บทที่ 4

การวัดอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดของวงจรเชิงผสมแบบอสมวารที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือน

การออกแบบวงจรอสมวารที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดปรับมาตราส่วนได้มีการนิยามความแปรปรวนความหน่วง ซึ่งหมายถึง ความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าความหน่วงจริงของวงจรระดับเลย์เอาท์ด้วยค่าความหน่วงประมาณในการออกแบบวงจรระดับเกต เมื่อความแปรปรวนความหน่วงมีค่าอยู่ภายในขอบเขตอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุด การออกแบบวงจรจะใช้การวิเคราะห์ลักษณะการส่งผ่านระดับสัญญาณ เพื่อออกแบบให้วงจรระดับเกตมีลำดับการเปลี่ยนระดับสัญญาณถูกต้องและทนต่อความแปรปรวนความหน่วง

ในงานวิจัยนี้พบว่า ความสามารถในการทนต่อความแปรปรวนความหน่วงของวงจรสามารถวัดเป็นอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรที่ออกแบบได้ และในบทนี้เสนอแนวทางการวิเคราะห์ความแปรปรวนความหน่วงสำหรับวัดอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดของวงจรที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือน

4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความหน่วง

จากการวิเคราะห์ในบทที่ 3 หัวข้อ 3.3.2.2 เมื่อให้เกตและสายในวงจรรวมเรียกว่าส่วนประกอบวงจร และให้เส้นทางต่อเชื่อมของส่วนประกอบวงจรแทนการเรียงต่อของส่วนประกอบวงจร สามารถสรุปการวิเคราะห์ผลของความแปรปรวนความหน่วงได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. ความแปรปรวนความหน่วงบนส่วนประกอบวงจร

หมายถึง ความแปรปรวนความหน่วงบนแต่ละส่วนประกอบวงจรส่งผลกระทบต่อการทำงานของส่วนประกอบวงจรนั้นเท่านั้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อส่วนประกอบวงจรอื่นที่ต่อเป็นเอาต์พุตของส่วนประกอบวงจรนั้น

2. ความแปรปรวนความหน่วงบนเส้นทางต่อเชื่อมของส่วนประกอบวงจร

หมายถึง การรวมผลกระทบของความแปรปรวนความหน่วงที่แต่ละส่วนประกอบวงจรมีต่อการทำงานของส่วนประกอบวงจรอื่นที่อยู่บนเส้นทางต่อเชื่อมของส่วนประกอบวงจรเส้นทางเดียวกัน

เมื่อพิจารณาแนวทางการวิเคราะห์ผลของความแปรปรวนความหน่วงบนส่วนประกอบวงจรในหัวข้อ 3.3.2.2 และการวิเคราะห์ผลของความแปรปรวนความหน่วงบนเส้นทางต่อเชื่อมของส่วนประกอบวงจรในหัวข้อ 3.3.3 จะได้ว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนความหน่วงของวงจรโดยแบ่งการพิจารณาเป็นแต่ละส่วนประกอบวงจรแล้วจึงรวมเป็นเส้นทางต่อเชื่อมของส่วนประกอบวงจร มีวิธีการเทียบเท่ากับ การวิเคราะห์โดยพิจารณาเป็นเส้นทางต่อเชื่อมของส่วนประกอบวงจร ดังนั้น การคำนวณอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดของวงจรจึงวิเคราะห์ได้โดยตรงจากเส้นทางต่อเชื่อมของส่วนประกอบวงจรหลักซึ่งความแปรปรวนความหน่วงมีผลกระทบต่อการทำงานของวงจร

4.2 การวัดอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุด

การหาอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดของวงจรจะพิจารณาจากผลกระทบของความแปรปรวนความหน่วงที่มีต่อความถูกต้องในการทำงานของวงจร กล่าวคือ หากข้อกำหนดลำดับการเปลี่ยนระดับสัญญาณของวงจรระบุให้การเปลี่ยนระดับสัญญาณ t1 ที่สร้างโดยเส้นทางส่งผ่านระดับสัญญาณ 1 ต้องเกิดก่อนการเปลี่ยนระดับสัญญาณ t2 ที่สร้างโดยเส้นทางส่งผ่านระดับสัญญาณ 2 จะได้ว่า การเกิดความแปรปรวนความหน่วงที่ทั้งสองเส้นทางจะอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้หากลำดับการเปลี่ยนระดับสัญญาณยังคงเป็นไปตามข้อกำหนด ซึ่งหมายถึงวงจรยังคงทำงานถูกต้อง

จากสมการคำนวณอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดในแบบจำลองความหน่วงแบบไม่ไวต่อความหน่วงชนิดปรับมาตราส่วนได้ จะได้ว่า เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนความหน่วงได้ว่าอัตราส่วนความหน่วงสัมพัทธ์มีค่าอยู่ในขอบเขตของอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุด(K) การออกแบบวงจรจะออกแบบวงจรระดับเกตให้เส้นทางส่งผ่านระดับสัญญาณที่กำหนดให้มีการเปลี่ยนระดับสัญญาณหลังเช่นเส้นทาง 2 มีค่าความหน่วงมากกว่าเส้นทางส่งผ่านระดับสัญญาณที่กำหนดให้มีการเปลี่ยนระดับสัญญาณก่อนเช่นเส้นทาง 1 เป็น K เท่า ดังนั้น การวัดอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดของวงจรจึงพิจารณาจาก ค่าสัดส่วนความหน่วงต่ำสุดระหว่างเส้นทางส่งผ่านระดับสัญญาณซึ่งแทนด้วยเส้นทางต่อเชื่อมของส่วนประกอบวงจรสองเส้นทาง ดังนี้

$$K_{\text{เมื่อพิจารณาความแปรปรวนความหน่วงบนเส้นทางต่อเชื่อม}} = \text{ค่าต่ำสุด} \left(\frac{d_e \text{ (เส้นทาง 2)}}{d_e \text{ (เส้นทาง 1)}} \right) \qquad (4.1)$$

เนื่องจากความแปรปรวนความหน่วงจะสามารถพิจารณาและวัดได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความหน่วงการเปลี่ยนระดับสัญญาณที่จุดใด ๆ ในวงจร ดังนั้นในแบบจำลองความหน่วงแบบไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือน อัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดจึงแบ่งตามส่วนประกอบวงจร ได้เป็น

1. อัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดที่วัดบนเกต แทนด้วย $K_{\text{เกต}}$
2. อัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดที่วัดบนสาย แทนด้วย $K_{\text{สาย}}$
3. อัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดที่วัดบนกิ่งของสาย แทนด้วย $K_{\text{กิ่งของสาย}}$

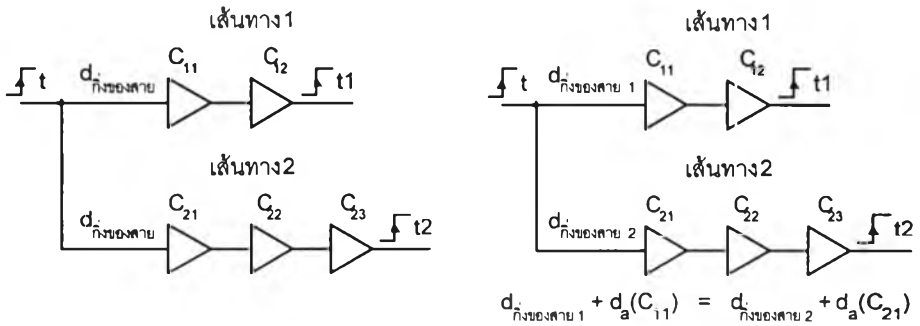
และสามารถวัดอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดเมื่อพิจารณาจากส่วนประกอบวงจรได้ดังนี้

$$K_{\text{เมื่อพิจารณาความแปรปรวนความหน่วงบนส่วนประกอบวงจร}} = \text{ค่าต่ำสุด} \left(K_{\text{เกต}} , K_{\text{สาย}} , K_{\text{กิ่งของสาย}} \right) \qquad (4.2)$$

ในการออกแบบวงจรที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือน จะได้ว่า การไม่กำหนดค่าความหน่วงเกตและความหน่วงสายแต่ทราบว่ามีค่าอยู่ในขอบเขตหนึ่งที่ไม่ใช่อนันต์ทำให้ความแปรปรวนความหน่วงที่เกตและสายไม่ส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการทำงานของวงจรที่ออกแบบ ซึ่งเทียบเท่ากับอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดที่เกตและสายมีค่าอนันต์ แต่ด้วยข้อกำหนดกิ่งของสายเทียบเท่าตลอดช่วง คือ กำหนดให้ทุกกิ่งของสายต้องมีค่าความหน่วงเท่ากัน ทำให้วงจรไม่ทนต่อความแปรปรวนความหน่วงที่กิ่งของสาย ดังนั้น กิ่งของสายจึงเป็นส่วนประกอบวงจรหลักซึ่งความแปรปรวนความหน่วงมีผลกระทบต่อการทำงานของวงจร ดังนั้น การคำนวณอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดของวงจรจึงวิเคราะห์จากเส้นทางต่อเชื่อมของส่วนประกอบวงจรซึ่งมีกิ่งของสายมากที่สุด

เมื่อวิเคราะห์ผลของความแปรปรวนความหน่วงที่กิ่งของสายโดยใช้ข้อกำหนดความหน่วงในแบบจำลองความหน่วงแบบไม่ไวต่อความหน่วงชนิดปรับมาตราส่วนได้ พบว่าค่าความหน่วงของเกตและสายในวงจรสามารถใช้ผ่อนปรนเงื่อนไขกิ่งของสายเทียบเท่าตลอดช่วงให้เป็นเส้นทางต่อเชื่อมเทียบเท่าตลอดช่วง (Isochronic Path) ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.1 กล่าวคือ เมื่อกำหนดให้การเปลี่ยนระดับสัญญาณ t เกิดก่อนการเปลี่ยนระดับสัญญาณ t1

และ t2 ซึ่งทำให้วงจรระดับเกตออกแบบโดยให้กิ่งของสายที่มีการเปลี่ยนระดับสัญญาณ t เป็นอินพุตของเส้นทางส่งผ่านระดับสัญญาณของทั้ง t1 และ t2 และมีค่าความหน่วงที่กิ่งของสายในแต่ละเส้นทางต่อเชื่อมของส่วนประกอบวงจรเท่ากัน จะได้ว่า ค่าความหน่วงที่ส่วนประกอบวงจร C_{11} และ C_{21} ในเส้นทางต่อเชื่อมของส่วนประกอบวงจร 1 และเส้นทางต่อเชื่อมของส่วนประกอบวงจร 2 สามารถใช้ร่วมกับค่าความหน่วงที่กิ่งของสาย เพื่อลดเงื่อนไขค่าความหน่วงที่กิ่งของสาย



ก. กิ่งของสายเทียบเท่าตลอดช่วง ข. เส้นทางต่อเชื่อมเทียบเท่าตลอดช่วง

รูปที่ 4.1 การผ่อนปรนเงื่อนไขกิ่งของสายเทียบเท่าตลอดช่วง
ให้เป็นเส้นทางต่อเชื่อมเทียบเท่าตลอดช่วง

เมื่อรวมความแปรปรวนความหน่วงบนกิ่งของสายซึ่งเป็นส่วนประกอบวงจรหลักให้เป็นความแปรปรวนความหน่วงบนเส้นทางต่อเชื่อมของส่วนประกอบวงจร จะได้ว่า สามารถสรุปสมการสำหรับคำนวณอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดของวงจรเชิงผสมแบบอสมวารที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือน จากสมการที่ 4.1 และ 4.2 ได้เป็น

$$K_{วงจร} = \frac{\text{ค่าต่ำสุด}\ (\ D_e(ACK)_{\text{ขั้นทำงาน}}\ ,\ D_e(ACK)_{\text{ขั้นว่าง}}\ )}{\text{ค่าความหน่วงของเส้นทางในส่วนวงจรรางคู่ที่มีกิ่งของสายมากสุด}} \qquad (4.3)$$

โดย ค่าต่ำสุด($D_e(ACK)_{\text{ขั้นทำงาน}}$,$D_e(ACK)_{\text{ขั้นว่าง}}$) คือ ค่าความหน่วงต่ำสุดที่ส่วนวงจรตอบรับสามารถประกันการสิ้นสุดการเปลี่ยนระดับสัญญาณในส่วนวงจรรางคู่ และค่าความหน่วงของเส้นทางในส่วนวงจรรางคู่ที่มีกิ่งของสายมากสุด คือ ค่าความหน่วงของเส้นทางต่อเชื่อมของส่วนประกอบวงจรที่มีโอกาสเกิดความแปรปรวนความหน่วงมากที่สุด

สรุป

ในแบบจำลองความหน่วงแบบไม่ไวต่อความหน่วงชนิดปรับมาตราส่วนได้ อัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดเป็นค่าที่กำหนดความแปรปรวนความหน่วงในการออกแบบ โดยจะออกแบบให้วงจรระดับเกตมีลำดับการเปลี่ยนระดับสัญญาณถูกต้องตรงตามข้อกำหนดการทำงานของวงจรและมีความทนต่อความแปรปรวนความหน่วง

เมื่อพิจารณาในอีกด้านหนึ่ง อัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดของวงจรระดับเกต หมายถึง ความสามารถในการทนต่อความแปรปรวนความหน่วงซึ่งสามารถวัดเพื่อใช้เปรียบเทียบวงจรที่ออกแบบได้ โดยวงจรที่มีอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดค่าสูงแสดงว่าวงจรสามารถทนต่อความแปรปรวนความหน่วงได้สูงจึงทำงานถูกต้องภายใต้สภาพแวดล้อมในวงจรระดับเลย์เอาท์ที่มีความหน่วงการเปลี่ยนระดับสัญญาณไม่แน่นอนได้

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนความหน่วง พบว่า วงจรเชิงผสมแบบอสมวารที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือนสามารถทนต่อความแปรปรวนความหน่วงที่เกตและสาย แต่ไม่ทนต่อความแปรปรวนความหน่วงที่กิ่งของสาย และการผ่อนปรนเงื่อนไขกิ่งของสายเทียบเท่าตลอดช่วงให้เป็นเส้นทางต่อเชื่อมเทียบเท่าตลอดช่วงสามารถใช้เพื่อวัดอัตราส่วนความแปรปรวนความหน่วงสูงสุดของวงจรที่ไม่ไวต่อความหน่วงชนิดเสมือนได้