



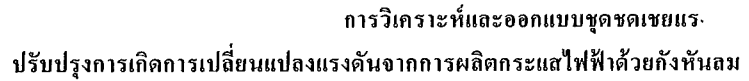
บทที่ 4

การออกแบบชุด D-STATCOM

จากการศึกษาถึงการควบคุมการชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าและทฤษฎีส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการวิเคราะห์ระบบบน โปรแกรมคอมพิวเตอร์แล้วนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ขึ้นในระบบไฟฟ้าด้วยวิธีการควบคุมการชดเชยแรงดันขนานเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า D-STATCOM และเลือกใช้วิธีการตรวจจับแบบ dq เนื่องจากงานวิจัยที่ได้ศึกษามาพบว่าการตรวจจับแบบ dq มีความไวในการตรวจจับที่ถี่รวมทั้งหลักการควบคุมกระแสโดยใช้บอร์ด DSP ตัวช่วยประมวลผลในการควบคุม โดยได้อธิบายการสร้างไว้ในบทนี้

4.1 การออกแบบและทดสอบชุดควบคุมในระบบ D-STATCOM

การทำงานของ D-STATCOM เริ่มจากตรวจจับวัดค่าแรงดันของระบบ เมื่อระบบเกิดความผิดปกติหรือขึ้นค่าที่ได้รับจากการตรวจจับจะถูกส่งไปยังชุดประมวลผล เพื่อทำการคำนวณค่าผิดปกติที่เกิดขึ้นและคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่จะชดเชยแรงดัน โดยมีหลักการดังนี้ทำการแปลงแกนเวกเตอร์จาก เฟส abc ให้เป็นแกนนิ่ง ซึ่งเวกเตอร์อยู่บนแกน $\alpha - \beta$ แล้วจึงแปลงให้อยู่บนแกนหมุนคือ $d-q$ จากนั้นทำการแปลงแกนของเวกเตอร์โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ วิธีการรีเคอร์ซีฟ ดีเอฟที เพื่อให้ความถี่ที่ต้องการนั้นมีค่าที่นิ่งเพื่อนำค่าความถี่ที่เป็น Sine Wave ในความถี่อื่นๆมาเฉลี่ยค่าเพื่อให้ได้ค่าผลรวมที่นิ่ง(การแปลงให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณไฟตรง) เพื่อใช้ในการควบคุมพร้อมๆกันในส่วนของเฟสล็อกกลูป มีการดึงค่าของความเร็วเชิงมุมที่เกิดขึ้นไว้ เพื่อนำไปใช้ในส่วนของการควบคุมการจ่ายค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟต่อไปจากนั้นจะเข้าสู่ขบวนการสั่งค่ากระแสเปรียบเทียบกับ หรือค่าคอมมานด์โดยเรียกชุดนี้ว่าชุดควบคุมค่ากำลังไฟฟ้า โดยชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเข้าระบบ โดยชุดประมวลผลจะสั่งการผ่านชุดปรับระดับสัญญาณ เพื่อแปลงสัญญาณที่ได้จากการประมวลผลมาเป็นสัญญาณที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับชุด Power Module ให้ทำงาน โดยผ่านชุดกรองสัญญาณอีกทีหนึ่งเพื่อที่จะชดเชยแรงดันที่ที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบนั้น ชุด DC Bus จะทำการเก็บประจุและตรวจสอบประจุให้คงที่ตลอดเวลา เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังรีแอกทีฟให้กับชุด Power Module จากนั้น Power Module จะชดเชยแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ เมื่อชุดตรวจจับกระแสตรวจจับค่ากระแสที่ได้ไปยังชุดประมวลผล เพื่อที่จะคำนวณว่าค่าแรงดันที่ชดเชยเข้ากับกระแสในระบบนั้นกับค่าแรงดันที่เกิดขึ้นจริงนั้นเป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่ โดย

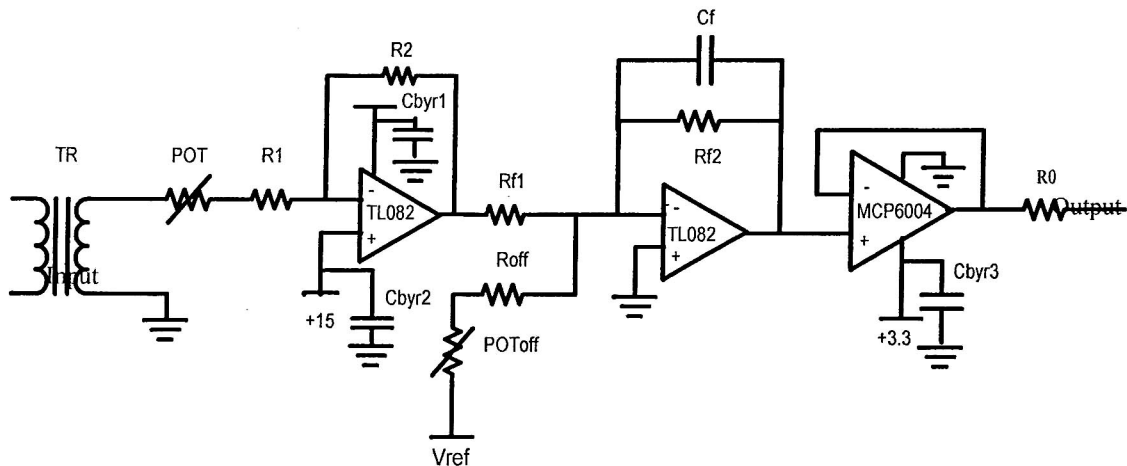


4.1.1 ตัวตรวจจับแรงดันกระแสสลับ (AC voltage sensor) หรือ ตัววัดแรงดัน เป็นส่วนใช้วัดแรงดันของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อใช้ในการตรวจจับแรงดันที่เกิดความผิดปกติขึ้นให้รวดเร็วและแม่นยำ เพื่อสั่งการให้ชุดควบคุมการชดเชยกำลังไฟฟ้าทำงานให้รวดเร็วด้วยเช่นกัน ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้ใช้วิธีการตรวจจับด้วยวิธีการ dq (Synchronous frame method) ด้วยการตรวจจับขนาดแรงดันสเปซเวกเตอร์และมุม θ ซึ่งถ้าเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบชุดตรวจจับแรงดันจะแปลงแรงดันเฟส a b c ให้อยู่ในแกนนิ่ง ($\alpha - \beta$) จากนั้นจะแปลงจากแกนนิ่งให้เป็นแกนหมุน (dq) จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการควบคุม โดยการควบคุมนี้ต้องการค่าที่นิ่ง ดังนั้นโครงการนี้จึงเลือกวิธีการของรีเฟรชฟิลิเอฟที่ เพื่อต้องการให้ค่าที่ต้องการมีค่าที่นิ่ง (สัญญาณไฟตรง) จากนั้นจะทำการเฉลี่ยค่าความถี่อื่นๆเพื่อให้มีค่าที่นิ่งเช่นเดียวกัน เพื่อนำไปรวมกับสัญญาณไฟตรงของค่าที่ต้องการ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการจะได้ค่าที่ใช้ในการควบคุมที่เป็นสัญญาณไฟตรงซึ่งง่ายต่อการควบคุม การเลือกใช้วิธีการรีเฟรชฟิลิเอฟที่ เนื่องจากมีความแม่นยำมากและง่ายในการปฏิบัติจริง โดยค่าที่วัดได้นั้นจะถูกนำไปประมวลผลโดย DSP เพื่อหา

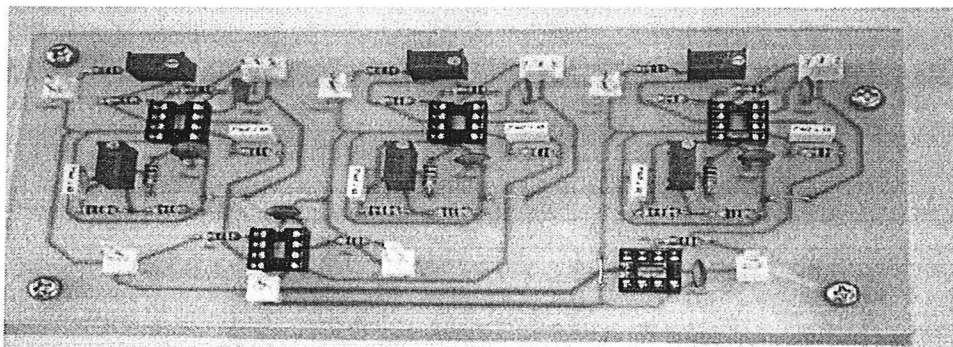


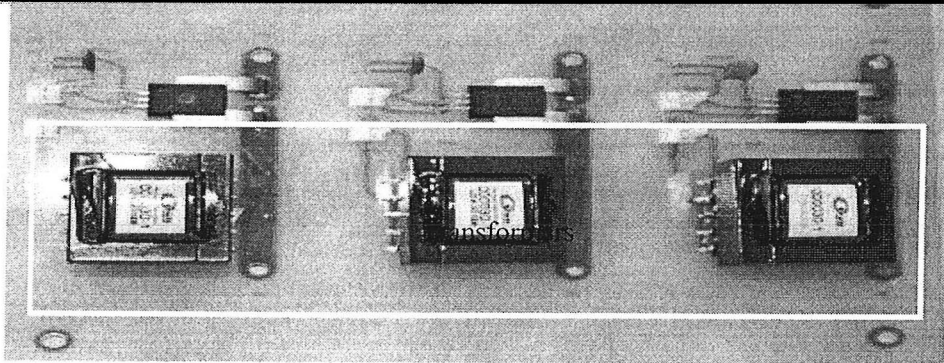
ค่าชดเชยที่เหมาะสมที่จะชดเชยให้กับระบบสำหรับการตรวจจับแรงดัน AC จะใช้หม้อแปลงลดขนาดแรงดันลงและต่อเข้ากับวงจรปรับสัญญาณให้เหมาะสม กับการใช้งานกับ DSP

ดังวงจรในรูปที่ 4.2 จากวงจรจะใช้หม้อแปลง เพื่อลดทอนแรงดันในขั้นแรกให้มีค่าแรงดันที่เหมาะสมกับการลดทอนในขั้นที่สองซึ่งใช้ Op-Amp โดยแรงดันที่ลดทอนในขั้นแรกจะต้องไม่สูงเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายให้กับ Op-Amp โดยต้องการลดทอนสัญญาณ แรงดันทาง Input ที่มีค่าเป็น V_{p-p} ให้ลดลง 225 เท่าเพื่อใช้ในการควบคุมผ่าน DSP เพราะเนื่องจาก DSP สัญญาณแรงดันได้ไม่เกิน 3.6 V วงจรจะเป็นการใช้ Op-Amp 3 ชุด Op-Amp ชุดแรกเป็นส่วนของการลดทอน โดยเป็นวงจร Inverting และอัตราส่วนจะขึ้นอยู่กับ R_1 และ R_2 จากนั้นผ่านวงจร Inverting อีกครั้ง เพื่อให้สัญญาณกลับมาเป็นเฟสเดิมโดยวงจรนี้จะเป็น Low Pass Filter ในตัวมันเองด้วย จากนั้นผ่าน Op-Amp ชุด Buffer เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆ รูปที่ 4.3 แสดงชุดตรวจจับแรงดัน และ ภาพผนวก ก. 2, 3 แสดงลาย PCB และอุปกรณ์ที่ใช้ของชุดตรวจจับแรงดัน



รูปที่ 4.2 วงจรตัวตรวจจับแรงดันกระแสสลับ

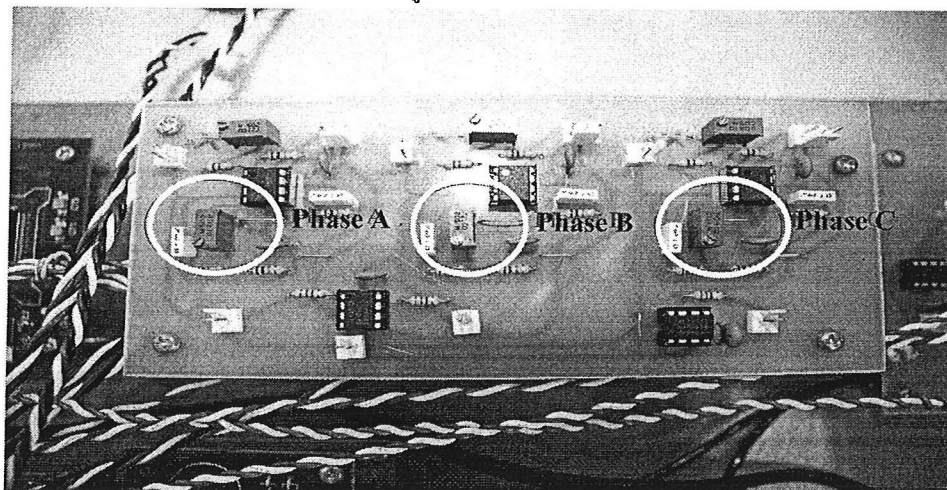




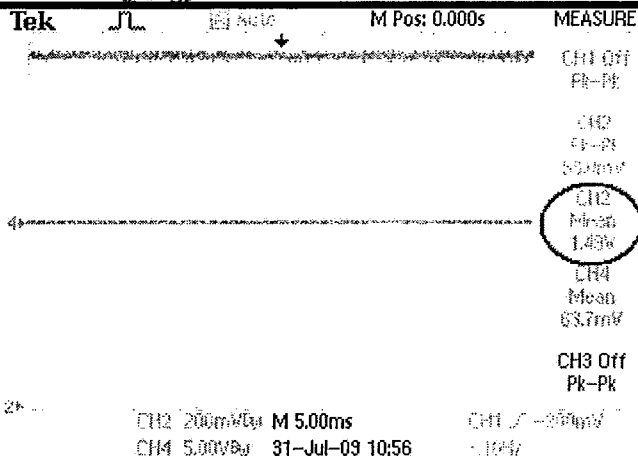
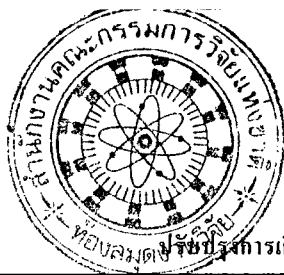
รูปที่ 4.3 ชุดวงจรตัวตรวจจับแรงดันกระแสสลับ

4.1.1.1 การทดสอบตัวตรวจจับแรงดันกระแสสลับ การทดสอบตัวตรวจจับแรงดันกระแสสลับสามารถอธิบายขั้นตอนการทดลองได้ดังนี้

- 1) ทำการวัดวงจร Input และวัดค่า Output เพื่อทำการปรับค่าแรงดันอ้างอิง ให้ได้ค่าแรงดันที่ 1.5 โวลต์ เพื่อใช้เป็นแรงดันอ้างอิงให้กับ Op-Am ชุดลดทอนสัญญาณแรงดันโดยการปรับความต้านทานอ้างอิงดังรูปที่ 4.4และ4.5



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งปรับแรงดันอ้างอิง

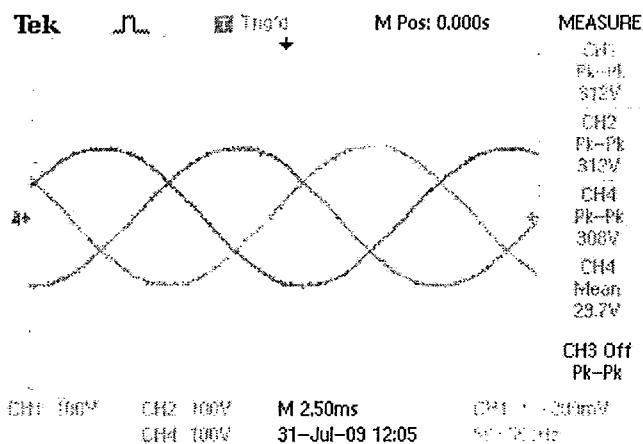


รูปที่ 4.5 ค่าแรงดันอ้างอิงของตัวตรวจจับแรงดันที่ 1.5 โวลท์

2) ทำการต่อชุดตรวจจับแรงดันกระแสสลับเข้ากับหม้อแปลง

3) ทำการจ่ายแรงดันกระแสสลับเข้าสู่ชุด Input ของชุดตรวจจับแรงดัน

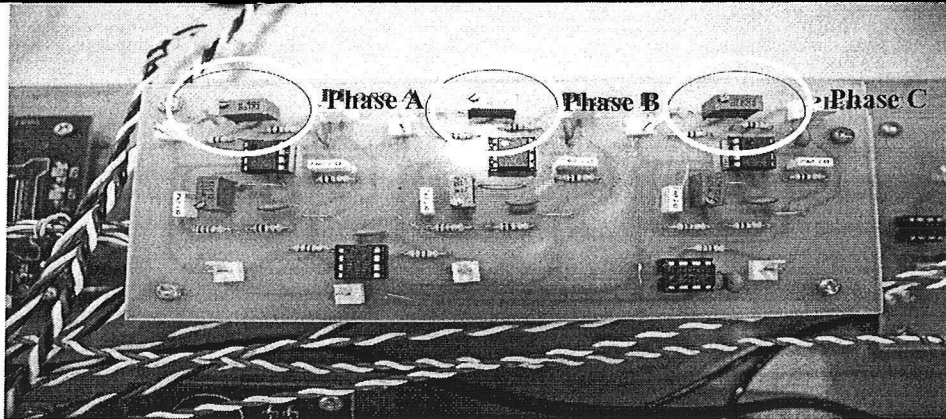
และทำการปรับค่าแรงดัน Peak To Peak ตั้งแต่ 100 - 600 โวลท์ Peak To Peak ดังรูปที่ 4.6 แสดงค่าแรงดัน Peak To Peak ทั้ง 3 เฟส โดยเป็นแรงดันทางด้าน Input



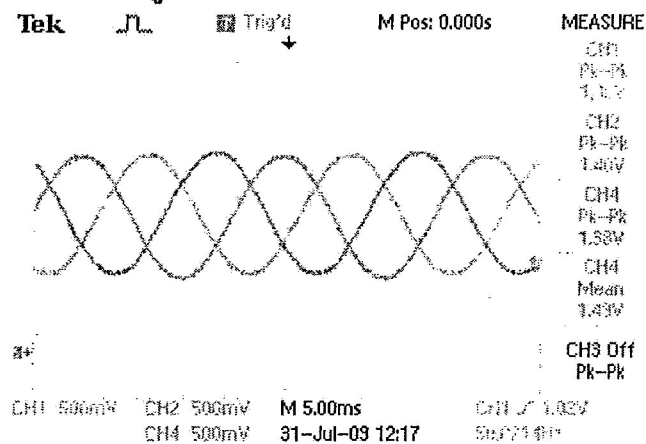
รูปที่ 4.6 แสดงค่าแรงดัน Peak To Peak ของ Input ทั้ง 3 เฟส

4) ทำการวัดค่าแรงดัน Peak To Peak ทางด้าน Output ทั้ง 3 เฟส และ

ทำการปรับค่าอัตราส่วนการลดทอนแรงดันให้ได้ 225 เท่าได้โดยการปรับ Ratio ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.7 ตำแหน่งการปรับ Ratio



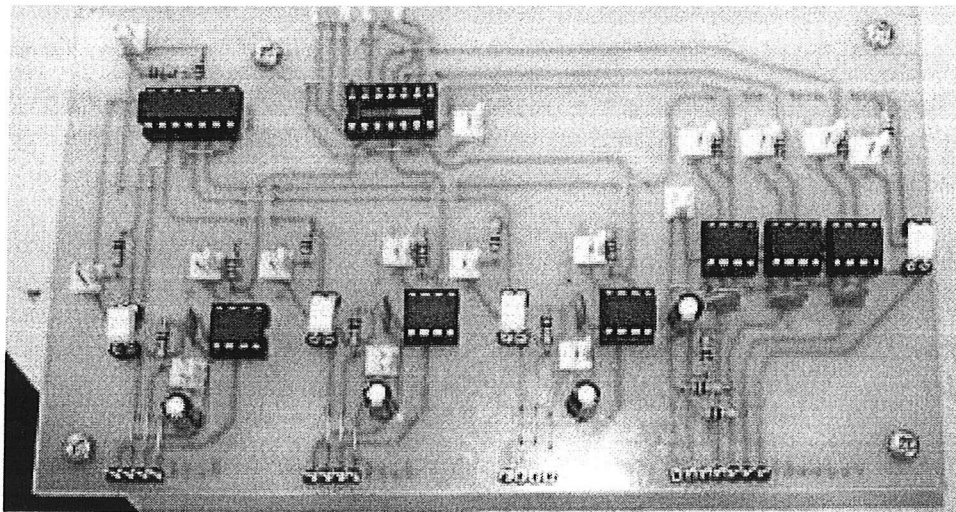
รูปที่ 4.8 แสดงค่าแรงดัน Peak To Peak ของ Output ทั้ง 3 เฟส

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองชุดตรวจจับสนแรงดันกระแสสลับ

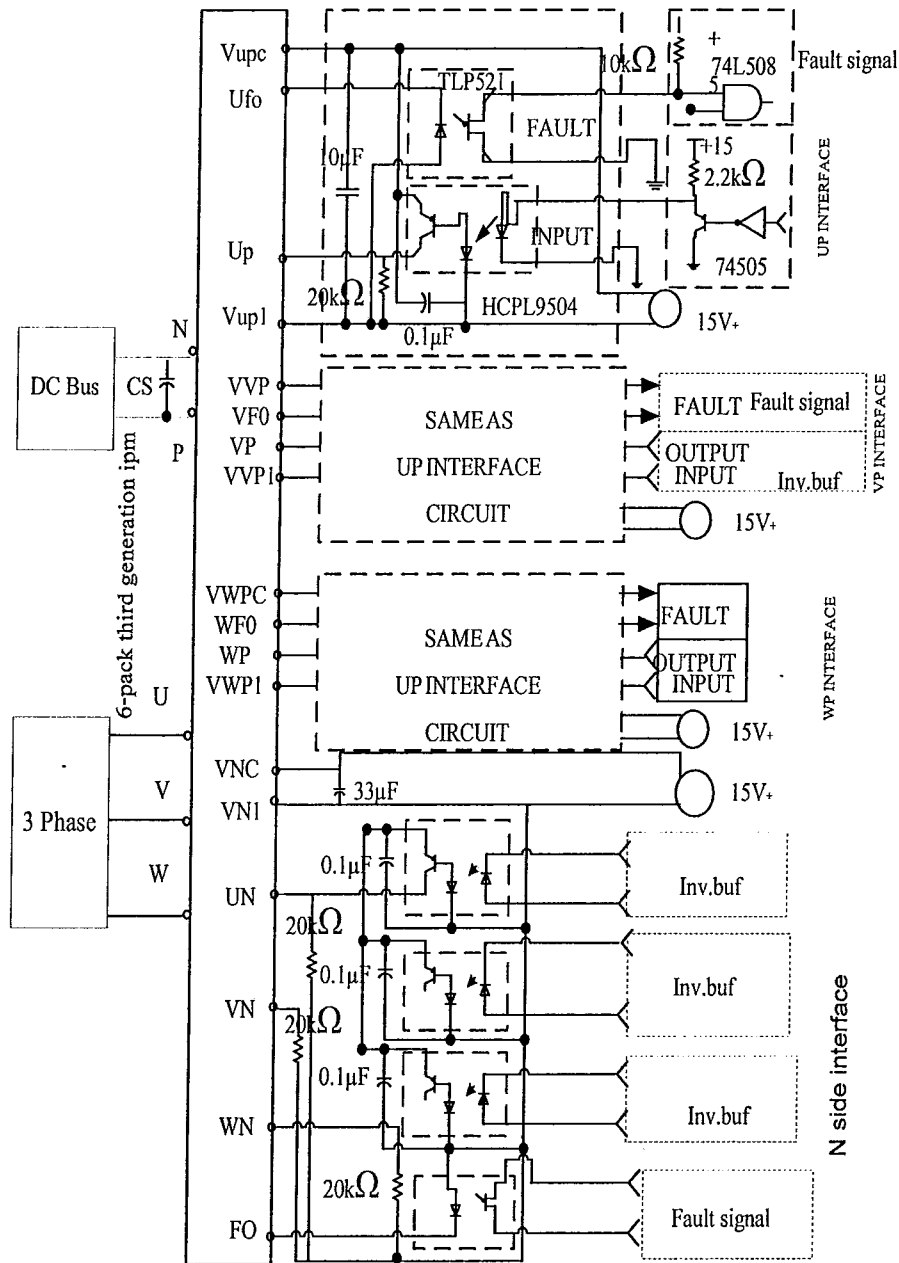
Input(Vpeak to peak)			Output(Vpeak to peak)			Ratio(225เฟ้า)		
L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
116	120	124	0.5	0.54	0.56	0.51	0.53	0.55
228	196	228	1.02	0.88	1.02	1.01	0.87	1.01
364	348	364	1.62	1.56	1.62	1.62	1.55	1.62
392	396	392	1.72	1.76	1.74	1.74	1.76	1.74
444	444	444	1.96	1.98	1.96	1.97	1.97	1.97
572	576	568	2.52	2.56	2.52	2.54	2.56	2.52



4.1.2 ตัวปรับระดับสัญญาณ (Interface board) เป็นส่วนปรับระดับสัญญาณต่างๆ ที่ติดต่อระหว่าง DSP และ IPM ให้เหมาะสมกับการใช้งาน รวมทั้งทำการแยกสัญญาณหรือเรียกว่าทำการไอโซเลต (Isolate) ระหว่างส่วนที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าและส่วนควบคุม โดยสัญญาณที่ใช้ในการแยกสัญญาณออกจากกันจะใช้ HCPL4504 ซึ่งเป็น IC ที่ใช้แยกสัญญาณไฟฟ้าสำเร็จรูป แสดงดังรูปที่ 4.10 แสดงวงจรของชุด Interface, รูปที่ 4.9แสดงตัวปรับระดับสัญญาณ และ ภาพผนวก ก. 5 แสดงลาย PCB ของตัวปรับระดับสัญญาณ



รูปที่ 4.9 ตัวปรับระดับสัญญาณ



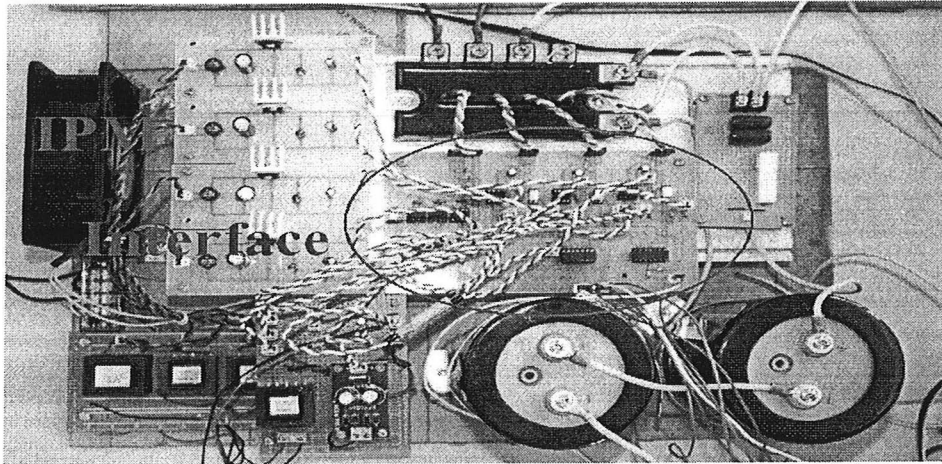
รูปที่ 4.10 วงจรตัวปรับระดับสัญญาณ

4.1.2.1 การทดสอบ Interface ระหว่าง IPM กับ DSP ทดสอบเพื่อหาค่า Delay Time ในการทำงานของขาสัญญาณเข้าและออก ของชุดInterfaceว่าใช้ระยะเวลาส่งผ่านนานเท่าใด แต่ในทางทฤษฎีนั้นสัญญาณที่ออกมาจะต้องทับกันพอดี การทดสอบนี้ยังทำให้ทราบตำแหน่งที่แน่นอนของขั้ว In Put และ Out Put การทดสอบสามารถอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้



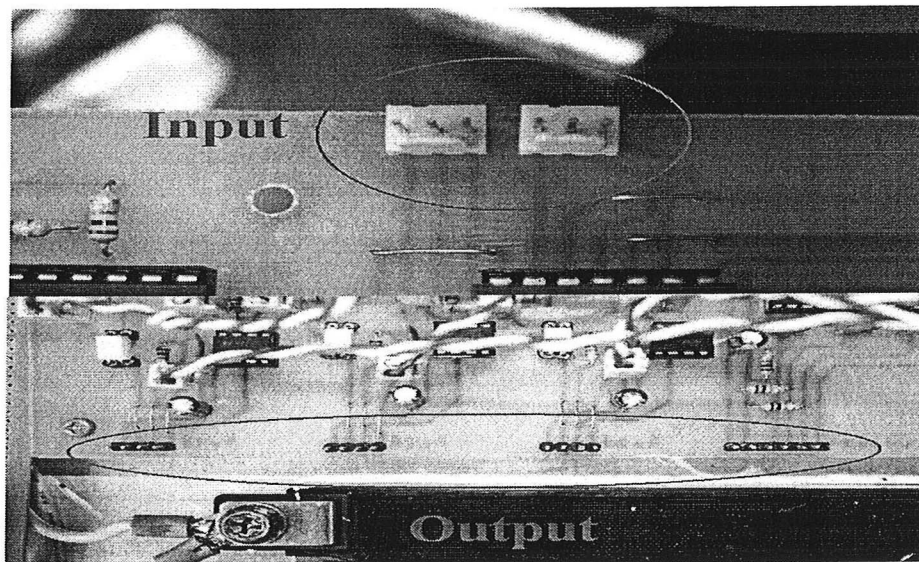
- 1) ทำการต่อชุด IPM Interface ให้เชื่อมต่อกันโดยให้มีระยะห่างน้อย

ที่ติดตั้งรูปที่ 4.11



รูปที่ 3.11 แสดงการต่อชุด IPM Interface

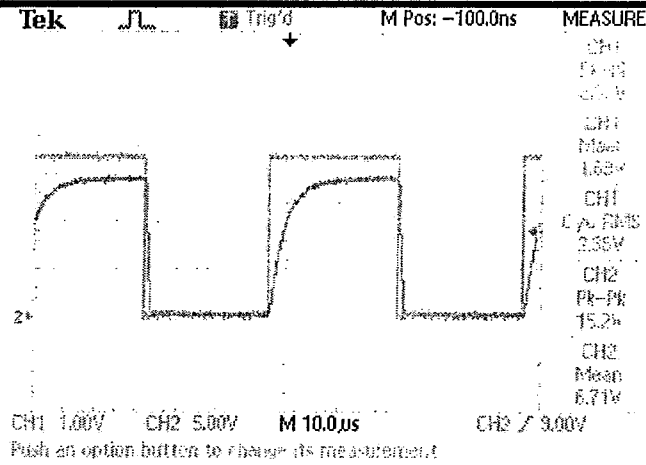
- 2) ทำการวัดสัญญาณ Input ของ Up เทียบกับสัญญาณ Output ของ Up แสดงรูปสัญญาณที่ได้ดังรูปที่ 4.13 วัดสัญญาณ Input ของ Vp เทียบกับสัญญาณ Output ของ Vp แสดงรูปสัญญาณที่ได้ดังรูปที่ 4.14 วัดสัญญาณ Input ของ Wp เทียบกับสัญญาณ Output ของ Wp แสดงรูปสัญญาณที่ได้ดังรูปที่ 4.15 วัดสัญญาณ Input ของ Un เทียบกับสัญญาณ Output ของ Un แสดงรูปสัญญาณที่ได้ดังรูปที่ 4.16 วัดสัญญาณ Input ของ Vn เทียบกับสัญญาณ Output ของ Vn แสดงรูปสัญญาณที่ได้ดังรูปที่ 4.17 วัดสัญญาณ Input ของ Wn เทียบกับสัญญาณ Output ของ Wn แสดงรูปสัญญาณที่ได้ดังรูปที่ 4.18



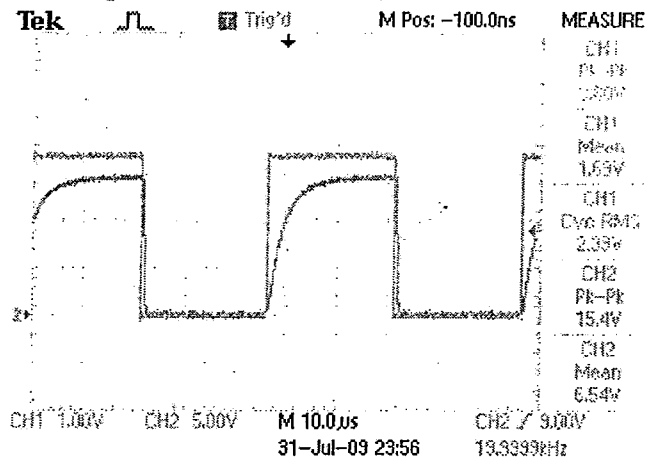
รูปที่ 4.12 แสดงขั้ว Input และ Output ของ IPM Interface



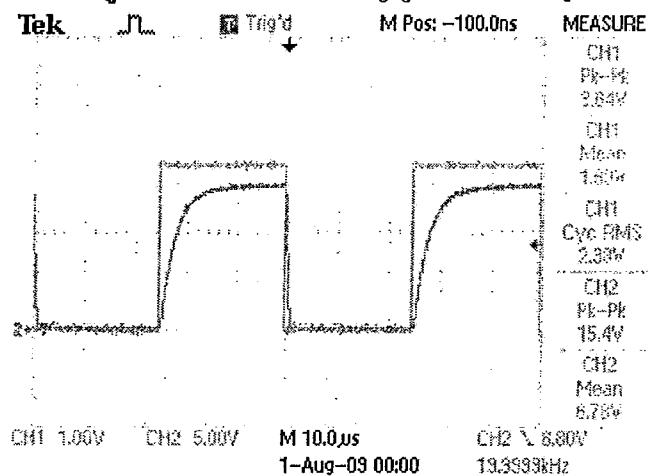
การวิเคราะห์และออกแบบชุดชดเชยแรงดัน
ปรับปรุงการเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันจากการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลม



รูปที่ 4.13 แสดงขอบสัญญาณของ ขั้ว Up



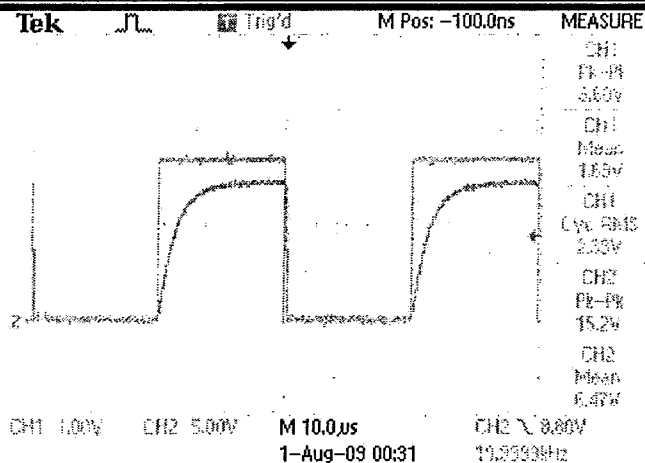
รูปที่ 4.14 แสดงขอบสัญญาณของ ขั้ว Vp



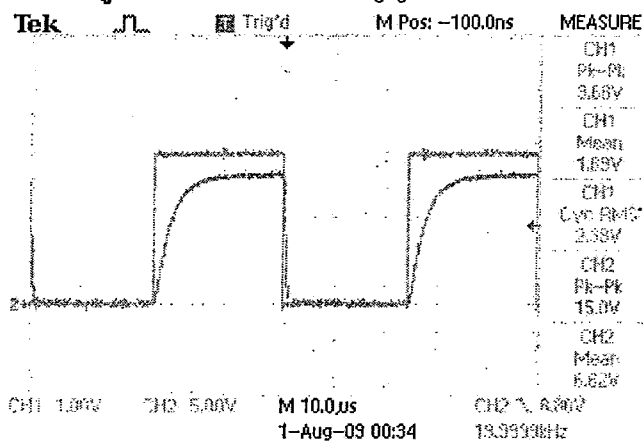
รูปที่ 4.15 แสดงขอบสัญญาณของ ขั้ว Wp



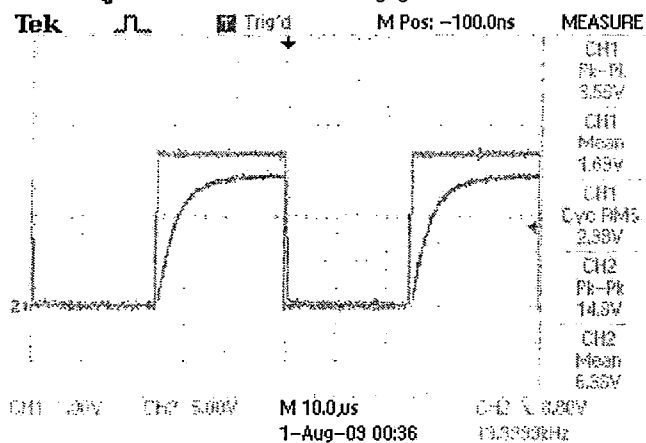
การวิเคราะห์และออกแบบชุดขยายแรงดัน
ปรับปรุงการเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันจากการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลม



รูปที่ 4.16 แสดงขอบสัญญาณของ ขั้ว Un



รูปที่ 4.17 แสดงขอบสัญญาณของ ขั้ว Vn



รูปที่ 4.18 แสดงขอบสัญญาณของ ขั้ว Wn



4.1.3 IPM (Intelligent Power Module) และตัวกรอง (Filter) ถ้าในระบบมีการชดเชยแรงดัน หรือ Power Module ในทางปฏิบัติเกิดกำลังการสูญเสีย อันเนื่องมาจากสาเหตุจากการสวิตช์หรือกำลังสูญเสียขณะนำกระแสของสวิตช์ ทำให้แรงดันไฟตรงที่ตัวเก็บประจุมีค่าลดลงได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องดึงเอาพลังงานจากแหล่งจ่ายของในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้ามา เพื่อชดเชยกำลังสูญเสียและทำให้สามารถควบคุมแรงดันไฟตรงให้มีค่าเฉลี่ยคงที่และสูงเพียงพอต่อการทำงานของ Power Module ได้โดย Power Module จะทำการสร้างแรงดัน เพื่อให้วงจรกรองพาสซีฟสร้างกระแสที่มีความถี่มูลฐานที่มีเฟสเดียวกันกับแรงดัน เพื่อที่จะดึงพลังงานเข้าสู่ระบบ พลังงานที่ถูกดึงเข้าสู่ระบบจะถูกนำไปสะสมในตัวเก็บประจุทำให้ค่าระดับแรงดันบัสไฟตรงมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันถ้าแรงดันบัสไฟตรงมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนด วงจรกรองพาสซีฟจะสร้างกระแสที่มีความถี่มูลฐานที่มีเฟสตรงกันข้ามกับแรงดัน เพื่อที่จะจ่ายพลังงานออกไปจาก Power Module ทำให้แรงดันบัสไฟตรงมีค่าลดลง ตัว IPM (Intelligent Power Modules) มีลักษณะโครงสร้างเป็นอินเวอร์เตอร์ประกอบไปด้วยสวิตช์ IGBT จำนวน 6 ตัว ดังแสดงวงจรรายในผังรูปที่ 4.19 นอกจากนั้นยังมี driver ในตัว เพื่อใช้ในการขับสวิตช์ และมีระบบตรวจับการลัดวงจร, อุณหภูมิสูงเกินและแรงดันตก IPM ซึ่งมีหน้าสร้างแรงดันตามคำสั่งของ DSP โดยการสับสวิตช์และแรงดันที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ซึ่งแรงดันที่ได้จะต้องผ่านตัวกรองก่อนจึงได้แรงดันที่ต้องการ ส่วนการเลือกใช้ Capacitor ที่ใช้กับ IPM นั้นมีหลักในการเลือกคือ ถ้าใช้ Capacitor ขนาดใหญ่ ก็ยังสามารถเก็บพลังงานได้เยอะและสามารถควบคุมกระแสได้ง่ายขึ้น เพื่อชดเชย Loss ที่เกิดขึ้นแต่ถ้าขนาด Capacitor นั้นมีขนาดเล็ก นอกจากการควบคุมจะทำให้ยากแล้วจะเกิดแรงดันตกมากขึ้นและ IPM จะทำงานหนักมากกว่าการใช้ Capacitor ขนาดใหญ่รายละเอียดของ IPM ที่ใช้อ่านได้ที่ภาคผนวก ง. Data Sheet IPM (PM25CLA120)

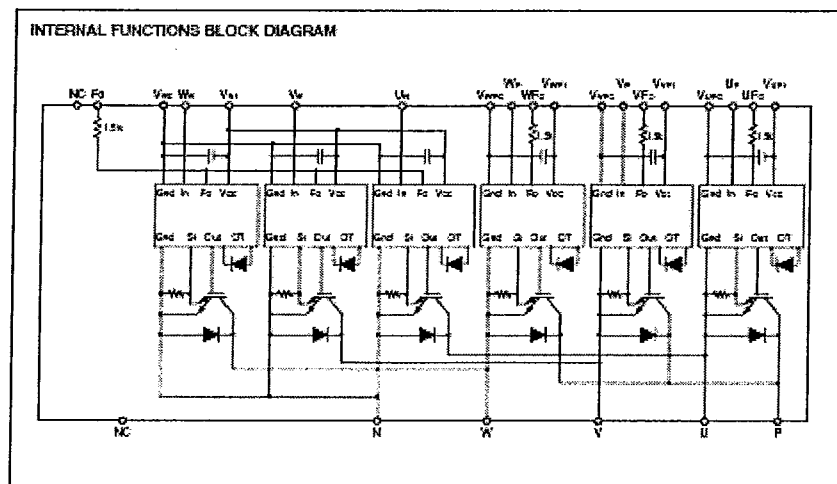
ตัวกรองมีลักษณะเป็น Passive Filter และเป็น Low Pass Filter ประกอบด้วย ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ มีหน้าที่กรองแรงดันความถี่สูงที่ถูกสร้างโดยตัว IPM ไม่ให้ไหลไปรบกวนในระบบไฟฟ้า และคงเหลือเพียงแรงดันความถี่ต่ำที่ต้องการแสดงดังรูปที่ 4.29 จะได้ค่าพารามิเตอร์สำหรับการออกแบบชุดตัวกรองสัญญาณเบื้องต้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ การออกแบบชุดกรองสัญญาณในบทที่ 2 ที่ผ่านมานั้นมีค่าดังตารางที่ 4.2 จากตารางจะเห็นได้ว่าการออกแบบในวิทยานิพนธ์นั้น ออกแบบที่พิกัดกระแส 50 A แต่ในการออกแบบในโครงการนี้ ใช้เพียง 30 A และใช้แรงดันที่ DC Bus เพียง 500 V จึงมีผลทำให้ค่า พารามิเตอร์ที่ใช้สร้างตัวกรอง ในโครงการนี้แตกต่างจากงานวิจัยดังกล่าว



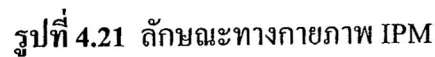
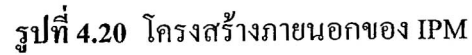
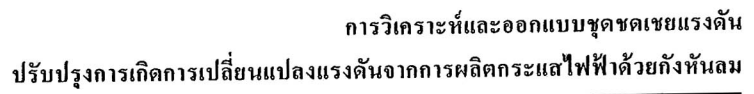
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในโครงการ

รายการ	โครงการนี้ใช้
แรงดันต่อเฟส ที่แหล่งจ่าย 3 เฟส (V_s) = (rms)	220 V = 1 pu, 50 Hz
ความถี่การสุ่มข้อมูล (f_s)	10 kHz
ความถี่การสวิตช์ ของ คอนเวอร์เตอร์ (f_{ws})	10 kHz
แรงดันที่บัสไฟฟ้ากระแสตรง (V_{dc})	500 V
ตัวเก็บประจุบัสไฟฟ้ากระแสตรง (C_{dc})	5,000 μ F
ความเหนี่ยวนำที่สายส่ง (L_{line})	9 mH
ความเหนี่ยวนำด้าน ac ของคอนเวอร์เตอร์ (L_f)	4.5 mH
ตัวกรองสัญญาณ (C_F), (R_F)	10 μ F, 23.5 Ω
ตัวควบคุม PI ของชุดควบคุมกระแส	$K_p = 1.27, K_i = 900$
ตัวควบคุม PI ของชุดควบคุมแรงดัน	$K_p = 0.3, K_i = 20$

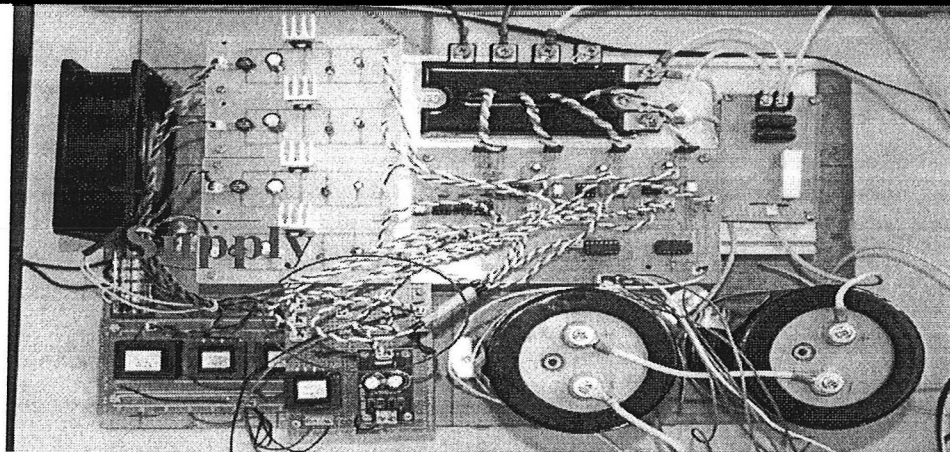
*หมายเหตุ : วิธีการปรับค่า K_p และ K_i สามารถอ่านได้จาก ภาคผนวก ฉ.



รูปที่ 4.19 วงจรภายในของตัว IPM

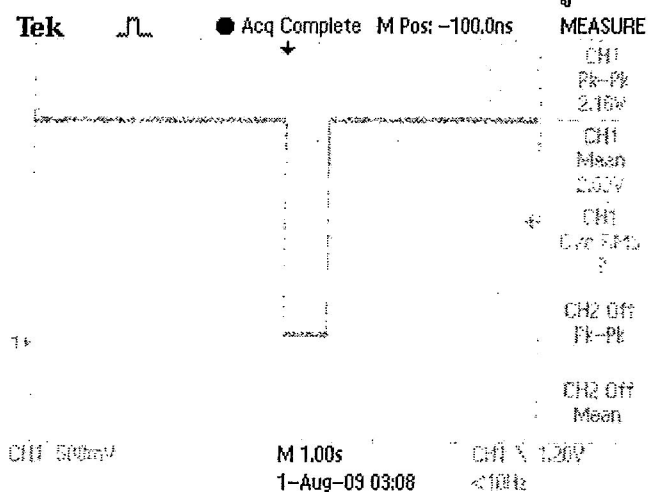


1) ทำการต่อชุดIPMให้เหมือนสภาวะทำงานตามปกติดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แสดงการต่อชุด IPM เพื่อทดสอบระบบป้องกัน

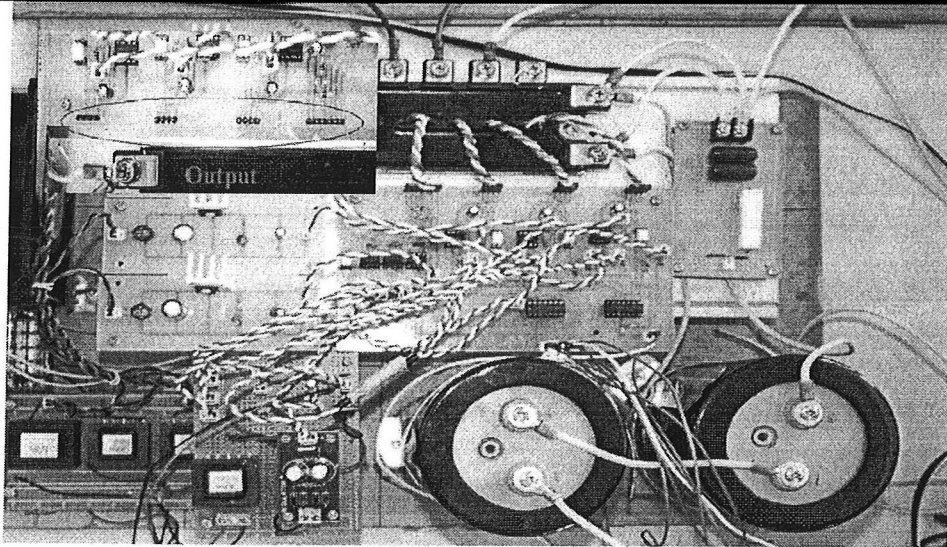
2) ทำการจำลองสภาวะการทำงานที่ผิดพร่องของตัวระบบ IPM Inter Face โดยการถอดสายแหล่งจ่ายออก เมื่อแรงดันต่ำกว่า 12 โวลต์วงจรควบคุมจะส่งสัญญาณ Fail ออกมาทำให้ระบบป้องกันของ IPM ทำงานขึ้นแสดงการทำงานได้ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 3.23 แสดงสัญญาณการทำงานของระบบป้องกันของ IPM

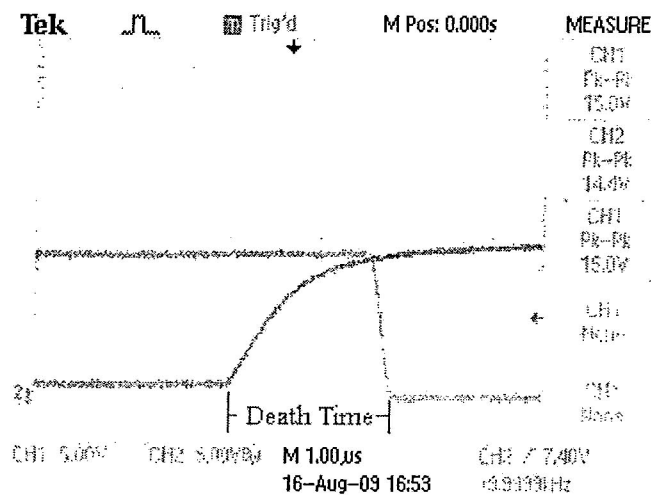
4.1.3.2 การทดสอบ Death Time ของ IPM การทดสอบนี้ต้องการหาช่วงเวลา Death Time(ช่วงเวลาที่ไม่ให้สวิตช์ใน IGBT เฟสเดียวกันทำงานพร้อมกันทั้ง 2 ตัวถ้าทำงานพร้อมกันจะเกิดการ Short Circuit) โดยสัญญาณ + ต้องมากกว่าสัญญาณ - เสมอสามารถอธิบายขั้นตอนการทดสอบได้ดังนี้

1) ทำการต่อชุด IPM ให้เหมือนสภาวะทำงานตามปกติดังรูปที่ 4.24

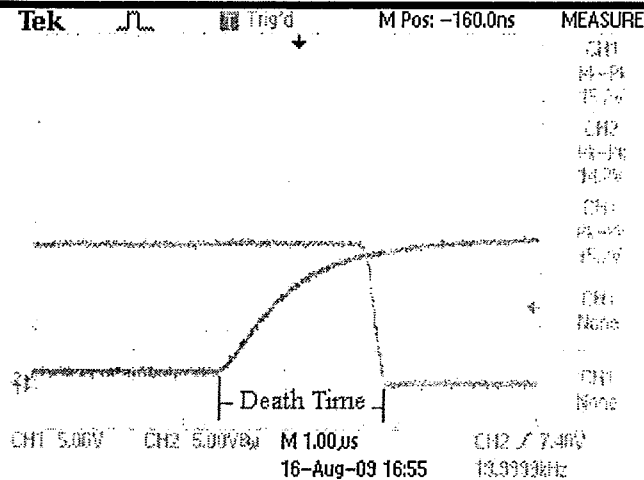


รูปที่ 4.24 แสดงการต่อชุด IPM เพื่อทดสอบ Death Time

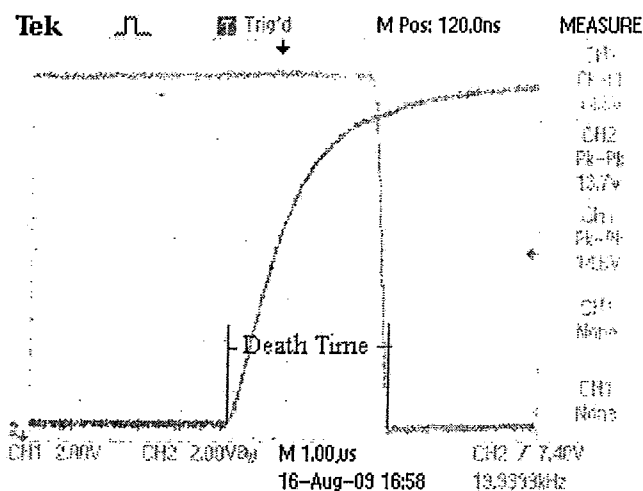
2) ทำการวัดสัญญาณ Up ด้าน Output เทียบกับสัญญาณ Un ด้าน Output แสดงดังรูปที่ 4.25 V_p ด้าน Output เทียบกับสัญญาณ V_n ด้าน Output แสดงดังรูปที่ 4.26 และ W_p ด้าน Output เทียบกับสัญญาณ W_n ด้าน Output แสดงดังรูปที่ 4.27 จากการทดลองพบว่า Death Time ที่ได้มีค่าออกมาประมาณ 2.8 us.



รูปที่ 4.25 แสดงสัญญาณ Death Time ของ Up และ Un

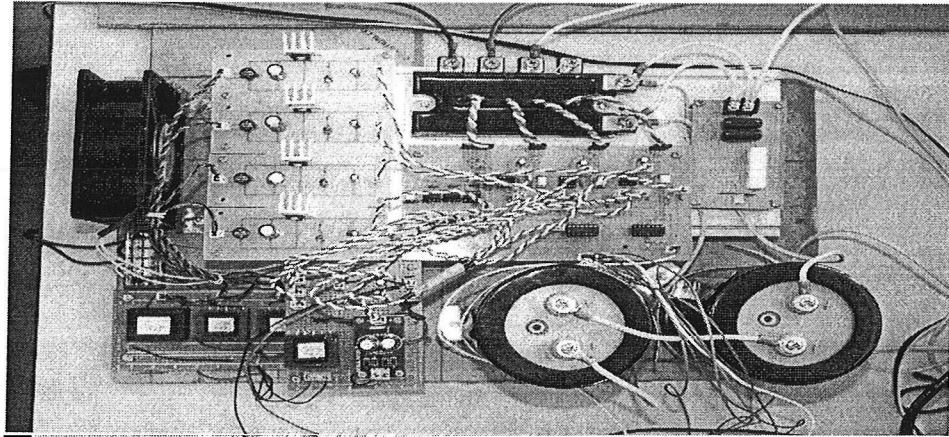


รูปที่ 4.26 แสดงสัญญาณ Death Time ของ V_p และ V_n

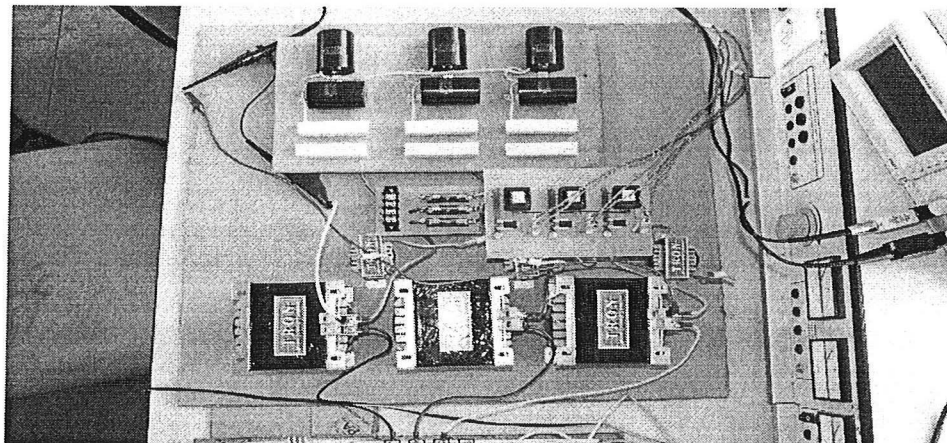


รูปที่ 4.27 แสดงสัญญาณ Death Time ของ W_p และ W_n

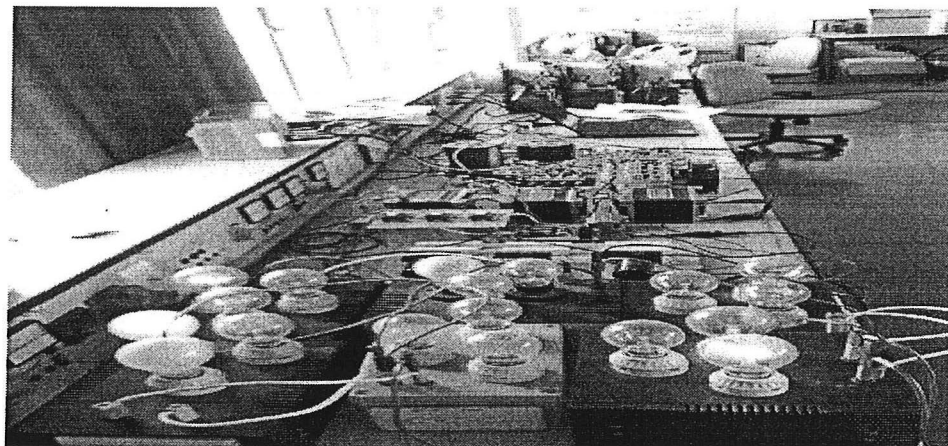
จากการทดสอบ IPM (Intelligent Power Module) และตัวกรอง (Filter) ร่วมกันถ้า
สั่งให้ DSP สัญญาณรูปคลื่น Sine Wave ออกมาผ่านตัวกรองหรือใช้ Variac จ่ายแรงดันไฟฟ้าผ่าน
ตัวกรองโดยตรงแล้วเมื่อวัดสัญญาณทางด้านโหลดแล้วพบว่ารูปคลื่น Sine Wave เกิดความผิดเพี้ยน
ขึ้นให้สงสัยจนวนของ Inductance เป็นอย่างแรก ว่าจนวนนั้นไม่สามารถทนความถี่สูงได้สูงได้การทดสอบ
สามารถทำได้โดยมีขั้นตอนการทดสอบตาม ภาคผนวก จ. ถ้าหากทดสอบแล้วพบว่าจนวน
ไม่มีปัญหานั้นแสดงว่าเป็นที่ชุดปรับแยกสัญญาณโดยตัวที่มีผลทำให้รูปคลื่นผิดเพี้ยนคือ Op-to ที่
อยู่ในชุดแยกสัญญาณซึ่งมีหน้าที่แยกสัญญาณทางไฟฟ้าออกจากกัน นั้นเกิดความเสียหายให้ลอง
เปลี่ยน Op-to แล้วจึงทำการทดสอบอีกครั้ง จากการทดสอบของผู้ทำโครงการนั้นพบว่าปัญหานั้น
เกิดจากตัว Op-to เมื่อทำการเปลี่ยนแล้วมีผลทำให้สัญญาณที่ผิดเพี้ยนนั้นหมดไป



รูปที่ 4.28 ชุด Power Module



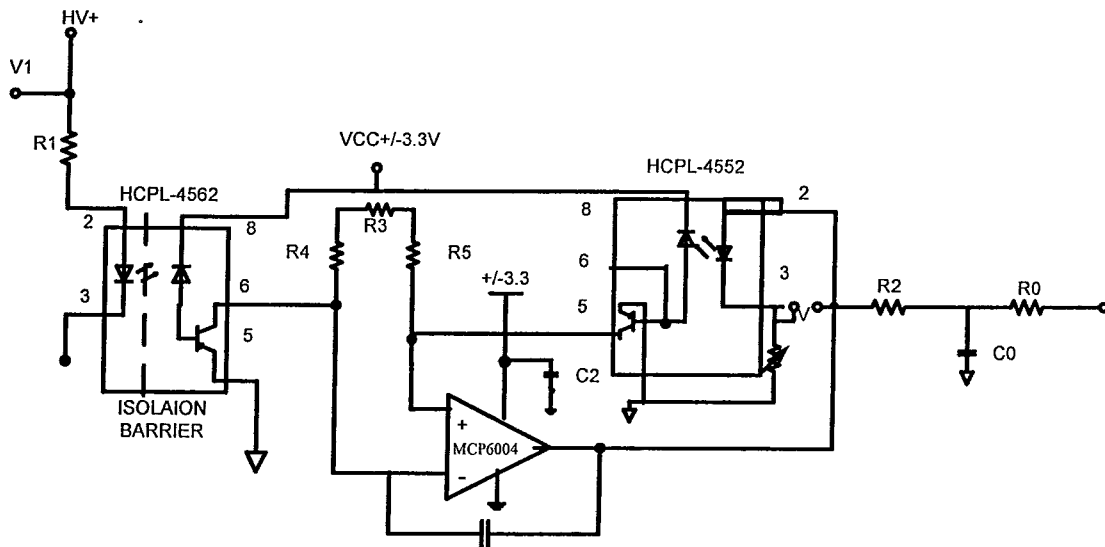
รูปที่ 4.29 ชุดฟิลเตอร์



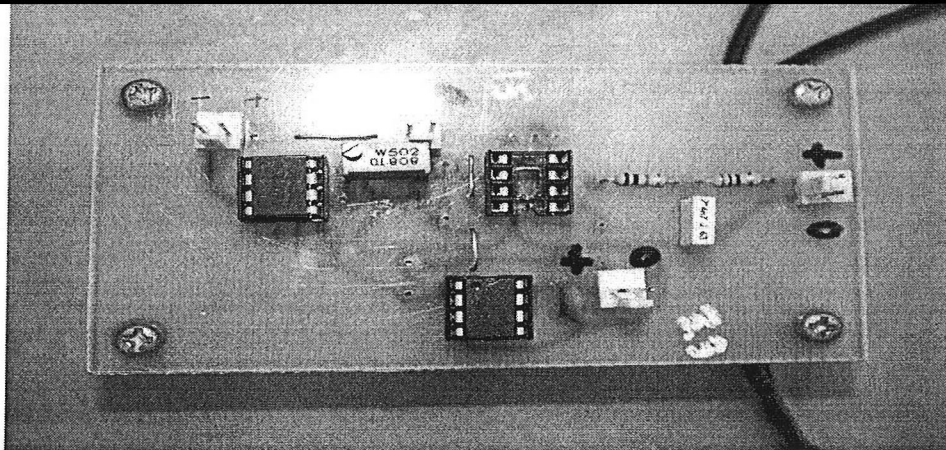
รูปที่ 4.30 การทดสอบ Power Module



4.1.4 ตัวตรวจจับสนแรงดันกระแสตรง(DC voltage sensor)และDC-Bus เป็นส่วนที่ใช้ในวัดแรงดันไฟตรงของ DC Bus ที่ถูก Charger ผ่าน IPM ซึ่งจะใช้ไฟของระบบเป็นแหล่งจ่ายเมื่อเก็บประจุแล้วจะรักษาแรงดันให้คงที่ตลอดเวลา เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟรีแอคทีฟให้กับชุด Power Module โดยชุดตรวจจับสนนี้จะส่งค่าที่จับได้ไปยัง DSP เมื่อ DSP ได้รับค่าที่ส่งมาแล้วจะทำการตรวจสอบกับค่าที่ได้ทำการ Setting และจะรักษาระดับแรงดันบัสไฟตรงให้คงที่ โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแยกวงจรออกจากกันทางไฟฟ้าได้แบบเป็นเชิงเส้น โดยอาศัยหลักการเชื่อมโยงทางแสง (Linear Optocoupler) เพื่อแยกวงจรออกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างส่วนที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าและส่วนควบคุม ดังวงจรในรูปที่ 4.31 จะใช้ Chip Drive HCPL 4552 เป็นชุดที่ทำให้เกิดการตรวจจับสนแรงดันกระแสตรงแบบเชิงเส้นผ่านวงจรเปรียบเทียบสัญญาณโดยใช้ Op-Am เพื่อปรับสภาพสัญญาณที่แสดงผลออกมา กับสัญญาณที่เข้ามา ให้มีความเป็นเชิงเส้นให้มากที่สุด โดยใช้หลักในการออกแบบ คือ อัตราส่วนระหว่างสัญญาณเข้าและออก จะต้องมียอดตราส่วนเท่ากันเสมอ รูปที่ 4.32 แสดงชุดตรวจจับสนแรงดันกระแสตรง และ ภาพผนวก ก.4 แสดงลาย PCB และอุปกรณ์ ที่ใช้ของชุดตรวจจับสนแรงดันกระแสตรง

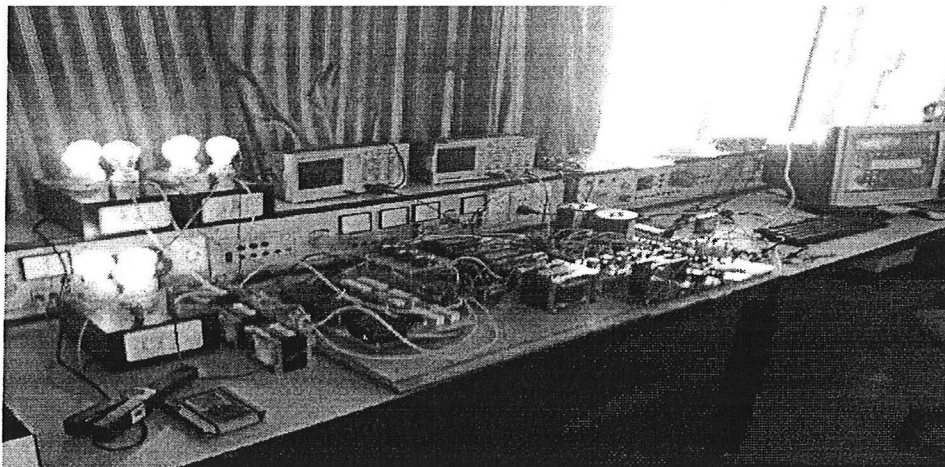


รูปที่ 4.31 วงจรตัวตรวจจับสนแรงดันกระแสตรง



รูปที่ 4.32 ตัวตรวจจับแรงดันกระแสตรง

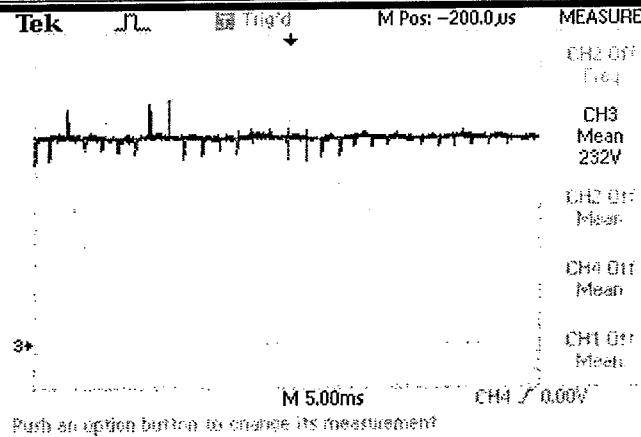
4.1.4.1 การทดสอบ DC Bus การทดสอบนี้เป็นการทดสอบการสร้างสัญญาณพัลส์ โดยใช้สัญญาณจาก DC Bus มาควบคุมสัญญาณพัลส์สามเหลี่ยมจากวงจรอินทริกรัล โดยเมื่อปรับค่า DC Bus ไว้สูงเส้นแรงดันของ DC Bus จะตัดผ่านพัลส์รูปสามเหลี่ยมจากวงจรอินทริกรัล น้อยจึงทำให้สัญญาณพัลส์ที่ออกมาจาก Voltage Comparator มีสัญญาณเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมที่แคบแต่ เมื่อปรับสัญญาณ DC Bus ให้ต่ำลงจะทำให้สัญญาณที่ตัดผ่านระหว่าง DC Bus และสัญญาณพัลส์สามเหลี่ยมจากวงจรอินทริกรัลมากขึ้นเมื่อผ่านวงจร Voltage Comparator จึงทำให้มีสัญญาณพัลส์ออกมาในรูปแบบที่กว้างขึ้น แสดงการทดสอบโดยการวัดค่าจากการคำนวณและผลจากโปรแกรมดังรูปที่ 4.33, 4.34, 4.35, 4.36 และรูปแสดงอุปกรณ์เปรียบเทียบกับสัญญาณของโปรแกรมเทียบกับ DSP แสดงดังรูปที่ 4.37



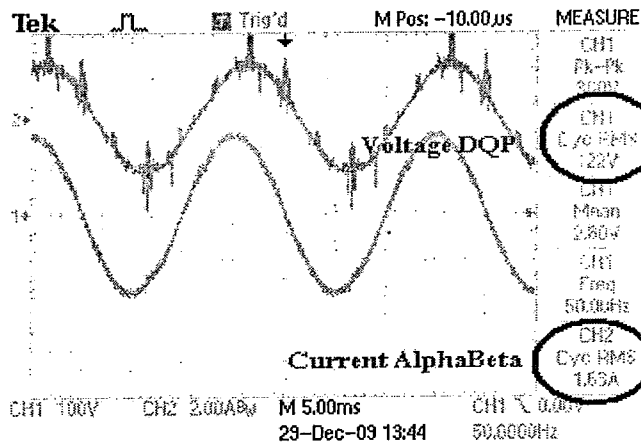
รูปที่ 4.33 แสดงการทดสอบวงจร DC Bus



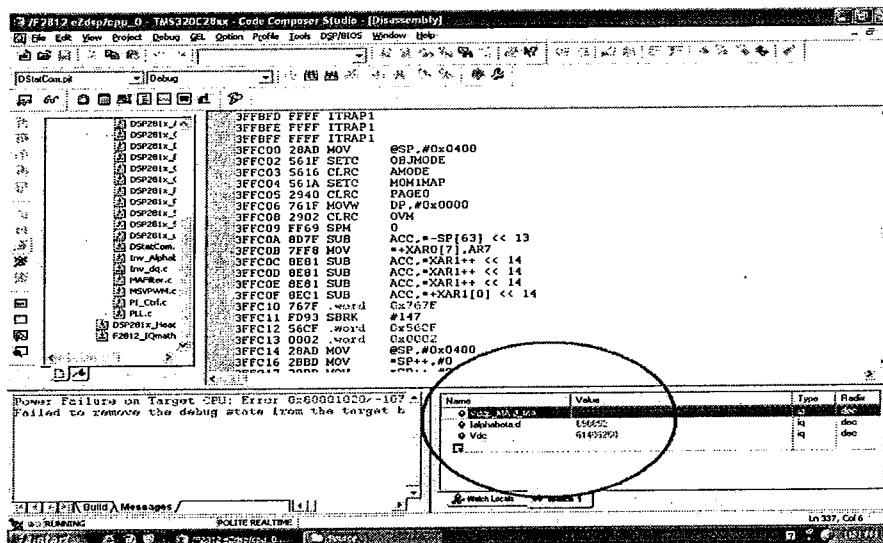
การวิเคราะห์และออกแบบชุดขับเคลื่อน
ปรับปรุงการเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันจากการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลม



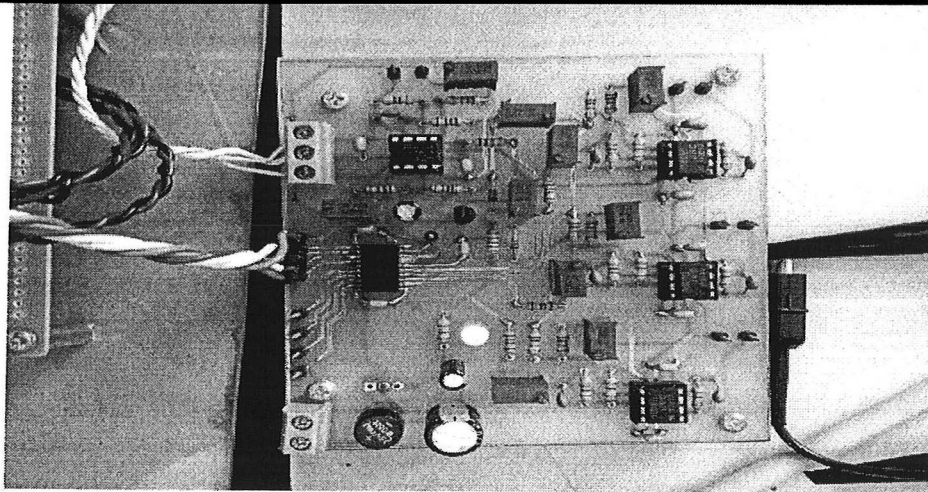
รูปที่ 4.34 แสดงค่า V_{dc} ในวงจร DC Bus



รูปที่ 4.35 แสดงค่า V_{dqp} และ $I_{AlphaBeta}$ ในวงจร DC Bus



รูปที่ 4.36 แสดงค่า V_{dc} , V_{dqp} , $I_{AlphaBeta}$ ของ DSP



รูปที่ 4.37 ชุดเปรียบเทียบสัญญาณโปรแกรมกับ DSP

เมื่อทำการทดสอบและวัดค่าที่ออกมาจากวงจรแล้ว เทียบกับค่าที่ออกมาจาก DSP จะได้ค่าดังนี้ DSP ขนาด 18 Bit โดยมีค่าเท่ากับ 2^{18} ดังนั้นค่าที่ได้จะต้องหารด้วย 2^{18} เพื่อแปลงเป็นเลขฐาน 10

จากรูปที่ 4.36 วัดค่า V_{dc} วัดจากสโโครปได้เท่ากับ 235.25 V เมื่อเทียบกับค่าของ DSP ในคอมพิวเตอร์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 61,406,250 เมื่อนำมาหารด้วย 2^{18} เพื่อแปลงค่าที่ได้ให้ออกมาเป็นฐาน 10 จะได้เท่ากับ 234.25 V ซึ่งมีค่าเท่ากับที่วัดได้จากสโโครป

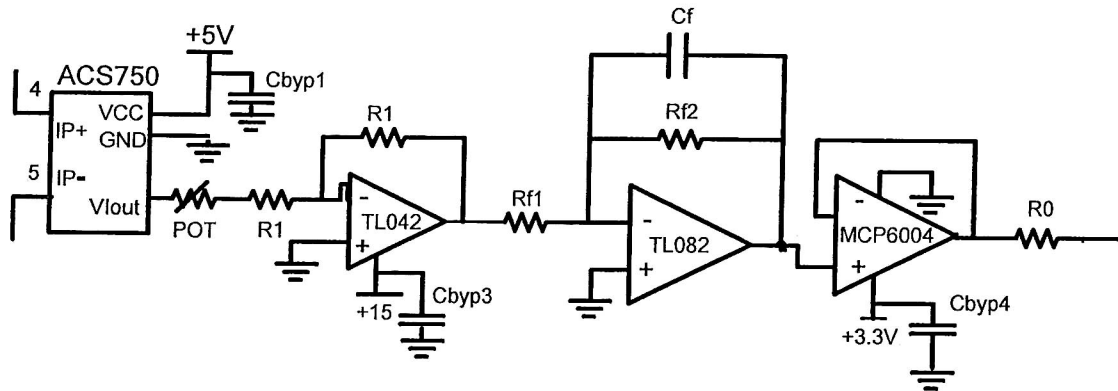
จากรูปที่ 4.36 วัดค่า V_{dqp} วัดจากสโโครปเท่ากับ 122 V เมื่อเทียบกับค่าของ DSP ในคอมพิวเตอร์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 32,233,472 / แล้วนำมาหารด้วย 2^{18} จะได้เท่ากับ 122.96 V ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่สโโครปวัดได้

จากรูปที่ 4.36 วัดค่า $I_{AlphaBeta}$ วัดจากสโโครปเท่ากับ 1.63 A เมื่อเทียบกับค่าของ DSP ในคอมพิวเตอร์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 698,852 แล้วนำมาหารด้วย 2^{18} และแปลงเป็นเฟสได้ค่าเท่ากับ 1.54 A ซึ่งมีค่าใกล้เคียงจากที่สโโครปสามารถวัดได้

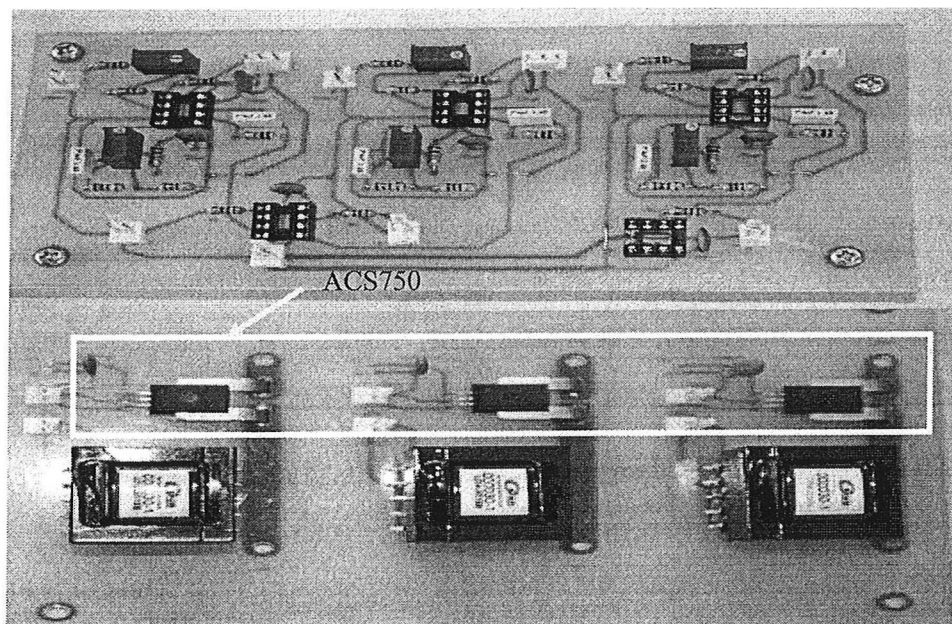
4.2.5 ส่วนการตรวจจับกระแส (Current Sensor) จากงานวิจัย (วารุณี ศรีสงคราม, 2551)
“การวิเคราะห์และควบคุม D-STATCOM เพื่อชดเชยแรงดัน ไฟฟ้าไม่สมมาตร” การควบคุมกระแสในโครงการนี้ จึงใช้หลักการควบคุมแบบแยกการเชื่อมร่วมด้วยวงรอบควบคุมกระแส (Decoupling vector control) ซึ่งเป็นการควบคุมแบบป้อนไปหน้า (Feed forward control) ตัวตรวจจับกระแสหรือตัวตรวจวัดกระแส ใช้วัดกระแสที่ถูกสร้างโดยตัว IPM ส่งกลับมายัง DSP เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของกระแสคำสั่งที่สั่งจาก DSP และหน้าที่รองลงมา คือ นอกจากวัดค่ากระแสภายในระบบแล้วค่าที่แสดงผลออกมายังนำมาใช้ในระบบการป้องกันกระแสเกินให้ทำงาน โดยการตั้งค่าไว้ที่โปรแกรมให้ระบบป้องกันกระแสเกินที่ 8 A (จากการออกแบบชุดป้องกัน) ถ้ากระแสภายในระบบ



ที่เกิดจากโหลดหรือเกิดจากการชดเชยแรงดันมีค่าเกินกว่าที่ Setting ในโปรแกรมก็จะทำงานทันที เพื่อไม่ให้อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบและอุปกรณ์ควบคุมเกิดความเสียหาย ดังวงจรในรูปที่ 4.38 เป็นการออกแบบตัวตรวจจับกระแสโดยจากความถี่ของการลดทอนสัญญาณที่ผ่านมาจาก Chip ACS 750 จำนวน 10 เท่า จากรูป 4.38 จะเห็นได้ว่า วงจรจะเป็นการใช้ Op-Amp 3 ชุด Op-Amp ชุดแรกเป็นส่วนของการลดทอน โดยเป็นวงจร Inverting โดยอัตราส่วนจะขึ้นอยู่กับ R_1 และ R_2 จากนั้นผ่านวงจร Inverting อีกครั้ง เพื่อให้สัญญาณกลับมาเป็นเฟสเดิมโดยวงจรนี้จะเป็น Low Pass Filter ในตัวมันเองด้วย จากนั้นผ่าน Op-Amp ชุด Buffer เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนต่างๆ รูปที่ 4.39 แสดงชุดตรวจจับกระแส และ ภาพผนวก ก. 1, 3 แสดงลาย PCB ที่ใช้ของชุดตรวจจับกระแส



รูปที่ 4.38 วงจรตัวตรวจจับกระแส

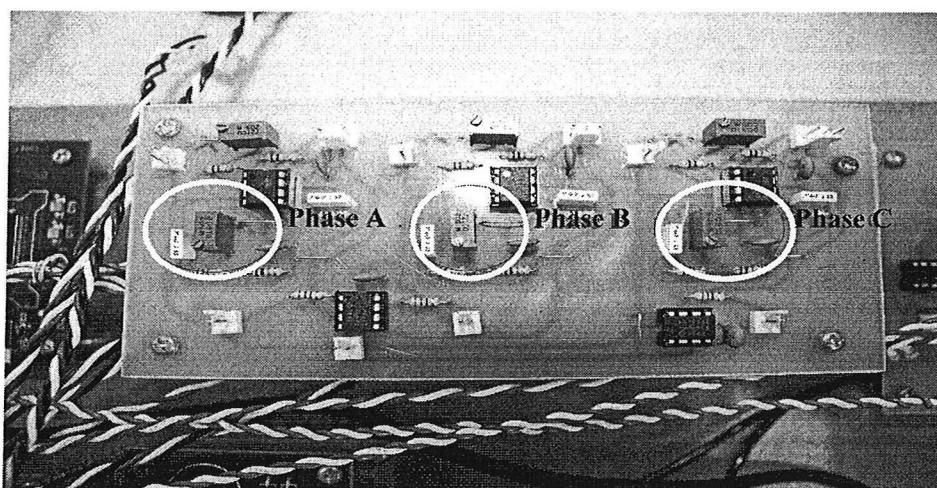


รูปที่ 4.39 ชุดวงจรการตรวจจับกระแส

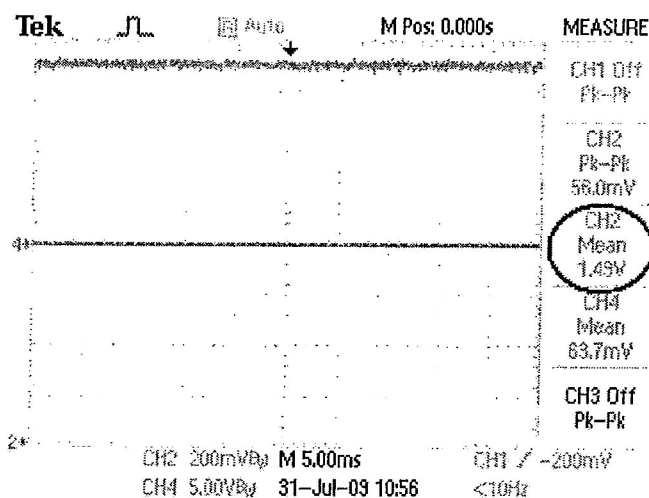


4.1.5.1 การทดสอบตัวตรวจจับกระแส การทดสอบตัวตรวจจับกระแสสามารถอธิบายขั้นตอนการทดลองได้ดังนี้

1) ทำการ Short Input และวัดค่า Output เพื่อทำการปรับค่าแรงดันอ้างอิงให้ได้ค่าแรงดันที่ 1.5 โวลต์โดยการปรับความต้านทานอ้างอิงดังรูปที่ 4.40 และ 4.41



รูปที่ 4.40 ตำแหน่งการปรับแรงดันอ้างอิง



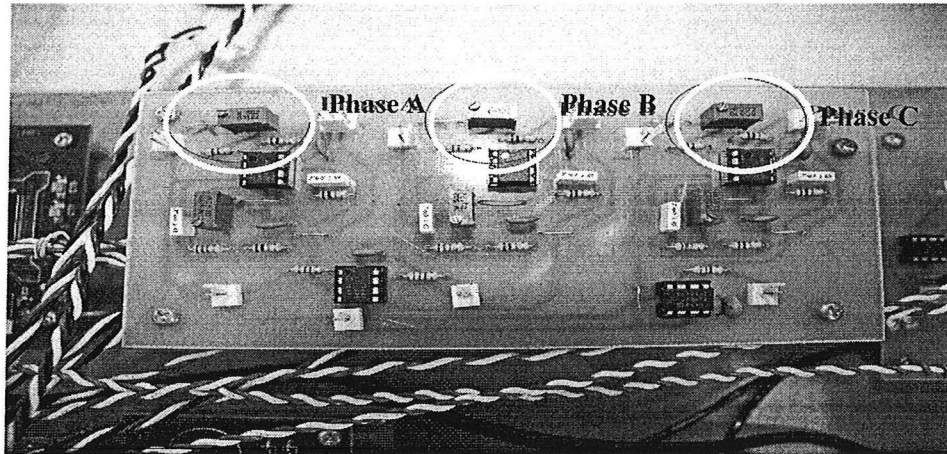
รูปที่ 4.41 ค่าแรงดันอ้างอิงของตัวตรวจจับแรงดันที่ 1.5 โวลต์

2) ทำการต่อชุดตรวจจับกระแสเข้ากับ Chip ACS750 และต่อเข้าโหลดขนาด 20 โอห์ม

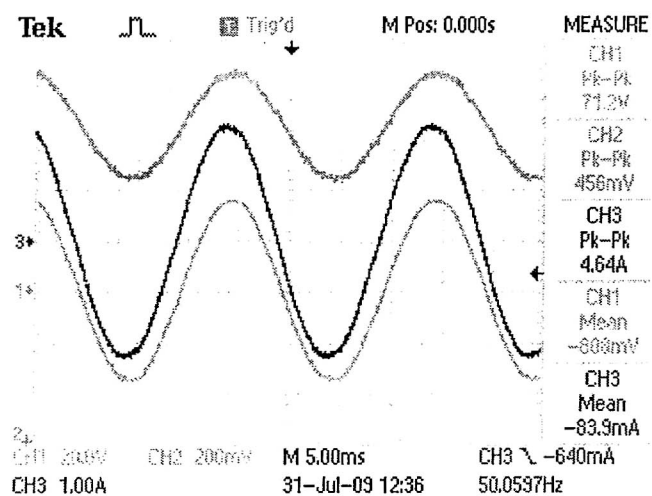
3) ทำการจ่ายแรงดันกระแสสลับเข้าสู่ชุด Input ของชุดตรวจจับกระแส และทำการปรับค่าแรงดัน Peak To Peak ตั้งแต่ 10-150 โวลต์ Peak To Peak ดังรูปที่ 4.42 แสดงการปรับค่าความต้านทานอ้างอิงในแต่ละเฟส รูปที่ 4.43 แสดงแรงดัน Output Phase A รูปที่ 4.44



แสดงแรงดัน Output Phase B รูปที่ 4.45 แสดงแรงดัน Output Phase C โดยแสดงค่าดังต่อไปนี้ Ch1 แสดงค่าแรงดัน Input (Vpeak to peak) Ch2 แสดงค่าแรงดัน Output (Vpeak to peak) Ch3 แสดงค่ากระแสของโหลดโดยต้องการลดทอนกระแส 10 เท่าและสามารถปรับการลดทอนได้โดยการปรับ Rratio แต่เมื่อปรับ Rratio แล้วจะมีผลทำให้แรงดันอ้างอิงเพิ่มขึ้นดังนั้นจะต้องปรับความต้านทานอ้างอิงให้ได้ค่าที่เหมาะสมตามด้วย ค่าที่ได้จากการทดสอบแสดงดัง ตารางที่ 4.3



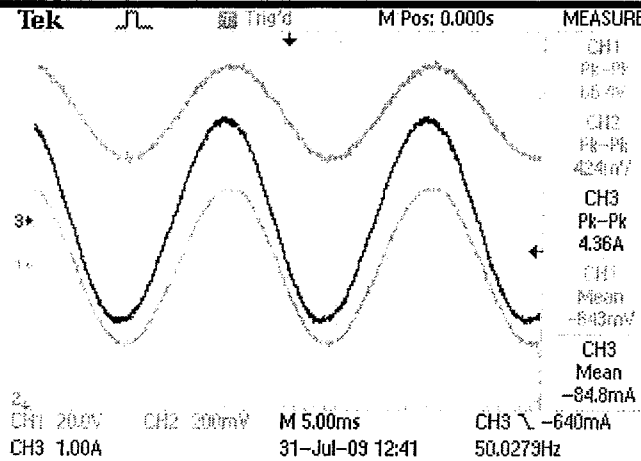
รูปที่ 4.42 ตำแหน่งการปรับ Rratio



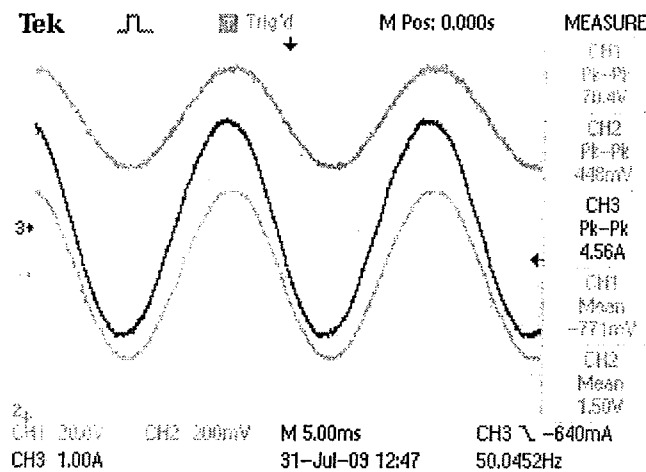
รูปที่ 4.43 แสดงค่าแรงดันOutputในเฟส A



การวิเคราะห์และออกแบบชุดขยายแรงดัน
ปรับปรุงการเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันจากการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลม



รูปที่ 4.44 แสดงค่าแรงดันOutputในเฟส B



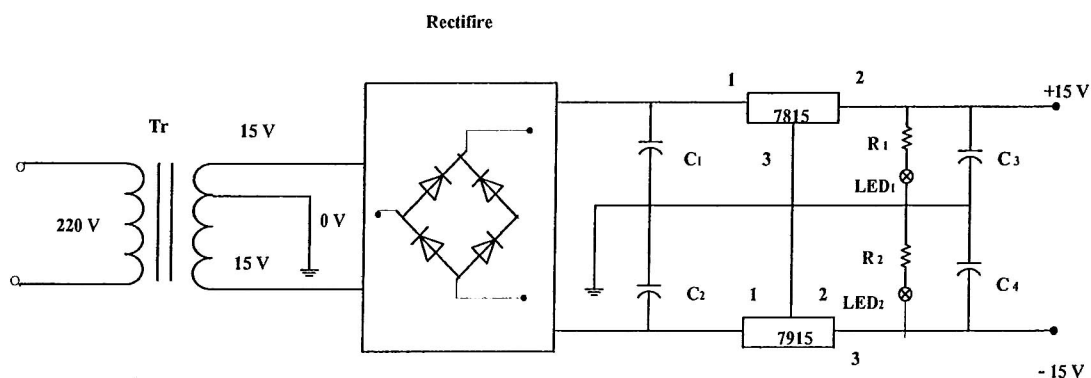
รูปที่ 4.45 แสดงค่าแรงดันOutputในเฟส C

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองชุดตรวจจับกระแส

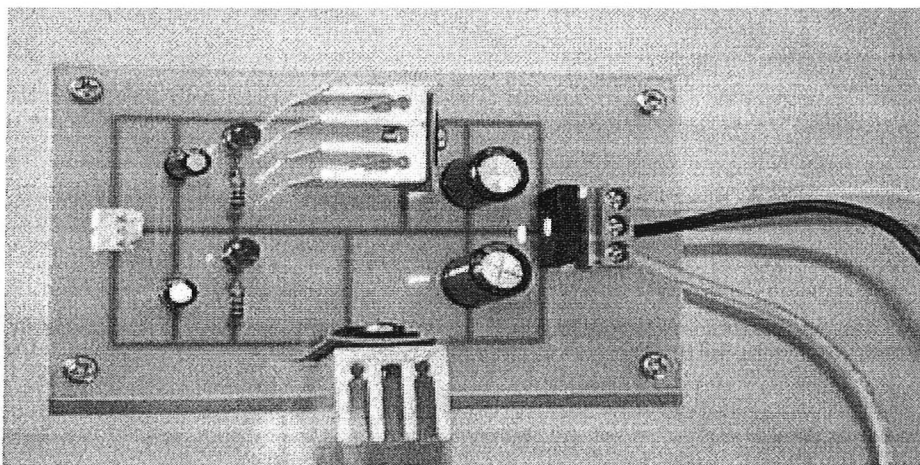
Input(Vp-p)			Output(mVp-p)			Output(Ip-p)			Ratio(10เท่า)		
40.8	40.4	40	272	272	272	2.72	2.72	2.72	10	10	10
53.2	52.4	53.6	352	352	352	3.52	3.52	3.6	10	10	10.22
61.2	60.8	64.4	400	392	416	4	4.04	4.32	10	10.3	10.38
71.6	71.6	74.8	464	464	480	4.72	4.76	4.96	10.17	10.26	10.33
82.4	80.8	84	528	512	520	5.32	5.24	5.52	10.07	10.23	10.61
82.4	80.8	84	528	512	520	5.32	5.24	5.52	10.07	10.23	10.61
102	101	101	640	624	608	6.56	6.52	6.52	10.25	10.45	10.72



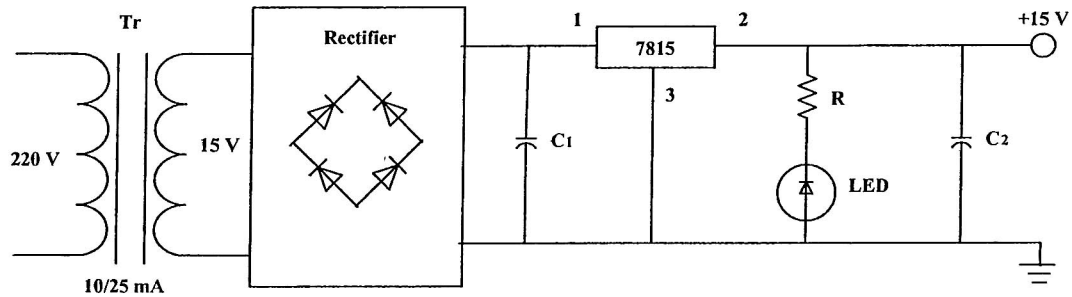
4.1.6 ชุดจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง(DC. Power Supply) เป็นแหล่งจ่าย กำลังไฟฟ้า เพื่อใช้ในการขับไอซีที่ใช้ในวงจรตรวจจับแรงดัน และกระแสโดยจะเป็นแหล่งจ่ายภายนอกไม่เกี่ยวข้องกับระบบที่ต้องการชดเชยแรงดัน ดังรูปวงจร 4.46 แสดงวงจรของแหล่งจ่าย ± 15 โวลต์รูปที่ 4.47แสดงแหล่งจ่าย ± 15 โวลต์ รูปที่ 4.48แสดงวงจรแหล่งจ่าย $+15$ โวลต์ และ รูปที่ 4.49 แสดงแหล่งจ่าย $+15$ โวลต์



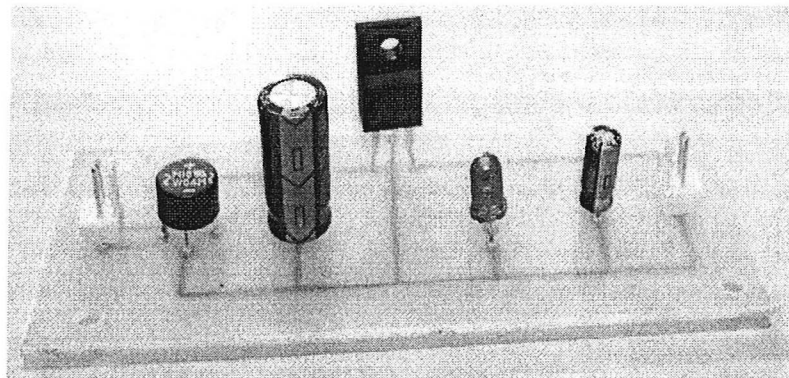
รูปที่ 4.46 ชุดวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน ± 15 โวลต์



รูปที่ 4.47 แหล่งจ่ายแรงดัน ± 15 โวลต์



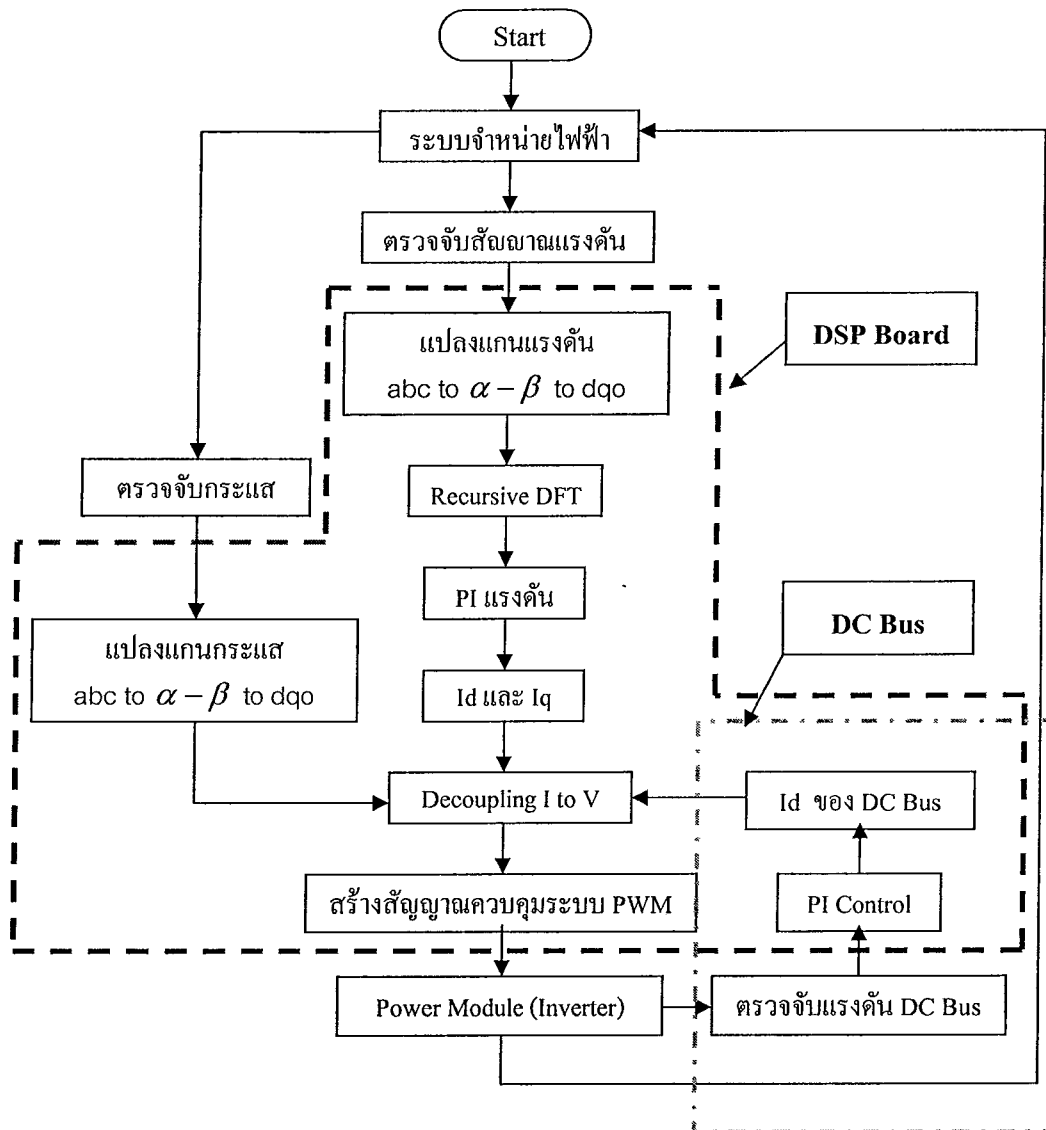
รูปที่ 4.48 ชุดวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน + 15 โวลต์



รูปที่ 4.49 แหล่งจ่ายแรงดัน + 15 โวลต์

4.2 หลักการเขียนโปรแกรมควบคุม

โปรแกรมที่ใช้ในการเขียนเพื่อควบคุมการทำงานของ Board DSP นั้นเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาซี โดยมีขั้นตอนการทำงานดังแผนภูมิที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ที่ใช้ในชุดชดเชยแรงดันแบบขนาน (D-STATCOM) โดยเงื่อนไขของโปรแกรมนี้อาจจะเมื่อชุดตรวจจับแรงดันรับค่าแรงดันที่มีความผิดปกติในระบบ ชุดตรวจจับจะส่งค่าที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่ได้เขียนไว้ในโปรแกรมโดยใช้ DSP เป็นตัวประมวลผล ถ้าแรงดันตรวจจับเข้ามานั้นมีค่าสูงกว่าแรงดันอ้างอิงแสดงว่าเกิดแรงดันเกินขึ้นในระบบ แต่ถ้าแรงดันที่ตรวจจับเข้ามานั้นต่ำกว่าแรงดันอ้างอิงแสดงว่าในระบบเกิดแรงดันตกขึ้น เมื่อรับค่าจากชุดตรวจจับเข้ามาแล้วนั้นจะทำการประมวลผลโดย DSP โดยขั้นตอนการประมวลผลสามารถอธิบายได้ในหัวข้อขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



4.2.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม โปรแกรมที่ใช้ ในชุดชดเชยแรงดันแบบขนานสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

4.2.1.1 ชุดตรวจจับแรงดันกระแสสลับจะทำการตรวจจับค่าที่วัดได้ในระบบส่งค่าเข้ามาประมวลผลยังชุดประมวลผล (DSP Board)

4.2.1.2 ชุดประมวลผลจะทำการแปลงแกน โดยใช้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากชุดตรวจจับ โดยแปลงจากแรงดันเฟส abc ให้อยู่ในแกนนิ่ง($\alpha - \beta$) จากนั้นจะแปลงให้อยู่ในแกนหมุน(dqo)

4.2.1.3 เมื่อได้ค่าแรงดันอยู่ในแกนหมุนแล้วจะได้ค่าแรงดันที่นิ่ง จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการรีเคอร์ซีฟดีเอฟที (Recursive DFT) และเข้าสู่กระบวนการ PI Control (PI Control คือการประมวลผลการทำงานด้วย Visual Basic ที่คอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณควบคุมให้กับ Board DSP ที่เขียนด้วยภาษาซีสื่อสารข้อมูลผ่าน Port อนุกรมและแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation)) เพื่อแปลงแรงดันที่จะใช้ควบคุมให้อยู่ในรูปของกระแส

4.2.1.4 จากนั้นจะทำการ Decoupling (Decoupling คือ กระบวนการที่ตัดการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์) เพื่อแปลงกระแสคำสั่งที่ผ่านชุด Interface Board ให้เป็นสัญญาณแรงดันเพื่อสั่งให้ชุด Power Module ทำงาน

4.2.1.5 เมื่อชุด Power Module ทำงานแล้ว จะใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟัรีแอคทีฟจากชุด DC Bus โดยชุด DC Bus นี้จะทำการเก็บประจุให้มีค่าที่คงที่ตลอดเวลาเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟัรีแอคทีฟให้กับ Power Module โดยการจะทำให้ประจุมีค่าที่คงที่นั้นจะมีการตรวจจับค่าสัญญาณแรงดันกระแสตรงจากตัวเก็บประจุไปประมวลผลยังชุดประมวลผล (DSP Board) ซึ่งจะผ่านขบวนการ PI Control เพื่อควบคุมให้แรงดันและประจุที่ DC Bus มีค่าที่คงที่ตลอดเวลา

4.2.1.6 เมื่อควบคุมแหล่งจ่ายกำลังไฟฟัรีแอคทีฟที่ชุด Power Module นั้นใช้เป็นแหล่งจ่ายให้คงที่แล้วนั้น ชุด Power Module จะทำการชดเชยแรงดันเข้าสู่ระบบโดยจะมีชุดกรองสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณที่จะชดเชยเข้าระบบนั้นมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

4.2.1.7 จากนั้นชุดตรวจจับสัญญาณกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำการตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้าระบบและส่งค่าที่ตรวจจับได้กลับมายังชุดประมวลผล เพื่อเปรียบเทียบกับกระแสคำสั่งที่ส่งออกไปชดเชยแรงดันกับกระแสที่เกิดขึ้นในระบบว่ามีค่าตรงกันหรือไม่

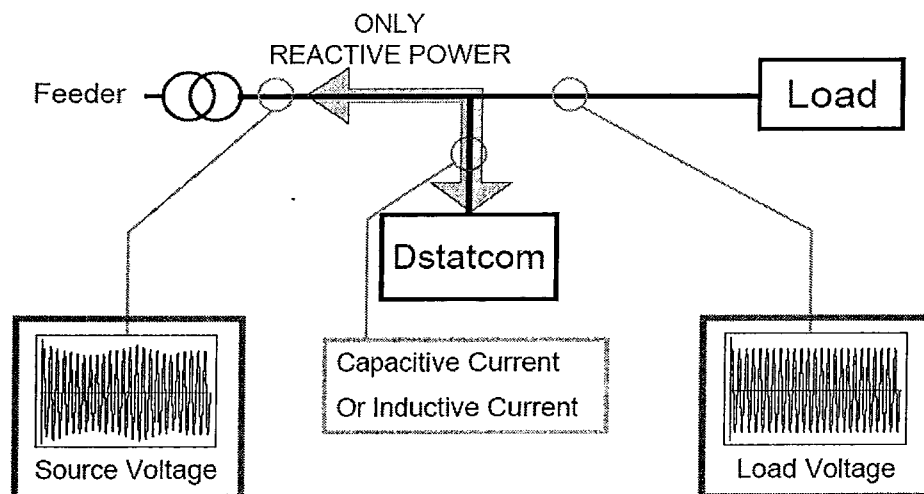
4.2.1.8 จากนั้นเมื่อแรงดันที่ชดเชยเข้าระบบนั้น ทำให้แรงดันในระบบกลับมาสู่สภาวะปกติชุดชดเชยจะทำการตรวจจับค่าแรงดันในระบบอีกครั้ง เพื่อประมวลผลต่อไปโดยจะมีการตรวจจับค่าและส่งค่าที่ได้ไปประมวลผลตลอดเวลา ถ้าเกิดแรงดันผิดปกติขึ้นชุดประมวลผลก็จะทำการประมวลผลเพื่อหาค่าที่จะชดเชยเข้าระบบอีกครั้ง



4.3 การทดลองและผลการทดลองการชดเชยแรงดันเบื้องต้น

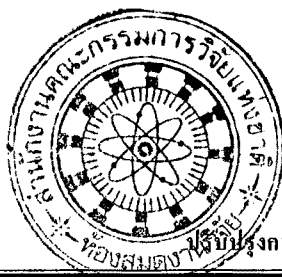
4.3.1 การทดลอง ในรูปที่ 4.50 แสดงการชดเชยแรงดันเข้าระบบของ D-STATCOM โดยระบบที่ใช้ในการทดลองนี้ จะใช้ระบบที่ 48 Vac(rms) โดยใช้ Variac 3 phase เป็นระบบไฟฟ้า และจ่ายแรงดันเข้าระบบ 48 Vac(rms) โดยมีโหลดต่อเฟส เฟสละ 300 วัตต์ และทำการปรับแต่งค่าในชุดของโปรแกรมให้มีการชดเชยที่ 48 Vac (rms) จากนั้นทำการทดสอบการชดเชยโดยการลดหรือเพิ่มแรงดันของระบบให้มีค่าที่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าที่ตั้งค่าชดเชยไว้ โดยการลดหรือเพิ่มแรงดันของระบบนั้นสามารถปรับได้ที่ Variac 3 phase โดยตรง

Principle



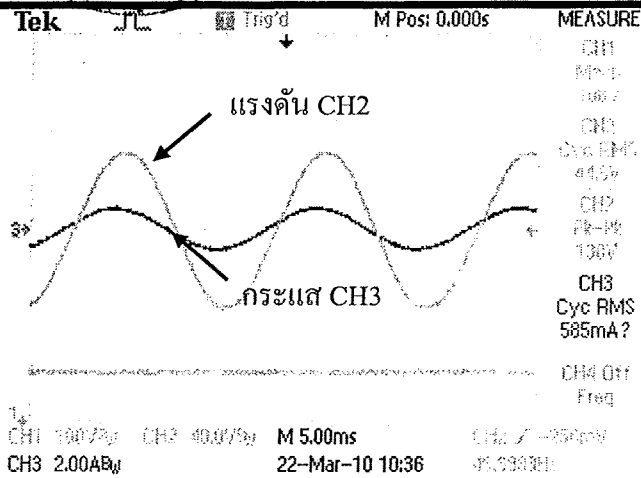
รูปที่ 4.50 การชดเชยแรงดันเข้าระบบของ D-STATCOM

4.3.2 ผลการทดลอง จากการทดลองการชดเชยแรงดันแบบขนานเข้าสู่ระบบ รูปที่ 4.51 แสดงสัญญาณก่อนการชดเชยแรงดัน CH 1 เป็นแรงดัน DC Bus ที่ 108 V CH 2 เป็นแรงดันระบบซึ่งมาจาก Variac 3 phase ขนาด 44.8 Vrms CH 3 เป็นกระแสที่ 0.585 A เมื่อทำการ Run Program DC Bus จะเริ่ม charge จนถึงค่าที่ Setting เอาไว้ แสดงดังรูปที่ 4.52 จากนั้น DSP จะทำการตรวจสอบและเช็คค่าต่างๆ เพื่อหาค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น เพื่อชดเชยแรงดันเข้าระบบโดยการฉีดกระแสแสดงดังรูปที่ 4.53 จะเห็นได้ว่า ระบบจะมีกระแสสูงขึ้น 1.15 A และแรงดันที่ทำการชดเชยที่ปรับตั้งไว้ 48Vrms DSP ชดเชยที่แรงดัน 48.6 Vrms ซึ่งในช่วงแรกของการทำงาน DSP จะยังไม่เข้าสู่สภาวะคงที่ จึงทำให้ชดเชยแรงดันเกินมาเล็กน้อย เมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่แล้วจะชดเชยอยู่ที่ระดับ 48.1-48.3 Vrms

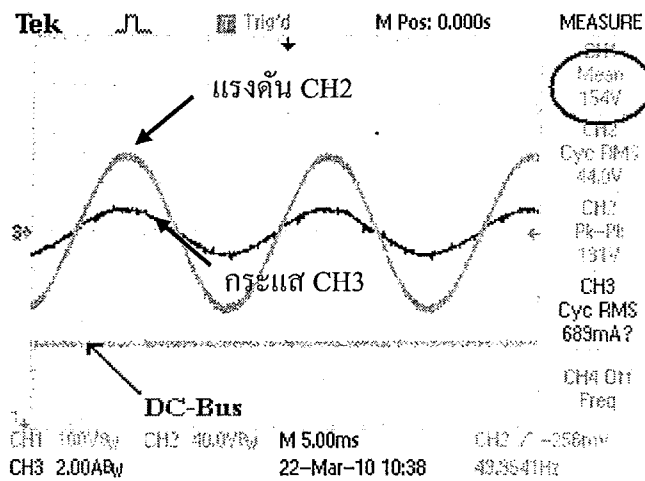


การวิเคราะห์และออกแบบชุดชดเชยแรงดัน

การวิเคราะห์และออกแบบชุดชดเชยแรงดัน



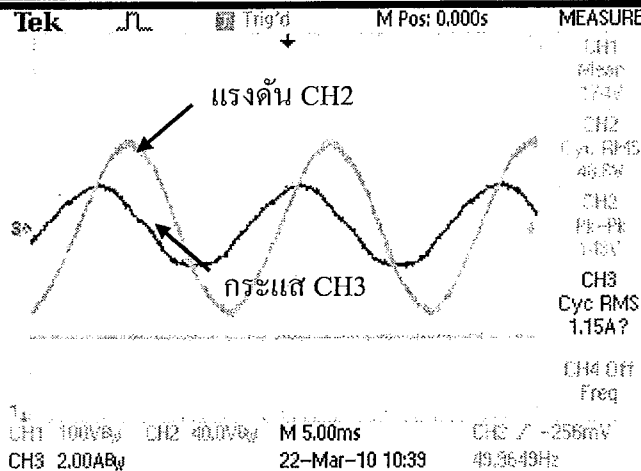
รูปที่ 4.51 สัญญาณก่อนการชดเชยแรงดัน



รูปที่ 4.52 DC Bus charger

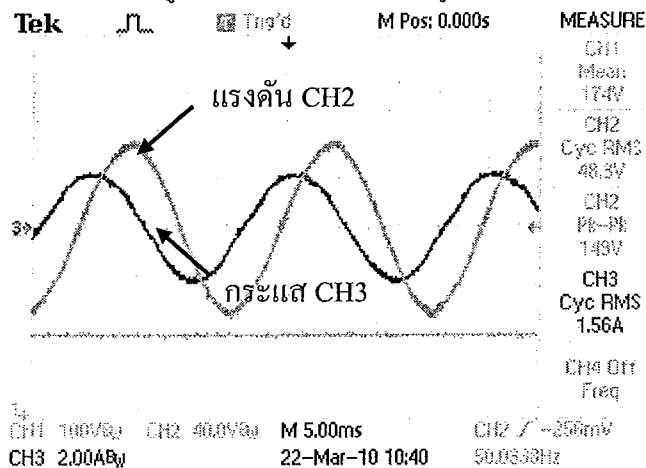


การวิเคราะห์และออกแบบชุดชดเชยแรงดัน
ปรับปรุงการเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันจากการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลม



รูปที่ 4.53 สัญญาณหลังการชดเชยแรงดันที่ระบบ 44.8 Vrms

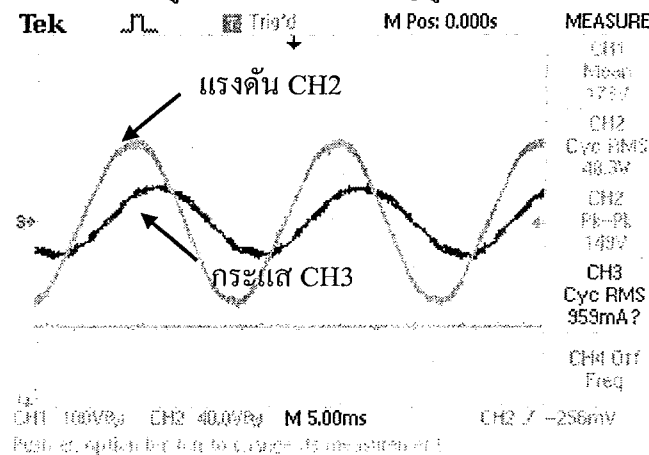
เมื่อทำการลดแรงดันของระบบลงประมาณ 43 Vrms สัญญาณที่ออกมาดังรูปที่ 4.54 จากสัญญาณที่ได้พบว่า เมื่อปรับแรงดันระบบกับแรงดันที่ชดเชยมีระยะห่างกันมากเท่าไรก็จะมีผลทำให้ DSP สั่งการให้ชุดควบคุมดึงกระแส เพื่อดึงกระแสเพื่อรักษาแรงดันของระบบมากขึ้นดังนั้นกระแสจึงสูงขึ้น โดยจากรูปกระแสที่ 1.56 A แรงดันที่ชดเชยแล้ว 48.3 Vrms จากรูปคลื่นสัญญาณจะเห็นได้ว่า เมื่อแรงดันในระบบต่ำกว่าที่ Setting ค่าไว้ชุดชดเชยแรงดันจะทำงานคล้ายกับโหลด C โดยจะเห็นได้ว่ารูปคลื่นกระแสจะ Lead รูปคลื่นของแรงดัน



รูปที่ 4.54 สัญญาณหลังการชดเชยแรงดันที่ระบบ 43 Vrms

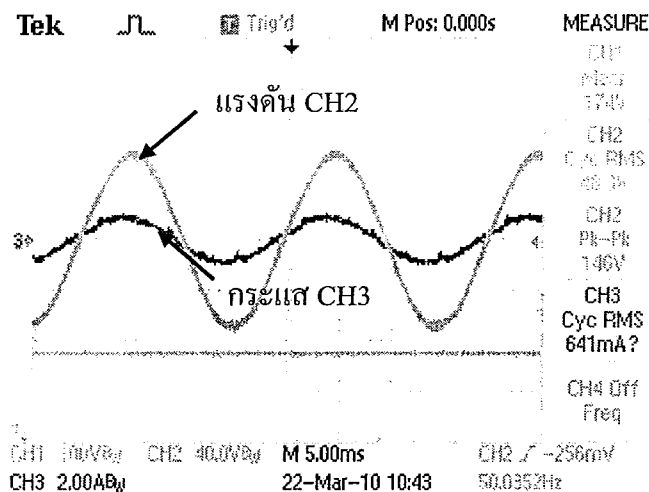


เมื่อทำการเพิ่มแรงดันของระบบลงประมาณ 52 Vrms สัญญาณที่ออกมาดังรูปที่ 4.55 จากสัญญาณที่ได้พบว่า เมื่อปรับแรงดันระบบกับแรงดันที่ชดเชยมีระยะห่างกันมากเท่าไรก็จะมีผลทำให้ DSP สั่งการให้ชุดควบคุมดึงกระแส เพื่อลดกระแสเพื่อรักษาแรงดันของระบบมากขึ้นดังนั้นกระแสจึงสูงขึ้น โดยจากรูปกระแสที่ 0.96 A แรงดันที่ชดเชยแล้ว 48.3 Vrms จากรูปคลื่นสัญญาณจะเห็นได้ว่า เมื่อแรงดันในระบบสูงกว่าที่ Setting ค่าไวชุดชดเชยแรงดันจำทำงานคล้ายกับโหลด L โดยจะเห็นได้ว่ารูปคลื่นกระแสจะ Lag รูปคลื่นของแรงดัน



รูปที่ 4.55 สัญญาณหลังการชดเชยแรงดันที่ระบบ 52 Vrms

จากการทดลอง เมื่อทำการปรับแรงดันระบบให้เข้าใกล้จุดที่ตั้งค่าชดเชยให้มากที่สุดนั้นคือที่ 48 Vrms จะพบว่าในจุดนี้สัญญาณการชดเชยแรงดันแทบจะไม่มีการทำงานเกิดขึ้นและยังพบว่าจุดนี้มีกระแสเกิดขึ้นน้อยที่สุดคือ 0.64 A ดังรูปที่ 4.56 แสดงการปรับแรงดันระบบให้เข้าใกล้จุดชดเชย



รูปที่ 4.56 สัญญาณหลังการชดเชยแรงดันที่ระบบ 48 Vrms



จากการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปออกมาเป็นตารางบันทึกผลได้ดังตารางที่ 4.4 โดยมีรายละเอียดคมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองชุดชดเชยแรงดันแบบขนานที่ระบบ 48Vrms

แรงดันก่อนการชดเชย(Vrms)	แรงดันหลังการชดเชย(rms)	กระแสโหลด(rms)	Vdc-bus
39	48.4	2.65	174
40	48.3	2.42	174
41	48.3	2.17	174
42	48.4	1.85	174
43	48.4	1.79	174
44	48.2	1.42	174
45	48	1.16	174
46	48.1	0.92	174
47	48.2	0.78	174
48	48.2	0.62	174
49	48.1	0.68	174
50	48.1	0.8	174
51	48.1	0.91	174
52	48.1	1.1	174
53	48.2	1.34	174
54	48.2	1.5	174
55	48.2	1.76	174
56	48.1	2.03	174
57	48	2.3	174
58	48.2	2.55	174



สรุป

ในบทนี้แสดงให้เห็นถึงวิธีการออกแบบสร้างชุดควบคุมในส่วนต่างๆ ของ D-STATCOM ในการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบตรวจจับสัญญาณ จะต้องคำนึงถึงค่าอ้างอิงที่อุปกรณ์ควบคุมรับได้ เช่น Board DSP สามารถรับแรงดันสูงสุดไม่เกิน 3.6 โวลต์ ถ้าอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณที่ออกแบบมาลดทอนสัญญาณทางด้าน Input แสดงผลออกมาทาง Output ที่สูงกว่า 3.6 โวลต์ ก็จะทำให้ Board DSP เสียหายได้ อีกสิ่งหนึ่งที่ควรคำนึงถึง คือ คุณภาพสัญญาณที่ออกมา ต้องมีความผิดเพี้ยนน้อยที่สุดเพราะสัญญาณที่ผิดเพี้ยนเมื่อปล่อยไว้หรือมีจำนวนมากจะไปรบกวนการทำงานของระบบควบคุมทำให้ชุดควบคุมทำงานผิดพลาด เพราะเนื่องจากสัญญาณที่ผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นทำให้ระบบควบคุมคิดว่าเป็นความผิดเพี้ยนของระบบ จึงสั่งให้อุปกรณ์ที่ต่ออยู่ทำงาน เพื่อชดเชยค่าความผิดเพี้ยนนั้นไปทำให้ค่าที่ออกมาจากระบบการเกิดความผิดพลาดซึ่งอาจทำให้ทั้งระบบเกิดความเสียหายได้

ในการทดสอบอุปกรณ์ของชุดชดเชยแรงดันนั้นจะต้องทำการทดสอบ เพื่อให้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในระบบจริง การทดสอบจะถูกทดสอบออกเป็นส่วนต่างๆ ซึ่งจะให้ผลและประสิทธิภาพที่ต่างกันเช่นเดียวกัน ในระบบการทำงานของอินเวอร์เตอร์ถ้าต่อชุดกรองสัญญาณที่มีค่าเหนี่ยวนำที่มากไปหรือน้อยไป ก็จะส่งผลให้รูปคลื่น สัญญาณ Sine Wave ที่ออกมานั้นมีความผิดเพี้ยนที่สูงและไม่สวยงาม ในการทดสอบจึงต้องทำการทดสอบที่ค่าเหนี่ยวนำที่ต่อในลักษณะต่างๆ และต่อค่าเหนี่ยวนำในค่าต่างๆ เพื่อทดสอบว่าค่าใดเหมาะสมที่สุดจากการทดลองนี้พบว่ารูปการต่อของการทดลองอินเวอร์เตอร์ที่ 3 นั้นเหมาะสมที่สุดและนอกจากตัวแปรทางฮาร์ตแวร์ที่เหมาะสมยังจะต้องมีตัวแปรทางซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมด้วย จากการทดสอบนี้พบว่า ที่ Sine Wave Mode ค่า $DT = 3.89$ ที่ความถี่ 10 kHz มีความเหมาะสมที่สุด

เมื่อทำการสร้าง D-STATCOM ขึ้นมาแล้วนั้น จึงนำชุดควบคุมดังกล่าวไปทดสอบกับระบบไฟฟ้ากำลัง โดยการสร้างสภาวะความผิดเพี้ยนในระบบขึ้นเพื่อทำให้แรงดันตกชั่วครู่และทำการแก้ปัญหาโดยการนำชุดควบคุม ไปทำการชดเชยแรงดันให้ระบบมีความปกติ ซึ่งจะแสดงในบทที่ 5 ต่อไป