ปีการศึกษา 2530

การพัฒนาโปรแกรมเลียนแบบวงจรเชิงเส้น

โดย

นาย ชูชัย น้อยกร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. วัลลภ สุระก้าพลธร

อ. วันชัย ริ้วรุจา

การพัฒนาโปรแกรมเลียนแบบวงจรเชิงเส้น

ชูชัย น้อยกร
อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร. วัลลภ สุระกำพลธร
อ. วันชัย ริ้วรุจา

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้ คอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการพัฒนาทางอุตสาหกรรม ความจำเป็นของการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ช่วยในการออกแบบวงจรรวมที่เป็นไอซีก็ได้มีเพิ่มมากขึ้นด้วย ตามระดับความเจริญทางเทคโนโลยี โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในงานทางด้านนี้มีเกิดขึ้นอย่างมากมาย ทั้งเพื่อประโยชน์ทางธุรกิจและประโยชน์ทางการศึกษา แต่โปรแกรมโดยส่วนใหญ่เหล่านั้นเป็นโปรแกรมที่ต้องประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ไม่สามารถนำมาประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กได้

ปริญญานิพนธ์นี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะนำหลักการต่างๆของโปรแกรมจำลองวงจรไฟฟ้าเหล่านี้ มาศึกษาเพื่อพัฒนาให้สามารถประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กได้ โดยใช้เทคนิควิธีการต่างๆเข้ามาช่วยเหลือการทำงาน นอกเหนือไปจากการเขียนโปรแกรมแก้ปัญหาธรรมดาทั่วไป

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะได้กล่าวถึงหลักการของโปรแกรมจำลองวงจรไฟฟ้า การสร้างสมการแทนวงจรไฟฟ้า และ การใช้คณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือช่วยในการแก้ปัญหาโดยสังเขป ท้ายที่สุดของปริญญานิพนธ์นี้จะได้กล่าวถึงรายละเอียดของโปรแกรม SPICE ที่ใช้เป็นหลักในการพัฒนาครั้งนี้ และ รายละเอียดของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเปรียบเทียบกัน

LINEAR CIRCUIT SIMULATION PROGRAM

CHUCHAI NOIKORN

DR. WANLOP SURAKAMPONTORN

VANCHAI RIEWRUJA

ABSTACT

The size and complexity of present integrated circuits has increased to the point where computer aids are virtually indispensable. A circuit simulation program that characterizes the electrical performance of a circuit is one important computer aid in the circuit design process. The need for accurate and efficient circuit simulation has prompted the development of many circuit simulation programs as well as the advancement of the associated numerical methods.

Two purposes are served by this thesis. First, the numerical methods that are necessary ingredients of a circuit simulation program are detailed, and the implementations of these methods are described and compared. Second, the theoretical and practical aspects of circuit simulation program is documented.

สารบัญ

บทนำ	1
1. หลักการพื้นฐานของโปรแกรมจำลองระบบ	3
1.1 การวิเคราะห์ระบบเชิงเส้นเมื่อพิจารณาไฟกระแสตรง	5
1.2 การวิเคราะห์ระบบเชิงเส้นเมื่อพิจารณาไฟกระแสสลับที่จุดปฏิบัติการ	6
1.3 การวิเคราะห์ระบบไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อพิจารณาไฟกระแสตรง	6
1.4 การวิเคราะห์ผลตอบสนองชั่วชะและของระบบ	6
2. การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้แทนระบบจริง	9
2.1 พิจารณากระแสที่จุดต่อของอุปกรณ์เป็นหลัก	9
2.2 พิจารณาศักดาไฟฟ้าระหว่างจุดต่อของอุปกรณ์เป็นหลัก	10
2.3 พิจารณากระแสที่ผ่านเข้าออกกลุ่มของอุปกรณ์เป็นหลัก	11
2.4 พิจารณาศักดาไฟฟ้าของกลุ่มของอุปกรณ์เป็นหลัก	11
2.5 พิจารณาสมการแทนระบบจากสมการเชิงอนุพันธ์	12
2.6 การสร้างสมการจากตารางวงจร	12
2.7 พิจารณากระแสที่จุดต่ออุปกรณ์เมื่อมีแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า	13
2.8 พิจารณาทั้งกระแสไฟฟ้าที่จุดต่อของอุปกรณ์และศักดาไฟฟ้าที่อุปกรณ์ต่างๆ	15
3. การหาคำตอบของสมการแทนระบบจริง	20
3.1 การแก้สมการเชิงเส้นของเมตริกซ์	20
3.2 การสลับแถวของเมตริกซ์เพื่อช่วยในการคำนวณ	22
3.3 การลดเนื้อที่การเก็บและลดขั้นตอนการคำนวณในเมตริกซ์ที่มีความหนาแน่นน้อย	23
4. การทำงานของโปรแกรม SPICE	25
5. การพัฒนาโปรแกรมเลียนแบบวงจรเชิงเส้น	29
บทสรุป	32
กิตติกรรมประกาศ	34
หนังสืออ้างอิง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทนำ

ในปัจจุบันนี้ ความเจริญทางเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้นจนแทบจะกลายเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของสังคมในมหานครโดยทั่วไป มีการพัฒนาสิ่งต่างๆในรูปของการแข่งขันกัน เพื่อให้ได้สิ่งที่ดีกว่าออกมาสนองความต้องการของผู้ใช้ประโยชน์โดยเร็วที่สุด สิ่งนี้ทำให้เกิดการนำเทคโนโลยีมาสร้างอุปกรณ์ช่วยในการพัฒนาที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ เครื่องคอมพิวเตอร์

ด้วยความสามารถในการทำงานของคอมพิวเตอร์ การประยุกต์นำไปใช้ในงานต่างๆจึงมีอยู่อย่างมากมาย หนึ่งในจำนวนนี้ก็คือ การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบและทดสอบระบบต่างๆ หรือที่เรียกโดยย่อว่า CAD (Computer-aided design) จากความสามารถในข้อนี้ของคอมพิวเตอร์ เมื่อนำมาใช้ช่วยออกแบบและวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าแล้วจะเห็นได้ว่า ก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมาก เช่น สามารถที่จะออกแบบและทดสอบระบบที่ซับซ้อนเกินกว่าจะสร้างแบบจำลองขึ้นมาได้ ระบบที่ใช้วิธีนี้ออกแบบสามารถทำได้รวดเร็วกว่าเดิมโดยที่ต้นทุนไม่แพงและมีความแม่นยำสูง สามารถออกแบบและทดสอบระบบได้ด้วยอุปกรณ์ที่ยังไม่มีอยู่จริง สามารถทำการปรับค่าของแต่ละอุปกรณ์เพื่อหาระบบที่เหมาะสมที่สุดได้โดยสะดวก นอกจากนี้ยังไม่ต้องกังวลถึงการเสียหายของอุปกรณ์ในกรณีที่การออกแบบหรือการปรับค่าผิดพลาด

จากเหตุผลดังข้างต้น คอมพิวเตอร์จึงถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในการออกแบบวงจรไฟฟ้า โดยเฉพาะงานทางด้านเทคโนโลยีวงจรรวม ซึ่งไม่สามารถวัดและตรวจสอบค่าตามจุดต่อของ อุปกรณ์โดยตรงได้ โปรแกรมต่างๆสำหรับงานทางด้านนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้กับคอมพิวเตอร์ต่างๆเป็นจำนวนมาก เช่น ECAP, CANCER, NET, CIRCUS, TRAC, BIAS, SPICE ฯลฯ โปรแกรมเหล่านี้ใช้ประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีความเร็วในการประมวลผลสูง และมีหน่วยความจำจำนวนมาก แม้ว่าในปัจจุบันนี้ไมโครคอมพิวเตอร์จะพัฒนาประสิทธิภาพขึ้นมาได้ถึงระดับหนึ่งแล้ว แต่ยังไม่สามารถรองรับโปรแกรมเหล่านี้ได้ จึงมีการพัฒนาโปรแกรมด้วยเทคนิควิธีการต่างๆ เพื่อให้สามารถนำโปรแกรมเหล่านี้มาประมวลผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ ยกตัวอย่างเช่น โปรแกรม PSPICE ที่ประมวลผลบน IBM-PC นั้นใช้วิธีการตัดความสามารถบางส่วนของ SPICE ออกไปเพื่อให้โปรแกรมมีขนาดเล็กลง และ ต้องการหน่วยความจำในการประมวลผลไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

1.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานของการวิเคราะห์ผลตอบสนองชั่วขณะของระบบ 8

2.1 วงจรตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการแบบพิจารณากระแสที่จุดต่อของอุปกรณ์ 14

2.2 วงจรตัวอย่างที่ใช้สร้างสมการแบบพิจารณากระแสที่จุดต่อของอุปกรณ์ด้วยวิธีเขียนกราฟกระแสไฟฟ้าและศักดาไฟฟ้าแยกจากกัน 18

2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสในวงจร และ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าในวงจรที่ได้จากวงจรตัวอย่างในรูป 2.2 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

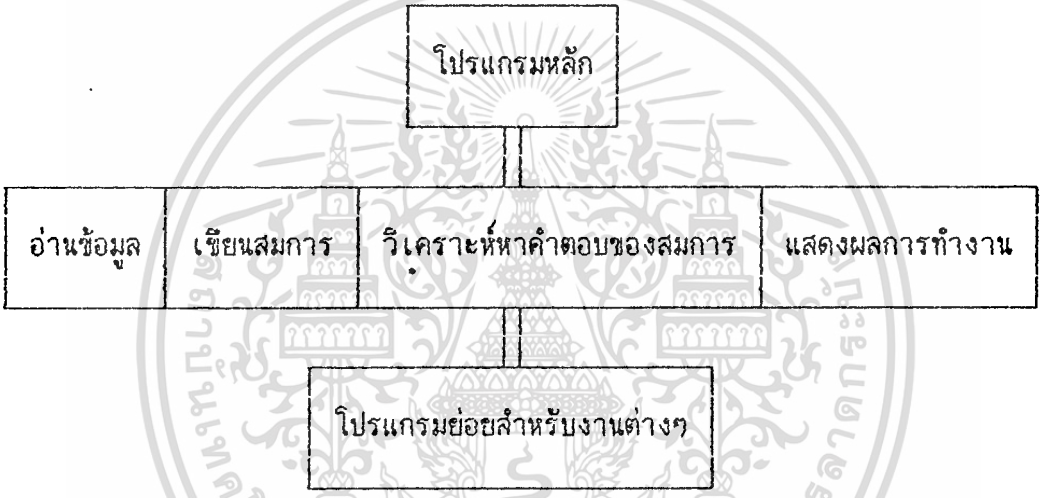
ดังนั้น จุดมุ่งหมายของปริญญานิพนธ์นี้ก็เพื่อ ทำการพัฒนาโปรแกรมทางด้านนี้ให้สามารถประมวลผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ได้ โดยใช้เทคนิควิธีการต่างๆเข้ามาช่วยเหลือ เช่น ใช้หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ 8087 เข้ามาช่วยเพิ่มความเร็วในการประมวลผล ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการทำงานของโปรแกรมเดิมที่มีอยู่ ให้เหมาะสมกับไมโครคอมพิวเตอร์ สำหรับโปรแกรมที่ใช้เป็นหลักในการพัฒนานี้คือ SPICE (SIMULATED PROGRAM FOR INTEGRATED CIRCUITS EMULATOR) ซึ่งเป็นผลงานการพัฒนาของ INTEGRATED CIRCUIT GROUP, ELECTRONICS RESEARCH LABORATORY, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY ประเทศสหรัฐอเมริกา ตีพิมพ์ครั้งแรกในปี คศ. 1972 โปรแกรมเขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน และ เอสเซมบลี้ของ CDC 6400

ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับออกแบบวงจรไฟฟ้า โดยทั่วไปจะมีหลักการเบื้องต้นเหมือนกันทุกโปรแกรมคือ ทำการแปลงวงจรทางกายภาพให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยสมการและฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ต่างๆ หลังจากนั้นก็นำสมการที่ได้ไปผ่านการคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบของสมการ จากหลักใหญ่สองข้อข้างต้น สามารถแยกใช้วิธีต่างๆได้มากมาย โดยให้คำตอบออกมาใกล้เคียงกัน การที่มีวิธีแก้ปัญหาได้หลายรูปแบบทำให้โปรแกรมต่างๆที่พัฒนาขึ้นมามีความแตกต่างกันออกไป เช่น ความละเอียดในการประมวลผล, ความรวดเร็วในการหาคำตอบ, ข้อจำกัดในการคำนวณของโปรแกรม, ประเภทของการวิเคราะห์ที่สามารถทำได้ เป็นต้น ในปริญญานิพนธ์นี้จะขออธิบายถึงหลักการเหล่านี้โดยย่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
หลักการพื้นฐานของโปรแกรมจำลองระบบ

แม้ว่าการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมด้วยวิธีต่างๆจะทำให้โปรแกรมที่ได้มีข้อแตกต่างกันออกไปทั้งในด้านความสามารถ, ขนาดและความซับซ้อนของโปรแกรม โครงสร้างของโปรแกรมจำลองระบบโดยทั่วไปก็ยังคงมีหลักการทำงานที่เป็นส่วนสำคัญคล้ายคลึงกันอยู่ ซึ่งสามารถเขียนแสดงได้ดังรูป



ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่อ่านข้อมูล, เขียนสมการ, วิเคราะห์วงจร และ แสดงผลการทำงานเป็นโปรแกรมย่อยที่ไม่ได้ทำงานพร้อมกัน ด้วยเหตุนี้บางโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาจะใช้หน่วยความจำตำแหน่งเดียวกันในการเก็บคำสั่งโปรแกรมย่อยเหล่านี้ โดยจะมีส่วนโปรแกรมหลักเป็นตัวควบคุมว่าจะให้อ่านโปรแกรมใดขึ้นมาประมวลผล ในแต่ละโปรแกรมก็จะเรียกใช้โปรแกรมย่อยสำหรับงานต่างๆอีกต่อหนึ่ง หน้าที่ของแต่ละโปรแกรมย่อยต่างสามารถแยกอธิบายได้ดังนี้

โปรแกรมอ่านข้อมูลวงจร ทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากอุปกรณ์รับข้อมูล เช่น บัตรเจาะรู, แผ่นดิสค์, แป้นพิมพ์ ฯลฯ ตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล และ จัดข้อมูลเก็บไว้ในหน่วยความจำ ข้อมูลที่ให้แก่โปรแกรมนี้จะต้องสามารถอธิบายรายละเอียดของวงจรที่ใช้ในการคำนวณได้ทั้งหมด รูปแบบของข้อมูลที่จะให้แก่โปรแกรมต่างๆอาจจะไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับค่าที่โปรแกรมต้องการ, ลักษณะของการรับข้อมูลของโปรแกรม หรือ วิธีการที่ใช้ในการวิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคราะห์ แต่หลักการสำคัญก็ยังคงเป็น การอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้ในการติดต่อควบคุมการทำงานของโปรแกรม

ส่วนที่ทำหน้าที่ในขั้นต่อมาก็คือ สร้างสมการจำลองทางคณิตศาสตร์ของวงจรเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาข้อเฉลยของปัญหา ส่วนสร้างสมการนี้จะต้องตรวจสอบองค์ประกอบอื่นของวงจรเพิ่มเติมด้วย เช่น อุณหภูมิห้องที่ให้ใช้ในการคำนวณ, ชนิดของคำตอบที่ต้องการทราบ (แต่ละปัญหาอาจได้สมการไม่เหมือนกัน), วิธีการแก้ปัญหาที่กำหนด (บางโปรแกรมอาจมีวิธีการแก้ปัญหาให้เลือกใช้) เป็นต้น ในบางโปรแกรมจะอนุญาตให้มีการเก็บข้อมูลเป็นโครงสร้างของวงจรย่อยๆไว้ เป็นการอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้ที่จะกำหนดให้โปรแกรมนำข้อมูลมาใช้ได้เลยโดยไม่ต้องให้ข้อมูลเข้าไปใหม่ หรือ อาจมีการกำหนดให้สร้างวงจรย่อยไว้ได้ เพื่อนำไปใช้ตามจุดต่อต่างๆในวงจรที่ต้องการวงจรย่อยโครงสร้างเดียวกัน

ส่วนที่ทำหน้าที่สำคัญที่สุดในโปรแกรมก็คือ การวิเคราะห์หาคำตอบของสมการ แต่ละโปรแกรมจะมีหลักการในการหาคำตอบไม่เหมือนกัน แต่ละวิธีที่มีอยู่ก็จะเหมาะสมสำหรับกรณีใดกรณีหนึ่งโดยเฉพาะเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้แก้ไขปัญหาทุกประการได้ โปรแกรมส่วนนี้เป็นส่วนที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างโปรแกรมต่างๆมากที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของส่วนนี้นิยมที่จะบันทึกเก็บไว้เพื่อใช้ในการประมวลผลอื่นๆต่อไปอีกด้วย

ส่วนสุดท้ายของโปรแกรม จะใช้ในการแสดงผลการคำนวณทางอุปกรณ์แสดงผลต่างๆ เช่น เครื่องพิมพ์ จอภาพ ฯลฯ การแสดงผลอาจเป็นได้ทั้งแบบตัวเลขหรือรูปกราฟ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์แสดงผลที่มีอยู่ และ ความเหมาะสมในการแสดงผลต่อการวิเคราะห์ที่ต้องการ

แม้ว่าส่วนรับข้อมูลวงจรและส่วนแสดงผลของโปรแกรมจะเป็นตัวกำหนดความสะดวกในการใช้งาน แต่ส่วนที่สำคัญที่สุด ซึ่งเป็นตัวบอกถึงประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรม ยังคงเป็นส่วนที่ใช้วิเคราะห์หาคำตอบของสมการ เนื่องจากโปรแกรมส่วนนี้จะมีความซับซ้อนที่สุด ดังนั้นโปรแกรมส่วนใหญ่จึงมุ่งการพัฒนามาที่โปรแกรมย่อยส่วนนี้เป็นหลัก สำคัญของการทำงานทั้งหมด

การวิเคราะห์หาคำตอบของสมการก็คือ การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าตามความสัมพันธ์ที่มีอยู่ ความสัมพันธ์ในที่นี้ก็คือโครงสร้างของวงจรที่ต้องการให้จำลองผลการทำงาน การคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยใช้คอมพิวเตอร์นั้น ไม่สามารถกระทำได้โดยวิธีคำนวณที่ใช้อยู่ทั่วไป จำต้องมีการเปลี่ยนรูปสมการและวิธีการให้เหมาะสมเสียก่อน ค่าที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประมวลผลของคอมพิวเตอร์จึงไม่ใช่ค่าการคำนวณจริง เป็นเพียงค่าโดยประมาณเท่านั้น วิธีการต่างๆจึงถูกพัฒนาขึ้นมามากมายเพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งแต่ละวิธีก็มีความเหมาะสมต่อปัญหาแตกต่างกันไป การวิเคราะห์เพื่อจำลองผลจากวงจร โดยทั่วไปจะเริ่มต้นที่การสร้างสมการแบบจำลองของระบบด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ดังนี้

ระบบใดๆ หรือ วงจรไฟฟ้าโดยทั่วไปเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าต่างๆในวงจรแล้ว สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์แทนวงจรโดยใช้กฎของเคอร์ชอฟได้ว่า

$$F(X, dX/dT, T) = \emptyset \qquad (1.1)$$

เมื่อ X แทนตัวแปรที่ไม่รู้ค่าในวงจร

dX/dT แทนอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า X เมื่อเทียบกับเวลา

T แทนเวลาของระบบ

F แทนตัวกระทำการแบบไม่เป็นเชิงเส้น

การหาคำตอบของสมการ 1.1 สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา ในที่นี้ขออธิบายเป็นตัวอย่างเพียงสี่รูปแบบคือ การวิเคราะห์วงจรเชิงเส้นเมื่อพิจารณาไฟกระแสตรง, การวิเคราะห์วงจรเชิงเส้นเมื่อพิจารณาไฟกระแสสลับที่จุดปฏิบัติการ, การวิเคราะห์วงจรไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อพิจารณาไฟกระแสตรง และ การวิเคราะห์ผลตอบสนองชั่วขณะของระบบ

1.1 การวิเคราะห์ระบบเชิงเส้นเมื่อพิจารณาไฟกระแสตรง (DC Analysis)

หลักการเบื้องต้นของการวิเคราะห์ระบบใดๆ จะเริ่มต้นพิจารณาไฟกระแสตรงเมื่อเป็นระบบเชิงเส้น โดยปกติแล้วคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์นี้เป็นตัวบอกถึงค่าต่างๆในระบบที่จุดสมดุลย์ หรือเมื่อ ค่า dX/dT ในสมการ 1.1 มีค่าเป็น $\emptyset$ อุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวเก็บพลังงานจะไม่นำมาพิจารณา เช่น ตัวเก็บประจุจะถูกพิจารณาเหมือนสวิทช์ที่เปิดออก ตัวเหนี่ยวนำกระแสจะถูกพิจารณาเป็นสวิทช์ที่ปิดเข้า หรือถ้ามีการกำหนดค่าเริ่มต้นมาให้ด้วย ก็จะพิจารณาเป็นแหล่งจ่ายพลังงานแทนที่อุปกรณ์นั้น สมการ 1.1 ก็จะลดรูปลงเป็นสมการเชิงเส้นที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ วิธีการแก้สมการนี้ก็มีอยู่หลายวิธีเช่นกัน ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การวิเคราะห์ระบบเชิงเส้นเมื่อพิจารณาไฟกระแสสลับที่จุดปฏิบัติการ (Small-signal AC analysis)

การวิเคราะห์ในส่วนนี้จะมีความซับซ้อนกว่าการวิเคราะห์ในหัวข้อ 1.1 เพราะต้องวิเคราะห์อุปกรณ์ทุกตัวตามสมการที่แทนอุปกรณ์นั้น อุปกรณ์ใดที่แทนด้วยสมการไม่เป็นเชิงเส้นต้องทำการประมาณให้เป็นสมการเชิงเส้นเสียก่อนด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้สะดวกที่จะใช้วิธีวิเคราะห์เดียวกันกับอุปกรณ์เชิงเส้นอื่นๆ การประมาณค่าของอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นเหล่านี้ จะให้ค่าออกมาขึ้นอยู่กับคำตอบของสมการการวิเคราะห์จุดปฏิบัติการ (DC Operating point) ดังนั้นก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้ได้ ต้องทำการวิเคราะห์หาจุดปฏิบัติการของอุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นทุกตัวเสียก่อน หลังจากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาใช้ประมาณสมการของอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นสมการเชิงเส้น ท้ายที่สุดจึงนำสมการที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 1.1

1.3 การวิเคราะห์ระบบไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อพิจารณาไฟกระแสตรง (Non-linear DC analysis)

ในกรณีที่พิจารณาไฟกระแสตรงแล้วยังคงเหลืออุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นอยู่อีก คำตอบของสมการสามารถที่จะหาได้ โดยทำการประมาณอุปกรณ์เหล่านั้นให้เป็นสมการเชิงเส้นที่จุดที่คำนวณ ซึ่งโปรแกรมทั่วไปจะใช้วิธีคำนวณทางคณิตศาสตร์มาช่วยแทนสมการด้วยอนุกรมเชิงเส้นอนุกรมหนึ่ง แล้วนำเฉพาะค่าที่เป็นหลักของอนุกรมนั้นมาคำนวณ การประมาณสมการเช่นนี้ต้องคำนวณใหม่ทุกครั้งที่เปลี่ยนค่าเวลาไป ทำให้โปรแกรมที่ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้มีการประมวลผลช้ามาก นอกจากนี้ในการประมาณสมการด้วยอนุกรมเชิงเส้น อาจทำให้ค่าที่คำนวณออกมาไม่ลู่เข้าหาค่าใดค่าหนึ่ง จึงไม่สามารถหาคำตอบของสมการในบางรูปแบบได้

1.4 การวิเคราะห์ผลตอบสนองชั่วขณะของระบบ (Transient analysis)

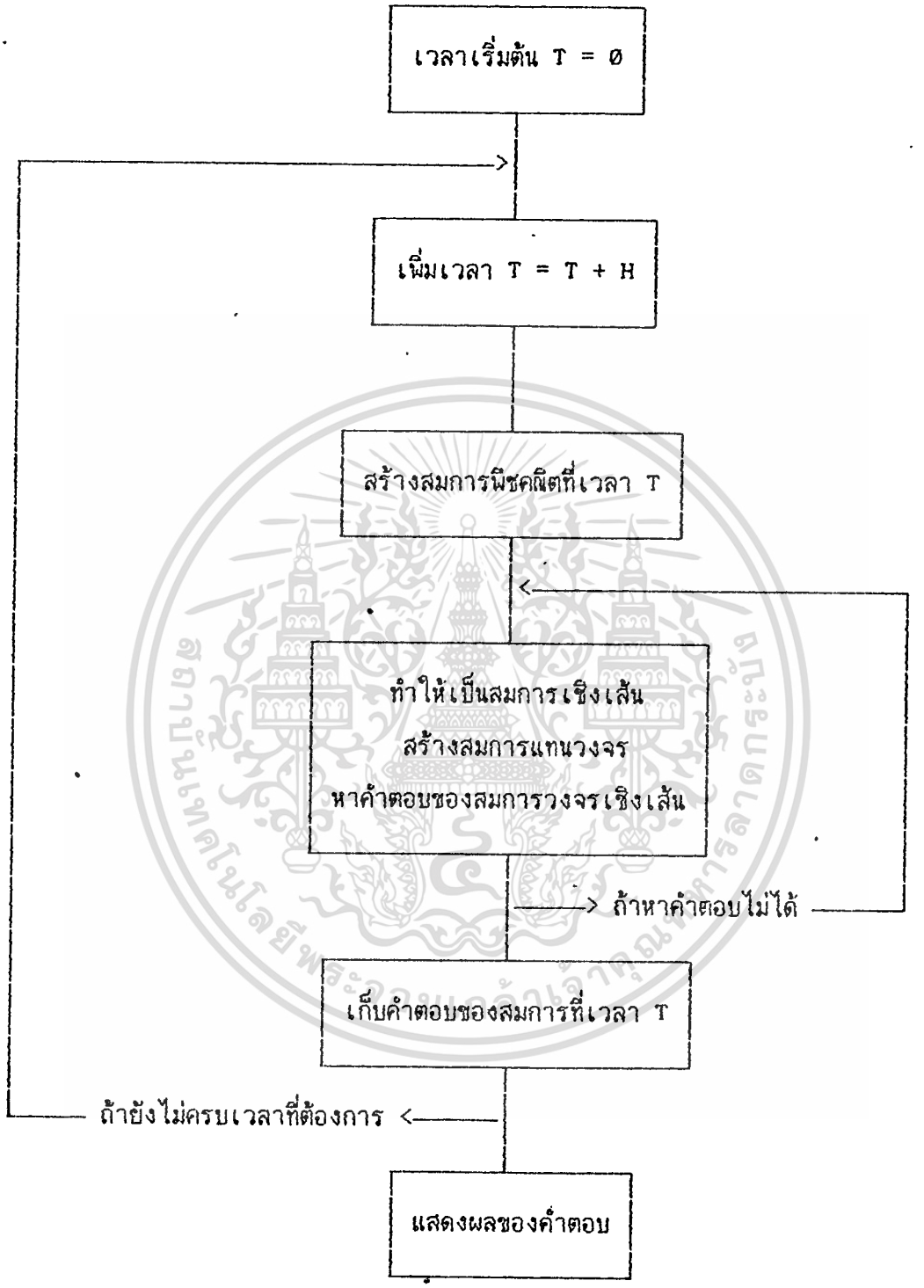
การวิเคราะห์นี้เป็นการหาผลตอบสนองของระบบในช่วงเวลาหนึ่งที่กำหนด โดยทั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปจะกำหนดให้เริ่มต้นที่เวลาเป็นศูนย์ ค่าเริ่มต้นของระบบอาจได้มาจากค่าที่กำหนดให้หรือจากคำตอบของการแก้สมการหาจุดปฏิบัติการ การแก้สมการหาคำตอบสามารถทำได้โดยแบ่งช่วงเวลาที่กำหนดมาให้ออกเป็นช่วงย่อยๆ ในแต่ละช่วงเวลาย่อยๆนั้น โปรแกรมจะทำการประมาณหาค่าคำตอบของสมการ ด้วยวิธีเปลี่ยนรูปสมการของอุปกรณ์สะสมพลังงานให้เป็นสมการพีชคณิตที่มีค่าเท่ากัน ณ. เวลานั้น หลังจากนั้นจึงนำสมการที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการคำนวณเช่นเดียวกันกับการคำนวณในหัวข้อที่ 1.3 ขั้นตอนการทำงานทั้งหมดเมื่อนำมาเขียนเป็นรูปภาพแสดงลำดับขั้นการทำงานจะได้ดังรูป 1.1 จากภาพดังกล่าวจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า การวิเคราะห์หาคำตอบของสมการจะต้องมีโปรแกรมย่อยที่สำคัญในการคำนวณสี่โปรแกรมคือ ส่วนสร้างสมการแทนวงจร, ส่วนคำนวณหาคำตอบของสมการเชิงเส้น, ส่วนประมาณสมการไม่เชิงเส้นให้เป็นสมการเชิงเส้น และ ส่วนสร้างสมการพีชคณิตให้ระบบเมื่อพิจารณาผลตอบสนองชั่วขณะที่เวลาใดๆ รายละเอียดของทั้งสี่ส่วนนี้จะได้อธิบายถึงในบทต่อๆไป

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 1.1 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของการวิเคราะห์ผลตอบสนองชั่วขณะของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 2

การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้แทนระบบจริง

ส่วนเริ่มต้นของโปรแกรมวิเคราะห์วงจร โดยทั่วไปจะเริ่มต้นที่การสร้างแบบจำลองเพื่อใช้แทนระบบจริง แบบจำลองที่นิยมใช้กันมากที่สุดก็คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงได้ด้วยตัวแปรและความสัมพันธ์ต่างๆ คำตอบของสมการที่เขียนขึ้นแทนระบบนี้จะสามารถให้ค่าใกล้เคียงระบบจริงได้มากเพียงในช่วงของเงื่อนไขหนึ่งเท่านั้น ดังนั้น การแทนระบบจริงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ของแต่ละปัญหาอาจไม่ได้สมการที่เหมือนกันแม้ว่าระบบที่นำมาพิจารณาจะเป็นระบบเดียวกันก็ตาม

ในการแทนวงจรใดวงจรหนึ่งด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ถ้าพิจารณาในระดับวงจรแล้วจะเห็นว่ามีวงจรอยู่มากมายหลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ซ้ำกัน ดังนั้นจะเห็นว่าถ้าสามารถหาสมการแทนองค์ประกอบแต่ละตัวในวงจรได้ และ สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบได้ การเขียนสมการแทนวงจรทั้งหมดจะสามารถทำได้โดยมีรูปแบบไม่มากนัก การหาสมการแทนองค์ประกอบแต่ละตัวในวงจรสามารถทำได้โดยการทดสอบคุณสมบัติ แล้วนำผลการทดสอบที่ได้มาสรุปเป็นสมการ หรือ ถ้าเป็นในปัจจุบันข้อมูลเหล่านี้ก็สามารถทราบได้จากบริษัทผู้ผลิต ส่วนสำคัญที่เหลืออยู่ จึงเป็นการหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับสร้างสมการแทนความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบในวงจร

สมการแทนความสัมพันธ์ในวงจรที่จะสร้างขึ้นมา จะต้องมีข้อกำหนดที่จำเป็นอยู่ด้วยกันสองข้อคือ สมการนั้นสามารถใช้แทนระบบได้ในทุกช่วงเวลา และ สมการนั้นเป็นไปตามกฎของเคอร์ชอฟ การสร้างสมการตามข้อกำหนดทั้งสองข้ออาจสามารถจำแนกเป็นวิธีการต่างๆได้ดังนี้

2.1 พิจารณากระแสที่จุดต่อของอุปกรณ์เป็นหลัก (NODAL FORMULATION)

การสร้างสมการด้วยวิธีนี้จะอาศัยกฎกระแสของเคอร์ชอฟเป็นหลักสำคัญ นั่นคือพิจารณาว่าผลรวมของกระแสที่ไหลเข้าออกจุดต่อใดๆในวงจรจะมีค่าเป็นศูนย์เสมอ สมการทั่วไปสำหรับวงจรที่มีจุดต่อช่องอุปกรณ์ n จุด สามารถเขียนแทนวงจรในรูปสมการเมตริกซ์ได้ว่า

$$YV = J$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1,n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Y_{n,1} & Y_{n,2} & \cdots & Y_{n,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \cdots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ \cdots \\ J_n \end{bmatrix}$$

เมื่อ V เป็นเวกเตอร์ แสดงแทนศักดาไฟฟ้าที่จุดต่อต่างๆในวงจรเทียบกับจุดต่อศักดาอ้างอิง (GROUND) ของวงจร เป็นค่าที่ต้องหาคำตอบจากสมการนี้

J เป็นเวกเตอร์ แสดงแทนแหล่งจ่ายกระแสที่มีอยู่ระหว่างจุดต่อต่างๆในวงจรหาได้จากผลรวมของแหล่งจ่ายกระแสที่ต่ออยู่กับจุดต่อนั้น

Y เป็นเมตริกซ์ แสดงแทนค่าความนำไฟฟ้าหรือส่วนกลับของความต้านทานไฟฟ้าระหว่างจุดต่อต่างๆของวงจร ซึ่งสามารถคำนวณหาได้ดังนี้

Y_{ii} ตามแนวเส้นทแยงมุมหาได้จากผลรวมของค่าตัวนำไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับจุดต่อที่ i

Y_{jk} ที่เหลือคือค่าลบของผลรวมของค่าตัวนำไฟฟ้าที่ต่ออยู่ระหว่างจุดต่อที่ j และ k

2.2 พิจารณาศักดาไฟฟ้าระหว่างจุดต่อของอุปกรณ์เป็นหลัก (MESH FORMULATION)

การสร้างสมการด้วยวิธีนี้อาศัยกฎศักดาไฟฟ้าของเคอร์ชอฟเป็นสำคัญคือ พิจารณาว่าผลรวมของศักดาไฟฟ้ารอบวงปิดใดๆจะมีค่าเป็นศูนย์เสมอ สมการในรูปของเมตริกซ์สามารถเขียนได้ว่า

$$ZI = E$$

เมื่อ I เป็นเวกเตอร์ แทนกระแสที่ไหลอยู่ในวงปิดใดๆ เป็นค่าที่ต้องหาคำตอบในสมการนี้

E เป็นเวกเตอร์ แทนผลรวมของแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าในวงปิดใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Z เป็นเมตริกซ์ แทนค่าความต้านทานไฟฟ้าในวงปิดใดๆ ซึ่งสามารถคำนวณหาได้ดังนี้

Z_{ii} ตามแนวเส้นทแยงมุมหาได้จากผลรวมของความต้านทานในวงปิดใดๆ

Z_{jk} คือค่าลบของผลรวมของความต้านทานที่ใช้ร่วมกันระหว่างวงปิดที่ i และ วงปิดที่ k

ดังจะเห็นได้ว่าวิธีในหัวข้อ 2.1 และ 2.2 มีแนวความคิดและลักษณะของสมการคล้ายคลึงกันมาก แต่วิธีสร้างสมการโดยการพิจารณาจากศักดาไฟฟ้าไม่นิยมที่จะนำมาใช้กับคอมพิวเตอร์ เพราะว่า วิธีนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อวงจรนั้นไม่มีเส้นแสดงการตัดข้ามกันของอุปกรณ์เมื่อวาดรูปวงจรบนกระดาษ และวิธีการสำหรับทดสอบเงื่อนไขนี้มีความซับซ้อนยุ่งยากมาก ในระยะเริ่มต้นของการพัฒนาโปรแกรมให้ใช้กับคอมพิวเตอร์จึงนิยมใช้วิธีสร้างสมการโดยพิจารณาจากกระแสในวงจรมากกว่า

2.3 พิจารณากระแสที่ผ่านเข้าออกกลุ่มของอุปกรณ์เป็นหลัก (CUTSET FORMULATION)

การสร้างสมการด้วยวิธีนี้พัฒนามาจากวิธีในหัวข้อ 2.1 โดยนำทฤษฎีของกราฟเข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับกฎกระแสของเคอร์ชอฟในการสร้างสมการ คือพิจารณาว่าถ้าทำการตัดวงจรใดๆออกเป็นสองส่วน ผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรอยต่อนั้นจะมีค่าเป็นศูนย์ การสร้างสมการด้วยวิธีนี้มีข้อเสียอยู่ว่า เมตริกซ์ที่สร้างขึ้นมาแทนความสัมพันธ์ในวงจรจะมีความหนาแน่นมากกว่า และ หลักการสร้างสมการซับซ้อนกว่า จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นหลักในการเขียนโปรแกรมคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์

2.4 พิจารณาศักดาไฟฟ้าของกลุ่มของอุปกรณ์เป็นหลัก (LOOP FORMULATION)

การสร้างสมการด้วยวิธีนี้พัฒนามาจากวิธีการในหัวข้อ 2.2 โดยนำทฤษฎีของกราฟเข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับกฎศักดาไฟฟ้าของเคอร์ชอฟในการสร้างสมการ การสร้างสมการด้วยวิธีนี้จะได้สมการไม่เหมือนกับในหัวข้อ 2.2 สมการที่สร้างด้วยวิธีนี้มีข้อดีกว่าคือสามารถใช้ได้กับวงจรทุกประเภทไม่จำกัดเงื่อนไขเช่นวิธีในหัวข้อ 2.2 แต่ก็มีข้อเสียอยู่ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตริกซ์ที่สร้างขึ้นมาแทนความสัมพันธ์ในวงจรจะมีความหนาแน่นมากกว่า และ หลักการสร้างสมการซับซ้อนกว่า จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นหลักในการเขียนโปรแกรมคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์เช่นกัน

2.5 พิจารณาสมการแทนระบบจากสมการเชิงอนุพันธ์ (STATE VARIABLE FORMULATION)

การสร้างสมการวิธีนี้จะแทนระบบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์เสียก่อน แล้วนำสมการที่ได้เขียนในรูปสมการเมตริกซ์ดังนี้

$$dX/dT = AX + BW$$

$$Y = CX + DW$$

เมื่อ dX/dT เป็นเวกเตอร์ แทนอนุพันธ์ของตัวแปรในระบบ

A,B,C,D เป็นเมตริกซ์ที่มีค่าคงที่

X เป็นเวกเตอร์ แทนตัวแปรของระบบ

W เป็นเวกเตอร์ แทนแหล่งจ่ายพลังงานของระบบ

Y เป็นเวกเตอร์ แทนผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ

การสร้างสมการด้วยวิธีนี้มีข้อเสียที่ว่า ขั้นตอนในการสร้างสมการมีความซับซ้อนและเมตริกซ์ต่างๆที่ได้มาจะมีความหนาแน่นสูง แต่ก็มีข้อดีคือ การแก้สมการที่ได้มาสามารถกระทำได้โดยง่าย วิธีนี้เคยได้รับความนิยมอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง แต่ในปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมใช้กันแล้ว

2.6 การสร้างสมการจากตารางวงจร (TABLEAU FORMULATION)

การสร้างสมการวิธีนี้ อาศัยการแทนอุปกรณ์แต่ละตัวด้วยสมการที่สร้างเป็นตารางไว้แล้ว ซึ่งแต่ละสมการสามารถเขียนในรูปทั่วไปได้ว่า

กระแสไฟฟ้า

ศักดาไฟฟ้า

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ K_2 \end{bmatrix} V_b + \begin{bmatrix} K_1 \\ Z_2 \end{bmatrix} I_b = \begin{bmatrix} W_{b1} \\ W_{b2} \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Y_1 เป็นเมตริกซ์ แสดงแทนสภาพความนำไฟฟ้าของอุปกรณ์

Z_2 เป็นเมตริกซ์ แสดงแทนสภาพความต้านทานไฟฟ้าของอุปกรณ์

K_1 ,K_2 เป็นเมตริกซ์ค่าคงที่

V_b ,I_b เป็นเวกเตอร์ แสดงแทนศักดาไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ เป็นตัวแปรในสมการนี้

W_{b1},W_{b2} เป็นเวกเตอร์ แสดงแทนแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าและแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า ซึ่งอาจต่ออยู่กับอุปกรณ์นั้น หรือ เป็นค่าแสดงสถานะเริ่มต้นของอุปกรณ์นั้น

จากสมการของแต่ละอุปกรณ์ที่ได้มา สามารถนำมารวมเพื่อแสดงแทนวงจรใดๆได้ โดยใช้กฎของเคอร์ชอฟ รูปสมการแทนวงจรจะเป็นดังนี้

$$TX = W$$

หรือเขียนอีกนัยหนึ่งได้ว่า

$$\begin{bmatrix} 1 & \emptyset & -A^T \\ Y_b & Z_b & \emptyset \\ \emptyset & A & \emptyset \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_b \\ I_b \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \emptyset \\ W_b \\ \emptyset \end{bmatrix}$$

เมื่อ A เป็นเมตริกซ์แสดงทิศทางการไหลของกระแสเข้าออกที่จุดต่อต่างๆของอุปกรณ์

V_n เป็นเวกเตอร์แสดงแทนศักดาไฟฟ้าที่จุดต่อต่างๆของอุปกรณ์เทียบกับศักดาไฟฟ้าที่จุดต่อศักดาไฟฟ้าอ้างอิง

การสร้างสมการแทนวงจรด้วยวิธีนี้จะเห็นได้ว่า เมตริกซ์ที่ใช้แทนวงจรมีขนาดใหญ่มาก และ จะมีความหนาแน่นน้อย (มีค่าที่เป็นศูนย์อยู่ในเมตริกซ์เป็นจำนวนมาก) การใช้สมการเช่นนี้ต้องอาศัยเทคนิควิธีการอื่นเข้ามาช่วยลดขนาดของเมตริกซ์ลง ซึ่งวิธีการที่มีอยู่สามารถลดขนาดลงได้ในบางกรณีเท่านั้น และการทำเช่นนี้ก็เป็นการเพิ่มความยุ่งยากในการคำนวณ วิธีนี้จึงไม่ค่อยมีผู้นิยมใช้

2.7 พิจารณากระแสที่จุดต่ออุปกรณ์เมื่อมีแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า (MODIFIED NODAL FORMULATION)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียที่สำคัญของการสร้างสมการจากการพิจารณากระแสที่จุดต่อของอุปกรณ์คือ ไม่สามารถ สร้างสมการแทนระบบที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าได้ วิธีแก้ไขเบื้องต้นที่กระทำกันก็คือ เขียนแทนแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าด้วยแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ให้ผลแก่วงจรเหมือนกัน แต่วิธีนี้ทำให้การสร้างสมการซับซ้อนและใช้เวลามากขึ้นกว่าวิธีอื่นๆที่มีอยู่

การแก้ไขปัญหาข้างต้นสามารถกระทำได้อีกวิธีหนึ่งคือ ทำการแบ่งสมการออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกแสดงสมการที่ได้จากการพิจารณากระแสที่จุดต่อของอุปกรณ์ทั่วไป ส่วนที่สองแสดงสมการที่ได้จากแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า สามารถเขียนสมการในรูปทั่วไปได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} Y_n & A_2 \\ Y_2 A_2^T & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_n \\ W_2 \end{bmatrix}$$

เมื่อ Y_n เป็นเมตริกซ์แสดงสภาพความนำไฟฟ้าของอุปกรณ์ในวงจร

A_2 เป็นเมตริกซ์แสดงการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร

V_n เป็นเวกเตอร์แสดงศักดาไฟฟ้าที่จุดต่อต่างๆในวงจร เป็นตัวแปรในสมการนี้

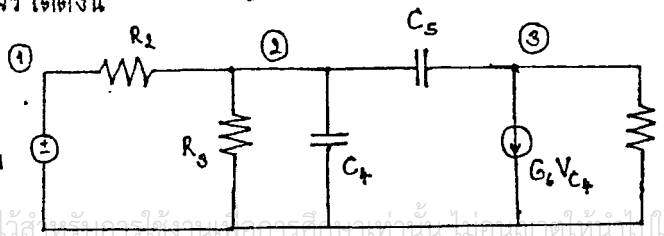
J_n เป็นเวกเตอร์แสดงแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่มีอยู่ในวงจร

Z_2 เป็นเมตริกซ์แสดงสภาพความต้านทานไฟฟ้าของวงจรในส่วนที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า

I_2 เป็นเวกเตอร์แสดงกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ในส่วนที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า

W_2 เป็นเวกเตอร์แสดงแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าในวงจร

ตัวอย่างของการสร้างสมการด้วยวิธีนี้ก็เช่น ถ้ามีวงจรไฟฟ้าดังรูป 2.1 สามารถเขียนสมการแทนวงจรได้ดังนี้



รูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left[\begin{array}{c|c|c|c} 1/R_2 & -1/R_2 & \emptyset & 1 \\ \hline -1/R_2 & 1/R_2+1/R_3 & C_5(d/dT) & \emptyset \\ & +C_4(d/dT)+C_5(d/dT) & & \\ \hline \emptyset & G_6 - C_5(d/dT) & C_5(d/dT) + 1/R_7 & \emptyset \\ \hline 1 & \emptyset & \emptyset & \emptyset \end{array}\right]\left[\begin{array}{c} V_1 \\ \hline V_2 \\ \hline V_3 \\ \hline I_1 \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c} \emptyset \\ \hline \emptyset \\ \hline \emptyset \\ \hline E \end{array}\right]$$

จากสมการที่ได้ออกมายังคงมีปัญหาเกิดขึ้นอีกจุดหนึ่งคือ มีค่าในแนวเส้นทแยงมุมของเมตริกซ์เป็นศูนย์ ซึ่งไม่สามารถให้คอมพิวเตอร์คำนวณหาคำตอบได้ ต้องมีการสลับแถวในเมติกซ์เสียก่อนเพื่อให้ได้ค่าที่ไม่เป็นศูนย์ในแนวเส้นทแยงมุม การทำเช่นนี้ก่อให้เกิดผลเสียคือ เมตริกซ์ใหม่ที่ได้ออกมาจะมีรูปร่างไม่เป็นสมมาตรตามเส้นทแยงมุมมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ยุ่งยากขึ้นในขั้นตอนการแก้สมการ

2.8 พิจารณาทั้งกระแสไฟฟ้าที่จุดต่อของอุปกรณ์และศักดาไฟฟ้าที่อุปกรณ์ต่างๆ (MODIFIED NODAL FORMULATION USING SEPERATE CURRENT AND VOLTAGE GRAPHS)

การพิจารณาในรูปแบบนี้ จะกระทำเสมือนว่าอุปกรณ์แต่ละตัวคือกลุ่มของวงจรที่มีสองปลายเป็นจุดต่อ การพิจารณาเช่นนี้ส่งผลให้ตัวแปรของวงจรลดลงเมื่ออุปกรณ์ในวงจรมีค่าที่ไม่ต้องใช้ในการคำนวณเกิดขึ้น หรือ เมื่อมีสมการแทนอุปกรณ์ในวงจรซ้ำกัน จุดเริ่มต้นจะมาจากทฤษฎีของกราฟโดยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสในวงจร และกราฟแสดงความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าในวงจรแยกจากกัน กราฟทั้งสองนี้สามารถเขียนได้จากกราฟของวงจรด้วยกฎเกณฑ์ดังนี้

1. ถ้ากระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์นั้นๆไม่รวมอยู่ในสมการแทนอุปกรณ์ หรือ ไม่สนใจพิจารณาให้ลบเส้นกราฟนั้นออกจากกราฟของกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ถ้ากระแสที่ไหลผ่านระหว่างจุดต่อสองจุดใดๆมีค่าเป็นศูนย์ ให้ลบเส้นกราฟที่เชื่อมระหว่างจุดทั้งสองออกจากกราฟกระแสไฟฟ้า

3. ถ้าศักดาไฟฟ้าระหว่างสองจุดต่อใดๆไม่รวมอยู่ในสมการแทนอุปกรณ์ระหว่างสองจุดต่อนั้นหรือไม่สนใจพิจารณา ให้ลบเส้นกราฟระหว่างสองจุดต่อนั้นออกจากกราฟของศักดาไฟฟ้า

4. ถ้าศักดาไฟฟ้าระหว่างจุดต่อสองจุดใดๆมีค่าเป็นศูนย์ ให้ลบเส้นกราฟที่เชื่อมระหว่างจุดทั้งสองนั้นออกจากกราฟของศักดาไฟฟ้า

จากกฎทั้งหมดข้างต้นนี้ คำว่าไม่สนใจพิจารณาหมายความถึงตัวแปรที่ไม่สนใจจะต้องการหาคำตอบด้วย เส้นกราฟใดๆที่เหลือจากการกระทำตามกฎทั้งหมดนี้ให้คงไว้เช่นเดิม กราฟที่ได้ออกมาจะเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าในวงจร และ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าในวงจรที่ต้องการ ซึ่งจะนำไปใช้สร้างสมการแทนระบบต่อไป

กราฟที่ได้มาทั้งสองเมื่อนำมาสร้างสมการโดยใช้กฎของเคอร์ชอฟเป็นหลัก จะได้สมการที่มี ขนาดของเมตริกซ์แตกต่างออกไปจากสมการที่เขียนโดยพิจารณากระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว หรือโดยพิจารณาศักดาไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว การสร้างสมการจากกราฟทั้งสองที่แยกจากกัน สามารถทำเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. แทนสมการของอุปกรณ์ที่สามารถอธิบายได้ในรูปสภาพความนำไฟฟ้าด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าที่จุดต่อของอุปกรณ์เทียบกับศักดาไฟฟ้าอ้างอิง และ แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยกราฟของกระแสไฟฟ้าเป็นหลัก

2. แทนสมการของอุปกรณ์ที่สามารถอธิบายได้ในรูปศักดาไฟฟ้าระหว่างจุดต่อสองจุดด้วยสมการที่แสดงความสัมพันธ์กับศักดาไฟฟ้าที่จุดต่อของอุปกรณ์เทียบกับจุดต่อศักดาไฟฟ้าอ้างอิง โดยใช้กราฟของศักดาไฟฟ้าเป็นหลัก

3. นำสมการทั้งหมดที่ได้ และ สมการที่เหลือจากการกระทำตามข้อ 1 และ ข้อ 2 มารวมกัน

จากขั้นตอนที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถอธิบายให้เข้าใจได้อย่างง่ายๆ โดยอาศัยตัวอย่างดังนี้

สมมุติว่ามีวงจรไฟฟ้าอยู่ดังรูป 2.2 และ สามารถเขียนกราฟแยกได้เป็น กราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสในวงจร และ กราฟแสดงความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าในวงจรดังรูป 2.3 หมายเลขประจำจุดต่อของอุปกรณ์ถูกเปลี่ยนไป แทนด้วยหมายเลขในกรอบสี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลี่ยม สมการที่มีค่ากระแสไม่เป็นศูนย์มีอยู่เพียงสมการเดียวคือ

$$-I_2 + I_3 = \emptyset$$

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าในวงจร สามารถเขียนแทนศักดาไฟฟ้าระหว่างจุดต่อในวงจรด้วยศักดาไฟฟ้าที่จุดต่อเทียบกับศักดาอ้างอิงได้ดังนี้

$$V_1 = V_{n1}$$

$$V_2 = V_{n1} - V_{n2}$$

$$V_3 = V_{n2}$$

สมการแสดงแทนอุปกรณ์ต่างในวงจรจะมีอยู่ดังนี้

$$V_1 = E_1$$

$$I_2 = G_2 V_2$$

$$I_3 = sC_3 V_3$$

แทนค่าสมการแทนวงจรลงในสมการแสดงความสัมพันธ์ของกระแส จะได้สมการใหม่ว่า

$$-G_2 V_2 + sC_3 V_3 = \emptyset$$

หลังจากนั้นก็ทำการแทนค่า V_2 และ V_3 ด้วยสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้า และสมการแทนแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า $V_1 = E_1$ สมการที่ได้เมื่อนำมาเขียนในรูปของเมตริกซ์จะเป็นดังนี้

$$\begin{bmatrix} -G_2 & G_2 + sC_3 \\ 1 & \emptyset \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{n1} \\ V_{n2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \emptyset \\ E_1 \end{bmatrix}$$

หรือถ้าพิจารณาในกรณีทั่วไป สมการที่เขียนแทนวงจรโดยใช้วิธีเขียนจากกราฟกระแสและศักดาไฟฟ้าจะได้รูปสมการต่างๆ เป็นดังนี้

สภาพความนำไฟฟ้า $I_1 = Y_1 V_1$

สภาพความต้านทานไฟฟ้า $V_2 = Z_2 I_2$

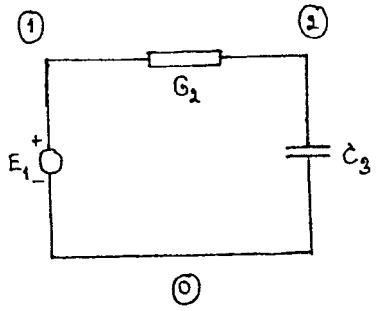
แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าอิสระ $I_3 = J_5$

แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าอิสระ $V_3 = E_5$

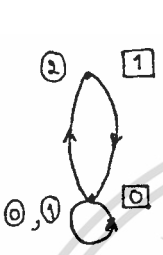
แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าไม่อิสระ $I_4 = aI_5$

แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าไม่อิสระ $V_4 = bV_5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

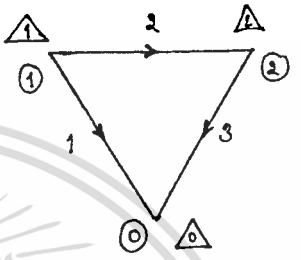


รูปที่ 2.2



I - Graph

แสดงความสัมพันธ์ของกระแสในวงจร



V - Graph

แสดงความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าในวงจร

รูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์สองปลายทั่วไป $Y_6V_6 + Z_6I_6 = W$

เมื่อนำสมการต่างๆมารวมกันเช่นดังตัวอย่าง สามารถนำสมการทั้งหมดมาเขียนในรูปเมตริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} A_{11}Y_1A_{v1}^T & A_{12} & (aA_{14} + A_{15}) & A_{16} \\ A_{v2}^T & -Z_2 & 0 & 0 \\ A_{v3}^T & 0 & 0 & 0 \\ (A_{v4}^T - bA_{v5}^T & 0 & 0 & 0 \\ Y_6A_{v6}^T & 0 & 0 & Z_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \\ I_2 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A_{13}J_6 \\ 0 \\ E_5 \\ 0 \\ W \end{bmatrix}$$

การสร้างสมการด้วยวิธีนี้เหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้เป็นหลักการเขียนโปรแกรมให้แก่คอมพิวเตอร์ มีข้อดีเด่นเหนือกว่าการเขียนสมการโดยพิจารณากระแสร่วมกับแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าคือ วิธีนี้ให้สมการที่มีความหนาแน่นของเมตริกซ์มากกว่าและมีขนาดของเมตริกซ์เล็กกว่า แต่ก็มีข้อเสียเปรียบที่การสร้างสมการซับซ้อนกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การหาคำตอบของสมการแทนระบบจริง

3.1 การแก้สมการเชิงเส้นของเมตริกซ์

สมการแทนระบบที่สร้างขึ้นมาโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปสมการเมตริกซ์ที่เป็นสมการเชิงเส้นดังนี้

$$AX = B$$

โดยที่ A เป็นเมตริกซ์ค่าคงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆในระบบ

X เป็นเวกเตอร์ที่เป็นตัวแปรของระบบ

B เป็นเวกเตอร์ที่ส่งผลให้ระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ

การแก้สมการเชิงเส้นของเมตริกซ์นี้อาจกระทำได้โดยวิธีแก้สมการตรงๆคือ

$$X = A^{-1}B$$

การหาเมตริกซ์ A^{-1} อาจทำได้โโยใช้กฎของแครมเมอร์ (CRAMMER'S RULE) ซึ่งเขียนแทนด้วยสมการได้ว่า

X_k = (det เมตริกซ์ A ที่ถูกแทนแถวที่ k ด้วยเวกเตอร์ B) / (det A)

เมื่อ det A หมายถึงดีเทอร์มิแนนท์ (DETERMINANT) ของเมตริกซ์ A

การหาคำตอบด้วยวิธีการของแครมเมอร์นั้นเป็นวิธีการที่ไม่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์วงจร เนื่องจากว่าวิธีการนี้จะใช้เวลาในการแก้ปัญหามากขึ้นตามขนาดของเมตริกซ์ และปัญหาในทางวงจรไฟฟ้ามักจะได้เมตริกซ์ที่มีขนาดใหญ่มากๆ ซึ่งถ้าใช้วิธีนี้แล้วจะเสียเวลานานมากในการแก้ปัญหา วิธีที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาได้อีกวิธีหนึ่งก็คือ วิธีการลดรูปของเก๊าส์ (GAUSSIAN ELIMINATION) ซึ่งจะทำให้สมการเมตริกซ์ที่ได้ออกมาอยู่ในรูปเมตริกซ์สามเหลี่ยม แล้วทำการแทนค่าย้อนกลับจากค่าที่อยู่ล่างสุดกลับขึ้นสู่ค่าที่อยู่บนสุด (BACK SUBSTITUTION) ซึ่งจะได้สมการคำตอบในรูป

$$X_i = A_{i,n+1} - \text{SUM}_j(j = i+1 \text{ to } n,\ A_{i,j}X_j)$$

โดยที่ $i = n-1, n-2, \ldots, 1$

SUM แสดงแทนการรวมกันของพจน์ที่ i+1 ถึงพจน์ที่ n ของ $A_{i,j}X_j$

วิธีการลดรูปของเก๊าส์นี้จะใช้การคำนวณทั้งหมดประมาณ $n^3/3$ ครั้ง เมื่อ n คือขนาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตริกซ์ที่ใช้ในการประมวลผล และ ขั้นตอนการแทนค่ากลับจะใช้การคำนวณทั้งหมดประมาณ $n^2/2$ ครั้ง

อีกวิธีหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างมากในการแก้ปัญหาสมการเชิงเส้นนี้ก็คือ การแยกตัวประกอบเมตริกซ์ให้เป็นเมตริกซ์สามเหลี่ยม ดังนี้

สมมุติว่า ถ้าสามารถเขียนแทนเมตริกซ์ A ได้ด้วยเมตริกซ์สองเมตริกซ์คูณกันคือ

$$A = LU$$

โดยที่ L เป็นเมตริกซ์ที่มีสมาชิก L_{ij} เป็นศูนย์เมื่อ i น้อยกว่า j

U เป็นเมตริกซ์ที่มีสมาชิก U_{ij} เป็นศูนย์เมื่อ i มากกว่า j และ มีค่าเป็น 1 เมื่อ i เท่ากับ j

สมการของระบบสามารถเขียนได้ใหม่ว่า

$$LUX = B$$

ถ้าให้ $UX = Z$

จะได้ว่า $LZ = B$

เมื่อแทนค่าตามคุณสมบัติของเมตริกซ์ที่กำหนดลงในสมการจะพบว่า

$$Z_1 = B_1/L_{11}$$

$$Z_i = (B_i - SUM (j = 1 \text{ to } i-1, L_{ij}Z_j))/L_{ii}$$

โดยที่ $i = 2,3,4,\ldots,n$ และ

$$X_n = Z_n$$

$$X_i = Z_i - SUM (j = i+1 \text{ to } n, U_{ij}Z_j)$$

โดยที่ $i = n-1, n-2, \ldots, 1$

การคำนวณทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะมีจำนวนเท่ากับ $n^2/2 + n^2/2 = n^2$ ครั้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้อยกว่าวิธีของเก๊าส์ที่มีพจน์กำลังสาม ปัญหาที่เหลือเพียงประการเดียวก็คือ การหาค่า L และ U ที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้แก้สมการค่าที่ต้องการอาจหาได้จากสมการดังนี้

$$L_{ik} = A_{ik} - SUM (m = 1 \text{ to } k-1, L_{im}U_{mk})$$

โดยที่ i มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ k เสมอ

$$U_{ik} = (A_{kj} - SUM (m = 1 \text{ to } k-1, L_{km}U_{mj}))/L_{kk}$$

โดยที่ j มีค่ามากกว่า k เสมอ

การใช้วิธีแก้ปัญหาเช่นนี้ให้ผลดีกว่าการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการลดรูปของเก๊าส์คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สามารถคำนวณหาดีเทอร์มิแนนท์ได้โดยง่ายคือ

$$\det A = MUL\ (\ i = 1\ to\ n,\ L_{ii}\ )$$

เมื่อ MUL แทนการคูณกันของค่า L_{ii} ตั้งแต่ตัวที่ 1 ถึง n

2. สามารถใช้เนื้อที่การเก็บค่าเมตริกซ์ L และ U ร่วมกันได้ และสามารถเก็บลงแทนที่เมตริกซ์ A ได้เป็นการประหยัดหน่วยความจำที่ใช้งาน

3. การเปลี่ยนค่าเวกเตอร์ B ที่อยู่ทางขวามือของสมการไม่ต้องการการคำนวณเพื่อหาเมตริกซ์ L และ U ใหม่ การคำนวณที่ต้องการก็เพียงแทนค่าหา Z และ X ใหม่เท่านั้น

4. การแก้สมการของระบบ $A^TX = C$ สามารถกระทำได้โดยใช้องค์ประกอบเมตริกซ์ LU เดิม ซึ่งการคำนวณเช่นนี้จะมีใช้มากในการคำนวณหาค่าความไวของวงจรต่อการเปลี่ยนค่าของอุปกรณ์ในวงจร

การใช้วิธีการแก้สมการโดยวิธียี้จะใช้ขั้นตอนการคำนวณทั้งหมด $n^3/3 - n/3 + n^2$ ครั้งซึ่งจะเห็นว่าใกล้เคียงกันกับวิธีของเก๊าส์ แต่มีข้อดีกว่าในกรณีที่ได้กล่าวไปแล้วทั้ง 4 ข้อข้างต้น วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันในการพัฒนาโปรแกรมมากที่สุด

3.2 การสลับแถวของเมตริกซ์เพื่อช่วยในการคำนวณ (PIVOTING)

ในการแก้ปัญหาบางครั้งสมการที่ได้ออกมา อาจไม่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาได้โดยตรง เช่นในกรณีที่ ค่า A_{11} เท่ากับศูนย์ การแก้ปัญหาทั้งสองวิธีที่กล่าวมาไม่สามารถจะทำได้ เพราะทั้งสองวิธีจะมีจุดเริ่มต้นโดยการนำ A_{11} ไปเป็นตัวหาร กรณีเช่นนี้จะต้องมีการสลับแถวของเมตริกซ์เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมก่อนที่นำไปใช้กับการแก้สมการข้างต้น ลักษณะการสลับแถวของเมตริกซ์สามารถกระทำให้เกิดขึ้นได้สองรูปแบบคือ

1. สลับเฉพาะแถวนอนของเมตริกซ์ นำค่า A_{11} ที่มากที่สุดมาไว้ตำแหน่ง A_{11}

2. สลับทั้งแถวนอนและแถวตั้ง โดยทำการสลับแถวนอนก่อนดังข้อ 1 จากนั้นจึงทำการสลับตามแนวแถวตั้งอีกครั้ง นำค่าที่มากที่สุดมาไว้ที่ตำแหน่ง A_{11}

ตัวอย่างของการสลับแถวนี้ก็เช่น สมมุติว่ามีสมการอยู่ดังนี้

$$0X_1 + X_2 + 3X_3 = 3$$

$$2X_1 + 5X_2 + 8X_3 = 2$$

$$4X_1 - 2X_2 + 10X_3 = 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้วิธีที่ 1

$$4X_1 - 2X_2 + 10X_3 = 1$$
$$2X_1 + 5X_2 + 8X_3 = 2$$
$$0X_1 + X_2 + 3X_3 = 3$$

เมื่อใช้วิธีที่ 2

$$10X_3 - 2X_2 + 4X_1 = 1$$
$$8X_3 + 5X_2 + 2X_1 = 2$$
$$3X_3 + X_2 + 0X_1 = 3$$

การใช้วิธีทั้งสองมีข้อแตกต่างกันอยู่ที่ว่า การใช้วิธีสลับเฉพาะแถวนอนจะได้ความแม่นยำในการคำนวณออกมาน้อยกว่าการสลับทั้งแถวนอนและแถวตั้ง แต่การสลับแถวนอนอย่างเดียวจะเสียเวลาน้อยกว่า โดยทั่วไปนิยมที่จะใช้วิธีการสลับเฉพาะแถวนอนในการพัฒนาโปรแกรม

3.3 การลดเนื้อที่การเก็บและลดขั้นตอนการคำนวณในเมตริกซ์ที่มีความหนาแน่นน้อย (SPASE MATRIX PRINCIPLES)

ในการสร้างสมการแทนวงจรไฟฟ้าด้วยวิธีต่างๆที่ผ่านมาดังข้างต้น จะเห็นได้ว่าเมตริกซ์ส่วนใหญ่ที่ได้ออกมาจะประกอบด้วยสมาชิกที่เป็นศูนย์จำนวนมาก ในการคำนวณที่เกิดขึ้นส่วนนี้เป็นส่วนที่ทำให้เกิดการเสียเวลาในการทำงาน เพราะการคูณด้วยศูนย์ผลลัพธ์ต้องเป็นศูนย์แน่ๆอยู่แล้วโดยไม่ต้องการการคำนวณ จึงมีการพัฒนาเทคนิควิธีการขึ้นมาเพื่อลดขั้นตอนในการคำนวณส่วนนี้ทิ้งไป และ ลดเนื้อที่หน่วยความจำที่ต้องใช้เก็บค่าศูนย์เหล่านี้ทิ้งไปด้วย การกระทำเช่นนี้อาศัยหลักการของการสลับแถวในหัวข้อที่แล้วเข้ามาช่วยด้วยส่วนหนึ่ง ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างความสำคัญของตำแหน่งในการคำนวณได้จากตัวอย่างดังนี้

สมมุติว่ามีเมตริกซ์ที่จะใช้ในการคำนวณเป็น

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ A_{31} & 0 & A_{33} \end{bmatrix}$$

จะได้สมการต่างในการคำนวณ องค์ประกอบเมตริกซ์ LU ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_{11} = A_{11} \qquad U_{12} = A_{12}/L_{11} \qquad U_{13} = A_{13}/L_{11}$$

$$L_{21} = A_{21} \qquad L_{22} = A_{22} - L_{21}U_{12} \qquad U_{23} = (\emptyset - L_{21}U_{13})/L_{22}$$

$$L_{31} = A_{31} \qquad L_{32} = \emptyset - L_{31}U_{12} \qquad L_{33} = A_{33} - L_{31}U_{13} - L_{32}U_{23}$$

แต่เมื่อจัดการสลับแถวเมตริกซ์ใหม่ให้มีสมการเป็นดังนี้

$$A = \begin{bmatrix} A_{33} & \emptyset & A_{31} \\ \emptyset & A_{22} & A_{21} \\ A_{13} & A_{12} & A_{11} \end{bmatrix}$$

สามารถคำนวณองค์ประกอบของเมตริกซ์ LU ได้ดังนี้

$$L_{11} = A_{33} \qquad U_{12} = \emptyset \qquad U_{13} = A_{31}/L_{11}$$

$$L_{21} = \emptyset \qquad L_{22} = A_{22} \qquad U_{23} = A_{21}/L_{22}$$

$$L_{31} = A_{13} \qquad L_{32} = A_{12} \qquad L_{33} = A_{11} - L_{31}U_{13} - L_{32}U_{23}$$

จะสังเกตจากตัวอย่างนี้ได้ว่า ในตัวอย่างแรกการแก้ปัญหาจะต้องการการคูณ 8 ครั้งและการลบกัน 5 ครั้ง แต่ในกรณีที่ได้สลับแถวเมตริกซ์แล้วการคำนวณจะลดลงเหลือเพียง การคูณ 4 ครั้งและการลบ 2 ครั้งนอกจากนี้แล้วผลการคำนวณที่ได้ยังรักษาค่าศูนย์ทั้งสองตำแหน่งไว้อีกด้วย จากตัวอย่างนี้ชี้ให้เห็นว่า การสลับแถวที่เหมาะสมจะทำให้ขั้นตอนการคำนวณลดลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทำงานของโปรแกรม SPICE

SPICE เป็นโปรแกรมจำลองผลการทำงานของวงจรไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นมาตั้งแต่ คศ. 1972 สามารถทำการคำนวณวงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆดังนี้คือ

- ตัวต้านทาน (RESISTOR)
- ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบไม่เป็นเชิงเส้น (NONLINEAR CAPACITOR)
- ตัวเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าแบบไม่เป็นเชิงเส้น (NONLINEAR INDUCTOR)
- ผลของตัวเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าที่มีต่อกัน (MUTUAL INDUCTOR)
- แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าอิสระ (INDEPENDENT VOLTAGE SOURCE)
- แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าอิสระ (INDEPENDENT CURRENT SOURCE)
- แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าไม่อิสระ (NONLINEAR VOLTAGE CONTROLLED CURRENT SOURCE)
- ไดโอด (DIODE)
- ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ (BJT: BIPOLAR JUNCTION TRANSISTOR)
- เจเฟ็ททรานซิสเตอร์ (JFET: JUNCTION FIELD EFFECT TRANSISTOR)
- มอสเฟ็ททรานซิสเตอร์ (MOSFET: METAL-OXIDE SEMICONDUCTOR FIELD EFFECT TRANSISTOR)

การรับข้อมูลของโปรแกรม SPICE จะมีรูปแบบของการรับข้อมูลที่ยืดหยุ่นได้สำหรับอุปกรณ์แต่ละประเภท ทำให้โปรแกรมนี้ติดต่อกับผู้ใช้ได้สะดวกและเป็นที่นิยมใช้ การรับข้อมูลของโปรแกรมแต่เดิมใช้อ่านข้อมูลจากบัตรเจาะรู และใช้การแสดงผลออกสู่เครื่องพิมพ์ สามารถวาดกราฟออกทางเครื่องพิมพ์ได้โดยอาศัยตัวอักษรในการพิมพ์มาประกอบกันเป็นรูปกราฟ การวิเคราะห์วงจรเพื่อหาค่าต่างสามารถทำได้หลายอย่างดังนี้

1. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC ANALYSIS)
   - การคำนวณหาจุดปฏิบัติการของอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้น (DC OPERATING POINT)
   - การคำนวณหาสมการพีชคณิตเพื่อใช้แทนอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นที่เวลาใดๆ (LINEARIZED DEVICE MODEL PARAMETERIZATION)
   - การคำนวณฟังก์ชั่นส่งผ่านของระบบ (SMALL SIGNAL TRANSFER FUNCTION)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคำนวณความไวของวงจรต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของอุปกรณ์ (SMALL SIGNAL SENSITIVITIES)
- การคำนวณฟังก์ชั่นการส่งผ่านของระบบไฟกระแสตรง (DC TRANSFER CURVE)

2. การวิเคราะห์ผลตอบสนองชั่วขณะของระบบ (TRANSIENT ANALYSIS)
- การคำนวณผลตอบสนองต่อเวลาของระบบ (TIME DOMAIN RESPONSE)
- การคำนวณองค์ประกอบความถี่ของสัญญาณที่ได้จากวงจร (FOURIER ANALYSIS)

3. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC ANALYSIS)
- การคำนวณผลตอบสนองต่อความถี่ของระบบ (SMALL SIGNAL FREQUENCY DOMAIN ANALYSIS)
- การคำนวณผลของสัญญาณรบกวน (NOISE ANALYSIS)
- การคำนวณความเพี้ยนของสัญญาณ (DISTORTION ANALYSIS)

โครงสร้างของโปรแกรม SPICE ประกอบด้วยชุดคำสั่งภาษาฟอร์แทรนประมาณ 15,000 คำสั่งรวมกับภาษาแอสเซมบลี้อีกส่วนหนึ่งซึ่งใช้เฉพาะบนเครื่องที่พัฒนาขึ้นมา การทำงานของตัวโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ส่วนคือ

- ส่วนรับข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม (READIN) ทำหน้าที่รับข้อมูลจากอุปกรณ์อ่านข้อมูลเข้าสู่ตัวโปรแกรม ตรวจสอบทุกบรรทัดของข้อมูลที่เข้ามาว่าถูกต้องตามรูปแบบที่อนุญาตหรือไม่ แล้วทำการจัดโครงสร้างข้อมูลของวงจร
- ส่วนตรวจสอบความสมบูรณ์ของวงจร (ERRCHK) ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อมูลที่เข้ามาเรียบร้อยแล้วว่า มีอุปกรณ์ใดบ้างที่ให้ข้อมูลไม่ครบ อุปกรณ์ใดบ้างที่ไม่สามารถกำหนดชนิดได้ ทำการสร้างตารางจุดต่อของอุปกรณ์, ขยายวงจรย่อยออก, ตรวจสอบความสมบูรณ์ของวงจรว่า อุปกรณ์ทุกตัวถูกต่อปลายไว้ครบตามที่ควรจะเป็นแล้วหรือไม่ และ พิมพ์แสดงผลของค่าต่างๆที่ใช้ของอุปกรณ์ทั้งหมดในวงจร
- ส่วนสร้างเมตริกซ์ที่จะใช้ในการคำนวณจากข้อมูลของวงจร (SETUP) ทำหน้าที่สร้างระบบข้อมูลที่ใช้แทนเมตริกซ์ในการคำนวณ เช่น การสร้างชุดของตัวชี้ข้อมูลในการเก็บเมตริกซ์ด้วยลิสท์ข้อมูล
- ส่วนวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DCTRAN) เป็นส่วนของโปรแกรมที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ทำหน้าที่วิเคราะห์หาจุดปฏิบัติการของอุปกรณ์, สถานะเริ่มต้นของวงจร ฟังก์ชั่นการส่งผ่านของระบบไฟกระแสตรง และ ผลการตอบสนองชั่วขณะของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนที่ทำหน้าที่แทนอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นด้วยสมการพีชคณิต (DCOP) ทำหน้าที่พิมพ์ผลลัพธ์ของจุดปฏิบัติการของอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นต่างๆ และ สร้างสมการแทนอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้นด้วยสมการทางพีชคณิต
- ส่วนวิเคราะห์ระบบไฟกระแสสลับ (ACAN) มีหน้าที่พิจารณาผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจร, ทำการวิเคราะห์สัญญานรบกวน และ ความเพี้ยนของสัญญาณ
- ส่วนแสดงผลของโปรแกรม (OUTPUT) ทำการสร้างตารางแสดงผลที่ใช้ในการวาดรูปกราฟแสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์เลียนแบบ และมีการวิเคราะห์องค์ประกอบความถี่ของสัญญาณผลลัพธ์ด้วย

การจัดเก็บข้อมูลของ SPICE

เนื่องจากในระหว่างที่โปรแกรม SPICE ทำงานต้องการพื้นที่สำหรับหน่วยความจำเพื่อเก็บข้อมูลต่างๆไม่ว่าจะเป็น ข้อมูลที่ใช้อธิบายวงจร, ข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนรูปสมการของอุปกรณ์, ข้อมูลของจุดปฏิบัติการของอุปกรณ์ หรือ อื่นๆ โปรแกรมจะต้องการเนื้อที่หน่วยความจำมาใช้เป็นจำนวนมาก แต่เดิมนั้น SPICE ได้แก้ปัญหาของหน่วยความจำโดยการกำหนดขนาดของหน่วยความจำเพื่อให้มีขนาดคงที่ เพียงพอสำหรับการคำนวณวงจรที่มีขนาด 400 จุดต่อ และอุปกรณ์ 25 ตัว ซึ่งเป็นการง่ายและมีประสิทธิภาพ แต่ก็มีข้อจำกัด คือ กรณีต้องการให้คำนวณวงจรขนาด 75 จุดต่อ และมีอุปกรณ์ 26 ตัวจะไม่สามารถทำได้ เนื่องจากหน่วยความจำไม่พอให้ใช้ ทั้งที่จริงๆแล้วยังมีหน่วยความจำไม่ได้ใช้งานเป็นจำนวนมากก็ตาม

เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ จึงได้มีการออกแบบระบบจัดการข้อมูลขึ้นใหม่ให้เป็นลักษณะไม่จำกัดบริเวณใช้งาน การจัดหน่วยความจำเช่นนี้จะต้องแบ่งหน่วยความจำออกเป็นส่วนๆ โดยใช้เนื้อที่เดียวกันแต่ต่างชื่อออกไปในการเรียกใช้ข้อมูล สามารถแบ่งออกตามตัวแปรที่ใช้เป็นดังนี้

- NODPLC ใช้เก็บข้อมูลที่เป็นเลขจำนวนเต็ม
- VALUE ใช้เก็บข้อมูลที่เป็นจำนวนมิทศนิยม
- CVALUE ใช้เก็บข้อมูลที่เป็นเลขจำนวนเชิงซ้อน (มิทศนิยม)

เนื่องจากถูกจัดเป็นตัวแปรแบบ EQUIVALENCE ดังนั้น NODPLC(1) จะใช้หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจำเดียวกันกับ VALUE(1) และ CVALUE(1) รวมถึงตัวถัดไปด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการใช้ข้อมูลไม่ให้ซ้อนทับกัน โดยใช้ค่าตัวชี้ตำแหน่งที่ต่างกันคือ LOC ใช้สำหรับ NODPLC, LOCV ใช้สำหรับตัวแปร VALUE และ CVALUE

การวิเคราะห์ของ SPICE อาศัยวิธีการวิเคราะห์ด้วยการพิจารณากระแสที่จุดต่อของอุปกรณ์ร่วมกับการพิจารณาแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าเป็นหลัก การเก็บเมตริกซ์ในหน่วยความจำก็อาศัยหลักการของการสลับแถวทั้งแนวตั้งและแนวนอนมาลดขั้นตอนในการคำนวณ และ เก็บเมตริกซ์ในรูปของลิสท์เพื่อลดหน่วยความจำที่ต้องใช้ในการเก็บค่าสมาชิกที่เป็นศูนย์ การแก้ปัญหาสมการก็ใช้วิธีสร้างองค์ประกอบเมตริกซ์ LU ในส่วนการคำนวณสมการแทนสมการไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ใช้วิธีการประมาณค่าด้วยคณิตศาสตร์ซึ่งไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ เพราะนอกเหนือขอบเขตของจุดมุ่งหมายของปริญญานิพนธ์ที่กำหนดไว้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การพัฒนาโปรแกรมเลียนแบบวงจรเชิงเส้น

ในการออกแบบโครงสร้างการทำงานของโปรแกรมนี้ โครงสร้างหลักได้นำมาจากโปรแกรม SPICE ซึ่งมีรายละเอียดดังได้กล่าวไปแล้วข้างต้น โครงสร้างย่อยทั้งหมดได้ทำการพัฒนาขึ้นมาใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับปัจจุบัน โครงสร้างหลักที่นำมาก็คือ ลำดับขั้นตอนการแก้ไขปัญหาของโปรแกรม สำหรับข้อแตกต่างที่เป็นหลักในการออกแบบโปรแกรมมีอยู่ดังนี้

โปรแกรม SPICE	โปรแกรมที่ออกแบบ
1. รับข้อมูลจากเครื่องอ่านบัตร ยาวได้ 80 ตัวอักษรต่อบัตรหนึ่งใบ ไม่สะดวกในการเตรียมและแก้ไขข้อมูล	1. รับข้อมูลจากไฟล์ข้อความบนแผ่นดิสค์ สะดวกต่อการแก้ไขหรือเตรียมข้อมูล
2. แสดงผลข้อมูลสู่เครื่องพิมพ์ไม่สามารถแสดงกราฟโดยละเอียดได้	2. แสดงผลออกทางจอภาพได้และพิมพ์แสดงผลกราฟที่ละเอียดได้
3. ใช้ภาษาฟอร์แทรนซึ่งมีข้อจำกัดทางการใช้โครงสร้างภาษาและข้อมูล แต่ให้ความสะดวกในทางคำนวณ	3. ใช้ภาษาซีซึ่งได้เปรียบด้านโครงสร้างภาษา, โครงสร้างข้อมูล และความเร็วในการประมวลผล แต่ไม่สะดวกในการคำนวณ ซึ่งชดเชยได้โดยใช้ตัวประมวลผลทางคณิตศาสตร์
4. ประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ มีขนาดหน่วยความจำมาก แต่บริการผู้ใช้หลายคน จึงมีตัวโปรแกรมเพียงหน่วยเดียว แต่ต้องจัดการหน่วยความจำเพื่อใช้งานด้วยขบวนการที่ซับซ้อน	4. ประมวลผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ มีขนาดหน่วยความจำน้อยกว่า, ความเร็วของซีพียูในการประมวลผลช้ากว่า แต่บริการผู้ใช้เพียงคนเดียวจึงไม่ยุ่งยากในการใช้หน่วยความจำแต่ต้องแบ่งโปรแกรมเป็นหลายหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม SPICE	โปรแกรมที่ออกแบบ
5. ใช้คณิตศาสตร์คอมพิวเตอร์และแบบจำลองของสมัยเก่า โปรแกรมเป็นแบบไม่มีโครงสร้าง แก้ไขปรับปรุงลำบาก	5. สามารถทำการปรับปรุงวิธีแก้ปัญหาและแบบจำลองให้ดีขึ้นได้ง่ายกว่า เพราะเป็นโปรแกรมแบบโครงสร้าง

จากข้อเปรียบเทียบที่ผ่านมาทั้งหมด สามารถสรุปโครงสร้างของโปรแกรมที่ต้องการทำการพัฒนาได้ดังนี้

(1) ตัวโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆด้วยกันสมมุติให้เป็น ก,ข,ค,ง

(2) ส่วน ก. ทำหน้าที่เป็นรับข้อมูลเข้าสู่ระบบการทำงานของโปรแกรม ซึ่งอาจรับมาโดยการอ่านภาพวงจร,ตาราง,ข้อความ และจะให้ผลลัพธ์ออกมาในรูปไฟล์ข้อความเก็บไว้บนแผ่นดิสค์เสมอ ข้อความที่ได้ออกมานี้จะอยู่ในรูปแบบมาตรฐานเช่นเดียวกับ SPICE เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเรียกขึ้นมาตรวจสอบได้ ในส่วนนี้จะเป็นโปรแกรมที่สร้างเพิ่มขึ้นได้ตามชนิดอุปกรณ์รับข้อมูลที่คอมพิวเตอร์มีให้ใช้งาน

(3) ส่วน ข. ทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากไฟล์ข้อความบนแผ่นดิสค์เข้าสู่หน่วยความจำ จากนั้นจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของวงจร ขยายส่วนที่เป็นวงจรย่อยออกแล้วนำข้อมูลมาสร้างเป็นเมตริกซ์เพื่อใช้ในการคำนวณขั้นต่อไป ถ้าเปรียบไปแล้วก็คือประกอบด้วยส่วนรับข้อมูล, ตรวจสอบข้อมูล และสร้างเมตริกซ์ของ SPICE

(4) ส่วน ค. มีหน้าที่นำเมตริกซ์และข้อมูลที่ได้จากส่วน ข. มาแปลงด้วยแบบจำลองและทำการคำนวณด้วยคณิตศาสตร์คอมพิวเตอร์ เพื่อหาคำตอบที่ต้องการออกมา เมื่อเทียบกับ SPICE ก็คือส่วนวิเคราะห์เพื่อทำการเลียนแบบระบบ ผลที่ได้จากส่วนนี้จะเขียนเก็บเป็นไฟล์ข้อมูลบนแผ่นดิสค์ด้วยโครงสร้างข้อมูลเฉพาะของโปรแกรม

(5) ส่วน ง.ทำหน้าที่นำไฟล์ข้อมูลที่ได้จากส่วน ค.ไปยังอุปกรณ์แสดงผลต่างๆ เช่น จอภาพ, เครื่องพิมพ์, เครื่องวาดรูป โปรแกรมส่วนนี้สามารถเขียนเพิ่มขึ้นได้ตามชนิดอุปกรณ์แสดงผลที่คอมพิวเตอร์มีให้

เอกสารนี้เป็นเอกสาร[illegible]นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา[illegible]ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้โครงสร้างหลักการทำงานของโปรแกรมแล้ว ขั้นตอนต่อมาก็คือโครงสร้างย่อยของการทำงานในแต่ละส่วนของโปรแกรม ในการพิจารณาขั้นต้นนี้จะพบว่า โปรแกรมส่วน ก. และส่วน ง. เป็นส่วนที่สามารถเขียนเพิ่มเติมได้ในภายหลัง ส่วน ค. ต้องใช้ข้อมูลจากส่วน ข. ในการทำงาน ดังนั้นส่วนจำเป็นที่ต้องทำการพัฒนาขึ้นมาเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของโครงสร้างการทำงานนี้ก็คือส่วน ข. ซึ่งมีโครงสร้างการทำงานดังนี้

(1) เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงาน จะทำการตรวจสอบขนาดของหน่วยความจำที่มีให้ใช้งาน และทำการปรับค่าตัวแปรที่จำเป็นในการใช้หน่วยความจำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จากนั้นก็ทำการอ่านข้อมูลจากไฟล์ข้อความเข้าสู่หน่วยความจำพร้อมทั้งตรวจสอบรูปแบบของข้อมูลที่เข้ามาว่าครบถ้วนสมบูรณ์หรือไม่ และจะรายงานความผิดพลาดให้ทราบพร้อมกับหมายเลขบรรทัดที่ทำงานอยู่ในขณะนั้น ความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นก็เช่น มีการกำหนดชื่อแทนอุปกรณ์ต่างๆซ้ำกัน ให้ค่าแก่อุปกรณ์ไม่ครบ เป็นต้น

(2) เมื่อข้อมูลเข้าสู่หน่วยความจำทั้งหมดแล้ว ก็จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของวงจร เช่นจุดต่อของอุปกรณ์ต่างๆ และทำการขยายวงจรย่อยออก เพื่อให้เป็นวงจรสมบูรณ์

(3) หลังจากนั้น ก็ทำการนำข้อมูลมาผ่านขบวนการทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ค่าในเมตริกซ์ต่างๆออกมา แล้วเขียนข้อมูลทั้งหมดลงบนไฟล์ชั่วคราวบนแผ่นดิสค์

ในการออกแบบโครงสร้างโปรแกรมในขั้นแรกนั้น ปัญหาแรกก็คือขนาดหน่วยความจำและความเร็วในการทำงานของไมโครคอมพิวเตอร์ ที่มีน้อยกว่าคอมพิวเตอร์เครื่องใหญ่ การออกแบบโครงสร้างของโปรแกรมและภาษาที่จะใช้จึงต้องอ้างอิงกับข้อจำกัดนี้ ภาษาที่มีการทำงานเร็ว, มีขนาดของโปรแกรมในการประมวลผลน้อย และ อำนวยความสะดวกในการเขียนจึงถูกทดสอบเพื่อหาสิ่งที่เหมาะสมที่สุด ต้องทำการศึกษาและหาข้อมูลของแต่ละภาษาและตัวแปลภาษาที่มีอยู่บนไมโครคอมพิวเตอร์ จากการคัดเลือกจึงได้ว่า ตัวแปลภาษาที่ใช้คือเทอร์โบซีโดยใช้ตัวประมวลผลทางคณิตศาสตร์ ประกอบในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของโปรแกรม ตัวโปรแกรมต้องถูกแบ่งเป็นส่วนๆเพื่อประหยัดหน่วยความจำให้มากที่สุด ทำให้ต้องมีการวางโครงสร้างเพื่อพัฒนาส่วนเชื่อมต่อแต่ละหน่วยขึ้นมาเพิ่ม โดยต้องคำนึงถึงความเร็วในการทำงานควบคู่ไปด้วย เนื่องจากเหตุผลทั้งหมดนี้เอง โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจึงไม่อาจใช้โครงสร้างในการทำงานของ SPICE ได้ คงนำมาได้เพียงลำดับขั้นตอนการแก้ไขปัญหา และ รูปแบบคณิตศาสตร์ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุป

การพัฒนาโปรแกรมเลียนแบบวงจรขึ้นมาใช้งานก่อให้เกิดประโยชน์อย่างยิ่งในการพัฒนาเทคโนโลยี เพราะสามารถนำไปใช้ช่วยในการออกแบบพัฒนาวงจรได้อย่างกว้างขวางทั้งในด้านการค้าและการศึกษา หลักการการพัฒนาโปรแกรมเลียนแบบวงจรโดยทั่วไปจะเหมือนกัน มีการแบ่งตัวโปรแกรมออกเป็นส่วนๆ ประกอบด้วยส่วนรับข้อมูลและจัดการข้อมูลให้เข้าสู่ระบบที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ หลังจากรับและตรวจสอบข้อมูลเรียบร้อยแล้วก็จะนำสมการที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบ ส่วนสุดท้ายของโปรแกรมก็จะเป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้ไปแสดงผลในรูปแบบต่างๆ ในแต่ละขั้นตอนของการแก้ปัญหานี้สามารถที่จะใช้วิธีการต่างๆเข้ามาช่วยเหลือได้มากมาย ทำให้เกิดการพัฒนาโปรแกรมต่างๆทางด้านนี้ที่มีคุณสมบัติเด่นไปคนละด้านออกมามากมาย

การพัฒนาโปรแกรมเลียนแบบวงจรเชิงเส้นในที่นี้ เป็นการมุ่งพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ช่วยในการศึกษาและออกแบบวงจรเชิงเส้นเท่านั้น หลักการทำงานใหญ่ๆของโปรแกรมจึงมีขั้นตอนน้อยขั้นกว่าโปรแกรมที่พัฒนากันอยู่เพื่อการค้าโดยทั่วไป ขั้นตอนต่างๆในการทำงานพอสรุปได้ดังนี้

1. รับข้อมูลจากอุปกรณ์ที่กำหนดไว้เป็นอุปกรณ์เบื้องต้นในการศึกษาเพื่อพัฒนาโปรแกรม ในที่นี้ใช้การติดต่อกับแผ่นดิสค์เป็นหลัก ดังนั้นโปรแกรมจึงรับข้อมูล และให้ผลข้อมูลผ่านแผ่นดิสค์
2. นำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบความเรียบร้อยของข้อมูล เช่น ค่าที่ให้เข้ามาใช้ประมวลผลสมบูรณ์หรือไม่, มีคำสั่งกำหนดการทำงานพิเศษใดเพิ่มเติมหรือไม่ ฯลฯ
3. นำข้อมูลแทนวงจรที่สมบูรณ์ครบถ้วนตามต้องการไปสร้างสมการ โดยใช้วิธีการพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้า และกราฟแสดงความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าแยกจากกัน
4. จากสมการที่ได้ โดยใช้วิธีหาองค์ประกอบของเมตริกซ์ A = LU แก้สมการหาค่าตัวแปร X ของวงจรไฟฟ้าที่ต้องการ
5. จากค่าของตัวแปรที่ได้ นำไปหาค่าอื่นตามที่ต้องการแล้วแสดงผลข้อมูลออกมาตามรูปแบบที่กำหนดไว้เก็บลงสู่แผ่นดิสค์

ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ปัญหาที่พบในการทำงานมักเป็นปัญหาที่ไม่เกี่ยวข้องกับงานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำเท่าใดนัก เพราะได้ใช้เวลาส่วนใหญ่ในการสะสมรวบรวมข้อมูลแก้ปัญหา ข้อมูลส่วนใหญ่ที่ได้จากการค้นคว้าจะเป็นเพียงทฤษฎีที่ไม่มีการบอกรายละเอียดเอาไว้ ต้องทำการทดลองด้วยตัวเองว่า สิ่งที่กล่าวไว้ในหนังสือต่างๆนั้นเป็นจริงมากน้อยเพียงใด ปัญหาที่พบประการหนึ่งก็คือ ความผิดพลาดของคอมไพเลอร์ของภาษาที่ใช้งาน (เทอร์โบซี) ซึ่งทำให้สูญเสียเวลาไปโดยไม่คุ้มค่าหลายครั้งในการหาจุดที่ผิดของโปรแกรม โปรแกรมที่ได้ออกมาเป็นรูปร่างจริงๆจากการทำปริญญานิพนธ์นี้จึงไม่มีเวลาขัดเกลาตรวจสอบความสมบูรณ์มากนักเหตุด้วยเวลาที่มีจำกัด สำหรับผู้ที่จะทำการพัฒนาต่อไปควรตรวจสอบการทำงานในแง่ต่างๆอีกสักครั้งหนึ่ง

การพัฒนาในขั้นต่อไปที่สามารถพัฒนาเพิ่มเติมขึ้นไปได้อีกก็คือ การเขียนโปรแกรมให้แก้สมการของระบบที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ไม่เป็นเชิงเส้น และการวิเคราะห์ระบบไฟกระแสสลับของวงจร นอกจากนี้ก็เป็นการพัฒนาวิธีการในการแก้ไขปัญหาให้ดีขึ้นกว่าที่เป็นอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ แม้โดยชื่อจะเป็นการทำปริญญานิพนธ์ด้วยบุคคลเพียงคนเดียว แต่การทำงานจริงต้องอาศัยบุคคลหลายๆฝ่าย งานจึงจะสำเร็จลงได้ด้วยดี ในที่นี้ต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำปริญญานิพนธ์, ดร. วัลลภ และ อาจารย์วันชัย ที่ให้ข้อมูลและคำปรึกษาตลอดระยะการทำปริญญานิพนธ์, คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาการความรู้ให้จนถึงปัจจุบันนี้, เพื่อนๆและรุ่นน้องทุกคนที่ให้กำลังใจในการต่อสู้กับความท้อแท้ทางใจที่เกิดขึ้นระหว่างการทำปริญญานิพนธ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

Jiri Vlach and Kishore Singhal, "Computer methods for circuit analysis and design", Van Nostrand Reinhold, 594 p., 1983

Laurence W. Nagel, "SPICE2: A computer program to simulate semiconductor circuits", Electronics research laboratory, College of Engineering, University of California, Berkeley, Memorandum No. ERL-M520, 1975

MicroSim Corporation, "PSICE", MicroSim Corporation 23175 La Cadena Drive, Laguna Hills, CA 92653, May 1986

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้