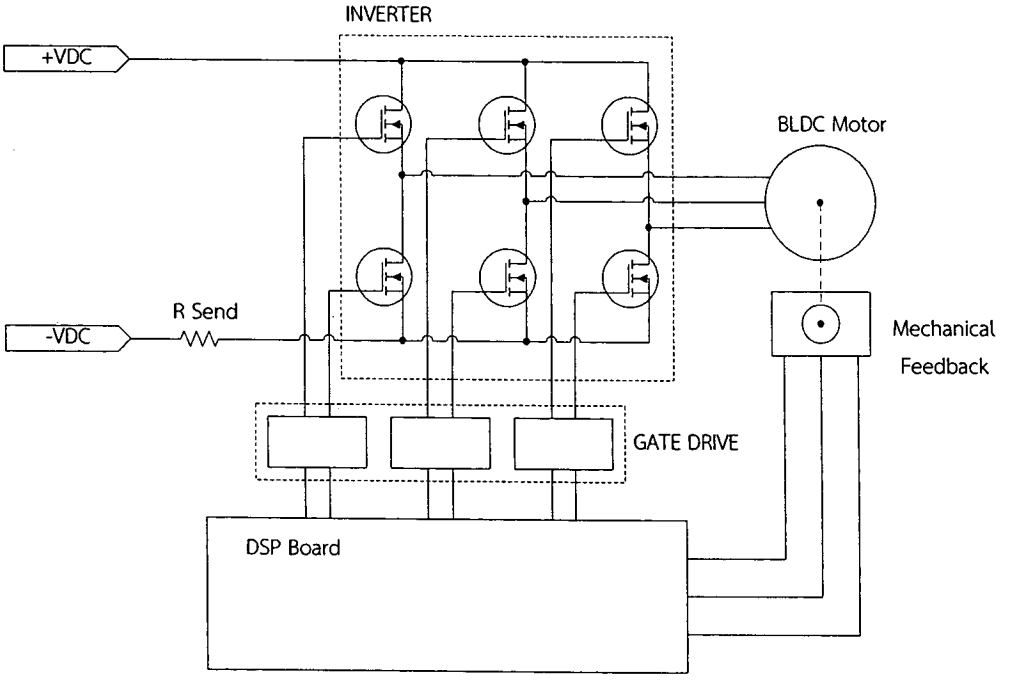
บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

บทนี้เป็นการนำเสนอขั้นตอนและวิธีการดำเนินการในส่วนต่างๆ ภายในงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบด้วยการจำลองระบบการควบคุมของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (BLDC) ด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULINK การออกแบบระบบควบคุมของมอเตอร์ BLDC ซึ่งไดอะแกรมรวมของระบบควบคุมแสดงดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ไดอะแกรมระบบควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปลงถ่านด้วยระบบ DSP

3.1 การจำลองระบบควบคุมมอเตอร์ Brushless DC

เมื่อเข้าใจหลักการทำงานของมอเตอร์ BLDC จากในบทที่ผ่านมา ขั้นตอนเพื่อพิสูจน์ถึงหลักการทำงานคือ การจำลองการทำงานของระบบขับเคลื่อนของมอเตอร์ BLDC ตามทฤษฎี เนื่องจากการทำการจำลองนั้นเป็นกระบวนการที่นำไปสู่การสร้างระบบควบคุม อีกทั้งเป็นการจำลองบนคอมพิวเตอร์ที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ หลังจากจำลองการทำงาน และได้ผลตามที่ต้องการ

จึงนำไปสู่การสร้างระบบที่ใช้ในการควบคุมจริง โปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงาน คือ โปรแกรม MATLAB/SIMULINK

การสร้างแบบจำลองนั้นจะพิจารณาส่วนประกอบทั้งหมดของระบบ จากการกล่าวถึงในทฤษฎี ซึ่งสามารถแยกส่วนประกอบออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

1. ระบบแหล่งจ่าย (Power supply system)

ระบบแหล่งพลังงานของมอเตอร์จะเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรง ดังนั้นวงจรการทำงานจึงเป็นวงจรเรียงกระแส (Rectifier) เพื่อแปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับจากระบบไฟ 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ เป็นไฟฟ้ากระแสตรง

2. ระบบอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส (3-phase inverter system)

ระบบอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ในการแปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ที่สมารถควบคุมได้ จากทฤษฎีการควบคุมการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ BLDC นั้น จะต้องจ่ายพลังงาน โดยใช้อินเวอร์เตอร์แบบ 3 สามเฟส เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้แต่ละเฟสของมอเตอร์

3. ระบบการป้องกันเมื่อทำการเบรก หรือหยุดมอเตอร์

เนื่องจากในขณะที่ทำการเบรก หรือหยุดมอเตอร์ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในสายเชื่อมโยงจะมีขนาดที่สูงขึ้น เนื่องจากความเร็วที่ลดลงมอเตอร์จะคืนพลังงานกลับสู่ระบบ ซึ่งหากไม่มีการป้องกัน จะทำให้คาปาซิเตอร์ที่ทำหน้าในการกรองแรงดันของกระแสตรงเกิดความเสียหาย อันเนื่องมากจากขนาดของแรงดันที่สูงขึ้น

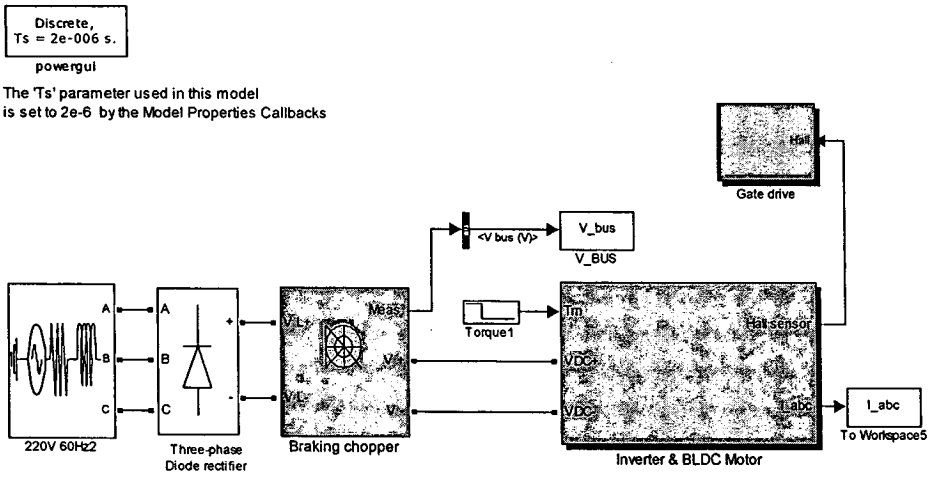
4. มอเตอร์ BLDC (Blush less DC motor)

แบบจำลองของมอเตอร์ BLDC นั้นมีการสร้างสำเร็จอยู่ภายในโปรแกรม สามารถนำมาใช้งานได้ทันที ซึ่งเป็นความสะดวกอย่างหนึ่งของโปรแกรม MATLAB/SIMULINK เนื่องจากโปรแกรมดังกล่าวนั้นถูกนำมาใช้งานในการแก้ปัญหา ในงานไฟฟ้าในหลายๆเรื่องรวมถึงระบบควบคุมของมอเตอร์ชนอดต่างๆ รวมถึงมอเตอร์ BLDC

5. วงจรขับเกต (Gate drive)

การทำงานของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสจะต้องมีวงจรกควบคุมการทำงานของสวิตช์แต่ละตัว ซึ่งภายในจะปรกอบด้วยสวตช์ทั้งหมด 6 ตัว สวิตช์ที่ใช้ในที่นี้คือ สวิตช์อีเล็กทรอนิกส์กำลัง สามารถใช้ได้ทั้ง MOSFET และ IGBT ขึ้นอยู่กับขนาดพิกัดของแรงดัน และความถี่ในการสวิตช์ สวิตช์ทั้ง 6 ตัวมีการทำงานทั้งหมด 6 จังหวะ ดังที่ได้กล่าวในบทที่ผ่านมา ดังนั้นการควบคุมการทำงานของสวิตช์จะต้องใช้วงจรที่เรียกว่า “วงจรขับเกต” คำว่าเกต หมายถึงสวิตช์ภยในอินเอวร์เตอร์นั้นเอง

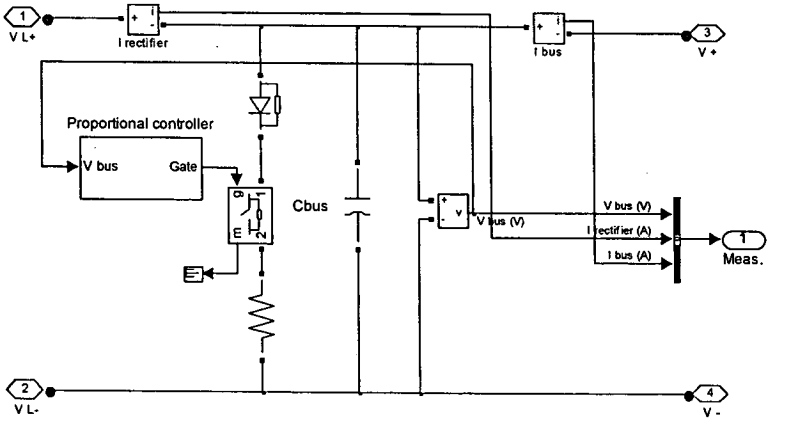
เมื่อพิจารณาระบบทั้งหมดทราบถึงส่วนประกอบต่างๆ ของระบบควบคุมการขับเคลื่อนของมอเตอร์ BLDC จากนั้นจึงทำการสร้างบล็อกการควบคุมภายในโปรแกรม SIMULINK โดยบล็อก SIMULINK ของระบบควบคุมมอเตอร์ BLDC ในโปรแรม MATLAB/SIMULINK แสดงดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมมอเตอร์ BLDC ในโปรแกรม Simulink

3.2 ส่วนประกอบแต่ละส่วนของแบบจำลอง

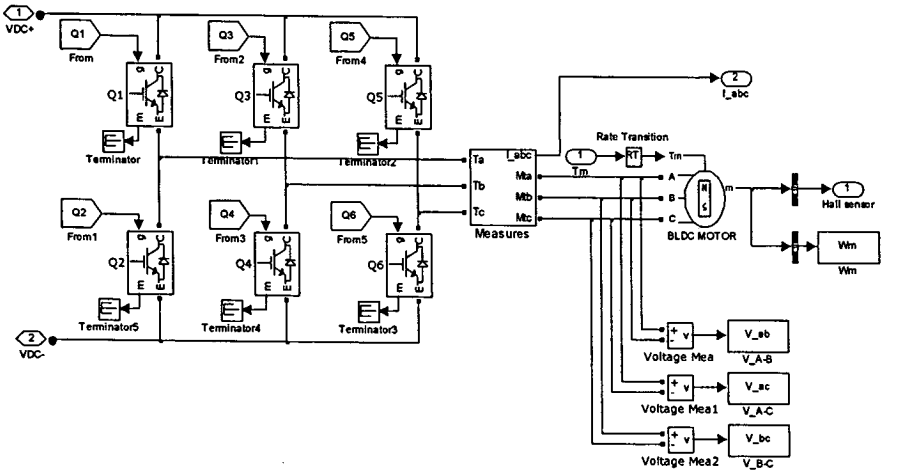
จากรูปจะเห็นส่วนประกอบต่างๆของระบบควบคุมโดยเริ่มจาก วงจรเรียงกระแส (Rectifier), วงจรเบรก (Braking chopper), วงจรอินเวอร์เตอร์และแบบจำลองของมอเตอร์ BLDC และวงจรขับเกต (Gate drive) ภายใน Subsystem ของวงจรเบรกแสดงดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 วงจรภายใน Subsystem ของ Braking chopper Subsystem

มีการตรวจวัดของขนาดของแรงดันในสายเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อทำหน้าที่ในการตรวจสอบขนาดของแรงดันไม่ให้เกิน ขนาดที่ได้กำหนดไว้ เพื่อป้องกันความเสียของอุปกรณ์

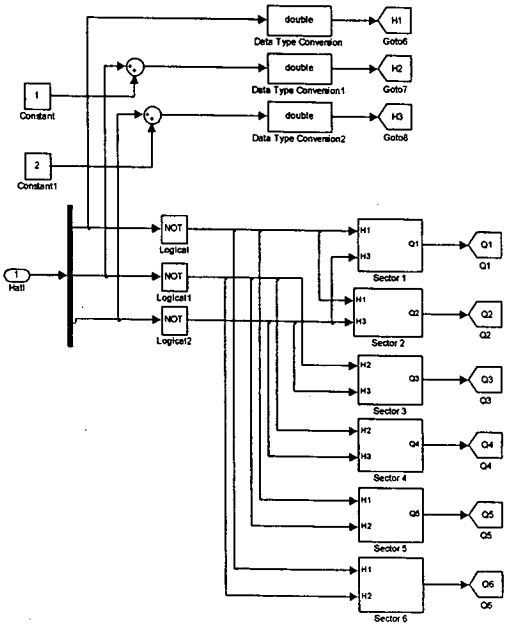
ภายใน Subsystem ของวงจรอินเวอร์เตอร์ และแบบจำลองของมอเตอร์ BLDC แสดงดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 วงจรภายใน Subsystem ของ Inverter & BLDC Motor Subsystem

ภายในวงจรประกอบด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส มีสวิตช์ในรูปคือ สัญลักษณ์ของ IGBT ขนาด 6 ตัว และแบบจำลองของมอเตอร์ BLDC ที่เหลือเป็นวงจรในส่วนของการวัดทั้งหมด

และสุดท้ายวงจรภายใน Subsystem ของ Gate drive มีส่วนประกอบแสดงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 วงจรภายในของ Gate drive Subsystem

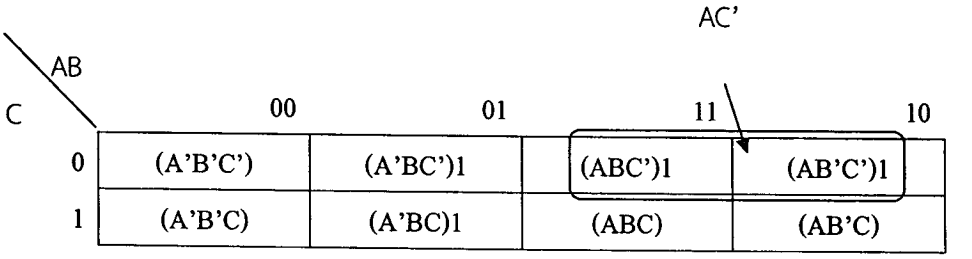
การออกแบบรูปแบบการสวิตช์ของสวิตช์แต่ละตัวของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส เริ่มจากการพิจารณาตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รูปแบบการทำงานของสวิตช์แต่ละตัวในวงจรอินเวอร์เตอร์

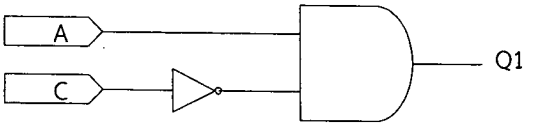
Sector	H1	H2	H3	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
	A	B	C						
1	1	0	0	1	0	0	0	0	1
2	1	0	1	0	0	1	0	0	1
3	0	0	1	0	1	1	0	0	0
4	0	1	1	0	1	0	0	1	0
5	0	1	0	0	0	0	1	1	0
6	1	1	0	1	0	0	1	0	0

เมื่อทราบรูปแบบของการสวิตช์ของสวิตช์แต่ละตัว ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบวงจรการทำงานของวงจรขับเกตแต่ละตัว โดยเมื่อพิจารณาจากตารางวิธีที่จะนำมาแก้ปัญหา เพื่อหาวงจรการทำงานของเกตแต่ละตัวจะใช้วิธีของ แผนผังคาโนร์ (Kanor Map)

วงจรการทำงานของสวิตช์ Q1

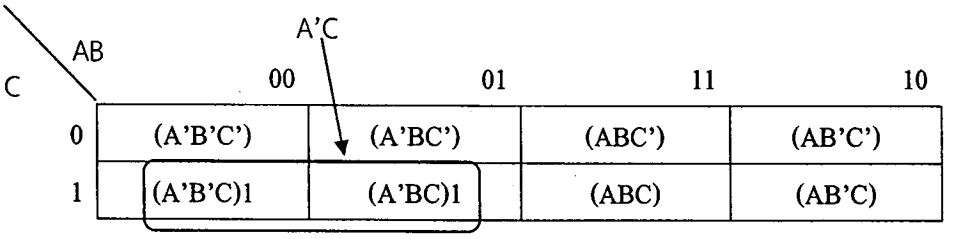


Q1 = AC'

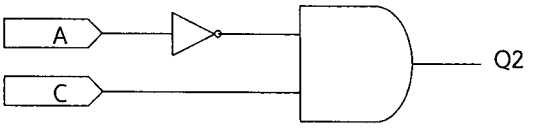


ภาพที่ 26 วงจรการทำงานของสวิตช์ Q1

วงจรการทำงานของสวิตช์ Q2

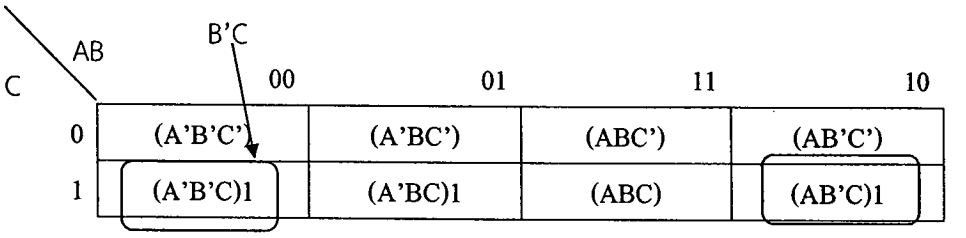


Q2 = A'C

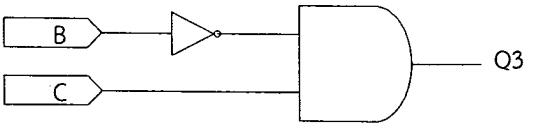


ภาพที่ 27 วงจรการทำงานของสวิตช์ Q2

วงจการทำงานของสวิตช์ Q3

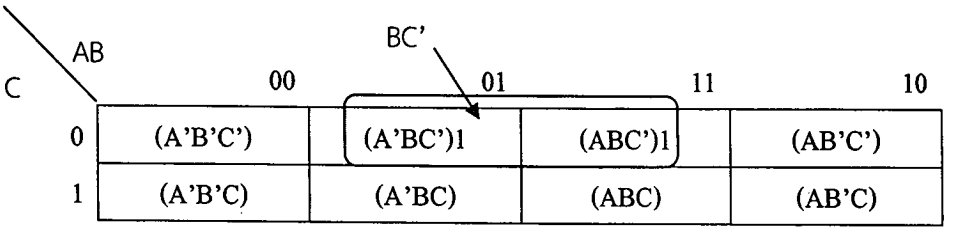


Q3 = B'C

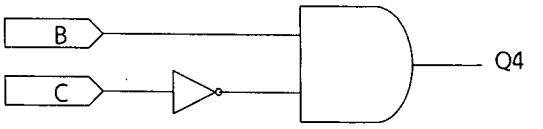


ภาพที่ 28 วงจรการทำงานของสวิตช์ Q3

วงจรการทำงานของสวิตช์ Q4

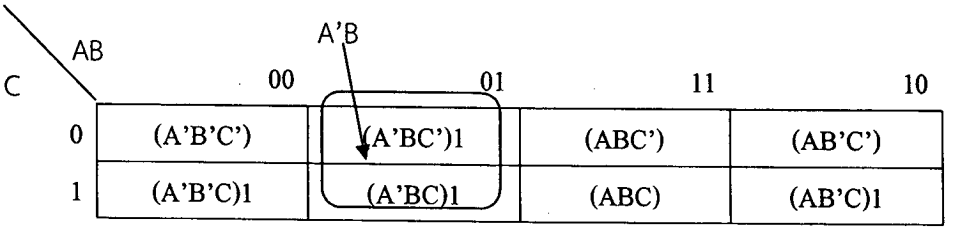


Q4 = BC'

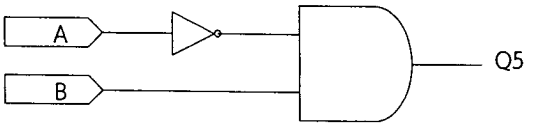


ภาพที่ 29 วงจรการทำงานของสวิตช์ Q4

วงจรการทำงานของสวิตช์ Q5

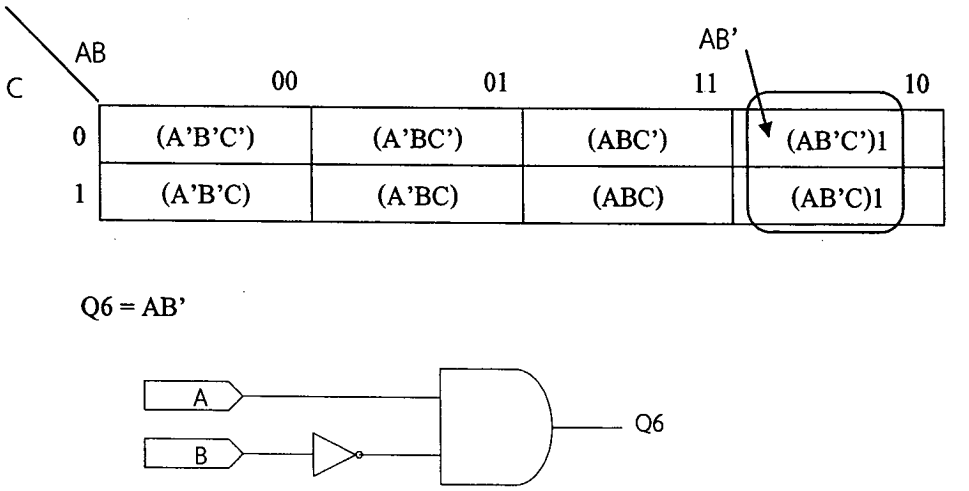


Q5 = A'B



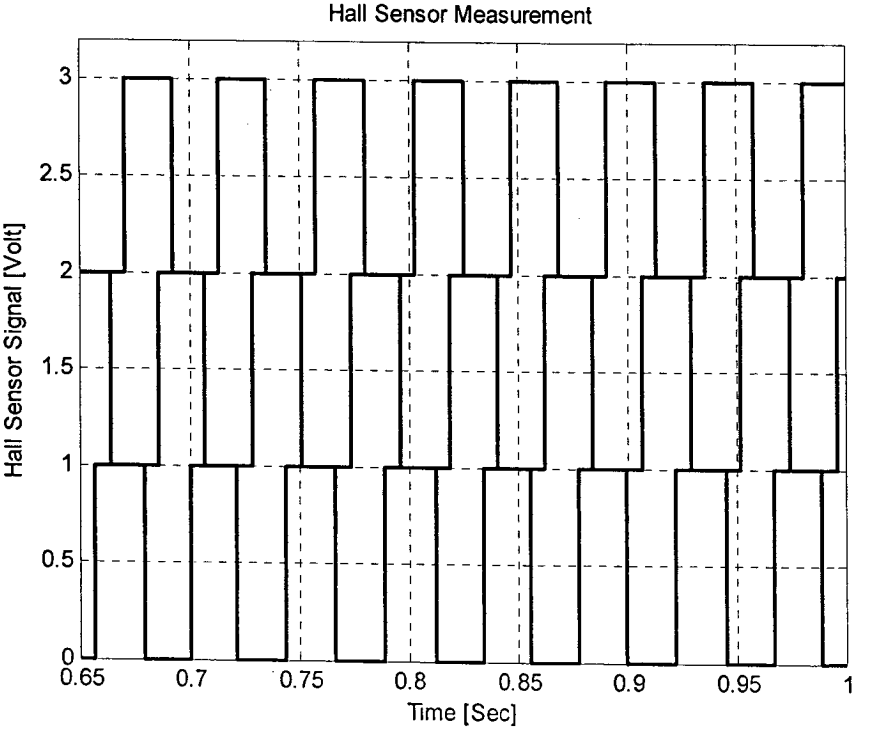
ภาพที่ 30 วงจรการทำงานของสวิตช์ Q5

วงจรการทำงานของสวิตช์ Q6



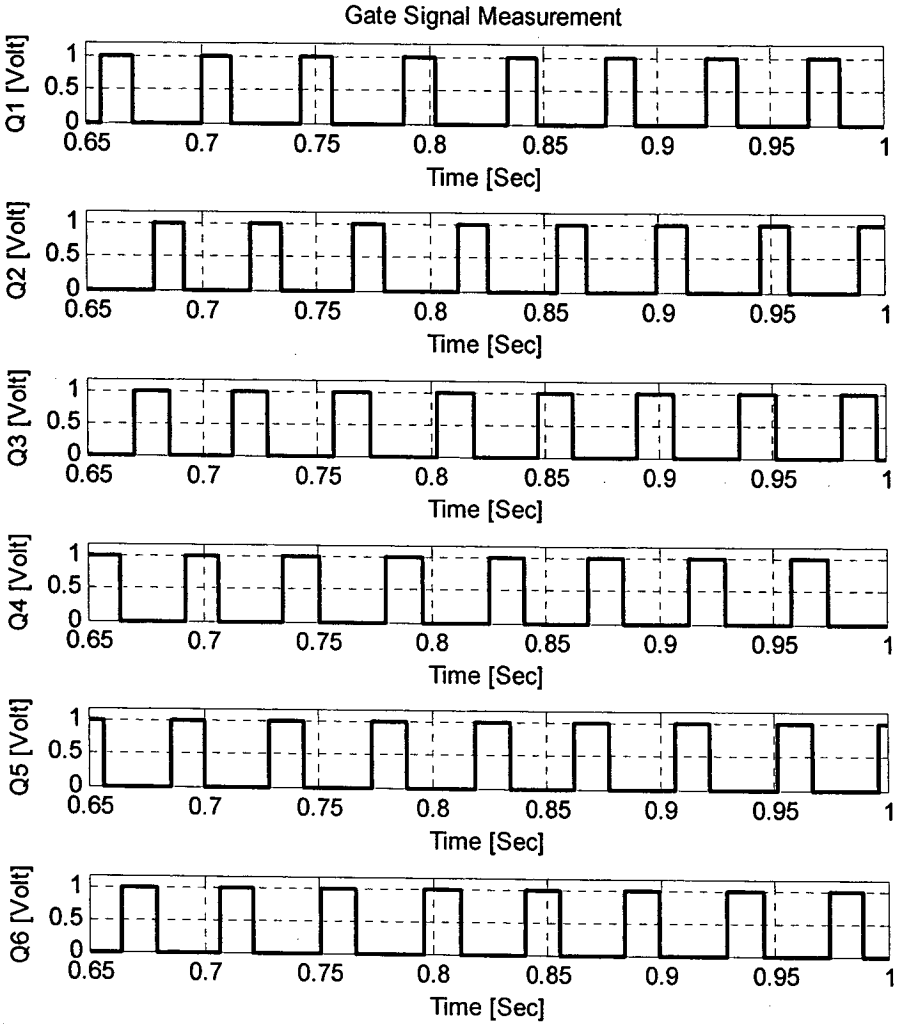
ภาพที่ 31 วงจรการทำงานขอสวิตช์ Q6

การทำงานของสวิตช์แต่ละตัวนั้นจะขึ้นอยู่กับจังหวะการทำงานของเซนเซอร์ Hall effect แต่ละตัว โดยจะทำงานเป็นฐานให้เกิดรูปแบบของการทำงานของสวิตช์ โดยแสดงผลการทำงานดังภาพที่ 3.11



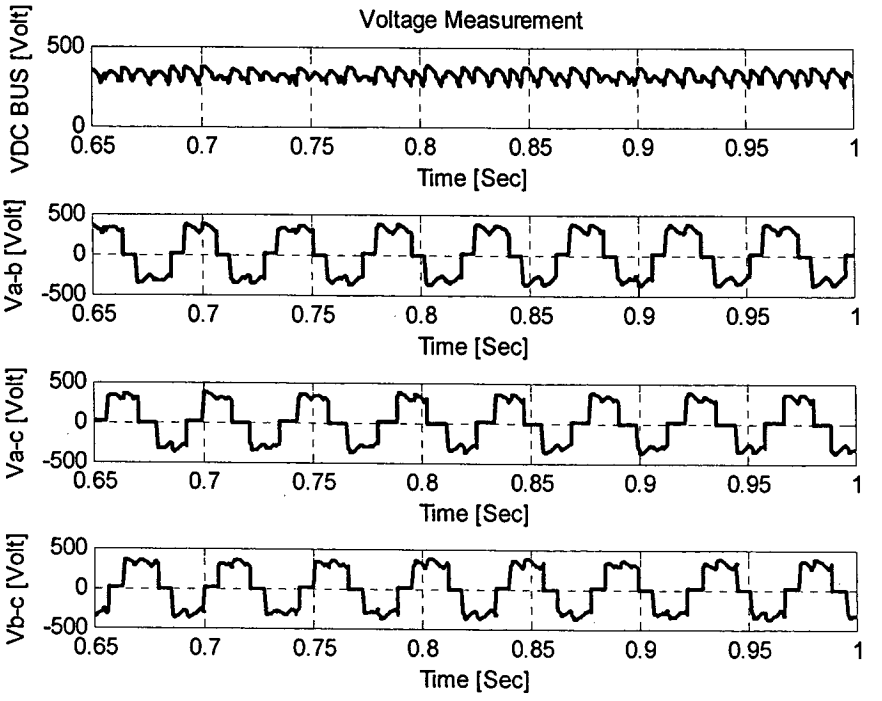
ภาพที่ 32 สัญญาณจากเซนเซอร์ Hall effect ทั้ง 3 ตัว

สัญญาณเอาต์พุต ณ ตำแหน่งของวงจรขับเกตของสวิตช์แต่ละตัว แสดงดังภาพที่ 32



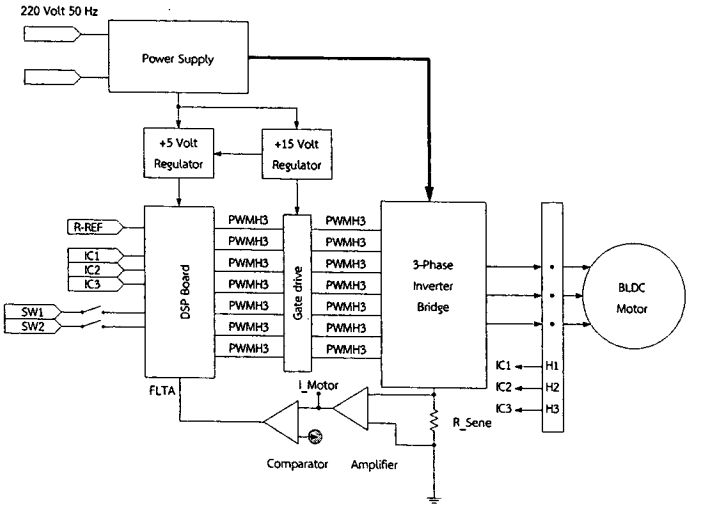
ภาพที่ 33 สัญญาณเอาต์พุตในแต่ละตัวของวงจรขับเกต

สัญญาณเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ ณ ตำแหน่งเฟสประกอบด้วย เฟส A, เฟส B และ เฟส C เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ BLDC แสดงดังภาพที่ 34



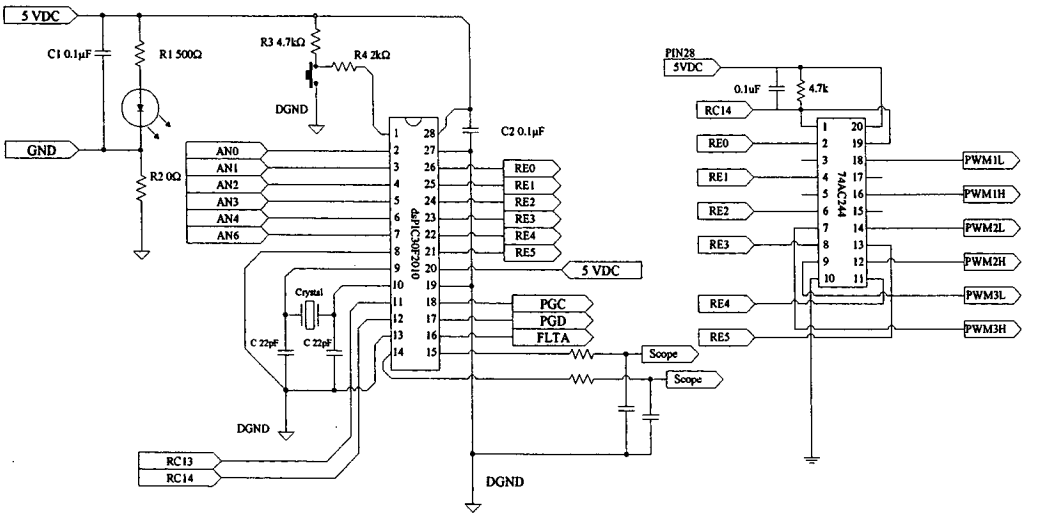
ภาพที่ 34 สัญญาณขาออกแรงดันไลน์-ไลน์ ของวงจรอินเวอร์เตอร์

จากสัญญาณเอาต์พุตที่ได้แสดงให้เห็นว่าวงจรที่ทำการออกแบบ สามารถที่จะใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ BLDC ได้ เนื่องจากกระทำตามเงื่อนไข ดังนั้นขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบวงจรการทำงานของมอเตอร์ BLDC เพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานจริง โดยวงจรการทำงานมีไดอะแกรมดังภาพที่ 35



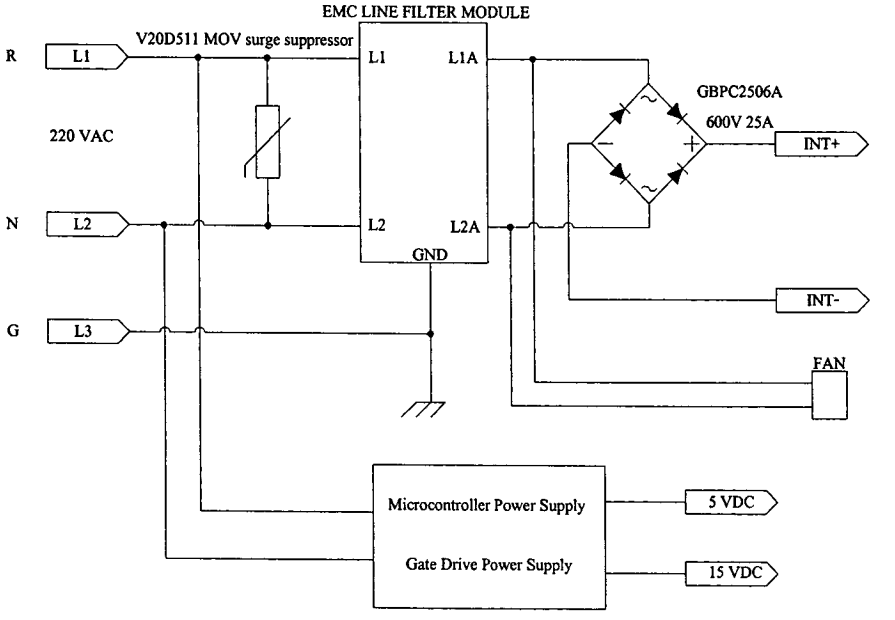
ภาพที่ 35 ไดอะแกรมระบบควบคุมการขับเคลื่อนของมอเตอร์ BLDC

วงจรการทำงานของบอร์ด DSP โดยเลือกใช้ DSP ไมโครคอนโทรลเลอร์ จากบริษัท Microchip Inc เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 28 ขา แสดงดังภาพที่ 36

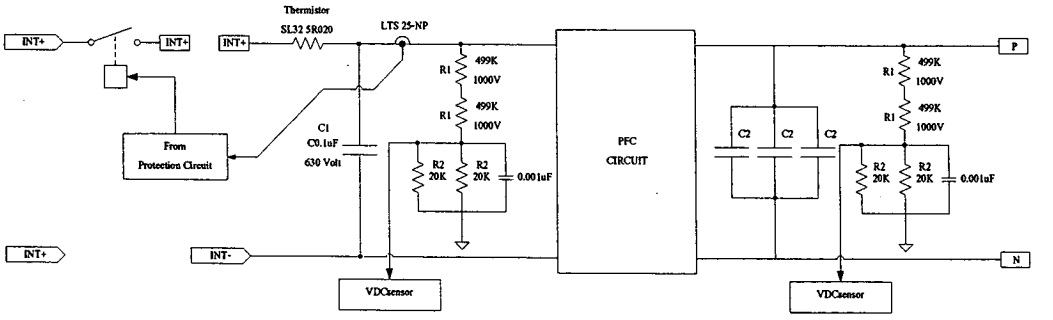


ภาพที่ 36 วงจรการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

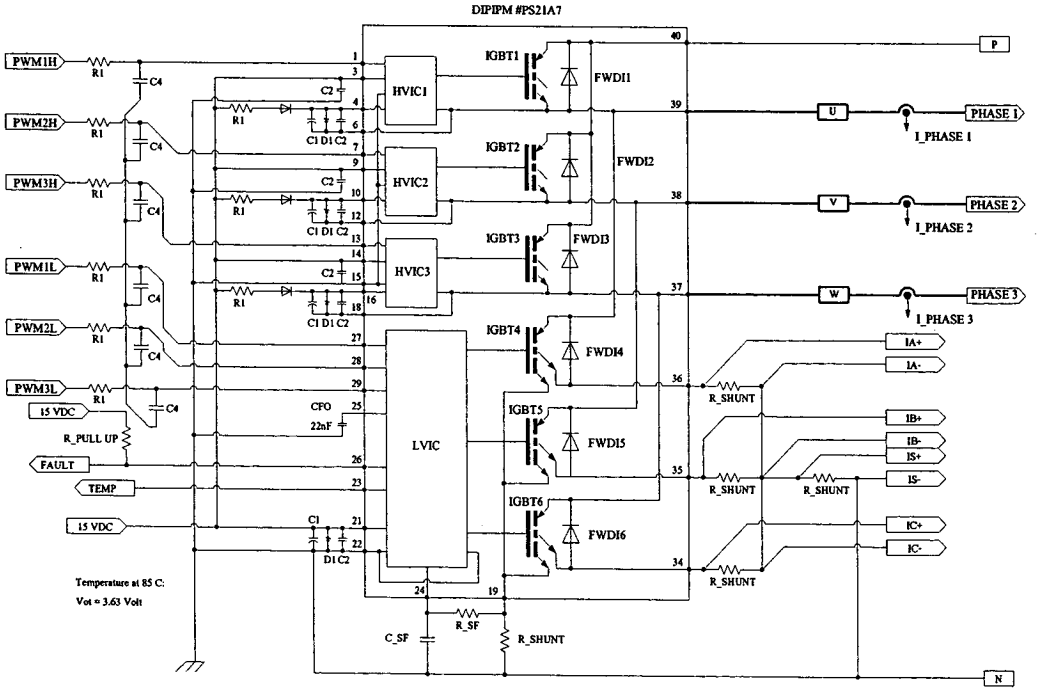
วงจรเรียงกระแสสำหรับจ่ายพลังงานในกับวงจรอินเวอร์เตอร์ และในเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขับเกต



ภาพที่ 37 วงจรเรียงกระแส



ภาพที่ 38 วงจรเบรก



ภาพที่ 39 วงจรอินเวอร์เตอร์และวงจร R เซนเซอร์

วงจรทั้งหมดออกแบบสำหรับใช้ในการทดลองการทำงานของมอเตอร์ BLDC และเพื่อสรุปวงจรการทำงานของมอเตอร์ BLDC ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆดังรูปทั้งหมด