

## บทที่ 8

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 8.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเสนอวิธีออกแบบวงจรเชิงผสมแบบอสมวารที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดปรับมาตราส่วนได้เพื่อให้มีความสามารถในการทนต่อความแปรปรวนความหน่วงที่อัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดที่ต้องการ

จากการศึกษาข้อกำหนดในการออกแบบวงจรที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดปรับมาตราส่วนได้ พบว่า เมื่อการประมาณค่าความหน่วงในการออกแบบวงจรระดับเกิดมีความคลาดเคลื่อนจากค่าความหน่วงจริงในวงจรระดับเล็เกอทีในขอบเขตอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุด(K) วงจรเชิงผสมแบบอสมวารสามารถออกแบบได้โดยแบ่งวงจรเป็นสองส่วน คือ ส่วนวงจรรางคู่เป็นส่วนทำงานฟังก์ชันตรรกะ และส่วนวงจรตอบรับเป็นส่วนตรวจสอบการสิ้นสุดการเปลี่ยนระดับสัญญาณในส่วนวงจรรางคู่โดยจะออกแบบให้สัญญาณแสดงความบริบูรณ์มีค่าความหน่วงการเปลี่ยนระดับสัญญาณมากกว่าค่าความหน่วงของการสิ้นสุดทุกการเปลี่ยนระดับสัญญาณในส่วนวงจรรางคู่เป็น K เท่า

ในแบบจำลองความหน่วงแบบไม่ไวต่อความหน่วงชนิดปรับมาตราส่วนได้ ซึ่งเป็นแบบจำลองความหน่วงในกลุ่มแบบจำลองความหน่วงชนิดไม่มีขอบเขตเช่นเดียวกับแบบจำลองความหน่วงแบบไม่ไวต่อความหน่วง และแบบจำลองความหน่วงแบบไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือน พบว่า การออกแบบส่วนวงจรรางคู่ต้องมีการเข้ารหัสข้อมูลโดยใช้รหัสรางคู่ ทำให้การออกแบบส่วนวงจรรางคู่มีสองแนวทาง คือ การออกแบบโดยใช้ตรรกะรางคู่ที่ไร้ตัวผกผันและการออกแบบโดยใช้แผนภาพตัดสินใจแบบทวิภาคชนิดมีการลดทอนอันดับ

ทั้งนี้ข้อกำหนดความหน่วงในแต่ละแบบจำลองความหน่วงมีผลต่อแนวทางการวิเคราะห์ลักษณะการส่งผ่านระดับสัญญาณในวงจรและทำให้ส่วนวงจรตอบรับมีการออกแบบต่างกันขึ้นกับแบบจำลองความหน่วงที่ใช้ ซึ่งในแบบจำลองแบบไม่ไวต่อความหน่วงชนิดปรับมาตราส่วนได้ พบว่า การออกแบบส่วนวงจรตอบรับสามารถเลี่ยงการใช้อุปกรณ์ชนิดซีซึ่ง

มีขนาดใหญ่และใช้เวลาในการทำงานมากโดยการออกแบบแบ่งได้เป็นสองแบบ คือ การออกแบบโดยใช้เกตออร์ และการออกแบบโดยใช้บัพเฟอร์

การออกแบบส่วนวงจรตอบรับโดยใช้เกตออร์ สรุปได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การประมาณค่าความหน่วงของส่วนวงจรรางคู่และการคำนวณค่าความหน่วงของการเปลี่ยนระดับสัญญาณที่สัญญาณแสดงความบริบูรณ์ของส่วนวงจรตอบรับจะให้ ค่าความหน่วงการเปลี่ยนระดับสัญญาณในส่วนวงจรรางคู่ค่าสูงสุดเพื่อให้สามารถประกันการสิ้นสุดทุกการเปลี่ยนระดับสัญญาณได้

2. การกลุ่มเลือกสายจากส่วนวงจรรางคู่จะใช้สำหรับเป็นสายอินพุตของส่วนวงจรตอบรับเพื่อตรวจสอบการสิ้นสุดการเปลี่ยนระดับสัญญาณ ซึ่งในการออกแบบโดยใช้ตรรกะรางคู่ที่ไร้ตัวผกผัน การเลือกสายจะเลือกกลุ่มสายที่สามารถครอบคลุมลักษณะการส่งผ่านระดับสัญญาณซึ่งมีลักษณะเป็นหนึ่งในสองสำหรับแต่ละคู่เกตแอนด์ออร์ และในการออกแบบโดยแผนภาพตัดสินใจแบบทวิภาคชนิดมีการลทอนอันดับ การเลือกสายจะเลือกกลุ่มสายที่สามารถครอบคลุมลักษณะการส่งผ่านระดับสัญญาณซึ่งเป็นหนึ่งในทั้งหมดสำหรับกลุ่มเส้นทางต่อเชื่อมเกตแอนด์ที่เป็นอินพุตของแต่ละเกตออร์

3. การเรียงเกตออร์ในส่วนวงจรตอบรับและคำนวณค่าความหน่วงของแต่ละเกตตามลำดับค่าความหน่วงของสายที่เลือกจะให้สัญญาณแสดงความบริบูรณ์มีค่าความหน่วงการเปลี่ยนระดับสัญญาณมากกว่าค่าความหน่วงการสิ้นสุดทุกการเปลี่ยนระดับสัญญาณในส่วนวงจรรางคู่เป็น  $K$  เท่า เพื่อใช้ในการประกันการสิ้นสุดการเปลี่ยนระดับสัญญาณ

สำหรับการออกแบบส่วนวงจรตอบรับโดยใช้บัพเฟอร์ การออกแบบแบ่งได้เป็นสองแบบ คือ การออกแบบโดยใช้บัพเฟอร์ต่อขนานกับส่วนวงจรรางคู่ และการออกแบบโดยใช้บัพเฟอร์ต่อที่เอาต์พุตของส่วนวงจรรางคู่ ซึ่งจากลักษณะการทำงานของบัพเฟอร์ พบว่า การออกแบบทั้งสองแบบจะให้ค่าความหน่วงการเปลี่ยนระดับสัญญาณที่สัญญาณแสดงความบริบูรณ์ในการประกันการสิ้นสุดการเปลี่ยนระดับสัญญาณในส่วนวงจรรางคู่เท่านั้น โดยจะคำนวณค่าความหน่วงให้มีค่ามากกว่าค่าความหน่วงการสิ้นสุดทุกการเปลี่ยนระดับสัญญาณในส่วนวงจรรางคู่เป็น  $K$  เท่า

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดปรับมาตราส่วนได้กับวงจรที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือน งานวิจัยนี้ได้เสนอการวัดความสามารถในการทนต่อ

ความแปรปรวนความหน่วงของวงจร และพบว่าวงจรที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือนสามารถทนต่อความแปรปรวนความหน่วงที่เกิดและสายเทียบได้เป็นค่าอนันต์ แต่ด้วยข้อกำหนดกึ่งของสายเทียบเท่าตลอดช่วงทำให้วงจรไม่ทนต่อความแปรปรวนความหน่วงที่กึ่งของสาย ซึ่งเมื่อใช้ค่าความหน่วงที่เกิดและสายผ่อนปรนเงื่อนไขกึ่งของสายเทียบเท่าตลอดช่วงให้เป็นเส้นทางต่อเชื่อมเทียบเท่าตลอดช่วง พบว่าสามารถวัดความทนต่อความแปรปรวนความหน่วงเทียบเป็นอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดของวงจรที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือนได้

จากการจำลองการทำงานเพื่อทดสอบวงจรที่ออกแบบสรุปได้ว่า ส่วนวงจรตอบรับสามารถประกันการสิ้นสุดการเปลี่ยนระดับสัญญาณในส่วนวงจรรางคู่ได้จริง และมีประสิทธิภาพสูงกว่าวงจรที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือน เนื่องจากในแบบจำลองความหน่วงแบบไม่ไวต่อความหน่วงชนิดปรับมาตราส่วนได้ การออกแบบได้มีการวิเคราะห์ลักษณะการส่งผ่านระดับสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงบนเลย์เอาต์และกำหนดอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดในการออกแบบวงจร จึงดีกว่าการออกแบบวงจรที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือนซึ่งไม่มีการวิเคราะห์ความแปรปรวนความหน่วงแต่มีข้อกำหนดกึ่งของสายเทียบเท่าตลอดช่วงทำให้การออกแบบเทียบได้กับการกำหนดให้อัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดที่เกิดและสายเป็นค่าอนันต์และให้ไม่มีความแปรปรวนความหน่วงที่กึ่งของสาย

เมื่อวิเคราะห์ผลของการกำหนดอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดในการออกแบบวงจรที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดปรับมาตราส่วนได้ พบว่า การกำหนดอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดในการออกแบบวงจรมีผลเทียบได้กับการเลือกแบบจำลองความหน่วงและแบบจำลองการทำงานสิ่งแวดล้อม แต่ทั้งนี้ วงจรที่ได้ไม่สามารถทนต่อความแปรปรวนความหน่วงได้ที่อัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดที่เกิดและสายเป็นค่าอนันต์เช่นเดียวกับวงจรที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือน เนื่องจากการออกแบบส่วนวงจรตอบรับได้ใช้เกิดออร์ซึ่งไม่สามารถประกันการสิ้นสุดการเปลี่ยนระดับสัญญาณได้ทั้งในชั้นทำงานและชั้นวางตั้งเช่นการใช้อุปกรณ์ชนิดซีในส่วนของวงจรตอบรับที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาลักษณะการส่งผ่านระดับสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงบนเลย์เอาต์เปรียบเทียบกับการประมาณค่าความหน่วงในการออกแบบวงจรระดับเกิด พบว่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าความหน่วงหรือความแปรปรวนความหน่วงจะมีค่าอยู่ในขอบเขตหนึ่งที่ไม่ใช่อนันต์ ดังนั้นการออกแบบวงจรที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดปรับมาตราส่วนได้จึงให้วงจรที่สามารถทำงานถูกต้องและใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ

## 8.2 ข้อเสนอแนะ

1. สิ่งสำคัญในข้อกำหนดในแบบจำลองความหน่วงแบบไม่ไวต่อความหน่วงชนิดปรับมาตราส่วนได้ คือ การกำหนดอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดที่เหมาะสมและการออกแบบวงจรระดับเกตให้สามารถทนต่อความแปรปรวนความหน่วงได้จริง ซึ่งงานวิจัยนี้เสนอแนวทางการออกแบบวงจรให้ทนต่ออัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดที่กำหนด การวิเคราะห์ลักษณะการส่งผ่านระดับสัญญาณเพื่อการกำหนดอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดที่เหมาะสมสำหรับแต่ละเทคโนโลยีที่ใช้ในเลย์เอาต์จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาการออกแบบให้ได้วงจรที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2. งานวิจัยนี้เสนอการวิเคราะห์ผลของความแปรปรวนความหน่วงสำหรับการออกแบบวงจรเชิงผสมแบบอสมวาร แนวทางหนึ่งในการพัฒนาคือ การออกแบบวงจรเชิงลำดับแบบอสมวารที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดปรับมาตราส่วนได้ให้สามารถทนต่อความแปรปรวนความหน่วงที่อัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดที่กำหนด