

## การใช้งานโปรแกรม PSpice for Windows เบื้องต้น

Spice (Simulation Program for Integrated Circuit Emphasis) เป็นโปรแกรมจำลองการทำงาน วงจรไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายโปรแกรมหนึ่งในปัจจุบัน พัฒนาขึ้นมาโดย Donald O. Pederson ที่ห้องปฏิบัติการ Electronics Research Laboratory ของมหาวิทยาลัย California, Berkeley ในปี 1975 เพื่อช่วยในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความซับซ้อน หลังจากนั้นได้มีการนำไปพัฒนาต่อในหลายรูปแบบ เช่น PSpice (PC-based Spice) ของบริษัท MicroSim ซึ่งเป็นรุ่นที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer; PC) หรือ HSpice ของบริษัท Meta-Software สำหรับการทำงานบนเครื่องเมนเฟรม (Mainframe)

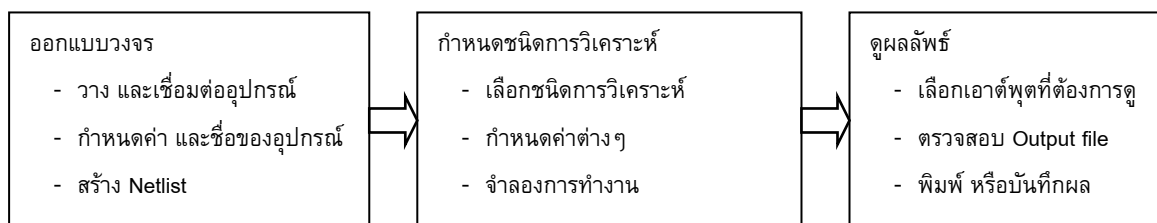
### 1. PSpice for Windows

โปรแกรม PSpice for Windows ของบริษัท MicroSim Corporation เป็นโปรแกรมจำลองการทำงาน วงจรไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการตั้งแต่ Windows 3.1 ขึ้นไป และแสดงผลในรูปแบบกราฟิก เครื่องคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้งานโปรแกรม PSpice for Windows ได้ต้องประกอบด้วย

- CPU Pentium ขึ้นไป
- หน่วยความจำ RAM อย่างน้อย 8 เมกะไบต์
- พื้นที่ว่างบนฮาร์ดดิสก์ 30-50 เมกะไบต์
- ระบบปฏิบัติการ MS Windows 3.1 (win32s) ขึ้นไป
- ระบบปฏิบัติการ MS-DOS 5.0 ขึ้นไป
- จอภาพ และการ์ดแสดงผลที่สนับสนุนระบบปฏิบัติการ MS Windows
- ดิสก์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว หรือ CD ROM ไดรฟ์
- เมาส์

### 2. การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice

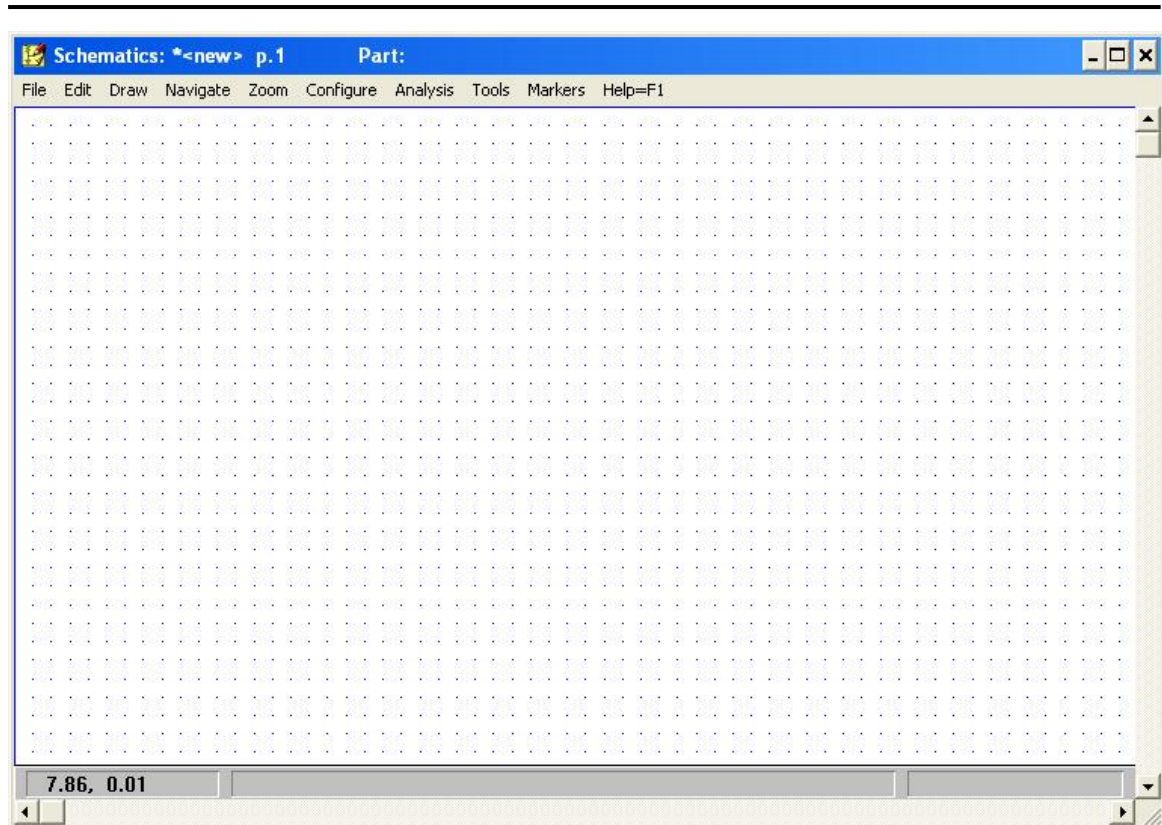
การใช้โปรแกรม PSpice เพื่อจำลองการทำงาน หรือวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์มีขั้นตอนต่างๆ ดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSpice

#### 2.1 การออกแบบวงจร

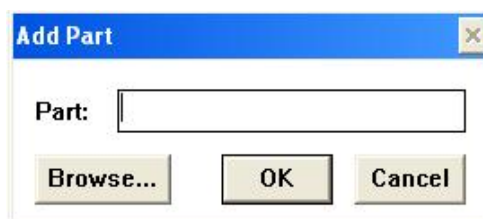
ขั้นตอนแรกของการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice คือการเขียนวงจรที่ต้องการจำลองการทำงาน โดยการเลือก Schematics จากโปรแกรมกรู๊ปของ PSpice for Windows จะปรากฏหน้าต่าง Schematics ของ PSpice for Windows ดังในรูปที่ 2



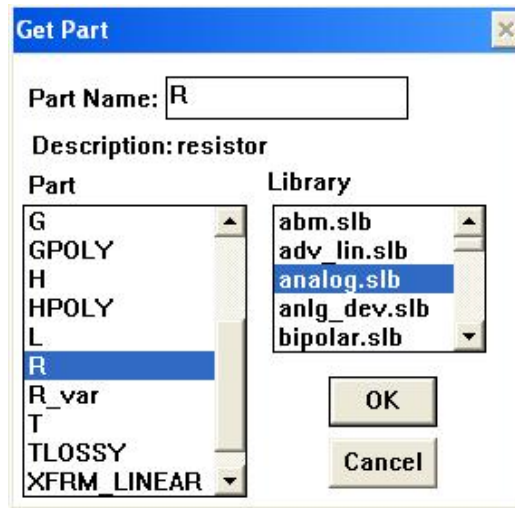
รูปที่ 2 Schematics ของโปรแกรม PSpice for Windows

### การวางอุปกรณ์ลงบน Schematics

1. เลือก Draw แล้วตามด้วย Get New Part จะปรากฏหน้าต่างย่อย Add Part (รูปที่ 3) ให้เลือก Browse เพื่อดูรายละเอียด หากทราบชื่ออุปกรณ์แล้วก็สามารถพิมพ์ลงไปในช่วง Part: ได้เลย
2. หลังจากเลือก Browse จะปรากฏหน้าต่างของ Get Part ดังรูปที่ 4 โดยที่ทางขวามือจะเป็นรายชื่อของไลบรารี ส่วนทางซ้ายคือรายชื่ออุปกรณ์ที่อยู่ในไลบรารีที่เลือก เมื่อเลือกเสร็จแล้วคลิกที่ปุ่ม OK
3. หลังกดปุ่ม OK ตัวอุปกรณ์จะปรากฏอยู่ที่ปลายเมาส์ เลื่อนเมาส์ไปบริเวณที่ต้องการจะวาง แล้วคลิกปุ่มซ้ายเพื่อวาง ถ้าต้องการวางอุปกรณ์เดิมอีกครั้งให้คลิกเมาส์ปุ่มซ้ายในบริเวณที่ต้องการวาง ซึ่งสามารถวางได้เรื่อยๆ จนกว่าจะมีการคลิกปุ่มขวาเพื่อหยุดการเพิ่มอุปกรณ์
4. การเลื่อนตำแหน่งของอุปกรณ์บน Schematics ทำได้โดยคลิกที่ตัวอุปกรณ์ค้างไว้แล้วเลื่อนไปยังที่ๆ ต้องการวาง เมื่อปล่อยเมาส์อุปกรณ์จะถูกย้ายไปอยู่ที่ใหม่
5. การหมุนหรือพลิกอุปกรณ์ ใช้เมาส์คลิกที่อุปกรณ์ และกด Ctrl+R หรือเลือก Edit ตามด้วย Rotate เพื่อหมุนอุปกรณ์ไปทางขวา 90 องศา และกด Ctrl+F หรือเลือก Edit ตามด้วย Flip เพื่อพลิกอุปกรณ์ 180 องศา



รูปที่ 3 หน้าต่าง Add Part



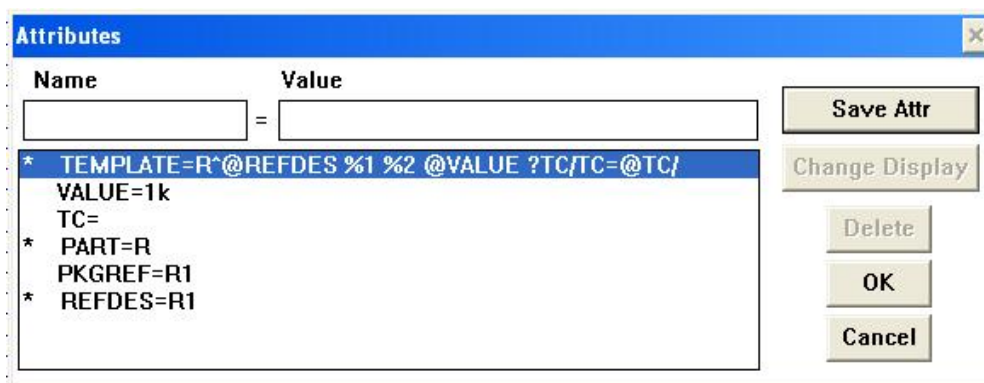
รูปที่ 4 หน้าต่าง Get Part

#### การเชื่อมต่อสายระหว่างอุปกรณ์

1. เลือก Draw แล้วตามด้วย Wire เคอร์เซอร์ของเมาส์จะเปลี่ยนเป็นรูปดินสอ
2. คลิกที่จุดเริ่มต้นของสาย แล้วลากเมาส์ไปที่จุดปลาย จากนั้นคลิกปุ่มซ้ายก็จะได้สายสัญญาณตามต้องการ
3. เมื่อวาดสายเสร็จแล้วให้คลิกเมาส์ปุ่มขวาเพื่อหยุดการวาดสาย

#### การกำหนดค่าต่าง ๆ ของอุปกรณ์

1. ดับเบิลคลิกที่ตัวอุปกรณ์ที่ต้องการกำหนดค่า จะปรากฏหน้าต่างการกำหนดค่า (Attributes) ดังรูปที่ 5
2. กำหนดค่าต่าง ๆ ตามต้องการ
3. คลิก Save Attr เพื่อบันทึกค่าที่กำหนด แล้วกด OK



รูปที่ 5 หน้าต่างการกำหนดค่า

การใส่ค่าของอุปกรณ์ที่เป็นตัวเลขสามารถป้อนได้ 3 แบบคือ แบบปกติ แบบเอ็กซ์โพเนนเชียล และแบบใช้ตัวย่อ

1. แบบปกติ สามารถใส่จำนวนเต็มลงไปได้เลย โดยไม่ต้องมีเครื่องหมายจุลภาค (,) คั่น เช่น 1000000 สำหรับค่า 1 เมกะโอห์ม เป็นต้น

2. แบบเอกซ์โพเนนเชียล เช่น 1 เมกะโอห์ม ก็ใส่ 1e6 หรือ 1 กิโลโอห์ม ก็ใส่ 1e3 เป็นต้น
3. แบบใช้ตัวย่อ คือการใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษแทนจำนวนที่มีค่ามากหรือน้อยมากๆ เช่น 1k แทน 1 กิโล เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวย่อที่ใช้ในโปรแกรม PSpice for Windows

ตัวอักษร	เอกซ์โพเนนเชียล	จำนวนเต็ม	ยกกำลัง
F, f	1e-15	0.000000000000001	$10^{-15}$
P, p	1e-12	0.000000000001	$10^{-12}$
N, n	1e-9	0.000000001	$10^{-9}$
U, u	1e-6	0.000001	$10^{-6}$
M, m	1e-3	0.001	$10^{-3}$
K, k	1e3	1000	$10^3$
MEG	1e6	1000000	$10^6$
G	1e9	1000000000	$10^9$
T	1e12	1000000000000	$10^{12}$

#### การบันทึกวงจร และการเปิดวงจร

หลังจากวาดวงจรที่ต้องการจำลองการทำงานแล้ว ทำการบันทึกวงจรที่สร้าง โดยการเลือก File แล้วตามด้วย Save หรือ Save As เพื่อทำการกำหนดชื่อไฟล์ที่ใช้บันทึก แล้วคลิก OK เพื่อบันทึก ไฟล์ Schematics ที่บันทึกจะมีนามสกุล .sch ส่วนการเปิดวงจรที่สร้างไว้แล้ว ให้เลือก File แล้วตามด้วย Open ทำการเลือกไฟล์ที่ต้องการเปิด แล้วคลิก OK เพื่อเปิด

#### การสร้าง Netlist

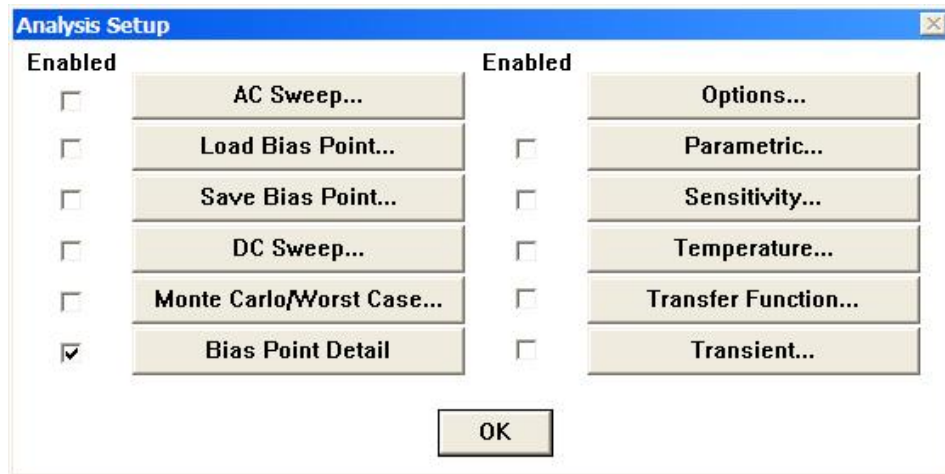
ก่อนทำการวิเคราะห์วงจรต้องทำการสร้าง Netlist เพื่อทำการแปลงวงจรในรูปแบบกราฟฟิกไปเป็นรูปแบบตัวอักษร เพื่อให้โปรแกรม PSpice สามารถวิเคราะห์การทำงานได้ โดยเลือก Analysis แล้วตามด้วย Create Netlist ถ้าต้องการดูรายละเอียดของวงจรว่ามีอะไรบ้าง หรือตรวจสอบ Netlist ให้เลือก Analysis แล้วตามด้วย Examine Netlist ถ้าเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในวงจร การสร้าง Netlist จะไม่ผ่าน โดยโปรแกรมจะแสดงข้อผิดพลาดขึ้นมาเพื่อให้แก้ไข

## 2.2 การกำหนดชนิดของการวิเคราะห์วงจร

โปรแกรม PSpice for Windows สามารถใช้วิเคราะห์การทำงานของวงจรได้หลายรูปแบบ เช่น การวิเคราะห์ทางด้านไฟตรง การวิเคราะห์ทางด้านไฟสลับ หรือการวิเคราะห์แบบ Transient รวมทั้งยังใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรดิจิทัลได้ด้วย

#### การกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์

กำหนดรูปแบบการวิเคราะห์วงจร โดยเลือก Analysis ตามด้วย Setup จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 6 ทำการเลือกรูปแบบการวิเคราะห์โดยการคลิกที่กล่องสี่เหลี่ยมหน้ารูปแบบ ถ้ามีเครื่องหมาย ✓ แสดงว่ารูปแบบนั้นถูกใช้ในการวิเคราะห์ ถ้าคลิกที่ตัวรูปแบบ จะเข้าไปสู่หน้าต่างการกำหนดค่าต่างๆ หลังจากกำหนดค่าแล้ว คลิกที่ OK เพื่อกลับมาสู่หน้าต่าง Analysis Setup แล้วคลิก OK อีกครั้งเพื่อปิดหน้าต่าง

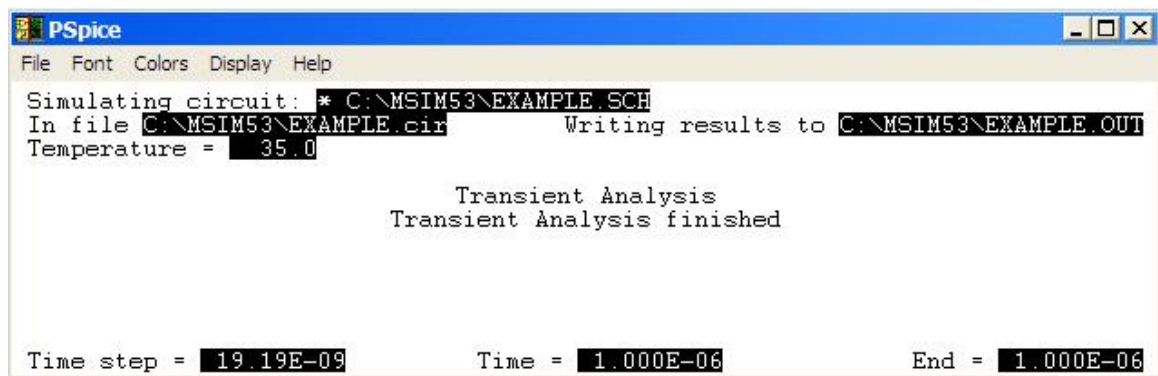


รูปที่ 6 หน้าต่าง Analysis Setup

### การวิเคราะห์วงจร

หลังจากสร้าง Netlist ผ่าน และกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์แล้ว จะสามารถวิเคราะห์การทำงานได้ โดยทำได้ 3 วิธีคือ

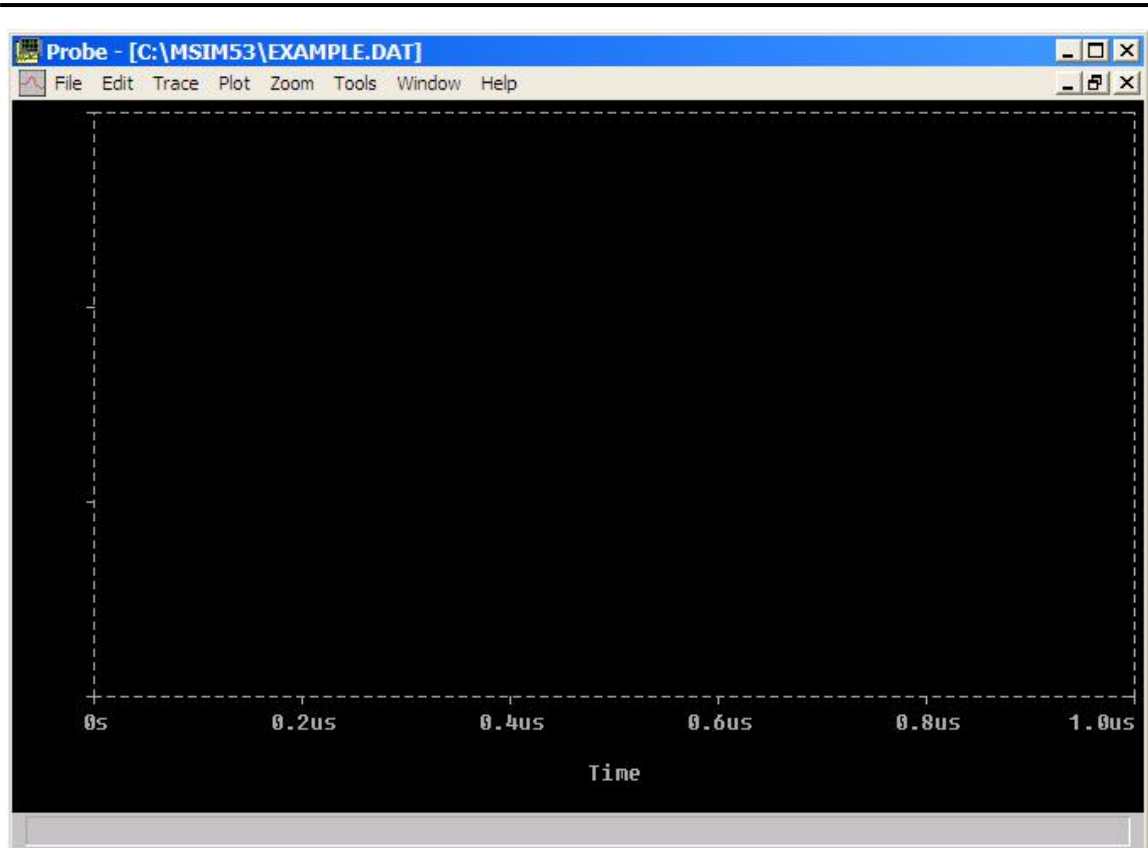
1. กดคีย์ F11
2. เลือก Analysis แล้วตามด้วย Simulate
3. ที่โปรแกรมกรุปของ PSpice for Windows เลือก PSpice จะปรากฏหน้าต่าง PSpice ขึ้นมา ให้เลือก File ตามด้วย Open แล้วเปิดไฟล์นามสกุล .cir ซึ่งเป็น Netlist ของวงจรที่ต้องการวิเคราะห์ หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์วงจรด้วยโปรแกรม PSpice

### 2.3 การดูผลลัพธ์

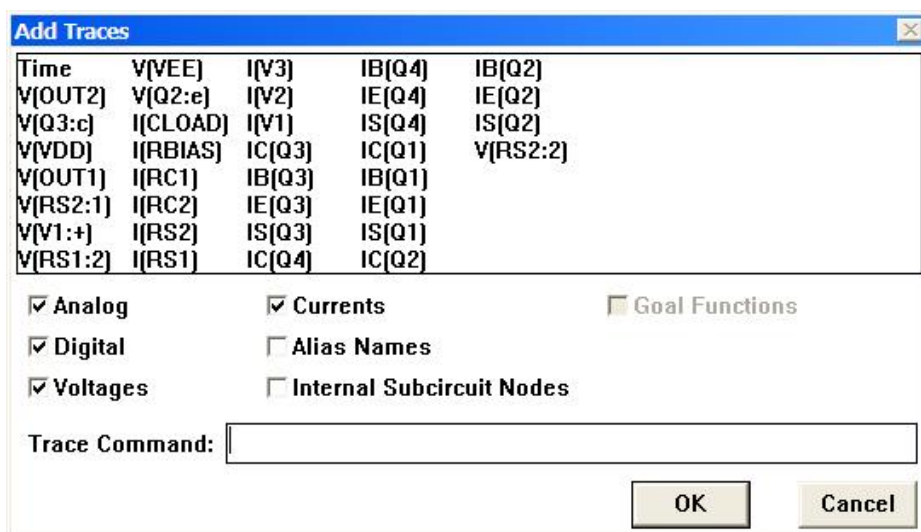
ถ้าการวิเคราะห์วงจรไม่มีข้อผิดพลาดโปรแกรมจะรันโปรแกรม Probe เพื่อใช้ในการดูผลของสัญญาณให้โดยอัตโนมัติ แต่ถ้าหากต้องการเปิดโปรแกรม Probe เพื่อดูผลของสัญญาณของวงจรที่ได้วิเคราะห์ไว้แล้วให้เลือก Probe จากโปรแกรมกรุปของ PSpice for Windows จะปรากฏหน้าต่าง Probe ดังรูปที่ 8 ให้เลือก File ตามด้วย Open แล้วเลือกไฟล์นามสกุล .dat ซึ่งเป็นไฟล์เอาต์พุตจากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม PSpice



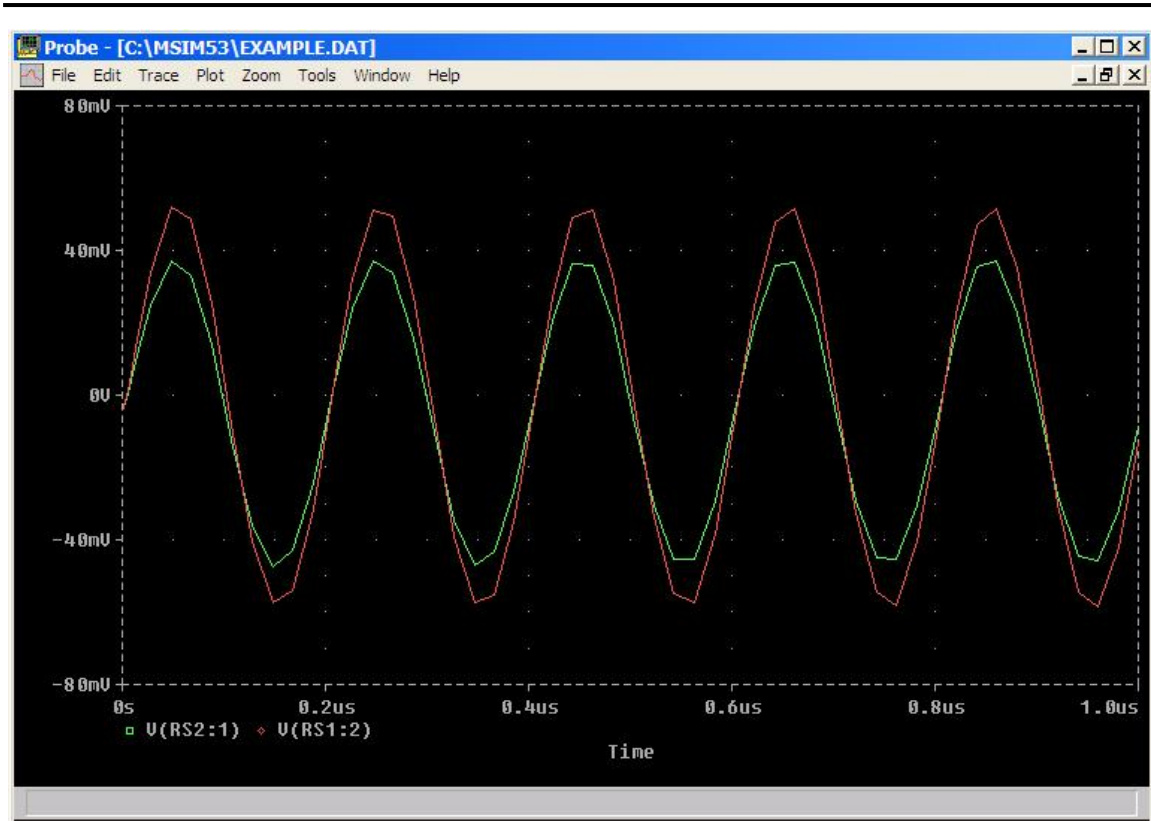
รูปที่ 8 หน้าต่าง Probe

### การเพิ่มรูปสัญญาณ

1. เลือก Trace แล้วตามด้วย Add จะปรากฏหน้าต่าง Add Trace ดังรูปที่ 9
2. ทำการเลือกสัญญาณที่ต้องการดูโดยการคลิกเมาส์ไปที่สัญญาณนั้นๆ เมื่อคลิกไปแล้วจะมีข้อความมาปรากฏที่ช่อง Trace Command:
3. หลังจากเลือกเสร็จแล้วคลิก OK รูปคลื่นที่ต้องการดูจะปรากฏที่หน้าต่าง Probe ดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 หน้าต่าง Add Trace



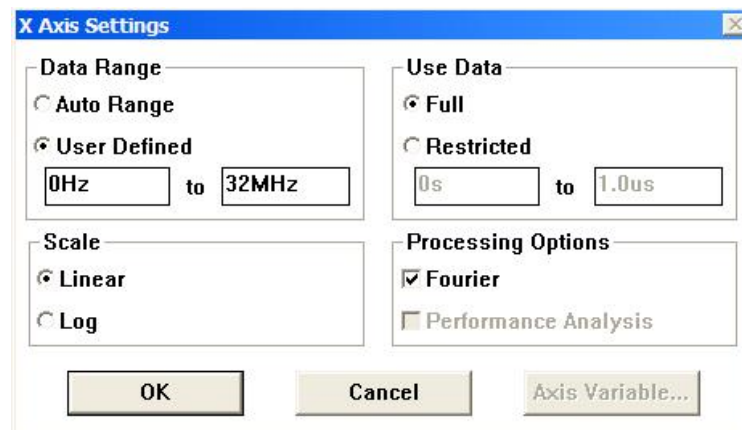
รูปที่ 10 หน้าต่าง Probe พร้อมรูปสัญญาณ

### การลบรูปสัญญาณ

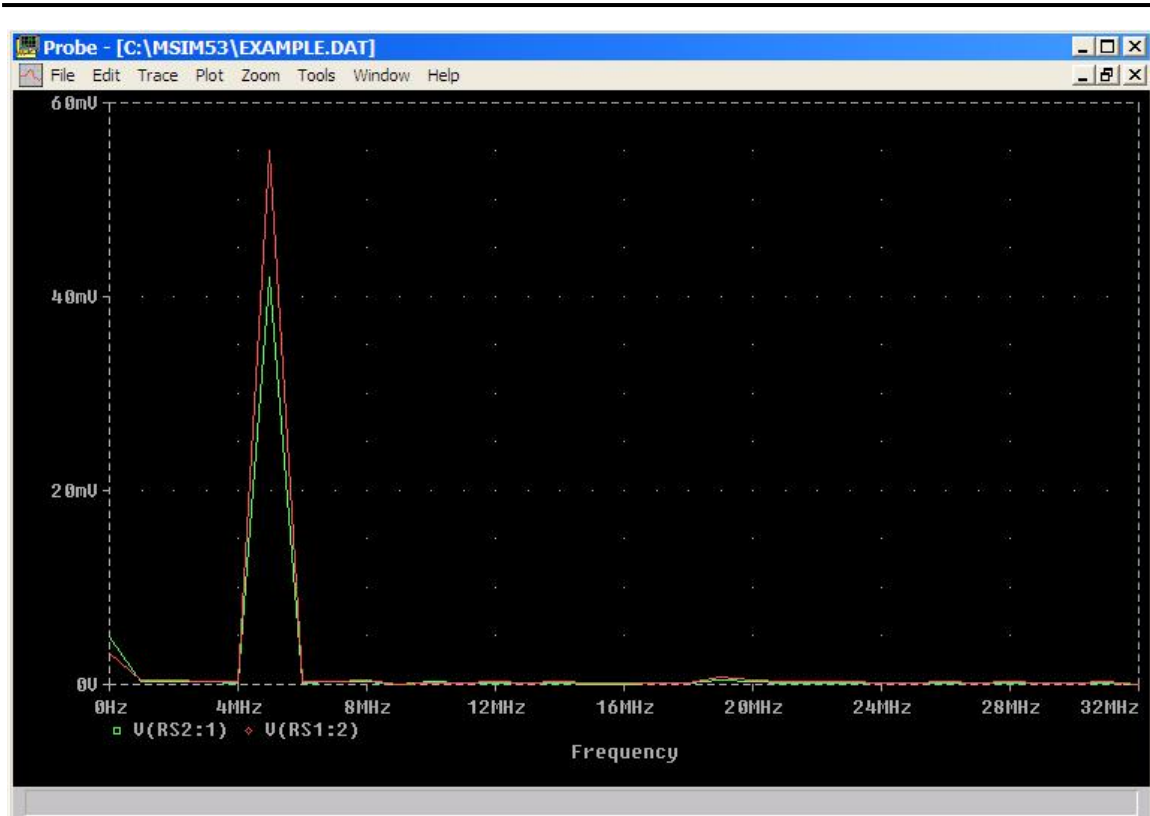
การลบรูปสัญญาณที่ไม่ต้องการออกจากหน้าจอทำได้โดย คลิกที่ข้อความใต้กราฟของสัญญาณที่ไม่ต้องการดู แล้วเลือก Edit ตามด้วย Delete หรือกดปุ่ม Del รูปสัญญาณที่ไม่ต้องการก็จะถูกลบออกจากหน้าจอ

### การดูส่วนประกอบความถี่

หากต้องการดูส่วนประกอบความถี่ (Fundamental of Frequency) ของสัญญาณ โปรแกรม Probe มีฟังก์ชันการวิเคราะห์ฟูเรียร์ (Fourier Analysis) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาส่วนประกอบความถี่ของสัญญาณ โดยเลือก Probe ตามด้วย X axis setting ให้คลิกที่ Fourier ดังรูปที่ 11 จากนั้นจะได้รูปสัญญาณ Fourier ดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 หน้าต่าง X axis setting



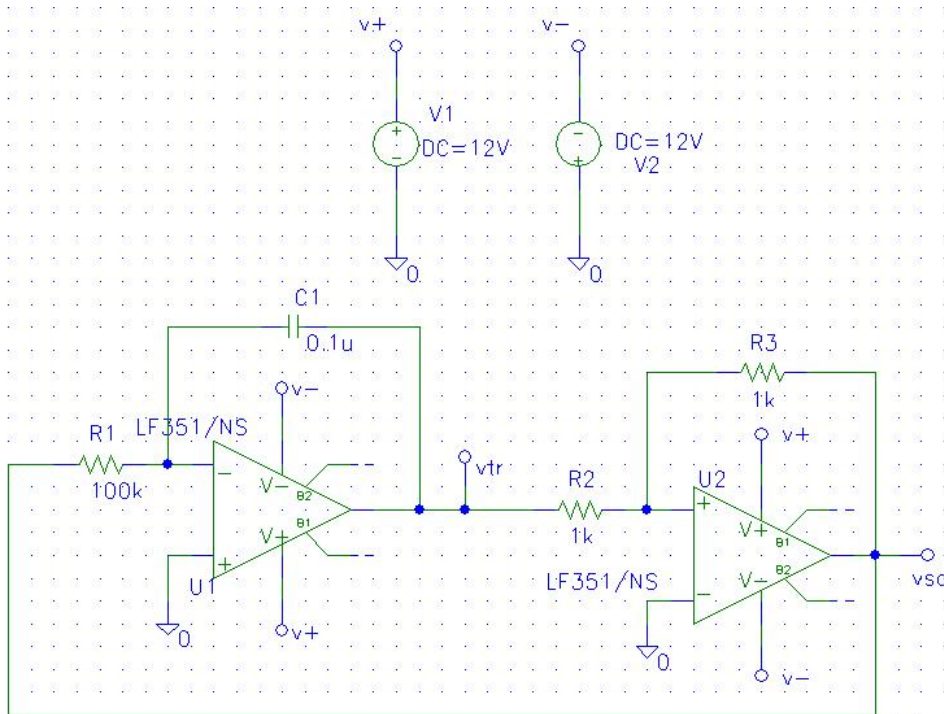
รูปที่ 12 หน้าต่าง Probe ที่แสดงรูปสัญญาณ Fourier

### 3. การวิเคราะห์ห้วงจรแบบ Transient (Transient Analysis)

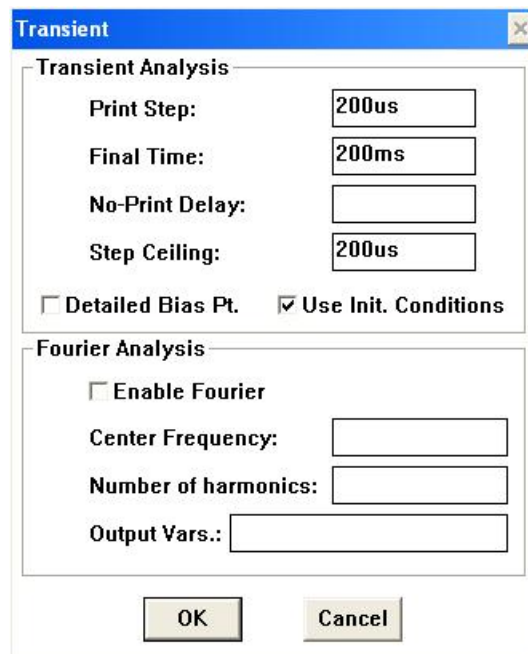
การวิเคราะห์ห้วงจรแบบ Transient เป็นการวิเคราะห์ห้วงจรโดยอยู่ในฟังก์ชันของเวลา ถ้าในวงจรมีอุปกรณ์ประเภท ตัวเก็บประจุ หรือตัวเหนี่ยวนำอยู่ในวงจร สภาวะ Transient จะเกิดขึ้นทันทีที่มีการเปลี่ยนสภาวะของสวิตช์ (จากปิดเป็นเปิด หรือจากเปิดเป็นปิด) ข้อควรระวังในการวิเคราะห์แบบ Transient ด้วยโปรแกรม PSpice for Windows คือ การกำหนดค่าของช่วงเวลา time-step ให้มีขนาดเหมาะสม เพื่อให้สัญญาณที่ได้มีความแม่นยำสูง ถ้ากำหนด time-step ใหญ่มาก สัญญาณที่ได้อาจผิดพลาด แต่ถ้ากำหนดให้เล็กเกินไป จะทำให้ใช้เวลาในการจำลองการทำงานนานขึ้น

#### ตัวอย่างการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ Transient

- 3.1.1 วาดวงจรตัวอย่างด้วย Schematics ดังในรูปที่ 13 (ดู Library ของอุปกรณ์ต่างๆ ได้ที่ภาคผนวก)
- 3.1.2 กำหนดค่าของอุปกรณ์
- 3.1.3 บันทึกวงจรที่สร้าง
- 3.1.4 กำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ โดยเลือกวิเคราะห์แบบ Transient และกำหนดค่าต่างๆ ดังรูปที่ 14
  - Print Step สำหรับกำหนดช่วงเวลาระหว่างค่าเอาต์พุตแต่ละค่าที่ใช้แสดงผล
  - Final Time กำหนดช่วงเวลาในการจำลองการทำงาน
  - Step Ceiling กำหนดค่าช่วงเวลา time-step ในการจำลองการทำงาน
- 3.1.4 ทำการจำลองการทำงาน
- 3.1.6 ดูสัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จาก Probe ดังในรูปที่ 15



รูปที่ 13 วงจรตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ Transient

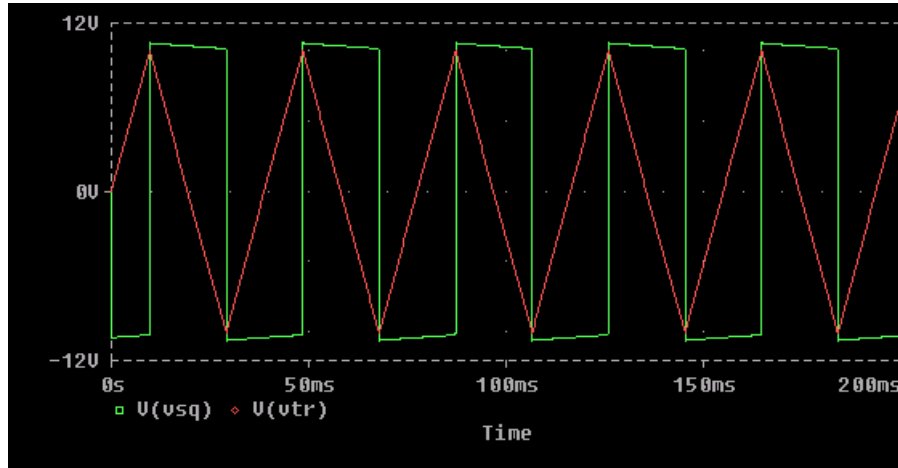


รูปที่ 14 การกำหนดค่าการวิเคราะห์แบบ Transient

#### 4. การวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC (DC Analysis)

ในการจำลองการทำงานทุกครั้ง โปรแกรม PSpice จะทำการคำนวณจุดไบแอสไฟตรง (DC bias-point) ก่อนที่จะไปทำการวิเคราะห์แบบอื่น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเข้าใจการวิเคราะห์แบบ DC ใน PSpice for Windows การวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC สามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ การวิเคราะห์จุดทำงานไฟตรง (DC Operating point)

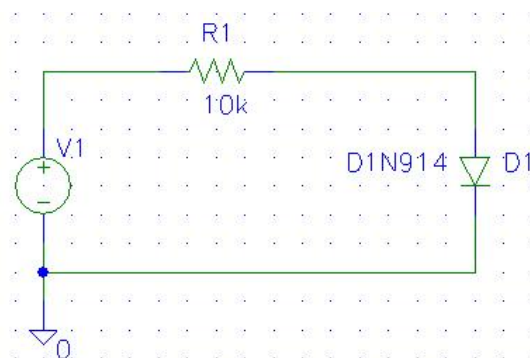
การวิเคราะห์ฟังก์ชันถ่ายโอนสัญญาณขนาดเล็ก (Small-signal Transfer Function) และการวิเคราะห์เพื่อดูคุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรง (DC Transfer Characteristic) โดยใช้ DC Sweep ซึ่งจะกล่าวถึงเฉพาะ DC Sweep เท่านั้น โดยแบ่งเป็น Source Sweep และ Parameter Sweep



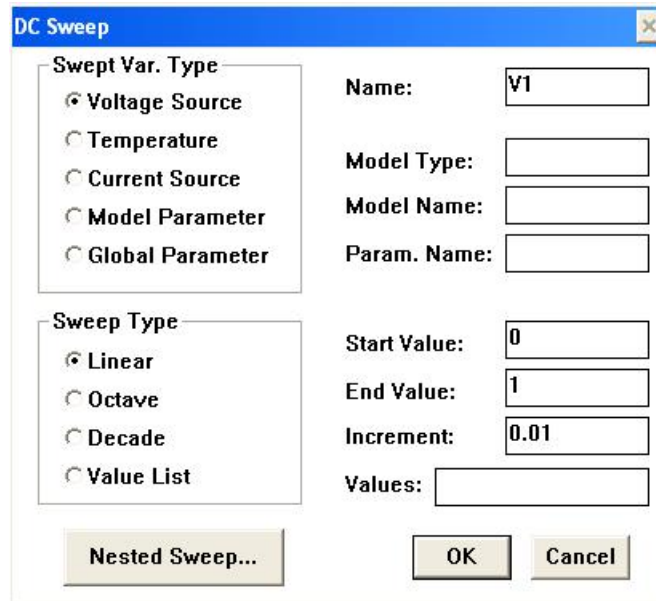
รูปที่ 15 สัญญาณผลลัพธ์ของวงจรตัวอย่างการวิเคราะห์แบบ Transient

### ตัวอย่างการวิเคราะห์วงจรแบบ DC: Source Sweep

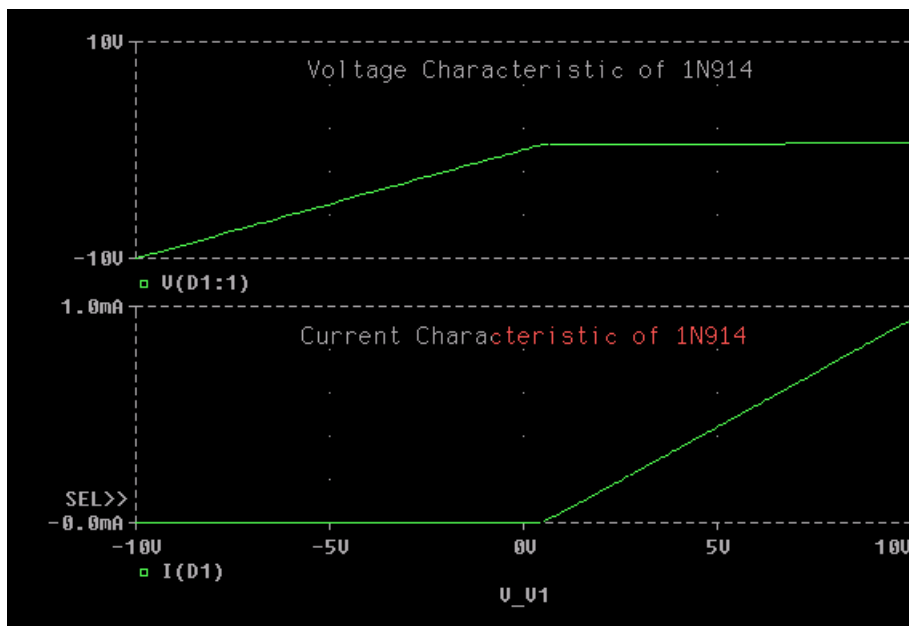
- 3.1.1 วาดวงจรตัวอย่างด้วย Schematics ดังในรูปที่ 16
- 3.1.2 กำหนดค่าของอุปกรณ์
- 3.1.3 บันทึกวงจรที่สร้าง
- 3.1.4 กำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ โดยเลือกวิเคราะห์แบบ DC Sweep และกำหนดค่าต่างๆ ดังรูปที่ 17
  - Name กำหนดชื่อของแหล่งจ่ายที่ต้องการ Sweep
  - Sweep Type กำหนดชนิดของการ Sweep
  - Start Value กำหนดค่าเริ่มต้น
  - End Value กำหนดค่าสุดท้าย
  - Increment กำหนดค่าที่เพิ่มขึ้นต่อสแต็ป
- 3.1.5 ทำการจำลองการทำงาน
- 3.1.6 ดูสัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จาก Probe ดังในรูปที่ 18



รูปที่ 16 วงจรตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์วงจรแบบ DC: Source Sweep



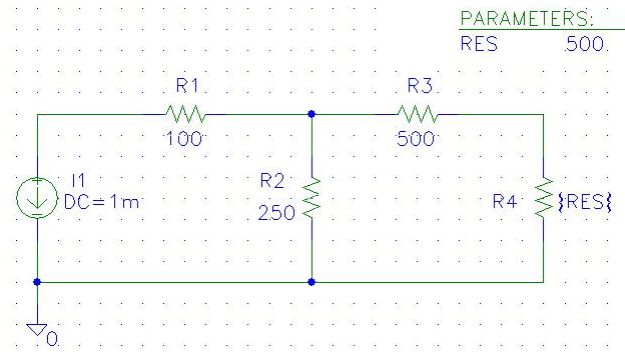
รูปที่ 17 การกำหนดค่าการวิเคราะห์แบบ DC: Source Sweep



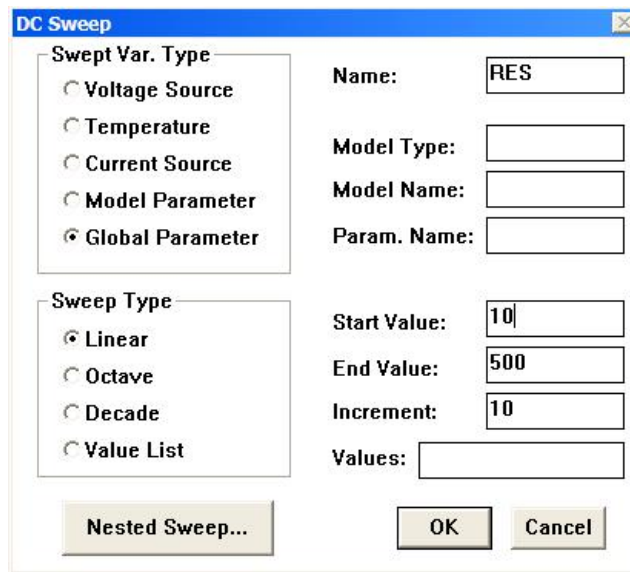
รูปที่ 18 สัญญาณผลลัพธ์ของวงจรตัวอย่างการวิเคราะห์แบบ DC: Source Sweep

### ตัวอย่างการวิเคราะห์วงจรแบบ DC: Parameter Sweep

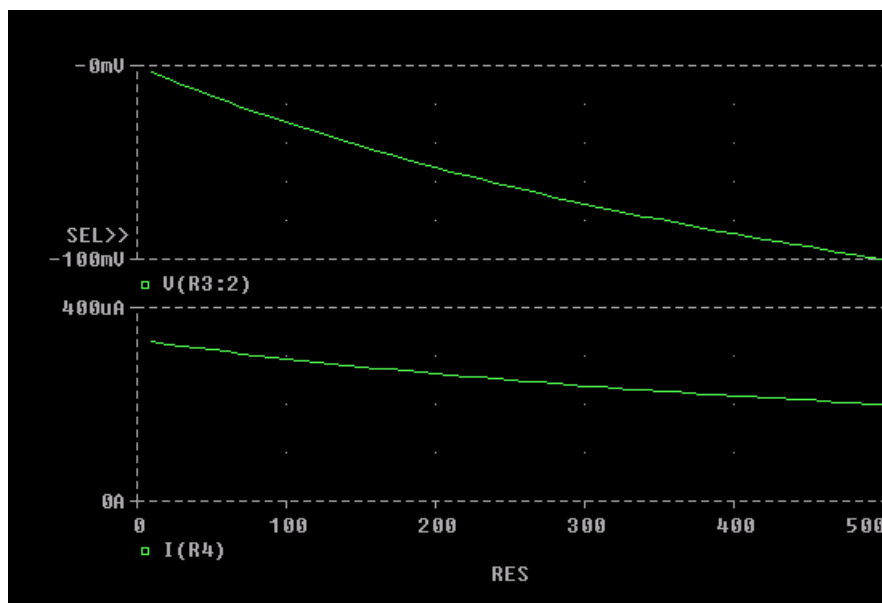
- 3.1.1 วาดวงจรตัวอย่างด้วย Schematics ดังในรูปที่ 19
- 3.1.2 กำหนดค่าของอุปกรณ์
- 3.1.3 บันทึกวงจรที่สร้าง
- 3.1.4 กำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ โดยเลือกวิเคราะห์แบบ DC Sweep และกำหนดค่าต่างๆ ดังรูปที่ 20
  - Name กำหนดชื่อพารามิเตอร์ที่ต้องการ Sweep
- 3.1.5 ทำการจำลองการทำงาน
- 3.1.6 ดูสัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จาก Probe ดังในรูปที่ 21



รูปที่ 19 วงจรตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์วงจรแบบ DC: Parameter Sweep



รูปที่ 20 การกำหนดค่าการวิเคราะห์แบบ DC: Parameter Sweep



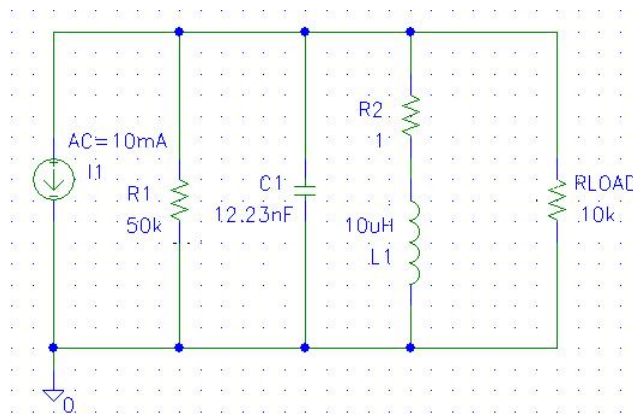
รูปที่ 21 สัญญาณผลลัพธ์ของวงจรตัวอย่างการวิเคราะห์แบบ DC: Parameter Sweep

## 5. การวิเคราะห์ห้วงจรแบบ AC (AC Analysis)

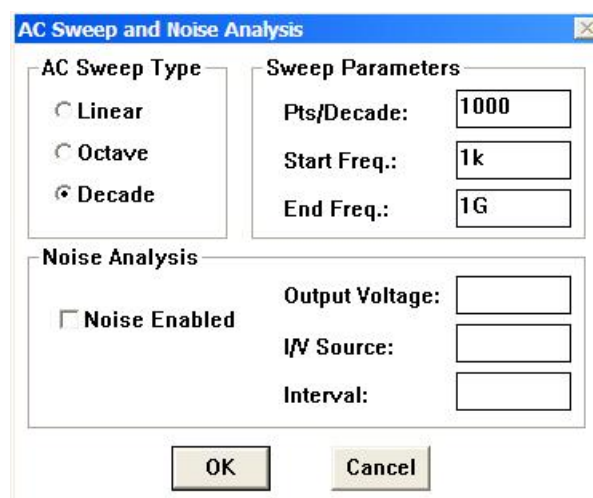
การวิเคราะห์ห้วงจรแบบหนึ่งที่ใช้กันมาก คือการวิเคราะห์ห้วงจรเพื่อดูการตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ของวงจร หรือการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ AC โดยเป็นการป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal signal) ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดและเฟสตลอดเวลาเข้าไปในวงจรที่ต้องการวิเคราะห์ แล้วทำการเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณตามที่กำหนดไว้ เพื่อดูผลการตอบสนองความถี่

### ตัวอย่างการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ AC

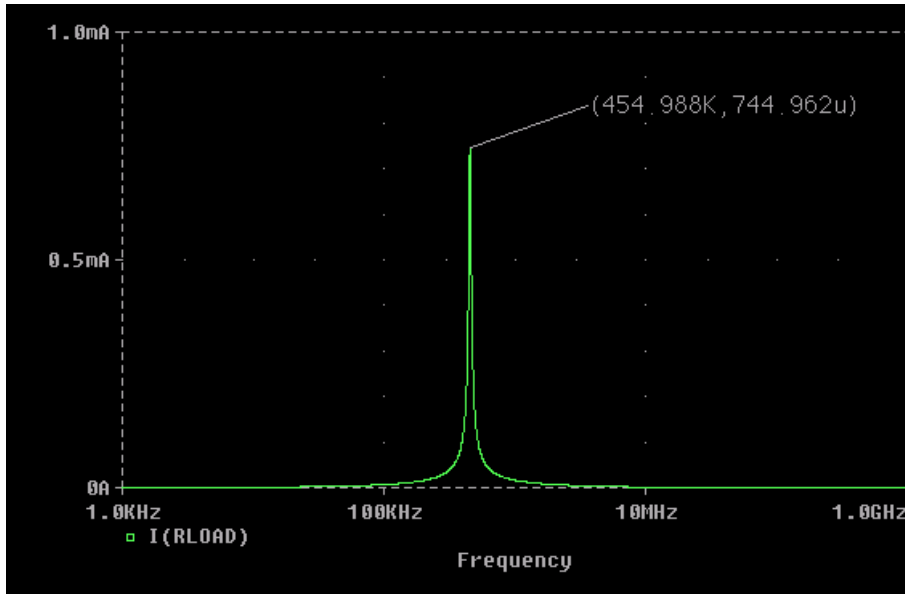
- 3.1.1 วาดวงจรตัวอย่างด้วย Schematics ดังในรูปที่ 22
- 3.1.2 กำหนดค่าของอุปกรณ์
- 3.1.3 บันทึกวงจรที่สร้าง
- 3.1.4 กำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ โดยเลือกวิเคราะห์แบบ AC Sweep และกำหนดค่าต่างๆ ดังรูปที่ 23
- 3.1.5 ทำการจำลองการทำงาน
- 3.1.6 ดูสัญญาณผลลัพธ์ที่ได้จาก Probe ดังในรูปที่ 24



รูปที่ 22 วงจรตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ AC



รูปที่ 23 การกำหนดค่าการวิเคราะห์แบบ AC



รูปที่ 24 สัญญาณผลลัพธ์ของวงจรตัวอย่างการวิเคราะห์แบบ AC

ภาคผนวก

ตารางที่ 2 Library ของอุปกรณ์ต่างๆ

อุปกรณ์	Part	Library
ตัวต้านทาน	R	analog.slb
ตัวเก็บประจุ	C	analog.slb
ตัวเหนี่ยวนำ	L	analog.slb
แหล่งจ่ายแรงดัน	VSRC	source.slb
แหล่งจ่ายแรงดันรูปคลื่นซายน์	VSIN	source.slb
แหล่งจ่ายกระแส	ISRC	source.slb
กราวด์	AGND	port.slb
จุดต่อ	BUBBLE	port.slb
พารามิเตอร์	PARAM	special.slb
ไดโอด 1N914, 1N4001	D1N914, D1N4001	diode.slb
ซีเนอร์ไดโอด 1N5239	D1N5239	diode.slb
ทรานซิสเตอร์ IRF150	IRF150	pwrmos.slb
ทรานซิสเตอร์ 2N3819	J2N3819	jfet.slb
ออปแอมป์ LF351	LF351/NS	nat_semi.slb
ออปแอมป์ LM318	LM318	opamp.slb

## บรรณานุกรม

- [1] มนตรี ศิริปรัชญานันท์ (2543). การใช้งานโปรแกรม Pspice for windows เบื้องต้น, เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- [2] Jan Van der Spiegel (1995, Oct.). SPICE – A Brief Overview. Department of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, Pennsylvania. [Online] Available:<http://www.seas.upenn.edu/~jan/spice/spice.overview.html>
- [3] Robert Lamey, *The Illustrated Guide to PSpice for Windows*. New York: Delmar Publishers, 1995.
- [4] Paul W. Tuinenga, *Spice: A Guide to Circuit Simulation and Analysis Using PSpice*, 3<sup>rd</sup> ed. Prentice Hall International, 1995.
- [5] Muhammad H. Rashid, *Spice for Circuits and Electronics Using Pspice*, 2<sup>nd</sup> ed. Singapore: Prentice Hall International, 1995.