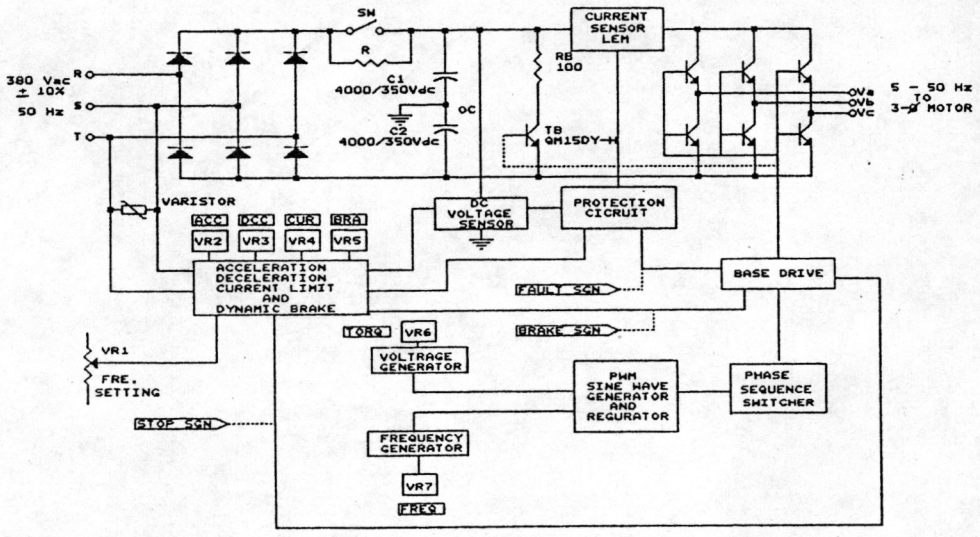
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ภาควงจรควบคุมการทำงานและป้องกัน

1. หลักการและแผนภาพบล็อก

วงจรควบคุมทำหน้าที่ ปรับอัตราการเพิ่มและลดความเร็วของมอเตอร์, จำกัดกระแสมิให้เกินพิกัดของอินเวอร์เตอร์, ช่วยให้สามารถควบคุมการเบรคมอเตอร์โดยมิให้เกิดความเสียหายกับอินเวอร์เตอร์ วงจรป้องกันทำหน้าที่สั่งให้อินเวอร์เตอร์หยุดการทำงานเมื่อเกิดการผิดปกติที่เกินกว่าวงจรควบคุมจะทำได้ เช่น กรณีที่มีแรงดันขาเข้าเกินหรือต่ำกว่าพิกัด หรือเกิดการทำงานที่ผิดพลาดของสวิตช์ เป็นต้น ทำให้อินเวอร์เตอร์สามารถใช้งานได้อย่างสะดวกและปลอดภัย เพราะมีวงจรทำการตรวจวัดระดับ แรงดันและกระแสของอินเวอร์เตอร์ และทำการปรับสัญญาณควบคุมให้มีค่าเหมาะสม หรือตัดสัญญาณควบคุมออก ดังจะได้กล่าวต่อไป โครงสร้างของภาควงจรควบคุมการทำงานและป้องกันดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แผนภาพบล็อกแสดงโครงร่างการทำงานของวงจร

2. วงจรปรับอัตราการเพิ่มและอัตราการลดของความเร็วมอเตอร์

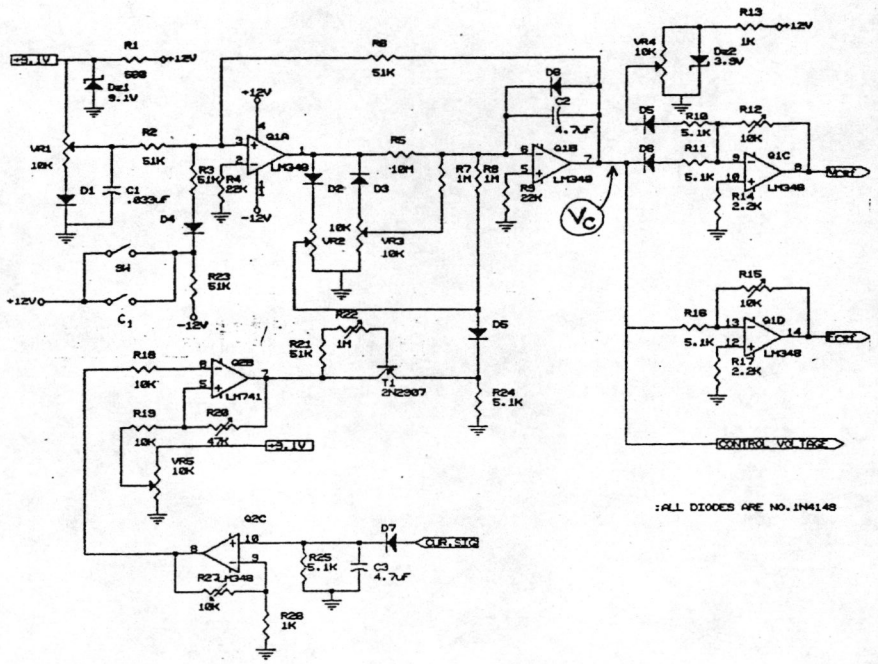
การปรับความเร็วของมอเตอร์ทำได้โดยการปรับความถี่ของสัญญาณอ้างอิง (Vr) แต่ความถี่ของสัญญาณอ้างอิงขึ้นอยู่กับแรงดัน (Vc) ที่ไปควบคุมวงจรกำเนิดความถี่ด้วยแรงดัน (VCO) ดังได้กล่าวมาแล้ว(ดูภาพที่ 3.1) หน้าที่ของวงจรนี้ก็คือ สามารถปรับอัตราเร่ง (acceleration), ปรับอัตราชลอ (deceleration) และ จำกัดอัตราเร่งเกิน (over acceleration)

วิธีการปรับอัตราเร่งทำได้โดยการปรับค่าของ VR2 (มีค่า 10kΩ) ดังภาพที่ 4.1 โดยจะมีผลเป็นการกำหนดอัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันควบคุม Vc เมื่อเราเพิ่มค่าแรงดัน V1โดยการปรับความต้านทาน "frequency setting" VR1 (ดูภาพที่ 4.1) ค่าของ VR2 มีผลต่ออัตราเร่งดังนี้คือ ถ้าปรับค่าให้ VR2 มีค่ามากจะทำให้อัตราเร่งช้ากว่าการปรับ VR2 ให้มีค่าน้อย

วิธีการปรับอัตราชลอทำได้โดยการปรับค่าของ VR3 (มีค่า 10kΩ) ดังภาพที่ 4.1 โดยจะมีผลเป็นการกำหนดอัตราการลดลงของแรงดันควบคุม Vc เมื่อเราลดค่าแรงดัน V1 โดยการปรับค่าของ VR1 VR3 มีผลต่ออัตราชลอดังนี้กล่าวคือ ถ้าปรับค่า VR3 ให้มีค่ามากจะทำให้อัตราชลอ ให้มีค่ามากขึ้นตาม

วงจรจำกัดอัตราการเร่งเกิน หรืออาจเรียกเป็น วงจรจำกัดกระแส วงจรจะทำงานก็ต่อเมื่อเราปรับให้อัตราเร่งสูง (ค่า VR1 มีค่าต่ำ) เกินกว่าพิกัดของมอเตอร์จะขับเคลื่อนโหลดไปได้จะทำให้เกิดกระแสไหลมากขึ้น เนื่องมาจากมีความแตกต่างของความเร็วซิงโครนัส (Ns) กับความเร็วของโรเตอร์(Nr) ดังแสดงในสมการที่ (1.1) ในบทที่ 1 หรือกล่าวได้ว่าค่าของสลิปมีค่าสูง ทำให้กระแสไหลในมอเตอร์มากขึ้น ดังนั้นเราจึงทำการตรวจวัดกระแสที่ไหลเข้าวงจรอินเวอร์เตอร์มาทำการเปรียบเทียบกับค่าของกระแสปกติที่เราตั้งค่าไว้ให้มีค่าเท่ากับ 15 A ดังแสดงในภาพที่ 4.2 ถ้ากระแสที่ทำการวัดมีค่าสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ IC 2B ก็จะทำงานกล่าวถึงจะมีแรงดันขาออกเป็นลบ

(-12V) ซึ่งมีผลทำให้ลดอัตราการเพิ่มขึ้นของ สัญญาณควบคุม Vc ได้(ดูภาพที่ 4.2) สำหรับวงจรการป้องกันอัตราการชลอเร็วเกิน(over decelerate) ทำได้โดยการใช้วงจรเบรคแทน ดังจะกล่าวต่อไป



ภาพที่ 4.2 วงจรปรับอัตราการเพิ่มและลดของความเร็วมอเตอร์

เวลาในการเร่งและการชลอสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้[9]

$$t_{acc} = \frac{J \times Nm}{0.159\ (K1\ Tm - TLmax)} \quad (s) \qquad (4.1)$$

และ

$$t_{dec} = \frac{J \times Nm}{0.159\ (K2\ Tm + TLmin)} \quad (s) \qquad (4.2)$$

โดยที่

J คือ ค่าความเฉื่อยรวมของทั้งตัวมอเตอร์และโหลด ประมาณเท่ากับ 0.3 $kg-m^2$

Nm คือ อัตราเร็วที่พิกัดของมอเตอร์ (24.2 rps)

TLmax คือ แรงบิดสูงสุดที่โหลด คำนวณมาจาก PL / (2 π x Nm)

PL คือ กำลังขาออกที่โหลด สมมุติให้ เท่ากับ 2200 W

TLmax = (2200) / (2 π x 24.167) = 14.5 N-m

K1 คือ ค่าคงตัวที่ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะแรงบิดของมอเตอร์(torque characteric) ของทั้งโหลดและมอเตอร์ ประมาณเท่ากับ 1.1

Tlmin คือ แรงบิดต่ำสุดที่โหลด หรือประมาณ 1.45 N-m (10% ของ Tlma)

K2 คือ ค่าคงตัวที่ขึ้นอยู่กับการเบรคมอเตอร์ ประมาณเท่ากับ 0.15

Tm คือ แรงบิดเต็มพิกัด ของตัวมอเตอร์ ซึ่งเท่ากับ kW / (2 π x Nm) หรือ 5×10^3 / (2 π x 24.167) เท่ากับ 32.93 N-m

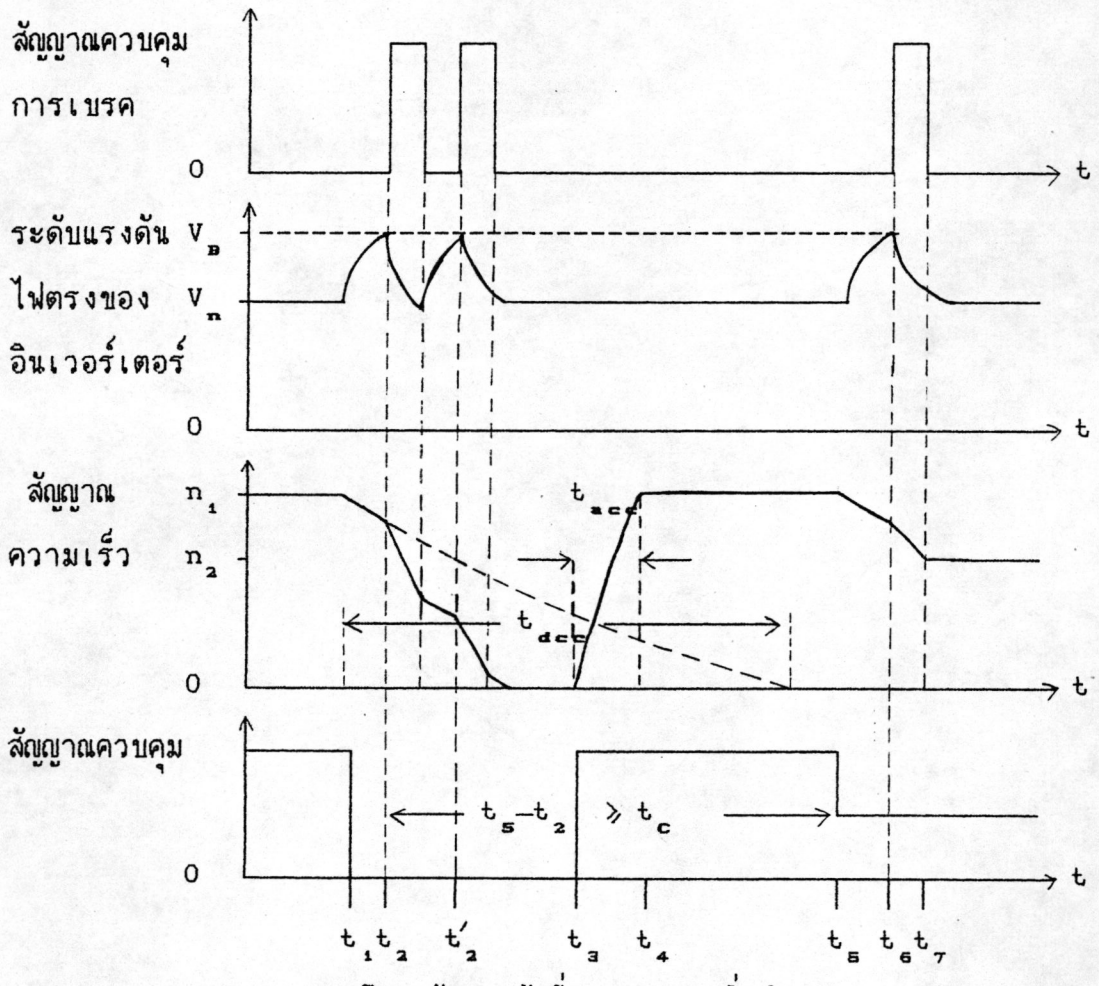
จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้แทนลงใน สมการ (4.1) และ (4.2)ตามลำดับ จะได้เวลาในการเร่ง(tacc) เท่ากับ 4.55 วินาที เวลาในการชลอ(tdcc) เท่ากับ 28.31 วินาทีจะเห็นได้ว่าเวลาในการชลอ (tdcc) มีค่ามากเกินไปดังนั้นเราจึงต้องใช้วงจรเบรค เพื่อทำการลดความเร็วได้เร็วขึ้นกว่าปกติ สำหรับวงจรเบรคนั้นจะได้กล่าวต่อไป

3. <u>วงจรเบรค</u>

การทำงานของวงจร เริ่มต้นจากนำแรงดันไฟตรงที่ได้จากวงจรตรวจวัดแรงดันไฟตรง (dc voltage sensor) มาเปรียบเทียบกับแรงดันที่ตั้งค่าไว้ ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับแรงดันไฟตรงของแหล่งจ่ายเท่ากับ 560 โวลต์ วงจรนี้จะไปทำการควบคุมสวิตช์ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์Tb(ดูภาพที่4.1) ให้นำกระแสได้หลายครั้งจนกว่าแรงดันไฟตรง(Vdc) จะลดลงสู่ค่าแรงดันปรกติแต่ต้องอยู่ในช่วงเวลาที่น้อยกว่า t_B กล่าวคือ t_B เป็นช่วงเวลาที่ถูกตั้งค่าไว้เพื่อป้องกันมิให้ตัวต้านทาน R_B (ดูในภาพที่ 4.1) ร้อนเกินไป เราเลือกค่า t_B โดยพิจารณาจากค่าทนกำลังของ R_B และกำลัง

ที่จะสูญเสียไปใน R_B สำหรับ t_c เป็นช่วง เวลาที่กำหนดไว้เพื่อมิให้มีการเบรคติดต่อกันภายในเวลาที่น้อยกว่า t_c ทั้งนี้เพราะต้องการให้ตัวต้านทาน R_B มีเวลาได้ระบายความร้อน ดังนั้นเมื่อสั่งให้เบรคครั้งแรกแล้ว ก็จะไม่สามารถทำการเบรคได้จนกว่าเวลาจะผ่านไปมากกว่า t_c

จากภาพที่ 4.3 ที่เวลา t_1 ทำการลดสัญญาณควบคุมทันที ทำให้ความเร็วมอเตอร์เริ่มลดลงอย่างช้าๆตามเส้นประของความเร็วในภาพที่ 4.3 เวลานี้ขึ้นอยู่กับค่า t_{dec} (decelerate time) ที่คำนวณจากสมการ (4.2)



V_B คือระดับแรงดันที่วงจรเบรคเริ่มทำงาน

V_n คือ ระดับแรงดันปกติหรือที่วงจรเบรคหยุดทำงาน

ภาพที่ 4.3 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรเบรค

ที่เวลา t_2 แรงดันไฟตรงของอินเวอร์เตอร์มีระดับสูงขึ้นเท่ากับค่าที่ตั้งไว้สำหรับการเบรค ซึ่งเท่ากับ V_B = 560 โวลต์ ทำให้วงจรควบคุมเบรคทำงานโดยการต่อตัวต้านทานเข้ากับแหล่งไฟตรงด้วยสวิตช์ T_B ดังภาพที่4.1 วงจรเบรคทำการตรวจวัดระดับแรงดันไฟตรงมาเปรียบเทียบแบบมีฮิสเตอริซีสกับค่าที่ตั้งไว้ เมื่อระดับแรงดันไฟตรงลดลงจนถึงค่า ประมาณ V_n = 530 โวลต์ วงจรเบรคจะหยุดทำงาน แต่ถ้าความเร็วมอเตอร์ยังคงมีมากกว่าความเร็วของฟลักซ์แม่เหล็กหมุน แรงดันไฟตรงก็จะเพิ่มขึ้นจนมีค่าเท่ากับ 560 โวลต์ และวงจรเบรคก็จะเริ่มทำงานอีกครั้งที่เวลา t_2' จากภาพที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าที่วงจรเบรคสามารถทำการเบรคได้มากกว่า 1 ครั้งในช่วงเวลา t_B เราสามารถปรับค่า t_B ได้โดยการปรับค่าของตัวต้านทาน R6 ในวงจรภาพที่ 4.4 สำหรับเวลา t_B ตั้งค่าไว้สำหรับป้องกันไม่ให้ตัวต้านทาน R_B เกิดการเสียหายเนื่องจากความร้อนในกรณีที่โหลดทางกลมีค่าความเฉื่อยสูงที่วงจรเบรคต้องการเวลาทำงานที่มากกว่า t_B แต่วงจรเบรคก็จะหยุดทำงานเมื่อถึงเวลา t_B และยอมให้แรงดันไฟตรงเพิ่มขึ้นสูงกว่า V_B และรอไปจนกว่าเวลาจะมากกว่า t_C (ช่วงเวลา t_2 ถึง t_5 มากกว่า t_C) จึงจะสามารถทำการเบรคได้อีก

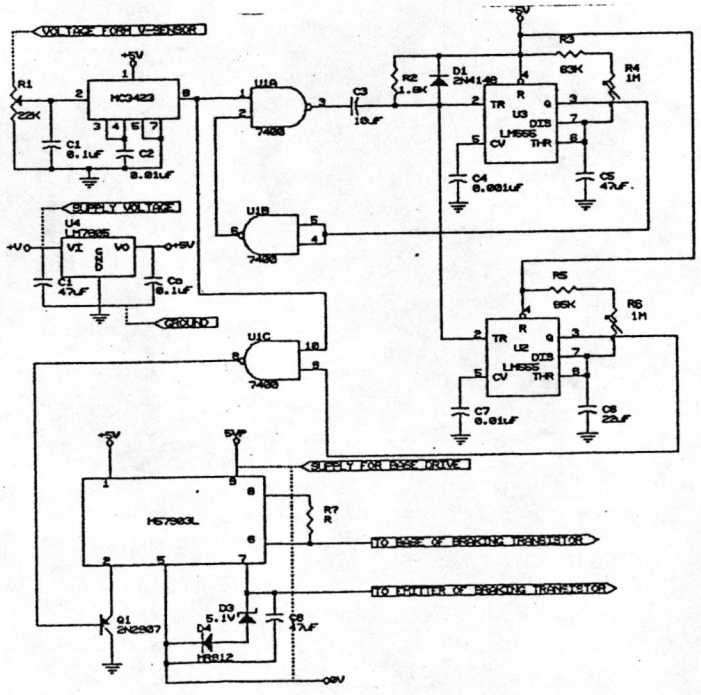
ที่เวลา t3 ทำการเพิ่มสัญญาณควบคุมให้มีค่าสูงสุด ความเร็วเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร่งเท่ากับ t_{acc} และที่เวลา t5 ก็ทำการลดสัญญาณควบคุมลงครึ่งหนึ่ง ทำให้แรงดันไฟตรงมีค่าเพิ่มขึ้นถึงค่า V_B ที่เวลา t6 วงจรเบรคจึงเริ่มทำงานอีกจนทำให้แรงดันไฟตรงของอินเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับ V_n วงจรเบรคหยุดทำงานที่เวลา t7 จะสังเกตได้ว่าที่เวลา t5 ถึง t7 มีการเบรคครั้งเดียว เพราะลดสัญญาณควบคุมความเร็วลงครึ่งหนึ่งเท่านั้น พลังงานที่ใช้ในการเบรคหรือการระบายสู่ตัวต้านทาน R_B จึงมีค่าน้อย ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการเบรคจึงมีค่าน้อยตาม

จากภาพที่ 4.3 สามารถนำมาออกแบบวงจรเบรคได้ดังภาพที่ 4.4 เวลาในการควบคุม tc ถูกกำหนดโดย ไอซี U3 (ดูภาพที่ 4.4)ซึ่งเป็นเบอร์ LM555 และถูกออกแบบให้ทำงานเป็นวงจรเอกเสถียร (monostable) ดังนั้น ช่วงเวลาใน

การทำงานคำนวณจากสมการ(4.3)

$$tc = 1.1\ Rc\ Cc \qquad (4.3)$$

แต่ tc กำหนดไว้ เท่ากับ 10 วินาที ดังนั้นเลือก Cc เท่ากับ 10uF จะได้ Rc เท่ากับ 900 kΩ เวลาในการเบรค tB ไอซี U2 เบอร์ LM555 ดูออกแบบให้ทำงานเหมือนกับไอซี U3 แต่เวลาในการทำงานเท่ากับ 3 วินาที ดังนั้นเลือก Cb เท่ากับ 10 uF จะได้ R6 เท่ากับ 270 kΩ ตามสมการที่ (4.3) สำหรับไอซีเบอร์ 3423จะทำหน้าที่เปรียบเทียบระดับแรงดันไฟตรงของอินเวอร์เตอร์ซึ่งได้มาจากวงจรตรวจวัดแรงดันไฟตรง(dc voltage sensor) กับระดับแรงดัน 2.4 โวลต์ภายในตัวไอซี ถ้าแรงดันที่วัดได้ผ่านทาง R1 (ในภาพที่ 4.4) ที่ขา 2 ของไอซีเบอร์ 3423 มีค่า 5 โวลต์ แรงดันด้านออกจะไปกระตุ้นให้ไอซี U3 และ U2 ทำงานวงจรสำเร็จรูปแบบโมดูลเบอร์ M5703L ที่เป็นวงจรขับนำทรานซิสเตอร์ T_B ที่อยู่ในภาพที่ 4.1 ให้นำกระแสตามสัญญาณที่ได้จากไอซี U2 และ U3 ผ่านทาง NAND gate (เบอร์ 7400) ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 วงจรควบคุมการเบรคมอเตอร์

4. วงจรป้องกัน

วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังจำเป็นจะต้องมีวงจรป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์อันเกิดเนื่องมาจาก กระแสเกินพิกัด กระแสลัดวงจร แรงดันเกินพิกัด เป็นต้น ซึ่งการผิดปกตินี้จะส่งผลทำให้อุปกรณ์ทางด้านกำลังเสียหายได้ ลักษณะสำคัญของวงจรป้องกันก็คือ จะต้องมีการตอบสนองที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่วัด ส่วนอุปกรณ์ที่ทำการวัด(sensor) จึงต้องมีทั้งความไวต่อการตอบสนองสัญญาณและความแม่นยำ การตรวจวัดสัญญาณที่ใช้ในการป้องกันอินเวอร์เตอร์ ก็คือ

การตรวจวัดกระแสไฟตรง และการตรวจวัดแรงดันไฟตรง

ตำแหน่งอุปกรณ์ในการตรวจวัดกระแสไฟตรง แสดงในภาพที่ 4.1อุปกรณ์วัดกระแส(LEM) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ Hall effect ซึ่งมีข้อสำคัญก็คือมีความไว และความเที่ยงตรงที่ดีโดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแต่เพียงเล็กน้อย

การวัดกระแสไฟตรงนำมาใช้งาน ดังนี้ คือ

- นำมาใช้ในการตรวจวัดการทำงานของมอเตอร์ว่าอยู่ในลักษณะปกติหรือผิดปกติ เนื่องจากอัตราเร่งเกิน (over acceleration) และภาระเกิน (over load)

- นำมาใช้ในการตรวจวัดการผิดปกติเนื่องจากการลัดวงจร (short circuit) หรือ เกิดการ shoot through

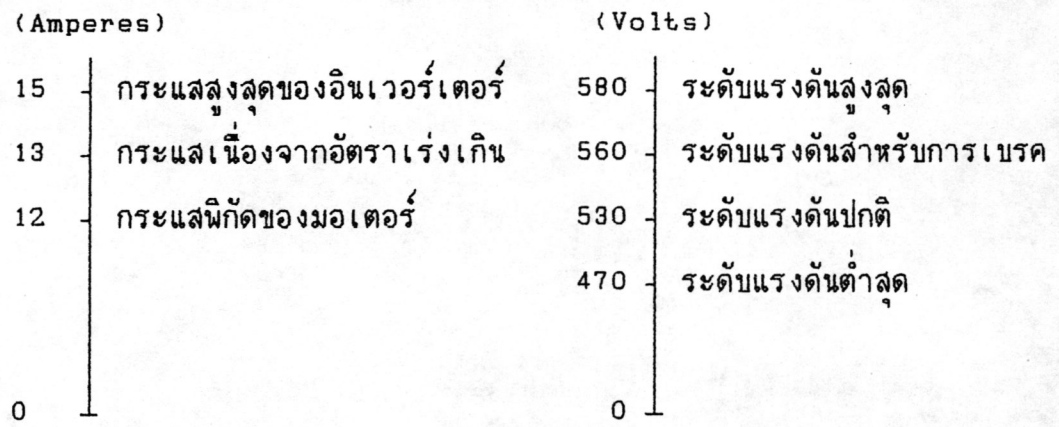
การวัดแรงดันไฟตรงเพื่อนำไปใช้งาน ดังนี้ คือ

- เพื่อตรวจวัดระดับแรงดันปกติ หรือไม่ เช่น ระดับแรงดันต่ำ และระดับแรงดันสูงเกิน

- เพื่อควบคุมการเบรคของมอเตอร์

ดังนั้นระดับแรงดันและกระแสที่ถูกกำหนดไว้สำหรับการทำงานของวงจรป้องกัน ดังกล่าวดังแสดงอยู่ในภาพที่ 4.5

จากข้อกำหนดดังกล่าว จึงนำมากำหนดการทำงานของวงจร โดยมีแรงดันขาเข้าจากแรงดันควบคุม (Vc), แรงดันจากวงจรตรวจวัดแรงดันไฟตรง และกระแสจากวงจรตรวจวัดกระแส (LEM)

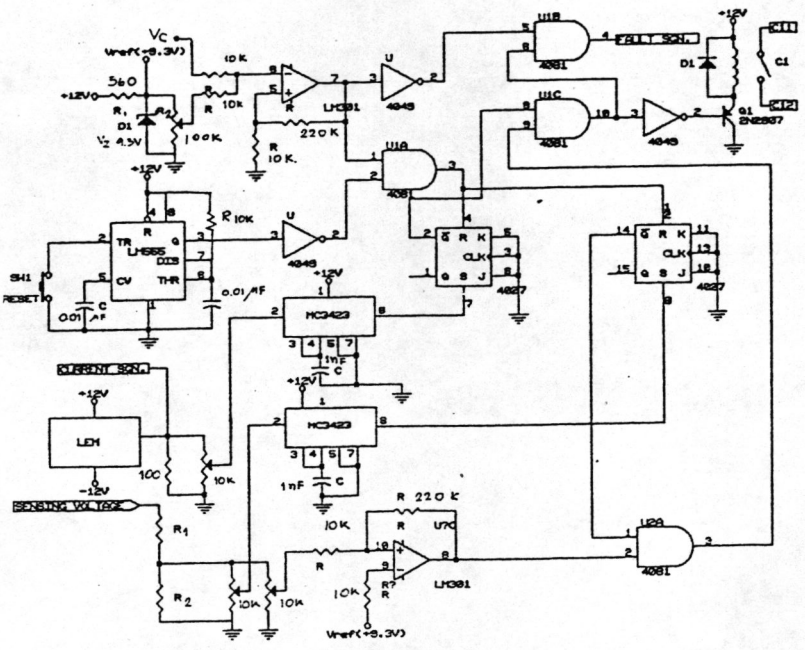


ภาพที่ 4.5 แสดงระดับกระแสและแรงดันของอินเวอร์เตอร์

การทำงานของวงจรป้องกันในภาพที่ 4.6 เริ่มอธิบายจากวงจรป้องกันกระแสผิดปกติที่ทำการวัดสัญญาณของกระแสที่ไหลเข้าอินเวอร์เตอร์ด้วยวงจรตรวจวัดกระแส(current sensor) ที่เป็นแบบโมดูลสำเร็จรูปชื่อว่า LEM ซึ่งใช้หลักการที่เรียกว่า hall effect สัญญาณขาออกของตรวจวัดกระแส จะถูกนำมาเปรียบเทียบกันกับระดับแรงดันคงที่ในตัวไอซี MC3423 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.4 โวลต์ ถ้าสัญญาณของกระแสที่วัดได้สูงกว่า 2.4 โวลต์ แรงดันที่ขา 8 ของ MC3423 จะมีระดับเป็น HI และไปกำหนดให้ขา 2 ของไอซี 4027 ที่ทำหน้าที่เป็น flip flop ให้มีสถานะเป็น LO ก็จะทำให้สัญญาณแสดงสถานะผิดปกติ(fault signal)มีสถานะเป็น LO ตามสัญญาณขา 2 ของ

ไอซี 4027 สัญญาณแสดงสถานะผิดปกติ(fault signal)จะถูกต่อกันกับสัญญาณผิดปกติ (fault signal)ของวงจรในภาพที่ 3.17 ทำให้สัญญาณควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์มีระดับเป็นLO และวงจรอินเวอร์เตอร์ก็จะหยุดทำงานด้วย ผลของสัญญาณแสดงสถานะผิดปกติ(fault signal)อีกประการหนึ่งก็คือ จะทำให้หน้าสัมผัส C1 ในวงจรภาพที่ 4.6 ตัดวงจร แต่หน้าสัมผัส C1 ต่อไปยังวงจรในภาพที่ 4.2 การตัดวงจรของหน้าสัมผัส C1 มีผลทำให้แรงดัน Vc เป็นลบมากขึ้น สาเหตุที่ต้องให้แรงดัน Vc มีค่าลบมากขึ้นเพราะจะต้องทำการเริ่มเดินเครื่องใหม่ที่ความเร็วต่ำสุด เมื่อแรงดัน Vc มีค่าเป็นศูนย์ จึงสามารถทำการรีเซตสัญญาณผิดปกติ โดตนำ Vcไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ทำให้แรงดันขาออกของไอซี LM301 มีระดับ HI ซึ่งทำให้ AND gate เบอร์ 4081 เปิดทางให้สัญญาณรีเซตจากไอซีเบอร์ LM555(เมื่อทำการกดสวิตช์ SW1) ไปยังขา4และขา 12 ของไอซี 4027 และทำให้สัญญาณผิดปกติ(fault signal) เป็น HI ซึ่งมีผลทำให้อินเวอร์เตอร์พร้อมที่จะเริ่มทำงานใหม่ได้อีก

การทำงานของส่วนวงจรป้องกันแรงดันผิดปรกติ เริ่มจากการเปรียบเทียบระดับแรงดันเกิน โดยใช้ไอซีเบอร์ MC 3423 และ การเปรียบเทียบระดับแรงดันต่ำโดยใช้ไอซีเบอร์ LM 301 เราทำการวัดแรงดันโดยใช้วงจรตรวจวัดแรงดันไฟตรงผ่านทางตัวต้านทาน 10 kΩ (ดูภาพที่ 4.6) เมื่อแรงดันเกินหรือต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ทำให้สัญญาณขาออกจากไอซีที่ทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบทั้งสองมีระดับเป็น HI และทำให้สัญญาณขาออกจากไอซี 4027 มีระดับ LO ซึ่งจะมีผลทำให้สัญญาณผิดปกติมีระดับ LO และหน้าสัมผัส C1 ตัดวงจร จึงไม่มีสัญญาณไปควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ และ ระดับแรงดันควบคุม Vc มีค่าเป็นศูนย์ ถ้าเราต้องการให้อินเวอร์เตอร์ทำงานใหม่ให้กดสวิตช์ SW1 ดังในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 วงจรป้องกันการทำงานผิดปกติของอินเวอร์เตอร์