บทที่ 1

บทนำ

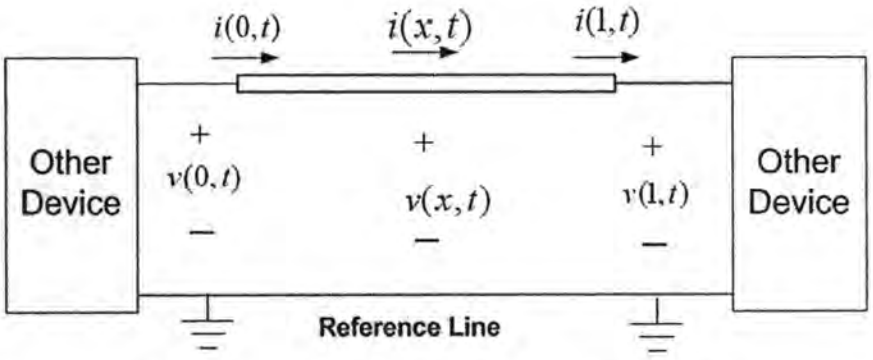
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการใช้โปรแกรมวิเคราะห์วงจรเช่น SPICE หรือ Multisim ช่วยในการวิเคราะห์ผลของวงจรหรือระบบไฟฟ้าก่อนนำไปสร้างจริง โดยโปรแกรมวิเคราะห์ไฟฟ้านั้นใช้สมการทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายคุณลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เช่นความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสของตัวเก็บประจุ คือ $i(t) = C\frac{dv(t)}{dt}$ ร่วมกับสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆในวงจรที่สร้างจากหลักการทางไฟฟ้าต่างๆเช่น Kirchhoff's Voltage Law (KVL) ไฟฟ้าในการหาค่าตัวแปรที่เราสนใจ สายส่ง(Transmission line) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 เป็นส่วนประกอบหลักในวงจรไฟฟ้าที่ใช้เพื่อเชื่อมอุปกรณ์หรือระบบต่างๆเข้าด้วยกัน ในกรณีสายส่งประเภทตัวนำไฟฟ้านั้นสายส่งจะมีลักษณะเป็นอุปกรณ์แบบกระจาย (Distribution component) โดยสามารถอธิบายคุณลักษณะของสายส่งโดยใช้สมการอนุพันธ์ย่อย(Partial Differential Equation) ที่เกี่ยวพันกับระยะในสายและเวลาซึ่งถูกเรียกว่า Telegrapher Equation ดังแสดงในสมการ (1.1)และ (1.2) :ซึ่งเป็นของสายส่งหนึ่งเส้น

$$\frac{\partial v(x,t)}{\partial x} = -L\frac{\partial i(x,t)}{\partial t} - Ri(x,t) \tag{1.1}$$

$$\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} = -C\frac{\partial v(x,t)}{\partial t} - Gv(x,t) \tag{1.2}$$

โดยสมการ Telegrapher มีพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าคือความต้านทาน(R), ความเหนี่ยวนำ(L), ความจุไฟฟ้า(C) และ ค่าความนำ (G) ของสายส่ง ซึ่งเป็นตัวกำหนดลักษณะของแรงดันและกระแสภายในสายส่ง และปรากฏการณ์ต่างๆเช่น การประวิงเวลา(Delay time) , การสะท้อน (Reflection) , การเพี้ยน (distortion) หรือ การกระจาย (Dispersion)



รูปที่ 1.1 วงจรประกอบด้วยสายส่งต่อระหว่างอุปกรณ์อื่นๆ

โดยในขั้นตอนการออกแบบเราจะสมมุติให้สายส่งเป็นตัวนำอุดมคติคือลัดวงจร เพื่อให้สะดวกในการออกแบบ โดยกรณีที่สายส่งมีความยาวน้อยกว่าความยาวคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านในสายมาก เราสามารถคิดประมาณเป็นลัดวงจรได้ เนื่องจากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในสายส่งมีผลน้อยมาก อย่างไรก็ดีในปัจจุบันการส่งข้อมูลผ่านสายส่งมีความเร็วมากขึ้นแม้ในระบบการส่งกำลังที่ทำงานในความถี่ต่ำแต่ด้วยขนาดระบบที่ใหญ่ทำให้สายส่งมีความยาวมาก ดังนั้นจำเป็นต้องนำผลของสายส่งมาคิดเพื่อให้ผลการจำลองที่ได้มีความแม่นยำ ดังนั้นเพื่อลดความผิดพลาดเมื่อนำไปใช้งานจริง จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์การทำงานของวงจร โดยรวมเอาผลของสายส่งเข้าไปวิเคราะห์ด้วย ซึ่งในปัจจุบันมีการนำโปรแกรมมาช่วยในการวิเคราะห์เช่น Spice , Multisim เป็นต้น อย่างไรก็ดีเนื่องจากโปรแกรมใช้หลักการแก้สมการด้วยวิธีทางตัวเลข ซึ่งใช้กับสมการในรูปแบบสมการพิชคณิต แต่เนื่องจากสมการ Telegrapher เป็นสมการอนุพันธ์ย่อยของระยะทางในสายและเวลา ดังนั้นจึงไม่สามารถนำมาใช้โดยตรงได้ ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาจึงจำเป็นต้องประมาณค่าหรือปรับให้สมการ Telegrapher อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นของแรงดันและกระแสที่ปลายของสายส่ง ซึ่งเราเรียกสมการเชิงเส้นที่ได้ว่าสมการแบบจำลองของสายส่ง เพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ ด้วยโปรแกรม โดยหลายปีที่ผ่านมาได้มีการเสนองานวิจัยทางด้านนี้มากมาย โดยสามารถแบ่งเป็นกลุ่มๆเช่น กลุ่มของแบบจำลองที่มีพื้นฐานจากวงจรแบบก้อน (Lumped) หรือกลุ่มของแบบจำลองถูกสร้างจากการแก้สมการในโดเมนความถี่ เช่น Inverse Fast Fourier Transformation (IFFT) , Numerical Inverse Laplace Transform (NILT) และ Convolution technique หรือกลุ่มงานวิจัยที่เสนอเกี่ยวกับการลดความซับซ้อนของแบบจำลอง เช่น Asymptotic Waveform Evaluation (AWE) , Passive Reduced-order Interconnect Macro-modeling Algorithm (PRIMA) และกลุ่มสุดท้ายและเป็นกลุ่มที่งานวิจัยนี้นำมาใช้เป็นพื้นฐานในงานวิจัยคือ distribution state variable approach ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและเสียที่แตกต่างกันเช่นมีการคำนวณที่มากในกรณีแบบจำลองแบบวงจรก้อนแบ่งท่อน (Lumped segmentation method) หรือในกรณีของ Convolution technique และ AWE ที่มีปัญหาเรื่อง

เสถียรภาพของแบบจำลอง และปัญหาเนื่องจากการวิธีจับคู่โมเมนต์เช่น AWE,PRIMA ที่ทำให้แบบจำลองเชิงเวลาที่ได้มีความแม่นยำในช่วงความถี่จำกัด

วิธีการที่จะนำเสนอในงานวิจัยนี้คือ Distribution State Variable (DVS) โดยอาศัยหลักการที่ว่าสายส่งเป็นอุปกรณ์การกระจาย นั้นคือแรงดันและกระแสที่ปลายแต่ละด้านของสายส่งที่เวลาใดๆ จะเป็นผลมากจากสัญญาณที่เคลื่อนที่ผ่านสายส่งที่เวลาต่างๆ ซึ่งได้แก่แรงดันและกระแสที่กระจายอยู่ตลอดความยาวของสายส่ง ดังนั้นเมื่อกำหนดให้การกระจายของแรงดันและกระแสที่เวลาใดๆเป็นตัวแปรแบบสถานะ(Distribution State Variable) ดันนั้นสามารถเขียนสมการ Telegrapher .ให้อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งเทียบกับเวลาของตัวแปรสถานะแบบการกระจาย ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับตัวเก็บประจุที่เป็นสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งเทียบกับเวลาของตัวแปรแรงดัน ดังนั้นเราสามารถใช้วิธีประมาณอนุพันธ์แบบเดียวกับที่ใช้กับตัวเก็บประจุในการสร้างแบบจำลองทางเวลา ซึ่งความผิดพลาดจากการประมาณจะขึ้นอยู่กับขนาดของขั้นเวลา (timestep) เท่านั้น โดยสามารถควบคุมผ่านการคำนวณค่าความผิดพลาดการตัดปลาย (LTE) และเนื่องจากหลักการนี้ตัวแปรที่ใช้เป็นการกระจาย ทำให้คำตอบของที่ได้จากการแก้สมการอนุพันธ์ทางเวลานั้นเป็นการกระจายของแรงดันและกระแสในสายส่ง ต่างจากวิธีอื่นๆที่สูญเสียผลของการกระจายภายในสายส่งไป อย่างไรก็ดีวิธีนี้ยังมีข้อเสียที่ใช้การคำนวณมากเนื่องจากต้องใช้การกระจายแรงดันและกระแสในอดีตในการคำนวณ ดังนั้นงานวิจัยจึงเสนอวิธีการประมาณค่าการกระจายแรงดันและกระแสในสายส่งด้วยฟังก์ชั่นเลขชี้กำลังแบบแบ่งท่อน ในการสร้างแบบจำลองเชิงเวลา เพื่อลดการคำนวณการกระจายของแรงดันและกระแสในอดีตลง และควบคุมความผิดพลาดที่เกิดจากการประมาณการกระจายของแรงดันและกระแสในสายส่งด้วยวิธีการแบ่งครึ่งท่อน(Bisection) เพื่อทำให้แบบจำลองที่ได้ยังคงความแม่นยำอยู่

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เสนอวิธีประมาณค่าการกระจายแรงดันและกระแสในสายส่งด้วยฟังก์ชั่นเลขชี้กำลังแบบแบ่งท่อนที่ใช้ร่วมกับ distribution state variable ในการสร้างแบบจำลองเชิงเวลาของสายส่งที่มีความสูญเสีย (lossy transmission line) สำหรับการวิเคราะห์ผลตอบสนองเชิงเวลาที่สามารถควบคุมความแม่นยำได้อย่างอัตโนมัติ

1.2.2 พัฒนาอัลกอริทึมปรับความแม่นยำของการประมาณค่าโดยอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 แบบจำลองเชิงเวลาของสายส่ง (transmission line) ที่เสนอในงานวิจัยนี้ใช้ได้กับสายส่งหลายเส้นที่เชื่อมโยงกัน (coupled transmission tines) และมีการสูญเสียของพลังงานที่ค่าพารามิเตอร์ของสายไม่ขึ้นกับเวลาและระยะในสายได้

1.3.2 แบบจำลองที่เสนอใช้การประมาณค่าอนุพันธ์ทางเวลาด้วยวิธี Backward Euler เท่านั้น

1.3.3 มีวิธีการในการควบคุมความผิดพลาดจากการใช้วิธีประมาณค่าในช่วงด้วยฟังก์ชั่นเลขชี้กำลังแบบแบ่งท่อนในการประมาณการกระจายของแรงดันและกระแสในอดีต

1.3.4 ใช้การคำนวณ Local Truncation Error (LTE) เพื่อควบคุมขนาดของหน่วยเวลา (Time step)

1.3.5 เขียนโปรแกรมทดสอบแบบจำลองเชิงเวลาที่เสนอ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.4.1 ค้นพบวิธีการใหม่ในการจำลองการทำงานทางเวลาของสายส่ง

1.4.2 ค้นพบวิธีการสร้างแบบจำลองเชิงเวลาของสายส่งที่สามารถควบคุมความแม่นยำได้

1.4.3 สามารถนำวิธีการที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าได้

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา

1.5.2 ศึกษาวิธีการ distribution state variable

1.5.3 ศึกษาวิธีการประมาณค่าการกระจายแรงดันและกระแสในอดีตด้วยฟังก์ชั่นเลขชี้กำลังแบบแบ่งท่อน

1.5.1 ออกแบบวิธีการควบคุมความผิดพลาดจากวิธีการประมาณค่าการกระจายแรงดันและกระแสในอดีตด้วยฟังก์ชั่นเลขชี้กำลังแบบแบ่งท่อน

1.5.2 ออกแบบวิธีการควบคุมค่า Local Truncation Error (LTE) ของการวิเคราะห์วงจรที่ใช้แบบจำลองสายส่งที่สร้างขึ้น

1.5.3 วิเคราห์ผลที่ได้เปรียบเทียบกับงานวิธีแบ่งส่วนย่อย (segmentation method)

1.5.4 วิเคราะห์และสรุปผล

1.5.5 ปรับปรุงวิธีการและแบบจำลอง

1.5.6 เขียนวิทยานิพนธ์และรายงานสรุป