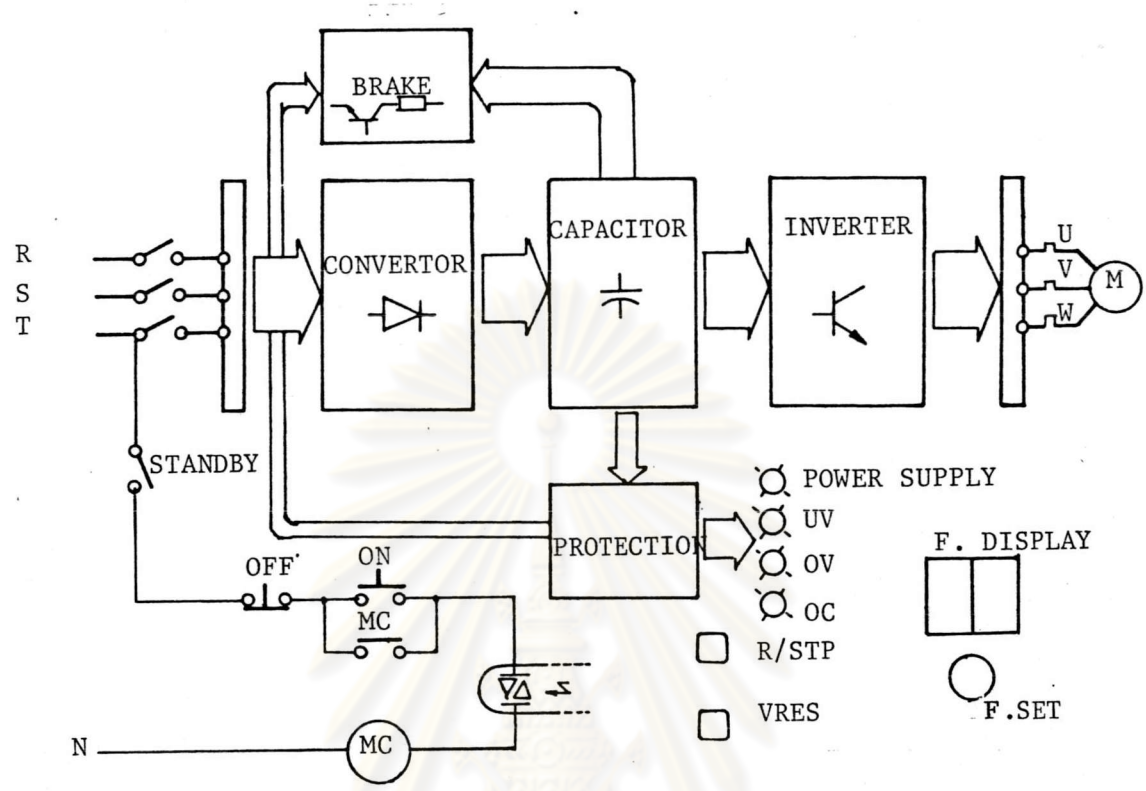
บทที่ 5

การประกอบและทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์

5.1 ส่วนประกอบของวงจรภาคจ่ายกำลัง

ในเครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบปรับความถี่ที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ ประกอบไปด้วยภาคจ่ายกำลังคือ คอนเวอร์เตอร์ วงจรกรอง และอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะนำมาต่อร่วมเข้ากับวงจรควบคุมและระบบป้องกันวงจร เป็นเครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่สมบูรณ์ รูปที่ 5.1 แสดงการเชื่อมต่อหลัก (main interface) ของวงจรภาคจ่ายกำลัง วงจรทางด้านเข้าจะต่อกับระบบไฟ 3 เฟส 380 โวลต์ ทางด้านออกจะต่อผ่านรีเลย์ซึ่งใช้ป้องกันกระแสเกินแล้วต่อไปยังมอเตอร์ซึ่งใช้เป็นโหลด เมื่อสวิตช์เตรียมรอ (standby) อยู่ในตำแหน่งต่อวงจรก็จะมีไฟตรงเลี้ยงวงจรภายในของวงจรควบคุมและระบบป้องกันวงจร (protection circuit) การกดสวิตช์ "ON" จะทำให้มีกระแสผ่านขดลวด (coil) ของตัวสัมผัสแม่เหล็ก (magnetic contactor MC) ซึ่งจะส่งผ่านแรงดันสามเฟสให้แก่วงจรเรียงกระแส (rectifier) ทำให้ได้ไฟตรงประมาณ 510 โวลต์ วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 6 ตัวจะทำการแปลงผันไฟตรงนี้ให้เป็นไฟสลับทางด้านออก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1 การเชื่อมต่อหลัก

ผู้ใช้เครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์ทำการป้อนไฟสลับให้แก่มอเตอร์โดยการสับสวิตช์ R/STP ไปที่ตำแหน่ง RUN ซึ่งมีผลเป็นการป้อนสัญญาณขับนำเบสให้แก่ทรานซิสเตอร์ของวงจรอินเวอร์เตอร์ มอเตอร์จะเริ่มสตาร์ทจากความถี่ 5 เฮิรตซ์ ไปจนถึงค่าความถี่ที่ตั้งไว้ ความถี่นั้นสามารถปรับได้ (ปุ่ม F.SETTING) ระหว่าง 5 เฮิรตซ์ ถึง 50 เฮิรตซ์ และมีการแสดงผลความถี่ด้วยตัวเลขสองหลัก การปรับความถี่ก็จะเป็นขั้น ๆ ขั้นละ 1 เฮิรตซ์โดยมีอัตราการเพิ่มหรือลดความถี่ 1.2 วินาที ต่อ 1 เฮิรตซ์

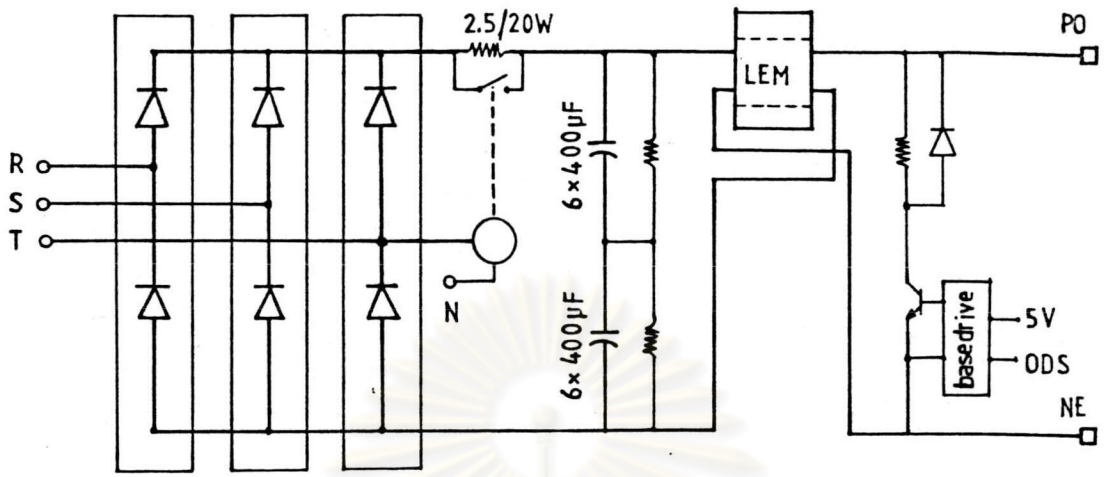
เครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์ออกแบบและสร้างขึ้นนี้จะมีวงจรป้องกันกระแสเกิน (over current) แรงดันเกิน (over voltage) แรงดันเกินเนื่องจากการลดความเร็ว (over deceleration) และแรงดันขาด (under voltage) กรณีแรงดันขาดตรงกับกรณีที่แรงดันไฟบ้านทางด้านเข้ามีค่าตก ซึ่งมีผลเสียที่สำคัญคือ การขับนำเบส อาจไม่เพียงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ของอินเวอร์เตอร์อิ่มตัว ทรานซิสเตอร์ จะร้อนและเสียหายได้ หรือแรงดันอาจจะตกลงต่ำจนกระทั่งระบบป้องกันทำงานผิดปกติ เป็นต้น เมื่อเกิดกรณีกระแสเกิน (OC)

แรงดันเกิน (OV) หรือแรงดันขาด (UV) ไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่สมนัยก็จะสว่าง พร้อมกันนั้นวงจรออปโตคัปเปลอร์ เบอร์ MC3021 ก็จะตัดวงจร ทำให้ไม่มีกระแสมาเลี้ยงขดลวดของตัวสัมผัสแม่เหล็ก (MC) เป็นการตัดไฟ 3 เฟส ทางด้านเข้า ออกจากวงจร และจะตัดสัญญาณที่ขับนำเบสของทรานซิสเตอร์กำลังด้วย ในกรณีที่เกิดกระแสเกิน แรงแรงดันเกินหรือแรงดันขาดผู้ใช้จะต้องกดปุ่มตั้งต้นใหม่ (RESET) ก่อนที่จะเริ่มใช้งานเครื่องควบคุมความเร็ว ทั้งนี้เพื่อให้วงจรป้องกันกลับคืนสู่สภาพที่จะทำงานได้ตามปกติ

เนื่องจากวงจรแต่ละภาคจะแบ่งออกเป็น แผ่นวงจรพิมพ์ (printed circuit) จำนวน 5 แผ่น ซึ่งได้แก่ แหล่งจ่ายไฟสำหรับเลี้ยงวงจรควบคุมและวงจรขับนำเบสของทรานทรานซิสเตอร์กำลัง แผงวงจรควบคุม แผงวงจรระบบป้องกันพร้อมแหล่งจ่ายไฟ แผงวงจรขับนำเบส (base drive) ของทรานซิสเตอร์กำลัง แผงวงจรของภาควงจรกรอง ส่วนที่เหลือจะติดตั้งบนแผ่นระบายความร้อนคือ ภาควงจรเรียงกระแส (rectifier) ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายไฟตรงหลัก วงจรอินเวอร์เตอร์ และทรานซิสเตอร์กำลังสำหรับระบายกระแสออกจากตัวเก็บประจุของแหล่งจ่ายไฟตรงหลัก รายละเอียดของภาคจ่ายกำลังแต่ละภาคดังนี้

5.1.1 แหล่งจ่ายไฟตรงหลัก แหล่งจ่ายไฟตรงหลักซึ่งทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นนี้ จะอาศัยวงจรเรียงกระแส (rectifier circuit) ร่วมกับวงจรกรอง (filter) โดยที่วงจรเรียงกระแสจะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง แต่แรงดันออกของวงจรเรียงกระแสมักจะไม่เรียบ เนื่องจากมีองค์ประกอบของไฟฟ้ากระแสสลับร่วมอยู่ด้วย ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องใช้วงจรกรองเพื่อกรององค์ประกอบของไฟฟ้ากระแสสลับออกทำให้ได้แรงดันไฟตรงที่ค่อนข้างเรียบ

วงจรเรียงกระแสที่สร้างขึ้นนี้เป็นวงจรเรียงกระแส 3 เฟส แบบบริดจ์ ชนิด 6 ลูกคลื่น (three phase six pulses bridge vectifier circuit) ซึ่งใช้ไดโอด 6 ตัวต่อกันดังแสดงในรูปที่ 5.2 ไดโอดที่ใช้สามารถทนกระแสได้ 25 แอมแปร์และทนแรงดันย้อนกลับได้ 1,000 โวลต์ และติดตั้งบนแผ่นระบายความร้อน แรงดันออกของวงจรเรียงกระแสจะถูกป้อนเข้าทางขาเข้าของวงจรกรองซึ่งติดตั้งอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์ 1 แผ่น



รูปที่ 5.2 แหล่งจ่ายไฟตรงหลัก

สำหรับวงจรกรองจะใช้ตัวเก็บประจุขนาด 400 ไมโครฟารัด 350 โวลต์ นำมาต่อขนานกัน 6 ตัว และต่ออนุกรมกันอีก 6 ตัว รวมเป็น 12 ตัว เพื่อให้สามารถทนแรงดันออกของวงจรเรียงกระแสซึ่งมีขนาดประมาณ 510 โวลต์ได้ ค่าตัวเก็บประจุรวมจะเป็น 1,200 ไมโครฟารัด เพื่อเป็นการลดกระแสกระชากซึ่งไหลผ่านไดโอดเรียงกระแสในขณะที่ตัวสัมผัสแม่เหล็ก (MC) เริ่มต่อวงจร และตัวเก็บประจุที่ใช้กรองยังมีแรงดันตกคร่อมต่ำ จึงต้องใส่ความต้านทานค่าต่ำ (2.5 โอห์ม) อนุกรมไว้ เมื่อเวลาผ่านไปเล็กน้อย (หลายมิลลิวินาที) ก็ใช้รีเลย์ลัดวงจรความต้านทานตัวนี้ได้ ซึ่งจะเป็นการลดกำลังสูญเสีย การประวิง (delay) ซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติวิสัยของรีเลย์ มีค่าเพียงพอที่จะลดกระแสกระชากในตอนเริ่มต้นนี้ได้พอดี

การตรวจจับกระแสเพื่อป้องกันการเกิดกระแสเกิน (over current) จะใช้ LEM current sensor ตรวจจับขนาดของกระแสในวงจรโดยใช้หลักการของ hall effect ซึ่งมีข้อดีคือ จะมีการ isolate วงจรที่ระดับแรงดันต่างกัน สัญญาณที่ได้จาก LEM current sensor นี้จะได้ออกมาเป็นระดับแรงดันซึ่งแปรผันตามขนาดของกระแสโหลด ระดับของสัญญาณแรงดันนี้จะถูกป้อนเข้าวงจรระบบป้องกัน (protection circuit) เพื่อทำหน้าที่ป้องกันวงจรต่อไป

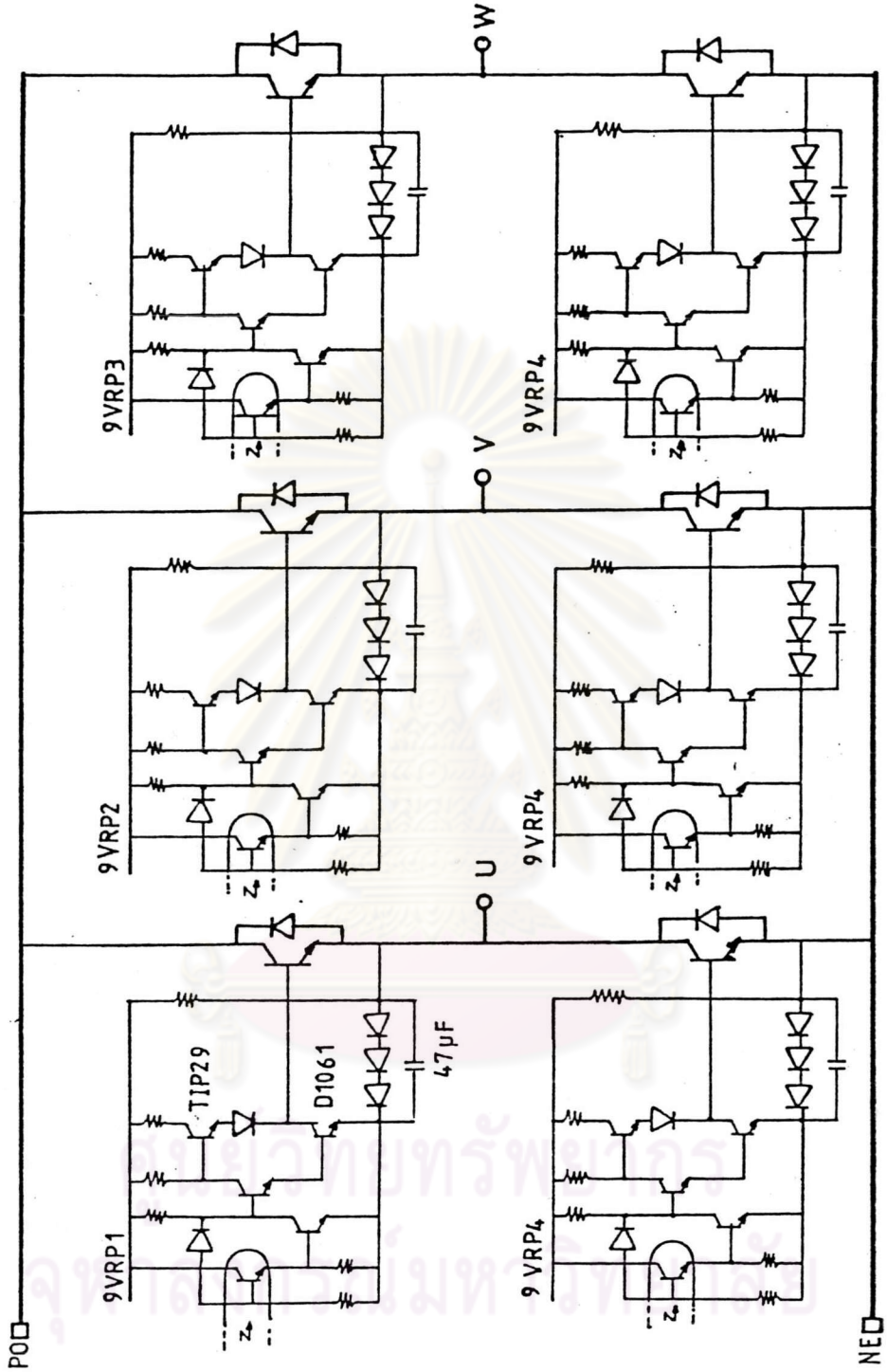
เมื่อเกิดแรงดันเกินสัญญาณ OD (overdeceleration) หรือสัญญาณ OV (over voltage) ก็จะอยู่ที่ระดับที่เกิดการกระทำซึ่งจะมาขับนำเบสของทรานซิสเตอร์กำลังใช้ในการคายประจุ (discharge transistor) อย่างไรก็ดีความต้านทานที่ใช้

คายประจุ ถ้าต่อไว้นานก็จะต้องสามารถทนกำลังได้สูง (หลายกิโลวัตต์) แต่มีความจำเป็นที่จะต้องเลือกความต้านทานที่ทนกำลังต่ำเพื่อการประหยัด จึงกำหนดให้การคายประจุมีช่วงเวลาจำกัดเพียง 5 วินาที โดยมี duty cycle 3 % ซึ่งวงจรป้องกันแรงดันเกินจะอยู่ในส่วนของวงจรระบบป้องกัน (protection circuit)

5.1.2 วงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่แปลงผันพลังงานไฟฟ้าจากไฟตรงเป็นไฟสลับ ซึ่งสามารถปรับความถี่ได้ สำหรับอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นนี้เป็นอินเวอร์เตอร์แบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์ที่รู้จักกันอย่างดีและนิยมใช้กันมาก [14] บล็อกไดอะแกรมของวงจรอินเวอร์เตอร์ แสดงในรูปที่ 5.3

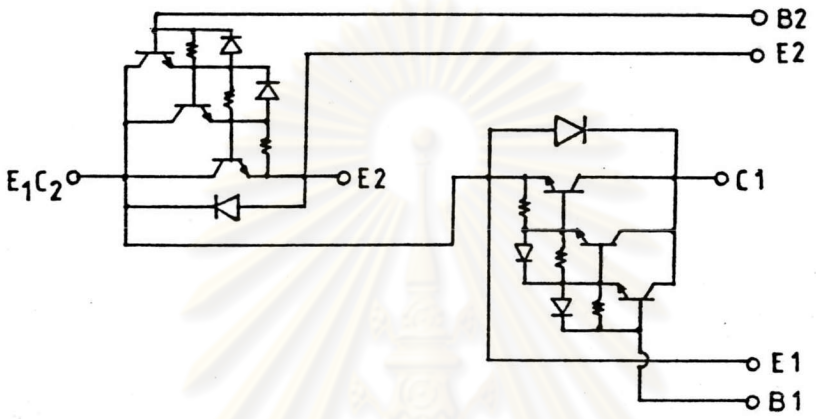
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 วงจรอินเวอร์เตอร์

ทรานซิสเตอร์ที่ใช้เป็นสวิตช์ในวงจร คือ QM50DY-2H ซึ่งทนกระแสสูงสุดได้ 50 แอมแปร์ ทรานซิสเตอร์นี้มีไดโอดขนานกลับอยู่ภายใน และในตัวถัง (module) ของทรานซิสเตอร์ QM50DY-2H จะมีทรานซิสเตอร์อยู่ภายในจำนวน 2 ตัวต่อกัน ดังแสดงในวงจรรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แสดงวงจรภายในของทรานซิสเตอร์เบอร์ QM50DY-2H

วงจรขับนำเบสใช้ทรานซิสเตอร์ TIP29 และ 2SD1061ต่อแบบต่อตัว (totem pole) สามารถจ่ายกระแสให้เบสประมาณ 0.78 แอมแปร์ (ค่ายอด) ได้มีการออกแบบวงจรเพื่อให้เวลาต่อ (turn-on time) มีค่านานกว่าเวลาตัด (turn-off time) กล่าวคือเวลาต่อมีค่าประมาณ 14 ไมโครวินาที เวลาตัดมีค่าประมาณ 4 ไมโครวินาที ทั้งนี้เพื่อป้องกันการลัดผ่านตลอด (shoot-through) ของทรานซิสเตอร์ เราใช้ตัวเชื่อมโยงทางแสง (opto coupler) ในการแยก (isolate) ระดับแรงดันที่เบสกับระดับแรงดันออกของมอดูเลเตอร์จากกัน วงจรอินเวอร์เตอร์นี้ในการสร้างจะแยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นทรานซิสเตอร์กำลังจะติดตั้งอยู่บนแผ่นระบายความร้อนและส่วนขับนำเบส (base drive) จะอยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์จำนวน 3 แผ่น โดยมีซอกเกต (socket) ต่อรับสัญญาณควบคุมการสวิตช์ สัญญาณขับนำเบส และ แหล่งจ่ายไฟให้วงจรขับนำเบส

5.2 ระบบป้องกันวงจร

ระบบป้องกันวงจรนับว่าเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของเครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ ระบบป้องกันวงจรจะประกอบไปด้วย วงจรป้องกันแรงดันเกิน (over voltage) แรงดันเกินเนื่องจากการลดความเร็ว (over deceleration) แรงดันขาด (under voltage) และกระแสเกิน (over current) วงจรทั้งหมดนี้จะถูกออกแบบและสร้างขึ้นพร้อมกับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรอยู่ภายในแผ่นวงจรพิมพ์ จำนวน 1 แผ่น ระบบป้องกันวงจรนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงงาน ELECTRICAL ENGINEERING PROJECT ซึ่งจัดทำโดยนิสิตปริญญาตรี รายละเอียดการประกอบและทดสอบจะปรากฏอยู่ในเอกสารอ้างอิงหมายเลข [15] ซึ่งสามารถสรุปวงจรการทำงานของแต่ละภาคได้ดังนี้

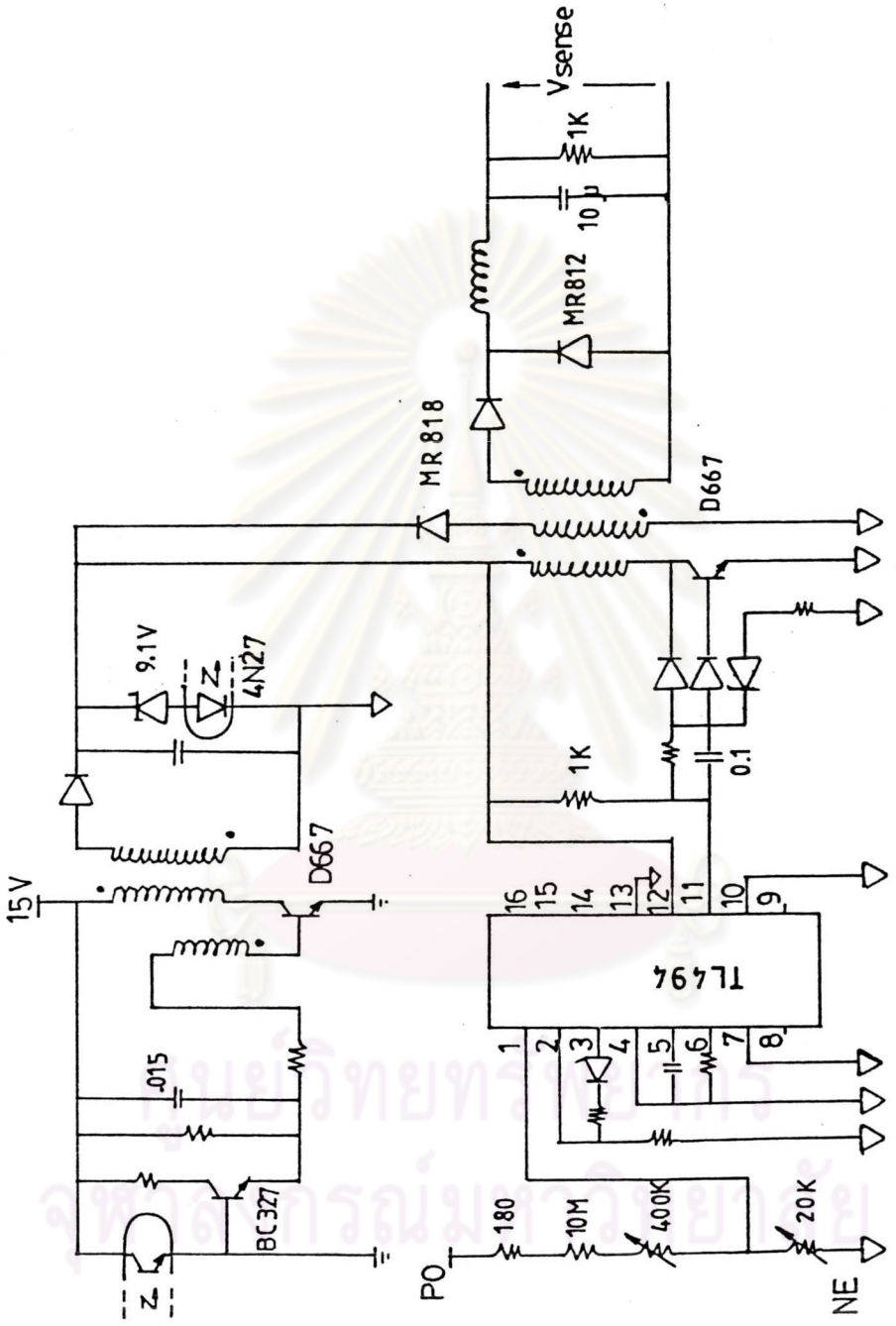
5.2.1 วงจรตรวจจับแรงดัน (voltage sensor) วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟตรงหลักซึ่งในภาวะปกติจะมีค่าประมาณ 510 โวลต์ และจะแปรค่าอยู่ในช่วงประมาณ 460-580 โวลต์ และจะให้แรงดันขาออกมาประมาณ 5.8-7.8 โวลต์ ขึ้นกับแรงดันของแหล่งไฟตรงหลัก ของวงจรตรวจจับแรงดัน (voltage sensor) นี้จะประกอบด้วยวงจร 5 ส่วน แยกจากกัน (isolate) โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้า ดังแสดงรายละเอียดของวงจรตรวจจับแรงดันในรูปที่ 5.5

จากรายละเอียดวงจรดังแสดงในรูปที่ 5.5 การทำงานของแต่ละภาคจะเป็นดังนี้ คือ

1) ภาคจ่ายไฟ (power supply) จะเป็นแหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตชิง (switching power supply) เพื่อจ่ายกำลังให้กับวงจรส่วนตรวจจับแรงดัน โดยวงจรส่วนนี้จะสามารถคงค่าแรงดันที่จ่ายให้กับวงจรตรวจจับแรงดันได้ประมาณ 10 โวลต์ การทำงานของวงจรส่วนนี้จะใช้การป้อนกลับเพื่อคงค่าแรงดันเป็นแบบวงจร flyback

2) วงจรตรวจจับแรงดัน (voltage sensor) การทำงานของวงจรส่วนนี้จะใช้ไอซีเบอร์ TL494 เป็นตัวตรวจจับแรงดันโดยอาศัยหลักการว่า เมื่อแรงดันขาเข้าเปลี่ยนค่าไป แรงดันที่ขาออกซึ่งมีลักษณะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมก็จะเปลี่ยน duty cycle ไปเมื่อนำรูปคลื่นนี้ไปผ่านวงจรกรองก็จะทำให้ได้ระดับของแรงดันขาออกเปลี่ยนแปลงไป

3) ภาคเอาท์พุท (output) ภาคนี้จะอาศัยการ coupling สัญญาณโดยผ่านทางหม้อแปลงจากวงจรตรวจจับแรงดัน โดยสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับแรงดันจะได้รับการขยายแรงดันขึ้นและส่งผ่านมาทางภาคเอาท์พุท โดยผ่านทางหม้อแปลง แล้วนำเอาสัญญาณ

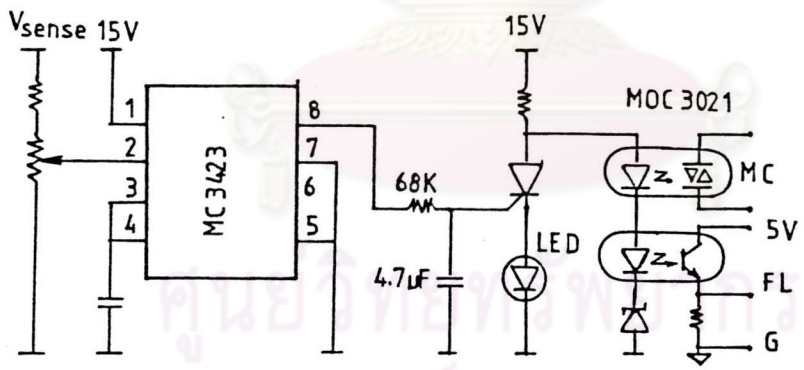


รูปที่ 5.5 วงจรตรวจจับแรงดัน

สี่เหลี่ยมนี้ไปผ่านวงจรกรอง (LC filter) จะได้สัญญาณขาออกที่เป็นไฟตรง ที่แปรโดยตรงกับ duty cycle ของภาคตรวจจับสัญญาณ

สัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจจับแรงดันนี้จะถูกแยก (isolate) กับระดับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟหลัก และนำไปเป็นสัญญาณอินพุท ของวงจรส่วนอื่น ๆ คือ วงจรป้องกันแรงดันเกิน (over voltage) วงจรลดแรงดันเกินเนื่องจากการลดความเร็ว (over deceleration) และแรงดันขาด (under voltage)

5.2.2 วงจรป้องกันแรงดันเกิน การเกิดแรงดันเกินนั้นมักจะเกิดเมื่อมอเตอร์ลดอัตราความเร็ว เมื่อวงจรตรวจจับแรงดัน (voltage sensor) ตรวจจับแรงดันเกินก็จะทำงานเป็นสองระดับ ค่าที่ระบุของแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้แก่อินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณ 510 โวลต์ เมื่อแรงดันมีค่าสูงเป็น 550 โวลต์ ส่วนของวงจรระบายกระแสออกจากตัวเก็บประจุของแหล่งจ่ายไฟตรงหลักจะทำงานและถ้ายังไม่ได้ผล โดยที่แรงดันไฟตรงที่อินเวอร์เตอร์ยังคงเพิ่มขึ้นเป็น 580 โวลต์ วงจรป้องกันแรงดันเกินจะทำงานซึ่งมีผลทำให้เกิดการตัดไฟ 3 เฟส ทางด้านเข้า ตามรูปที่ 5.6 แสดงวงจรป้องกันแรงดันเกิน



รูปที่ 5.6 วงจรป้องกันแรงดันเกิน

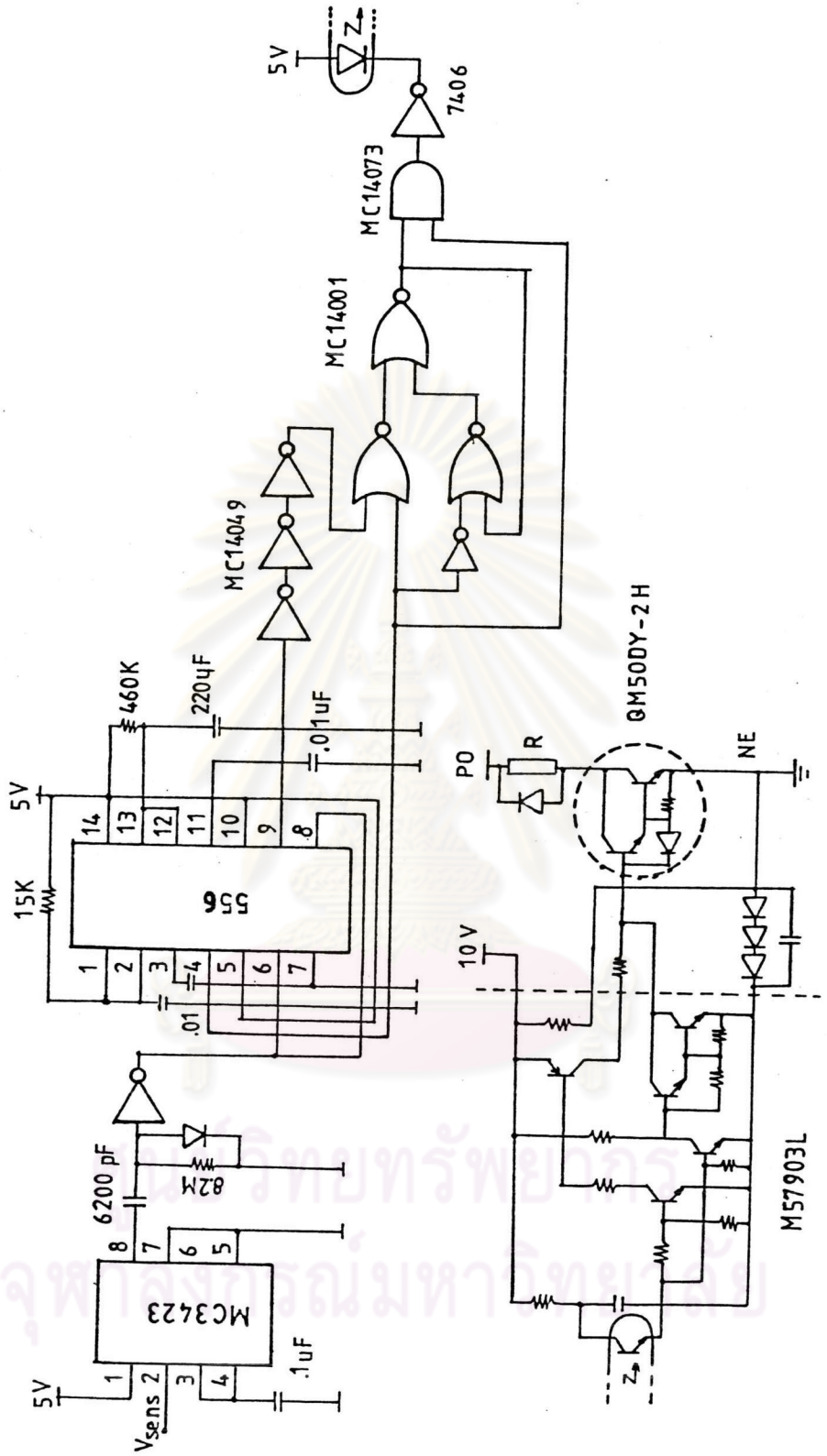
การทำงานของวงจรจะใช้ไอซีเบอร์ MC3423 ทำหน้าที่ตรวจจับระดับของสัญญาณที่มาจากภาคตรวจจับแรงดัน ซึ่งในขณะที่เกิดแรงดันเกินประมาณ 580 โวลต์ จะมีสัญญาณไฟตรงจากภาคตรวจจับแรงดัน 7.7 โวลต์ สัญญาณนี้จะถูกแบ่งโดยความต้านทานเพื่อป้อนเข้าขาอินพุทของไอซี MC3423 ให้ได้ขนาดของแรงดันที่ขาอินพุทเป็น 2.6 โวลต์ ซึ่งที่ค่าแรงดันระดับนี้สัญญาณขาออกของ MC3423 จะเปลี่ยนจากระดับ low เป็น high

และมีกระแสไปทริก (trigger) ที่เกต (gate) ของเอสซีอาร์ ทำให้เอสซีอาร์นำกระแสและไปตัดวงจรของไอซี 4N27 ซึ่งจะส่งสัญญาณไปหยุดสัญญาณขับนำเบสทำให้ทรานซิสเตอร์ทุกตัวของอินเวอร์เตอร์อยู่ในภาวะหยุดนำกระแส และในขณะเดียวกันจะไปตัดวงจรของไอซี MOC3021 ซึ่งใช้ในการขับไตรแอคในการตัด-ต่อ ขดลวด (coil) ของตัวสัมผัสแม่เหล็ก (magnetic contactor MC) ทำให้เกิดการตัดไฟ 3 เฟส ทางด้านเข้าของเครื่อง

5.2.3 วงจรระบายกระแสออกจากตัวเก็บประจุของแหล่งจ่ายไฟตรงหลัก วงจรนี้จะทำงานเมื่อเครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์ลดความถี่เร็วเกินไป มอเตอร์จะเบรคแบบคืนพลังงาน (regenerative braking) และอินเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนหน้าที่มาเป็นรับพลังงาน ทำให้แรงดันไฟตรงที่ตัวเก็บประจุของแหล่งจ่ายไฟตรงหลักมีค่าสูงขึ้น ซึ่งในกรณีนี้เมื่อแรงดันมีค่าสูงเป็น 550 โวลต์ วงจรระบายกระแสจะเริ่มทำงานโดยส่งสัญญาณไปขับเบสของทรานซิสเตอร์เพื่อให้เกิดการระบายกระแสออกจากตัวเก็บประจุ (discharge) สัญญาณที่ส่งไปขับเบสจะเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมมีช่วงเวลา 5 วินาที และมี duty cycle 3 % รูปที่ 5.7 แสดงวงจรระบายกระแสออกจากตัวเก็บประจุของแหล่งจ่ายไฟตรงหลัก การทำงานของวงจรระบายกระแสสามารถแยกอธิบายได้ 3 ส่วนดังนี้

1) วงจรตรวจจับแรงดันและสร้างพัลส์ ส่วนนี้จะใช้ไอซีเบอร์ MC3423 ตรวจจับแรงดันที่ได้มาจากวงจรตรวจจับแรงดัน (voltage sensor) ซึ่งเมื่อมีสัญญาณขึ้นถึงระดับที่เกิดการกระทำแล้ว ที่ขาเอาท์พุทของ MC3423 จะเปลี่ยนระดับจาก low เป็น high อย่างทันทีทันใด ซึ่งสามารถ detect ขอบขึ้นของสัญญาณเพื่อสร้างพัลส์บวกได้โดยผ่านวงจร high pass filter สัญญาณที่ได้จะไปผ่านเกต NOT เพื่อส่งไปทริกวงจรโมโนสเตเบิล

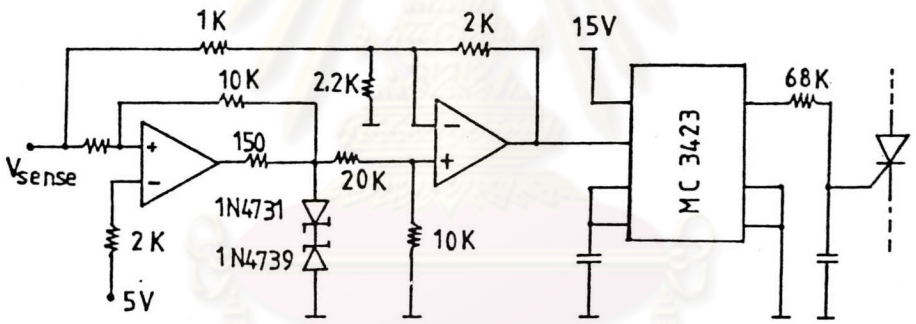
2) วงจรเวลา (timer) วงจรเวลานี้เป็นส่วนที่จะสร้างพัลส์ออกไปควบคุมการต่อวงจรของทรานซิสเตอร์เพื่อระบายกระแสออกจากตัวเก็บประจุของแหล่งจ่ายไฟตรงหลัก โดยใช้ไอซีเบอร์ 556 ต่อเป็นวงจรโมโนสเตเบิล 2 ชุด คือ ชุดแรกจะกำเนิดพัลส์ 5 วินาที และอีกชุดหนึ่งจะกำเนิดพัลส์ 167 วินาที เนื่องจากในการระบายกระแสแต่ละครั้งจะใช้เวลา 5 วินาที และภายในเวลา 167 วินาที จะไม่มีการทำงานซ้ำอีก สัญญาณทั้งสองนี้จะต่อไปเข้ากับส่วนต่อไปภาควงจรควบคุมการระบายกระแส



รูปที่ 5.7 วงจรระบายกระแสออกจากตัวเก็บประจุของแหล่งจ่ายไฟตรงหลัก

3) วงจรควบคุมการระบายกระแส วงจรส่วนนี้จะรับเอาสัญญาณพัลส์ที่ได้รับมา คือพัลส์ 5 วินาทีและพัลส์ 167 วินาที ผ่านวงจรเกต (gate ต่าง ๆ) เข้าควบคุมการสวิตช์โดยผ่านวงจรขับนำเบส M57903L และใช้ทรานซิสเตอร์กำลังเบอร์ QM 50DY-2H ซึ่งตัวทรานซิสเตอร์กำลังนี้จะติดตั้งอยู่บนแผ่นระบายความร้อน

5.2.4 วงจรป้องกันแรงดันขาด กรณีของแรงดันขาด (under voltage) จะเกิดขึ้นเมื่อแรงดันไฟ 3 เฟส ทางด้านเข้ามีค่าตกลงมา หรือไฟทางด้านเข้าเฟสใดเฟสหนึ่งเกิดขาดหายไปจะทำให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้อินเวอร์เตอร์มีค่าต่ำเกินไป ซึ่งในกรณีนี้เราจะตั้งค่าไว้ที่ 460 โวลต์ ถ้าแรงดันต่ำกว่าค่านี้วงจรป้องกันแรงดันขาด จะเกิดการกระทำ ทำให้เกิดการตัดไฟ 3 เฟส ทางด้านเข้าของเครื่อง รูปที่ 5.8 แสดงวงจรป้องกันแรงดันขาด



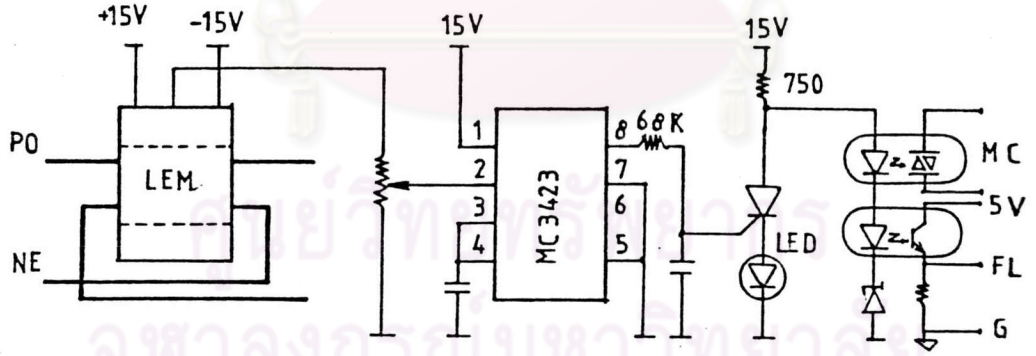
รูปที่ 5.8 วงจรป้องกันแรงดันขาด

การทำงานในขณะที่เริ่มต้นกดสวิตช์ "ON" จะทำให้มีกระแสผ่านขดลวด (coil) ของตัวสัมผัสแม่เหล็ก (magnetic contactor MC) ซึ่งจะส่งผ่านแรงดัน 3 เฟส ให้แก่วงจรเรียงกระแส (rectifier) และวงจรกรอง (filter) เพื่อให้ได้ไฟตรงประมาณ 510 โวลต์นั้น ขณะที่ค่าแรงดันยังขึ้นไม่ถึงค่าแรงดันพิกัด วงจรส่วนนี้จะต้องไม่มีสัญญาณออกเพื่อไปตัดวงจร เมื่อค่าแรงดันขึ้นถึงค่าพิกัดแล้ววงจรส่วนนี้จึงจะเริ่มทำงาน คือถ้าแรงดันไฟตรงจากภาคแหล่งจ่ายไฟหลักลดลงต่ำกว่า 460 โวลต์ แล้วจะทำให้เกิดสัญญาณเพื่อไปตัดไฟทางด้านขาเข้าของเครื่องต่อไป ซึ่งในวงจรส่วนนี้จะออกแบบโดยใช้ไอซี

ออปแอมป์ซึ่งอาศัยคุณสมบัติของวงจรที่เป็น hysteresis ผสมกับวงจรบวก สัญญาณขาเข้าของวงจรจะได้มาจากวงจรตรวจจับแรงดัน (voltage sensor) สัญญาณขาออกของวงจรออปแอมป์จะถูกป้อนเข้าไอซี MC3423 ซึ่งจะส่งสัญญาณไปทริกขาเกตของเอสซีอาร์ เพื่อทำให้เกิดการตัดไฟทางด้านเข้าของเครื่องต่อไป

5.2.5 วงจรป้องกันกระแสเกิน การวัดกระแสเกินนั้นมักจะเกิดขึ้น เมื่อเริ่มเดินเครื่อง (start) หรือการเพิ่มความถี่ของเครื่องควบคุมมอเตอร์เร็วเกินไป ไม่เหมาะสมกับโหลดและอีกกรณีหนึ่ง คือ เกิดการลัดวงจรของโหลด ในการตรวจจับกระแสจะใช้ LEM current sensor ตรวจจับขนาดกระแสในวงจรโดยใช้หลักการของ hall effect ซึ่งมีข้อดีคือจะมีการแยกส่วน (isolate) วงจรที่ระดับแรงดันต่างกัน สัญญาณที่ได้จาก LEM current sensor นี้เราจะใช้ความต้านทานต่อไว้เพื่อให้ได้แรงดันตกคร่อมต้านทานซึ่งแปรผันตามขนาดของกระแสโหลด และระดับของแรงดันนี้ จะป้อนให้กับไอซีเบอร์ MC3423 เพื่อส่งสัญญาณไปทริกเกตของเอสซีอาร์ในกรณีที่เกิดกระแสเกิน

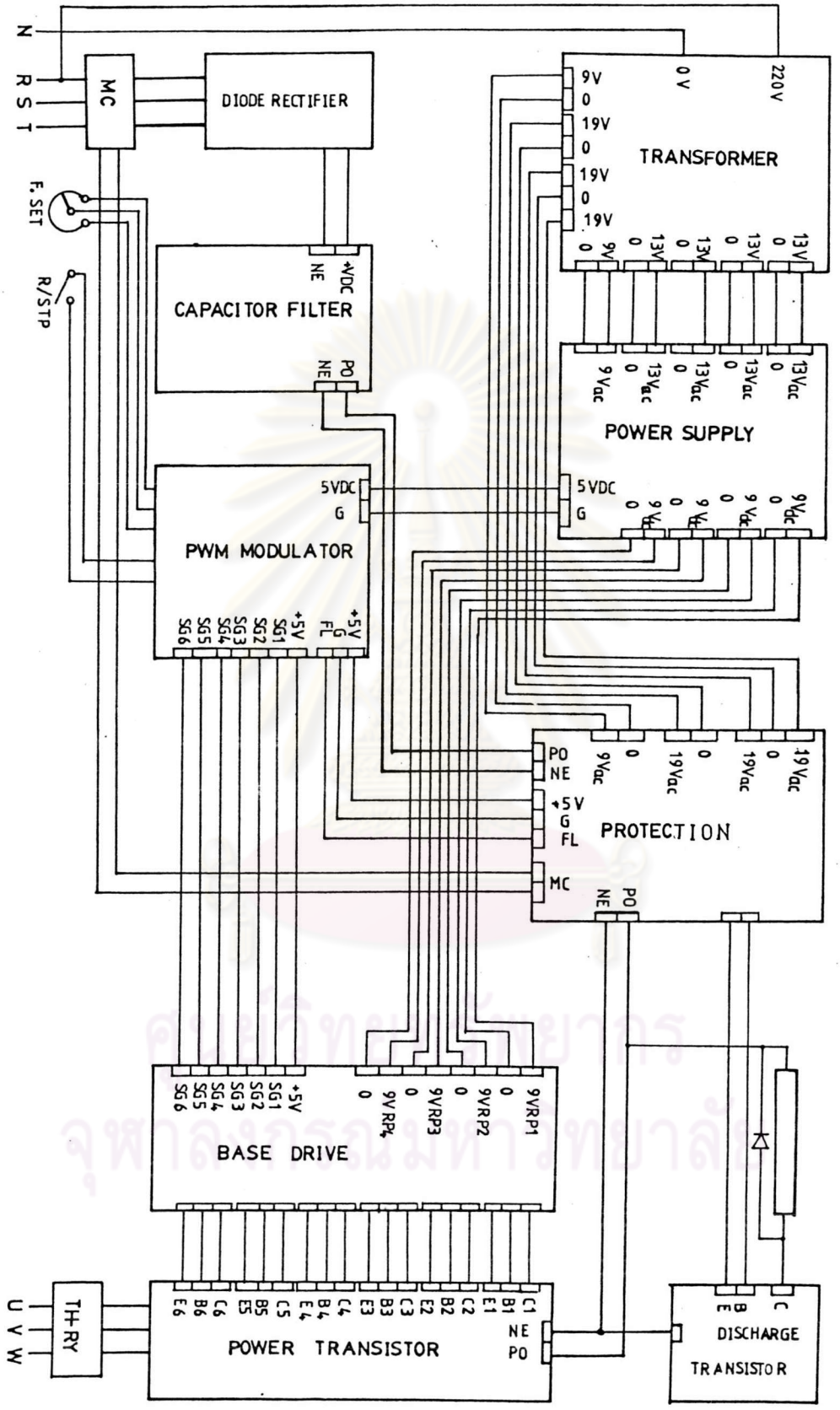
รูปที่ 5.9 แสดงวงจรป้องกันกระแสเกิน



รูปที่ 5.9 วงจรป้องกันกระแสเกิน

5.3 การประกอบวงจรภาคต่าง ๆ ของเครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์

วงจรแต่ละภาคซึ่งได้สร้างขึ้นเสร็จสมบูรณ์แล้วและผ่านการทดสอบจนใช้งานได้ตามที่ได้ออกแบบไว้จะนำมาประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อให้เป็นเครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่สมบูรณ์



รูปที่ ๕.10 แสดงการต่อสายไฟระหว่างแผงวงจร

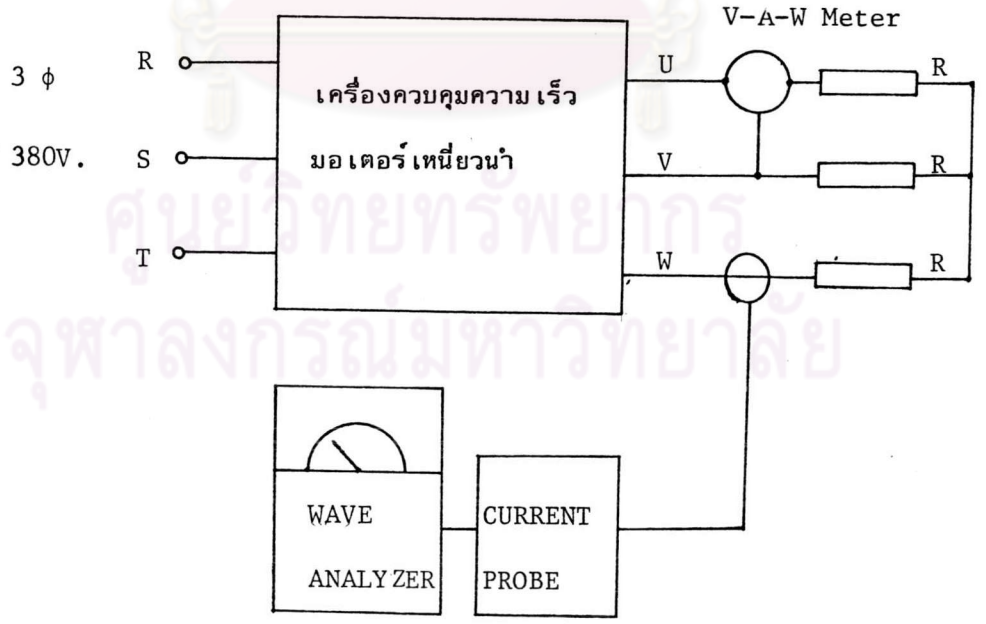
และบรรจุลงกล่องเพื่อที่จะนำไปใช้งานได้ ตามรูปที่ 5.10 แสดงการแบ่งวงจรออกเป็นแผ่นวงจรพิมพ์ (printed circuit) และส่วนที่ติดตั้งบนแผ่นระบายความร้อน จะเดินสายสัญญาณต่อเข้าด้วยกัน

หลังจากที่ประกอบเครื่องเสร็จแล้วได้นำเครื่องควบคุมความเร็วมอเตอร์นี้ไปทำการทดสอบโดยการนำไปขับนำโหลดที่เป็นมอเตอร์ และโหลดที่เป็นความต้านทาน

5.4 ผลการทดสอบเครื่องควบคุมความเร็ว

เครื่องควบคุมความเร็วที่สร้างเสร็จแล้วได้ถูกนำไปทดสอบกับโหลดที่เป็นความต้านทาน และโหลดที่เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส เพื่อหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของเครื่อง จะได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

5.4.1 การทดสอบเครื่องควบคุมความเร็วโดยการนำไปขับโหลดที่เป็นความต้านทาน การทดสอบจะกระทำโดยการจ่ายไฟ 3 เฟส 380 โวลต์ เข้าทางด้านเข้าของเครื่อง ส่วนทางขาออกจะต่อเข้ากับโหลดที่เป็นความต้านทาน 3 เฟส ซึ่งต่อแบบดาว (star) ดังแสดงในรูปที่ 5.11 และทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดัน และกำลังที่จ่ายให้กับโหลด บันทึกค่าตามตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.11 บล็อกไดอะแกรมของการต่อวงจรทดสอบโหลดเป็นความต้านทาน

นอกจากจะวัดค่าโดยใช้วัตต์มิเตอร์แล้วยังได้ทำการทดลองวัดกระแสโดยใช้ current probe วัดขนาดของกระแสแล้วป้อนเข้าเครื่อง WAVE ANALYZER โดยที่เราทราบค่าความต้านทานของโหลดแต่ละตัวแล้วจึงนำค่าที่อ่านได้มาหากำลัง (วัตต์) ต่อเฟสตามสมการ $Watt = I^2R$ และเนื่องจากโหลดเป็นแบบสามเฟสจึงคำนวนวัตต์ทั้งหมดได้เป็น $3I^2R$ ตามรายละเอียดในตารางที่ 5.1 ซึ่งแสดงค่าที่วัดได้ตั้งแต่ความถี่ขาออก 20 เฮิรตซ์ ถึง 50 เฮิรตซ์

ผลการทดสอบเมื่อโหลดเป็นความต้านทาน

ความถี่ขาออก (Hz)	กระแสแอมแปร์ (line current)	แรงดัน (โวลต์) (line to line)	กำลัง (วัตต์) (วัตต์มิเตอร์)	กำลัง (วัตต์) (wave analyser)
20	6.0	198	1,980	1,947
25	6.7	225	2,600	2,487
30	7.0	250	3,011	2,965
35	7.4	275	3,491	3,151
40	7.44	310	3,956	3,851
45	7.94	334	4,548	4,448
50	8.05	365	5,027	4,966

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบเมื่อโหลดเป็นความต้านทาน

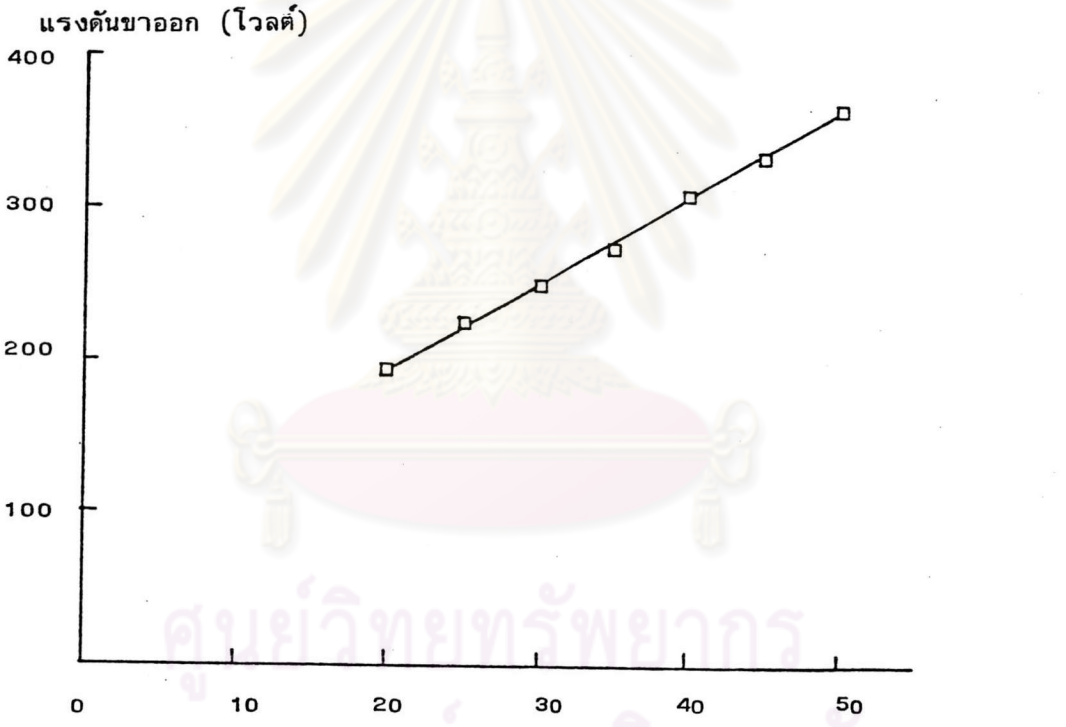
จากผลการทดสอบที่ได้ตามตารางที่ 5.1 ได้นำมาสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ขาออกกับแรงดันดังแสดงในรูปที่ 5.12 และความถี่กับกำลังขาออกตามรูปที่ 5.13 ในการวัดกำลังขาเข้าของเครื่องควบคุมความเร็วที่ความถี่ขาออก 50 เฮิรตซ์ โดยใช้วัตต์มิเตอร์อ่านได้ 5,268 วัตต์ กำลังขาออกอ่านได้ 5,027 วัตต์ ดังนั้นถ้าคิดประสิทธิภาพของเครื่องเมื่อโหลดเป็นความต้านทานจะได้

$$\text{ประสิทธิภาพของเครื่อง} = \frac{\text{กำลังขาออก}}{\text{กำลังที่จ่ายให้เครื่อง}} \times 100\ \%$$

$$= \frac{5,027}{5,260} \times 100\ \%$$

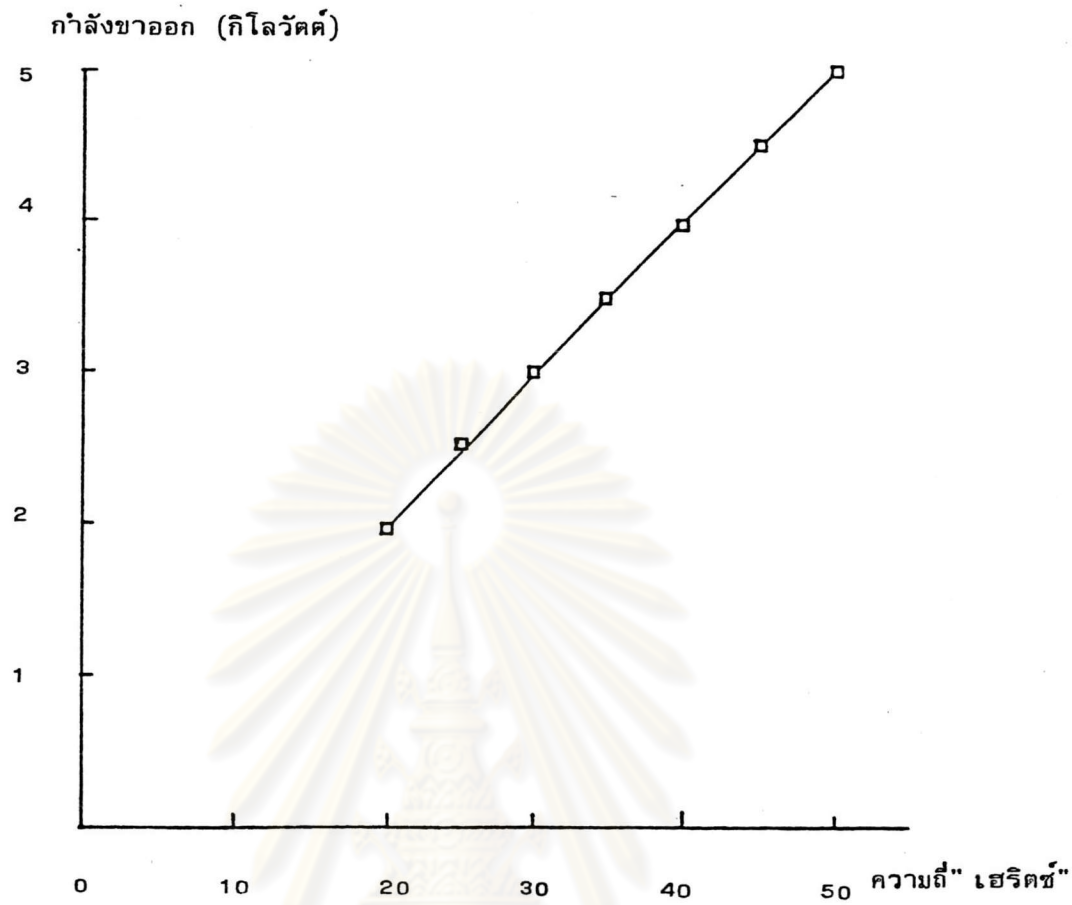
$$= 95.4\ \%$$

นั่นคือประสิทธิภาพของเครื่องเมื่อโหลดเป็นความต้านทานประมาณ 95.4 %



รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันขาออก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับกำลังขาออก

5.4.2 รูปคลื่นของกระแสและแรงดันเมื่อโหลดเป็นความต้านทาน จากการทดสอบได้ทำการถ่ายภาพของรูปคลื่นของกระแสและแรงดันขาออกของเครื่องควบคุมความเร็วที่ความถี่ต่าง ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 5.14 ถึงรูปที่ 5.18

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.14 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 50Hz; 300 V/cm

รูปล่าง กระแสผ่านสาย ; 10A/cm

สเกลเวลา 5 ms/cm

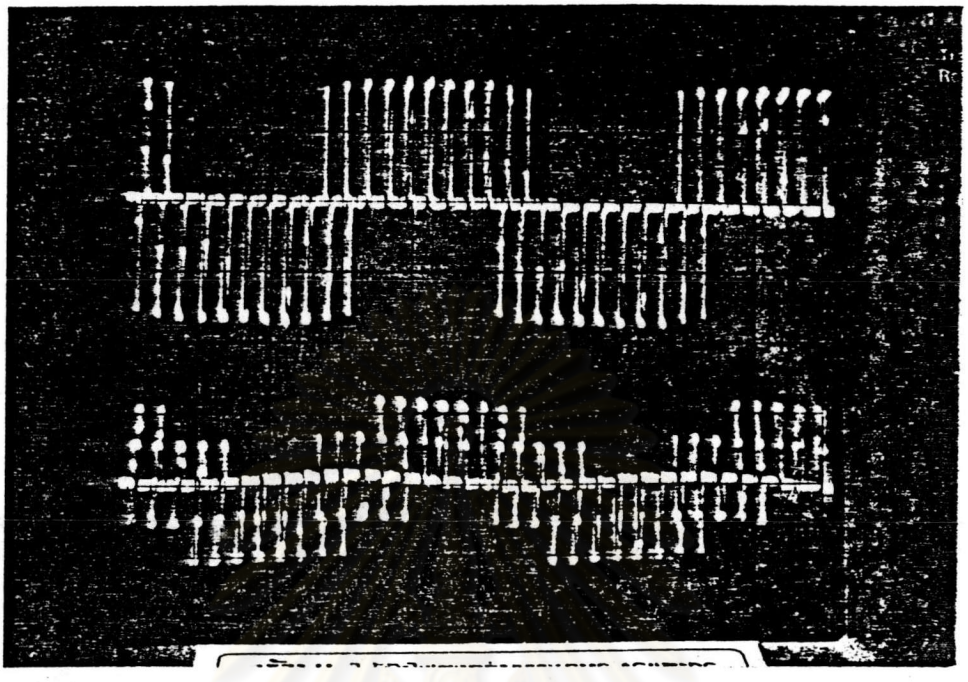
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.15 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 40 Hz ; 300V/cm

รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 10A/cm

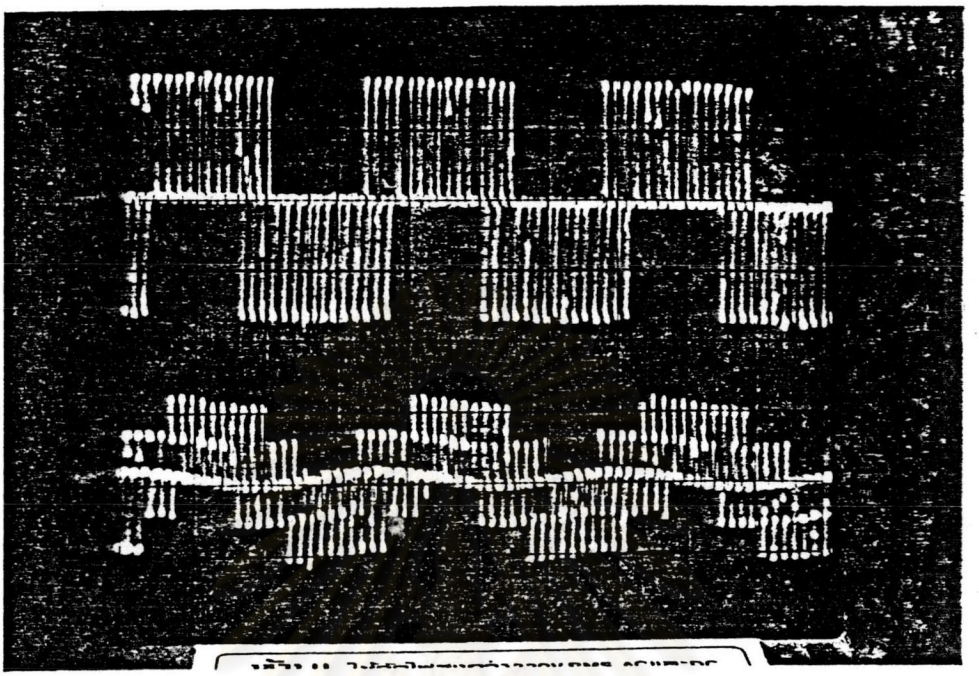
สเกลเวลา 5 ms/cm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.16 รูปบน แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 20 Hz; 300V/cm
รูปล่าง กระแสผ่านสาย ; 10A/cm
สเกลเวลา 10 ms/cm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

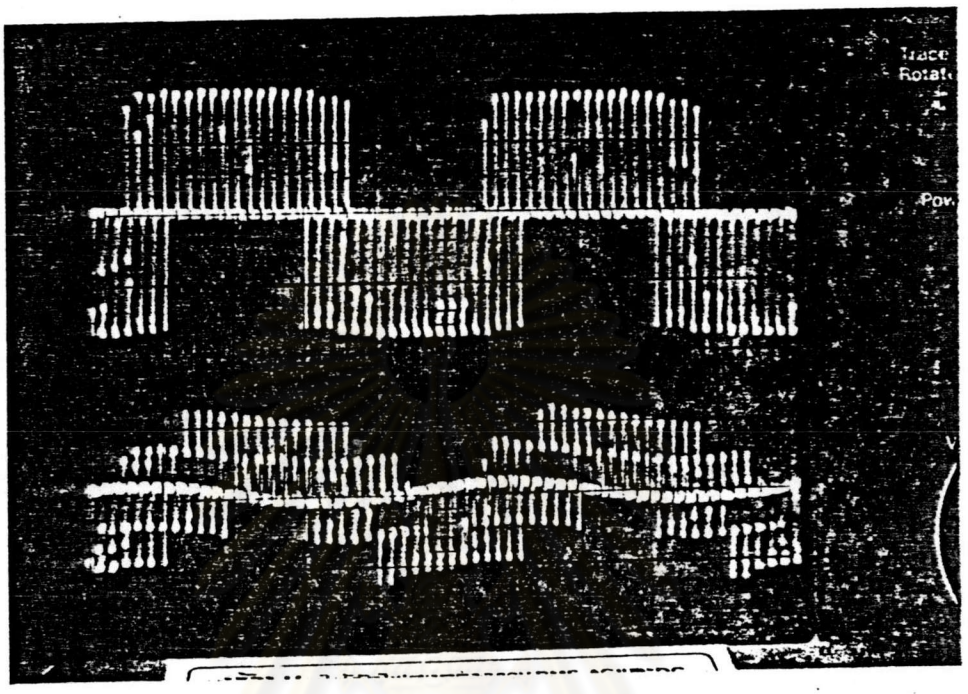


รูปที่ 5.17 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 15 Hz; 300V/cm

รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 10A/cm

สเกลเวลา 20ms/cm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



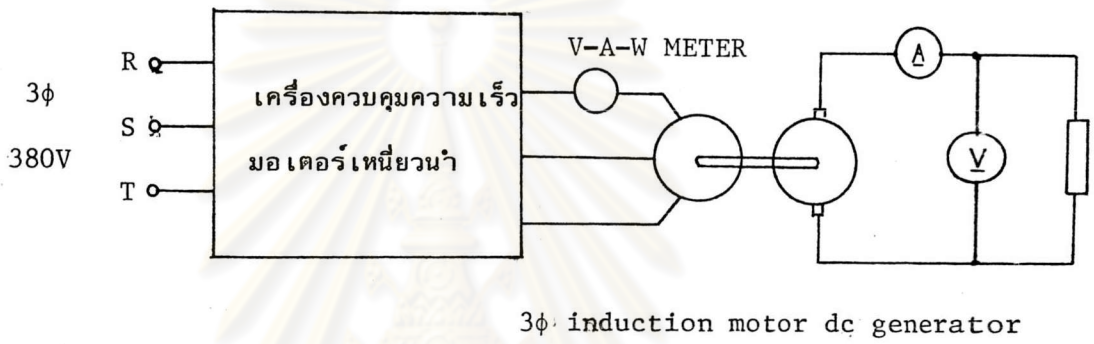
รูปที่ 5.18 รูปบน แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 10 Hz ; 300V/cm

รูปล่าง กระแสผ่านสาย ; 10A/cm

สเกลเวลา 20 ms/cm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.3 การทดสอบเครื่องควบคุมความเร็วโดยการนำไปขับนำโหลดที่เป็นมอเตอร์ขนาด 5.5 แรงม้า (4,000 กิโลวัตต์) การทดสอบกระทำโดยการจ่ายไฟ 3 เฟส 380 โวลต์ เข้าทางด้านเข้าของเครื่อง ส่วนทางขาออกจะต่อเข้ากับโหลดที่เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 5.5 แรงม้า และมอเตอร์นี้จะไปขับนำเครื่องกำเนิดไฟกระแสตรง (dc generator) อีกต่อหนึ่ง การทดสอบ จะทำการปรับโหลดของเครื่องกำเนิดไฟตรงเพื่อให้มอเตอร์ทำงานตามพิกัด แล้วทำการวัดค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 5.2 และวงจรการทดสอบแสดงในรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 บล็อกไดอะแกรมการต่อวงจรทดสอบมอเตอร์ 5.5 แรงม้า

ความถี่ขาออก (Hz)	กระแส (แอมแปร์) (line current)	แรงดัน (โวลต์) (line to line)	กำลัง (วัตต์)
20	5.8	200	1,520
25	6.3	230	1,900
30	6.8	255	2,280
35	7.3	280	2,660
40	7.54	310	3,040
45	7.85	335	3,420
50	8.08	352	3,800

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบเมื่อโหลดเป็นมอเตอร์ขนาด 5.5 แรงม้า

จากผลการทดสอบที่ได้ตามตารางที่ 5.2 ได้นำมาสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ขาออกกับแรงดันดังแสดงในรูปที่ 5.20 และความถี่กับกำลังขาออกตามรูปที่ 5.21 ในการวัดกำลังขาเข้าของเครื่องควบคุมความเร็วที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ โดยใช้วัตต์มิเตอร์อ่านได้ 4,218 วัตต์ ในขณะที่กำลังขาออกเป็น 3,800 วัตต์ ดังนั้นเมื่อคิดประสิทธิภาพเมื่อโหลดเป็นมอเตอร์จะได้

$$\text{ประสิทธิภาพของเครื่อง} = \frac{\text{กำลังขาออก}}{\text{กำลังที่จ่ายให้เครื่อง}} \times 100\ \%$$

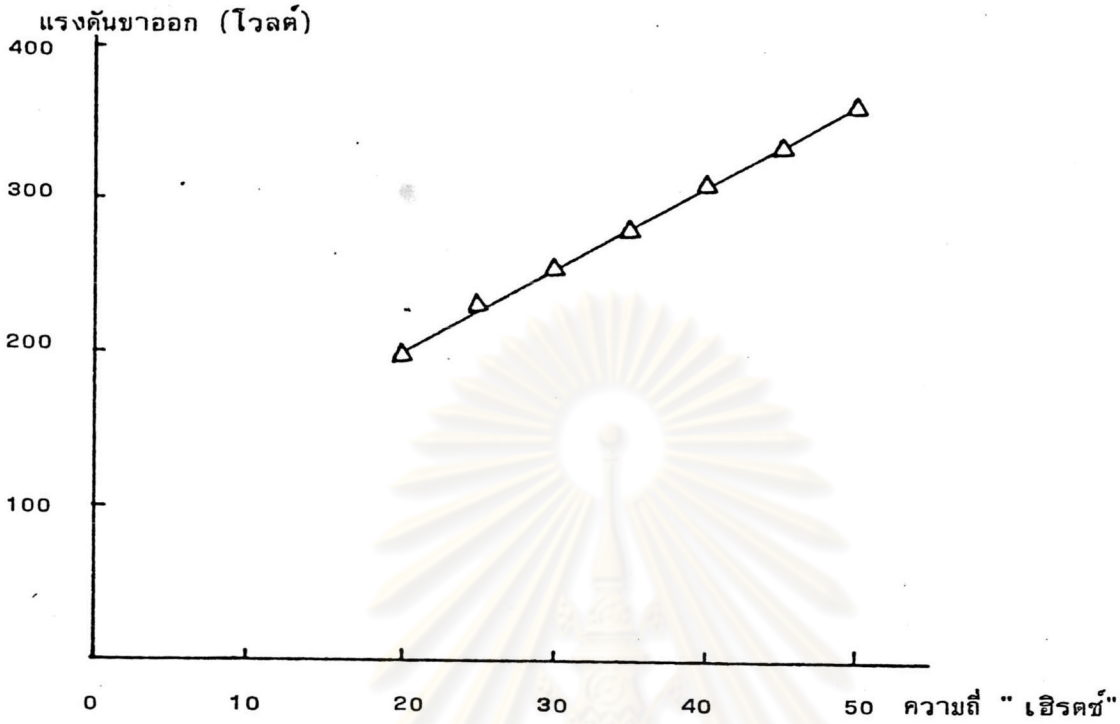
$$= \frac{3,800}{4,218} \times 100\ \%$$

$$= 90\ \%$$

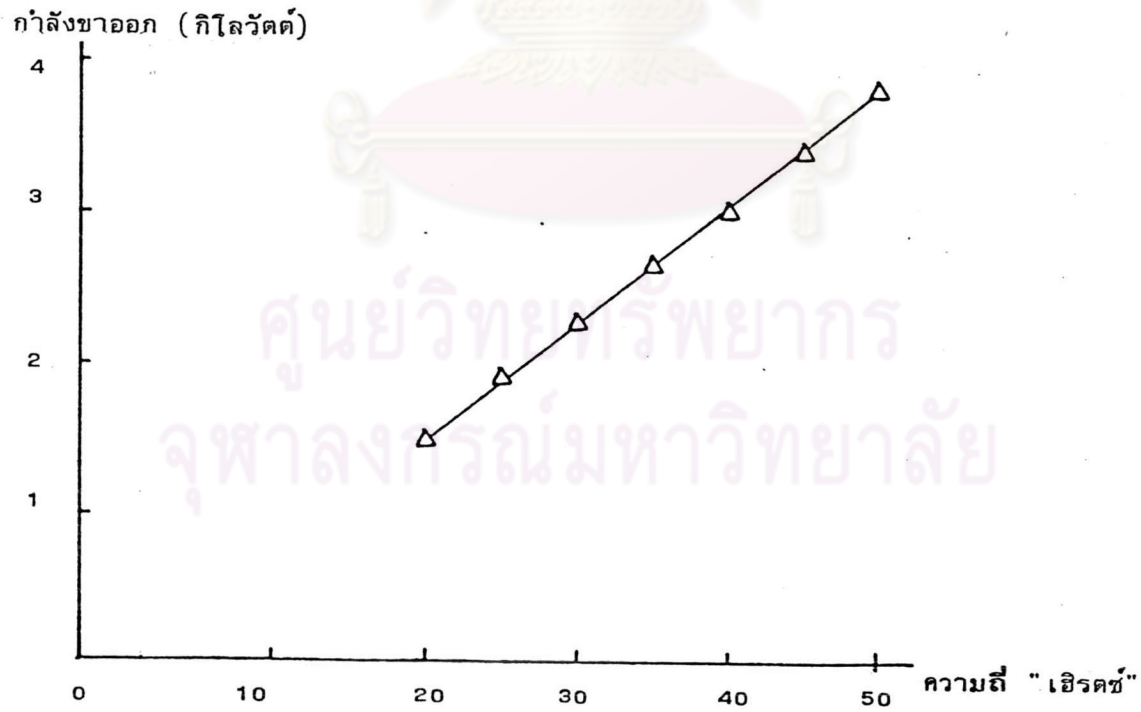
นั่นคือเมื่อนำเครื่องควบคุมความเร็วไปขับนำมอเตอร์เหนี่ยวนำจะได้ประสิทธิภาพของเครื่องประมาณ 90 % ที่โหลดเต็มที่ตามพิกัด

5.4.4 รูปคลื่นของกระแสและแรงดัน เมื่อโหลดเป็นมอเตอร์ ขนาด 5.5 แรงม้า จากการทดสอบใช้เครื่องควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในการขับนำโหลดที่เป็นมอเตอร์ ได้ทำการถ่ายภาพของรูปคลื่นของกระแสและแรงดันขาออกของเครื่องควบคุมความเร็วที่ความถี่ต่าง ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 5.22 ถึงรูปที่ 5.26

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

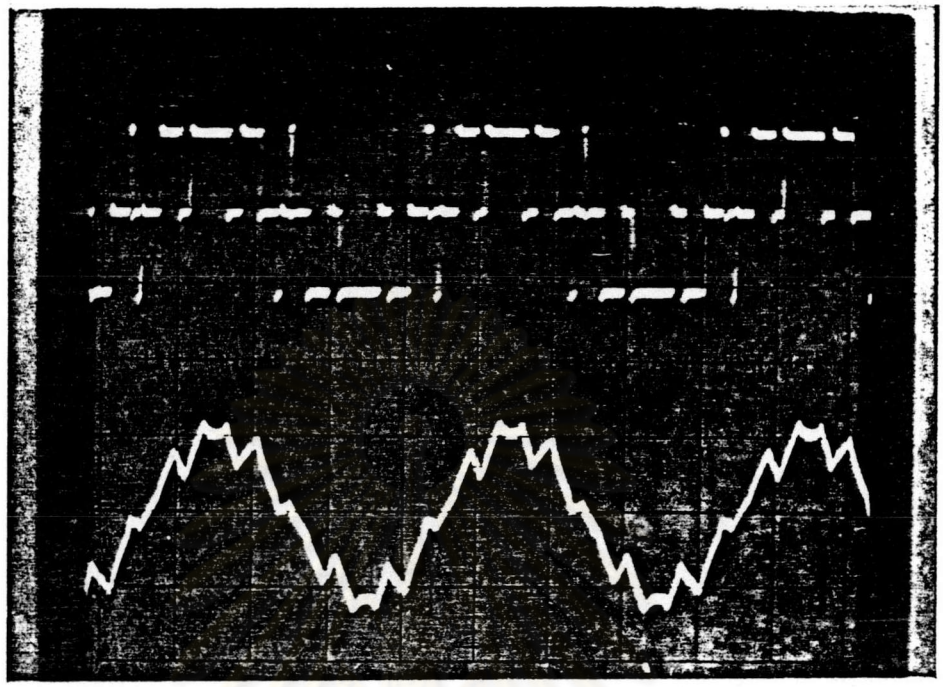


รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดัน ขาออก



รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับ กำลังขาออก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

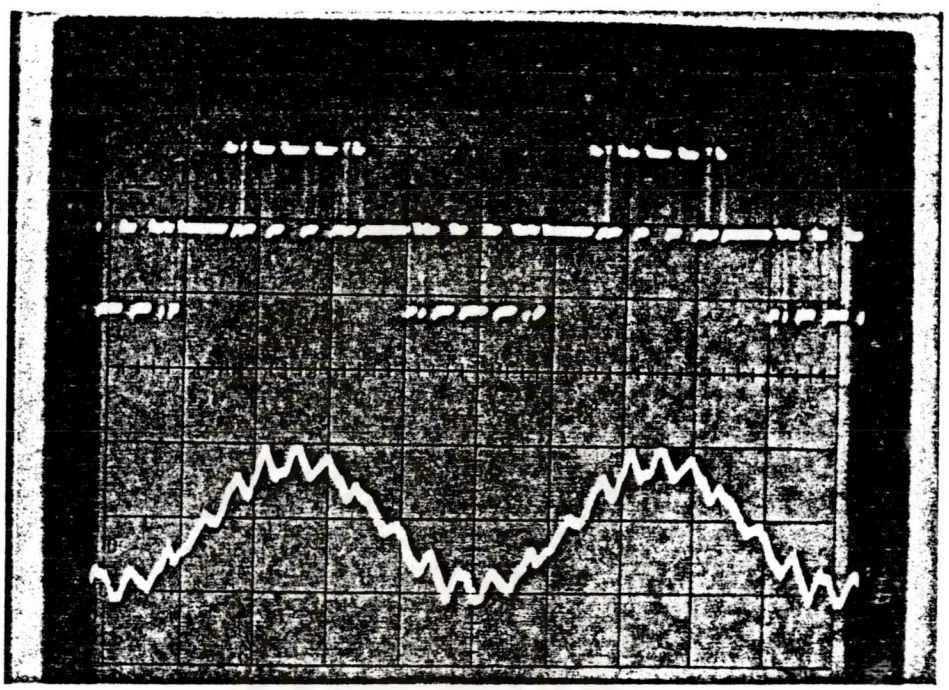


รูปที่ 5.22 รูปบน แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 50 Hz; 500V/cm

รูปล่าง กระแสผ่านสาย ; 10A/cm

สเกลเวลา 5 ms/cm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

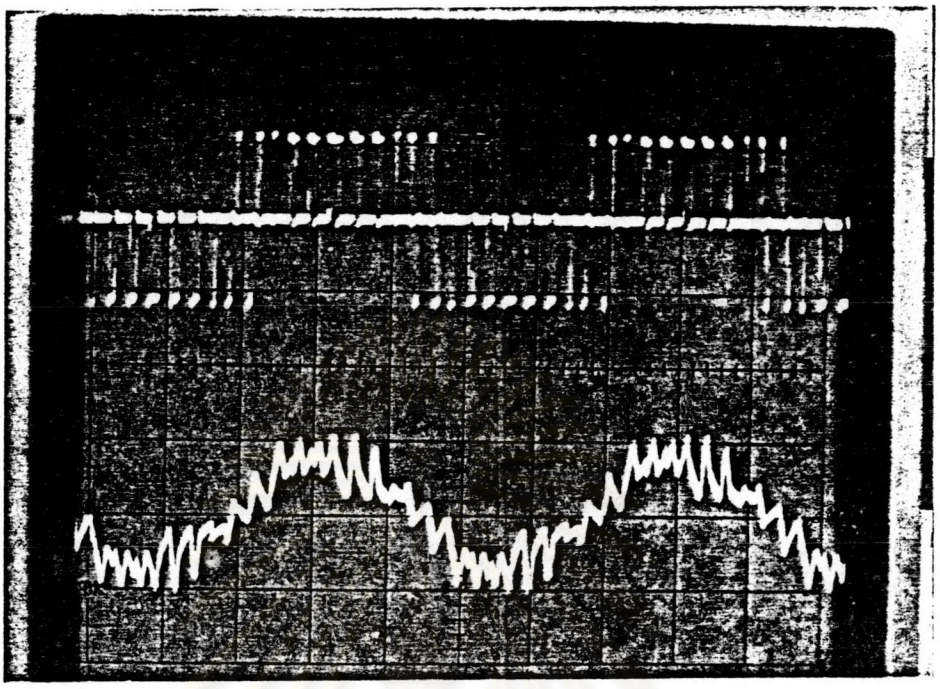


รูปที่ 5.23 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 40 Hz ; 500V/cm

รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 10A/cm

สเกลเวลา 5 ms/cm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

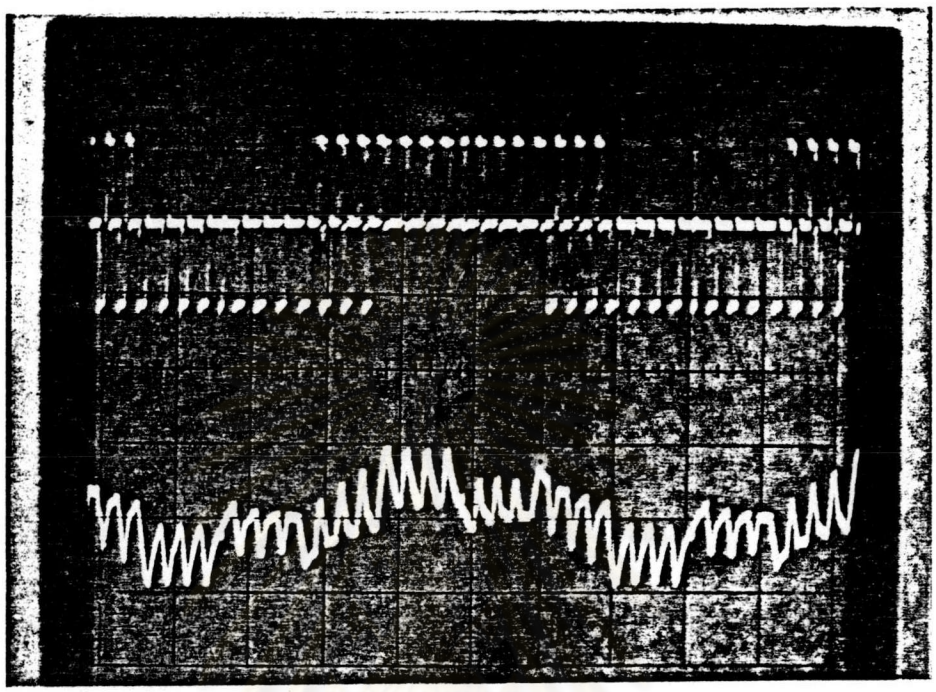


รูปที่ 5.24 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 20 Hz ; 500V/cm

รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 5A/cm

สเกลเวลา 10ms/cm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

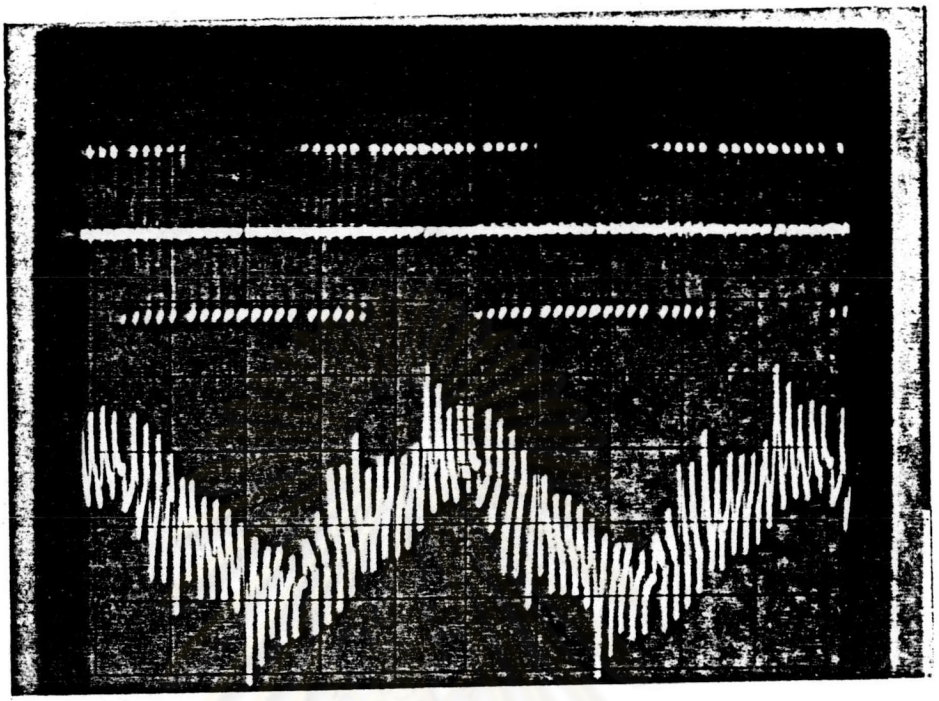


รูปที่ 5.25 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 15 Hz ; 500V/cm

รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 5A/cm

สเกลเวลา 20 ms/cm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.26 รูปบน : แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ 10 Hz ; 500V/cm

รูปล่าง : กระแสผ่านสาย ; 2 A/cm

สเกลเวลา 20 ms/cm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย