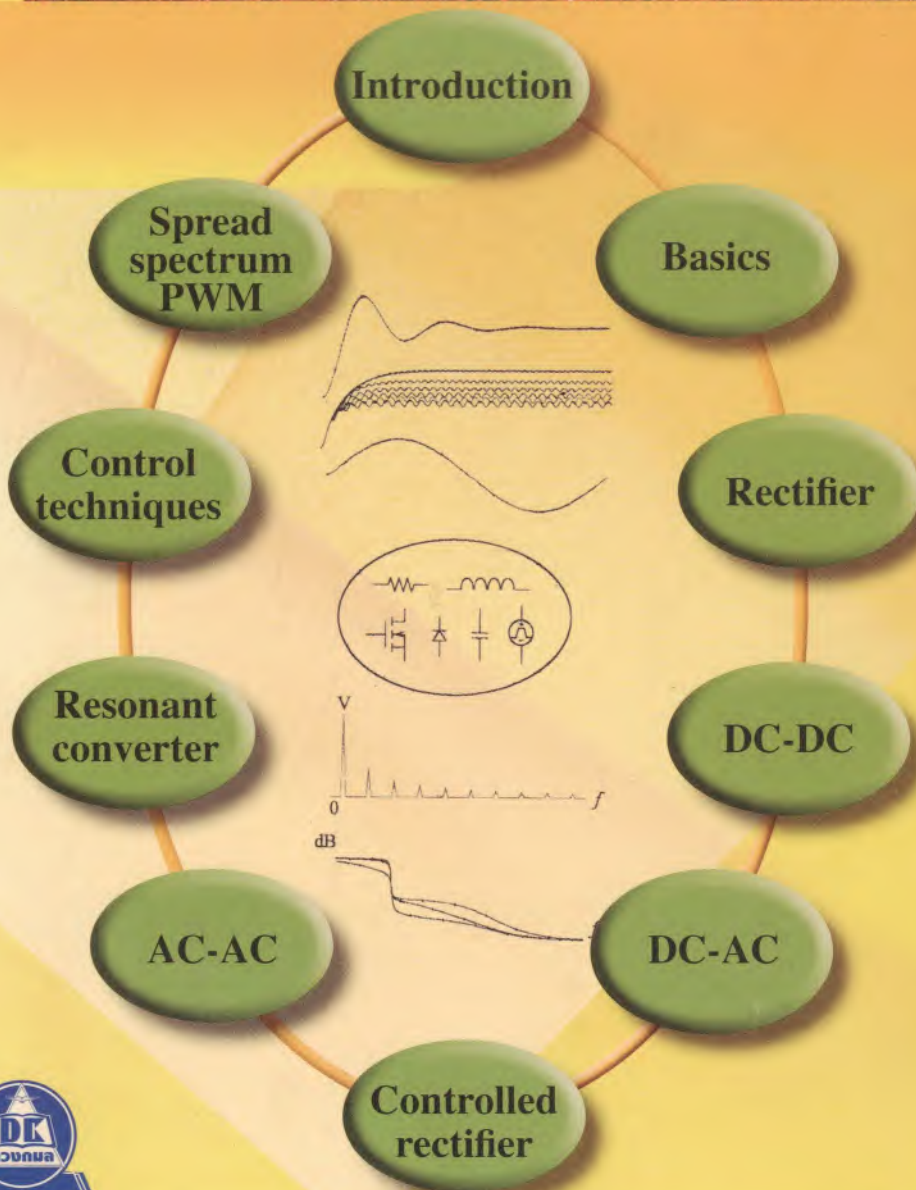


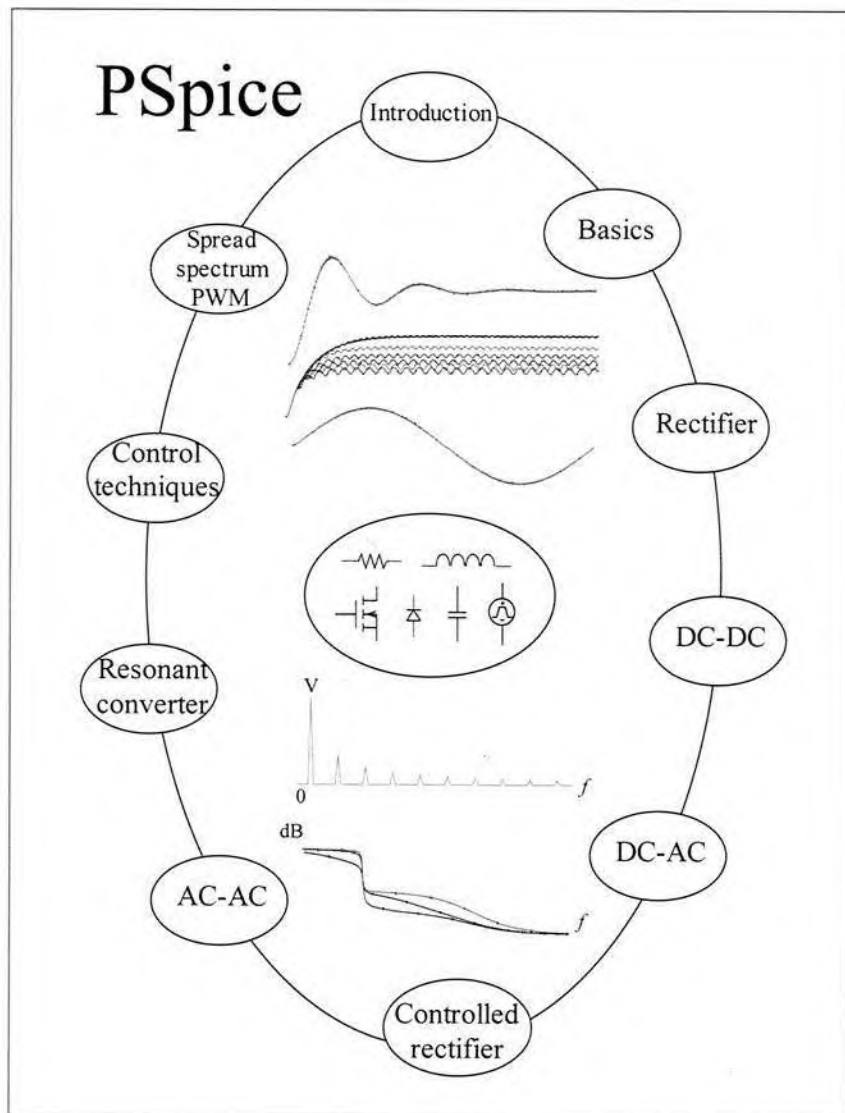
PSpice

สำหรับวงจรแปลงพื่นกำลัง



PSpice

สำหรับวงจรแปลงพ่นกำลัง



พศ.ดร.อภิรักษ์ อุดโสภณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คำนำสำนักพิมพ์

หนังสือ PSpice สำหรับวงจรแปลงผันกำลัง เป็นหนังสือที่จะช่วยให้ผู้อ่านเข้าใจและเรียนรู้การจำลองวงจรแปลงผันด้วยโปรแกรม PSpice ได้ง่ายขึ้น ด้วยเนื้อหาที่อธิบายตั้งแต่พื้นฐานและการแสดงเทคนิคการจำลองวงจรแปลงผันต่างๆ ที่จะช่วยให้เข้าใจในเนื้อหามากขึ้น นักเรียน นักศึกษา และอาจารย์สามารถใช้ประกอบการเรียนการสอนได้ เพื่อให้เข้าใจในเนื้อหามากขึ้น ผู้เขียนยังได้สอดแทรกตัวอย่างงานวิจัยต่างๆ เอาไว้ด้วย เพื่อที่จะได้เป็นประโยชน์ต่อนักวิจัยที่เริ่มต้นสนใจในการทำวิจัยในเรื่องเหล่านี้

ทางสำนักพิมพ์ดวงกมลพับลิชชิ่ง หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านไม่มากนัก

ขอแสดงความนับถือ
สำนักพิมพ์ดวงกมลพับลิชชิ่ง

คำนำ

หนังสือเล่มนี้ถูกเขียนขึ้นด้วยวัตถุประสงค์ต้องการเผยแพร่ประสบการณ์ด้านการสอน และด้านวิจัยในวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งโครงสร้างหลักของหนังสือคือการจำลองวงจรแปลงผันด้วยโปรแกรม PSpice โดยที่ในแต่ละบทผู้เขียนได้อธิบายหลักการพื้นฐานและแสดงเทคนิคการจำลองวงจรแปลงผันต่างๆ ซึ่งจะทำให้ผู้อ่านสามารถใช้โปรแกรม PSpice สำหรับจำลองวงจรแปลงผันเพื่อทดสอบทฤษฎี นี้จะทำให้มีความเข้าใจในเนื้อหามากขึ้น นอกจากนี้ผู้เขียนยังได้สอดแทรกตัวอย่างงานวิจัยต่างๆ เช่น เทคนิคการควบคุมวงจรอินเวอร์เตอร์ การลดการสูญเสียจากการสวิตช์ การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าและการมอดูเลทแบบสุม ซึ่งเหล่านี้จะเป็นประโยชน์สำหรับนักวิจัยที่เริ่มต้นสนใจในการทำวิจัยในเรื่องเหล่านี้

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ และ ผศ.ดร. วันไชย คำแสน ที่ให้คำแนะนำ ตรวจสอบหนังสือเล่มนี้ให้มีความถูกต้องมากขึ้น ท้ายสุดผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านตามสมควร หากผิดพลาดประการใดขอกราบอภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

อภิรักษ์ อรุโสมถน

บทที่ 1	แนะนำโปรแกรม PSpice	1
1.1	พื้นฐาน	1
1.2	กระบวนการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์	2
1.3	รูปแบบและข้อจำกัด	3
1.4	แผนผังของกระบวนการจำลอง	5
1.5	เอกสารอ้างอิง	6
บทที่ 2	การใช้งานโปรแกรม PSpice	7
2.1	แนะนำ	7
2.2	เริ่มต้นกับ PSpice	7
2.3	การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการจำลองวงจร	9
2.4	การวิเคราะห์โดเมนความถี่	11
2.4.1	ผลตอบสนองทางความถี่	11
2.4.2	การเปลี่ยนโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่	14
2.5	เอกสารอ้างอิง	17
2.6	แบบฝึกหัด	18
บทที่ 3	วงจรเรียงกระแส	19
3.1	แนะนำ	19
3.2	ดัชนีการวัดองค์ประกอบกำลัง	19
3.3	การจำลองวงจรเรกติไฟเออร์	20
3.4	การปรับปรุงองค์ประกอบกำลังสำหรับวงจรเรกติไฟเออร์	30
3.4.1	วงจรเรกติไฟเออร์กับตัวเก็บประจุเอาต์พุต	31
3.4.2	การปรับปรุงองค์ประกอบกำลังแบบ PPFC	33
3.4.3	การปรับปรุงองค์ประกอบกำลังแบบ APFC	36
3.5	เอกสารอ้างอิง	41
3.6	แบบฝึกหัด	41

บทที่ 4	วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง	43
4.1	แนะนำ	43
4.2	เรกจูเรเตอร์แบบสวิตชิง	43
4.3	สัญญาณควบคุม	48
4.3.1	แหล่งจ่ายแรงดันพัลส์	48
4.3.2	การมอดูเลทจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์	49
4.3.3	การมอดูเลทจากฟังก์ชันคณิตศาสตร์	51
4.4	การจำลองวงจรแปลงผันบัก	52
4.5	การจำลองวงจรแปลงผันบูสต์	55
4.6	การจำลองวงจรแปลงผันบัก-บูสต์	58
4.7	เอกสารอ้างอิง	61
4.8	แบบฝึกหัด	61
บทที่ 5	วงจรแปลงผันดิซี-เอซี	63
5.1	แนะนำ	63
5.2	อินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับการสวิตชิงแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	64
5.3	ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์กับ SPWM	66
5.3.1	ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์กับ SPWM แบบไบโพลาร์	67
5.3.2	ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์กับ SPWM แบบยูนิโพลาร์	70
5.3.3	ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์กับการมอดูเลท HPWM	74
5.4	การมอดูเลทแบบฮีสเทอรีซิส	78
5.4.1	การมอดูเลทแบบ Hysteresis band	79
5.4.2	การมอดูเลทแบบ Periodical sampling	83
5.4.3	การมอดูเลทแบบ Triangular carrier	86
5.5	การมอดูเลทแบบเดลตา	90
5.6	เอกสารอ้างอิง	94
5.7	แบบฝึกหัด	95
บทที่ 6	วงจรเรียงกระแสแบบควบคุมแรงดันเอาต์พุต	97
6.1	แนะนำ	97
6.2	วงจรเรียงกระแสแบบควบคุมเฟส	97
6.2.1	สัญญาณจุดชนวน	98
6.2.2	การจำลองวงจรเรียงกระแสแบบควบคุมเฟส	98

6.3	วงจรเรียงกระแสควบคุมด้วย PWM	112
6.4	เอกสารอ้างอิง	115
6.5	แบบฝึกหัด	115
บทที่ 7	วงจรแปลงผันกำลังไฟสลับ-ไฟสลับ	117
7.1	แนะนำ	117
7.2	วงจรแปลงผันเอซี-เอซีควบคุมด้วยเฟส	117
7.2.1	สัญญาณจุดชนวน	118
7.3	วงจรแปลงผันเอซี-เอซีควบคุมด้วย PWM	127
7.4	เอกสารอ้างอิง	131
7.5	แบบฝึกหัด	131
บทที่ 8	วงจรแปลงผันแบบเรโซแนนท์	133
8.1	แนะนำ	133
8.2	การสูญเสียของสวิตช์	133
8.3	สวิตช์ขณะกระแสเป็นศูนย์	135
8.4	สวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์	140
8.5	วงจรแปลงผันแบบเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง	141
8.6	วงจรแปลงผันเอซี-เอซีกับการสวิตช์ขณะกระแสและแรงดันเป็นศูนย์	145
8.7	เอกสารอ้างอิง	149
8.8	แบบฝึกหัด	150
บทที่ 9	การควบคุมวงจรแปลงผัน	151
9.1	แนะนำ	151
9.2	ระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ	151
9.3	ระบบการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าสำหรับวงจรแปลงผันไฟตรง	155
9.3.1	การใช้แรงดันจากแหล่งจ่าย	156
9.3.2	การใช้แรงดันตกคร่อมไดโอด	161
9.3.2.1	การควบคุมแรงดันเอาต์พุตโอเวอร์ชู้ต ในกระบวนการ One-cycle control	163
9.3.2.2	การปรับปรุงความถูกต้องในกระบวนการ One-cycle control	167
9.4	ระบบการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าสำหรับวงจรแปลงผันดีซี-เอซี	174

9.5 เอกสารอ้างอิง	184
9.6 แบบฝึกหัด	185
บทที่ 10 PWM สำหรับการกระจายสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์	187
10.1 แนะนำ	187
10.2 ปัญหาเสียงรบกวนและการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	187
10.3 การปรับปรุงกระบวนการมอดูเลต	187
10.3.1 การมอดูเลตความกว้างพัลส์ทางความถี่	188
10.3.2 การมอดูเลตความกว้างพัลส์แบบสุ่ม	194
10.3.2.1 สัญญาณสุ่มเทียม	194
10.3.3 ชิงโครไนส์ซิกมามอดูเลชัน	199
10.3.4 ฮีสเตอร์รีซิสสุ่มในอะซิงโครไนส์ซิกมามอดูเลชัน	204
10.4 เอกสารอ้างอิง	210
10.5 แบบฝึกหัด	211
ประวัติผู้เขียน	212



1.1 พื้นฐาน

Spice (Simulation program with integrated-circuit emphasis) เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย-เบิร์กลีย์ (University of California, Berkeley) ในปี ค.ศ. 1975 ซึ่งเป็นงานวิทยานิพนธ์ของ L. Nagel "Spice: A Computer Program to Simulate Semiconductor Circuits" โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้สำหรับศึกษาพฤติกรรมการทำงานของวงจรแอนะล็อก โปรแกรม PSpice ซึ่งเป็นอีกเวอร์ชันหนึ่งของ Spice โดยมีลักษณะเป็นกราฟิกโปรแกรมทำให้ง่ายต่อผู้ใช้ เช่น การเลือกและการกำหนดค่าอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งความสามารถในการพล็อตค่าแรงดัน-กระแส PSpice สามารถใช้ในการจำลองวงจรได้หลายลักษณะ เช่น

1. การวิเคราะห์ดีซี (DC analysis)
2. การวิเคราะห์สภาวะชั่วครู่ (Transient analysis)
3. การวิเคราะห์เอซี (AC analysis)
4. การวิเคราะห์ฟูเรียร์ (Fourier analysis)
5. การวิเคราะห์สัญญาณรบกวน (Noise analysis)
6. การวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis)
7. การวิเคราะห์ความผิดเพี้ยน (Distortion analysis)
8. การวิเคราะห์มอนติคาร์โล (Monte Carlo analysis)

ภายในโปรแกรม PSpice ประกอบด้วยโมเดลคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการจำลองวงจรต่างๆ จำนวนมาก เช่น

1. แหล่งจ่ายแรงดันและกระแสทั้งอิสระและไม่อิสระ (Independent and dependent voltage and current sources)
2. ตัวต้านทาน (Resistors)
3. ตัวเก็บประจุ (Capacitors)
4. ตัวเหนี่ยวนำ (Inductors)
5. ออปแอมป์ (Operational amplifiers)

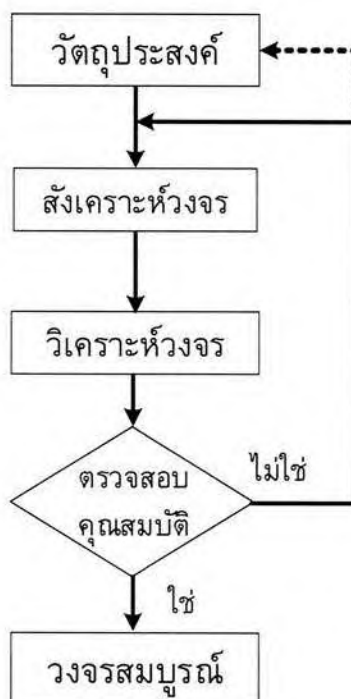
6. สวิตช์ (Switches)
7. ไดโอด (Diods)
8. ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ (Bipolar transistors)
9. ทรานซิสเตอร์ชนิดมอสเฟต (MOS transistors)

นอกจากโมเดลคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์เหล่านี้แล้ว ผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดเพิ่มเติมได้ฟรีจากเว็บไซต์ [1] และนอกจากโมเดลของอุปกรณ์พวกแอนะล็อกแล้ว PSpice ยังมีโมเดลของอุปกรณ์ประเภติดิจิตอลด้วย เช่น พวกเกตลอจิกต่างๆ ฟลิป-ฟลอป จากคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ PSpice เป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับนักอิเล็กทรอนิกส์ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบ วงจรทั้งแอนะล็อกและดิจิตอล

1.2 กระบวนการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ในหัวข้อนี้ผู้เขียนจะอธิบายให้เห็นความสำคัญของการใช้โปรแกรมสำหรับจำลองวงจรในกระบวนการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ รูปที่ 1.1 แสดงกระบวนการออกแบบวงจร [2] ซึ่งขั้นตอนแรกคือเราต้องทำความเข้าใจโจทย์ ปัญหาและความต้องการ พร้อมกับทำการกำหนดคุณสมบัติของวงจร หลังจากนั้นจึงทำการสังเคราะห์วงจร โดยทำการพิจารณา เลือกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เลือกวงจรที่เหมาะสมแล้วจึงทำการวิเคราะห์วงจรเพื่อเลือกค่าและคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้ทำงานได้ตามความต้องการ หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบวงจรว่าทำงานได้ตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้หรือไม่ หากไม่ก็กลับไปยังขั้นตอนที่หนึ่งซึ่งอาจจำเป็นต้องลดข้อกำหนดคุณสมบัติของวงจรลงหรือทำการสังเคราะห์วงจรใหม่ หรืออาจทำการวิเคราะห์วงจรให้ละเอียดอีกครั้ง ดังจะเห็นว่านี่อาจสร้างความยุ่งยากและอาจเป็นไปได้หากจะต้องวิเคราะห์และทดสอบวงจรในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นการใช้โปรแกรมช่วยจำลองการทำงานสำหรับสังเกตพฤติกรรม สังเกตผลลัพธ์เบื้องต้นจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อนักออกแบบ รวมทั้งทำให้ช่วยประหยัดเวลาเป็นอย่างมาก ซึ่งการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถช่วยนักออกแบบได้ดังนี้

1. ทำให้สามารถเลือกค่าอุปกรณ์ของวงจร เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ รวมทั้งพวกอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ได้อย่างอิสระ
2. ทำให้สามารถดูผลกระทบที่เกิดจากสัญญาณรบกวนและการบิดเบี้ยวของสัญญาณ โดยปราศจากการใช้เครื่องมือวัดที่มีราคาแพงๆ
3. สามารถวิเคราะห์ความไวของอุปกรณ์ต่างๆ โดยการกำหนดขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงค่าอุปกรณ์ต่างๆ ได้
4. สามารถใช้การวิเคราะห์ฟูเรียร์เพื่อดูสัญญาณในโดเมนความถี่ ปราศจากการใช้เครื่องมือวัดสเปกตรัม
5. ช่วยให้เราสามารถออกแบบค่าตัวแปรของวงจรที่เหมาะสมก่อนที่จะทำการสร้างวงจรจริง



รูปที่ 1.1 โฟร์ชาทสำหรับขั้นตอนการออกแบบวงจร

1.3 รูปแบบและข้อจำกัด

รูปแบบ (Platform) ของโปรแกรม PSpice ขึ้นอยู่กับเวอร์ชันของ Spice ซึ่งมีอยู่ด้วยกันทั้งหมดสามรูปแบบ

1.3.1 PSpice A/D OrCAD (เวอร์ชัน 9.1 หรือสูงกว่า) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ในรูปแบบนี้ วงจรและชนิดการวิเคราะห์จะถูกแทนที่ด้วยคำสั่ง การจำลองโปรแกรมสามารถทำได้โดยเลือกจากแถบเมนูซึ่งผลลัพธ์สามารถแสดงได้เป็นรูปกราฟิก

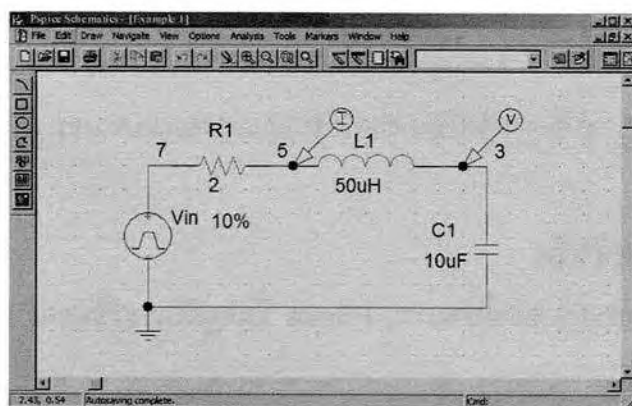
1.3.2 PSpice Schematics (เวอร์ชัน 9.1 หรือสูงกว่า) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 วงจรจะถูกแทนที่ด้วยสัญลักษณ์ การจำลองและการเลือกชนิดการวิเคราะห์ทำได้โดยการเลือกจากแถบเมนู เมื่อทำการรันโปรแกรมหน้าต่างแสดงผลจะถูกเปิดโดยอัตโนมัติ

1.3.3 OrCAD Capture (เวอร์ชัน 9.2 หรือสูงกว่า) ดังแสดงในรูปที่ 1.4 รูปแบบการทำงานจะคล้ายกับ PSpice Schematics วงจรจะถูกวาดและถูกแทนที่ด้วยสัญลักษณ์ การจำลองและการเลือกชนิดการวิเคราะห์ทำได้โดยการเลือกจากแถบเมนู หลังจากทำการรันโปรแกรมหน้าต่างผลลัพธ์จะถูกเปิดโดยอัตโนมัติ

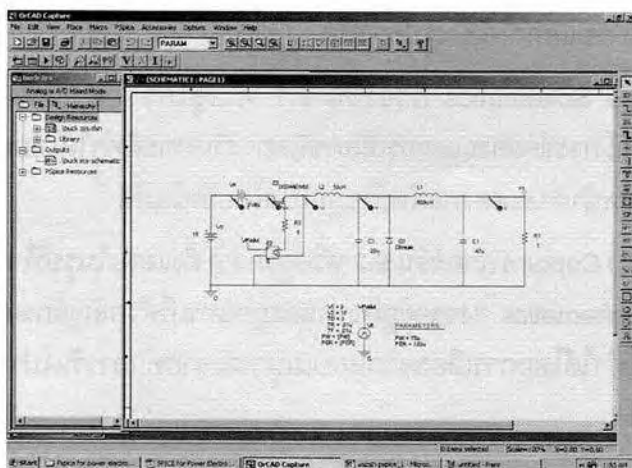
4 ◇ PSpice สำหรับวงจรแปลงผันกำลัง



รูปที่ 1.2 OrCAD PSpice A/D [4]



รูปที่ 1.3 PSpice Schematics [4]



รูปที่ 1.4 OrCAD Capture

รูปแบบที่ใช้ในหนังสือเล่มนี้คือ OrCAD Capture (Student version 9.1) ซึ่งสามารถดาวน์โหลดฟรีได้ที่เว็บไซต์ [1] แต่มีข้อจำกัดคือวงจรหนึ่งจะมีอุปกรณ์ได้ไม่เกิน 50 ตัว และมีจำนวนโนดไม่เกิน 64 โนด

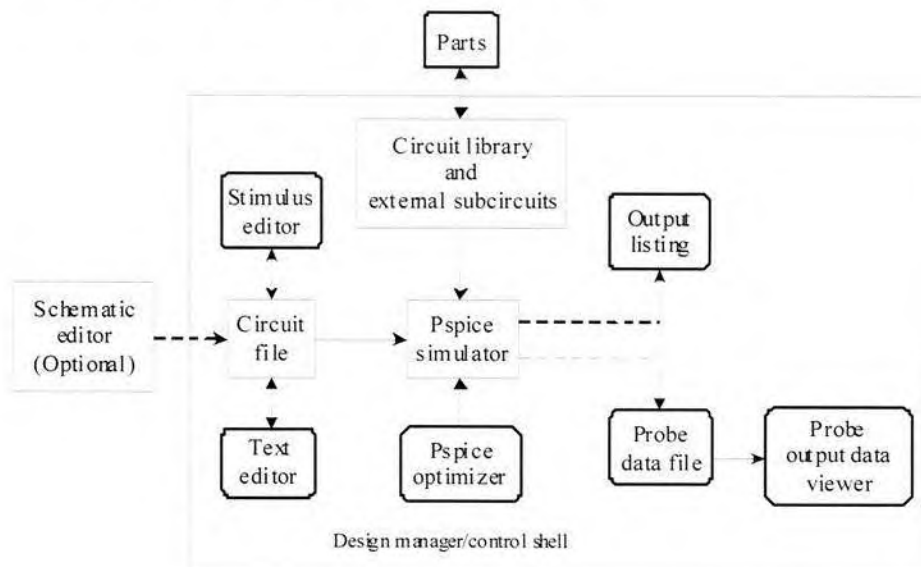
1.4 แผนผังของกระบวนการจำลอง

รูปที่ 1.5 แสดงแผนผังของกระบวนการจำลองของโปรแกรม PSpice ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรมย่อยสามส่วน [3]

1. โปรแกรมแบบแผน (Schematics) ทำหน้าที่เขียนแบบทางวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะถูกเก็บอยู่ในไฟล์ .sch โดยมีไฟล์ย่อยสามไฟล์คือ ไฟล์วงจรย่อย (Circuit: .cir) เพื่อแสดงรายละเอียดวงจร ไฟล์เก็บค่าอุปกรณ์ (Netlist: .net) และไฟล์แสดงขาววงจร (Alias: .als) โดยที่ไฟล์วงจรสามารถสร้างได้จาก text editor หรือ graphic schematic editor ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้ PSpice สำหรับ Microsoft WINDOWS

2. โปรแกรมวิเคราะห์ (PSpice) ทำหน้าที่วิเคราะห์วงจร ซึ่งข้อมูลถูกเก็บในไฟล์ .out หากวงจรไฟล์ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เป็นโมเดล (Component model) จากภายนอก PSpice จะรับข้อมูลจากไฟล์คลังอุปกรณ์ .olb (Capture library file) ซึ่งบรรจุอุปกรณ์เป็นหมวดหมู่ เมื่อเริ่มต้นทำงาน ไฟล์ข้อความ (Text file) ที่อยู่ในส่วนรายการด้านออก (Output listing) จะถูกสร้างขึ้นเพื่อรายงานความผิดพลาด

3. โปรแกรมแสดงผล (Probe) ทำหน้าที่แสดงผลการวิเคราะห์ ข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไฟล์ .dat โดยที่ผลลัพธ์จะถูกแสดงคล้ายกับการแสดงผลของออสซิลอโคป และที่หน้าจอแสดงผลยังสามารถใช้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์คำนวณผลลัพธ์เพิ่มเติมได้



รูปที่ 1.5 แผนผังของกระบวนการจำลองโปรแกรม PSpice

1.5 เอกสารอ้างอิง

- [1] เว็บไซต์ “<http://www.cadence.com>, <http://www.orcad.com>, <http://www.pspice.com> and <http://www.ema-eda.com>”
- [2] Joseph G. Tront, 2007, “PSpice for Basic Circuit Analysis,” McGRAW-HILL international edition.
- [3] รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน และวุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์, 2549, “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง” ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. พรินติ้ง
- [4] Muhammad H. Rashid and Hasan M. Rashid, 2006, “SPICE for Power Electronics and Electric Power,” CRC Press Taylor & Francis group.



การใช้งานโปรแกรม PSpice

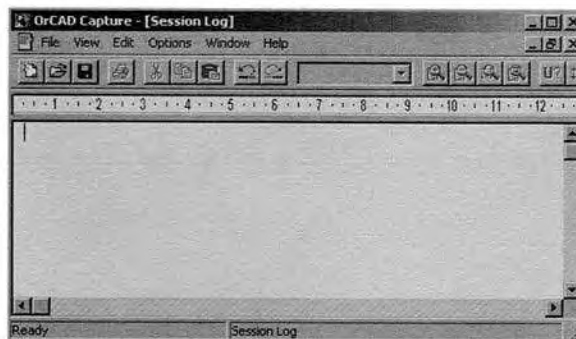


2.1 แนะนำ

หนังสือเล่มนี้ผู้เขียนอธิบายขั้นตอนการจำลองวงจรแปลงผันแบบต่างๆ ด้วยการจำลองแบบการวิเคราะห์ดีซี การวิเคราะห์เอซี รวมทั้งการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ภายใน Libraries เช่น แอนาล็อก ดิจิตอล สวิตช์กำลัง และฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่อยู่ใน Libraries ชื่อ ABM ซึ่งเหล่านี้จะถูกแสดงตัวอย่างพร้อมอธิบายขั้นตอนการจำลองไว้ในแต่ละบท อย่างไรก็ตามเนื้อหาในบทนี้ผู้เขียนขอแนะนำพื้นฐานการจำลองโปรแกรม PSpice เบื้องต้น เช่น การเข้าสู่โปรแกรม การวาดวงจร การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการจำลอง การแสดงผลลัพธ์ โดยใช้การจำลองแบบการวิเคราะห์สภาวะชั่วคราวซึ่งเป็นพื้นฐานการจำลอง รวมทั้งแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ฟูเรียร์ซึ่งเป็นเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับงานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เหล่านี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้่านที่เริ่มต้นกับการใช้ OrCAD Capture

2.2 เริ่มต้นกับ PSpice

เริ่มต้นเข้าสู่โปรแกรมโดยการเลือก Capture CIS  ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยที่ด้านบนจะเป็นแถบเมนูสำหรับการไฟล์ต่างๆ จากนั้นทำการเลือก File > New > Project จะปรากฏหน้าต่างในการสร้าง Project ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ทำการตั้งชื่อและเลือก Directory สำหรับเก็บไฟล์ข้อมูลโปรแกรม เช่น OrCAD Project file (*.opj) Capture design file (*.dsn) Pspice circuit file (*.cir) Output file (*.out) และ Probe data file (*.dat) แล้วทำการเลือก Analog Mixed-Signal Circuit Wizard [1]

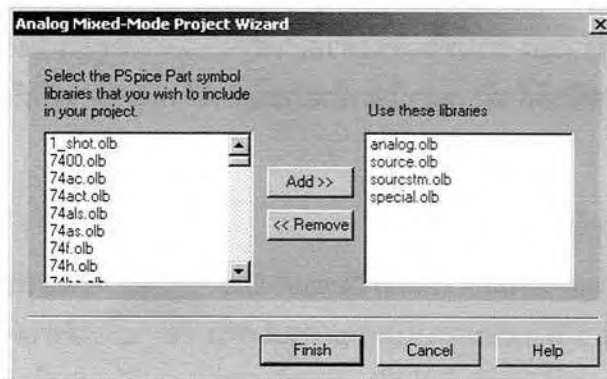


รูปที่ 2.1 หน้าต่างโปรแกรม



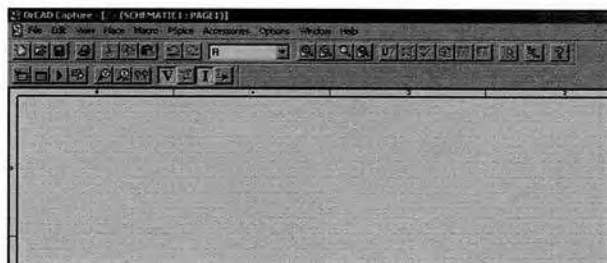
รูปที่ 2.2 การสร้าง Project

เลือก Libraries ซึ่งเป็นไฟล์คลังอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ไฟล์ analog.olb เป็นที่เก็บอุปกรณ์ประเภทแอนะล็อก อุปกรณ์ประเภทแหล่งจ่ายชนิดต่างๆ เลือกได้จาก source.olb หรือหากต้องการ Libraries อื่นๆ ก็สามารถทำได้ด้วยการ Add Libraries ที่อยู่โฟลเดอร์ OrCAD > Capture > Libraries (Libraries สามารถดาวน์โหลดได้จาก [1])

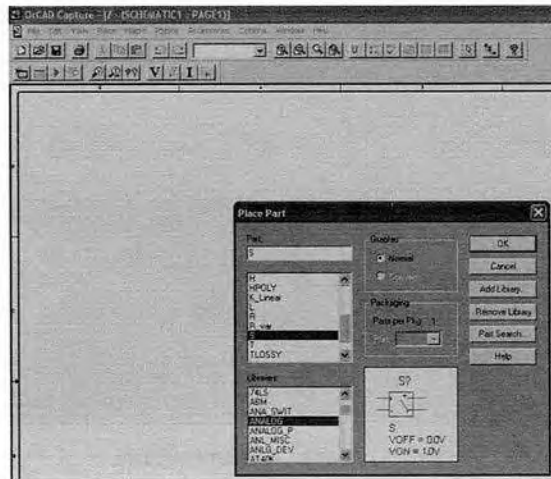


รูปที่ 2.3 Libraries สำหรับอุปกรณ์ต่างๆ

กดปุ่ม Finish จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างสำหรับเขียนวงจรดังรูปที่ 2.4 คลิกที่ปุ่ม  ซึ่งอยู่ด้านขวาบนหรือจากเมนู Place > part สำหรับเลือกอุปกรณ์ต่างๆ จาก Libraries ดังรูปที่ 2.5 กราวด์อ้างอิงได้จากการคลิกที่ปุ่ม  จากนั้นทำการลากเส้นเชื่อมต่ออุปกรณ์โดยคลิกที่ปุ่ม 

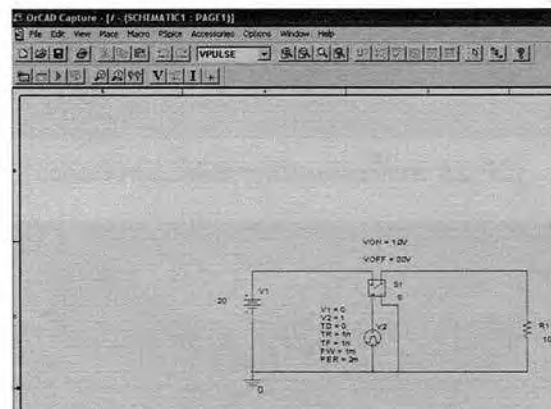


รูปที่ 2.4 หน้าต่างสำหรับเขียนวงจร



รูปที่ 2.5 การเลือกอุปกรณ์

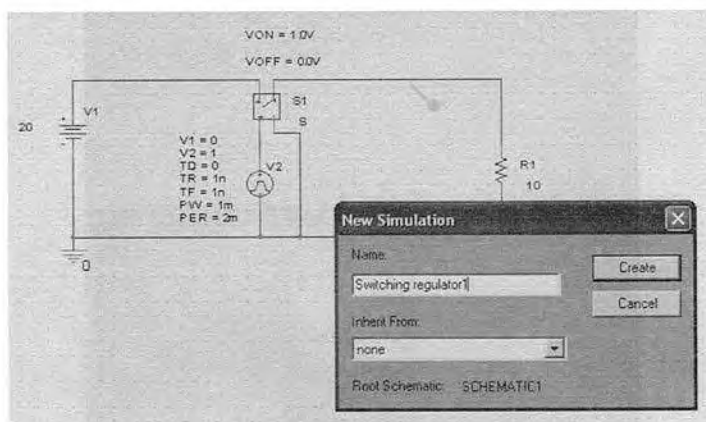
การตั้งค่าอุปกรณ์ต่างๆ ทำได้โดยการดับเบิลคลิกที่ตัวหนังสือแสดงค่าของตัวมัน ถ้าหากต้องการหมุนตัวอุปกรณ์ก็ทำได้ด้วยการคลิกตัวอุปกรณ์ให้เป็นสีแดงแล้วทำการกดปุ่ม Ctrl + R



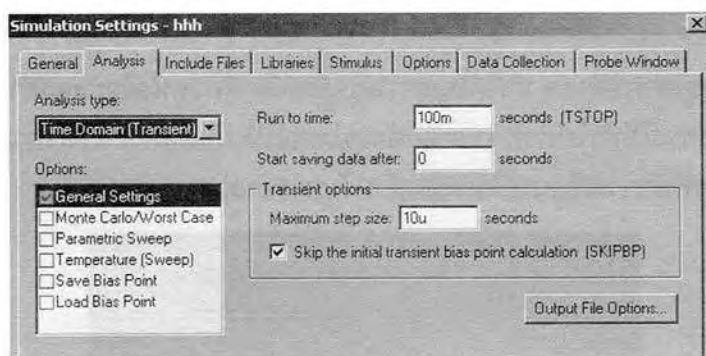
รูปที่ 2.6 วงจรพร้อมสำหรับการจำลอง

2.3 การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการจำลองวงจร

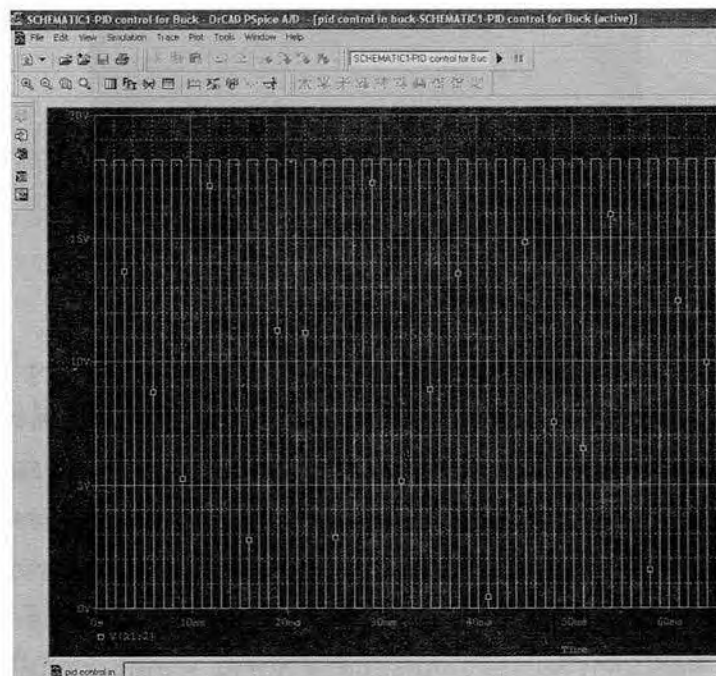
หลังจากวาดวงจรเสร็จขั้นตอนต่อไป ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการจำลองวงจร เริ่มต้นที่เมนูด้านบนเลือก PSpice > New Simulation ทำการตั้งชื่อไฟล์ ซึ่งจะเป็นไฟล์สำหรับเก็บผลลัพธ์ในการจำลองดังแสดงในรูปที่ 2.7 หลังจากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง Simulation Settings ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ทำการเลือก Time Domain (Transient) และกำหนดค่าเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดในการจำลองตามรูป ต่อจากนั้นทำการกดปุ่ม ► เพื่อรันโปรแกรม หากต้องการวัดแรงดันหรือกระแสที่จุดใด ให้เราทำการคลิกที่ปุ่ม ► แล้วนำมาวางยังจุดที่ต้องการวัด ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 2.9 ซึ่งเป็นการวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน หากต้องการให้โปรแกรมแสดงผลเป็นตัวเลขให้เลือกปุ่ม V หรือ I (แสดงผลในกรณีวงจรเข้าสู่สภาวะคงตัว)



รูปที่ 2.7 ตั้งชื่อไฟล์ในการจำลอง



รูปที่ 2.8 การตั้งค่าและเลือกชนิดในการจำลอง

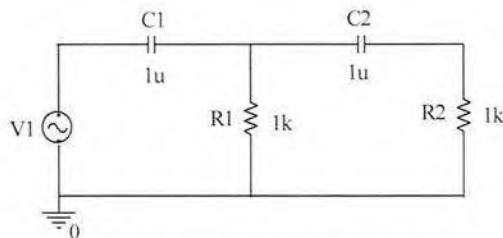


รูปที่ 2.9 หน้าต่างผลลัพธ์

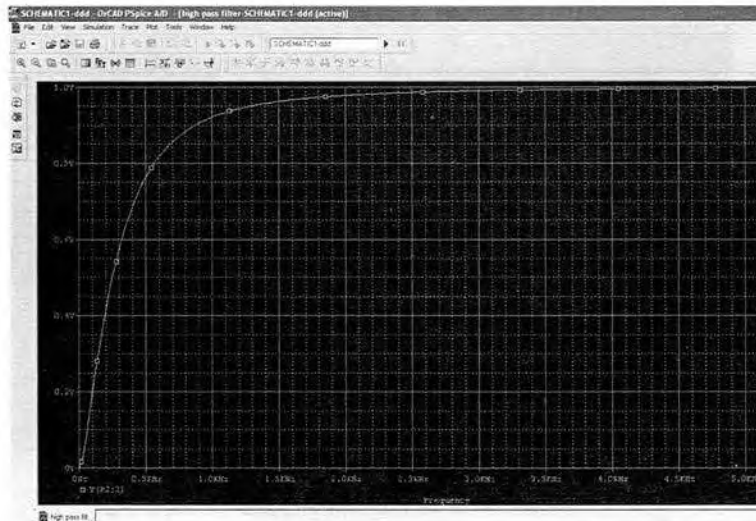
2.4 การวิเคราะห์โดเมนความถี่

2.4.1 ผลตอบสนองทางความถี่

ในการวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังนอกจากต้องพิจารณาในโดเมนเวลาแล้ว จำเป็นต้องวิเคราะห์วงจรในโดเมนความถี่ด้วย ซึ่งในโปรแกรม PSpice มีฟังก์ชันสำหรับการวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ เช่น การหาผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรและการวิเคราะห์ฟูเรียร์ของสัญญาณ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะมีทั้งขนาดและเฟส เริ่มต้นกับการหาผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่สูงผ่านดังแสดงในรูปที่ 2.10 ต่อวงจรตามรูปโดยที่แหล่งจ่ายแรงดัน V1 ใช้อุปกรณ์ที่ชื่อ VAC จาก source.olb เข้าโหมด Simulation Setting เลือก Analysis type เป็น AC Sweep/Noise จากนั้น AC Sweep type เลือก Linear โดยที่ Start frequency เท่ากับ 1, End frequency เท่ากับ 5,000 และ Total Points 200 ทำการกดปุ่มรัน ▶ ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 2.11

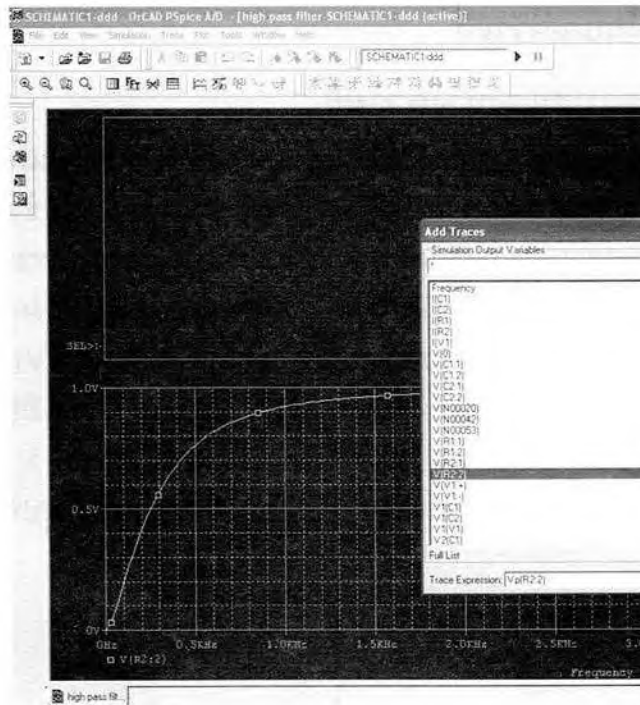


รูปที่ 2.10 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน

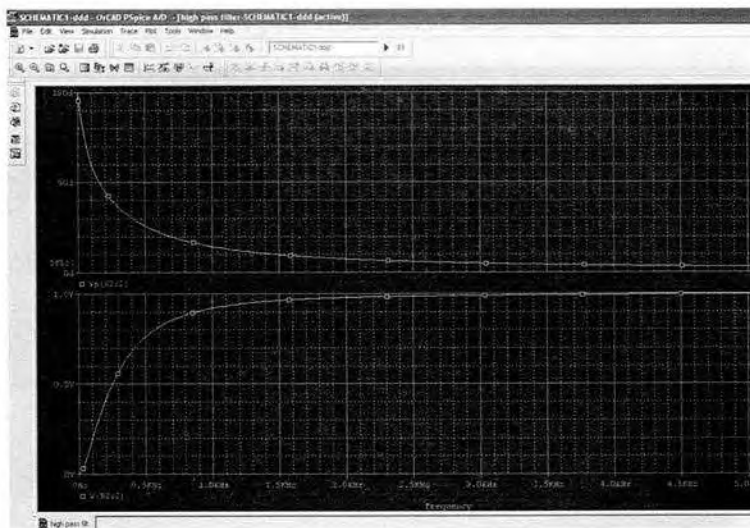


รูปที่ 2.11 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรในรูปที่ 2.10

หากต้องการพล็อตเฟสเปรียบเทียบขนาดก็สามารถทำได้ ที่หน้าต่างผลลัพธ์ทำการเลือกเมนู Plot > Add Plot to Window จะปรากฏหน้าต่างแสดงผลขึ้นมา จากนั้นเลือก Trace > Add Trace จะปรากฏหน้าต่างตั้งค่างดังรูปที่ 2.12 ใส่พจน์ Vp (R2:2) ที่ด้านล่าง ซึ่งหมายถึงเฟสของแรงดันที่ตกคร่อม R2 ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 หน้าต่างการตั้งค่าการแสดงผลกราฟ



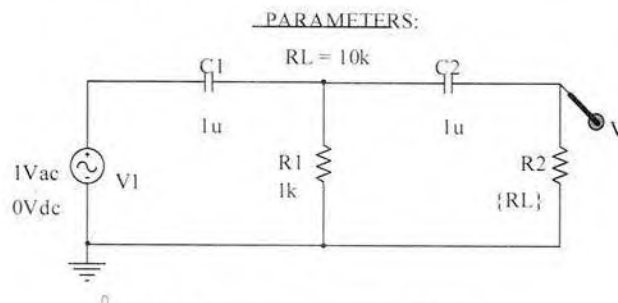
รูปที่ 2.13 แสดงเฟสและขนาดของแรงดันตกคร่อม R2

จากหัวข้อด้านบนแสดงการพล็อตผลตอบสนองทางความถี่ของวงจร ซึ่งแสดงขนาดเปรียบเทียบกับเฟส หากต้องการดูผลกระทบของค่าอุปกรณ์ที่มีผลกระทบต่อการตอบสนองความถี่ของวงจรเราก็สามารถทำได้ ดังตัวอย่างดังนี้ รูปที่ 2.14 แสดงวงจรกรองความถี่สูงผ่าน สมมุติต้องการสังเกตผลกระทบของค่าความต้านทาน R2 ที่มีต่อความถี่ของวงจร เริ่มต้นตามขั้นตอนดังนี้

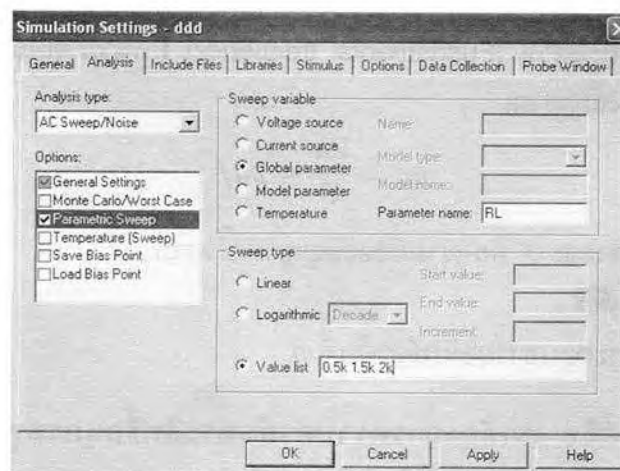
1. ต่อดวงจรรองความถี่สูงผ่านตามรูป โดยที่แหล่งจ่ายแรงดัน V1 ให้ใช้อุปกรณ์ที่ชื่อ VAC จาก source.olb โดยเปลี่ยนค่า R2 จาก 1 k Ω เป็น {RL} นำเอาอุปกรณ์ที่ชื่อ PARAM จาก special.olb วางไว้ใกล้กับวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.14 ดับเบิลคลิกที่ PARAM เพื่อทำการแก้ไขค่าพารามิเตอร์คลิกที่ New ตั้งชื่อตัวแปรที่จะทำการเปลี่ยนค่าในที่นี้คือ RL คลิกด้านล่างของ RL ใส่ค่า 10 k Ω

2. เข้าโหมด Simulation Setting Analysis type เป็น AC Sweep/Noise จากนั้น AC Sweep type เลือก Logarithmic โดยที่ Start frequency เท่ากับ 1, End frequency เท่ากับ 5000 และ Total Points 200

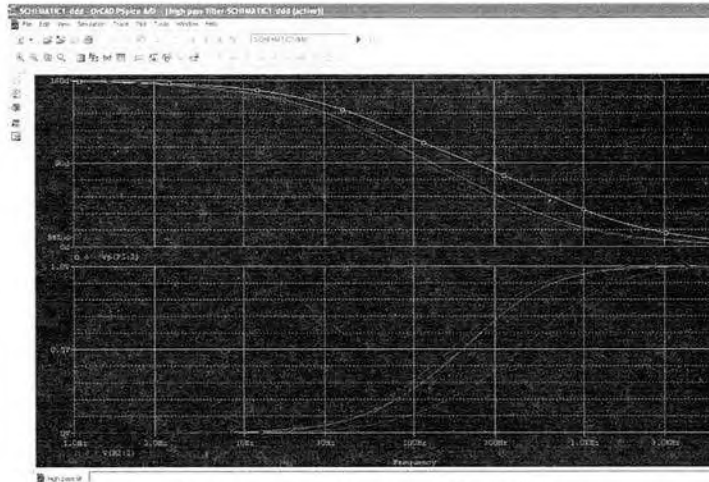
3. เซทค่าตามรูปที่ 2.15 ที่ Options เลือก Parametric Sweep จากนั้น Sweep variable เลือก Global parameter ที่ Parameter name ใส่ค่าตัวแปรที่เราจะทำการปรับเปลี่ยนคือ จากนั้น Sweep type ที่ Value list ใส่ค่า 0.5, 1.5 และ 2 k Ω กดปุ่ม OK ทำการกดปุ่มรัน ▶ ที่หน้าต่างแสดงผลหากล้าเราต้องการดูขนาดและเฟสเราก็สามารถทำได้เหมือนกับตัวอย่าง ซึ่งได้แสดงดังในหัวข้อที่ผ่านมา ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 2.16 (Vp (R2:2) แสดงเฟสของแรงดันตกคร่อม R2 และ db (V (R2:2)) แสดงขนาดในรูปของสเกลลอการิทึม)



รูปที่ 2.14 วงจรรองความถี่สูงผ่าน



รูปที่ 2.15 การตั้งค่าในโหมด Parametric Sweep



รูปที่ 2.16 ผลการจำลองวงจรในรูปที่ 2.14

2.4.2 การเปลี่ยนโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่

การพิจารณาสเปกตรัมของกระแส-แรงดันในวงจรแปลงผันกำลัง รวมทั้งการหาค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกสรวม (Total harmonic distortion, $(THD_{i,v})$) ของรูปคลื่นต่างๆ เหล่านี้ล้วนจำเป็นต้องแปลงกระแส-แรงดันที่อยู่ในโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งภายในโปรแกรม PSpice ได้มีฟังก์ชันฟูเรียร์ไว้สำหรับความต้องการเหล่านี้ เริ่มต้นพิจารณาพื้นฐานของสัญญาณซ้ำคาบที่อยู่ในโดเมนเวลา แท้จริงแล้วเกิดจากการรวมกันของสัญญาณไซน์หลายๆ ความถี่ สำหรับเครื่องมือพื้นฐานที่อธิบายความสัมพันธ์เหล่านี้คือ Fourier series สมการที่ 2.1 แสดง Fourier series ของฟังก์ชัน $f(t)$ [2] - [3]

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(n\omega_o t + \theta_n) \quad (2.1)$$

โดยที่

ω_o คือความถี่มูลฐาน (Fundamental frequency) มีหน่วยวัดคือ เรเดียนต่อวินาที ซึ่งสัมพันธ์กับคาบเวลาของสัญญาณ

$$\omega_o = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (2.2)$$

T คือคาบเวลาและ f คือความถี่ของสัญญาณซ้ำคาบ

a_0 คือแรงดันดีซี

a_n คือองค์ประกอบฮาร์โมนิกลำดับที่ n

วัตถุประสงค์คือ เราต้องการทราบค่าสัมประสิทธิ์อนุกรมฟูเรียร์ $a_0, a_1, a_2, \dots, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$ ซึ่งใน PSpice สามารถใช้การวิเคราะห์ Fourier series และสามารถแสดงผลลัพธ์ออกมาในรูปของกราฟที่แสดงทั้งขนาดและเฟส หรือแสดงในรูปสัมประสิทธิ์ Fourier series ดัง