# รายงานการวิจัย

# การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า โดยใช้จียูไอของแมทแล็ป

# The Development of Control System Analysis Program in the Work of Electrical Engineering by using MATLAB GUI

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมมารถ ขำเกลี้ยง

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณกองทุนวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

พ.ศ. 2559

**ชื่องานวิจัย** การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า
โดยใช้จียูไอของแมทแล็ป

**ผู้วิจัย** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมมารถ ขำเกลี้ยง

**คณะ** เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

**ปี** 2559

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ระบบควบคุมเบื้องต้นในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของแม็ทแลป สภาพแวดล้อมในการพัฒนาโปรแกรมจะทำตามอัลกอริทึมการทำงาน โดยการเขียนเอ็มไฟล์ฟังก์ชันร่วมกับฟังก์ชันเชิงวัตถุ การพัฒนาโปรแกรมประกอบด้วย 5 ขั้นตอนได้แก่ 1) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา 2) ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม 3) ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม 4) ขั้นตอนการทดสอบและแก้ไขโปรแกรม และ 5) ขั้นตอนการจัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งาน ผลของงานวิจัยสรุปได้ดังนี้ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถวิเคราะห์ระบบควบคุมเบื้องต้น โดยสามารถจำลองกราฟการตอบสนองชั่วขณะ กราฟการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบควบคุม และผลตอบสนองในโดเมนความถี่แบบโบเดได้ถูกต้อง

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

1142784
วันที่ 7
เลขเรียกหนังสือ 005.133
ก16ก

| | |
|---|---|
| **Research Title** | The Development of Control System Analysis Program in the Work of Electrical Engineering by using MATLAB GUI |
| **Researcher** | Assistance Professor Dr.Sommart Khamkleang |
| **Faculty** | Industrial Technology |
| **Year** | 2016 |

## Abstract

This research describes about the development of basic control system analysis program in the work of electrical engineering by using function GUI of MATLAB. Environment of program will follow the algorithm, written by m-file functions with object function. The development of program are comprises 5 steps, 1) the problem analysis, 2) the program design, 3) the program coding 4) the program testing & verification and 5) the program documentation. The research found that the results of the program can be analysis of control system basic, by can simulate of transient respond analysis, stability analysis, and the response in frequency domain Bode. The simulation results of program are correct.

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยจำนวน 60,000 บาท จากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา หมายเลข 9/2559 ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณท่านอาจารย์ ดร.วิชาญ เพชรทอง อาจารย์ ดร.กัณตภณ มะหาหมัด และผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพศาล คงเรือง ผู้เชี่ยวชาญที่ให้คำปรึกษาชี้แนะ และยังช่วยแจกแจงในส่วนของรายละเอียดต่างๆ ให้เกิดความเข้าใจและชัดเจนตลอดระยะเวลาในการดำเนินงาน

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ผู้เป็นเจ้าของตำรา หนังสือ และงานวิจัยที่ช่วยเอื้อประโยชน์ในด้านข้อมูลอ้างอิงจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทางผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ผู้เป็นเจ้าของตำราไว้ด้วยความยินดีเป็นอย่างยิ่ง พร้อมทั้งหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลจากการวิจัยในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์เพื่อให้ผู้ที่สนใจได้นำไปใช้งาน

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัยจนบรรลุผลตามที่ตั้งไว้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมมารถ ขำเกลี้ยง

สิงหาคม 2560

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| **บทคัดย่อภาษาไทย** | ก |
| **บทคัดย่อภาษาอังกฤษ** | ข |
| **กิตติกรรมประกาศ** | ค |
| **สารบัญ** | ง |
| **สารบัญตาราง** | ฉ |
| **สารบัญรูป** | ช |
| **บทที่ 1 บทนำ** | 1 |
| ความสำคัญและที่มาของปัญหา | 1 |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 2 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| ขอบเขตการวิจัย | 2 |
| นิยามศัพท์เฉพาะ | 3 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | 4 |
| ทฤษฎีระบบควบคุม | 4 |
| การพัฒนาโปรแกรม | 11 |
| โปรแกรม MATLAB | 12 |
| การจัดลำดับ Tab และแถบเมนูเครื่องมือ | 43 |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 51 |
| **บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย** | 54 |
| การวิเคราะห์ปัญหา | 54 |
| การออกแบบโปรแกรม | 55 |
| การเขียนโปรแกรม | 61 |
| การทดสอบและแก้ไขโปรแกรม | 92 |
| การจัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งาน | 92 |


มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

**บทที่ 4 ผลการวิจัย** 93
ผลการพัฒนาโปรแกรม 93
ผลการทดสอบคุณภาพของโปรแกรม 96
ผลการประเมินความพึงพอใจโดยผู้เชี่ยวชาญ 107

**บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผล** 108
สรุปผลการวิจัย 108
อภิปรายผลการวิจัย 109

**เอกสารอ้างอิง** 111
**ภาคผนวก ก** 114
คู่มือการใช้งานโปรแกรม 115
**ภาคผนวก ข** 131
แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ 132
**ภาคผนวก ค** 134
บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ 135

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**

4-1 คุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วขณะของระบบควบคุมอันดับสอง
ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ 101

4-2 ผลการประเมินโปรแกรมจากผู้เชี่ยวชาญ 107

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2-1 | บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง | 5 |
| 2-2 | บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับสอง | 7 |
| 2-3 | หน้าต่างโปรแกรม MATLAB | 15 |
| 2-4 | หน้าต่าง GUIDE | 17 |
| 2-5 | หน้าต่างสำหรับเลือกสร้าง GUI ใหม่ | 18 |
| 2-6 | หน้าต่าง Preferences | 18 |
| 2-7 | หน้าต่างการสร้าง GUI ที่แสดงรายชื่อของวัตถุต่าง ๆ | 19 |
| 2-8 | หน้าต่าง GUIDE เลือกวัตถุในเมนู | 20 |
| 2-9 | หน้าต่างการบันทึกของ GUI | 20 |
| 2-10 | หน้าต่างไฟล์ ex_gui.m | 21 |
| 2-11 | หน้าต่าง ex_gui มีนามสกุล .fig | 21 |
| 2-12 | การเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติของวัตถุ | 22 |
| 2-13 | การสร้างฟังก์ชันเรียกกลับมาด้วย GUIDE | 24 |
| 2-14 | เมนูย่อยซึ่งเป็นรายการของฟังก์ชันเรียกกลับทั้งหมดของปุ่ม Push Button | 24 |
| 2-15 | เมนูย่อยซึ่งเป็นรายการของฟังก์ชันเรียกกลับทั้งหมดของ Edit Text | 25 |
| 2-16 | เขียนโปรแกรมเพื่อการเรียกกลับในปุ่ม Push Button | 26 |
| 2-17 | การเขียน GUI ด้วยPush Button และ Axes | 27 |
| 2-18 | เขียนโปรแกรมเพื่อการเรียกกลับใน Button Group | 27 |
| 2-19 | การเขียน GUI ด้วย Radio Button และ Button Group | 28 |
| 2-20 | การเพิ่ม Static Text ในหน้าต่าง GUI | 29 |
| 2-21 | เขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการเรียกกลับในวัตถุ Edit Text | 30 |
| 2-22 | Edit Text และ Static Text | 30 |
| 2-23 | เขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการเรียกกลับในวัตถุ Slider Bar | 31 |
| 2-24 | Slider bar และ static Text | 32 |
| 2-25 | เขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการเรียกกลับในวัตถุ List Box | 33 |
| 2-26 | เขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการเรียกกลับในวัตถุ Pop –up Menu | 33 |
| 2-27 | แสดงการแก้ไขคุณสมบัติ String | 34 |
| 2-28 | หน้าต่าง String สำหรับแก้ไขคุณสมบัติของ List Box | 34 |
| 2-29 | List Box กับ Pop –up Menu | 35 |

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| | 2-30 เขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการเรียกกลับในวัตถุ Check Box | 35 |
| | 2-31 การทดสอบการทำงานของ Check Box | 35 |
| | 2-32 เขียนคำสั่งการใช้ KeyPress Fcn | 38 |
| | 2-33 ผลการรับค่าจากคีย์บอร์ด Alt จะแสดงที่ Static Text เป็น alt | 38 |
| | 2-34 เขียนคำสั่งการใช้ WindowButtonDownFcn | 40 |
| | 2-35 ผลการรัน gui ตามคำสั่งในรปที่ 2-34 | 40 |
| | 2-36 เขียนคำสั่งการใช้ WindowButtonMotionFcn | 41 |
| | 2-37 ผลการรัน gui ตามคำสั่งในรูปที่ 2-36 | 42 |
| | 2-38 เขียนคำสั่งการใช้ WindowScrollWheelFcn | 43 |
| | 2-39 ผลการรัน gui ตามคำสั่งในรูปที่ 2-38 | 44 |
| | 2-40 หน้าต่าง Tab Order Edition | 44 |
| | 2-41 หน้าต่าง Menu Editorในส่วนของ Menu Bar | 45 |
| | 2-42 การสร้างเมนู File | 46 |
| | 2-43 การสร้างเมนูย่อย New | 46 |
| | 2-44 การเขียนคำสั่งเพื่อให้เมนูย่อย New ทำงาน | 47 |
| | 2-45 ผลการรัน gui แล้วเลือก File<New ที่เมนูบาร์ | 47 |
| | 2-46 หน้าต่าง Menu Editorในส่วนของ Context Menus | 48 |
| | 2-47 การสร้างเมนู Show, Load และ Inverse | 48 |
| | 2-48 หน้าต่าง Inspector: figure(ex_gui) | 49 |
| | 2-49 การเขียนคำสั่งสำหรับเมนู Load | 49 |
| | 2-50 การเขียนคำสั่งสำหรับเมนู Inverse | 50 |
| | 2-51 แสดงภาพเมื่อคลิกขวาแล้วเลือกเมนู Load | 50 |
| | 2-52 แสดงภาพเมื่อคลิกขวาแล้วเลือกเมนู Inverse | 51 |
| | 3-1 ผังงานการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า | 58 |
| | 3-2 ผังงานการทำงานของโปรแกรมหน้าต่างหลัก | 62 |
| | 3-3 ผลการเขียนโปรแกรมหน้าต่างหลัก | 63 |
| | 3-4 โค๊ดการเชื่อมต่อภาพระบบควบคุมของโปรแกรมหน้าต่างหลัก | 64 |

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3-5 | โค๊ดการเชื่อมต่อให้ผู้ใช้งานเลือกวงจรควบคุมแบบต่าง ๆ ได้แก่ วงจรควบคุมอันดับหนึ่ง วงจรควบคุมดันดับสอง การออกแบบและวิเคราะห์วงจรควบคุม ของโปรแกรมหน้าต่างหลัก | 65 |
| 3-6 | ผังงานการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง | 66 |
| 3-7 | โปรกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง | 67 |
| 3-8 | โค๊ดการเชื่อมต่อภาพระบบควบคุมของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง | 68 |
| 3-9 | โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะ ของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง | 68 |
| 3-10 | โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเด ของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง | 69 |
| 3-11 | โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ ของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง | 70 |
| 3-12 | โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก ของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง | 70 |
| 3-13 | โค๊ดเปลี่ยนสีของเส้นกราฟของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง | 71 |
| 3-14 | โค๊ดการลบกราฟผลตอบสนองของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง | 71 |
| 3-15 | ผังการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง | 72 |
| 3-16 | โปรกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง | 73 |
| 3-17 | โค๊ดการเชื่อมต่อภาพระบบควบคุมของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง | 74 |
| 3-18 | โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะ ของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง | 74 |
| 3-19 | โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเด ของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง | 76 |
| 3-20 | โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ ของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง | 76 |
| 3-21 | โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก ของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง | 77 |
| 3-22 | โค๊ดเปลี่ยนสีของเส้นกราฟของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง | 77 |

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3-23 | โค๊ดการลบกราฟผลตอบสนองของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง | 78 |
| 3-24 | ผังการทำงานของโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน | 79 |
| 3-25 | โปรกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน | 80 |
| 3-26 | โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะ ของโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชั่น | 80 |
| 3-27 | โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเด ของโปรแกรมโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน | 83 |
| 3-28 | โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ ของโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน | 86 |
| 3-29 | โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก ของโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน | 89 |
| 3-30 | โค๊ดการลบกราฟผลตอบสนองของโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน | 92 |
| 4-1 | หน้าต่างเมนูหลักของโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า | 94 |
| 4-2 | หน้าต่างของโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับหนึ่ง | 95 |
| 4-3 | หน้าต่างของโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับสอง | 95 |
| 4-4 | หน้าต่างของโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน | 96 |
| 4-5 | หน้าต่างของโปรแกรมวิเคราะห์ฟังก์ชัน | 96 |
| 4-6 | ผลการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง | 97 |
| 4-7 | ผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเดของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง | 98 |
| 4-8 | ผลตอบสนองแบบไนควิสต์ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง | 99 |
| 4-9 | ผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก (Root Locus Plot) ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง | 100 |
| 4-10 | ผลตอบสนองชั่วขณะของระบบควบคุมอันดับสอง ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ | 101 |
| 4-11 | ผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเดของระบบควบคุมอันดับสอง ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ | 102 |
| 4-12 | ผลตอบสนองแบบไนควิสต์ของระบบควบคุมอันดับสอง ที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ | 103 |
| 4-13 | ผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของรากของระบบควบคุมอันดับสอง | 104 |

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 4-14 | ผลตอบสองชั่วขณะที่เวลา (t) 0 ถึง 10 วินาที ของระบบควบคุมอันดับ 5 | 105 |
| 4-15 | ผลตอบสนองในโดเมนความถี่แบบโบเดของระบบควบคุมอันดับ 5 | 106 |
| 4-16 | ผลการหาเสถียรภาพด้วยวิธีการไนควิสต์ของระบบควบคุมอันดับ 5 | 107 |
| 4-17 | ผลการหาเสถียรภาพด้วยวิธีการเส้นทางเดินของรากของระบบควบคุมอันดับ 5 | 107 |
| 5-1 | สรุปผลการพัฒนาโปรแกรม | 110 |


มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ระบบควบคุมได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และในชีวิตประจำวันได้แก่ระบบควบคุมในเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะคอยควบคุมอุณหภูมิภายในห้องให้คงที่ อีกทั้งในอุตสาหกรรมได้มีการนำระบบควบคุมอัตโนมัติไปใช้ควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร เป็นต้น [1] ซึ่งการวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับหนึ่ง จะใช้การหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตของระบบ จะใช้สัญญาณมาตรฐานทดสอบระบบ และกำหนดให้ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นศูนย์ หลังจากนั้นทำการแปลงลาปลาซ และลาปลาซผกผันเพื่อหาค่าสมการผลตอบสนองของระบบ โดยที่การวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับสองเป็นต้นไป การวิเคราะห์คุณสมบัติของระบบ จะพิจารณาในเทอมของตัวแปรสองตัวคืออัตราการหน่วงของระบบ ($\zeta$) และความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ ($\omega_n$) และจะต้องทำการแปลงลาปลาซ และลาปลาซผกผันเพื่อหาค่าสมการผลตอบสนองของระบบเช่นเดียวกัน [2] การทำให้ระบบมีเสถียรภาพเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่งของระบบควบคุม ดังนั้นผู้ออกแบบจึงมีความจำเป็นต้องหาวิธีการวิเคราะห์และออกแบบให้ระบบควบคุมเป็นระบบที่มีเสถียรภาพมากที่สุด โดยวิธีวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบสามารถทำได้โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ได้แก่ วิธีการทดสอบแบบไนควิทซ์ (Nyquist Stability Criterion) วิธีการทดสอบแบบเส้นทางเดินของราก (Root Locus) และวิธีวิกฤตของเร้าท์เฮอร์วิธ (Routh – Hurwitz Criterion) [3]

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ระบบควบคุมมีความซับซ้อนในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ และต้องใช้ระยะเวลาเป็นอย่างมาก การแก้ปัญหาวิธีการหนึ่งในปัจจุบันคือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาคำนวณ [4]-[5] โดยใช้โปรแกรมต่างๆ เช่น ไมโครซอฟต์เอ็กเซล (Microsoft Excel) แม็ทแลป (Matlab), Visual C# หรือโปรแกรมที่ออกแบบมาเฉพาะทาง โปรแกรมที่นิยมนำมาใช้สำหรับวิเคราะห์งานทางด้านวิศวกรรม ได้แก่โปรแกรมแม็ทแลป เพราะใช้งานง่าย มีความสะดวกในการพัฒนาเป็นโปรแกรมประยุกต์ จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ระบบควบคุมเบื้องต้นสำหรับงานทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของแม็ทแลปต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์วิศวกรรมระบบควบคุมโดยใช้ฟังชั่นจียูไอของแมทแล็ป

1.2.2 ทดสอบคุณภาพของโปรแกรมประยุกต์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์วิศวกรรมระบบควบคุมโดยใช้ฟังชั่นจียูไอของแมทแล็ป

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมที่ซับซ้อนได้อย่างถูกต้อง สะดวก และรวดเร็ว และสามารถพัฒนาในการนำไปใช้งานทางด้านวิศวกรรมระบบควบคุมในเชิงพาณิชย์ได้ ตลอดจนผลของงานวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยวิธีการอื่น ๆ

1.3.2 สามารถนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นสื่อการเรียนรู้ของนักศึกษา และนักวิจัยในการวิเคราะห์วิศวกรรมระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า และยังสามารถนำไปพัฒนาเป็นงานวิจัยต่อไปในอนาคต

1.3.3 สามารถนำผลงานวิจัยไปตีพิมพ์เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการ วารสารวิชาการในระดับชาติและระดับนานาชาติ เพื่อเผยแพร่และส่งเสริมให้นักวิจัยและผู้ที่สนใจนำผลการวิจัยไปใช้ในการพัฒนาหรือใช้ประโยชน์ต่อไป

## 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ใช้การประมวลผลภายใต้การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB เป็นโปรแกรมหลัก

1.4.2 ประสิทธิภาพของโปรแกรมประยุกต์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์วิศวกรรมระบบควบคุม ในงานวิศวกรรมไฟฟ้าที่สร้างขึ้นกับผลทางทฤษฎี

1.4.3 เนื้อหาของวิศวกรรมระบบควบคุมที่นำมาสร้างโปรแกรมประกอบด้วย

1) ระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

2) ระบบควบคุมอันดับสอง

3) การออกแบบและวิเคราะห์ฟังชั่นถ่ายโอน

4) การวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบควบคุม

**1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ**

1.5.1 การพัฒนาโปรแกรม คือ การใช้กระบวนการพัฒนาโปรแกรมอย่างเป็นระบบ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การวิเคราะห์ปัญหา 2) ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม 3) ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม 4) ขั้นตอนการทดสอบและแก้ไขโปรแกรม และ 5) ขั้นตอนการจัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งาน

1.5.2 ประสิทธิภาพของโปรแกรม คือ ผลของการทดสอบโปรแกรมวิเคราะห์วิศวกรรมระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าที่สร้างขึ้น กับผลการคำนวณทางทฤษฎี

1.5.3 ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า คือ การควบคุมวงจรไฟฟ้า ให้มีค่าเอาต์พุตที่ต้องการ โดยการป้อนค่าอินพุตที่เหมาะสมให้กับระบบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

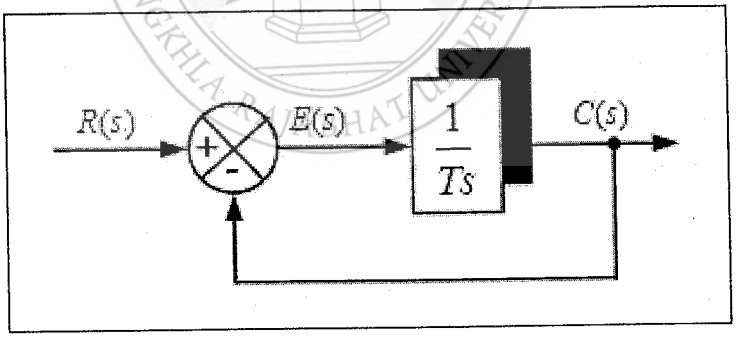
ในบทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้จียูไอของแมทแล็ป ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาจากหนังสือต่างๆ [2]-[3] มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## 2.1 ทฤษฎีระบบควบคุม

### 2.1.1 ระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

พิจารณาจากรูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตของระบบเป็นดังนี้

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{Ts+1} \tag{1}$$




**รูปที่ 2-1** บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

การวิเคราะห์ผลตอบสนองของระบบ จะใช้สัญญาณมาตรฐานทดสอบระบบ โดยจะใช้สัญญาณระดับ (unit-step) สัญญาณลาด (unit-ramp) และสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse) เป็นสัญญาณอินพุตและกำหนดให้ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นศูนย์

เมื่อทำการแปลงลาปลาซสัญญาณอันดับหนึ่งจะได้ $R(s)=\frac{1}{s}$ จากสมการที่ (1) เขียนผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตได้เป็น

$$C(s)=\frac{1}{s}\cdot\frac{1}{Ts+1} \tag{2}$$

แปลงลาปลาซผกผันสมการที่ (2) จะได้

$$c(t)=1-e^{\frac{-t}{T}} \quad (t\geq 0) \tag{3}$$

เมื่อ $t=T$ สามารถเขียนสมการที่ (3) ได้เป็นดังนี้

$$c(t)=1-e^{-1}=0.632 \tag{4}$$

และจากสมการที่ (3) สามารถเขียนสมการสัญญาณความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

$$e(t)=e^{\frac{-t}{T}} \tag{5}$$

เมื่อทำการแปลงลาปลาซสัญญาณลาดจะได้ $R(s)=\frac{1}{s^2}$ จากสมการที่ (1) เขียนผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตได้เป็น

$$C(s)=\frac{1}{s^2}-\frac{T}{s}\cdot\frac{T^2}{Ts+1} \tag{6}$$

แปลงลาปลาซผกผันสมการที่ (6) จะได้

$$C(t)=1-T(1-e^{\frac{-t}{T}}) \qquad (t\geq 0) \tag{7}$$

และจากสมการที่ (7) สามารถเขียนสมการสัญญาณความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

$$e(t)=T(1-e^{\frac{-t}{T}}) \tag{8}$$

สำหรับสัญญาณอินพุตอิมพัลส์จะได้ $R(s)=1$ จากสมการที่ (1) เขียนผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตได้เป็น

$$C(s)=\frac{1}{Ts+1} \tag{9}$$

แปลงลาปลาซผกผันสมการที่ (9) จะได้

$$c(t)=\frac{1}{T}-e^{\frac{-t}{T}} \qquad (t\geq 0) \tag{10}$$

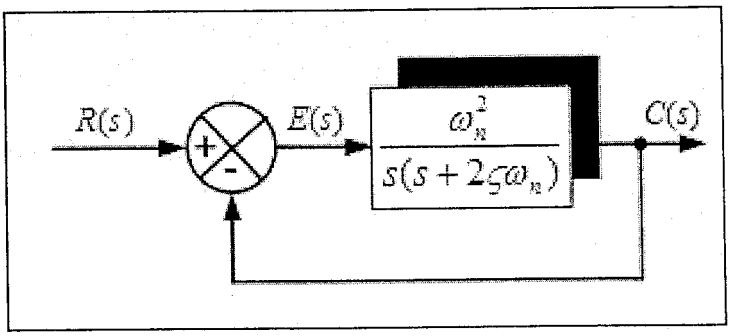
**2.1.2 ระบบควบคุมอันดับสอง**

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2-2 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบปิดของระบบควบคุมอันดับสองสามารถเขียนได้เป็นดังนี้

$$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2} \tag{11}$$

โดยที่ $\omega_n$ คือ ความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ

$\zeta$ คือ อัตราการหน่วงของระบบ




**รูปที่ 2-2** บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับสอง

การวิเคราะห์คุณสมบัติของระบบอันดับสอง จะพิจารณาในเทอมของตัวแปรสองตัวคือ $\zeta$ และ $\omega_n$ เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นฟังก์ชันอันดับหนึ่ง มีค่า $R(s)=\frac{1}{s}$ สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. กรณี $0<\zeta<1$ เป็นระบบที่มีความหน่วงน้อย (Under Damped) จะได้สมการสัญญาณเอาต์พุตดังนี้

$$C(s)=\frac{\omega_n^2}{(s+\zeta\omega_n+j\omega_d)(s+\zeta\omega_n-j\omega_d)}\cdot\frac{1}{s} \tag{12}$$

โดยที่ $\omega_d$ คือ ความเร็วเชิงมุมในการแกว่งขณะระบบมีความถ่วงน้อย มีค่าเท่ากับ $\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$

2. กรณี $\zeta=1$ เป็นระบบที่มีความหน่วงวิกฤติ (Critical Damped) จะได้สมการแสดงการตอบสนองของระบบดังนี้

$$C(s)=\frac{\omega_n^2}{(s+\omega_n)^2}\cdot\frac{1}{s} \tag{13}$$

3. กรณี $\zeta>1$ เป็นระบบที่มีความหน่วงเกิน (Over Damped) จะได้สมการแสดงการตอบสนองของระบบดังนี้

$$C(s)=\frac{\omega_n^2}{(s+\zeta\omega_n+\omega_n\sqrt{\zeta^2-1})(s+\zeta\omega_n-\omega_n\sqrt{\zeta^2-1})s} \tag{14}$$

**2.1.3 การวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบควบคุม**

วิธีการทดสอบแบบไนควิทซ์ (Nyquist) เป็นวิธีกึ่งกราฟที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างจำนวนโพลและซีโร่ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบป้อนกลับ โดยการสังเกตพฤติกรรมจากกราฟไนควิทซ์ของโพล ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบป้อนกลับจะเป็นรากของสมการคุณลักษณะ

วิธีการทดสอบแบบเส้นทางเดินของราก (Root Locus) เป็นการเขียนทางเดินของรากของสมการคุณลักษณะ เมื่อพารามิเตอร์ของระบบแปรค่าไปมากกว่าหนึ่ง เมื่อทางเดินของรากอยู่ทางครึ่งขวาของระนาบเอส ระบบควบคุมแบบป้อนกลับจะไม่เสถียร

วิธีการทดสอบแบบโบเด (Bode) คือการพล็อตขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอน (dB) เปรียบเทียบกับความถี่ (rad/s) และเฟสของฟังก์ชันถ่ายโอน (องศา) เปรียบเทียบกับความถี่ (rad/s) ลงในกราฟกึ่งลอการิทึม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตัวอย่างฟังก์ชันถ่ายโอน $H(\omega)=\dfrac{200j\omega}{(j\omega+2)(j\omega+10)}$

ขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอนในสเกลเดซิเบลคือ

$$H_{dB}=20\log_{10}\left\{\frac{200\omega}{\left(\sqrt{\omega^2+2^2}\right)\left(\sqrt{\omega^2+10^2}\right)}\right\}$$
$$=20\log_{10}(200\omega)-20\log_{10}\left\{\left(\sqrt{\omega^2+2^2}\right)\left(\sqrt{\omega^2+10^2}\right)\right\}$$
$$=20\log_{10}(200)+20\log_{10}(\omega)-20\log_{10}\left(\sqrt{\omega^2+2^2}\right)-20\log_{10}\left(\sqrt{\omega^2+10^2}\right)$$

เฟสของฟังก์ชันถ่ายโอนคือ

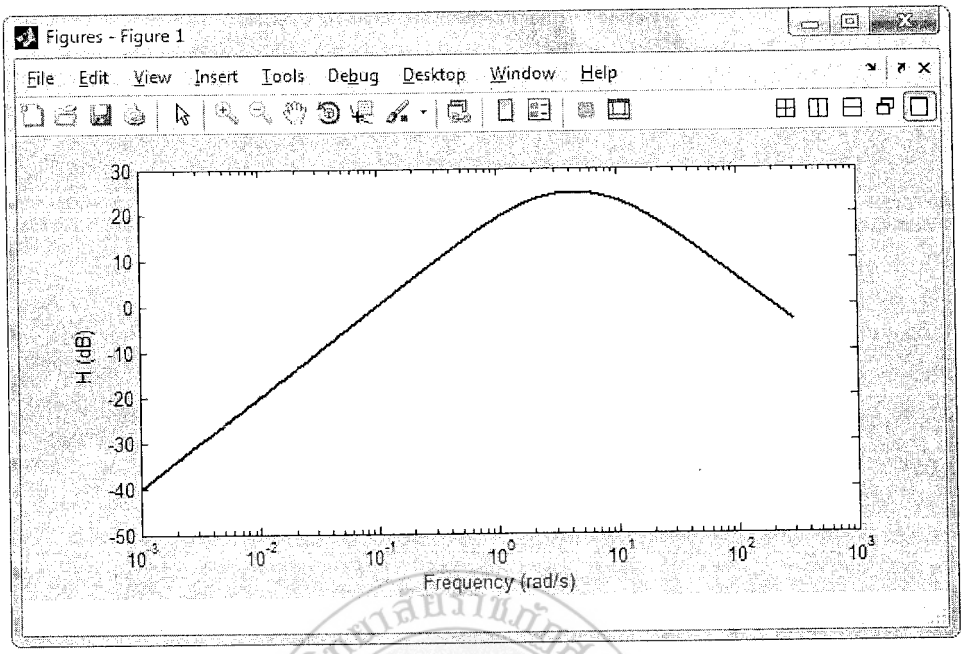
$$\angle H=\angle(200j\omega)-\left\{\angle(j\omega+2)+\angle(j\omega+10)\right\}=90^{\circ}-\tan^{-1}\left(\frac{\omega}{2}\right)-\tan^{-1}\left(\frac{\omega}{10}\right)$$

การลงจุดโบดด้วยคำสั่งของ MATLAB สำหรับ “ขนาด” ใช้คำสั่งดังต่อไปนี้

```
w = 0:1e-3:300;
HdB = 20*log10(200)+20*log10(w)-20*log10(sqrt(w.^2+4))-20*log10(sqrt(w.^2+100));
semilogx(w,HdB);hold on
xlabel('Frequency (rad/s)')
ylabel('H (dB)')
```

ผลลัพธ์ที่ได้คือ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

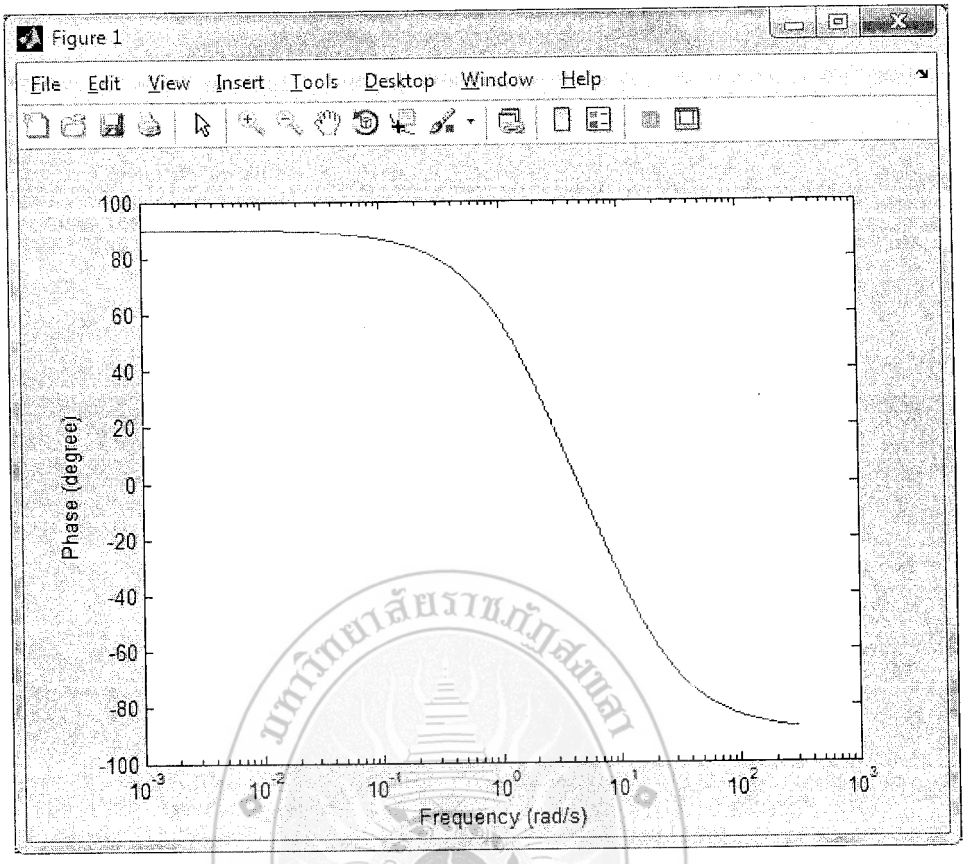



การลงจุดโบดด้วยคำสั่งของ MATLAB สำหรับ “เฟส” ใช้คำสั่งดังต่อไปนี้

```
w = 0:1e-3:300;
phase = 90-(180/pi)*(atan(w/2)+atan(w/10));
semilogx(w,phase);hold on
xlabel('Frequency (rad/s)')
ylabel('Phase (degree)')
```

ผลลัพธ์ที่ได้คือ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY



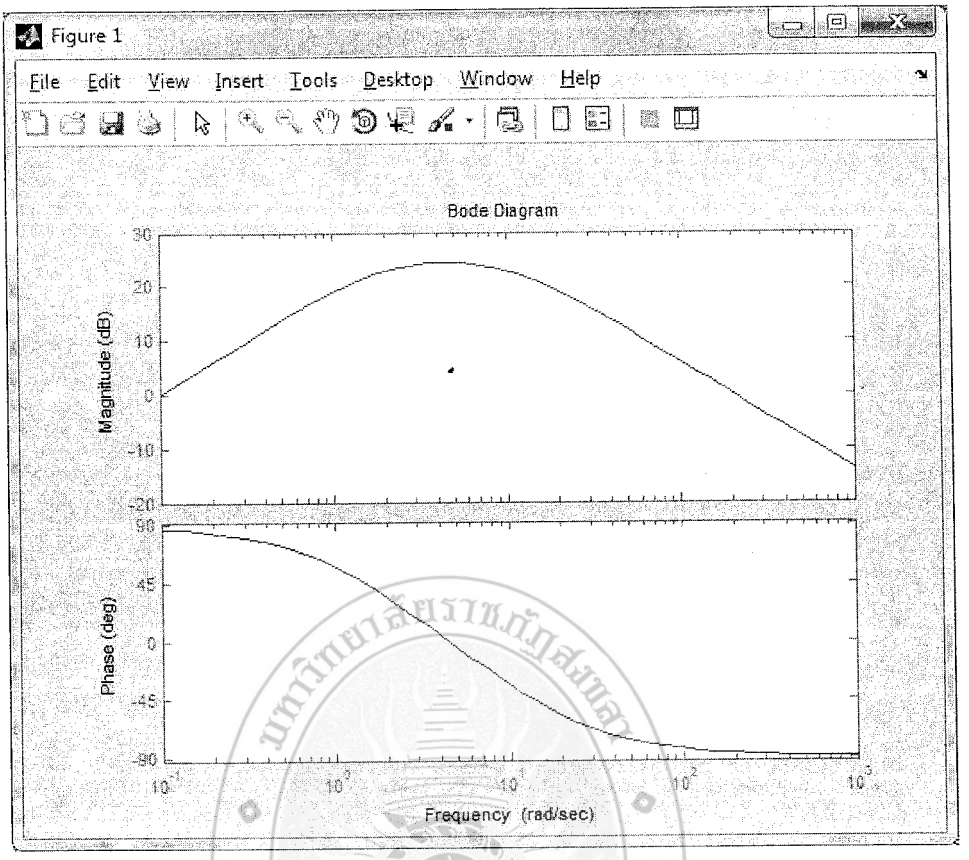

การลงจุดโบดด้วยคำสั่งของ MATLAB สำหรับฟังก์ชันถ่ายโอน

$$\mathbf{H}(s)=\mathbf{H}(\omega)\big|_{j\omega=s}=\frac{200j\omega}{(j\omega+2)(j\omega+10)}\bigg|_{j\omega=s}=\frac{200s}{s^2+12s+20}$$

ใช้คำสั่ง

```
H = tf([200 0],[1 12 20]);
bode(H)
```

ผลลัพธ์ที่ได้คือ




วิธีการทดสอบผลตอบสนองเชิงเวลา (Transient Respond Analysis) การออกแบบระบบควบคุมจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบผลตอบสนอง (Response) ของระบบต่อสัญญาณป้อนเข้าเพื่อทดสอบคุณสมบัติของระบบและผลตอบสนอง โดยป้อนสัญญาณที่รู้รูปร่างแน่นอนเพื่อใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงให้กับระบบแล้วจึงพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบในโดเมนเวลา (Time Domain) เพื่อหาผลตอบสนองของระบบ (Transient Response) ความคลาดเคลื่อนในสภาวะคงที่ (Stedy - state error) และ เสถียรภาพของระบบ (Stability)

## 2.2 การพัฒนาโปรแกรม

ขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรม [6] มี 5 ขั้นตอน สามารถอธิบายในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การวิเคราะห์ปัญหา ในงานวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำไปแก้ปัญหาความยุ่งยากและลดต้นทุนในการจัดซื้อโปรแกรมมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบควบคุมพื้นฐานในงานวิศวกรรมไฟฟ้า โดยที่ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถเลือกวิเคราะห์ระบบควบคุมได้ตั้งแต่ระบบ

ควบคุมอันดับหนึ่ง ระบบควบคุมอันดับสอง การวิเคราะห์ฟังก์ชันถ่ายโอน การวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบควบคุมด้วยวิธีการต่างๆ การป้อนอินพุตจะเป็นการป้อนจากแป้นพิมพ์เป็นตัวเลข และใช้การเลือกข้อความผ่านเข้าไปประมวลผลตามสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละระบบควบคุม ซึ่งผลลัพธ์จะแสดงในรูปของตัวเลข และเส้นกราฟ 2 มิติ

2) การออกแบบโปรแกรม จะใช้ผังงานอธิบายลำดับขั้นตอนการทำงาน โดยเริ่มต้นการทำงานด้วยการเข้าสู่หน้าต่างโปรแกรมหลัก กำหนดชนิดของระบบควบคุม กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ

3) การเขียนโปรแกรม โดยทำการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface) หรือ GUI ในส่วนของการรับค่าทางอินพุตและการแสดงผลทางเอาต์พุต ในส่วนของการประมวลผลจะเขียนอัลกอริทึมโดยใช้เอ็มไฟล์ของโปรแกรม MATLAB® 2012a จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.1-2.3

4) การทดสอบและแก้ไขโปรแกรม เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณเปรียบเทียบกับทฤษฎี แล้วตรวจสอบดูผลลัพธ์หลังจากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขโปรแกรม

5) การจัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งาน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ คู่มือสำหรับผู้ใช้โปรแกรม (User's Manual) และคู่มือสำหรับผู้เขียนโปรแกรม (Programmer's Manual) จัดทำไฟล์เป็นนามสกุล .pdf และทำการเชื่อมต่อไว้ที่ปุ่ม การใช้งาน ของโปรแกรม

## 2.3 โปรแกรม MATLAB

MATLAB [7], [8], [9] เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง เพื่อใช้ในการคำนวณทางเทคนิค MATLAB ได้รวมการคำนวณ การเขียนโปรแกรมและการแสดงผลรวมกันอยู่ในตัวโปรแกรมเดียวได้อย่างมีประสิทธิภาพและอยู่ในลักษณะที่ง่ายต่อการใช้งาน นอกจากนี้ลักษณะของการเขียนสมการในโปรแกรมก็จะเหมือนการเขียนสมการคณิตศาสตร์งานที่ทั่วไปที่ใช้ MATLAB เช่น การคำนวณทั่วไปการสร้างแบบจำลองและการทดสอบแบบจำลอง การวิเคราะห์ข้อมูล การแสดงผลในรูปกราฟโดยทั่วไปและกราฟทางด้านทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม สามารถสร้างโปรแกรมในลักษณะที่ติดต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิกส์การทำงานของ MATLAB จะสามารถทำงานได้ทั้งในลักษณะของการติดต่อโดยตรง (Interactive) คือการเขียนคำสั่งเข้าไปทีละคำสั่ง เพื่อให้ MATLAB ประมวลผล หรือสามารถที่จะรวบรวมชุดคำสั่งเป็นโปรแกรมก็ได้ข้อสำคัญอย่างหนึ่งของ MATLAB ก็คือข้อมูลทุกตัวจะถูกเก็บในลักษณะของ array คือในแต่ละตัวแปรจะได้รับการแบ่งเป็นส่วนย่อยเล็กๆขึ้น ซึ่งการใช้ตัวแปรเป็น array ใน MATLAB ไม่จำเป็นที่จะต้องจอง

dimension เหมือนกับการเขียนโปรแกรมในภาษาขั้นต่ำทั่วไป ซึ่งทำให้สามารถที่จะแก้ปัญหาของตัวแปรที่อยู่ในลักษณะของ matrix และ vector ได้โดยง่าย

สำหรับในปัจจุบันนี้ MATLAB ได้ถูกเขียนขึ้นโดยใช้ภาษา C โดยบริษัท MathWorks ภายใต้โครงการ LAPACK และ ARPACK ถ้าหากเราจะเริ่มนับจากโปรแกรมที่ออกเผยแพร่เป็นครั้งแรกที่มีผู้ร่วมเขียนโปรแกรมไม่กี่คน จนกระทั่งทุกวันนี้มีทีมงานขนาดใหญ่ที่ทำงานในการพัฒนาโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งทำให้ทุกวันนี้ MATLAB เป็นโปรแกรมที่สุดยอดในการคำนวณที่คำนวณด้าน matrix สำหรับงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมโปรแกรมหนึ่งแสดงโปรแกรม

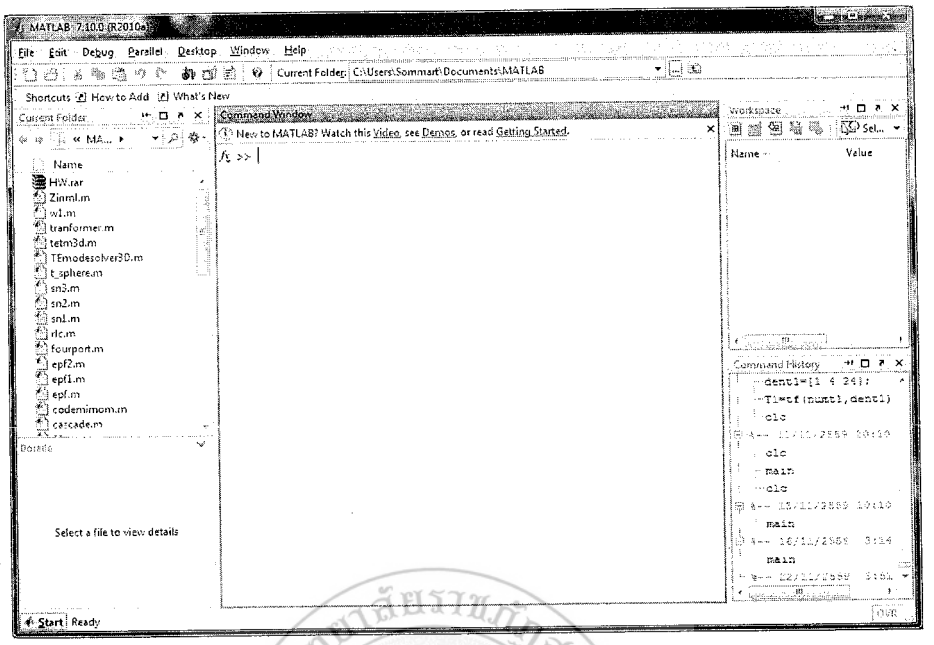
### 2.3.1 ประโยชน์ของ MATLAB

การพัฒนาโปรแกรมด้วย MATLAB มีความง่ายและเร็วกว่าภาษาอื่นๆ เพราะมีไลบรารีจำนวนมากรองรับและด้วยลักษณะการทำงานเชิงเมทริกซ์ทำให้เราสามารถจัดการกับอาร์เรย์ได้อย่างง่ายดาย โค๊ดโปรแกรมสั้นกะทัดรัด เหมาะกับการสร้าง ละทดลองระเบียบวิธีใหม่ๆ รองรับการทำงานกับกราฟิกรวมถึง GUI ทำให้สะดวกในการป้อนค่าและแสดงผล นอกจากนั้นยังติดต่อกับฮาร์ดแวร์ และโปรแกรมภาษาอื่นๆได้ โดยเราสามารถแบ่งประโยชน์ของ MATLAB ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. MATLAB เป็นเป็นโปรแกรมคำนวณ ที่รองรับเชิงตัวเลข (Numeric) เราสามารถใช้เป็นเครื่องคำนวณธรรมดา หรือใช้งานฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงได้ เชิงสัญลักษณ์ (Symbolic) เราสามารถคำนวณในเชิงตัวแปรได้ เช่น การอินทิเกรต หรือการแก้สามการต่างๆ แบบติดตัวแปร

2. MATLAB สามารถเขียนเป็นโปรแกรมได้

สามารถเขียนได้ทั้งแบบ Script ซึ่งทำงานในลักษณะชุดคำสั่งต่อเนื่อง หรือเขียนเป็น Function เพื่อใช้งานก็ได้ สามารถใช้งานได้ทั้งแบบ interprets หรือ Compile โปรแกรม MATLAB ออกมาได้หลายชนิดทั้งแบบ Standalone หรือ Library เช่น.exe หรือ .dll เป็นต้น มี GUI รองรับ โดยสามารถเขียนได้ทั้งแบบใช้ GUIDE (คล้าย Visual Basic) หรือแบบไม่ใช้ก็ได้ รองรับการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุทั้งคลาสของ MATLAB เอง หรือคลาสของภาษาอื่น เช่น Java หรือ .NET สามารถ Debug โปรแกรมได้ และในส่วนการติดต่อกับภาษาอื่นๆ สามารถ Compile ไปเพื่อ ทำการ Debug ในโปรแกรมอื่น เช่น Visual Studio ได้ด้วยแสดงดังรูปที่ 2-3




**รูปที่ 2-3** หน้าต่างโปรแกรม MATLAB

3. MATLAB สามารถติดต่อ หรือใช้งานร่วมกับโปรแกรม ภาษา ฮาร์ดแวร์ หรือแฟ้มข้อมูลรูปแบบต่างๆได้ สามารถเชื่อมต่อกับภาษา หรือโปรแกรมอื่นๆ ได้ เช่น Java, C/C++, .NET, MS Excel โดย เราอาจให้โปรแกรมหลักเขียนโดย MATLAB แล้วเรียกใช้งานภาษาอื่น หรือให้ภาษาอื่นเป็นโปรแกรมหลักแล้วเรียกใช้งาน MATLAB ก็ได้ สามารถอ่านหรือเขียนแฟ้มข้อมูลสื่อสารแบบมาตรฐานได้ เช่น ข้อความ รูปภาพ เสียง วิดีโอ เป็นต้น

### 2.3.2 การติดตั้งโปรแกรม MATLAB

ก่อนที่เราจะติดตั้ง MATLAB เราต้องเลือกรุ่นที่ตรงตามความต้องการของเราก่อน โดยอันดับแรกคือ ระบบปฏิบัติการ ซึ่ง MATLAB นั้นรองรับทั้ง Unix, Linux, MasOS, และ MS Windows

สำหรับระบบปฏิบัติการ Unix หรือ Linux เราสามารถใช้งานแบบ Command Line ผ่าน Console ปกติ หรือใช้งาน GUI ผ่าน X-window ก็ได้

หลังจากเลือกระบบปฏิบัติการแล้ว ให้เรามาเลือกว่าต้องการใช้ MATLAB แบบ 32 บิต หรือ 64 บิต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฮาร์ดแวร์ของเราด้วย

### 2.3.3 ความแตกต่างระหว่างรุ่น x86 กับ x64

ใน MATLABR2009b นอกจากนี้จะมีให้เลือกใช้บนระบบปฏิบัติการหลากหลายแล้ว MATLAB ยังมีให้เราเลือกใช้อีก 2 รุ่น ได้แก่ รุ่น X86 กับ X64

สำหรับ รุ่น X86 หรือแบบ 32 บิต สามารถติดตั้งได้ทั้งระบบปฏิบัติการแบบ 32 และ 64 บิต ส่วนรุ่น X64 ซึ่งต้องติดตั้งบนระบบปฏิบัติการแบบ 64 บิต เท่านั้น

สำหรับความแตกต่างระหว่างระบบสองแบบนี้ จากประสบการณ์ของผู้เขียนพบว่า สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนมีทั้งหมด 3 เรื่อง ได้แก่

1. เวลาในการประมาณผล ซึ่งจากการทดสอบของผู้เขียนพบว่า รุ่น X86 ทำงานได้เร็วกว่ารุ่น X64 เป็นส่วนใหญ่

2. หน่วยความจำที่สามารถใช้งานได้ รุ่น X64 สามารถใช้งานหน่วยความจำได้มากกว่า X86 อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งดูเหมือนจะเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้เราต้องใช้ รุ่น X64 สำหรับงานที่ใช้หน่วยความจำในการประมวลผลมาก ๆ เช่น งานด้านที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลสื่อผสม เป็นต้น

3. จำนวน Toolbox หรือ Block set ที่แตกต่างกัน โดยสำหรับ R2009b รุ่น X86 จะมี Toolbox หรือ Block set ครบแต่ในรุ่น X64 จะมีน้อยกว่าถึง 14 Toolbox

### 2.3.4 GUI ของโปรแกรม MATLAB

ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User interface, GUI) เป็นส่วนประกอบของโปรแกรมที่อยู่ ระหว่างส่วนโปรแกรมหลักกับผู้ใช้ ช่วยเพิ่มความสมบรูณ์ และความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งานมากขึ้นวัตถุประเภท GUI ใน MATLAB ถือเป็นวัตถุชนิดหนึ่งภายใต้หน้าต่าง Figure ซึ่งสามารถเขียนได้ 2 รูปแบบคือ

**รูปแบบที่ 1** ใช้เครื่องมือช่วยในการเขียนใน MATLAB graphical User Interface Development Environment (GUIDE)

**รูปแบบที่ 2** ใช้ชุดคำสั่ง หรือฟังก์ชันในการสร้าง โดยไม่ใช้ GUIDE

ซึ่งในแบบแรกนั้นจะเขียนได้ง่ายกว่าและมีลักษณะคล้ายการเขียนโปรแกรมภาษาอื่นๆ เช่น Visual Basic เป็นต้น แต่แบบที่สองจะมีความอิสระ และยืดหยุ่นได้มากกว่าการสร้าง GUI ด้วย GUIDE MATLAB Graphical User Interface Development Environment (GUIDE) เป็นสภาพแวดล้อมที่จัดเตรียมเครื่องมือที่จำเป็นในการสร้าง GUI โดยเราสามารถเรียกหน้าต่าง GUIDE ขึ้นมาได้ 3 วิธีคือ

วิธีที่ 1 : จากปุ่ม GUIDE ในแถบเมนูหลักของหน้าต่าง MATLAB

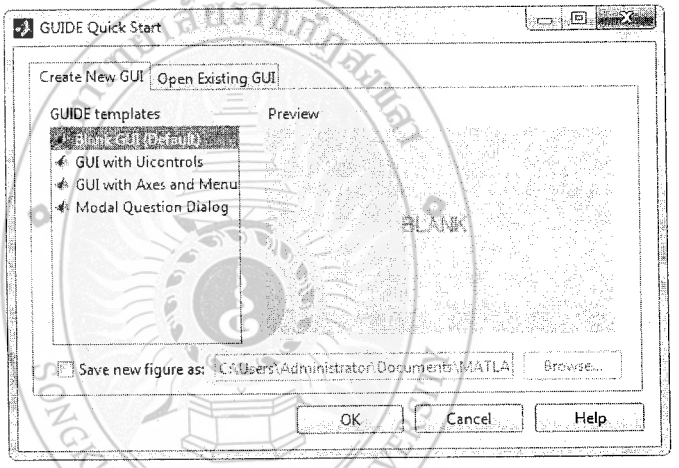
วิธีที่ 2 : จากภายในปุ่มเริ่ม (Star >MATLAB>GUI)

วิธีที่ 3 : จากคำสั่ง guide ที่ Command Window

### 2.3.5 การเรียกใช้งาน GUI

การเรียกใช้งาน GUI จะทำได้ทั้ง 3 วิธีที่กล่าวมาข้างต้น ในหัวข้อนี้จะเรียกใช้งาน GUI โดยใช้วิธีที่ 3 ดังนี้

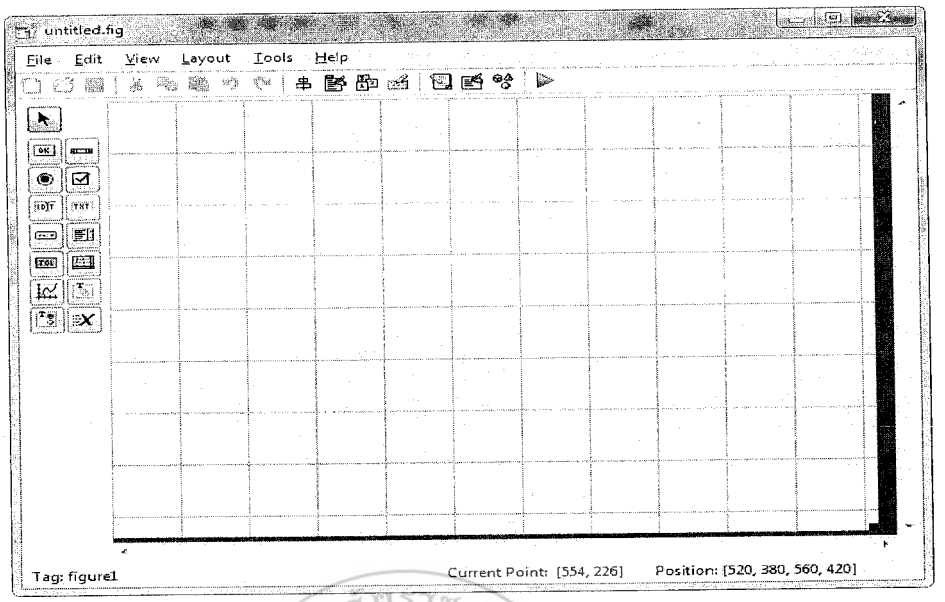
1) เมื่อพิมพ์คำสั่ง guide ที่ Command Window หน้าต่าง GUIDE จะปรากฏขึ้นมา แสดงดังรูปที่ 2-4




**รูปที่ 2-4** หน้าต่าง GUIDE

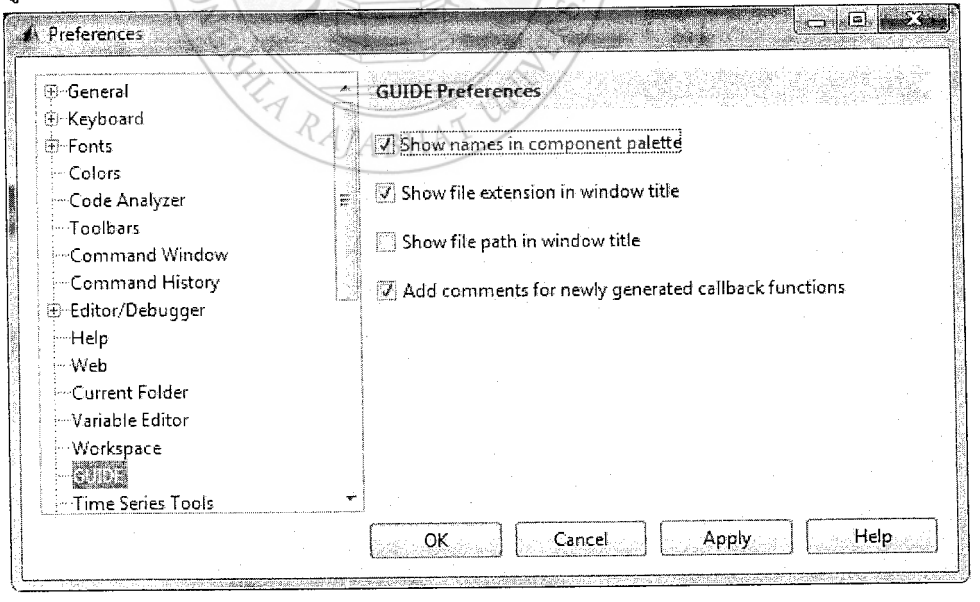
2) ในหน้าต่าง GUIDE Quick Start เป็นหน้าต่างสำหรับเลือกสร้าง GUI ใหม่ หรือเปิด GUI เดิมที่เคย สร้างไว้แล้วในที่นี้เราจะสร้าง GUI แบบว่างเปล่า โดยให้เลือก Blank GUI (Default) อย่าง

3) ในภาพแล้วคลิกปุ่ม OK จะปรากฏหน้าต่างใหม่พร้อมเครื่องมือในการสร้าง GUIแสดงดังรูปที่ 2-5

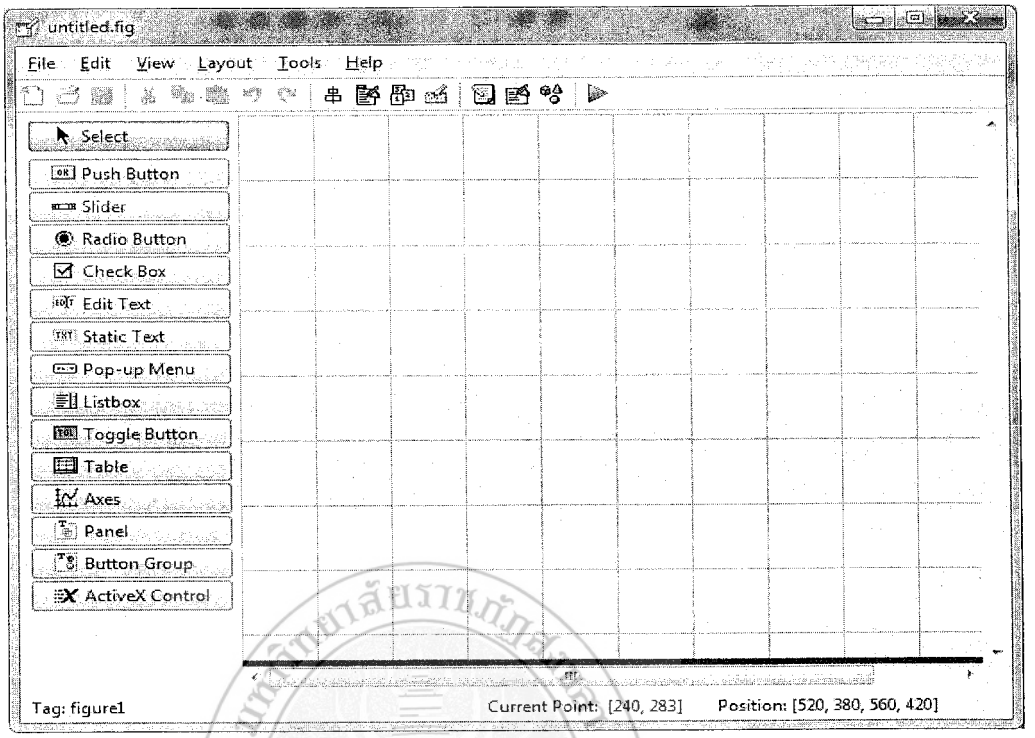



**รูปที่ 2-5** หน้าต่างสำหรับเลือกสร้าง GUI ใหม่

จากหน้าต่างในรูปที่ 2-5 ให้คลิกเลือก File > Preferences จะปรากฏหน้าต่าง Preferences แสดงดังรูปที่ 2-6 และทำการคลิก ☐ ที่ Show names in component Palate แล้วคลิก OK จะทำให้วัตถุที่จะนำมาสร้างเป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานแสดงรายชื่อ แสดงดังรูปที่ 2-7




**รูปที่ 2-6** หน้าต่าง Preferences




**รูปที่ 2-7** หน้าต่างการสร้าง GUI ที่แสดงรายชื่อของวัตถุต่างๆ

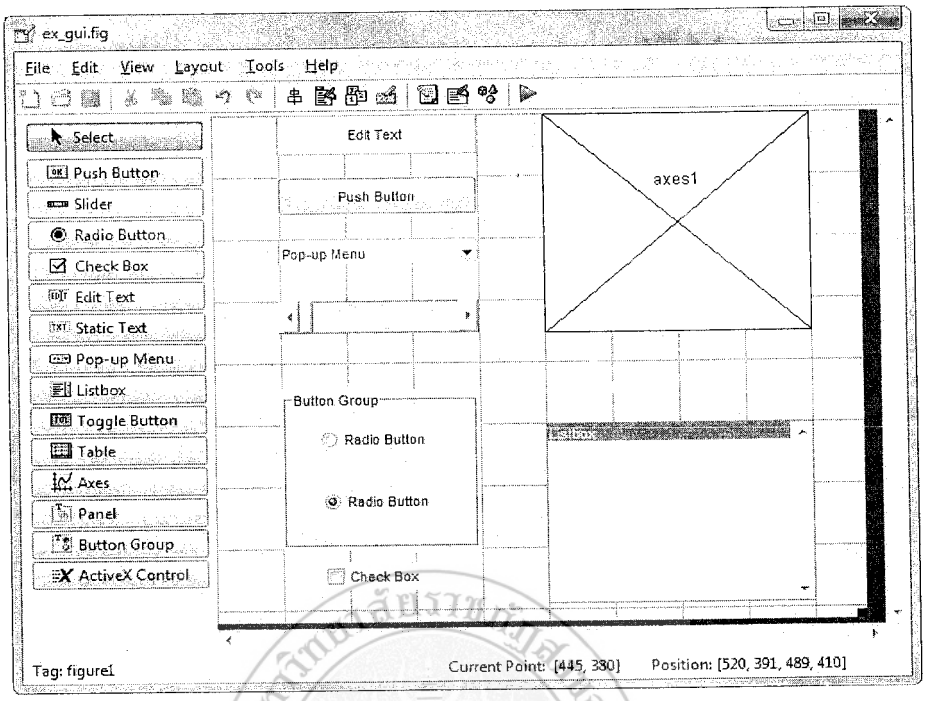
### 2.3.6 การสร้าง GUI

การสร้าง GUI ในหัวข้อนี้ จะทำการเลือกวัตถุในเมนูด้านซ้าย โดยให้สร้าง GUI ให้มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2-8

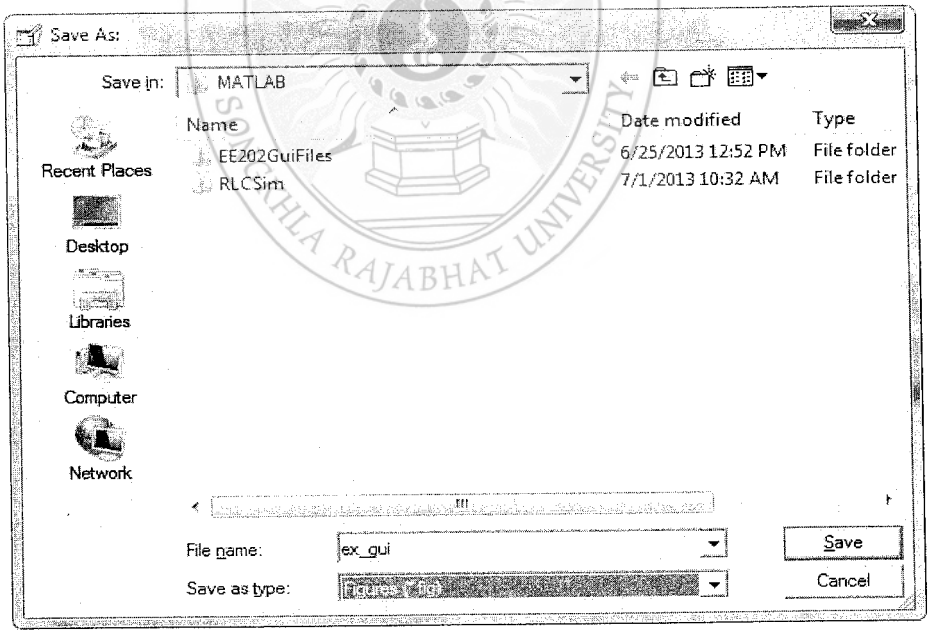
เมื่อเสร็จแล้วให้คลิกปุ่ม Save ที่เมนูบาร์จะปรากฏหน้าต่างสำหรับการบันทึกแสดงดังรูปที่ 9 พร้อมทั้งตั้งชื่อเป็น ex_gui

ในช่อง File Name ให้เราตั้งชื่อ ซึ่งชื่อนี้มีความสำคัญคือ

1) เป็นชื่อหน้าต่าง Figure ของโปรแกรม
2) เป็นชื่อฟังก์ชันที่ใช้ในการเรียกเพื่อเปิดใช้งาน GUI ที่ได้สร้างขึ้น

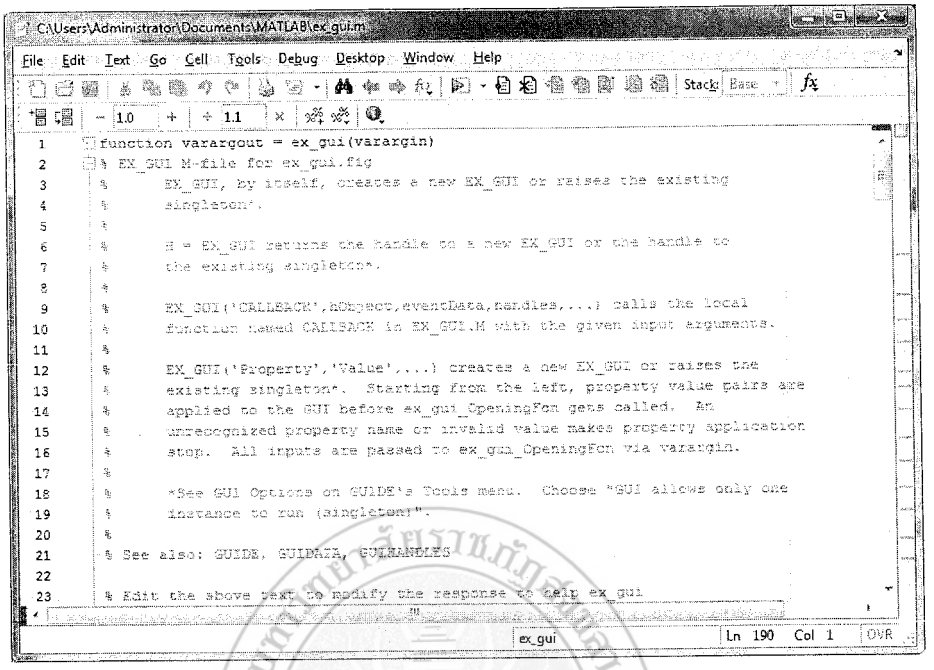



**รูปที่ 2-8** หน้าต่าง GUIDE เลือกวัตถุในเมนู



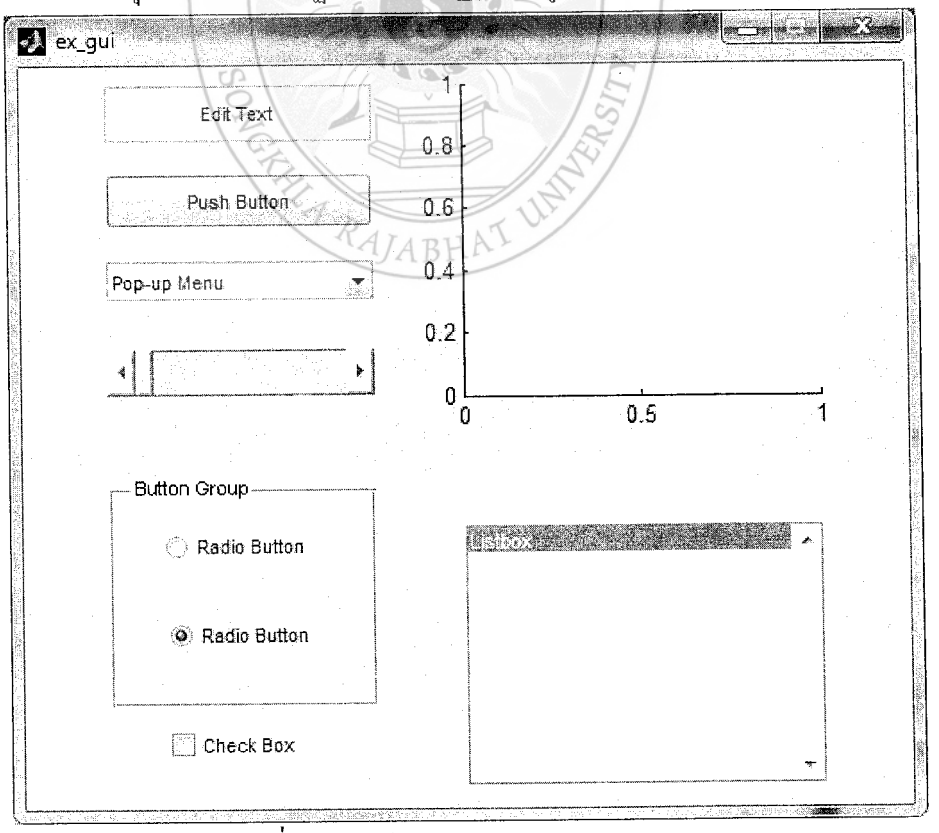

**รูปที่ 2-9** หน้าต่างการบันทึกของ GUI

ในที่นี้ใช้ชื่อ ex_gui แล้วคลิกปุ่ม save เพื่อทำการบันทึก เราจะพบแฟ้มข้อมูลนามสกุล .fig และ.m จำนวน 2 แฟ้มข้อมูลมูล แล้วจะปรากฏหน้าต่างไฟล์ ex_gui.m แสดงดังรูปที่ 2-10




**รูปที่ 2-10** หน้าต่างไฟล์ ex_gui.m

และเมื่อกดปุ่ม จะปรากฏหน้าต่าง ex_gui ดังรูปที่ 2-11 ซึ่งมีนามสกุล .fig




**รูปที่ 2-11** หน้าต่าง ex_gui มีนามสกุล .fig

"ในหัวข้อต่อไปจะใช้ GUI ที่สร้างขึ้นนี้ในการเขียนโปรแกรม"

### 2.3.7 หลักการเขียนโปรแกรมด้วย GUIDE

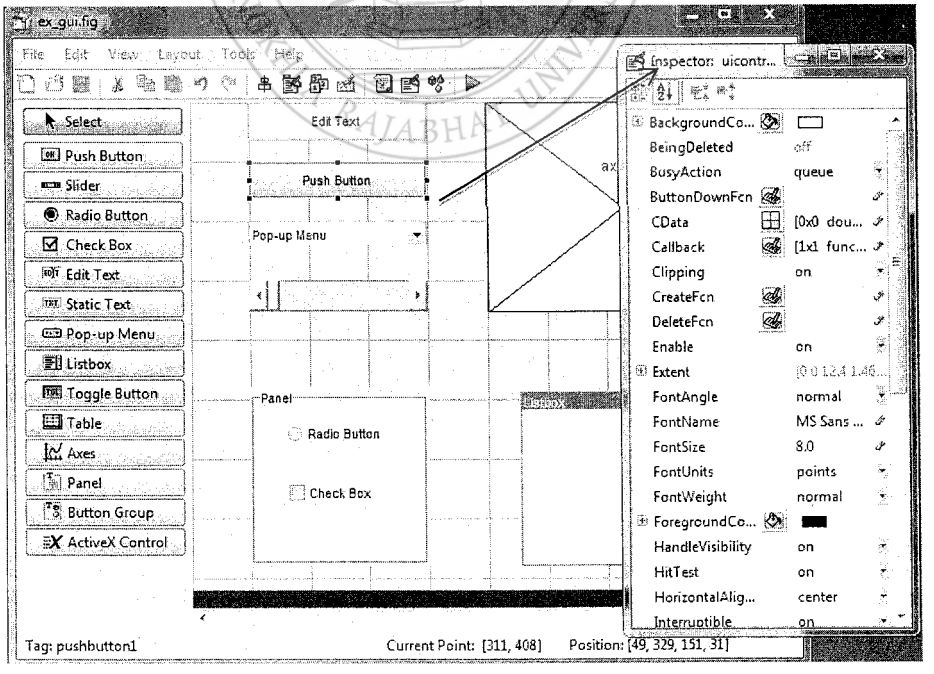
การเขียน GUI ใน MATLAB มีหลักการสำคัญอยู่ที่ตัวแปร **handles** เพื่อใช้เป็นตัวอ้างอิงหรือชี้ไปที่วัตถุแต่ละวัตถุ ค่าคุณสมบัติ ( Property ) ต่างๆ ของแต่ละวัตถุ และฟังก์ชันเรียกกลับ ( Callback Function ) ซึ่งมีหลักการเดียวกับการแก้ไขหน้าต่าง figure

**ตัวแปร handle** เป็นตัวแปรที่ใช้เก็บเลขจำนวนหนึ่งที่ใช้เป็นตัวอ้างอิงถึงวัตถุแต่ละวัตถุ คล้ายกับ Binder ในภาษา C โดยหากเราสร้าง GUI ด้วย GUIDE ตัวแปร handle จะถูกสร้างให้เองสำหรับทุกๆ วัตถุที่สร้างขึ้น และบรรจุไว้ในตัวแปรชื่อ handles แล้วใช้ Tag ในการเรียกใช้ handles.Tag

จากตัวอย่างข้างบนสามารถอ้างอิงแกนได้โดย handles .axes 1 เป็นต้น

1. การเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติของวัตถุ

การเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติในขณะที่เราสร้าง GUI ทำได้โดยการดับเบิลคลิกที่วัตถุแต่ละชิ้น เช่น ดับเบิลคลิกที่ Push Button จะพบหน้าต่าง Inspector ซึ่งเราสามารถแก้ไขค่าในหน้าต่างนี้ได้เลยแสดงดังรูปที่ 2-12




**รูปที่ 2-12** การเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติของวัตถุ

สำหรับกรณีที่เราต้องการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติในขณะที่โปรแกรมกำลังใช้งานอยู่นั้น ทำได้คือ เรียกดูค่าและกำหนดค่าคุณสมบัติได้ฟังก์ชั่น get และ set ตามลำดับ ซึ่ง Handles จะถูกส่งมาให้วัตถุเรียกกลับทุกฟังก์ชันภายในโปรแกรมเองอยู่แล้วในกรณีใช้ GUIDE ในการสร้าง โดยวัตถุส่วนติดต่อผู้ใช้แต่ละแบบ (Style) จะมีคุณสมบัติที่สำคัญต่างๆ กันตัวอย่างเช่น static Text มีคุณสมบัติ ที่สำคัญคือ String เราสามารถเรียกดูได้โดย

**A = get (handles.text1, string);**

ตอนนี้สตริงที่ต้องการจะถูกเก็บไว้ในตัวแปร A แล้ว ถ้าต้องการเปลี่ยนค่าสามารทำได้เช่น

**Set (handles.text1, string, Hello world)**

ตอนนี้ Static Text ที่ถูกชี้ด้วย handles.text1 จะมีข้อความเปลี่ยนเป็น Hello world แทน นอกจากนี้วิธีข้างบน การเปลี่ยนแปลงค่าสมบัติของวัตถุส่วนติดต่อผู้ใช้สามารถทำได้ง่ายขึ้นโดยผ่านฟังชัน guided ดังนี้

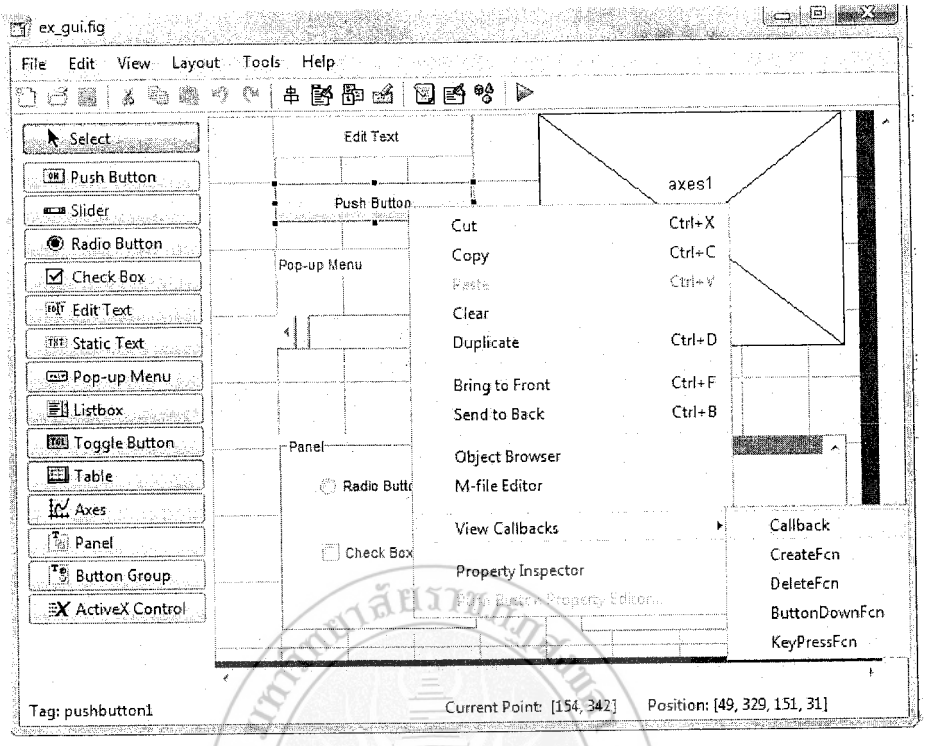
**guidata (hobject, handles);**

ตัวแปร hobject หมายถึง handle ของวัตถุที่เป็นตัวเรียกใช้ฟังก์ชันเรียกกลับนั้นๆ และจะถูกส่งมาให้ในฟังก์ชันเรียกกลับภายในโปรแกรมที่สร้างด้วย GUIDE เองอยู่แล้ว

2. ฟังก์ชันเรียกกลับ (Callback function)

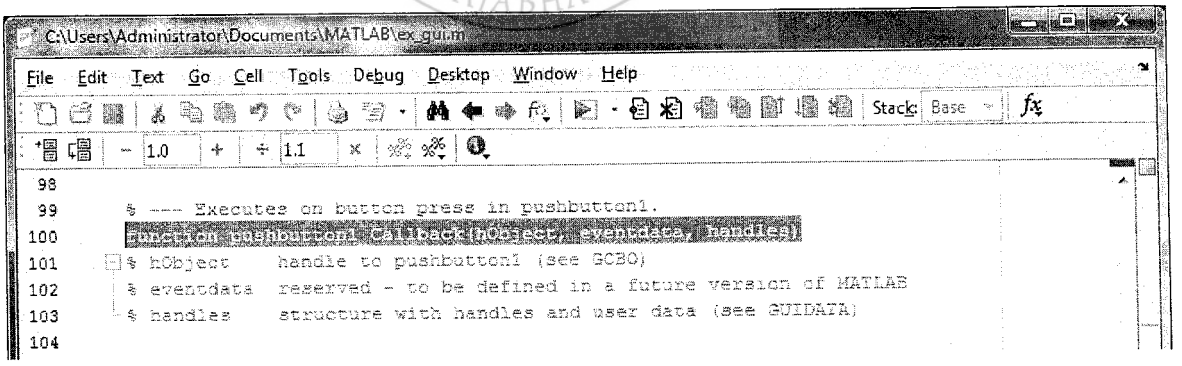
ฟังก์ชันเรียกกลับเป็นฟังก์ชันที่ถูกเรียกใช้งาน เพื่อตอบสนองเหตุการณ์ เช่น การกดปุ่ม การลากเมาส์ผ่าน การคลิก เป็นต้น

การสร้างฟังก์ชันเรียกกลับมาด้วย GUIDE โดยคลิกขวาบนวัตถุที่ต้องการ แล้วเลือก View Callbacks ในฟังก์ชันที่เราต้องการ เช่น การสร้างฟังก์ชันเรียกกลับของปุ่ม Push Button ให้คลิกขวาที่บริเวณ Push Buttonเลือก View Callbacks แสดงดังรูปที่ 2-13



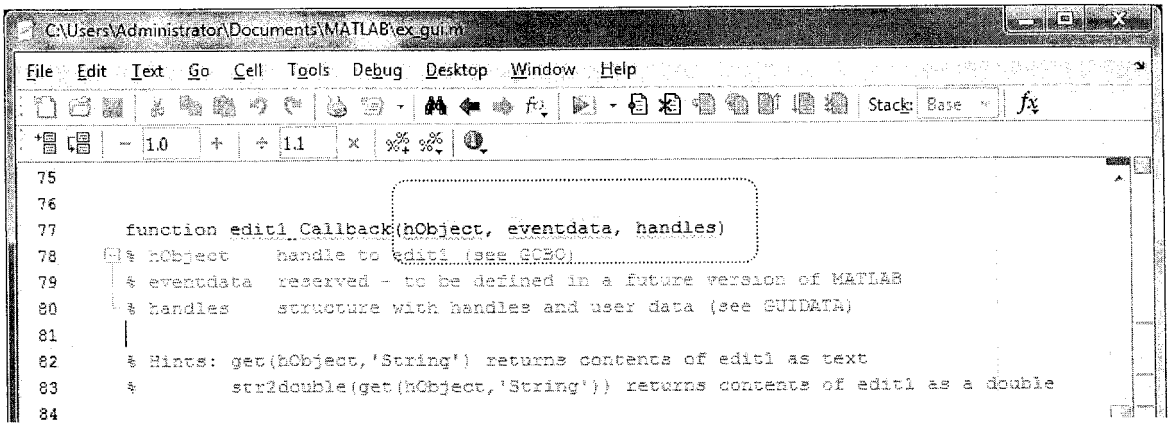

**รูปที่ 2-13** การสร้างฟังก์ชันเรียกกลับมาด้วย GUIDE

จากรูปที่ 2-13 จะพบเมนูย่อยซึ่งเป็นรายการของฟังก์ชันเรียกกลับทั้งหมดของปุ่ม Push Button ในที่นี้ทดลองเลือกฟังก์ชันเรียกกลับชื่อ Callback โปรแกรมจะสร้างโค้ดของฟังก์ชันนี้ขึ้นให้เราโดยอัตโนมัติใน ex_gui.m แสดงดังรูปที่ 2-14




**รูปที่ 2-14** เมนูย่อยซึ่งเป็นรายการของฟังก์ชันเรียกกลับทั้งหมดของปุ่ม Push Button

โดยฟังก์ชันเรียกกลับเหล่านี้จะถูกสร้างขึ้นในลักษณะเดียวกัน ดังรูปที่ 2-15




**รูปที่ 2-15** เมนูย่อยซึ่งเป็นรายการของฟังก์ชันเรียกกลับทั้งหมดของ Edit Text

โดยตัวแปรทั้ง 3 มีรายละเอียดดังนี้

1) **hobiect** เห็นตัวแปร handle หรือตัวชี้จองวัตถุที่เราใช้เป็นตัวเรียกฟังก์ชันเรียกกลับนี้ โดยในที่นี้ทีค่าเดียวกับ handles.pushbutton1 นั้นเอง
2) **Event data** ตัวแปรนี้จะถูกใช้ในบางฟังก์ชันเรียกกลับบางฟังก์ชันเท่านั้น เพื่อเก็บข้อมูลบางอย่างเช่น แป้นพิมพ์ที่ถูกกด หรือตัวเลือกที่ถูกเลือก เป็นต้น
3) **Handles** เป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดในโปรแกรม GUI ซึ่งใช้ในการเก็บ handles ของวัตถุต่างๆ รวมกันทั้งหมด

### 2.3.8 การเขียน GUI ด้วย GUIDE

การเขียน GUI ด้วย GUIDE ที่จะนำเสนอนี้ มีเป้าหมายเพื่อศึกษาการทำงานของวัตถุส่วนติดต่อผู้ใช้ทั้งหมดที่กล่าวมาในข้อก่อน โดยเราจะสร้างให้แต่ละวัตถุมีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน โดยในตัวอย่างนี้เราจะใช้งาน GUI ชื่อ ex_gui ที่ได้สร้างเตรียมไว้แล้วในหัวข้อก่อนดังนี้

1. การใช้ Push Button และ Axes

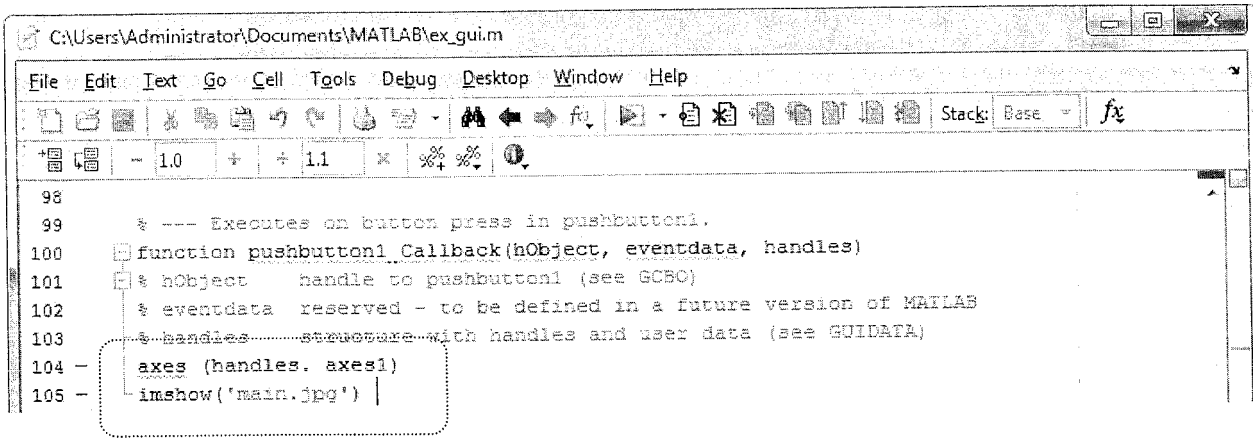
ตัวอย่างนี้เป็นการเขียนโปรแกรมเมื่อกดปุ่ม (pushbutton 1) แล้วจะปรากฏภาพขึ้นในแกน (axea 1) ดังนั้นวัตถุที่ใช้ในการเรียกฟังก์ชันเรียกกลับคือ pushbutton 1

1) ให้เราสร้างฟังก์ชันเรียกกลับด้วยการคลิกขวาที่ Push Button ที่มี Tag เป็น pushbutton 1 ในGUIDE แล้วเลือก View Callbacks> Callback แสดงดังรูปที่ 2-16

2) แก้ไขโปรแกรม ดังนี้

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา






**รูปที่ 2-16** เขียนโปรแกรมเพื่อการเรียกกลับในปุ่ม Push Button

main เป็นข้อมูลภาพ (main.jpg) ที่มีอยู่แล้วใน MATLAB

axes (handles. axes1)

ฟังก์ชัน axes นี้ไว้ใช้เลือกแกนที่ต้องการทำงานต่อไปในกรณีที่ GUI ของเรามีหลายแกน ซึ่งในกรณีนี้เรามีเพียงแกนเดียว คำสั่งนี้จึงไม่จำเป็น และสามารถลบออกได้

3) สั่งรันหรือ ปุ่ม <F5>แล้วทดลองคลิกปุ่ม Push Button จะปรากฏภาพวงจรในแกน axes1 แสดงดังรูปที่ 2-17

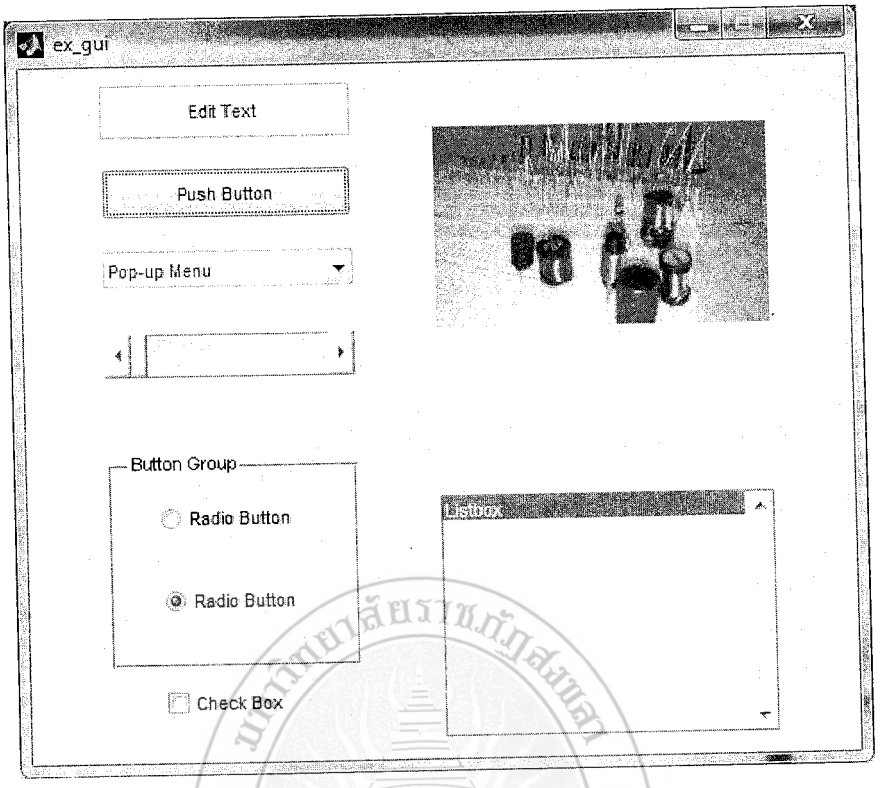
2. การใช้ Radio Button และ Button Group

ตัวอย่างนี้เป็นการเขียนโปรแกรมเมื่อเลือกตัวเลือกใด แล้วจะมีกล่องข้อความของตัวเลือกนั้นปรากฏขึ้นมา ดังนั้น วัตถุที่ใช้ในการเรียกฟังชันเรียกกลับคือ Button Group (uipanel 1 ) ที่ใช้บรรจุ Radio Button (radio button 1 และ radio button 2 ) ทั้ง 2 ตัวเลือก

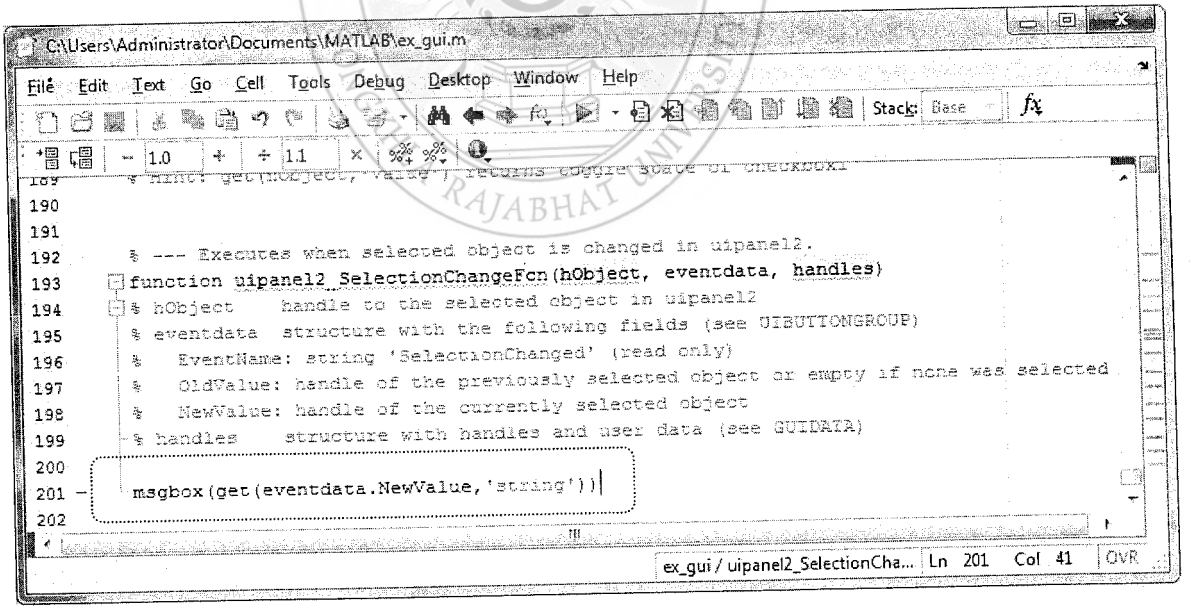
1) ให้เราสร้างฟังก์ชันเรียกกลับด้วยการคลิกขวาที่ Button Group ที่มี Tag เป็น uipanel 1 ใน GUIDE แล้วเลือก View Callback > แบบเดียวกับในหัวข้อที่แล้ว

2) แก้ไขโปรแกรมดังรูปที่ 2-18

ว
QC5.135
ส161ก




**รูปที่ 2-17** การเขียน GUI ด้วยPush Button และ Axes

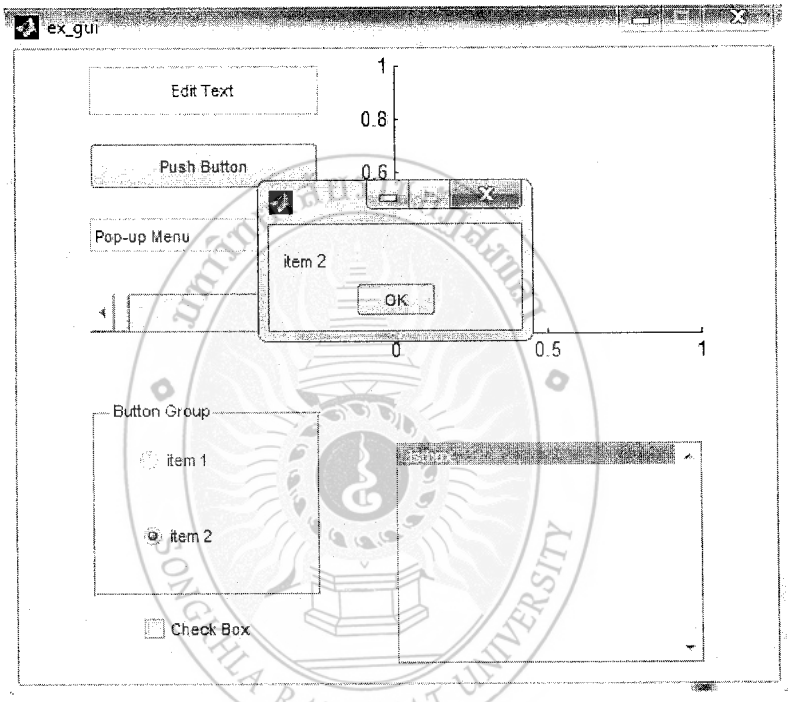



**รูปที่ 2-18** เขียนโปรแกรมเพื่อการเรียกกลับใน Button Group

ฟังก์ชั่นเรียกกลับนี้ใช้ตัวแปร eventdata ในการเก็บตัวแปร handle ของ Radio Button ที่ถูกเลือกในฟิลด์ NewValue และตัวแปร handle ของ Radio Button ที่เคยถูกเลือกก่อนหน้าในฟิลด์ Old Value

3) แก้ไขคุณสมบัติ String ของ radio button 1 และ radio button 2 ในหน้าต่าง inspector เป็น item1 และ item 2 ตามลำดับ

4) ทดลองเลือก item 2 จะพบกล่องข้อความที่แสดงตัวเลือกที่เราไว้ปรากฏขึ้นมา แสดงดังรูปที่ 2-19

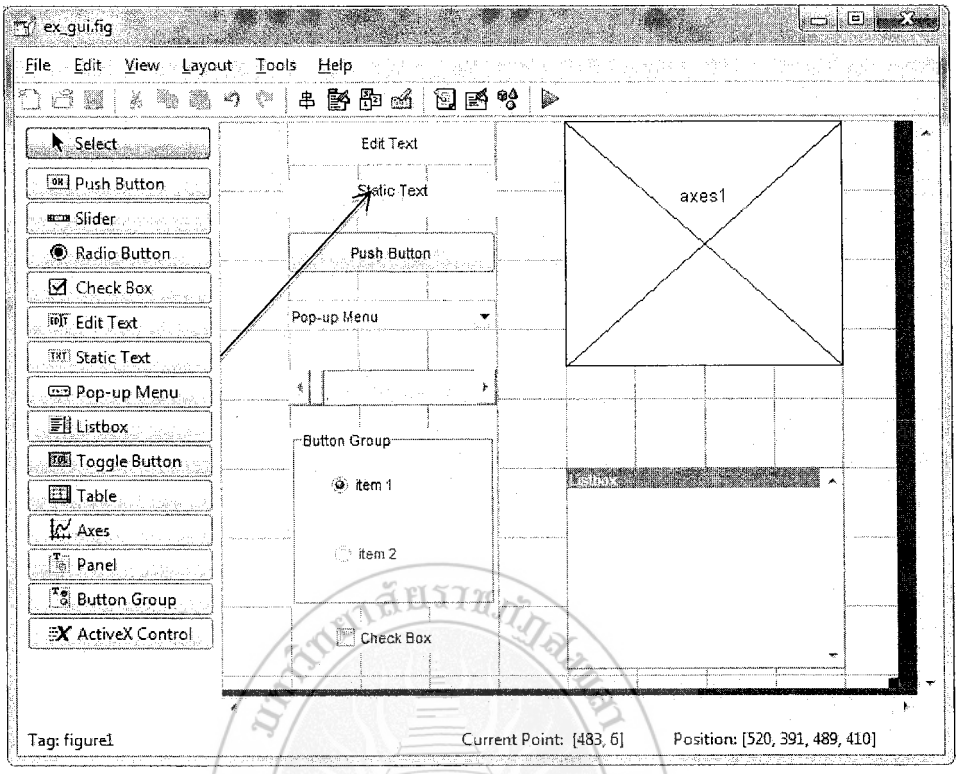



**รูปที่ 2-19** การเขียน GUI ด้วย Radio Button และ Button Group

3. การใช้ Edit Text และ Static Text

ตัวอย่างนี้เป็นการเขียนโปรแกรมเมื่อพิมพ์ข้อความใดใน Edit Text แล้วกดปุ่ม <Enter> ปรากฏข้อความนั้นขึ้นใน Static Text ดังนั้น วัตถุที่ใช้ในการเรียกฟังก์ชันเรียกกลับคือ Edit Text (edit1)

1) ให้เพิ่มวัตถุ Static Text ในหน้าต่าง GUI ดังรูปที่ 2-20

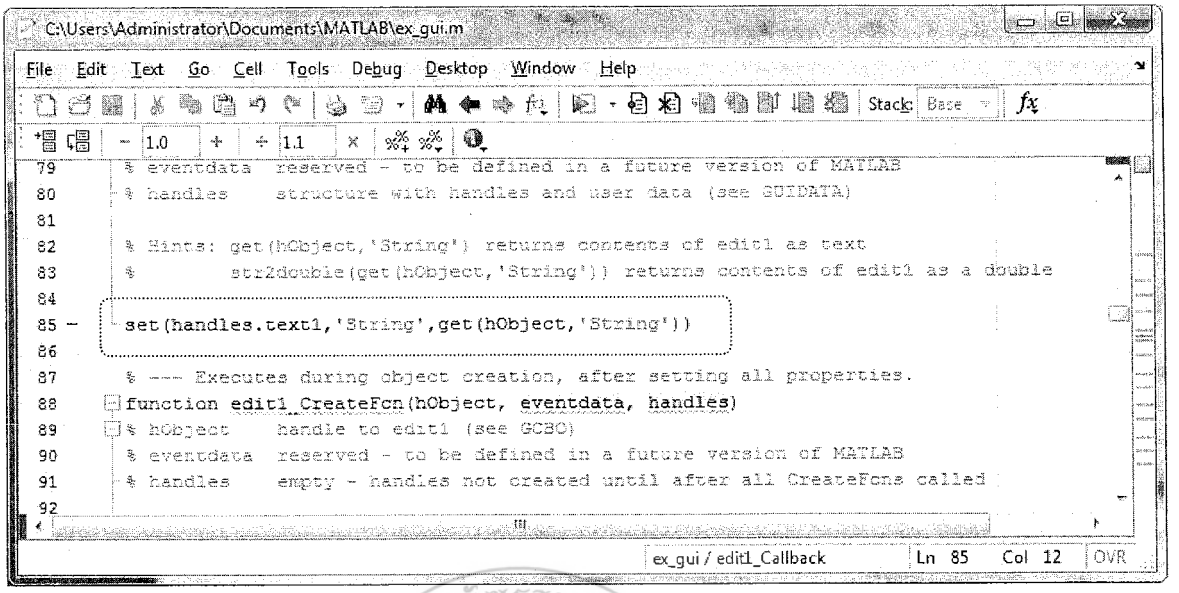



**รูปที่ 2-20** การเพิ่ม Static Text ในหน้าต่าง GUI

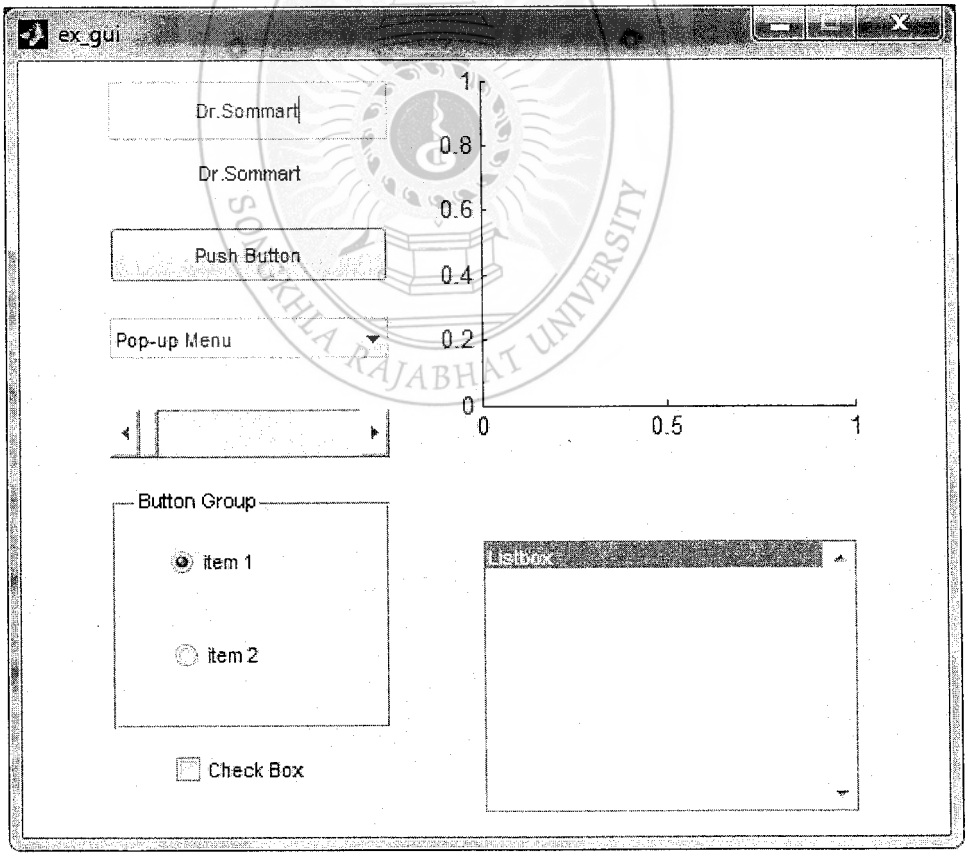
2) ให้สร้างฟังก์ชันเรียกกลับด้วยการคลิกขวาที่ Edit Text ที่มี Tag เป็น edit 1 ใน GUIDE เลือก View Callback > Callback แบบเดียวกับในหัวข้อที่แล้ว

3) แก้ไขโปรแกรม ดังรูปที่ 2-21

4) สั่งรัน หรือกดปุ่ม <f5>แล้วทดลองพิมพ์ข้อความในช่อง Edit text แล้วกดปุ่ม <Enter> จะปรากฏข้อความใน Static Text รูปที่ 2-22




**รูปที่ 2-21** เขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการเรียกกลับในวัตถุ Edit Text



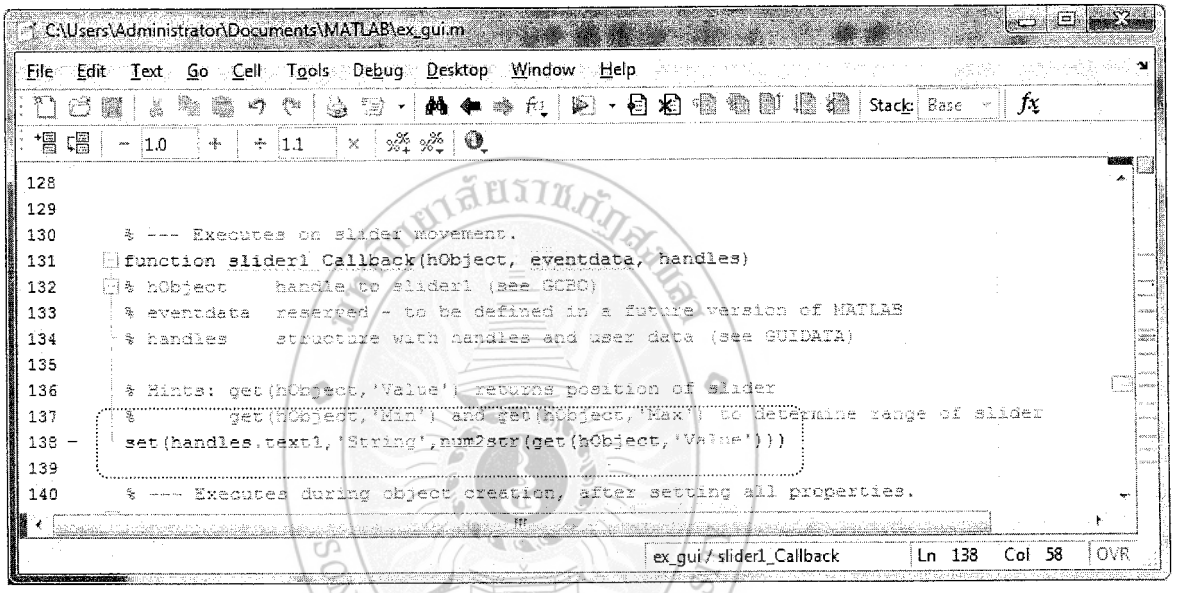

**รูปที่ 2-22** Edit Text และ Static Text

4. การใช้ Slider bar และ static Text

ตัวอย่างนี้เป็นการเขียนโปรแกรมเมื่อเลื่อน slif=der Bar แล้วจะปรากฏตัวเลขสเกลที่เลือกขึ้นใน Static Text ดังนั้น วัตถุที่ใช้ในการเรียกฟังก์ชันเรียกกลับคือ Slider Bar (Slider 1)

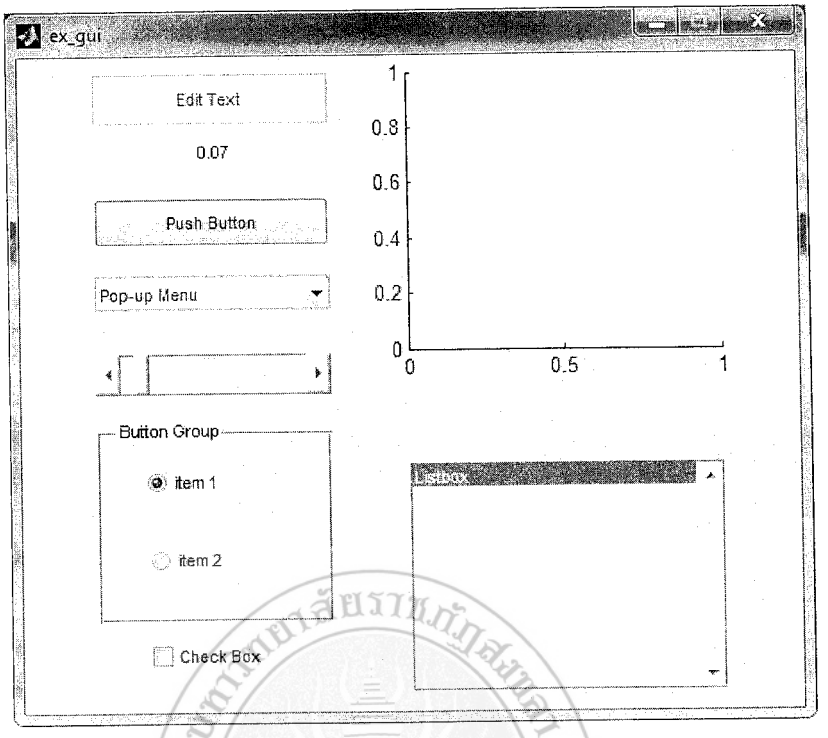
1) ให้สร้างฟังก์ชันกรียกกลับด้วยการคลิกขวาที่ Slider Bar ที่มี Tag เป็น Slider 1 ใน GUIDE แล้วเลือก view Callbacks> Callback แบบเดียวกับในหัวข้อที่แล้ว

2) แก้ไขโปรแกรม ดังรูปที่ 2-23




**รูปที่ 2-23** เขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการเรียกกลับในวัตถุ Slider Bar

3) สั่งรัน หรือ กด <F5>แล้วทดลองเลื่อน Slider Bar จะปรากฏข้อความใน Static Text เป็นตัวเลขตั้งแต่ค่า 0 ถึง 1 ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งของ Slider Bar แสดงดังรูปที่ 2-24




**รูปที่ 2-24** Slider bar และ static Text

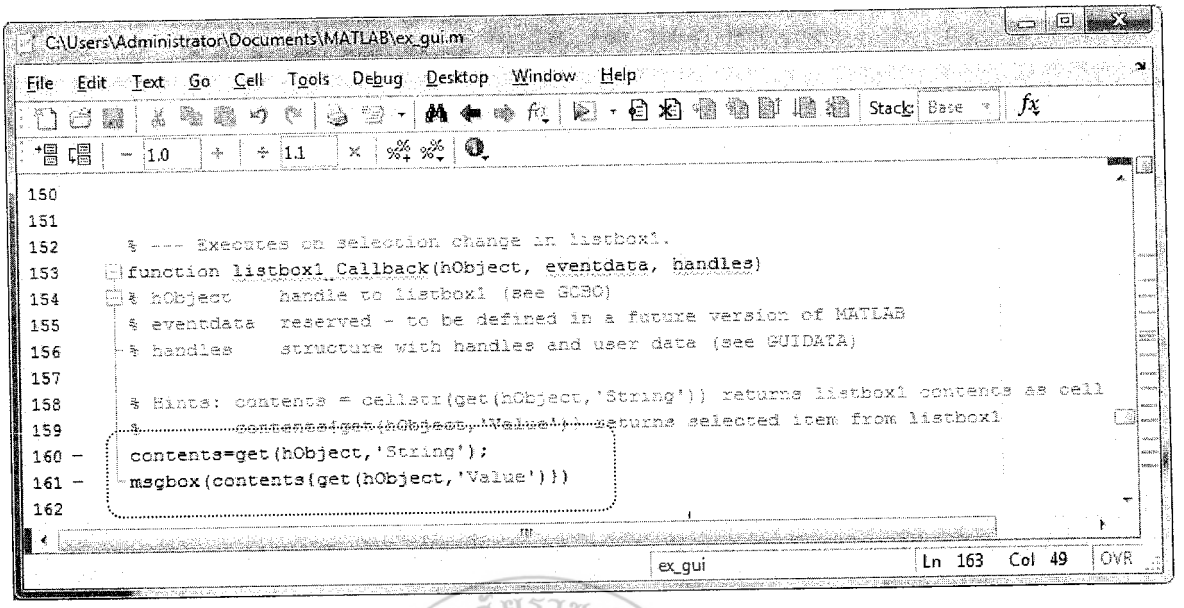
5. การใช้ List Box และ Pop-up Menu

ตัวอย่างนี้เขียนโปรแกรมเมื่อเลือกตัวเลือกภายใน list Box หรือ pop-up Menu แล้วจะมีกล่องข้อความของตัวเลือกนั้นปรากฏขึ้นมา

ดังนั้น วัตถุที่ใช้ในการเรียกฟังก์ชันเรียกกลับคือ list Box (listbox1) diหรือ pop-up Menu ( popup menu) ซึ่งลักษณะการใช้งาน และการเขียนโปรแกรมของทั้ง List Box และ pop-up Menu มีลักษณะคล้ายกัน

1) สร้างฟังก์ชันเรียกกลับด้วยการคลิกขวาที่ List Box และ ที่มี tag เป็น list box 1 ใน GUIDE แล้วเลือก View Callbacks >Callback แบบเดียวกับในหัวข้อที่แล้ว

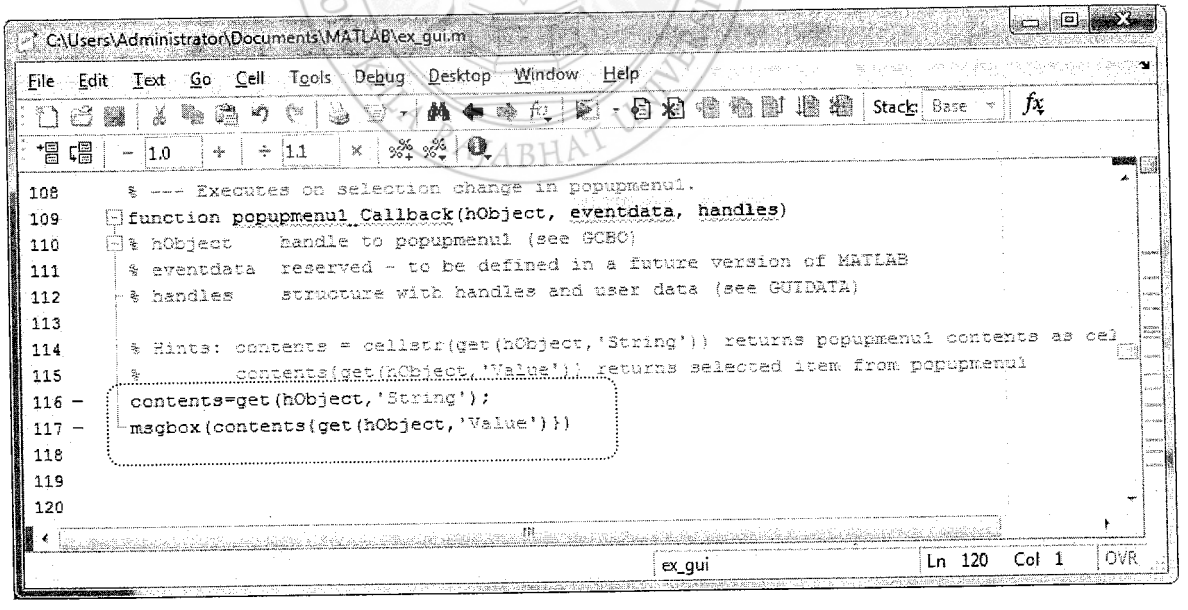
2) จากนั้นแก้ไขโปรแกรมดังรูปที่ 2-25




**รูปที่ 2-25** เขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการเรียกกลับในวัตถุ List Box

3) ให้ทำแบบเดียวกันสำหรับ Pop –up Menu ที่มี Tag เป็น popup menu 1 คือ เมนู GUIDE เลือก view Callback >Callback แบบเดียวกับในหัวข้อที่แล้ว

4) แก้ไขโปรแกรมดังรูปที่ 2-26




**รูปที่ 2-26** เขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการเรียกกลับในวัตถุ Pop –up Menu

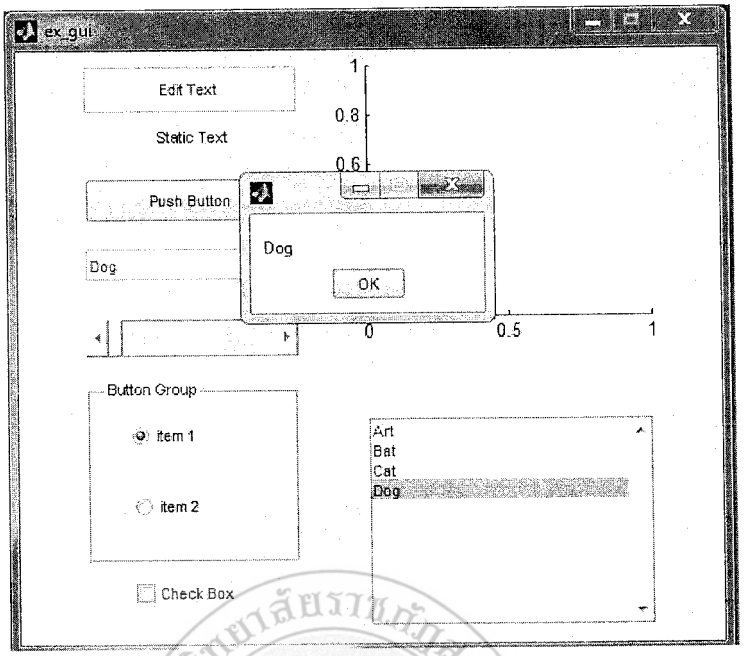
5) เพิ่มเติมเลือกทั้งใน list Box และ pop-up Menu โดยการดับเบิลคลิกที่วัตถุนั้นในหน้าต่าง GUIDE จะปรากฏหน้าต่าง inspector ให้ไปแก้ที่คุณสมบัติ String โดยการคลิกปุ่มหลังชื่อคุณสมบัติแสดงดังรูปที่ 2-27

**รูปที่ 2-27** แสดงการแก้ไขคุณสมบัติ String

6) จะปรากฏหน้าต่าง String ขึ้นมาเพื่อแก้ไขตัวเลือก ให้เราแก้ไขโดยป้อนข้อความแต่ละตัวเลือกซึ่งจะคั่นด้วยการขึ้นบรรทัดใหม่ แล้วคลิกปุ่ม OK แสดงดังรูปที่ 2-28

**รูปที่ 2-28** หน้าต่าง String สำหรับแก้ไขคุณสมบัติของ List Box

7) ทำเช่นนี้กับ Pop –up Menu ด้วย จากนั้นทดลองรันโปรแกรมจากปุ่มรันในหน้าต่าง GUIDE แล้วทดลองเลือกตัวเลือกใน List Box หรือ Pop-up menu จะได้ผลแสดงดังรูปที่ 2-29



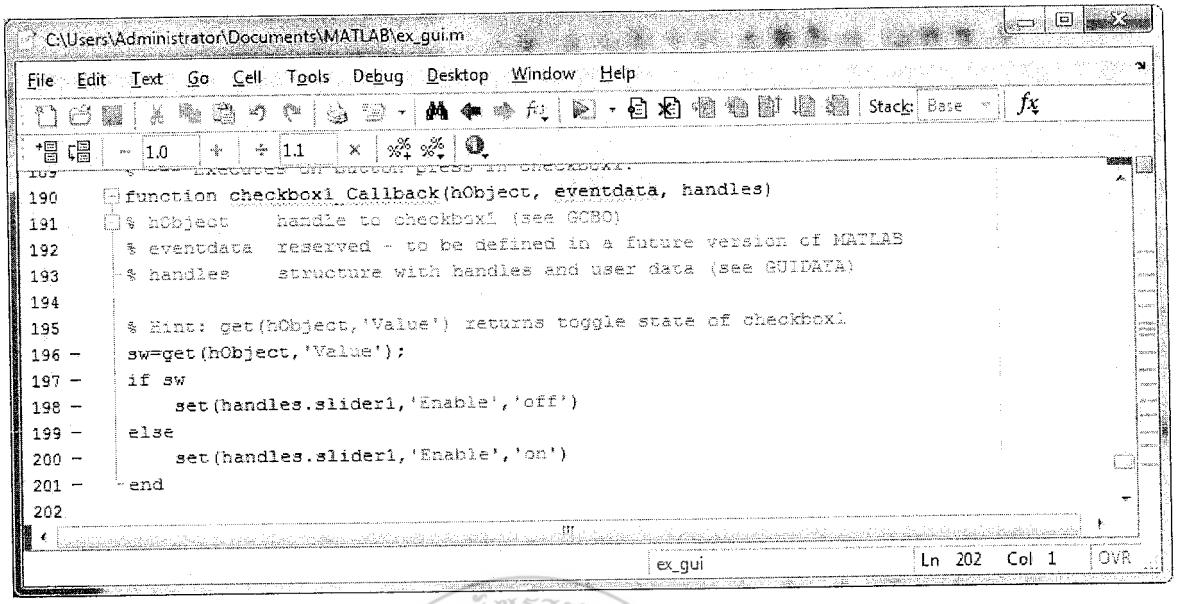

**รูปที่ 2-29** List Box กับ Pop –up Menu

6. การใช้ Check Box และ Slider Bar

ตัวอย่างนี้เป็นการเขียนโปรแกรมเมื่อคลิกที่ Check Box จะเป็นการเปิดหรือปิดการทำงนของ Slider Bar ดังนั้น วัตถุที่ใช้ในการเรียกฟังก์ชันเรียกกลับคือ ที่ Check Box (check Box1)

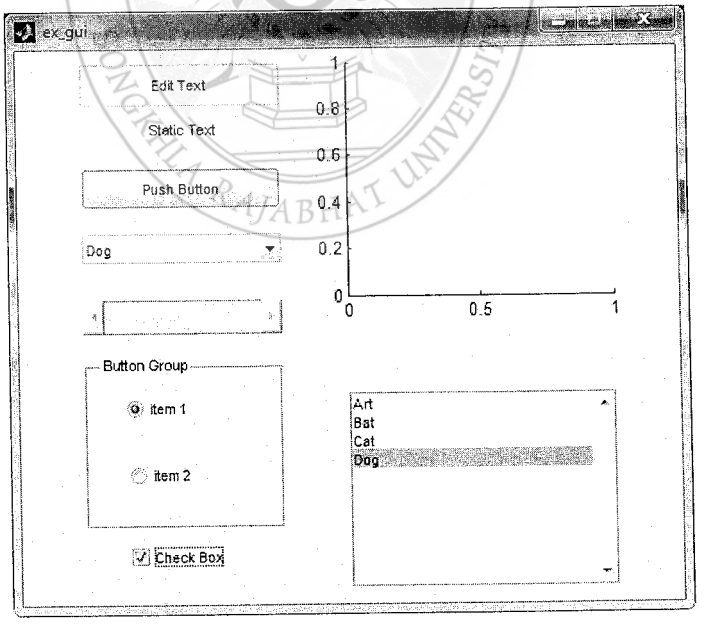
1) ให้สร้างฟังก์ชันเรียกกลับด้วยการคลิกขวาที่ Check Box ที่มี Tag เป็น check Box 1 ใน GUIDE แล้วเลือก View Callbacks> Callbacks>แบบเดียวกับหัวข้อที่แล้ว

2) แก้ไขโปรแกรม ดังรูปที่ 2-30




**รูปที่ 2-30** เขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการเรียกกลับในวัตถุ Check Box

3) สั่งรัน หรือกดปุ่ม <F5> แล้วคลิกที่ Check Box จะพบว่า Slider Bar จะถูกทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ดังรูปที่ 2-31




**รูปที่ 2-31** การทดสอบการทำงานของ Check Box

### 2.3.9 การรับค่าจากแป้นพิมพ์ (Keyboard) และเมาส์ (Mouse)

1. การรับค่าจากแป้นพิมพ์

การรับค่าจากแป้นพิมพ์ สามารถแบ่งเป็นเหตุการณ์ตามฟังก์ชันเรียกกลับคือ

**KeyPress Fcn** ซึ่งจะถูกเรียกใช้เมื่อปุ่มบนแป้นพิมพ์ถูกกดลง และโฟกัสอยู่ที่หน้าต่าง Figure

**WindowKeyPressFcn** ซึ่งจะถูกเรียกใช้เมื่อปุ่มบนแป้นพิมพ์ถูกกดลง และโฟกัสอยู่ที่หน้าต่าง Figure หรือวัตถุใดๆ ในหน้าต่าง Figure

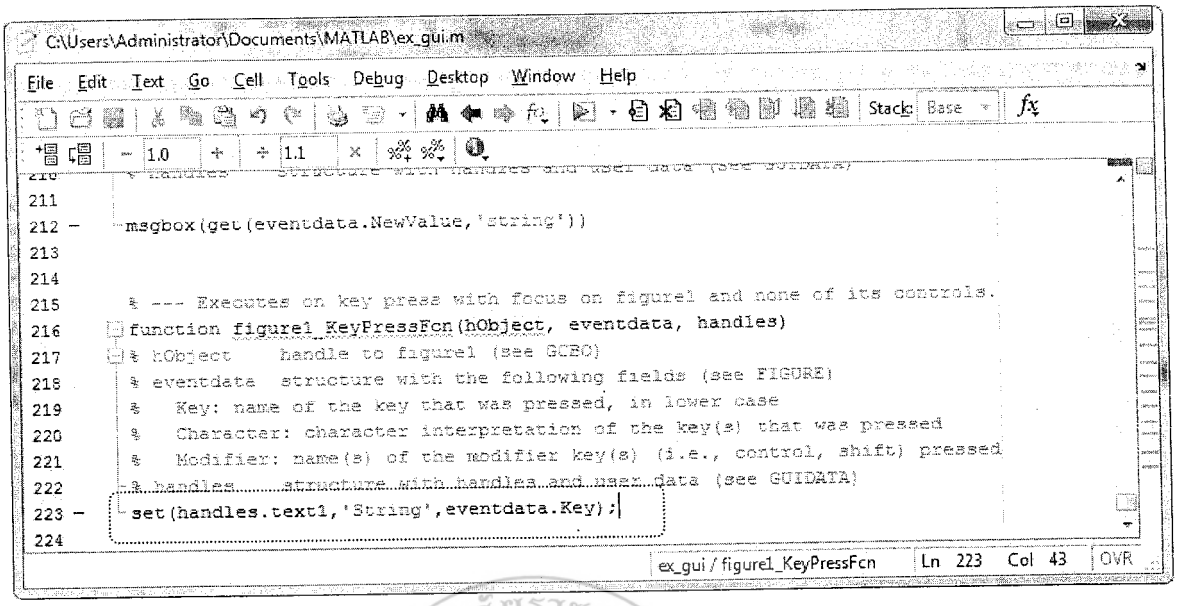
**KeyReleaseFcn** ซึ่งจะถูกเรียกใช้เมื่อปุ่มบนแป้นพิมพ์ถูกปล่อยขึ้น และโฟกัสอยู่ที่หน้าต่าง Figure หรือวัตถุใดๆ ในหน้าต่าง Figure

**WindowKeyReleaseFcn** ซึ่งจะถูกเรียกใช้เมื่อปุ่มบนแป้นพิมพ์ถูกปล่อยขึ้น และโฟกัสอยู่ที่หน้าต่าง Figure หรือวัตถุใดๆ ในหน้าต่าง Figure

สำหรับตัวอย่างต่อไปนี้ เป็นการเขียนโปรแกรมเมื่อกดปุ่มบนแป้นพิมพ์จะปรากฏชื่อของปุ่มบนแป้นพิมพ์นั้นในช่อง Static Text ดังนั้น วัตถุที่ใช้ในการเรียกฟังก์ชันเรียกกลับคือ Figure (figure 1)

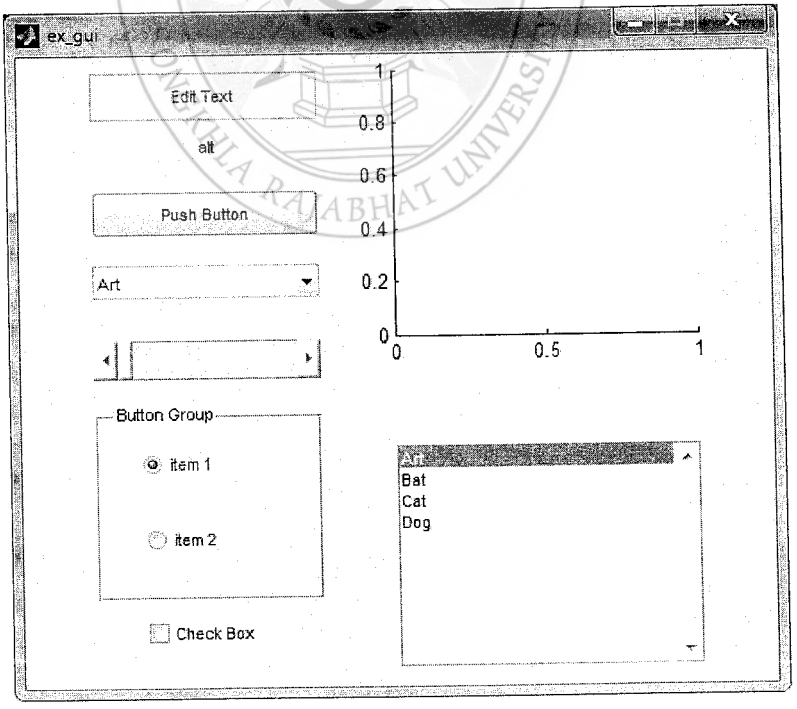
1) สร้างฟังก์ชันเรียกกลับด้วยการคลิกขวาที่ Figure (พื้นหลังที่ว่างๆ) ที่มี Tag เป็น figure 1 ใน GUIDE แล้วเลือก View Callbacks >Key Press Fcn แบบเดียวกับในหัวข้อที่แล้ว

2) แก้ไขโปรแกรม ดังรูปที่ 2-32




**รูปที่ 2-32** เขียนคำสั่งการใช้ KeyPress Fcn

3) สั่งรัน หรือกดปุ่ม <F5>แล้วทดลองกดปุ่มใดๆ บนแป้นพิมพ์ เช่น ปุ่ม Alt จะพบคำว่า alt (ชื่อแป้นพิมพ์เป็นตัวพิพม์เล็กทั้งหมด) ในช่อง Static Text แสดงดังรูปที่ 2-33




**รูปที่ 2-33** ผลการรับค่าจากคีย์บอร์ด Alt จะแสดงที่ Ststic Text เป็น alt

2. การรับค่าจากเมาส์ (Mouse)

การรับค่าจากเมาส์ สามารถแบ่งเป็นเหตุการณ์ตามฟังก์ชันเรียกกลับคือ

Window Button Down Fcn ซึ่งจะถูกเรียกใช้เมื่อปุ่มใดๆ บนเมาส์ถูกกดลง และโฟกัสอยู่ที่หน้าต่าง Figure หรือวัตถุใดๆ ในหน้าต่าง Figure

Window Button Down Fcn ซึ่งจะถูกเรียกใช้เมื่อปุ่มใดๆ บนเมาส์ถูกปล่อยขึ้น และโฟกัสอยู่ที่หน้าต่าง Figure หรือวัตถุใดๆ ในหน้าต่าง Figure

Window Button Down Fcn ซึ่งจะถูกเรียกใช้เมื่อตัวชี้เมาส์เคลื่อนที่ผ่านบนหน้าต่าง Figure หรือวัตถุใดๆในหน้าต่าง Figure

Window Button Down Fcn ซึ่งจะถูกเรียกใช้เมื่อลูกกลิ้งของเมาส์ถูกหมุน และโฟกัสอยู่หน้าต่าง Figure หรือวัตถุใดๆ ในหน้าต่าง Figure

ตัวอย่าง การเขียนโปรแกรมรับค่าจากเมาส์ : โดยคลิกเมาส์ปุ่มซ้าย ขวา หรือดับเบิลจะปรากฏข้อความบอกปุ่มที่ผู้ใช้กด และตำแหน่งที่กดปุ่มนั้นใน Edit Text ดังนั้น วัตถุที่ใช้ในการเรียกฟังก์ชันเรียกกลับคือ Figure (figure1)

1) ให้เราสร้างฟังก์ชันเรียกกลับด้วยการคลิกขวาที่ Figure (พื้นหลังที่ว่างๆ) ที่มี Tag เป็น Figure1 ใน GUIDE View Callbacks >WindowButtonDownFcn แบบเดียวกับในหัวข้อที่แล้ว

2) แก้ไขโปรแกรมดังรูปที่ 2-34

คุณสมบัติ CurrentPoint ของ Figure หมายถึง คู่อันดับพิกัด (x , y) ของตัวชี้เมาส์

คุณสมบัติ SelectionType ของFigure หมายถึง ปุ่มหรือวิธีการคลิก Normal หมายถึง คลิกซ้าย (กรณี Mouse แบบปกติ) Alt หมายถึง คลิกขวา (กรณี Mouse แบบปกติ)

Extend หมายถึง คลิกปุ่มกลาง และ Open หมายถึง ดับเบิลคลิกปุ่มใดก็ได้

เมื่อรัน หรือกดปุ่มเมาส์ เช่น คลิกปุ่มซ้ายแสดงดังรูปที่ 2-35

2. การรับค่าจากเมาส์ (Mouse)

การรับค่าจากเมาส์ สามารถแบ่งเป็นเหตุการณ์ตามฟังก์ชันเรียกกลับคือ

Window Button Down Fcn ซึ่งจะถูกเรียกใช้เมื่อปุ่มใดๆ บนเมาส์ถูกกดลง และโฟกัสอยู่ที่หน้าต่าง Figure หรือวัตถุใดๆ ในหน้าต่าง Figure

Window Button Down Fcn ซึ่งจะถูกเรียกใช้เมื่อปุ่มใดๆ บนเมาส์ถูกปล่อยขึ้น และโฟกัสอยู่ที่หน้าต่าง Figure หรือวัตถุใดๆ ในหน้าต่าง Figure

Window Button Down Fcn ซึ่งจะถูกเรียกใช้เมื่อตัวชี้เมาส์เคลื่อนที่ผ่านบนหน้าต่าง Figure หรือวัตถุใดๆในหน้าต่าง Figure

Window Button Down Fcn ซึ่งจะถูกเรียกใช้เมื่อลูกกลิ้งของเมาส์ถูกหมุน และโฟกัสอยู่หน้าต่าง Figure หรือวัตถุใดๆ ในหน้าต่าง Figure

ตัวอย่าง การเขียนโปรแกรมรับค่าจากเมาส์ : โดยคลิกเมาส์ปุ่มซ้าย ขวา หรือดับเบิลจะปรากฏข้อความบอกปุ่มที่ผู้ใช้กด และตำแหน่งที่กดปุ่มนั้นใน Edit Text ดังนั้น วัตถุที่ใช้ในการเรียกฟังก์ชันเรียกกลับคือ Figure (figure1)

1) ให้เราสร้างฟังก์ชันเรียกกลับด้วยการคลิกขวาที่ Figure (พื้นหลังที่ว่างๆ) ที่มี Tag เป็น Figure1 ใน GUIDE View Callbacks >WindowButtonDownFcn แบบเดียวกับในหัวข้อที่แล้ว

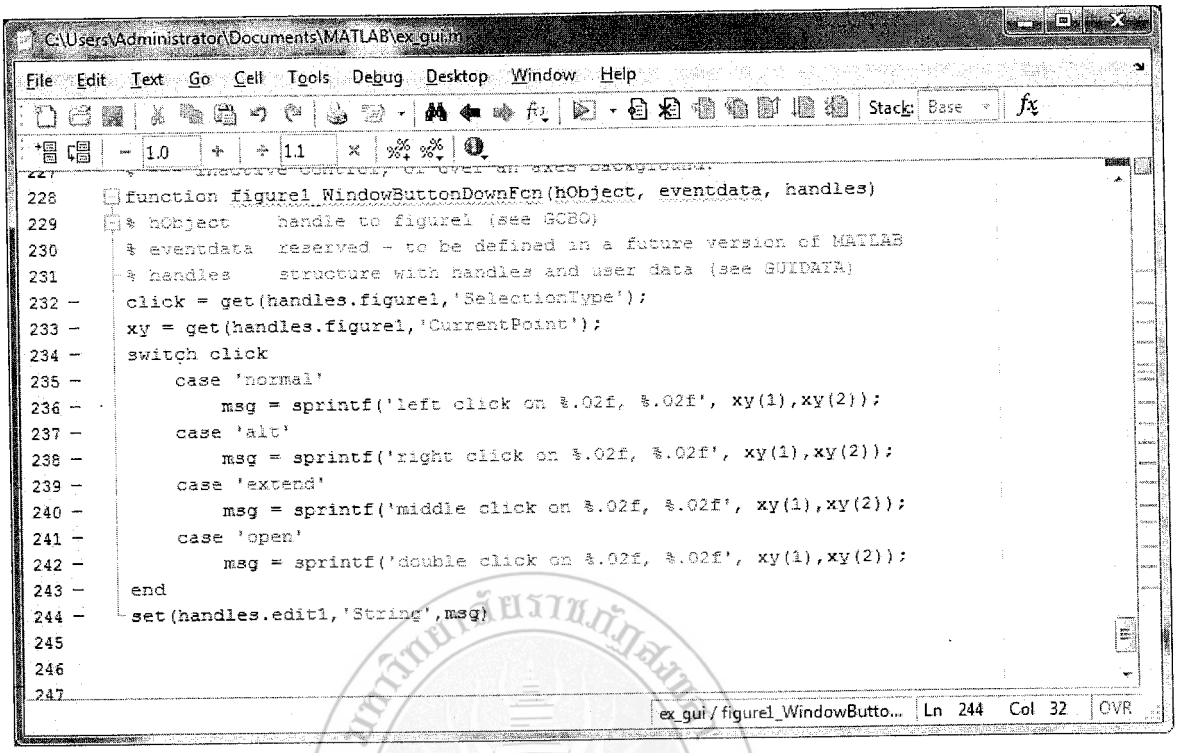
2) แก้ไขโปรแกรมดังรูปที่ 2-34

คุณสมบัติ CurrentPoint ของ Figure หมายถึง คู่อันดับพิกัด (x , y) ของตัวชี้เมาส์

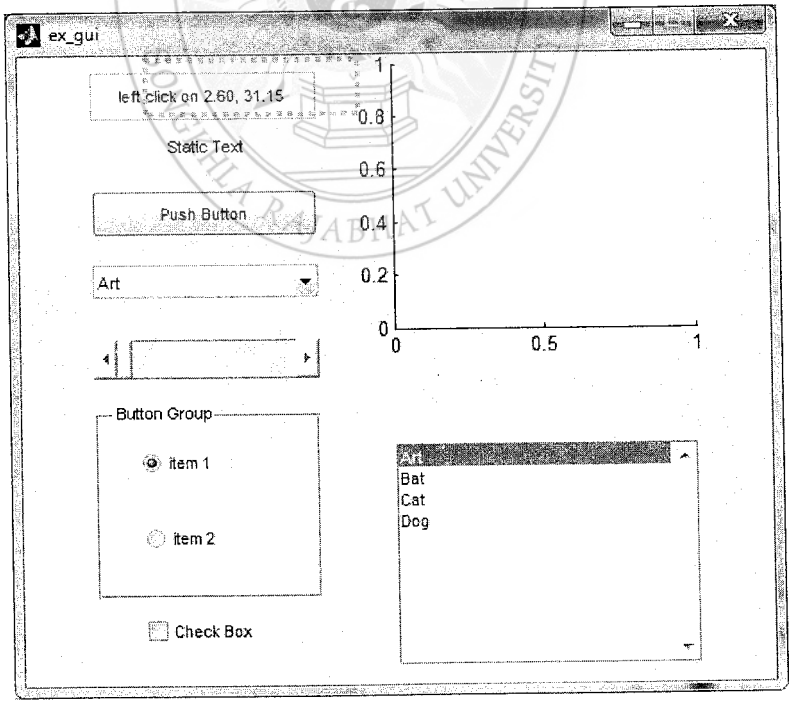
คุณสมบัติ SelectionType ของFigure หมายถึง ปุ่มหรือวิธีการคลิก Normal หมายถึง คลิกซ้าย (กรณี Mouse แบบปกติ) Alt หมายถึง คลิกขวา (กรณี Mouse แบบปกติ)

Extend หมายถึง คลิกปุ่มกลาง และ Open หมายถึง ดับเบิลคลิกปุ่มใดก็ได้

เมื่อรัน หรือกดปุ่มเมาส์ เช่น คลิกปุ่มซ้ายแสดงดังรูปที่ 2-35




**รูปที่ 2-34** เขียนคำสั่งการใช้ WindowButtonDownFcn

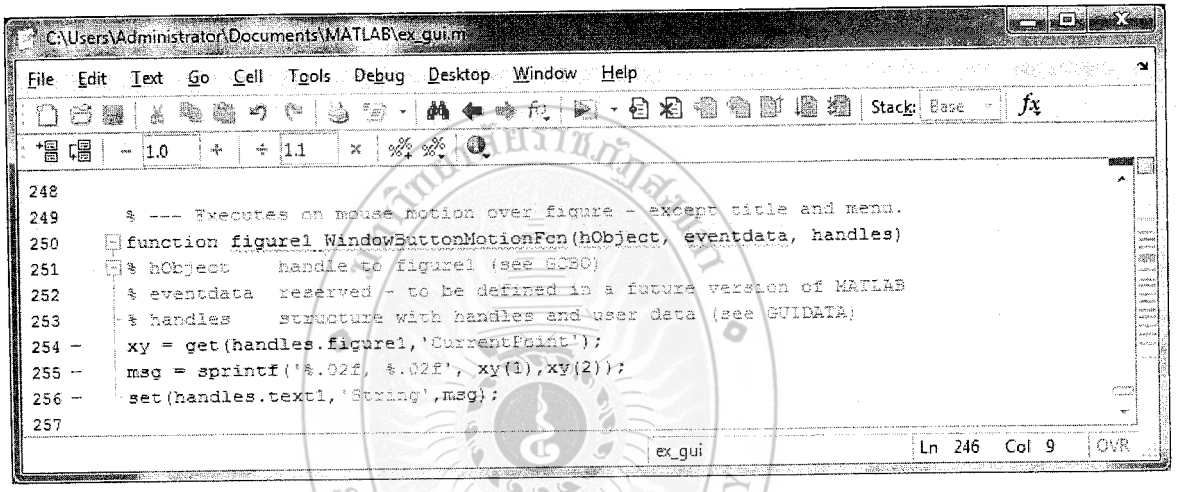



**รูปที่ 2-35** ผลการรัน gui ตามคำสั่งในรูปที่ 2-34

สำหรับตัวอย่างต่อไปนี้ เป็นการเขียนโปรแกรมรับค่าจากเมาส์ โดยจะบอกพิกัดเมาส์ใน Static Text เมื่อตัวชี้เมาส์เคลื่อนที่บนหน้าต่าง GUI ดังนั้น วัตถุที่ใช้ในการเรียกฟังก์ชันเรียกกลับคือ Figure (figure 1)

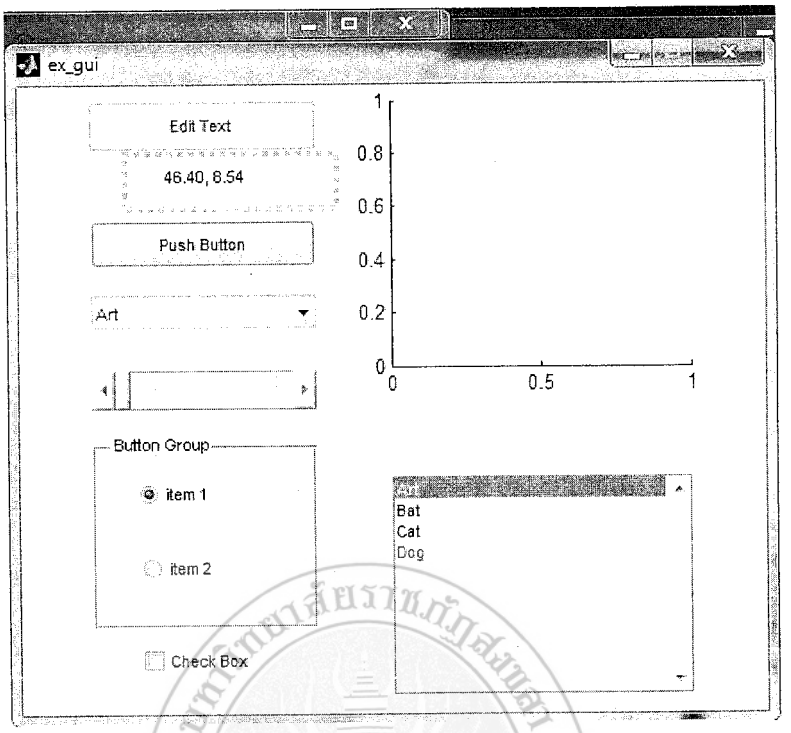
1) ให้เราสร้างฟังก์ชันเรียกกลับด้วยการคลิกขวาที่ Figure(พื้นที่ว่าง ๆ) ที่มี Tag เป็น figure1 ใน GUIDE แล้วเลือก View Callbacks > Window Button Motion Fcn แบบเดียวกับหัวข้อที่แล้ว

2) แก้ไขโปรแกรม ดังรูปที่ 2-36




**รูปที่ 2-36** เขียนคำสั่งการใช้ WindowButtonMotionFcn

3) เมื่อรันแล้ว ให้เลื่อนตัวชี้เมาส์ผ่านหน้าต่าง Figure จะปรากฏคู่อันดับ (x, y) ใน Static Text แสดงดังรูปที่ 2-37

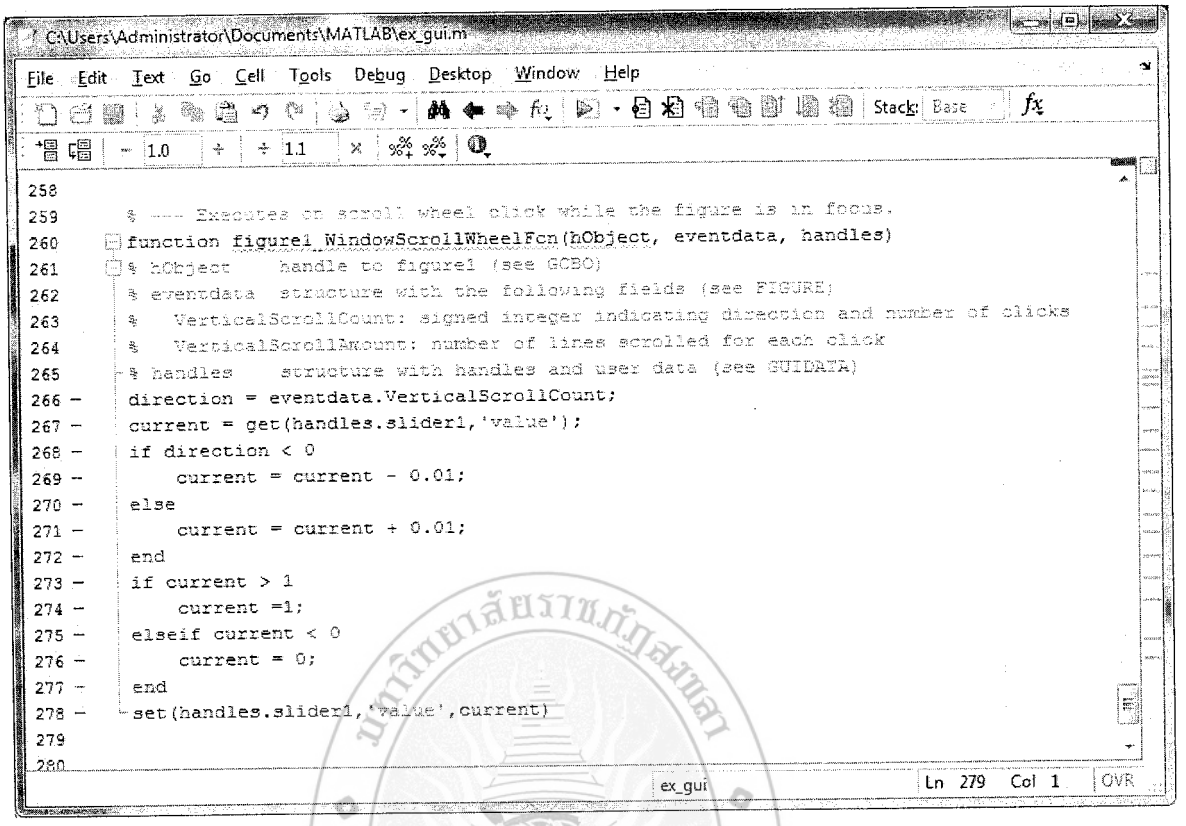



**รูปที่ 2-37** ผลการรัน gui ตามคำสั่งในรูปที่ 2-36

ตัวอย่าง การเขียนโปรแกรมรับค่าจากเมาส์ โดยเมื่อหมุนลูกกลิ้งเมาส์จะทำการไปเลื่อน Slider Bar ไปทางซ้ายหรือขวาตามหารหมุน ดังนั้น วัตถุที่ใช้ในการดรียกฟังก์ชันเรียกกลับคือ Figure(figure1)

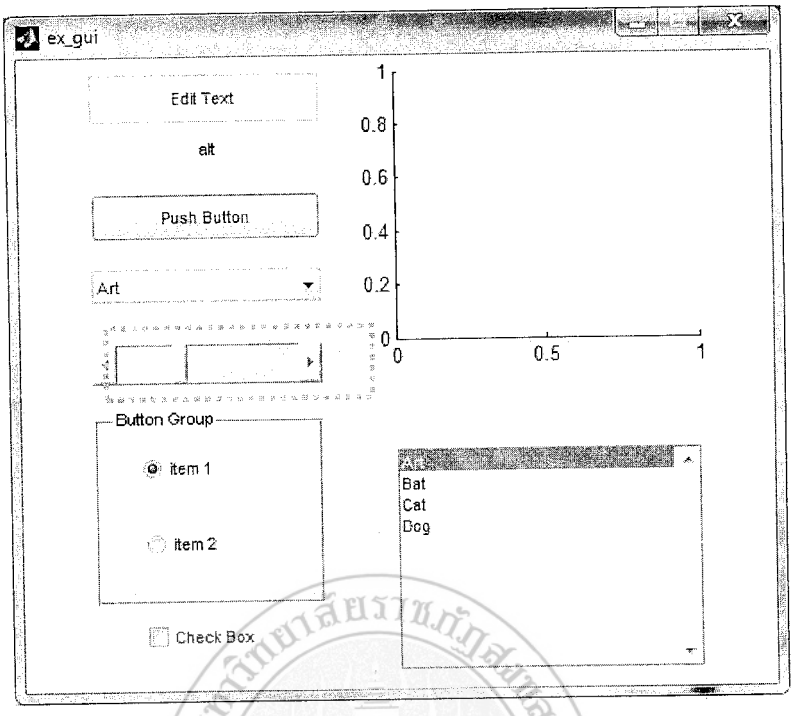
1) ให้เราสร้างฟังก์ชันเรียกกลับกลับด้วยการคลิกขวาที่ Figure (พื้นที่ว่าง ๆที่มี Tag เป็น figureใน GUIDE แล้วเลือก View Callback > WindowScrollWheel Fcn แบบเดียวกับในหัวข้อที่แล้ว

2) การแก้ไขโปรแกรม ดังรูปที่ 2-38




**รูปที่ 2-38** เขียนคำสั่งการใช้ WindowScrollWheelFcn

3) เมื่อรันแล้วทดลองหมุนลูกกลิ้งเมาส์ จะพบว่า Slider Bar เลื่อนตามที่เราหมุน แสดงดังรูปที่ 2-39

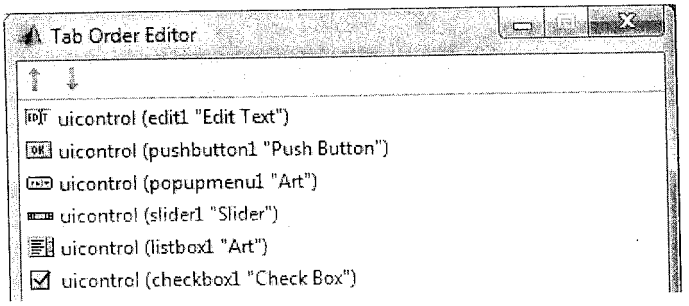



**รูปที่ 2-39** ผลการรัน gui ตามคำสั่งในรูปที่ 2-38

## 2.4 การจัดลำดับ Tab และแถบเมนูเครื่องมือ

### 2.4.1 การจัดลำดับ Tab

การใช้ GUI บางครั้งเราต้องการใช้แป้นพิมพ์ (ปุ่มTab) ในการเลือกวัตถุแต่ละปุ่มโดยการกดปุ่ม<Tab>แต่ละครั้งจะมีลำดับ ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้โดยคลิกปุ่ม บริเวณแถบเครื่องมือด้านบนในหน้าต่าง GUIDE ( ใช้ GUI ในตัวอย่างที่แล้ว ) และเมื่อคลิกแล้วจะปรากฏหน้าต่าง Tab Order Editor ดังรูปที่ 2-40




**รูปที่ 2-40** หน้าต่าง Tab Order Edition

ในหน้าต่างนี้เราสามารถเลื่อนลำดับได้ด้วยปุ่มลูกศรขึ้นหรือลงโดยวัตถุที่อยู่บนสุดจะเป็นอันดับแรกและเรียงถัดลงมาเรื่อยๆ

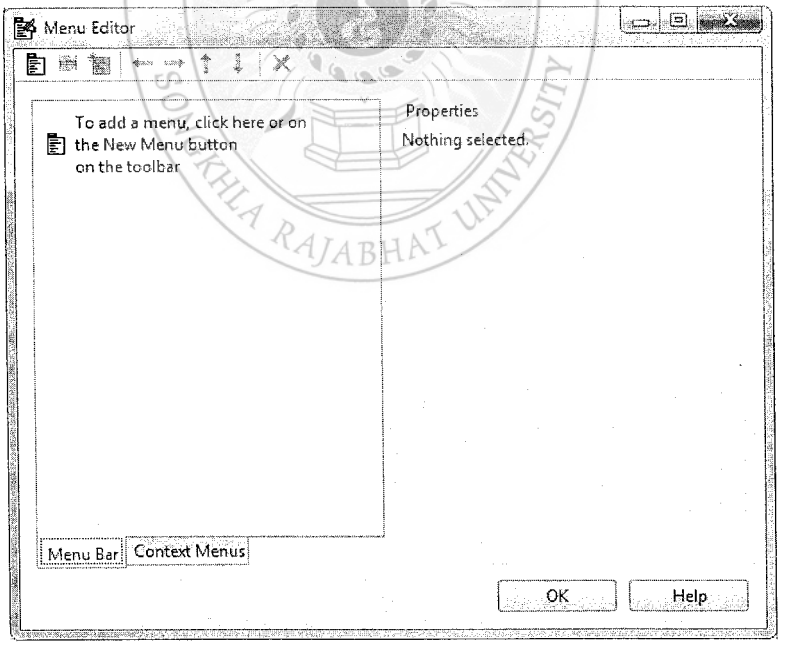
### 2.4.2 เมนูแถบเครื่องมือ

เมนูโดยปกติแบบข้อความแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือแบบที่ปรากฏอยู่ในแถบเมนูในหน้าต่าง Figure ( Menu Bar ) และแบบที่จะปรากฏเมื่อมีการคลิกขวาในแต่ละวัตถุ ( Context Menu) และเมนูประเภทที่เป็นรูปไอคอนหรือแถบเครื่องมือ ( Toolbar )

**แถบเมนู (Menu Bar)**

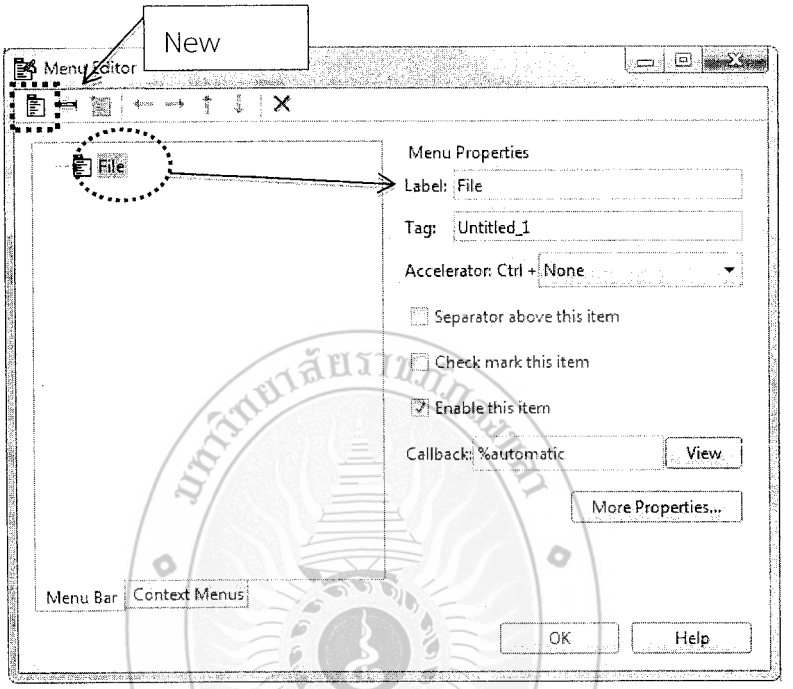
ก่อนอื่นให้เราใช้ guide สร้าง GUI แบบว่างเปล่าขึ้นมาก่อน โดยเลือก Black GUI (Default) ในหน้าต่าง GUIDE Quick Start อย่างที่ได้กล่าวไปแล้ว

1) การสร้างเมนู GUIDE ทำได้โดยคลิกปุ่ม บริเวณแถบเครื่องมือด้านบนในหน้าต่าง GUIDE เมื่อคลิกแล้วจะปรากฏหน้าต่าง Menu Editor แสดงดังรูปที่ 2-41

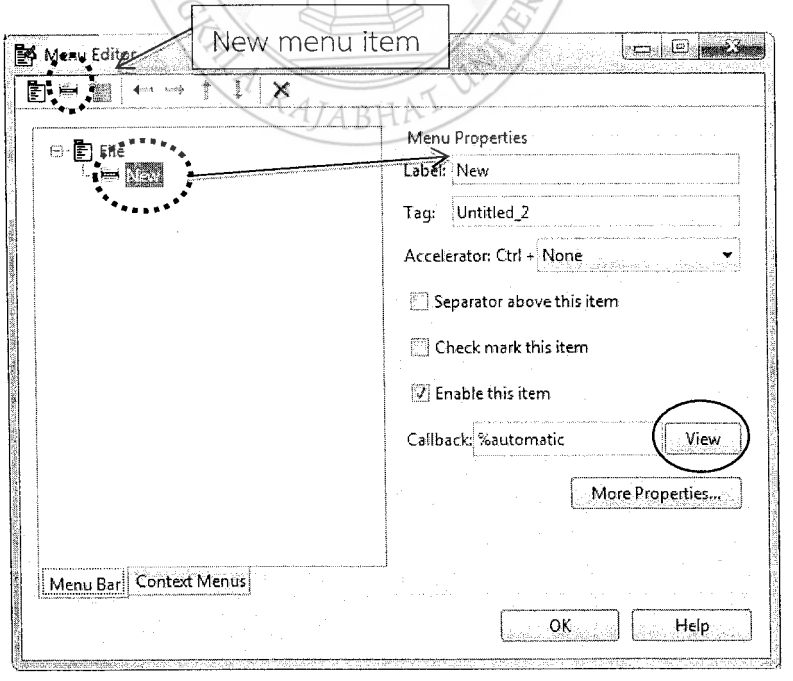



**รูปที่ 2-41** หน้าต่าง Menu Editorในส่วนของ Menu Bar

2) เมื่อต้องการสร้างเมนูใหม่ให้คลิกปุ่ม New Menu ในกรอบสี่เหลี่ยมเส้นประจะปรากฏเมนูใหม่ชื่อ Untitled1 ในกรอบด้านล่างให้คลิกเมนูใหม่ที่สร้างขึ้นเพื่อแก้ไขค่าคุณสมบัติ Label เป็น File แสดงดังรูปที่ 2-42



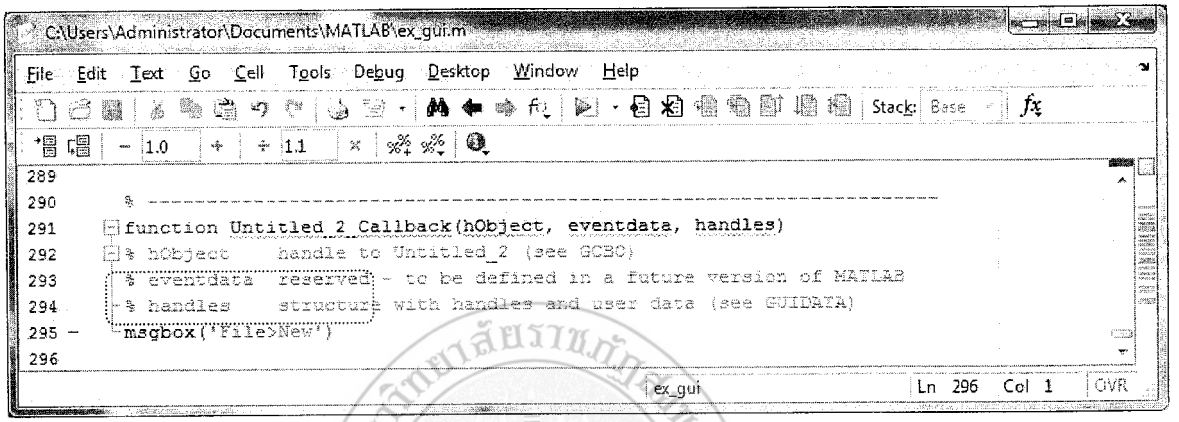

**รูปที่ 2-42** การสร้างเมนู File




**รูปที่ 2-43** การสร้างเมนูย่อย New

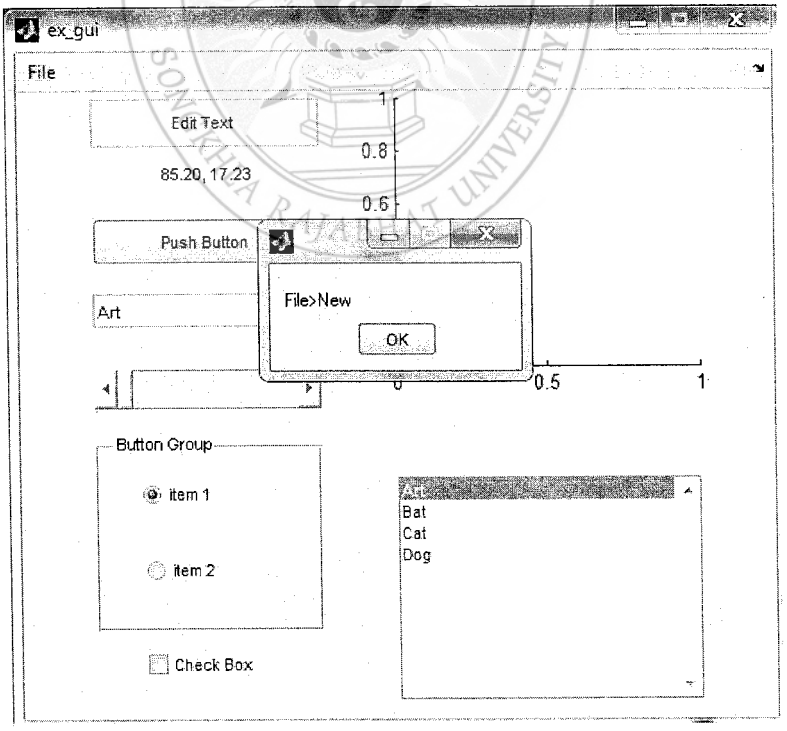
3) เมื่อต้องการสร้างเมนูย่อยให้กดปุ่ม New Menu Item ในวงกลมเส้นประจะปรากฏเมนูย่อยใหม่ในกรอบด้านล่างให้แก้ไขค่าคุณสมบัติ Label เป็น New แสดงดังรูปที่ 2-43

4) หากต้องการเขียนโปรแกรมให้ทำงานเมื่อมีการกดเมนูนั้นๆทำได้โดยกดปุ่ม View ในวงกลมเส้นทึบจะปรากฏฟังก์ชันนี้ แล้วให้เขียนคำสั่งดังรูปที่ 2-44




**รูปที่ 2-44** การเขียนคำสั่งเพื่อให้เมนูย่อย New ทำงาน

เมื่อสั่งรันและเลือกเมนู New จะปรากฏข้อความว่า File > New แสดงดังรูปที่ 2-45

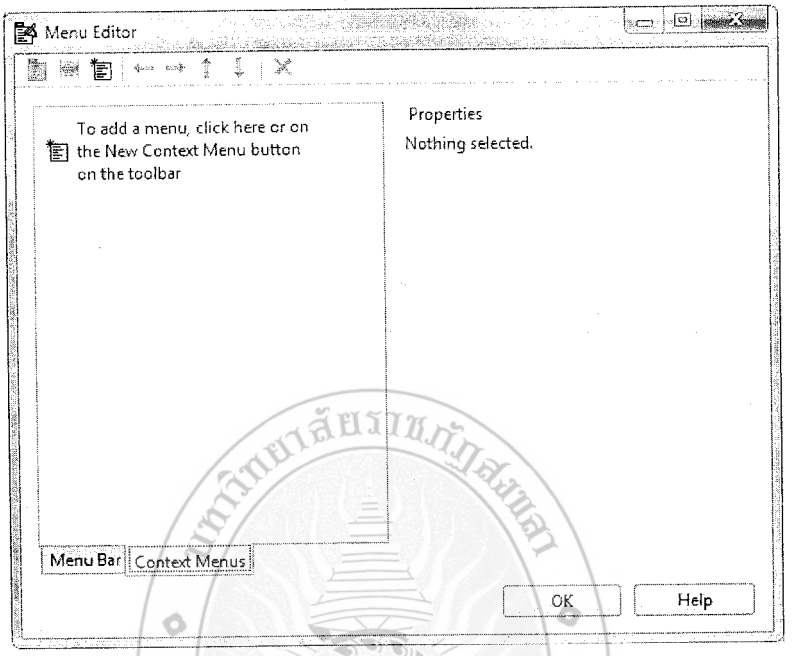



**รูปที่ 2-45** ผลการรัน gui แล้วเลือก File<New ที่เมนูบาร์

**Context Menus**

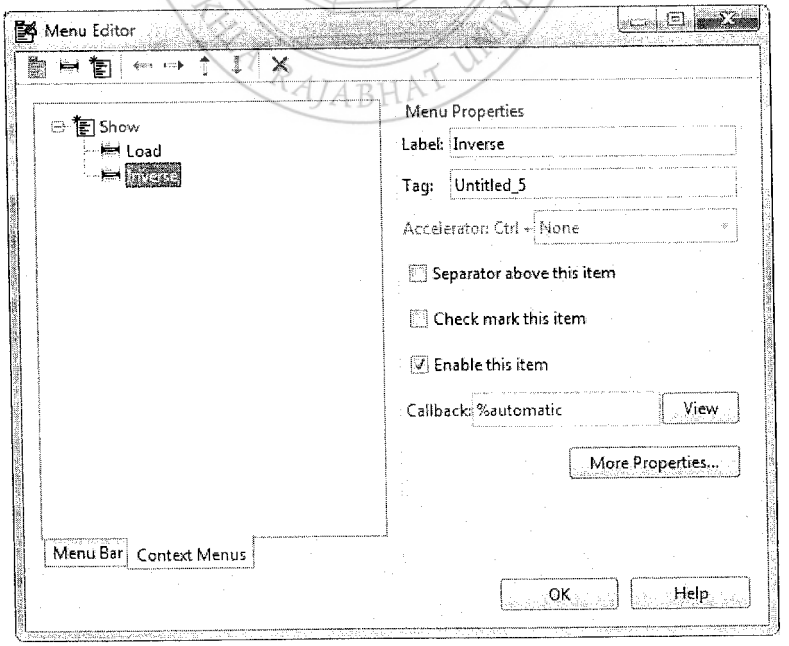
การสร้าง Context Menus ทำได้ในหน้าต่าง Menu Editor เช่นเดียวกับการสร้างแถบเมนู

1) ให้คลิกที่ Context Menus แทนดังรูปที่ 2-46



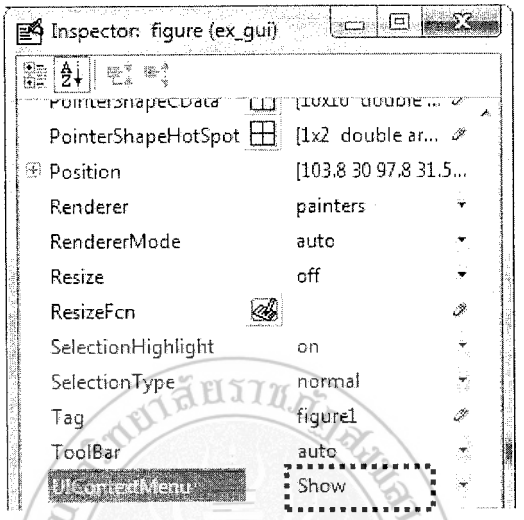

**รูปที่ 2-46** หน้าต่าง Menu Editorในส่วนของ Context Menus

2) ให้เราสร้างเมนูและแก้ไขคุณสมบัติ Label ให้มีลักษณะดังรูปที่ 2-47



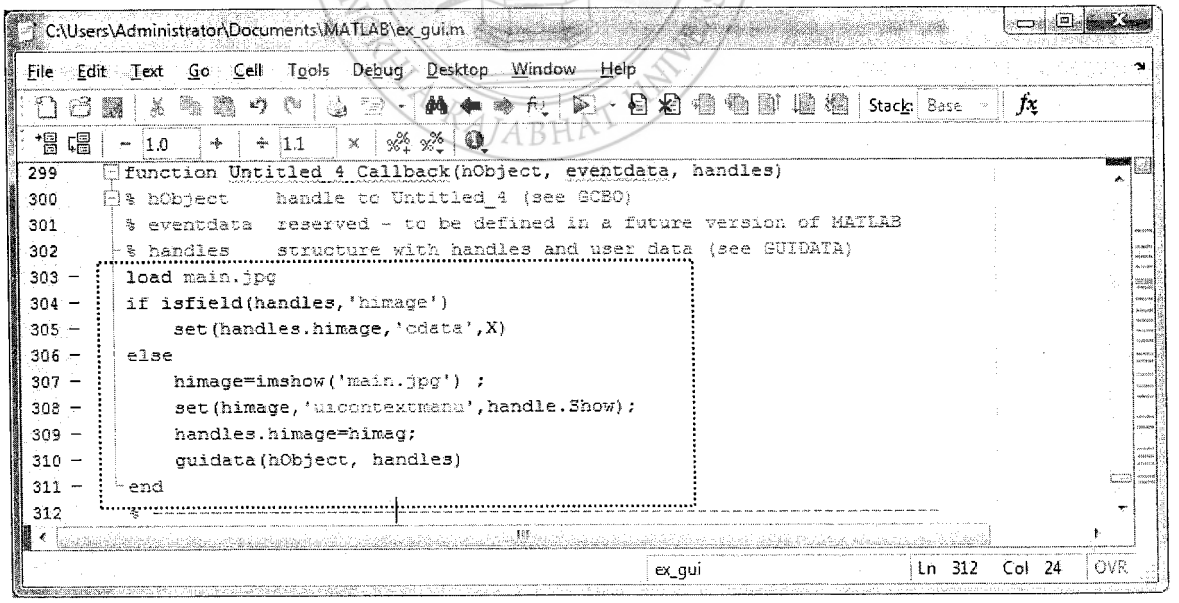

**รูปที่ 2-47** การสร้างเมนู Show, Load และ Inverse

3) เพิ่ม Context Menus เข้าไปในหน้าต่าง Figure โดยการแก้ไขคุณสมบัติ UIContext Menus ในหน้าต่าง Inspector (ดับเบิลคลิกที่ figure1 ใน GUIDE เพื่อเปิด) เป็น Show (ชื่อ Tag ของ Context Menu ที่สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 2-48)



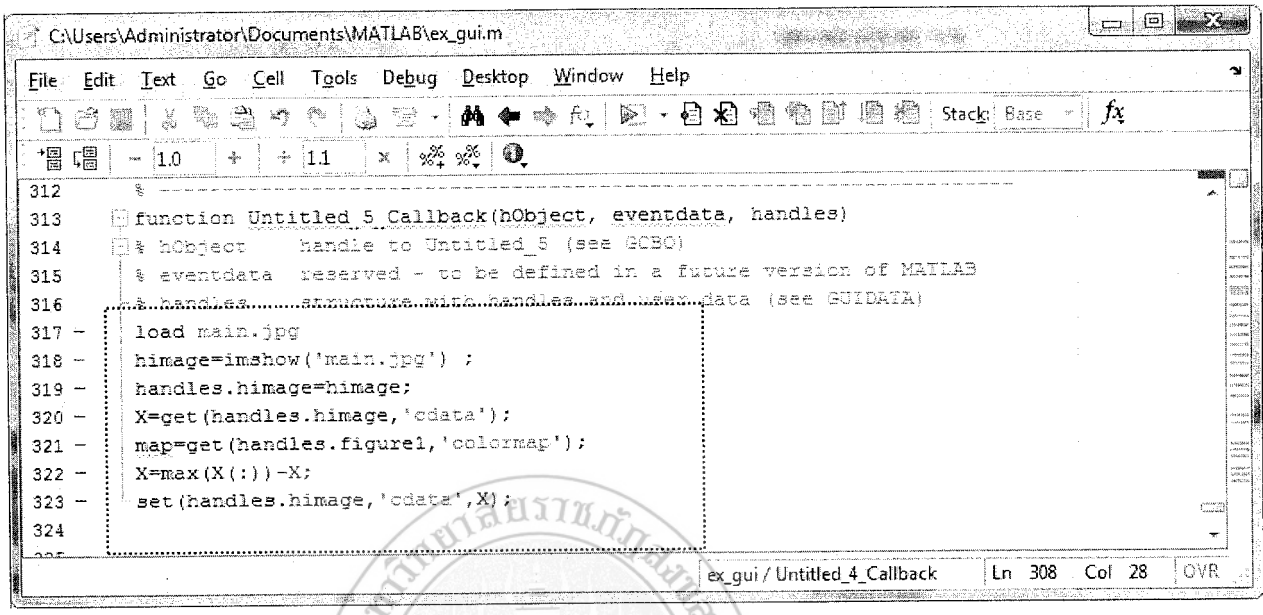

**รูปที่ 2-48** หน้าต่าง Inspector: figure(ex_gui)

4) สำหรับเมนู Load ให้คลิกปุ่ม View บริเวณ Callback เพื่อแก้ไขโปรแกรม แสดงดังรูปที่ 2-49



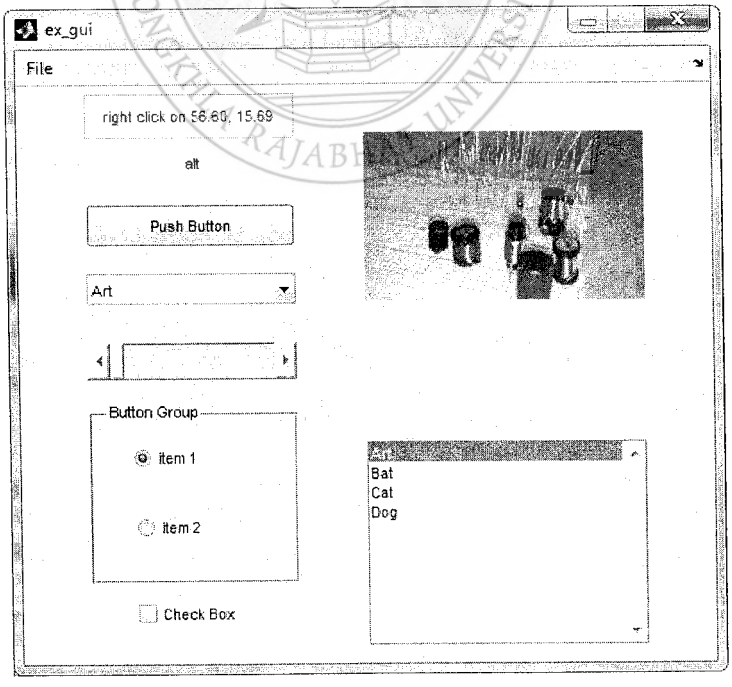

**รูปที่ 2-49** การเขียนคำสั่งสำหรับเมนู Load

5) เมนู Inverse ให้คลิกปุ่ม View บริเวณ Callback เพื่อแก้ไขโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 2-50



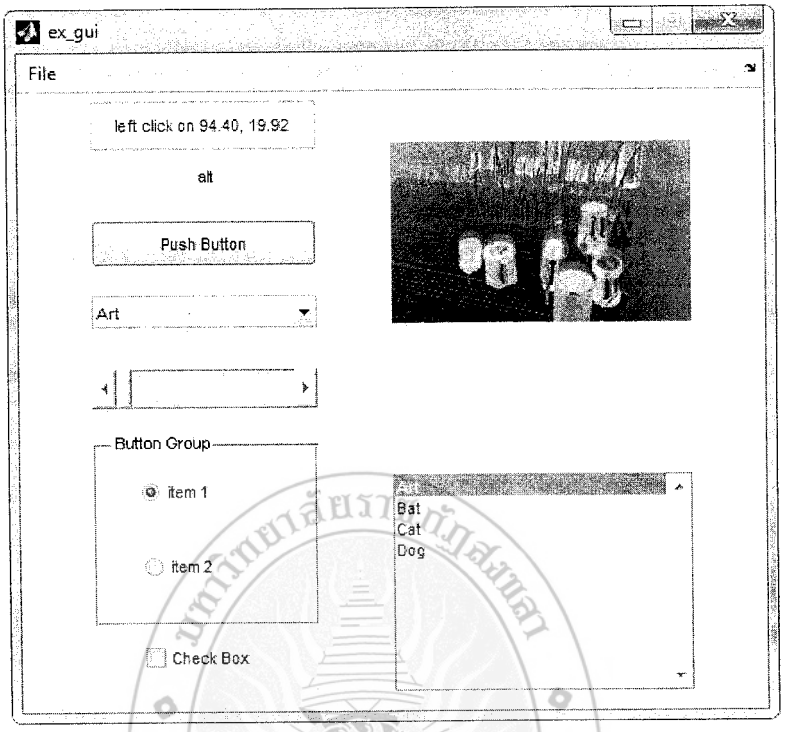

**รูปที่ 2-50** การเขียนคำสั่งสำหรับเมนู Inverse

6) สั่งรันแล้วทดลองคลิกขวาภายในหน้าต่าง Figure แล้วเลือก Load จะได้ผล แสดงดังรูปที่ 2-51




**รูปที่ 2-51** แสดงภาพเมื่อคลิกขวาแล้วเลือกเมนู Load

เมื่อทดลองคลิกขวาแล้วเลือก inverse จะได้ภาพแบบลบ ( Negative) แสดงดังรูปที่ 2-52




**รูปที่ 2-52** แสดงภาพเมื่อคลิกขวาแล้วเลือกเมนู Inverse

### 2.4.3 สรุป

ส่วนต่อประสานงานกราฟฟิกกับผู้ใช้ของโปรแกรม MATLAB เป็นส่วนประกอบของโปรแกรมที่อยู่ ระหว่างส่วนโปรแกรมหลักกับผู้ใช้ ช่วยเพิ่มความสมบรูณ์ และความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งานมากขึ้นวัตถุประเภท GUI ใน MATLAB ถือเป็นวัตถุชนิดหนึ่งภายใต้หน้าต่าง Figure ซึ่งสามารถเขียนได้ 2 รูปแบบคือ รูปแบบที่ 1 ใช้เครื่องมือช่วยในการเขียนใน MATLAB graphical User Interface Development Environment (GUIDE) รูปแบบที่ 2 ใช้ชุดคำสั่ง หรือฟังก์ชันในการสร้าง โดยไม่ใช้ GUIDE

โดยส่วนใหญ่การพัฒนา GUI ของโปรแกรม MATLAB จะใช้วิธีการเขียนตามรูปแบบที่ 1 เพราะมีวิธีการและขั้นตอนในการพัฒนาที่ง่าย สะดวก และรวดเร็ว โดยที่วัตถุต่างๆ ที่เราได้สร้างขึ้นใน GUI เป็นวัตถุส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface Object ) เดียวกัน แต่ต่างกันที่คุณสมบัติ Style ที่เราได้สร้างไปประกอบด้วยวัตถุต่างๆดังต่อไปนี้

Push Button เหมาะสำหรับให้ผู้ใช้กดเพื่อเป็นการตอบตกลง ยกเลิก หรือใช้ในการบอกให้เริ่มต้นหรือสิ้นสุดเหตุการณ์ใดๆ

Slider Bar เหมาะสำหรับให้ผู้ใช้ปรับค่าแบบเพิ่มหรือลด ขึ้นหรือลง ซ้ายหรือขวา เป็นต้น

Radio Button เหมาะสำหรับเป็นรายการให้ผู้ใช้เป็นตัวเลือกเดียว ซึ่งผู้ใช้สามารถเห็นตัวเลือกได้ทุกตัว โดยนิยมบรรจุ Radio Button ที่ต้องการให้เลือกข้อใดข้อหนึ่งไว้ภายใน Button Group (Panel) เดียวกัน

Check Box เหมาะสำหรับให้ผู้ใช้เลือกเพื่อเปิดหรือปิด เอาหรือไม่เอา ใช่หรือไม่ใช่ เป็นต้น

Edit Text เหมาะสำหรับให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูล

Static Text เหมาะสำหรับใช้ในการแสดงข้อความ คำอธิบาย ชื่อ ฯลฯ ในลักษณะถาวรโดยผู้ใช้ไม่มีสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลง (แต่เราสามารถเปลี่ยนข้อความที่แสดงได้ด้วยการเขียนโปรแกรม)

Pop-up Menu เหมาะสำหรับเป็นรายการให้ผู้ใช้เป็นตัวเลือก แบบเลือกได้ตัวเลือกเดียว

List Box เหมาะสำหรับเป็นรายการให้ผู้ใช้เป็นตัวเลือกแบบเลือกได้ตัวเลือกเดียวหรือหลายตัวเลือกพร้อมกัน

Axes เหมาะสำหรับใช้ในการแสดงกราฟิก เช่น กราฟ ภาพ หรือ วิดีโอ ฯลฯ

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้จียูไอของแมทแล็ป ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ฉัตรชัย เหล่าพรหมสุคนธ์ และ สวัสดิ์โชติ เลิศเดชเดชา (2553). [10] ทำโครงงานเรื่องการพัฒนา Simulink ของ Matlab สำหรับการวิเคราะห์ระบบควบคุมเชิงเส้น เป็นโครงงานที่เกี่ยวกับฟังก์ชั่นคาสั่งของ Simulink ในโปรแกรม Matlab โดยในโครงงานนี้จะทาการจาลองระบบ DC motor ในฟังก์ชั่นคำสั่งของ Simulink ซึ่งผู้จัดทาได้ทาการแสดง Simulink ในหน้าต่างของ GUI (Graphic User Interface) โดยการใช้คำสั่งต่างๆป้อนลงในโปรแกรม Matlab ซึ่งในหน้าต่างหลักของ GUI จะประกอบไปด้วยระบบ DC motor without PID , DC motor with PID และ System info โดยภายในระบบ DC motor without PID และระบบ DC motor with PID จะมีช่องให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลลงไปในค่าตัวแปรต่างๆหลังจากป้อนข้อมูลโปรแกรมจะทาการคำนวณและแสดงผลของค่าต่างๆโดยค่าต่างๆจะแสดงถึงความเสถียรของระบบตามทฤษฎีของ Linear Control System อาทิเช่น กราฟ Step Response , Impulse Response , Bode Diagram และค่า Setting Time, Time Peak , Rise Time , Steady-State Error , Zeta และ Natural Frequency โดยผู้ใช้จะเห็นความแตกต่างของระบบ

DC motor เมื่อไม่ติดตั้งตัวควบคุม PID (Proportional Integral Derivative) และเมื่อติดตั้งตัวควบคุม PID

ศรัณย์ ชูคดี และ สมศักดิ์ อรรคทิมากูล (2555). [11] ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาโปรแกรมจำลองสำหรับศึกษาและวิเคราะห์วงจรกรองความถี่ภายในท่อนำ คลื่นด้วยวิธีการวนรอบของคลื่น งานวิจัยนี้นำ เสนอการพัฒนาโปรแกรมจำ ลอง สำ หรับศึกษาและวิเคราะห์วงจรกรองความถี่ภายในท่อ นำ คลื่นโดยใช้วงจรช่องแคบ (Iris) ที่วางตัวในท่อนำ คลื่น ลักษณะต่างกัน ทำ ให้ความสมมูลย์ทางไฟฟ้าเทียบได้กับ ตัวเหนี่ยวนำ (Inductive Iris) ตัวเก็บประจุ (Capacitive Iris) ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุต่อขนานกัน (Resonant Iris) การวิเคราะห์จะใช้หลักการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าร่วมกับวิธีการคำนวณแบบวนรอบ (Wave Iterative Method) ซึ่งจะคำนวณหาค่าขนาดของคลื่นบนพื้นที่พิกเซลของวงจรช่องแคบ และโดเมนทางความถี่หรือ โหมดที่แพร่กระจายในอากาศ โดยใช้รูปแบบของการ แปลงสภาพของโหมด-พิกเซลอย่างเร็ว (Fast Mode-Pixel Transform) ผู้วิจัยได้สร้างโปรแกรมจำ ลองเพื่อใช้เป็น เครื่องมือในการศึกษาและวิเคราะห์ เรียกว่าโปรแกรม WCD V. 1.03 (Waveguide Circuit Design Version 1.03) ที่แบ่งการทำ งานออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วยส่วน รับข้อมูล ส่วนประมวลผล และส่วนแสดงผล โครงสร้าง ของโปรแกรมจะมีลักษณะเป็นหน้าต่างเมนูที่ทำ งานภาย ใต้ฟังก์ชัน GUI (Graphic User Interface) ของโปรแกรม MATLAB จากนั้นได้ทำ การทดสอบผลการทำ งาน ของโปรแกรมจำ ลองที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับโปรแกรม จำ ลองที่มีใช้งานในเชิงพาณิชย์ CST Microwave Studio® พบว่าการวิเคราะห์ค่าผลของการตอบสนองทาง ความถี่ที่ได้จากโปรแกรมจำลองทั้งสองมีความสอดคล้องกัน และโปรแกรม WCD สามารถแสดงขนาดและรูปร่าง ของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในวงจรช่องแคบได้ อย่างถูกต้อง

จงรัก สามารถ สมมารถ ขำเกลี้ยง และ สมศักดิ์อรรคทิมากูล (2556). [12] ทำวิจัยเรื่องการพัฒนาโปรแกรมจำลองวงจรกรองความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการศึกษาด้านวิศวกรรโทรคมนาคม ในรูปแบบของโปรแกรมจำลองโดยโปรแกรมจำลองวงจรกรองความถี่ที่พัฒนาขึ้นทำงานภายใต้โปรแกรม MATLAB ส่วนรับและแสดงผลการทำงานพัฒนาด้วยฟังก์ชัน GUI และวิเคราะห์ผลโดยวิธีการวนรอบของคลื่นผลการทดสอบพบว่าโปรแกรมจำลองวงจรกรองความถี่ที่พัฒนาสามารถแสดงขนาดและแสดงรูปของวงจรกรองความถี่ไมโครสตริปแสดงพารามิเตอร์กระจัดกระจาย และรูปของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า โดยผลการจำลองมีความสอดคล้องกับผลการคำนวณของ โปรแกรม Sonnet Lite เวอร์ชัน 11.53 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าโปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นสื่อประกอบ การสอนเรื่องวงจรกรองความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

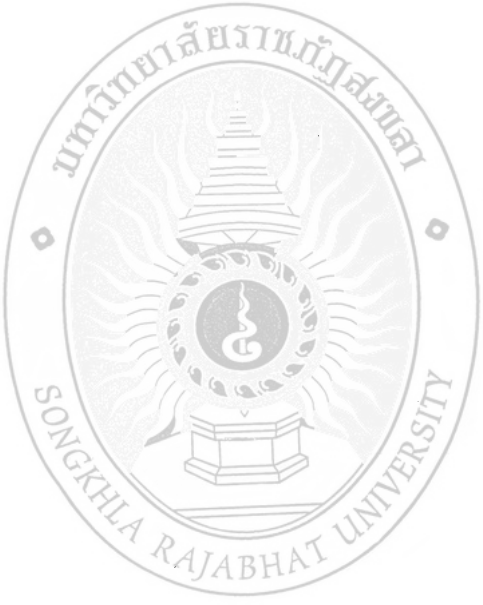
ศิริชัย วัฒนาโสภณ (2557). [13] ทำการวิจัยเรื่องโปรแกรมออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มีการพัฒนามาจากโปรแกรม Visual C# โดย การทดสอบโปรแกรมสามารถทำได้โดยออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน ขนาดพิกัด 2400 W 220V 11 A 1450 rpm. ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นและนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับรายละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเดียวกันที่ใช้งานอยู่ในห้องปฏิบัติการ ผลจากการเปรียบเทียบจะพบว่าพารามิเตอร์ส่วนใหญ่จะมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยกว่า 20% นอกจากนี้ยังมีพารามิเตอร์อีก 3 ตัวที่มีค่าตรงกัน คือ Brush thickness, Brush width และ Brush height ในขณะที่ Losses from friction มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นมากที่สุด คือ 58.17%

อลงกรณ์ พรมที พินิจ เนื่องภิรมย์ ศรัณย์ชูคดี และ สมศักดิ์อรรคทิมากูล (2557). [14] ทำการวิจัยเรื่องโปรแกรมจำลองการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโพรงตัวนำโดยวิธีของโมเมนต์ที่ทำงานภายใต้ฟังก์ชันการเชื่อมโยงกับผู้ใช้ทางกราฟิก (GUI) ของโปรแกรม MATLAB ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดขนาดพื้นที่ของแผ่นและโพรง ตัวนำตลอดจนจำนวนโหมดของคลื่นที่แพร่กระจายได้โดย การจำลองจะแสดงให้เห็นรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นบริเวณแผ่นตัวนำขนาดของคลื่นในโดเมน ของสเปคตรัมได้ผลของการวิเคราะห์การแพร่กระจาย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยโปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้น มีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับผลทางทฤษฎีทั้งนี้จาก การประเมินคุณภาพของโปรแกรมจำลองโดยผู้เชี่ยวชาญ และผู้ใช้งาน พบว่าความพึงพอใจที่มีต่อโปรแกรมจำลอง เฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.19 ค่า S.D. เท่ากับ 0.78) ดังนั้นสรุปได้ว่าโปรแกรมจำลองการแพร่กระจาย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโพรงตัวนำสามารถใช้เป็นสื่อการสอน สำหรับวิชาคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและวงจรความถี่สูงได้

ไพศาล คงเรือง และ สมมารถ ขำเกลี้ยง (2558). [15] ทำการวิจัยเรื่อง โปรแกรมออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 รูปแบบของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นทำงานด้วยโปรแกรมแมทแล็ปในฟังก์ชั่นจียูไอ การทดสอบโปรแกรมสามารถทำได้โดยนำผลการออกแบบจากโปรแกรมเปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี หลังจากนั้นนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินคุณภาพการใช้งาน ผลการวิจัยพบว่าผลการคำนวณของโปรแกรมมีความถูกต้องตรงตามผลการคำนวณทางทฤษฎี มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.01 เปอร์เซ็นต์ และผลการประเมินคุณภาพการใช้งานของผู้เชี่ยวชาญ มีค่าอยู่ในระดับมากที่สุด

สมมารถ ขำเกลี้ยง (2558). [16] ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์ผลตอบสนองของวงจรไฟฟ้าอันดับหนึ่งและ วงจรไฟฟ้าอันดับสองเบื้องต้นโดยใช้จียูไอของแมท-แล็ป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับวิเคราะห์ผลตอบสนองของวงจรไฟฟ้าอันดับ

หนึ่งและวงจร ไฟฟ้าอันดับสองเบื้องต้นโดยใช้จียูไอของแมทแล็ป กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน และ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา วงจรไฟฟ้ากระแสตรง ภาคเรียนที่ 2/2556 หลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จำนวน 28 คน ผลการวิจัยพบว่า ผลการคำนวณของซอฟต์แวร์มีความถูกต้องตรงตามผลการคำนวณทางทฤษฎี มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และผลการ ประเมินคุณภาพการใช้งานของผู้เชี่ยวชาญ มีค่าอยู่ในระดับมากที่สุด มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของเมกุยแกนส์ (1.03)



# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินการวิจัย

การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้จียูไอของแมทแล็ป มีขั้นตอนการพัฒนาดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ปัญหา (Problem Analysis)

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบโปรแกรม (Program Design)

ขั้นตอนที่ 3 การเขียนโปรแกรม (Program Coding)

ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบและแก้ไขโปรแกรม (Program Testing & Verification)

ขั้นตอนที่ 5 การจัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งาน (Program Documentation)

ขั้นตอนที่ 6 การทดลองใช้โปรแกรมโดยผู้เชี่ยวชาญ (Program Trying by the Experts)

## 3.1 การวิเคราะห์ปัญหา

3.1.1 กำหนดขอบเขตของปัญหา

ขอบเขตของปัญหาในการสร้างโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้จียูไอของแมทแล็ป มีดังนี้

1) ปัญหาเกี่ยวกับการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient Respond) ของระบบควบคุม

2) ปัญหาเกี่ยวกับการจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเด (Bode Plot) ของระบบควบคุม

3) ปัญหาเกี่ยวกับการจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ (Nyquist Plot) ของระบบควบคุม

4) ปัญหาเกี่ยวกับการจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก (Root Locus Plot) ของระบบควบคุม

3.1.2 การกำหนดข้อมูลนำเข้า

ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในโปรแกรมประกอบด้วยตัวแปราต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ระบบควบคุมอันดับหนึ่ง ประกอบด้วย เวลา (t) และ (T)
- ระบบควบคุมอันดับสอง ประกอบด้วย ความถี่ธรรมชาติไม่มีความหน่วง (Undamped Natural Frequency) อัตราส่วนแดมปิง (Damping ratio) และเวลา (t)
- การออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน ประกอบด้วย สมการการถ่ายโอน (Transfer Function) และ เวลา (t)

3.1.3 วิธีการประมวลผลวิธีการประมวลผล

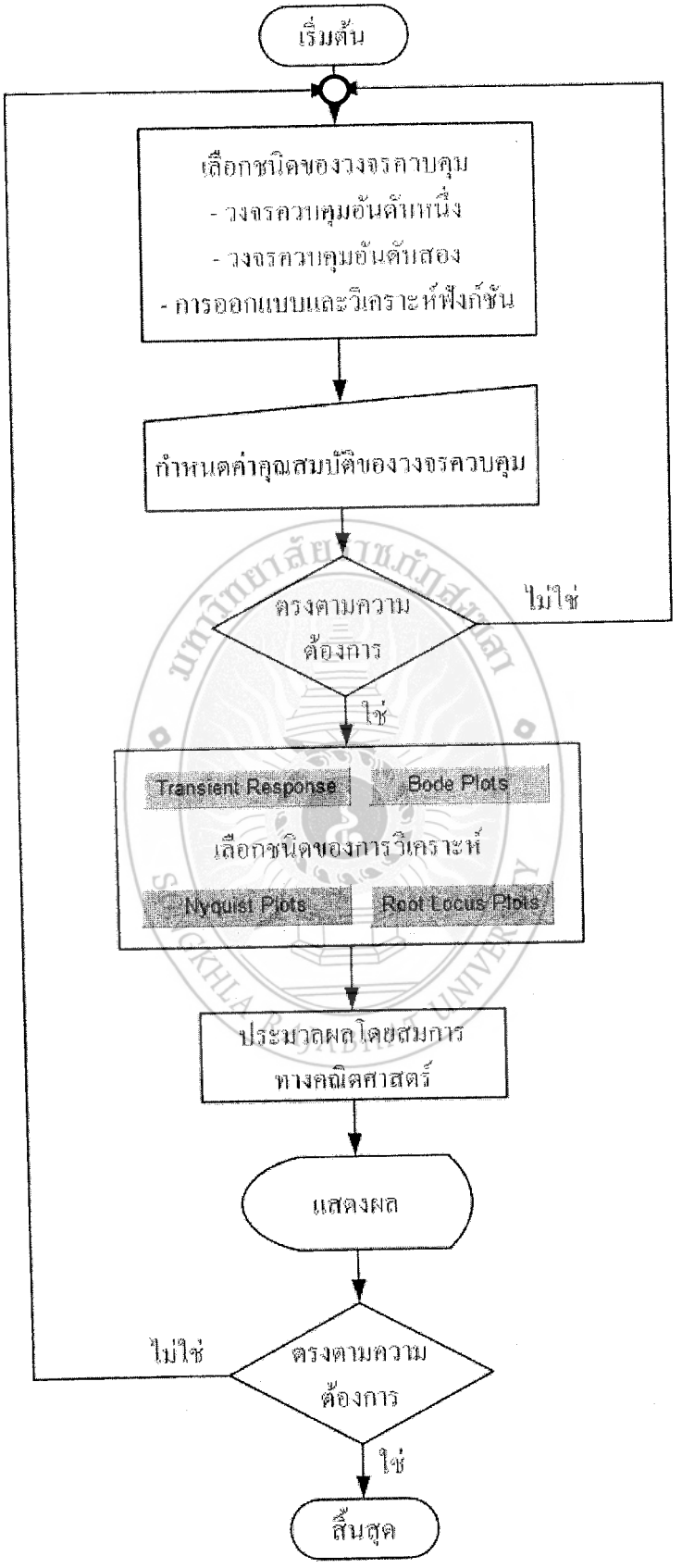
จะใช้วิธีการส่งผ่านตัวแปรที่เป็นตัวเลขสู่สมการทางคณิตศาสตร์ ที่เป็นสมการที่เกิดจากการวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าแต่ละชนิด

3.1.4 การกำหนดผลลัพธ์

การแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมจะเป็นภาพกราฟฟิกส์ทางจอภาพ และแสดงเป็นค่าตัวเลข

**3.2 การออกแบบโปรแกรม**

การสร้างโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้ GUI ของ MATLAB มีการออกแบบโปรแกรมโดยใช้ผังงาน (Flowchart) แสดงดังรูปที่ 3-1




**รูปที่ 3-1** ผังงานการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า

จากรูปที่ 3-1 สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) ชนิดของวงจรควบคุมในโปรแกรมนี้จะกำหนดได้ 3 ชนิด ได้แก่

- วงจรควบคุมอันดับหนึ่ง
- วงจรควบคุมดันดับสอง
- การออกแบบและวิเคราะห์วงจรควบคุม

2) กำหนดค่าคุณสมบัติของวงจรควบคุม

- ระบบควบคุมอันดับหนึ่ง ประกอบด้วย เวลา (t) และค่าคงที่เวลา (T)
- ระบบควบคุมอันดับสอง ประกอบด้วย ความถี่ธรรมชาติไม่มีความหน่วง (Undamped Natural Frequency) อัตราส่วนแดมปิง (Damping ratio) และเวลา (t)
- การวิเคราะห์ฟังก์ชัน ประกอบด้วย สมการการถ่ายโอน (Transfer Function) และเวลา (t)

3) ตรวจสอบ ถ้าใช่ คือตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานโปรแกรมจะไหลไปสู่ขั้นตอนต่อไป ถ้าไม่ใช่ คือไม่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานโปรแกรมจะไหลไปสู่ขั้นตอนการเลือกชนิดของวงจรควบคุมอีกครั้ง

4) เลือกชนิดของการวิเคราะห์ระบบควบคุม ประกอบด้วย

- การจำลองผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient Respond) ของระบบควบคุม
- การจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเด (Bode Plot) ของระบบควบคุม
- การจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ (Nyquist Plot) ของระบบควบคุม
- การจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก (Root Locus Plot) ของระบบควบคุม

5) ประมวลผลโดยสมการทางคณิตศาสตร์แสดงดังต่อไปนี้

- การจำลองผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient Respond) ของระบบควบคุมโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

สัญญาณอันดับหนึ่งจะได้ $R(s)=\frac{1}{s}$

สมการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะคือ $c(t)=1-e^{\frac{-t}{T}} \quad (t \geq 0)$

สัญญาณลาดจะได้ $R(s)=\frac{1}{s^2}$

สมการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะคือ $c(t)=1-T(1-e^{\frac{-t}{T}}) \qquad (t \geq 0)$

สัญญาณอินพุตอิมพัลส์จะได้ $R(s)=1$

สมการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะคือ $c(t)=\frac{1}{T}-e^{\frac{-t}{T}} \qquad (t \geq 0)$

- การจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเด (Bode Plot) ของระบบควบคุม โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

พิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนรูปคลื่นไซนูซอยด์ เมื่อฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมแบบไม่แปรเปลี่ยนตามเวลามีค่า

$$G(s)=\frac{Y(s)}{X(s)}$$

แทน $s$ ด้วย $j\omega$ ลงในสมการจะได้

$$G(j\omega)=\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}$$

หาค่าขนาดของ $G(j\omega)$ จะได้

$$|G(j\omega)|=\left|\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}\right|$$

หาค่ามุมของ $G(j\omega)$ จะได้

$$\angle G(j\omega)=\frac{\angle Y(j\omega)}{\angle X(j\omega)}$$

ถ้ามีมุมเป็นบวกเรียกว่ามุมนำหน้า (Phase Lead) และถ้ามุมมีค่าเป็นลบเรียกว่ามุมล้าหลัง (Phase Lag) หรือเขียนอยู่ในรูปฟังก์ชันเชิงซ้อนที่มีความถี่ดังสมการ

$$G(j\omega)=|G(j\omega)|\cdot\angle G(j\omega)$$

โดยที่

$|G(j\omega)|$ คือ ขนาดของ $G(j\omega)$

$\angle G(j\omega)$ คือ มุมของ $G(j\omega)$

- การจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ (Nyquist Plot) ของระบบควบคุมโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

วิธีไนควิสต์จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเปิดของผลตอบสนองความถี่ กับจำนวนซีโร่และจำนวนโพลของสมการ $1+G(s)H(s)$ ที่อยู่บนครึ่งขวาของระนาบเอส เมื่อพิจารณาระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับที่มีฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบปิดเป็น

$$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{G(s)}{1+G(s)H(s)}$$

ถ้าระบบมีเสถียรภาพ รากทั้งหมดของสมการคุณลักษณะ $F(s) = 1 + G(s) + H(s) = 0$ หรือโพลของระบบปิดทั้งหมดจะต้องอยู่บนครึ่งระนาบซ้ายของระนาบเอส

- การจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก (Root Locus Plot) ของระบบควบคุม

เมื่อพิจารณาระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับที่มีฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบปิดเป็น

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

และมีฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบเปิดคือ $G(s)H(s)$

จะได้สมการคุณลักษณะคือ $1 + G(s)H(s) = 0$

พิจารณาสมการคุณลักษณะโดยจัดรูปแบบใหม่ เพื่อแสดงให้เห็นค่าแฟคเตอร์อัตราขยาย K จะได้ดังนี้

$$1 + KG(s)H(s) = 0$$

$$KG(s)H(s) = -1$$

จากสมการหมายความว่า ขนาดของ $|KG(s)H(s)| = 1$ และมีมุม $180^\circ$

ถ้าพิจารณาเฉพาะขนาดจะได้

$$|KG(s)H(s)| = 1$$

$$|G(s)H(s)| = \frac{1}{|K|}$$

ถ้าพิจารณาเฉพาะมุมจะได้

$$\angle KG(s)H(s) = 180 + K.360$$

$$\angle KG(s)H(s) = (2K + 1).180$$

เมื่อ $0 < K < \infty$ หรือ

$$\angle KG(s)H(s) = 0 + K.360$$

$$\angle KG(s)H(s) = K.360$$

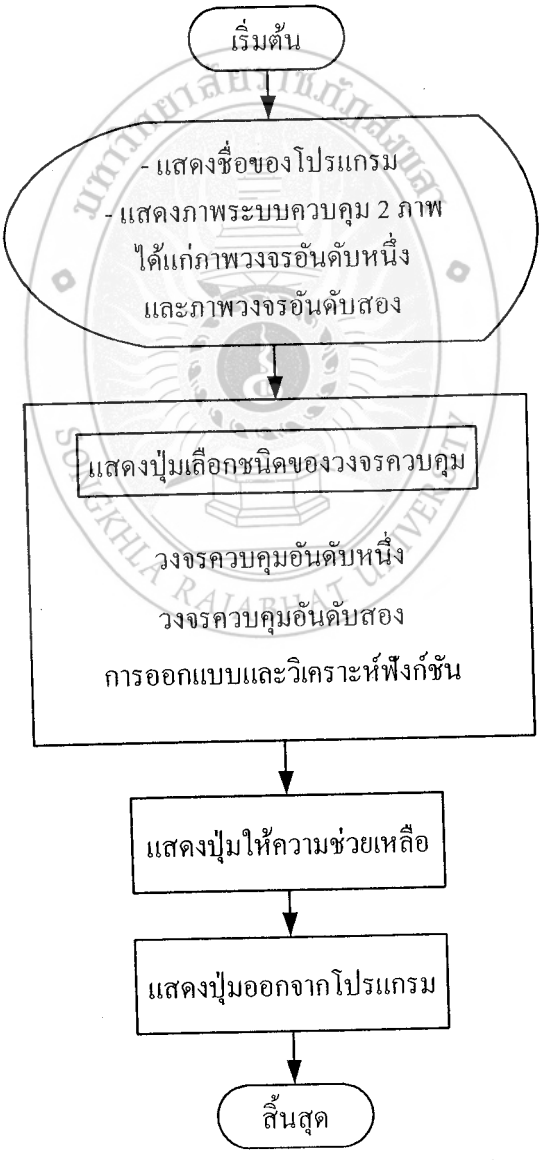
เมื่อ $\infty < K < 0$

สรุปได้ว่า ทางเดินของรากคือ ทางเดินของรากของสมการคุณลักษณะหรือโพลของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบปิดบนระนาบของเอส เมื่อค่าของแฟคเตอร์อัตราการขยาย K แปรจากค่าศูนย์ไปสู่ค่าอนันต์โดยรากจะเริ่มต้นออกจากโพลของฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบเปิด ไปสู่ตำแหน่งของซีโร่ของฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบปิด

## 3.3 การเขียนโปรแกรม

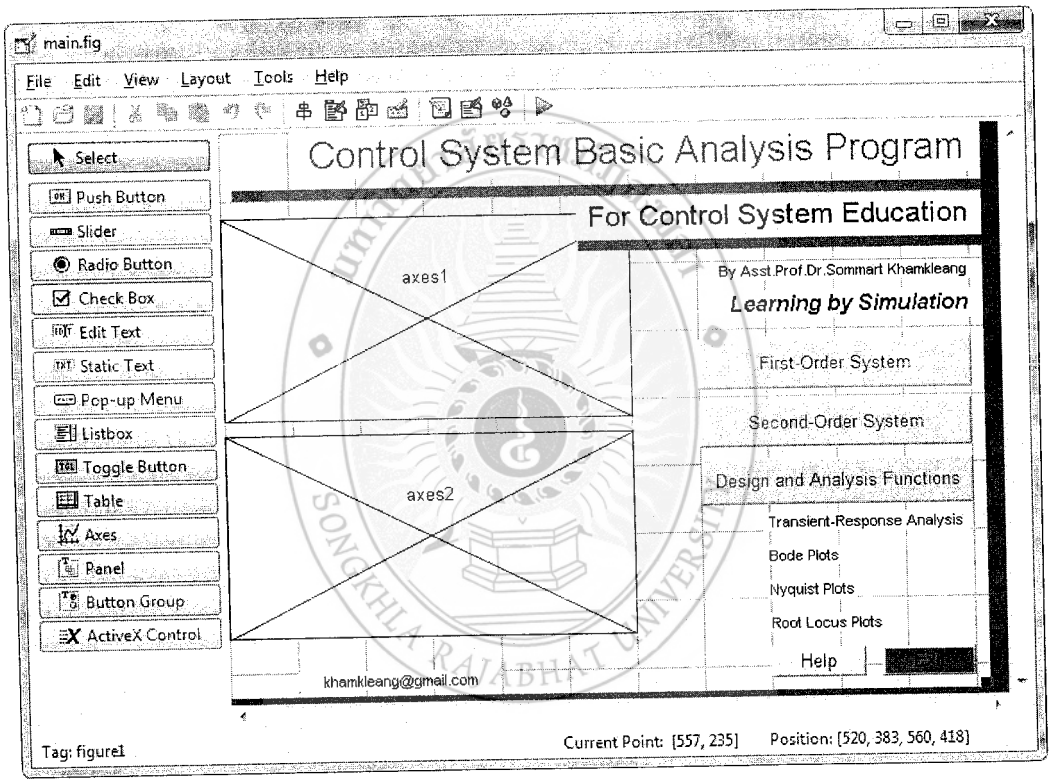
การสร้างโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้ GUI ของ MATLAB จะมีการเขียนโปรแกรมทั้งหมด 4 ส่วน ได้แก่ การเขียนโปรแกรมหน้าต่างหลัก การเขียนโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง การเขียนโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง และ การเขียนโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.3.1 การเขียนโปรแกรมหน้าต่างหลัก




**รูปที่ 3-2** ผังงานการทำงานของโปรแกรมหน้าต่างหลัก

โปรแกรมหน้าต่างหลัก เป็นส่วนที่แสดงปุ่มให้ผู้ใช้งานเลือกวงจรควบคุมแบบต่าง ๆ ได้แก่ วงจรควบคุมอันดับหนึ่ง วงจรควบคุมดันดับสอง การออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน เมื่อเปิดหน้าต่างนี้จะมีการแสดงชื่อของโปรแกรม มีภาพระบบควบคุมแสดงในหน้าต่างโปรแกรมหลัก 2 ภาพ ได้แก่ภาพวงจรอันดับหนึ่ง และภาพวงจรอันดับสอง มีปุ่มให้ความช่วยเหลือ Help และปุ่มเพื่อกดออกจากโปรแกรม [redacted] การเขียนโปรแกรมหน้าต่างหลักนี้ จะเขียนโปรแกรมตามผังงานการทำงานที่ระบุไว้ในรูปที่ 3-2 โดยใช้ฟังก์ชัน GUI ของ MATLAB ผลการสร้างหน้าต่าง GUI แสดงดังรูปที่ 3-3




**รูปที่ 3-3** ผลการเขียนโปรแกรมหน้าต่างหลัก

การเชื่อมต่อภาพระบบควบคุมของโปรแกรมหน้าต่างหลักสามารถทำได้โดยคลิกที่ปุ่ม M-file Editor จะปรากฏหน้าต่าง Editor หลังจากนั้นให้เลื่อนลงมาที่

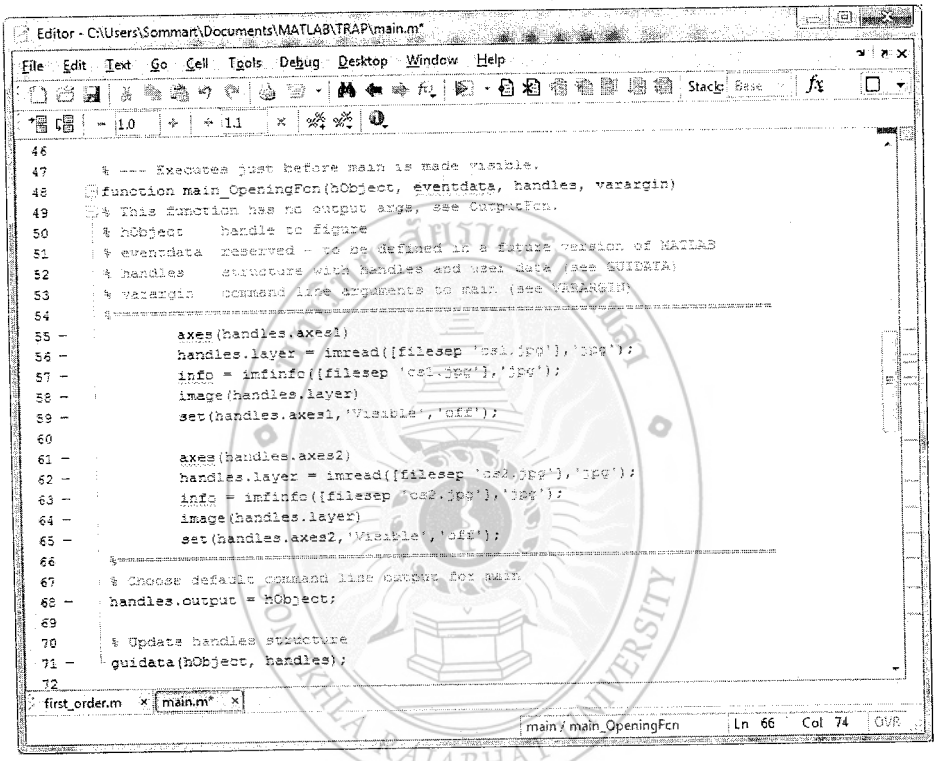
```
function main_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
```

และสามารถเขียนโค๊ดการเชื่อมต่อโดยใช้ไฟล์สคริปของ MATLAB ดังนี้

```
axes(handles.axes1)
handles.layer =imread([filesep 'csl.jpg'],'jpg');
info =imfinfo([filesep 'csl.jpg'],'jpg');
image(handles.layer)
```

```
set(handles.axes1,'Visible','off');

axes(handles.axes2)
handles.layer =imread([filesep 'cs2.jpg'],'jpg');
info =imfinfo([filesep 'cs2.jpg'],'jpg');
image(handles.layer)
set(handles.axes2,'Visible','off');
```

แสดงดังรูปที่ 3-4



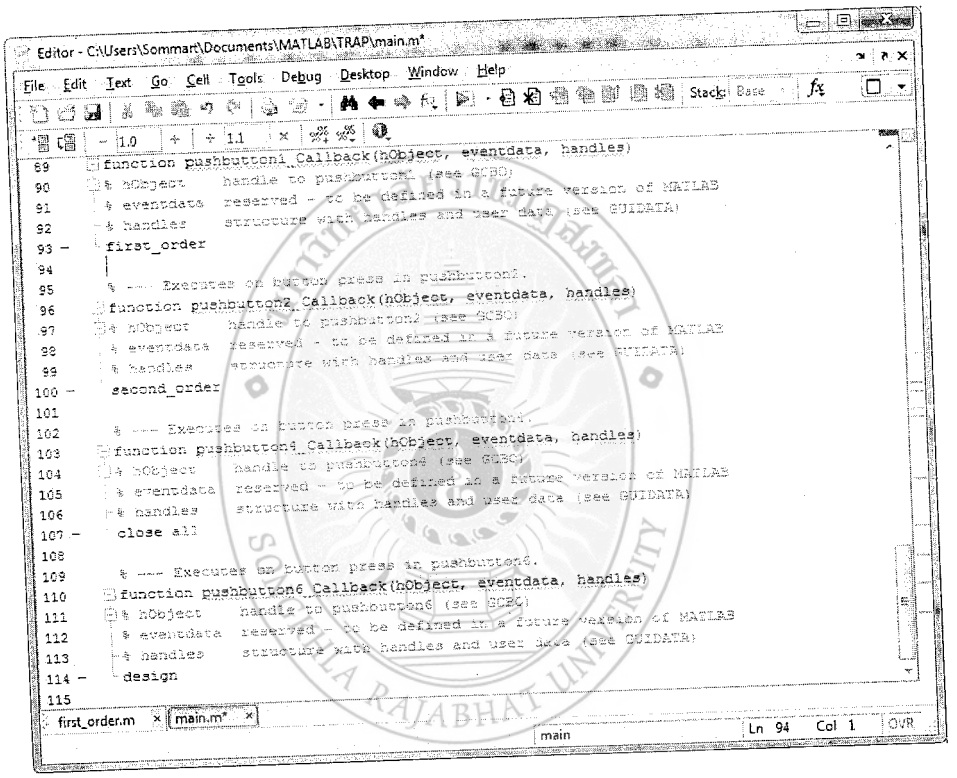

**รูปที่ 3-4** โค๊ดการเชื่อมต่อภาพระบบควบคุมของโปรแกรมหน้าต่างหลัก

การเขียนโค๊ดที่ปุ่มเพื่อเลือกวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่งสามารถทำได้โดยการเลื่อนไฟล์ลงมาที่ `function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)`และสามารถเขียนโค๊ดการเชื่อมต่อดังนี้ `first_order` (เป็นชื่อของหน้าต่างโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง)

การเขียนโค๊ดที่ปุ่มเพื่อเลือกวิเคราะห์วงจรอันดับสองสามารถทำได้โดยการเลื่อนไฟล์ลงมาที่ `function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)`และสามารถเขียนโค๊ดการเชื่อมต่อดังนี้ `second_order` (เป็นชื่อของหน้าต่างโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง)

การเขียนโค๊ดที่ปุ่มเพื่อเลือกวิเคราะห์วงจรอันดับสองสามารถทำได้โดยการเลื่อนไฟล์ลงมาที่ `function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)`และสามารถเขียนโค๊ดการเชื่อมต่อดังนี้ `second_order` (เป็นชื่อของหน้าต่างโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง)

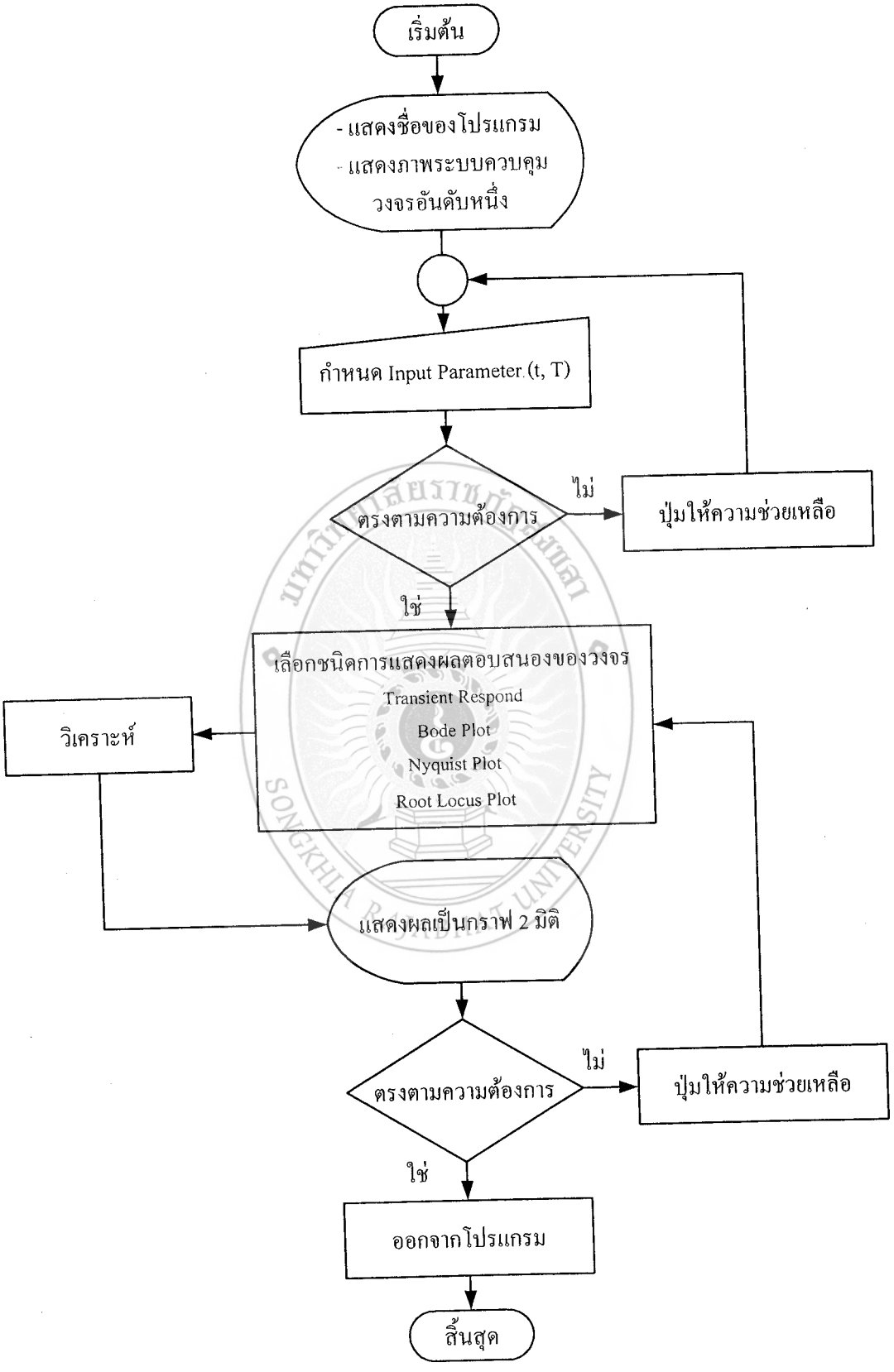
การเขียนโค๊ดที่ปุ่มเพื่อปิดโปรแกรมสามารถทำได้โดยการเลื่อนไฟล์ลงมาที่ `function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)`และสามารถเขียนโค๊ดการเชื่อมต่อดังนี้ `close all` แสดงได้ดังรูปที่ 3-5




**รูปที่ 3-5** โค๊ดการเชื่อมต่อให้ผู้ใช้งานเลือกวงจรควบคุมแบบต่าง ๆ ได้แก่ วงจรควบคุมอันดับหนึ่ง วงจรควบคุมดันดับสอง การออกแบบและวิเคราะห์วงจรควบคุม ของโปรแกรมหน้าต่างหลัก

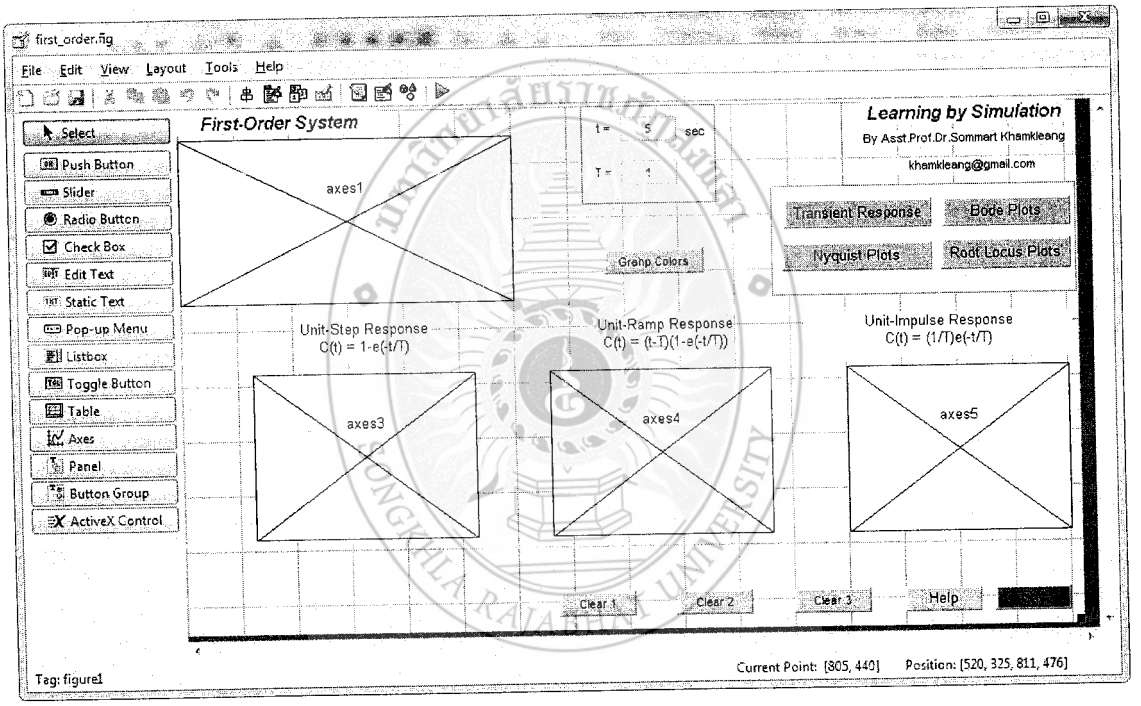
### 3.3.2 โปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง

โปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง เป็นส่วนที่เชื่อมโยงมาจากโปรแกรมหน้าต่างเมนูหลัก เมื่อเปิดหน้าต่างโปรแกรมนี้จะปรากฏชื่อของโปรแกรม แสดงภาพวงจรอันดับหนึ่ง และสามารถกำหนดค่าตัวแปรที่นำไปใช้วิเคราะห์ตามสมการทางคณิตศาสตร์ (Input parameter) แสดงผังการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3-6

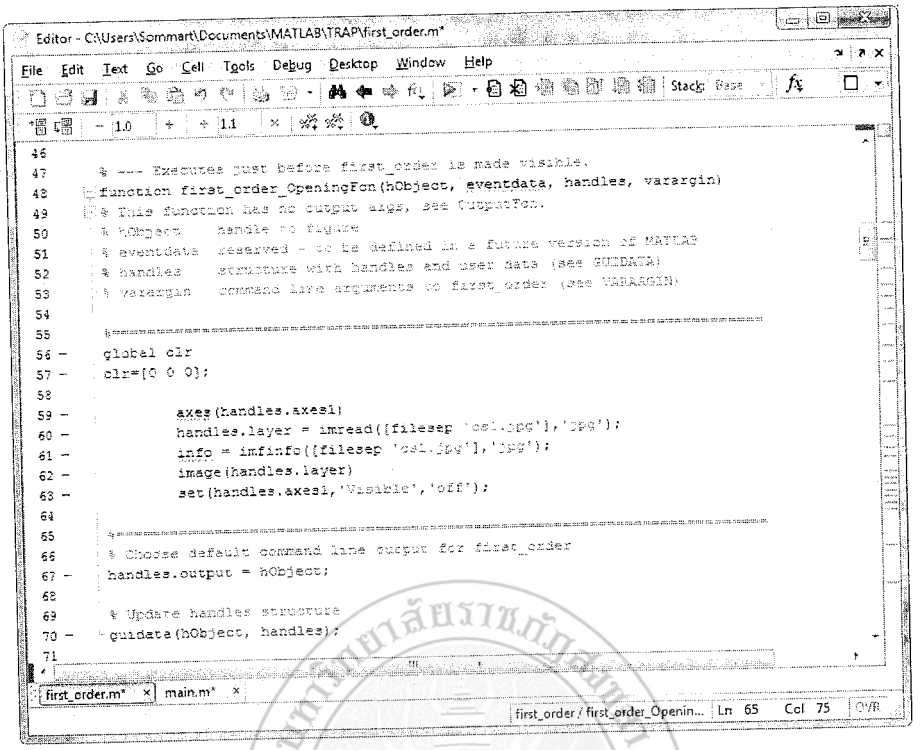



**รูปที่ 3-6** ผังงานการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง

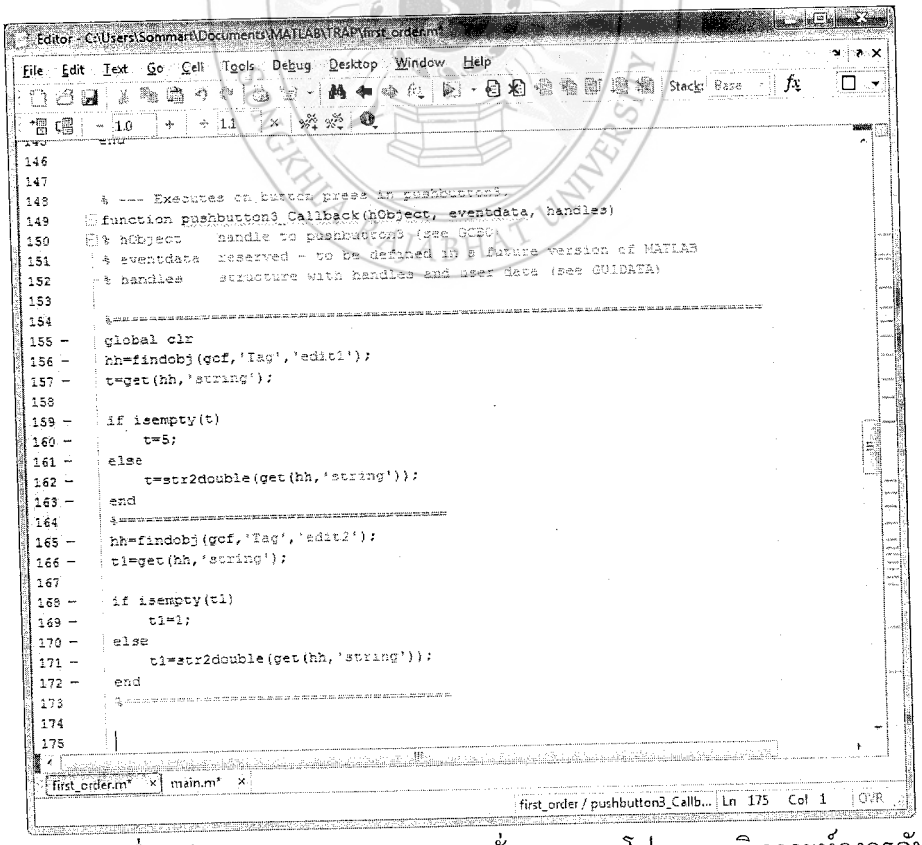
มีรูปแบบของผลการตอบสนอง ได้แก่ การจำลองผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient Respond) การจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเด (Bode Plot) การจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ (Nyquist Plot) การจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก (Root Locus Plot) สามารถเปลี่ยนสีของเส้นกราฟโดยเลือกปุ่ม Grahp Colors สามารถลบกราฟผลตอบสนองที่แสดงได้โดยเลือกปุ่ม Clear 1 Clear 2 Clear 3 ตามลำดับ มีปุ่มให้ความช่วยเหลือ Help และปุ่มเพื่อกดออกจากโปรแกรม EXIT การเขียนหน้าต่างนี้จะใช้ GUI ของ MATLAB แสดงดังรูปที่ 3-7 หลังจากนั้นเขียนโค๊ดการเชื่อมต่อในแต่ละส่วนโดยใช้ไฟล์สคริปของ MATLAB แสดงดังรูปที่ 3-8 ถึงรูปที่ 3-14



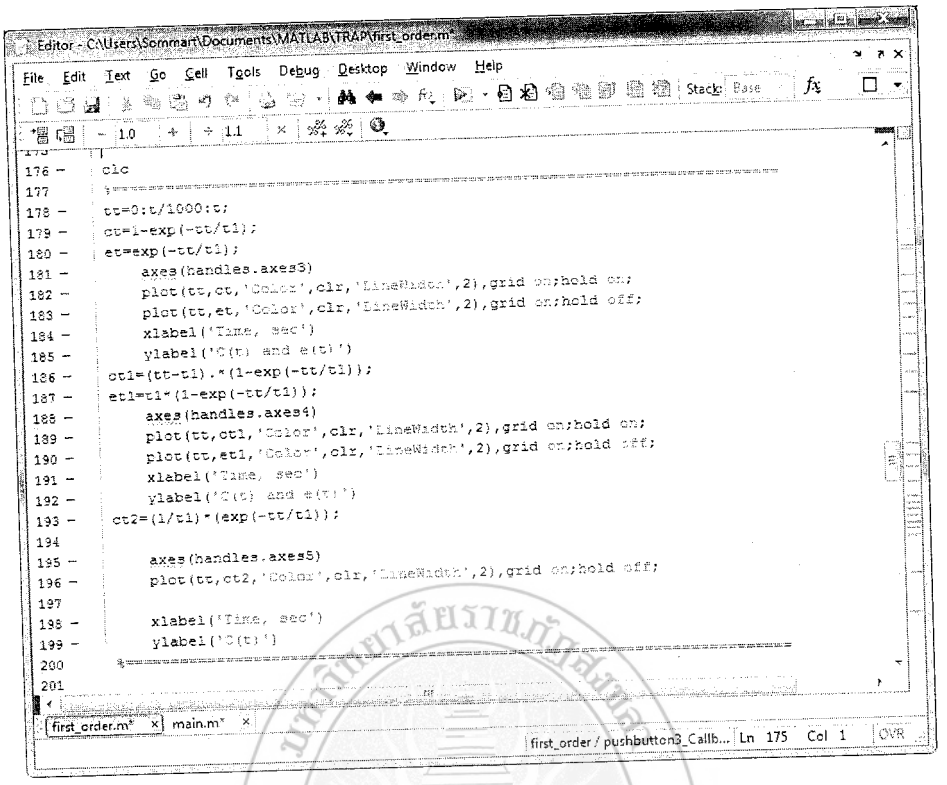

**รูปที่ 3-7** โปรกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง




**รูปที่ 3-8** โค๊ดการเชื่อมต่อภาพระบบควบคุมของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง

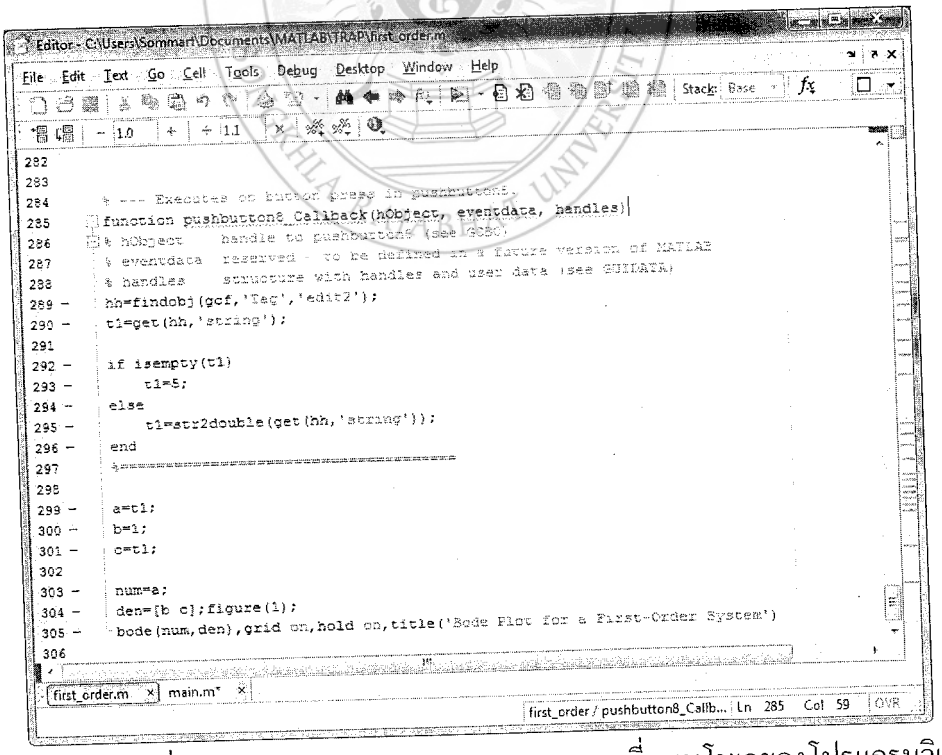



**รูปที่ 3-9** โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง



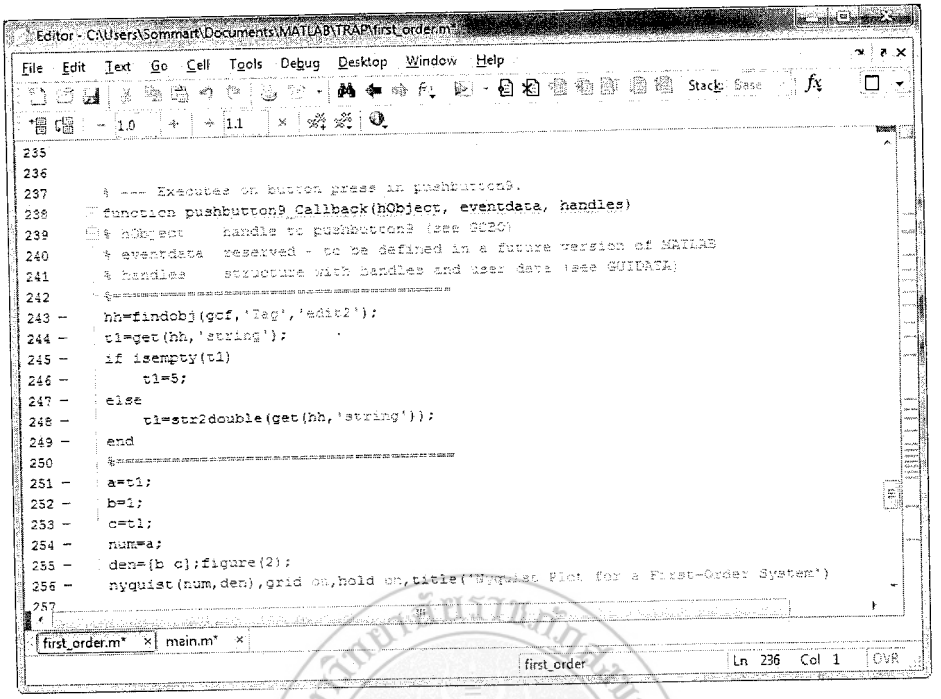
```
clc
%-------------------------------------------------------------------------
tt=0:t/1000:t;
ct=1-exp(-tt/t1);
et=exp(-tt/t1);
    axes(handles.axes3)
    plot(tt,ct,'Color',clr,'LineWidth',2),grid on;hold on;
    plot(tt,et,'Color',clr,'LineWidth',2),grid on;hold off;
    xlabel('Time, sec')
    ylabel('C(t) and e(t)')
ct1=(tt-t1).*(1-exp(-tt/t1));
et1=t1*(1-exp(-tt/t1));
    axes(handles.axes4)
    plot(tt,ct1,'Color',clr,'LineWidth',2),grid on;hold on;
    plot(tt,et1,'Color',clr,'LineWidth',2),grid on;hold off;
    xlabel('Time, sec')
    ylabel('C(t) and e(t)')
ct2=(1/t1)*(exp(-tt/t1));

    axes(handles.axes5)
    plot(tt,ct2,'Color',clr,'LineWidth',2),grid on;hold off;

    xlabel('Time, sec')
    ylabel('C(t)')
%-------------------------------------------------------------------------
```

**รูปที่ 3-9** (ต่อ)

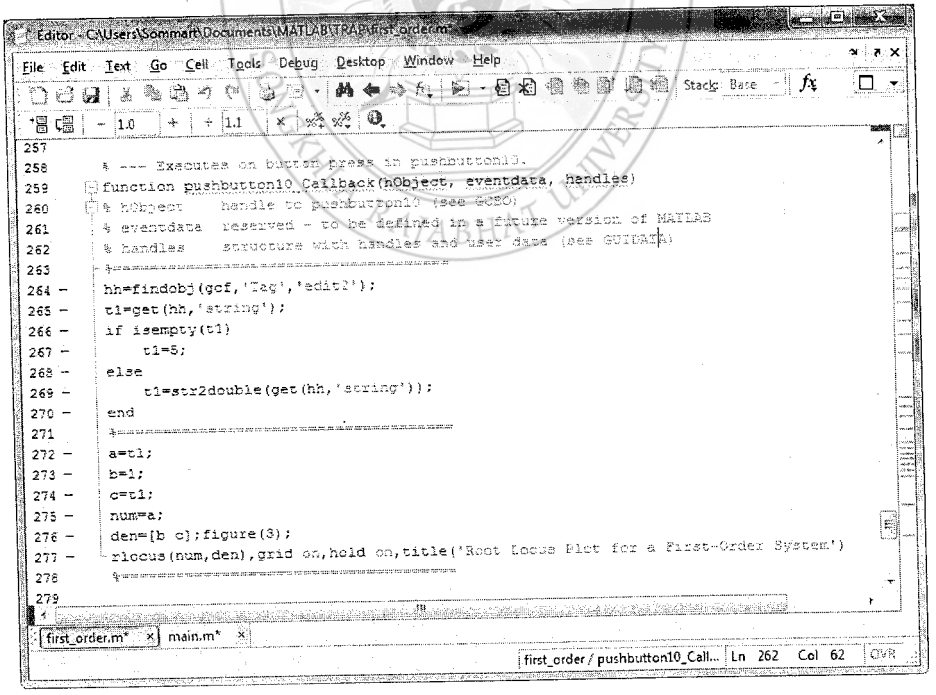


```
% --- Executes on button press in pushbutton8.
function pushbutton8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
hh=findobj(gcf,'Tag','edit2');
t1=get(hh,'string');

if isempty(t1)
    t1=5;
else
    t1=str2double(get(hh,'string'));
end
%-------------------------------------------------------------------------

a=t1;
b=1;
c=t1;

num=a;
den=[b c];figure(1);
bode(num,den),grid on,hold on,title('Bode Plot for a First-Order System')
```

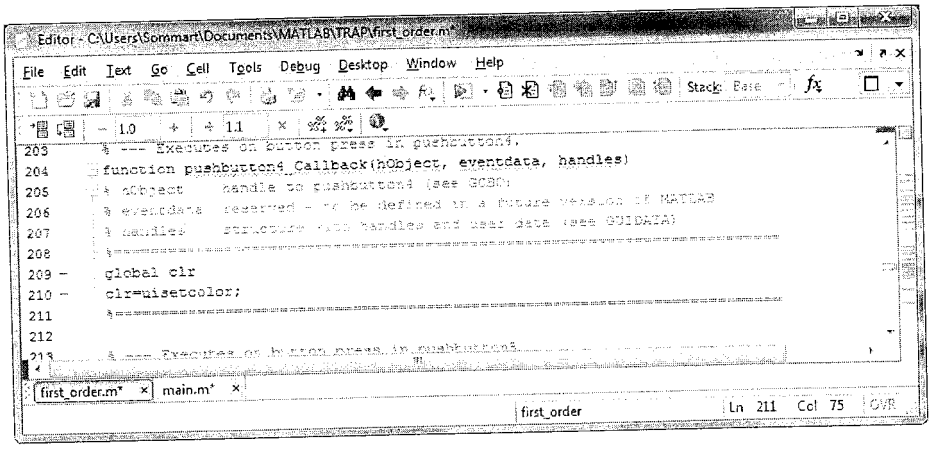
**รูปที่ 3-10** โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเดของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง



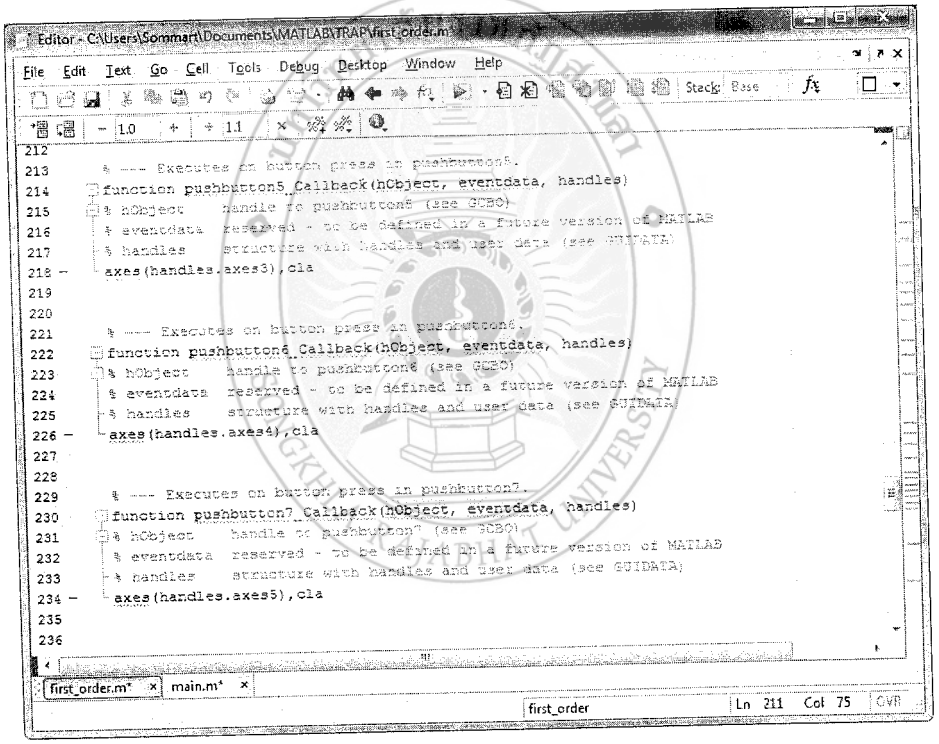

**รูปที่ 3-11** โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง




**รูปที่ 3-12** โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของรากของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง



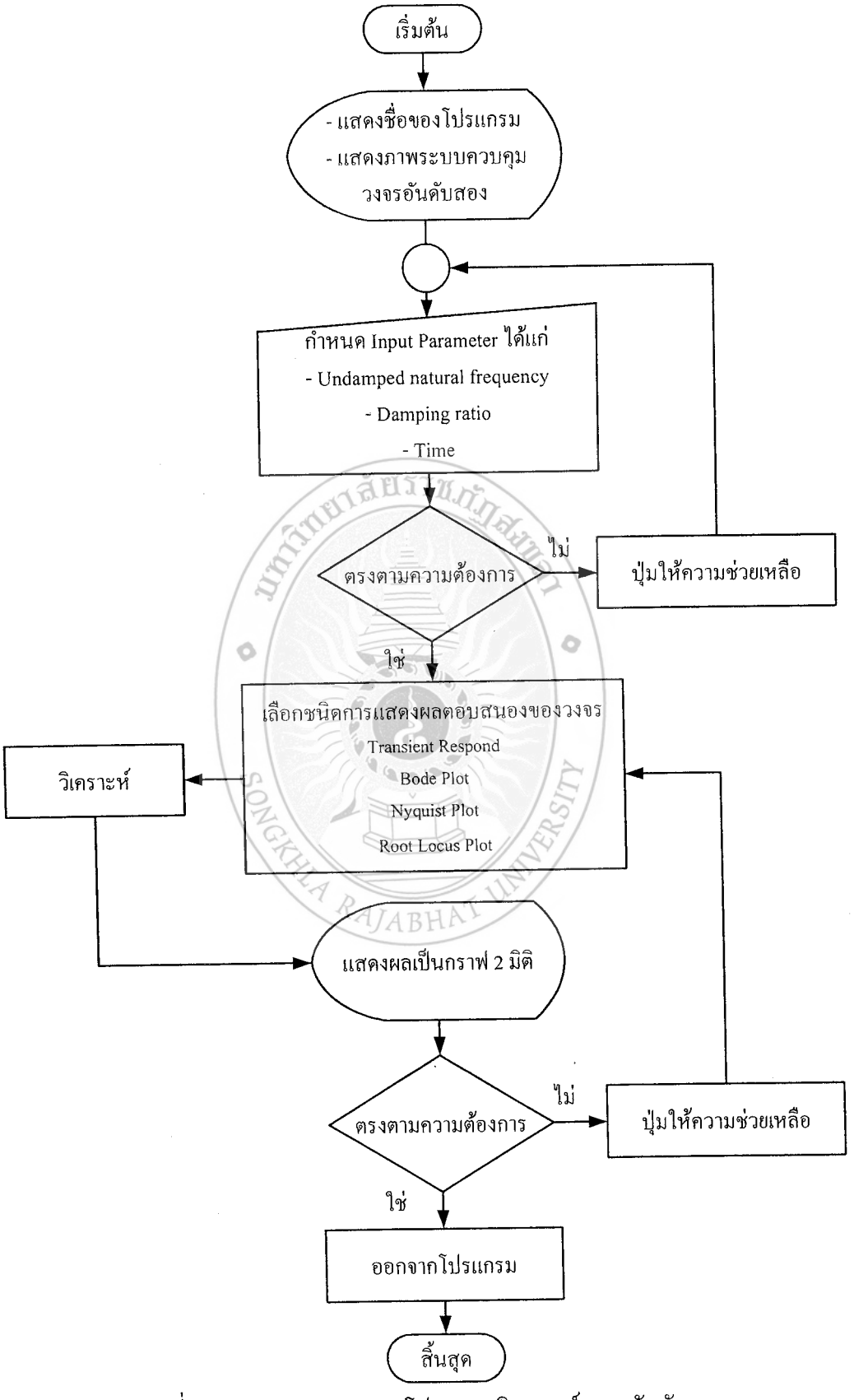

**รูปที่ 3-13** โค๊ดเปลี่ยนสีของเส้นกราฟของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง




**รูปที่ 3-14** โค๊ดการลบกราฟผลตอบสนองของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง

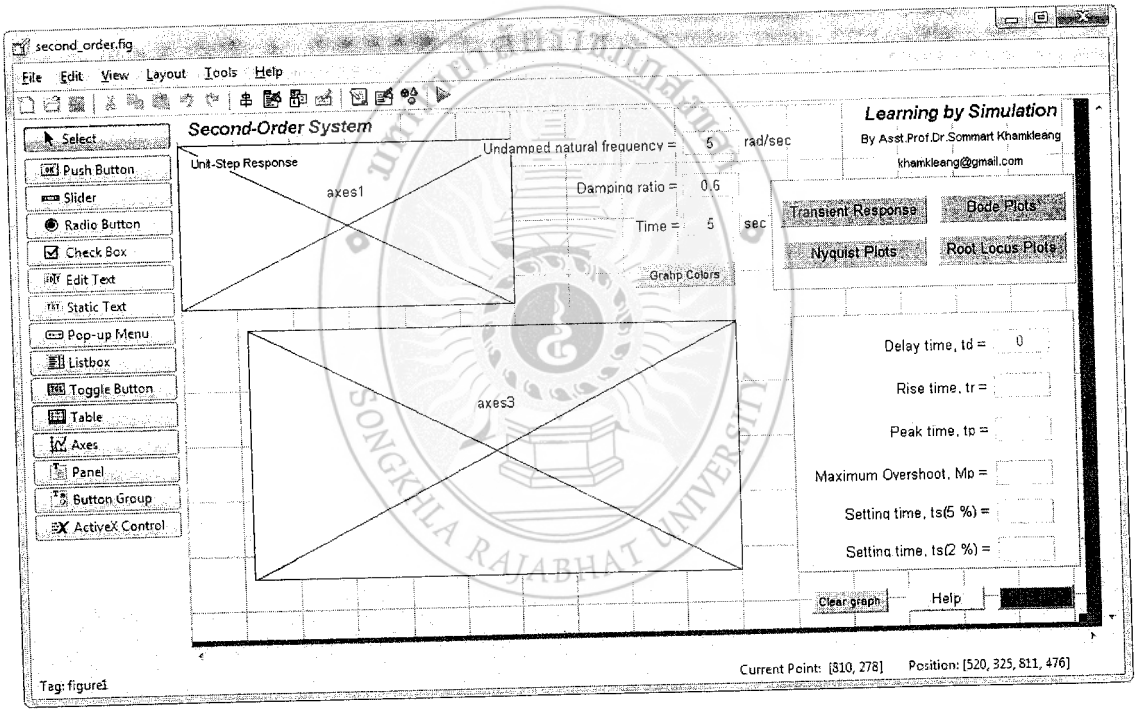
### 3.3.3 โปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง

โปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง เป็นส่วนที่เชื่อมโยงมาจากโปรแกรมหน้าต่างเมนูหลัก แสดงผังการทำงานดังรูปที่ 3-15

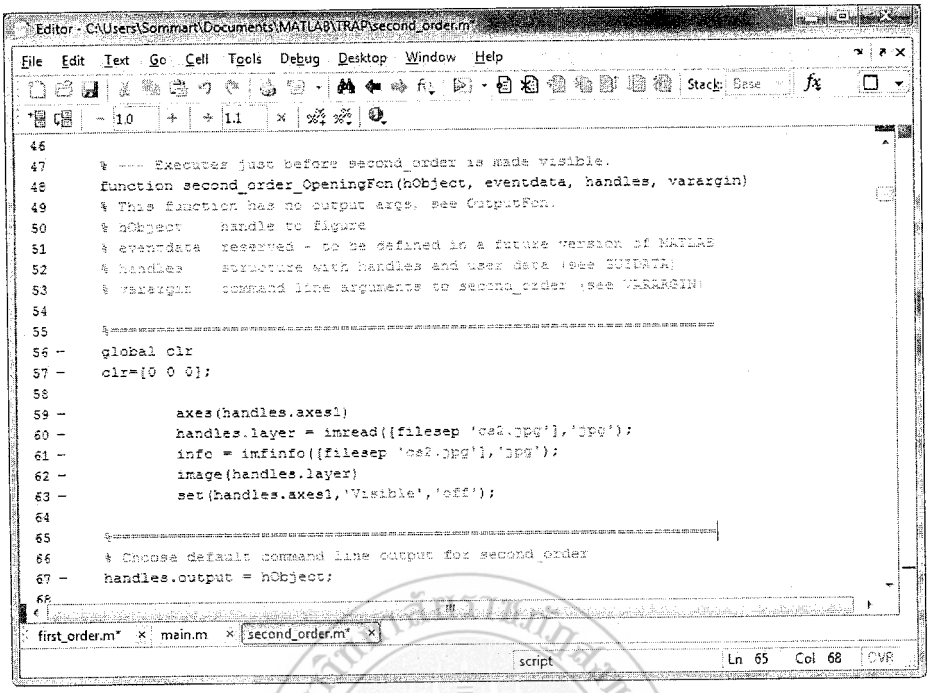



**รูปที่ 3-15** ผังการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง

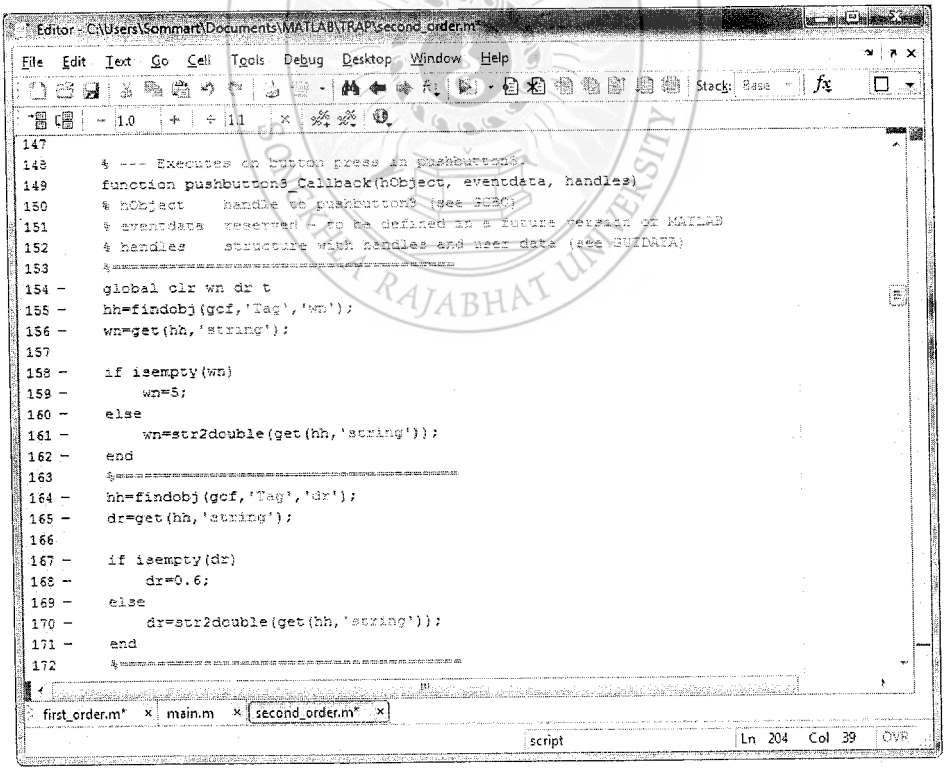
เมื่อเปิดหน้าต่างโปรแกรมนี้จะปรากฏชื่อของโปรแกรม และมีการแสดงภาพวงจรอันดับสอง สามารถกำหนดค่าตัวแปรที่นำไปใช้วิเคราะห์ตามสมการทางคณิตศาสตร์ (Input parameter) โดยมีรูปแบบของผลการตอบสนอง ได้แก่ การจำลองผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient Respond) การจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเด (Bode Plot) การจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ (Nyquist Plot) การจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก (Root Locus Plot) สามารถเปลี่ยนสีของเส้นกราฟโดยเลือกปุ่ม Grahp Colors สามารถลบกราฟผลตอบสนองที่แสดงได้โดยเลือกปุ่ม Clear 1 ตามลำดับ มีปุ่มให้ความช่วยเหลือ Help และปุ่มเพื่อกดออกจากโปรแกรม การเขียนหน้าต่างนี้จะใช้ GUI ของ MATLAB แสดงดังรูปที่ 3-16 หลังจากนั้นเขียนโค๊ดการเชื่อมต่อในแต่ละส่วนโดยใช้ไฟล์สคริปของ MATLAB แสดงดังรูปที่ 3-17 ถึงรูปที่ 3-23



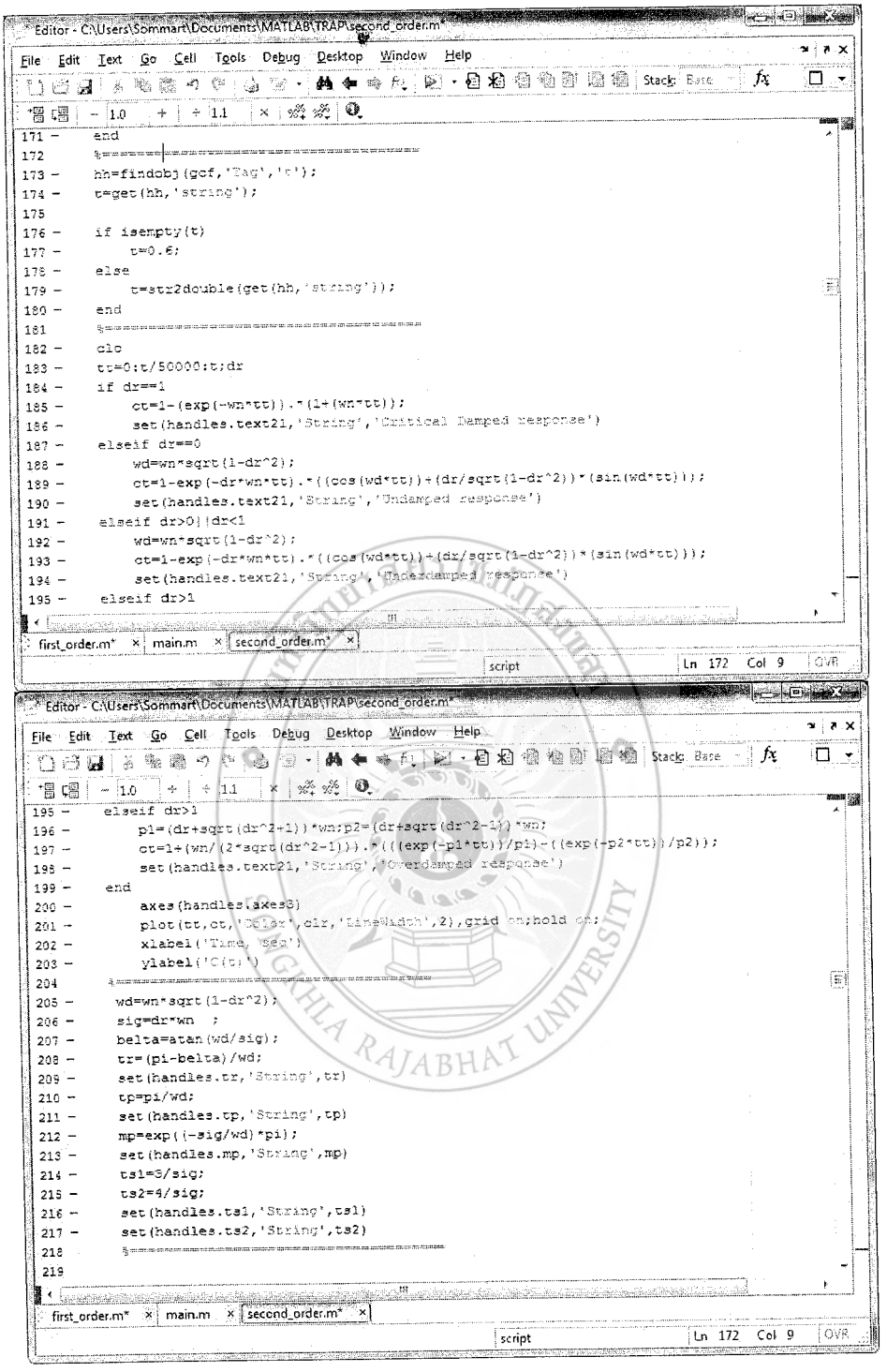

**รูปที่ 3-16** โปรกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง




**รูปที่ 3-17** โค๊ดการเชื่อมต่อภาพระบบควบคุมของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง




**รูปที่ 3-18** โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง



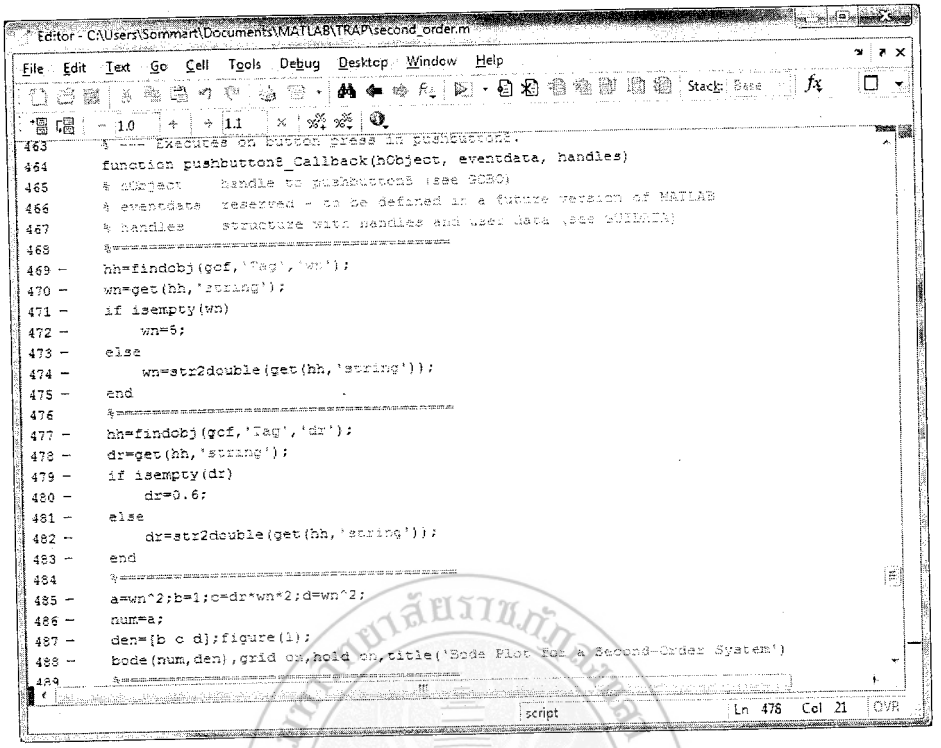
```
171 -    end
172      %=========================================
173 -    hh=findobj(gcf,'Tag','t');
174 -    t=get(hh,'string');
175
176 -    if isempty(t)
177 -        t=0.6;
178 -    else
179 -        t=str2double(get(hh,'string'));
180 -    end
181      %=========================================
182 -    clc
183 -    tt=0:t/50000:t;dr
184 -    if dr==1
185 -        ct=1-(exp(-wn*tt)).*(1+(wn*tt));
186 -        set(handles.text21,'String','Critical Damped response')
187 -    elseif dr==0
188 -        wd=wn*sqrt(1-dr^2);
189 -        ct=1-exp(-dr*wn*tt).*((cos(wd*tt))+(dr/sqrt(1-dr^2))*(sin(wd*tt)));
190 -        set(handles.text21,'String','Undamped response')
191 -    elseif dr>0||dr<1
192 -        wd=wn*sqrt(1-dr^2);
193 -        ct=1-exp(-dr*wn*tt).*((cos(wd*tt))+(dr/sqrt(1-dr^2))*(sin(wd*tt)));
194 -        set(handles.text21,'String','Underdamped response')
195 -    elseif dr>1
```

first_order.m* | main.m | second_order.m* | script | Ln 172 Col 9 | OVR

```
195 -    elseif dr>1
196 -        p1=(dr+sqrt(dr^2+1))*wn;p2=(dr+sqrt(dr^2-1))*wn;
197 -        ct=1+(wn/(2*sqrt(dr^2-1))).*(((exp(-p1*tt))/p1)-((exp(-p2*tt))/p2));
198 -        set(handles.text21,'String','Overdamped response')
199 -    end
200 -        axes(handles.axes3)
201 -        plot(tt,ct,'Color',clr,'LineWidth',2),grid on;hold on;
202 -        xlabel('Time, Sec')
203 -        ylabel('C(t)')
204      %=========================================
205 -     wd=wn*sqrt(1-dr^2);
206 -     sig=dr*wn  ;
207 -     belta=atan(wd/sig);
208 -     tr=(pi-belta)/wd;
209 -     set(handles.tr,'String',tr)
210 -     tp=pi/wd;
211 -     set(handles.tp,'String',tp)
212 -     mp=exp((-sig/wd)*pi);
213 -     set(handles.mp,'String',mp)
214 -     ts1=3/sig;
215 -     ts2=4/sig;
216 -     set(handles.ts1,'String',ts1)
217 -     set(handles.ts2,'String',ts2)
218      %=========================================
219
```

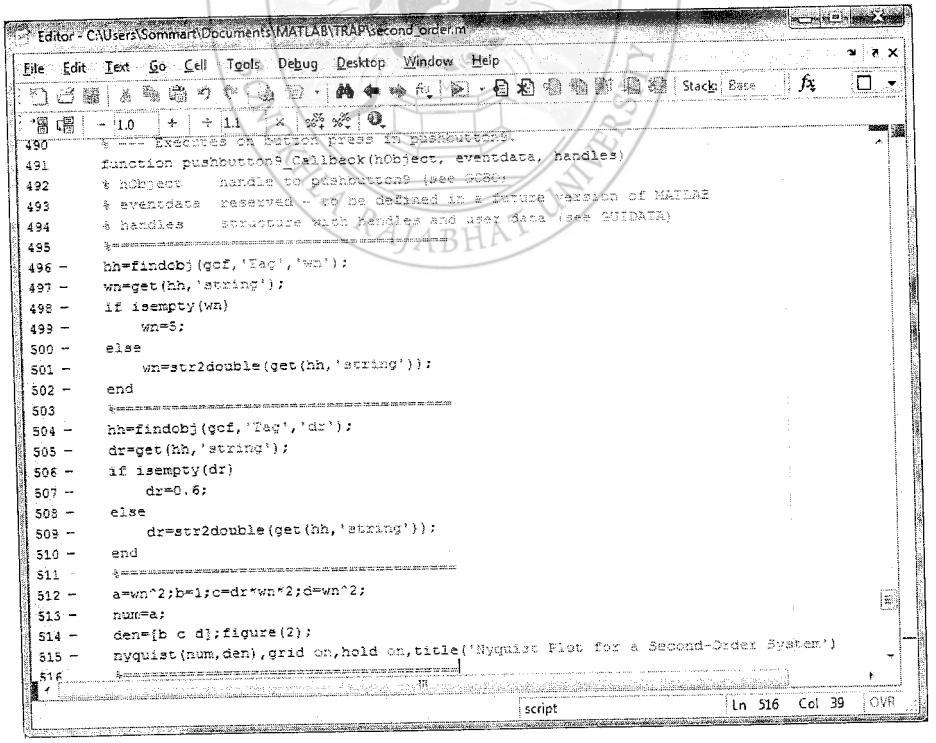
first_order.m* | main.m | second_order.m* | script | Ln 172 Col 9 | OVR

**รูปที่ 3-18** (ต่อ)



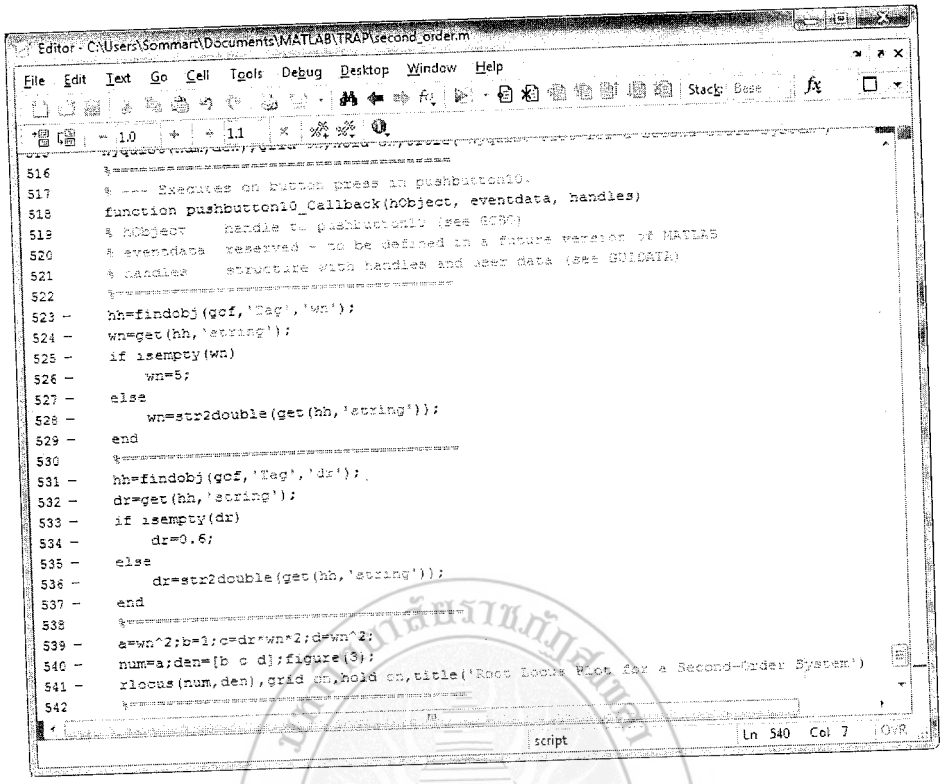
```
Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\second_order.m
File  Edit  Text  Go  Cell  Tools  Debug  Desktop  Window  Help
463     % --- Executes on button press in pushbutton8.
464     function pushbutton8_Callback(hObject, eventdata, handles)
465     % hObject    handle to pushbutton8 (see GCBO)
466     % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
467     % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
468     %=========================================
469 -   hh=findobj(gcf,'Tag','wn');
470 -   wn=get(hh,'string');
471 -   if isempty(wn)
472 -       wn=5;
473 -   else
474 -       wn=str2double(get(hh,'string'));
475 -   end
476     %=========================================
477 -   hh=findobj(gcf,'Tag','dr');
478 -   dr=get(hh,'string');
479 -   if isempty(dr)
480 -       dr=0.6;
481 -   else
482 -       dr=str2double(get(hh,'string'));
483 -   end
484     %=========================================
485 -   a=wn^2;b=1;c=dr*wn*2;d=wn^2;
486 -   num=a;
487 -   den=[b c d];figure(1);
488 -   bode(num,den),grid on,hold on,title('Bode Plot for a Second-Order System')
489     %=========================================
script                                   Ln 478  Col 21  OVR
```

**รูปที่ 3-19** โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเดของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง

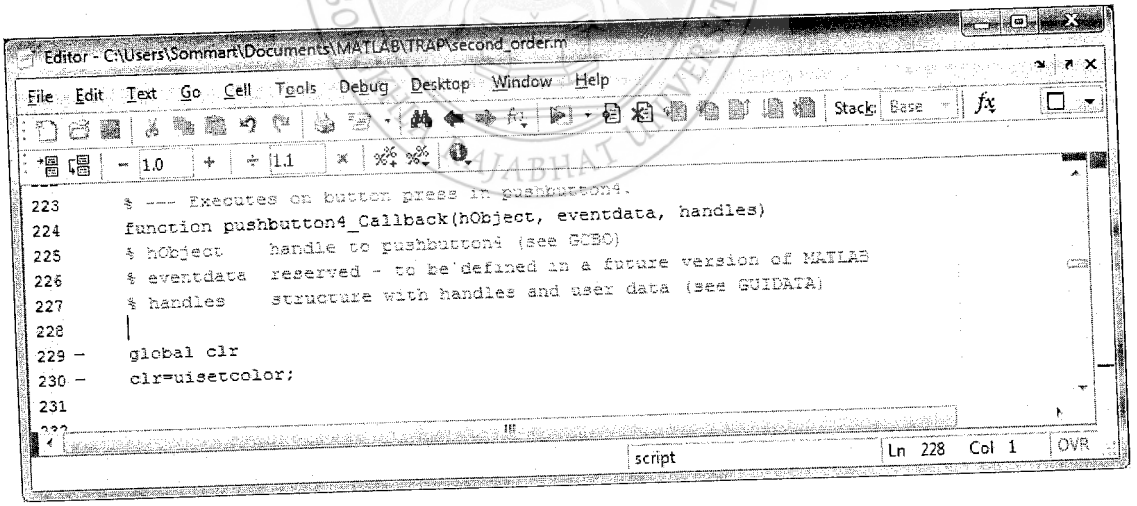


```
Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\second_order.m
File  Edit  Text  Go  Cell  Tools  Debug  Desktop  Window  Help
490     % --- Executes on button press in pushbutton8.
491     function pushbutton8_Callback(hObject, eventdata, handles)
492     % hObject    handle to pushbutton8 (see GCBO)
493     % eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
494     % handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
495     %=========================================
496 -   hh=findobj(gcf,'Tag','wn');
497 -   wn=get(hh,'string');
498 -   if isempty(wn)
499 -       wn=5;
500 -   else
501 -       wn=str2double(get(hh,'string'));
502 -   end
503     %=========================================
504 -   hh=findobj(gcf,'Tag','dr');
505 -   dr=get(hh,'string');
506 -   if isempty(dr)
507 -       dr=0.6;
508 -   else
509 -       dr=str2double(get(hh,'string'));
510 -   end
511     %=========================================
512 -   a=wn^2;b=1;c=dr*wn*2;d=wn^2;
513 -   num=a;
514 -   den=[b c d];figure(2);
515 -   nyquist(num,den),grid on,hold on,title('Nyquist Plot for a Second-Order System')
516     %=========================================
script                                   Ln 516  Col 39  OVR
```

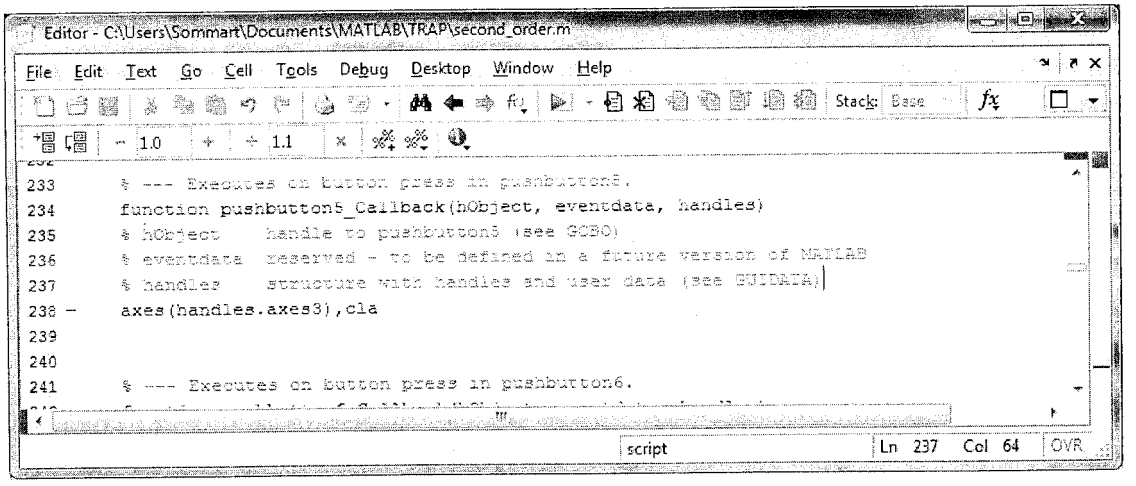
**รูปที่ 3-20** โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง




**รูปที่ 3-21** โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของรากของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง



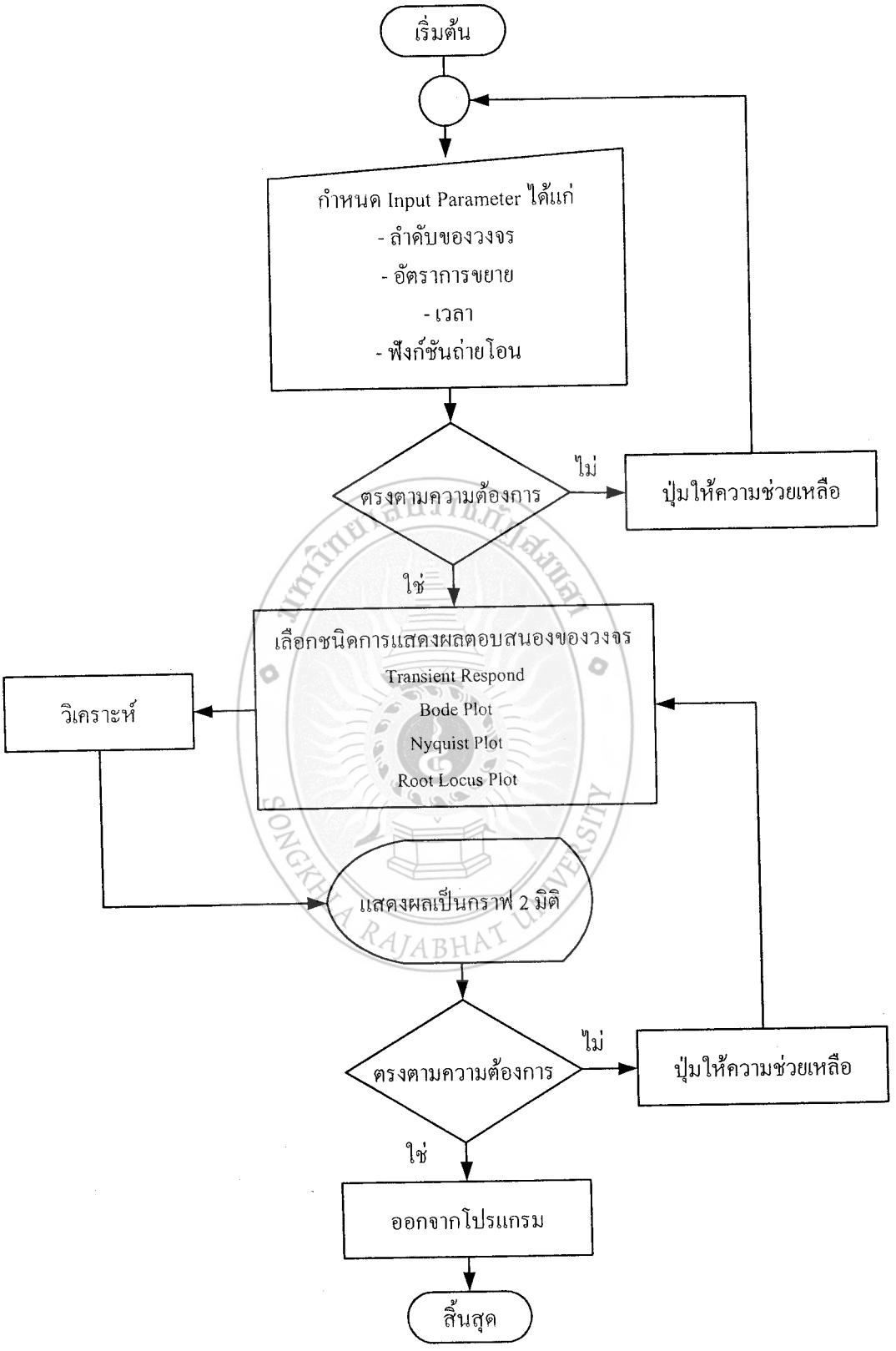

**รูปที่ 3-22** โค๊ดเปลี่ยนสีของเส้นกราฟของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง



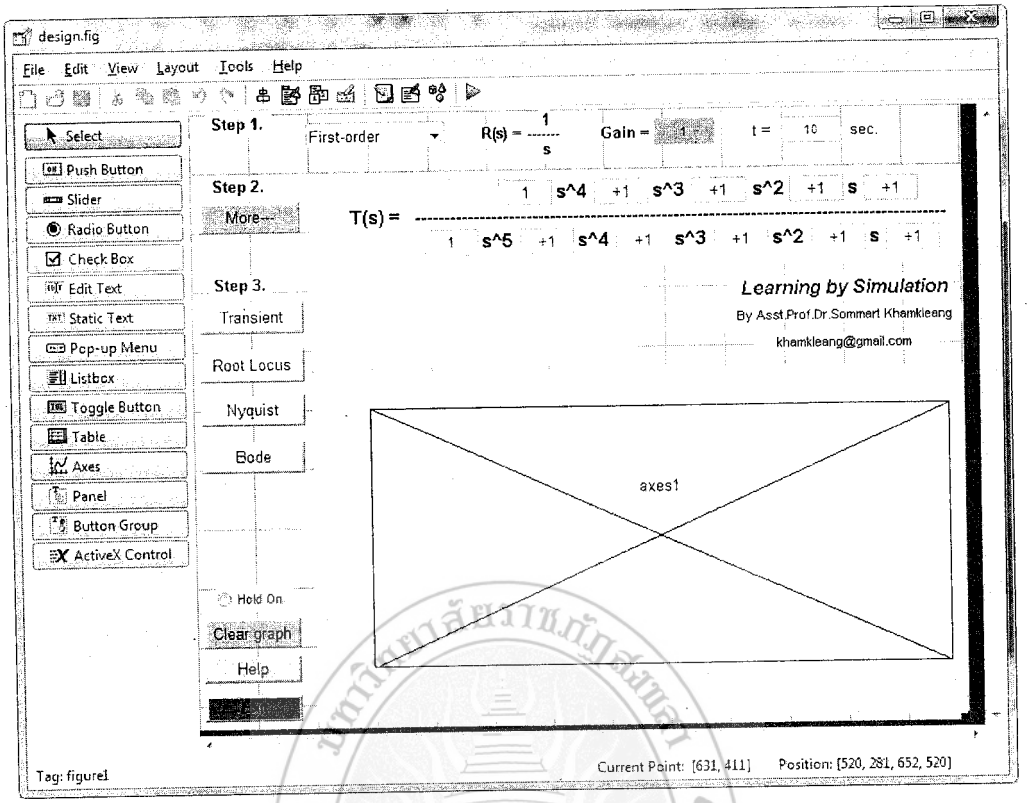

**รูปที่ 3-23** โค๊ดการลบกราฟผลตอบสนองของโปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง

### 3.3.4 โปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน

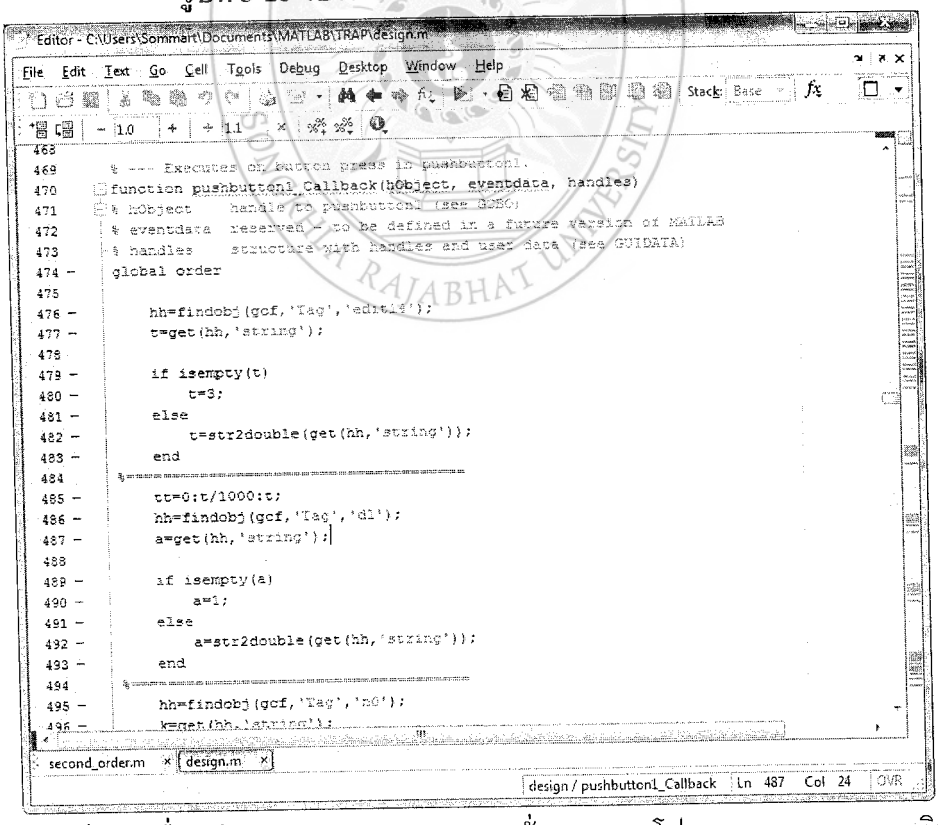
โปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน แสดงผังการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3-24 เป็นส่วนที่เชื่อมโยงมาจากโปรแกรมหน้าต่างเมนูหลัก สามารถกำหนดค่าตัวแปรที่นำไปใช้วิเคราะห์ตามสมการทางคณิตศาสตร์ตามรูปแบบของผลตอบสนอง ได้แก่ การจำลองผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient Respond) การจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเด (Bode Plot) การจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ (Nyquist Plot) การจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก (Root Locus Plot) และลำดับ (Order) ของวงจรควบคุม สามารถลบกราฟผลตอบสนองที่แสดงได้โดยเลือกปุ่ม Clear 1 ตามลำดับ มีปุ่มให้ความช่วยเหลือ Help และปุ่มเพื่อกดออกจากโปรแกรม [redacted] การเขียนหน้าต่างนี้จะใช้ GUI ของ MATLAB แสดงดังรูปที่ 3-25 หลังจากนั้นเขียนโค๊ดการเชื่อมต่อในแต่ละส่วนโดยใช้ไฟล์สคริปของ MATLAB แสดงดังรูปที่ 3-26 ถึงรูปที่ 3-30



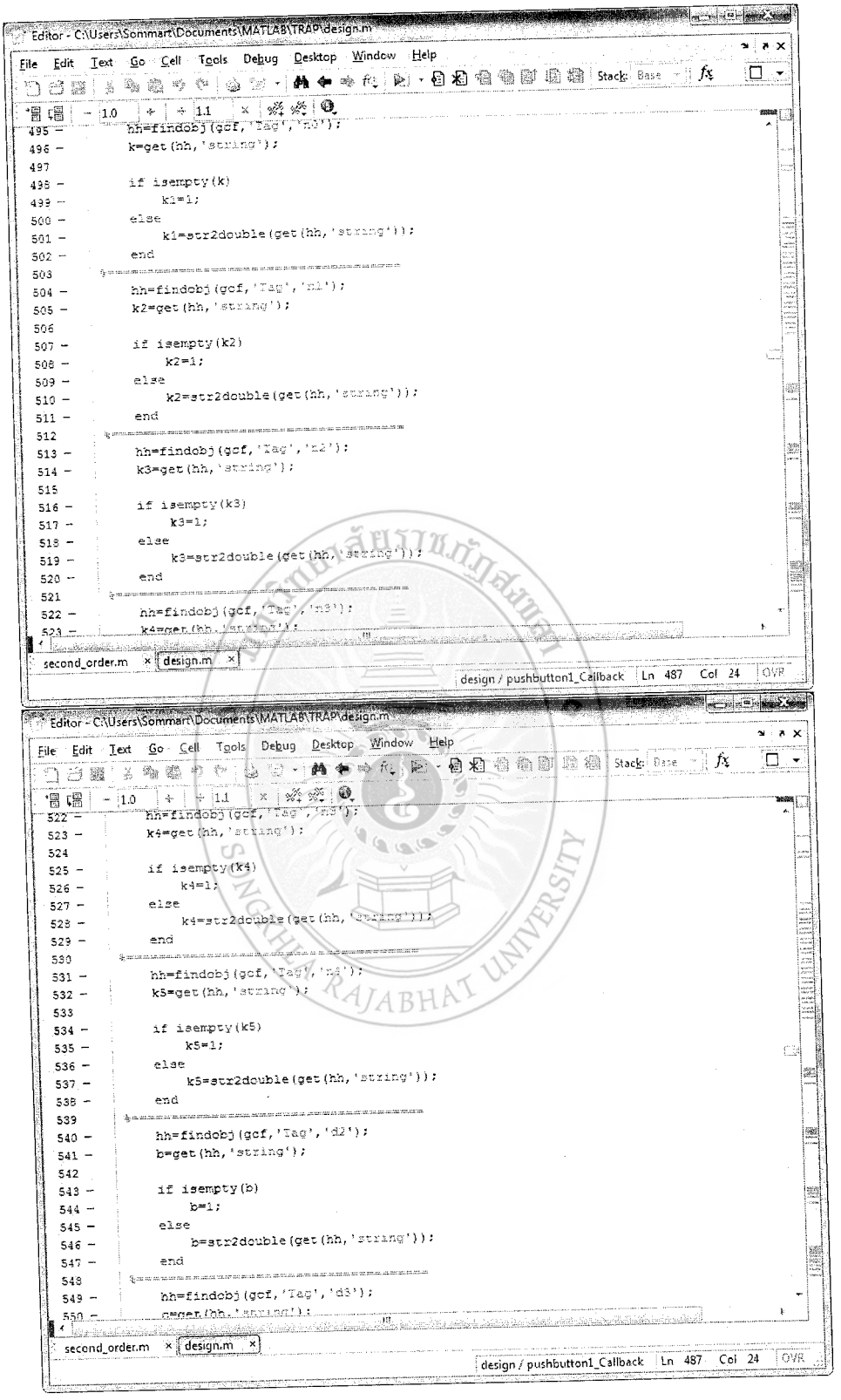

**รูปที่ 3-24** ผังการทำงานของโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน



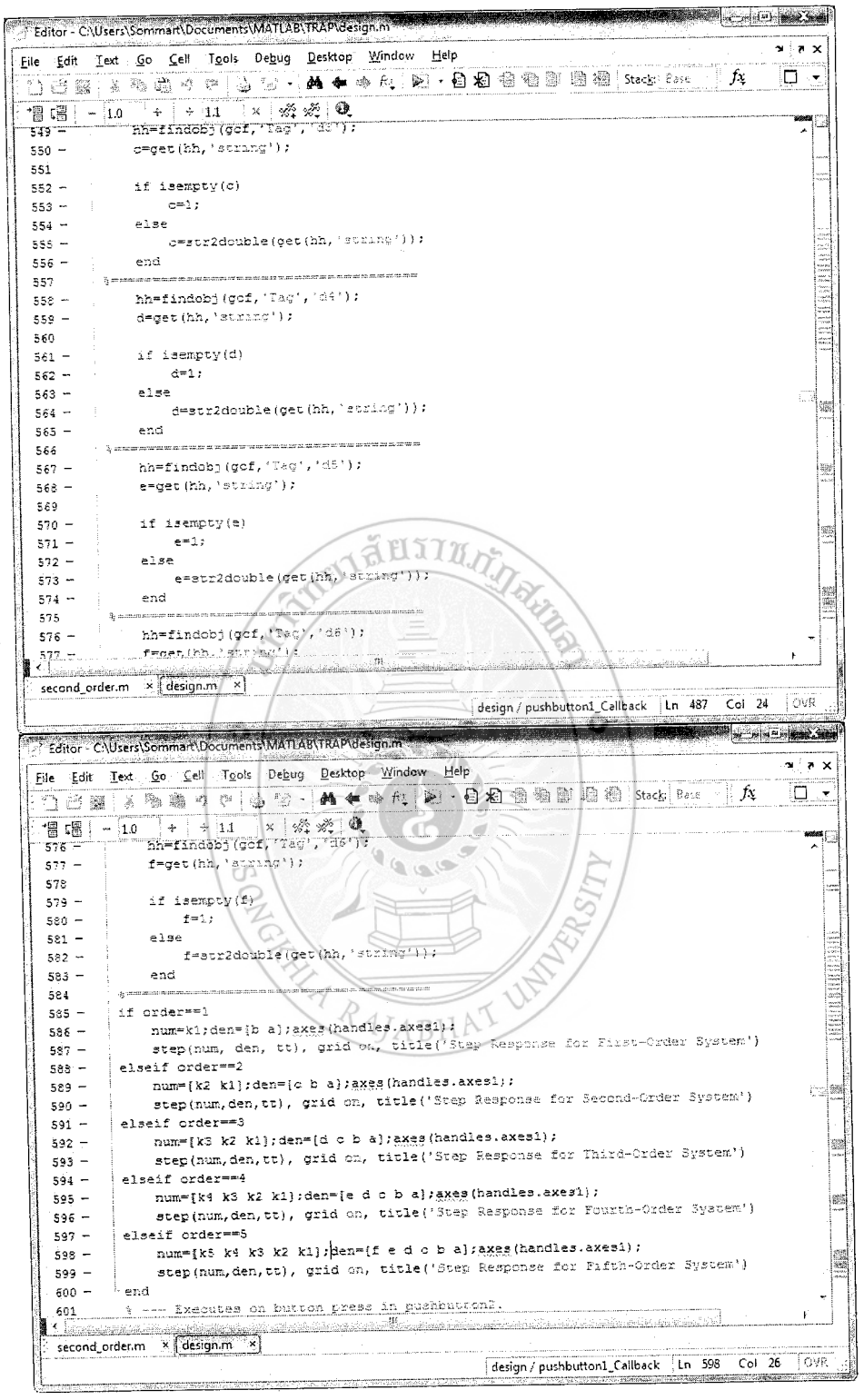

**รูปที่ 3-25** โปรกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน



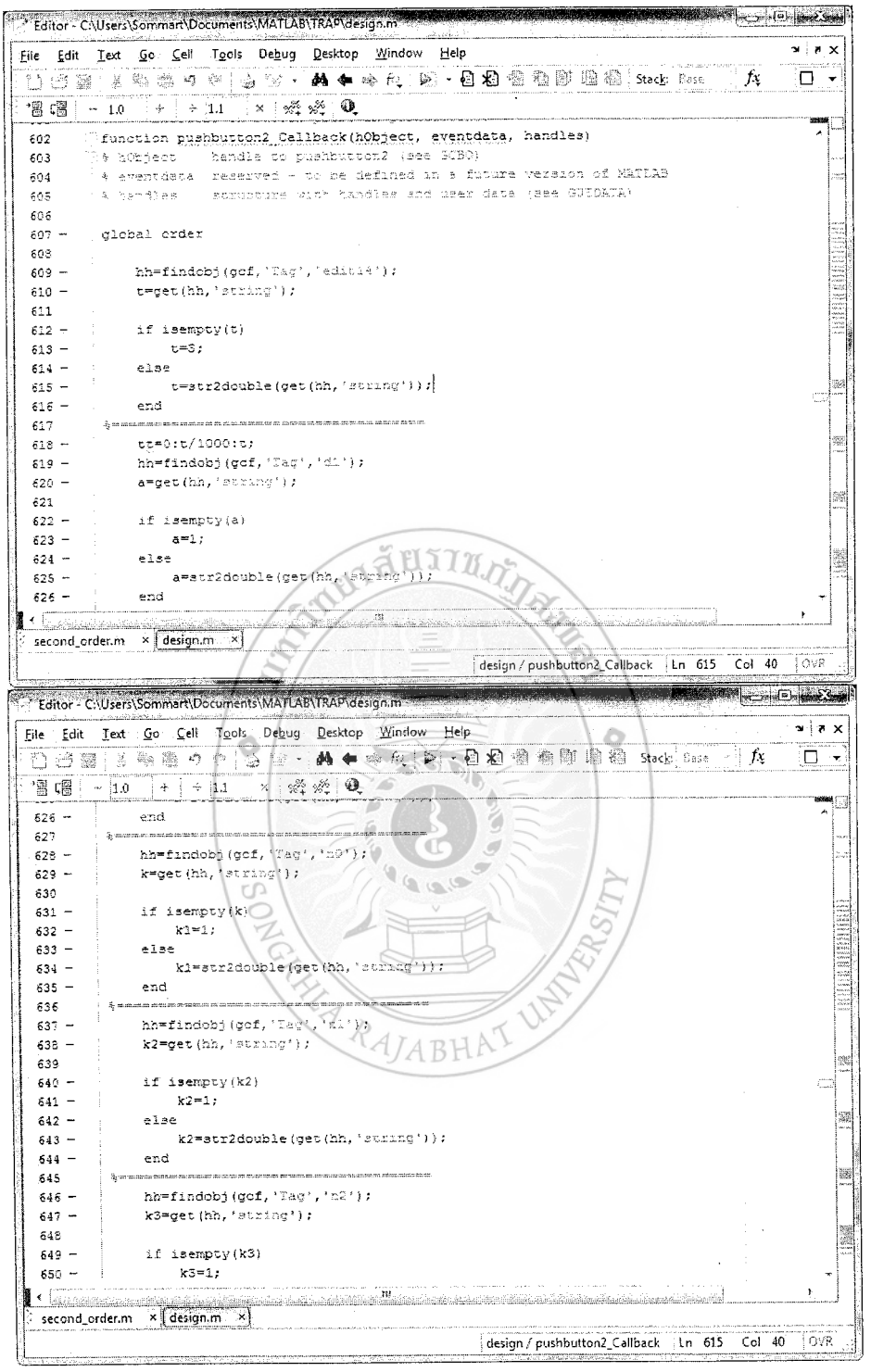

**รูปที่ 3-26** โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะของโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชั่น


Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\design.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
hh=findobj(gcf,'Tag','n1');
k=get(hh,'string');
if isempty(k)
k1=1;
else
k1=str2double(get(hh,'string'));
end
hh=findobj(gcf,'Tag','n1');
k2=get(hh,'string');
if isempty(k2)
k2=1;
else
k2=str2double(get(hh,'string'));
end
hh=findobj(gcf,'Tag','n2');
k3=get(hh,'string');
if isempty(k3)
k3=1;
else
k3=str2double(get(hh,'string'));
end
hh=findobj(gcf,'Tag','n3');
k4=get(hh,'string');
if isempty(k4)
k4=1;
else
k4=str2double(get(hh,'string'));
end
hh=findobj(gcf,'Tag','n4');
k5=get(hh,'string');
if isempty(k5)
k5=1;
else
k5=str2double(get(hh,'string'));
end
hh=findobj(gcf,'Tag','d2');
b=get(hh,'string');
if isempty(b)
b=1;
else
b=str2double(get(hh,'string'));
end
hh=findobj(gcf,'Tag','d3');
second_order.m
design.m
design / pushbutton1_Callback
Ln 487 Col 24
OVR

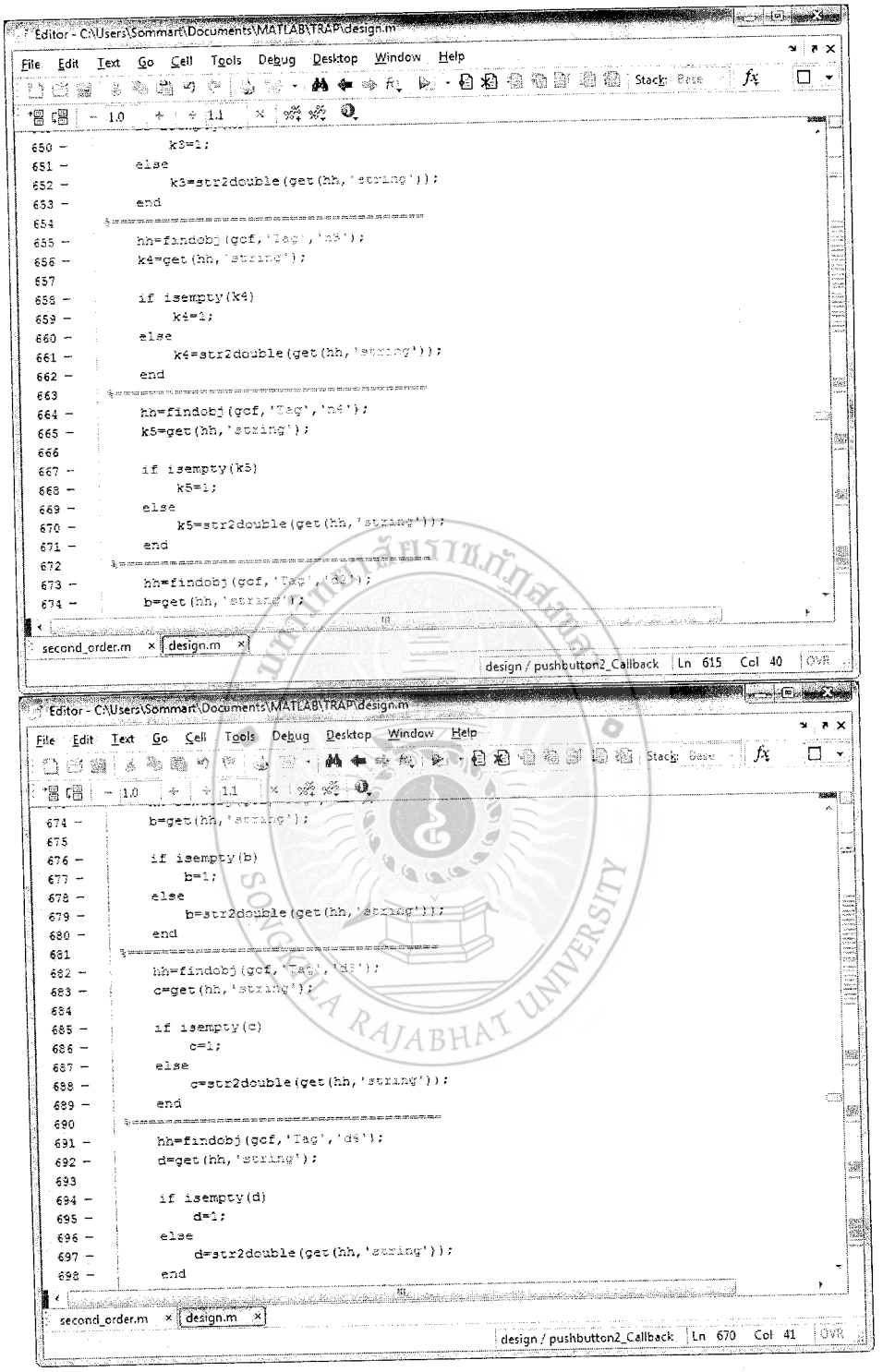
**รูปที่ 3-26** (ต่อ)


Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\design.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
hh=findobj(gcf,'Tag','d3');
c=get(hh,'string');
if isempty(c)
c=1;
else
c=str2double(get(hh,'string'));
end
hh=findobj(gcf,'Tag','d4');
d=get(hh,'string');
if isempty(d)
d=1;
else
d=str2double(get(hh,'string'));
end
hh=findobj(gcf,'Tag','d5');
e=get(hh,'string');
if isempty(e)
e=1;
else
e=str2double(get(hh,'string'));
end
hh=findobj(gcf,'Tag','d6');
f=get(hh,'string');
if isempty(f)
f=1;
else
f=str2double(get(hh,'string'));
end
if order==1
num=k1;den=[b a];axes(handles.axes1);
step(num, den, tt), grid on, title('Step Response for First-Order System')
elseif order==2
num=[k2 k1];den=[c b a];axes(handles.axes1);
step(num,den,tt), grid on, title('Step Response for Second-Order System')
elseif order==3
num=[k3 k2 k1];den=[d c b a];axes(handles.axes1);
step(num,den,tt), grid on, title('Step Response for Third-Order System')
elseif order==4
num=[k4 k3 k2 k1];den=[e d c b a];axes(handles.axes1);
step(num,den,tt), grid on, title('Step Response for Fourth-Order System')
elseif order==5
num=[k5 k4 k3 k2 k1];den=[f e d c b a];axes(handles.axes1);
step(num,den,tt), grid on, title('Step Response for Fifth-Order System')
end
% --- Executes on button press in pushbutton1.
second_order.m
design.m
design / pushbutton1_Callback Ln 487 Col 24 OVR
design / pushbutton1_Callback Ln 598 Col 26 OVR

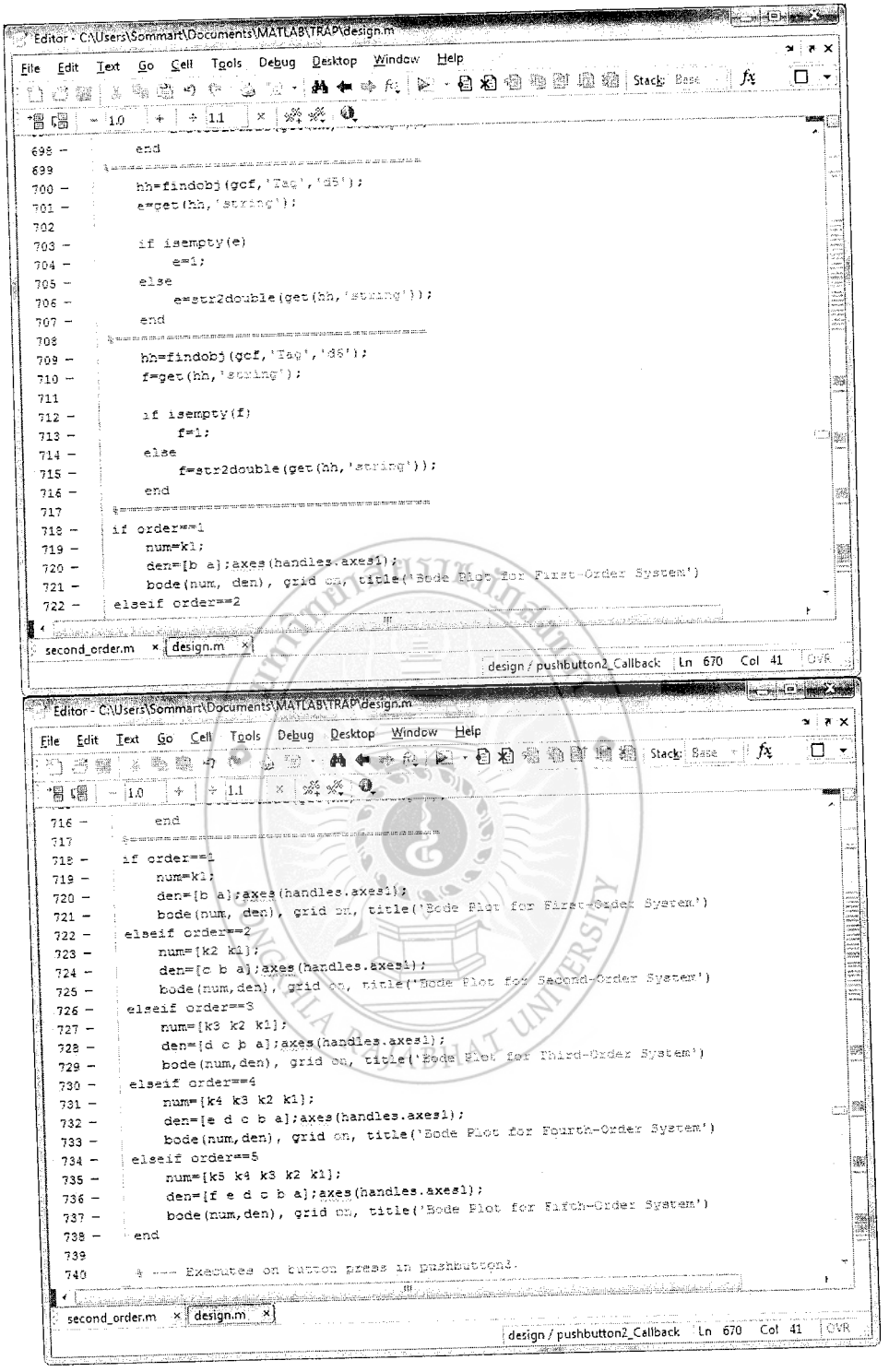
**รูปที่ 3-26 (ต่อ)**



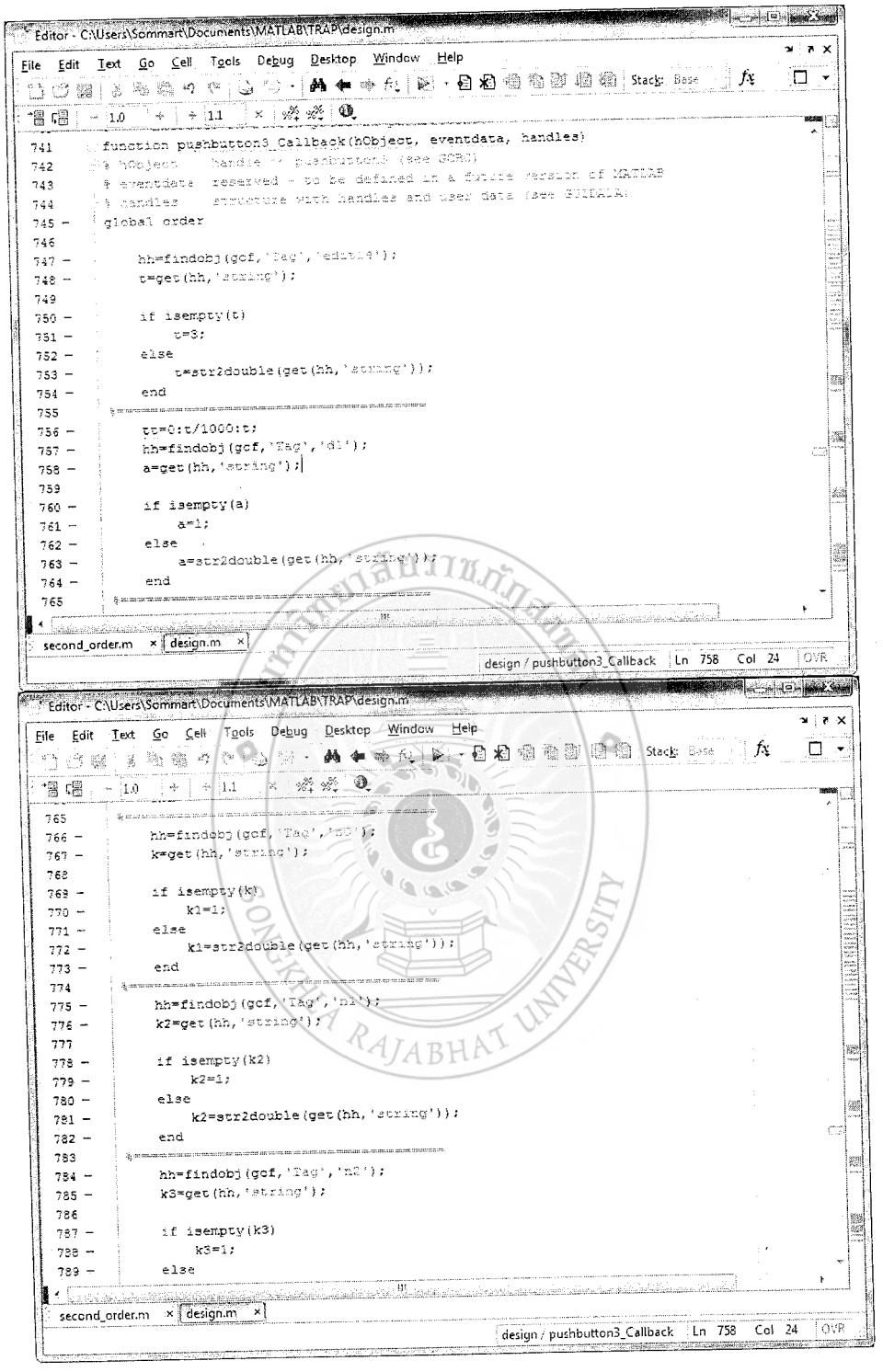

**รูปที่ 3-27** โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเดของโปรแกรมโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน


Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\design.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
650 – k3=1;
651 – else
652 – k3=str2double(get(hh,'string'));
653 – end
654 %=========
655 – hh=findobj(gcf,'Tag','n3');
656 – k4=get(hh,'string');
657
658 – if isempty(k4)
659 – k4=1;
660 – else
661 – k4=str2double(get(hh,'string'));
662 – end
663 %=========
664 – hh=findobj(gcf,'Tag','n4');
665 – k5=get(hh,'string');
666
667 – if isempty(k5)
668 – k5=1;
669 – else
670 – k5=str2double(get(hh,'string'));
671 – end
672 %=========
673 – hh=findobj(gcf,'Tag','d2');
674 – b=get(hh,'string');
second_order.m design.m
design / pushbutton2_Callback Ln 615 Col 40 OVR
Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\design.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
674 – b=get(hh,'string');
675
676 – if isempty(b)
677 – b=1;
678 – else
679 – b=str2double(get(hh,'string'));
680 – end
681 %=========
682 – hh=findobj(gcf,'Tag','d3');
683 – c=get(hh,'string');
684
685 – if isempty(c)
686 – c=1;
687 – else
688 – c=str2double(get(hh,'string'));
689 – end
690 %=========
691 – hh=findobj(gcf,'Tag','d4');
692 – d=get(hh,'string');
693
694 – if isempty(d)
695 – d=1;
696 – else
697 – d=str2double(get(hh,'string'));
698 – end
second_order.m design.m
design / pushbutton2_Callback Ln 670 Col 41 OVR

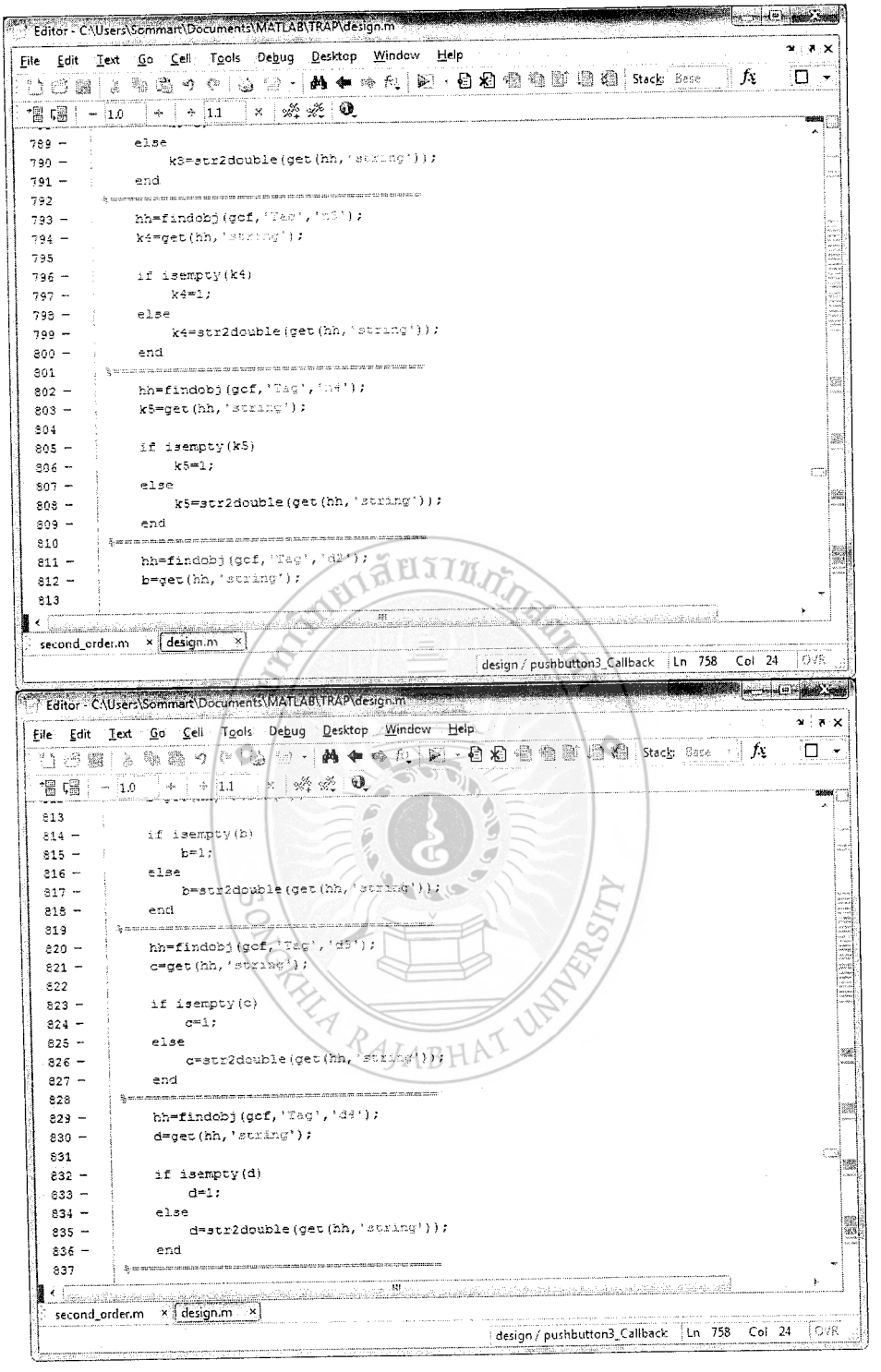
**รูปที่ 3-27** (ต่อ)


Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\design.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack: Base
end
hh=findobj(gcf,'Tag','d5');
e=get(hh,'string');
if isempty(e)
e=1;
else
e=str2double(get(hh,'string'));
end
hh=findobj(gcf,'Tag','d6');
f=get(hh,'string');
if isempty(f)
f=1;
else
f=str2double(get(hh,'string'));
end
if order==1
num=k1;
den=[b a];axes(handles.axes1);
bode(num, den), grid on, title('Bode Plot for First-Order System')
elseif order==2
num=[k2 k1];
den=[c b a];axes(handles.axes1);
bode(num,den), grid on, title('Bode Plot for Second-Order System')
elseif order==3
num=[k3 k2 k1];
den=[d c b a];axes(handles.axes1);
bode(num,den), grid on, title('Bode Plot for Third-Order System')
elseif order==4
num=[k4 k3 k2 k1];
den=[e d c b a];axes(handles.axes1);
bode(num,den), grid on, title('Bode Plot for Fourth-Order System')
elseif order==5
num=[k5 k4 k3 k2 k1];
den=[f e d c b a];axes(handles.axes1);
bode(num,den), grid on, title('Bode Plot for Fifth-Order System')
end
% --- Executes on button press in pushbutton3.
second_order.m
design.m
design / pushbutton2_Callback
Ln 670 Col 41
OVR

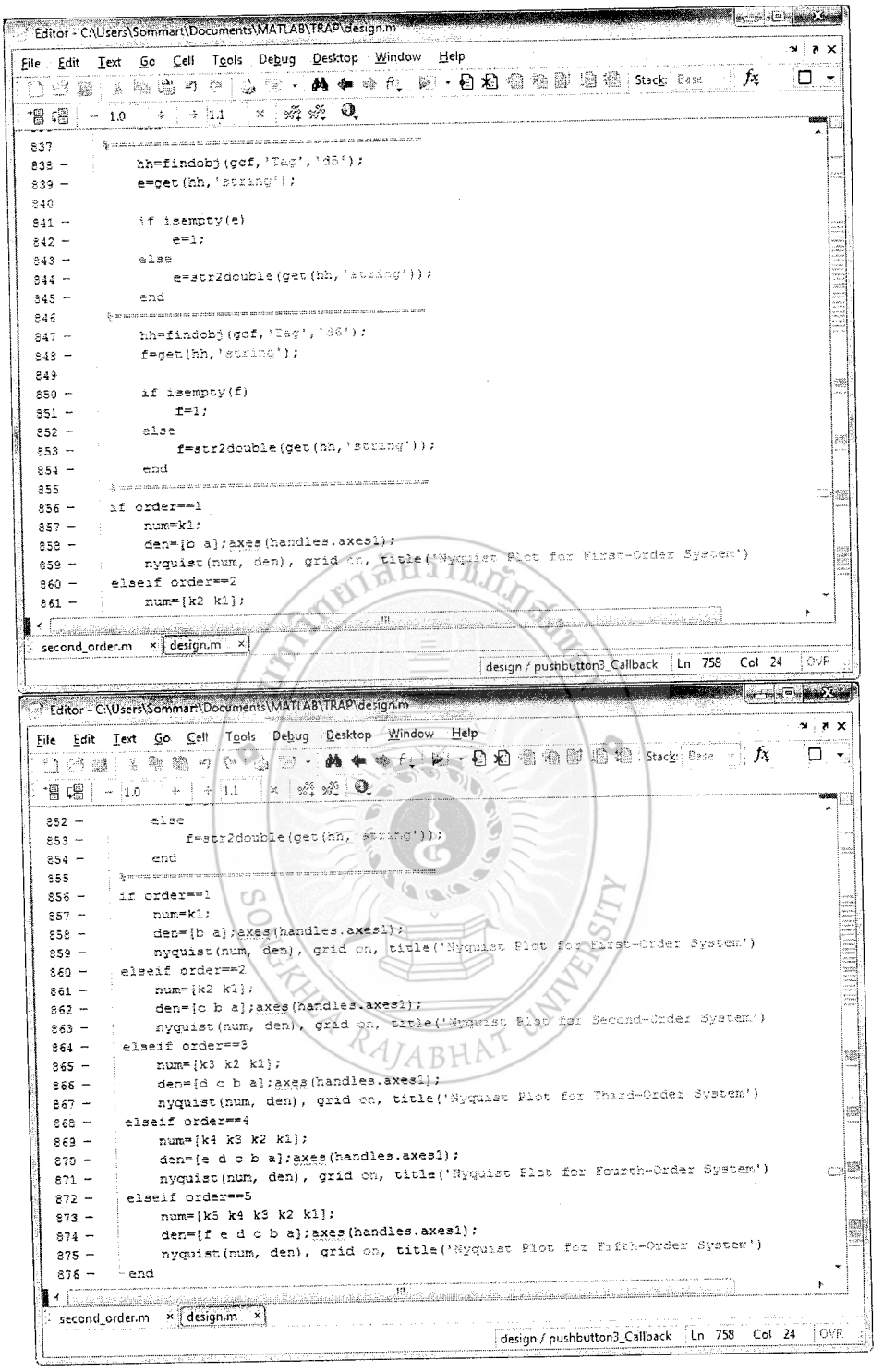
**รูปที่ 3-27 (ต่อ)**




**รูปที่ 3-28** โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ของโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน

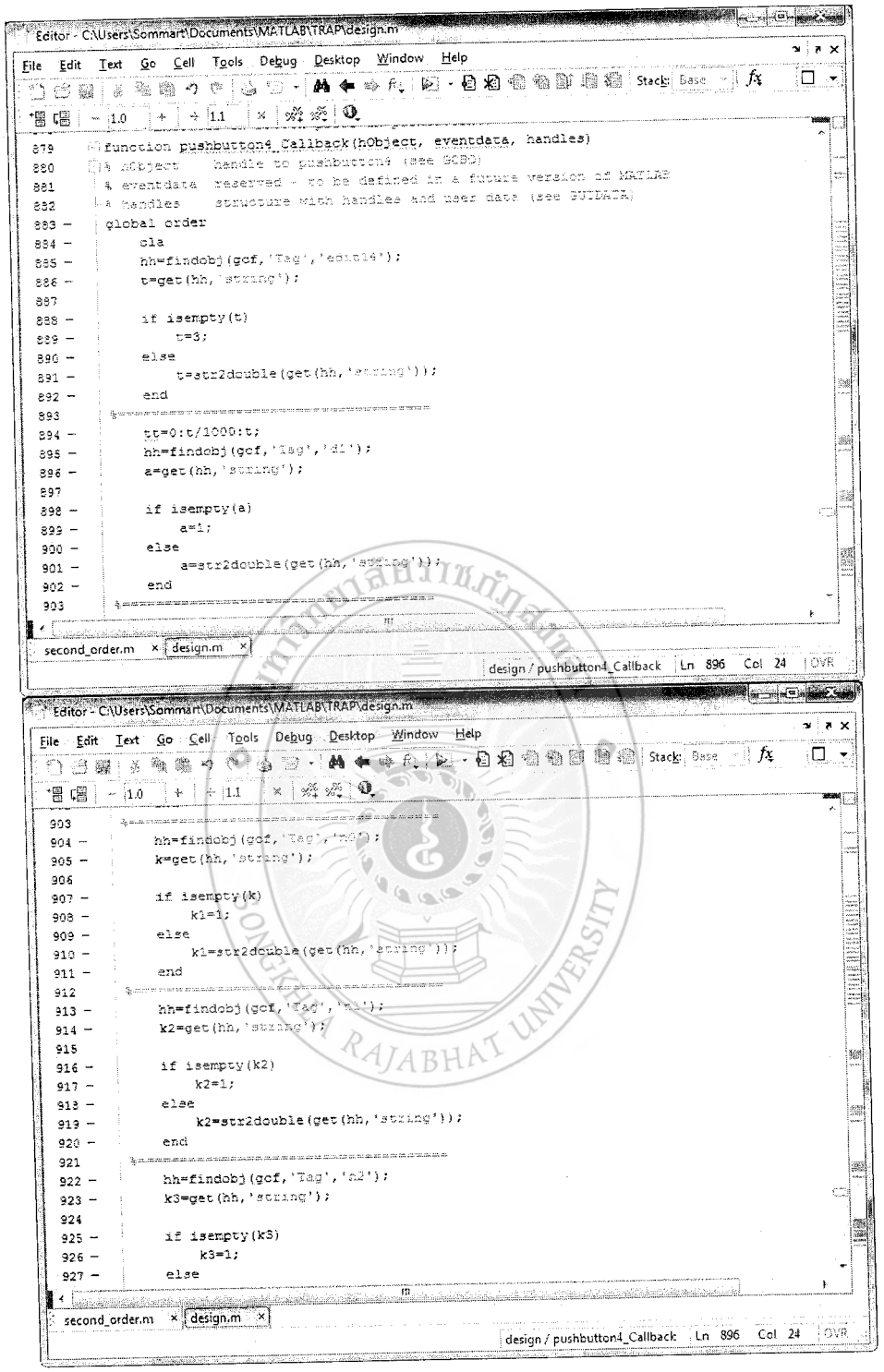

Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\design.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
789 – else
790 – k3=str2double(get(hh,'string'));
791 – end
792
793 – hh=findobj(gcf,'Tag','d3');
794 – k4=get(hh,'string');
795
796 – if isempty(k4)
797 – k4=1;
798 – else
799 – k4=str2double(get(hh,'string'));
800 – end
801
802 – hh=findobj(gcf,'Tag','d4');
803 – k5=get(hh,'string');
804
805 – if isempty(k5)
806 – k5=1;
807 – else
808 – k5=str2double(get(hh,'string'));
809 – end
810
811 – hh=findobj(gcf,'Tag','d1');
812 – b=get(hh,'string');
813
second_order.m design.m
design / pushbutton3_Callback Ln 758 Col 24 OVR
Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\design.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
813
814 – if isempty(b)
815 – b=1;
816 – else
817 – b=str2double(get(hh,'string'));
818 – end
819
820 – hh=findobj(gcf,'Tag','d2');
821 – c=get(hh,'string');
822
823 – if isempty(c)
824 – c=1;
825 – else
826 – c=str2double(get(hh,'string'));
827 – end
828
829 – hh=findobj(gcf,'Tag','d4');
830 – d=get(hh,'string');
831
832 – if isempty(d)
833 – d=1;
834 – else
835 – d=str2double(get(hh,'string'));
836 – end
837
second_order.m design.m
design / pushbutton3_Callback Ln 758 Col 24 OVR

**รูปที่ 3-28** (ต่อ)

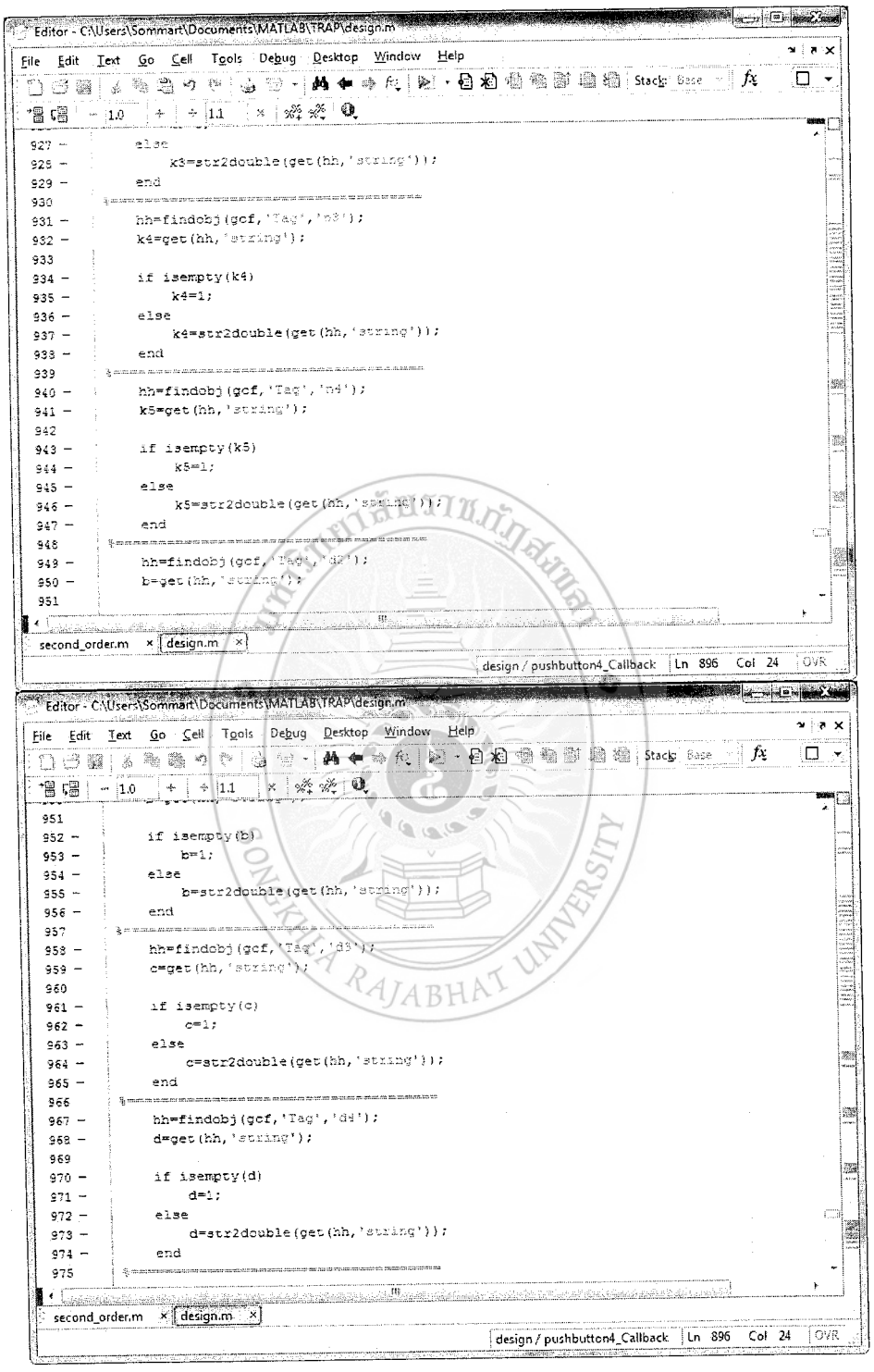

Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\design.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack: Base
hh=findobj(gcf,'Tag','d5');
e=get(hh,'string');
if isempty(e)
e=1;
else
e=str2double(get(hh,'string'));
end
hh=findobj(gcf,'Tag','d6');
f=get(hh,'string');
if isempty(f)
f=1;
else
f=str2double(get(hh,'string'));
end
if order==1
num=k1;
den=[b a];axes(handles.axes1);
nyquist(num, den), grid on, title('Nyquist Plot for First-Order System')
elseif order==2
num=[k2 k1];
second_order.m
design.m
design / pushbutton3_Callback
Ln 758 Col 24
OVR


Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\design.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack: Base
else
f=str2double(get(hh,'string'));
end
if order==1
num=k1;
den=[b a];axes(handles.axes1);
nyquist(num, den), grid on, title('Nyquist Plot for First-Order System')
elseif order==2
num=[k2 k1];
den=[c b a];axes(handles.axes1);
nyquist(num, den), grid on, title('Nyquist Plot for Second-Order System')
elseif order==3
num=[k3 k2 k1];
den=[d c b a];axes(handles.axes1);
nyquist(num, den), grid on, title('Nyquist Plot for Third-Order System')
elseif order==4
num=[k4 k3 k2 k1];
den=[e d c b a];axes(handles.axes1);
nyquist(num, den), grid on, title('Nyquist Plot for Fourth-Order System')
elseif order==5
num=[k5 k4 k3 k2 k1];
den=[f e d c b a];axes(handles.axes1);
nyquist(num, den), grid on, title('Nyquist Plot for Fifth-Order System')
end
second_order.m
design.m
design / pushbutton3_Callback
Ln 758 Col 24
OVR

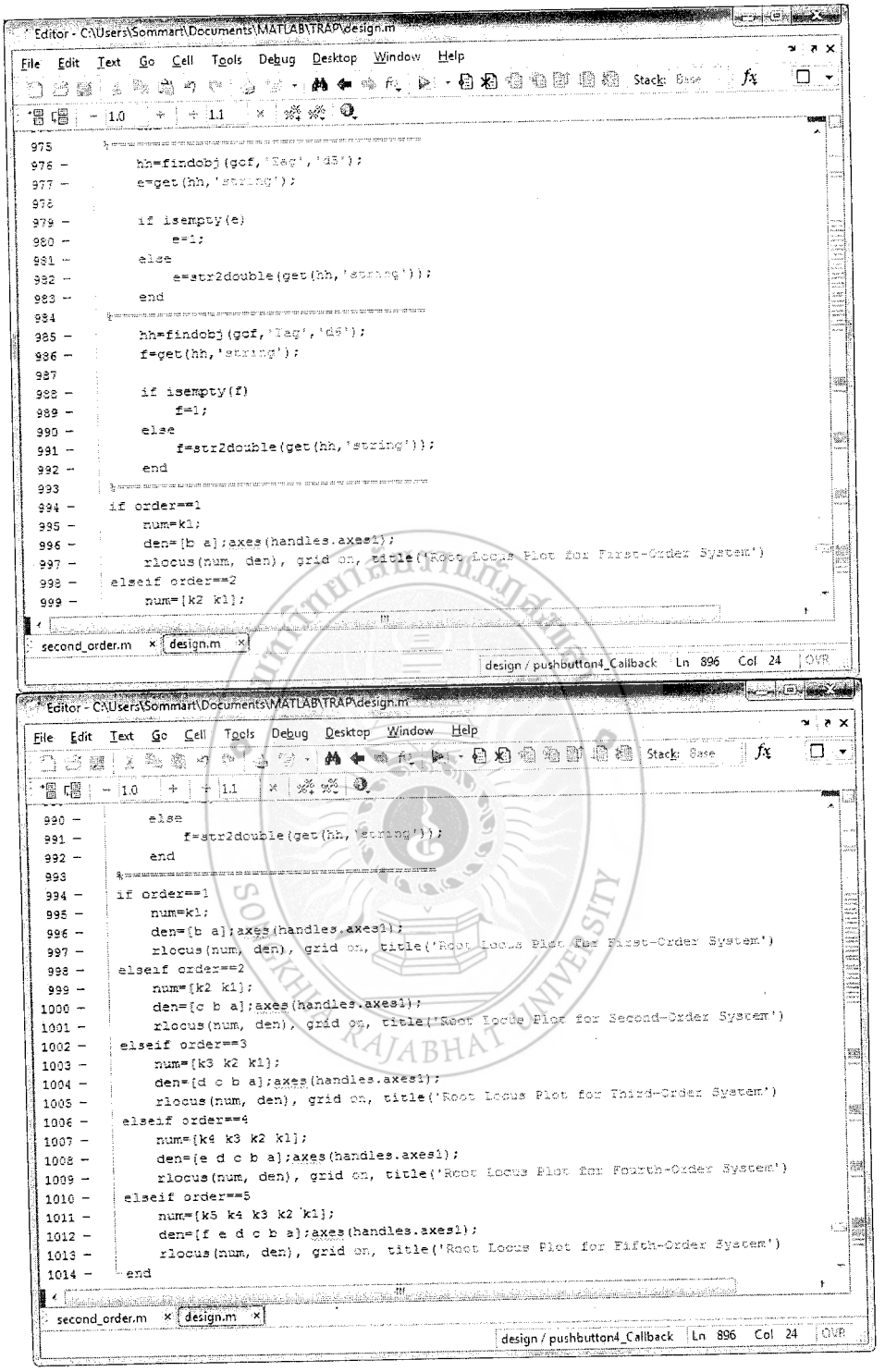
**รูปที่ 3-28 (ต่อ)**



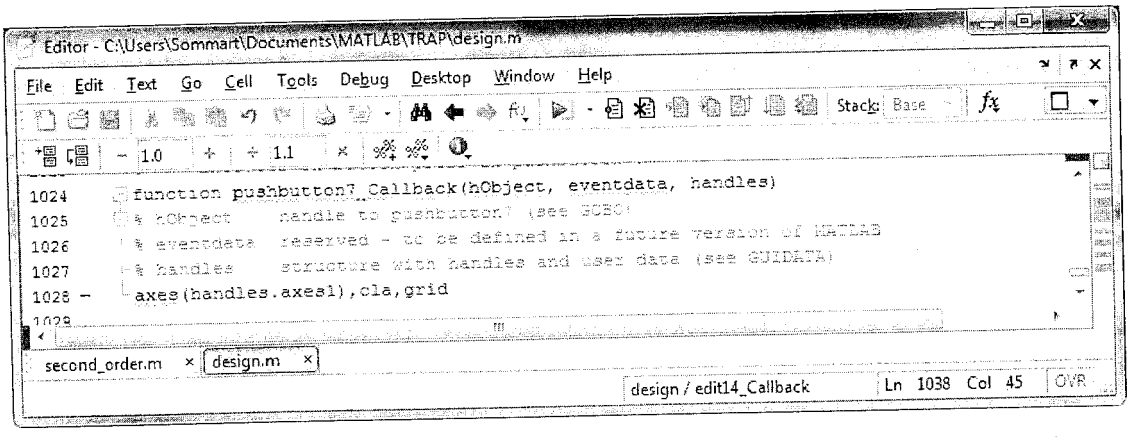

**รูปที่ 3-29** โค๊ดการเชื่อมต่อการจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของรากของโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน


Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\design.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
927 - else
928 - k3=str2double(get(hh,'string'));
929 - end
930
931 - hh=findobj(gcf,'Tag','n3');
932 - k4=get(hh,'string');
933
934 - if isempty(k4)
935 - k4=1;
936 - else
937 - k4=str2double(get(hh,'string'));
938 - end
939
940 - hh=findobj(gcf,'Tag','n4');
941 - k5=get(hh,'string');
942
943 - if isempty(k5)
944 - k5=1;
945 - else
946 - k5=str2double(get(hh,'string'));
947 - end
948
949 - hh=findobj(gcf,'Tag','d2');
950 - b=get(hh,'string');
951
second_order.m
design.m
design / pushbutton4_Callback Ln 896 Col 24 OVR
Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\design.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
951
952 - if isempty(b)
953 - b=1;
954 - else
955 - b=str2double(get(hh,'string'));
956 - end
957
958 - hh=findobj(gcf,'Tag','d3');
959 - c=get(hh,'string');
960
961 - if isempty(c)
962 - c=1;
963 - else
964 - c=str2double(get(hh,'string'));
965 - end
966
967 - hh=findobj(gcf,'Tag','d4');
968 - d=get(hh,'string');
969
970 - if isempty(d)
971 - d=1;
972 - else
973 - d=str2double(get(hh,'string'));
974 - end
975
second_order.m
design.m
design / pushbutton4_Callback Ln 896 Col 24 OVR

**รูปที่ 3-29** (ต่อ)


Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\design.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
975 %==========================================
976 - hh=findobj(gcf,'Tag','d5');
977 - e=get(hh,'string');
978
979 - if isempty(e)
980 - e=1;
981 - else
982 - e=str2double(get(hh,'string'));
983 - end
984 %==========================================
985 - hh=findobj(gcf,'Tag','d6');
986 - f=get(hh,'string');
987
988 - if isempty(f)
989 - f=1;
990 - else
991 - f=str2double(get(hh,'string'));
992 - end
993 %==========================================
994 - if order==1
995 - num=k1;
996 - den=[b a];axes(handles.axes1);
997 - rlocus(num, den), grid on, title('Root Locus Plot for First-Order System')
998 - elseif order==2
999 - num=[k2 k1];
second_order.m design.m
design / pushbutton4_Callback Ln 896 Col 24 OVR
Editor - C:\Users\Sommart\Documents\MATLAB\TRAP\design.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
990 - else
991 - f=str2double(get(hh,'string'));
992 - end
993 %==========================================
994 - if order==1
995 - num=k1;
996 - den=[b a];axes(handles.axes1);
997 - rlocus(num, den), grid on, title('Root Locus Plot for First-Order System')
998 - elseif order==2
999 - num=[k2 k1];
1000 - den=[c b a];axes(handles.axes1);
1001 - rlocus(num, den), grid on, title('Root Locus Plot for Second-Order System')
1002 - elseif order==3
1003 - num=[k3 k2 k1];
1004 - den=[d c b a];axes(handles.axes1);
1005 - rlocus(num, den), grid on, title('Root Locus Plot for Third-Order System')
1006 - elseif order==4
1007 - num=[k4 k3 k2 k1];
1008 - den=[e d c b a];axes(handles.axes1);
1009 - rlocus(num, den), grid on, title('Root Locus Plot for Fourth-Order System')
1010 - elseif order==5
1011 - num=[k5 k4 k3 k2 k1];
1012 - den=[f e d c b a];axes(handles.axes1);
1013 - rlocus(num, den), grid on, title('Root Locus Plot for Fifth-Order System')
1014 - end
second_order.m design.m
design / pushbutton4_Callback Ln 896 Col 24 OVR

**รูปที่ 3-29 (ต่อ)**




**รูปที่ 3-30** โค๊ดการลบกราฟผลตอบสนองของโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน

## 3.4 การทดสอบและแก้ไขโปรแกรม

การทดสอบและแก้ไขโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้ GUI ของ MATLAB เป็นขั้นตอนการตรวจสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้นได้ ว่าทำงานถูกต้องตรงตามความต้องการของผู้ใช้ หรือตรงตามลักษณะงานของโปรแกรมนั้นหรือไม่ความผิดพลาด (Errors) ที่สามารถเกิดขึ้นได้จากการเขียนโปรแกรม มีดังนี้

1. Syntax Error ความผิดพลาดที่เกิดจากการใช้คำสั่งผิดรูปแบบที่ภาษานั้นกำหนด เช่น การลืมประกาศตัวแปร การเขียนคำสั่งผิด

2. Error ความผิดพลาดที่เกิดจากการที่โปรแกรมทำงานผิดไปจากขั้นตอนที่ควรจะเป็น เช่น การตรวจสอบเงื่อนไขผิดไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ คำนวณค่าได้คำตอบไม่ถูกต้อง หรือ ทำงานผิดลำดับขั้นตอน เป็นต้น

3. System Design Error ความผิดพลาดที่เกิดจากการที่โปรแกรมทำงานได้ไม่ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ขั้นตอนการทดสอบและแก้ไขโปรแกรม

4. Desk-Checking ผู้เขียนโปรแกรมตรวจสอบโปรแกรมด้วยตนเอง ถ้าให้ผู้อื่นช่วยดูจะเรียกว่า Structured-Walkthrough Translating ตรวจสอบรูปแบบคำสั่งต่างๆที่ใช้ในโปรแกรมโดยตัวแปลภาษา (Translator) เป็นผู้ตรวจ Debugging เป็นการทดลองใช้โปรแกรมจริง เพื่อค้นหาข้อบกพร่อง เช่น ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงตามความต้องการ ซึ่งอาจมีสาเหตุจาก Logic Errors และถ้าได้ทดสอบกับผู้ใช้จริงก็จะสามารถตรวจสอบ System Design Errors ได้

### 3.5 การจัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งาน

การจัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งานจัดทำเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบหรือการพัฒนาโปรแกรมมี 2 ส่วนดังนี้

1. คู่มือสำหรับผู้ใช้โปรแกรม คือเอกสารที่อธิบายวิธีการใช้ระบบหรือโปรแกรม เรียกว่า User Manual ใช้สำหรับผู้ใช้งานโปรแกรม แนะนำวิธีการใช้งานโปรแกรม แนะนำคุณสมบัติและองค์ประกอบของโปรแกรมต่างๆ วิธีการติดตั้งโปรแกรม

2. คู่มือสำหรับผู้พัฒนาโปรแกรม คือเอกสารที่อธิบายวิธีการเขียนโปรแกรม ใช้สำหรับผู้พัฒนาโปรแกรม

### 3.6 การทดลองใช้โปรแกรมโดยผู้เชี่ยวชาญและสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

ผู้เชี่ยวชาญที่ทำการประเมินโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ได้คัดเลือกมาจากนักวิชาการในมหาวิทยาลัยของรัฐจำนวน 5 ท่าน

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบประเมินโปรแกรมโดยเลือกใช้ประเภทมาตรประมาณค่า (Ratting Scale) [17] ซึ่งแบบสอบถามนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป และตอนที่ 2 ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ด้านโครงสร้าง ด้านการใช้งาน และด้านผลการออกแบบ หลังจากนั้นส่งแบบสอบถามที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประเมินค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม โดยการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item-Objective Congruence: IOC) พบว่ามีค่าเท่ากับ 1

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล [18] จะใช้สถิติ ค่าเฉลี่ย (arithmetic mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ในส่วนการแปลผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวิธีของลิเคิร์ท (Likert) มีระดับการประเมิน ดังนี้

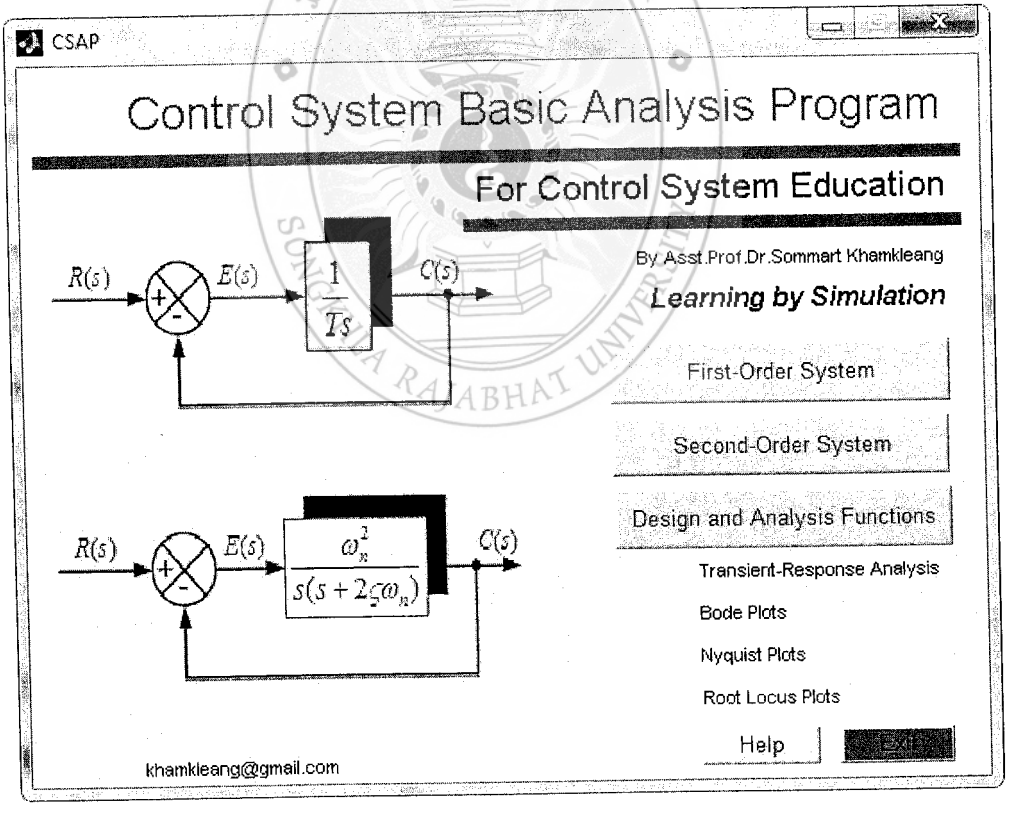
| | |
|---|---|
| 4.51-5.00 | หมายถึง มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด |
| 3.51-4.50 | หมายถึง มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับ มาก |
| 2.51-3.50 | หมายถึง มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับ ปานกลาง |
| 1.51-2.50 | หมายถึง มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับ น้อย |
| 1.00-1.50 | หมายถึง มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับ น้อยที่สุด |

# บทที่ 4
# ผลการวิจัย

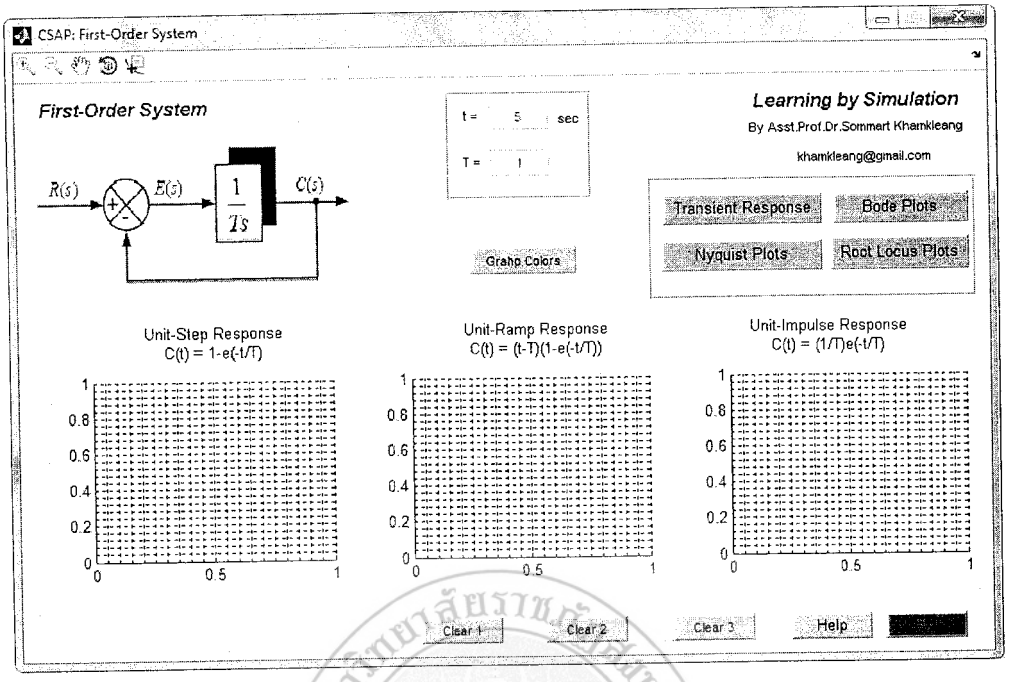
จากการดำเนินการวิจัยอย่างเป็นระบบ ผู้วิจัยขอนำเสนอผลของการทำวิจัยตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

## 4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรม

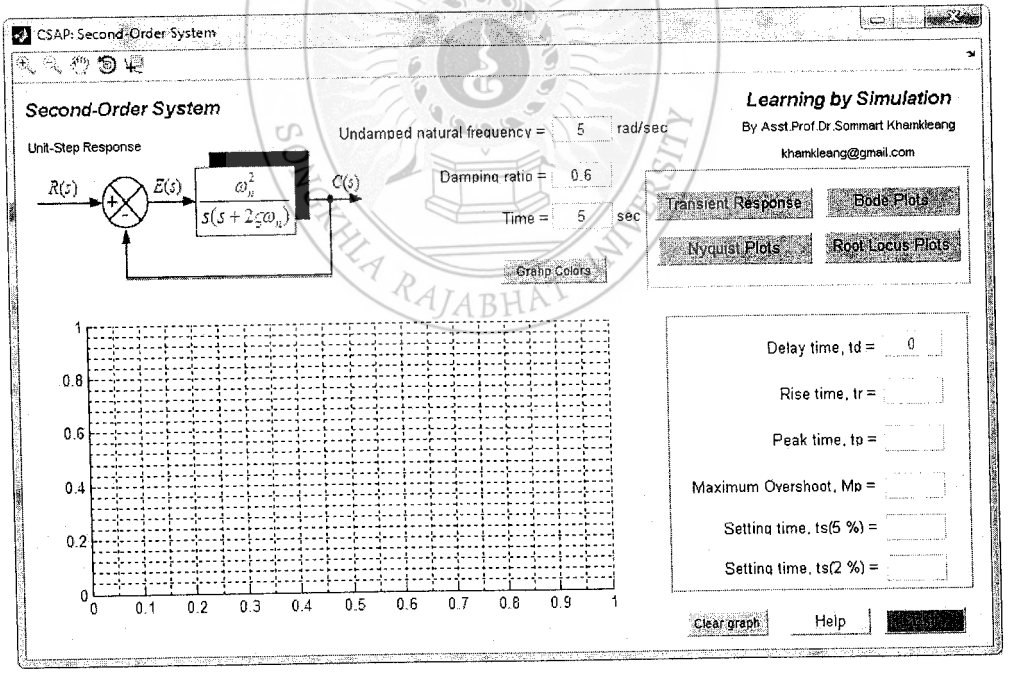
โปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย หน้าต่างเมนูหลัก แสดงดังรูปที่ 4-1 โปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 4-2 โปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง แสดงดังรูปที่ 4-3 และโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน แสดงดังรูปที่ 4-4 และรูปที่ 4-5 ตามลำดับ



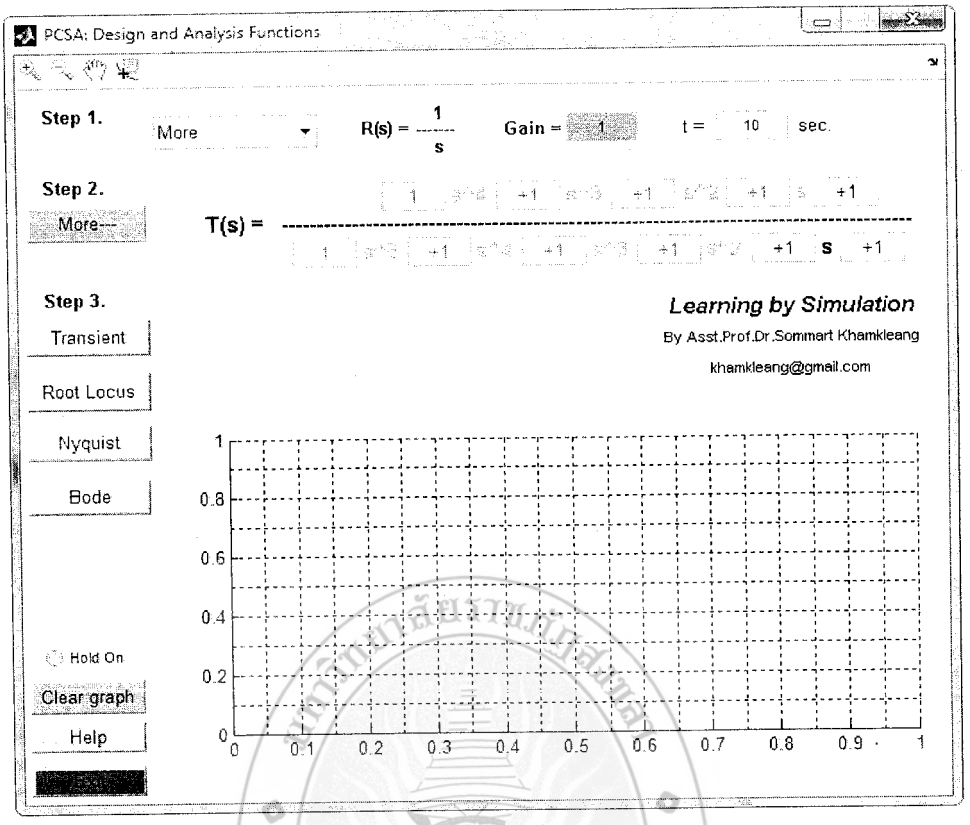

**รูปที่ 4-1** หน้าต่างเมนูหลักของโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า



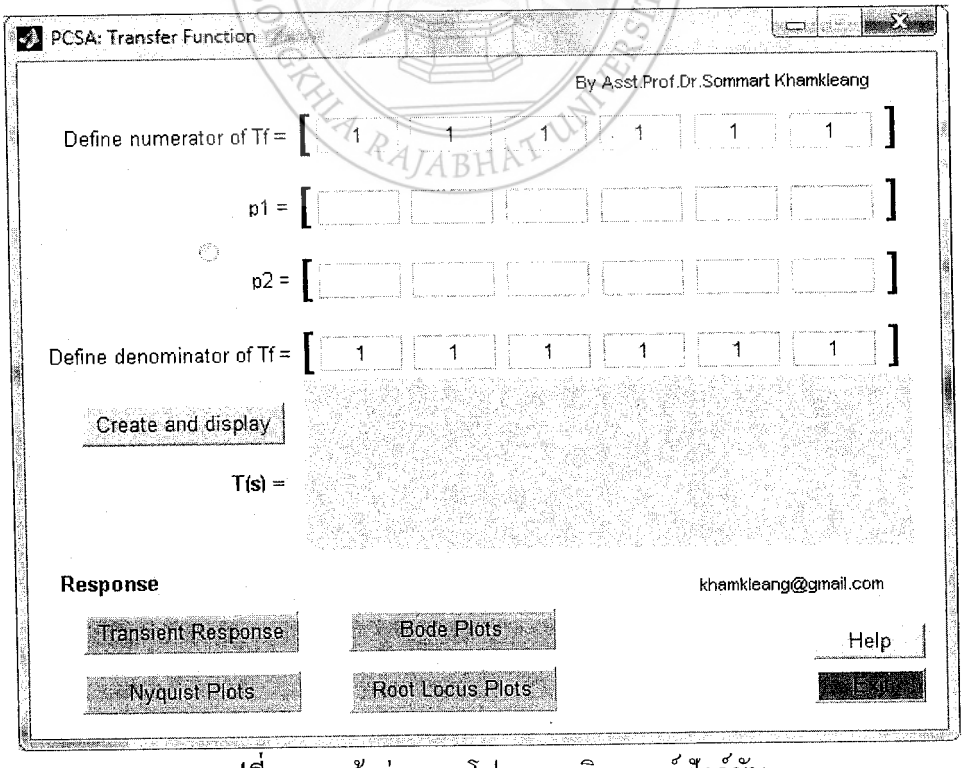

**รูปที่ 4-2** หน้าต่างของโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับหนึ่ง




**รูปที่ 4-3** หน้าต่างของโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับสอง




**รูปที่ 4-4** หน้าต่างของโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน




**รูปที่ 4-5** หน้าต่างของโปรแกรมวิเคราะห์ฟังก์ชัน

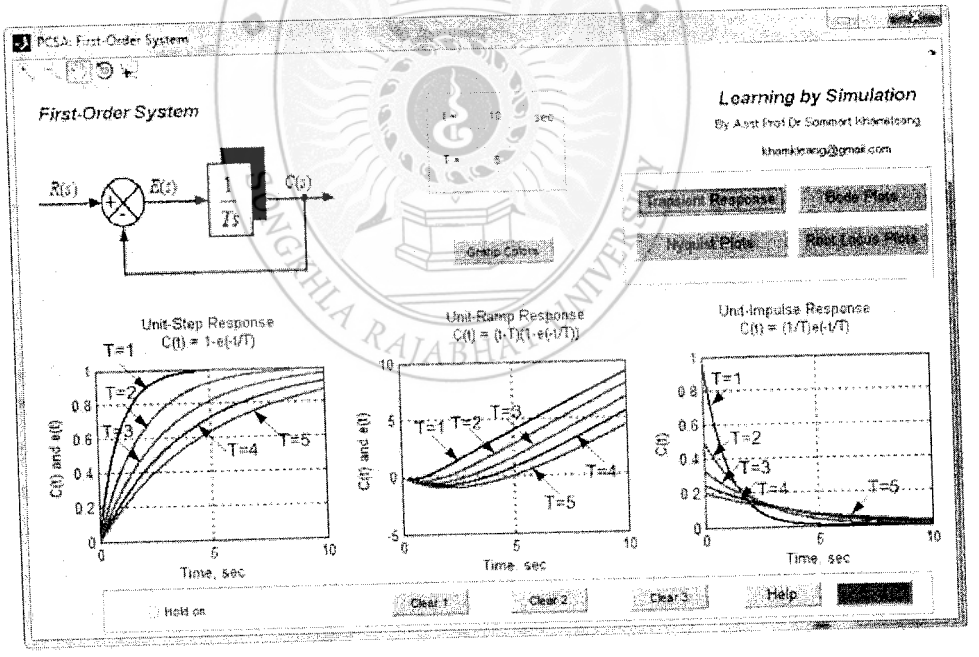
## 4.2 ผลการทดสอบคุณภาพของโปรแกรม

การทดสอบคุณภาพของโปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้น จะทำการเปรียบเทียบผลการจำลองกับการคำนวณทางทฤษฎี ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 4.2.1 การวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

การวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับหนึ่งโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎี จะใช้สัญญาณมาตรฐานทดสอบระบบ โดยจะใช้สัญญาณระดับ (unit-step) สัญญาณลาด (unit-ramp) และสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse) เป็นสัญญาณอินพุต โดยทำการกำหนดค่าเวลา (t) เท่ากับ 0 ถึง 5 วินาที และค่า (T) เท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ผลการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient Respond) ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 4-6



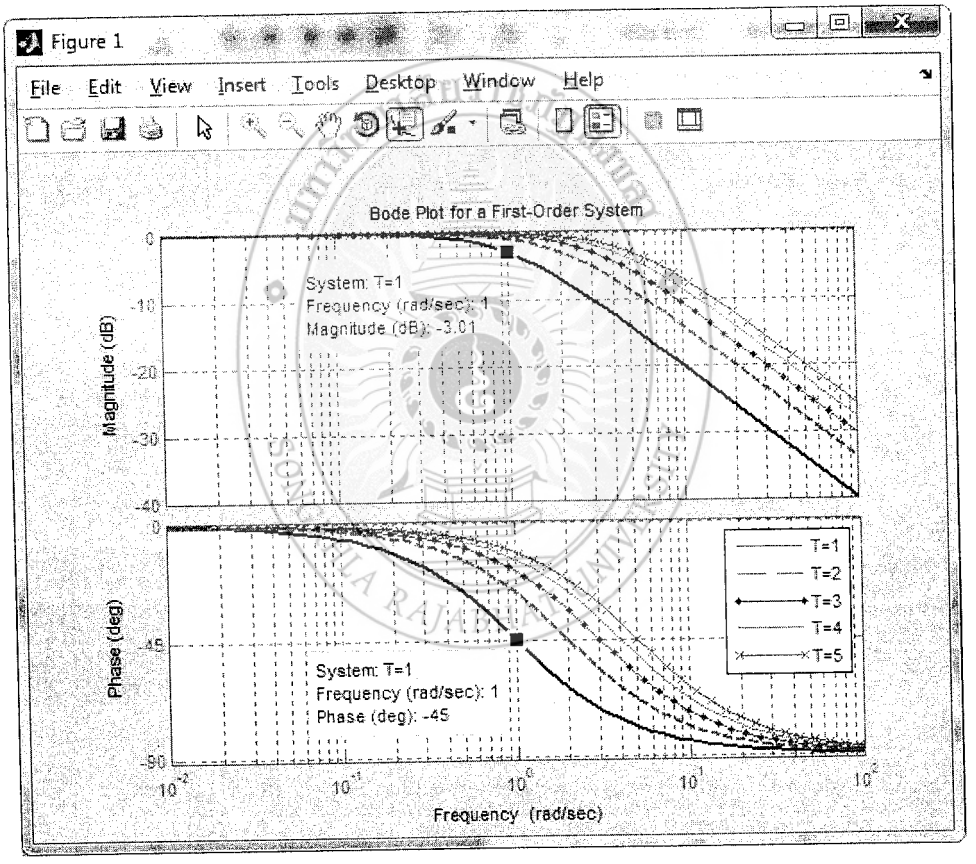

**รูปที่ 4-6** ผลการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

จากรูปที่ 4-6 เมื่อสัญญาณระดับ (unit-step) เป็นสัญญาณอินพุต พบว่าถ้าค่าคงที่ของเวลา (T) น้อยลงเท่าไร ระบบจะเข้าสู่ภาวะเสถียรโดยใช้เวลาน้อยลง ที่จุด t =T จะได้ค่าของ $c(t)$ เท่ากับ 0.632 หรือ 63.2 % ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด

เมื่อสัญญาณลาด (unit-ramp)เป็นสัญญาณอินพุต พบว่าถ้าค่าคงที่ของเวลา (T) น้อยลงเท่าไร ระบบจะเข้าสู่ภาวะเสถียรโดยใช้เวลาน้อยลง ที่จุด t =T จะได้ค่าของ $c(t)$ เท่ากับ 0 ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด

เมื่อสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse) เป็นสัญญาณอินพุต พบว่าถ้าค่าคงที่ของเวลา (T) น้อยลงเท่าไร ระบบจะเข้าสู่ภาวะเสถียรโดยใช้เวลาน้อยลง ที่จุด t = T จะได้ค่าของ $c(t)$ เท่ากับ 0.368 หรือ 36.8 % ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

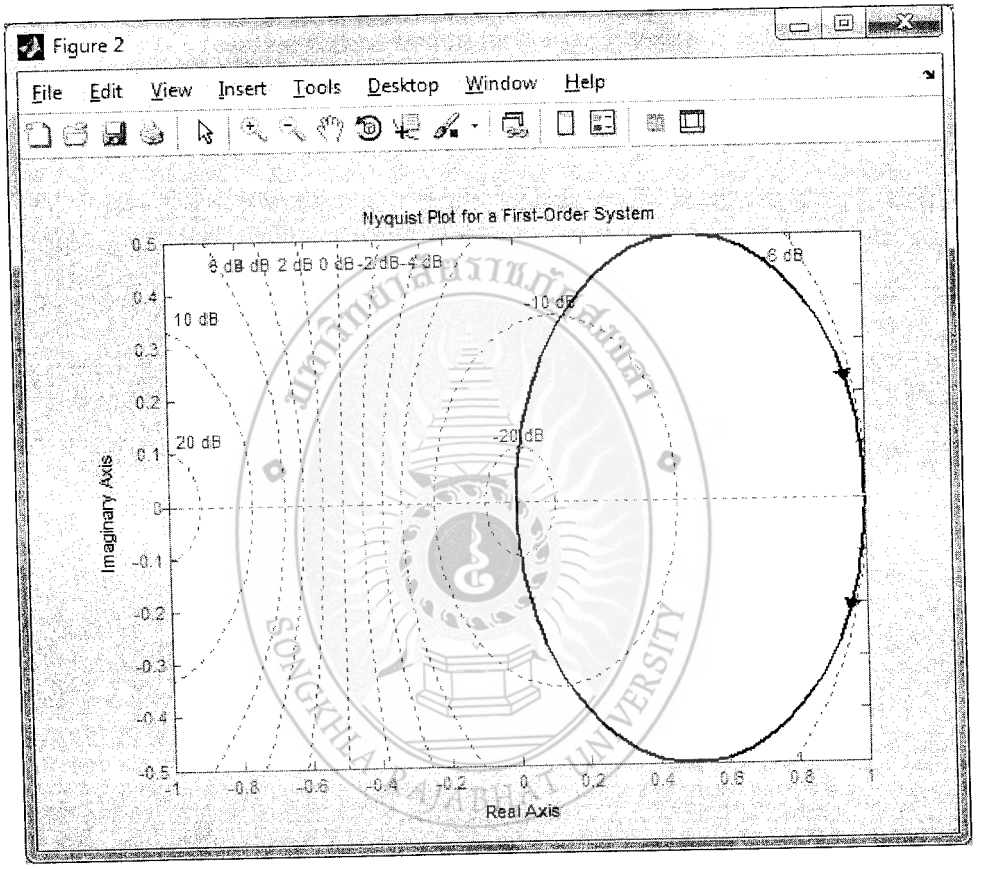
ผลการจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเด (Bode Plot) ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 4-7




**รูปที่ 4-7** ผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเดของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

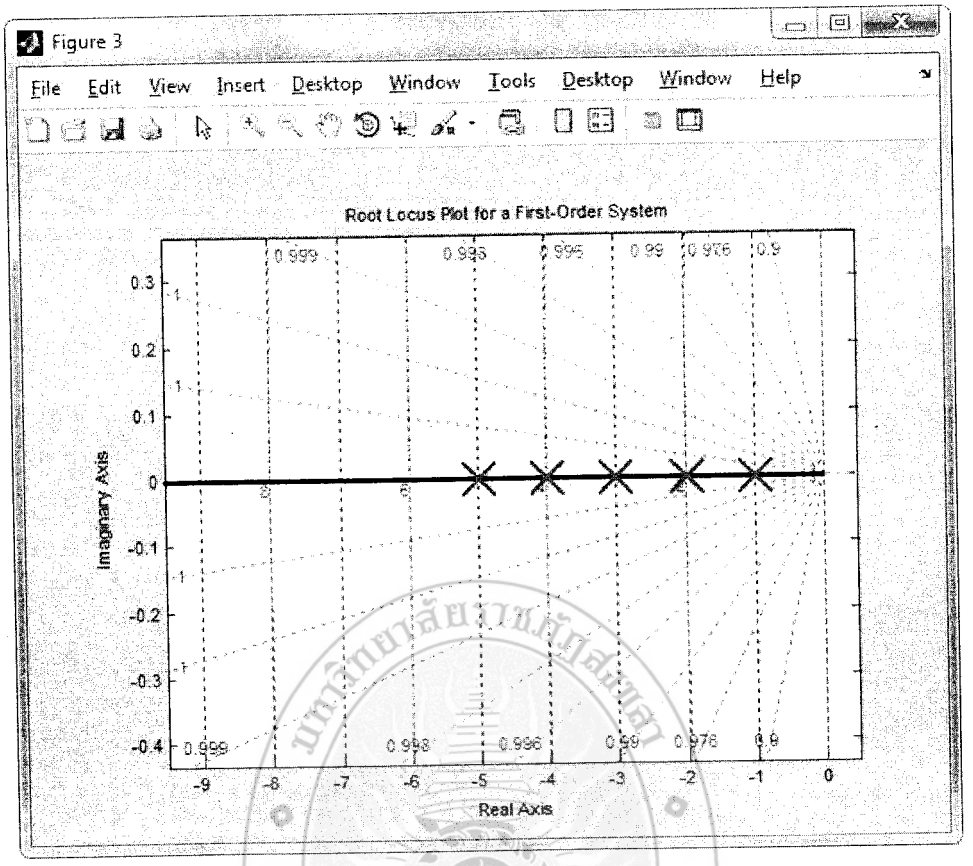
จากรูปที่ 4-7 พบว่า ถ้าค่าคงที่ของเวลา (T) มีค่าเท่ากับ 1 จะทำให้ลักษณะของผลตอบสนองมีค่าความถี่ตัดที่ขนาด -3.0 dB ที่ความถี่เท่ากับ 1 rad/sec มีมุมเฟสเท่ากับ -45 ° และเมื่อค่าคงที่ของเวลา (T) มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความถี่ตัดที่ขนาด -3.0 dB มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่มีมุมเฟสเท่ากับ -45 ° เท่าเดิม ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

ผลการจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ (Nyquist Plot) ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 4-8 พบว่าฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง ที่มีค่าเวลา (t) เท่ากับ 0 ถึง 5 วินาที และค่า (T) เท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ไม่มีโพลทางด้านฝั่งขวามือของระนาบเอส และจากการจำลองแผนภาพไนควิสต์ โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไม่มีวงล้อมรอบตามเข็มนาฬิกา รอบจุด -1 ดังนั้นแสดงว่าระบบนี้มีคุณภาพ ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี




**รูปที่ 4-8** ผลตอบสนองแบบไนควิสต์ ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

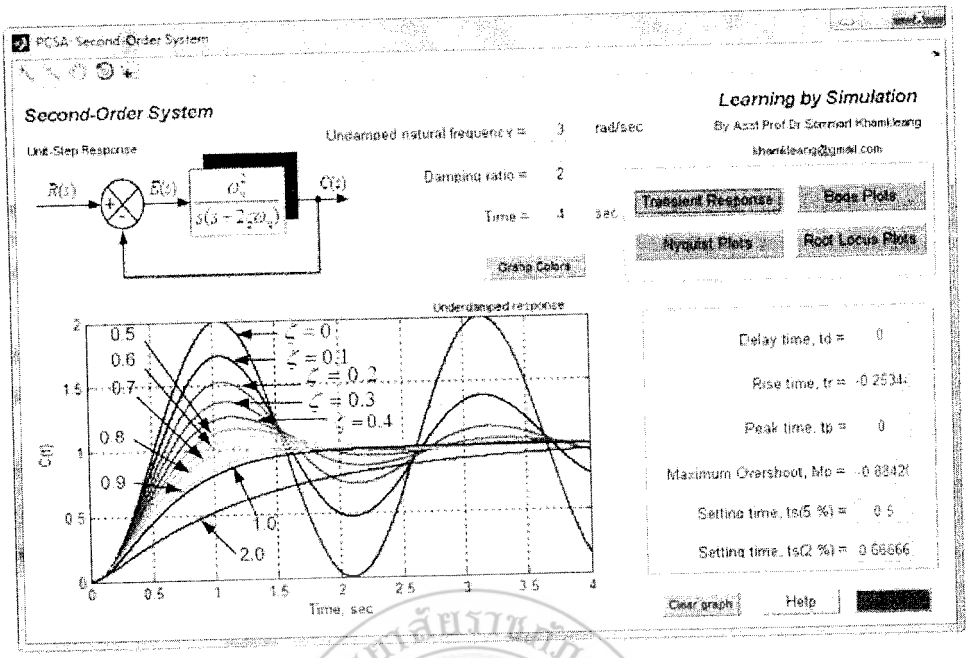
ผลการจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก (Root Locus Plot) ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 4-9 พบว่าฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง ที่มีค่าเวลา (t) เท่ากับ 0 ถึง 5 วินาที และค่า (T) เท่ากับ 1 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ -1 เมื่อปรับค่า (T) เท่ากับ 2 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ -2 เมื่อปรับค่า (T) เท่ากับ 3 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ -3 เมื่อปรับค่า (T) เท่ากับ 4 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ -4 และเมื่อปรับค่า (T) เท่ากับ 5 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ -5 ตามลำดับ ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี




**รูปที่ 4-9** ผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก (Root Locus Plot) ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

4.2.2 การวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับสอง

การวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับสองโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเปรียบเทียบกับทฤษฎี โดยทำการกำหนดค่าเวลา (t) เท่ากับ 0 ถึง 5 วินาที ความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ $\omega_n$ เท่ากับ 5 rad/sec มีอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ เท่ากับ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1 และ 2 ตามลำดับ ผลการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะระบบควบคุมอันดับสองแสดงดังรูปที่ 4-10



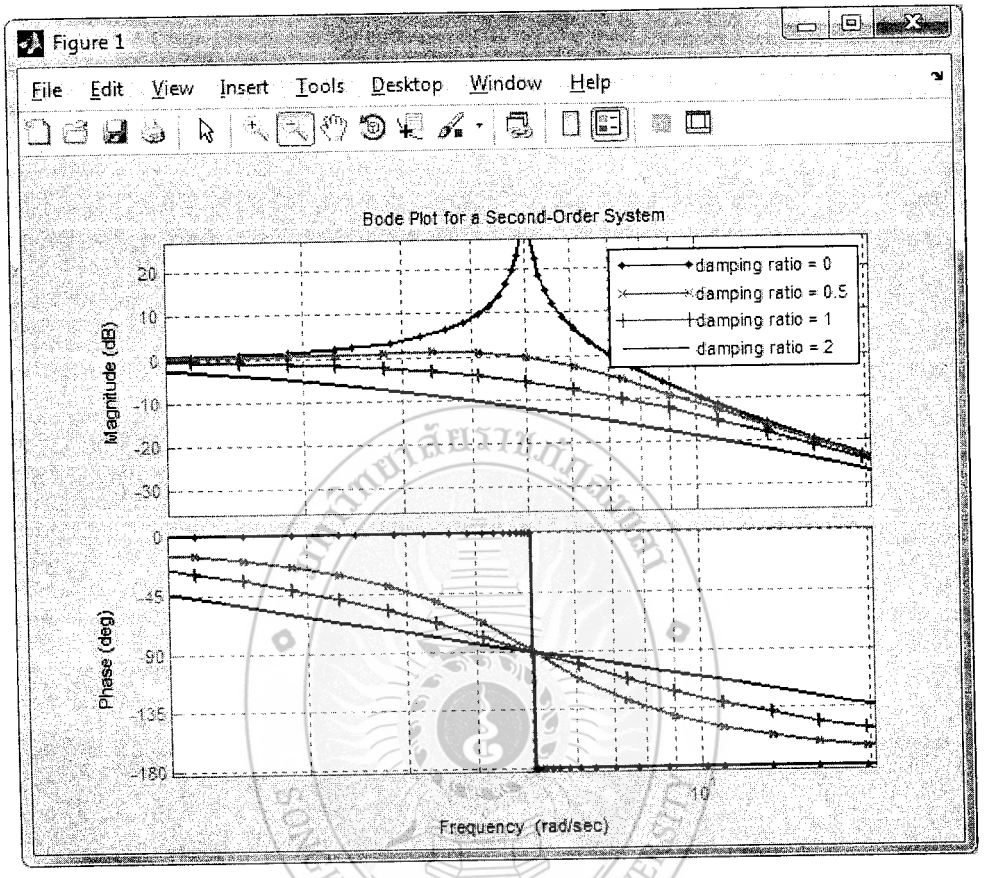

**รูปที่ 4-10** ผลตอบสนองชั่วขณะของระบบควบคุมอันดับสองที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ

จากรูปที่ 4-10 พบว่า กรณี $0<\zeta<1$ เป็นระบบที่มีความหน่วงน้อย (Under Damped) กรณี $0<\zeta<1$ เป็นระบบที่มีความหน่วงน้อย (Under Damped) และกรณี $\zeta>1$ เป็นระบบที่มีความหน่วงเกิน (Over Damped) สามารถแสดงคุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วขณะของระบบควบคุมอันดับสองได้ดังตารางที่ 4-1 ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

**ตารางที่ 4-1** คุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วขณะของระบบควบคุมอันดับสองที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$

| คุณลักษณะ | $\zeta=0$ | $\zeta=0.5$ | $\zeta=1$ | $\zeta=2$ |
|---|---|---|---|---|
| เวลาหน่วง | 0 | 0 | 0 | 0 |
| เวลาไต่ขึ้น | 0.314 | 0.483 | $\alpha$ | -0.152 |
| เวลาสูงสุด | 0.628 | 0.725 | $\alpha$ | 0 |
| ผลตอบสนองสูงสุด | 100% | 16.30% | 0.00 | -88.4% |
| เวลาสู่สมดุล ±5 % | $\alpha$ | 1.2 | 0.6 | 0.3 |
| เวลาสู่สมดุล ±2 % | $\alpha$ | 1.6 | 0.8 | 0.4 |

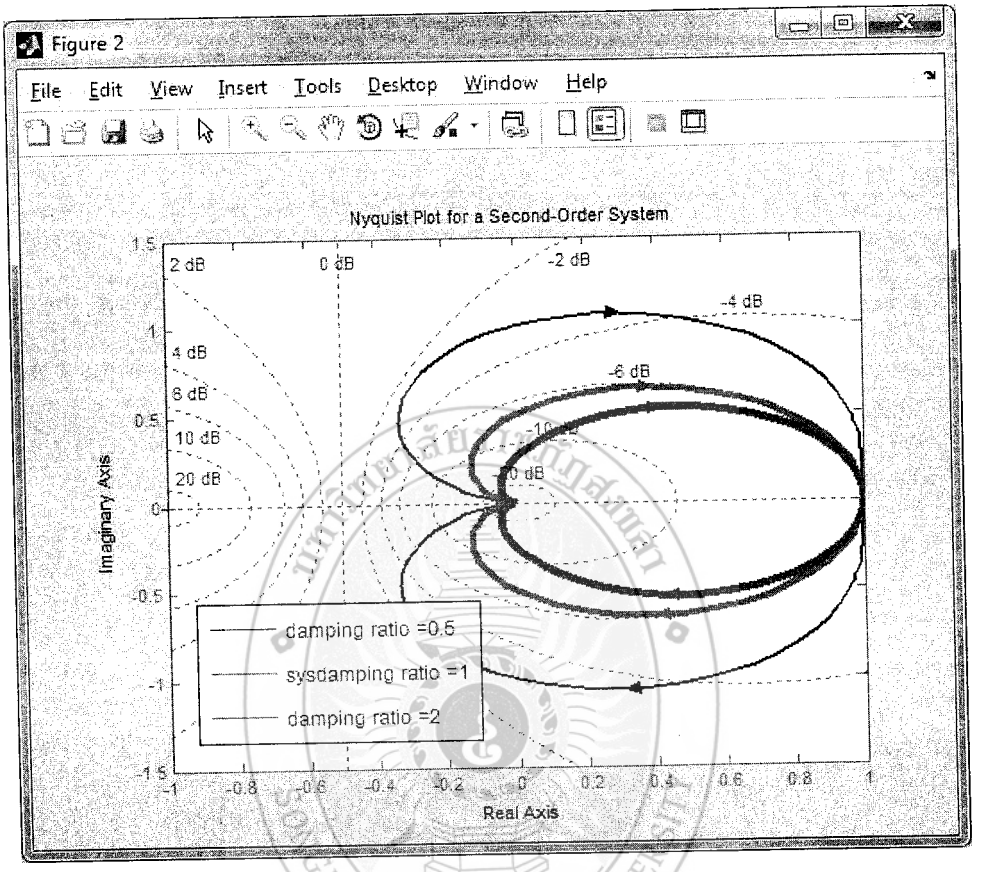
ผลการจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเด ของระบบควบคุมอันดับสองที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ แสดงดังรูปที่ 4-11




**รูปที่ 4-11** ผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเดของระบบควบคุมอันดับสองที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ

จากรูปที่ 4-11 พบว่าเมื่อกำหนดค่าอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ เท่ากับ 0, 0.5, 1 และ 2 ตามลำดับ ที่ $\zeta = 0$ ความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ $\omega_n$ เท่ากับ 5 rad/sec มีขนาด 143 dB มีมุมเฟสเท่ากับ -90° ที่ $\zeta = 0.5$ ความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ $\omega_n$ เท่ากับ 5 rad/sec มีขนาด $-1.93\times10^{-15}$ dB มีมุมเฟสเท่ากับ -90° ที่ $\zeta = 1$ ความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ $\omega_n$ เท่ากับ 5 rad/sec มีขนาด -6.02 dB มีมุมเฟสเท่ากับ -90° และที่ $\zeta = 2$ ความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ $\omega_n$ เท่ากับ 5 rad/sec มีขนาด -12 dB มีมุมเฟสเท่ากับ -90° ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

ผลการจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ ของระบบควบคุมอันดับสองที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ แสดงดังรูปที่ 4-12

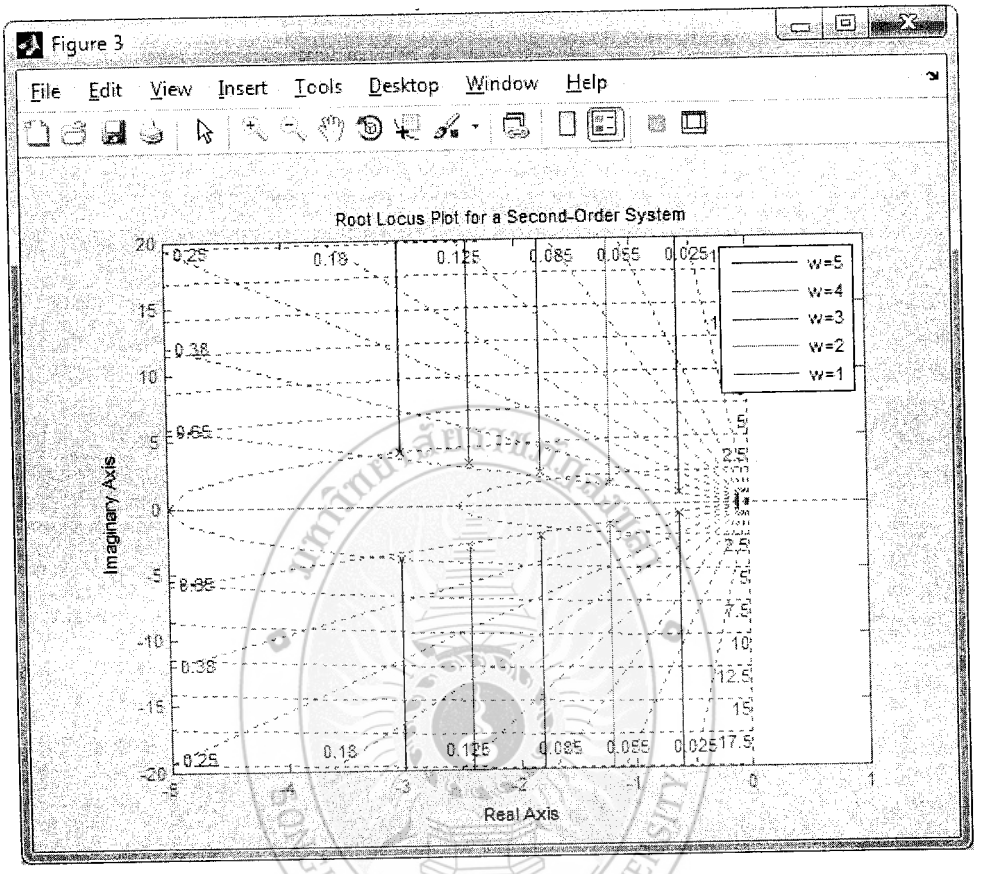



**รูปที่ 4-12** ผลตอบสนองแบบไนควิสต์ของระบบควบคุมอันดับสองที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ

จากรูปที่ 4-12 พบว่าเมื่อกำหนดค่าอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ เท่ากับ 0.5, 1 และ 2 ตามลำดับ ไม่มีโพลทางด้านฝั่งขวามือของระนาบเอส และจากการจำลองแผนภาพไนควิสต์โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไม่มีวงล้อมรอบตามเข็มนาฬิการอบจุด -1 ดังนั้นแสดงว่าระบบนี้มีคุณภาพ ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

ผลการจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก ของระบบควบคุมอันดับสองแสดงดังรูปที่ 4-13 พบว่าฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบควบคุมอันดับสอง เมื่อกำหนดค่าความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ $\omega_n$ เท่ากับ 1 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ $-0.6 \pm j0.8$ เมื่อปรับค่า $\omega_n$ เท่ากับ 2 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ $-1.2 \pm j1.6$ เมื่อปรับค่า $\omega_n$ เท่ากับ 3 rad/sec

จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ -1.8 ± j2.4 ตามลำดับ ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี



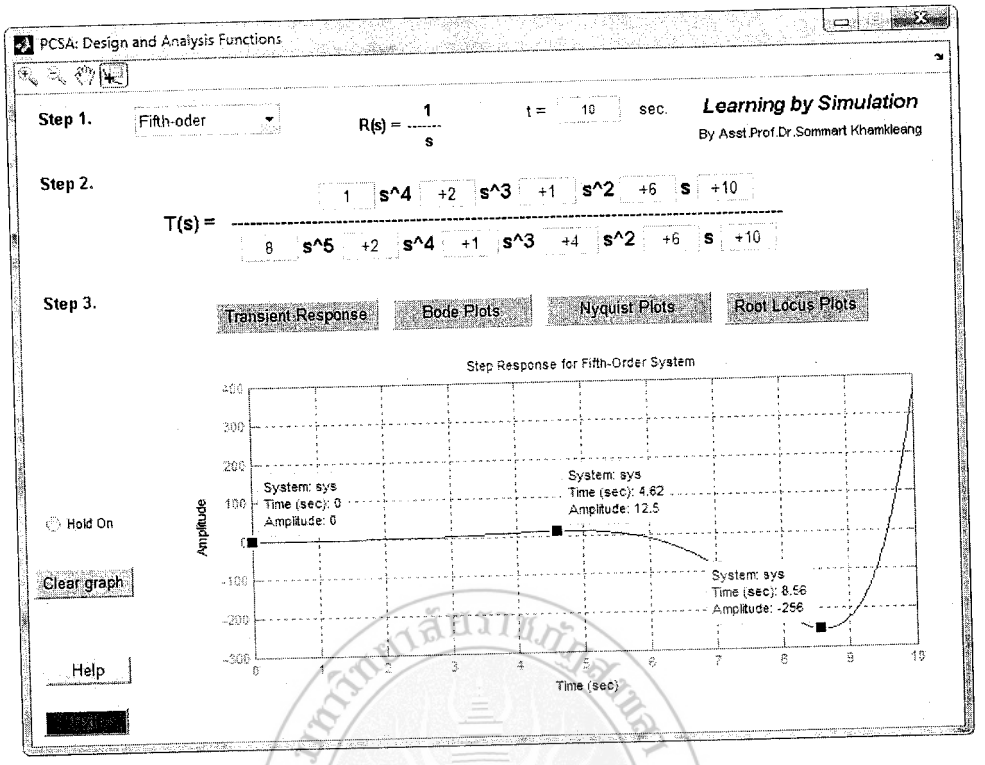

**รูปที่ 4-13** ผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของรากของระบบควบคุมอันดับสอง

4.2.3 การออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน

ในงานวิจัยนี้จะขอยกตัวอย่างการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบควบคุมอันดับ 5 โดยมีค่าสัญญาณเอาต์พุตของระบบคือ

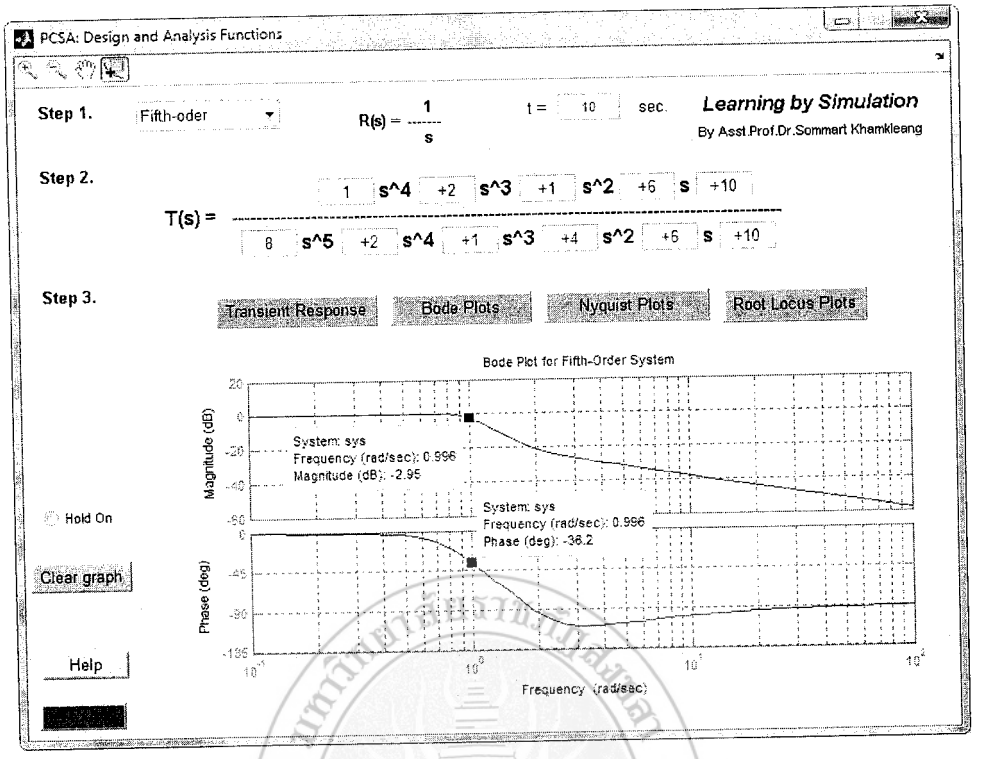
$$T(s) = C(s) = \frac{s^4 + 2s^3 + s^2 + 6s + 10}{8s^5 + 2s^4 + s^3 + 4s^2 + 6s + 10}$$

เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นฟังก์ชั่นอันดับหนึ่ง มีค่า $R(s) = \frac{1}{s}$ แสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4-14 ถึงรูปที่ 4-17




**รูปที่ 4-14** ผลตอบสองชั่วขณะที่เวลา (t) 0 ถึง 10 วินาที ของระบบควบคุมอันดับ 5

จากรูปที่ 4-14 พบว่าผลตอบสองชั่วขณะที่เวลา 0 วินาที ผลตอบสนองของสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ 0 และเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ผลตอบสนองของสัญญาณจะมีค่าขึ้นตามไปด้วยจนถึงเวลาที่ 4.62 วินาที ผลตอบสนองของสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ 12.5 และหลังจากนั้นผลตอบสนองของสัญญาณจะมีค่าลดลงไปเรื่อย ๆ จนถึงเวลาที่ 8.56 วินาที ผลตอบสนองของสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ -256 และเมื่อเวลาผ่านไปหลังจาก 8.56 วินาที ลักษณะผลตอบสนองจะมีค่าที่สูงขึ้น ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

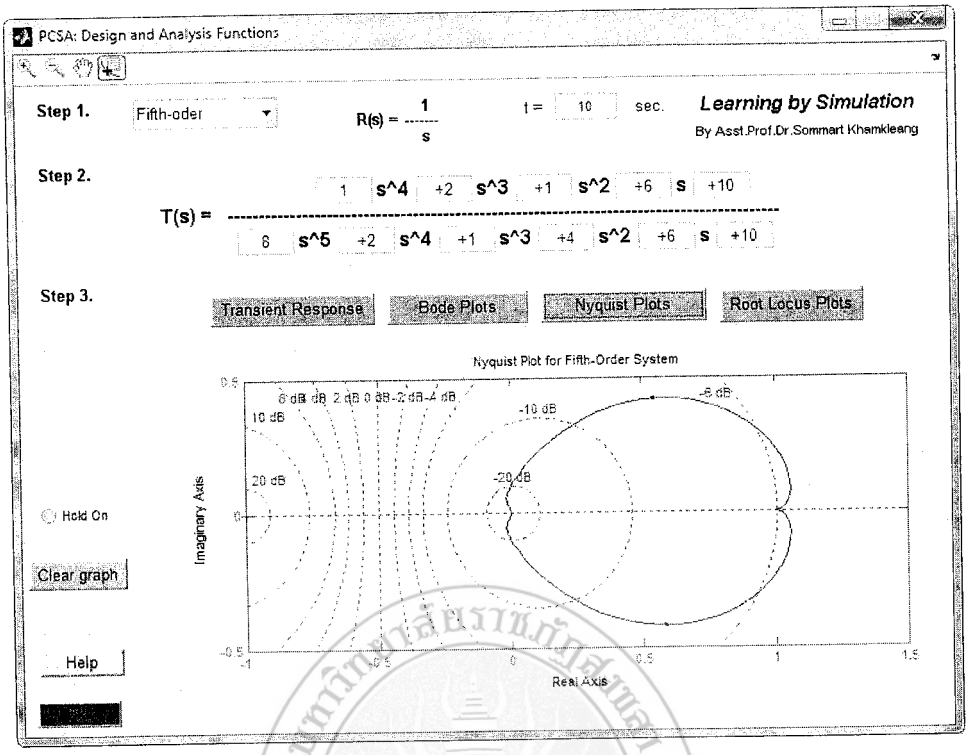



**รูปที่ 4-15** ผลตอบสนองในโดเมนความถี่แบบโบเดของระบบควบคุมอันดับ 5

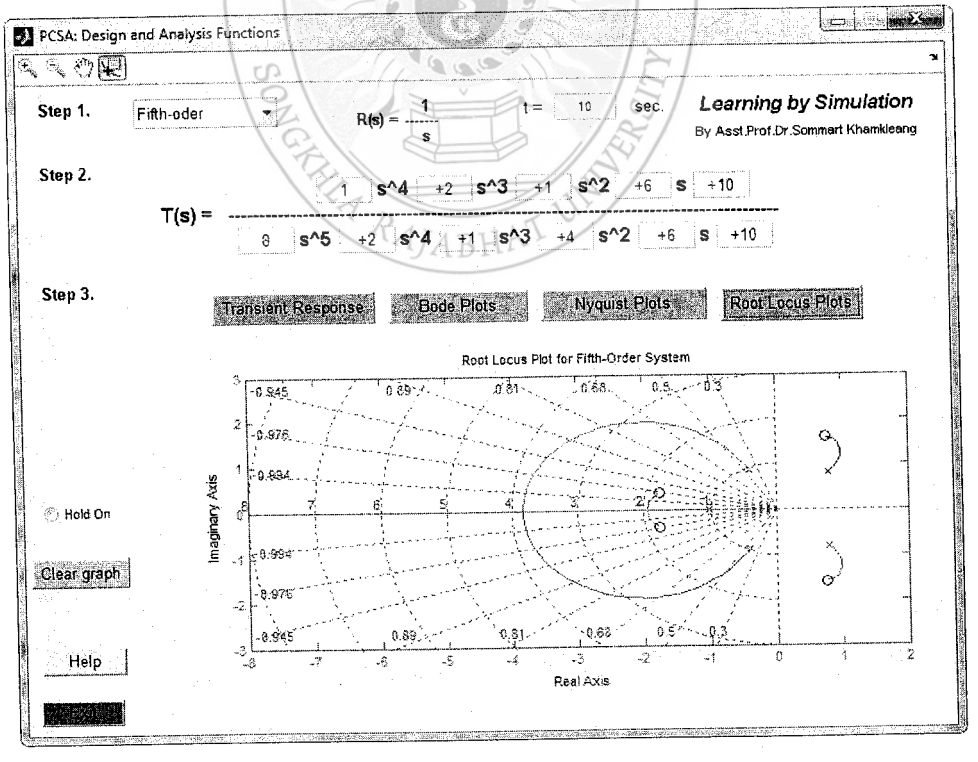
จากรูปที่ 4-15 พบว่าผลตอบสนองในโดเมนความถี่แบบโบเดของระบบควบคุมอันดับ 5 ที่ขนาด -3 dB มีค่า $\omega_n$ เท่ากับ 1 rad/sec มุมเฟสเท่ากับ 37° ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

จากรูปที่ 4-16 พบว่าผลการหาเสถียรภาพด้วยวิธีการไนควิสต์ของระบบควบคุมอันดับ 5 ไม่มีโพลทางด้านฝั่งขวามือของระนาบเอส และจากการจำลองแผนภาพไนควิสต์โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไม่มีวงล้อมรอบตามเข็มนาฬิการอบจุด -1 ดังนั้นแสดงว่าระบบนี้มีคุณภาพ ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

จากรูปที่ 4-17 พบว่าผลการหาเสถียรภาพด้วยวิธีการเส้นทางเดินของรากของระบบควบคุมอันดับ 5 จะมีโพลและซีโรอยู่บนระนาบเอสจำนวน 5 คู่ เช่นที่ค่าโพล เท่ากับ -1.03 มีค่าอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ เท่ากับ 1 มีค่าอัตราการขยาย เท่ากับ 0 ที่ความถี่ 1.03 rad/sec และ ซีโร่ เท่ากับ -1.76 + j0.372 มีค่าอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ เท่ากับ 0.978 มีค่าอัตราการขยาย เท่ากับ $\alpha$ ที่ความถี่ 1.8 rad/sec ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี




**รูปที่ 4-16** ผลการหาเสถียรภาพด้วยวิธีการไนควิสต์ของระบบควบคุมอันดับ 5




**รูปที่ 4-17** ผลการหาเสถียรภาพด้วยวิธีการเส้นทางเดินของรากของระบบควบคุมอันดับ 5

**4.3 ผลการประเมินความพึงพอใจโดยผู้เชี่ยวชาญ**

การทดสอบการใช้งานของโปรแกรมจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ผลการประเมินจากแบบสอบถามแสดงดังตารางที่ 4-2

**ตารางที่ 4-2** ผลการประเมินโปรแกรมจากผู้เชี่ยวชาญ

| ความคิดเห็น | $\bar{X}$ | S.D. | ระดับความพึงพอใจ |
|---|---|---|---|
| 1. ด้านโครงสร้าง | 4.43 | 0.59 | มาก |
| 2. ด้านการใช้งาน | 4.62 | 0.56 | มากที่สุด |
| 3. ด้านผลการคำนวณ | 4.65 | 0.54 | มากที่สุด |
| เฉลี่ยรวมทุกด้าน | 4.57 | | มากที่สุด |

ผลการประเมินพบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นดังนี้ 1) ด้านโครงสร้างมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.43 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.59 2) ด้านการใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.62 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.56 และ 3) ด้านผลการคำนวณมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.65 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.54 โดยมีค่าระดับความพึงพอใจเฉลี่ยเท่ากับ 4.57 มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

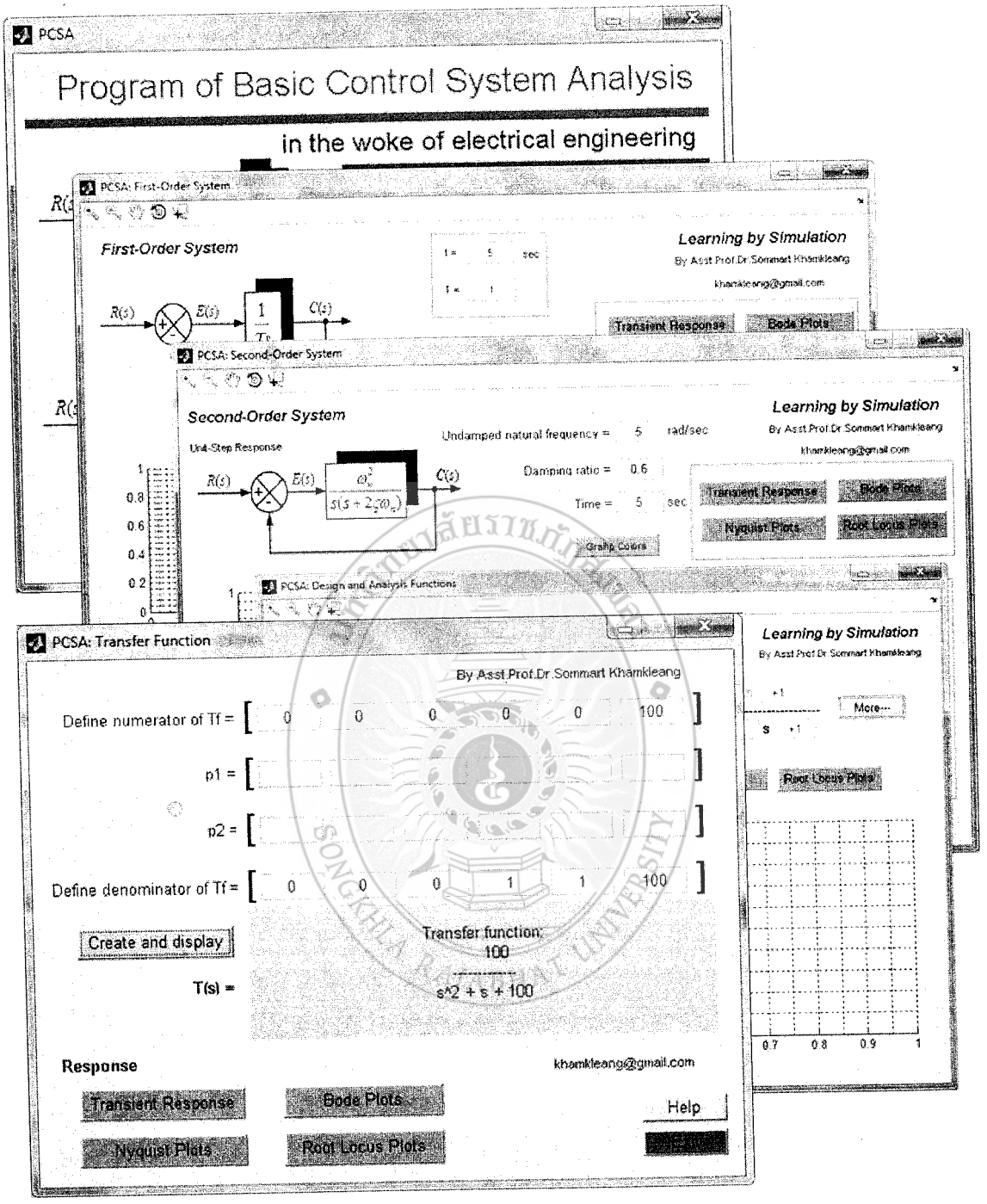
# บทที่ 5
# สรุปผลและอภิปรายผล

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

การทำวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมประยุกต์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์วิศวกรรมระบบควบคุมโดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของแมทแล็ป มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้ เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ปัญหา การออกแบบโปรแกรม การเขียนโปรแกรม การทดสอบและแก้ไขโปรแกรม และการจัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งาน ผลของการทำวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ระบบควบคุมเบื้องต้นในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของแมทแล็ปที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย หน้าต่างเมนูหลัก โปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับหนึ่ง โปรแกรมวิเคราะห์วงจรอันดับสอง และโปรแกรมออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน แสดงดังรูปที่ 5-1

2. โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ระบบควบคุมเบื้องต้นในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของ แมทแล็ปที่พัฒนาขึ้น สามารถวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับหนึ่ง ระบบควบคุมอันดับสอง ออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน โดยโปรแกรมสามารถจำลองกราฟการตอบสนองชั่วขณะ กราฟการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบควบคุม และผลตอบสนองในโดเมนความถี่แบบโบเดได้ถูกต้อง ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว เหมาะกับการนำไปใช้วิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า และยังสามารถนำไปใช้ในการสอนวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจลักษณะของการตอบสนองของระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า และสามารถเชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีกับการปฏิบัติได้เป็นอย่างดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Antonios S. Andreatos and Anastasios D. Zagorianos. [19] และผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจเฉลี่ยเท่ากับ 4.57 ซึ่งมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

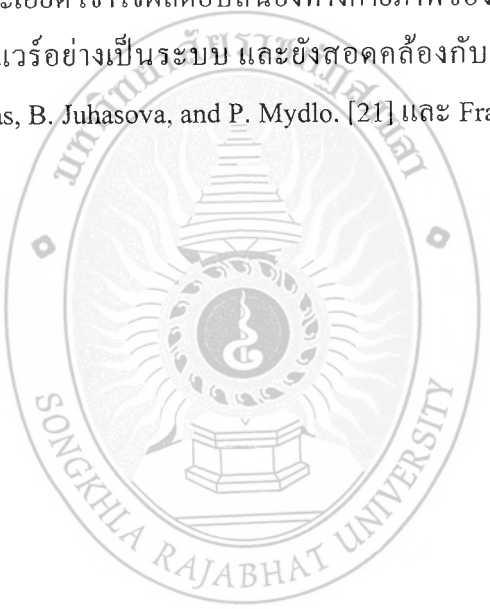



**รูปที่ 5-1** สรุปผลการพัฒนาโปรแกรม

## 5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยยังพบอีกว่าผลการวิเคราะห์ของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีค่าถูกต้องตรงตามทฤษฎี เพราะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีของระบบควบคุม จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีความ

ซับซ้อน มาเชื่อมโยงสู่ผลตอบสนองทางกายภาพของระบบ และ นำไปสู่การพัฒนาโปรแกรมตามขั้นตอนการพัฒนา จึงทำให้ผลการวิเคราะห์ถูกต้อง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ไพศาล คงเรือง และสมมารถ ขำเกลี้ยง [15] ที่ได้พัฒนาโปรแกรมออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 รูปแบบของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นทำงานด้วยโปรแกรมแมทแล็ปในฟังก์ชั่นจียูไอ การทดสอบโปรแกรมสามารถทำได้โดยนำผลการออกแบบจากโปรแกรมเปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี หลังจากนั้นนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินคุณภาพการใช้งาน ผลการวิจัยพบว่า ผลการคำนวณของโปรแกรมมีความถูกต้องตรงตามผลการคำนวณทางทฤษฎี มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.01 เปอร์เซ็นต์ และผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของผู้เชี่ยวชาญ มีค่าอยู่ในระดับมากที่สุด เป็นเพราะมีการศึกษาทฤษฎีที่ละเอียด เข้าใจผลตอบสนองทางกายภาพของสมการคณิตศาสตร์ และยึดขั้นตอนการพัฒนาซอฟต์แวร์อย่างเป็นระบบ และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Suhas Yadav, Prof.S.S.Patil. [20] M. Juhas, B. Juhasova, and P. Mydlo. [21] และ Frank S. Cheng and Lin Zhao. [22] อีกด้วย



# เอกสารอ้างอิง


[1] เธียร เกียรติสุนทร (2556). ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม : อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์ควบคุมทางอุตสาหกรรม. กรุงเทพ ฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[2] Norman S. Nise (2004). Control System Engineering, 4th Edition, JOHN WILEY&SONS, INC.

[3] สุมาลี อุณหวณิชย์ (2545). ระบบควบคุม. กรุงเทพ ฯ : ว.เพ็ชรสกุล.

[4] Dejan V., Tosic and Milka Potrebic (2006). "Solfware Tools for Research and Education," Microwave Review, vol. 12, No.2, pp. 45-54.

[5] Nourdine Aliane (2010). "A Matlab/Simulink-Based Interactive Module for Servo Systems Learning," IEEE Transactions on Education, vol. 53, No. 2, pp. 265-271.

[6] Lesley A. Robertson (2006). "Simple Program Design, Step-by-Step Approach," 5th Edition, Cengage Learning.

[7] ปริญญา สงวนสัตย์ (2553). คู่มือ MATLAB ฉบับปรับปรุง. ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[8] วิทยากร อัศดรวิเศษ และคณะ (2555). การประยุกต์ใช้ MATLAB. ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[9] รัชลิดา ลิปิกรณ์ และคณะ (2558). MATLAB การประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมไฟฟ้า. หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[10] ฉัตรชัย เหล่าพรหมสุคนธ์ และ สวัสดิ์โชติ เลิศเดชเดชา (2553). การพัฒนา Simulink ของโปรแกรม Matlab สาหรับการวิเคราะห์ระบบควบคุมเชิงเส้น. โครงงานวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[11] ศรัณย์ ชูคดี และ สมศักดิ์ อรรคทิมากูล (2555). การพัฒนาโปรแกรมจำาลองสำาหรับศึกษาและวิเคราะห์วงจรกรองความถี่ภายในท่อนำา คลื่นด้วยวิธีการวนรอบของคลื่น. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 22 ฉบับที่ 3 (ก.ย. - ธ.ค. 2555) หน้า 560-571.

[12] จงรัก สามารถ สมมารถ ขำเกลี้ยง และ สมศักดิ์อรรคทิมากูล (2556). การพัฒนาโปรแกรมจำลองวงจรกรองความถี่สำหรับประยุกต์ใช้ในการศึกษาด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม. วารสารวิชาการ พระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 23 ฉบับที่ 3 (ก.ย.-ธ.ค. 2556) หน้า 580-593.

[13] ศิริชัย วัฒนาโสภณ (2557). โปรแกรมออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2557, หน้า 36-47.

[14] อลงกรณ์ พรมที พินิจ เนื่องภิรมย์ ศรัณย์ชูคดี และ สมศักดิ์อรรคทิมากูล (2557). โปรแกรมจำลองการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในโพรงตัวนำโดยวิธีของโมเมนต์. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 24 ฉบับที่ 2 (พ.ค.-ส.ค. 2557) หน้า 257-267.

[15] ไพศาล คงเรือง และ สมมารถ ขำเกลี้ยง. โปรแกรมออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2558. หน้า 46-48.

[16] สมมารถ ขำเกลี้ยง. (2558). การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์ผลตอบสนองของวงจรไฟฟ้าอันดับหนึ่งและ วงจรไฟฟ้าอันดับสองเบื้องต้นโดยใช้จียูไอของแมทแล็ป," วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 25, ฉบับที่ 3, หน้า 337–348.

[17] บุญชม ศรีสะอาด. (2556). วิธีการทางสถิติสำหรับการวิจัย เล่ม 1 (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงทพฯ: สุวีริยาสาส์น

[18] สะอาดศรี คงนิล. (2551). สถิติสำหรับการวิจัย. นครราชสีมา : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

[19] Antonios S. Andreatos and Anastasios D. Zagorianos (2009). "Matlab GUI Application for Teaching Control Systems." Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Engineering Education, pp. 208-211.

[20] Suhas Yadav, Prof.S.S.Patil (2014). "Fuzzy PID Controllers Using Matlab GUI Based for Real Time DC Motor Speed Control", International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, 3(4): April.

[21] M. Juhas, B. Juhasova, and P. Mydlo (2012). "The Mechatronics System Control Quality Analysis Using Simulink and GUI in Matlab." Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2012 Vol II, WCECS 2012, October 24-26, 2012, San Francisco, USA.

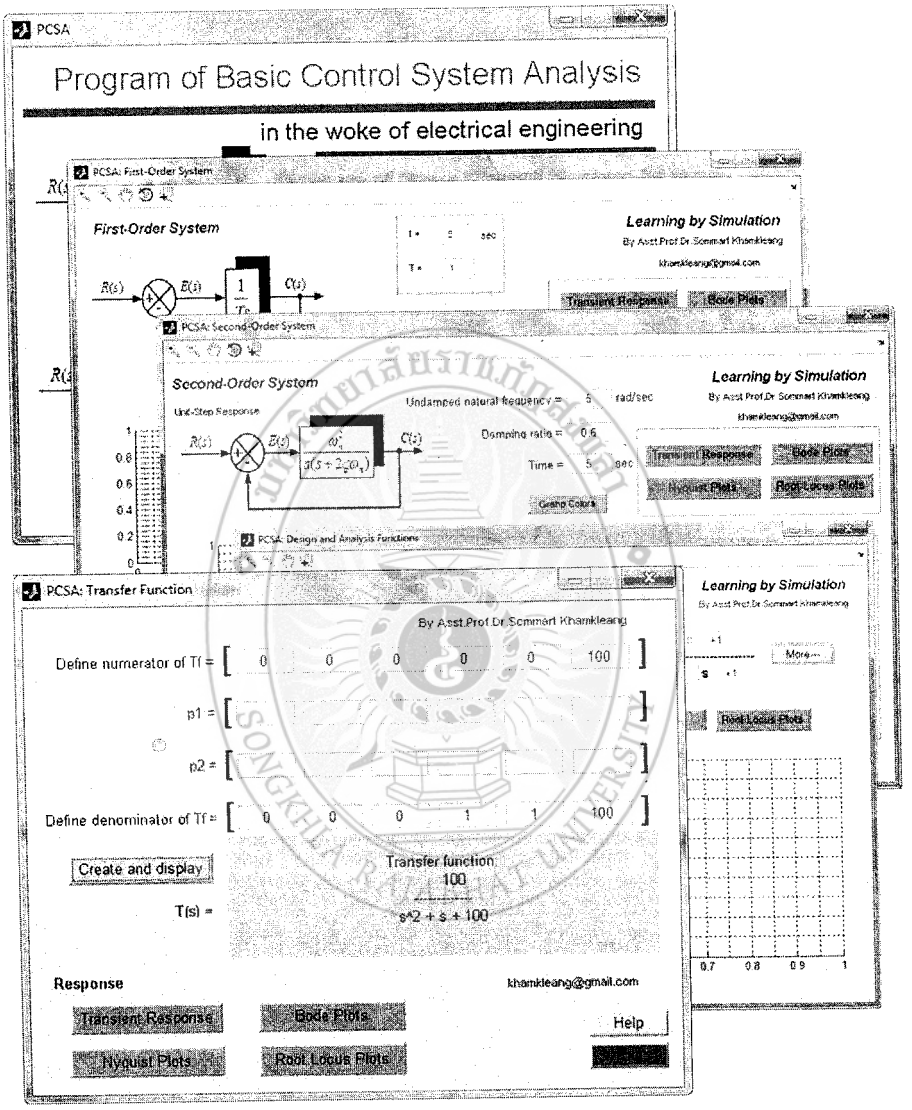
[22] Frank S. Cheng and Lin Zhao (2004). "Developing a MATLAB-Based Control System Design and Analysis Tool for Enhanced Learning Environment in Control System Education." Proceedings of the 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, pp. 9.396.1-9.396.14.

# ภาคผนวก ก

# คู่มือการใช้งานโปรแกรม

# คู่มือการใช้งาน

# โปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้จียูไอของแมทแล็ป




ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมมารถ ขำเกลี้ยง
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

## 1. บทนำ

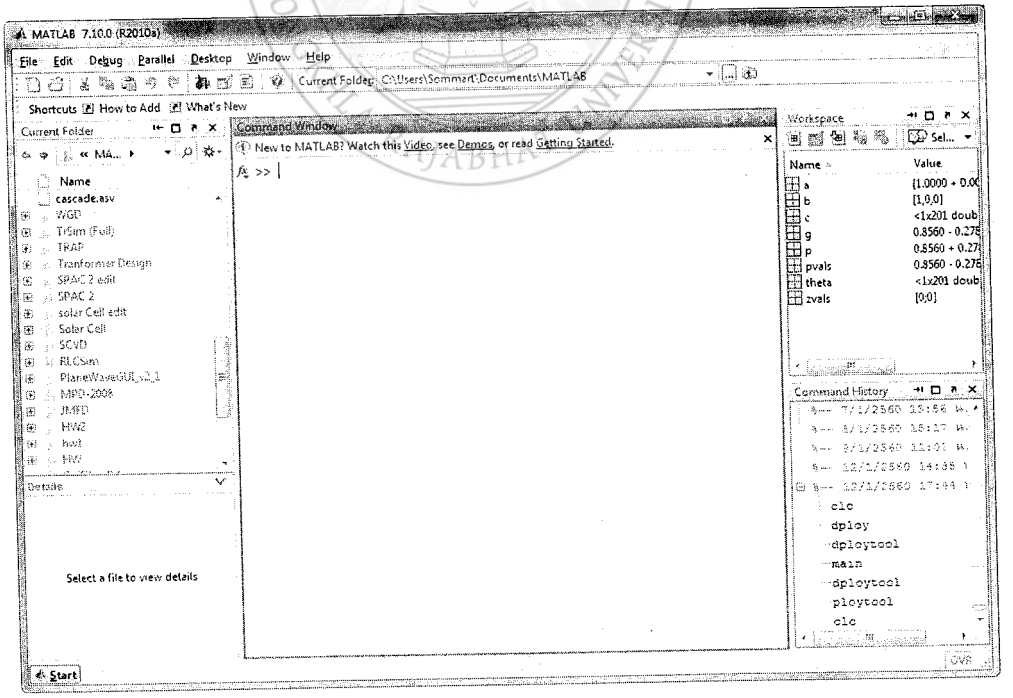
โปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้จียูไอของแมทแล็ป เป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ระบบควบคุมเบื้องต้น โดยสามารถจำลองกราฟการตอบสนองชั่วขณะ กราฟการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบควบคุม และผลตอบสนองในโดเมนความถี่แบบโบเด สามารถอธิบายการใช้งานได้ดังต่อไปนี้

## 2. การติดตั้งโปรแกรม

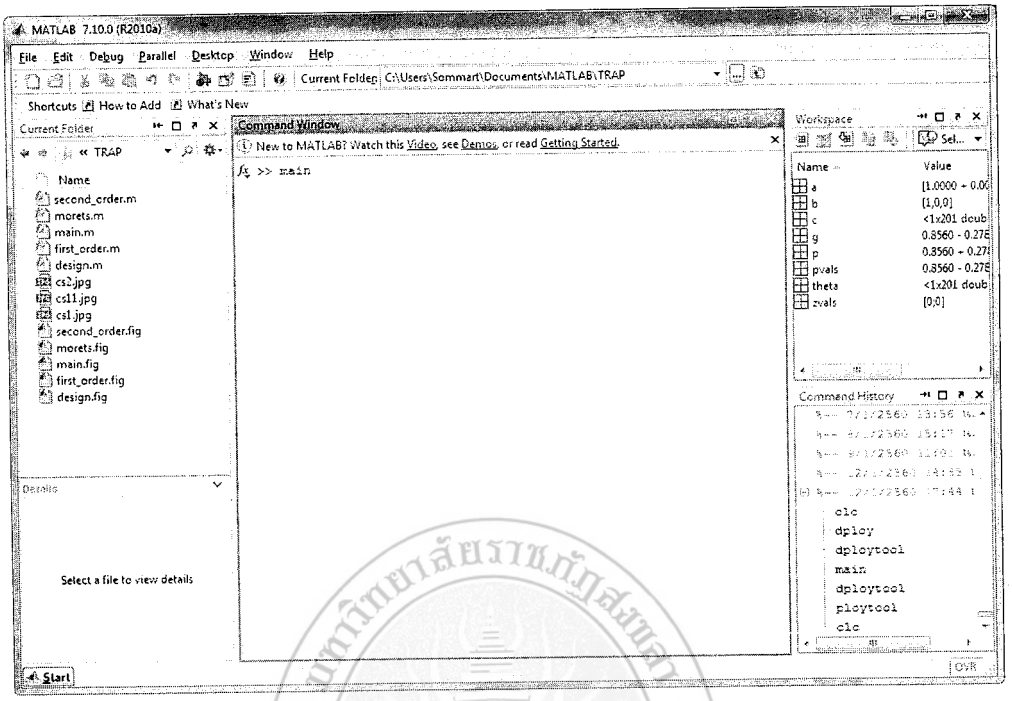
คัดลอกโฟลเดอร์ชื่อ TRAP มาวางไว้ที่ C:\Users\User\Documents\MATLAB

## 3. ส่วนประกอบของโปรแกรม

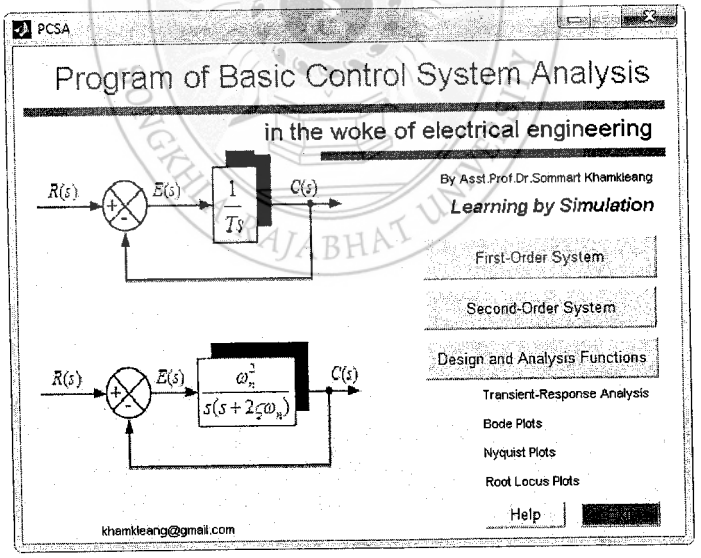
การเข้าสู่โปรแกรมสามารถทำได้โดยเปิดโปรแกรม MATLAB แสดงดังรูปที่ ก-1, ใช้เมาส์ดับเบิ้ลคลิกที่โฟลเดอร์ชื่อ TRAP พิมพ์ main ที่ Command Window จากนั้นกด Enter แสดงดังรูปที่ ก-2 จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างของโปรแกรมแสดงขึ้นมาดังรูปที่ ก-3




**รูปที่ ก-1** หน้าต่างโปรแกรม MATLAB



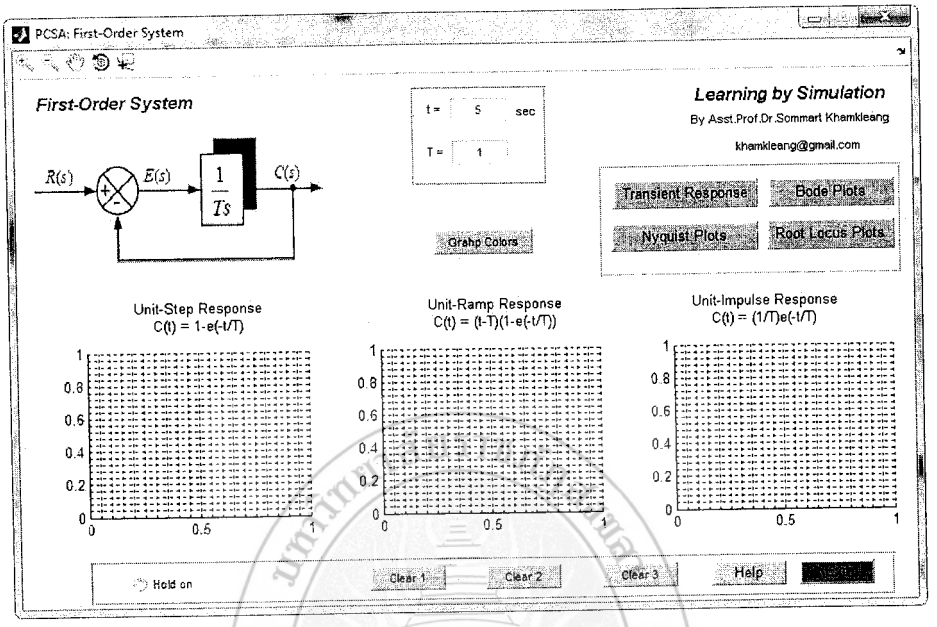

**รูปที่ ก-2** ใช้เมาส์ดับเบิ้ลคลิกที่โฟลเดอร์ชื่อ TRAP พิมพ์ main ที่ Command Window



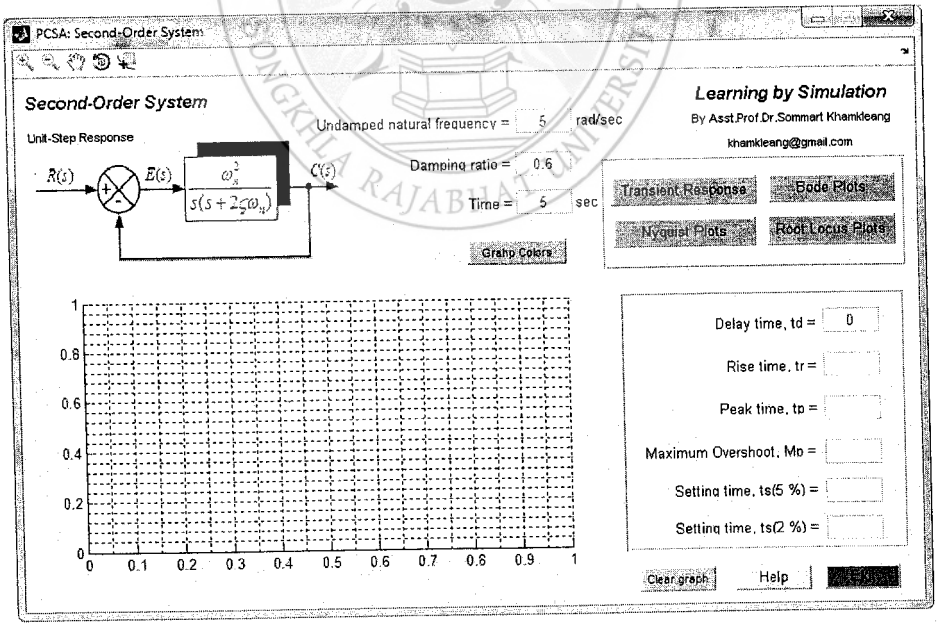

**รูปที่ ก-3** หน้าต่างหลักของโปรแกรม

โปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) โปแกรมหน้าต่างหลักดังรูปที่ ก-3 2) โปรแกรมวิเคราะห์ระบบลำดับหนึ่ง (First-Order System) ดังรูปที่ ก-4 3) โปรแกรมวิเคราะห์ระบบ

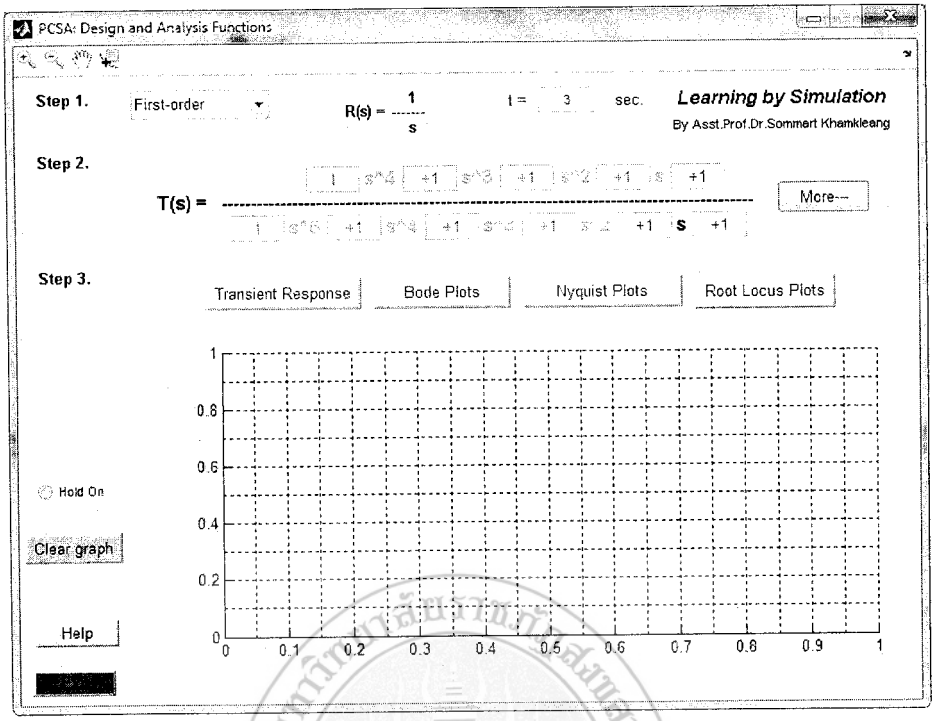
ลำดับสอง (Second-Order System) ดังรูปที่ ก-5 และ 4) โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบฟังก์ชัน (Design and Analysis Function) แสดงดังรูปที่ ก-6




**รูปที่ ก-4** โปรแกรมวิเคราะห์ระบบลำดับหนึ่ง




**รูปที่ ก-5** โปรแกรมวิเคราะห์ระบบลำดับสอง




**รูปที่ ก-6** โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบฟังก์ชัน

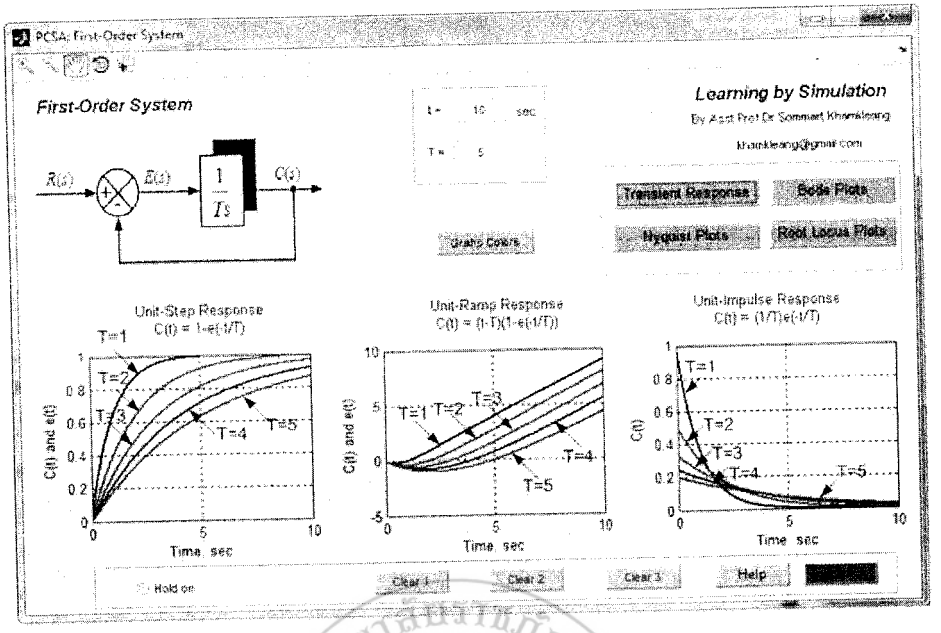
## 4. ผลการทดสอบคุณภาพของโปรแกรม

การทดสอบคุณภาพของโปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้น จะทำการเปรียบเทียบผลการจำลองกับการคำนวณทางทฤษฎี ดังรายละเอียดต่อไปนี้

### 4.1 การวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

การวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับหนึ่งโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎี จะใช้สัญญาณมาตรฐานทดสอบระบบ โดยจะใช้สัญญาณระดับ (unit-step) สัญญาณลาด (unit-ramp) และสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse) เป็นสัญญาณอินพุต โดยทำการกำหนดค่าเวลา (t) เท่ากับ 0 ถึง 5 วินาที และค่า (T) เท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

ผลการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient Respond) ของระบบควบคุมอันดับหนึ่งแสดงดังรูปที่ ก-7



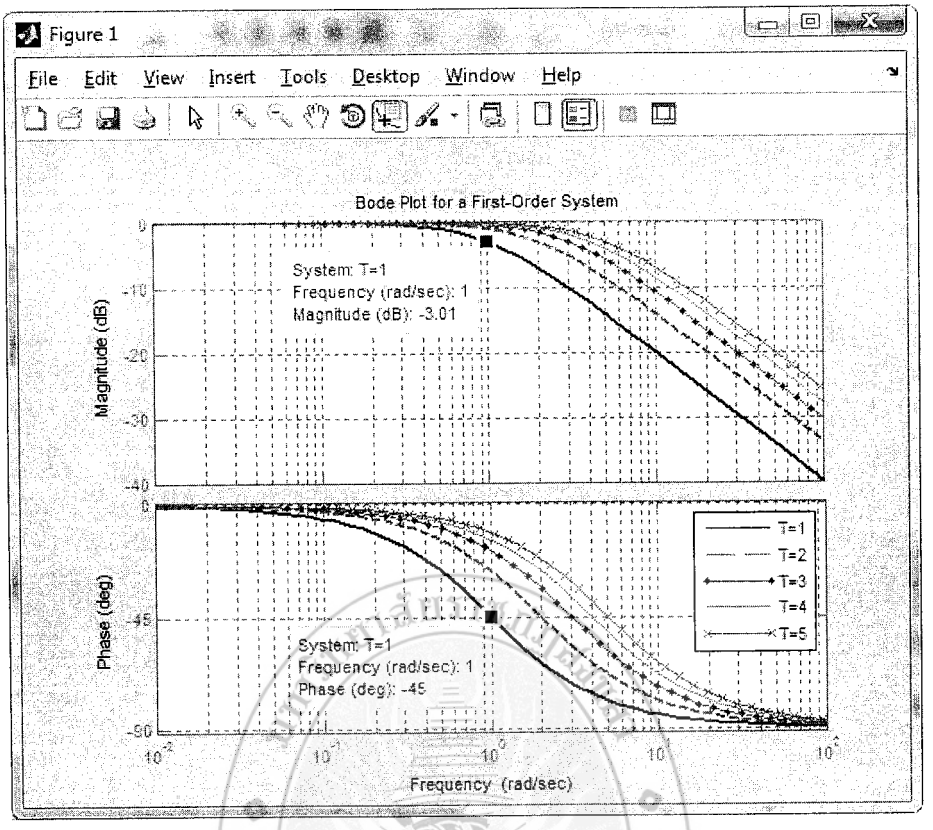

**รูปที่ ก-7** ผลการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

จากรูปที่ ก-7 เมื่อสัญญาณระดับ (unit-step) เป็นสัญญาณอินพุต พบว่าถ้าค่าคงที่ของเวลา (T) น้อยลงเท่าไร ระบบจะเข้าสู่ภาวะเสถียรโดยใช้เวลาน้อยลง ที่จุด t =T จะได้ค่าของ $c(t)$ เท่ากับ 0.632 หรือ 63.2 % ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด

เมื่อสัญญาณลาด (unit-ramp)เป็นสัญญาณอินพุต พบว่าถ้าค่าคงที่ของเวลา (T) น้อยลงเท่าไร ระบบจะเข้าสู่ภาวะเสถียรโดยใช้เวลาน้อยลง ที่จุด t =T จะได้ค่าของ $c(t)$ เท่ากับ 0 ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด

เมื่อสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse) เป็นสัญญาณอินพุต พบว่าถ้าค่าคงที่ของเวลา (T) น้อยลงเท่าไร ระบบจะเข้าสู่ภาวะเสถียรโดยใช้เวลาน้อยลง ที่จุด t = T จะได้ค่าของ $c(t)$ เท่ากับ 0.368 หรือ 36.8 % ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

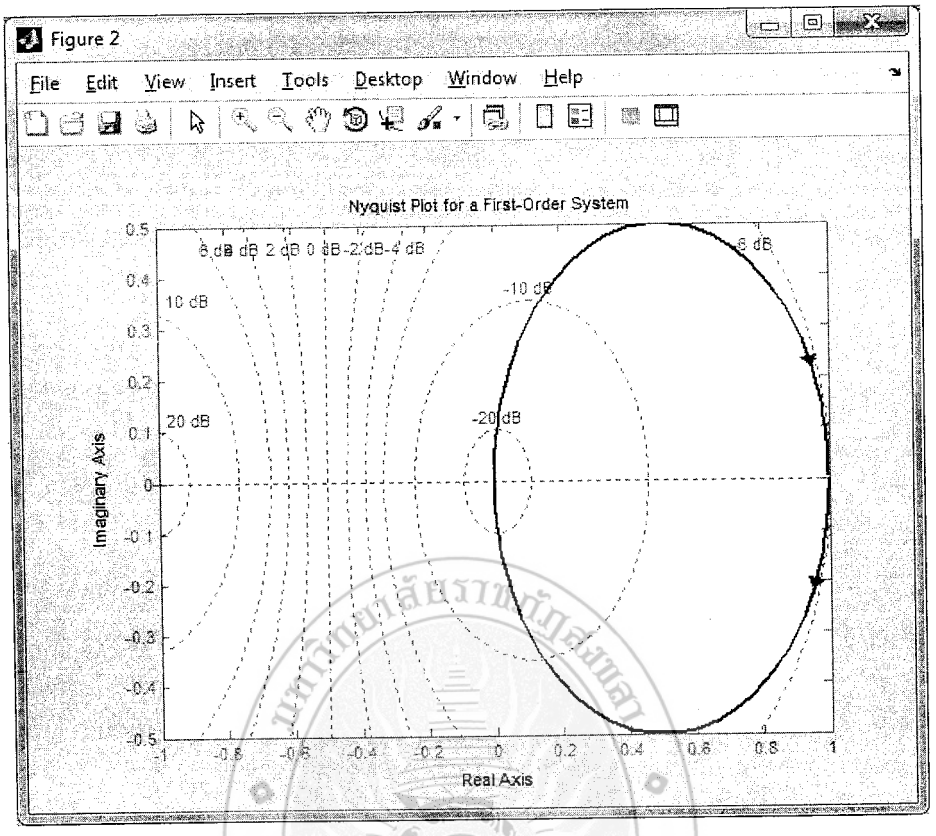
ผลการจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเด (Bode Plot) ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง แสดงดังรูปที่ ก-8




**รูปที่ ก-8** ผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเดของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

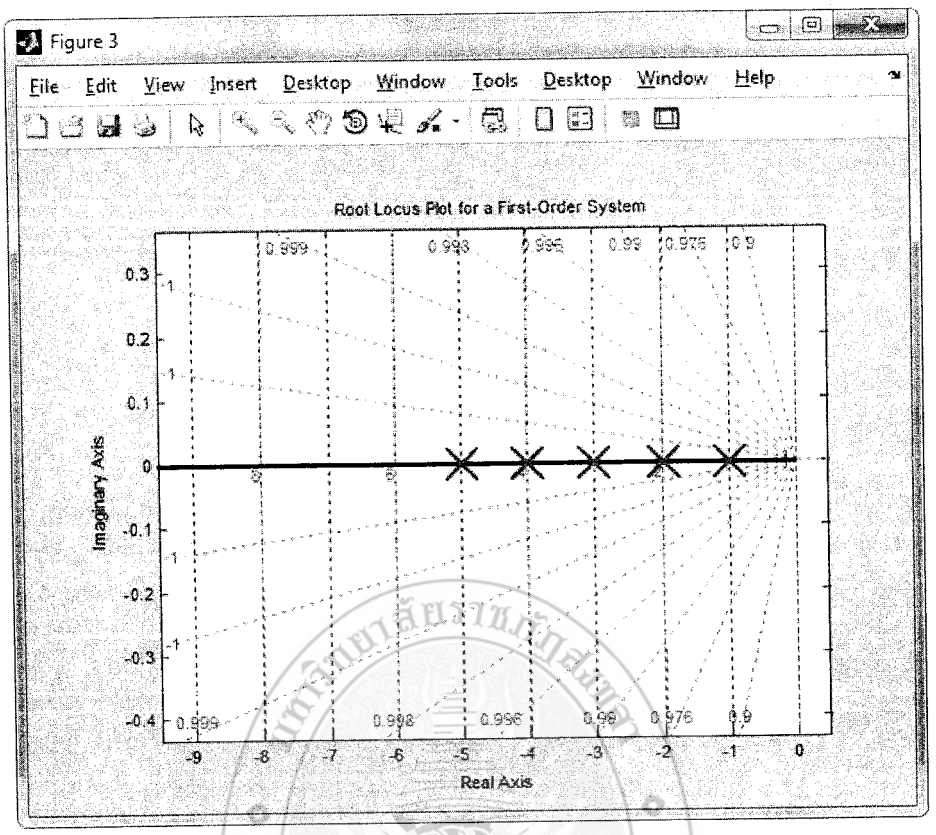
จากรูปที่ ก-8 พบว่า ถ้าค่าคงที่ของเวลา (T) มีค่าเท่ากับ 1 จะทำให้ลักษณะของผลตอบสนองมีค่าความถี่ตัดที่ขนาด -3.0 dB ที่ความถี่เท่ากับ 1 rad/sec มีมุมเฟสเท่ากับ -45° และเมื่อค่าคงที่ของเวลา (T) มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความถี่ตัดที่ขนาด -3.0 dB มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่มีมุมเฟสเท่ากับ -45° เท่าเดิม ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

ผลการจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ (Nyquist Plot) ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง แสดงดังรูปที่ ก-9 พบว่าฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง ที่มีค่าเวลา (t) เท่ากับ 0 ถึง 5 วินาที และค่า (T) เท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ไม่มีโพลทางด้านฝั่งขวามือของระนาบเอส และจากการจำลองแผนภาพไนควิสต์โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไม่มีวงล้อมรอบตามเข็มนาฬิการอบจุด -1 ดังนั้นแสดงว่าระบบนี้มีคุณภาพ ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี




**รูปที่ ก-9** ผลตอบสนองแบบไนควิสต์ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

ผลการจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก (Root Locus Plot) ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง แสดงดังรูปที่ ก-10

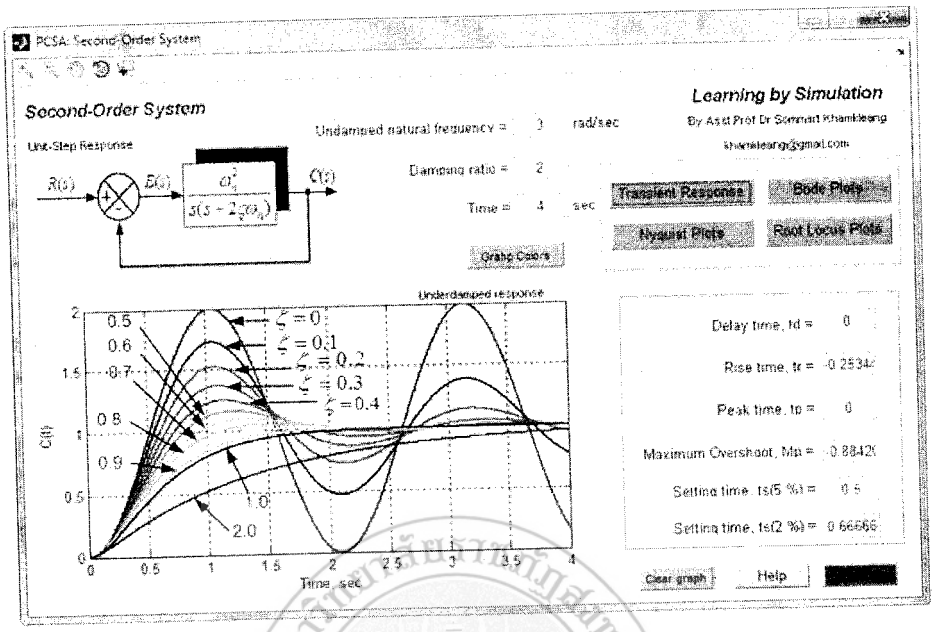



**รูปที่ ก-10** ผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก (Root Locus Plot) ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

จากรูปที่ ก-10 พบว่าฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง ที่มีค่าเวลา (t) เท่ากับ 0 ถึง 5 วินาที และค่า (T) เท่ากับ 1 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ -1 เมื่อปรับค่า (T) เท่ากับ 2 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ -2 เมื่อปรับค่า (T) เท่ากับ 3 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ -3 เมื่อปรับค่า (T) เท่ากับ 4 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ -4 และเมื่อปรับค่า (T) เท่ากับ 5 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ -5 ตามลำดับ ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

### 4.2 การวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับสอง

การวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับสองโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเปรียบเทียบกับทฤษฎี โดยทำการกำหนดค่าเวลา (t) เท่ากับ 0 ถึง 5 วินาที ความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ $\omega_n$ เท่ากับ 5 rad/sec มีอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ เท่ากับ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1 และ 2 ตามลำดับ ผลการจำลองผลตอบสนองชั่วขณะระบบควบคุมอันดับสองแสดงดังรูปที่ ก-11



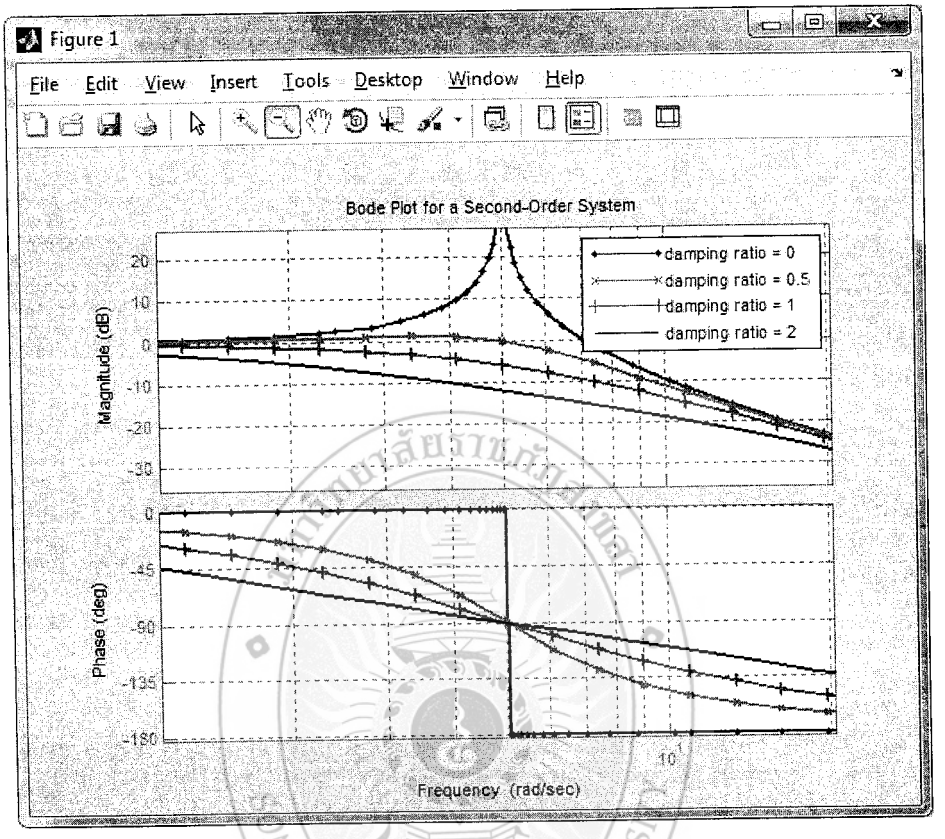

**รูปที่ ก-11** ผลตอบสนองชั่วขณะของระบบควบคุมอันดับสองที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ

จากรูปที่ ก-11 พบว่า กรณี $0<\zeta<1$ เป็นระบบที่มีความหน่วงน้อย (Under Damped) กรณี $0<\zeta<1$ เป็นระบบที่มีความหน่วงน้อย (Under Damped) และกรณี $\zeta>1$ เป็นระบบที่มีความหน่วงเกิน (Over Damped) สามารถแสดงคุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วขณะของระบบควบคุมอันดับสองได้ดังตารางที่ ก-1 ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

**ตารางที่ ก-1** คุณลักษณะของผลตอบสนองชั่วขณะของระบบควบคุมอันดับสองที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$

| คุณลักษณะ | $\zeta=0$ | $\zeta=0.5$ | $\zeta=1$ | $\zeta=2$ |
|---|---|---|---|---|
| เวลาหน่วง | 0 | 0 | 0 | 0 |
| เวลาไต่ขึ้น | 0.314 | 0.483 | $\alpha$ | -0.152 |
| เวลาสูงสุด | 0.628 | 0.725 | $\alpha$ | 0 |
| ผลตอบสนองสูงสุด | 100% | 16.30% | 0.00 | -88.4% |
| เวลาสู่สมดุล ±5 % | $\alpha$ | 1.2 | 0.6 | 0.3 |
| เวลาสู่สมดุล ±2 % | $\alpha$ | 1.6 | 0.8 | 0.4 |

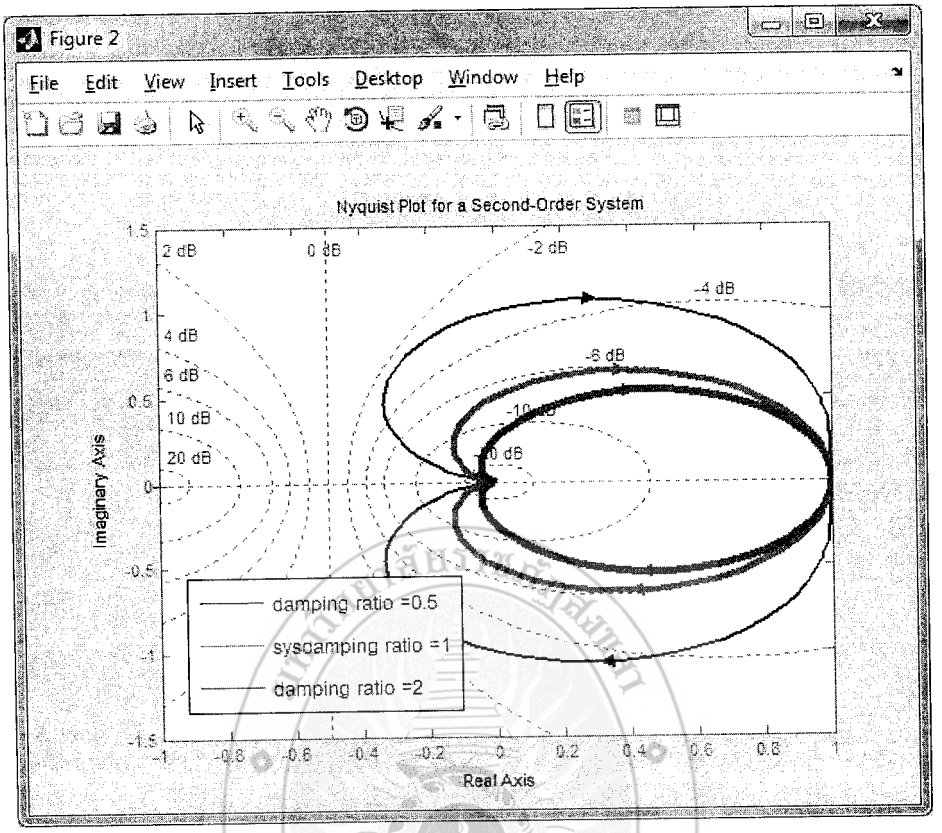
ผลการจำลองผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเด ของระบบควบคุมอันดับสองที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ แสดงดังรูปที่ ก-12




**รูปที่ ก-12** ผลตอบสนองตามความถี่แบบโบเดของระบบควบคุมอันดับสองที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ

จากรูปที่ ก-12 พบว่าเมื่อกำหนดค่าอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ เท่ากับ 0, 0.5, 1 และ 2 ตามลำดับ ที่ $\zeta = 0$ ความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ $\omega_n$ เท่ากับ 5 rad/sec มีขนาด 143 dB มีมุมเฟสเท่ากับ -90° ที่ $\zeta = 0.5$ ความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ $\omega_n$ เท่ากับ 5 rad/sec มีขนาด $-1.93\times10^{-15}$ dB มีมุมเฟสเท่ากับ -90° ที่ $\zeta = 1$ ความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ $\omega_n$ เท่ากับ 5 rad/sec มีขนาด -6.02 dB มีมุมเฟสเท่ากับ -90° และที่ $\zeta = 2$ ความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ $\omega_n$ เท่ากับ 5 rad/sec มีขนาด -12 dB มีมุมเฟสเท่ากับ -90° ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

ผลการจำลองผลตอบสนองแบบไนควิสต์ ของระบบควบคุมอันดับสองที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ แสดงดังรูปที่ ก-13

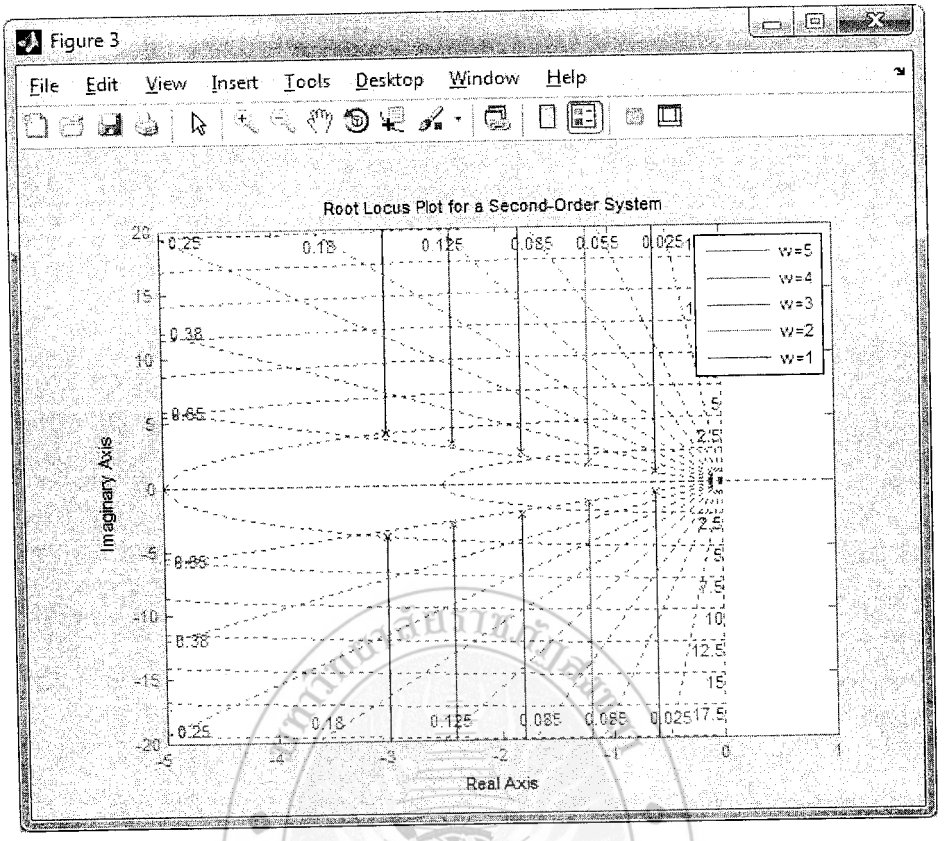



**รูปที่ ก-13** ผลตอบสนองแบบไนควิสต์ของระบบควบคุมอันดับสองที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการหน่วงของระบบ

จากรูปที่ ก-13 พบว่าเมื่อกำหนดค่าอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ เท่ากับ 0.5, 1 และ 2 ตามลำดับ ไม่มีโพลทางด้านฝั่งขวามือของระนาบเอส และจากการจำลองแผนภาพไนควิสต์โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไม่มีวงล้อมรอบตามเข็มนาฬิการอบจุด -1 ดังนั้นแสดงว่าระบบนี้มีคุณภาพ ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

ผลการจำลองผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของราก ของระบบควบคุมอันดับสองแสดงดังรูปที่ ก-14

จากรูปที่ ก-14 พบว่าฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบควบคุมอันดับสอง เมื่อกำหนดค่าความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ $\omega_n$ เท่ากับ 1 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ $-0.6 \pm j0.8$ เมื่อปรับค่า $\omega_n$ เท่ากับ 2 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ $-1.2 \pm j1.6$ เมื่อปรับค่า $\omega_n$ เท่ากับ 3 rad/sec จะมีค่าโพลอยู่บนระนาบเอสที่ $-1.8 \pm j2.4$ ตามลำดับ ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี




**รูปที่ ก-14** ผลตอบสนองแบบเส้นทางเดินของรากของระบบควบคุมอันดับสอง

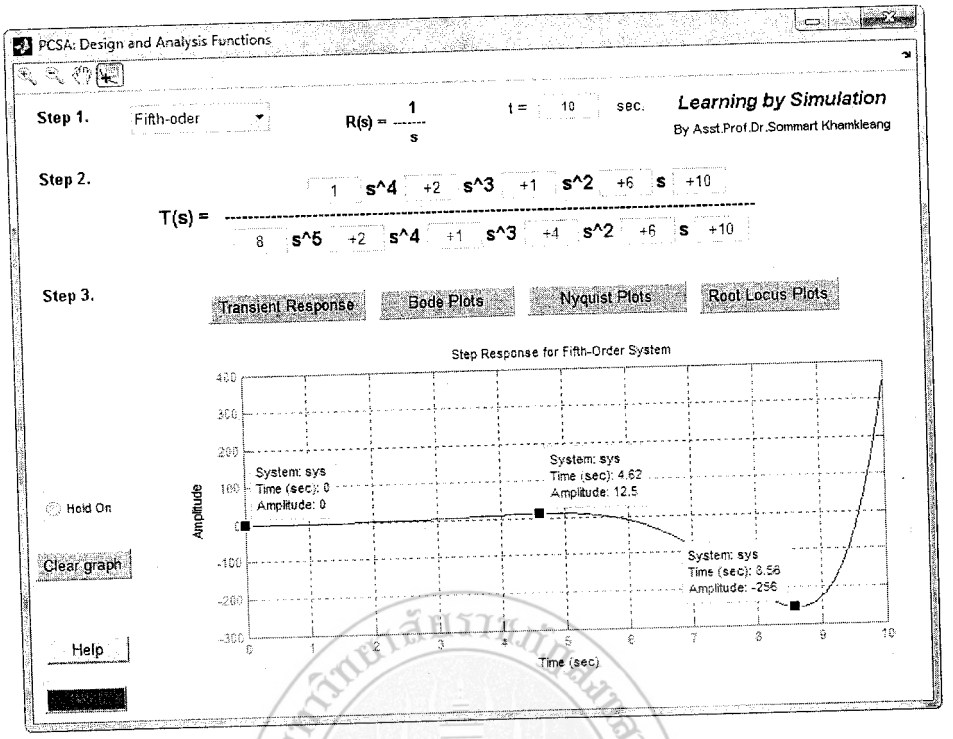
### 4.3 การออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน

การวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบควบคุมอันดับ 5 โดยมีค่าสัญญาณเอาต์พุตของระบบคือ

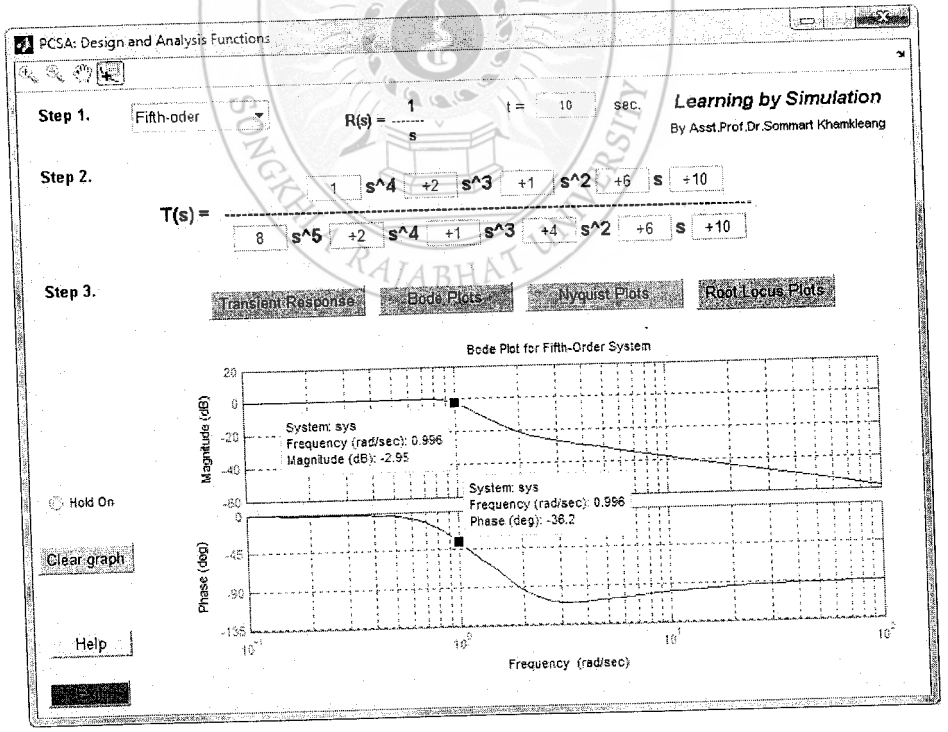
$$T(s) = C(s) = \frac{s^4 + 2s^3 + s^2 + 6s + 10}{8s^5 + 2s^4 + s^3 + 4s^2 + 6s + 10}$$

เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นฟังก์ชั่นอันดับหนึ่ง มีค่า $R(s) = \frac{1}{s}$ แสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ ก-15 ถึงรูปที่ ก-16

จากรูปที่ ก-15 พบว่าผลตอบสองชั่วขณะที่เวลา 0 วินาที ผลตอบสนองของสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ 0 และเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ผลตอบสนองของสัญญาณจะมีค่าขึ้นตามไปด้วยจนถึงเวลาที่ 4.62 วินาที ผลตอบสนองของสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ 12.5 และหลังจากนั้นผลตอบสนองของสัญญาณจะมีค่าลดลงไปเรื่อย ๆ จนถึงเวลาที่ 8.56 วินาที ผลตอบสนองของสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ -256 และเมื่อเวลาผ่านไปหลังจาก 8.56 วินาที ลักษณะผลตอบสนองจะมีค่าที่สูงขึ้น ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี



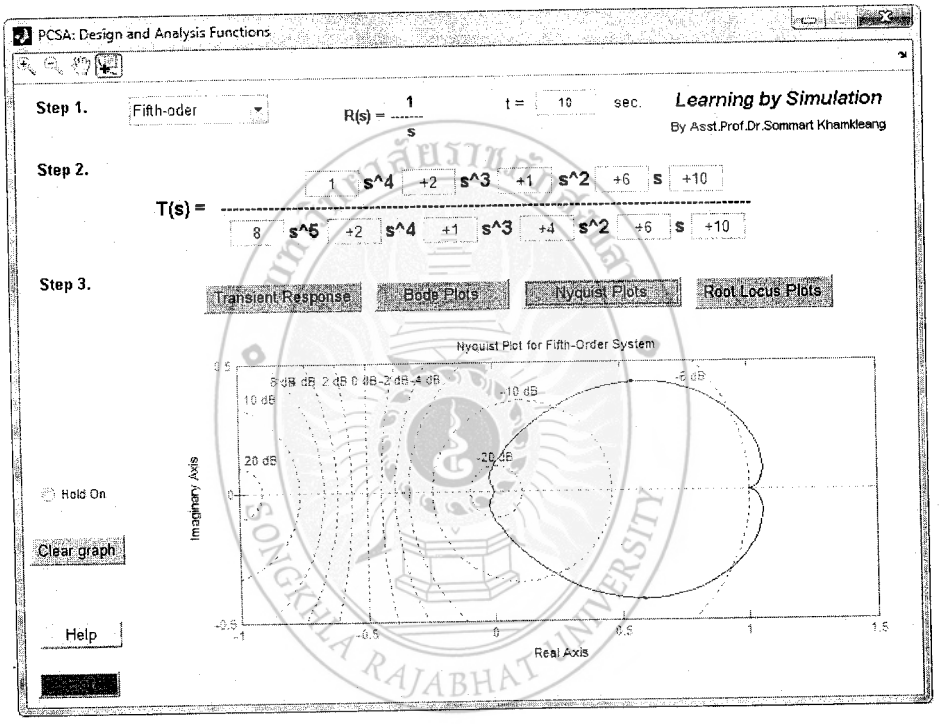

รูปที่ ก-15 ผลตอบสองชั่วขณะที่เวลา (t) 0 ถึง 10 วินาที ของระบบควบคุมอันดับ 5




**รูปที่ ก-16** ผลตอบสนองในโดเมนความถี่แบบโบเดของระบบควบคุมอันดับ 5

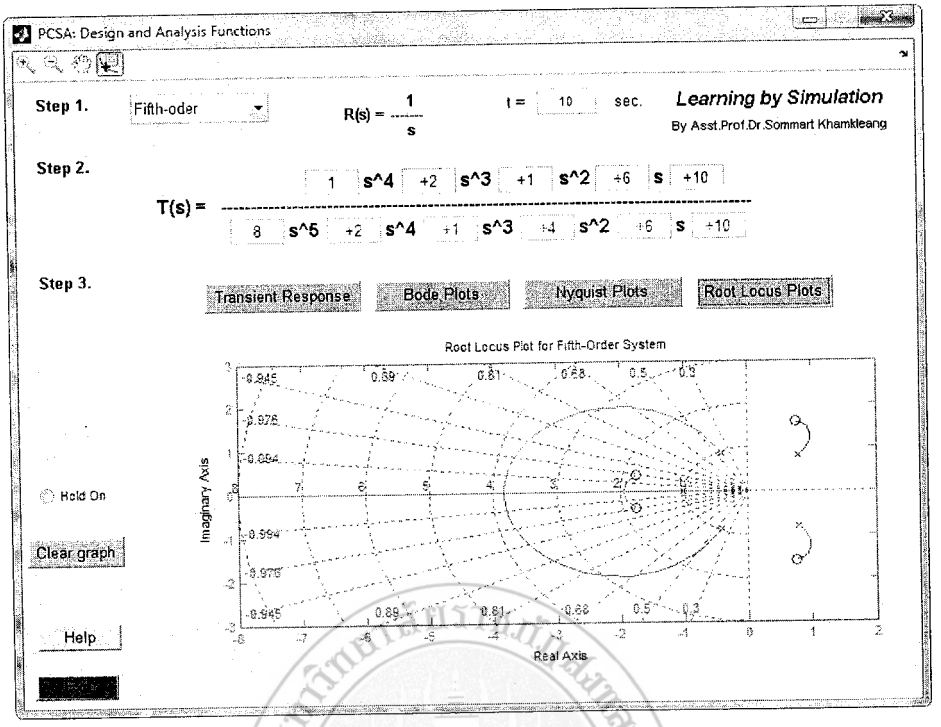
จากรูปที่ ก-16 พบว่าผลตอบสนองในโดเมนความถี่แบบโบเดของระบบควบคุมอันดับ 5 ที่ขนาด -3 dB มีค่า $\omega_n$ เท่ากับ 1 rad/sec มุมเฟสเท่ากับ 37° ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี

จากรูปที่ ก-17 พบว่าผลการหาเสถียรภาพด้วยวิธีการไนควิสต์ของระบบควบคุมอันดับ 5 ไม่มีโพลทางด้านฝั่งขวามือของระนาบเอส และจากการจำลองแผนภาพไนควิสต์โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไม่มีวงล้อมรอบตามเข็มนาฬิการอบจุด -1 ดังนั้นแสดงว่าระบบนี้มีคุณภาพ ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี




**รูปที่ ก-17** ผลการหาเสถียรภาพด้วยวิธีการไนควิสต์ของระบบควบคุมอันดับ 5

จากรูปที่ ก-18 พบว่าผลการหาเสถียรภาพด้วยวิธีการเส้นทางเดินของรากของระบบควบคุมอันดับ 5 จะมีโพลและซีโรอยู่บนระนาบเอสจำนวน 5 คู่ เช่นที่ค่าโพล เท่ากับ -1.03 มีค่าอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ เท่ากับ 1 มีค่าอัตราการขยาย เท่ากับ 0 ที่ความถี่ 1.03 rad/sec และ ซีโร่ เท่ากับ -1.76 + j0.372 มีค่าอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ เท่ากับ 0.978 มีค่าอัตราการขยาย เท่ากับ $\alpha$ ที่ความถี่ 1.8 rad/sec ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี




**รูปที่ ก-18** ผลการหาเสถียรภาพด้วยวิธีการเส้นทางเดินของรากของระบบควบคุมอันดับ 5

## 5 สรุป

โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ระบบควบคุมเบื้องต้นในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้ฟังก์ชั่นจียูไอของแมทแล็ปที่พัฒนาขึ้น สามารถวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับหนึ่ง ระบบควบคุมอันดับสอง ออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน โดยโปรแกรมสามารถจำลองกราฟการตอบสนองชั่วขณะ กราฟการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบควบคุม และผลตอบสนองในโดเมนความถี่แบบโบเดได้ถูกต้อง ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว เหมาะกับการนำไปใช้วิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า และยังสามารถนำไปใช้ในการสอนวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจลักษณะของการตอบสนองของระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า และสามารถเชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีกับการปฏิบัติได้เป็นอย่างดี

# ภาคผนวก ข

## แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ

**แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ**

**ด้านโปรแกรมและโครงสร้าง**

| ข้อที่ | ข้อคำถามความคิดเห็น | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | การจัดวางตำแหน่งส่วนต่างๆบนจอภาพ | | | | | |
| 2 | รูปแบบของรูปภาพเหมาะสม | | | | | |
| 3 | สีและขนาดตัวอักษรบนจอภาพเหมาะสม | | | | | |
| 4 | มีขนาดเหมาะสมมองเห็นได้ชัดเจน | | | | | |
| 5 | มีรายละเอียดและการแสดงผลเพียงพอ | | | | | |

**ด้านเนื้อหาและคู่มือการใช้งาน**

| ข้อที่ | ข้อคำถามความคิดเห็น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | การเรียงลำดับและขั้นตอนการใช้งาน | | | | | |
| 2 | ความเหมาะสมในการใช้ภาษา | | | | | |
| 3 | รูปภาพประกอบสัมพันธ์กับเนื้อหา | | | | | |
| 4 | เนื้อหามีความถูกต้อง | | | | | |
| 5 | ความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน | | | | | |

**ด้านการใช้งาน**

| ข้อที่ | ข้อคำถามความคิดเห็น | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | การกำหนดค่าเริ่มต้นในการใช้งานทำได้ง่าย | | | | | |
| 2 | ความสะดวกในการใช้งานแต่ละเมนูโปรแกรม | | | | | |
| 3 | ผลลัพธ์ของวงจรมอเตอร์มีความถูกต้อง | | | | | |
| 4 | ความรวดเร็วในการคำนวณผล | | | | | |
| 5 | ส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายและรวดเร็ว | | | | | |

| ด้านการนำไปใช้ประกอบการสอน | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ข้อที่ | ข้อคำถามความคิดเห็น | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 1 | สามารถใช้วิเคราะห์วงจรควบคุมทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า | | | | | |
| 2 | ช่วยส่งเสริม และกระตุ้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการจัดการเรียนการสอน | | | | | |
| 3 | ช่วยเชื่อมโยงระหว่างการสอนทฤษฎีและปฏิบัติได้เป็นอย่างดี | | | | | |
| 4 | สามารถนำไปทดสอบทฤษฎีและเรียนรู้ด้วยตนเองนอกชั้นเรียนได้ | | | | | |
| 5 | ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดหาโปรแกรมสื่อการสอน | | | | | |

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# ภาคผนวก ค

## บทความงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

สมมารถ ขำเกลี้ยง. โปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้จียูไอของแมทแล็ป. การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 9, 9th ECTI-CARD 2017 "การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อตอบสนองท้องถิ่นและภาคอุตสาหกรรม" , 25-28 กรกฎาคม 2560, โรงแรมเชียงคาน รีเวอร์ เมาท์เทน จ.เลย, เล่ม 2, หน้า 657-660.

สามารถดาวน์โหลดบทความงานวิจัยได้ที่

http://www.ecti-card.org/card-2017/Proceeding.php

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทความวิจัย
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 9
*9th ECTI-CARD 2017, Chiang Mai Thailand*

# โปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้จียูไอของแมทแล็ป

# Program of Control System Analysis in the Work of Electrical Engineering by using MATLAB GUI

**สมมารถ ชำเกลี้ยง**
สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
160 หมู่ที่ 4 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา 90000 โทรศัพท์ 080-7140955 E-mail: khamkleang@gmail.com

## บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ระบบควบคุมเบื้องต้นในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของแม็ทแลป สภาพแวดล้อมในการพัฒนาโปรแกรมจะทำตามอัลกอริทึมการทำงาน โดยการเขียนเอ็มไฟล์ฟังก์ชันร่วมกับฟังก์ชันเชิงวัตถุ การพัฒนาโปรแกรมประกอบด้วย 5 ขั้นตอนได้แก่ 1) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา 2) ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม 3) ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม 4) ขั้นตอนการทดสอบและแก้ไขโปรแกรม และ 5) ขั้นตอนการจัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งาน ผลของงานวิจัยสรุปได้ดังนี้ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถวิเคราะห์ระบบควบคุมเบื้องต้น โดยสามารถจำลองกราฟการตอบสนองชั่วขณะ กราฟการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบควบคุม และผลตอบสนองในโดเมนความถี่แบบโบดได้ถูกต้อง

**คำสำคัญ:** วิศวกรรมระบบควบคุม จียูไอของแม็ทแลป

## Abstract

This research describes about the development of basic control system analysis program in the work of electrical engineering by using function GUI of MATLAB. Environment of program will follow the algorithm, written by m-file functions with object function. The development of program are comprises 5 steps, 1) the problem analysis, 2) the program design, 3) the program coding 4) the program testing & verification and 5) the program documentation. The research found that the results of the program can be analysis of control system basic, by can simulate of transient respond analysis, stability analysis, and the response in frequency domain Bode. The simulation results of program are correct.

**Keyword:** Control system engineering, MATLAB GUI

## 1. บทนำ

ระบบควบคุมได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และในชีวิตประจำวัน เช่น ระบบควบคุมในเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะคอยควบคุมอุณหภูมิภายในห้องให้คงที่ อีกทั้งในอุตสาหกรรมได้มีการนำระบบควบคุมอัตโนมัติไปใช้ควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร เป็นต้น [1] การวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับหนึ่ง จะใช้การหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตของระบบ จะใช้สัญญาณมาตรฐานทดสอบระบบ และกำหนดให้ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นศูนย์ หลังจากนั้นทำการแปลงลาปลาซ และลาปลาซผกผันเพื่อหาค่าสมการผลตอบสนองของระบบ โดยที่การวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับสองเป็นต้นไป การวิเคราะห์คุณสมบัติของระบบ จะพิจารณาในเทอมของตัวแปรสองตัวคือ อัตราการหน่วงของระบบ ($\zeta$) และความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ ($\omega_n$) และจะต้องทำการแปลงลาปลาซ และลาปลาซผกผันเพื่อหาค่าสมการผลตอบสนองของระบบเช่นเดียวกัน [2] การทำให้ระบบมีเสถียรภาพเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่งของระบบควบคุม ดังนั้นผู้ออกแบบจึงมีความจำเป็นต้องหาวิธีการวิเคราะห์และออกแบบให้ระบบควบคุมเป็นระบบที่มีเสถียรภาพมากที่สุด โดยวิธีวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบสามารถทำได้โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ได้แก่ วิธีการทดสอบแบบไนควิสท์ (Nyquist Stability Criterion) วิธีการทดสอบแบบเส้นทางเดินของราก (Root Locus) และวิธีวิกฤตของเร้าท์เฮอร์วิธ (Routh – Hurwitz Criterion) [3]

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ระบบควบคุมมีความซับซ้อนในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ และต้องใช้ระยะเวลาเป็นอย่างมาก การแก้ปัญหาวิธีการหนึ่งในปัจจุบันคือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาคำนวณ [4], [5] โดยใช้โปรแกรมต่างๆ เช่น ไมโครซอฟต์เอ็กเซล (Microsoft Excel) แม็ทแลป (Matlab), Visual C+ หรือโปรแกรมที่ออกแบบมาเฉพาะทาง โปรแกรมที่นิยมนำมาใช้สำหรับวิเคราะห์งานทางด้านวิศวกรรม ได้แก่โปรแกรมแม็ทแลป ดังเช่นงานวิจัยหลาย ๆ งาน [6], [7], [8] และ [9] ที่ได้นำโปรแกรมแม็ทแลปไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ เพราะใช้งานง่าย มีความสะดวกในการพัฒนาเป็นโปรแกรมประยุกต์ ดังนั้นจากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ระบบควบคุมเบื้องต้นในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของแม็ทแลปต่อไป

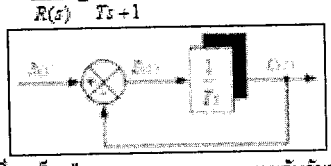
บทความวิจัย
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 9
*9th ECTI-CARD 2017, Chiang Mai Thailand*

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

พิจารณาจากรูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตของระบบเป็นดังนี้

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{Ts+1} \quad (1)$$



**รูปที่ 1** บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

การวิเคราะห์ผลตอบสนองของระบบ จะใช้สัญญาณมาตรฐานทดสอบระบบ โดยจะใช้สัญญาณระดับ (unit-step) สัญญาณลาด (unit-ramp) และสัญญาณอิมพัลส์ (Impulse) เป็นสัญญาณอินพุตและกำหนดให้ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นเป็นศูนย์ เมื่อทำการแปลงลาปลาซสัญญาณอันดับหนึ่งจะได้ $R(s) = \frac{1}{s}$ จากสมการที่ (1) เขียนผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตได้เป็น

$$C(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{Ts+1} \quad (2)$$

แปลงลาปลาซผกผันสมการที่ (2) จะได้

$$c(t) = 1 - e^{\frac{-t}{T}} \quad (t \geq 0) \quad (3)$$

เมื่อ $t = T$ สามารถเขียนสมการที่ (3) ได้เป็นดังนี้

$$c(t) = 1 - e^{-1} = 0.632 \quad (4)$$

และจากสมการที่ (3) สามารถเขียนสมการสัญญาณความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

$$e(t) = e^{\frac{-t}{T}} \quad (5)$$

เมื่อทำการแปลงลาปลาซสัญญาณลาดจะได้ $R(s) = \frac{1}{s^2}$ จากสมการที่ (1) เขียนผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตได้เป็น

$$C(s) = \frac{1}{s^2} - \frac{T}{s} \cdot \frac{T^2}{Ts+1} \quad (6)$$

แปลงลาปลาซผกผันสมการที่ (6) จะได้

$$C(t) = 1 - T(1 - e^{\frac{-t}{T}}) \quad (t \geq 0) \quad (7)$$

และจากสมการที่ (7) สามารถเขียนสมการสัญญาณความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

$$e(t) = T(1 - e^{\frac{-t}{T}}) \quad (8)$$

สำหรับสัญญาณอินพุตอิมพัลส์จะได้ $R(s) = 1$ จากสมการที่ (1) เขียนผลตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตได้เป็น

$$C(s) = \frac{1}{Ts-1} \quad (9)$$

แปลงลาปลาซผกผันสมการที่ (9) จะได้

$$c(t) = \frac{1}{T} - e^{\frac{-t}{T}} \quad (t \geq 0) \quad (10)$$

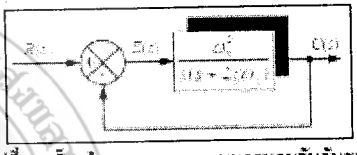
### 2.2 ระบบควบคุมอันดับสอง

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2 ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบปิดของระบบควบคุมอันดับสองสามารถเขียนได้เป็นดังนี้

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (11)$$

โดยที่ $\omega_n$ คือความเร็วเชิงมุมในการแกว่งตามธรรมชาติ

$\zeta$ คือ อัตราการหน่วงของระบบ



**รูปที่ 2** บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอันดับสอง

การวิเคราะห์คุณสมบัติของระบบอันดับสอง จะพิจารณาในเทอมของตัวแปรสองตัวคือ $\zeta$ และ $\omega_n$ เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นฟังก์ชันอันดับหนึ่ง มีค่า $R(s) = \frac{1}{s}$ สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. กรณี $0 < \zeta < 1$ เป็นระบบที่มีความหน่วงน้อย (Under Damped) จะได้สมการสัญญาณเอาต์พุตดังนี้

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{(s + \zeta\omega_n - j\omega_d)(s + \zeta\omega_n - j\omega_d)} \cdot \frac{1}{s} \quad (12)$$

โดยที่ $\omega_d$ คือ ความเร็วเชิงมุมในการแกว่งจะระบบมีความล่วงน้อย มีค่าเท่ากับ $\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$

2. กรณี $\zeta = 1$ เป็นระบบที่มีความหน่วงวิกฤติ (Critical Damped) จะได้สมการแสดงการตอบสนองของระบบดังนี้

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{(s + \omega_n)^2} \cdot \frac{1}{s} \quad (13)$$

3. กรณี $\zeta > 1$ เป็นระบบที่มีความหน่วงเกิน (Over Damped) จะได้สมการแสดงการตอบสนองของระบบดังนี้

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{(s + \zeta\omega_n + \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1})(s + \zeta\omega_n - \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1})s} \quad (14)$$

### 2.3 การวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบควบคุม

วิธีการทดลองแบบไนควิสท์ เป็นวิธีที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างจำนวนโพลและซีโร่จองฟังก์ชันถ่ายโอนแบบป้อนกลับ โดยการสังเกตพฤติกรรมจากกราฟไนควิสท์ของโพล ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบป้อนกลับจะเป็นราคของสมการคุณลักษณะ

**บทความวิจัย**
การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 9
*9th ECTI-CARD 2015, Chiang Mai, Thailand*

วิธีการทดสอบแบบเส้นทางเดินของราก เป็นการเขียนทางเดินของรากของสมการคุณลักษณะ เมื่อพารามิเตอร์ของระบบแปรค่าไปมากกว่าหนึ่ง เมื่อทางเดินของรากอยู่ทางครึ่งขวาของระนาบเอส ระบบควบคุมแบบป้อนกลับจะไม่เสถียร

## 3. การพัฒนาโปรแกรม

ขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรมมี 5 ขั้นตอน สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) การวิเคราะห์ปัญหา ในงานวิจัยนี้จะเป็นการพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำไปแก้ปัญหาความยุ่งยากและลดต้นทุนในการจัดซื้อโปรแกรมมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า โดยที่ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถเลือกวิเคราะห์ระบบควบคุมได้ตั้งแต่ระบบควบคุมอันดับหนึ่ง ระบบควบคุมอันดับสอง การออกแบบและวิเคราะห์ทังก์ชัน และการวิเคราะห์ทางเสถียรภาพของระบบควบคุมด้วยวิธีการต่างๆ การป้อนอินพุตจะเป็นการป้อนจากแป้นพิมพ์เป็นตัวเลข และใช้การเลือกข้อความต่างๆเข้าไปประมวลผลตามสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละระบบควบคุม ซึ่งผลลัพธ์จะแสดงในรูปของตัวเลข และเส้นกราฟ 2 มิติ

2) การออกแบบโปรแกรม จะใช้ผังงานอธิบายลำดับขั้นตอนการทำงาน โดยเริ่มต้นการทำงานด้วยการเข้าสู่หน้าต่างโปรแกรมหลัก กำหนดชนิดของระบบควบคุม กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ เลือกชนิดของการวิเคราะห์ ประมวลผล และแสดงผลการจำลอง

3) การเขียนโปรแกรม โดยทำการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface) หรือ GUI ในส่วนของการรับค่าทางอินพุตและการแสดงผลทางเอาต์พุต ในส่วนของการประมวลผลจะเขียนอัลกอริทึมโดยใช้เอ็มไฟล์ของโปรแกรม MATLAB® 2012a จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2 ของบทความ

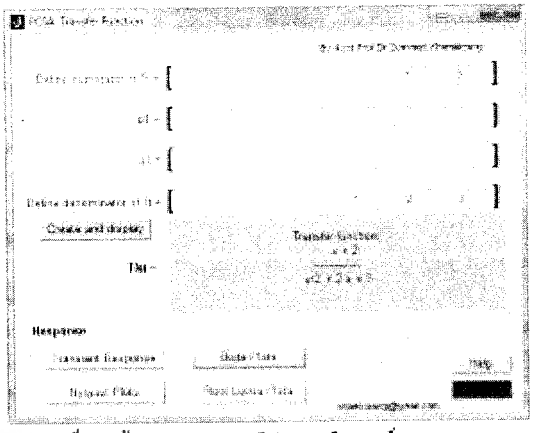
4) การทดสอบและแก้ไขโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้ GUI ของ MATLAB เป็นขั้นตอนการตรวจสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้นว่าทำงานถูกต้องตรงตามความต้องการของผู้ใช้ หรือตรงตามลักษณะงานของโปรแกรมนั้นหรือไม่

5) การจัดทำเอกสารและคู่มือการใช้งาน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ คู่มือสำหรับผู้ใช้โปรแกรม และคู่มือสำหรับผู้เขียนโปรแกรม จัดทำไฟล์เป็นนามสกุล .pdf และทำการเชื่อมต่อไว้ที่ปุ่ม Help ของโปรแกรม

## 4. ผลการวิจัย

### 4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรม

โปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้นเรียกว่าโปรแกรม PCSA แสดงดังรูปที่ 4



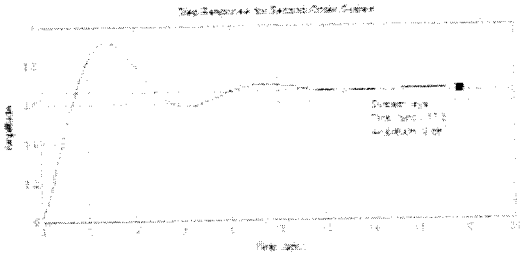
รูปที่ 4 หน้าต่างเมนูหลักของโปรแกรมวิเคราะห์ระบบควบคุม

### 4.2 ผลการทดสอบคุณภาพของโปรแกรม

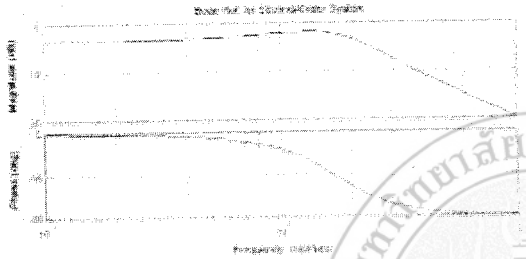
ในงานวิจัยนี้จะขอยกตัวอย่างการวิเคราะห์ทางเสถียรภาพของระบบควบคุมอันดับ 2 มีค่า $K \geq 0$ โดยมีค่าสัญญาณเอาต์พุตของระบบคือ

$$T(s) = C(s) = \frac{K(s+2)}{s^2 - 2s + 3}$$

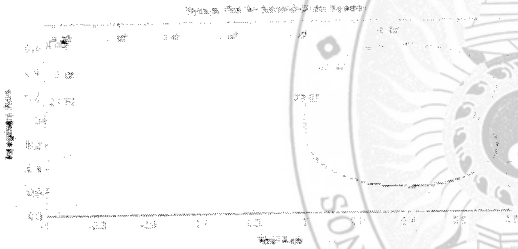
เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นฟังก์ชันอันดับหนึ่ง มีค่า $R(s) = \frac{1}{s}$ แสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 5 จากรูปที่ 5 พบว่าผลตอบสนองชั่วขณะที่เวลา 0 วินาที ผลตอบสนองของสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ 0 และเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น ผลตอบสนองของสัญญาณจะมีการแกว่งไปมาจนถึงเวลาที่ 15.8 วินาที เป็นต้นไป ผลตอบสนองของสัญญาณจะมีค่าคงที่เท่ากับ 0.667 ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี จากรูปที่ 6 พบว่าผลตอบสนองในโดเมนความถี่แบบโบเดของระบบควบคุมอันดับ 2 มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี จากรูปที่ 7 พบว่าผลการหาเสถียรภาพด้วยวิธีการโนควิสต์ของระบบควบคุมอันดับ 2 ไม่มีโพลทางด้านฝั่งขวามือของระนาบเอส และจากการจำลองแผนภาพโนควิสต์โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไม่มีวงล้อมรอบตามเข็มนาฬิการอบจุด -1 ดังนั้นแสดงว่าระบบนี้มีคุณภาพ ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี และจากรูปที่ 8 พบว่าผลการหาเสถียรภาพด้วยวิธีการเส้นทางเดินของรากของระบบควบคุมอันดับ 2 จะมีโพลและซิโรอยู่บนระนาบเอส จำนวน 2 คู่ เช่นที่ค่าโพล เท่ากับ -2 มีค่าอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ เท่ากับ 1 มีค่าอัตราการขยาย เท่ากับ 0 ที่ความถี่ 1 rad/sec และ ซิโร่ เท่ากับ -1 + j1.41 มีค่าอัตราการหน่วงของระบบ $\zeta$ เท่ากับ 0.577 มีค่าอัตราการขยาย เท่ากับ $\alpha$ ที่ความถี่ 1.73 rad/sec ซึ่งผลการวิเคราะห์มีผลถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี



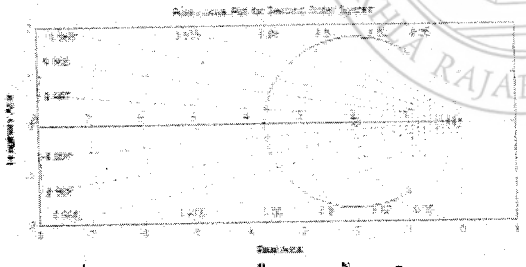
**รูปที่ 5** ผลตอบสนองชั่วขณะที่เวลา 0 ถึง 10 วินาที



**รูปที่ 6** ผลตอบสนองในโดเมนความถี่แบบโบเด



**รูปที่ 7** ผลการหาเสถียรภาพด้วยวิธีการไนควิสต์



**รูปที่ 8** ผลการหาเสถียรภาพด้วยวิธีการเส้นทางเดินของราก

## 5. สรุป

โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น สามารถวิเคราะห์ระบบควบคุมอันดับหนึ่งระบบควบคุมอันดับสองเบื้องต้น ทั้งยังสามารถออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชัน โดยโปรแกรมสามารถจำลองกราฟการตอบสนองชั่วขณะ กราฟการวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบควบคุม และผลตอบสนองในโดเมนความถี่แบบโบเดได้ถูกต้อง ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว เหมาะกับการนำไปใช้วิเคราะห์ระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า และยังสามารถนำไปใช้ในการสอนวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจลักษณะของการตอบสนองของระบบควบคุมในงานวิศวกรรมไฟฟ้า และสามารถเชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีกับการปฏิบัติได้เป็นอย่างดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Antonios S. Andreatos and Anastasios D. Zagorianos. [8]

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา หมายเลข 09/2559 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

## เอกสารอ้างอิง

[1] สุเชียร เกียรติสุนทร, *ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม : อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์ควบคุมทางอุตสาหกรรม*. กรุงเทพ ฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2556.

[2] Norman S. Nise, *Control System Engineering*, 4th Edition, JOHN WILEY&SONS, INC, 2004

[3] สุมาลี อุณหวณิชย์, *ระบบควบคุม*. กรุงเทพ ฯ : ว.เพ็ชรสกุล, 2545.

[4] Dejan V., Todic and Milka Potrebic. "Software Tools for Research and Education," *Microwave Review*, vol. 12, No.2, pp. 45-54, November 2006.

[5] Noureddine Ailane., "A Matlab Simulink-Based Interactive Module for Servo Systems Learning," *IEEE Transactions on Education*, vol. 53, No. 2, pp. 265-271, MAY 2010.

[6] Suhas Yadav, Prof.S.S.Patil. "Fuzzy PID Controllers Using Matlab GUI Based for Real Time DC Motor Speed Control", International *Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 3(4): April, 2014.

[7] M. Juhas, B. Juhasova, and P. Mydlo. "The Mechatronics System Control Quality Analysis Using Simulink and GUI in Matlab." *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2012 Vol II*, WCECS 2012, October 24-26, 2012, San Francisco, USA.

[8] Antonios S. Andreatos and Anastasios D. Zagorianos. "Matlab GUI Application for Teaching Control Systems." Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on *Engineering Education*, pp. 203-211, 2009.

[9] Rao V. Dukkipati. "Analysis and Design Control Systems using MATLAB," New Age International (P) Ltd., Publishers, 2006.