บทที่ 4

วงจรจุดชนวน วงจรวัด และ วงจรประกอบอื่น ๆ

4.1 คำนำ

ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงวงจรแปลงผันซึ่งต้องจุดชนวนที่เกตเพื่อให้ เอสซีอาร์นำกระแส วงจรแปลงผันนี้จึงสามารถทำงานได้ ในบทนี้จะได้กล่าวถึงวงจรควบคุมการจุดชนวนเกต ซึ่งจะใช้วงจรรวม (IC) เบอร์ TCA 785 ดังรูปที่ 4.1 และนอกจากนั้นยังจะต้องมีส่วนประกอบอื่น ๆ เพื่อใช้ในการทำงานให้สมบูรณ์และปลอดภัย ดังจะกล่าวรายละเอียดต่อไป

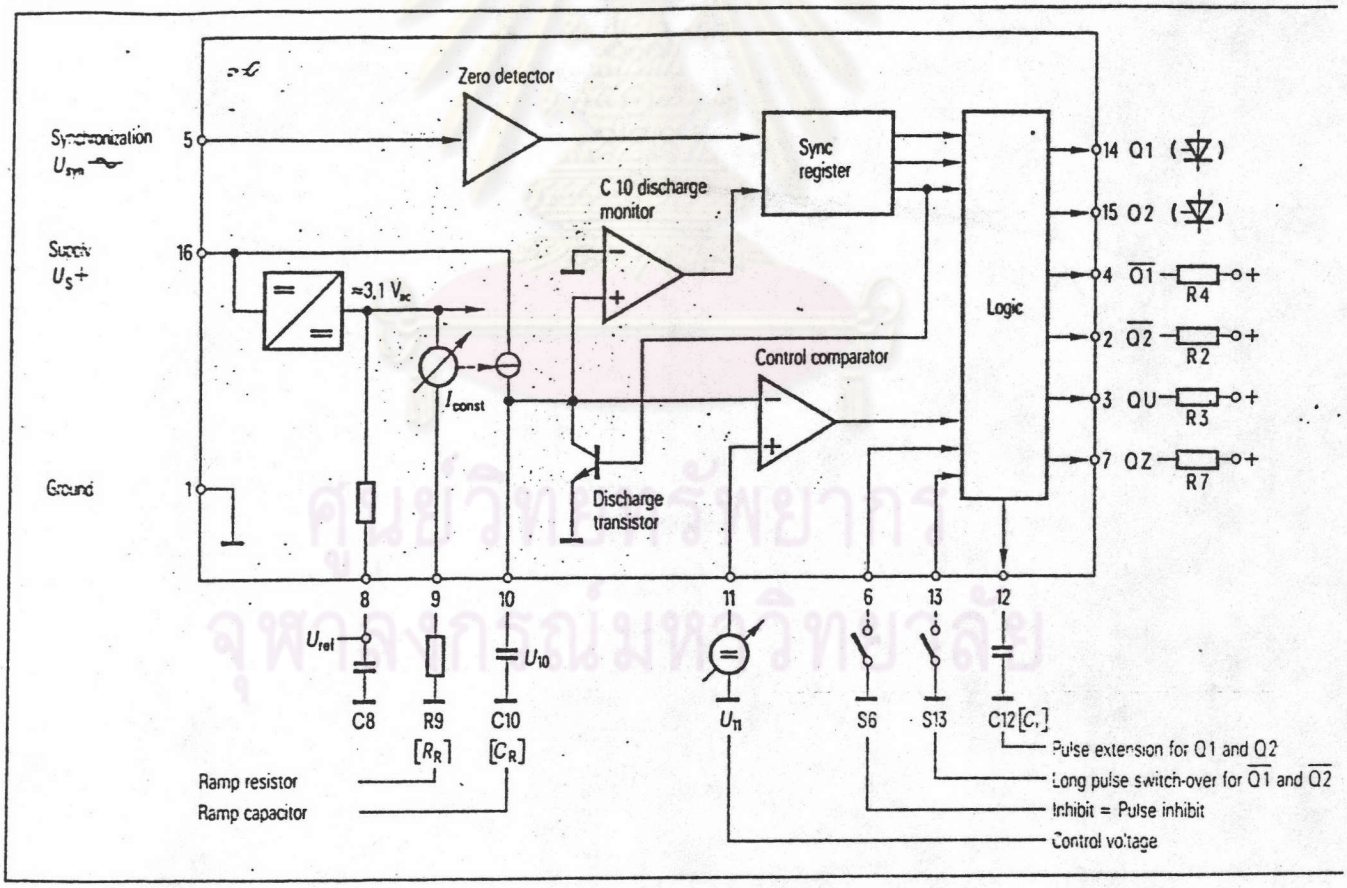


Fig. 1 Block diagram of the TCA 785 integrated phase control

รูปที่ 4.1 แผนภาพการทำงานของวงจร TCA 785

4.2 <u>วงจรจุดชนวน</u> (Schott, 1985 ; Siemen, 1985)

การที่เอสซีอาร์จะนำกระแสจะต้องมีการจุดชนวนเกตเสียก่อนโดยใช้พัลส์ไปกระตุ้นเกต วงจรจุดชนวนประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ IC เบอร์ TCA 785 ของ Siemens ซึ่งเป็นวงจรรวม (integrated circuit) สำหรับใช้ในการควบคุมเฟสโดยเฉพาะ มีรายละเอียดดังแสดงด้วยรูปที่ 4.1 และสัญญาณแสดงการทำงาน แสดงด้วยรูปที่ 4.2

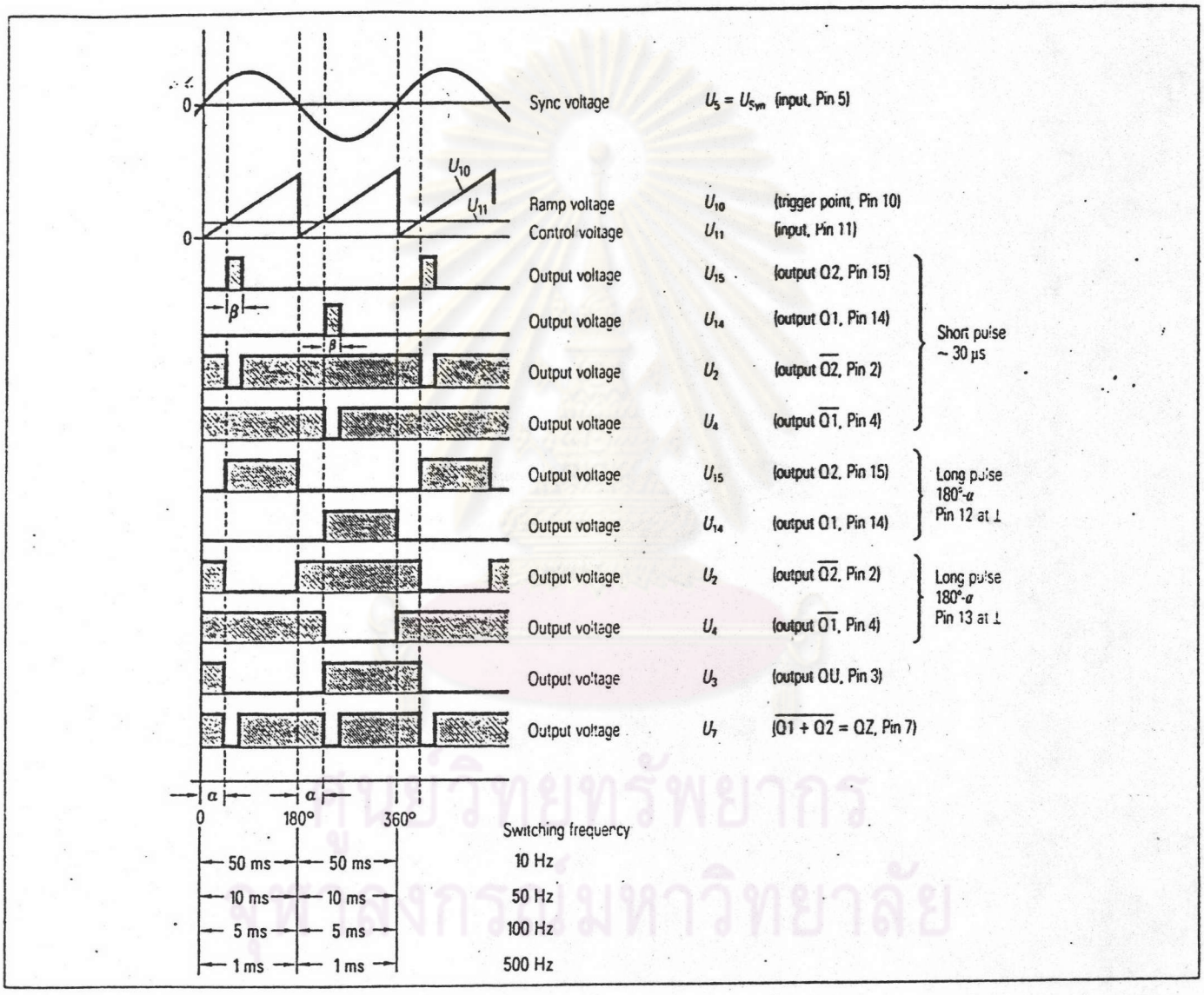


Fig. 2 TCA 785 waveforms

รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณการทำงานของ TCA 785

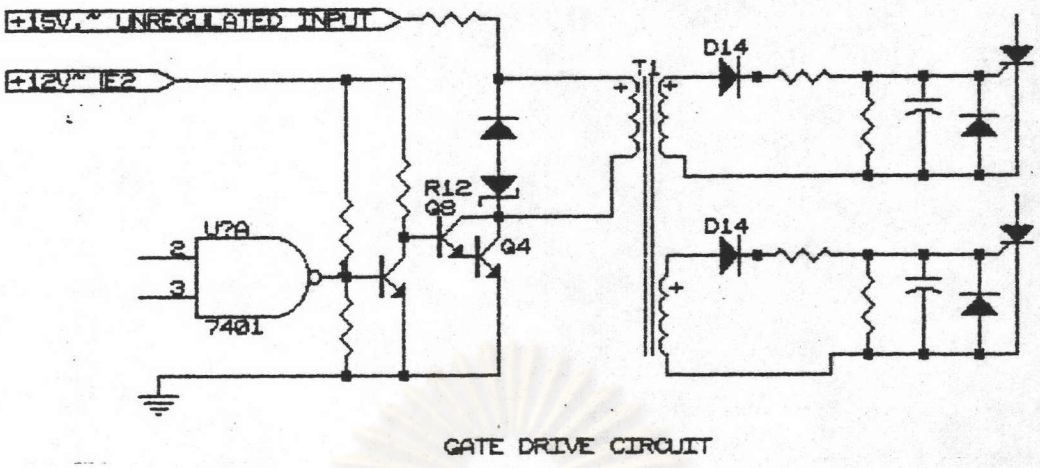
หลักการทำงานของ TCA 785 สรุปได้ดังนี้ เราจะป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเข้าที่ขา 5 เพื่อให้วงจรตรวจจับการผ่านศูนย์ (zero detector) สัญญาณที่

ป้อนให้นี้เรียกว่าสัญญาณซิงโครไนซ์ (synchronization signal) เพื่อจะบังคับให้เกิดสัญญาณฟันเลื่อยของขา 10 (V_{10}) โดยมีจุดเริ่มต้นของแต่ละคาบที่ขณะเวลาสัญญาณซิงโครไนซ์ผ่านศูนย์ การควบคุมสัญญาณพัลส์ที่จะไปจุดชนวนกระทำได้โดยการป้องแรงดันเข้าที่ขา 11 (V_{11}) ภายในวงจรรวม TCA 785 จะมีวงจรเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างขา 11 กับ ขา 10 ใน 1 วัฏจักรของสัญญาณฟันเลื่อย จุดตัดระหว่างสัญญาณขา 10 และ 11 ครั้งแรก จะเป็นจุดเริ่มต้นของสัญญาณพัลส์ที่ออกมา จากขา 14 และ 15 เราสามารถกำหนดสัญญาณพัลส์ที่ออกมาให้มีช่วงเวลายาว (จุดที่สัญญาณลงเป็นศูนย์ เป็นเวลาเดียวกับสัญญาณฟันเลื่อยลงศูนย์) หรือสั้น (สัญญาณลงเป็นศูนย์ก่อนสัญญาณฟันเลื่อยลงเป็นศูนย์) ได้ ซึ่งอันนี้จะมีประโยชน์ในการเลือกใช้งานภายหลังต่อไป

ที่ขณะ V_{11} = 0 โวลต์ จะให้พัลส์ตรงจุดกำเนิด (origin) พอดีเรียกว่ามุมจุดชนวน=0° (โดยประมาณ) เมื่อ V_{11} > 0 โวลต์ จุดตัดของ V_{11} กับ V_{10} จะอยู่สูงขึ้น ดังนั้นสัญญาณพัลส์จะเกิดช้าหรือมุมจุดชนวนมากกว่า 0° นั่นหมายความว่า จะปรับมุมจุดชนวนได้ด้วยการปรับ V_{11} ตามอุดมคติมุมจุดชนวนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ V_{11} ที่ป้อนเข้าไป ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.2

โดยทั่วไปแล้วสัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้น หากไปจุดชนวน SCR ทันทีนั้น ทำไม่ได้เนื่องจากแรงดันที่ขาคาโทดของเอสซีอาร์ไม่เท่ากันทุกตัว หากจุดชนวนโดยตรงจะทำให้วงจรเกิดความเสียหายได้ การแยกโดดทางไฟฟ้าระหว่างชุดกำลัง (คือชุดวงจรเรียงกระแส) กับชุดควบคุม (คือชุดของ TCA 785) เป็นสิ่งจำเป็น แต่เพื่อให้วงจรทำงานร่วมกันได้จึงมีการใช้แสงหรือสนามแม่เหล็ก (ด้วยหม้อแปลง) เชื่อมโยงกันแทน วิธีที่นิยมใช้กันมากคือใช้หม้อแปลง ขนาดของหม้อแปลงขึ้นกับความถี่ของสัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้ เพื่อให้ขนาดหม้อแปลงที่ใช้มีขนาดเล็กพอเหมาะกับความจำเป็นจึงนำเอาสัญญาณพัลส์ที่ได้จาก TCA 785 มาผสมกับสัญญาณความถี่สูงขึ้น (ประมาณ 20 kHz) โดยการผ่านวงจรแนนด์ (NAND - gate) เบอร์ 7403 (ชีเอ็ดยูเคชั่น, ไม่ระบุปี) ซึ่งรับสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 555 นำสัญญาณที่ได้เข้าวงจรขับนำผ่านหม้อแปลงป้อนให้ขาเกตของเอสซีอาร์ เอสซีอาร์นั้นก็จะเริ่มนำกระแสต่อไปดังแสดงด้วยรูปที่ 4.3

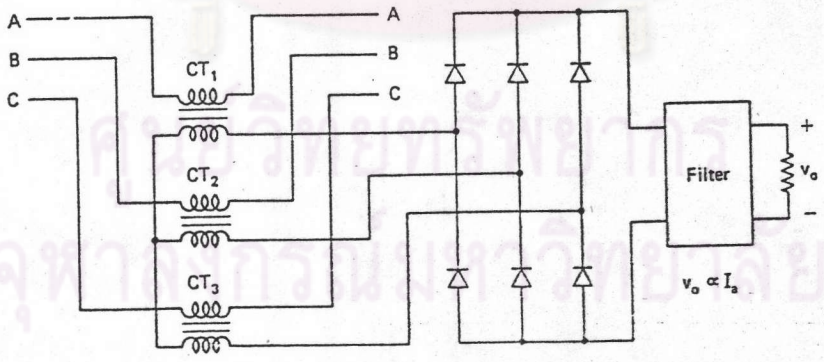
สัญญาณพัลส์ที่ผ่านหม้อแปลงออกมาจะมีค่าบวกและลบ ก่อนป้อนเข้าเอสซีอาร์จึงมีการทำให้เป็นแรงดันไฟตรงก่อนผ่านตัวต้านทาน เพื่อเป็นการป้องกันกระแสเกิน มีวงจร R,C เพื่อลดผลของสัญญาณรบกวนต่อวงจรเกต



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรจุดชนวน

4.3 <u>วงจรวัด</u> (Dubey, 1989)

ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแรงกระตุ้นแยกนั้น การใช้วงจรคุมค่าเพื่อรักษาความเร็วของมอเตอร์ให้คงค่าตามที่ต้องการ จำเป็นต้องวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์และวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ เนื่องจากการควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ทำนี้ไม่ใช่วิธีของการปรับความเร็วโดยการลดกระแสที่ผ่านขดลวดสนาม จึงไม่จำเป็นต้องวัดกระแสที่ไหลผ่านขดลวดสนามนี้ก็ได้



รูปที่ 4.4 แสดงการใช้ CT วัดกระแส

การวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านวงจรอาร์เมเจอร์ สามารถกระทำได้หลายรูปแบบ เช่นการใช้หม้อแปลงกระแส (CT) วัดกระแสสลับทางด้าน 3 เฟสที่เข้ามา ตามที่แสดงด้วยรูป 4.4 หรือการใช้อุปกรณ์ชุดกระแสแบบชุดสำเร็จ เป็นต้น

การใช้หม้อแปลงกระแสสำหรับวัดกระแสของวงจรอาร์เมเจอร์ เราไม่สามารถวัดที่กระแสไฟตรงได้ ดังนั้น เราจึงใช้วัดด้านกระแสสลับแล้วผ่านวงจรเรียงกระแสมาเป็นกระแสไฟตรง ซึ่งเป็นค่าที่เป็นปฏิภาคกับกระแสไฟตรงไหลผ่านอาร์เมเจอร์ วิธีนี้นิยมกันมากเนื่องจากมีข้อดีคือ ราคาถูก วัดกระแสได้มาก และ มีอายุการใช้งานตามปกติยาวนาน ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้แบบอุปกรณ์วัดกระแสแบบชุดสำเร็จโดยใช้ปรากฏการณ์ของฮอลล์ (Hall's effect) เนื่องจากสามารถวัดกระแสตรงที่ไหลผ่านวงจรอาร์เมเจอร์ได้โดยไม่มีกระแสที่ไหลผ่านวงจรสนับเบอร์เข้ามาเกี่ยวข้อง (ซึ่งหากวัดโดยหม้อแปลงกระแสจะรวมกระแสสนับเบอร์นี้ด้วย แต่ไม่รวมกระแสอาร์เมเจอร์บางส่วนที่ไม่ผ่านหม้อแปลงกระแส) ทำให้ง่ายต่อการศึกษารูปคลื่นของกระแส และศึกษาระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้วงจรคุมค่าแบบปรับตัวเองนี้ด้วย

ในการวัดความเร็วของมอเตอร์ ได้ใช้เครื่องวัดรอบที่ติดมาพร้อมกับมอเตอร์เป็นอุปกรณ์วัด โดยที่เครื่องวัดรอบนี้จะให้กระแสไฟตรง และมีแรงดันเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเร็วรอบ เครื่องวัดรอบนี้ใช้หลักการของ Tachogenerator

4.4 ส่วนประกอบอื่น ๆ

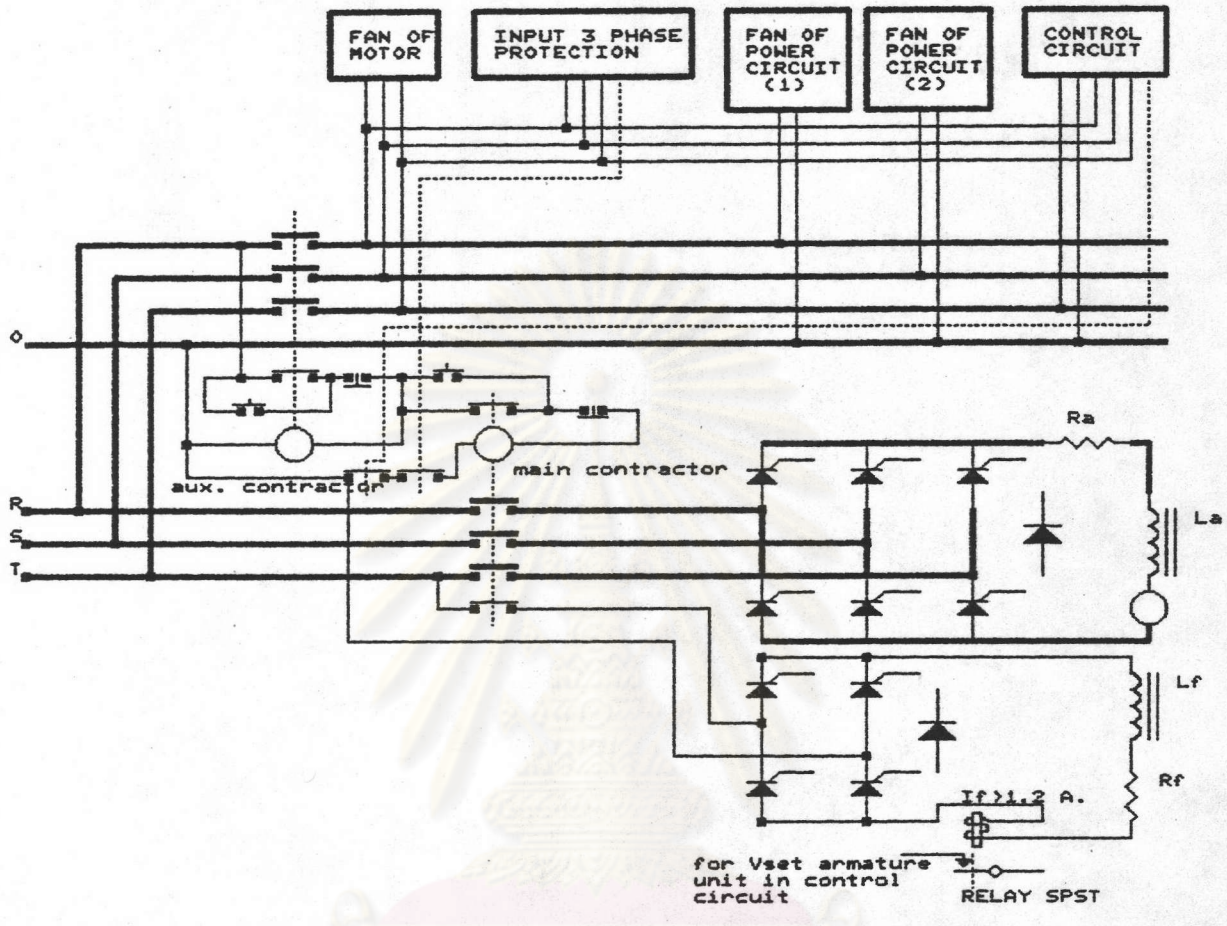
นอกจากวงจรที่ได้กล่าวถึงข้างต้นนี้แล้ว ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ เพื่อช่วยในการทำงานและป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้อีก นอกเหนือจากวงจรคุมค่าที่จะกล่าวถึงต่อไป ส่วนประกอบเหล่านี้ได้แก่

4.4.1 พัดลมระบายความร้อน

ในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ โหลดบางอย่างต้องใช้แรงบิดสูงที่ความเร็วรอบต่ำ ภาวะเช่นนี้มอเตอร์อาจระบายความร้อนไม่ทันทำให้ต้องมีพัดลมช่วยในการระบายความร้อนนี้

4.4.2 อุปกรณ์จัดลำดับการทำงาน

การควบคุมมอเตอร์แบบกระตุ้นแยก จะต้องให้กระแสไหลในขดลวดสนามก่อน มิฉะนั้นหากมีการต่อวงจรคุมค่าเมื่อมอเตอร์กำลังรับภาระโหลด (load) อยู่ กระแสอาร์เมเจอร์จะไหลมากหากไม่มีการจำกัดกระแส กระแสนี้อาจไหลมากเกินพิกัดได้ หรือขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนเกิดไม่มีกระแสไหลในวงจรสนาม มอเตอร์อาจหยุดหมุนได้ เป็นต้น นั่นคือ ระบบควรมีการจัดลำดับการทำงานและป้องกันเหตุเสียที่อาจเกิดขึ้นได้



รูปที่ 4.5 แสดงอุปกรณ์ตัดต่อวงจร

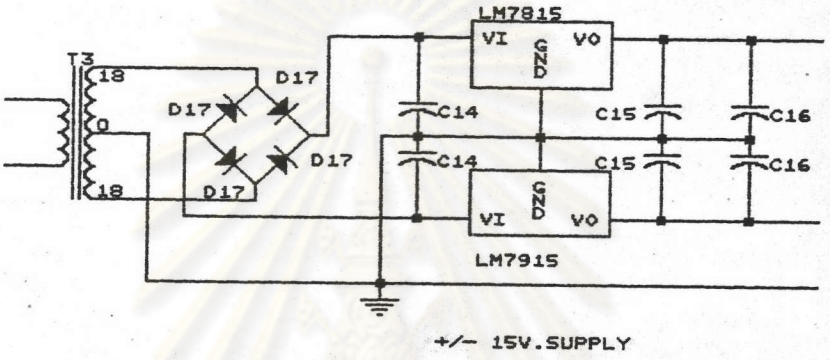
4.4.3 อุปกรณ์ตัดต่อวงจร

หลักการทำงานของอุปกรณ์ตัดต่อวงจรนี้ เราได้ออกแบบโดยเน้นความปลอดภัยเป็นหลักสำคัญโดยใช้แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ 2 ชุด ชุดแรกใช้สำหรับวงจรควบคุม พัดลมระบายความร้อนให้มอเตอร์ พัดลมระบายความร้อนของวงจรเรียงกระแส วงจรป้องกันแรงดันเกินหรือต่ำกว่าปกติ และ วงจรเช็คการลำดับเฟส เหตุที่ต้องมีการเช็คลำดับเฟสเนื่องจาก พัดลมระบายความร้อนให้มอเตอร์หากหมุนผิดทิศทางการหมุนจะส่งผลให้ระบายความร้อนออกมาไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้มอเตอร์เสียหายได้ และมีฟิวส์สำหรับป้องกันพัดลม วงจรควบคุมขดลวดของแมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ต้องต่อวาริสเตอร์ เพื่อป้องกันการต่อสายนิวตรารสลับกับเฟส อีกชุดหนึ่งสำหรับเดินเครื่องมอเตอร์จะเป็นชุดสำหรับจ่าย

กำลังไฟให้มอเตอร์โดยผ่านเอสซีอาร์ เหตุที่ต้องใช้แมกเนติกส์คอนแทกเตอร์ 2 ชุด เพื่อว่าเวลาหยุดมอเตอร์แล้ว แต่มอเตอร์ยังมีความร้อนสะสมอยู่ จึงควรมีพัดลมเป่าอยู่ตลอดเวลาจนกว่ามอเตอร์จะเย็น

4.4.4 แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง

แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงที่มีการคงค่าที่ใช้นี้แสดงอยู่รูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงที่มีการคงค่า (ตัวอย่าง)

เหตุที่ต้องใช้แรงดันหลายระดับจนดูเสมือนว่ามากเกินไป เนื่องมาจากวงจรย่อยที่ใช้ต้องการแหล่งจ่ายไฟในหลายระดับ

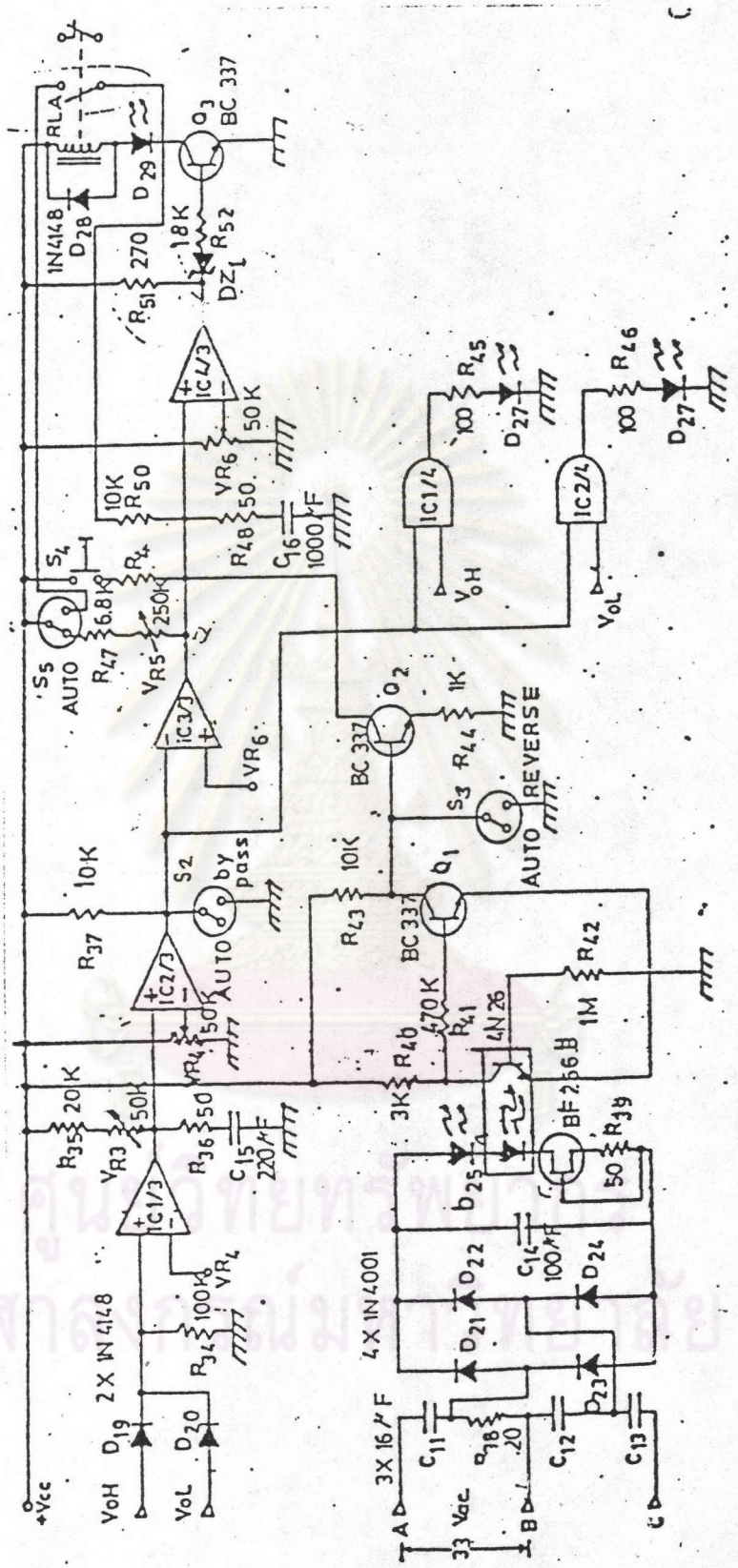
+15V., Ø, -15V. ใช้สำหรับ อุปกรณ์วัดกระแสที่ไหลผ่านวงจรอาร์เมเจอร์

+12V., Ø, -12V. ใช้สำหรับ op amp ที่ใช้

+5V., Ø, -5V. ใช้สำหรับ 555, TTL

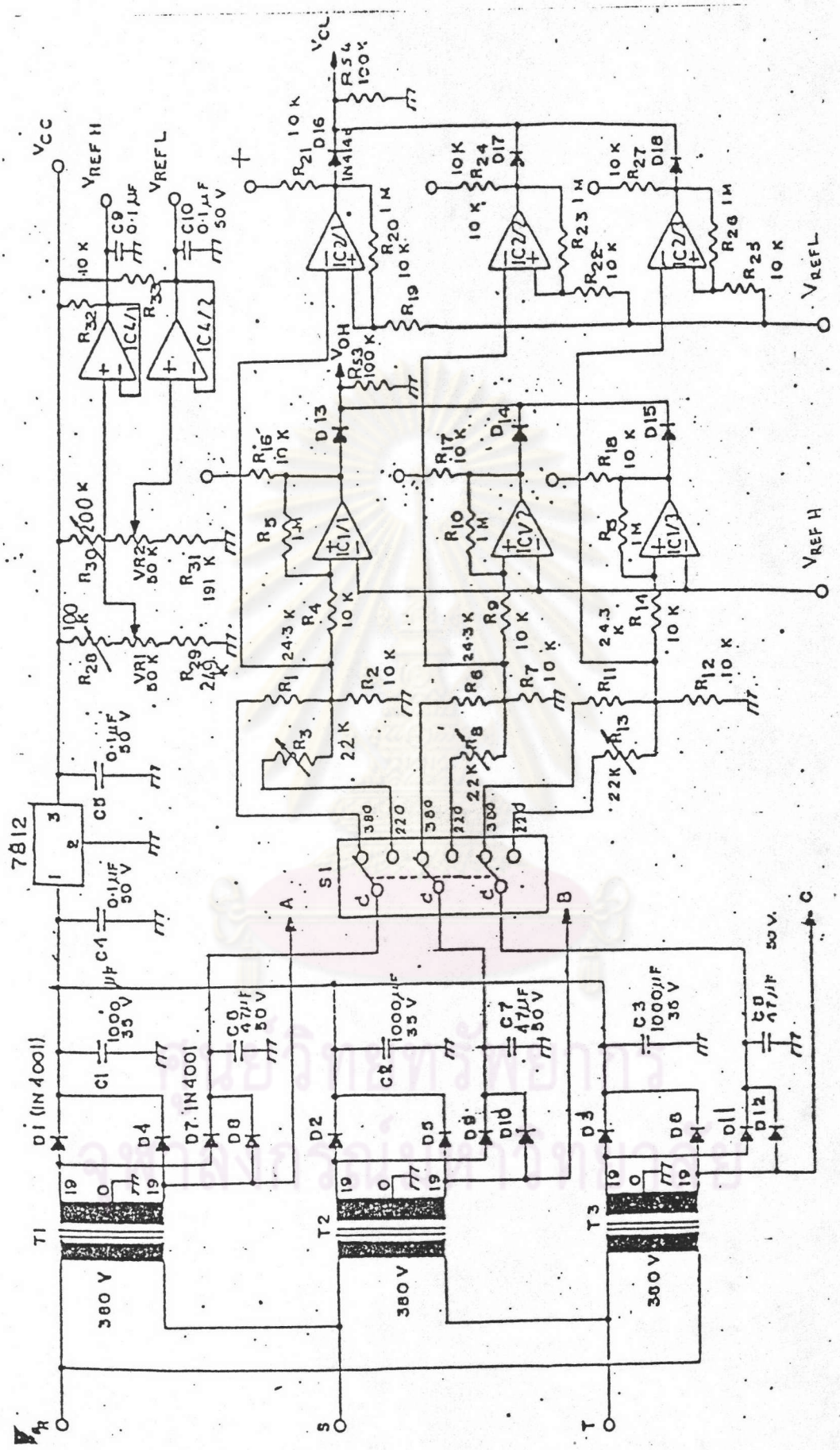
4.4.5 วงจรป้องกันภาคขาเข้า

วงจรป้องกัน มีหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์ไม่ให้เกิดความเสียหายเนื่องจากกระแสเกิน เฟสไม่ครบ 3 เฟส แรงดันขาเข้าต่ำหรือสูงเกินไป แรงดันเสิร์จ (surge voltage) อุปกรณ์ป้องกันที่ออกแบบนี้ สามารถป้องกันได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากความสามารถในการออกแบบมีจำกัด



รูปที่ 4.7 แสดงวงจรป้องกันภาคขาเข้า (เกษียร สุขีโมกข์, 2527)

i 10310216



รูปที่ 4.7 (ต่อ) แสดงวงจรป้องกันภาคขาเข้า

หลักการทำงานของวงจรป้องกันแรงดันตกและแรงดันเฟสไม่ครบ 3 เฟส เป็นดังนี้ จะมีหม้อแปลงทำหน้าที่ตรวจสอบแรงดันโดยต่อหม้อแปลงแบบเดลตาทางปฐมภูมิ และทางทุติยภูมิต่อแบบสตาร์ ทั้งนี้เพราะใช้กับระบบไฟที่ไม่มีสายนิวตราล ซึ่งสัญญาณที่ออกจากหม้อแปลงจะอยู่ในรูปของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ โดยแต่ละสัญญาณเกิดจากแรงดันในแต่ละคู่ของเฟส (R-S, S-T, T-R) เพราะฉะนั้น เมื่อเกิดความผิดปกติกับเฟสใดเฟสหนึ่งจะแสดงออกมาที่ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง 2 ตัว เนื่องจากเราต่อด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงแบบสตาร์ การทำงานของวงจรอธิบายได้ดังนี้

1. เมื่อสัญญาณของแรงดันถูกส่งผ่านหม้อแปลงแล้ว จะเข้าสู่วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่น โดยในแต่ละเฟสจะผ่านวงจรเรียงกระแส 2 วงจร และสัญญาณที่ผ่านออกมาจากวงจรเรียงกระแสมารวมกันให้กับวงจรคงค่าแรงดัน เพื่อสร้างไฟเลี้ยงให้กับวงจรและสัญญาณจากวงจรเรียงกระแสที่เหลืออยู่ จะเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบต่อไป

2. สัญญาณในแต่ละเฟสจะเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบแรงดันสูงและแรงดันต่ำกว่าปกติ เพื่อเปรียบเทียบหาความผิดปกติ ถ้าเกิดความผิดปกติขึ้น เช่น แรงดันสูงหรือต่ำกว่าปกติ สัญญาณขาออกจะเป็นลอจิก 1 (สูง)

3. สัญญาณที่ออกจากวงจรเปรียบเทียบ จะเข้าสู่วงจรตั้งเวลาการตัด เพื่อให้มีช่วงเวลาในการตัดให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน และจะส่งสัญญาณไปตัดรีเลย์เมื่อหมดช่วงการตั้งเวลา

4. เมื่อระบบแรงดันกลับเข้าสู่ภาวะปกติหลังจากผิดปกติ จะต้องอาศัยช่วงเวลาจากการต่อ โดยเมื่อสัญญาณจากวงจรเปรียบเทียบเป็นปกติ รีเลย์จะต่อวงจร

5. ในขณะที่วงจรเปรียบเทียบแรงดันทำงานวงจรตรวจจับการขาดหาย 1 เฟส และการผิดลำดับเฟสก็จะทำงานอยู่ด้วย โดยรับสัญญาณขาเข้าจากหม้อแปลงแต่ละตัวซึ่งมีการลำดับเฟสแล้ว และนำสัญญาณผ่านวงจร R-C ที่คำนวณไว้หาผลรวมของแรงดันเมื่อเกิดการสลับเฟส โดยนำสัญญาณผ่านวงจรเรียงกระแส แล้วนำไปขับออปโต-คัปเปลอร์ โดยมีเฟต (FET) เป็นตัวกำหนดให้กระแสคงที่เมื่อมีการขาดหายไป 1 เฟส หรือการผิดลำดับเกิดขึ้น ทรานซิสเตอร์ของออปโต-คัปเปลอร์ จะได้รับแสงจากไดโอดในออปโต-คัปเปลอร์และนำกระแส ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_1 หยุดนำกระแส ทรานซิสเตอร์ Q_2 จะนำกระแสซึ่งจะทำให้คาปาซิเตอร์ C_{16} คายประจุผ่านทรานซิสเตอร์ Q_2 ลงกราวนด์ ไป รีเลย์จะหยุดทำงานโดยไม่ผ่านภาคหน่วงเวลา และเมื่อระบบแรงดันเข้าสู่ภาวะปกติ วงจรหน่วงเวลาการต่อจะตั้งเวลาเพื่อต่อรีเลย์เข้าสู่วงจร หรือจะเลือกให้ต่อโดยกดสวิตช์

รีเซ็ต

6. การแสดงผลที่ LED จะนำสัญญาณจากวงจรเปรียบเทียบและสัญญาณขาออกจากวงจรตั้งเวลาการตัดมา AND กัน และนำสัญญาณขาออกไปขับ LED โดยมี LED แสดงภาพแรงดันเกิด แรงดันตก สำหรับ LED ที่แสดงผลการทำงานของวงจรตรวจขาดหาย 1 เฟส และการสลับเฟสใช้ LED ต่ออนุกรมในวงจรเลย ส่วน LED แสดงผลการทำงานของรีเลย์จะสว่างเมื่อภาวะปกติ และจะดับเมื่อผิดปกติ

การทำงานของวงจรทั้งหมดจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการผิดปกติของแรงดัน เช่น แรงดันต่ำกว่าพิกัด หรือ แรงดันสูงกว่าพิกัด วงจรจะตั้งเวลาแล้วไปตัดรีเลย์ เพื่อให้คอนแทกเตอร์ของรีเลย์ไปตัดวงจรควบคุมมอเตอร์ และเมื่อระบบแรงดันเข้าสู่ภาวะปกติแล้ววงจรจะตั้งเวลาเพื่อต่อรีเลย์เข้าในวงจรอีกครั้ง เช่นเดียวกัน ในวงจรตรวจสอบการขาดหาย 1 เฟส และการกลับเฟส เมื่อเกิดการผิดปกติ เช่น เฟสขาด หรือ เกิดการผิดลำดับเฟส รีเลย์จะถูกตัดออกจากวงจรทันที

เหตุที่ต้องการให้มีการตัดวงจรเมื่อมีการต่อลำดับเฟสผิด เนื่องจากต้องการให้ระบบระบายความร้อนของมอเตอร์ปกติ เมื่อมีการ on ภาคควบคุมจึงให้วงจรต่าง ๆ ทำงาน ยกเว้นภาคที่จ่ายกำลังให้มอเตอร์ ทั้งนี้เพราะ เราต้องการให้มอเตอร์มีการระบายความร้อนอยู่เสมอ แม้จะเลิกใช้มอเตอร์แล้วก็ตามยังมีความร้อนสะสมอยู่ เมื่อมอเตอร์เย็นตัวลงเราค่อย off เครื่องทั้งหมด

ปัญหาหนึ่งของการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก คือการไม่ให้มอเตอร์ทำงานในขณะที่ไม่มีกระแสสนามหรือมีแต่น้อยเกินไป วิธีหนึ่งซึ่งง่ายและประหยัด คือการใช้สวิตช์แบบ reed switch โดยนำสวิตช์มาวางไว้ระหว่างขดลวดที่กระแสสนามไหลผ่าน ขดลวดนี้จะสร้างสนามแม่เหล็กเพื่อให้สวิตช์ทำงานต่อวงจร เสมือนว่าหากไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวดสนามก็จะไม่มีกระแสหรือแรงดันที่ขดลวดอาร์เมเจอร์

นอกจากนี้ยังมีการต่อฟิวส์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของวงจร เพื่อป้องกันกระแสไหลมากเกินไป สำหรับเอสซีอาร์จะมีฟิวส์ที่ป้องกันโดยเฉพาะ การใช้เอสซีอาร์แบบเกลียว (stub) เรามักติดฟิวส์ประจำ SCR แต่ละตัว หากการใช้เอสซีอาร์ที่เป็นแบบกล่อง (pack) เรามักจะใช้ฟิวส์ประจำเฟสที่เข้าสำหรับวงจรที่ได้ทำนี้ เพื่อลดขนาดปริมาณของตู้ จึงได้ต่อฟิวส์ที่ขาออกของวงจรแทน เพราะเราใช้เอสซีอาร์ที่สามารถจ่ายกระแสได้เกินพิกัดมอเตอร์มากพอสมควรแล้ว อีกประการหนึ่งก็คือ ไม่มีเนื้อที่ว่างพอจะใส่ฟิวส์จำนวนมากนั้นได้

ส่วนวิธีการจำกัดกระแส แรงดัน และ ความเร็วรอบ จะอยู่ในส่วนของวงจรควบคุม ซึ่งกล่าวถึงในบทต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย