

โครงการสร้างอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 220/380 V ที่สามารถใช้ได้กับมอเตอร์ขนาดไม่เกิน 3 แรงม้า

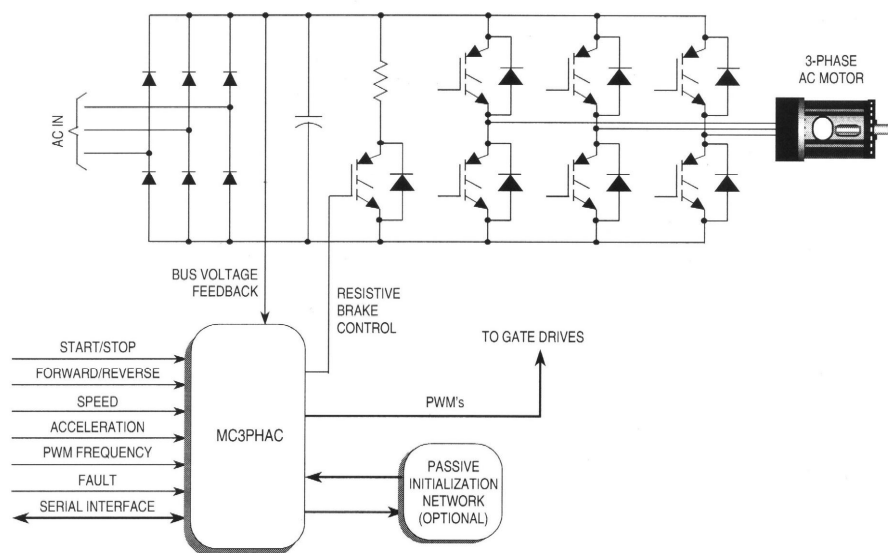
อีเมล intudmonyakul@yahoo.com

มากกว่า 95% ของมอเตอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไปจะเป็นชนิดมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับ คงจะดีถ้าหากเราสามารถสร้างเครื่องควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ชนิดนี้ได้เองในราคาที่เหมาะสมกับสภาวะที่ต้องรัดเข็มขัดในปัจจุบัน

โครงการนี้เป็นการแนะนำ MC3PHAC ของบริษัท Freescale Semiconductor ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตัวเดียวที่มีประสิทธิภาพสูง ที่ออกแบบเพื่อตอบสนองความต้องการด้านราคาและความสามารถ ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่เรียกโดยทั่วไปว่าอินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงาน



อุตสาหกรรม โดยใช้ในวัตถุประสงค์ของการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ และเพื่อวัตถุประสงค์ในการประหยัดพลังงานของการใช้งานมอเตอร์ นอกจากนี้ในโครงการนี้ยังได้แนะนำอุปกรณ์ที่เรียกว่า Intelligent Power Module (IPM) จึงทำให้การสร้างอินเวอร์เตอร์ที่ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสเป็นเรื่องที่ง่ายดาย



รูปที่ 1 วงจรควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสที่ใช้ MC3PHAC

หลักการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสสามารถทำได้โดยการปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ได้ที่ทำโดยสมการ

$$N_s = \frac{120f}{P}$$

เมื่อ N_s คือความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนมีหน่วยเป็นความเร็วรอบต่อนาที

f คือความถี่ของแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส

P คือจำนวนขั้วของมอเตอร์

จากสมการจะเห็นได้ว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนจะแปรผันตรงกับความถี่ของแรงดันไฟฟ้า แต่เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสเพลลาของมอเตอร์จะหมุนโดยมีความเร็วต่ำกว่าความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุนอยู่เล็กน้อยที่เรียกว่าความเร็วสลลิป (Slip) มีค่าประมาณ 1-3% ขึ้นอยู่กับภาระของมอเตอร์ ที่หาได้จากสมการ

$$N_r = N_s(1 - s)$$

เมื่อ N_r คือความเร็วของเพลลามอเตอร์มีหน่วยเป็นความเร็วรอบต่อนาที

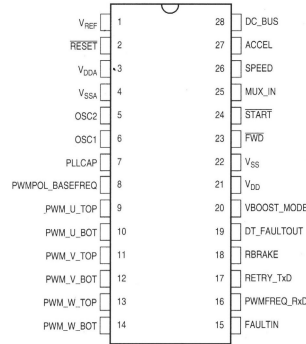
S เป็นความอัตรส่วนความแตกต่างของความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนกับ

ความเร็วของเพลลามอเตอร์ต่อความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน, $s = \frac{N_s - N_r}{N_s}$

ดังนั้นเราจะหาความเร็วรอบของเพลลามอเตอร์ได้เท่ากับความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุนลบด้วยความเร็วของสลลิป แต่เนื่องจากความเร็วของสลลิปมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุน เราจึงอาจประมาณความเร็วรอบของเพลลามอเตอร์ได้จากความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุน

แต่ไม่ใช่เพียงเราสามารถปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าได้แล้วจะป้อนให้กับมอเตอร์ได้เลยเราจะต้องปรับขนาดของแรงดันให้สอดคล้องกับความถี่ด้วย นั่นคือจะต้องให้อัตรส่วนของแรงดันต่อความถี่มีค่าคงที่เพื่อให้สนามแม่เหล็กมีขนาดคงที่ส่งผลให้แรงบิดมีค่าคงที่ทุกค่าความเร็วรอบของมอเตอร์

เมื่อพอจะเข้าใจหลักการทำงานของการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแล้วเรามาพิจารณาตัว MC3PHAC คู่กัน หนึ่งในเอกลักษณ์เฉพาะ MC3PHAC นี้คือไม่ต้องยุ่งยากเรื่องซอฟต์แวร์ใดๆ แม้จะต้องปรับปรุงเปลี่ยนแปลงค่าไปตามสภาพการใช้งานก็ตาม นอกจากนี้ MC3PHAC ยังได้รวมความสามารถในการชดเชยการกระเพื่อมของแรงดันไฟตรงที่ไม่เรียบจากวงจรเรียงกระแสไฟตรง (DC Bus) และวงจรป้องกันสภาวะไม่ปกติของอินเวอร์เตอร์ไว้ในตัวอีกด้วย



รูปที่ 2 แสดงขาของ MC3PHAC

คุณลักษณะพิเศษของ MC3PHAC

- ใช้การควบคุมความเร็วแบบ อัตราส่วนแรงดันต่อความถี่คงที่
- มีตัวกรองสัญญาณควบคุมความเร็วรอบแบบดิจิทัลโปรเซสเซอร์
- ใช้การคำนวณในการสร้างสัญญาณควบคุมแบบ 32 บิต
- ไม่ต้องยุ่งยากกับซอฟต์แวร์
- มีสัญญาณ PWM ขาออกให้ 6 บิต
- สร้างสัญญาณ 3 เฟส
- ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล 4 ช่อง
- สามารถทำงานใน standalone mode หรือแบบ hosted mode
- สามารถทำการชดเชยแรงดันกระแสเพื่อมของ DC Bus
- เลือกขั้วและความถี่การสวิตช์ของสัญญาณ PWM ได้
- เลือกความถี่พื้นฐาน 50 Hz หรือ 60 Hz ได้
- ผลิตความถี่พื้นฐานแบบ PLL(Phase Lock Loop)
- เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกแบบอนุกรม
- มีวงจรตรวจจับแรงดันแหล่งจ่าย

MC3PHAC จะสร้างสัญญาณ PWM จำนวน 6 สัญญาณที่จะปรับขนาดของแรงดันตามการปรับความถี่ เพื่อสร้างสัญญาณ 3 เฟสสำหรับมอเตอร์ โดยการบวกเพิ่มฮาร์โมนิกส์ที่ 3 เข้าไป ด้วยทำให้แรงดันขาออกของสัญญาณ 3 เฟสมีขนาดได้เท่ากับแรงดันสูงสุดของแรงดันขาเข้าสูงสุด ซึ่งทำให้ได้แรงดันขาออกของสัญญาณ 3 เฟสมีขนาดเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 15% เมื่อเทียบกับการสร้างสัญญาณ PWM แบบ มอดดูเลทไซน์เวฟ (Sine Wave Modulation) สัญญาณ PWM จะอัปเดตด้วยความถี่ 5.3 kHz โดยความถี่ในการสวิตช์จะสามารถเลือกได้ 4 ความถี่คือ 5.291kHz, 10.582 kHz, 15.873 kHz และ 21.164kHz เมื่อใช้ความถี่ของคริสตอลที่ 4 MHz

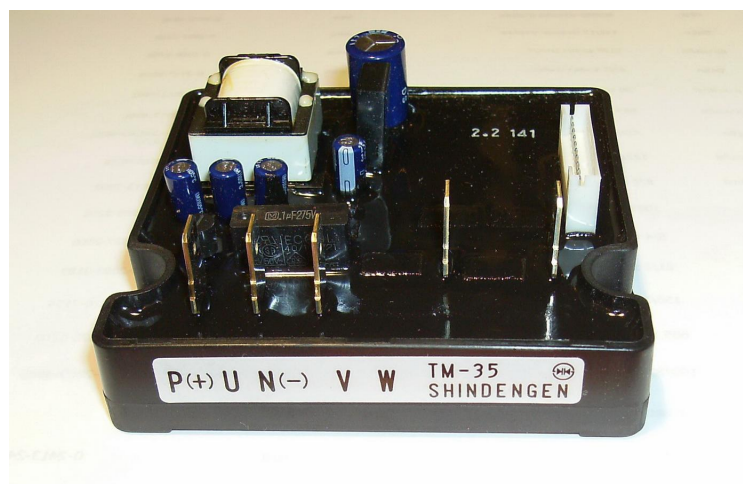
ตัวกรองสัญญาณควบคุมความเร็วรอบแบบดิจิทัลโปรเซสเซอร์ ขนาด 24 บิต ทำให้สัญญาณอินพุทปลอดภัยจากสัญญาณรบกวนได้เป็นอย่างดีในการในงานที่มีสัญญาณรบกวนสูง โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะมีคาบเวลาการสุ่มในการกรองสัญญาณที่ 3 ms

ด้วยความละเอียดในการคำนวณในการสร้างสัญญาณ PWM ขนาด 32 บิต ทำให้สามารถปรับความละเอียดของการควบคุมมอเตอร์ได้ละเอียดถึง 4 mHz และทำให้การเปลี่ยนแปลงความถี่เป็นไปได้อย่างนุ่มนวล ไม่มีการกระตุกของเพลามอเตอร์

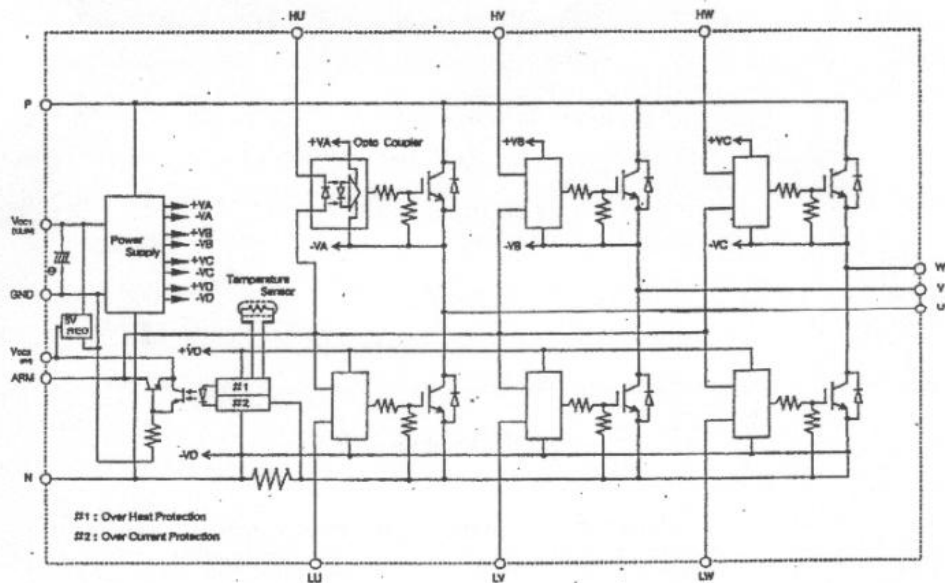
สัญญาณ PWM ทั้ง 6 สัญญาณจะถูกนำไปขับ IGBT จำนวน 6 ตัว และเพื่อป้องกันการทำงานพร้อมกันในเฟสเดียวกัน (Shoot Through) เราเรียกช่วงเวลาที่ IGBT ในเฟสเดียวกันหยุดทำงานทั้งสองตัวว่า Dead Time ที่สามารถโปรแกรมให้เหมาะสมกับ IGBT แต่ละขนาดได้โดยการปรับตั้งที่ค่าตัวความต้านทานที่สามารถปรับได้ตั้งแต่ 0 ถึง 32 μ s

ความถี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์สามารถปรับได้ตั้งแต่ 1 Hz ถึง 128 Hz โดยการปรับแรงดันที่ป้อนให้กับ MC3PHAC โดยมีอัตราส่วน 25.6 Hz ต่อ 1 โวลท์

ต่อไปเรามาดูกันที่ Intelligent Power Module (IPM) ของบริษัท Shindengen Electric เบอร์ TM-35 ซึ่งมีพิกัด 30A 600V ที่สามารถใช้งานได้ถึง 3 แรงม้าสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 220V/380V เป็นอุปกรณ์วงจรรวมชนิด Hybrid ที่รวมเอา IGBT และชุดวงจรขับที่เชื่อมต่อกับวงจรควบคุมด้วย Opto-Couple และมีวงจร Switching Power Supply สำหรับจ่ายวงจรควบคุมภายนอกอีก 2 ชุด นอกจากนี้ยังมีวงจรป้องกันกระแสเกินและความร้อนเกินอีกด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ IPM TM-35 จึงเป็นอุปกรณ์ที่สะดวกและง่ายในการออกแบบและประกอบอินเวอร์เตอร์



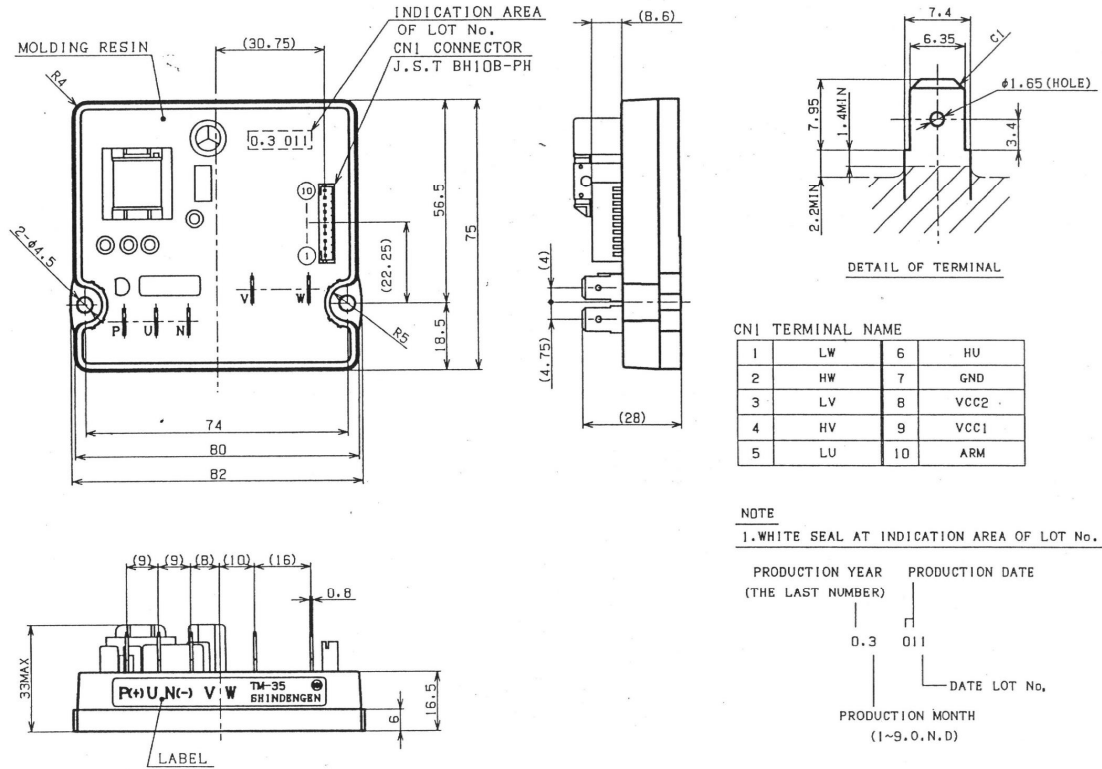
รูปที่ 3 อุปกรณ์ Intelligent Power Module (IPM)



รูปที่ 4 แสดงวงจรภายในของอุปกรณ์ IPM

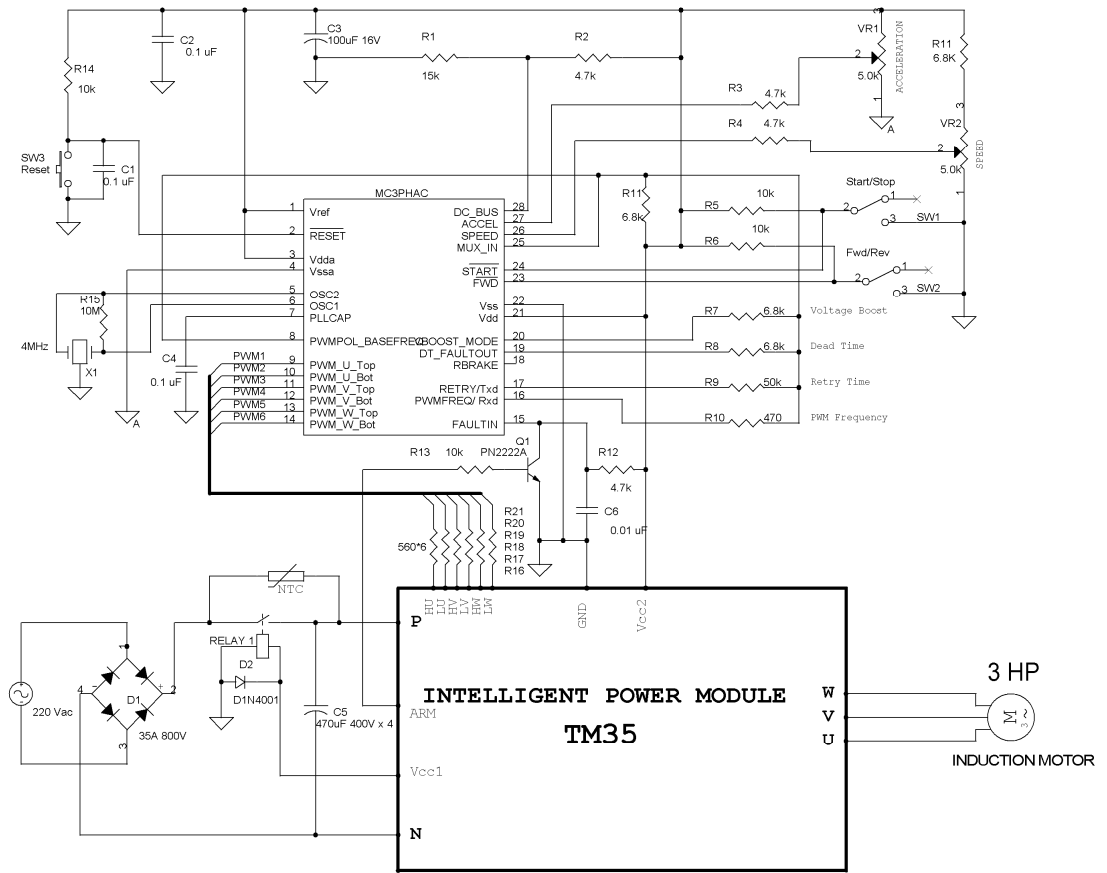
คุณลักษณะพิเศษของ IPM TM-35

- เป็น IGBT ในยุคที่ 4 (4th generation IGBT) ที่ทนแรงดันได้สูงถึง 600 V ทนกระแสได้ถึง 30 A ให้ output เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส
- มีวงจร Opto-Couple ความเร็วสูงเพื่อแยกสัญญาณ Input
- มีวงจรขับ IGBT รวมทั้งแหล่งจ่ายไฟสำหรับ IGBT
- มีชุดจ่ายแรงดันสำหรับชุดควบคุมภายนอก 2 ชุด ($V_{cc1}=13.5\text{ V}$, $V_{cc2}=5.0\text{ V}$)
- มีวงจรป้องกันกระแสเกินและวงจรป้องกันความร้อนเกิน
- ให้สัญญาณ error กับชุดควบคุมกรณีเกิดความผิดพลาดจากการทำงานจากกระแสเกินและความร้อนเกิน
- มี Film Capacitor สำหรับป้องกันการกระชอกของแรงดัน



รูปที่ 5 แสดงขนาดและขาต่อของอุปกรณ์ IPM

จุดที่มีความสำคัญในการใช้งาน IPM TM-35 คือสัญญาณ PWM จะใช้ได้กับความถี่ในการสวิตซ์สูงสุดที่ 6 kHz และมีช่วงเวลา Dead Time อย่างต่ำต้องมากกว่า 5 μ s เพื่อป้องกันการนำกระแสของ IGBT พร้อมกันในเฟสเดียวกันของอินเวอร์เตอร์ และในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์สร้างสัญญาณ PWM วงจร Opto-Couple ต้องการกระแสขับนำในแต่ละชุดอยู่ในช่วง 7 mA ถึง 9 mA

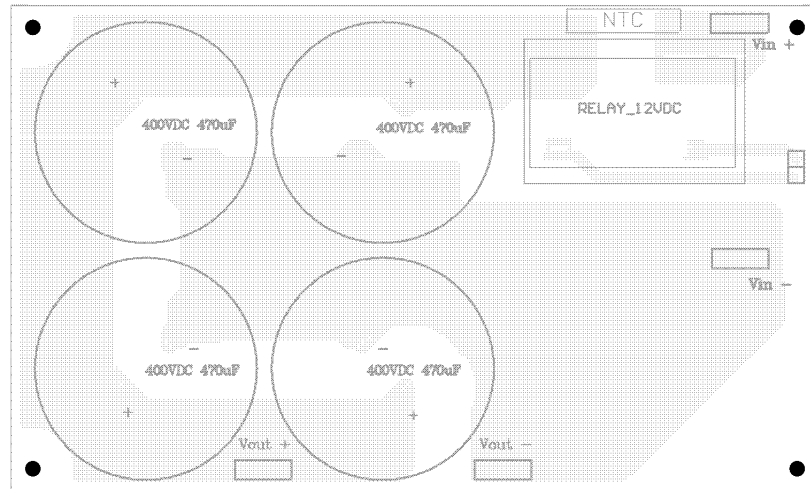


รูปที่ 6 วงจรอินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า กระแสสลับ 3 เฟส

หลักการทํางานของวงจร

ในการทํางานเราจะมีวงจรเรกติไฟเออร์ด้วย ไดโอดบริดจ์ D1 โดยมีอุปกรณ์เทอร์มิสเตอร์ NTC เป็นตัวจำกัดกระแสไม่ให้เกินพิกัดของไดโอดบริดจ์ในการประจุช่วงเริ่มแรกของคาปาซิเตอร์ C5 ที่ใช้คาปาซิเตอร์ขนาด 470µF 400 V ขนานกัน 4 ตัว แรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์จะเป็นแรงดันอินพุทให้กับ IPM TM-35 โดยขั้วบวกจะบวกจะต่อกับขั้ว P และขั้วลบจะต่อกับขั้ว N เมื่อแรงดันประจุคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้นถึง 170 โวลต์ วงจรวงจรสวิตซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลายในตัว IPM TM-35 จะเริ่มทํางานจ่ายแรงดัน 5.0 V ที่ขา Vcc2 และ 13.5 V ที่ขา Vcc1 ทำให้ RELAY1 ทํางาน ซึ่งจะลัดวงจรที่อุปกรณ์เทอร์มิสเตอร์ NTC เพื่อให้กระแสประจุคาปาซิเตอร์โดยตรงได้เนื่องจากคาปาซิเตอร์ได้รับการประจุเริ่มต้นแล้วจึงไม่จำเป็นต้องจำกัดกระแสประจุคาปาซิเตอร์ ไดโอด D2 ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันแรงดันย้อนกลับของขดลวด RELAY1

ในส่วนของ MC3PHAC เมื่อได้รับแรงดัน 5.0 โวลต์ คาปาซิเตอร์ C1 จะได้รับการประจุผ่านตัวความต้านทาน R14 ทำหน้าที่เป็นวงจรรีเซท เมื่อแรงดันคร่อม C1 สูงถึงค่าที่กำหนดทำให้ MC3PHAC เริ่มทํางานโดยโปรแกรมที่ถูกโปรแกรมมาแล้วในตัว MC3PHAC จะเริ่มทํางานโดยจะอ่านค่าที่ขา VBOOST_MODE ถ้าถูกต่อกับกราวด์ MC3PHAC จะทํางานในโหมดที่เชื่อมต่อ



รูปที่ 8 แสดงการลงอุปกรณ์ชุดแหล่งจ่ายไฟ

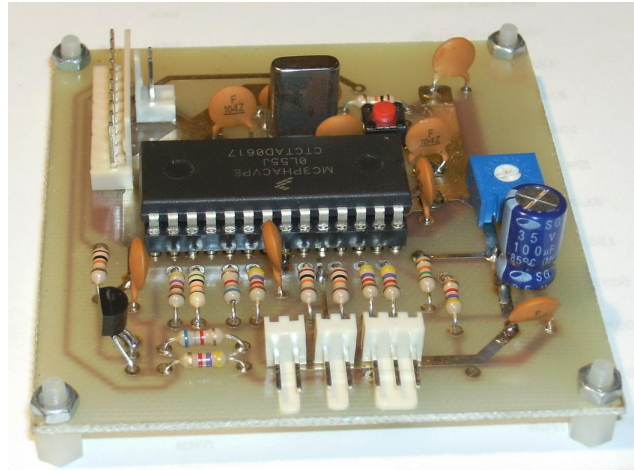
การประกอบวงจร

ให้ยึดอุปกรณ์ IPM และไดโอดบริดจ์บนฮีทซิงค์ เพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการทำงานของวงจร อุณหภูมิของอุปกรณ์ IPM สูงสุดอยู่ที่ประมาณ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ จึงควรให้ฮีทซิงค์มีขนาดที่เหมาะสม ขาที่เชื่อมต่อระหว่าง MC3PHAC และ IPM TM-35 ควรจะเดินสายให้สั้นที่สุด

การประยุกต์ใช้งาน

สำหรับการนำไปใช้งานของอินเวอร์เตอร์ที่นอกจากจะใช้ในงานปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับแล้ว การประยุกต์การใช้งานเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้อยู่ในโหมดของเซนเนอเรเตอร์ที่ทำงานในระบบที่ความเร็วรอบของต้นกำลังไม่คงที่ได้ ที่อาจจะประยุกต์ใช้ได้กับกังหันลมหรือกังหันน้ำได้ โดยการควบคุมให้สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์มีความเร็วรอบน้อยกว่าความเร็วของโรเตอร์ ซึ่งจะได้นำเสนอในโอกาสต่อไป

สำหรับการใช้กับมอเตอร์ขนาดใหญ่ขึ้นเป็น 5 แรงม้าก็สามารถใช้ชุดควบคุมชุดเดิมได้โดยเปลี่ยนตัว IPM เป็นเบอร์ TM-39 ที่มีพิกัดของ IGBT ที่ 50A 600V ใช้ไดโอดบริดจ์เป็นขนาด 50A และเพิ่มคาปาซิเตอร์ขนาด 470uF 400V อีก 4 ตัวขนานเพิ่มเข้ากับคาปาซิเตอร์ชุดเดิม



รูปที่ 9 วงจรควบคุมที่ประกอบแล้ว



รูปที่ 10 แสดงภาคแหล่งจ่ายไฟตรงที่ประกอบแล้ว

รายการอุปกรณ์

ตัวต้านทาน ¼ วัตต์ +/- 5%

R1 - 15k Ω	1 ตัว
R2,R3,R4,R12 - 4.7k Ω	4 ตัว
R5,R6,R13,R14 - 10k Ω	4 ตัว
R7, R8, R11 - 6.8k Ω	3 ตัว
R9 - 50k Ω	1 ตัว
R10 - 470 Ω	1 ตัว
R15 - 10M Ω	1 ตัว
R16,R17,R18,R19,R20,R21 - 560 Ω	6 ตัว

VR1 - วอลุ่ม 5kB	1 ตัว
VR2 - Trim Pot 5kΩ	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ	
C1,C2,C4 - 0.1uF เซรามิก	3 ตัว
C3 - 100uF 16V อิเล็กโทรไลต์	1 ตัว
C5 - 470uF 400V อิเล็กโทรไลต์	4 ตัว
C6 - 0.01uF เซรามิก	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	
D1 - GBPC3508	1 ตัว
D2 - 1N4001	1 ตัว
Q1- PN2222A	1 ตัว
IC1- MC3PHAC	1 ตัว
Intelligent Power Module - TM-35	1 ตัว
อื่นๆ	
XTAL - คริสตอล 4.00 MHz	1 ตัว
NTC - เทอร์มิสเตอร์ SCK15075MSY	1 ตัว
RELAY1 - รีเลย์ 12 V คอนเทค 20 A	1 ตัว
SW1, SW2 - สวิตช์โยก	2 ตัว
SW3 - รีเซตสวิตช์	1 ตัว
ฮีทซิงค์	1 อัน

หมายเหตุ

MC3PHAC, SCK15075MSY หาซื้อได้ที่ บริษัท อิเล็กทรอนิกส์ ซอร์ซ จำกัด

IPM TM-35 หาซื้อได้ที่ หจก.วิรัชญา เอ็นจิเนียริง โทร 02-9646662, 0858468135