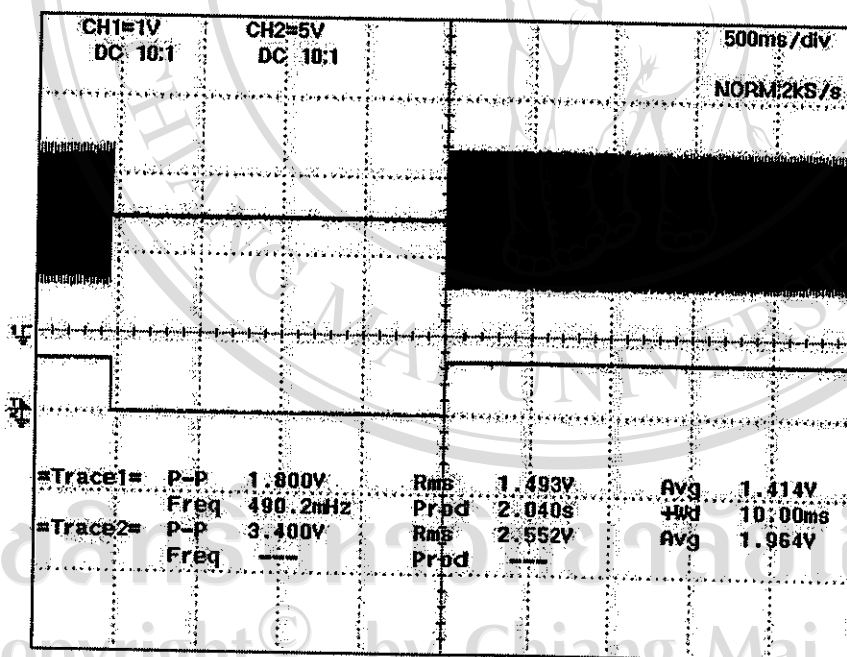


รูปที่ 5.15 เวลาหน่วงหลังจากเกิดแรงดันตกที่มีขนาดของแรงดันเหลือน้อยกว่า 10%

จากรูปที่ 5.15 เวลาหน่วงหลังจากเกิดแรงดันตกมีค่าเท่ากับ 6.2 ms ซึ่งจะมากกว่า 1/4 คาบ (5 ms) โดยเป็นผลเนื่องมาจากตัวกรองความถี่ต่ำผ่านในกระบวนการตรวจจับการรบกวน แต่ในสภาวะนี้ก็จะไม่มีผลกระทบต่อโหลดเพราะว่าโหลดยังคงเชื่อมต่อเข้ากับวงจรคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าทดแทนในกรณีที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะอยู่แล้ว จึงทำให้โหลดยังสามารถได้รับแรงดันในสภาวะปกติ

5.5 ผลการทดสอบในการเปลี่ยนถ่ายโหลดระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้า

รูปที่ 5.16 แสดงแรงดันตกที่มีขนาดของแรงดันเหลือน้อยกว่า 10% (Voltage interruptions) โดยตกลงไปหนึ่งเฟสแบบชั่วขณะ (Momentary) คือมีเวลาดตกภายในช่วง 1-3 วินาที ดันแบบอุปกรณ์ตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะชนิดสามเฟสสามารถตรวจจับเมื่อเกิดแรงดันตกได้โดยจะส่งสัญญาณ Trip Sag เพื่อเปลี่ยนการทำงานระหว่างสวิตช์หลักและสวิตช์ช่วยเพื่อเปลี่ยนถ่ายโหลดระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าได้อย่างทันทีทันใด จึงพบว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างดันแบบอุปกรณ์แก้ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะชนิดสามเฟสได้ต่อไป



รูปที่ 5.16 ผลการตรวจจับแรงดันตกที่มีขนาดของแรงดันเหลือน้อยกว่า 10% โดยตกลงไปหนึ่งเฟสแบบชั่วขณะ