# บทที่ 7
# การออกแบบ และการเลือกใช้ส่วนประกอบต่าง ๆ

## 7.1 คำนำ

ในบทนี้ จะนำเอารายละเอียดที่ได้จากการบันทึกค่าจากแผ่นป้าย การออกแบบ และ การเลือกใช้ส่วนประกอบต่าง ๆ ในการสร้างโครงงานวิจัยขึ้นมา

## 7.2 รายละเอียดที่ได้จากการบันทึกค่าบนแผ่นป้าย

มอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก มีขนาดที่พิกัดต่าง ๆ ดังนี้ 8.4 กิโลวัตต์ 1,460 รอบ/นาที แรงดันที่อาร์เมเจอร์ 440 โวลต์ กระแสอาร์เมเจอร์ 24 แอมป์ แรงดันที่ขดลวดสนาม 220 โวลต์ กระแสที่ขดลวดสนาม 2.05 แอมป์ มีเครื่องวัดรอบและพัดลมติดอยู่ คุณสมบัติของเครื่องวัดรอบ 0.06 โวลต์/(รอบ/นาที) กระแสไหลสูงสุด 0.18 แอมป์ วัดความเร็วรอบสูงสุด 10,000 รอบ/นาที คุณสมบัติของพัดลมระบายความร้อน ใช้มอเตอร์กระแสสลับ 3 เฟส 380 โวลต์ต่อแบบ Y รับกระแส 1 แอมป์ ขนาด 0.33 กิโลวัตต์ 2,710 รอบ/นาที $\cos\psi$ = 0.78 เครื่องมือวัดแรงบิดที่นำมาติดด้วยวัดได้สูงสุด 100 กิโลกรัมเมตร และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 6.6 กิโลวัตต์ 220 โวลต์ 30 แอมป์ โดยป้อนแรงดันให้ขดลวดสนาม 220 โวลต์ พิกัดความเร็วรอบ 1,400 รอบ/นาที

## 7.3 การออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับวงจรจ่ายกำลัง

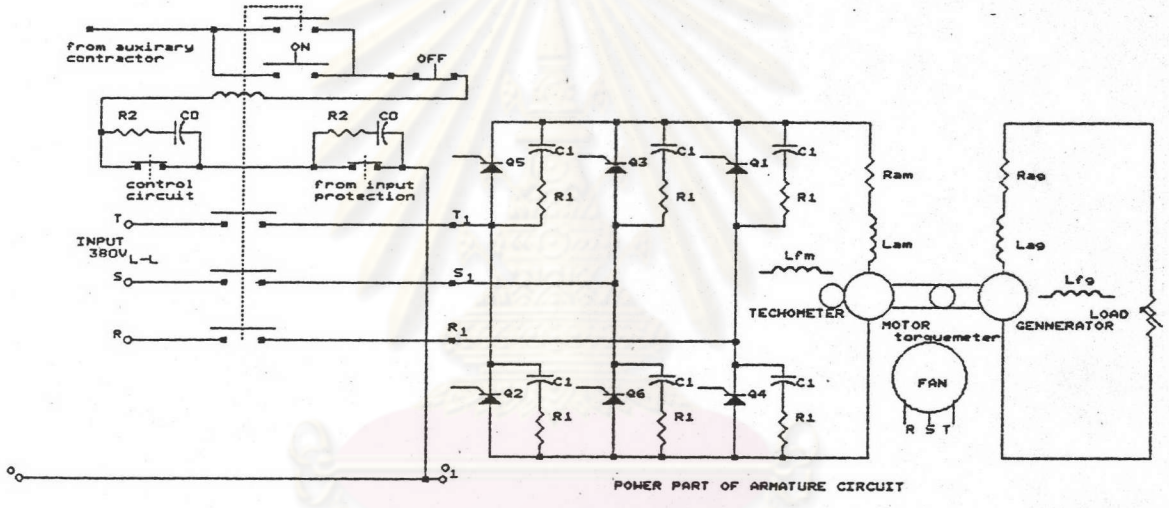
(มงคล เดชนครินทร์, 2528; Sen, 1988; data book)

วงจรภาคกำลังที่ใช้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

1. วงจรสำหรับจ่ายกำลังให้ขดลวดอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ (ตามรูปที่ 7.1)
2. วงจรสำหรับจ่ายกำลังให้ขดลวดสนามของมอเตอร์ (ตามรูปที่ 7.2)

วงจรจ่ายกำลังสำหรับอาร์เมเจอร์ประกอบด้วย เอสซีอาร์จำนวน 6 ตัว และสำรองไดโอดไว้ 1 ตัว เอสซีอาร์ที่ใช้เบอร์ 50 RIA 120 ขนาดทนแรงดันกลับทาง 1,200 โวลต์ กระแสโหลดเฉลี่ย 50 แอมป์ อุณหภูมิตัวถัง 94°c (RIA, 1989) ไดโอดที่ใช้ทนแรงดันกลับทางได้ไม่น้อยกว่า 1,000 โวลต์ 50 แอมป์ การเลือกเอสซีอาร์และ

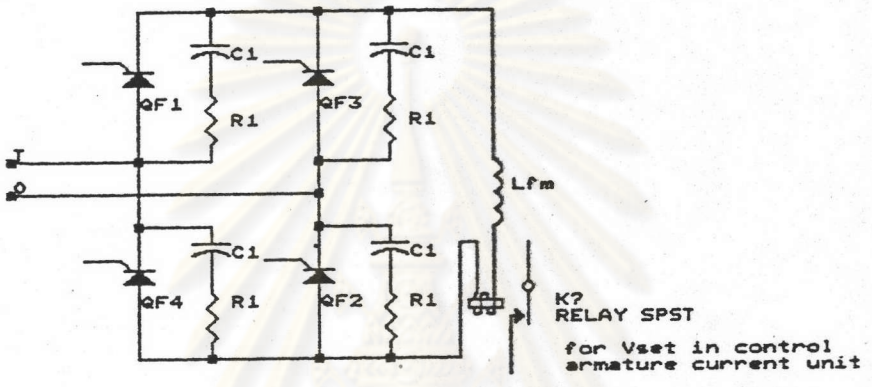
ไดโอดนี้ (Rajashekara, 1988) พิจารณาจากการใช้งานมอเตอร์ขนาด 440 โวลต์ 24 แอมป์ แหล่งจ่ายไฟฟ้า 380 โวลต์ 3 เฟส ที่จ่ายให้วงจรกำลังนี้ ในการเลือกอุปกรณ์นี้ควรจะพิจารณาด้วยว่าโครงงานนี้ใช้ประกอบการทดลอง ในภาวะที่เลวร้ายคือ เอสซีอาร์ถูกบังคับให้ทำงานเสมือนไดโอด และการใช้งานในสภาพผิดปกติอื่น ๆ เช่น มีเอสซีอาร์บางตัวไม่ทำงานตามความต้องการ เป็นต้น นอกจากนี้ เอสซีอาร์ที่จำหน่ายทั่วไป หากพิจารณาโดยละเอียดแล้วอาจพบว่าที่พิกัดกระแสเท่ากัน แต่ทดสอบที่อุณหภูมิต่างกัน นั่นคือ เอสซีอาร์นี้จะมีพิกัดกระแสที่อุณหภูมิเดียวกันไม่เท่ากันนั่นเอง การสำรองไดโอดเพื่อไว้ใช้ในกรณีเป็นวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมครึ่งเดียว




รูปที่ 7.1 วงจรจ่ายกำลังสำหรับอาร์เมเจอร์

การเลือกวงจรสนับเบอร์ (ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อขนานกับเอสซีอาร์) สำหรับป้องกันความเสียหายให้เอสซีอาร์ เลือกตัวต้านทานชนิดเคลือบแก้วหรือเทียบเท่า ขนาด 50 โอห์ม 20 วัตต์ เหตุที่ใช้ตัวต้านทานชนิดนี้เนื่องจาก การกระชากของกระแสหรือแรงดันก็ดีจะทำให้ลวดของตัวต้านทานสั่น หากใช้ตัวต้านทานชนิดกระเบื้อง ลวดพวกนี้อาจขาดได้ในระยะเวลาหนึ่ง (การใช้งานติดต่อกันวันละ 8 ชั่วโมง ประมาณ 1-2 ปี) เนื่องจากไปถูกับกระเบื้องนั่นเอง ตัวเก็บประจุชนิด FKP หรือเทียบเท่า ทนแรงดันกระแสสลับ 400 โวลต์ ทนแรงดันกระแสตรง 1,000 โวลต์ ขนาด 0.22 ไมโครฟารัด ได้มีการลองใช้ตัวเก็บชนิดไมลาร์ทนแรงดัน 630 โวลต์ ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะเสียหายในเวลา

ไม่นาน (2-3 เดือน) เอสซีอาร์และไดโอดแต่ละตัวติดบนแผ่นระบายความร้อน (heatsink) ขนาด 12x12x12 เซ็นติเมตร โดยประมาณ มีพัดลมระบายความร้อนขนาด 12 เซ็นติเมตร 2 ตัว ใช้ไฟฟ้า 220 โวลต์ สำหรับช่วยระบายความร้อนในภาคกำลังทั้งหมด




รูปที่ 7.2 วงจรจ่ายกำลังสำหรับขดลวดสนาม

วงจรจ่ายกำลังสำหรับขดลวดสนามประกอบด้วย เอสซีอาร์ 4 ตัว สำรองไดโอดไว้ 1 ตัว เอสซีอาร์ที่ใช้ทนแรงดันย้อนกลับได้ไม่น้อยกว่า 800 โวลต์ กระแส 10 แอมป์ไดโอดก็เช่นกัน เฉพาะเอสซีอาร์ติดตั้งบนแผ่นระบายขนาด 5x12x12 เซ็นติเมตร ทั้ง 4 ตัว [เอสซีอาร์ที่ใช้เป็นแบบตัวแยกจากขาต่าง ๆ ทางไฟฟ้า (isolate)] ถ้าเป็นแบบตัวถังมีแรงดันเท่ากับขาใดขาหนึ่ง ให้แยกแผ่นระบายความร้อนสำหรับแต่ละตัวออกจากกัน ไดโอดหากสามารถติดแผ่นระบายความร้อนได้ก็ควรติด วงจรสนับเบอร์ที่ใช้ตัวต้านทานชนิดเคลือบแก้วขนาด 10 วัตต์ 200 โอห์ม และตัวเก็บประจุชนิด MKP หรือเทียบเท่าทนแรงดัน (กระแสสลับ) 250 โวลต์ 0.1 ไมโครฟารัด การป้องกันความวิบัติเนื่องจากสนามอ่อน ในกรณีที่สนามแม่เหล็กอ่อนหรือไม่มีสนามแม่เหล็กเลยจะทำให้มอเตอร์วิบัติเสียหายได้ จึงจำเป็นต้องจัดการป้องกัน วิธีป้องกันในระบบนี้ ผู้ออกแบบใช้สวิตช์รีด (reed switch) ซึ่งต่อไปจะเรียกสั้น ๆ ว่า รีด ตรวจความแรงของกระแสสนามด้วยวิธีการดังนี้ รีดนี้เป็นชนิดปกติตัด (NO) สอดอยู่ในแกนของขดลวด 10 รอบ รีดนี้จะต่อ (on) ก่อน เมื่อกระแสในขดลวดเกิน 1 แอมป์ และต่ำกว่า 1 แอมป์ รีดจะตัด (off)

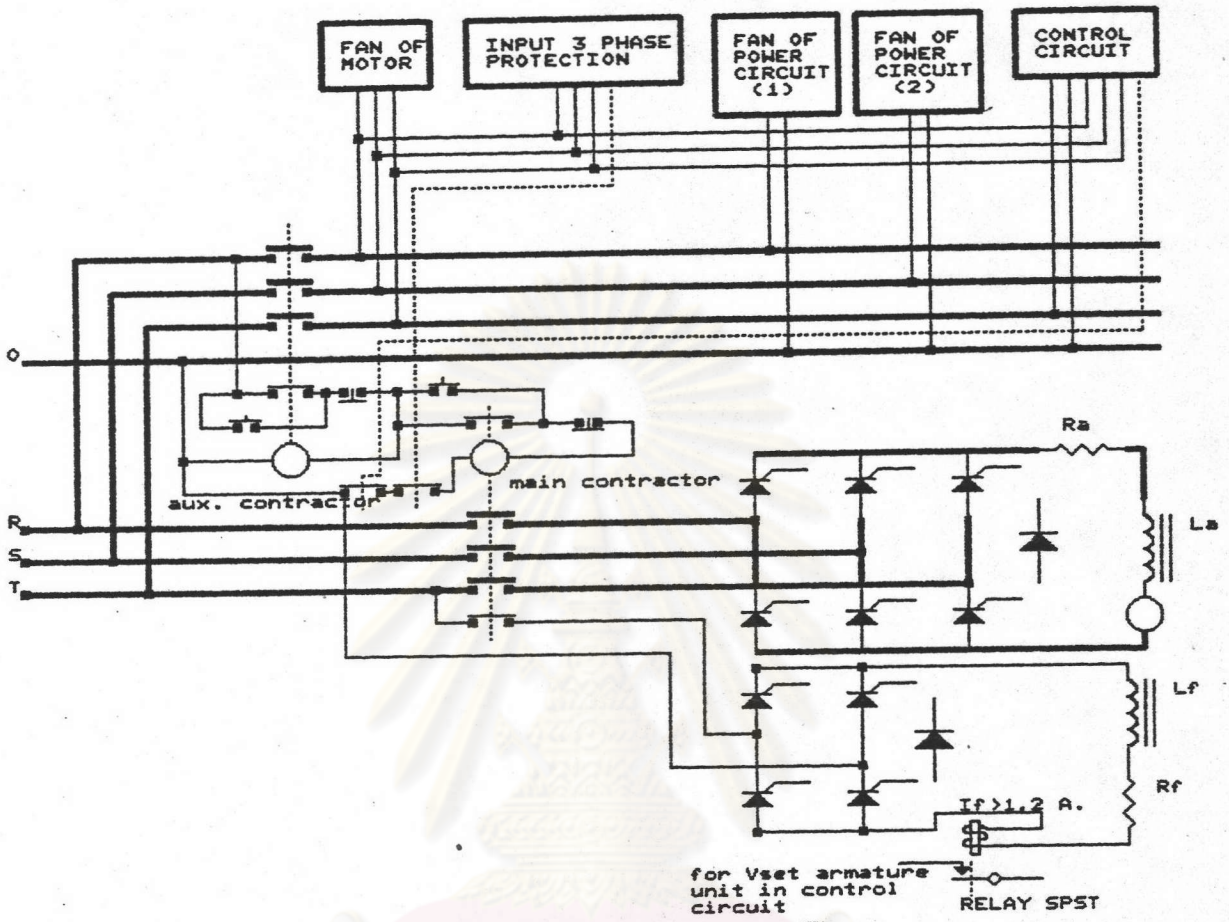
การออกแบบพิจารณาโดยพันสายไฟเป็นขดรอบแกนพลาสติกประมาณ 10-15 รอบ หรือขึ้นกับ reed switch ที่นำมาใช้ โดยทั่วไปผู้จำหน่ายมักจะไม่มีข้อมูลให้ หากเป็น reed switch ที่มีราคาถูก ๆ แล้ว ความเชื่อถือไม่ค่อยได้ การใช้งานจะเลือกใช้โดยการมองว่า หน้าสัมผัสห่างกันเล็กน้อย (ประมาณ 0.5 มิลลิเมตร หรือใกล้เคียง) นำมาสอดไว้ในแกนพลาสติกมีการลดลงต่ำครึ่งพิกัดคือ 1.0 แอมป์ โดยประมาณ รีด ก็จะตัดวงจร ดังนั้น จึงถือว่าการเลือกอุปกรณ์นี้ใช้งานได้

การเลือกใช้ฟิวส์ให้เอสซีอาร์ ควรใช้ฟิวส์สำหรับอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ โดยพิจารณาจากคู่มือผู้ผลิต แต่ถ้าไม่มีให้ใช้ฟิวส์ขนาดเล็กกว่าเอสซีอาร์นิดหน่อย (ตัวอย่างเช่น เอสซีอาร์ขนาดกระแสเฉลี่ย 50 แอมป์ ควรใช้ฟิวส์ขนาด 50 แอมป์ ประมาณ 40 แอมป์ ถ้ามี) ฟิวส์ที่ใช้จะติดกับเอสซีอาร์แต่ละตัว ติดเฉพาะสายส่งกำลังขาเข้าวงจรเรียงกระแส หรือติดที่สายส่งขาออกก็ได้ แต่ผลที่ได้ต่างกันในแง่ของการป้องกันกับความประหยัดนั่นเอง ในกรณีของเรายังไม่ได้ติดตั้งฟิวส์

อุปกรณ์ภาคกำลังนี้ เมื่อนำมารวมเป็นชุดใหญ่จะมีแมกเนติกคอนแทกเตอร์ 2 ชุด ประกอบด้วย ชุดแรกสำหรับติดต่ออุปกรณ์กำลังขนาดทนกระแส 25 แอมป์ 380 โวลต์ มีหน้าคอนแทรกเตอร์ที่เป็นปกติเปิดอยู่ ทน 50 แอมป์ ได้ 3 ชุด และหน้าคอนแทรกเตอร์ช่วยชนิดปกติต่อ 2 ชุด ปกติตัด 2 ชุด อีกชุดหนึ่งเป็นชุดช่วยทนกระแสได้ไม่น้อยกว่า 5 แอมป์ 380 โวลต์ สำหรับเปิด-ปิดพัดลมและวงจรควบคุมอื่น ๆ

การออกแบบอุปกรณ์ตัดต่อวงจรภาคกำลังนี้ อธิบายตามรูปที่ 7.3 ได้ดังนี้ เมื่อต้องการจะ ON เครื่อง ให้กดสวิตช์ $A_1$ ก่อนแมกเนติกแทรกเตอร์ควบคุมจะทำงาน พัดลมระบายความร้อนของมอเตอร์หรือของวงจรภาคกำลังจะทำงาน วงจรป้องกันภาคขาเข้าจะทำงาน หากมีความผิดปกติทางด้านขาเข้าจะไม่สามารถ ON วงจรภาคกำลังได้ เมื่อวงจรควบคุมทำงานแล้ว จะสามารถ ON ภาคกำลังด้วยสวิตช์ $B_1$ แมกเนติกภาคกำลังจะทำงาน วงจรเรียงกระแสสำหรับขดลวดสนามจะเริ่มจ่ายกระแสให้ขดลวดสนาม หากเกิน 1.2 แอมป์ เมื่อไร รีด ก็จะต่อวงจรให้วงจรคุมค่า หรือ วงจรควบคุมสำหรับวงจรอาร์เมเจอร์ทำงาน หากมีการตั้งค่าไว้มอเตอร์ก็จะเริ่มหมุน

เมื่อต้องการ OFF มอเตอร์จะกดสวิตช์ที่ภาคควบคุม สวิตช์นี้จะตัดวงจรที่จ่ายกระแสให้หม้อแปลงพัลส์ที่ขับเกต เป็นการหยุดสัญญาณเกตที่จะไปจุดชนวนเอสซีอาร์ทั้งหมด การหยุดเช่นนี้ เป็นการดับเอสซีอาร์ไม่ให้นำกระแสก่อนที่จะตัดแมกเนติกคอนแทรกเตอร์



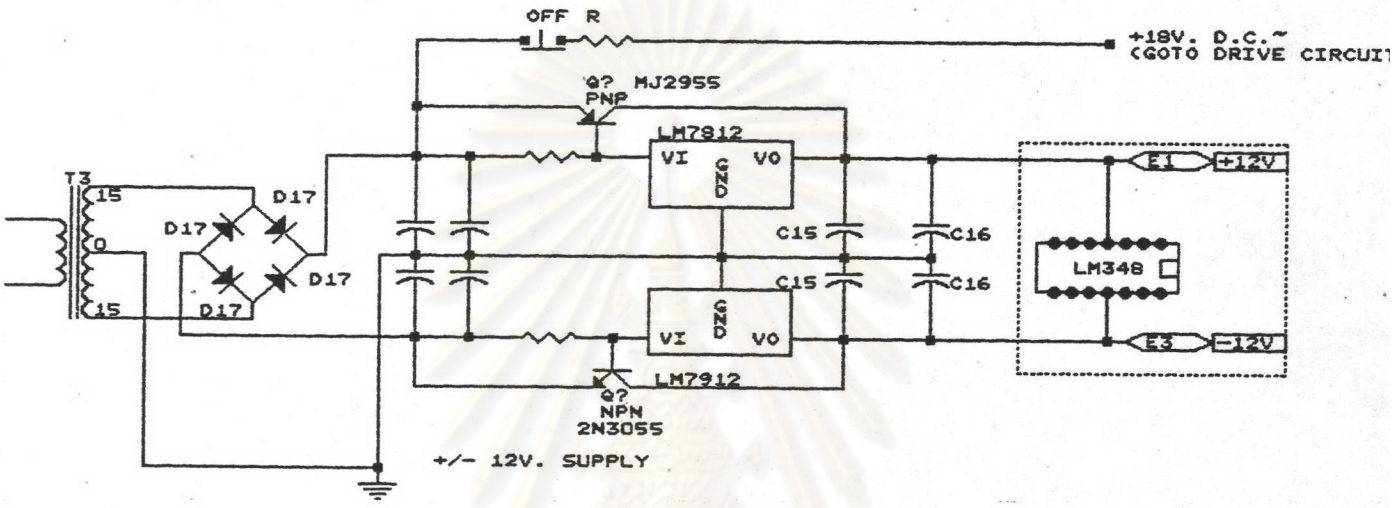

รูปที่ 7.3 อุปกรณ์ตัดต่อภาคกำลัง

เพราะ ถ้าตัดวงจรเรียงกระแสออกก่อนที่เอสซีอาร์จะหยุดนำกระแส เอสซีอาร์ในกิ่งเดียวกับเอสซีอาร์ที่นำกระแสอยู่จะเกิดแรงดันสูงขึ้นได้ ผลจะทำให้เอสซีอาร์เหล่านี้เสียหายหรือหน้าสัมผัสของคอนแทกเตอร์เสียหายได้ การป้องกันอาจเลือกเอสซีอาร์ที่ทนแรงดันสูงหรือต่อวงจรป้องกันอื่นได้ แต่วิธีการที่เสนอนี้ค่อนข้างง่ายนั่นเอง หลังจากที่เอสซีอาร์หยุดนำกระแสแล้วนี้จึงจะตัดแมกเนติกคอนแทกเตอร์ออกได้ด้วยแมกเนติกรีเลย์ ซึ่งควบคุมจากภาคควบคุมซึ่งจะหยุดเฉพาะภาคกำลัง พัดลมระบายความร้อนและวงจรควบคุมอื่น ๆ ยังคงทำงาน เมื่อเราต้องการหยุดทั้งหมดก็กดสวิตช์ $A_2$ ต่อไป

ที่หน้าสัมผัสของแมกเนติกรีเลย์แต่ละตัวควรมีวงจร RC เพื่อลดประกายไฟขณะตัดวงจร มีค่าตัวต้านทานประมาณ 10 กิโลโอห์ม และ ตัวเก็บประจุแบบไมลาร์ 0.47

ไมโครฟารัด 63Ø โวลต์ (ถ้าจะให้มีอาจใช้ MKP ที่ใช้ในวงจรสนับเปอร์ก็ได้)

7.4 <u>การออกแบบและการเลือกอุปกรณ์วงจรจุดชนวน วงจรวัดและวงจรประกอบอื่น ๆ</u> (สัณห์ ศิวารัตน์, 2531; Siemens, 1989; ข้อมูลจากผู้ผลิต (data - book); โคทม อารียา, 2526)




รูปที่ 7.4 แหล่งจ่ายไฟตรง +/- 12 โวลต์ที่ใช้

<u>การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟตรง</u>

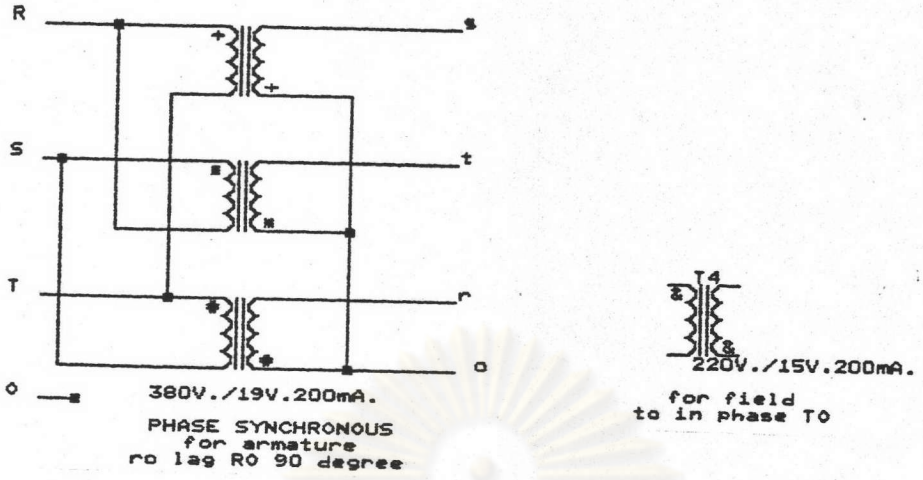
แหล่งจ่ายไฟตรงขนาด -15, -12, Ø, +5, +12, +15 โวลต์ วงจรนี้เป็นวงจรพื้นฐานที่พบทั่วไป (Alberkrack, 1982) ในการออกแบบอาศัยคู่มือ (data - book) จากผู้ผลิต ในที่นี้ไม่ขอแสดงวิธีการ แต่จะพิจารณาค่าต่าง ๆ ที่ใช้ หม้อแปลงที่ใช้ขนาด 3 แอมป์ ใช้แรงดันขาเข้า 22Ø โวลต์ แรงดันขาออก 18-15-1Ø-Ø-1Ø-15-18 โวลต์ ตามรูปที่ 7.4 เป็นตัวอย่างเพียงวงจรเดียวคือ +12, Ø, -12 ต่อวงจรบริดจ์ไดโอด 1ØØV, 3 แอมป์ เป็นวงจรเรียงกระแส แรงดันที่ได้เมื่อผ่านวงจรบริดจ์ไดโอดจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรงผ่านวงจรกรองด้วยตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กทรอไลท์ขนาด 5,6ØØ ไมโครฟารัด 5Ø โวลต์ และตัวเก็บประจุชนิดแทนทาลัมขนาด 2.2 ไมโครฟารัด 5Ø โวลต์ ต่อเพื่อลดสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ก่อนเข้าวงจรรวม (IC) เบอร์ 7812 ซึ่งเป็นวงจรคุมค่าแบบอนุกรม (series regulator) สำหรับรักษาระดับแรงดัน 12 โวลต์ ที่ขาออกต่อตัวเก็บประจุชนิดแทนทาลัมขนาด Ø.33 ไมโครฟารัด 5Ø โวลต์ อีก 1 ตัว

เพราะลดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการลง ในบางกรณีเราอาจจะมีการต่อทรานซิสเตอร์ช่วยในการนำกระแสได้ตามรูป ใช้ MJ 2955 ช่วย และมีตัวต้านทานระหว่างขาเบสกับอมิตเตอร์ประมาณ 1Ø โอห์ม ช่วยด้วยซึ่งจะทำให้วงจรจ่ายกระแสได้มากขึ้น ไอซีที่เป็นวงจรคุมค่าทุกตัวควรติดแผ่นระบายความร้อนขนาด 1.5x1.5x2 เซ็นติเมตร ที่สำหรับติดกับไอซีประเภทนี้ และทรานซิสเตอร์ที่ใช้ช่วยก็ควรติดแผ่นระบายความร้อนด้วย ในกรณีที่มีการใช้งาน วงจรที่ต้องการอยู่ห่างจากแหล่งจ่ายไฟตรงตามแนวลายทองแดงมาก (เกิน 15 เซ็นติเมตร) เราได้ออกแบบให้มีตัวเก็บประจุอิเล็กทรอไลท์ขนาด 1ØØ ไมโครฟารัด 5Ø โวลต์ กับตัวเก็บประจุชนิดไมลาร์ Ø.47 ไมโครฟารัด ติดอยู่ใกล้วงจรที่ต้องการเพื่อให้แรงดันที่ใช้เรียบขึ้น เพราะหากวงจรอยู่ไกล ถ้าโหลดกระแสมากเกินไปแรงดันจะตกเป็นห้วง ๆ ได้

ด้วยวิธีการเดียวกันนี้ เราก็สามารถออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟตรงขนาดต่าง ๆ ได้โดยใช้ วงจรคุมค่าแบบอนุกรม (series regulator)

<u>การออกแบบวงจรชิงโครไนส์</u>

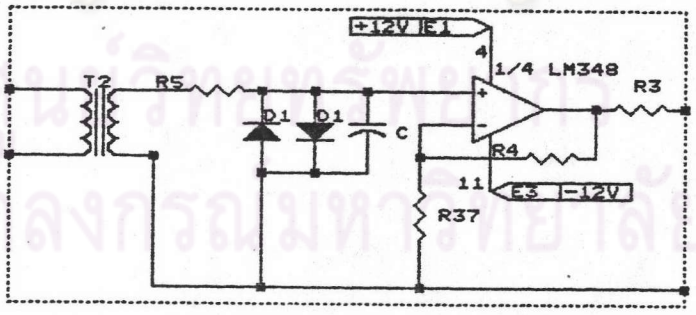
ในการจุดชนวนเอสซีอาร์นั้น เราต้องจุดในจังหวะที่พอดีกับแรงดันที่ป้อนให้วงจรเรียงกระแส เพื่อให้สามารถควบคุมแรงดันที่ออกจากวงจรเรียงกระแสได้ ในกรณีใช้งานเพียง 1 เฟส เราสามารต่อตรงทางไฟฟ้าได้ แต่ในกรณีทั่วไป เรามักจะไม่นิยมต่อตรงทางไฟฟ้า เพราะ ภาคกำลังต่อกับภาคควบคุมจะรบกวนซึ่งกันและกัน การชิงโคไนส์ทางด้านขาเข้านี้ สามารถกระทำได้โดยการใช้หม้อแปลง ซึ่งจะเชื่อมโยงกันทางสนามแม่เหล็ก ในการควบคุมวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่นั้น สามารถต่อหม้อแปลงแบบ YY ได้ ซึ่งจะประหยัดกว่าการต่อแบบ ΔY แต่การใช้งานต้องจำกัดไม่ให้จุดชนวนต่ำกว่ามุม Ø° และมุมจุดชนวนสูงสุดได้เพียงที่ 12Ø° เท่านั้น แต่ก็สามารถปรับปรุงได้โดยใช้วงจรกรอง RC ในการเลื่อนมุมเฟสไปตามความต้องการได้ อีกทั้งยังลดสัญญาณรบกวนที่ภาคกำลังส่งผ่านหม้อแปลงมายังภาคควบคุมได้อีกด้วย สัญญาณรบกวนหากมีการผ่านศูนย์จะทำให้ TCA 785 ทำงานผิดพลาดส่งผลกระทบนี้ให้ระบบควบคุมแรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสไม่ได้ตามที่ต้องการ สำหรับการควบคุมแบบครึ่งเดียว เราควรใช้การต่อแบบ ΔY เพราะเราต้องการแรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสเริ่มจากศูนย์โวลต์ หรือ ต้องการควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ความเร็วรอบต่ำ ๆ ได้ด้วย นอกจากนี้การต่อแบบ ΔY ยังช่วยให้พัฒนาสู่วงจรควบคุมความเร็วรอบแบบสองทิศทางได้




รูปที่ 7.5 การต่อหม้อแปลงเพื่อการซิงโครไนส์ระหว่างภาคกำลัง
กับภาคควบคุม

ในการต่อหม้อแปลงนี้ เราใช้หม้อแปลง 38Ø โวลต์/19-Ø-19 โวลต์ 2ØØ มิ-ลลิแอมป์ 3 ตัว ต่อแบบรูปที่ 7.5 การต่อในรูปที่ 7.5 นี้ เป็นตัวอย่างการต่อแบบหนึ่งที่ไม่ค่อยนิยมใช้นักแต่ก็ใช้ได้ ด้านขาเข้าจะต่อระหว่างแรงดันของสายส่ง (line) กับ สายส่ง 38Ø โวลต์ ด้านขาออกต่อกับวงจรป้องกันขาเข้ากับวงจรตรวจแรงดันผ่านศูนย์ (zero crossing) (สัณห์ ศิวารัตน์, 2531) โดยใช้วงจรตามรูปที่ 7.6

<u>การออกแบบวงจรตรวจแรงดันผ่านศูนย์ (zero crossing)</u>




รูปที่ 7.6 วงจรตรวจแรงดันผ่านศูนย์ (zero crossing)

การเลือกค่าอุปกรณ์พิจารณาอย่างคร่าว ๆ ดังนี้

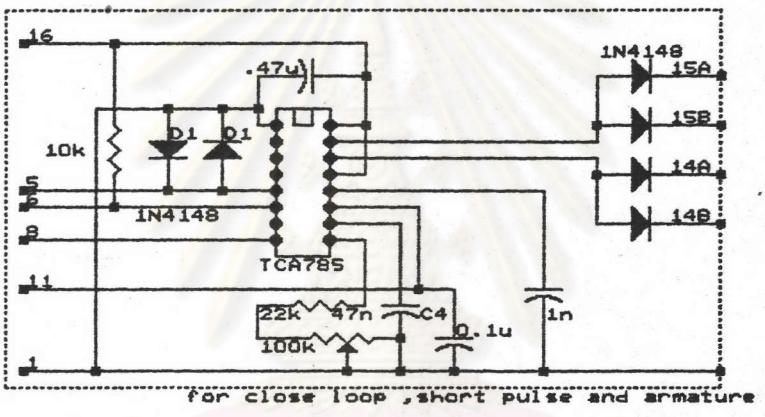
ใช้ ออปแอมป์เบอร์ LM 348 ต่อ R5 (6.8 กิโลโอห์ม) เพื่อ จำกัดกระแสไม่ให้เกิน Ø.1 มิลลิแอมป์ $D_1$ (1N4148) มีหน้าที่จำกัดแรงดันให้ใกล้ศูนย์โดยประมาณ(บวกหรือลบ

Ø.6 โวลต์) C เป็นตัวประจุลดสัญญาณรบกวนใช้ประมาณ Ø.Ø27 ไมโครฟารัด $R_{37}$ ต่อลงกราวน์มีค่า 1 กิโลโอห์ม $R_4$ (1 เมกกะโอมห์)ต่อป้อนกลับเพื่อไม่ให้อัตราขยายสูงเกินไปในที่นี้ใช้ โอห์ม $R_3$ มีไว้จำกัดกระแสไม่ให้เกิน 1 มิลลิแอมป์ ต่อเข้ากับขา 5 ของวงจร TCA 785 ซึ่งได้อธิบายการทำงานแล้วข้างต้น
สัญญาณที่ได้นี้เราเรียกสัญญาณซิงโครไนส์

การออกแบบวงจรสำหรับ TCA 785

(สัณห์ ศิวารัตน์, 2531; Schott, 1980; Schott, 1985)

เมื่อพิจารณาตามข้อมูลที่ได้รับจากผู้ผลิตผ่านโดยผ่านตัวแทนจำหน่าย ข้อมูลที่ได้เป็นการใช้งานขณะวงรอบเปิด ซึ่งสิ่งนี้ทำให้เราต้องตัดอุปกรณ์บางตัวออกและเสริมอุปกรณ์บางตัวเข้าไป แต่ส่วนใหญ่ตามที่ผู้ผลิตแนะนำ ตามรูปที่ 7.7

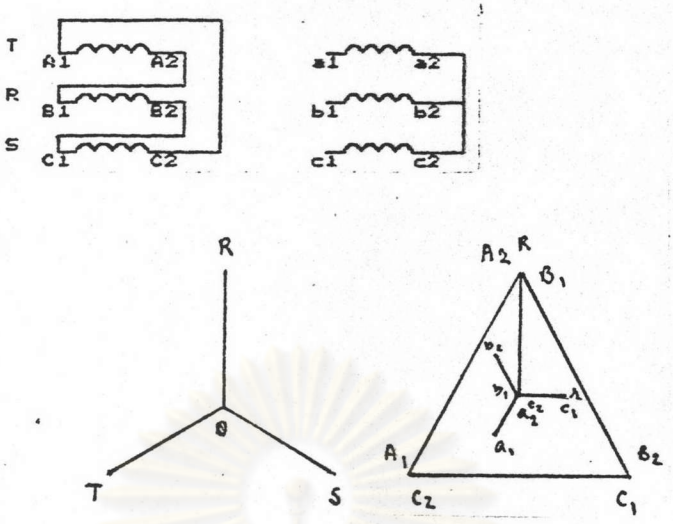



รูปที่ 7.7 วงจรสำหรับ TCA 785

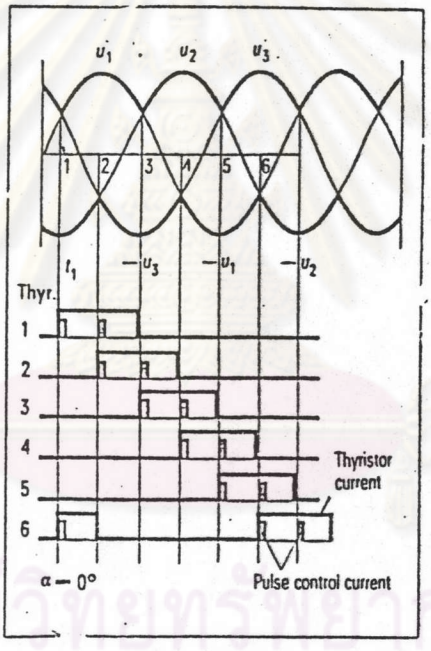
ในการออกแบบเราใช้สัญญาณพัลส์สั้น (short pulse) ขนาดประมาณไม่เกิน 62Ø ไมโครวินาที (ใช้ตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา 12 ของ TCA 785 ประมาณ 1 นาโนฟารัด) ในการจุดชนวนให้วงจรบริดจ์เรียงกระแสคุมเฟสควบคุมเต็มที่ให้วงจรอาร์เมเจอร์ เพราะเราต้องการให้สามารถควบคุมมุมจุดชนวนได้มากที่สุดในที่นี้จะไม่เกิน 165° โดยพิจารณาจากใน 1 คาบมี 2Ø มิลลิวินาที ที่ 165° จะใช้เวลา 9.17 มิลลิวินาที สัญญาณพัลส์ที่ใช้ขนาด Ø.6 มิลลิวินาที นั่นคือ เราต้องการจุดชนวนห่างจาก 18Ø° เท่าที่จะพอเป็นไปได้

แต่ในกรณีวงจรบริดจ์เรียงกระแสเฟสเดียวควบคุมเต็มที่ให้ขดลวดสนามนั้น ถ้าเราใช้สัญญาณพัลส์สั้นจุดชนวนจำเป็นต้องมีไดโอด free wheeling ช่วยด้วย มิฉะนั้นกระแสจะแกว่ง วงจรจะไม่ทำงานตามต้องการขณะเริ่มทำงาน เราจึงควรใช้สัญญาณพัลส์ยาว (long pulse) ในการจุดชนวน นั่นคือ ขา 12 ของ TCA 785 ต่อลง Ø โวลต์

การต่อเรียงลำดับการจุดชนวน



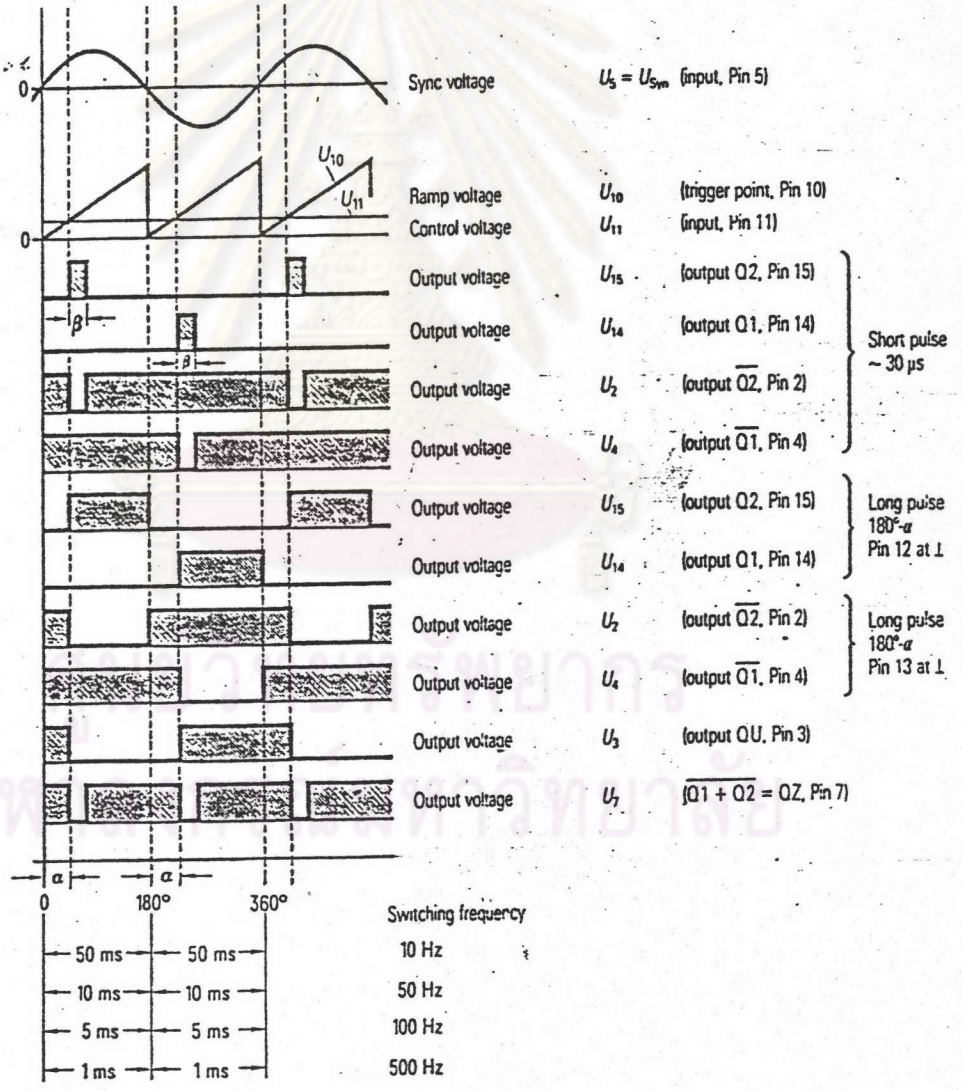

รูปที่ 7.8 แผนภาพมุมเฟสของการต่อหม้อแปลง



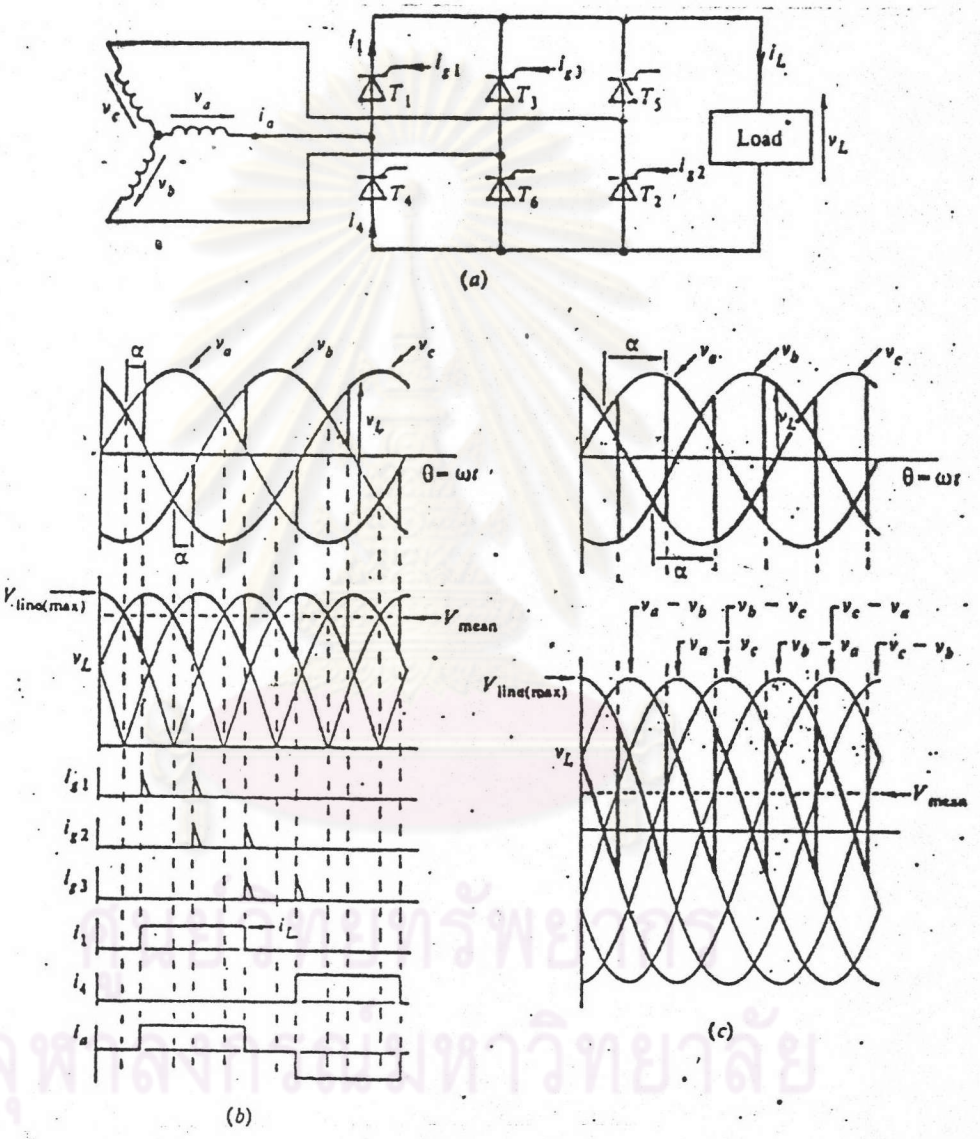

รูปที่ 7.9 รูปคลื่นของสัญญาณพัลส์ในการจุดชนวนเทียบกับแรงดันเฟสขาเข้า

ในการจุดชนวนเมื่อให้วงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสทำงานได้ตามต้องการจะต้องเรียงลำดับให้ถูก พิจารณาได้ดังนี้ จากการต่อหม้อแปลงตามรูปที่ 7.3 พิจารณาใหม่ได้ในรูปที่ 7.8 จะได้ว่า RO มีเฟสนำ ro อยู่ 90° SO มีเฟสนำ so อยู่ 90° และ TO มีเฟสนำ to อยู่ 90° ด้วยเช่นกัน จากรูปที่ 7.10 แสดงการทำงานของ TCA 785 พบว่า สัญญาณพัลส์ที่ขา 15 มาจากครึ่งคาบที่เป็นบวก สัญญาณพัลส์ที่ขา 14 มาจากครึ่งคาบที่เป็นลบ ที่มุมจุดชนวน 0° สัญญาณพัลส์ที่ขา 15 ของ TCA 785 แต่ละตัวจะเป็นสัญญาณพัลส์ที่

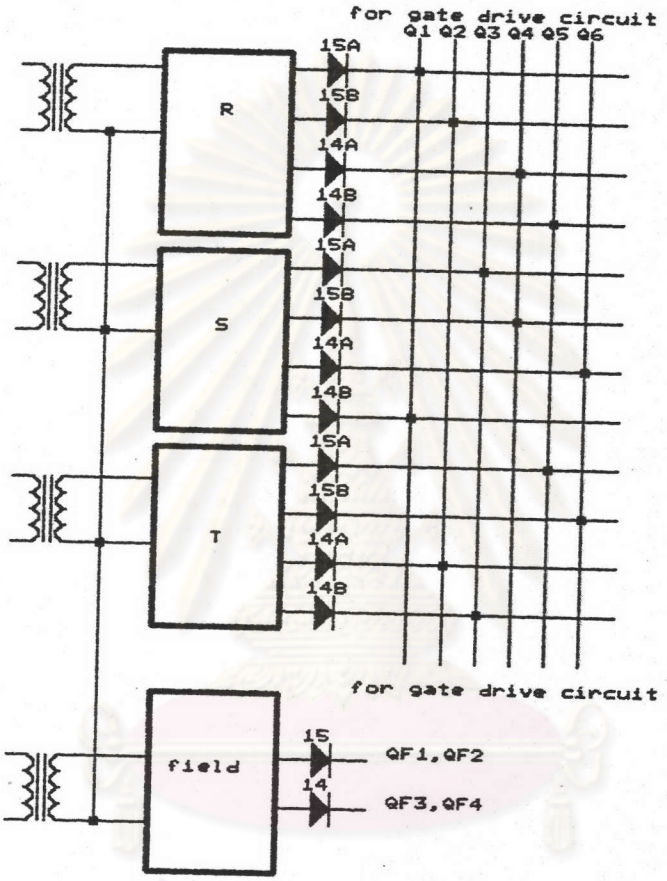
2 ในหนึ่งวัฏจักรที่ใช้จุดชนวนโดยสัญญาณพัลส์ที่ 1 ต้องเอามาจากขา 14 ของ TCA 785 อีกตัวหนึ่งโดยผ่านไดโอด ตามรูปที่ 7.9 เมื่อเป็นเช่นนี้ วงจรจิงทำงานได้แม้ไม่ถูกต้องนักก็ตาม เพื่อให้ได้ผลตามรูปที่ 7.11 นั่นเอง




รูปที่ 7.10 แสดงรูปคลื่นของ TCA 785




รูปที่ 7.11 วงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่และคุณสมบัติ




รูปที่ 7.12

การต่อวงจรสำหรับขาออก(14,15) ของ TCA 785 ทั้ง 3 ตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การออกแบบวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 20 kHz ด้วย IC 555</u>

(National, 1982)

การออกแบบได้ใช้ข้อมูลจากผู้ผลิตซึ่งจะปรากฏในหนังสือข้อมูล (data book) โดยใช้ความถี่ประมาณ 20 kHz จากรูปที่ 7.13 ให้ f เป็นความถี่ที่ต้องการ

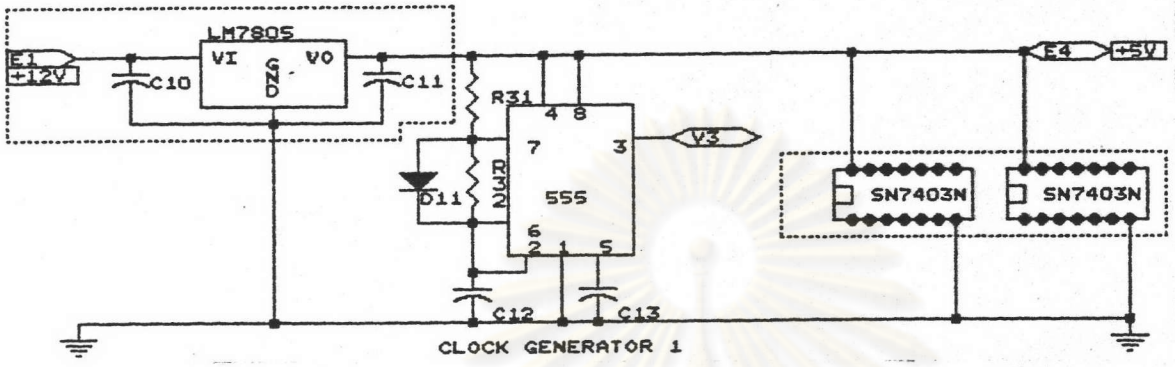
$$f = 1.44/(R_A + 2R_B)C$$

ในที่นี้ $R_A = R_{31} = 4.7k\Omega$

$$R_B = R_{32} = 9.1k\Omega$$

$$C = C_{12} = 3.3nF$$

นั่นคือ $f = 19$ kHz




รูปที่ 7.13 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาด้วย IC 555

ไดโอด $D_1$ ใช้เบอร์ IN 4148 ต่อเพื่อให้มีช่วงการทำงาน (duty cycle) ประมาณ (1/2)คาบ $C_{13}$ ต่อที่ขา 5 ตามผู้ผลิตแนะนำใช้ Ø.Ø1 ไมโครฟารัด

สัญญาณที่ได้จะนำไปเข้า NAND gate เพื่อใช้ในการผสมสัญญาณความถี่สูง (2Ø kHz) ให้กับสัญญาณพัลส์ที่ได้จาก TCA 785 เหตุที่มีการผสมสัญญาณความถี่สูงนี้เข้าไปก็เนื่องจากวงจรนี้ถูกใช้เป็นชุดทดลองมีเอสซีอาร์บางตัวในภาคกำลังของวงจรอาร์เมเจอร์ต้องจุดชนวนอยู่อย่างต่อเนื่อง เพื่อทำให้คุณสมบัติเป็นเสมือนไดโอด เพื่อทดลองเป็นแบบวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมครึ่งเดียว เอสซีอาร์ของภาคกำลังในวงจรสนามใช้สัญญาณพัลส์ยาวในการจุดชนวนการใช้สัญญาณความถี่สูงจะช่วยลดขนาดหม้อแปลงพัลส์ลงได้

<u>การออกแบบวงจรผสมสัญญาณและขับนำเกต</u>

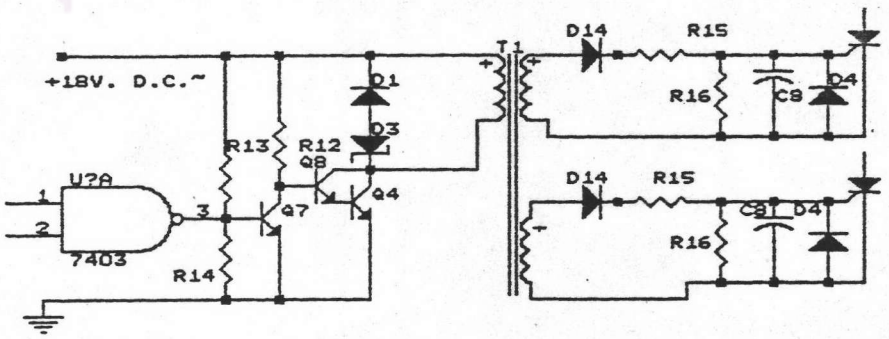
(สัณห์ ศิวารัตน์, 2531; ซีเอ็ดยูเคชั่น, ไม่ระบุปี)

อุปกรณ์ที่ใช้เป็นวงจรผสมสัญญาณนี้ เราใช้วงจรรวม (IC) ชนิด TTL เบอร์ 74Ø3N ซึ่งเป็น NAND gate ที่มี ขาเข้า 2 ขา และเป็นวงจรแบบขาออกเป็นขาคอลเลตเตอร์เปิดอยู่ (open collector) โดยใช้ข้อมูลจากผู้ผลิตในการออกแบบวงจร

จากรูปที่ 7.14 ขาเข้าของ NAND gate ขาหนึ่งจะรับสัญญาณจาก TCA 785 2 ตัวพร้อมกันโดยผ่านไดโอดซึ่งทำหน้าที่คล้าย OR gate อีกขาหนึ่งจะรับสัญญาณนาฬิกา ขาออกของ NAND gate จะต่อวงจรขับเกต โดยมี $R_{13}$ (39kΩ) และ $R_{14}$ (3kΩ) ทำ

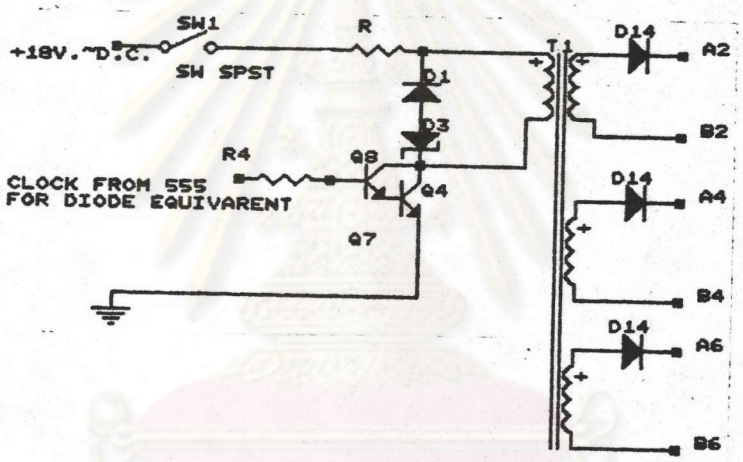
หน้าที่แบ่งแรงดันและจำกัดกระแสให้ทรานซิสเตอร์ $Q_7$ (2N2222) และ $R_{12}$ (35kΩ) จะจำกัดกระแสที่ผ่าน $Q_7$ และที่จะเข้าทรานซิสเตอร์ $Q_8$ (2N2222) ทรานซิสเตอร์ $Q_8$ และ $Q_4$ (D667) ต่อแบบดาร์ลิงตัน เพื่อใช้เป็นกำลังขยายในการขับหม้อแปลง แหล่งจ่ายกำลังให้ NAND gate ใช้ +5V กับ 0V แหล่งจ่ายกำลังให้วงจรขับมาจากแรงดันกระแสตรงที่ผ่านการกรองให้เรียบ มีแรงดันประมาณ 18 โวลต์ ซึ่งแหล่งจ่ายนี้ไม่จำเป็นต้องคงค่าแรงดันโดยใช้วงจรรวมคงค่า (regulator) เนื่องจาก การขับนำผ่านหม้อแปลงต้องใช้กระแสจำนวนมาก และขับนำด้วยความถี่สูงอาจไปรบกวนวงจรส่วนอื่นได้ ไดโอด $D_1$ (1N4007) และ $D_3$ (ซีเนอร์ไดโอด 18 โวลต์ 1 วัตต์) ใช้เพื่อ เมื่อ $Q_4$ นำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านหม้อแปลง $T_1$ พอหยุดนำกระแสส่วนนี้จะไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดและไดโอดเพื่อให้เกิดการสมดุลย์ของแรงดัน-เวลา (volt-sec balance) ซีเนอร์ไดโอดเลือกใช้ไม่น้อยกว่าแรงดันที่จ่ายให้หม้อแปลง หม้อแปลง $T_1$ ใช้แกนเฟอร์ไลต์เบอร์ 28 ลวดที่ใช้พันด้านปฐมภูมิเบอร์ 29 จำนวน 100 รอบ และ ด้านทุติยภูมิใช้ลวดเบอร์ 29 จำนวน 2 ชด ๆ ละ 50 รอบ (จำนวนรอบที่ใช้โดยประมาณ) $D_{14}$ (MR812) ใช้สำหรับป้องกันไม่ให้กระแสไหลย้อนกลับจากเอสซีอาร์มายังหม้อแปลง $R_{15}$ (68Ω) ช่วยในการจำกัดกระแสเข้าเอสซีอาร์ $R_{16}$ (47Ω) และ $C_8$ (0.1μF) สำหรับหน่วงไม่ให้เอสซีอาร์นำกระแสเมื่อมีสัญญาณรบกวน ไดโอด $D_4$ (MR812) ช่วยป้องกันไม่ให้แรงดันคาโธดและเกตสูงกว่า 0.6 โวลต์ เพื่อป้องกันเอสซีอาร์ การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงนี้ขอให้พิจารณาจากเอกสารทั่วไปได้ (ชูเกียรติ วัฒนากูล, 2532)

โดยให้เพิ่มฉนวนกันแต่ละชดของหม้อแปลงให้ทนแรงดันให้เกิน 1,000 โวลต์ และทนความร้อนด้วย เพราะ การใช้งานถ้ามีการลัดวงจรระหว่างชด ความเสียหายของวงจรจะมีมาก ดังนั้น ควรป้องกันไว้ก่อน




รูปที่ 7.14 วงจรผสมสัญญาณ และขับนำเกตของ SCR

ในกรณีการขับนำเกตเพื่อให้เอสซีอาร์มีสภาพนำกระแสเสมือนเป็นไดโอดจากรูปที่ 7.15 จะใช้ $R_4$ ขนาด 10kΩ ต่อกับสัญญาณนาฬิกาที่ได้จากวงจร 555 ไปขับนำเกตของเอสซีอาร์สามตัว ในที่นี้เราเลือกใช้ SCR ในชีกบวกก็ได้ลบก็ได้ โดยทั่วไป หากเป็นการต่อไดโอดมักจะใช้ในชีกลบ แต่การจุดชนวนเอสซีอาร์ เพื่อให้ทำหน้าที่เสมือนไดโอดการใช้งานในชีกบวกจะปลอดภัยกว่า เพราะแรงดันในขาเกตแต่ละตัวใกล้เคียงกัน เทียบกับแรงดันขาออกที่เป็นบวกโอกาสลัดวงจรที่หม้อแปลงพัลส์จิงไม่ค่อยอันตรายนัก หม้อแปลงพัลส์ที่ใช้นี้ใช้แกน EI เฟอร์ไรท์เบอร์ 33 ใช้ลวดเบอร์ 29 พันด้านปฐมภูมิ 100 รอบ พันด้านทุติยภูมิ 50 รอบ จำนวน 3 ขด



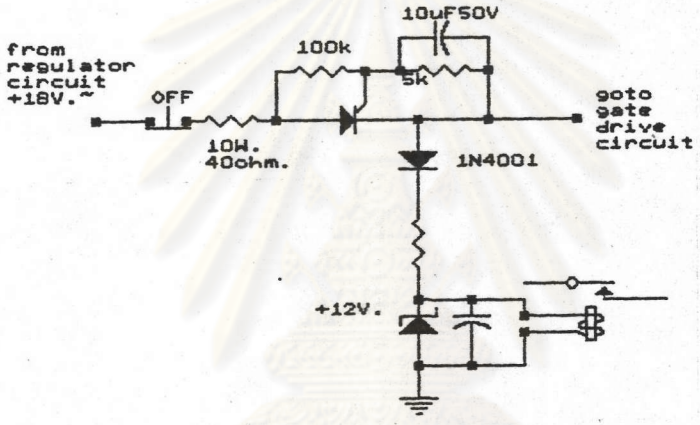

รูปที่ 7.15 วงจรขับนำเกตอย่างต่อเนื่อง

ในการต่อวงจรจุดชนวนเอสซีอาร์ให้ทำงานเสมือนไดโอด ให้ต่อสายขนานกับวงจรจุดชนวนเดิมที่ขาคาโธดของ $D_{14}$ กับคาโธดของเอสซีอาร์ เป็นคู่ ๆ ข้อควรระวังที่สำคัญอย่าต่อผิดชุดหรือผิดขั้ว

การควบคุมวงจรจุดชนวนเอสซีอาร์ให้ทำงานเสมือนไดโอดทำได้โดยตัดต่อสวิตช์ $SW_1$ ถ้าสวิตช์ต่อจะขับนำเอสซีอาร์ให้ทำงานเสมือนไดโอด หากสวิตช์ตัดเอสซีอาร์ก็จะไม่ทำงานเสมือนไดโอด

ตามที่ได้กล่าวถึงว่าการ OFF ภาคกำลังจะต้องให้กระแสที่ไหลในเอสซีอาร์หยุดก่อน การออกแบบจิงใช้สวิตช์กดดับปล่อยติดสำหรับ OFF ภาคกำลังจิงอยู่บนวงจรนี้ จากรูปที่ 7.16 ขณะที่เริ่ม ON ภาคควบคุมจะมีกระแสไหลผ่านวงจรได้น้อยจนกว่าเอสซีอาร์ $Q_{10}$ (3 แอมป์ 100 โวลต์ ติดแผ่นระบายความร้อน) จะนำกระแสซึ่งต้องมีเวลาคงตัวค่าหนึ่ง มีค่า

เวลาคงที่ (time constant) ประมาณ $R_1$ 1ØØ กิโลโอห์ม คูณกับ $C_1$ 1Ø ไมโครฟารัด ประมาณ 1 วินาที $R_2$ (5kΩ) และ $R_1$ เป็นการต่อความต้านทานเพื่อแบ่งแรงดันที่จุดอยู่ตัว (stady state) จะมีแรงดันประมาณ Ø.9 โวลต์ ซึ่งพอจะทริกเอสซีอาร์ $Q_{1o}$ ได้ พอเอสซีอาร์ $Q_{1o}$ นำกระแส วงจรจุดชนวนเอสซีอาร์ก็จะทำงาน ไดโอด $D_1$ (1N4ØØ7) จะนำกระแสผ่าน $R_3$ (2ØØΩ) สำหรับจำกัดกระแสผ่าน $D_2$ (ซีเนอร์ไดโอด 12 โวลต์) สำหรับคงค่าแรงดันให้รีเลย์ $B_1$ โดยมีค่าคงตัวเวลาเท่ากับ $R_3$ (2ØØΩ) คู่ในกับ $C_2$ 1ØØ ไมโครฟารัด 5Ø โวลต์ ประมาณ 2 วินาที จะทำให้รีเลย์ $B_1$ ต่อวงจร ทำให้สามารถ ON ภาคกำลังได้ โดยการกดสวิตช์ ON ที่ภาคกำลัง




รูปที่ 7.16 วงจรช่วยสำหรับ off ภาคกำลัง

ในตอนที่จะ OFF วงจรภาคกำลังเรากดสวิตช์ OFF ที่วงจรจุดชนวนเพื่อให้ SCR ไม่สามารถนำกระแสใน 1 วินาทีได้ นั่นคือ จะไม่มีการจุดชนวนในช่วง 1 วินาทีนี้ $B_1$ จะยังไม่ตัดจนกว่าแรงดันคร่อมรีเลย์จะต่ำกว่าค่า ๆ หนึ่ง วงจรจึงตัดส่งผลไป OFF ภาคกำลังก่อนที่เอสซีอาร์ $Q_{1o}$ จะนำกระแสอีกครั้ง รีเลย $B_1$ จึงต่อวงจรอีก แต่ภาคกำลังไม่ทำงานจนกว่าจะ ON ภาคกำลังนั่นเอง (วงจรนี้อยู่ในขณะออกแบบ)

<u>การออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์วงจรวัดและวงจรช่วยอื่น ๆ</u>

การวัดความเร็วรอบเราใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ (tachogenerator) ที่ติดกับตัวมอเตอร์ ซึ่งวัดได้ 1Ø,ØØØ รอบ/นาที โดยมีคุณสมบัติกำเนิดแรงดันกระแสตรงตามความเร็วรอบเท่ากับ Ø.Ø6 โวลต์/(รอบ/นาที) กระแสสูงสุด Ø.18 แอมป์ ในการนำสัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดรอบมายังวงจรควบคุมเราใช้สายโคแอกเชียว 2 แกน ต่อ

เปลือกนอกกับระบบที่แรงดัน Ø โวลต์ เพื่อลดสัญญาณรบกวน สัญญาณรบกวนนี้ ส่วนหนึ่งมาจากนอกระบบเช่นการเปิด-ปิดหลอดไฟเป็นต้น ส่วนหนึ่งมาจากเครื่องวัดรอบเอง ตามปกติแล้ว จำเป็นต้องมีวงจรกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการนี้ออกไป ซึ่งจะมีผลต่อระบบควบคุม ทำให้การควบคุมทำได้ช้าลง สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดรอบที่พิกัดความเร็วของมอเตอร์ประมาณ 1,46Ø x Ø.Ø6 = 87.6 โวลต์ นำมาต่อกับตัวต้านทานจำนวน 2 ตัว เพื่อแบ่งแรงดัน โดย $R_1$ = 75kΩ และ $R_2$ = 5.1kΩ นั่นคือ แรงดันที่ออกจากการแบ่งนี้ประมาณ 5.57 โวลต์ ที่เราเลือกเช่นนี้เพราะเราเผื่อภาวะการควบคุมที่ความเร็วรอบเกินพิกัดด้วย

การวัดแรงบิด เราใช้เครื่องวัดแรงบิด (torque-transducer) ซึ่งนำมาต่อระหว่างมอเตอร์กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คุณสมบัติของเครื่องวัดแรงบิดมีพิกัด 1ØØ กิโลกรัมเมตร แสดงผลเป็นตัวเลข เครื่องมือวัดแรงบิดนี้ ขณะนี้ยังไม่สามารถแสดงค่าที่เชื่อถือได้ ซึ่งน่าจะเป็นผลเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนเช่นกัน

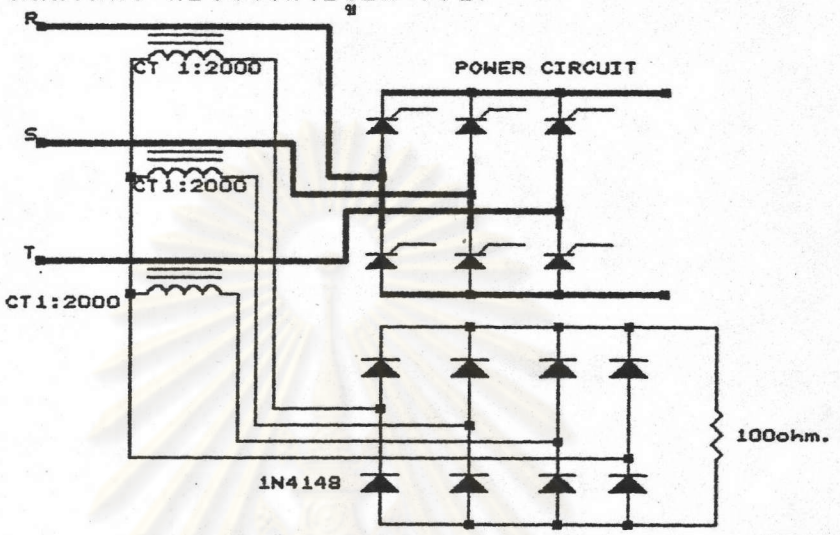
ภาระทางกลของมอเตอร์ได้เคยมีการต่อร่วมกับมอเตอร์โดยใช้สายพาน พบว่าที่โหลดมากขึ้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะหมุนช้ากว่ามอเตอร์มากขึ้นทำให้มีขอสังเกตุว่าในการใช้งานจริง แม้จะคุมค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ก็ไม่ได้หมายความว่าจะคุมค่าความเร็วรอบของภาระทางกลได้ ซึ่งจะมีผลต่อระบบควบคุมเช่นกัน

การต่อมอเตอร์เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะนี้ เราใช้คัปปลิง (coupling) ต่อตรง การติดตั้งทำได้ลำบากขึ้น เพราะ จะต้องจับระดับต่าง ๆ ให้ดี มิฉะนั้นจะทำให้มอเตอร์สั่นเป็นอันตรายทางกลได้

การวัดกระแสที่ไหลผ่านอาร์เมเจอร์ ในที่นี้เราใช้วงจรสำเร็จรูปที่ใช้ปรากฏการของฮอลล์ (Hall's effect) อุปกรณ์ชุดนี้ไม่มีขายโดยทั่วไป ที่เราจำเป็นต้องใช้เพราะ เราต้องการออกแบบระบบซึ่งนำผลจากการคำนวณมาใช้ การใช้อุปกรณ์ชุดนี้อาจไม่จำเป็นต้องต่อวงจรกรองด้วยก็ได้ (แต่ควรมีวงจรกรองที่วงจรคุมค่าด้วยก็ดี) คุณสมบัติของอุปกรณ์ชุดนี้จะต้องต่อแหล่งจ่ายกำลังจากภายนอกขนาด -15, Ø, 15 โวลต์ วัดได้ถึงพิกัด 1ØØ แอมป์ ด้วยอัตราส่วนกระแสขาออกต่อขาเข้า 1:1,ØØØ เอาสายต่อผ่านช่องการวัดมีตัวต้านทานจากขาออกลง Ø โวลต์ กระแสที่ต้องการวัดที่พิกัด 24 แอมป์ เราเลือกตัวต้านทาน ($R_3$ 2ØØΩ) มาต่อเพื่อแปลงค่ากระแสเป็นแรงดัน นั่นคือ ที่พิกัดจะมีแรงดันประมาณ $24 \times 1Ø^{-3} \times 2ØØ \simeq 4.8$ โวลต์

โดยทั่วไป เรามักใช้หม้อแปลงกระแสในการวัดกระแสผ่านอาร์เมเจอร์ที่ขาเข้าของวงจรเรียงกระแส การออกแบบเหมือนหม้อแปลงแรงดันทั่วไป ( Lowdon,1981 )

แต่ข้อมูลจากผู้ผลิตวัสดุที่นำมาทำมักจะไม่มีให้ ในที่นี้เราออกแบบใช้ขดลวดด้านปฐมภูมิ 1 รอบ เป็นแถบทองแดงขนาด 1Ø x 1 มิลลิเมตร มีวานิชเคลือบพร้อมฉนวนหุ้ม ขดลวดด้านทุติยภูมิใช้ลวดเบอร์ 32 จำนวน 2,ØØØ รอบ ขึ้นไป พันโดยมีฉนวนหุ้มระหว่างขดปฐมภูมิกับทุติยภูมิ การพันขดลวดด้านทุติยภูมิควรพันให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ แกนที่ใช้เป็นแกนเหล็ก EI ขนาด 6Ø มิลลิเมตร ต่อวงจรด้วยรูปที่ 7.17




รูปที่ 7.17 การต่อหม้อแปลงกระแสเพื่อวัดกระแสขาเข้าวงจรเรียงกระแส

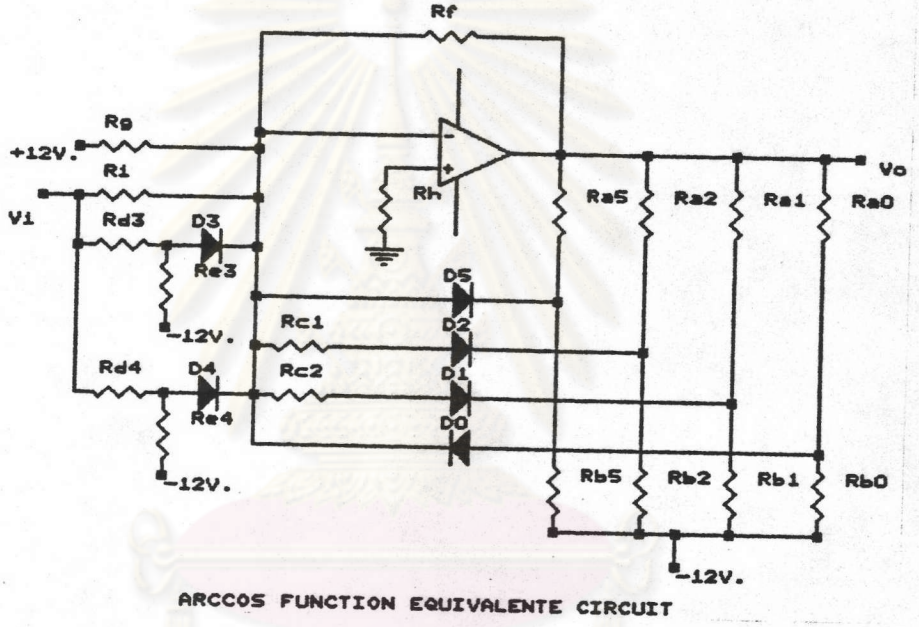
ตัวต้านทานที่ใช้ให้ประมาณ 1ØØ โอห์ม การต่อตัวต้านทานนี้ เราพิจารณาจากการวัด ถ้าสัญญาณที่ได้รับเมื่อกระแสที่ขาออกของวงจรรับกระแสบริดจ์สามเฟสควบคุมเต็มที่และแรงดันที่ทุติยภูมิ หากทดสอบที่กระแสเกินพิกัด 2 เท่าแล้ว รูปคลื่นใกล้เคียงกัน(ไม่รวมผลจากกระแสเนื่องจากวงจรสนับเปอร์) แสดงว่า ใช้งานได้ถ้าไม่ใกล้เคียงกันต้องลดขนาดของตัวต้านทานลงจนใกล้เคียงกัน การลดขนาดความต้านทานลงนั่นหมายถึง แรงดันที่ออกมาวัดจะลดลง หากแรงดันลดลงมากต้องพิจารณาว่าสมควรใช้กับวงจรคุมค่าหรือไม่ ถ้าไม่ก็ต้องใช้วงจรขยายหรือทำหม้อแปลงกระแสใหม่ให้ใหญ่ขึ้นเพิ่มจำนวนรอบทางด้านทุติยภูมิมากขึ้น การวัดด้วยหม้อแปลงกระแสนี้ เราไม่สามารถวัดกระแส ขาออกจากวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟส ควบคุมครึ่งเดียวจริง ๆ ได้ เพราะบางขณะกระแสขาออกไม่ได้มาจากกระแสขาเข้า แต่การควบคุมไม่มีปัญหาเพราะเราสามารถชดเชยผลนี้ได้

<u>การออกแบบวงจรจุดชนวนเทียบเท่าวงจรจุดชนวนโดยใช้ฟังก์ชันโคไซน์อ้างอิง</u>

ตามที่ได้เคยกล่าวแล้วในบทที่ 6 การใช้วงจร TCA 785 เพียงอย่างเดียวระบบก็ทำงานได้ แต่ค่า $K_c$ หรือ $\Delta V_{d\alpha}/\Delta V_c$ ไม่เป็นสมการเส้นตรง แต่เป็นสมการโคไซน์ ผลกระทบอันนี้เองทำให้การออกแบบวงจรคุมค่าจะตอบสนองการคุมค่าในแต่ละจุด มี

เวลาตอบสนองอยู่ในช่วงที่แตกต่างกันมาก บางช่วงอาจขาดเสถียรภาพ บางช่วงอาจตอบสนองช้าแต่มีเสถียรภาพ นั่นคือ การออกแบบวงจรคุมค่าเพื่อควบคุมทำให้ดีได้ยาก เราจึงหาวงจรที่ให้ฟังก์ชันอาร์คโคไซน์ (arccos) มาชดเชยผลนี้เพื่อให้เป็นวงจรจุดชนวนที่เทียบเท่าวงจรจุดชนวนโดยใช้ฟังก์ชันโคไซน์อ้างอิง

การออกแบบมีดังนี้ กำหนดให้ $V_c$ อยู่ในช่วง -7 ถึง 7 โวลต์ ผ่านวงจรฟังก์ชันสัญญาณ arccos แล้ว อยู่ในช่วง Ø ถึง 7 โวลต์ เข้าขา 5 ของ TCA 785 ซึ่งได้แรงดันที่ขา 1Ø อยู่ในช่วง Ø ถึง 7 โวลต์ รอการเปรียบเทียบอยู่




รูปที่ 7.18 วงจรฟังก์ชันอาร์คโคไซน์ (arccos) โดยใช้ออปแอมป์ตัวเดียว

$$V_{d\alpha} = V_{do}\cos\alpha$$

$$\alpha = V_{11}.(\Pi/V_{11})$$

เมื่อ $$V_{d\alpha} = (V_{do}/V_c).v_c$$

$$V_{d\alpha} = V_{do}\cos\alpha = (V_{do}/V_c).v_c$$

$$\cos\alpha = v_c/V_c$$

$$\alpha = V_{11}(\Pi/V_{11}) = \cos^{-1}(v_c/V_c)$$

$$V_{11} = (V_{11}/\Pi)\cos^{-1}(v_c/V_c)$$

โดยที่ $V_{11}$ เป็นแรงดันเข้าขา 11 ของ TCA 785

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$V_{11}$ เป็นแรงดันสูงสุดที่ใช้เปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงรูปฟันเลื่อยจากขา 10 ของ TCA 785 นั่นคือ แรงดันยอดของสัญญาณอ้างอิงรูปฟันเลื่อยนั่นเอง ในที่นี้เลือก 7 โวลต์

$v_c$ เป็นแรงดันที่ใช้ควบคุม

$V_c$ เป็นแรงดันยอดที่ใช้ควบคุม

ในการออกแบบได้ศึกษาทางเลือกใช้ 2 วิธี คือ

1. วงจรที่ใช้ออป-แอมป์เพียงตัวเดียว
2. วงจรที่ใช้ EPROM

วงจรที่ใช้ออปแอมป์ตัวเดียวแสดงในรูปที่ 7.18 วิธีการออกแบบดูจากหนังสือวงจรเชิงเส้นทั่วไป(โคทม อารียา,2528)

<u>การออกแบบโดยใช้ EPROM</u>

(โคทม อารียา, 2526; ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2529; Dubby, 1989; Jacob, 1980; National, 1982 )

ในการออกแบบนี้เราต้องการสร้างวงจรหนึ่งซึ่งรับสัญญาณโคไซน์ที่มีแรงดันยอดคลื่น (peak voltage) 7 โวลต์ มีแรงดันออฟเซทที่ศูนย์โวลต์ ใช้ออกมาเป็นสัญญาณฟันเลื่อยที่มีขนาดระหว่าง Ø ถึง 7 โวลต์ โดยมีความสัมพันธ์คือ

$$v_o = (7/\Pi)\cos^{-1}(v_c/7)$$

โดยที่ $v_o$ คือแรงดันด้านออกของวงจร

$v_c$ คือแรงดันขาเข้าของวงจร

จากรูป $A_1$ และ $A_2$ ทำหน้าที่เป็นวงจรที่แปลงสัญญาณขาเข้าจาก -7 ถึง +7 โวลต์ ใช้เป็นสัญญาณ Ø ถึง 5 โวลต์ เพื่อเข้าวงจรแปลงสัญญาณแอนนาล็อคไปสู่สัญญาณดิจิตอล (A/D converter) สัญญาณดิจิตอลที่ได้จะเป็นการอ้างแอดเดรส (address) ใน EPROM เพื่อเข้าข้อมูลที่อยู่ภายในออกมา ข้อมูลที่ออกมานี้จะเข้ากับวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลไปสู่สัญญาณแอนนาล็อค (D/A converter) โดยมี $A_3$ ช่วยด้วย สัญญาณที่ได้จาก $A_3$ จะเป็นแรงดันขาออกที่ต้องการ ส่วนสัญญาณที่ออกจาก $A_4$ จะช่วยในการควบคุมแบบวงจรเรียงกระแสคู่ควบ (dual converter) ถ้าต่อร่วมเข้ามาในภายหลัง

จากการคำนวณจะได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

สำหรับ $A_1$

$V_1$ = +12 โวลต์, $V_{in}$ จาก -7 ถึง 7 โวลต์, $R_1$ = 92.4kΩ, $R_{os}$ = 158.4kΩ
$R_f$ = 33kΩ, $R_{comp}$ = 20kΩ, R = 2.2kΩ, R/2 ประมาณ 1.2kΩ

$$V_{o1} = (-R_f/R_1)V_{in} - (R_f/R_{os})V$$

แทนค่า

$$V_{o1} = (-33 \times 10^3/92.4 \times 10^3)V_{in} - (33 \times 10^3/158.4 \times 10^3)(12)$$
$$= - 0.357\ V_{in} - 2.5 \quad \text{โวลต์}$$

สำหรับ $A_2$ เป็นวงจรขยายกลับเฟสมีอัตราขยายเท่ากับ -1

จะได้ $V_o = 0.357\ V_{in} + 2.5$ โวลต์

แทนค่า $V_{in}$ = 0 โวลต์ จะได้ $V_o$ = 2.5 โวลต์

$V_{in}$ = -7 โวลต์ จะได้ $V_o$ = 0 โวลต์

$V_{in}$ = +7 โวลต์ จะได้ $V_o \simeq$ 5 โวลต์

เหตุที่ต้องการแรงดันขาออกประมาณ 0 ถึง 5 โวลต์ เนื่องจากแรงดันที่เข้าวงจรแปลงสัญญาณจากแอนนาล็อคไปดิจิตอลต้องอยู่ช่วงนี้

ในกรณีที่ $V_o$ มีค่ามากกว่า 5 โวลต์ อาจทำให้ A/D converter เสียหาย เราจึงมีการจำกัดกระแสใช้ $R_1$ ประมาณ 10kΩ

จากคู่มือของผู้ผลิต (National, 1982) วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนนาล็อคเป็นดิจิตอลที่ใช้นี้ใช้วงจรรวมสำเร็จรูปเบอร์ ADC0804 ต่อแบบใช้สัญญาณนาฬิกาในตัวเองและใช้งานอิสระ (self clocking inv free running mode) ความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ใช้

$$f_{clk} = 0.91/(51k\Omega)(30pF) = 357kHz$$

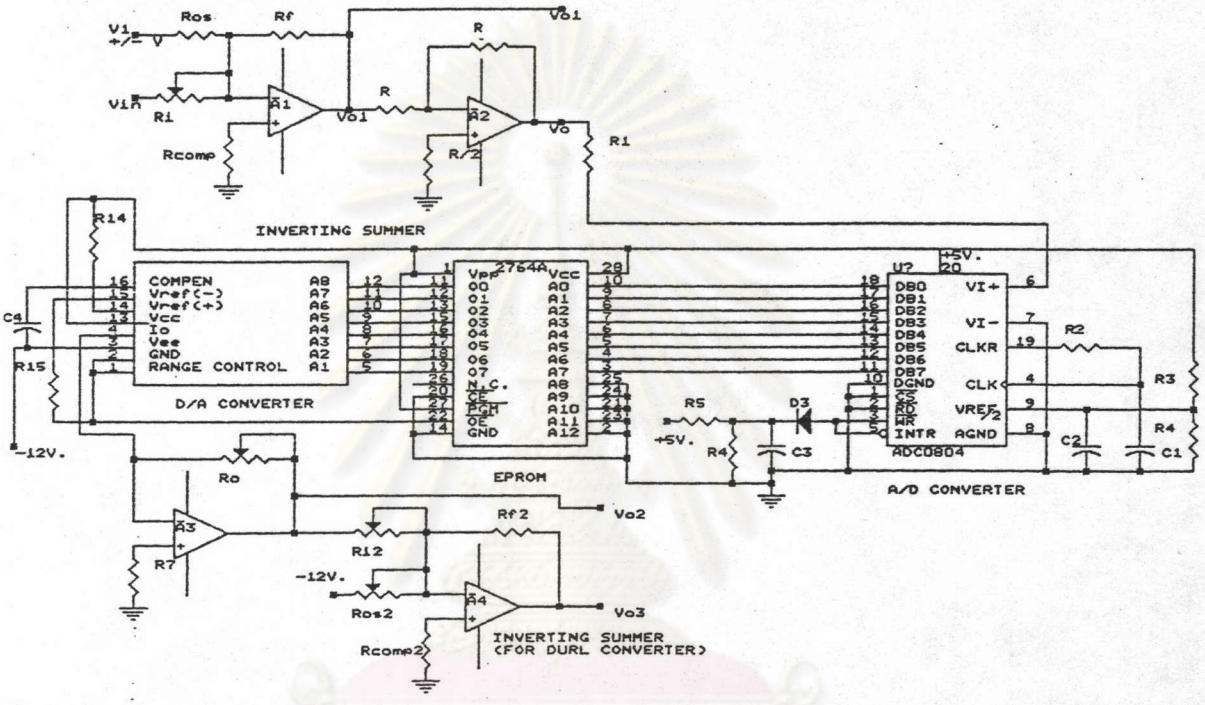
โดยเลือกใช้ $R_2$ = 51kΩ และ $C_1$ = 30pF

$R_3$ และ $R_4$ ต่อแบบแบ่งครึ่งแรงดันเพื่อเข้า $V_{REF}/2$ หรือขา 9 เลือกใช้ $R_3 = R_4$ = 10kΩ โดยมี $C_2$ (100nF) ช่วยลดผลของสัญญาณรบกวน

วงจรจะเริ่มทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีการใช้บิทเริ่ม (start bit) เพื่อให้ A/D เริ่มทำงาน บิทเริ่มนี้มาจากการต่อขา INTR และ $\overline{WR}$ ลง 0 โวลต์ แล้วปล่อยลอย

วงจรที่ใช้งานนี้เราใช้วิธีต่อขา INTR กับ $\overline{WR}$ ผ่านไดโอด $D_3$ (1N4148) เข้า $C_3$ (2.2μF), $R_5$ (1kΩ), $R_4$ (1kΩ) ขณะ ON เครื่อง ขา INTR และ $\overline{WR}$ จะต่อผ่านไดโอดลง 0 โวลต์ พอกระแสเข้าต้องส่งประจุเรื่อย ๆ จนกระทั่งแรงดันที่ตัวเข้าประจุสูงกว่า ไดโอด $D_3$ จะปิดกั้นไม่ยอมให้กระแสไหลย้อนกลับ นั่นคือ เสมือนปล่อยลอยนั่นเอง สังเกตด้วยว่า ในการออกแบบวงจรภาคกำลังจะ ON ก่อนวงจรภาคควบคุมอยู่

ตัวแล้วไม่ได้ มิฉะนั้น การทำงานจะผิดพลาด




รูปที่ 7.19 วงจรฟังก์ชัน arccos ที่ใช้ EPROM

นำสัญญาณดิจิตอลที่ออกจาก A/D เข้าแอดเดสของ EPROM ขอให้ถูกตำแหน่งและเงื่อนไขที่วางไว้ EPROM ที่ใช้ต่อตามข้อมูลของผู้ผลิต (ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2521) EPROM ที่ใช้เบอร์ 2764A ต่อวงจรดังรูปที่ 7.19 ข้อมูลใน EPROM ได้จากการเขียนโปรแกรมภาษา BASIC แล้วประมวลผลเป็นข้อมูลเก็บไว้ใน EPROM ตัวอย่างโปรแกรมมีดังนี้

```
10 DEF SEG = &H3000
20 ADRESS = 0
30 FOR X = 0 TO 255
```

```
40 Q = 2*X/255 - 1
50 R = -ATN(Q/SQR(-Q*Q+1))+1.57679633#
55 Y = R*255/3.141592654#
60 PRINT ADDRESS,Y
70 POKE ADDRESS,Y
80 ADDRESS = ADDRESS+1
90 NEXT X
100 END
```

จาก EPROM เราต่อสัญญาณเข้ากับวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลไปสู่สัญญาณแอนนาล็อค โดยใช้วงจรรวมสำเร็จรูปเบอร์ MC1408 ต่อตามคู่มือผู้ผลิต (Motorola, 1989) ได้วงจรตามรูปที่ 7.19 จะได้สูตรคำนวณว่า

$$V_o = (V_{ref}/R_{14})(R_o)[(A_1/2)+(A_2/4)+(A_3/8)+(A_4/16)+...+(A_8/256)]$$

จากการคำนวณและเลือกอุปกรณ์จะได้

$V_{ref}$ = 5 โวลต์

$R_{14}$ = 1kΩ

$R_o$ = 1.4kΩ (ใช้เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้2.2kΩ)

ให้ $V_o$ สูงสุด = 7 โวลต์

$R_7$ = 2kΩ, $R_{15}$=1kΩ, $c_4$=15μF

ออปแอมป์ $A_4$ สำรองไว้ใช้ในวงจรแปลงผันแบบคู่ (dual converter) การต่อวงจรคล้ายวงจร $A_1$ เลือกค่าได้ดังนี้

$$V_{o3} = (-R_{f2}/R_{12})V_{o2} - (R_{f2}/R_{os2})V_2$$

เลือก $R_{f2}$ = 100kΩ

ถ้า $V_{in}$ = 0 โวลต์ เลือก $V_2$ = -12 โวลต์

$V_{on}$ = 7 โวลต์

จะได้

$$V_{o3} = (-R_{f2}/R_{os2})V_2 \text{ โดยที่ } V_{o2} = 0$$

$$R_{os2} = -(R_f/V_{o2})V_2$$

$$= -(100k/7)(-12)$$

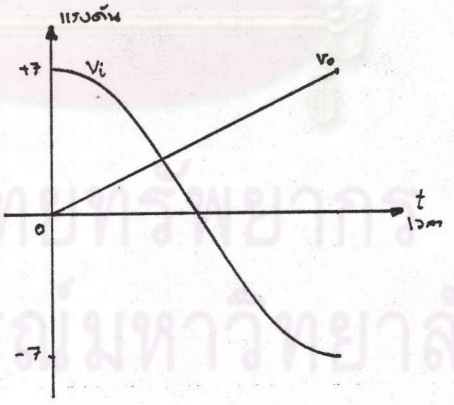
$$= 171.4k\Omega$$

ที่ $V_{o2}$ = 7 โวลต์, $V_{o3}$ = Ø โวลต์

จะหา $R_{i2}$ ได้เท่ากับ 1ØØkΩ เลือกใช้$R_{i2}$ ,$R_{os2}$ให้มีตัวต้านทานปรับค่าได้รวมอยู่ด้วย

$R_{comp2}$=51kΩ

การปรับแต่งวงจรเริ่มจากป้อน $V_{in}$ เป็นสัญญาณรูปฟันเลื่อยมีแรงดันยอดคลื่น -7 ถึง +7 โวลต์ ความถี่ 3ØØ Hz วัดสัญญาณ $V_o$ ปรับ $R_i$ ให้ $V_o$ ได้เป็นสัญญาณฟันเลื่อยที่มีแรงดันยอดคลื่น Ø ถึง 5 โวลต์ เฟสตรงกันโดยไม่เพี้ยน วัดแรงดันที่ออกจาก DBØ ถึง DB7 ได้สัญญาณนาฬิกาที่ขาที่มีนัยสำคัญมากสุดไปน้อยสุด โดยอนุโลมให้สัญญาณนาฬิกาที่ขาที่มีนัยสำคัญต่ำ ๆ มีความผิดพลาดได้บ้าง (คือได้สัญญาณนาฬิกาที่เวลาไม่คงที่นัก) นั่นแสดงว่า วงจรจากวงจร $A_1$ จนถึง A/D ใช้งานได้ ต่อมาเปลี่ยนเป็นสัญญาณรูปไซน์ที่มีแรงดันยอดคลื่น -7 ถึง +7 โวลต์ ความถี่ 3ØØ Hz เข้าวงจรแทน วัดแรงดันขาออกของ EPROM ทุกขาจาก ØD ถึง 7D สัญญาณที่ใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาโดยอนุโลมให้สัญญาณจากขาที่มีนัยสำคัญต่ำผิดพลาดบ้าง ความผิดพลาดนี้มาจากการสุ่มตัวอย่างนั่นเอง วัด $V_{o2}$ ปรับ $R_o$ เป็นสัญญาณฟันเลื่อยมียอดคลื่นระหว่าง Ø ถึง 7 โวลต์ มีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณไซน์ที่ป้อนให้




รูปที่ 7.2Ø สัญญาณเข้าและออกจากวงจรอาร์คโคไซน์(arccos)

วัด $V_{o2}$, $V_{o3}$ ปรับ $R_{os2}$ และ $R_{i2}$ ให้ได้สัญญาณฟันเลื่อยมียอดคลื่นระหว่าง Ø ถึง 7 โวลต์ มีเฟสตรงข้ามกับสัญญาณ $V_{o2}$ นั่นคือ แสดงว่า วงจรนี้พร้อมที่จะนำไปต่อเข้ากับวงจรคุมค่าได้ โดยการนำ $V_{o2}$ ไปใช้งาน

ข้อบกพร่องของวงจรนี้คือ ไม่ได้ออกแบบเพื่อไม่ให้มีการตัดสัญญาณฟันเลื่อยของ TCA 785 ทำให้เกิดความผิดพลาดที่มุมจุดชนวนใกล้ 180° ผลก็คือ วงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมครึ่งเดียวมอเตอร์อาจหมุนได้เองอย่างช้า ๆ ได้

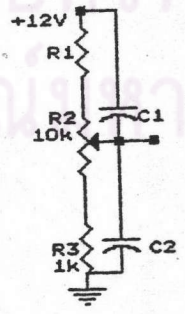
วงจร arccos ที่สร้างนี้ ใช้ชดเชยวงจรจุดชนวนที่ใช้ฟังก์ชันอ้างอิงรูปฟันเลื่อย (TCA 785) ให้ทำงานเหมือนวงจรจุดชนวนที่ใช้ฟังก์ชันโคไซน์อ้างอิง ซึ่งแม้จะไม่มีวงจรนี้มาช่วยระบบก็สามารถทำงานได้ แต่ขาดคุณสมบัติเชิงเส้นในการตอบสนองต่อภาระทางกลหรือการตั้งค่า จะไม่คงที่ตลอดย่านการใช้งาน ตามที่อธิบายไว้ในบทที่ 6 ผลที่ได้นี้ไม่เหมาะที่จะนำระบบมาใช้ศึกษาในห้องปฏิบัติการ แต่เหมาะที่จะใช้งานทั่วไป การใช้วงจร arccos ช่วยนี้จะทำให้ค่าต่าง ๆ ที่คำนวณจากคำแนะนำในหนังสือควบคุม (โคทม อารียา, 2531; Rajashekaru, 1988; นนทวัฒน์, 2528; Sen, 1981) มีความสอดคล้องกับการทดลองมากขึ้น เราจึงจำเป็นต้องมีแม้จะไม่เหมาะสมในเรื่องความซับซ้อนของวงจรก็ตาม

7.5 <u>การออกแบบ การคำนวณวงจรควบคุมและวงจรคุมค่า</u> (ตัวอย่าง)

จากบทที่ผ่านมาล้วนเป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบวงจรคุมค่าที่ใช้ ซึ่งในบางครั้งค่าที่ได้จากการคำนวณนี้อาจไม่ตรงกับค่าที่ใช้ได้ เนื่องจากการวัด การประมาณค่าต่าง ๆ เป็นต้น

<u>วงจรควบคุมขณะวงรอบเปิด</u>

จากรูปที่ 7.21 เป็นวงจรที่ออกแบบไว้สำหรับควบคุมแบบวงรอบเปิดทั่วไป แต่ในการทดลองนี้เพื่อศึกษาผลตอบสนองที่ดีที่สุดขณะวงรอบเปิด จึงใช้วงจรตั้งค่าธรรมดาควบกับวงจรจำกัดกระแสของวงรอบปิดธรรมดา




รูปที่ 7.21 วงจรควบคุมขณะวงรอบเปิดที่ใช้ในการทดลอง

ให้ $$V_{max} = [(R_2 + R_3)/(R_1 + R_2 + R_3)]V_s$$

$$V_{min} = [R_3/(R_1 + R_2 + R_3)]V_s$$

กำหนดให้ $V_s$ = +12V, $R_2$ = 10kΩ

จะได้ $R_1$ ประมาณ 6.5k, $R_3$ ประมาณ 1.5kΩ

$C_1$ และ $C_2$ ต่อเพื่อเป็นวงจรกรอง ใช้ $C_1$ ประมาณ 100μF และ $C_2$ ประมาณ 0.1μF ในการทดลองต้องโหลดเป็น R หรือ $R_L$ จะไม่มีวงจรจำกัดค่าเข้ามาเกี่ยว แต่ถ้าโหลดที่เป็นมอเตอร์จะมีวงจรจำกัดค่ากระแสมาเกี่ยวข้องด้วย วงจรควบคุมขณะวงรอบเปิดนี้ ใช้ในการทดสอบทั้งวงจรบริดจ์สามเฟสควบคุมเต็มที่และวงรอบบริดจ์สามเฟสควบคุมครึ่งเดียว

<u>วงจรตั้งค่าสำหรับการควบคุมแบบวงรอบเปิด</u>

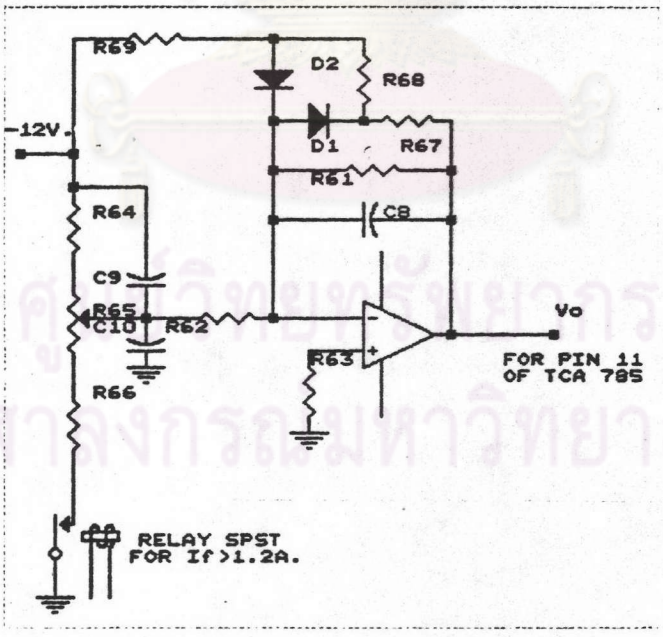
จากรูปที่ 7.22 การออกแบบกำหนดให้ $V_o$ อยู่ในช่วง 1 - 8 โวลต์

เลือกแรงดันขาเข้า $V_s$ อยู่ในช่วง -1 ถึง -8 โวลต์

ให้ $R_{65}$ = 10kΩ จะได้ $R_{64}$ = 5.6kΩ, $R_{66}$ = 1.5kΩ

ค่าคงที่เวลา (smoothing time constant : $t_{sm}$ ) = $R_{61}C_8$

ให้ $R_{61}$ = 100kΩ เลือก $t_{sm}$ = 2 วินาที : $C_8$ = 27μF




รูปที่ 7.22 วงจรควบคุมขณะวงรอบเปิดที่ออกแบบสำหรับทดลองทั่วไป

การเลือก $t_{sm}$ หาได้จากการต่อวงจรจำกัดกระแสที่พิกัด ให้มอเตอร์

เริ่มหมุนจนถึงความเร็วที่พิกัดและโหลดที่พิกัด ดูช่วงเวลาที่ใช้ขณะมอเตอร์เริ่มหมุนจนถึงความเร็วที่พิกัด นำมาประมาณเป็นครึ่งหนึ่งของ $t_{sm}$ ที่ใช้

เลือก $R_{62}$ = 100kΩ, $R_{63}$ = 50kΩ และ วงจรจำกัดค่า

จะได้ $R_{69}$ = 15kΩ, $R_{68}$ = 6.8kΩ, $R_{67}$ = 2.7kΩ

$C_9$ = 10μF, $C_{10}$=0.1μf ต่อเป็นวงจรกรอง

$R_{63}$ มีค่าประมาณ $R_{61}$ ขนานกับ $R_{62}$ และเลือก

อัตราขยายเป็น 1 นั่นคือ $R_{61}$ = $R_{62}$ = 100 kΩ และ $R_{63}$ = 50 kΩ

<u>วงจรคุมค่าแบบวงรอบปิด</u>

วงจรควบคุมขณะวงรอบปิดมี 4 วงจร สำหรับใช้ควบคุมใน 4 ประเภท ดังนี้

1. เป็นวงจรคุมค่าธรรมดาสำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่
2. เป็นวงจรคุมค่าปรับตัวเองสำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่
3. เป็นวงจรคุมค่าธรรมดาสำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมครึ่งเดียว
4. เป็นวงจรคุมค่าปรับตัวเองสำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมครึ่งเดียว

การออกแบบและการใช้งานแต่ละวงจรเป็นอิสระต่อกัน แต่หลักเกณฑ์ในการออกแบบคล้ายกัน โดยจะเริ่มจากการคำนวณหาวงจรคุมค่ากระแสแบบธรรดาก่อน ต่อมาก็หาวงจรคุมค่าความเร็วมาประกอบ ได้วงจรที่เหมาะสมแล้วนำมาทดสอบกับมอเตอร์ โดยจะเริ่มทดสอบวงจรคุมค่ากระแสแบบธรรมดาก่อน ระหว่างการทดสอบจะมีการปรับแต่งวงจรให้ทำงาน ณ จุดทำงานที่เหมาะสม เสร็จแล้วจึงต่อวงจรคุมค่าความเร็วรอบเข้าไป การต่อวงจรให้ต่อแบบทอดเนื่อง โดยวงจรคุมค่ากระแสเป็นวงในและวงจรคุมค่าความเร็วรอบเป็นวงนอก ทดสอบและปรับแต่งวงจรเพื่อให้ได้จุดทำงานที่เหมาะสมอีกครั้ง จุดทำงานที่เหมาะสมคือ จุดที่ให้ผลตอบสนองที่เร็วและมีเสถียรภาพตลอดย่านการใช้งาน

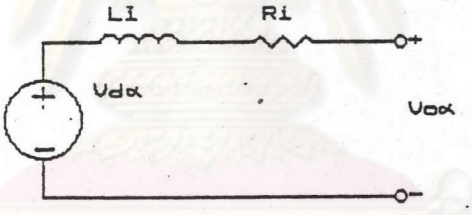
ต่อมา ณ จุดทำงานที่เหมาะสมนี้ (เฉพาะย่านที่กระแสไหลต่อเนื่องเท่านั้น) จะนำค่าคงตัวเวลาของวงจรคุมค่ากระแสธรรมดามาพิจารณาวงจรคุมค่ากระแสปรับตัวเอง โดยการพิจารณา จะพยายามสร้างวงจรคุมค่ากระแสปรับตัวเองให้มีคุณสมบัติเทียบเท่าวงจรคุมค่ากระแสธรรมดา ในขณะที่มีกระแสไหลอย่างต่อเนื่องเท่านั้น ต่อมาออกแบบและสร้างวงจรคุมค่าแบบฮิสเตอเรซิสโดยให้สัญญาณควบคุมการคุมค่าแบบ ON-OFF จากการไหลและไม่ไหลของกระแสอาร์เมเจอร์ตามลำดับ ขณะที่ ON ให้วงจรคุมค่ากระแสปรับตัวเอง ให้มีคุณสมบัติเป็น PI และ OFF ให้ปรับเป็น I ต่อมาออกแบบและสร้างวงจรคุมค่าความเร็วรอบ

ที่สามารถใช้ร่วมกับวงจรคุมค่ากระแสปรับตัวเอง ขณะที่กระแสไหลอย่างต่อเนื่องได้เทียบเท่ากับวงจรคุมค่าธรรดาที่ใช้ควบคุมเดิม ณ ขณะที่กระแสไหลอย่างต่อเนื่อง ต่อมาเริ่มใช้ขณะที่กระแสไหลไม่ต่อเนื่อง การปรับแต่งวงจรให้ปรับแต่วงจรคุมค่าแบบฮิสเตอเรซิสและวงจรคุมค่ากระแสทดลองและใช้งานในย่านที่กระแสอาร์เมเจอร์ไหลไม่ต่อเนื่องและกระแส ต่อเนื่องปรับแต่งวงจรให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น วงจรคุมค่าที่ได้จะมีส่วนทำให้ผลตอบสนองขณะกระแสไหลอย่างไม่ต่อเนื่องดีขึ้นนั่นเอง

วิธีการข้างต้นนี้ ใช้ได้ทั้งวงจรบริดจ์เรียงกระแสควบคุมเต็มที่และครึ่งเดียว แต่มีข้อแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยในเรื่องการคำนวณ ซึ่งจะกล่าวเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

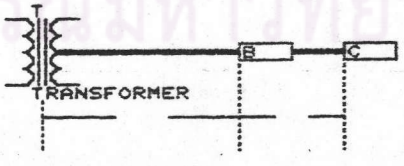
<u>การออกแบบวงจรคุมค่าธรรมดาสำหรับ วงจรบริดจ์สามเฟสควบคุมเต็มที่</u> สำหรับใช้กับวงจรจุดชนวนแบบใช้ฟังก์ชันรูปฟันเลื่อยอ้างอิง (โคทม อารียา , 2531)

พื้นฐานการออกแบบระบบคุมค่าพิจารณาได้ตามบทที่ 6 ในที่นี้เราจะขอยกสูตรต่าง ๆ มาใช้เลย การศึกษาฟังก์ชันโอนย้ายของวงจรเรียงกระแสควบคุม




รูปที่ 7.23 วงจรเทเวอนินของวงจรเรียงกระแส

ให้ $L_c$ เป็นความเหนี่ยวนำของการสับเปลี่ยนกระแส วิธีหาได้จากการประมาณดังนี้




รูปที่ 7.24 แผนภาพใช้ประกอบการอธิบายวิธีหา $L_c$

จากรูป 7.24 ให้ T แทนหม้อแปลงขนาด 3ØØ kVA

B แทนเบรกเกอร์

## C แทนวงจรเรียงกระแส

จาก T - B ใช้สายขนาด 400 มม$^2$ 50 เมตร

B - C ใช้สายขนาด 16 มม$^2$ 20 เมตร

หาคุณสมบัติหม้อแปลง 300 kVA โดยประมาณได้ใกล้เคียงกับหม้อแปลง 315 kVA ใน ตารางที่ 7.1 $R_1$ ประมาณ 6.30mΩ, $X_1$ ประมาณ 19.30mΩ

สายส่ง 400 มม$^2$ 50 เมตร จากตาราง 7.2 $R_2 \simeq 2.24$mΩ, $X_2 \simeq 4.045$mΩ

สายส่ง 16 มม$^2$ 20 เมตร จากการประมาณค่า $R_3 \simeq 22.6$mΩ, $X_3 \simeq 1.8$mΩ

$$L_c = X_c/2\pi f$$

$$X_c = X_1 + X_2 + X_3 = 25.145\text{m}\Omega$$

$$L_c = (25.145 \times 10^{-3})/(2\pi \times 50) = 0.08\text{mH}$$

หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันต่ำ 400/231 V 3 เฟส 4 สาย

| ขนาดหม้อแปลง (kVA) | กระแสพิกัด (A) | กำลังสูญเสีย (kW) | Zk (%) | ความต้านทาน (mΩ) | รีแอกแตนซ์ (mΩ) |
|---|---|---|---|---|---|
| 250 | 360 | 3.250 | 4 | 8.32 | 24.19 |
| 315 | 455 | 3.900 | 4 | 6.30 | 19.30 |
| 400 | 580 | 4.600 | 4 | 4.60 | 15.32 |
| 500 | 720 | 5.500 | 4 | 3.52 | 12.32 |
| 630 | 910 | 6.500 | 6 | 2.62 | 15.01 |
| 800 | 1150 | 11.000 | 6 | 2.75 | 11.68 |
| 1000 | 1440 | 13.500 | 6 | 2.16 | 9.36 |
| 1250 | 1800 | 16.400 | 6 | 1.68 | 7.49 |
| 1600 | 2300 | 19.800 | 6 | 1.24 | 5.87 |
| 2000 | 2880 | 20.900 | 6 | 0.81 | 4.70 |

ตารางที่ 7.1 หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันต่ำ 400/230 3 เฟส 4 สาย

(ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช, 2530)

. ความต้านทานและรีแอกแตนซ์ของสายไฟ ตาม มอก.11-2518

| ขนาดตัวนำ ($mm^2$) | ความต้านทานและรีแอกแตนซ์ (mΩ) | ความยาว (m) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10 | 20 | 50 | 100 | 200 |
| 35 | R | 5.140 | 10.280 | 25.70 | 51.40 | 102.80 |
| | X | 0.890 | 1.780 | 4.45 | 8.90 | 17.80 |
| 70 | R | 2.62 | 6.24 | 13.1 | 26.2 | 52.4 |
| | X | 0.863 | 1.726 | 4.315 | 8.63 | 17.26 |
| 120 | R | 1.50 | 3.00 | 7.5 | 15.0 | 30.0 |
| | X | 0.843 | 1.686 | 4.215 | 8.43 | 16.86 |
| 240 | R | 0.74 | 1.48 | 3.7 | 7.4 | 15.8 |
| | X | 0.833 | 1.666 | 4.165 | 8.33 | 16.66 |
| 400 | R | 0.448 | 0.896 | 2.24 | 4.48 | 8.96 |
| | X | 0.809 | 1.618 | 4.045 | 8.09 | 16.18 |

ตารางที่ 7.2 ความต้านทานและรีแอกแตนซ์ของสายไฟตาม มอก.11-2518

(ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช , 2530)

สำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟส มีความเหนี่ยวนำเทเวอนิน : $L_i$

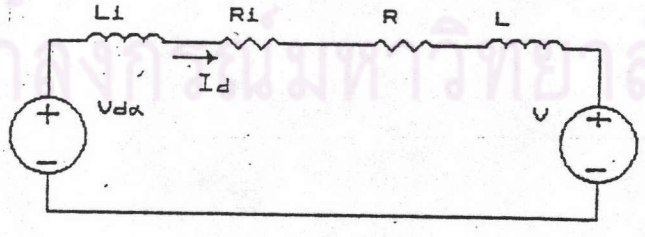
$$L_i = 2L_c \simeq 0.16mH \qquad (6.68)$$

และมีความต้านทานเทเวอนิน $R_i$

$$R_i = 3\omega L_c/\Pi \qquad (6.70)$$

$$\simeq (3 \times 2\Pi \times 50 \times 0.08)/\Pi$$

$$\simeq 24m\Omega$$




รูปที่ 7.25

วงจรสมมูลของวงจรเรียงกระแสและโหลด

จากแผ่นป้ายของมอเตอร์ $V_n = 440V$, $I_{on} = 24A$, $\omega_n = 1,460rpm$ (หรือ 152.8 rad/s)

จากการวัดด้วย บริดจ์ตัวต้านทาน (Impedance Bridge) ได้

$$R_a = 1.97\Omega,\ L_a \simeq 29.45mH$$

จากสมการ $$T_t = (L_a + L_i)/(R_a + R_i) \quad (6.73)$$

จะได้ $$T_t = (29.45mH + 0.16mH)/(1.97 + 0.024)$$

$$T_t = 14ms$$

จากการประวิง $$T_c = T/12 \quad (6.51)$$

$$T = 20ms \text{ (ใช้ที่ 50Hz)}$$

$$\therefore T_c = 20 \times 10^{-3}/12 \simeq 1.67ms$$

ให้ $T_{ii}$ แทนค่าคงตัวการอินทิเกต $T_i$ ที่ใช้ในวงจรคุมค่ากระแส

$$T_{ii} = 2(K_c/r_t)T_c \quad (6.77)$$

จากความผิดพลาดในการออกแบบที่เลือกใช้วงจรจุดชนวนที่ใช้การเปรียบเทียบแรงดันที่ควบคุม $V_c$ กับฟังก์ชันอ้างอิงรูปฟันเลื่อย $v_r$ ทำให้ได้วงจรคุมค่าที่ไม่ดีเพราะ $V_c$ ไม่คงที่ ซึ่งต่างจากการใช้วงจรจุดชนวนที่ใช้ในการเปรียบเทียบแรงดันที่คุมค่า $V_c$ กับฟังก์ชันอ้างอิงรูปโคไซน์ ซึ่งให้ $K_c$ คงที่ (โดย $K_c = \Delta v_{d\alpha}/\Delta v_c \simeq v_{do}$ (6.49))

จากสมการ

$$K_c = \Delta v_{do}/\Delta v_c = -v_{do}\Pi\sin(k_1 V_c) \quad (6.58)$$

จะเห็นได้ว่า $K_{c(max)} \simeq v_{do}\Pi$ ที่ $\alpha$ หรือ $k_1 V_c$ ประมาณ $90^\circ$ หรือที่แรงดันขาออก 0 โวลต์(ไม่พิจารณาเครื่องหมาย)

$$\therefore K_{c(max)} = (514/440)\Pi \simeq 3.67 \quad \text{(ไม่พิจารณาเครื่องหมาย)}$$

เหตุผลที่เลือกออกแบบที่จุด $K_{c(max)}$ เนื่องจากว่า จุดนี้เป็นจุดที่เสียเสถียรภาพได้ง่ายที่สุดนั่นเอง ผลกระทบที่สำคัญคือ จะทำให้ผลตอบสนองที่พิกัดช้ามาก หากเลือกออกแบบที่พิกัดแล้ว เวลาใช้งานที่ความเร็วรอบหรือโหลดต่ำ ๆ มอเตอร์จะกระตุก เนื่องจากการขาดเสถียรภาพนั่นเอง

จากสมการ (6.73) ให้ $$r_t = (R_a + R_i).(I_{dn}/V_n)$$

$$= (1.97 + 0.024).(24/440)$$

$$= 0.107$$

จะได้ $$T_{ii} = 2(3.67/0.107).(1.67 \times 10^{-3})$$

$$\simeq 114ms$$

แต่เนื่องจาก $T_{ii}$ ค่าที่ได้นี้มีค่ามากเกินไปจากบทที่ 6 เราย่อมให้

$T_{ii}$ นี้ลดลงได้บ้างเพื่อให้ผลตอบสนองในย่านอื่น ๆ เร็วขึ้น ในการออกแบบจึงหาค่า

$K_{c(min)} = (514/440) \times \Pi \times \sin[\cos^{-1}(440/514)]$

ให้ $K_c$ (เฉลี่ย) เป็นค่าเฉลี่ยของ $K_{c(max)}$ และ $K_{c(min)}$

$$K_c \text{ (เฉลี่ย)} = (K_{c(max)} + K_{c(min)})/2$$

$$= (3.67 + 1.897)/2$$

$$= 2.78$$

นั่นคือ $$T_{ii} \text{ (เฉลี่ย)} = 2(2.78/0.107) \times 1.67 \times 10^{-3}$$

การออกแบบที่ $T_{ii}$ เฉลี่ยนี้ แม้จะให้ผลตอบสนองที่พิกัดดีขึ้น แต่เสถียรภาพขณะใช้งานที่ความเร็วรอบต่ำ ๆ ไม่สมบูรณ์

สำหรับในกรณีใช้วงจรจุดชนวนที่ใช้การเปรียบเทียบแรงดันที่ควบคุม $v_c$ กับฟังก์ชันอ้างอิงรูปโคไซน์ $v_r$ ทำให้ค่า $K_c$ เปลี่ยนไปนั่นคือ

$$K_c = v_{do} = V_{do}/V_n = 514/440 = 1.168$$

จะได้ $$T_{ii} = 2(1.168/0.107) \times 1.67 \times 10^{-3}$$

$$= 36.46\text{ms}$$

เลือกค่าคงตัวเวลา $T_n$ ของวงจรคุมค่ากระแส (ให้ $T_{ni}$) จากสมการที่ (6.76)

$$T_{ni} = T_t \qquad (6.76)$$

$$\therefore \quad T_{ni} = 14\text{ms}$$

สรุปสำหรับวงจรคุมค่ากระแสที่ใช้ในวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์สามเฟสควบคุมเต็มที่ มีค่า $T_{ni} = 14\text{ms}$ $T_{ii} = 114\text{ms}$ โดยประมาณ

จากความรู้พื้นฐานในบทที่ 2 นำมาใช้ประกอบในการหาค่า $k_f$, B และ J ได้ดังนี้ ที่ $I_f = 1.84\text{A}$, $e = 375\text{V}$ ที่ความเร็วรอบ (n) = 1,460rpm วัดโดยใช้สโตเรจออสซิโลปโคปบันทึกค่า

ได้ $$k_f = (e/\omega_m)/I_f = [375/\{1,460 \times (2\Pi/60)\}]/1.84$$

$$= 1.33 \text{ โวลต์ วินาที/แอมป์}$$

หาค่า B จากสมการ $k_f I_f I_a = J(d\omega/dt) + B\omega + T_L$

ให้ความเร็วรอบคงที่ (นั่นคือ $\omega$ คงที่) และไม่ต่อกำลังไฟฟ้าเข้าหรือออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ขณะนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม้จะต่ออยู่กับมอเตอร์ แต่เราสมมติว่า เป็นส่วนหนึ่งของมอเตอร์ นั่นคือให้สมมติให้ $T_L = 0$ นั่นเอง)

$$k_f I_f I_a = B\omega$$

$B_{no\ load}$ ที่ 1,460 รอบ/นาที, $I_a$ = 0.31 แอมป์, $I_f$ = 1.84 แอมป์

$$B = [1.33 \times 0.31 \times 1.84]/[2\Pi \times (1,460/60)]$$

$$= 4.96 \times 10^{-3} \text{ นิวตันเมตร/เรเดียส/วินาที}$$

การหาค่า $\tau_m$

จากสูตร $k_f I_f I_a = J(d\omega/dt) + B\omega + T_L$

ถ้าให้ $I_a$ = 0 A , $T_L$ = 0 Nm จะได้

$$0 = J(d\omega/dt) + B\omega$$

$$\omega = [2\Pi \times (1,460/60)]e^{-(B/J)t}$$

เนื่องจาก $B_{no\ load}$ เป็นค่าคงที่ และเคยกำหนดให้ $\tau_m = J/B$ นั่นคือ ที่ $t = \tau_m$

$$\omega = [2\Pi \times (1,460/60)]e^{-1}$$

$$= 0.367[2\Pi \times (1,460/60)]$$

นั่นคือ ที่ $t = \tau_m$ ความเร็วเชิงมุมหรือความเร็วรอบจะลดลงเหลือ 0.367 เท่าของพิกัด (ถ้าเริ่มต้นที่พิกัด)

จากการทดลองให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็วพิกัด ใช้กระแส $I_f$ = 1.84A ต่อมาให้ $I_a$ = 0A วัดแรงดันจากเครื่องวัดรอบด้วยสโตเรจออสซิโลสโคป เพื่อดูว่า ที่ความเร็วหรือแรงดันลดลงเหลือ 0.363 เท่าของค่าเดิม หรือค่าพิกัดได้ t = 5.3 วินาที นั่นคือ $\tau_m$ = 5.3 วินาที นั่นเอง

จาก $\tau_m = J/B$

ดังนั้น $J = \tau_m B$

$$= 5.3 \times 4.96 \times 10^{-3}$$

$$= 0.026 \text{ นิวตันเมตร/(เรเดียส/วินาที)}$$

ในบทที่ 6 เราได้กำหนดสมการมอเตอร์แทนคุณลักษณะของมอเตอร์ เพื่อใช้ในการออกแบบวงจรคุมค่า จากคุณสมบัติของมอเตอร์ที่ใช้ทดสอบนี้จะได้

| | | |
|---|---|---|
| แรงดันต้านแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ระบุ | $V_n$ | (440 โวลต์) |
| กระแสอาร์เมเจอร์ที่ระบุ | $I_{an}$ | (24 แอมป์) |
| กำลังไฟฟ้าที่ระบุ | $P_n$ | (8.4 กิโลวัตต์) |
| ความเร็วรอบที่ระบุ | n | (1,460 รอบ/นาที) |
| คิดเป็นความเร็วเชิงมุมที่ระบุ | $\Omega_n$ | = 1,460 x 2 x (Π/60) |
| | | $\simeq$ 152.9 เรเดียส/วินาที |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทอร์กที่ระบุ $M_n = P_n/\Omega_n \simeq 8.4 \times 10^3/152.9$

$\simeq$ 55 นิวตันเมตร

แรงดันสนามที่ระบุ $V_{fn}$ (220 โวลต์)

กระแสสนามที่ระบุ $I_{fn}$ (2.05 แอมป์)

ในบทที่ 6 เรากำหนดให้ $T_m$ เป็นค่าคงตัวเวลาเชิงกลที่ใช้ในการคำนวณโดยให้

$$T_m = J\,\Omega_n/M_n$$

$$\therefore \quad T_m = 0.026 \times (152.9/55)$$

$$= 72.28\text{ms}$$

ต่อมาพิจารณาค่าคงตัวเวลาของ $T_{nn}$, $T_{in}$ ซึ่งเป็นของวงจรคุมค่าความเร็วรอบ เนื่องจากขณะนี้ยังไม่มีการป้องกันให้ขดลวดสนามจึงใช้กระแสประมาณ 1.8 แอมป์ แทนที่จะเป็น 2.05 แอมป์ ที่พิกัดได้ นั่นคือ ควรใช้สูตร (6.119) แทน (6.116) ซึ่งจะได้ $\psi_{min} \simeq 1.8/2.05 \simeq 0.878$

$$T_{nn} = 8T_c(1/\psi_{min}) \simeq 15.2\text{ms}$$

$$T_{in} = 32(T_c^2/T_m).(1/\psi_{min}) \simeq 1.4\text{ms}$$

<u>สรุป</u> จากการคำนวณได้

| | |
|---|---|
| $T_{ii} = 114\text{ms}$ | $1/T_{ii} = 8.77$ |
| $T_{ni} = 14\text{ms}$ | $1/T_{ni} = 71.4$ |
| $T_{in} = 1.4\text{ms}$ | $1/T_{in} = 714$ |
| $T_{nn} = 15.2\text{ms}$ | $1/T_{nn} = 65$ |

สำหรับบางวงจรคุมค่าธรรมดาที่ใช้ในวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่โดยใช้วงจรจุดชนวนที่ใช้ฟังก์ชันรูปฟันเลื่อยอ้างอิง

หลังจากคำนวณค่า $T_{nn}$, $T_{in}$, $T_{ni}$, $T_{ii}$ ได้แล้ว นำมาออกแบบวงจร โดยใช้พื้นฐานจากบทที่ 5 ซึ่งในขณะนี้จะยังไม่พิจารณาการใช้วงจรกรองในส่วนต่าง ๆ มาคิด จากรูปที่ 7.26 วงจรคุมค่าธรรมดาสำหรับการคุมค่าแบบวงรอบปิด พิจารณาแรงดันจากเครื่องวัดรอบก่อน จากคุณสมบัติของเครื่องวัดรอบ 0.06 โวลต์/(รอบ/นาที) กระแสสูงสุด 0.18 แอมป์ วัดได้มากที่สุด 10,000 รอบ/นาที ในการออกแบบที่พิกัดมอเตอร์ 1,460 รอบ/นาที และเผื่อวัดที่ 2 เท่าของพิกัด นั่นคือ ที่ 2,920 รอบ/นาที (ประมาณ 3,000 รอบ/นาที)

แรงดันขาออกของเครื่องวัดรอบออกแบบให้ใช้สูงสุดในช่วงใช้งานที่

3,000 รอบ/นาที จะมีแรงดันขาออกเท่ากับ 0.06 x 3,000 = 180 โวลต์ ซึ่งสูงเกินกว่าที่จะวัดโดยตรง จึงออกแบบวงจรแบ่งแรงดันโดยใช้ $R_{27}$ และ $R_{25}$ ในการออกแบบจะไม่ให้ $R_{27}$ และ $R_{25}$ รับกระแสจากเครื่องวัดรอบมากเกินไป เพราะ จะทำให้แรงดันที่วัดได้ผิดพลาดเนื่องจากมีแรงดันตกคร่อมสายวัด หรือ เกินกำลังที่เครื่องวัดรอบจะจ่ายให้ ส่วนถ้าน้อยเกินไป วงจรภายนอกที่ต่อกับ $R_{27}$ และ $R_{25}$ อาจมาโหลดวงจรทำให้ได้ค่าผิดไป ในที่นี้เราเลือกใช้ $R_{27}$ = 75k โอห์ม และ $R_{25}$ = 5.1kΩ นั่นคือ

$V_{mn}$ ที่ค่าพิกัด $V_{mn}(rated)$ = (0.06 x 1,460 x 5.1k)/(5.1k + 75k)

= 5.57 โวลต์

$V_{mn}$ ที่สูงสุด $V_{mn}(max)$ = (0.06 x 3,000 x 5.1k)/(5.1k + 75k)

= 11.46 โวลต์

มีกำลังสูญเสียสูงสุด (180 x 180)/(5.1k + 75k) = 0.4 วัตต์

ดังนั้น เลือกใช้ตัวต้านทานขนาด 2 วัตต์

ในกรณีของการวัดกระแส จากการเลือกใช้เครื่องวัดกระแสยี่ห้อ LEM ซึ่งใช้ปรากฏการณ์ของฮอลล์ (Hall's effect) ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

LEM MODULE 100 Amp

TYPE LT 100P

RATIO 1:1000

กระแสที่วัดจะเป็น 1,000 เท่าของกระแสที่ออกจากเครื่องวัด ในที่นี้ ใช้วัดกระแสที่ค่าพิกัด 24 แอมป์ จะมีกระแสออกจากเครื่องวัด 24mA และที่ค่าที่มากที่สุด (คาดว่าส่วนยอดของกระแสที่จะวัด) ประมาณ 50 แอมป์ นั่นคือ จะมีกระแสออกจากเครื่องวัด 50mA

จากผลดังกล่าวข้างต้นเลือกใช้ $R_{12}$ เท่ากับ 200 โอห์ม

นั่นคือ ที่ $I_a(rated)$ จะมีแรงดัน $V_{m1}(rated)$ = 200 x 24 x $10^{-3}$ = 4.8 โวลต์

และ ที่ $I_a(peak, max)$ จะมีแรงดัน $V_{m1}(peak, max)$ = 200 x 50 x $10^{-3}$

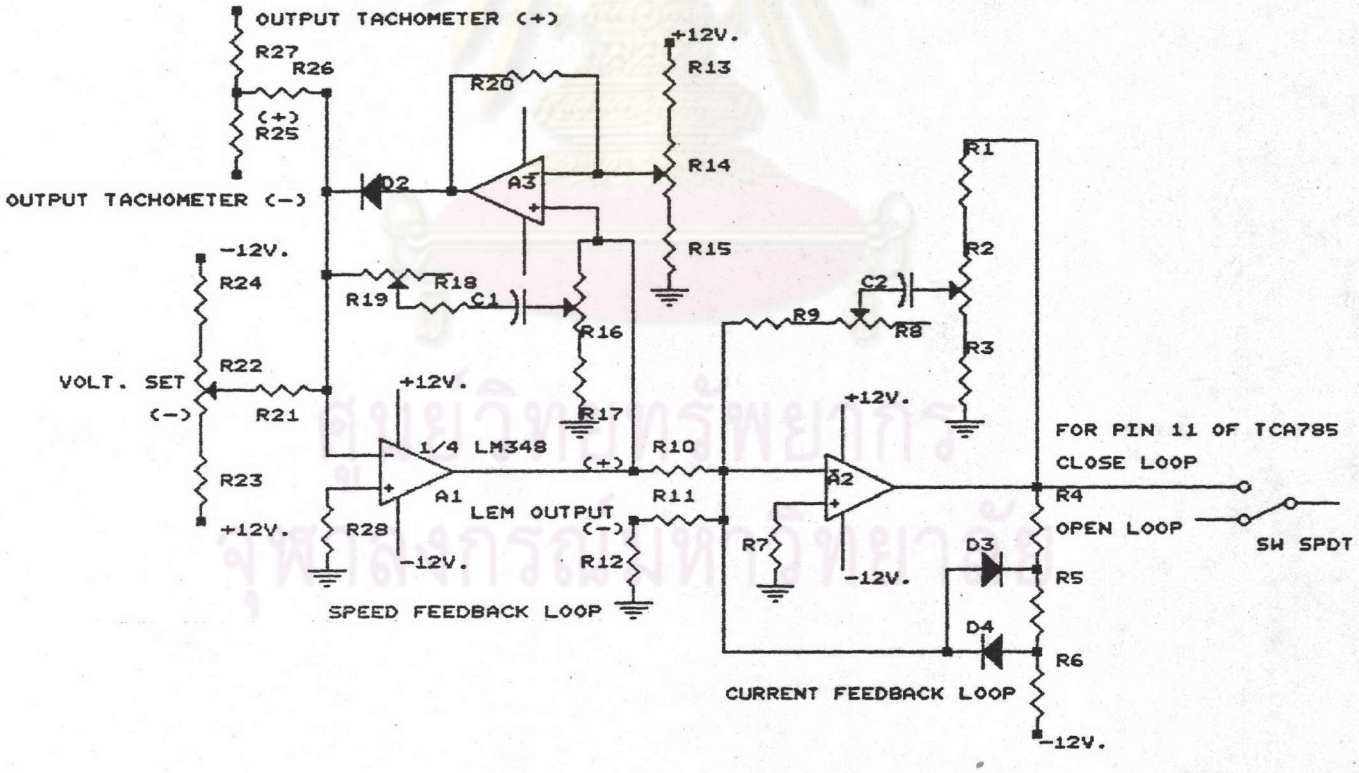
= 10 โวลต์

พิจารณาการจำกัดค่า ในการใช้งานเราไม่ต้องการให้แรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสเกินกว่าพิกัดของมอเตอร์มากนัก เพราะ อาจทำให้มอเตอร์เสียหายได้ จากการคำนวณแรงดันขาออกจะมีค่าได้มากที่สุด 514 โวลต์ แต่เราขอจำกัดไว้ที่ประมาณ 450 โวลต์ นั่นคือ แรงดันขา 11 ของ TCA 785 หรือ $V_{11}$ ไม่ควรน้อยกว่า

1.2 โวลต์ และไม่ควรเกินค่าสูงสุดของแรงดันขา 1Ø ของ TCA 785 ที่ตั้งไว้ (7.5 โวลต์) มากนัก ดังนั้น แรงดันขา 11 ของ TCA 785 ที่ใช้ควรจำกัดอยู่ที่ 1.2 - 8 โวลต์ ในส่วนของการจำกัดค่าในการตั้งค่าของวงจรคุมค่าความเร็วรอบ

ในการออกแบบวงจรคุมค่านี้ให้พิจารณาภาพรวมก่อน เพื่อกำหนดขั้วของแรงดันที่ป้อนเข้าวงจรคุมค่า

แรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสมีค่าน้อยลงเมื่อ $V_{11}$ มีค่ามากขึ้น ถ้าต้องการกระแสมากขึ้น $V_{11}$ ก็ต้องลดลง นั่นคือ แรงดันตั้งค่าของวงจรคุมค่ากระแสต้องมีขั้วเป็นบวกและแรงดันที่ได้จากอุปกรณ์วัดกระแสมีขั้วเป็นลบ และเมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้นกระแสย่อมต้องมากขึ้น นั่นคือ แรงดันตั้งค่าของวงจรคุมค่าความเร็วรอบขั้วเป็นลบและแรงดันที่ได้จากการวัดค่าความเร็วมีขั้วเป็นบวกนั่นเอง วงจรคุมค่าความเร็วรอบพิจารณารูป 7.26 ประกอบ




รูปที่ 7.26

วงจรคุมค่าธรรมดาสำหรับการคุมค่าแบบวงรอบปิด

เมื่อไม่พิจารณาเครื่องหมายของแรงดัน ให้ $V_{sn} = V_{mn} = V_{on}$ (วงจรคุมค่าความเร็วรอบ) นั่นคือ

$$R_{26} = R_{21}$$

จุดที่ต้องการคือ $T_{in}$ = 1.4ms และ $T_{nn}$ = 15.2ms จากการเลือกค่าในหลาย ๆ ครั้ง เพื่อหาค่าที่ลงตัว พอสรุปได้ดังนี้

เราเลือกค่า $R_{26}$, $R_{21}$ ระหว่าง 10kΩ ถึง 100kΩ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ความต้านทานเหล่านี้เป็นโหลดต่อวงจรตั้งค่าและวงจรวัดมากเกินไป ในที่นี้ จากวงจรวัดเรามีวงจรค่าสมบูรณ์รองรับอยู่ทำให้ลดผลกระทบอันนี้ได้บ้าง แต่ถ้าไม่ต่อวงจรค่าสมบูรณ์ก็ควรให้ใช้งานได้ในที่นี้เราเลือก $R_{26} = R_{21}$ = 51kΩ ให้ $R_{28}$ เท่ากับ $R_{26}$ ขนานกับ $R_{21}$

$$R_{28} = R_{26}R_{21}/(R_{26}+ R_{21})$$

ให้ $R_{28}$ ประมาณ 22k โอห์ม

จากสูตร (5.11)

$$T_{nn} = (R_{19}+ R_{18})C_1$$

เลือก $C_1$ = 0.15μF จะได้ $(R_{19}+ R_{18})$ = 100kΩ

จากสูตร (5.10)

$$T_{in} = \rho R_{21}C_1(V_{on}/V_{sn})$$

$$V_{on} = V_{sn}$$

$$T_{in} = \rho R_{21}C_1$$

$$\rho = T_{in}/R_{21}C_1$$

$$= (1.4 \times 10^{-3})/(51 \times 10^{3} \times 0.15 \times 10^{-6})$$

$$= 0.183$$

จากการเลือก $R_{19}+ R_{18}$ ประมาณ 100kΩ นั่นคือ ให้ $R_{19}$ = 100kΩ(ปรับค่าได้), $R_{18}$ = 56kΩ นั่นคือ $R_{16}+ R_{17}+ R_{29}$ ประมาณ 40 โอห์ม ที่ ρ = 0.183 ควรจะประมาณให้ $R_{29}$=12kΩ, $R_{16}$=25kΩ(ปรับค่าได้), $R_{17}$=2kΩ

ในการคุมค่าของ $V_{sn}$ ในขณะนี้ เราออกแบบให้ความเร็วรอบไม่ให้เกินค่าที่พิกัด ดังนั้น จึงให้ขนาดของ $V_{sn}$ ไม่ควรมีค่าเกินขนาดของ $V_{mn}$ ที่ค่าพิกัด คือที่ 5.6 โวลต์ แต่เนื่องจาก $V_{sn}$ ที่ใช้มีค่าเป็นลบ นั่นคือ $V_{sn}$ ไม่ควรน้อยกว่า -5.6 โวลต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับค่าที่มากที่สุดของ $V_{sn}$ ประมาณ +1 โวลต์ ตามที่เคยอธิบายแล้วในบทที่ 5 อีกประการหนึ่ง ถ้าให้ค่า $V_{sn}$ มากที่สุดประมาณ Ø โวลต์ แม้มอเตอร์จะไม่หมุน แต่อาจกระตุกได้ เพราะสัญญาณรบกวน หรือ ขณะวงจรเริ่มทำงานโดยมีค่าเริ่มต้นเมื่อคำนวณแล้วจะได้ค่า $R_{22}$ เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ 1Økῼ, $R_{23}$ ประมาณ 12kῼ และ $R_{24}$ ประมาณ 7.5kῼ

แรงดันขาออกของวงจรคุมค่าความเร็วรอบ ($V_{on}$) นี้ก็คือ แรงดันตั้งค่า ($V_{si}$) ของวงจรคุมค่ากระแสขณะให้มอเตอร์เริ่มหมุน กระแสอาร์เมเจอร์ที่เข้ามอเตอร์อาจสูงเกินพิกัดเอสซีอาร์ทนได้ ดังนั้น เราควรมีวงจรจำกัดกระแสด้วย การจำกัดกระแสอาร์เมเจอร์เป็นการจำกัดค่า $V_{on}$ หรือ $V_{si}$ นั่นเอง การจำกัดค่าเราใช้ $A_3$ ช่วย โดยให้ $V_{on}$ มีค่าที่พิกัดประมาณ 5.6 โวลต์ นั่นคือ จะจำกัดให้ $V_{on}$ ประมาณ Ø ถึง 6 โวลต์ โดยเลือก $R_{14}$ = 1Økῼ, $R_{15}$ = 1Økῼ, $R_{13}$ = Øῼ ส่วน $R_{20}$ ใช้ในการป้อนกลับเพื่อไม่ให้แกว่ง จึงใส่ไว้ประมาณ 1Økῼ เวลาทดสอบให้ปรับค่าขากลางของโพเทนชิโอมิเตอร์ไว้ที่พิกัดกระแสอาร์เมเจอร์ 24A

ด้วยวิธีเดียวกันสามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ของวงจรคุมค่ากระแสได้ดังนี้

จาก $T_{i1}$ = 114ms $T_{ni}$ = 14ms

เลือกใช้ $V_{oi} \simeq$ 1.2V ที่พิกัด 44ØV

$V_{si} \simeq$ 5.6V ที่พิกัด 24A ตั้งค่า

$V_{mi} \simeq$ 4.8V ที่พิกัด 24A วัด

จะได้ $R_{11}$ = 18Økῼ, $R_{10}$ = 21Økῼ, $R_9$ = 2kῼ, $R_8$ = 2.2kῼ(ปรับค่าได้), $C_2$ = 4.7μF, $R_7$ = 1ØØkῼ, $R_2$ = 1.5kῼ, $R_1$ = 5ØØῼ, $R_3$ = 1kῼ, ρ = Ø.641 โดยประมาณ

$V_{oi}$ เป็นแรงดันที่เข้าขา 11 ของ TCA 785 ไม่ควรมีค่าน้อยเกินไป เพราะจะทำให้แรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสมีค่ามากเกินไป (จาก $V_{oi}$ = Ø โวลต์ จะทำให้แรงดันขาออก 514 โวลต์ สูงกว่าพิกัดมอเตอร์ [44Ø โวลต์] มากเกินไป) เราจึงจำกัดไว้ที่ประมาณ 1 โวลต์ และ $V_{oi}$ ไม่ควรมีการมากเกินไป เนื่องจาก วงจรเรียงกระแสขณะจ่ายกระแสไหลอย่างต่อเนื่องแล้ว หาก SCR ยังคงนำกระแสอยู่เกินมุมจุดชนวน α = 18Ø องศาแล้ว อาจถือว่าวงจรเรียงกระแสทำงานผิดพลาดได้ ในทางปฏิบัติ มุมกระตุ้นจะถูกจำกัดไว้ไม่ให้เกิน 165° เพราะ ต้องให้เวลาสำหรับการหยุด

ทำงานของ SCR ด้วย ที่มุม 165° คิดเป็น $V_{o1}$ = (165°/180°)x 7.5 = 6.8 โวลต์ โดยที่ $V_r$ = 7.5 โวลต์

นั่นคือ ให้ $D_3$ นำเมื่อ $V_1$ = -0.5V ขณะที่ $V_{o1}$ = 1 โวลต์

$D_4$ นำเมื่อ $V_2$ = +0.5V ขณะที่ $V_{o1}$ = 6.8 โวลต์

คำนวณหา $R_4$ = 2.2kΩ, $R_5$ = 5.6kΩ และ $R_6$ = 12kΩ โดยประมาณ ในทางปฏิบัติอาจใช้โพเทนชิโอมิเตอร์ 10kΩ 2 ตัว ในการปรับแทนก็ได้

<u>การออกแบบวงจรคุมค่าปรับตัวเอง สำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่</u>

จากผลกระทบขณะกระแสอาร์เมเจอร์ไหลอย่างไม่ต่อเนื่อง ในบทที่ 6 นั้น จะเห็นได้ว่า ค่า $K_c$ มีค่าลดลง วงจรคุมค่าปรับตัวเองนี้ใช้เฉพาะวงรอบปิดกระแสเท่านั้น เพราะ วงจรคุมค่ากระแสสัมพันธ์กับ $K_c$ นั่นเอง ในการออกแบบวงจร กำหนดให้ $T_{nn}$, $T_{in}$, $T_{ni}$, $T_{ii}$ ที่ใช้ขณะกระแสอาร์เมเจอร์ไหลอย่างต่อเนื่องมีค่าใกล้เคียงกับค่านั้น ๆ ของวงจรคุมค่ากระแสธรรมดาที่ใช้อยู่ แต่ขณะที่กระแสไหลอย่างไม่ต่อเนื่องในกรณีที่ใช้วงจรจุดชนวนที่ใช้ฟังก์ชันอ้างอิงรูปโคไซน์ จะปรับแต่งวงจรให้เหมาะสมที่ช่วงใดของการใช้งานก็ได้ แต่ในกรณีที่ใช้วงจรจุดชนวนที่ใช้ฟังก์ชันอ้างอิงรูปฟันเลื่อยควรปรับที่จุดวิกฤตหรือใกล้เคียง $\alpha = \Pi/2$ เพราะเป็นจุดที่ $K_c$ มีค่ามากที่สุดในภาวะกระแสไหลอย่างต่อเนื่องนั่นเอง

เมื่อพิจารณาภาพรวมของวงจรคุมค่าปรับตัวเอง สำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่ แรงดันขาออกของวงจรเรียงกระแสมีค่าน้อยลงเมื่อ $V_{11}$ มีค่ามากขึ้น ถ้าต้องการให้กระแสมากขึ้น $V_{11}$ ก็ต้องมีค่าลดลง นั่นคือ แรงดันตั้งค่าของวงจรคุมค่ากระแสมีค่าเป็นลบ และแรงดันที่ได้จากอุปกรณ์วัดกระแสเป็นบวก และเมื่อต้องการให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น แรงดันตั้งค่าของวงจรคุมค่ากระแสต้องมีค่าเป็นลบมากขึ้น นั่นคือ แรงดันตั้งค่าของวงจรคุมค่าความเร็วมีขั้วเป็นบวก และแรงดันที่ได้จากวงจรวัดความเร็วยังคงมี $T_{nn}$ และ $T_{in}$ ที่เท่าเดิม ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุยังคงใช้ค่าเดิมได้ แต่จะมีการสลับทิศทางของไดโอด $D_2$ และขั้วของแรงดันที่เข้าทั้งหมด

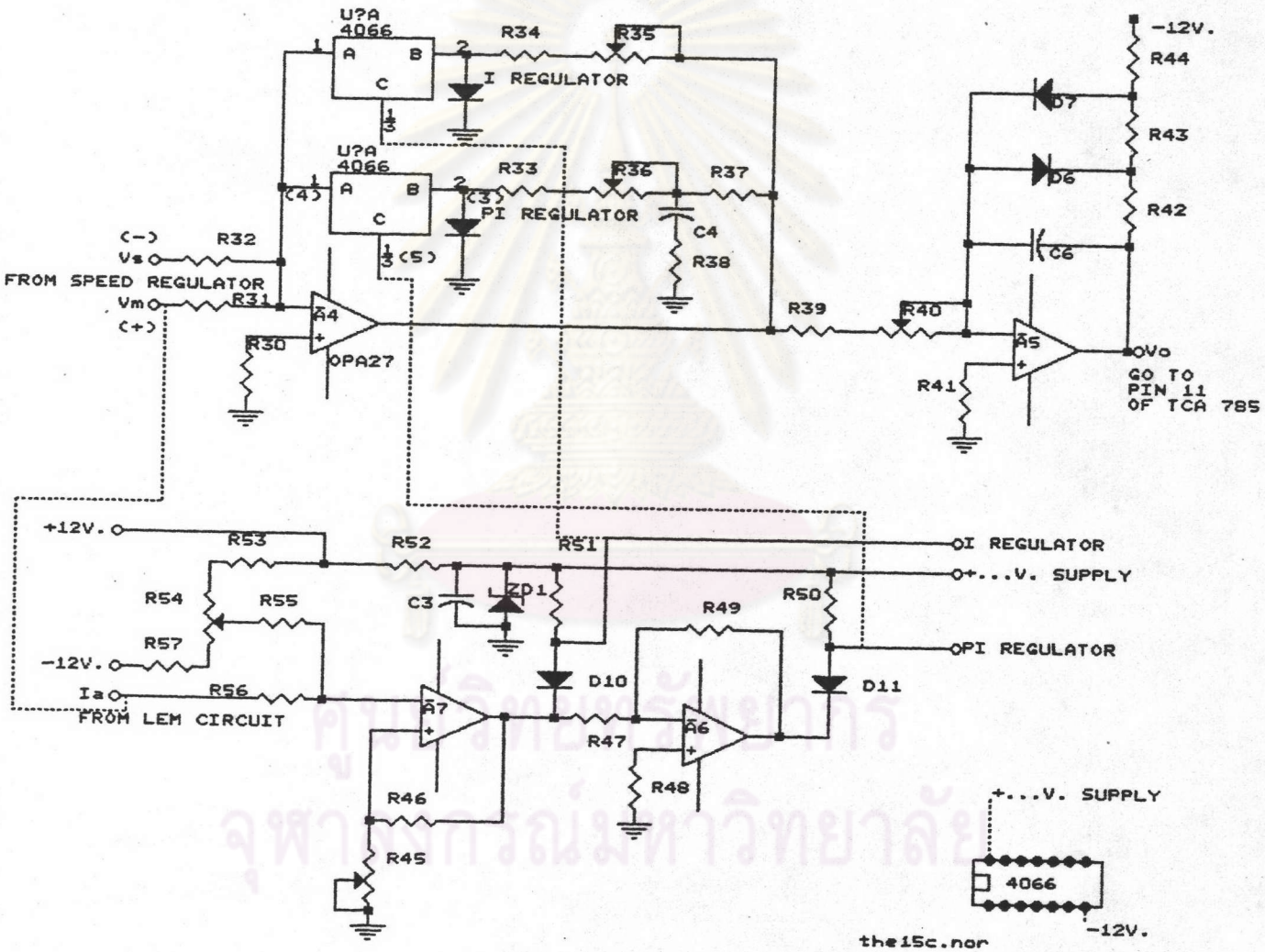
สำหรับวงจรคุมค่ากระแสจะใช้วงจรใหม่ ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างระหว่าง PI กับ I ได้ แสดงด้วยรูปที่ 5.11 ซึ่งนำมาเขียนใหม่เป็นรูปที่ 7.27 เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา ขอพิจารณาวงจรพื้นฐานตามรูปที่ 5.12 ในตอนแรกให้พิจารณาเมื่อวงจรมีโครงสร้างแบบ PIเลือกใช้ที่

$V_{oi} \simeq 1.2$ โวลต์ ที่พิกัด 440 โวลต์

$V_{si} \simeq 5.6$ โวลต์ ที่พิกัด 24 แอมป์ จากการตั้งค่า

$V_{mi} \simeq 4.8$ โวลต์ ที่พิกัด 24 แอมป์ จากการวัด

ที่ $T_{ii} = 114ms$, $T_{ni} = 14ms$




รูป 7.27

วงจรคุมค่าแบบปรับตัวเองสำหรับคุมค่ากระแส

ในที่นี้เลือก $C_4 = 1.5\mu F$ และ $R_{37} = 100k\Omega$

จากสมการ (5.28)

$$T_{n1} = [(R_{33}+ R_{36})/(R_{33}+ R_{36}+ R_{37})]R_{37}C_4$$

จะได้ $R_{33}+ R_{36} = 10k\Omega$

เลือกใช้ $R_{33} = 5.6k\Omega$, $R_{36} = 10k\Omega$ (ปรับค่าได้)

ดังนั้น $T_{n1}$ จะปรับค่าได้ระหว่าง 8ms ถึง 20ms

จากสมการที่ (5.27) การปรับค่า $R_{36}$ จะมีผลต่อ $T_{11}$ เราจึงให้ $(R_{33}+ R_{36}) << R_{37}$ นั่นเอง เพื่อลดผลกระทบอันนี้นั่นเอง แต่ในการออกแบบเราต้องเผื่อผลอันนี้ด้วย

$$T_{11} = [(R_{39}+ R_{40})/(R_{33}+ R_{36}+ R_{37})]R_{32}C_6(V_{o1}/V_{s1})$$

$$114x10^{-3} = [(R_{39}+ R_{40})/105.6x10^{3}] \times 210x10^{3} \times C_6(1.2/5.6)$$

$$0.26752 = (R_{39}+ R_{40})C_6$$

ใช้ $R_{32} = 210k\Omega$, $R_{31} = 180k\Omega$ เลือก $C_6 = 4.7\mu F$

จะได้ $R_{39}+ R_{40} = 56k\Omega$ เลือก $R_{39} = 25k\Omega$

$R_{40} = 100k\Omega$(ปรับค่าได้)

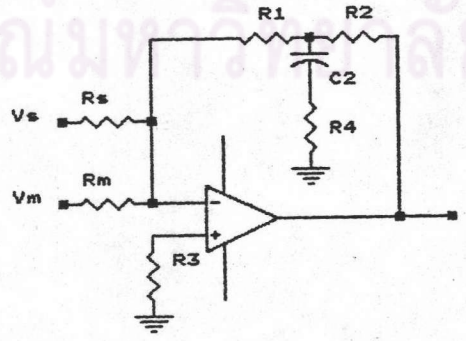
$R_{44}$, $R_{43}$, $R_{42}$ ใช้ค่าเดิมที่ได้จากวงจรคุมค่าธรรมดา คือ $R_{44} = 12k\Omega$

$R_{43} = 5.8k\Omega$

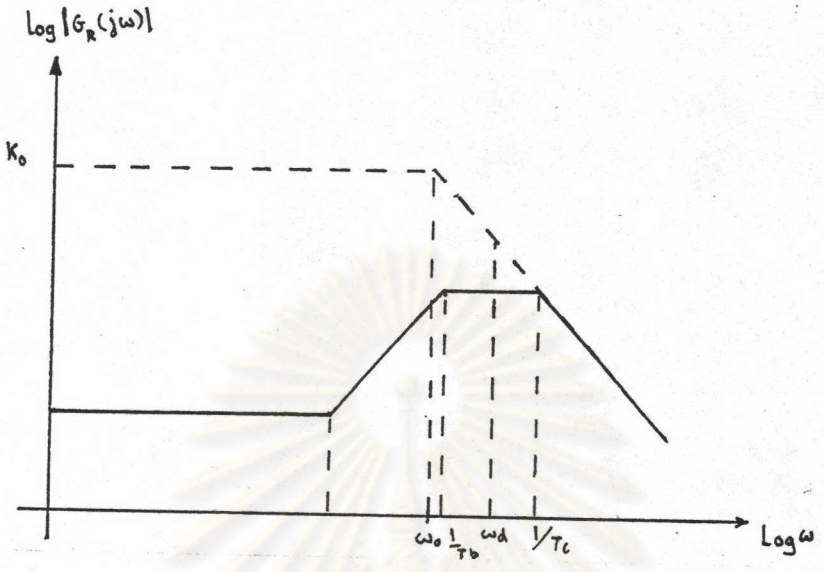
$R_{42} = 2.2k\Omega$

เนื่องจากว่า ออปแอมป์ในวงจรคุมค่าแบบปรับตัวเองนี้ไม่สามารถทำงานตามอุดมคติได้ วงจรจึงต้องมี $R_{38}$ ค่าเล็ก ๆ เพื่อทำให้เกิดเสถียรภาพขึ้น ขอให้พิจาณารูปที่ 7.28 วงจรจะผลตอบเชิงความถี่ตามรูปที่ 7.29

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 7.28 วงจรคุมค่าแบบ PD




รูปที่ 7.29

ผลตอบเชิงความถี่ของวงจรคุมค่าแบบ PD ซึ่งใช้ออปแอมป์ไม่อุดมคติ

ในย่านความถี่สูง หากไม่ได้ต่อ $R_{38}$ ผลของขั้ว $\omega_o$ (ความถี่ที่จุดตัด) ของออปแอมป์จะเป็นส่วนหนึ่งที่การดิฟเฟอเรนชิเอตสิ้นสุดลงที่ความถี่ $\omega_d$ อย่างไรก็ดี ถ้าไม่มีขั้วอื่นใดในฟังก์ชันโอนย้ายที่ความถี่ใกล้เคียงกับ $\omega_d$ วงจรคุมค่าก็มีเสถียรภาพที่ไม่สู้ดี ดังนั้นเราจึงนิยมต่อความต้านทานค่าเล็ก ๆ $R_{38}$ อนุกรมกับ $C_4$ ในรูปที่ 7.28 ซึ่งมีผลทำให้เกิดขั้วของฟังก์ชันโอนย้าย$G_R(s)$ ที่มีค่าเท่ากับ

$$1/T_b \simeq 1/R_{38}C_4$$

เมื่อต่อความต้านทาน $R_{38}$ ก็จะเกิดความถี่หักมุม $1/T_b$ ที่ความถี่สูงกว่า $1/T_b$ ผลตอบเชิงความถี่จะมีความลาดชันเท่ากับ Ø ไปจนถึงความถี่ $1/T_c$ ซึ่งที่ความถี่นี้ ผลของขั้ว $\omega_o$ ของ ออป-แอมป์ จะทำให้ผลตอบเชิงความถี่ลดลงด้วย ความลาดชันเท่ากับ -1 (ดูรูปที่ 7.29)

ฟังก์ชันโอนย้ายที่ให้กราฟของผลตอบเชิงความถี่ดังในรูปที่ 7.29 จะมีนิพจน์ดังนี้

$$G_R(s) = K_1(1+sT_n)/[(1+sT_b)(1+sT_c)]$$

ค่า $R_{3s}$ ที่ใช้ อาจได้มาจากการทดลองขณะดูผลตอบสนองเชิงความถี่ หรือ อาจได้จากการคำนวณก็ได้โดย

$$R_{3s} \geq \sqrt{(1+R_1/R_s)R_2/\Pi f_T^* C_2 - [1+(R_1/R_s)]R_2/A_u}$$

โดยที่ $A_u$ เป็นอัตราขยายของออปแอมป์ประมาณ 10,000(สำหรับ LF 374)

$f_T^*$ เป็นความถี่ช่วงกว้าง (Band width) 1MHz (สำหรับ LF 374)

ขนาดของ $R_{3s}$ ที่ได้จากการคำนวณนี้เป็นค่าโดยประมาณ เพื่อให้วงจรทำงานได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรเลือกออปแอมป์ที่ผ่านความถี่สูงได้มากที่สุดเท่าที่จะเลือกได้ เพื่อลดค่า $R_{3s}$ ที่ใช้นั่นเอง จากการคำนวณใช้ $R_{3s}$ ควรมีค่าสูงกว่า 140Ω ซึ่งเราควรใช้ 300Ω เมื่อวงจรทำการคุมค่าแบบ I จะมีค่าคงตัวเวลาตามสมการที่ (5.30) ถ้าต้องการ $T_{11}$ ใหม่นี้เท่ากับ $T_{11}$ เดิม ให้ใช้ $R_3 = R_1 + R_2 \simeq 56k\Omega + 100k\Omega$ (ปรับค่าได้)

จากการทดลองปรับค่า $R_3$ พบว่าหากใช้ที่ $T_{11}$ เดิม ระบบอาจยังขาดเสถียรภาพได้ เราจึงเพิ่มค่า $R_3$ ไปเรื่อย ปรับแต่งให้เหมาะสม ทั้งการสวิทช์เสถียรภาพของระบบ และเวลาในการตอบสนองต่างๆ เป็นไปได้ที่ $R_3$ จะมีค่าเป็นเมกกะโอห์มขึ้นไปได้

จากการทดลองพบว่า หากวงจร PD นี้ทำงานไม่สมบูรณ์ วงจรรวมซึ่งเป็นวงจร PI จะไม่สามารถทำงานได้ นั่นคือวงจร PD ที่เราต้องการ แต่ใช้งานได้แต่เป็น P เมื่อรวมกับวงจร I ก็จะได้แต่ I ไม่ใช่ PI ระบบจึงทำงานได้ไม่ดี เมื่อใช้งานขณะที่ วงจรรไม่สมบูรณ์ เราต้องพยายามปรับแต่งวงจรคุมค่าให้สามารถรักษาเสถียรภาพได้ตลอดย่านที่ใช้งาน ผลก็คือ การคุมค่า และผลตอบสนองต่อภาระทางกลไม่ดีเลย ขอลำดับปัญหาที่พบคือ ในตอนแรกเราออกแบบวงจร PD โดยใช้ออปแอมป์ เบอร์ LM348 ผลก็คือ ต้องใส่ $R_{3s}$ มีค่าประมาณ 1kΩ ขึ้นไป วงจร PD จึงมีเสถียรภาพ แต่วงจรทำงานได้แค่ P เท่านั้น (จากการวัดผลตอบสนองเชิงความถี่) เราจึ้งออกแบบใหม่ใช้ออปแอมป์เบอร์ LF 347 ต้องใส่ $R_{3s}$ มีค่าประมาณ 100 Ω ขึ้นไป วงจร PD ถึงมีเสถียรภาพวงจรทำงานดีขึ้นจากเดิมเล็กน้อย ครั้งสุดท้าย เราเลือก ออปแอมป์เบอร์ OPA27 ซึ่งเป็นชนิด Ultra-low noise precision operational amplifier มีช่วงกว้างของการตอบสนองความถี่ 5 MHz ผลที่ได้ใช้ $R_{3s}$ เพียง 30 W เท่านั้น นั่นคือ เราต้องพยายามทำให้วงจรในส่วนนี้เป็น PD ที่สมบูรณ์ ให้ได้ วงจรรวมจึงจะเป็น PI ตามที่เราต้องการ ผลจากการใช้ออปแอมป์ตัวนี้ ระบบสามารถทำงานได้ ณ จุดที่คำนวณจากเอกสารประกอบ(โดทม อารียา,2531)

เราใช้ CMOS เบอร์ 4066 เป็นสวิตช์ ดังนั้น เราจะต้องหาแหล่งจ่ายไฟไม่เกิน 15 โวลต์ ให้ในที่นี้ขาลบของไอซีต่อกับ -12 โวลต์ ขาบวกต่อกับแรงดันประมาณ 2.7V จากซีเนอร์ไดโอด ($ZD_1$) โดยมี $R_{52}$ (330Ω) เป็นตัวลดทอนแรงดัน ขณะที่วงจรฮิสเตอเรซิสทำงาน ภาวะลอจิก "1" แรงดันขาออกจะประมาณ -12 โวลต์ ออปแอมป์ $A_1$ ทำงานเป็นวงจรคุมค่าแบบฮิสเตอเรซิส ส่วนออปแอมป์ $A_2$ เป็นวงจรกลับเฟส วงจรคุมค่าแบบฮิสเตอเรซิสจะตรวจวัดสัญญาณจากอุปกรณ์วัดกระแส เพื่อดูว่ามีกระแสอาร์เมเจอร์ไหลหรือไม่ หากไม่มีกระแสอาร์เมเจอร์ไหลจะส่งสัญญาณลอจิก "1" ไปยังวงจรคุมค่าแบบปรับตัวเองเพื่อให้ทำงานแบบ I สัญญาณลอจิก "1" นี้จะผ่านวงจรกลับเฟส เพื่อเปลี่ยนสัญญาณลอจิก "0" ส่งไปวงจรคุมค่าแบบปรับตัวเอง เพื่อให้หยุดการทำงานแบบ PI ในกรณีตรงข้ามกัน หากมีกระแสอาร์เมเจอร์ไหล วงจรคุมค่าแบบปรับตัวเองจะทำงานแบบ PI หยุดการทำงานแบบ I

การออกแบบวงจรคุมค่าแบบฮิสเตอเรซิสจากรูปที่ 5.13

จากสมการ (5.35) $x_{ea} = 2[R_2/(R_1 + R_2)]x_{sat}$

ให้แรงดันอ้างอิง $V_n = 1$ โวลต์

$x_{sat} = 12$

เลือก $0 \leq R_{45} \leq 10k\Omega$

เลือกปรับ $0 \leq x_{eh} \leq 2.08$

นั่นคือ จะได้ $R_{46} = 240k\Omega$ โดยประมาณ

$x_{ea} = +1.043$

$x_{eb} = -1.043$

ให้ $R_{55} = 100k\Omega$, $R_{56} = 100k\Omega$

จาก $(V_s + V_m)/2 = V_-$

ในที่นี้เลือก $-4V \leq V_s \leq 4V$

นั่นคือ สามารถปรับ $V_m$ ให้แรงดันขาออกเปลี่ยนระดับได้ในช่วง -6 ถึง +6 โวลต์ ได้ขึ้นอยู่กับการปรับ $V_s$ นั่นเอง $R_{50}$ (22kΩ), $R_{51}$ (22kΩ) ใส่ไว้สำหรับจำกัดกระแสที่ผ่าน $D_{11}$(1N4148) และ $D_{10}$(1N4148) ตามลำดับ ในขณะเป็นลอจิก "0"

ออปแอมป์ $A_6$ ใช้เป็นวงจรกลับเฟส อัตราขยายเท่ากับหนึ่ง เลือก

$R_{47} = R_{49} = 100k\Omega$ และ $R_{48} = 51k\Omega$

<u>การออกแบบวงจรคุมค่าธรรมดา สำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแส</u>

สามเฟสควบคุมครึ่งเดียว

มีการคำนวณคล้ายกับการออกแบบวงจรคุมค่าธรรมดา สำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่ ในกรณีที่ใช้วงจรจุดชนวนที่ใช้ฟังก์ชันอ้างอิงรูปโคไซน์จะได้ $K_c = v_{do}/2 \simeq 514/(440x2) = 0.584$ เวลาประวิงที่ใช้ $T_c$ มีค่าเท่ากับ T/6 นั่นคือ $T_c$ มีค่าเป็น 2 เท่าของ $T_c$ ที่ใช้ในวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่ ผลก็คือ $T_{ii}$ ยังคงใช้ค่าเดียวกับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่ได้ ในทำนองเดียวกัน หากใช้วงจรจุดชนวนที่ใช้ฟังก์ชันอ้างอิงรูปฟันเลื่อย $K_c = -(v_{do}/2)\Pi \sin(k_i V_c)$ สังเกตได้ว่า จุดวิกฤตยังอยู่ที่มุมจุดชนวนเดียวกับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่ แต่แรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรเปลี่ยนไป โดยจะไปอยู่ที่แรงดันประมาณ $(1/2)V_{do}$ หรือ 257 โวลต์ นั่นเอง

กล่าวโดยสรุป วงจรคุมค่ากระแสยังคงใช้วงจรเดิมได้ แต่การปรับแต่งวงจรเพื่อหาจุดที่เหมาะสมควรไปอยู่ที่แรงดันขาออก 257 โวลต์ หรือ $\alpha = \Pi/2$ นั่นเอง ต่อมาเมื่อพิจารณาถึงค่า $T_{nn}$ และ $T_{in}$ ทั้งสองค่าขึ้นกับ $T_c$ ดังนั้นจากสมการ (6.119)

$$T_{nn} = 8T_c(1/\psi_{min})$$
$$= 8(T/6)(1/\psi_{min})$$
$$= 8(20 \times 10^{-3}/6)(1/0.878)$$
$$= 30.4ms = 2 \text{ เท่าของ } T_{nn}$$

ในวงจรคุมค่าสำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่

และจาก (6.104) $T_{in} = 32(T_c^2/T_m)(1/\psi_{min})$

$$T_{in} = 32(20 \times 10^{-3}/6)^2/(72.28 \times 10^{-3})(1/0.878)$$
$$= 5.6ms = 4 \text{ เท่าของ } T_{in}$$

ในวงจรคุมค่าสำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่

สรุปได้ว่า สำหรับวงจรคุมค่าธรรมดาที่ใช้ในวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมครึ่งเดียว

| | |
|---|---|
| $T_{ii} = 114ms$ | $1/T_{ii} = 8.77$ |
| $T_{ni} = 14ms$ | $1/T_{ni} = 71.4$ |

| | |
|---|---|
| $T_{in}$ = 5.6ms | $1/T_{in}$ = 178.6 |
| $T_{nn}$ = 30.4ms | $1/T_{nn}$ = 32.9 |

เนื่องจาก $V_{oi}$ = 1.8 โวลต์ ที่พิกัด 440 โวลต์

$V_{si}$ = 5.6 โวลต์ ที่พิกัด 24 แอมป์ จากการตั้งค่า

$V_{mi}$ = 4.8 โวลต์ ที่พิกัด 24 แอมป์ จากการวัด

ที่ $T_{ii}$ = 114ms, $T_{ni}$ = 14ms

สังเกตุได้ว่า เมื่อเทียบกับวงจรคุมค่าธรรมดาที่ใช้สำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่เดิม $V_{oi}$ เท่านั้นที่เปลี่ยน ในการปรับปรุงวงจรจึงปรับเฉพาะค่า $R_{10}$ และ $R_{11}$ เท่านั้น

$$R_{11}\ (\text{ใหม่}) = R_{11}(\text{เดิม})\ V_{oi}\ (\text{เดิม})/V_{oi}\ (\text{ใหม่})$$
$$= 180 \times 10^{3} \times (1.2/1.8)$$
$$= 120k\Omega$$

$$R_{10}\ (\text{ใหม่}) = R_{10}\ (\text{เดิม})\ V_{oi}\ (\text{เดิม})/V_{oi}\ (\text{ใหม่})$$
$$= 210 \times 10^{3} \times (1.2/1.8)$$
$$= 150k\Omega \quad \text{โดยประมาณ}$$

$$R_{7}\ (\text{ใหม่}) = R_{11}\ (\text{ใหม่})\ \text{ขนานกับ}\ R_{10}\ (\text{ใหม่})$$
$$= (R_{11}\ (\text{ใหม่}) \times R_{10}\ (\text{ใหม่}))/(R_{11}\ (\text{ใหม่}) + R_{10}\ (\text{ใหม่}))$$
$$= 68k\Omega$$

ในส่วนของการจำกัดค่าให้ $V_{11}$ อยู่ระหว่าง 1.5 โวลต์ ถึง 8 โวลต์

จากการคำนวณได้ค่า $R_4$ = 3kΩ, $R_5$ = 5kΩ, $R_6$ = 12kΩ โดยประมาณ

ส่วนค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุอื่น ๆ ยังคงใช้ค่าเดิมดังนี้

$R_1$ = 500Ω, $R_2$ = 1.5kΩ, $R_3$ = 1kΩ, $R_8$ = 2.2kΩ, $C_2$ = 4.7μF,

$R_9$ = 2kΩ

$$T_{nn} = (R_{19} + R_{18})C_1 = 30.4ms$$

เพื่อให้สามารถใช้ $R_{19}$, $R_{18}$ ใกล้เคียงกับค่าเดิม (ในวงจรคุมค่าความเร็วรอบสำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่) จึงเลือก $C_1$ ประมาณ 2 เท่า คือ 0.33μF

สำหรับ $T_{in} = \rho R_{21} C_1 (V_{on}/V_{sn})$

แต่ $C_1$ เป็น 2 เท่าของ $C_1$ เดิม

ดังนั้น $R_{21}$ ควรเป็น 2 เท่าของ $R_{21}$ เดิมด้วย

เลือก $R_{21}$ และ $R_{26}$ เท่ากับ $2 \times 51 \times 10^3 = 100k\Omega$

<u>การออกแบบวงจรคุมค่าปรับตัวเอง สำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมครึ่งเดียว</u>

ในการปรับแต่งวงจรนี้ ใช้หลักการเดียวกับวงจรคุมค่าปรับตัวเองสำหรับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่นั่นเอง วงจรคุมค่าความเร็วรอบปรับปรุงจากวงจรคุมค่าเดิมที่ใช้ในวงจรคุมค่าธรรมดาของวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมครึ่งเดียว วงจรคุมค่าแบบฮิสเตอเรซิสยังคงใช้วงจรคุมค่าเดิมที่ใช้ในวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่ วิธีปรับปรุงก็เช่นเดียวกับการปรับปรุงวงจรคุมค่ากระแสธรรมดาจากที่ใช้กับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมเต็มที่ มาใช้กับวงจรบริดจ์เรียงกระแสสามเฟสควบคุมครึ่งเดียว

ในการปรับแต่งวงจรคุมค่านี้ วงจรคุมค่าธรรมดาสามารถใช้งานได้เฉพาะที่ ขณะกระแสต่อเนื่องเท่านั้น แต่เมื่อใดก็ตามที่เข้าสู่ภาวะกระแสไหลไม่ต่อเนื่องระบบจะขาดเสถียรภาพ เมื่อวัดความเร็วรอบพบว่ามอเตอร์จะแกว่ง ซึ่งการแกว่งนี้ในบางครั้งจะยิ่งมากขึ้นหรือน้อยลงได้ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับชดเชยผลอันนี้ นั่นคือ ปรับให้ $T_{11}$ มากขึ้น $T_{n1}$ น้อยลงหรืออาจปรับ $T_{nn}$ น้อยลง $T_{1n}$ มากขึ้นก็ได้ เพื่อให้เกิดเสถียรภาพ แต่ก็ไม่สามารถระบุว่าจุดไหนเป็นจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองพบว่า เปอร์เซนต์ของการคุมค่า อาจมากกว่า 1% ที่พิกัด เวลาตอบสนองต่อภาวะทางกลอาจนานกว่า 2 วินาทีได้ ความแม่นยำ สถิตและความแม่นยำพลวัต ไม่ดีนัก กล่าวคือมีช่วงความเร็วรอบขึ้นลงเมื่อภาระทางกลเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 80 ถึง 130 รอบ/นาที ขณะที่ใช้งานโดยใช้วงจรคุมค่าแบบปรับตัวเองเพียง 2-3 รอบ/นาที

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นนี้ เป็นการออกแบบวงจรคุมค่าสำหรับใช้กับวงจรจุดชนวนที่ใช้ฟังก์ชันฟันเลื่อยอ้างอิง ถ้าเราจะหาวงจรคุมค่าสำหรับใช้กับวงจรจุดชนวนที่ใช้ฟังก์ชันโคไซน์อ้างอิงก็สามารถคำนวณหาได้โดยวิธีการและหลักการเดียวกัน จึงไม่ขอแสดงตัวอย่างในการคำนวณหาอีก