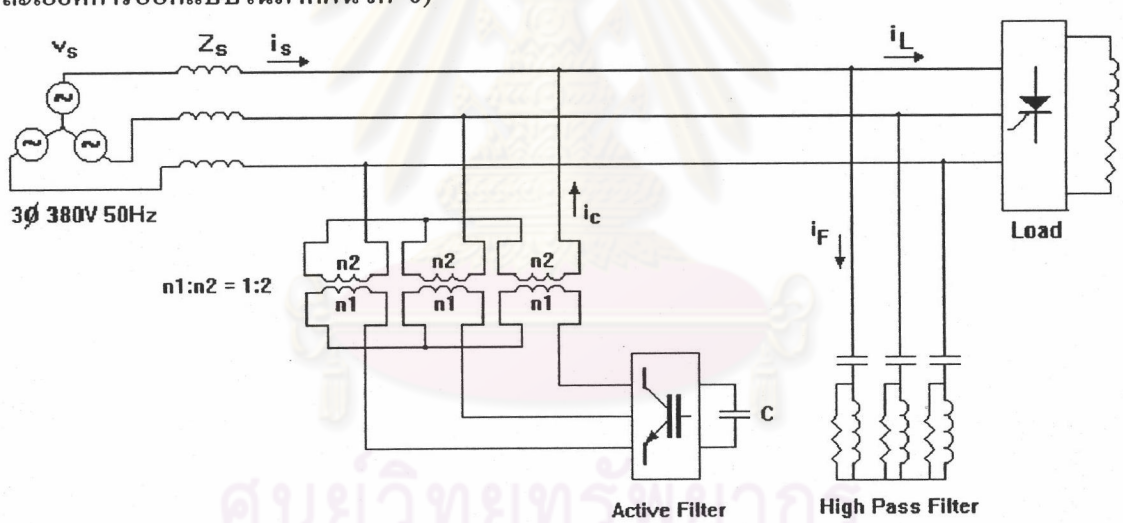
บทที่ 5

โครงสร้างฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะโครงสร้างทางด้านฮาร์ดแวร์ และลักษณะการติดตั้งของวงจรกรองกำลังแอกทีฟขนานแบบไฮบริด สำหรับโครงสร้างโดยรวมของระบบ(โครงสร้างแบบที่ 2) สามารถที่จะแสดงได้ ดังรูปที่ 5.1 โดยจะเห็นได้ว่าทั้งวงจรกรองพาสซีฟและวงจรกรองแอกทีฟจะถูกต่อขนานอยู่ระหว่างแหล่งจ่ายและโหลด สำหรับวงจรกรองแอกทีฟจะอาศัยค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลงแรงดันเฟสเดียว 3 ตัวเป็นตัวเชื่อมต่อกับระบบกำลังของการไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่ใช้ในการสร้างกระแสชดเชยตามที่คำนวณได้ในวงจรกรองแอกทีฟจะเป็นอินเวอร์เตอร์ชนิดที่ไม่ต้องใช้ส่วนป้อนแรงดันไฟตรง(กิติพจน์ สิทธิเลิศพิศาล, 2539)(ดูรายละเอียดการออกแบบในภาคผนวก ข)



รูปที่ 5.1 โครงสร้างของวงจรกรองกำลังแอกทีฟขนานแบบไฮบริด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1 ฮาร์ดแวร์ของอินเวอร์เตอร์

ในส่วนฮาร์ดแวร์ของอินเวอร์เตอร์จะประกอบไปด้วย

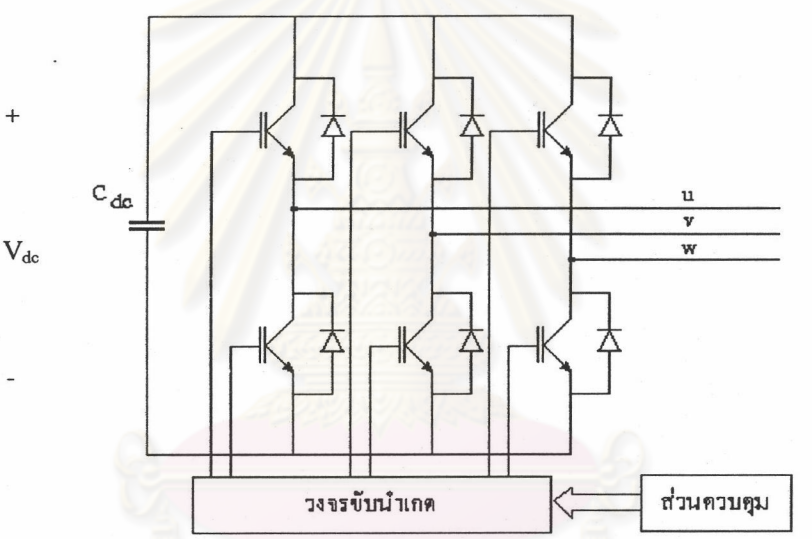
1. ภาคกำลัง ในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ
   1.1 แหล่งจ่ายไฟตรง ประกอบไปด้วย
      - แหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์แบบบอร์ดเดียว
      - แหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

- แหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับส่วนควบคุมกระแสแบบฮีสเตอริซีส
- 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

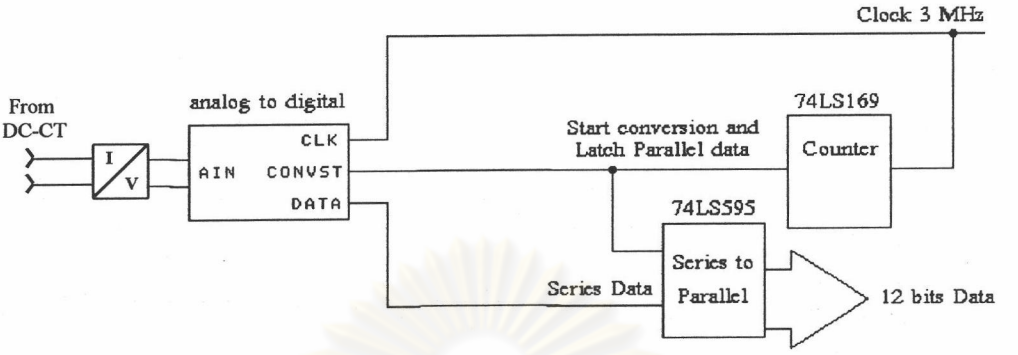
โดยรูปแบบการจัดวางอุปกรณ์สวิตช์กำลังสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 รูปแบบการจัดวางอุปกรณ์สวิตช์กำลังของอินเวอร์เตอร์

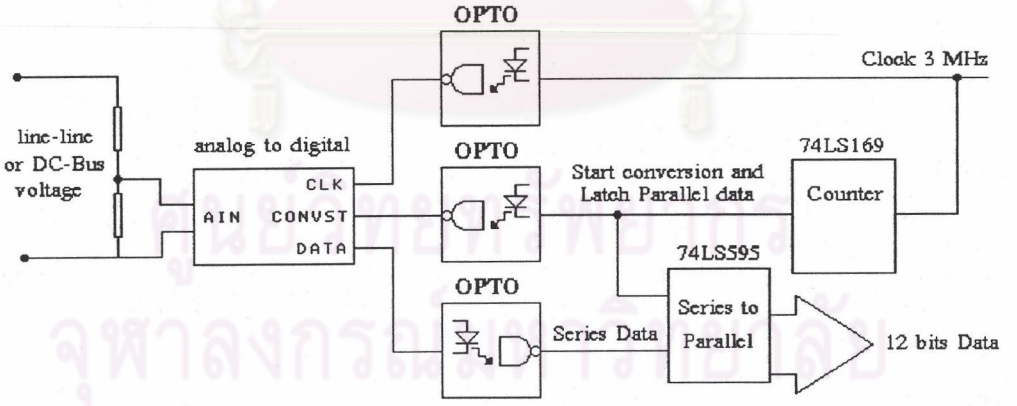
2. ภาคการตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ จะประกอบไปด้วย

2.1 ส่วนตรวจจับสัญญาณกระแสเพื่อใช้คำนวณหาค่ากระแสฮาร์มอนิก สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.3 ชุดตรวจจับกระแสจะทำการวัดกระแสทางด้านแหล่งจ่ายของระบบกำลัง โดยใช้ตัวตรวจจับกระแสตรง (DC-CT) (ใช้ปรากฏการณ์ฮอลล์) จากนั้นนำค่ากระแสที่วัดได้มาแปลงเป็นสัญญาณแรงดันและผ่านเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณจากแอนะลอกเป็นดิจิตอลเพื่อส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป



รูปที่ 5.3 ส่วนตรวจจับสัญญาณกระแส

2.2 ส่วนตรวจจับแรงดันจากแหล่งจ่ายและแรงดันบัสไฟตรง ในส่วนนี้จะทำการรับค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายหรือแรงดันบัสไฟตรง มาทำการทอนระดับแรงดันให้มีค่าระดับแรงดันที่ต่ำลง จากนั้นจะทำการแปลงค่าสัญญาณแอนะลอกไปอยู่ในรูปแบบของสัญญาณดิจิตอลแบบอนุกรม จากนั้นจะทำการแยกโดดทางไฟฟ้าโดยใช้ opto isolator การที่สัญญาณข้อมูลดิจิตอลมีลักษณะเป็นแบบอนุกรมทำให้การแยกโดดทางไฟฟ้าด้วย opto isolator นั้น สามารถทำได้โดยใช้จำนวน opto isolator น้อยกว่าข้อมูลดิจิตอลแบบขนาน ข้อมูลดิจิตอลแบบอนุกรมที่ส่งผ่านจะถูกนำมาแปลงเป็นข้อมูลดิจิตอลแบบขนานเพื่อส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 5.4



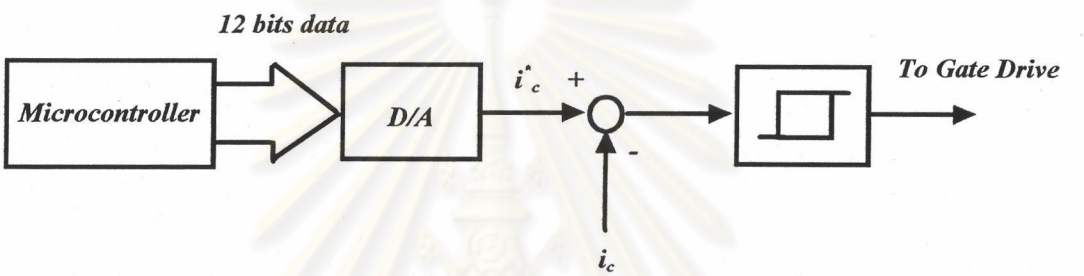
รูปที่ 5.4 ส่วนตรวจจับแรงดันจากแหล่งจ่ายและแรงดันบัสไฟตรง

3. ภาคการควบคุม ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย

- ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบบอร์ดเดียว 1 บอร์ด
- วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

- ส่วนควบคุมกระแสแบบฮีสเตอริซีส

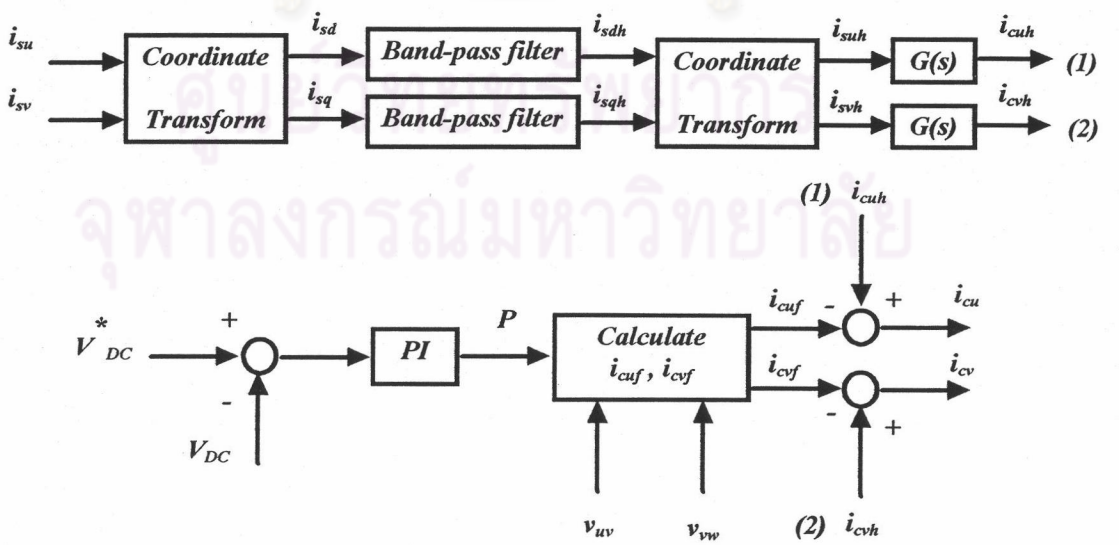
ฮาร์ดแวร์ของภาคการควบคุมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.5 ในส่วนนี้จะเริ่มจากการคำนวณหาค่ากระแสที่ต้องการชดเชยโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ (ดูซอฟต์แวร์ที่ใช้คำนวณในหัวข้อ5.2) จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณกระแสที่ต้องการชดเชยซึ่งเป็นสัญญาณแบบดิจิตอลไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก สัญญาณแอนะลอกที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังส่วนควบคุมกระแสแบบฮีสเตอริซีสซึ่งจะทำการตรวจจับกระแสขาออกของอินเวอร์เตอร์ 2 เฟสมาทำการเปรียบเทียบเพื่อให้ได้สัญญาณควบคุมการตัดต่อสวิตช์ สัญญาณควบคุมดังกล่าวจะถูกส่งต่อไปยังส่วนขับนำเกตเพื่อควบคุมการตัดต่อของสวิตช์กำลังให้จ่ายกระแสชดเชยตามต้องการต่อไป



รูปที่ 5.5 ฮาร์ดแวร์ของภาคการควบคุมกระแส

5.2 ซอฟต์แวร์ของวงจรกรองแอกทีฟ

ในส่วนของซอฟต์แวร์ที่ใช้คำนวณหาค่ากระแสชดเชยที่ต้องการสามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในระบบวงจรกรองแอกทีฟ

จากบล็อกไดอะแกรมอธิบายได้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการอ่านค่ากระแสทางด้านแหล่งจ่ายจากส่วนตรวจจับสัญญาณกระแส (i_{su} , i_{sv}) แล้วทำการแปลงค่าไปพิจารณาบนแกนอ้างอิงซึ่งหมุนไปด้วยความเร็วเท่ากับความถี่หลักมูล (50 Hz) (i_{sd} , i_{sq}) จากนั้นจะคำนวณหาค่าองค์ประกอบฮาร์มอนิก (i_{sdh} , i_{sqh}) โดยอาศัยวงจรกรองผ่านแถบตามที่ได้ออกแบบในบทที่ 3 เพื่อให้ได้องค์ประกอบฮาร์มอนิกที่พิจารณาบนแกนอ้างอิงในระบบสามเฟส (i_{suh} , i_{svh}) จะต้องทำการแปลงค่ากลับมาพิจารณาบนแกนนิ่ง เมื่อนำสัญญาณที่ได้นี้คูณกับฟังก์ชันควบคุม G(s) ก็จะได้ค่ากระแสชดเชยสำหรับกำจัดฮาร์มอนิก (i_{cuh} , i_{cvh}) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นอินเวอร์เตอร์ชนิดที่ไม่ต้องใช้ส่วนป้อนแรงดันไฟตรง ดังนั้นจึงต้องมีส่วนการคำนวณหาค่ากระแสชดเชยสำหรับควบคุมแรงดันบัสไฟตรงโดยจะทำการอ่านค่าแรงดันบัสไฟตรงจากส่วนตรวจจับแรงดัน (V_{DC}) และนำมาผ่านส่วนควบคุม PI เพื่อคำนวณหาค่ากำลังงาน (P) สำหรับรักษาระดับแรงดันไฟตรงให้มีค่าคงที่ จากค่ากำลังงานที่ได้และค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายที่ตรวจจับเข้ามา (v_{uv} , v_{vw}) จะสามารถคำนวณหาค่ากระแสชดเชยสำหรับควบคุมแรงดันบัสไฟตรง (i_{cuf} , i_{cvf}) ได้ (ดูรายละเอียดการออกแบบและการคำนวณในภาคผนวก ข) เมื่อนำค่ากระแสชดเชยทั้งสองส่วนรวมเข้าด้วยกันก็จะได้ค่ากระแสชดเชยตามที่ต้องการเพื่อส่งให้กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกและส่วนควบคุมกระแสแบบฮีสเตอริซีสต่อไป

ซอฟต์แวร์ทั้งหมดสามารถเขียนแสดงเป็น PDL (Program Development Language) ได้ดังต่อไปนี้ และสามารถแสดงไดอะแกรมเวลาได้ดังรูปที่ 5.7 โดยซอฟต์แวร์โมดูลนี้จะใช้การอินเทอรัปต์ทุก ๆ 62.5 ไมโครวินาที และโปรแกรมในการบริการอินเทอรัปต์จะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 56 ไมโครวินาที

****

A HYBRID PARALLEL ACTIVE POWER FILTER FOR HARMONIC SUPPRESSION PROGRAM

****

MODULE : HYBRID

Initialize

Initialize all variables

Initialize all timers and enable timer interrupt

Loop here and wait for interrupt only

Switching frequency Interrupt Service Routine

Read source current (i_{su} , i_{sv})

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

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

Find low-order harmonic components

Band-pass filter i_{sd} , i_{sq} to find i_{sdh} , i_{sqh}

Convert to stationary u-v axis (i_{suh} , i_{svh})

Calculate compensating current for harmonic suppression (i_{cuh} , i_{cvh})

$i_{cuh} = G(s)i_{suh}$

$i_{cvh} = G(s)i_{svh}$

Read DC bus voltage (V_{DC})

Input V_{DC} from external A/D

Read source voltage (v_{uv} , v_{vw})

Input v_{uv} , v_{vw} from external A/D

PI controller to control DC bus voltage

Calculate voltage error

Calculate PI output (P)

Calculate compensating current for DC bus control (i_{cuf} , i_{cvf})

Calculate compensating current (i_{cu} , i_{cv})

$i_{cu} = i_{cuh} - i_{cuf}$

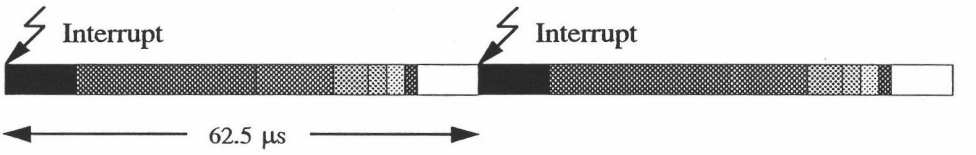
$i_{cv} = i_{cvh} - i_{cvf}$

Send compensating current to D/A

Return

END HYBRID

****



Read source current and voltage (10 μs)

Find low-order harmonic component (24 μs)

Calculate compensating current for harmonic suppression (12 μs)

PI control of DC bus voltage (5 μs)

Calculate compensating current for DC bus control (2 μs)

Calculate compensating current (2 μs)

Send compensating current to D/A (1 μs)

รูปที่ 5.7 ไดอะแกรมเวลาของซอฟต์แวร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย