บทที่ 6

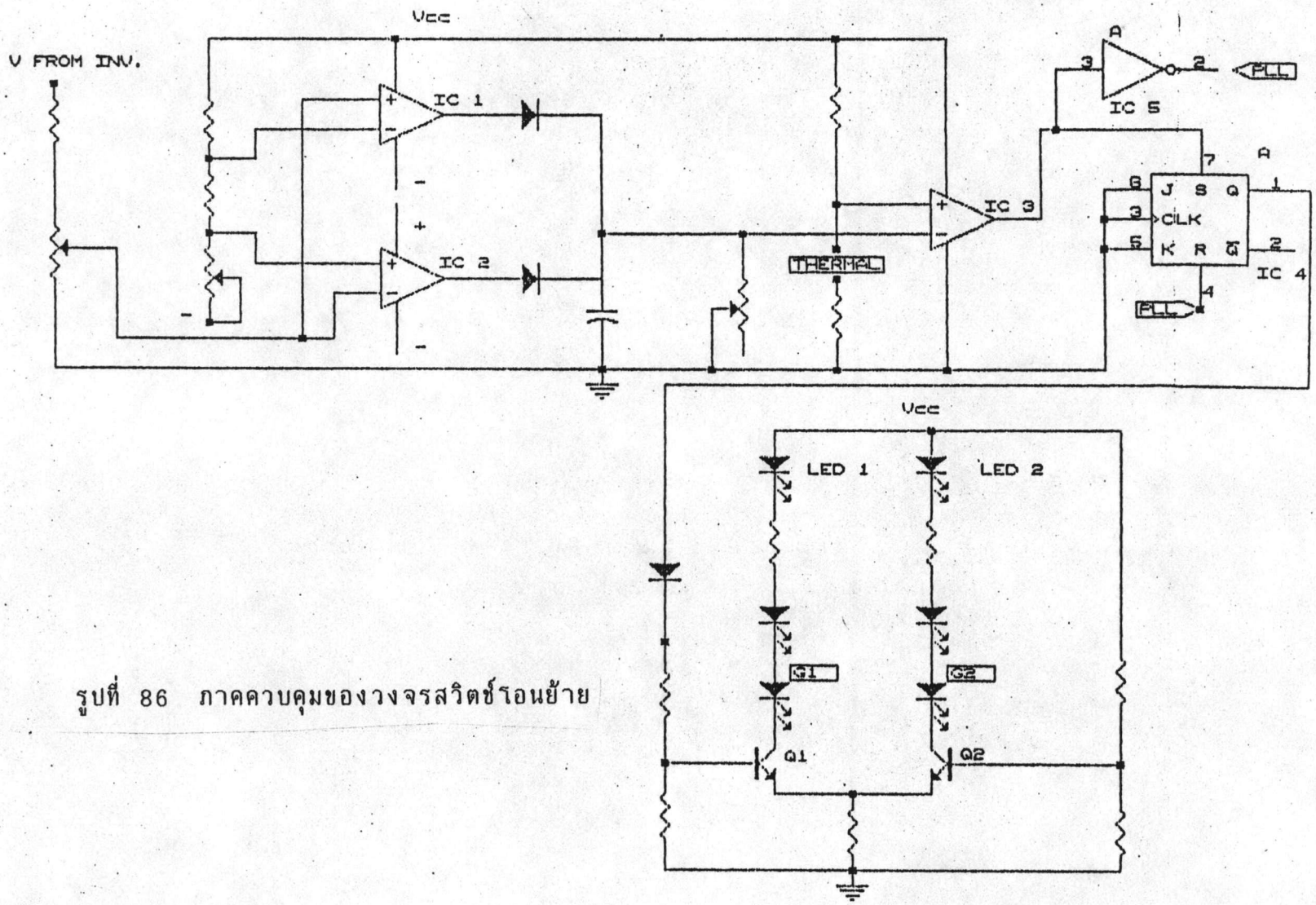
วงจรสวิตช์โอนย้ายวงจรแสดงสถานะและวงจรเริ่มเดินเครื่อง

หลักการทำงานวงจรสวิตช์โอนย้ายและวงจรแสดงสถานะ

วงจรนี้ทำหน้าที่ต่อโหลดเข้ากับอินเวอร์เตอร์ในสภาวะปกติ แต่ถ้าโหลดมีขนาดใหญ่เกินกว่าพิกัดของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีผลทำให้ขนาดแรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์มีขนาดผิดไป วงจรนี้ก็จะต่อโหลดเข้ากับสายไฟจากการไฟฟ้าเพื่อให้โหลดมีไฟฟ้าใช้ตลอดเวลา

IC_{1-2} ในรูปที่ 86 จะทำหน้าที่ตรวจจับแรงดันขาออกว่ามีขนาดเป็นปกติหรือไม่และส่งสัญญาณไปยัง IC_3 ถ้าแรงดันที่วัดได้มีค่าปกติและอุณหภูมิของสวิตช์เป็นปกติด้วย IC_3 จะให้แรงดันระดับต่ำ แต่ถ้าระดับแรงดันขาออกไม่ปกติหรืออุณหภูมิของสวิตช์สูงเกินไป IC_3 ก็จะส่งสัญญาณระดับสูงไปเซ็ต IC_4 ทำให้ออปโตคัปเปลอร์ G_1 ทำงาน แต่ G_2 หยุดทำงาน โหลดก็จะไปต่อที่สายไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแทนที่จะไปต่อที่อินเวอร์เตอร์ ทำให้อินเวอร์เตอร์ทำงานในสภาพไม่มีโหลด ซึ่งจะช่วยป้องกันสวิตช์

ในกรณีที่โหลดต่ออยู่กับสายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า วงจรจะทำการย้ายโหลดให้ไปต่อกับอินเวอร์เตอร์เองถ้าหากอินเวอร์เตอร์ทำงานปกติ โดย IC_5 จะรับสัญญาณจาก IC_3 และส่งไปยังเกต AND เบอร์ 4073 ในส่วนของวงจรตรวจจับความถี่ (รูปที่ 79) ถ้ามุมเฟสของไฟจากการไฟฟ้าตรงกับมุมเฟสของไฟจากอินเวอร์เตอร์ เกต AND ในวงจรตรวจจับความถี่จะส่งสัญญาณมารีเซ็ต ที่ขา Reset ของ IC_4 ทำให้ G_2 ทำงาน โหลดก็จะต่อกับอินเวอร์เตอร์เอง

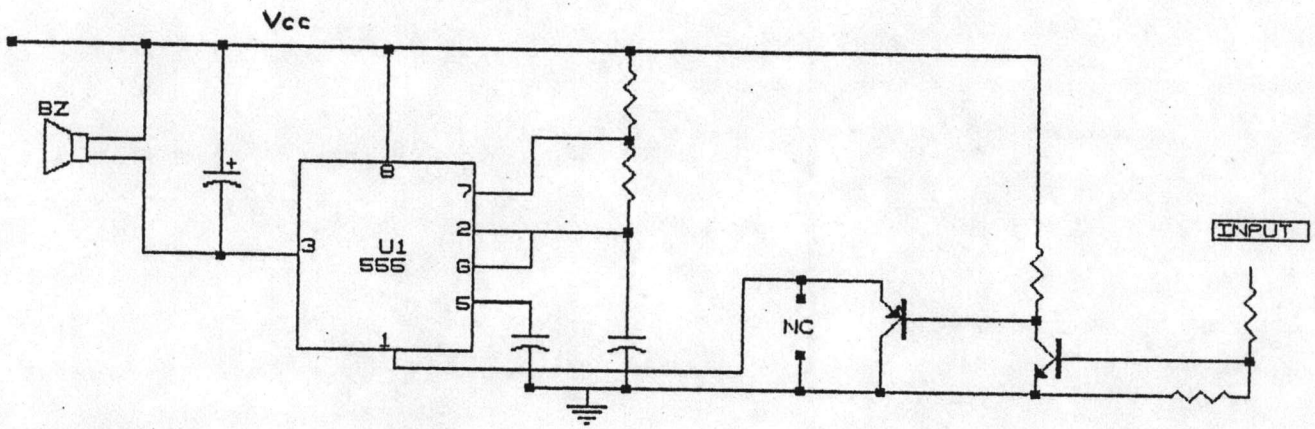


รูปที่ 86 ภาคควบคุมของวงจรสวิตช์โอนย้าย

ในส่วนของวงจรควบคุมนี้จะรวมเอาวงจรแสดงสถานะเข้าไว้ด้วยโดยการเติม LED1 และ LED2 เข้าไป ถ้า LED1 สว่างแสดงว่าโหลดต่ออยู่กับสายไฟฟ้าของการไฟฟ้า แต่ถ้า LED2 สว่างแสดงว่าโหลดต่ออยู่กับอินเวอร์เตอร์

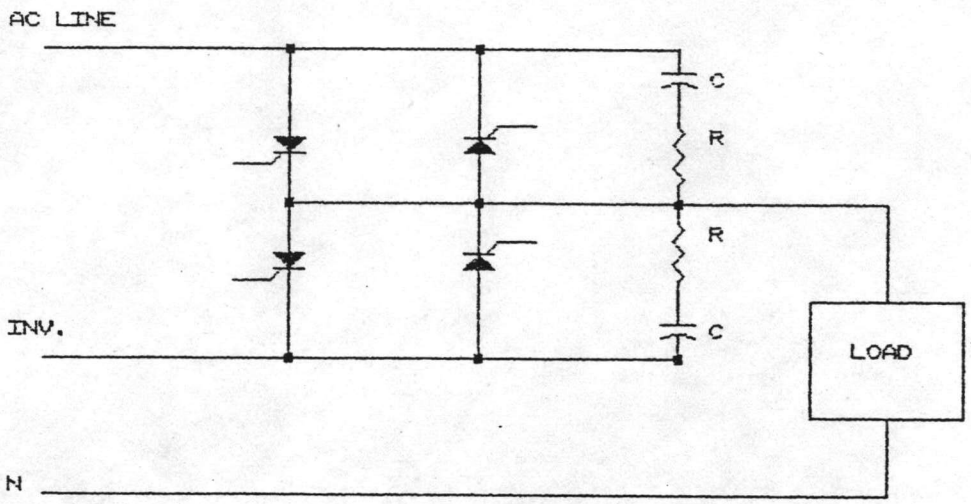
วงจรแสดงสถานะอีกส่วนหนึ่งได้แก่วงจรส่งสัญญาณเตือน ซึ่งต่อร่วมกับวงจรควบคุมของวงจรทอนระดับ วงจรนี้จะส่งเสียงร้องเป็นจังหวะเมื่อเกิดการผิดปกติของวงจรทอนระดับ เช่น แรงดันของการไฟฟ้าผิดปกติ สวิตช์ของวงจรทอนระดับมีอุณหภูมิสูงเกินไป ทำให้ เบรกเกอร์ประธาน (main breaker) ตัดสายไฟฟ้าจากการไฟฟ้าออก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ต้องดึงพลังงานจากแบตเตอรี่ออกมาใช้แทน

วงจรส่งสัญญาณเตือนในรูปที่ 87 ประกอบด้วย IC 555 ทำหน้าที่ส่งสัญญาณนาฬิกาไปยังออด เพื่อให้ร้องเป็นจังหวะ สัญญาณ INPUT ในที่นี้คือแรงดันที่ขา 1 ของ IC 4 ในรูปที่ 86 ซึ่งจะมีแรงดันระดับสูงก็ต่อเมื่อต่อโหลดเข้ากับสายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า เมื่อแรงดัน INPUT มีระดับสูง ทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะนำกระแส ทำให้ขา 1 ของ IC 555 มีแรงดันระดับต่ำ หรือในกรณีที่เบรกเกอร์ประธานตัดสายไฟฟ้าของการไฟฟ้าออก สวิตช์ NC ที่อยู่บนเบรกเกอร์ประธานจะต่อขา 1 ของ IC 555 ลงไฟลบ เมื่อแรงดันขา 1 ของ IC 555 มีแรงดันระดับต่ำ ก็จะทำให้ IC 555 ทำงาน



รูปที่ 87 วงจรส่งสัญญาณเตือน

การออกแบบวงจรสวิตช์โอนย้ายภาคกำลัง



รูปที่ 88 วงจรสวิตช์โอนย้ายภาคกำลัง

วงจรสวิตช์โอนย้ายจะประกอบด้วย SCR จำนวน 2 ชุดต่อกลับทางกัน ในกรณีปกติ SCR คู่ล่างจะนำกระแส และต่อโหลดเข้ากับวงจรอินเวอร์เตอร์ แต่ถ้าเกิดการผิดปกติของวงจรอินเวอร์เตอร์หรือโหลด SCR คู่บนจะนำกระแสแทน เพื่อต่อโหลดเข้ากับสายไฟจากการไฟฟ้า ความต้านทาน R และตัวเก็บประจุ C ที่ต่อคร่อม SCR ทั้ง 2 คู่จะทำหน้าที่เป็นสนับเบอร์ให้กับ SCR

การหาขนาดของสวิตช์

สวิตช์ที่ใช้งานนี้จะต้องสามารถนำกระแสในขณะที่โหลดเกินได้ โดยทั่วไปเครื่อง UPS จะออกแบบไว้ประมาณ 200 - 300 % ของขนาดโหลดปกติ ผู้วิจัยเลือกใช้ค่า 300 %

กระแสผ่านสวิตช์ = ขนาดกำลังของเครื่อง x 300 % / แรงดัน

= 3000 x 3/220

= 40.9 A

เนื่องจากกระแสผ่าน SCR แต่ละตัวเพียงครึ่งคาบ ดังนั้นกระแสที่ผ่าน SCR แต่ละตัวมีค่าเท่ากับกระแสรวมหารด้วย 1.414

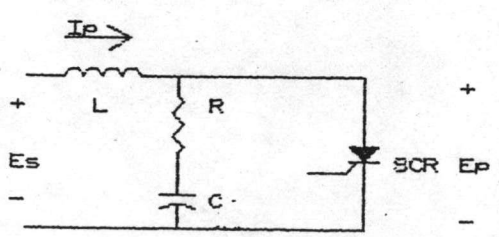
กระแสผ่าน SCR = 40.9 / 1.414

= 28.9 A

ขนาดแรงดันของสวิตช์ จะต้องไม่น้อยกว่าแรงดันสูงสุดในขณะที่แรงดันของอินเวอร์เตอร์กับแรงดันของการไฟฟ้ามีมุมเฟสต่างกัน 180 องศา ค่าที่ว่านี้ประมาณ 620 โวลต์ (แรงดัน = 310 x 2) และนอกจากนี้ยังต้องสามารถทนกระแสเสิร์จ(Surge) ในขณะที่ทำการโอนย้าย ดังนั้นจึงเลือก SCR เบอร์ 2N5206 ซึ่งมีพิกัดกระแส 35 แอมป์และพิกัดแรงดัน1000 โวลต์ SCR เบอร์นี้สามารถทนการการเพิ่มของกระแส (di/dt) ขณะเริ่มนำกระแสได้ 100 A/μs และทนการเปลี่ยนแปลงแรงดัน (dv/dt) โดยไม่นำกระแสเองได้ 100 V/μs (18) ดังนั้นจึงต้องทำการออกแบบสนับเบอร์เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายกับตัว SCR หรือ SCR นำกระแสเอง

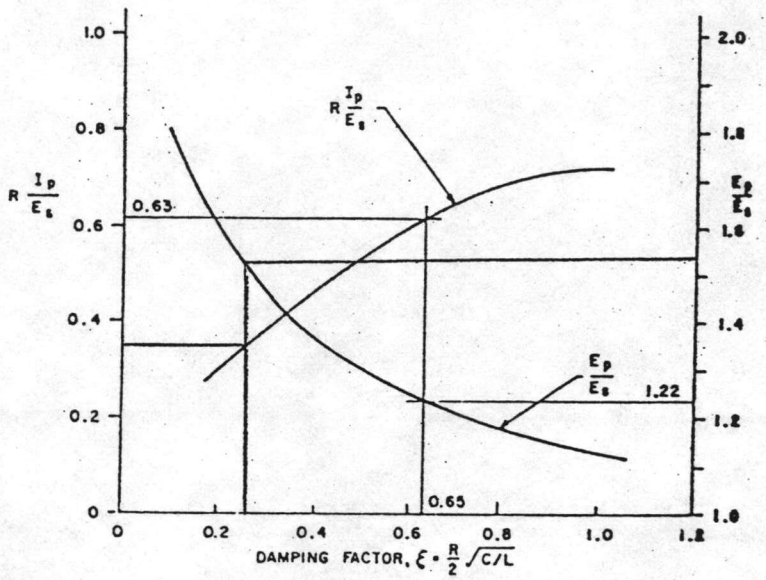
การออกแบบวงจรสนับเบอร์

วงจรสนับเบอร์ที่ใช้จะใช้ตัวเหนี่ยวนำ ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุต่อกับ SCR ดังรูปที่ 89

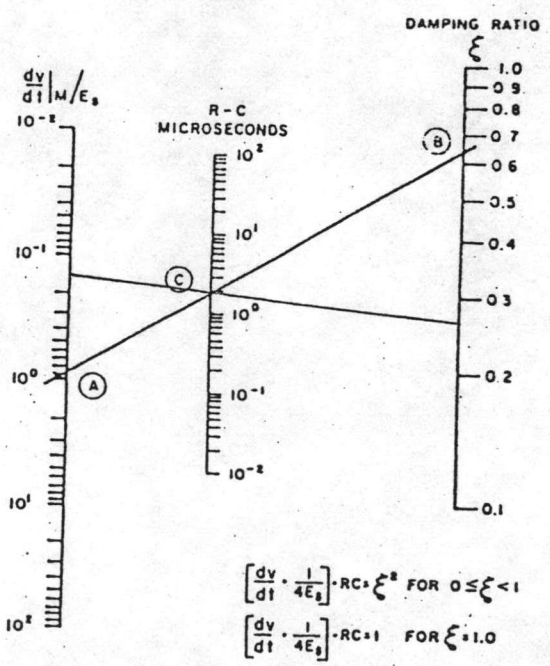


รูปที่ 89 SCR และวงจร สนับเบอร์

ตัวเหนี่ยวนำจะเป็นตัวกำหนดค่า di/dt ตัวหนึ่งในขณะที่ SCR เริ่มนำกระแส ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุจะเป็นตัวกำหนดค่า dv/dt ในขณะที่ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเริ่มเข้าสู่สภาวะปกติหลังจากที่เกิดผิดปกติ การคำนวณค่า R, L, C สามารถทำได้จากกราฟดังรูปที่ 90 และ 91 (19)



รูปที่ 90 กราฟที่ใช้ในการหาค่าตัวประกอบการหน่วง



รูปที่ 91 กราฟที่ใช้ในการหาค่า dv/dt

โดยที่ E_p คือ แรงดันสูงสุดที่เกิดขึ้นคร่อม SCR

E_s คือ แรงดันสูงสุดที่เกิดขึ้นคร่อมตัวเหนี่ยวนำและ SCR

I_p คือ กระแสสูงสุดผ่านตัวเก็บประจุ

คือ ค่าตัวประกอบการหน่วง (damping factor)

ซึ่งมีค่าเท่ากับ $R\sqrt{C}/(2\sqrt{L})$

ในขณะที่ E_s = 610 โวลต์

E_p < 1000 โวลต์

di/dt < 100 A/μs

dv/dt < 100 V/μs

ถ้าสมมุติให้ L เป็น L ในสายซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.152 mH (ดูในบทที่ 2) แล้ว

$$di/dt = E_s/L$$
$$= 620/(0.152 \times 10^{-3})$$
$$= 4.08 \text{ A}/\mu s$$

ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดของ SCR เบอร์นี้ จึงไม่จำเป็นต้องต่อตัวเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น

การกำหนดค่า E_p และ dv/dt เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายแก่ SCR เราเลือกค่าประมาณ 95 % ของค่าที่กำหนด

$$E_p = 1000 \times 0.95$$
$$= 950 \text{ โวลต์}$$
$$dv/dt = 100 \times 0.95$$
$$= 95 \text{ V}/\mu s$$

จากกราฟรูปที่ 90 เมื่อ $E_p/E_s = 950/620$

$$= 1.532$$

จะได้ค่า = 0.26 และ RI_p/E_s = 0.35 จากกราฟรูปที่ 91 เมื่อ

$$(dv/dt)/E_s = 95/620$$
$$= 0.153 \ \mu s^{-1}$$

จะได้ค่าคงตัวเวลาเท่ากับ 2.0 μs เมื่อนำค่าต่างๆมาเขียนสมการจะได้

$$RC = 2.0 \ \mu s \qquad [6]$$

$$= R\sqrt{C}/(2\sqrt{L})$$

$$0.26 = R\sqrt{C}/(2\sqrt{L})$$

$$0.26^2 = R^2C/4L$$

$$R^2C = 0.26^2 \times 4(0.152 \times 10^{-3}) \qquad [7]$$

จากสมการ [7]/[6] $R = 4.1 \times 10^{-5}/(2 \times 10^{-6})$

$= 20.6$ โอห์ม

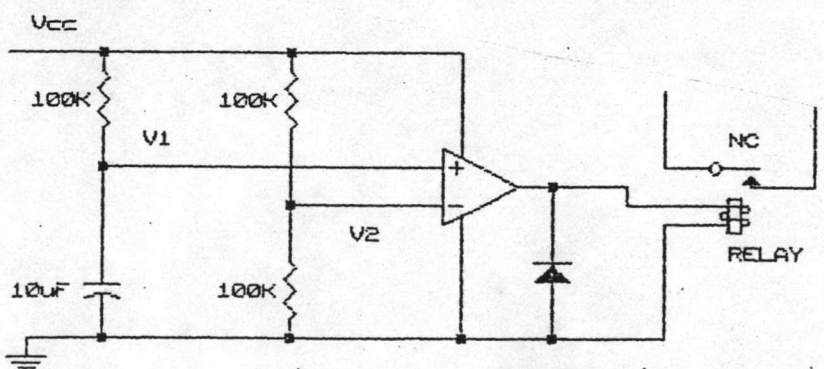
นำค่า R แทนในสมการที่ [6] ได้ $C = 2.0 \times 10^{-6}/20.6$

$= 97$ nF

สรุปตัวเก็บประจุใช้ค่า 0.1 μF 1000 V ตัวต้านทานใช้ค่า 22 โอห์ม

วงจรเริ่มเดินเครื่อง

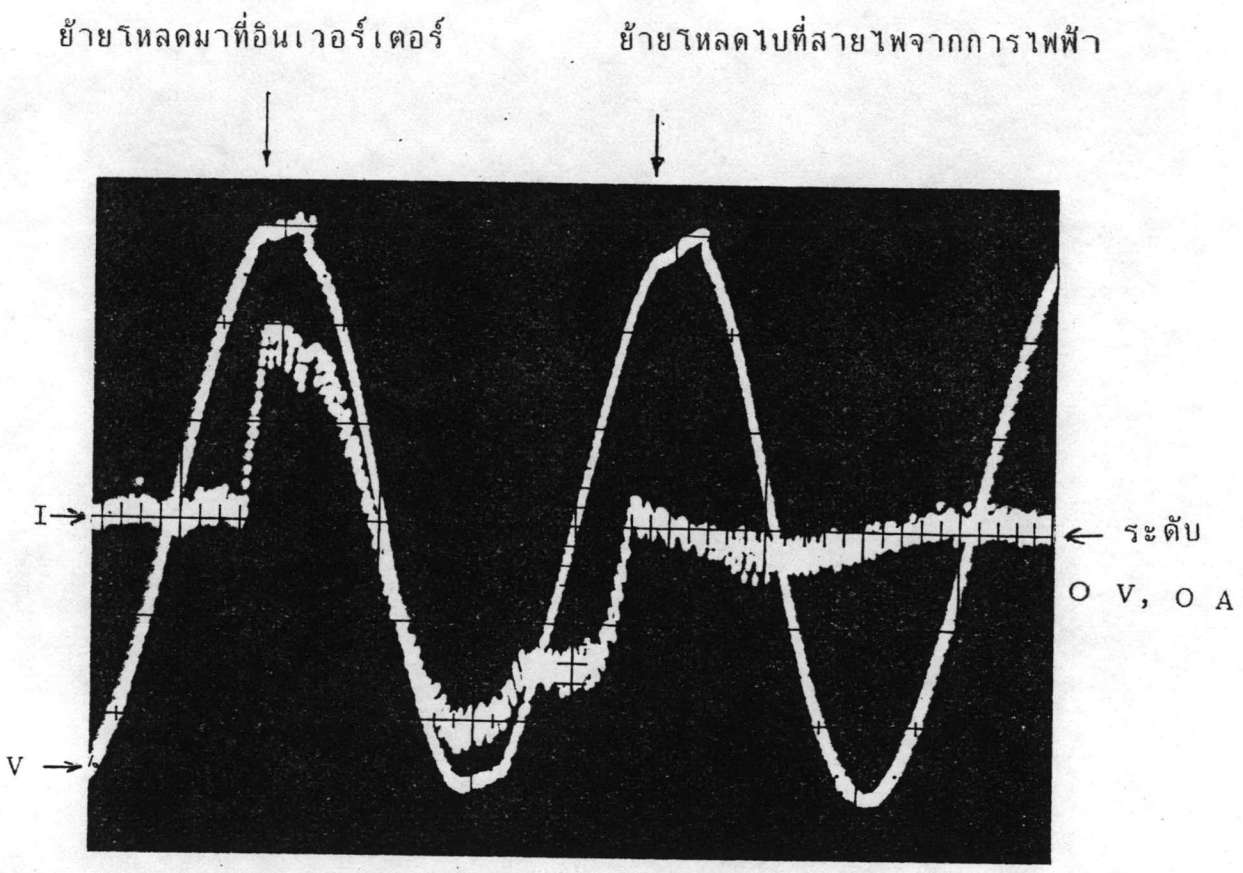
ในขณะที่เริ่มติดตั้งและเดินเครื่อง จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าเครื่อง เนื่องจากสวิตช์ในวงจรเรียงกระแสยังไม่ต่อวงจร(ดูในบทที่ 2) วงจรเริ่มเดินเครื่องจะทำหน้าที่ต่อสายไฟฟ้าของการไฟฟ้าเข้าวงจรควบคุมในระยะแรก เพื่อให้วงจรควบคุมทำงานได้ วงจรเริ่มเดินเครื่องแสดงดังรูปที่ 92 วงจรนี้ประกอบด้วยรีเลย์ซึ่งทำหน้าที่ต่อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าไปให้วงจรควบคุมทั้งหมดในขณะที่ไม่มีไฟเลี้ยงเข้ารีเลย์ แต่เมื่อมีไฟเลี้ยงเข้าไปที่วงจรควบคุมและวงจร สวิตช์โอนย้ายจะทำงาน และรีเลย์ก็จะตัดวงจรออก



รูปที่ 92 วงจรเริ่มเดินเครื่อง

หลักการทำงาน เมื่อไม่มีแรงดัน Vcc รีเลย์จะต่อสายไฟฟ้าของการไฟฟ้าเข้ากับวงจรควบคุมต่าง ๆ เมื่อเริ่มมีแรงดัน Vcc แรงดัน V2 จะมีค่าสูงกว่าแรงดัน V1 เนื่องจากตัวเก็บประจุ ทำให้แรงดันออกของออปแอมป์มีระดับต่ำ รีเลย์ยังคงต่อวงจรตามเดิม จนเวลาผ่านไประยะหนึ่ง แรงดัน V1 จะสูงกว่าแรงดัน V2 ทำให้แรงดันออกของออปแอมป์มีระดับสูงและรีเลย์เปิดวงจร

ผลการทดลอง



รูปที่ 93 แรงดันออกและกระแสอินเวอร์เตอร์ในขณะโอนย้ายโหลด
(แรงดัน 100V/cm กระแส 5A/cm เวลา 5 ms/cm)

จากรูปที่ 93 ขณะเริ่มเดินเครื่อง SCR ชุดที่ 1 (ต่อกับสายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า)นำกระแสจ่ายพลังงานให้โหลดขนาด 3.5 kVA เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง อินเวอร์เตอร์จะทำงานสมบูรณ์ (ขนาดของแรงดันและมุมเฟสตรง

กัน) SCR ชุดที่ 2 (ต่อกับอินเวอร์เตอร์)เริ่มนำกระแส ปรากฏว่าอินเวอร์-เตอร์ต้องจ่ายกระแสเกินค่าปกติให้กับโหลด อินเวอร์เตอร์จึงจำกัดกระแสโดยการลดแรงดันบริเวณที่มีกระแสสูง (บริเวณยอดคลื่น) วงจรสวิตช์โอนย้ายตรวจจับได้ว่าแรงดันออกจากอินเวอร์เตอร์ผิดปกติ จึงสั่งให้ SCR ชุดที่ 1 กลับมานำกระแสจ่ายพลังงานให้โหลด ในรูปจะเห็นได้ว่าช่วงที่ทำการโอนย้ายโหลดไปมาแรงดันของโหลดยังคงต่อเนื่องเป็นปกติ