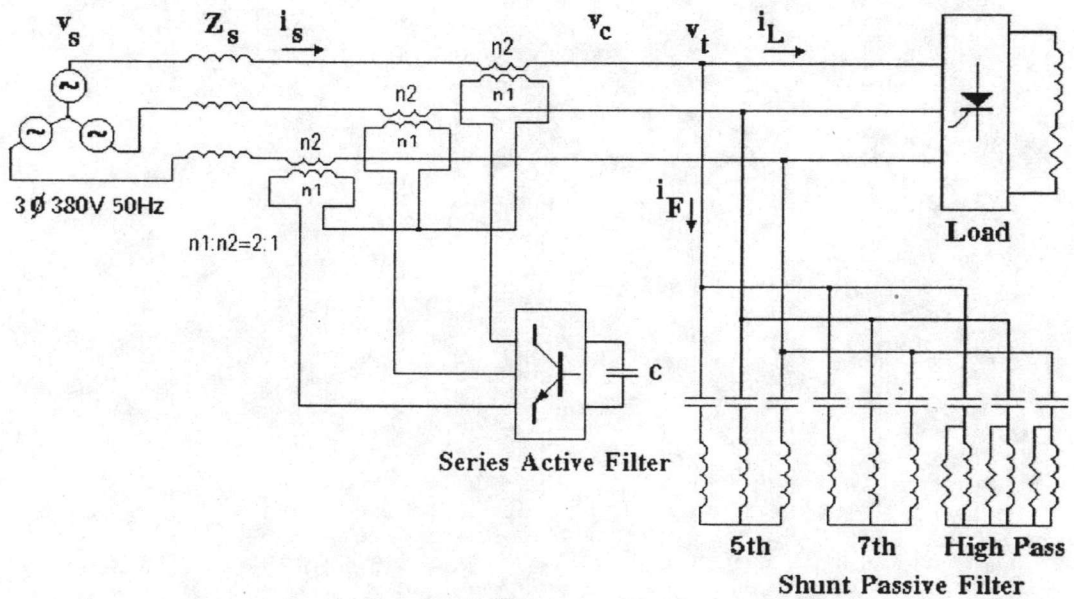
บทที่ 5

โครงสร้างฮาร์ดแวร์และส่วนควบคุม

ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะโครงสร้างทางด้านฮาร์ดแวร์ และลักษณะการติดตั้งของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรม สำหรับโครงสร้างโดยรวมของระบบสามารถที่จะแสดงได้ ดังรูปที่ 5.1. โดยจะเห็นได้ว่าลักษณะการต่อของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรม จะถูกต่ออนุกรมอยู่ระหว่างแหล่งจ่ายและโหลด โดยอาศัยหม้อแปลงแรงดันเฟสเดียว 3 ตัวเป็นตัวแยกโดดทางไฟฟ้า นอกจากนี้แล้วในระบบก็จะประกอบด้วยวงจรกรองกำลังแบบพาสซีฟ สำหรับรองรับกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 5, 7 และฮาร์มอนิกในอันดับสูงอื่น ๆ โดยลักษณะการต่อของวงจรกรองกำลังแบบพาสซีฟนี้จะต่อขนานกับโหลด และตำแหน่งจะอยู่ระหว่างวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรมและโหลด



รูปที่ 5.1 โครงสร้างของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรม

ส่วนของวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรม จะอาศัยภาคอินเวอร์เตอร์ในการสร้างแรงดันตามที่คำนวณได้ แล้วส่งผ่านหม้อแปลงแรงดันจากด้านปฐมภูมิไปยังด้านทุติยภูมิ ซึ่งต่ออนุกรมอยู่กับระบบของการไฟฟ้า โดยอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงระหว่างขดด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิเป็น 2:1 ในส่วนของอินเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้งานจะเป็นอินเวอร์เตอร์ชนิดที่ไม่ต้องใช้ส่วนป้อนแรงดันไฟตรง ดังที่ได้กล่าวถึงรายละเอียดไว้แล้วในบทก่อน

ฮาร์ดแวร์ของส่วนอินเวอร์เตอร์

ในส่วนฮาร์ดแวร์ของส่วนอินเวอร์เตอร์จะประกอบด้วย

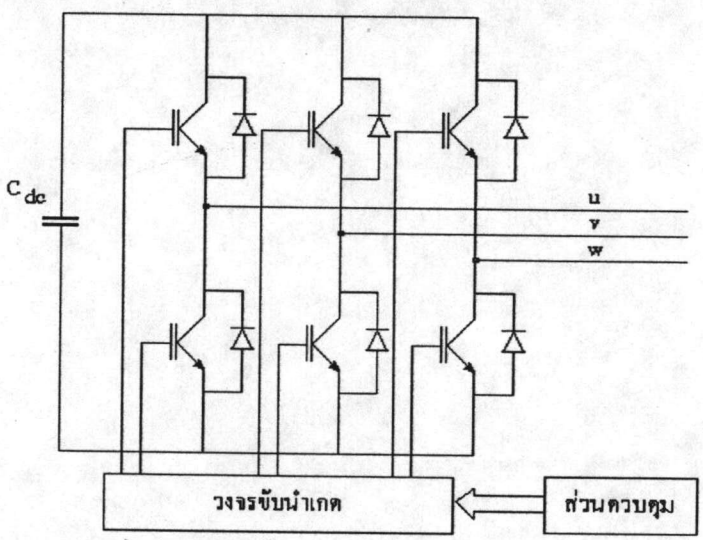
1. ภาคกำลัง ในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1.1 ภาคกำลังด้านเข้า จะประกอบไปด้วย

- แหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์แบบบอร์ดเดียว
- แหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับส่วนขับนำเกต
- แหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับส่วนตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ

1.2 ภาคกำลังด้านออก จะประกอบไปด้วย

- ชุดขับนำเกตของ IGBT 6 ชุด ซึ่ง 3 ชุดบนจะใช้แหล่งจ่ายแยกกัน และ 3 ชุดล่างจะใช้แหล่งจ่ายชุดเดียวกัน
- ชุดสวิตช์กำลัง 6 ตัว ซึ่งจะใช้ IGBT module แบบ 1 กิ่ง(2 ตัวบน-ล่าง) 3 ตัว โดยรูปแบบการจัดวางอุปกรณ์สวิตช์กำลังสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.2



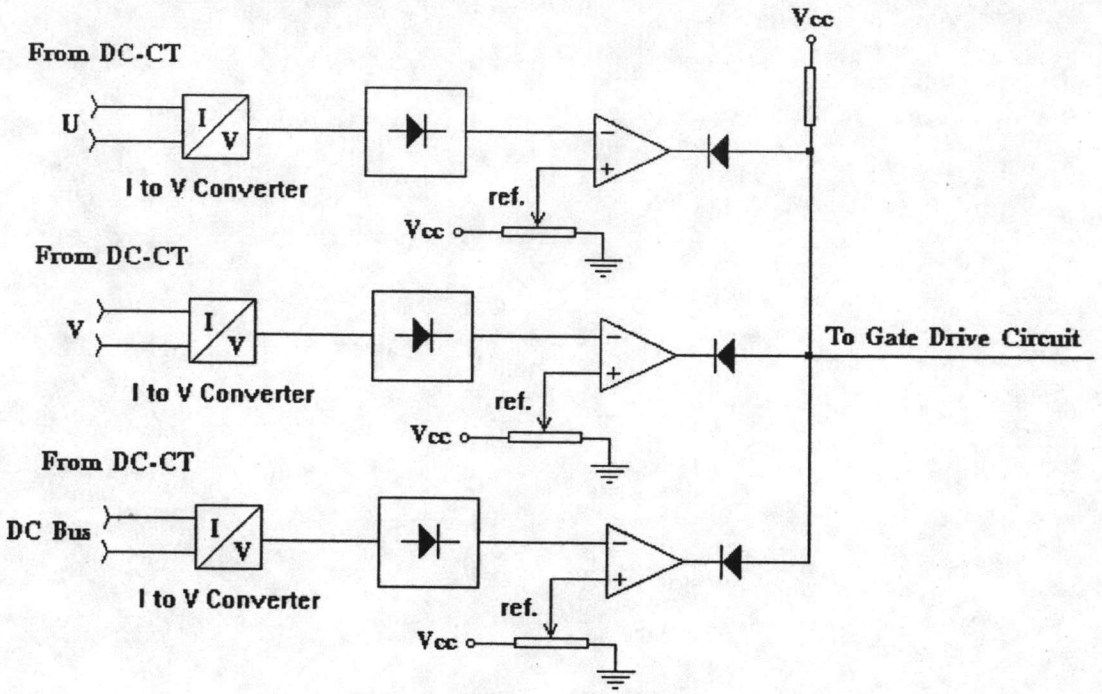
รูปที่ 5.2 รูปแบบการจัดวางอุปกรณ์สวิตช์กำลังของอินเวอร์เตอร์

2. ภาคการตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ และส่วนป้องกัน จะประกอบไปด้วย

2.1 ส่วนตรวจจับสัญญาณกระแสเพื่อป้องกันกระแสเกิน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.3 โดยชุดตรวจจับสัญญาณกระแสนี้จะทำการวัดกระแสขาออกของอินเวอร์เตอร์ 2 เฟส โดยใช้ตัวตรวจจับกระแสตรง(DC-CT) จากนั้นนำค่ากระแสที่วัดได้มาแปลงเป็นสัญญาณแรงดัน ผ่านวงจรเรียงกระแส แปลงเป็นสัญญาณกระแสตรง แล้วนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสมีค่าเกินพิกัดที่กำหนดไว้ (ตั้งค่าพิกัดกระแสที่ 5 A) นอกจากนี้ยังทำการวัดค่ากระแส

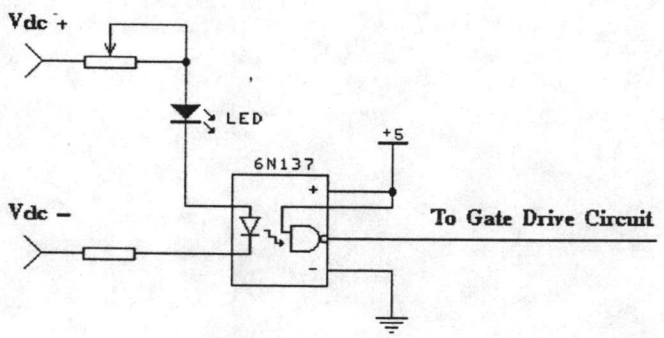
I16998686

ของบัสไฟตรง เพื่อป้องกันกระแสเกินพิกัดของสวิตช์กำลัง ในกรณีที่เกิดกระแสเกินค่าพิกัดที่ตั้งไว้ วงจรส่วนนี้จะส่งสัญญาณไปตัดการทำงานของส่วนขับนำเกต และแสดงสถานะแก่ผู้ใช้งาน



รูปที่ 5.3 ส่วนตรวจจับสัญญาณกระแสเพื่อป้องกันกระแสเกิน

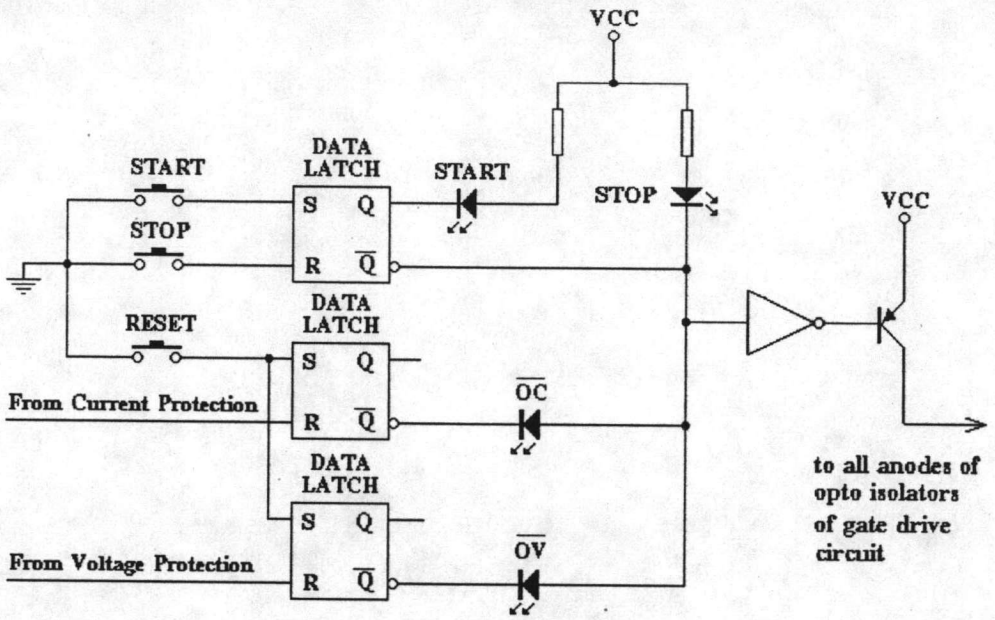
2.2 ภาคตรวจจับแรงดันเพื่อป้องกันแรงดันเกิน แสดงได้ดังรูปที่ 5.4 โดยที่ชุดตรวจจับแรงดันเกินนี้จะรับค่าแรงดันจากบัสไฟตรงมาผ่านตัวต้านทานเพื่อจำกัดกระแส เมื่อค่าแรงดันจากบัสไฟตรงมีค่าสูงขึ้น กระแสที่ไหลผ่าน opto isolator ก็จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อค่าแรงดันบัสไฟตรงมีค่าสูงเกินค่าพิกัดที่ตั้งไว้ ก็จะทำให้กระแสที่ไหลผ่าน opto isolator มีค่าสูงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของ opto isolator เพื่อไปหยุดการทำงานของส่วนขับนำเกต และแสดงสถานะแก่ผู้ใช้งาน



รูปที่ 5.4 ภาคตรวจจับแรงดันเพื่อป้องกันแรงดันเกิน

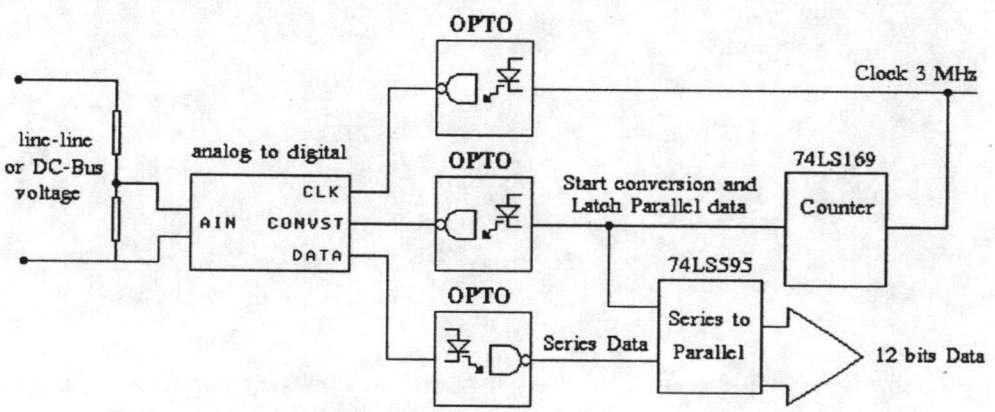
2.3 ส่วนควบคุมสัญญาณขับนำเกต ส่วนนี้จะรับคำสั่งจากผู้ใช้งานในการสั่งให้วงจรขับนำเกตทำงานหรือหยุดขับนำเกต และรับสัญญาณจากส่วนป้องกันกระแสเกินและแรงดันเกิน

มาควบคุมให้วงจรขับนำเกตหยุดขับนำเกต และแสดงสถานะการทำงานของวงจรขับนำเกตแก่ผู้ใช้งาน โดยวงจรในส่วนควบคุมสัญญาณขับนำเกตนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.5



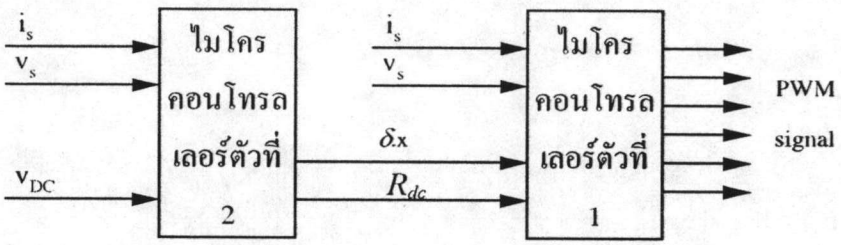
รูปที่ 5.5 ส่วนควบคุมสัญญาณขับนำเกต

2.4 ส่วนตรวจจับแรงดันจากแหล่งจ่ายและแรงดันบัสไฟตรง ในส่วนนี้จะทำการรับค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายหรือแรงดันบัสไฟตรง มาทำการทอนระดับแรงดันให้มีค่าระดับแรงดันที่ต่ำลง จากนั้นจะทำการแปลงค่าสัญญาณแอนะลอกไปอยู่ในรูปแบบของสัญญาณดิจิตอลแบบอนุกรม จากนั้นจะทำการแยกโดดทางไฟฟ้าโดยใช้ opto isolator การที่สัญญาณข้อมูลดิจิตอลมีลักษณะเป็นแบบอนุกรมทำให้การแยกโดดทางไฟฟ้าด้วย opto isolator นั้น สามารถทำได้โดยใช้จำนวน opto isolator น้อยกว่าข้อมูลดิจิตอลแบบขนาน ข้อมูลดิจิตอลแบบอนุกรมที่ส่งผ่านจะถูกนำมาแปลงเป็นข้อมูลดิจิตอลแบบขนานเพื่อส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ส่วนตรวจจับแรงดันจากแหล่งจ่ายและแรงดันบัสไฟตรง

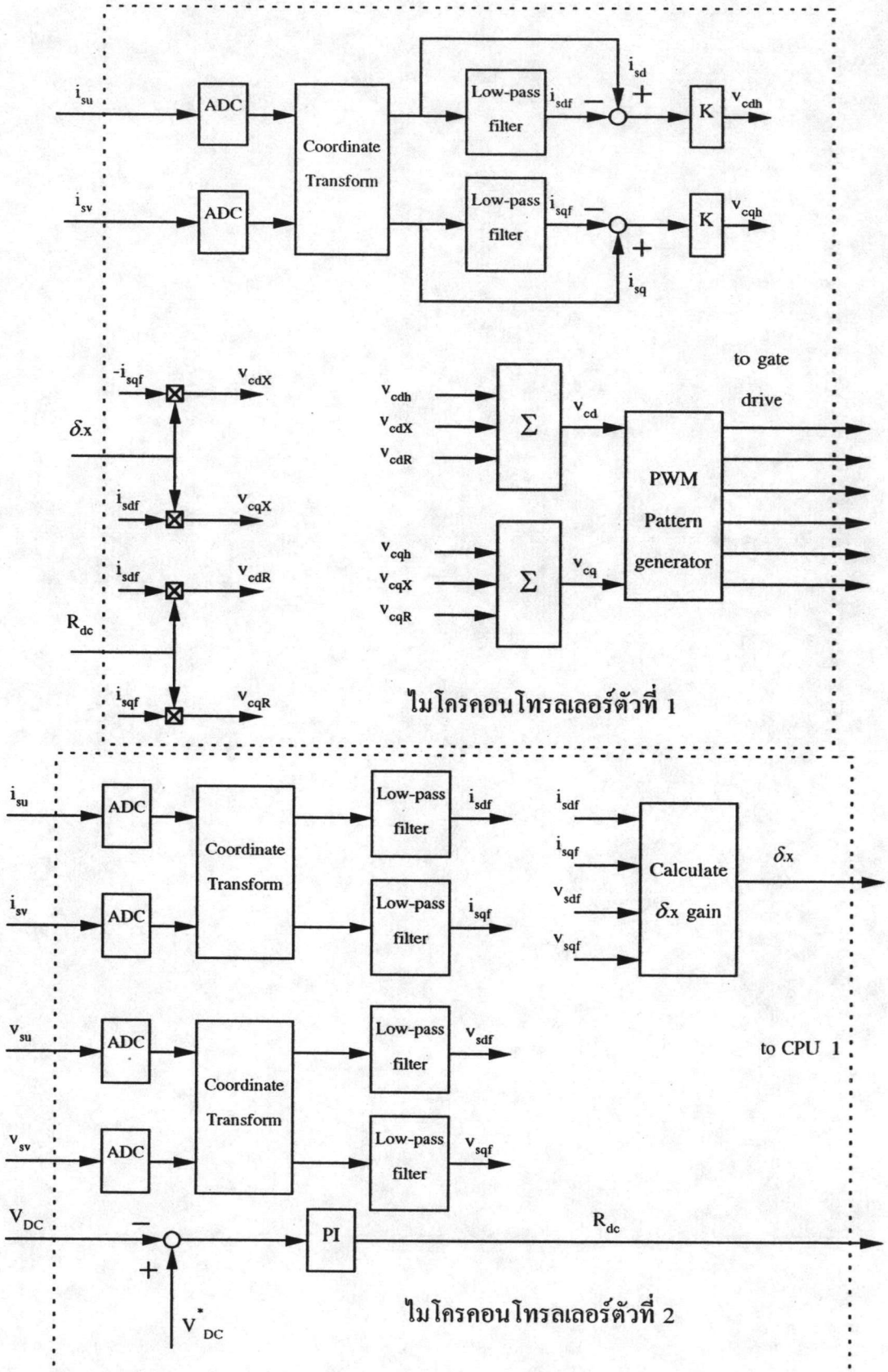
3. ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบบอร์ดเดียว 2 ตัว มีการเชื่อมต่อสัญญาณแสดงดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ส่วนควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์แบบบอร์ดเดียว

สำหรับการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนการควบคุมของระบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.8 โดยที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1 จะทำการอ่านค่ากระแสจากแหล่งจ่าย i_{su} และ i_{sv} แล้วแปลงค่าไปอยู่บนแกนอ้างอิงซึ่งหมุนไปด้วยความถี่ 50 เฮิรตซ์ จากนั้นจะคำนวณหาองค์ประกอบความถี่หลักมูล (i_{sdf}, i_{sqf}) และองค์ประกอบฮาร์มอนิก (i_{sdh}, i_{sqh}) โดยใช้วงจรกรองผ่านต่ำที่ได้กล่าวในบทที่ 2 ค่ากระแสส่วนฮาร์มอนิกจะถูกนำมาใช้คำนวณหาค่าแรงดันชดเชยสำหรับลดกระแสฮาร์มอนิก นอกจากนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1 ยังรับค่ารีแอกแตนซ์ δ.x และค่าความต้านทาน R_{dc} จากไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 มาทำการคำนวณค่าแรงดันชดเชยสำหรับรักษาระดับแรงดันที่ตกคร่อมโหลดให้มีค่าคงที่ และคำนวณค่าแรงดันสำหรับรักษาระดับแรงดันบัสไฟตรง จากนั้นนำค่าแรงดันทั้ง 3 ส่วนมารวมกันและสร้างสัญญาณปรับความกว้างพัลส์ (PWM) สำหรับขับนำเกตของอินเวอร์เตอร์โดยอาศัยหลักการทางสเปซเวกเตอร์ของแรงดัน(voltage space vector) (โสภณ สมัยรัฐ, 2538) ซึ่งจะทำให้เราสามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สร้างสัญญาณ PWM นี้ได้โดยตรง (ดูภาคผนวก ข)

การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 จะทำการอ่านค่ากระแสจากแหล่งจ่าย i_{su} และ i_{sv} และค่าแรงดันจากแหล่งจ่าย v_{su} และ v_{sv} แล้วแปลงค่าไปอยู่บนแกนอ้างอิงซึ่งหมุนไปด้วยความถี่ 50 เฮิรตซ์ จากนั้นจะคำนวณหาค่ากระแสและค่าแรงดันในส่วนองค์ประกอบความถี่หลักมูล (i_{sdf}, i_{sqf}, v_{sdf}, v_{sqf}) จากนั้นนำค่ามาทำการคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ δ.x เพื่อทำการชดเชยระดับแรงดันตกคร่อมโหลดให้มีค่าคงที่ สำหรับในส่วนควบคุมแรงดันบัสไฟตรงนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 จะทำการอ่านค่าแรงดันบัสไฟตรงเข้ามา และนำมาผ่านส่วนควบคุม PI เพื่อคำนวณหาค่าความต้านทาน R_{dc} สำหรับรักษาค่าระดับแรงดันไฟตรงให้มีค่าคงที่ จากนั้นจึงทำการส่งค่ารีแอกแตนซ์ δ.x และความต้านทาน R_{dc} ที่ได้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1



รูปที่ 5.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ใน
ระบบวงจรกรองกำลังแอกทีฟแบบอนุกรม

สำหรับส่วนของซอฟต์แวร์สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1 เราสามารถที่จะเขียนแสดงในลักษณะของ PDL (Program Development Laguage) ได้ดังโมดูล Harmonic ที่แสดงข้างล่างนี้ และสามารถแสดงไดอะแกรมเวลาได้ดังรูปที่ 5.9 โดยซอฟต์แวร์โมดูลนี้จะใช้การอินเทอรัปต์ทุก ๆ 100 ไมโครวินาที และโปรแกรมในการบริการอินเทอรัปต์จะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 79 ไมโครวินาที ส่วนของซอฟต์แวร์สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 สามารถที่จะเขียนแสดงในลักษณะของ PDL ได้ดังโมดูล Voltage และสามารถแสดงไดอะแกรมเวลาได้ดังรูปที่ 5.10 โดยซอฟต์แวร์โมดูลนี้จะใช้การอินเทอรัปต์ทุกๆ 166.6 ไมโครวินาที และโปรแกรมในการบริการอินเทอรัปต์จะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 99 ไมโครวินาที (รายละเอียดซอฟต์แวร์โมดูลทั้งสองแสดงในภาคผนวก จ)

****

HARMONIC SUPPRESSION PROGRAM (HARMONIC)

****

MODULE : HARMONIC

Initialize

Initialize all variables

Initialize all timers and enable time interrupt

Loop here and wait for interrupt only

Switching frequency Interrupt Service Routine

Read source current

Input I_{su} , I_{sv} from built-in A/D

Convert to rotating d-q axis (I_{sd} , I_{sq})

Find fundamental and harmonic components

Low-pass filter I_{sd} , I_{sq} to find I_{sdf} , I_{sqf}

$I_{sd} - I_{sdf} = I_{sdh}$

$I_{sq} - I_{sqf} = I_{sqh}$

Calculate harmonic compensating voltage (V_{cdh} , V_{cqh})

Calculate fundamental compensating voltage

Input δx and R_{dc} gain from CPU 2 (digital input)

Calculate V_{cdf} , V_{cqf}

Calculate compensating voltage (V_{cd} ,V_{cq})

Generate PWM signal

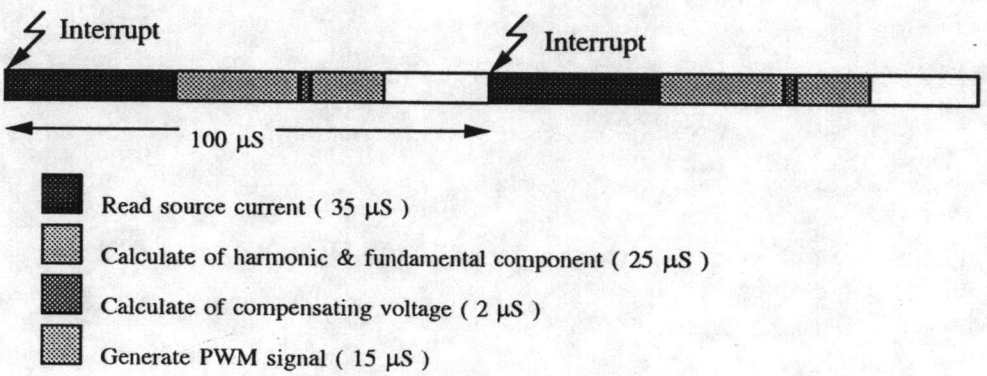
Find sector of compensating voltage vector

Calulate timing of switching pattern

Return

END HARMONIC

****



รูปที่ 5.9 ไดอะแกรมเวลาของซอฟต์แวร์โมดูล Harmonic

****

VOLTAGE COMPENSATING PROGRAM (VOLTAGE)

****

MODULE : VOLTAGE

Initialize

Initialize all variables

Initialize all timers and enable time interrupt

Loop here and wait for interrupt only

Switching frequency Interrupt Service Routine

Read source Voltage

Input V_{su} , V_{sv} from external A/D

Convert to rotating d-q axis (V_{sd} ,V_{sq})

Read source current

Input I_{su} , I_{sv} from built-in A/D

Convert to rotating d-q axis (I_{sd} ,I_{sq})

Find fundamental component of source voltage

Low-pass filter V_{sd} , V_{sq} to find V_{sdf} , V_{sqf}

Find fundamental component of source current

Low-pass filter I_{sd} , I_{sq} to find I_{sdf} , I_{sqf}

Calculate reactance x and sign

Read DC bus voltage V_{dc}

Input V_{dc} from external A/D

PI controller to control DC bus voltage

Calculate voltage error

Calculate PI output (R_{dc} gain)

Send all gains to CPU 1

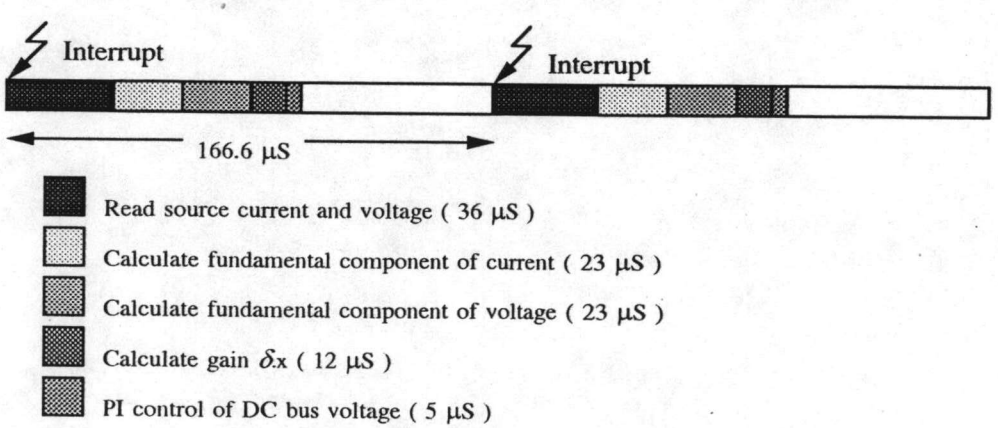
Output δx gain to digital output

Output R_{dc} gain to digital output

Return

END VOLTAGE

****



รูปที่ 5.10 ไดอะแกรมเวลาของซอฟต์แวร์โมดูล Voltage