บทที่ 6

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

แหล่งจ่ายไฟตรงที่ได้จากการขนานวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่สร้างขึ้นเป็นการขนานวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง 3 ชุด ควบคุมแรงดันโดยวงจรคุมค่าแรงดันออกของระบบจากภาคควบคุมรวม มีกำลังออกสูงสุด 1.8 กิโลวัตต์ แรงดันออกปรับค่าได้ระหว่าง 24-30 โวลต์ กระแสออกสูงสุด 60 แอมแปร์ ในสภาวะการทำงานปกติ มีการคงค่าแรงดันออก 0.4 เปอร์เซ็นต์ ที่แรงดันออก 30 โวลต์ การแบ่งจ่ายกระแสมีความแตกต่างสูงสุดระหว่างชุดวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ประมาณ 0.4 แอมแปร์ ซึ่งแหล่งจ่ายดังกล่าวสามารถทนภาวะผิดปกติที่มีการลัดวงจรด้านออกได้ พร้อมทั้งมีวงจรป้องกันกระแสเกินในแต่ละชุดวงจร ถ้าชุดวงจรใดไม่ทำงาน แหล่งจ่ายไฟตรงก็ยังสามารถจ่ายกำลังออกได้อยู่ โดยแหล่งจ่ายไฟตรงที่ได้จากการขนานวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่สร้างขึ้นนี้ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญ และมีคุณสมบัติดังนี้

6.1 ชุดวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง

แหล่งจ่ายไฟตรงแบบสวิตช์ โดยทั่วไปประกอบด้วยวงจร 2 ส่วน คือวงจรภาคกำลังและวงจรภาคควบคุม

6.1.1 วงจรภาคกำลัง

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลัง และวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลังทำหน้าที่ สร้างแรงดันไฟตรงขนาดประมาณ 300 โวลต์ จากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เพื่อป้อนให้กับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง โดยการแปลงผันไฟตรงด้วยวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ จากนั้นทำการกรองแรงดันไฟตรงให้เรียบขึ้นด้วยตัวเก็บประจุ เพื่อให้มีการกระเพื่อมของแรงดันประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยมีวงจรป้องกันกระแสกระชากในตอนเปิดเครื่อง สำหรับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับภาคกำลัง ให้มีขนาดที่เหมาะสมตามที่ภาคควบคุมกำหนด วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่ใช้เป็นวงจรบริดจ์แบบไม่สมมาตรที่มีวงจรกรอง LC แบบผ่านต่ำด้านขาออก และใช้ POWER MOSFETs เป็นสวิตช์กำลังลักษณะการทำงานของ วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง นี้ เหมือนวงจรทอนระดับ โดยมีความถี่การทำงานเท่ากับ 45 กิโลเฮิรตซ์

6.1.2 วงจรภาคควบคุม

การควบคุมจังหวะการทำงานของสวิตช์หลัก ใช้การควบคุมโดยกำหนดค่าสูงสุดของกระแส โดยมีความถี่การสวิตช์คงที่ (current-programmed mode) ในภาวะการทำงานปกติ และใช้การควบคุมแบบ (current-programmed mode) ร่วมกับการควบคุมแบบ hysteretic control ในภาวะลัดวงจร ได้มีการวิเคราะห์หาวงจรสมมูลแบบเชิงเส้นสำหรับสัญญาณขนาดเล็ก และฟังก์ชันโอนย้ายของวงจรทอนระดับ จากการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้ สามารถคำนวณหาฟังก์ชันโอนย้าย ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ได้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Mathcad [Math CAD, 1981] เมื่อให้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงทำงานเป็นแหล่งจ่ายกระแส และได้กำหนดบล็อกไดอะแกรมและออกแบบส่วนต่าง ๆ ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแล้วได้จำลองการทำงานของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่ออกแบบไว้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป TUTSIM [TUTSIM, 1986] เพื่อศึกษาพฤติกรรมของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงวงจรที่ได้ออกแบบไว้ในเบื้องต้น

6.2 ภาคควบคุมรวม

การควบคุมของระบบที่ได้จากการขนานวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง นี้ ใช้หลักการควบคุมกระแส (current mode control) คือ ชุดวงจรทำหน้าที่เหมือนแหล่งจ่ายกระแสควบคุมด้วยแรงดัน (voltage-controlled current source) สัญญาณที่ใช้ในการควบคุมกระแสออกของชุดวงจรทุกชุด จะเป็นสัญญาณร่วมที่ได้จากวงจรคุมค่าแรงดันออกของระบบ (system voltage regulator) การออกแบบวงจรคุมค่าแรงดันออกของระบบนี้ อาศัยการคำนวณฟังก์ชันโอนย้ายของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ในการออกแบบ เพื่อให้สามารถควบคุมแรงดันออกได้อย่างมีเสถียรภาพ เมื่อทำงานเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน เมื่อได้กำหนดบล็อกไดอะแกรม และออกแบบส่วนต่าง ๆ ในภาคควบคุมรวม ร่วมกับบล็อกไดอะแกรมที่ได้จากวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แล้ว ทำการจำลองการทำงานของระบบ ที่ได้จากการขนานวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่ได้ออกแบบไว้ด้วยคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป TUTSIM [TUTSIM, 1986] เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบที่ได้จากการขนาน เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบที่ได้จากการขนานที่ออกแบบไว้เบื้องต้น

6.3 คุณสมบัติของชุดวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่สร้างขึ้น

ได้มีการทดสอบ และวัดคุณสมบัติของชุดวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่ได้สร้างตามการออกแบบ รวมทั้งที่ได้มีการปรับปรุง เมื่อได้ทำการจำลองการทำงานของชุดวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ด้วยคอมพิวเตอร์แล้ว ซึ่งอาจสรุปได้ดังนี้

6.3.1 คุณสมบัติสถานะอยู่ตัว

ชุดวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง มีประสิทธิภาพสูงสุดที่กระแสออก 14 แอมแปร์ แรงดันออก 30 โวลต์ เท่ากับ 88 % ความเป็นเชิงเส้นจะเป็นเชิงเส้นเมื่อ การทำงานของชุดวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง อยู่ในภาวะกระแสต่อเนื่อง กระแสออกเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขาเข้า +10 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 0.2 แอมแปร์ และกระแสออกลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันขาเข้า -10 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 0.3 แอมแปร์ สำหรับทุกค่าแรงดันคำสั่ง การลดลงของกระแสออกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโหลดจากแรงดันออก 0 โวลต์ เป็น 30 โวลต์ เท่ากับ 4.8 แอมแปร์ การกระเพื่อมของกระแสในตัวเหนี่ยวนำ และการกระเพื่อมของแรงดันออกเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันออกมากขึ้น และการกระเพื่อมของกระแสออกที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ เพิ่มขึ้นเมื่อกำลังออกมากขึ้น

6.3.2 คุณสมบัติเชิงความถี่

จากการทดสอบวัดผลตอบเชิงความถี่ของแรงดันควบคุมกระแส ($\hat{v}_c$) กับแรงดันออก ($\hat{v}_o$) ที่วัฏจักรงาน 0.3 ผลตอบเชิงความถี่ที่วัดได้จะมีลักษณะคล้ายกับที่ได้จากการคำนวณหาผลตอบทางทฤษฎี แต่มีบางจุดที่แตกต่างกันบ้าง เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ ได้ละเลยตัวแปรบางตัวไปบ้าง

6.3.3 ผลตอบสนองพลวัต

เมื่อป้อนแรงดันคำสั่งกระแสแบบขั้น และเปลี่ยนโหลดแบบขั้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองการทำงาน ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ในภาคกระแสด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป TUTSIM [TUTSIM, 1986] กับผลการทดลอง จะได้ว่า

เมื่อได้รับแรงดันคำสั่งกระแสแบบขั้นจาก 0 โวลต์ เป็น 10 โวลต์ กระแสออกมีเวลาขึ้นประมาณ 1.8 มิลลิวินาที แรงดันออกมีเวลาขึ้นประมาณ 1.5 มิลลิวินาที และเมื่อได้รับแรงดันคำสั่งกระแสแบบขั้นจาก 10 โวลต์ เป็น 0 โวลต์ กระแสออกมีเวลาลงประมาณ 2.3 มิลลิวินาที แรงดันออกมีเวลาลงประมาณ 2 มิลลิวินาที จากการจำลอง กระแสออกมีเวลาลงประมาณ 1.8 มิลลิวินาที แรงดันออกมีเวลาลงเท่ากับ 1.5 มิลลิวินาที

ส่วนกรณีการเปลี่ยนโหลดแบบขั้นจากแรงดันออก 0 โวลต์ เป็น 30 โวลต์ กระแสออกมีเวลาขึ้นประมาณ 2.5 มิลลิวินาที แรงดันออกมีเวลาขึ้นประมาณ 2 มิลลิวินาที จากการจำลองกระแสออกมีเวลาขึ้นประมาณ 2 มิลลิวินาที แรงดันออกมีเวลาขึ้นประมาณ 1.4 มิลลิวินาที

6.4 คุณสมบัติของระบบที่ได้จากการขนานชุดวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง ที่สร้างขึ้น

ได้มีการทดสอบ และวัดคุณสมบัติของระบบการขนานที่ได้สร้างขึ้น ตามการออกแบบรวมทั้งที่ได้มีการปรับปรุงเมื่อได้ทำการจำลองการทำงานของระบบการขนาน ด้วยคอมพิวเตอร์แล้ว ซึ่งอาจสรุปได้ดังนี้

6.4.1 คุณสมบัติสถานะอยู่ตัว

ระบบที่ได้จากการขนานจะมีการ แบ่งจ่ายกระแสเท่ากันที่กระแสออกของระบบสูง ตามที่ได้ตั้งค่าไว้ แต่มีความแตกต่างสูงเมื่อกระแสออกของระบบต่ำ การคงค่าแรงดันเนื่องจากการเปลี่ยนแรงดันขาเข้า +/-10 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียด 0.1 โวลต์ ได้ และการคงค่าแรงดันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโหลดจาก 0 เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.12 เปอร์เซ็นต์ หรือการลดลงของแรงดันออกมีค่าเท่ากับ 0.12 โวลต์ สำหรับทุกค่าแรงดันออก

6.4.2 คุณสมบัติเชิงความถี่

ผลตอบเชิงความถี่สำหรับสัญญาณขนาดเล็ก ของอัตราขยายวงรอบแรงดัน ($\hat{v}_f/\hat{v}_{error}$) ไม่สามารถวัดได้ และผลตอบเชิงความถี่สำหรับสัญญาณขนาดเล็กของอัตราขยายวงรอบปิด ($\hat{v}_o/\hat{v}_r$) ที่วัฏจักรงาน 0.3 ผลตอบเชิงความถี่ที่วัดได้จะมีลักษณะคล้ายกับที่ได้จากการคำนวณหาผลตอบทางทฤษฎี แต่มีบางจุดที่แตกต่างกันบ้างเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ ได้ละเลยตัวแปรบางตัวไปบ้าง

6.4.3 ผลตอบสนองพลวัต

เมื่อป้อนแรงดันตั้งค่าแบบขั้น และเปลี่ยนโหมดแบบขั้น ทั้งกรณีการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองการทำงานของระบบที่ได้จากการขนานในภาคแรงดัน ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป TUTSIM [TUTSIM, 1986] กับผลการทดลองจะได้ว่า

เมื่อได้รับแรงดันตั้งค่าแบบขั้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็ก จาก 5.7 โวลต์ เป็น 5.8 โวลต์ เวลาปรับตัวของแรงดันออกประมาณ 300 ไมโครวินาที จากการจำลอง เวลาปรับตัวของแรงดันออกประมาณ 200 ไมโครวินาที และเมื่อได้รับแรงดันตั้งค่าแบบขั้นจาก 5.8 โวลต์ เป็น 5.7 โวลต์ เวลาปรับตัวของแรงดันออกประมาณ 400 ไมโครวินาที จากการจำลอง เวลาปรับตัวของแรงดันออกประมาณ 300 ไมโครวินาที

ส่วนกรณี เมื่อได้รับการเปลี่ยนโหลดแบบขั้นสำหรับการเปลี่ยนขนาดเล็ก จากกระแสออก 18 แอมแปร์ เป็น 30 แอมแปร์ จากผลการทดลอง และจากการจำลอง มีเวลาปรับตัวของแรงดันออกประมาณ 1.5 มิลลิวินาที และเมื่อเปลี่ยนกระแสออกจาก 30 แอมแปร์

เป็น 18 แอมแปร์ จากผลการทดลอง และจากการจำลองมีเวลาปรับตัวประมาณ 2 มิลลิวินาที

เมื่อได้รับแรงดันตั้งค่าแบบขั้นสำหรับการเปลี่ยนขนาดใหญ่ จาก 0 โวลต์ เป็น 5.8 โวลต์ เวลาขึ้นของกระแสออกรวมประมาณ 5 มิลลิวินาที เวลาขึ้นของแรงดันออกประมาณ 1 มิลลิวินาที จากการจำลอง เวลาขึ้นของกระแสออกรวมประมาณ 4.5 มิลลิวินาที เวลาขึ้นของแรงดันออกประมาณ 1 มิลลิวินาที และเมื่อได้รับแรงดันตั้งค่าจาก 5.8 โวลต์ เป็น 0 โวลต์ เวลาลงของกระแสออกรวมประมาณ 5 มิลลิวินาที เวลาลงของแรงดันออกประมาณ 2 มิลลิวินาที จากการจำลองเวลาลงของกระแสออกประมาณ 4.5 มิลลิวินาที และเวลาลงของแรงดันออกประมาณ 1.6 มิลลิวินาที

ส่วนกรณี เมื่อได้รับการเปลี่ยนโหลดแบบขั้น สำหรับการเปลี่ยนขนาดใหญ่ จากกระแสออก 0 แอมแปร์ เป็น 45 แอมแปร์ เวลาขึ้นของกระแสออกรวมประมาณ 6.4 มิลลิวินาที เวลาขึ้นของกระแสในตัวเหนี่ยวนำประมาณ 2 มิลลิวินาที และเวลาปรับตัวของแรงดันออกประมาณ 4 มิลลิวินาที จากการจำลอง เวลาขึ้นของกระแสออกรวมประมาณ 4 มิลลิวินาที เวลาขึ้นของกระแสในตัวเหนี่ยวนำประมาณ 2 มิลลิวินาที และเวลาปรับตัวของแรงดันประมาณ 4 มิลลิวินาที และเมื่อเปลี่ยนกระแสออกจาก 45 เป็น 0 แอมแปร์ เวลาปรับตัวของแรงดันออกประมาณ 0.24 วินาที จากการจำลอง เวลาปรับตัวของแรงดันออกประมาณ 0.22 วินาที

6.5 ข้อเสนอแนะ

1. วงรอบควบคุมแรงดันออกของระบบการขนาน สามารถเปลี่ยนเป็นวงรอบควบคุมกระแส แต่ต้องเปลี่ยนแปลงในส่วนของสัญญาณป้อนกลับเป็นการป้อนกลับกระแส และเปลี่ยนฟังก์ชันโอนย้ายของวงจรคุมค่าแรงดันออกเป็นกระแสออก

2. เนื่องจากการทำงานในภาวะลัดวงจรเป็นแบบ random และมีกระแสไหลในสวิตช์ค่อนข้างสูง ทำให้การทำงานของวงจรป้องกันกระแสเกินจะเกิดขึ้นบ่อย ถ้าต้องการให้วงจรป้องกันกระแสเกินทำงานเฉพาะในภาวะผิดปกติเท่านั้น คือ ภาวะหม้อแปลงอิ่มตัว หรือมีการลัดวงจรระหว่างรอบของหม้อแปลง ให้สูงเพียงพอที่จะทำให้วงจรป้องกันกระแสเกินไม่ทำงานเมื่อลัดวงจร โดยไม่ทำให้สวิตช์กำลังเสียหาย จำเป็นต้องเพิ่มขนาดของสวิตช์กำลังให้ใหญ่ขึ้น เพื่อที่สามารถตั้งค่าการป้องกันกระแสเกินให้สูงได้