บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

วงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงที่สร้างขึ้นที่มีกำลังออกชั่วครู่สูงสุด 2 กิโลวัตต์ และกำลังออกอย่างต่อเนื่องสูงสุดเท่ากับ 1 กิโลวัตต์ สามารถนำไปขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงขนาด 1 กิโลวัตต์ (100 โวลต์ 10 แอมแปร์) ที่มีการต่อวงจรสนามกระตุ้นแบบแยกโดยควบคุมที่วงจรอาร์เมเจอร์ ซึ่งสามารถควบคุมได้ทั้งแรงดันและกระแสอาร์เมเจอร์ รวมทั้งทิศทางของกระแสและแรงดันอาร์เมเจอร์ด้วย นอกจากนี้แรงดันตั้งค่าของกระแสและแรงดันอาร์เมเจอร์สามารถรับได้จากทั้งภายในและภายนอกวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง วงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงที่สร้างขึ้นประกอบด้วยส่วนต่างๆที่สำคัญ และมีคุณสมบัติดังนี้

6.1 ภาคกำลัง

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลังและวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลังทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟตรงขนาดประมาณ 135 โวลต์ จากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เพื่อป้อนแก่วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง โดยทำการลดขนาดแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ เป็น 110 โวลต์ โดยหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิรตซ์ แล้วแปลงเป็นไฟตรงด้วยวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ จากนั้นทำการกรองแรงดันไฟตรงให้เรียบขึ้นด้วยตัวเก็บประจุเพื่อให้มีการกระเพื่อมของแรงดันประมาณ 10 เปอร์เซนต์ นอกจากนี้แหล่งจ่ายไฟตรงยังมีวงจรป้องกันและควบคุมการปิดเปิดวงจรด้วย โดยในกรณีที่มีความผิดปกติเกิดขึ้นกับวงจร เช่น เมื่อแรงดันไฟตรงที่จ่ายให้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง มีค่าสูงหรือต่ำกว่าที่กำหนดไว้ (อยู่ในช่วง 120-170 โวลต์) วงจรป้องกันแรงดันเกิน หรือวงจรป้องกันแรงดันต่ำเกินจะส่งสัญญาณไปหยุดการทำงานของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง และตัดไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้าของแหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลังด้วย เมื่อกระแสที่จ่ายให้แก่วงจร

แปลงผันไฟตรง-ไฟตรงมีค่ามากกว่าพิกัดที่ตั้งไว้ (23 แอมแปร์) อันอาจเกิดจากวงจรจำกัดกระแสเสียหายหรือการลัดวงจร วงจรป้องกันกระแสเกินก็จะส่งสัญญาณให้เกิดผลเช่นเดียวกับเมื่อวงจรป้องกันแรงดันเกินทำงาน ส่วนกรณีที่แรงดันที่จ่ายให้แก่วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงมีค่าสูงกว่าที่กำหนดไว้เนื่องจากการได้รับพลังงานคืนจากมอเตอร์ วงจรดายประจุจะทำการลดแรงดันที่สูงเกินในกรณีนี้ก่อนที่วงจรป้องกันแรงดันเกินจะทำงาน สำหรับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงทำหน้าที่การปรับระดับแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลังให้มีขนาดและชั้วที่เหมาะสมตามที่ภาคควบคุมกำหนด วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงที่ใช้เป็น วงจรบริดจ์ ที่มีวงจรกรอง LC แบบผ่านต่ำ โดยใช้ POWER MOSFET เป็นสวิตช์หลัก วงจรดังกล่าวสามารถทำให้พลังงานสามารถไหลได้ 2 ทิศทางและมีแรงดันออกได้ 2 ชั้ว การควบคุมลำดับการทำงานของสวิตช์หลักจะเป็นแบบชั้วเดียวจำกัด (limited unipolar) ในสภาวะปกติ เพื่อเป็นการลดการกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำโดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของตัวเหนี่ยวนำและความถี่ของการสวิตช์ แต่เมื่อต้องการจำกัดกระแสออกเมื่อการจำกัดกระแสออกโดยการควบคุมลำดับการทำงานของสวิตช์หลักแบบ limited unipolar ไม่สามารถจำกัดกระแสออกได้จะมีการควบคุมลำดับการทำงานของสวิตช์หลักเป็นแบบ bipolar จากการควบคุมลำดับการทำงานของสวิตช์ดังกล่าว ทำให้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงมีลักษณะการทำงานเหมือนวงจรทอนระดับ

6.2 ภาคควบคุม

การควบคุมจังหวะการทำงานของสวิตช์หลักได้เลือกการควบคุมโดยการกำหนดค่าสูงสุดของกระแสโดยมีความถี่ในการสวิตช์คงที่ (current programmed mode) ได้มีการวิเคราะห์หาวงจรสมมูลแบบเชิงเส้นสำหรับสัญญาณขนาดเล็กและฟังก์ชันโอนย้ายของวงจรทอนระดับ รวมทั้งวิเคราะห์หาค่าอิมพีแดนซ์ที่สมมูลกับมอเตอร์กระแสตรงพร้อมโหลด จากการวิเคราะห์ทั้งสองทำให้สามารถคำนวณหาฟังก์ชันโอนย้ายของระบบได้โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Mathcad ทำให้สามารถออกแบบวงจรคุมค่าแรงดันออกและวงจรคุมค่ากระแสออก เพื่อให้สามารถควบคุมแรงดันออกและกระแสออก

ได้อย่างมีเสถียรภาพ เมื่อทำงานเป็นแหล่งจ่ายแรงดันและแหล่งจ่ายกระแสตามลำดับ เมื่อได้กำหนดบล็อกไดอะแกรมและออกแบบส่วนต่างๆของวงจรอยายเซอร์โวกระแสตรงแล้ว ได้ทำการจำลองการทำงานของวงจรที่ออกแบบไว้บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป TUTSIM เพื่อศึกษาพฤติกรรมของวงจรอยายเซอร์โวกระแสตรงเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงวงจรที่ได้ออกแบบไว้ในเบื้องต้น

6.3 คุณสมบัติของวงจรอยายเซอร์โวกระแสตรงที่สร้างขึ้น

ได้มีการทดสอบและวัดคุณสมบัติของวงจรอยายเซอร์โวกระแสตรงที่ได้สร้างตามการออกแบบรวมทั้งที่ได้มีการปรับปรุงเมื่อได้ทำการจำลองการทำงานของวงจรอยายเซอร์โวกระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์แล้วซึ่งอาจจะสรุปผลได้ดังนี้

6.3.1 คุณสมบัติสถานะอยู่ตัว วงจรอยายเซอร์โวกระแสตรงมีประสิทธิภาพสูงสุดที่แรงดันออก 100 โวลต์ กระแสออก 10 แอมแปร์ เท่ากับ 86 เปอร์เซ็นต์ การคงค่าแรงดันเนื่องจากโหลดมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.7 เปอร์เซ็นต์ ที่แรงดันออก 100 โวลต์ การคงค่ากระแสเนื่องจากโหลดต่ำสุดเท่ากับ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ที่กระแสออก 10 แอมแปร์ ส่วนการคงค่าเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าสลับด้านเข้าของวงจรอยายเซอร์โวกระแสตรงมีน้อยจนไม่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียด 0.1 แอมแปร์ และ 0.01 โวลต์และความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตั้งค่ากับแรงดันออกและกระแสออกเป็นแบบเชิงเส้น

6.3.2 คุณสมบัติพลวัต เมื่อป้อนแรงดันตั้งค่าแบบขั้นจะเห็นได้ว่าวงจรอยายเซอร์โวกระแสตรงสามารถจ่ายโหลดภาวะชั่วขณะได้สูงสุด 2 กิโลวัตต์ ที่ 100 โวลต์ 20 แอมแปร์ เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองการทำงานของวงจรอยายเซอร์โวกระแสตรงบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป TUTSIM กับผลการทดสอบ

เมื่อได้รับแรงดันตั้งค่าแบบขั้น จะเห็นได้ว่า การทำงานในภาคแรงดัน แรงดันออกจะมีเวลาขึ้นเท่ากับ 0.6 มิลลิวินาที และสามารถหยุดหมุนมอเตอร์ได้ภายในเวลา 270 มิลลิวินาที จากการจำลองการทำงาน แรงดันออกจะมี

เวลาขึ้นเท่ากับ 0.4 มิลลิวินาทีและสามารถหยุดหมุนมอเตอร์ได้ภายในเวลา 150 มิลลิวินาที ในภาคกระแส กระแสออกจะมีเวลาขึ้นเท่ากับ 5 มิลลิวินาที และสามารถหยุดหมุนมอเตอร์ได้ภายในเวลา 2.5 วินาที จากการจำลองการทำงาน กระแสออกจะมีเวลาขึ้นเท่ากับ 2 มิลลิวินาทีและสามารถหยุดหมุนมอเตอร์ภายในเวลา 1.5 วินาที

ส่วนในกรณีที่มีการเปลี่ยนโหลดแบบขั้นจะได้ว่า ในภาคแรงดัน เวลาขึ้น (rise time) ของกระแสในตัวเหนี่ยวนำและกระแสออกมีค่าประมาณ 130 มิลลิวินาที เมื่อมีการเพิ่มโหลดแบบขั้น ส่วนเมื่อมีการลดโหลดแบบขั้น เวลาลง (fall time) ของกระแสในตัวเหนี่ยวนำและกระแสออกมีค่าประมาณ 130 มิลลิวินาที จากการจำลองการทำงาน เวลาขึ้น (rise time) ของกระแสในตัวเหนี่ยวนำและกระแสออกมีค่าประมาณ 80 มิลลิวินาที เมื่อมีการเพิ่มโหลดแบบขั้น ส่วนเมื่อมีการลดโหลดแบบขั้นเวลาลง (fall time) ของกระแสในตัวเหนี่ยวนำและกระแสออกมีค่าประมาณ 80 มิลลิวินาที ในภาคกระแส เวลาขึ้น (rise time) ของแรงดันออกและความเร็วรอบมอเตอร์มีค่าประมาณ 1.8 นาที เมื่อมีการเพิ่มโหลดแบบขั้น ส่วนเมื่อมีการลดโหลดแบบขั้น เวลาลง (falltime) ของแรงดันออกและความเร็วรอบมอเตอร์มีค่าประมาณ 1.3 นาที จากการจำลองการทำงานเวลาขึ้น (rise time) ของแรงดันออกและความเร็วรอบมอเตอร์มีค่าประมาณ 1.5 วินาทีเมื่อมีการเพิ่มโหลดแบบขั้น ส่วนเมื่อมีการลดโหลดแบบขั้น เวลาลง (fall time) ของแรงดันออกและความเร็วรอบมอเตอร์มีค่าประมาณ 0.7 วินาที

ในภาวะที่มีการจำกัดกระแสเมื่อวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงได้รับแรงดันตั้งค่าแบบขั้น วงจรควบคุมจะเปลี่ยนการควบคุมลำดับการทำงานของสวิตช์หลักเป็นแบบ bipolar เพื่อจำกัดกระแสออก ซึ่งจะสังเกตได้จากการที่กระแสในตัวเหนี่ยวนำจะมีการกระเพื่อมมากขึ้นโดยประมาณ 2 เท่าจากภาวะปกติ

6.3.3 <u>คุณสมบัติเชิงความถี่</u> จากการทดสอบวัดฟังก์ชันโอนย้ายของระบบที่วิจัยกระทำ เท่ากับ 0.8 คุณสมบัติเชิงความถี่ที่วัดได้จะมีลักษณะเหมือนกับที่คำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Mathcad แต่มีบางจุดที่แตกต่างกันบ้าง เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณได้ละเลยตัวแปรบางตัวไปบ้าง

ส่วนแถบความถี่ของวงรอบปิดของวงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง เมื่อทำงานในภาคแรงดันและภาคกระแสมีค่า 1.5 กิโลเฮิรตซ์ และ 400 เฮิรตซ์ ตามลำดับ จากการคำนวณได้แถบความถี่ 3 กิโลเฮิรตซ์ และ 450 เฮิรตซ์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในภาคแรงดันมีแถบกว้างทางความถี่มากกว่า 500 เฮิรตซ์ ตามต้องการ

ข้อเสนอแนะ

1. วงรอบควบคุมแรงดันออกหรือกระแสออกสามารถเปลี่ยนเป็นวงรอบการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ แต่ต้องเปลี่ยนแปลงในส่วนของสัญญาณป้อนกลับ เป็น การป้อนกลับความเร็ว และเปลี่ยนฟังก์ชันโอนย้ายของวงจรคุมค่าแรงดันออกหรือกระแสออกใหม่

2. แหล่งจ่ายไฟตรงยังใช้หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่ต่ำ (50 เฮิรตซ์) เพื่อลดขนาดแรงดันและแยกโดด แหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลังจากสาย จึงทำให้วงจรขยายเซอร์โวกระแสตรงมีน้ำหนักมาก ถ้าต้องการลดน้ำหนักลงก็ควรใช้แหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลังแบบสวิตช์และแยกโดดด้วยหม้อแปลงความถี่สูง

3. วงจรขยายเซอร์โวกระแสตรง มีจำนวนแผ่นวงจรพิมพ์มาก ทำให้ด้วยต้องต่อโยงสายมากและเชื่อมสายโดย connector ทำให้ยุ่งยากแก่การสร้างและซ่อม การพัฒนาต่อไปควรลดจำนวนแผ่นวงจรพิมพ์ลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย