



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC
 Transfer Function Calculating System for RLC Circuit

- ชื่อนักศึกษา
- | | | |
|----------------------------|--------------|----------|
| 1. นายธีรพงศ์ เจือไทย | รหัสประจำตัว | 45035468 |
| 2. นายพิเชษฐ ศักดิ์สูง | รหัสประจำตัว | 45035475 |
| 3. นายภาสกร สุ่มมาตย์ | รหัสประจำตัว | 45035476 |
| 4. นางสาวมะลิวัลย์ ชัยแก้ว | รหัสประจำตัว | 45035477 |

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
 อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อำพล ทองระอา
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ปิยะ ศุภวาราสวัสดิ์	
2. ผศ.สุรสิทธิ์ ราตรี	
3. อาจารย์อำพล ทองระอา	
4. อาจารย์ปิยะ จิตธรรมมาภิรมย์	
5. อาจารย์สุชิน อาจหาญ	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันอังคารที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2547 เวลา 16.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.สุรสิทธิ์ ราตรี)



หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม



<BT4620292>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา วันที่...เดือน...ปี...พ.ศ....

ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริยญาานิพนธ์

ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

TRANSFER FUNCTION CALCULATING SYSTEM FOR RLC
CIRCUIT



นายธีรพงศ์

เจือไทย

นายพิเชษฐ

ศักดิ์สูง

นายภาสกร

สุ่มมาตย์

นางสาวมะลิวัลย์

ชัยแก้ว

ปริยญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรศาสตรบัณฑิต

ร.พ.
ศ ๖๒๙ ๘
๒๕๔๖

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๔๖

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 51794

วันเดือนปี ๒๙ ก.ค. ๒๕๔๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด.....

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี.....

๖๑๗๓๑๐๕๖

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

Transfer Function Calculating System for RLC Circuit

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการหาฟังก์ชันถ่ายโอนจากผลตอบสนองทางเวลา
2. เพื่อออกแบบระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC
3. เพื่อสร้างระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC
4. เพื่อทดสอบระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC
5. เพื่อนำระบบไปใช้ในการหาฟังก์ชันถ่ายโอนจากผลตอบสนองทางเวลาแสดงทางจอคอมพิวเตอร์ได้จริง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจการหาค่าฟังก์ชันถ่ายโอนจากผลตอบสนองทางเวลา
2. ได้โครงสร้างระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC
3. ได้ต้นแบบระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC
4. ได้ผลการทดลองคำนวณหาฟังก์ชันถ่ายโอนจากผลตอบสนองทางเวลาได้จริง
5. ได้ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC ซึ่งสามารถคำนวณหาฟังก์ชันถ่ายโอนจากผลตอบสนองทางเวลาแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์ได้จริง

ชื่อหัวข้อ	ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC	
นักศึกษา	นายธีรพงศ์	เจือไทย
	นายพิเชษฐ	ศักดิ์สูง
	นายภาสกร	สุ่มมาตย์
	นางสาวมะลิวัลย์	ชัยแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อำพล	ทองระอา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ปิยะ	จิตรธรรมมาภิรมย์
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2546	

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์และส่วนของซอฟต์แวร์ ซึ่งส่วนของฮาร์ดแวร์จะประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรติดต่อกับพอร์ตอนุกรม ในส่วนของซอฟต์แวร์จะใช้โปรแกรม MATLAB แสดงผลในลักษณะของโปรแกรมสำเร็จรูป สำหรับการสร้างกราฟผลตอบสนองทางเวลา และคำนวณหาค่าฟังก์ชันถ่ายโอน โดยที่ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนนี้จะช่วยประหยัดเวลาในการทำงานมากยิ่งขึ้น

II

Thesis Tittle	Transfer Function Calculating System for RLC Circuit	
Students	Mr.Teerapong	Jauthai
	Mr.Pichat	Suksong
	Mr.Phasagorn	Summart
	MissMaliwan	Chaikaew
Advisor	Mr.Amphon	Thongra-ar
Co-Advisor	Mr.Piya	Jitthammapirom
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education	
Program in	Industrial Instrument Technology	
Academic Year	2003	

ABSTRACT

This thesis offer about design and improve the system calculated function to transfer of the circuit of electric RLC, separated 2 parts : Hardware and Software, Hardware include with circuit adapted signal analog to digital Microcontroller circuit and the circuit contact with port Anukrom, Software uses program MATLAB to show the complete program for built graph to show the time and calculated to find function to transfer. This system economy the time for work.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็ด้วยความช่วยเหลือในการให้คำแนะนำจาก คณาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์ศึกษาศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน รวมถึงความเอื้อเฟื้อในเรื่องของวัสดุอุปกรณ์, เครื่องมือ, เครื่องใช้ และสถานที่ต่างๆ ในการปฏิบัติงานเป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ที่ปรึกษาทั้ง 2 ท่าน ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอขอบพระคุณ บิดา และมารดา ผู้บังเกิดเกล้า ผู้เป็นแรงกำลังอันยิ่งใหญ่ ทั้งกำลังใจ กำลังทรัพย์ และเป็นผู้ให้มาตลอด

อนึ่ง ประโยชน์และคุณความดีใดๆ ก็ตามที่เกิดจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แก่ บิดามารดา ซึ่งเป็นผู้ให้กำเนิดและครูอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชามาตั้งแต่ต้นจนมีวันนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4.4 สรุปพฤติกรรมของระบบอันดับหนึ่ง	28
2.4.5 ระบบอันดับสอง	28
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	35
3.1 กล่าวนำ	35
3.2 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์	35
3.2.1 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	35
3.2.2 การออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	36
3.2.3 การออกแบบวงจรติดต่อกับพอร์ตอนุกรม	38
3.2.4 การออกแบบวงจรภาคแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า	38
3.3 การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์	39
3.3.1 การออกแบบโปรแกรมหลัก	39
3.3.2 การออกแบบโปรแกรมสร้างกราฟผลตอบแทนทางเวลาและคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอน	41
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	43
4.1 กล่าวนำ	43
4.2 การทดลองฮาร์ดแวร์ของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC	43
4.3 การทดลองการทำงานของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC	46
4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองจากระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC กับการคำนวณทางทฤษฎี	53
บทที่ 5 บทสรุป	55
5.1 สรุป	55
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	55
5.3 แนวทางการพัฒนา	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	58
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	65
ภาคผนวก ง แผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรม	68
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	78
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	89
ประวัติผู้แต่ง	106



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้า	66
ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	66
ค.2 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	67
ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	67



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การสุ่มสัญญาณแอนะล็อกเพื่อกำหนดข้อมูลดิจิทัล	7
2.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเปรียบเทียบแรงดัน	8
2.3 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนับแรมปี	9
2.4 แผนผังเวลาการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบวงจรนับแรมปี	10
2.5 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบซักระยะชีพ แอปพริอ็อกซิเมชัน	11
2.6 แผนผังเวลาการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบซักระยะชีพ แอปพริอ็อกซิเมชัน	12
2.7 การจัดขาของไอซี ADC0804	14
2.8 การต่อวงจรเพื่อให้ ADC0804 ทำงานต่อเนื่อง	15
2.9 ลักษณะของอินพุตแบบต่างๆ	19
2.10 ระบบควบคุมแบบลููปปิด	19
2.11 ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมแบบลููปปิด	20
2.12 ผลตอบสนอง Impulse ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง	21
2.13 ระบบอันดับหนึ่ง	22
2.14 ผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Impulse	23
2.15 การเปลี่ยนสถานะจากผลตอบสนองชั่วครู่ไปเป็นผลตอบสนองที่ภาวะคงที่	25
2.16 ผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Ramp	26
2.17 ระบบอันดับสอง	28
2.18 เมื่อนำไปกำหนดจุดไว้บนระนาบ s	31
3.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของระบบคำนวณหาฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC	35
3.2 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	36
3.3 การออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	37
3.4 การออกแบบวงจรติดต่อกับพอร์ตอนุกรม	38
3.5 การออกแบบวงจรภาคแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า	39
3.6 การสร้างหน้าจอการใช้งานหลักของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอน	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 หน้าจอหลักของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC	41
3.8 แผนผังการทำงานของโปรแกรมสร้างกราฟและคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอน	42
4.1 ค่าที่ได้จากการทดลองในส่วนของฮาร์ดแวร์เมื่อยังไม่ต่อวงจรไฟฟ้า RLC	44
4.2 วงจรไฟฟ้า RLC ที่ใช้ทดลอง	44
4.3 ค่าที่ได้จากการทดลองของฮาร์ดแวร์ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูล	45
4.4 ค่าที่ได้จากการทดลองของฮาร์ดแวร์ในขณะที่มีข้อมูลมีสถานะคงที่	45
4.5 แอลอีดีแสดงสถานะต่างๆ	46
4.6 กดปุ่ม START	47
4.7 กดปุ่ม LOAD DATA	47
4.8 กดปุ่ม PLOT DATA	48
4.9 กราฟผลตอบสนองทางเวลาของวงจรไฟฟ้า RLC	49
4.10 กดปุ่ม FUNCTION เพื่อหาสมการฟังก์ชันถ่ายโอน	50
4.11 สมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC	51
4.12 กดปุ่ม CLEAR เพื่อเริ่มการทำงานใหม่ทั้งหมด	52
4.13 ระบบพร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่	53
4.14 การเปลี่ยนสถานะจากผลตอบสนองชั่วคราวไปเป็นผลตอบสนองที่สถานะคงที่	54
ก.1 ภาพด้านบนของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC	59
ก.2 ภาพด้านหน้าของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC	59
ก.3 ภาพด้านหลังของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC	60
ก.4 ภาพด้านในกล่องของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC	60
ข.1 วงจรภาคแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า	62
ข.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	62
ข.3 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	63
ข.4 วงจรติดต่อกับพอร์ตอนุกรม	64
ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์รวมทุกวงจร	64
ข.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์รวมทุกวงจร	64
ง.1 แผนผังการทำงานของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC	69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของฮาร์ดแวร์	80
จ.2 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของซอฟต์แวร์	81
จ.3 หลอดแอลอีดีสีแดงแสดงสถานะการทำงานของฮาร์ดแวร์	82
จ.4 แอลอีดีสีแดงติดแสดงสถานะว่าแรมกำลังเก็บข้อมูลอยู่	83
จ.5 แอลอีดีสีเขียวติดแสดงสถานะว่าเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว	84
จ.6 แอลอีดีแสดงสถานะขณะกำลังส่งข้อมูลไปที่คอมพิวเตอร์	85
จ.7 หลอดแอลอีดีแสดงสถานะว่าส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว	85
จ.8 แอลอีดีดับหมดแสดงสถานะว่าข้อมูลถูกลบทิ้งแล้ว	86



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าเช่นวงจรไฟฟ้า RLC สามารถคำนวณหาได้โดยใช้สมการอนุพันธ์ที่ได้จากการใช้กฎเกณฑ์ต่างๆ เช่น กฎของโอห์ม กฎของเคอร์ชอฟ เป็นต้น นอกจากนี้ในระบบไฟฟ้าสมการ Kirchhoff อาจเขียนอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์โดยทั่วไป ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ร่วมกับการอินทิเกรตตัวแปรต่างๆ และการทำอนุพันธ์ตัวแปรต่างๆ ซึ่งเห็นได้ชัดว่ามีความยุ่งยากในขั้นตอนการแก้สมการที่มีหลายขั้นตอน ทั้งยังซับซ้อนยากต่อการทำความเข้าใจให้ชัดเจนได้ อีกทั้งยังต้องสูญเสียเวลาไปกับการแก้สมการอีกด้วย ในการแก้ปัญหาดังกล่าวให้มีความสะดวกและรวดเร็วในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า ทางกลุ่มจึงได้จัดทำ ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC ขึ้น โดยการใช้ระบบนี้ทำการหาค่าฟังก์ชันถ่ายโอนจากผลตอบสนองทางเวลาร่วมกับโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์พร้อมทั้งแสดงการหาค่าฟังก์ชันถ่ายโอนจากผลตอบสนองทางเวลาออกมาให้เห็นได้จริงทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถดังนี้

1. คำนวณหาฟังก์ชันถ่ายโอนจากผลตอบสนองทางเวลาได้จริง
2. ไมโครคอนโทรลเลอร์บันทึกขนาดสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรไฟฟ้า RLC โดยผ่านการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล
3. ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการป้อนอินพุตแรงดัน 5 โวลต์ให้กับวงจรไฟฟ้า RLC ได้
4. แสดงผลตอบสนองทางเวลาและฟังก์ชันถ่ายโอนด้วยคอมพิวเตอร์

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปฏิญานิพนธ์ จิตความสามารถของโครงการ และเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ประกอบด้วย ทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับโปรแกรม MATLAB ที่ใช้เขียนโปรแกรมสำหรับระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC การสื่อสารแบบอนุกรม RS-232 การแปลงสัญญาณแอนะล็อก ที่ใช้กับระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC หลักการของฟังก์ชันถ่ายโอน

บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาที่เกี่ยวกับแผนผังการทำงานของโครงการ ผังวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงการ ตลอดจนการออกแบบและการสร้างส่วนประกอบต่างๆ เช่น วงจรแหล่งจ่ายแรงดัน วงจรไฟฟ้า RLC วงจรสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 โครงสร้างของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC พร้อมทั้งการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ โดยละเอียด

บทที่ 4 ประกอบด้วย การทดลองและผลการทดลองของวงจรแหล่งจ่ายแรงดัน วงจรสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 และระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการจัดทำโครงการ ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการแก้ไข รวมทั้งแนวทางการพัฒนา

ภาคผนวก ก แสดงภาพเครื่องต้นแบบ การติดตั้ง การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ ขณะใช้งานจริง

ภาคผนวก ข ประกอบด้วยผังรายการละเอียดวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค แสดงรายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง แสดงแผนผังการทำงาน และรหัสต้นฉบับของโปรแกรมทั้งหมดที่สร้างขึ้นมาเพื่อประกอบการทำงานของโปรแกรม

ภาคผนวก จ เป็นคู่มือการใช้ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

ภาคผนวก ฉ แสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในโครงการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

ในโครงการชิ้นนี้จะมีส่วนประกอบที่นำมาใช้งานหลากหลาย แต่ที่จะนำมากล่าวในบทที่ 2 นั้นจะนำเอาแต่ส่วนที่สำคัญๆ โดยที่จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับโปรแกรม MATLAB ที่ใช้เขียนโปรแกรม สำหรับระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC การสื่อสารแบบอนุกรม RS-232 การแปลงสัญญาณแอนะล็อก ที่ใช้กับระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC หลักการของฟังก์ชันถ่ายโอน

2.2 โปรแกรม MATLAB

2.2.1 ความหมายของ MATLAB

คอมพิวเตอร์ได้สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในเชิงตัวเลข โดยมีภาษาทางคอมพิวเตอร์หลายตัวที่ช่วยในการแก้ปัญหา เช่น ภาษา C, Fortran, Pascal เป็นต้น การใช้โปรแกรมภาษา C, Fortran และ Pascal ในการแก้ปัญหาเชิงตัวเลข และกราฟิกที่มีความซับซ้อนค่อนข้างจะยุ่งยากและเสียเวลามาก เพราะต้องใช้คำสั่งเป็นจำนวนมาก และมีรูปแบบคำสั่งที่แน่นอน บริษัท MathWorks Inc. จึงได้พัฒนาโปรแกรมที่มีชื่อว่า MATLAB เพื่อใช้ในการคำนวณเชิงตัวเลข และกราฟิกที่ซับซ้อนให้ง่ายต่อการใช้งาน มีความรวดเร็ว และการเขียนโปรแกรมไม่ยุ่งยาก เนื่องจากโปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมที่มีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง และเป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อความเข้าใจ การเขียนโปรแกรมไม่ซับซ้อน และเมื่อนำไปใช้งานแล้วสามารถเห็นผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้โปรแกรม MATLAB ถูกนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวางในสาขาต่างๆ MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ขั้นสูง (High-level Language) สำหรับการคำนวณทางเทคนิคที่ประกอบด้วย การคำนวณเชิงตัวเลข กราฟิกที่ซับซ้อน และการจำลองแบบเพื่อให้มองเห็นภาพพจน์ได้ง่ายและชัดเจน

2.2.2 ข้อดีของ MATLAB

ชื่อของ MATLAB ย่อมาจาก matrix laboratory เดิมโปรแกรม MATLAB ได้เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณทาง matrix หรือเป็น matrix software ที่พัฒนาจากโปรเจกต์ที่ชื่อ LINKPACK และ EISPACK

MATLAB ได้พัฒนามาด้วยการแก้ปัญหาที่ส่งมาจากหลายๆ ผู้ใช้เป็นระยะเวลาหลายปีจึงทำให้โปรแกรมมีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้มากมาย ในบางมหาวิทยาลัยได้ใช้โปรแกรมนี้ เป็นหลักสูตรพื้นฐานในการศึกษาทางด้านคณิตศาสตร์ วิศวกรรม และวิทยาศาสตร์แขนงต่างๆ ตลอดจนในด้านอุตสาหกรรมได้ใช้โปรแกรมนี้ เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการงานวิจัยพัฒนาและวิเคราะห์

โปรแกรม MATLAB จะมีกล่องเครื่องมือที่ใช้ในการหาคำตอบเรียกว่า Toolbox โดยที่โปรแกรมจะมีกล่องเครื่องมือในแต่ละสาขา เช่น การประมวลผลสัญญาณ การประมวลผลภาพ ระบบควบคุม ทรายข่ายประสาท ฟิชชี่ลอลจิก เวฟเลท การติดต่อสื่อสาร สถิติ และสาขาอื่นๆ มากมาย ภายในกล่องเครื่องมือแต่ละสาขาก็จะมีฟังก์ชันต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในสาขานั้นๆ ให้เลือกประยุกต์ใช้งานเป็นจำนวนมาก ลักษณะเด่นที่ง่ายต่อการใช้งานของโปรแกรมนี้นี้คือ

1. ฟังก์ชันคณิตศาสตร์ให้เลือกใช้ ในการคำนวณมากมายตลอดจนสามารถ ที่สร้างฟังก์ชันขึ้นมาใช้งานได้เองในสาขาที่ต้องการ
2. อัลกอริทึมพัฒนาได้ง่ายไม่ยุ่งยาก สามารถแก้ไขปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ ที่มีความซับซ้อนได้ง่าย และรวดเร็วกว่าโปรแกรมภาษาอื่นๆ เช่น C Fortran Basic เป็นต้น
3. มีโครงสร้างแบบจำลอง ซึ่งสร้างแผนผังการทำงานเพื่อใช้ทดสอบ และประเมินผลระบบ Dynamic ต่างๆ ก่อนนำไปใช้งานจริง
4. สามารถวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลได้ง่ายและรวดเร็ว
5. การนำไปใช้งานทางด้านกราฟิกได้เป็นอย่างดีทั้งในด้านการแสดงภาพตั้งแต่สองมิติที่เป็นแบบ rectangular polar stair bar รวมทั้งภาพสามมิติในรูปแบบพื้นผิวและระดับสูงต่ำ ตลอดจนสามารถนำภาพมาต่อกัน และเก็บไว้เพื่อที่จะสร้างเป็นภาพเคลื่อนไหวได้อีกด้วย
6. การประยุกต์ใช้ในการสร้างรูปแบบ Graphical User Interface ได้โดยการเลือกใช้เครื่องมือและเมนูต่างๆ โดยโปรแกรมจะมีเครื่องมือให้เลือกใช้ เช่น เมนู รายการ ปุ่มกด และ fields object ต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกนำไปใช้ในการทำงานปฏิสัมพันธ์กันระหว่างผู้ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้
7. ทำการประมวลผลร่วมกับโปรแกรมอื่นได้อีก เช่น Fortran, Borland C/C++, Microsoft Visual C++ และ Watcom C/C++ ด้วยการเขียนฟังก์ชันที่เป็น mex ไฟล์โดยโปรแกรม MATLAB จะเรียกใช้รูทีนจากโปรแกรมภาษา C และ Fortran
8. โปรแกรมมีส่วนของข้อมูลพื้นฐานเป็นอาร์เรย์ที่ไม่ต้องการมิติ ทำให้โปรแกรมสามารถทำการแก้ปัญหาทางเทคนิคต่างๆ ได้มากใช้เวลาในการประมวลผลน้อย และดีกว่าโปรแกรมภาษา C และ Fortran

2.2.3 โครงสร้างของโปรแกรม MATLAB

โครงสร้างของโปรแกรมประกอบด้วย 5 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ภาษาโปรแกรม

เป็นโปรแกรมภาษาชั้นสูงที่ใช้ควบคุม flow statement ฟังก์ชัน โครงสร้างข้อมูลอินพุต/เอาต์พุต และลักษณะโปรแกรม Object-Oriented Programming ทำให้การเขียนโปรแกรมไม่ยุ่งยาก เมื่อเทียบกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาอื่นๆ เช่น C, Fortran, Basic เป็นต้น

2. สถาปัตยกรรมในการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมจะมีกลุ่มของเครื่องมือที่เป็นประโยชน์ สำหรับการทำงานของผู้ใช้โปรแกรม หรือโปรแกรมเมอร์ ประโยชน์ที่กล่าวนี้ก็คือการจัดการตัวแปรใน workspace การนำข้อมูลหรือการผ่านค่าตัวแปรเข้า/ออก และกลุ่มของเครื่องมือต่างๆ นี้ก็จะใช้สำหรับพัฒนา จัดการ ตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้น

3. ฟังก์ชันในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

โปรแกรมจะมีไลบรารีทั่วไปที่ใช้ในการคำนวณอย่างกว้าง เช่น sine, cosine และพีชคณิตเชิงซ้อน โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟังก์ชันหรือไลบรารีเพิ่มเติมขึ้นจากไลบรารีที่ใช้กัน โดยทั่วไป เช่น ฟังก์ชันในการหา eigenvalues และ eigenvectors การแยกตัวประกอบและส่วนประกอบของเมตริกซ์ด้วยวิธีต่างๆ การวิเคราะห์ข้อมูล การหาความน่าจะเป็น และการแก้ปัญหาาระบบของสมการเชิงเส้นที่เป็นพื้นฐานของสาขาวิชาต่างๆ เป็นต้น ทำให้โปรแกรมมีฟังก์ชันสำหรับใช้งานค่อนข้างมากและครอบคลุมในรายละเอียดของการคำนวณในสาขาวิชาต่างๆ ได้มากขึ้น

4. Handle Graphics

ระบบกราฟิกจะประกอบด้วยคำสั่งชั้นสูงสำหรับการพล็อตกราฟโดยมีพื้นฐานอยู่บนแนวความคิดที่ว่าทุกๆ สิ่งบนหน้าต่างรูปภาพของโปรแกรมจะเป็นวัตถุ ซึ่งมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว Handle Graphics ประกอบด้วยคำสั่งชั้นสูงให้ได้เลือกในการสร้าง Graphics User Interface บนพื้นฐานการประยุกต์ใช้งาน โปรแกรมนี้ยังมีฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการแสดงภาพสองมิติ ภาพสามมิติและการสร้างภาพเคลื่อนไหว

5. The MATLAB Application Program Interface (API)

จะใช้เพื่อสนับสนุนการติดต่อจากภายนอกโดยใช้โปรแกรมที่เป็น mex ไฟล์ซึ่งเป็นไฟล์ที่เขียนขึ้นโดยใช้ mex ฟังก์ชันในโปรแกรมซึ่งจะเรียกใช้รูทีนจากโปรแกรมภาษา C และ Fortran หรืออาจกล่าวได้ว่า API เป็นไลบรารีที่เขียนด้วยโปรแกรมภาษา C และ Fortran ที่มีการเชื่อมต่อกับโปรแกรมด้วยไฟล์ที่เป็น mex ฟังก์ชันอีกทั้ง API นี้ยังมีความสามารถสำหรับการเรียก routine จากโปรแกรมก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมยังมีเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และทดสอบระบบโดยการจำลองขึ้นมา ซึ่งก็คือ simulink

Simulink เป็นโปรแกรมที่ควบคู่กับ MATLAB ซึ่งเป็นระบบสำหรับการจำลองและวิเคราะห์ระบบไดนามิกต่างๆ ที่เป็นระบบเชิงเส้น ระบบไม่เชิงเส้น simulink เป็นโปรแกรม mouse-driver ที่ให้ใช้ระบบโมเดลโดยการวาดแผนผังการทำงานบนจอภาพโดยการใช้เมาส์ทำให้โปรแกรมสามารถทำการจำลองระบบได้หลายรูปแบบ เช่น เชิงเส้น ไม่เชิงเส้น เวลาต่อเนื่อง และระบบหลายอัตราซึ่งแต่ละรูปแบบที่นำมาสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์นี้ผู้ใช้จะต้องมีความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของบล็อกแต่ละบล็อกได้อย่างดี ตลอดจนเข้าใจระบบโดยรวมของงานที่จะกระทำด้วย

Blocksets เป็นสิ่งที่เพิ่มเติมใน simulink โดยจะเป็นไลบรารีของบล็อกสำหรับการประยุกต์เฉพาะ เช่น การติดต่อสื่อสาร การประมวลผลข้อมูล และระบบไฟฟ้ากำลัง

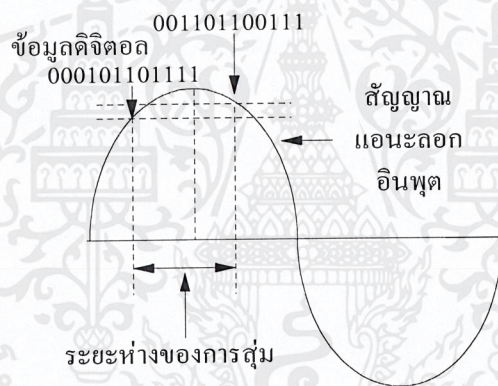
Real-time Workshop เป็นโปรแกรมที่ให้สร้าง c code จากแผนผังการทำงานและสามารถกระทำกับแผนผังการทำงานได้หลากหลายด้วยระบบเวลาจริง

โปรแกรม MATLAB มีอยู่หลายรูปแบบซึ่งดั้งเดิมของโปรแกรมจะใช้งานบน DOS ที่มีปริมาณไม่ยุ่งยากเหมาะสำหรับผู้เริ่มศึกษา คอมพิวเตอร์ที่ใช้ก็ไม่จำเป็นต้องมีพื้นที่หน่วยความจำมาก ใช้ได้กับ หน่วยประมวลผลกลาง ที่มีความเร็วต่ำ แต่มีข้อเสียคือฟังก์ชันที่นำมาใช้งานมีน้อยทำให้เขียนโปรแกรมที่มีความซับซ้อนได้ไม่ดีเท่าที่ควรเพราะมีประสิทธิภาพและความเร็วในการประมวลผลต่ำ ต่อมาเมื่อมีระบบคอมพิวเตอร์ที่มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงควบคู่กับโปรแกรมก็ได้มีการพัฒนาให้มีฟังก์ชันให้เลือกใช้ได้มากมายจึงทำให้โปรแกรมมีประสิทธิภาพและมีความสามารถในการประมวลผลที่เร็วขึ้น โปรแกรมรุ่นใหม่ที่ได้ทำการปรับปรุงใหม่ให้ดีขึ้นนี้จะใช้งานบน Windows ทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น ข้อดีของโปรแกรมรุ่นใหม่ก็คือมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น การประมวลผลโปรแกรมที่ซับซ้อนมีความเร็วสูงขึ้น และมีฟังก์ชันต่างๆ ให้เลือกใช้ ในสาขาต่างๆ มากมายแต่ก็ต้องใช้กับคอมพิวเตอร์ที่มีพื้นที่หน่วยความจำมาก หน่วยประมวลผลกลางมีความเร็วสูง

2.3 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล

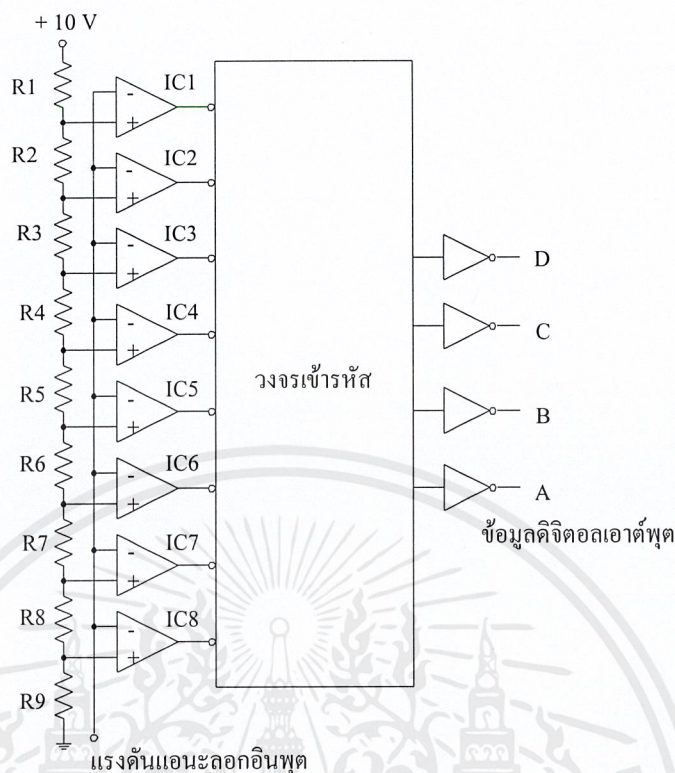
การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล สัญญาณจะได้รับการแปลงเป็นจำนวนทางดิจิตอล โดยการสุ่มหรือแซมปลิง ดังในรูปที่ 2.1 ถ้าหากวงจร มีเอาต์พุต 8 เส้นจะมีความแตกต่างทางรหัสเลขฐานสองทั้งหมด 2 หรือ 256 รหัส

ค่าความละเอียดของตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลถูกอธิบายเป็นระยะห่างที่น้อยที่สุดของค่าแรงดันทางอินพุตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งถูกกำหนดโดยตัวแปลงสัญญาณนั้น ระยะห่างยังน้อยเท่าไร ค่าความละเอียดยิ่งสูงขึ้น โดยค่าความละเอียดแปรผันตรงกับจำนวนของบิตเอาต์พุต ยกตัวอย่าง เช่น ถ้าตัวแปลงสัญญาณมีความแตกต่างทางรหัสเอาต์พุต 256 ระดับสัญญาณอินพุตถูกแทนเป็นรหัสเลขฐานสองจาก 00000000 ถึง 11111111 ถ้าอินพุตเริ่มต้นจาก 0-5V ดังนั้นความละเอียดเท่ากับ $5/256 = 0.0195$ V



รูปที่ 2.1 การสุ่มสัญญาณแอนะล็อกเพื่อกำหนดข้อมูลดิจิตอล

ถ้าเอาต์พุตรหัสเลขฐานสองเป็น 00000001 แทนแรงดัน 0.0195V ในทำนองเดียวกัน ถ้าเอาต์พุตรหัสเลขฐานสองเป็น 00000010 ก็จะแทนแรงดัน 0.039V ดังนั้นข้อมูลของแรงดัน 3.042V จะมีค่าเท่ากับ $3.042/0.0195 = 156_{10}$ ทำการแปลงเป็นเลขฐานสองจะได้ค่าเท่ากับ 10011100_2



รูปที่ 2.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเปรียบเทียบแรงดัน

2.3.1 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเปรียบเทียบแรงดัน

หลักการคือ เปรียบเทียบแรงดันอินพุตกับแรงดันอ้างอิง จากนั้นวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะส่งสัญญาณสูงและต่ำซึ่งแทนผลการเปรียบเทียบเข้าสู่วงจรถ่ายรหัส เพื่อกำหนดข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุตต่อไป แสดงวงจรตัวอย่างในรูปที่ 2.2

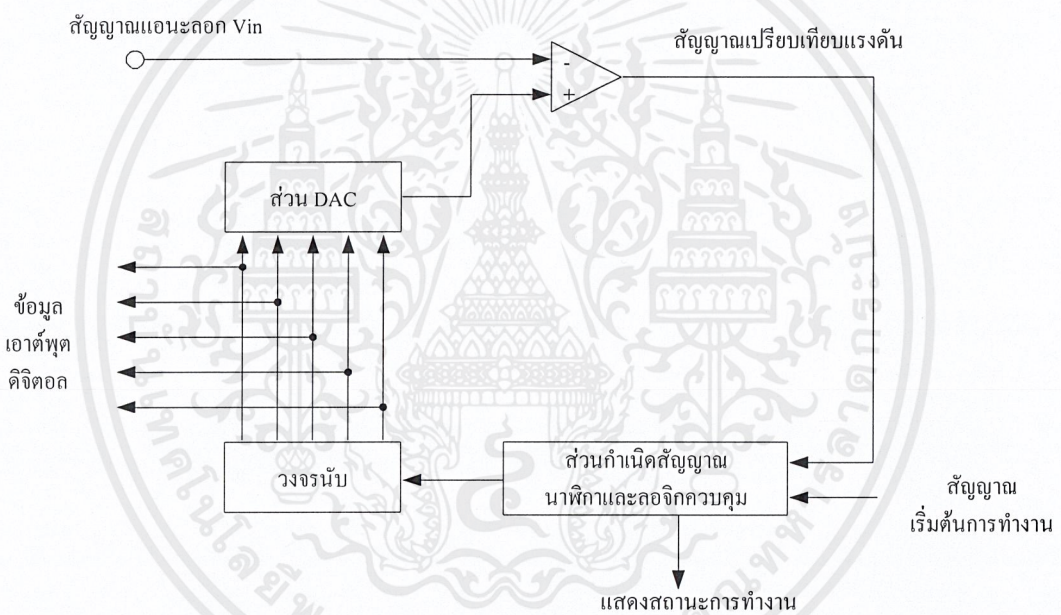
ตัวต้านทาน R1-R9 ทำหน้าที่กำหนดแรงดันอ้างอิงให้แก่อปแอมป์ IC1-IC8 ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันอินพุตกับแรงดันอ้างอิง หากแรงดันอินพุตมากกว่าแรงดันอ้างอิงที่จุดใดๆ ออปแอมป์ตัวนั้นทำงาน ให้เอาต์พุตเป็นแรงดันต่ำส่งไปยังวงจรถ่ายรหัส หากแรงดันอินพุตน้อยกว่าแรงดันอ้างอิง ออปแอมป์จะไม่ทำงาน

ยกตัวอย่าง แรงดันอินพุต 5V จะทำให้ IC4 ทำงานเกิดสัญญาณแรงดันต่ำป้อนไปยังวงจรถ่ายรหัสซึ่งใช้ไอซีเบอร์ 74147 ได้ข้อมูลเอาต์พุตเป็น 1011 ซึ่งต้องกลับสถานะลอจิกด้วยนอตเกตเป็น 0100 จะได้ค่าข้อมูลดิจิทัลตามต้องการ

2.3.2 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบวงจรมัลติเพล็กซ์

มีแผนผังการทำงานดังในรูปที่ 2.3 แบ่งเป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

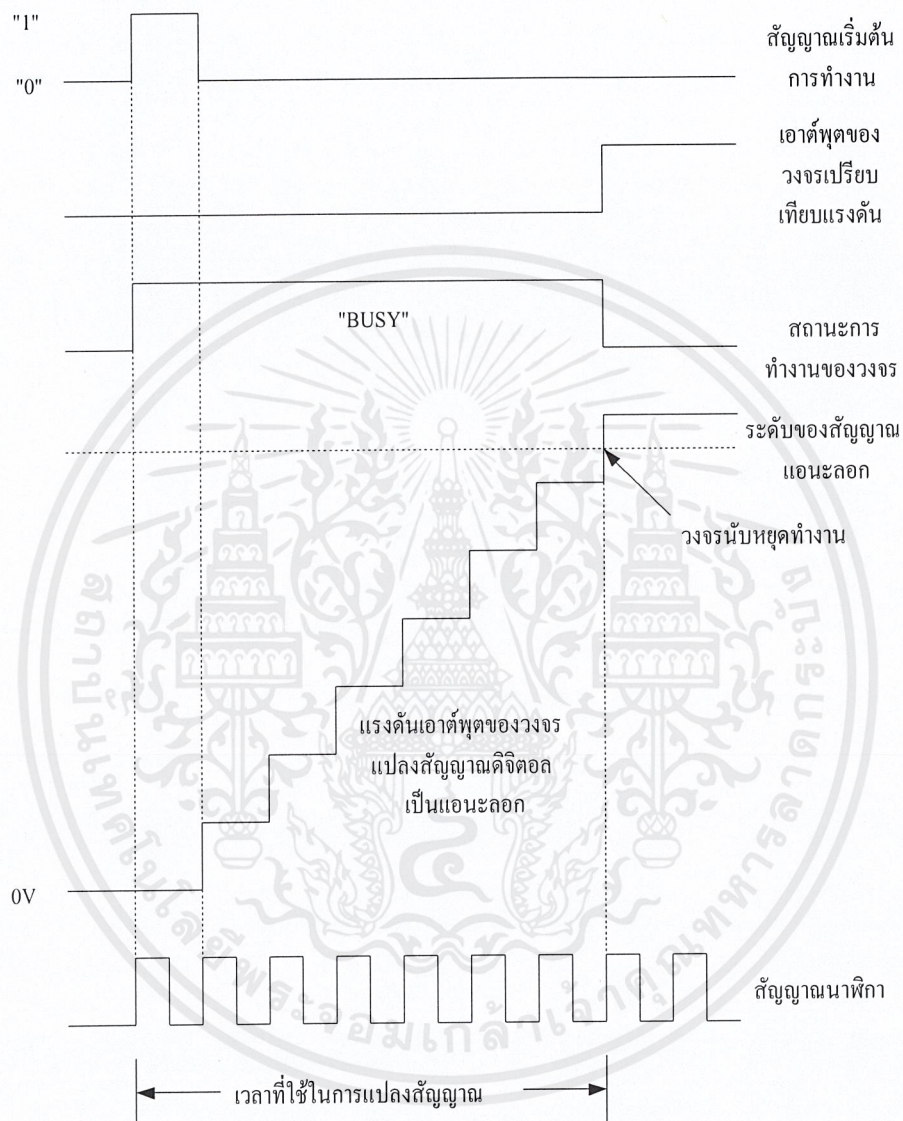
1. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาและควบคุมลอจิก ส่วนนี้จะได้รับสัญญาณให้เริ่มการทำงานแล้วส่งสัญญาณนาฬิกาไปยังวงจรมัลติเพล็กซ์
2. วงจรมัลติเพล็กซ์ส่วนนี้จะทำการนับค่าตามสัญญาณนาฬิกาที่ส่งเข้ามาแล้วส่งต่อออกไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล
3. วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก ในส่วนนี้จะแปลงค่าของการนับจากวงจรมัลติเพล็กซ์เป็นแรงดันไฟฟ้าตรง เพื่อส่งไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดัน



รูปที่ 2.3 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบมัลติเพล็กซ์

4. วงจรเปรียบเทียบแรงดัน จะทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลกับแรงดันแอนะล็อกที่ส่งเข้ามา ทางอินพุตของวงจร หากยังไม่เท่ากันวงจรมัลติเพล็กซ์จะส่งสัญญาณไปยังวงจรมัลติเพล็กซ์กำเนิดสัญญาณนาฬิกาและส่วนควบคุมลอจิกให้ทำงานต่อไป เพื่อกระตุ้นให้วงจรมัลติเพล็กซ์และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลทำงาน จนกระทั่งแรงดันจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุต วงจรมัลติเพล็กซ์จะทำการส่งสัญญาณควบคุมให้วงจรทั้งหมดหยุดทำงาน ค่าของวงจรมัลติเพล็กซ์สุดท้ายคือ ผลลัพธ์ของวงจรแปลง

สัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้ ในรูปที่ 2.4 เป็นแผนผังเวลาการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบวงจรมัลติเพล็กซ์



รูปที่ 2.4 แผนผังเวลาการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบวงจรมัลติเพล็กซ์

ข้อดีของการแปลงสัญญาณแบบนี้ คือ มีความเร็วต่ำ เวลาที่ใช้ในการแปลงจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแรงดันอินพุต หากแรงดันอินพุตมีค่ามาก เวลาที่ใช้ก็จะมากตาม ยกตัวอย่างวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบวงจรมัลติเพล็กซ์ขนาด 4 บิตใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 50 กิโลเฮิร์ตซ์จะใช้เวลาในการแปลงสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากจำนวนบิตมี 4 บิตจะเกิดการนับ $2^4 = 16$ ครั้ง แต่ครั้งจะใช้สัญญาณนาฬิกา 1 ลูก รวมแล้วใช้สัญญาณนาฬิกา 16 ลูก

คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา 1 ลูกเท่ากับ

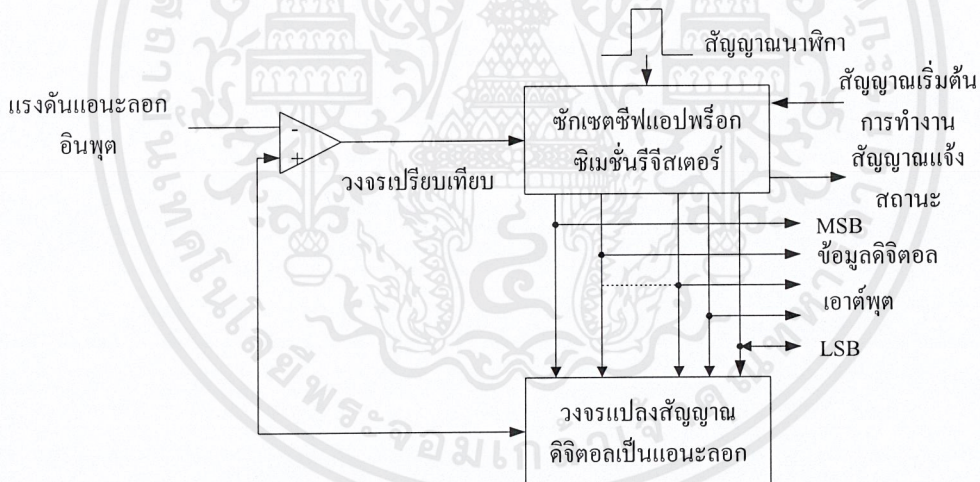
$$1/50 \times 10^3 = 20 \text{ มิลลิวินาที}$$

เวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณทั้งหมดเท่ากับ

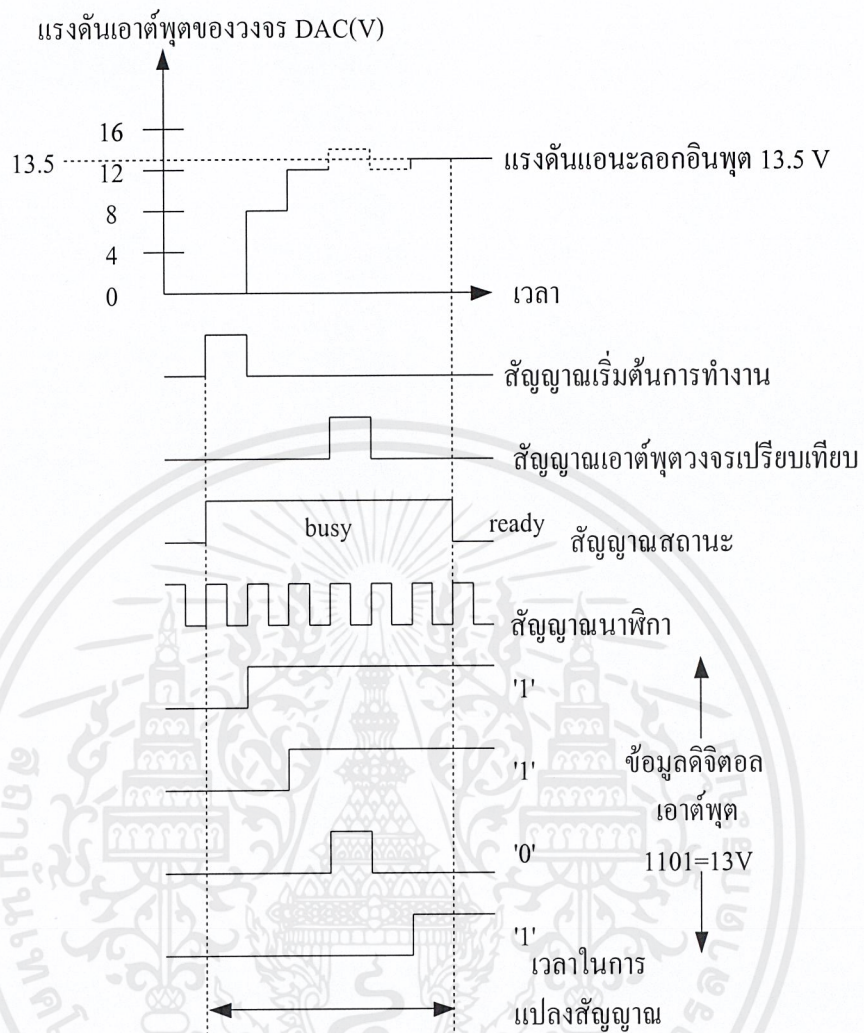
$$16 \times 20 = 320 \text{ มิลลิวินาที}$$

2.3.3 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบซิกเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชัน

ถ้าจะแปลเป็นไทยอาจเรียกกระบวนการแปลงสัญญาณแอนะล็อกแบบนี้ว่า เป็นการแปลงแบบประมาณค่าใกล้เคียงแผนผังการทำงานของกระบวนการ การแปลงสัญญาณแอนะล็อกแบบนี้แสดงในรูปที่ 2.5 ส่วนสำคัญหลัก ยังคงจะต้องมีวงจรเปรียบเทียบแรงดัน, วงจรแปลงดิจิทัลเป็นแอนะล็อก, สัญญาณนาฬิกา และส่วนควบคุมลอจิก เช่นเดียวกับวงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบวงจรมัลติเพล็กซ์



รูปที่ 2.5 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบซิกเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชัน



รูปที่ 2.6 แผนผังเวลาการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบซีกเซสซีฟ แอปพรีอซิเมชัน

จุดแตกต่างอยู่ที่ในวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบซีกเซสซีฟแอปพรีอซิเมชันนี้ใช้รีจิสเตอร์เลขฐานสองหรือ ไบนารีรีจิสเตอร์แทนวงจรนับ แต่ละบิตของรีจิสเตอร์จะได้รับการเซตและรีเซตจากวงจรควบคุมต่อไปนี้จะอธิบายการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้ให้พิจารณาแผนผังเวลาการทำงานในรูปที่ 2.6 ประกอบ

กำหนดให้แรงดันแอนะล็อกอินพุต มีค่าคงที่ที่ 13.5V

1. ส่งสัญญาณเริ่มการทำงานมายังซีกเซสซีฟแอปพรีอซิเมชันรีจิสเตอร์

2. ในขณะที่สถานะของรีจิสเตอร์จะไม่ว่าง สัญญาณนาฬิกาถูกส่งเข้ามา เพื่อ กำหนดค่าของรีจิสเตอร์เท่ากับ 0000

3. เอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลจะเป็น 0V ส่งไปในวงจรเปรียบเทียบ ทำการเปรียบเทียบกับแรงดันเข้า ในขณะนี้จะได้อาต์พุตเท่ากับ -5V กำหนดเป็นลอจิก 0

4. เมื่อสัญญาณนาฬิกาถูกส่งเข้าไปเข้ามาจะทำการเซตบิต MSB ของรีจิสเตอร์

5. ในกรณีนี้เป็น วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 4 บิต ดังนั้นการที่บิต MSB เซตจะทำให้วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อกแปลงค่าเป็นแรงดัน 8V นำไปเปรียบเทียบที่วงจรเปรียบเทียบแรงดัน แต่ก็ยังน้อยกว่า แรงดันเข้า ดังนั้นเอาต์พุต ของวงจรเปรียบเทียบ ยังคงเป็น 0 ทำให้รีจิสเตอร์ยังคงค่าบิต MSB ให้เป็น 1 ต่อไป

6. ต่อมาบิต B2 (ถัดจากบิต MSB 1 บิต เนื่องจากมี 4 บิต กำหนดบิต MSB = B3) จะเซตซึ่ง จะมีค่าเท่ากับ 4V นำไปรวมกับค่าของบิต MSB ที่มีอยู่ 8V เช่น 12V นำไปเปรียบเทียบกับแรงดัน เข้า ก็ยังน้อยกว่ารีจิสเตอร์จึงยังคงค่า B2 ไว้ที่ 1 เช่นกัน

7. ต่อมาบิต B1 จะเซตทำให้แรงดันเอาต์พุตมาวงจรถแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะล็อก กลายเป็น $8+4+2=14V$ ซึ่งมากกว่าแรงดันเข้า ทำให้วงจรเปรียบเทียบเปลี่ยนสถานะเป็น 1 ซึ่งจะส่ง สัญญาณมาควบคุมให้ B1 กลายเป็น 0

8. เมื่อบิต LSB ถูกเซต จะมีค่าแรงดัน 1V เข้ามารวมกับค่าของ B3, B2 และ B1 เป็น $8+4+0+1=13V$ นำไปเปรียบเทียบกับแรงดันเข้า ปรากฏว่าน้อยกว่าแรงดันเข้า ทำให้ที่บิต B0 หรือ LSB มีค่าเป็น 1

9. ในขณะที่ทุกบิตในรีจิสเตอร์ถูกแปลงค่าเรียบร้อยแล้ว ทำให้สถานะของรีจิสเตอร์กลับมา เป็น พร้อมทำงาน

10. ข้อมูลดิจิตอลที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบนี้จะมีค่า 1101 หรือ 13V ซึ่งใกล้เคียงกับแรงดันเข้า 13.5V มากที่สุด ถ้าหากรีจิสเตอร์มีจำนวนบิตมากกว่านี้ ความละเอียดของข้อมูลที่แปลงได้จะมีความใกล้เคียงมากขึ้น ช่วงเวลาของการแปลงสัญญาณจะเริ่มตั้งแต่สัญญาณนาฬิกาถูกส่งเข้าไปเตรียมระบบไปจนถึงเมื่อสถานะของรีจิสเตอร์กลับมาเป็น พร้อมทำงาน อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะต้องใช้จำนวนสัญญาณนาฬิกาเท่ากับ $n+1$ พัลส์โดย n เท่ากับ จำนวนบิตของรีจิสเตอร์

ดังนั้นถ้าหากวงจรถแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบซักระยะฟลิปฟล็อปพร้อมซีพียูขนาด 4 บิต ตามตัวอย่างที่อธิบายมานี้ใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 50 กิโลเฮิร์ตเวลาที่ใช้ทั้งหมดในการแปลงสัญญาณจะคำนวณได้ดังนี้

1. คำนวณคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา

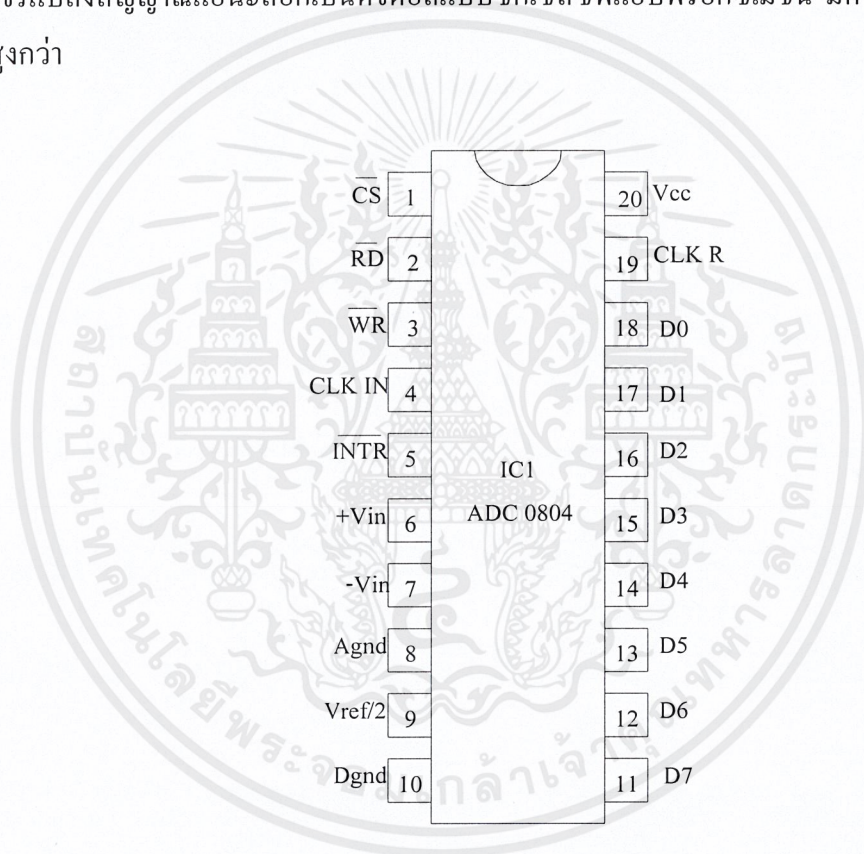
$$f_{\text{clk}} = 50 \text{ กิโลเฮิร์ตซ์} = 50 \times 10^3$$

$$T = 1/50 \times 10^3 = 20 \text{ มิลลิวินาที}$$

2. จำนวนสัญญาณนาฬิกาทั้งหมดที่ใช้ในการแปลงเท่ากับ $n+1$, n มีค่าเท่ากับ 4 เนื่องจากมีจำนวน 4 บิต ดังนั้นจำนวนสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ทั้งหมดจึงเท่ากับ $4+1 = 5$

3. เวลาทั้งหมดที่ใช้เท่ากับ $5 \times 20 \text{ มิลลิวินาที} = 100$

จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบวงจรมัลติเพล็กซ์แล้ว วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบซิกเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชัน มีความเร็วในการทำงานสูงกว่า



รูปที่ 2.7 การจัดขาของไอซี ADC0804

2.3.4 ไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ADC0804

ADC0804 เป็นไอซีแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิตซึ่งตำแหน่งขาต่างๆ ของ ADC0804 แสดงดังรูปที่ 2.7 สัญญาณนาฬิกาที่ใช้กับวงจรนี้ทำได้ 2 ทางคือ ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกค่า 100 ถึง 800 กิโลเฮิร์ตซ์ ป้อนเข้าขา 4 (CLK IN) อีกวิธีหนึ่งคือใช้สัญญาณนาฬิกา

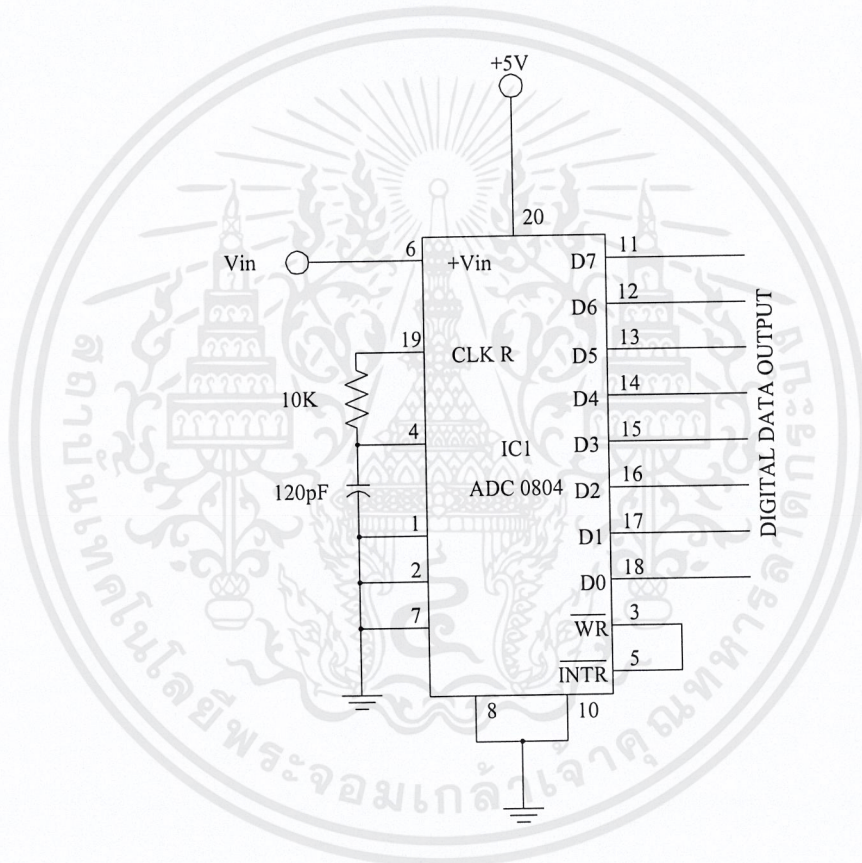
จากภายในจากขา 19 โดยสามารถกำหนดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาได้จากวงจรตัวต้านทานและตัวเก็บประจุภายนอก โดยค่าความถี่หาได้จากสมการ

$$f = 1.1 / RC \quad (2.1)$$

f = ความถี่เอาต์พุต หน่วยเป็น HZ

R = ค่าความต้านทาน หน่วยเป็น Ω

C = ค่าตัวเก็บประจุ หน่วยเป็น F



รูปที่ 2.8 การต่อวงจรเพื่อให้ ADC0804 ทำงานต่อเนื่อง

ความถี่สัญญาณนาฬิกายังมีค่ามากเท่าใด มีผลทำให้ข้อมูลดิจิทัลทางเอาต์พุตมีค่าสอดคล้องกับสัญญาณแอนะล็อกทางอินพุตมากขึ้นด้วย

ขา 5 ของไอซี ADC0804 เป็นขา INTR หรือบางทีเรียกว่าขา EOC (end of conversion) จะให้เอาต์พุตเป็นลอจิก 0 เมื่อการแปลงเสร็จสิ้นสมบูรณ์

การกำหนดแรงดันอ้างอิงสามารถกำหนดได้ที่ขา 9 (Vref/2) ถ้าต้องการแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 3V จะต้องป้อนแรงดันค่า 1.5V เข้าทางขา 9

การควบคุมให้ไอซีสามารถทำงานอย่างต่อเนื่องนั้นขา CS และขา RD จะต้องต่อลงกราวด์ ส่วนขา WR จะต้องต่อเข้ากับขา INTR ดังแสดงในรูปที่ 2.8 การต่อแบบนี้ทำให้เมื่อ INTR อยู่ในสถานะ 0 ขา WR ก็เป็น 0 ด้วยทำให้ไอซีถูกรีเซตและขา INTR กลับมาอยู่ในสถานะ 1 อีกครั้ง ขา WR ก็จะเป็น 1 ตามไปด้วย การแปลงสัญญาณก็จะเริ่มต้นอีกครั้ง บางครั้งกระบวนการการแปลงสัญญาณอาจจะไม่ทำงานเมื่อเริ่มจ่ายไฟก็ได้ จึงต้องป้อนพัลส์ลบเข้าทางขา WR เพื่อเป็นการกระตุ้นให้ไอซีเริ่มทำงาน

2.4 การวิเคราะห์ระบบควบคุมในโดเมนเวลา

ในระบบควบคุมนั้น ตัวแปรอิสระได้แก่เวลาและตัวแปรที่ต้องการศึกษาหรือเอาต์พุตที่ต้องการควบคุมนั้นจะแปรค่าไปตามเวลา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษา วิเคราะห์ และหาค่าของผลตอบสนองต่อเวลา ของระบบควบคุม โดยทั่วไปแล้วสิ่งที่ต้องการสำหรับการควบคุม คือ การควบคุมให้เอาต์พุตของระบบที่ถูกควบคุมสามารถเปลี่ยนแปลงหรือมีค่าเป็นไปตามอินพุตที่กำหนดของระบบได้โดยรวดเร็วและเที่ยงตรง

ผลตอบสนองต่อเวลาของระบบที่ถูกควบคุมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. ผลตอบสนองชั่วคราวหรือชั่วคราว

ผลตอบสนองชั่วคราวจะเกิดขึ้นในช่วงแรก เมื่ออินพุตของระบบ มีการเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้เนื่องจากว่าจะมีความเฉื่อยหรือความฝืดรวมอยู่ในระบบควบคุมด้วยเสมอ จึงทำให้เอาต์พุตของระบบที่ถูกควบคุมไม่สามารถเปลี่ยนแปลงหรือมีค่าเป็นไปตามอินพุตที่กำหนดได้ทันทีทันใดและเมื่อเวลาผ่านไปจนระบบเข้าสู่ภาวะคงที่ผลตอบสนองชั่วคราวนี้จะหมดไป

ผลตอบสนองชั่วคราวจะเป็นสิ่งที่แสดงถึงพฤติกรรมทางพลศาสตร์ (Dynamical Characteristic) ของระบบที่ถูกควบคุม อนึ่งผลตอบสนองชั่วคราวจะมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกับผลตอบสนองของระบบต่ออินพุตที่เป็น Impulse (Impulse Response) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

ผลตอบสนองที่ภาวะคงที่ (Steady State Response)

2. ผลตอบสนองที่ภาวะคงที่ของระบบที่ถูกควบคุม จะเกิดขึ้นเมื่อผลตอบสนองชั่วคราวหมดไปหรือแสดงว่าค่าของเอาต์พุตของระบบนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไป ผลตอบสนองที่ภาวะคงที่ที่จะแสดงถึงพฤติกรรมทางสถิตย์ (Static Characteristic) และความเที่ยงตรง (Accuracy) ของระบบที่ถูกควบคุม ซึ่งจะทราบได้โดยการนำผลตอบสนองที่ภาวะคงที่ของระบบที่ถูกควบคุมมา

เปรียบเทียบกับอินพุตที่กำหนด ดังนั้น ถ้าเอาต์พุตของระบบที่ภาวะคงที่มีค่าไม่เท่ากับอินพุตแล้ว ระบบควบคุมนั้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ภาวะคงที่ (Steady State Error)

จากคำจำกัดความข้างต้น จะเขียนได้ว่า

$$c(t) = c_i(t) + c_{ss}(t) \tag{2.2}$$

โดยที่ $c(t)$ ผลตอบสนองต่อเวลา

$c_i(t)$ ผลตอบสนองชั่วคราว

$c_{ss}(t)$ ผลตอบสนองที่ภาวะคงที่

และ

$$\lim_{t \rightarrow \infty} C_i(t) = 0 \tag{2.3}$$

ในการศึกษาวิเคราะห์และการหาค่าผลตอบสนองต่อเวลานั้น จะทำได้โดยการพิจารณาผลตอบสนองต่อเวลาอันเนื่องมาจากอินพุตแบบต่างๆ ในความเป็นจริงแล้ว อินพุตหรือการเปลี่ยนแปลงของอินพุตอาจจะมีรูปแบบใดๆ ก็ได้แต่เพื่อให้สะดวกแก่การศึกษา จึงแยกประเภทของอินพุตที่จะใช้ศึกษาพฤติกรรมของระบบควบคุมออกเป็น 4 ประเภทคือ

1. อินพุตแบบ Impulse Function หรือ Unit Impulse Function เป็นอินพุตที่เป็นแบบ Impulse ซึ่งจะใช้แทนลักษณะของอินพุต (หรือสัญญาณรบกวน) ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาใดๆ เพียงระยะสั้นมากๆ และหมดไปทันที

$$r(t) = \delta(t) \tag{2.4}$$

2. อินพุตแบบ Step Function หรือ Unit Step Function เป็นอินพุตที่เป็นแบบ Step ซึ่งจะใช้แทนลักษณะของอินพุต (หรือสัญญาณรบกวน) ซึ่งเปลี่ยนค่าจากค่าคงที่ค่าหนึ่ง ไปเป็นค่าคงที่อีกค่าหนึ่ง โดยที่การเปลี่ยนแปลงนั้นอาจจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งและเกิดขึ้นเพียงชั่วขณะหรืออาจจะคงมีอยู่ตลอดไป

$$r(t) = RU_s(t) \tag{2.5}$$

หรือ

$$r(t) = R \quad t \geq 0 \quad (2.6)$$

$$r(t) = 0 \quad t < 0 \quad (2.7)$$

โดยที่

$U_s(t)$ Unit Step Function

R ค่าคงที่

3. อินพุตแบบ Ramp Function เป็นอินพุตที่เป็นแบบ Ramp ซึ่งจะนำมาใช้แทนลักษณะของอินพุต (หรือสัญญาณรบกวน) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงด้วยค่าคงที่ตามเวลาที่เพิ่มขึ้นหรือตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป

$$r(t) = RtU_s(t) \quad (2.8)$$

หรือ

$$r(t) = Rt \quad t \geq 0 \quad (2.9)$$

$$r(t) = 0 \quad t < 0 \quad (2.10)$$

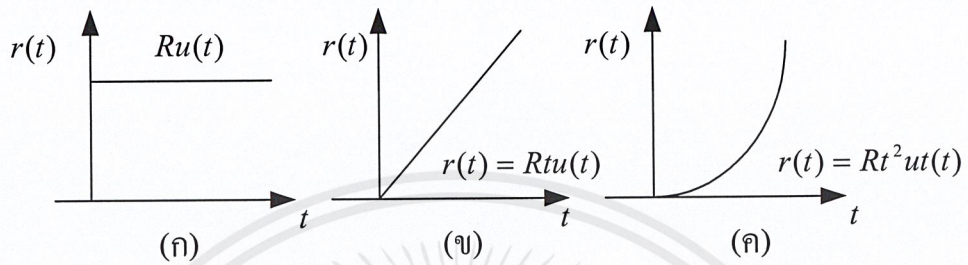
4. อินพุตแบบ Parabolic Function เป็นอินพุตแบบ Parabolic หรือความเร่ง (Acceleration) ซึ่งจะใช้แทนลักษณะของอินพุต (หรือสัญญาณรบกวน) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะความเร่ง อย่างไรก็ตาม ลักษณะของอินพุตแบบนี้จะไม่ค่อยนำมาใช้ในการศึกษาสำหรับกรณีทั่วไป

$$r(t) = Rt^2U_s(t) \quad (2.11)$$

หรือ

$$r(t) = Rt^2 \quad t \geq 0 \quad (2.12)$$

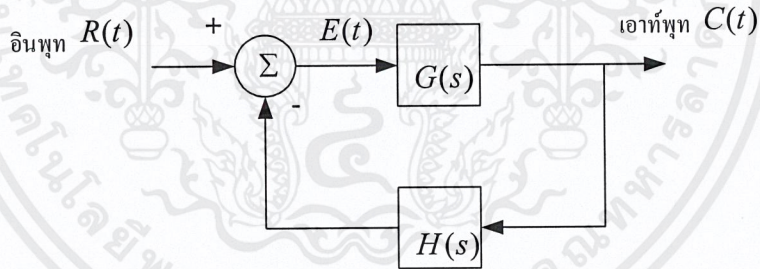
$$r(t) = 0 \quad t < 0 \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.9 ลักษณะของอินพุตแบบต่างๆ

ผลตอบสนอง Impulse

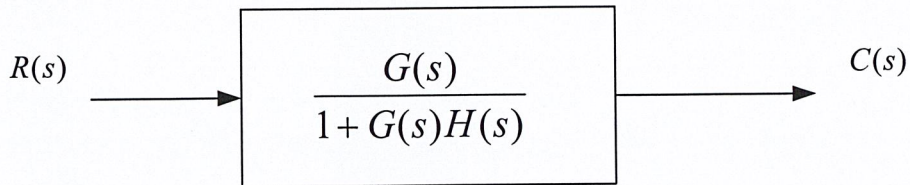
พิจารณาระบบควบคุมแบบลูปปิดต่อไปนี้



รูปที่ 2.10 ระบบควบคุมแบบลูปปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมแบบลูปปิดคือ



รูปที่ 2.11 ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมแบบลูปปิด

ถ้าให้

$$M(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad (2.14)$$

จะได้ว่า

$$\frac{C(s)}{R(s)} = M(s) \quad (2.15)$$

หรือ

$$C(s) = M(s)R(s) \quad (2.16)$$

สำหรับระบบที่มีหนึ่งอินพุตและหนึ่งเอาต์พุต เมื่ออินพุตเป็น Unit Impulse Function $\delta(t)$ จะได้ว่า

$$C(s) = M(s) \quad (2.17)$$

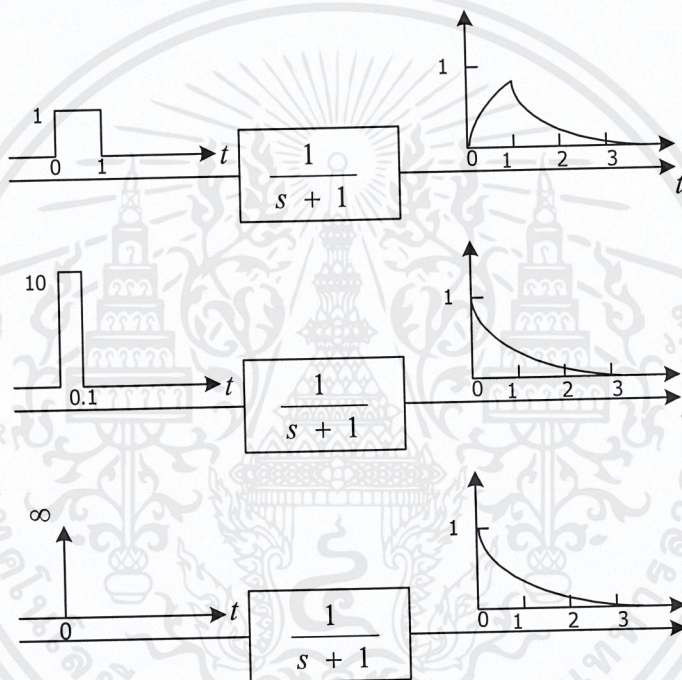
เพราะการแปลงลาปลาซของ Unit Impulse Function $\delta(t)$ มีค่าเท่ากับหนึ่ง ดังนั้น

$$c(t) = m(t) \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือผลตอบสนอง Impulse นั้นเอง

สรุปได้ว่า ผลตอบสนอง Impulse ของระบบควบคุมเชิงเส้นที่ไม่แปรตามเวลา คือ ผลตอบสนองต่อเวลาของระบบควบคุมที่มีอินพุตเป็น Unit Impulse Function และการแปลงลาปลาซของผลตอบสนอง Impulse ก็คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมนั้นเอง ในทางทฤษฎีนั้น ถ้าค่าคงที่ที่ภาวะแรกเริ่มของระบบควบคุมทั้งหมดมีค่าเท่ากับศูนย์ ผลตอบสนอง Impulse ก็จะเป็นสิ่งที่แสดงถึงพฤติกรรมของระบบนั้น รูปที่ 2.12 นี้จะแสดงถึงผลตอบสนอง Impulse ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง



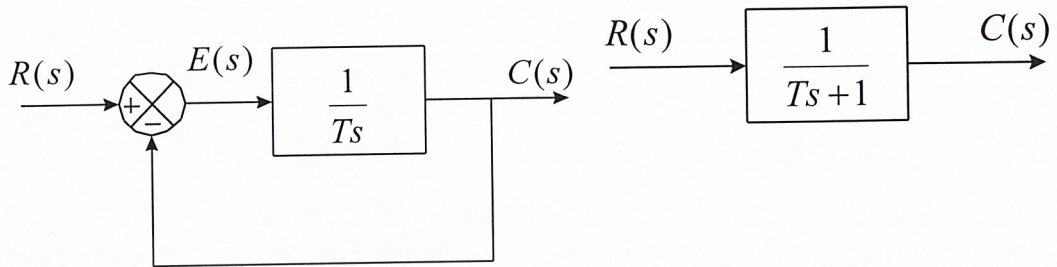
รูปที่ 2.12 ผลตอบสนอง Impulse ของระบบควบคุมอันดับหนึ่ง

2.4.1 การวิเคราะห์ผลตอบสนองชั่วคราว

การวิเคราะห์ผลตอบสนองชั่วคราวของระบบควบคุม จะแยกตามอันดับของระบบนั้น ซึ่งโดยทั่วไปจะพิจารณาดังนี้

1. ระบบอันดับหนึ่ง (First Order Systems)
2. ระบบอันดับสอง (Second Order Systems)

2.4.2 ระบบอันดับหนึ่ง



รูปที่ 2.13 ระบบอันดับหนึ่ง

จากรูปที่ 2.13 ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมแบบลูปปิด คือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{Ts + 1} \quad (2.19)$$

สมการคุณลักษณะคือ

$$\Delta(s) = Ts + 1 = 0 \quad (2.20)$$

หรือ

$$s = -1/T \quad (2.21)$$

ซึ่งแสดงว่า รากของสมการคุณลักษณะหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Pole ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูปปิด (Closed Loop Pole) จะอยู่ที่ด้านซ้ายมือบนแกน Real ในระนาบ s (s -plane)

[Closed Loop Pole $s = -1/T$ Open Loop Pole $s = 0$]

ต่อไปจะทำการศึกษาถึงผลตอบสนองหรือเอาต์พุตของระบบ เมื่ออินพุต (หรือสัญญาณรบกวน) มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะของอินพุตอ้างอิงประเภทต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น

1. ผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Impulse

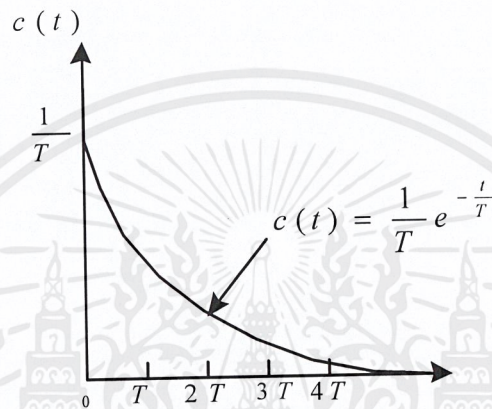
กรณีนี้ $R(s)$ มีค่าเท่ากับหนึ่งดังนั้น

$$C(s) = \frac{1}{Ts + 1} \quad (2.22)$$

หรือ

$$c(t) = \frac{1}{T} e^{-t/T} \quad (t \geq 0) \quad (2.23)$$

ผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Impulse แสดงไว้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Impulse

2. ผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Step

กรณีนี้ $R(s)$ มีค่าเท่ากับ $1/s$ ดังนั้น

$$C(s) = \frac{1}{(Ts+1)} \cdot \frac{1}{s} \quad (2.24)$$

หรือโดยการทำ Partial Fraction Expansion

$$C(s) = \frac{1}{s} - \frac{T}{Ts+1} \quad (2.25)$$

นั่นคือ

$$c(t) = 1 - e^{-t/T} = 0.632 \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะสำคัญของผลตอบสนองต่อเวลาที่เป็นเส้นโค้งในรูปของ Exponential Curve คือ เมื่อ $t = T$ ค่าของผลตอบสนองต่อเวลาจะมีค่าเท่ากับ 63.2 % ของค่าสุดท้ายที่ภาวะคงที่

$$c(T) = 1 - e^{-1} = 0.632 \quad (2.27)$$

นอกจากนี้ จะเห็นว่าเมื่อระบบอยู่ในภาวะแรกเริ่ม ค่าของ $c(t)$ จะเท่ากับศูนย์ และเมื่อเข้าสู่ภาวะคงที่ ค่าของ $c(t)$ จะเท่ากับหนึ่งหรือหมายถึงว่า ระบบอันดับหนึ่งเฉพาะกรณีตัวอย่างในรูปที่ 2.13 นั้น มีความคลาดเคลื่อนที่ภาวะคงที่เท่ากับศูนย์หรือระบบนี้มีความเที่ยงตรงสูง ค่าของเอาต์พุตสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของอินพุตที่ต้องการ

ค่าความคลาดเคลื่อนคือ

$$\begin{aligned} e(t) &= r(t) - c(t) \\ &= e^{-t/T} \end{aligned} \quad (2.28)$$

โดยที่ $e(t)$ ค่าความคลาดเคลื่อน

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ภาวะคงที่ $e_{ss}(t)$ จะหาได้จาก

$$\begin{aligned} e_{ss}(t) &= \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) \\ &= 0 \end{aligned} \quad (2.29)$$

สิ่งที่พึงสังเกตอีกประการหนึ่ง คือ ถ้าค่าของ T ซึ่งเป็นค่าเวลาคงที่ของระบบมีค่าน้อย ผลตอบสนองจะเร็ว และความชันที่ภาวะแรกเริ่มของผลตอบสนองจะหาได้จากสมการ

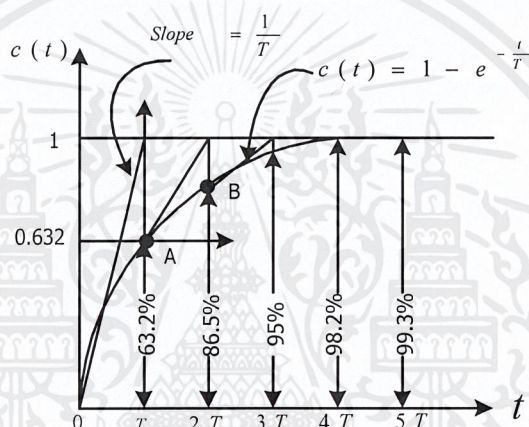
$$\frac{dc}{dt} = \frac{1}{T} e^{-t/T} \Big|_{t=0} = \frac{1}{T} \quad (2.30)$$

ซึ่งหมายถึงว่า ถ้าผลตอบสนองต่อเวลาสามารถรักษาความเร็วของการเปลี่ยนแปลงให้เท่ากับความเร็วที่ภาวะแรกเริ่มดังสมการข้างต้นได้ ผลตอบสนองต่อเวลา $c(t)$ จะมีค่าเท่ากับค่าที่ต้องการได้ เมื่อเวลาผ่านไป $t = T$ แต่อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าความชันของผลตอบสนองจะลดลงเรื่อยๆ จากค่า $1/T$ ที่เวลา $t = 0$ ไปเป็น 0 ที่เวลา $t = \alpha$

ผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Step แสดงไว้ดังรูปที่ 2.15

ที่	$t = T$	$c(t) =$	63.2%	ของค่าสุดท้ายที่ภาวะคงที่
	$t = 2T$	$c(t) =$	86.5%	ของค่าสุดท้ายที่ภาวะคงที่
	$t = 3T$	$c(t) =$	95%	ของค่าสุดท้ายที่ภาวะคงที่
	$t = 4T$	$c(t) =$	98.2%	ของค่าสุดท้ายที่ภาวะคงที่
	$t = 5T$	$c(t) =$	99.3%	ของค่าสุดท้ายที่ภาวะคงที่

แสดงว่าเมื่อ $t \geq 4T$ ผลตอบสนองต่อเวลาจะมีค่าอยู่ในช่วง 2 % ของค่าสุดท้าย และโดยทั่วไปแล้วจะถือว่า เมื่อผลตอบสนองต่อเวลา มีค่าเข้าสู่ช่วง 2 % ของค่าสุดท้าย จะเป็นการเข้าสู่ภาวะคงที่หรือเป็นการเปลี่ยนสภาวะจากผลตอบสนองชั่วคราวไปเป็นผลตอบสนองที่ภาวะคงที่



รูปที่ 2.15 การเปลี่ยนสภาวะจากผลตอบสนองชั่วคราวไปเป็นผลตอบสนองที่ภาวะคงที่

3. ผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Ramp

กรณีนี้ $R(s)$ มีค่าเท่ากับ $1/s^2$ ดังนั้น

$$C(s) = \frac{1}{(Ts + 1)} \cdot \frac{1}{(s^2)} \quad (2.31)$$

หรือโดยการทำ Partial Fraction Expansion

$$C(s) = \frac{1}{s^2} - \frac{T}{s} + \frac{T^2}{Ts + 1} \quad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือ

$$c(t) = t - T + Te^{t/T} \quad (t \geq 0) \quad (2.33)$$

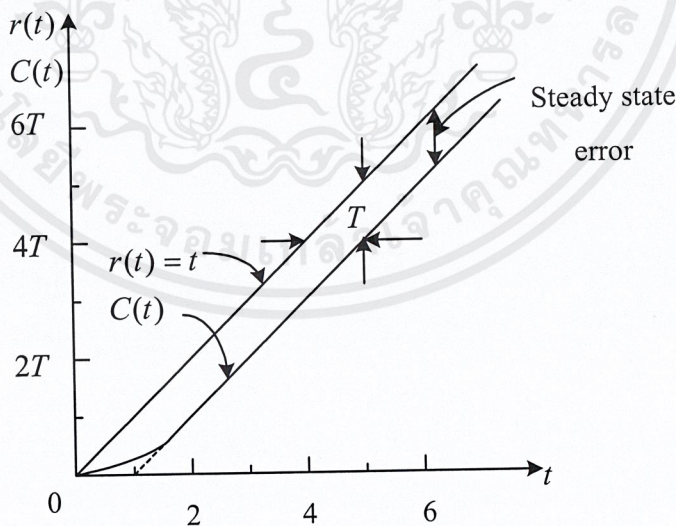
ค่าความคลาดเคลื่อน $e(t)$ คือ

$$\begin{aligned} e(t) &= r(t) - c(t) \\ &= T(1 - e^{-t/T}) \end{aligned} \quad (2.34)$$

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ภาวะคงที่ $e_{ss}(t)$ จะหาได้จาก

$$e(\infty) = T \quad (2.35)$$

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ภาวะคงที่มีค่าเท่ากับ T ดังนั้นถ้าเวลาคงที่ของระบบมีค่ามากหรือน้อย ค่าความคลาดเคลื่อนที่ภาวะคงที่จะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าด้วย
ผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Ramp แสดงได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Ramp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 คุณสมบัติบางประการของระบบที่เป็นเชิงเส้นและไม่แปรตามเวลา

จากการวิเคราะห์ที่ผ่านมาสรุปได้ดังนี้

กรณีของผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Ramp

$$c(t) = t - T + Te^{-t/T} \quad (t \geq 0) \quad (2.36)$$

กรณีของผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Step

ผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Step ซึ่งเป็นค่าอนุพันธ์ (Derivative) อันดับหนึ่งของ Unit Ramp คือ

$$c(t) = 1 - e^{-t/T} \quad (t \geq 0) \quad (2.37)$$

กรณีของผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Impulse

ผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Impulse ซึ่งเป็นค่าอนุพันธ์ของ Unit Step คือ

$$c(t) = \frac{1}{T} e^{-t/T} \quad (t \geq 0) \quad (2.38)$$

เมื่อเปรียบเทียบกันจะเห็นว่า ผลตอบสนองของระบบต่ออินพุตที่เป็น Unit Step นั้นจะเป็นค่าอนุพันธ์ของผลตอบสนองของระบบต่ออินพุตที่เป็น Unit Ramp และในทำนองเดียวกัน ผลตอบสนองของระบบต่ออินพุตที่เป็น Unit Impulse จะเป็นค่าอนุพันธ์ของผลตอบสนองของระบบต่ออินพุตที่เป็น Unit Step ด้วย

ในทางกลับกัน ผลตอบสนองของระบบต่ออินพุตที่เป็น Unit Step จะเป็นค่าอินทิเกรต (Integrate) ของผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Impulse และผลตอบสนองของระบบต่ออินพุตที่เป็น Unit Ramp จะเป็นค่าอินทิเกรตของผลตอบสนองของระบบต่ออินพุตที่เป็น Unit Step โดยที่ค่าคงที่ของการอินทิเกรตจะหาได้จากค่าคงที่ที่ภาวะแรกเริ่มของระบบ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของระบบที่เป็นเชิงเส้นและไม่แปรตามเวลา

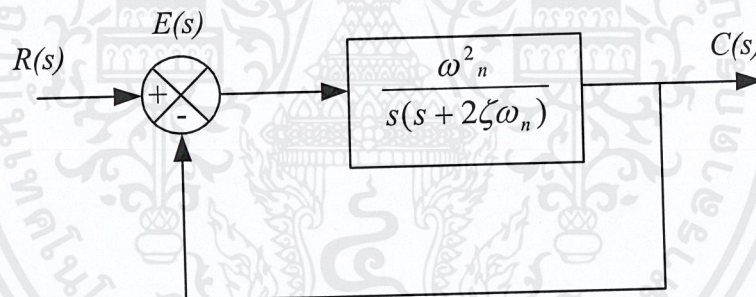
2.4.4 สรุปพฤติกรรมของระบบอันดับหนึ่ง

1. รากของสมการคุณลักษณะ (หรือ Pole ของฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลูปปิด) จะอยู่บนแกน Real ทางครึ่งซ้าย ในระนาบ s (ถ้าอยู่ทางครึ่งขวา ระบบจะไม่มีเสถียรภาพ)
2. พฤติกรรมทางพลศาสตร์ของผลตอบสนองต่อเวลา (เอาต์พุต) จะอยู่ในรูป Exponential Curve
3. ความเร็วของผลตอบสนองต่อเวลา ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของอินพุต จะขึ้นอยู่กับค่าเวลาที่คงที่ (Time Constant) ของระบบถ้า T มีค่าน้อย เอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงตามอินพุตได้รวดเร็ว
4. ผลตอบสนองต่อเวลาจะเข้าสู่ภาวะคงที่ เมื่อเวลาผ่านไป 4 เท่าของ Time Constant

2.4.5 ระบบอันดับสอง

พิจารณาระบบอันดับสองในรูปที่ 2.17 โดยที่การป้อนกลับจะเป็นแบบ Unity Feedback

$$H(s) = 1$$



รูปที่ 2.17 ระบบอันดับสอง

ฟังก์ชันถ่ายโอนของลูปคือ

$$G(s) = \frac{C(s)}{E(s)} = \frac{\omega_n^2}{s(s + 2\zeta\omega_n)} \quad (2.39)$$

โดยที่ ζ และเป็นค่าจริง และ ω_n มีค่าคงที่ และฟังก์ชันถ่ายโอนของลูปปิดคือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2.40)$$

สมการคุณลักษณะของลูปิดคือ

$$\Delta(s) = s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = 0 \quad (2.41)$$

โดยที่ ζ Damping Ratio

ω_n Undamped Natural Frequency

พฤติกรรมทางพลศาสตร์ของระบบอันดับสองสามารถอธิบายได้ในเทอมของพารามิเตอร์สองตัวคือ ζ และ ω_n โดยพิจารณาได้เป็น 5 กรณีคือ

1. กรณี Undamped ($\zeta = 0$)

กรณีนี้ รากของสมการคุณลักษณะ (หรือ Pole ของลูปิด) จะอยู่บนแกน Imaginary ในระนาบ s ซึ่งเอาต์พุตของระบบจะเกิดการแกว่ง (Oscillate) อย่างต่อเนื่องกันไป

2. กรณี Underdamped ($0 < \zeta < 1$)

กรณีนี้ รากของสมการคุณลักษณะ จะเป็นปริมาณเชิงซ้อน (Complex Conjugate) และอยู่ทางครึ่งซ้ายในระนาบ s และระบบจะเป็นแบบ Underdamped ซึ่งผลตอบสนองชั่วคราวของระบบจะเกิดการแกว่งภายใต้การหน่วง

3. กรณี Criticcal Damped ($\zeta = 1$)

กรณีนี้ รากของสมการคุณลักษณะ จะมีค่าเท่ากันและอยู่บนแกน Real ทางครึ่งซ้ายในระนาบ s ซึ่งผลตอบสนองต่อเวลาของระบบจะเหมือนหรือคล้ายกับผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งและไม่มีแกว่ง

4. กรณี Overdamped ($\zeta > 1$)

กรณีนี้ รากของสมการคุณลักษณะจะมีค่าไม่เท่ากัน แต่จะอยู่บนแกน Real ทางครึ่งซ้ายในระนาบ s ทั้งหมดและผลตอบสนองต่อเวลาของระบบ จะเหมือนหรือคล้ายกับผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งและไม่มีแกว่ง

5. กรณี Negative Damped ($\zeta < 0$)

กรณีนี้ รากของสมการคุณลักษณะจะอยู่บนแกน Real ทางครึ่งขวาในระนาบ s และระบบจะไม่เสถียรภาพ

ต่อไป จะพิจารณาดังผลตอบสนองต่อเวลาของระบบอันดับสองต่ออินพุตแบบต่างๆ

ผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Step

กรณี Undamped ($\zeta = 0$)

จากสมการทั่วไปของฟังก์ชันถ่ายโอนของลูบปิด คือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2.42)$$

เมื่อ ($\zeta = 0$) จะได้ว่า

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + \omega_n^2} \quad (2.43)$$

สมการคุณลักษณะของลูบปิด คือ

$$\Delta(s) = s^2 + \omega_n^2 = 0 \quad (2.44)$$

รากของสมการคุณลักษณะ คือ

$$s_1, s_2 = \pm j\omega_n \quad (2.45)$$

นั่นคือ รากของสมการคุณลักษณะ จะอยู่บนแกน Imaginary ในระนาบ s โดยมีค่าเท่ากับ ω_n

และเมื่ออินพุตเป็น Unit Step $R(s)$ มีค่าเท่ากับ $1/s$ จะได้ว่า

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s + \omega_n^2)} \quad (2.46)$$

ทำการแปลงกลับลาปลาซจะได้

$$C(t) = 1 - \cos \omega_n t \quad (t \geq 0) \quad (2.47)$$

นั่นคือ เมื่อ $\zeta = 0$ เอาต์พุตของระบบจะเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่องกันไป โดยที่ความถี่ของการแกว่งคือ ω_n

กรณี Underdamped ($0 < \zeta < 1$)

สมการคุณลักษณะของรูปปิดคือ

$$\Delta(s) = s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = 0 \quad (2.48)$$

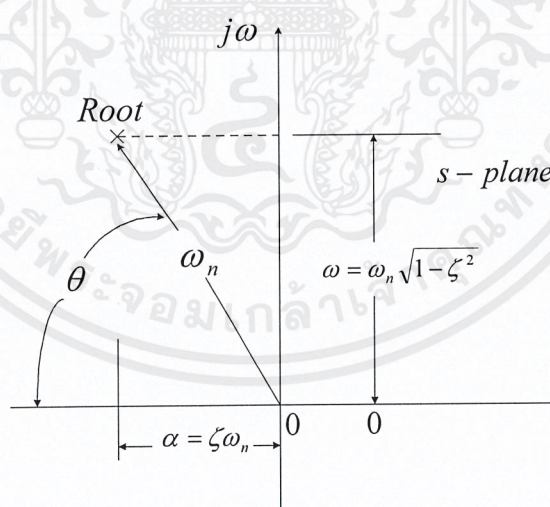
รากของสมการคุณลักษณะคือ

$$\begin{aligned} s_1, s_2 &= -\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2} \\ &= -\alpha \pm j\omega \end{aligned} \quad (2.49)$$

โดยที่ α Damping Factor หรือ Damping Constant

ω Damped Natural Frequency

ดังนั้น เมื่อนำไปกำหนดจุดโวลนระนาบ s จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 เมื่อนำไปกำหนดจุดโวลนระนาบ s

โดยจะได้ความสัมพันธ์ที่สำคัญคือ

$$\zeta = \text{damping ratio} = \frac{\alpha}{\omega_n} \quad (2.50)$$

$$\omega = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (2.51)$$

$$\zeta = \cos \theta \quad (2.52)$$

เมื่ออินพุตเป็น Unit Step $R(s)$ มีค่าเท่ากับ $1/s$ จะได้ว่า

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{s(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} \quad (2.53)$$

ทำการแปลงกลับลาปลาซ จะได้

$$c(t) = 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \sin(\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t + \cos^{-1} \zeta) \quad t \geq 0 \quad (2.54)$$

จะเห็นว่า ผลตอบสนองของระบบจะเกิดการแกว่งชั่วคราวด้วยความถี่ ω และแปรค่าไปตาม อัตราการหน่วง ζ
ค่าความคลาดเคลื่อนจะหาได้จาก

$$\begin{aligned} e(t) &= r(t) - c(t) \\ &= \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \sin(\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} t + \cos^{-1} \zeta) \quad t \geq 0 \end{aligned} \quad (2.55)$$

นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อนของระบบจะเกิดการแกว่งที่มีการหน่วงและเมื่อเข้าสู่ภาวะคงที่ ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าเท่ากับศูนย์
อนึ่ง ค่าของ ω จะต้องน้อยกว่า ω_n เสมอ

กรณี Critical Damped ($\zeta = 1$)

กรณีนี้ รากของสมการคุณลักษณะจะมีค่าเท่ากัน นั่นคือ

$$s_1, s_2 = -\omega_n \quad (2.56)$$

และเมื่ออินพุตเป็น Unit Step จะได้

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{(s + \omega_n)^2 s} \quad (2.57)$$

ทำการแปลงกลับลาปลาซ จะได้

$$C(t) = 1 - e^{-\omega_n t} (1 + \omega_n t) \quad (t \geq 0) \quad (2.58)$$

ซึ่งจะเห็นว่า ผลตอบสนองเวลาของระบบอันดับสองนี้ไม่มีการแกว่ง

กรณี Overdamped ($\zeta > 1$)

กรณีนี้ รากของสมการคุณลักษณะจะมีค่าไม่เท่ากัน แต่จะเป็นค่าจริงที่เป็นลบทั้งสองค่านั้น

คือ

$$s_1 = -(\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n \quad (2.59)$$

$$s_2 = -(\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n \quad (2.60)$$

และเมื่ออินพุตเป็น Unit Step จะได้

$$C(s) = \frac{\omega_n}{(s + \zeta\omega_n + \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1})(s + \zeta\omega_n - \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1})s} \quad (2.61)$$

ทำการแปลงกลับลาปลาซ จะได้

$$c(t) = 1 + \frac{\omega_n}{2\sqrt{\zeta^2 - 1}} \left(\frac{e^{-s_1 t}}{s_1} - \frac{e^{-s_2 t}}{s_2} \right) \quad (t \geq 0) \quad (2.62)$$

ผลตอบสนองของระบบอันดับสองในกรณีนี้จะคล้ายกับผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งและประกอบไปด้วยเทอมของ Exponential ที่มีกำลังลบสองเทอม ซึ่งการลดลงของ Exponential อันหนึ่งจะเร็วกว่าอีกอันหนึ่ง ดังนั้นเทอมของ Exponential ที่ลดลงเร็ว (หมายถึง Time Constant ที่มีค่าน้อย) อาจจะตัดทิ้งได้เพราะมีผลต่อผลตอบสนองที่น้อย

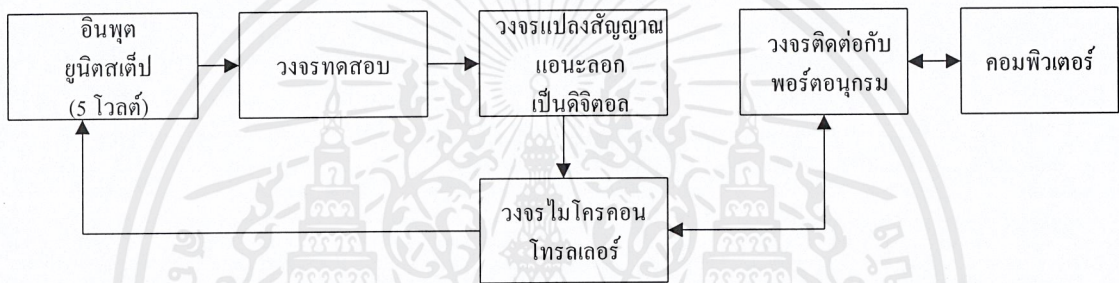


บทที่ 3

การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

สำหรับการออกแบบการสร้างและการทำงานของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC นั้น จะประกอบด้วยการออกแบบ 2 ส่วนใหญ่ๆ ที่สำคัญคือ การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์และการออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์ โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของระบบคำนวณหาฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

จากรูปที่ 3.1 อินพุตยูนิตสเต็ป (5 โวลต์) จะจ่ายแรงดันให้วงจรทดสอบก็ต่อเมื่อได้รับคำสั่งจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ผ่านทางวงจรติดต่อกับพอร์ตอนุกรมสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสั่งให้ภาคจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ จ่ายแรงดันอินพุตให้วงจรทดสอบ จากนั้นวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลจะแปลงสัญญาณที่รับมาจากวงจรทดสอบ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะเก็บสัญญาณที่แปลงเป็นดิจิทัลแล้วมาเก็บไว้ในหน่วยความจำ และรอรับคำสั่งจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อส่งข้อมูลที่เก็บไว้ไปแสดงที่คอมพิวเตอร์

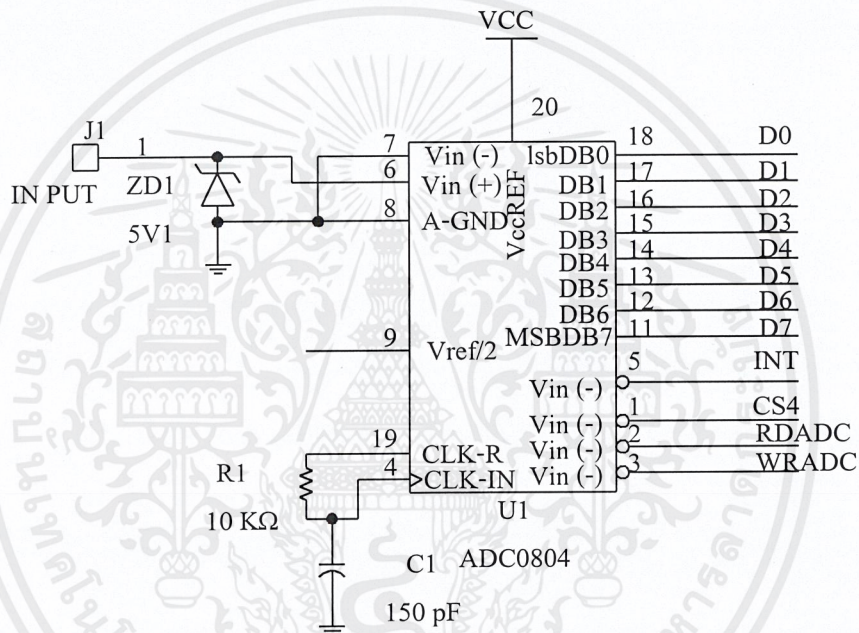
3.2 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์

3.2.1 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

ในการออกแบบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลใช้ วงจรรวมเบอร์ ADC0804 ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายในจากขา 19 โดยกำหนดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาจากวงจรตัวต้าน

ทานและตัวเก็บประจุภายนอก กำหนดแรงดันอ้างอิงที่ขา 9 ($V_{ref}/2$) ต้องการแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 5V ป้อนแรงดันค่า 2.5V เข้าทางขา 9

การควบคุมให้ไอซีทำงานอย่างต่อเนื่องขา CS และขา RD ต่อลงกราวด์ขา WR ต่อเข้ากับขา INTR การต่อแบบนี้ทำให้เมื่อ INTR อยู่ในสถานะ 0 ขา WR ก็เป็น 0 ด้วยทำให้ไอซีถูกรีเซตและขา INTR กลับมาอยู่ในสถานะ 1 อีกครั้ง ขา WR ก็จะเป็น 1 ตามไปด้วย การแปลงสัญญาณก็จะเริ่มต้นอีกครั้ง กระบวนการการแปลงสัญญาณอาจจะไม่ทำงานเมื่อเริ่มจ่ายไฟ จึงต้องป้อนพัลส์ลบเข้าทางขา WR เพื่อเป็นการกระตุ้นให้ไอซีเริ่มทำงานดังแสดงดังรูปที่ 3.2



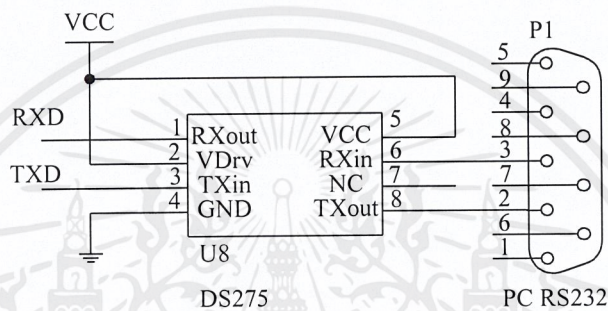
รูปที่ 3.2 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

3.2.2 การออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

การออกแบบวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกใช้วงจรรวมเบอร์ AT89C52 เป็นตัวรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ โดยเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษาแอสเซมบลี ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รอรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ก่อนจึงสามารถที่จะทำงานได้ เมื่อคอมพิวเตอร์ส่งรหัสแอสกี 31 มาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มทำงานสั่งให้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเริ่มรับค่าแอนะล็อก จากวงจรไฟฟ้า RLC แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วส่งไปเก็บไว้ในแรมเบอร์ 62256 จำนวน 3 ตัวเพื่อเพิ่มพื้นที่เก็บข้อมูลให้มากขึ้น และเมื่อคอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งเป็น

3.2.3 การออกแบบวงจรติดต่อกับพอร์ตอนุกรม

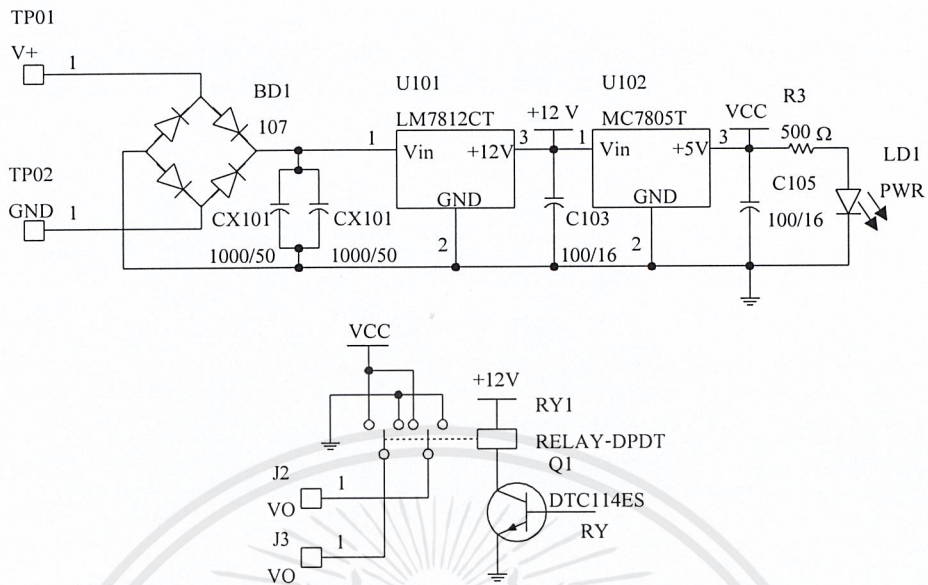
การออกแบบวงจรติดต่อกับพอร์ตอนุกรม ใช้มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เลือกวงจรรวมเบอร์ DS275 และใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 จะมีขาต่อใช้งาน 9 ขา เพื่อใช้ติดต่อกับพอร์ตอนุกรม การต่อใช้งานคอนเน็กเตอร์ จะใช้ ขา 2 (Received Data : RxD), ขา 3 (Transmitted Data : TxD), และขา 5 (Signal Ground : GND) เพียง 3 ขาในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ดังแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การออกแบบวงจรติดต่อกับพอร์ตอนุกรม

3.2.4 การออกแบบวงจรภาคแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

การออกแบบวงจรภาคแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรต่างๆ ต้องคำนึงถึงความต้องการของวงจรที่คิดว่าต้องการใช้ไฟเลี้ยงภายในวงจรเท่าใด ซึ่งในการออกแบบวงจรนี้ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 12V กระแสตรงมาทำการลดแรงดันให้เหลือเพียง 5V กระแสตรง โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงสีแดง แสดงสถานะการทำงานของวงจรภาคแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้างดังแสดงดังรูปที่ 3.5



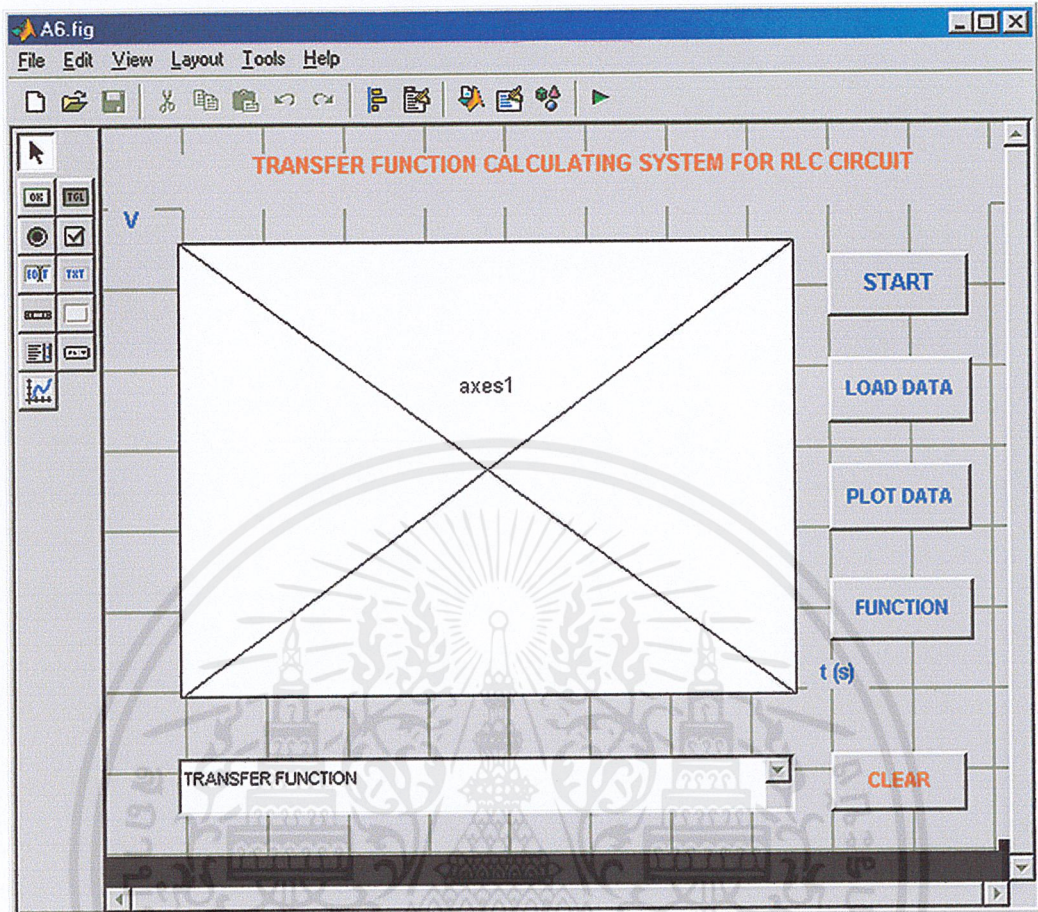
รูปที่ 3.5 การออกแบบวงจรภาคแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

3.3 การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์

ในส่วนของการออกแบบโปรแกรมเมนโปรแกรมนี้เราจะใช้การติดต่อกับพอร์ตอนุกรมเพื่อนำค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์นำมาสร้างกราฟผลตอบสนองทางเวลาและคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอน โดยออกแบบส่วนของหน้าจอการใช้งานหลักเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการแสดงกราฟผลตอบสนองทางเวลาและส่วนแสดงฟังก์ชันถ่ายโอน การสร้างหน้าจอการใช้งานหลักใช้ GUI (Graphical User Interfaces) สร้างเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปขึ้นมาโดยการสั่งงานจะสั่งผ่านปุ่มกดเพื่อทำหน้าที่ต่างๆ

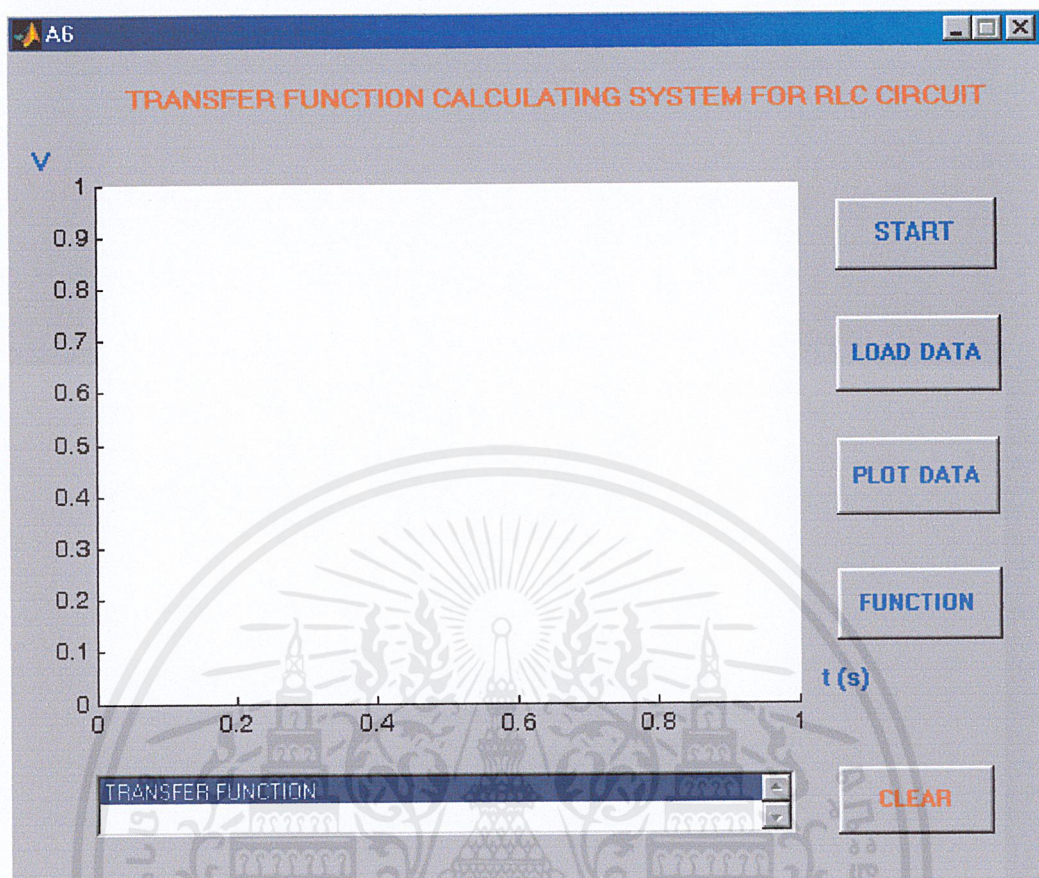
3.3.1 การออกแบบโปรแกรมหลัก

วิธีการสร้างสามารถทำได้โดยเรียกโปรแกรมย่อยชื่อว่า GUI จากโปรแกรม MATLAB ขึ้นมาเป็นหน้าต่างสำหรับสร้างหน้าจอการใช้งานหลักของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอน ตั้งชื่อไฟล์ที่ทำการสร้างเป็น A6.fig ดังแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การสร้างหน้าจอการใช้งานหลักของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอน

หลังจากทำการออกแบบได้ดังรูปที่ 3.6 แล้วทำการบันทึกในชื่อที่ตั้งไว้ในตอนแรก แล้วทำการทดสอบการทำงานของหน้าจอที่ได้ออกแบบไว้โดยการกดปุ่ม `Ctrl+T` หรือกดปุ่ม `RUN` เพื่อให้หน้าจอที่ได้ออกแบบไว้ทำงาน โดยเมื่อเริ่มการทำงานแล้วจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 หน้าจอหลักของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

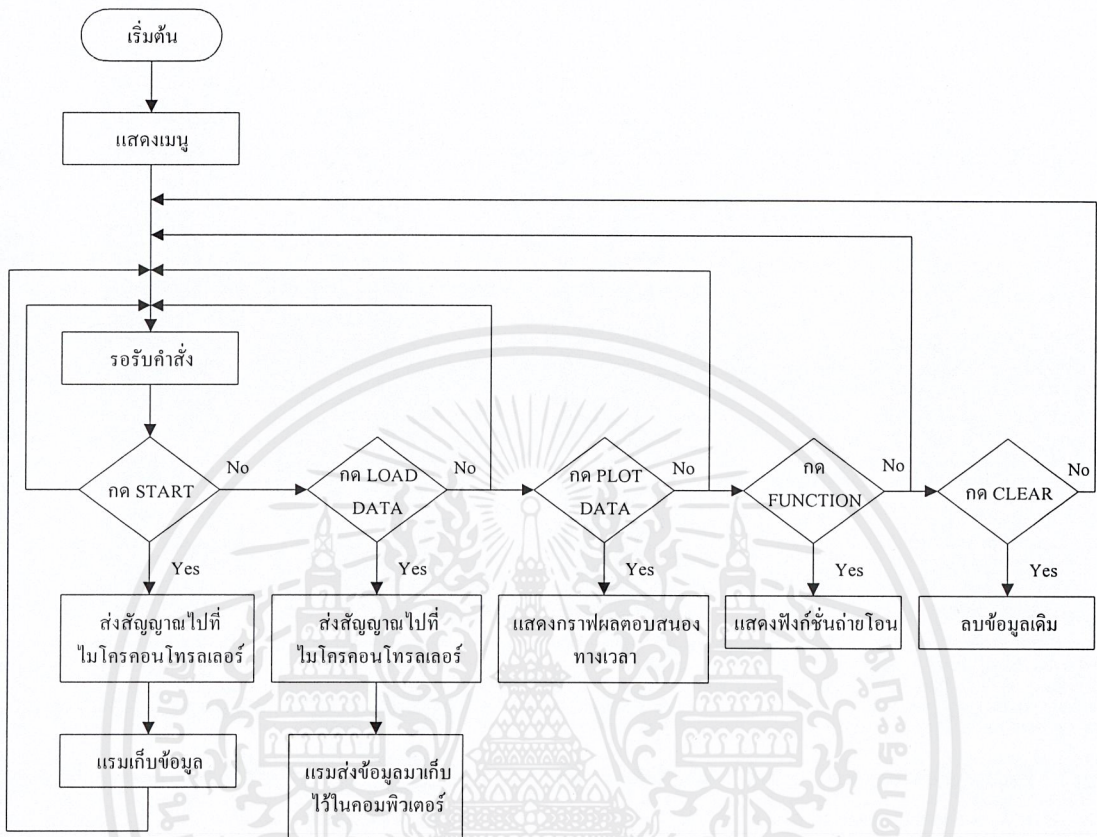
3.3.2 การออกแบบโปรแกรมสร้างกราฟผลตอบสนองทางเวลาและคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอน

จากการสร้างหน้าจอหลักของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC ภายในหน้าจอจะมีปุ่มควบคุมการทำงานทั้งหมด 5 ปุ่ม โดยการที่จะทำให้ปุ่มแต่ละปุ่มนั้นสามารถทำตามคำสั่งได้นั้นจะต้องเขียนโปรแกรมควบคุมในโปรแกรมย่อยที่ชื่อว่า M-file ของ MATLAB การเขียนคำสั่งควบคุมกำหนดไว้ดังนี้

1. ปุ่ม START ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อสั่งให้แรมเก็บข้อมูล
2. ปุ่ม LOAD DATA ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อสั่งให้แรมส่งข้อมูลที่เก็บไว้ไปที่คอมพิวเตอร์
3. ปุ่ม PLOT DATA ทำหน้าที่แสดงกราฟผลตอบสนองทางเวลา
4. ปุ่ม FUNCTION ทำหน้าที่แสดงฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC
5. ปุ่ม CLEAR ทำหน้าที่ลบข้อมูลเดิมทิ้งเพื่อรอรับข้อมูลใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยลำดับชั้นการทำงานจะแสดงดังผังงานดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แพนผังการทำงานของโปรแกรมสร้างกราฟและคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอน

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

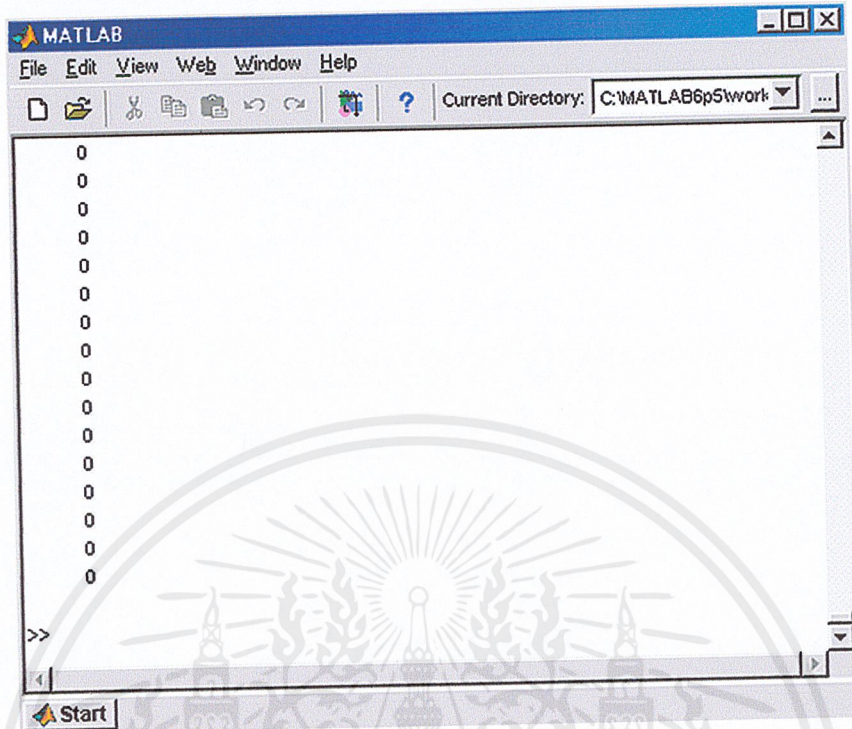
ในบทนี้กล่าวถึงวิธีการทดสอบระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC โดยทำการทดสอบ การสร้างกราฟผลตอบสนองทางเวลาและการคำนวณหาค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

4.2 การทดลองฮาร์ดแวร์ของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

สำหรับการทดลองในส่วนของฮาร์ดแวร์ซึ่งประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรติดต่อกับพอร์ตอนุกรมโดยนำทั้งสามวงจรมานำต่อใช้งานร่วมกัน ซึ่งในแต่ละวงจรจะทำหน้าที่ดังต่อไปนี้

1. วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะล็อกที่ออกมาจากวงจรไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วส่งต่อไปให้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
2. วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่รับมาจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล แล้วแปลงสัญญาณที่ได้ให้เป็นเลขฐาน 16 รอที่จะส่งไปที่วงจรติดต่อกับพอร์ตอนุกรม
3. วงจรติดต่อกับพอร์ตอนุกรม ทำหน้าที่ส่งข้อมูลที่รับมาจากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ไปที่คอมพิวเตอร์ โดยผ่านพอร์ตอนุกรม

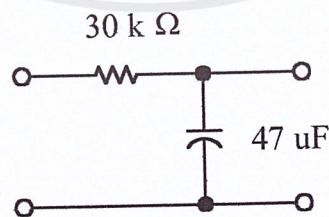
การทดลองการทำงานของทั้งสามวงจรจะใช้ Command Window ของโปรแกรม MATLAB เป็นตัวแสดงผล การทดลองครั้งที่ 1 ยังไม่ต่อวงจรไฟฟ้า RLC เข้ากับฮาร์ดแวร์ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ค่าที่ได้จากการทดลองในส่วนของฮาร์ดแวร์เมื่อยังไม่ต่อวงจรไฟฟ้า RLC

จากรูปที่ 4.1 ค่าที่ได้จากการทดลองเป็น 0 เพราะวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ยังไม่มีสัญญาณแอนะล็อกเข้ามา เมื่อทำการแปลงเป็นดิจิทัลจึงทำให้ไม่มีข้อมูลใดๆ

การทดลองครั้งที่ 2 นำอินพุตของวงจรไฟฟ้า RLC ต่อเข้ากับขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์และต่อเอาต์พุตเข้ากับขั้วต่อ RLC IN โดยวงจรไฟฟ้าที่ใช้ทดลองมีลักษณะการต่อและค่าต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.2 ส่วนผลของการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.2 วงจรไฟฟ้า RLC ที่ใช้ทดลอง

```

MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: C:\MATLAB6p5\work
252
253
252
252
252
254
252
252
252
252
253
253
252
251
252
253
252
252
253
253

```

รูปที่ 4.3 ค่าที่ได้จากการทดลองของฮาร์ดแวร์ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล

```

MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: C:\MATLAB6p5\work
255
255
255
255
255
255
255
255
255
255
255
255
255
255
255
255
255
>>

```

รูปที่ 4.4 ค่าที่ได้จากการทดลองของฮาร์ดแวร์ในขณะที่ข้อมูลมีสถานะคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองเมื่อต่อกับวงจรไฟฟ้า RLC โดยที่ข้อมูลจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเริ่มส่งข้อมูลและเริ่มคงที่เมื่อส่งข้อมูลเสร็จแล้ว

4.3 การทดลองการทำงานของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

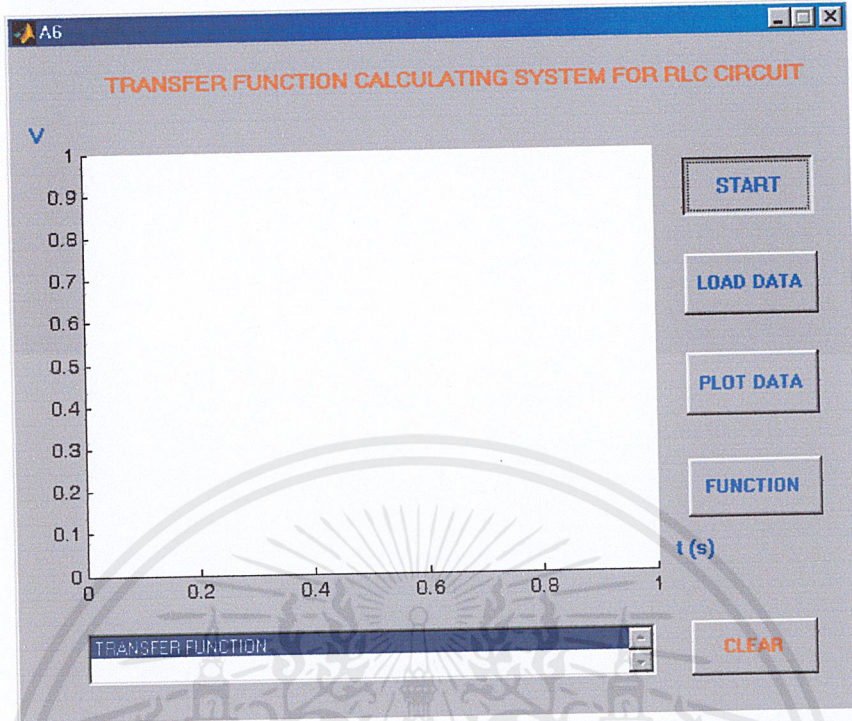
ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC จะมีลำดับขั้นตอนทดลองการสร้างกราฟผลตอบสนองทางเวลาและคำนวณหาค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC ดังนี้

1. ต่ วงจรไฟฟ้า RLC ดังรูปที่ 4.2 เข้ากับส่วนของฮาร์ดแวร์
2. เข้าสู่ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC คลิกเลือกที่ปุ่ม START ดังรูปที่ 4.6 เพื่อส่งรหัสแอสกี 31 ไปที่ไมโครคอนโทรเลอร์สั่งให้แรมเก็บข้อมูลแอลอีดีสีแดง (BUSY) จะติดดูรูปที่ 4.5 ประกอบ
3. กดปุ่ม LOAD DATA ดังรูปที่ 4.7 เพื่อส่งรหัสแอสกี 33 ไปที่ไมโครคอนโทรเลอร์สั่งให้แรมทำการส่งข้อมูลที่เก็บไว้มายังคอมพิวเตอร์แอลอีดีสีแดง (BUSY) และสีเขียว (FULL) ติดดูรูปที่ 4.5 ประกอบ

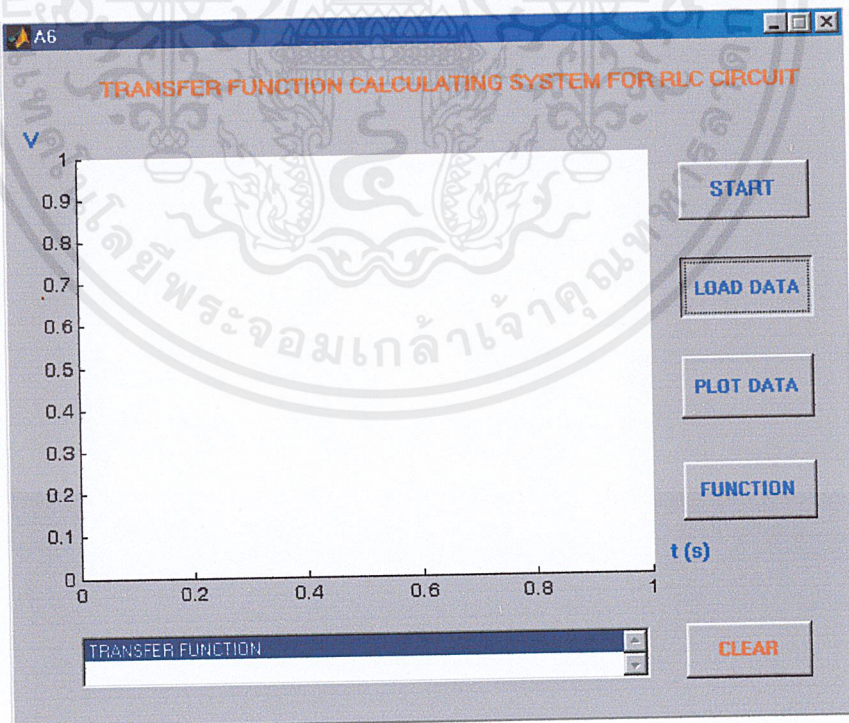


รูปที่ 4.5 แอลอีดีแสดงสถานะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



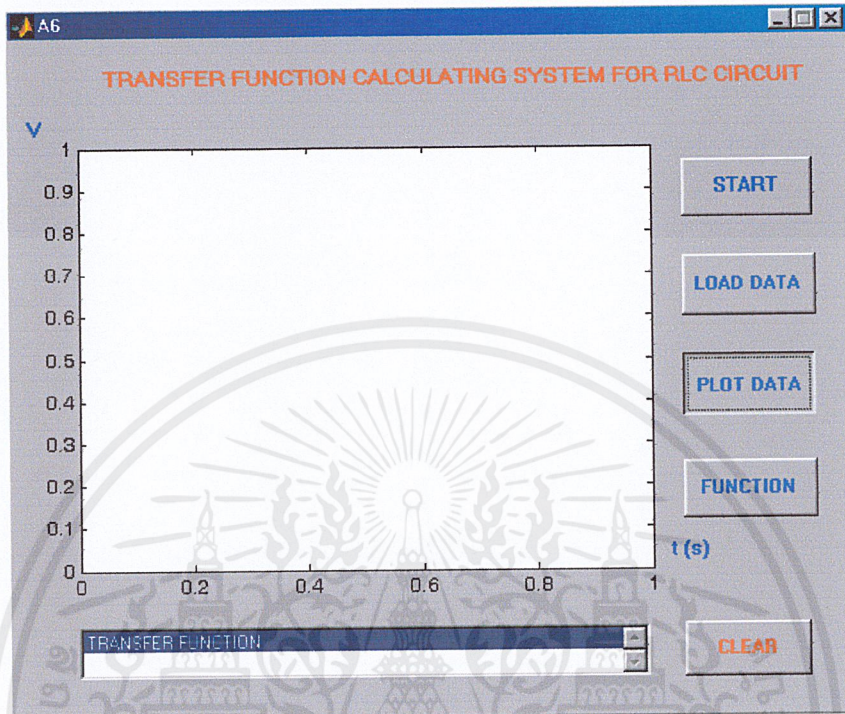
รูปที่ 4.6 กดปุ่ม START



รูปที่ 4.7 กดปุ่ม LOAD DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

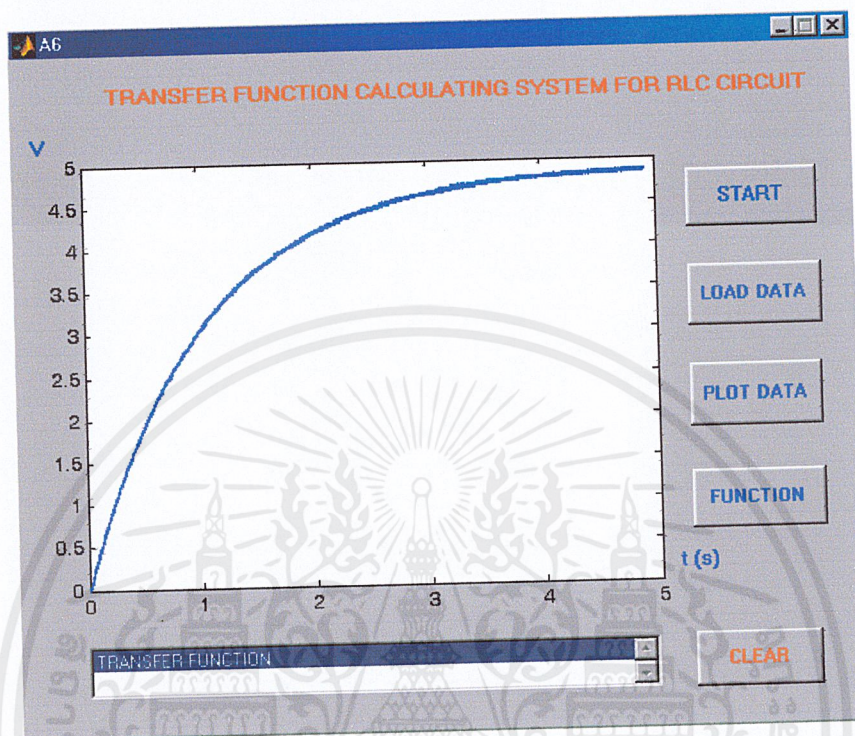
4. กดปุ่ม PLOT DATA เมื่อต้องการให้แสดงกราฟผลตอบสนองทางเวลาดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กดปุ่ม PLOT DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

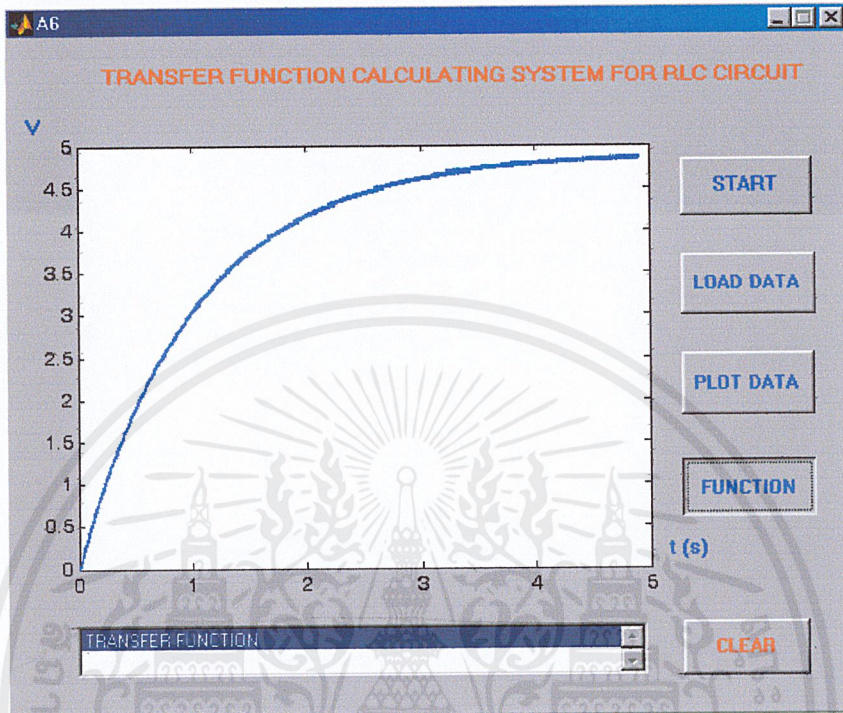
5. เมื่อกดปุ่ม PLOT DATA หน้าจอจะแสดงผลเป็นกราฟผลตอบสนองทางเวลาดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟผลตอบสนองทางเวลาของวงจรไฟฟ้า RLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

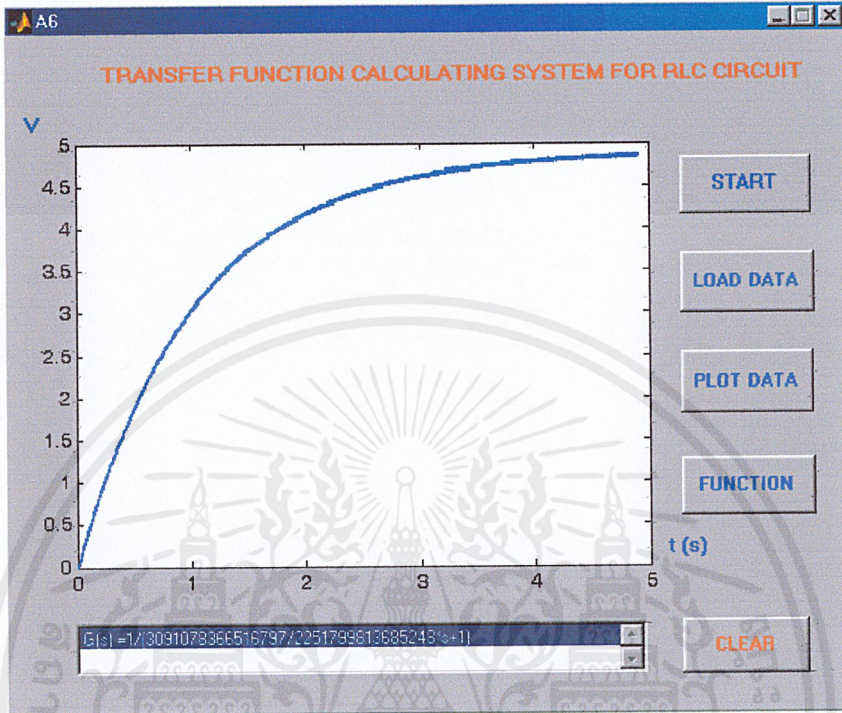
6. กดปุ่ม FUNCTION เมื่อต้องการทราบฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้าดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กดปุ่ม FUNCTION เพื่อหาสมการฟังก์ชันถ่ายโอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ระบบจะแสดงค่าสมการฟังก์ชันถ่ายโอนดังรูปที่ 4.11



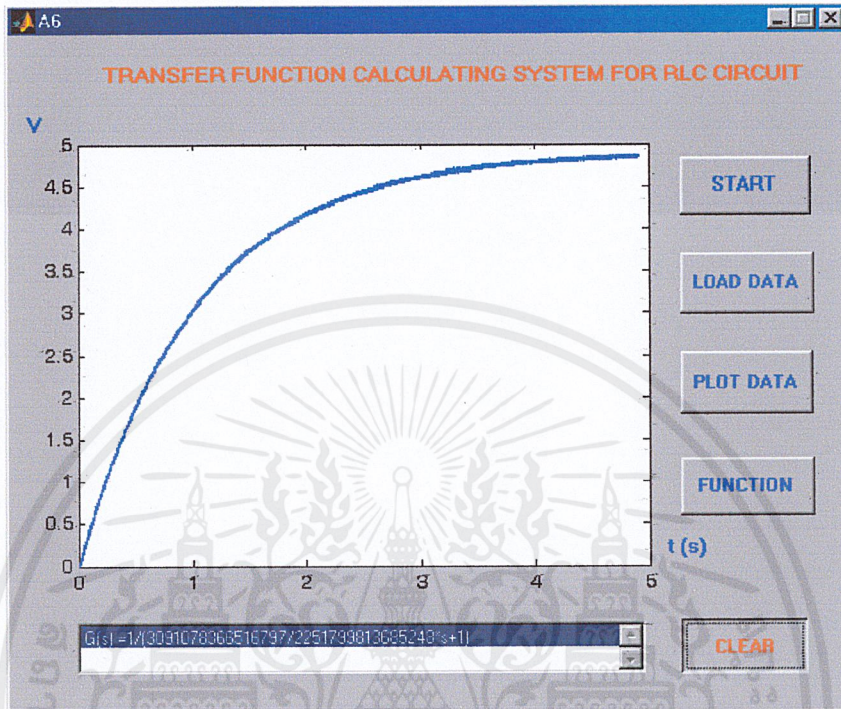
รูปที่ 4.11 สมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

จากรูปที่ 4.11 สมการฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC คือ

$$G(s) = 1/(3091078366516797/2251799813685248*s+1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

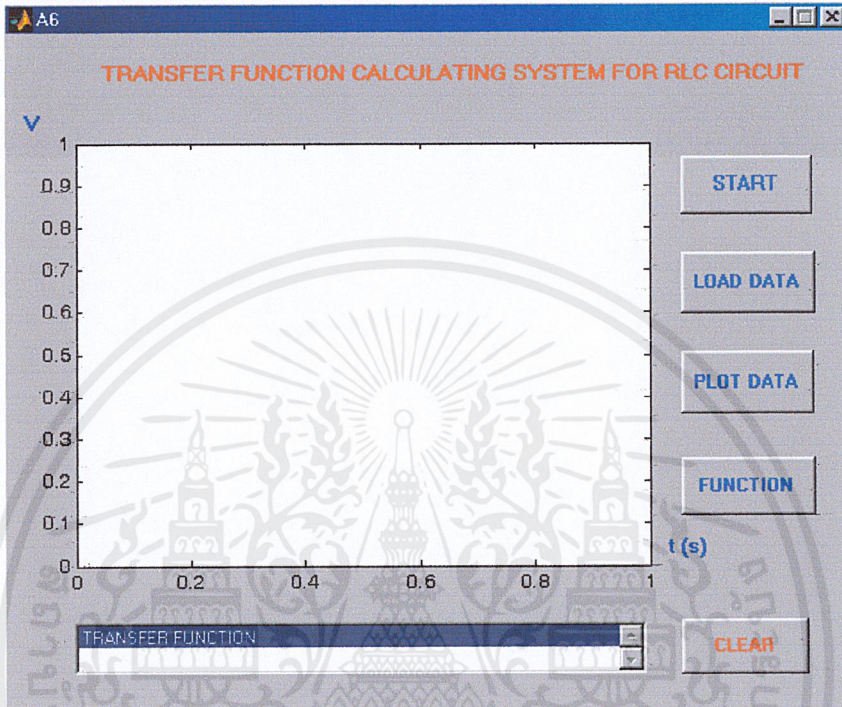
8. กดปุ่ม CLEAR เมื่อต้องการเริ่มการทำงานใหม่ทั้งหมดดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กดปุ่ม CLEAR เพื่อเริ่มการทำงานใหม่ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. หน้าจอของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC กลับสู่สถานะเริ่มต้นการทำงาน พร้อมทั้งจะรับข้อมูลใหม่ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ระบบพร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่

4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองจากระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC กับการคำนวณทางทฤษฎี

จากวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองซึ่งแสดงในรูปที่ 4.2 ทำการคำนวณหาฟังก์ชันถ่ายโอนทางทฤษฎีของวงจรไฟฟ้า RC จากสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{1}{RCs + 1} \quad (4.1)$$

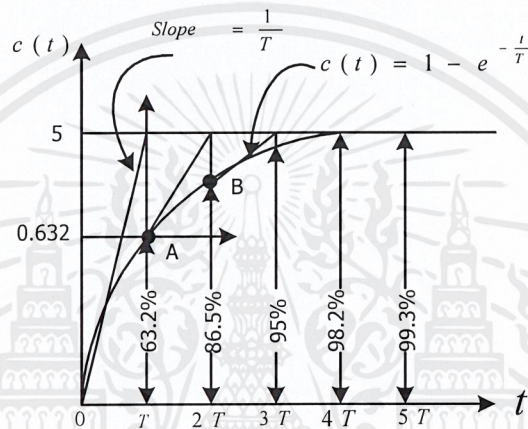
แทนค่า R และค่า C ลงในสมการที่ 4.1 จะได้เป็นสมการที่ 4.2

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{1}{(30k\Omega \times 47\mu F)s + 1} \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{1}{1.41s + 1} \quad (4.3)$$

จากสมการที่ 4.3 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจากระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC คือ $G(s) = 1/(3091078366516797/2251799813685248*s+1)=1/1.372*s+1$ จะเห็นได้ว่ามีความใกล้เคียงกันมีค่าความผิดพลาดเพียง 0.038 ซึ่งจากรูปผลตอบสนองต่ออินพุตที่เป็น Unit Step ดังแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนสถานะจากผลตอบสนองชั่วคราวไปเป็นผลตอบสนองที่สภาวะคงที่

จากรูปที่ 4.14 Unit step ที่ป้อนเข้ามาเป็น 5 โวลต์ เมื่อคุณลักษณะสำคัญของผลตอบสนองต่อเวลาที่เป็นเส้นโค้งในรูปของ Exponential Curve คือ เมื่อ $t = T$ ค่าของผลตอบสนองต่อเวลาจะมีค่าเท่ากับ 63.2 % ของค่าสุดท้ายที่สภาวะคงที่

แสดงว่าเมื่อ $t \geq 4T$ ผลตอบสนองต่อเวลาจะมีค่าอยู่ในช่วง 2 % ของค่าสุดท้าย และโดยทั่วไปแล้วจะถือว่า เมื่อผลตอบสนองต่อเวลาที่มีค่าเข้าสู่ช่วง 2 % ของค่าสุดท้าย จะเป็นการเข้าสู่สภาวะคงที่หรือเป็นการเปลี่ยนสถานะจากผลตอบสนองชั่วคราวไปเป็นผลตอบสนองที่สภาวะคงที่ที่แรงดันเป็น 5 โวลต์

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุป

ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และส่วนของโปรแกรมคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอน โดยการแสดงผลจะผ่านหน้าจอกอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB ทำการวาดกราฟผลตอบสนองทางเวลาของวงจรไฟฟ้า RLC และคำนวณหาฟังก์ชันถ่ายโอนออกมาโดยอัตโนมัติ ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC นี้จะช่วยให้ผู้ที่ต้องการทราบฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC ไม่ต้องคำนวณให้ยุ่งยาก เหมาะสำหรับนักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบโครงงานพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. **ปัญหา** ในการออกแบบวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ผู้จัดทำไม่มีความรู้เรื่องดังกล่าวเพียงพอ ทำให้เกิดความล่าช้าในการออกแบบและการสร้าง

แนวทางการแก้ไข ศึกษาจากหนังสือต่างๆ และขอคำแนะนำจากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในการออกแบบ

2. **ปัญหา** ไม่สามารถนำเอาต์พุตที่ออกจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ส่งไปยังคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง

แนวทางการแก้ปัญหา ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวเก็บข้อมูลแล้วส่งผ่านไปที่วงจรติดต่อกับพอร์ตอนุกรมเพื่อส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์

3. **ปัญหา** เอกสารเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนโดยใช้ MATLAB รุ่น 6.5 ยังไม่มี มีเพียงหนังสือที่เป็นของ MATLAB รุ่นเก่า

แนวทางการแก้ปัญหา ค้นหาหาข้อมูลเพิ่มเติมจากเว็บไซต์และสอบถามผู้เชี่ยวชาญ

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. ในส่วนของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลนี้มีการจำกัดค่าความถี่ของวงจรไฟฟ้าไว้จึงไม่สามารถใช้กับวงจรไฟฟ้าได้ทุกวงจร จึงควรมีการพัฒนาวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่สามารถใช้ได้กับวงจรไฟฟ้าได้ทุกวงจร
2. ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC หน้าต่างใช้งานบนวินโดว์ ยังเป็นการออกแบบการใช้งานขั้นพื้นฐาน ควรพัฒนาให้มีความสามารถในการคำนวณเพิ่มขึ้น



บรรณานุกรม

- ชัยวัฒน์ ลี้มพรจิตรวิไล. **ปฏิบัติการวงจรดิจิทัล**. กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์. 2545
- มนัส สังวรศิลป์ และวรรธน์ ภัทรอมรกุล. **คู่มือการใช้งาน MATLAB**. พิมพ์ครั้งที่ 2.
กรุงเทพฯ : อินโฟเพรส. 2543
- สมยศ จุณณะปิยะ. **การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51**. พิมพ์ครั้งที่ 3.
กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543

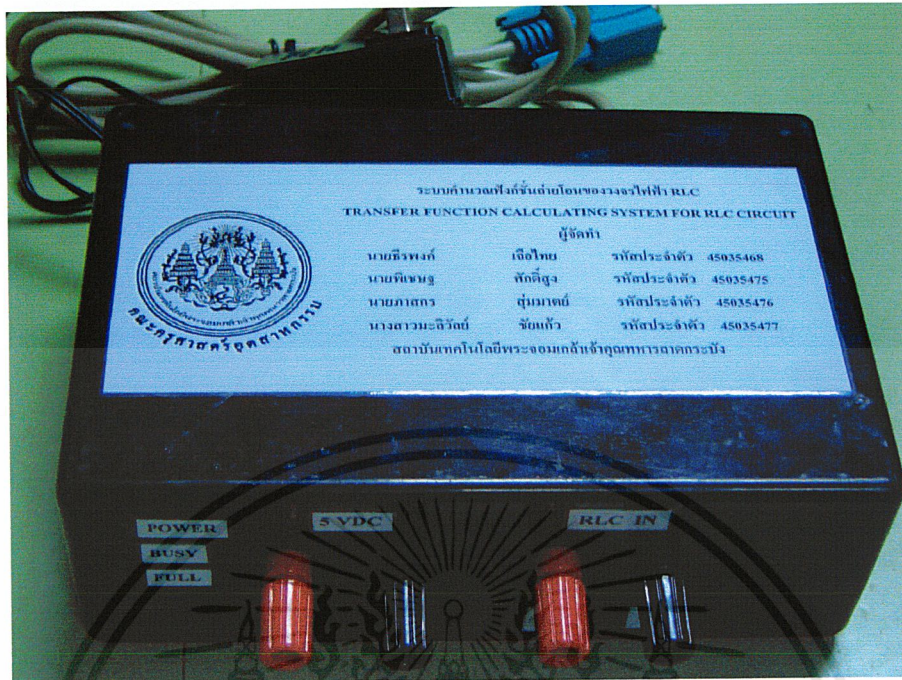


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

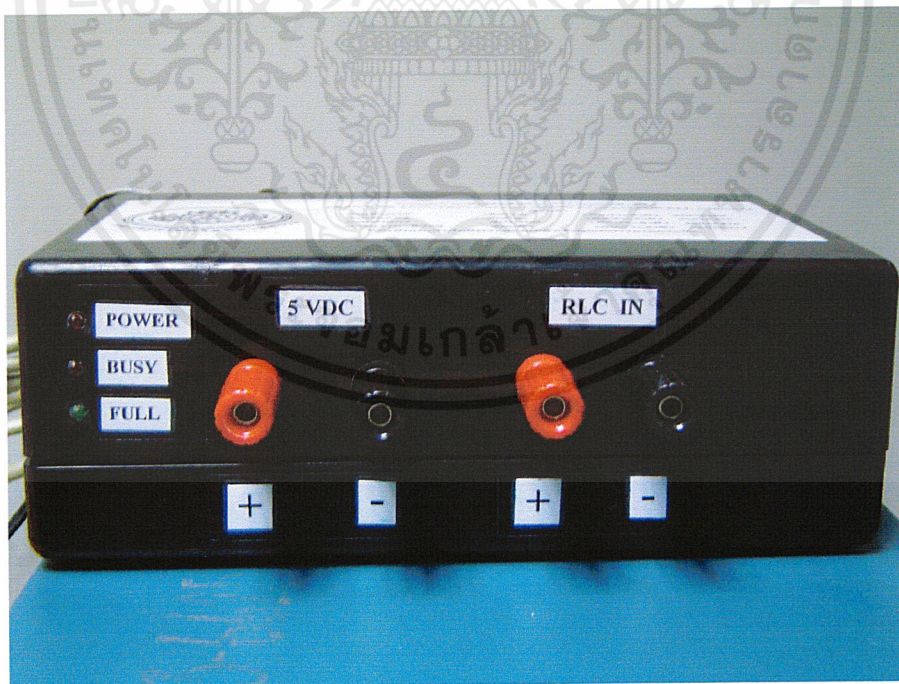


ภาคผนวก ก
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ภาพด้านบนของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

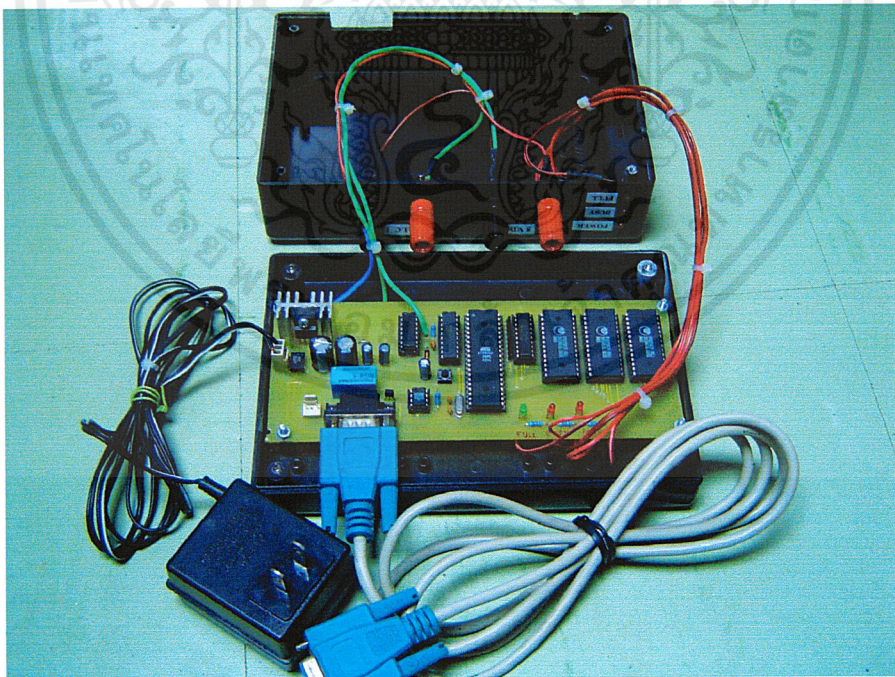


รูปที่ ก.2 ภาพด้านหน้าของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 ภาพด้านหลังของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC



รูปที่ ก.4 ภาพด้านในกล่องของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

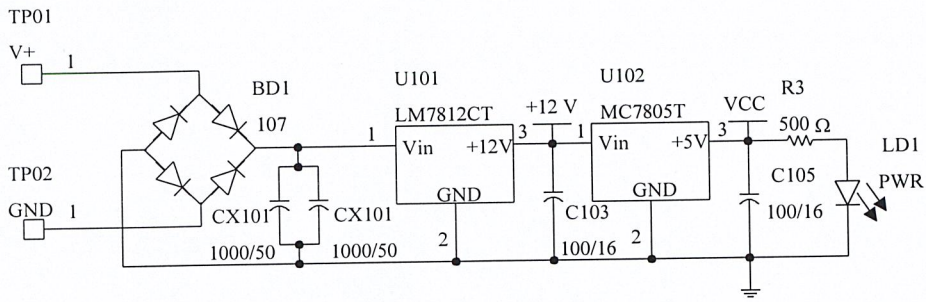
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



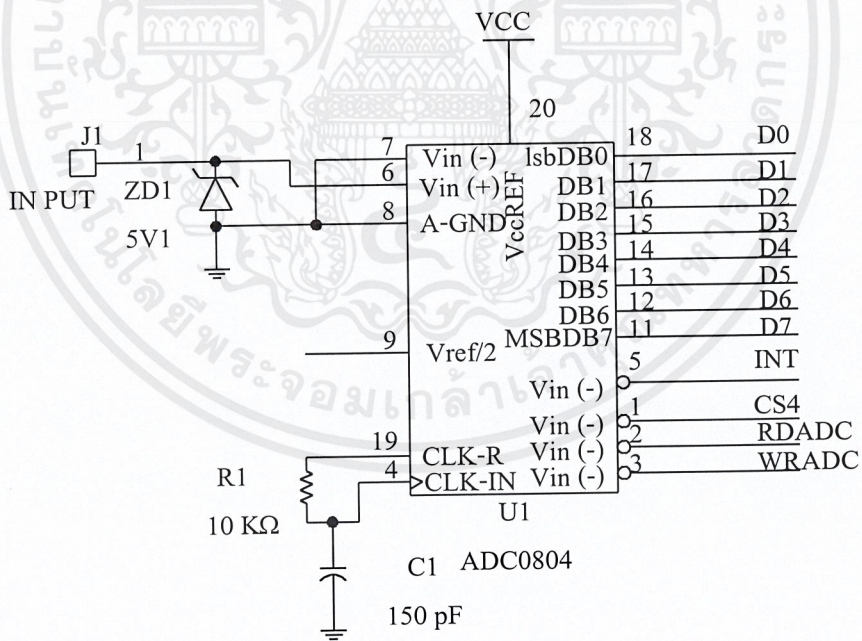
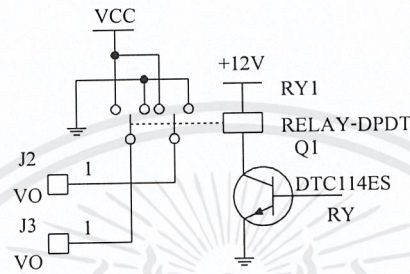
ภาคผนวก ข

วงจรและแผ่นวงจรมพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

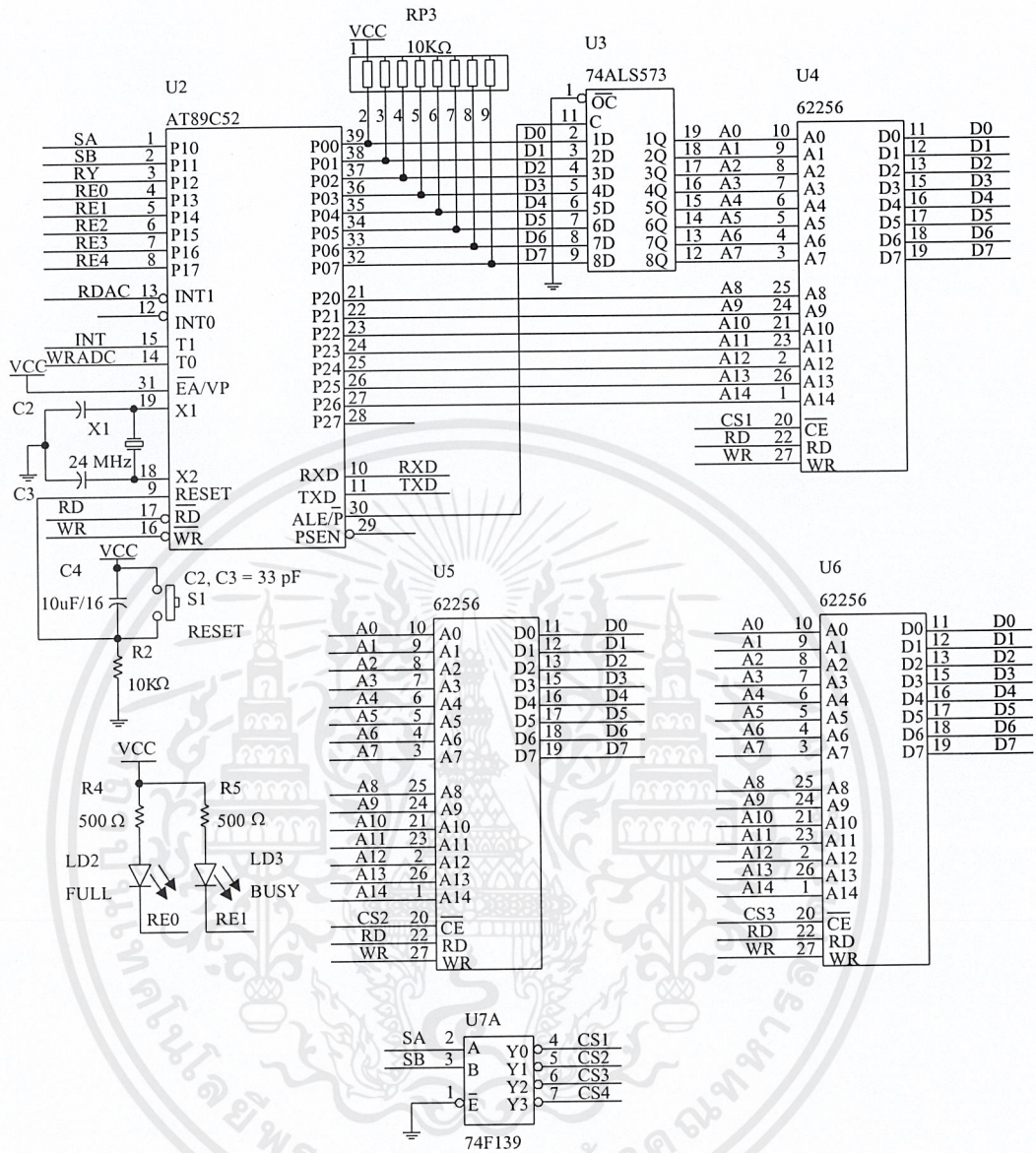


รูปที่ ข.1 วงจรภาคแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า



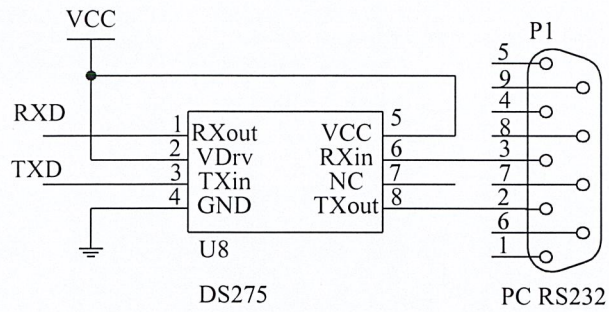
รูปที่ ข.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

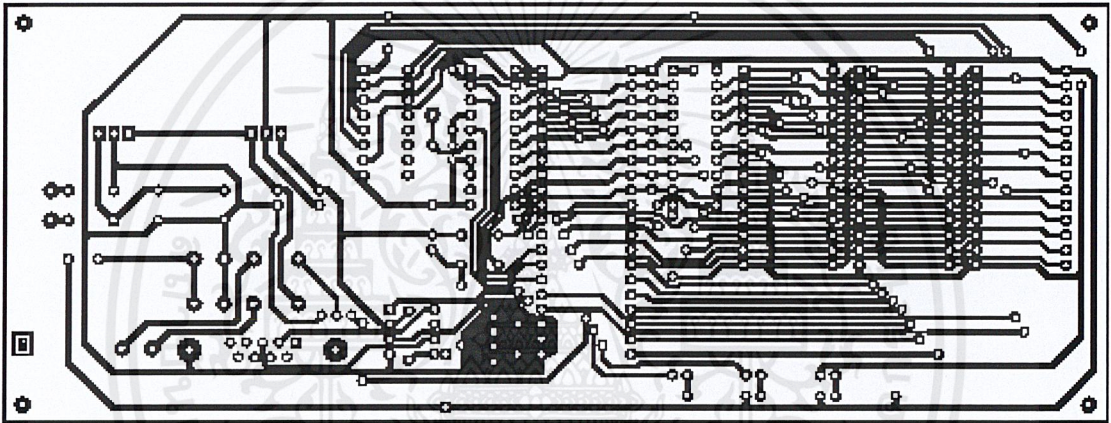


รูปที่ ข.3 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

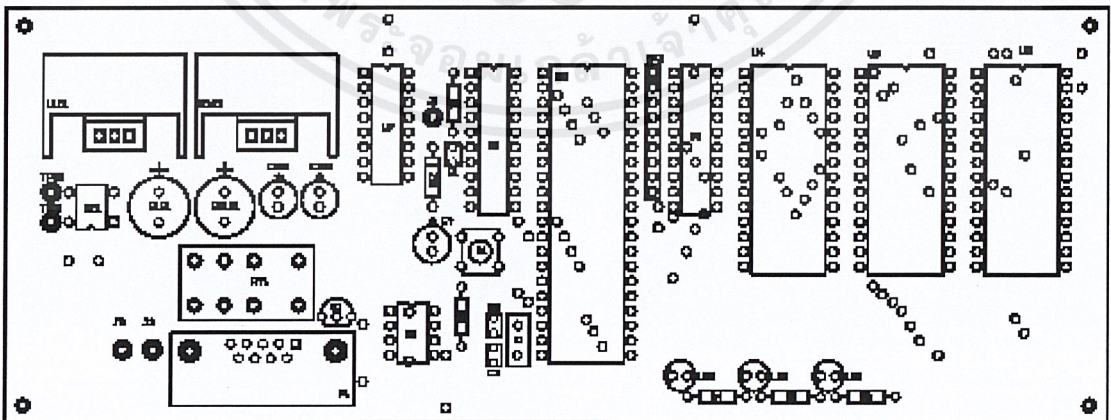
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 วงจรติดต่อกับพอร์ตอนุกรม



รูปที่ ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์รวมทุกวงจร



รูปที่ ข.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์รวมทุกวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้า

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
U101	LM7812CT	1 ตัว
U102	MC7805T	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
BD1	DB107	1 ตัว
Q1	DTC114ES	1 ตัว
LD1	LED สีแดง	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
CX101	1000 μ F 50 V	2 ตัว
C103, C105	100 μ F 16 V	2 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R3	500 Ω	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
J2, J3	IDE connector 3 pin	1 ตัว
TP01, TP02	IDE connector 3 pin	1 ตัว
RY1	RELAY-DPDT	1 ตัว

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
U1	ADC0804	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
ZD1	ซีเนอร์ไดโอด 5 V	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1	150 ρ F	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
ตัวความต้านทาน		
R1	10 k Ω	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
J1	IDE connector 2 pin	1 ตัว

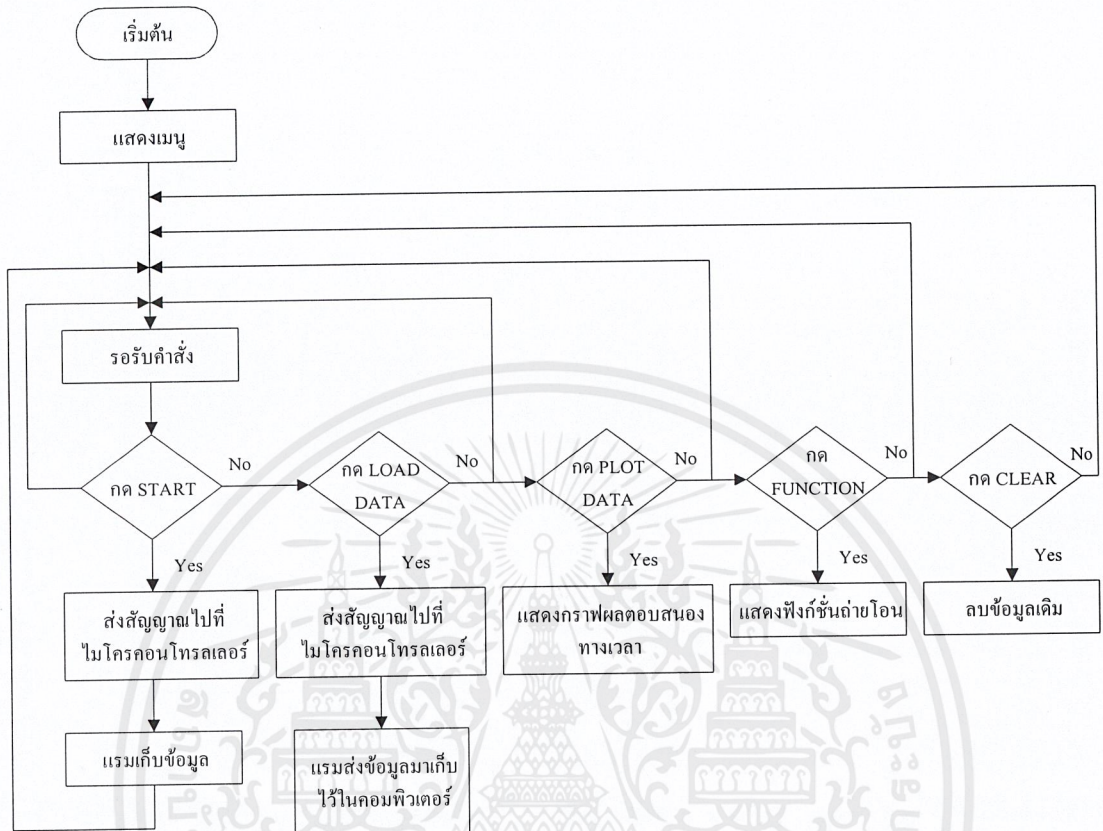
ตารางที่ ก.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
U2	AT89C52	1 ตัว
U3	74ALS573	1 ตัว
U4, U5, U6	แรม เบอร์ 62256	3 ตัว
U7A	74F139	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
X1	คริสตัล ความถี่ 24 MHz	1 ตัว
LD2	LED สีเขียว	1 ตัว
LD3	LED สีแดง	1 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C2, C3	33 ρ F	2 ตัว
C4	10 μ F 16 V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R2	10 k Ω	1 ตัว
R4, R5	500 Ω	1 ตัว
RP3 (PACK)	10 k Ω	1 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
S1	สวิตช์กดติดปล่อยดับ	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 แผนผังการทำงานของระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

```

                ORG      0000H
                LJMP     MAIN                ;reset vector

R6              EQU     06H
R7              EQU     07H

ADC_BUF        EQU     40H

VCC_RY         EQU     P1.2
ADC_WR         EQU     P3.4
ADC_RD         EQU     P3.3
ADC_INT        EQU     P3.5

LD_BU          EQU     P1.4
LD_FU          EQU     P1.3

MAIN:          ;
                MOV     SP,#256-32         ;define stack = 32 byte
                ;
                LCALL   INIT_SER
                MOV     A,#0F8H
                MOV     P1,A
                MOV     A,#0FFH
                MOV     P3,A
                CLR     VCC_RY

CLR_MEM:       LCALL   RAM_CLR
                SETB   LD_BU
                SETB   LD_FU

START_LOOP:    LCALL   RX_BYTE

                CJNE   A,#31H,NEXT_1
                LJMP   START_ACQ           ;//START ACQ

NEXT_1:        CJNE   A,#32H,NEXT_2
                LJMP   CLR_MEM            ;// CLEAR MEMORY

NEXT_2:        CJNE   A,#33H,START_LOOP
                CLR    LD_BU
                LJMP   SND_DATA          ;// SEND DATA VIA RS232 19200BPS.

                ;//////////////////////////////////////          START ACQ.
START_ACQ:     SETB   VCC_RY
                MOV    DPTR,#00H

ACQ_LOOP1:    LCALL   ADC_AQ
                MOV    A,DPL

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CJNE    A, #0FFH, ACQ_STORE
MOV     A, DPH
CJNE    A, #07FH, ACQ_STORE    ;///  PARK AT 1FFFH
CLR     EA
CLR     LD_FU
CLR     VCC_RY
LJMP    START_LOOP

ACQ_STORE:
CLR     P1.0
CLR     P1.1
MOVX    @DPTR, A
INC     DPTR
LJMP    ACQ_LOOP1

;//////////////////////////////////////          DATA ACQ TRACE IN
ADC_AQ:
SETB    P1.0
SETB    P1.1
NOP
NOP
CLR     ADC_WR
NOP
NOP
SETB    ADC_WR
MOV     A, #0FFH
MOV     P0, A
ADC_WAIT: CLR LD_BU
MOV     A, P3
JB     ACC.5, ADC_WAIT
CLR     ADC_RD
NOP
NOP
MOV     A, P0
MOV     ADC_BUF, A
SETB    ADC_RD
SETB    LD_BU
RET

;//////////////////////////////////////          SEND DATA TO PC
SND_DATA:
CLR     P1.4

CLR     P1.0
CLR     P1.1    ;///  MEMORY SELECT

MOV     DPTR, #00H

SER1:   MOV     A, #0H
MOVX    A, @DPTR
LCALL   TX_BYTE
MOV     A, #0AH
LCALL   TX_BYTE
MOV     A, #0DH
LCALL   TX_BYTE
MOV     A, DPL
CJNE    A, #0FFH, NEX_SER
MOV     A, DPH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TX2:          CJNE    A, #07FH, NEX_SER          ;///  PARK AT 1FFFH

              MOV     DPTR, #EDMS
              MOV     A, #0H

TX4:

              PUSH    ACC
              MOVC   A, @A+DPTR
              CJNE   A, #00H, SEND_MS
              POP     ACC
              SETB   LD_BU

              LJMP   START_LOOP

SEND_MS:

              LCALL  TX_BYTE
              POP     ACC
              INC     A
              LJMP   TX4

NEX_SER:

              INC     DPTR
              LJMP   SER1

;//////////////////////////////////////
INIT_SER:

              MOV     TMOD, #00100000B          ;timer1 mode2
              MOV     SCON, #01010000B          ;mode1 serial port
              MOV     TH1, #0FDH
              MOV     A, #80H
              MOV     PCON, A                    ;SMOD = 1
              CLR     ET1                        ;clear timer1 interrupt
              SETB   TR1                        ;start timer1
              CLR     ES
              CLR     EA

              RET

;//////////////////////////////////////
RAM_CLR:

              CLR     LD_BU
              CLR     P1.0
              CLR     P1.1
              MOV     DPTR, #00H

RAM_CLR1:

              MOV     A, #30H
              MOVX   @DPTR, A
              MOV     A, DPL
              CJNE   A, #0FFH, RAM_CLR2
              MOV     A, DPH
              CJNE   A, #07FH, RAM_CLR2
              SETB   LD_BU
              RET

RAM_CLR2:

              INC     DPTR
              LJMP   RAM_CLR1

;//////////////////////////////////////
TX_BYTE:

              PUSH   IE
              CLR    TI
              MOV    SBUF, A
              JNB   TI, $

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                CLR    TI
                POP    IE
                RET
;//////////////////////////////////////
RX_BYTE:      PUSH    IE
                JNB    RI,$           ; Wait data
                CLR    RI
                MOV    A,SBUF
                POP    IE
                RET
;//////////////////////////////////////
DELAY:        PUSH    R7
                PUSH    R6
DEL1:         MOV     R6,#0FFH
DEL2:         MOV     R7,#0FFH
                DJNZ   R7,$
                DJNZ   R6,DEL2
                POP    R6
                POP    R7
                RET
;//////////////////////////////////////
EDMS:         DB      0CH,'END OF DATA',0AH,0DH,00H
END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

```

function varargout = A6(varargin)
% A6 M-file for A6.fig
%   A6, by itself, creates a new A6 or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = A6 returns the handle to a new A6 or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   A6('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the
local
%   function named CALLBACK in A6.M with the given input
arguments.
%
%   A6('Property','Value',...) creates a new A6 or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property
value pairs are
%   applied to the GUI before A6_OpeningFunction gets called.
An
%   unrecognized property name or invalid value makes property
application
%   stop. All inputs are passed to A6_OpeningFcn via
varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI
allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help A6

% Last Modified by GUIDE v2.5 09-Apr-2004 12:29:40

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @A6_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @A6_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin & isstr(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% --- Executes just before A6 is made visible.
function A6_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to A6 (see VARARGIN)

% Choose default command line output for A6
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes A6 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);
clc
instrreset
s1 = serial('COM1', 'baud', 19200, 'Timeout', 20);
set(s1, 'InputBufferSize', 100000)
fopen(s1)
fprintf(s1, '2')
fclose(s1)
save MySerial s1

% --- Outputs from this function are returned to the command
line.
function varargout = A6_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see
VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in START.
function START_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to START (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
clc
load MySerial s1
fopen(s1)
fprintf(s1, '1')
fclose(s1)
save MySerial s1

% --- Executes on button press in LOAD.
function LOAD_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to LOAD (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

clc
load MySerial s1
fopen(s1)
number_of_data = 32767;
fprintf(s1,'3')
show_data = fread(s1,[number_of_data 1],'uchar') %receive data
fclose(s1)
save MySerial s1
data = show_data*0.0195;
wklwrite('C:\Measure_value.xls',data)
save('data')
save('number_of_data')

% --- Executes on button press in PLOT.
function PLOT_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to PLOT (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
clc
load data
load number_of_data
[row,n] = size(data);
k=1;
for i=0:1:row-1
    t(k,1) = i*150e-6;
    k = k+1;
end
plot(t,data)
ftype = fittype('a-exp(-x/b)');
fresult = fit(t,data,ftype)
ci = confint(fresult,0.95)
p1 = ci(:,1);
a = mean(p1);
p2 = ci(:,2);
tua = mean(p2)
H = sym('H');
s = sym('s');
H = 1/(tua*s+1)
save ('H')

% --- Executes on button press in FUNCTION.
function FUNCTION_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to FUNCTION (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
load H
co = char(H);
set(handles.listbox3,'string',{'G(s) =',co})

% --- Executes on button press in CLEAR.
function CLEAR_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to CLEAR (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clc
cla
load MySerial s1
fopen(s1)
fprintf(s1,'2')
fclose(s1)
save MySerial s1
co = 0;
set(handles.listbox3,'string',['TRANSFER FUNCTION',co])

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function listbox3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to listbox3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: listbox controls usually have a white background on
Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundCo
lor'));
end

% --- Executes on selection change in listbox3.
function listbox3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to listbox3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: contents = get(hObject,'String') returns listbox3
contents as cell array
%     contents{get(hObject,'Value')} returns selected item
from listbox3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ
คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน ระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

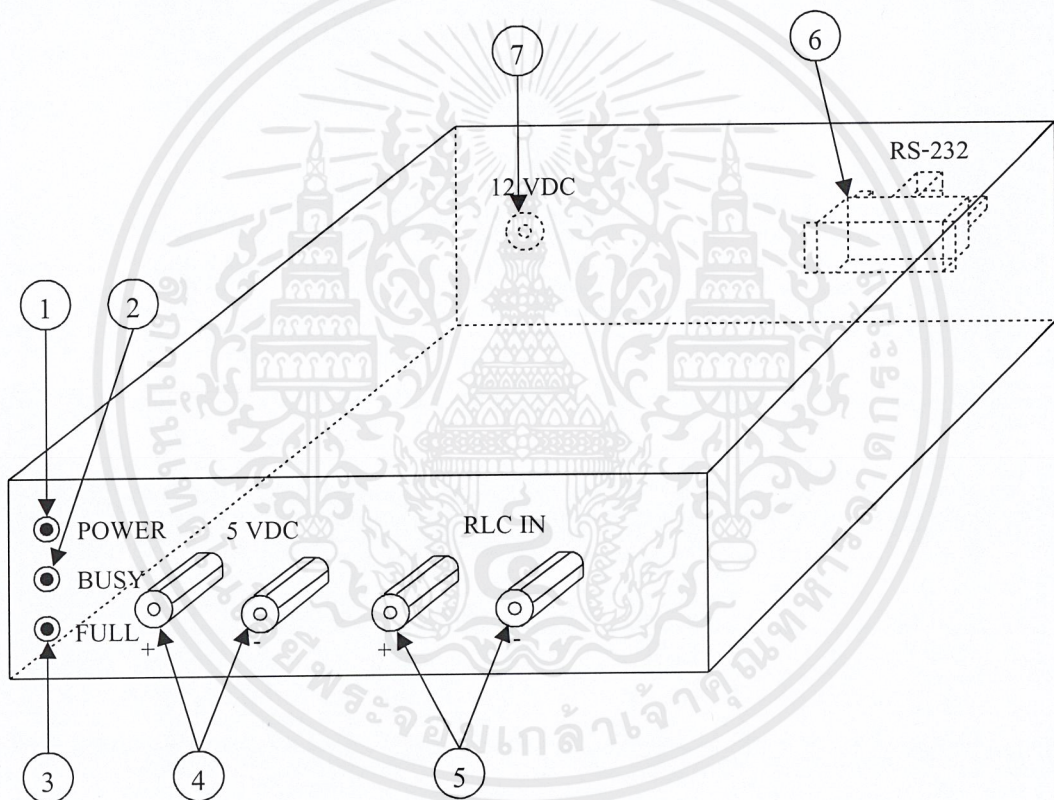
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะลงมือใช้งานระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC ควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจเพื่อการใช้งานระบบอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นการป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม

2.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของฮาร์ดแวร์



รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของฮาร์ดแวร์

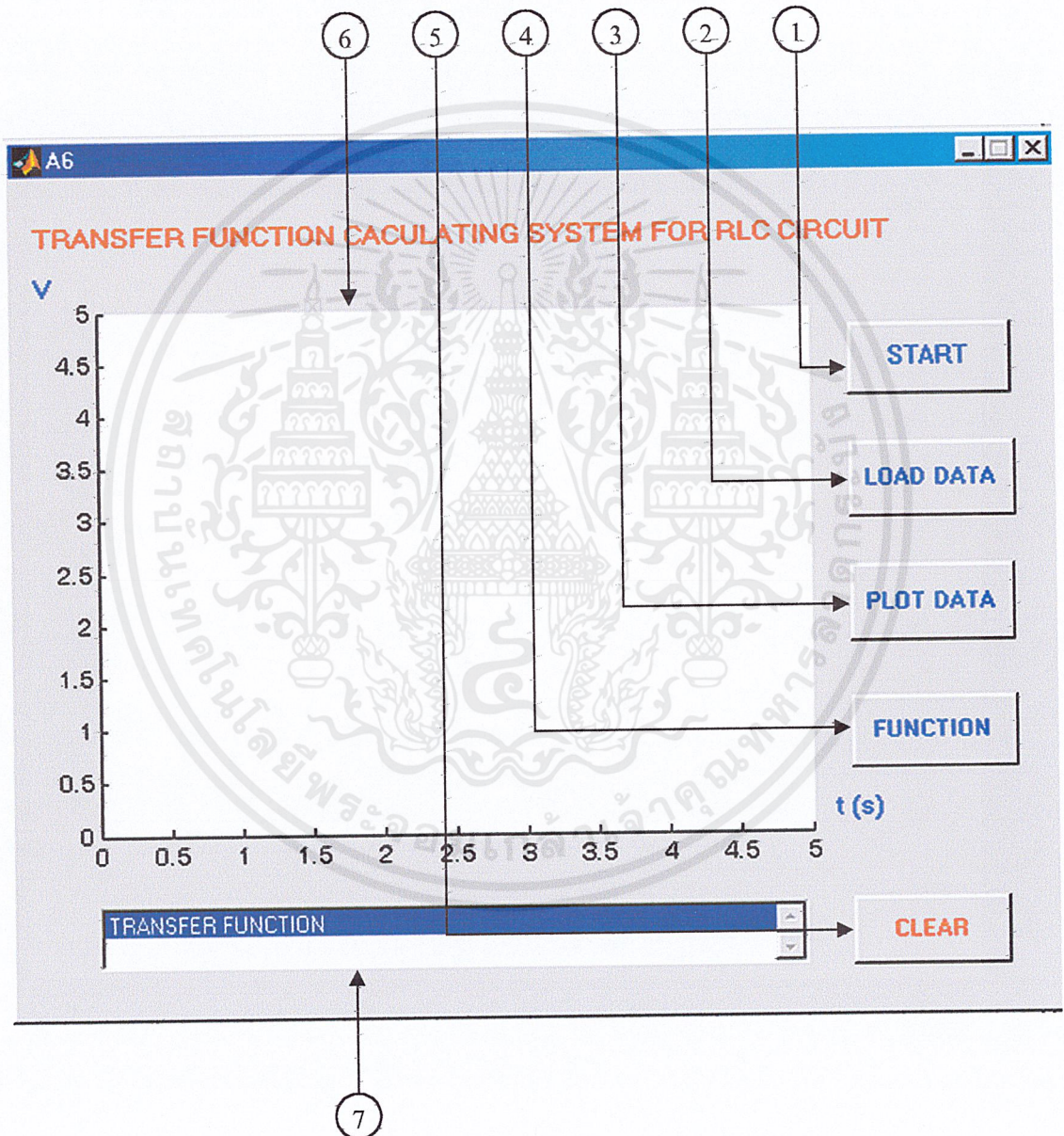
จากรูปที่ จ.1 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. หลอดแอลอีดีแสดงสถานะการทำงานของฮาร์ดแวร์
2. หลอดแอลอีดีแสดงสถานะขณะเก็บข้อมูล
3. หลอดแอลอีดีแสดงสถานะขณะเก็บข้อมูลเสร็จแล้ว
4. ขั้วต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ขั้วต่อรับสัญญาณจากวงจรไฟฟ้า RLC
6. สายสัญญาณ RS-232 เชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรม
7. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์

2.2 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของซอฟต์แวร์



รูปที่ ๑.๒ ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของซอฟต์แวร์

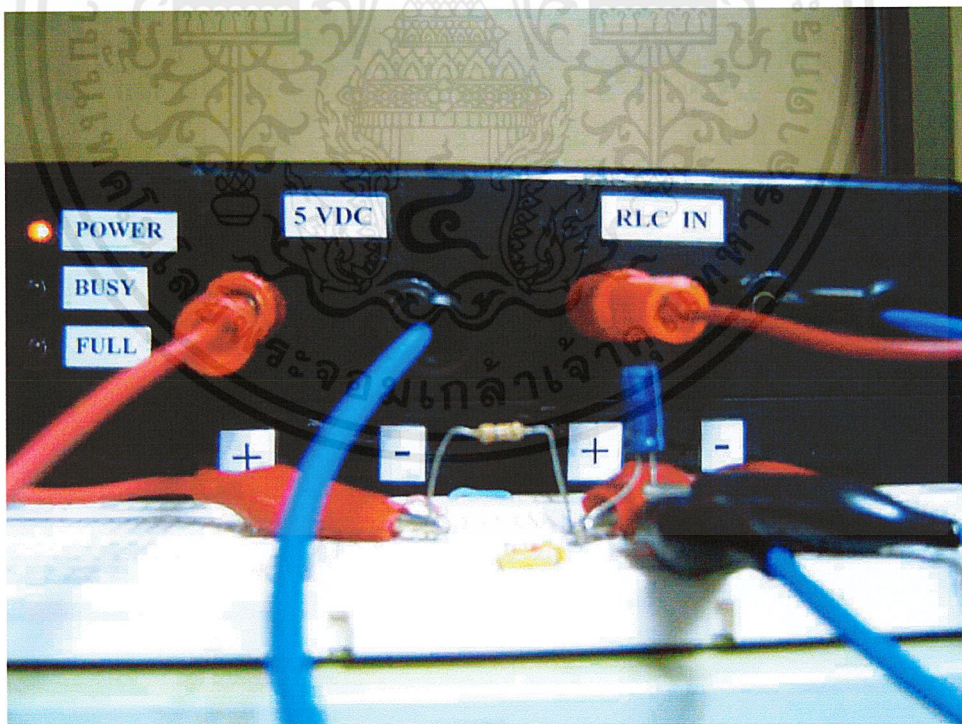
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ จ.2 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. ปุ่ม START ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ สั่งให้เริ่มเก็บข้อมูลที่เก็บไว้ไปที่คอมพิวเตอร์
2. ปุ่ม LOAD DATA ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ สั่งให้เริ่มส่งข้อมูลที่เก็บไว้ไปที่คอมพิวเตอร์
3. ปุ่ม PLOT DATA ทำหน้าที่แสดงกราฟผลตอบสนองทางเวลา
4. ปุ่ม FUNCTION ทำหน้าที่แสดงฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC
5. ปุ่ม CLEAR ทำหน้าที่ลบข้อมูลเดิมทิ้ง เพื่อรอรับข้อมูลใหม่
6. พื้นที่แสดงกราฟผลตอบสนองทางเวลา
7. พื้นที่แสดงฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

3. การติดตั้งและใช้งาน

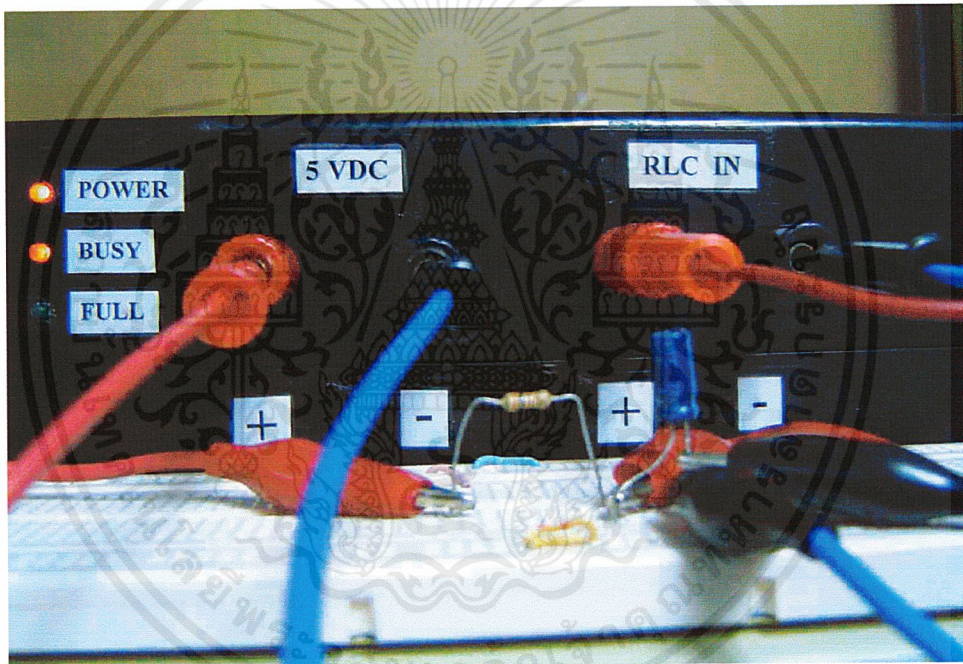
- 3.1 ต่อกับหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ หลอดแอลอีดี สีแดง (POWER) ติดแสดงสภาวะการทำงานของฮาร์ดแวร์ดังรูปที่ จ.3



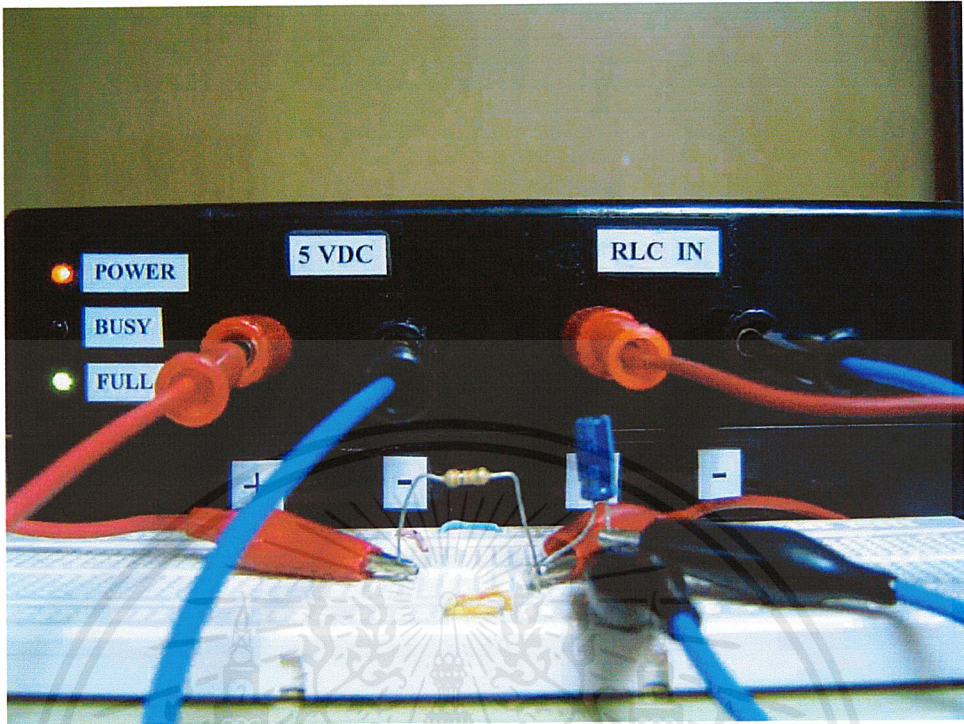
รูปที่ จ.3 หลอดแอลอีดีสีแดงแสดงสภาวะการทำงานของฮาร์ดแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.2 นำสายสัญญาณจาก RS-232 ต่อเข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์
- 3.3 ต่อขั้วต่อไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ให้กับวงจรไฟฟ้า RLC ดังรูปที่ จ.3
- 3.4 นำสายสัญญาณเอาต์พุตของวงจรไฟฟ้า RLC ต่อเข้ากับขั้วต่อ RLC อินพุตดังรูปที่ จ.3
- 3.5 เปิดระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC ในโปรแกรม MATLAB เลือกชื่อไฟล์ A6.fig
- 3.6 กดปุ่ม START ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ สั่งให้แรมเก็บข้อมูลดูที่แอลอีดีสีแดง (BUSY) แสดงสถานะว่าแรมกำลังเก็บข้อมูลอยู่ดังรูปที่ จ.4 และจะดับเมื่อแรมเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว โดยที่แอลอีดีสีเขียว (FULL) จะติดแทนดังรูปที่ จ.5

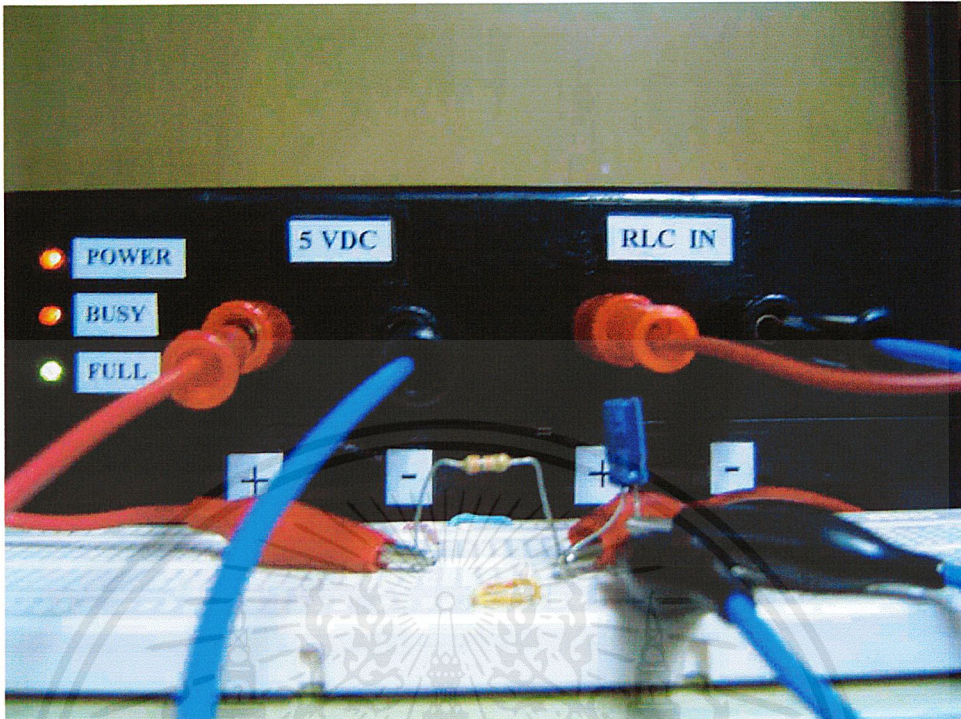


รูปที่ จ.4 แอลอีดีสีแดงติดแสดงสถานะว่าแรมกำลังเก็บข้อมูลอยู่

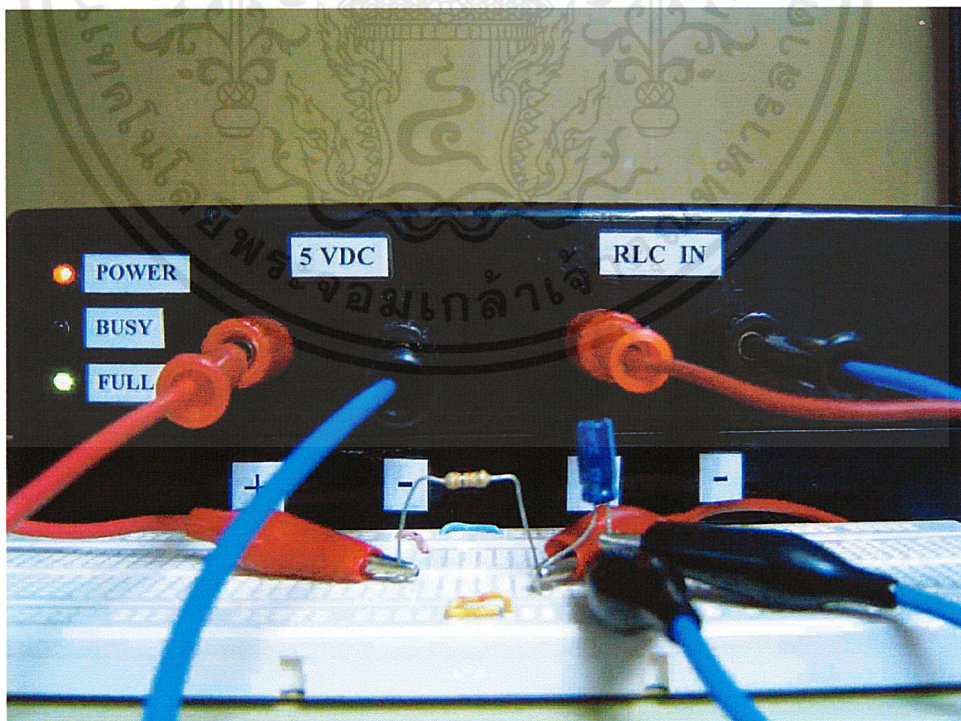


รูปที่ ๓.๕ แอลอีดีสีเขียวติดแสดงสถานะว่าเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

3.7 กดปุ่ม LOAD DATA ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ สั่งให้แรมส่งข้อมูลที่เก็บไว้ไปที่คอมพิวเตอร์คู่ที่แอลอีดีสีแดง (BUSY) และสีเขียว (FULL) จะติดพร้อมกันดังรูปที่ ๓.๖ เมื่อส่งไปเรียบร้อยแล้วแอลอีดีสีแดง (BUSY) จะดับแต่แอลอีดีสีเขียว (FULL) ยังติดอยู่ดังรูปที่ ๓.๗



รูปที่ ๖.๖ แอลอีดีแสดงสถานะขณะกำลังส่งข้อมูลไปที่คอมพิวเตอร์



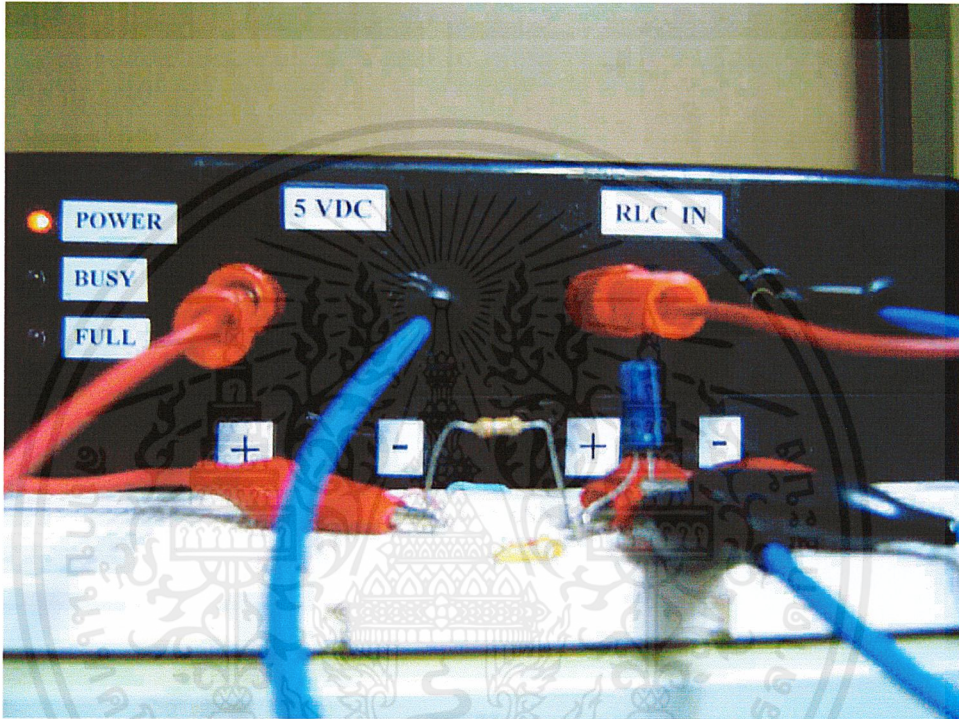
รูปที่ ๖.๗ หลอดแอลอีดีแสดงสถานะว่าส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 กดปุ่ม PLOT DATA ทำหน้าที่แสดงกราฟผลตอบสนองทางเวลา

3.9 กดปุ่ม FUNCTION ทำหน้าที่แสดงฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC

3.10 กดปุ่ม CLEAR ทำหน้าที่ลบข้อมูลเดิมทิ้งเพื่อรอรับข้อมูลใหม่ สังเกตที่แอลอีดีสีเขียว (FULL) จะดับดังรูปที่ จ.8



รูปที่ จ.8 แอลอีดีดับหมดแสดงสถานะว่าข้อมูลถูกลบทิ้งแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้งานระบบคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า RLC สามารถตรวจสอบแนวทางแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้จากตารางข้างล่างนี้

อาการ	สาเหตุและ/หรือวิธีแก้ไข
ไม่มีสัญญาณเข้ามาที่คอมพิวเตอร์	ตรวจสอบขั้วต่อ RS-232 ต่ออยู่กับ COM1 หรือ COM2 พร้อมกับตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์
ระบบไม่สามารถแสดงกราฟผลตอบสนองทางเวลาได้	ปิดระบบและตรวจสอบฮาร์ดแวร์อีกครั้งแล้วจึงเปิดระบบใช้งานอีกครั้ง

5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

5.1 การดูแลรักษา

- ถอดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ออกทุกครั้งหลังเลิกใช้งาน
- เก็บอุปกรณ์ให้เรียบร้อยเสมอ
- เช็ดทำความสะอาดตัวเครื่องด้วยผ้านุ่ม อย่าใช้สารใดๆ ที่เป็นตัวทำละลายเพราะอาจจะทำให้ตัวเครื่องเป็นรอยเสียหายได้

5.2 ข้อควรระวัง

- อย่าต่อวงจรไฟฟ้า RLC ที่ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเกิน 5 โวลต์ เพราะอาจทำให้วงจรภายในเสียหายได้
- ปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานอย่างถูกต้องเพื่อประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ

6. ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
หลักการแสดงกราฟผลตอบสนองทางเวลาและฟังก์ชันถ่ายโอน	ใช้โปรแกรม MATLAB เขียน เพื่อแสดงกราฟผลตอบสนองทางเวลาและฟังก์ชันถ่ายโอนทางหน้าจอคอมพิวเตอร์
การแสดงผลสถานะการทำงาน	ใช้แอลอีดีเป็นตัวแสดงผล
การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	ใช้มาตรฐานการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232
แหล่งจ่ายพลังงาน	ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50-60 เฮิร์ตซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

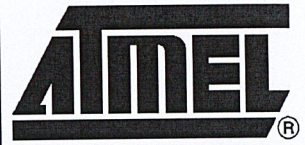
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
- Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 256 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Eight Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes

Description

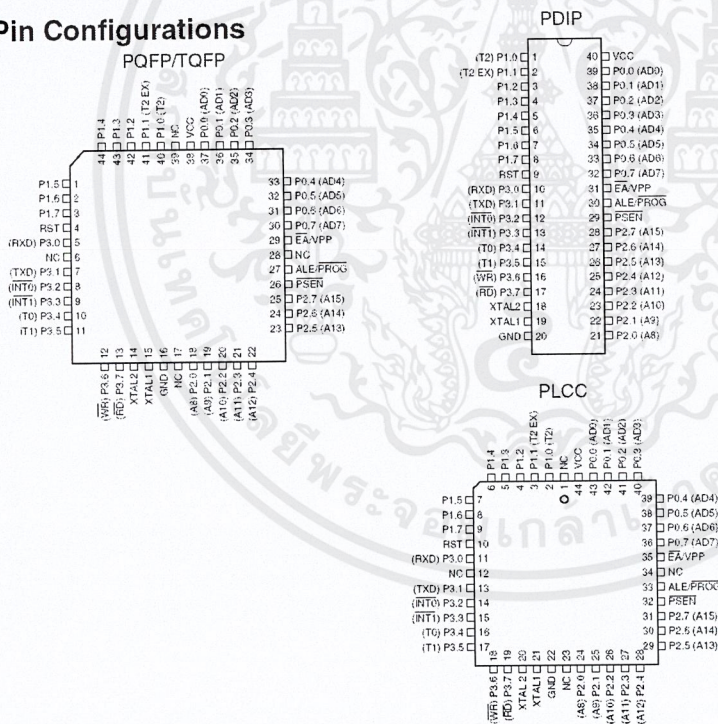
The AT89C52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard 80C51 and 80C52 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C52 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.



**8-bit
Microcontroller
with 8K Bytes
Flash**

AT89C52

Pin Configurations

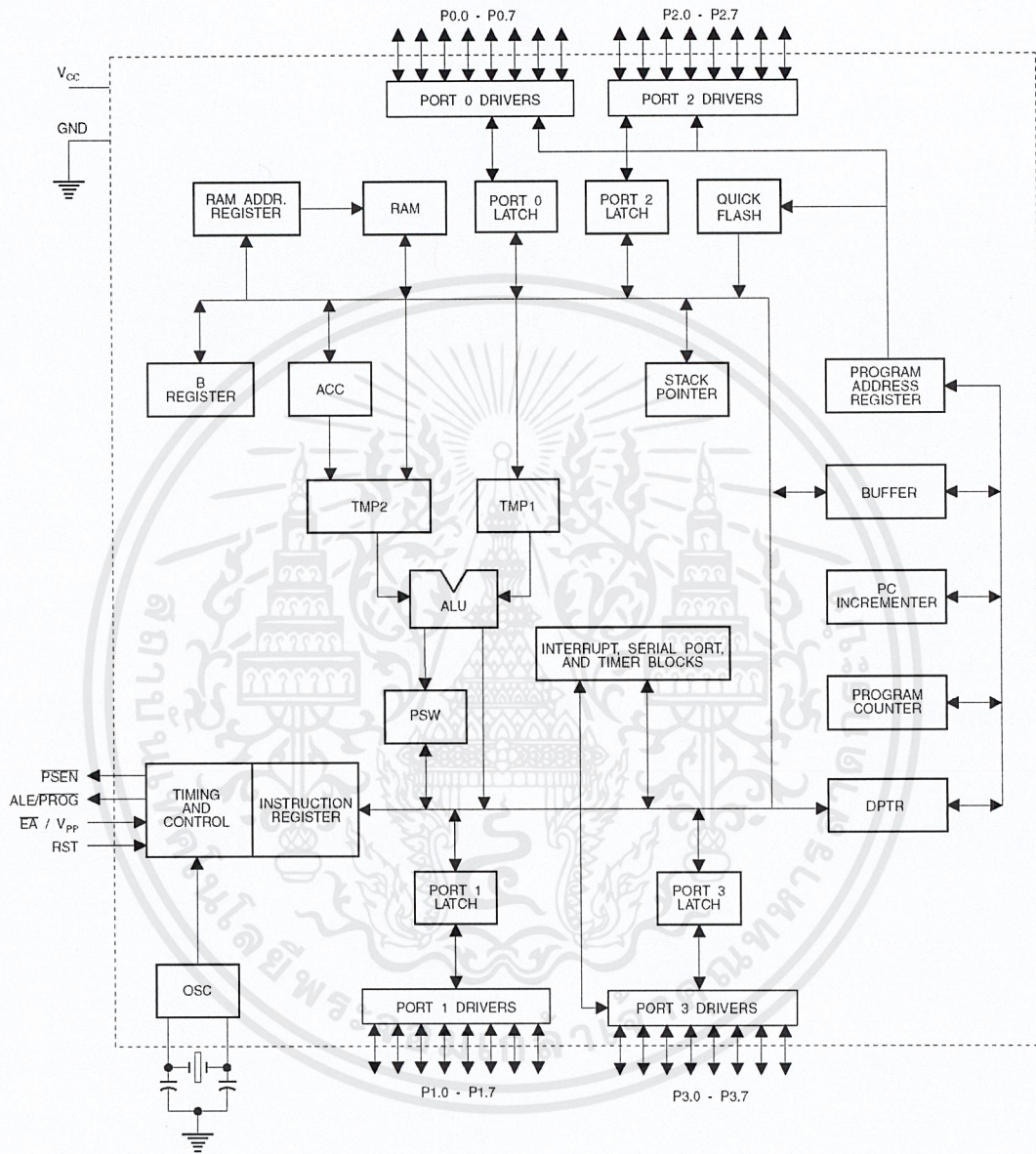


Rev. 0313H-02/00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AT89C52 provides the following standard features: 8K bytes of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full-duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89C52 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 0

Port 0 is an 8-bit open drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

In addition, P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively, as shown in the following table.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)

Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51, as shown in the following table.

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{INT0}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{INT1}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	\overline{WR} (external data memory write strobe)
P3.7	\overline{RD} (external data memory read strobe)

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/PROG

Address Latch Enable is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external





timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOV \overline{C} instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

\overline{PSEN}

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89C52 is executing code from external program memory, \overline{PSEN} is activated twice each machine cycle, except that two \overline{PSEN} activations are skipped during each access to external data memory.

\overline{EA}/VPP

External Access Enable. \overline{EA} must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, \overline{EA} will be internally latched on reset.

\overline{EA} should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming when 12-volt programming is selected.

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2

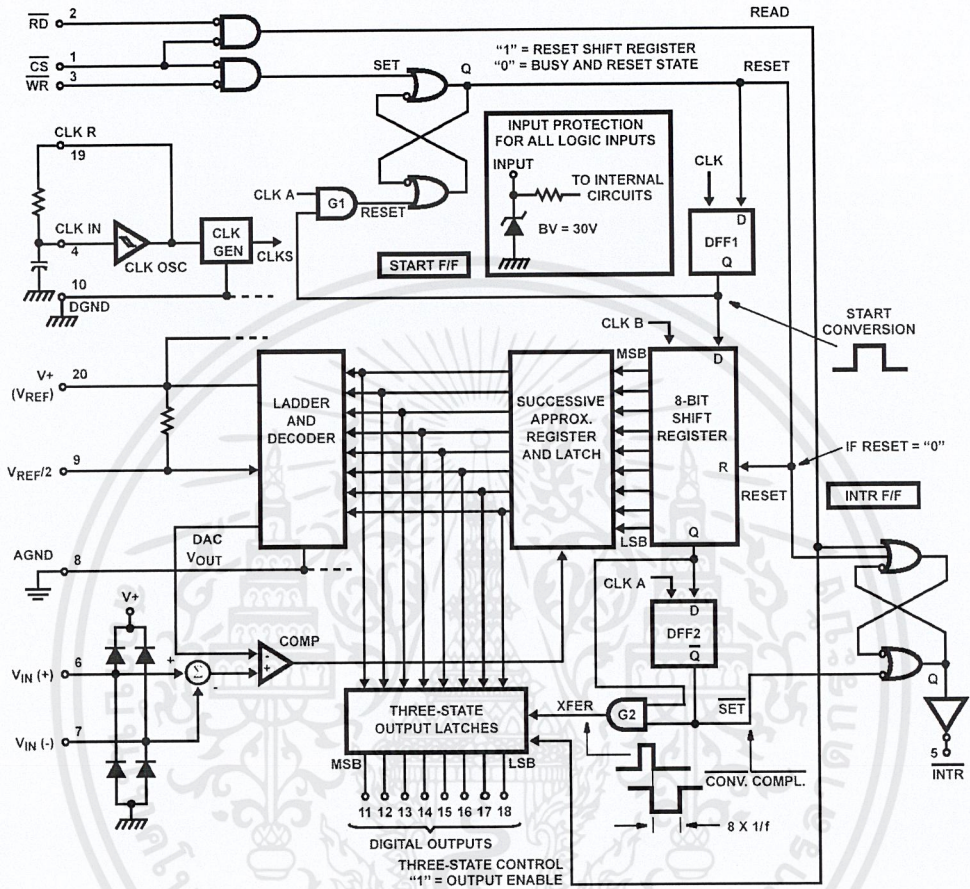
Output from the inverting oscillator amplifier.

Table 1. AT89C52 SFR Map and Reset Values

0F8H									0FFH
0F0H	B 00000000								0F7H
0E8H									0EFH
0E0H	ACC 00000000								0E7H
0D8H									0DFH
0D0H	PSW 00000000								0D7H
0C8H	T2CON 00000000	T2MOD XXXXXX00	RCAP2L 00000000	RCAP2H 00000000	TL2 00000000	TH2 00000000			0CFH
0C0H									0C7H
0B8H	IP XX000000								0BFH
0B0H	P3 11111111								0B7H
0A8H	IE 0X000000								0AFH
0A0H	P2 11111111								0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX							9FH
90H	P1 11111111								97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000			8FH
80H	P0 11111111	SP 00000111	DPL 00000000	DPH 00000000				PCON 0XXX0000	87H

ADC0803, ADC0804

Functional Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0803, ADC0804

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage 6.5V
 Voltage at Any Input -0.3V to (V⁺ + 0.3V)

Operating Conditions

Temperature Range 0°C to 70°C

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1) θ_{JA} (°C/W)
 PDIP Package 80
 Maximum Junction Temperature
 Plastic Package 150°C
 Maximum Storage Temperature Range -65°C to 150°C
 Maximum Lead Temperature (Soldering, 10s) 300°C

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

1. θ_{JA} is measured with the component mounted on a low effective thermal conductivity test board in free air. See Tech Brief TB379 for details.

Electrical Specifications (Notes 2, 8)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CONVERTER SPECIFICATIONS V ⁺ = 5V, T _A = 25°C and f _{CLK} = 640kHz, Unless Otherwise Specified					
Total Unadjusted Error					
ADC0803	V _{REF/2} Adjusted for Correct Full Scale Reading	-	-	±1/2	LSB
ADC0804	V _{REF/2} = 2.500V	-	-	±1	LSB
V _{REF/2} Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3	-	kΩ
Analog Input Voltage Range	(Note 3)	GND-0.05	-	(V ⁺) + 0.05	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range	-	±1/16	±1/8	LSB
Power Supply Sensitivity	V ⁺ = 5V ±10% Over Allowed Input Voltage Range	-	±1/16	±1/8	LSB
CONVERTER SPECIFICATIONS V ⁺ = 5V, 0°C to 70°C and f _{CLK} = 640kHz, Unless Otherwise Specified					
Total Unadjusted Error					
ADC0803	V _{REF/2} Adjusted for Correct Full Scale Reading	-	-	±1/2	LSB
ADC0804	V _{REF/2} = 2.500V	-	-	±1	LSB
V _{REF/2} Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3	-	kΩ
Analog Input Voltage Range	(Note 3)	GND-0.05	-	(V ⁺) + 0.05	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range	-	±1/8	±1/4	LSB
Power Supply Sensitivity	V ⁺ = 5V ±10% Over Allowed Input Voltage Range	-	±1/16	±1/8	LSB
AC TIMING SPECIFICATIONS V ⁺ = 5V, and T _A = 25°C, Unless Otherwise Specified					
Clock Frequency, f _{CLK}	V ⁺ = 6V (Note 4)	100	640	1280	kHz
	V ⁺ = 5V	100	640	800	kHz
Clock Periods per Conversion (Note 5), t _{CONV}		62	-	73	Clocks/Conv
Conversion Rate in Free-Running Mode, CR	INTR tied to WR with CS = 0V, f _{CLK} = 640kHz	-	-	8888	Conv/s
Width of WR Input (Start Pulse Width), t _{W(WR)}	CS = 0V (Note 6)	100	-	-	ns
Access Time (Delay from Falling Edge of RD to Output Data Valid), t _{ACC}	C _L = 100pF (Use Bus Driver IC for Larger C _L)	-	135	200	ns
Three-State Control (Delay from Rising Edge of RD to HI-Z State), t _{1H} , t _{0H}	C _L = 10pF, R _L = 10K (See Three-State Test Circuits)	-	125	250	ns
Delay from Falling Edge of WR to Reset of INTR, t _{WI} , t _{RI}		-	300	450	ns
Input Capacitance of Logic Control Inputs, C _{IN}		-	5	-	pF
Three-State Output Capacitance (Data Buffers), C _{OUT}		-	5	-	pF

ADC0803, ADC0804

Electrical Specifications (Notes 2, 8) (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
DC DIGITAL LEVELS AND DC SPECIFICATIONS $V_+ = 5V$, and T_{MIN} to T_{MAX} . Unless Otherwise Specified					
CONTROL INPUTS (Note 7)					
Logic "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN), V_{INH}	$V_+ = 5.25V$	2.0	-	V_+	V
Logic "0" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN), V_{INL}	$V_+ = 4.75V$	-	-	0.8	V
CLK IN (Pin 4) Positive Going Threshold Voltage, V_{+CLK}		2.7	3.1	3.5	V
CLK IN (Pin 4) Negative Going Threshold Voltage, V_{-CLK}		1.5	1.8	2.1	V
CLK IN (Pin 4) Hysteresis, V_H		0.6	1.3	2.0	V
Logic "1" Input Current (All Inputs), I_{INH}	$V_{IN} = 5V$	-	0.005	1	μA
Logic "0" Input Current (All Inputs), I_{INL}	$V_{IN} = 0V$	-1	-0.005	-	μA
Supply Current (Includes Ladder Current), I_+	$f_{CLK} = 640kHz$, $T_A = 25^\circ C$ and $\overline{CS} = HI$	-	1.3	2.5	mA
DATA OUTPUTS AND INTR					
Logic "0" Output Voltage, V_{OL}	$I_O = 1.6mA$, $V_+ = 4.75V$	-	-	0.4	V
Logic "1" Output Voltage, V_{OH}	$I_O = -360\mu A$, $V_+ = 4.75V$	2.4	-	-	V
Three-State Disabled Output Leakage (All Data Buffers), I_{LO}	$V_{OUT} = 0V$	-3	-	-	μA
	$V_{OUT} = 5V$	-	-	3	μA
Output Short Circuit Current, I_{SOURCE}	V_{OUT} Short to GND, $T_A = 25^\circ C$	4.5	6	-	mA
Output Short Circuit Current, I_{SINK}	V_{OUT} Short to V_+ , $T_A = 25^\circ C$	9.0	16	-	mA

NOTES:

- All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified. The separate AGND point should always be wired to the DGND, being careful to avoid ground loops.
- For $V_{IN(-)} \geq V_{IN(+)}$ the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see Block Diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_+ supply. Be careful, during testing at low V_+ levels (4.5V), as high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct - especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full scale. As long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 50mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0V to 5V input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.950V over temperature variations, initial tolerance and loading.
- With $V_+ = 6V$, the digital logic interfaces are no longer TTL compatible.
- With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process.
- The \overline{CS} input is assumed to bracket the \overline{WR} strobe input so that timing is dependent on the \overline{WR} pulse width. An arbitrarily wide pulse width will hold the converter in a reset mode and the start of conversion is initiated by the low to high transition of the \overline{WR} pulse (see Timing Diagrams).
- CLK IN (pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately.
- None of these A/Ds requires a zero-adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0V, or if a narrow full scale span exists (for example: 0.5V to 4V full scale) the $V_{IN(-)}$ input can be adjusted to achieve this. See the Zero Error description in this data sheet.

Timing Waveforms

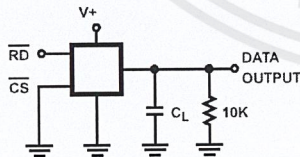


FIGURE 1A. t_{1H}

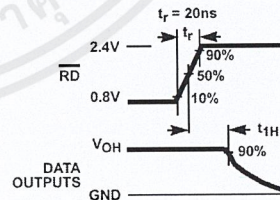


FIGURE 1B. t_{1H} , $C_L = 10pF$



DS275 Line-Powered RS-232 Transceiver Chip

www.dalsemi.com

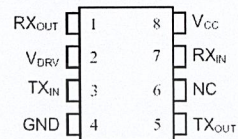
FEATURES

- Low-power serial transmitter/receiver for battery-backed systems
- Transmitter steals power from receive signal line to save power
- Ultra-low static current, even when connected to RS-232-E port
- Variable transmitter level from +5 to +12 volts
- Compatible with RS-232-E signals
- Available in 8-pin, 150 mil wide SOIC package (DS275S)
- Low-power CMOS

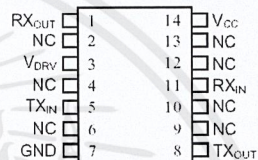
ORDERING INFORMATION

DS275	8-pin DIP
DS275S	8-pin SOIC
DS275E	14-pin TSSOP

PIN ASSIGNMENT



DS275 8-Pin DIP (300-mil)
DS275 8-Pin SOIC (150-mil)



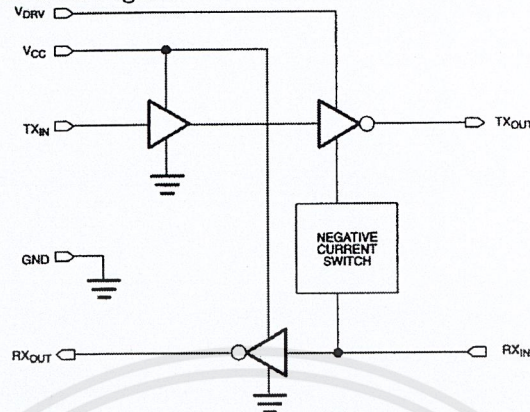
DS275E 14-Pin TSSOP

PIN DESCRIPTION

RX _{OUT}	- RS-232 Receiver Output
V _{DRV}	- Transmit driver +V
TX _{IN}	- RS-232 Driver Input
GND	- System Ground (0V)
TX _{OUT}	- RS-232 Driver Output
NC	- No Connection
RX _{IN}	- RS-232 Receive Input
V _{CC}	- System Logic Supply (+5V)

DESCRIPTION

The DS275 Line-Powered RS-232 Transceiver Chip is a CMOS device that provides a low-cost, very low-power interface to RS-232 serial ports. The receiver input translates RS-232 signal levels to common CMOS/TTL levels. The transmitter employs a unique circuit which steals current from the receive RS-232 signal when that signal is in a negative state (marking). Since most serial communication ports remain in a negative state statically, using the receive signal for negative power greatly reduces the DS275's static power consumption. This feature is especially important for battery-powered systems such as laptop computers, remote sensors, and portable medical instruments. During an actual communication session, the DS275's transmitter will use system power (5-12 volts) for positive transitions while still employing the receive signal for negative transitions.

DS275 BLOCK DIAGRAM Figure 1

OPERATION

Designed for the unique requirements of battery-backed systems, the DS275 provides a low-power half-duplex interface to an RS-232 serial port. Typically, a designer must use an RS-232 device which uses system power during both negative and positive transitions of the transmit signal to the RS-232 port. If the connector to the RS-232 port is left connected for an appreciable time after the communication session has ended, power will statically flow into that port, draining the battery capacity. The DS275 eliminates this static current drain by stealing current from the receive line (RX_{IN}) of the RS-232 port when that line is at a negative level (marking). Since most asynchronous communication over an RS-232 connection typically remains in a marking state when data is not being sent, the DS275 will not consume system power in this condition. System power would only be used when positive-going transitions are needed on the transmit RS-232 output (TX_{OUT}) when data is sent. However, since synchronous communication sessions typically exhibit a very low duty-cycle, overall system power consumption remains low.

RECEIVER SECTION

The RX_{IN} pin is the receive input for an RS-232 signal whose levels can range from ± 3 to ± 15 volts. A negative data signal is called a mark while a positive data signal is called a space. These signals are inverted and then level-shifted to normal +5-volt CMOS/TTL logic levels. The logic output associated with RX_{IN} is RX_{OUT} which swings from +V_{CC} to ground. Therefore, a mark on RX_{IN} produces a logic 1 at RX_{OUT}; a space produces a logic 0.

The input threshold of RX_{IN} is typically around 1.8 volts with 500 millivolts of hysteresis to improve noise rejection. Therefore, an input positive-going signal must exceed 1.8 volts to cause RX_{OUT} to switch states. A negative-going signal must now be lower than 1.3 volts (typically) to cause RX_{OUT} to switch again. An open on RX_{IN} is interpreted as a mark, producing a logic 1 at RX_{OUT}.

TRANSMITTER SECTION

TX_{IN} is the CMOS/TTL-compatible input for digital data from the user system. A logic 1 at TX_{IN} produces a mark (negative data signal) at TX_{OUT} while a logic 0 produces a space (positive data signal). As mentioned earlier, the transmitter section employs a unique driver design that uses the RX_{IN} line for swinging to negative levels. The RX_{IN} line must be in a marking or idle state to take advantage of this design; if RX_{IN} is in a spacing state, TX_{OUT} will only swing to ground. When TX_{OUT} needs to transition to a positive level, it uses the V_{DRV} power pin for this level. V_{DRV} can be a voltage supply between 5 to 12

volts, and in many situations it can be tied directly to the +5 volt V_{CC} supply. *It is important to note that V_{DRV} must be greater than or equal to V_{CC} at all times.*

The voltage range on V_{DRV} permits the use of a 9-volt battery in order to provide a higher voltage level when TX_{OUT} is in a space state. When V_{CC} is shut off to the DS275 and V_{DRV} is still powered (as might happen in a battery-backed condition), only a small leakage current (about 50-100 nA) will be drawn. If TX_{OUT} is loaded during such a condition, V_{DRV} will draw current only if RX_{IN} is not in a negative state. During normal operation ($V_{CC}=5$ volts), V_{DRV} will draw less than 2 μA when TX_{OUT} is marking. Of course, when TX_{OUT} is spacing, V_{DRV} will draw substantially more current—about 3 mA, depending upon its voltage and the impedance that TX_{OUT} sees.

The TX_{OUT} output is slew rate-limited to less than 30 volts/us in accordance with RS-232 specifications. In the event TX_{OUT} should be inadvertently shorted to ground, internal current-limiting circuitry prevents damage, even if continuously shorted.

RS-232 COMPATIBILITY

The intent of the DS275 is not so much to meet all the requirements of the RS-232 specification as to offer a low-power solution that will work with most RS-232 ports with a connector length of less than 10 feet. As a prime example, the DS275 will not meet the RS-232 requirement that the signal levels be at least ± 5 volts minimum when terminated by a 3 k Ω load and $V_{DRV} = +5$ volts. Typically a voltage of 4 volts will be present at TX_{OUT} when spacing. However, since most RS-232 receivers will correctly interpret any voltage over 2 volts as a space, there will be no problem transmitting data.

APPLICATIONS INFORMATION

The DS275 is designed as a low-cost, RS-232-E interface expressly tailored for the unique requirements of battery-operated handheld products. As shown in the electrical specifications, the DS275 draws exceptionally low operating and static current. During normal operation when data from the handheld system is sent from the TX_{OUT} output, the DS275 only draws significant V_{DRV} current when TX_{OUT} transitions positively (spacing). This current flows primarily into the RS-232 receiver's 3-7 k Ω load at the other end of the attaching cable. When TX_{OUT} is marking (a negative data signal), the V_{DRV} current falls dramatically since the negative voltage is provided by the transmit signal from the other end of the cable. This represents a large reduction in overall operating current, since typical RS-232 interface chips use charge-pump circuits to establish both positive and negative levels at the transmit driver output.

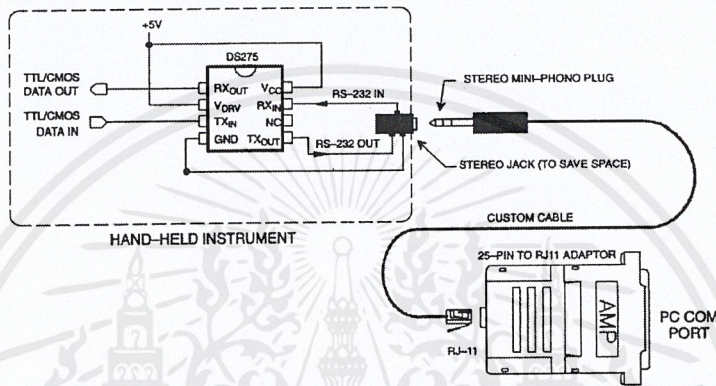
To obtain the lowest power consumption from the DS275, observe the following guidelines. First, to minimize V_{DRV} current when connected to an RS-232 port, always maintain TX_{IN} at a logic 1 when data is not being transmitted (idle state). This will force TX_{OUT} into the marking state, minimizing V_{DRV} current. Second, V_{DRV} current will drop to less than 100 nA when V_{CC} is grounded. Therefore, if V_{DRV} is tied directly to the system battery, the logic +5 volts can be turned off to achieve the lowest possible power state.

FULL-DUPLEX OPERATION

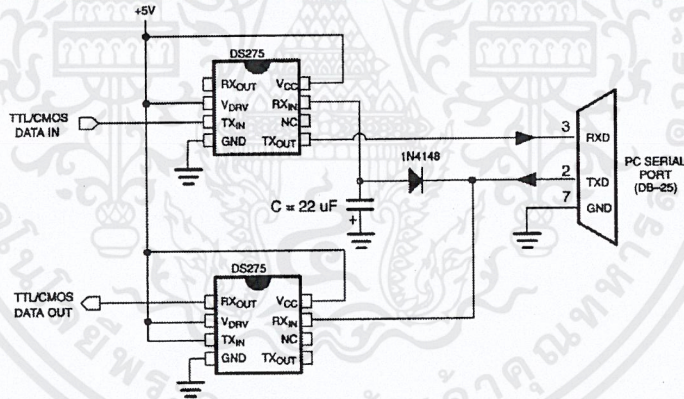
The DS275 is intended primarily for half-duplex operation; that is, RX_{IN} should remain idle in the marking state when transmitting data out TX_{OUT} and visa versa. However, the part can be operated full-duplex with most RS-232-E serial ports since signals swinging between 0 and +5V will usually be correctly interpreted by an RS-232-E receiver device. The 5-volt swing occurs when TX_{OUT} attempts to swing negative while RX_{IN} is at a positive voltage, which turns on an internal weak pulldown to ground for the TX_{OUT} driver's negative reference. So, transmit mark signals at TX_{OUT} may have voltage jumps from some negative value (corresponding to RX_{IN} marking) to approximately ground. One possible

problem that may occur in this case is if the receiver at the other end requires a negative voltage for recognizing a mark. In this situation, the full-duplex circuit shown in Figure 3 can be used as an alternative. The 22 μF capacitor forms a negative-charge reservoir; consequently, when the TXD line is spacing (positive), TX_{OUT} still has a negative source available for a time period determined by the capacitor and the load resistance at the other end (3-7 k Ω). This circuit was tested from 150-19,200 bps with error-free operation using a SN75154 Quad Line Receiver as the receiver for the TX_{OUT} signal. Note that the SN75154 can have a marking input threshold below ground; hence there is the need for TX_{OUT} to swing both positive and negative in full-duplex operation with this device.

HANDHELD RS-232-C APPLICATION USING A STEREO MINI-JACK Figure 2



FULL-DUPLEX CIRCUIT USING NEGATIVE-CHARGE STORAGE Figure 3



NOTE:

The capacitor stores negative charge whenever the TXD signal from the PC serial port is in a marking data state (a negative voltage that is typically -10 volts). The top DS275's TX_{OUT} uses this negative charge reservoir when it is in a marking state. The capacitor will discharge to 0 volts when the TXD line is spacing (and TX_{OUT} is still marking) at a time constant determined by its value and the value of the load resistance reflected back to TX_{OUT}. However, when TXD is marking the capacitor will quickly charge back to -10 volts. Note that TXD remains in a marking state when idle, which improves the performance of this circuit.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

V _{CC}	-0.3 to +7.0 volts
V _{DRV}	-0.3 to +13.0 volts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

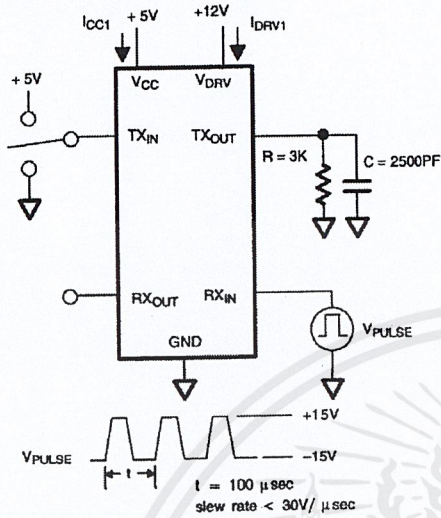
RX _{IN}	±15 volts
TX _{IN}	-0.3 to V _{CC} + 0.3 volts
TX _{OUT}	±15 volts
RX _{OUT}	-0.3 to V _{CC} + 0.3 volts
Storage Temperature	-55°C to +125°C
Operating Temperature	0°C to 70°C

- * This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

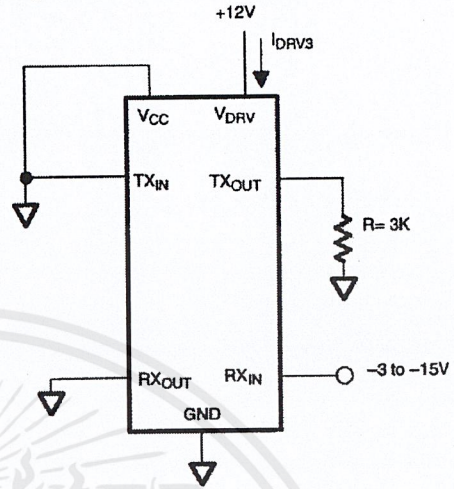
RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Logic Supply	V _{CC}	4.5	5.0	5.5	V	1
Transmit Driver Supply	V _{DRV}	4.5	5-12	13.0	V	1
Logic 1 Input	V _{IH}	2.0		V _{CC} +0.3	V	2
Logic 0 Input	V _{IL}	-0.3		+0.8	V	
RS-232 Input Range (RX _{IN})	V _{RS}	-15		+15	V	
Dynamic Supply Current TX _{IN} = V _{CC}	I _{DRV1}		400	800	μA	3
	I _{CC1}		40	100	μA	
TX _{IN} = GND	I _{DRV1}		3.8	5.0	μA	
	I _{CC1}		40	100	μA	
Static Supply Current TX _{IN} = V _{CC}	I _{DRV2}		1.5	10.0	μA	4
	I _{CC2}		10.0	15.0	μA	
TX _{IN} = GND	I _{DRV2}		3.8	5.0	mA	
	I _{CC2}		10.0	20.0	μA	
Driver Leakage Current (V _{CC} =0V)	I _{DRV3}		0.05	1.0	μA	5

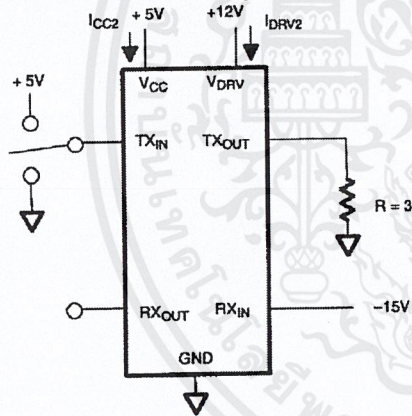
DYNAMIC OPERATING CURRENT TEST CIRCUIT Figure 4



DRIVER LEAKAGE TEST CIRCUIT Figure 6

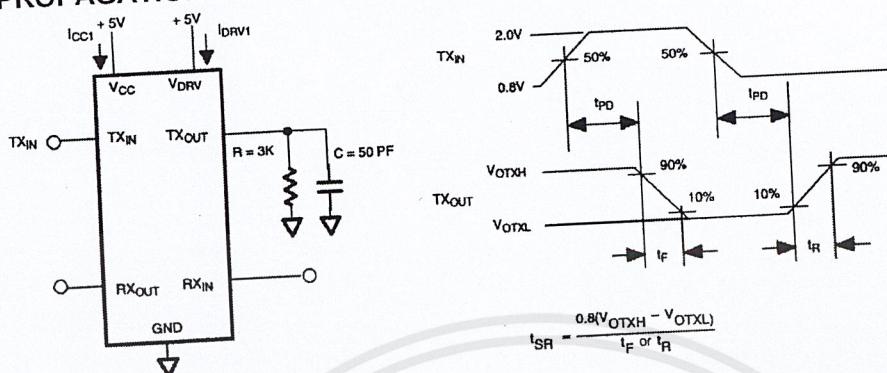


STATIC OPERATING CURRENT TEST CIRCUIT Figure 5

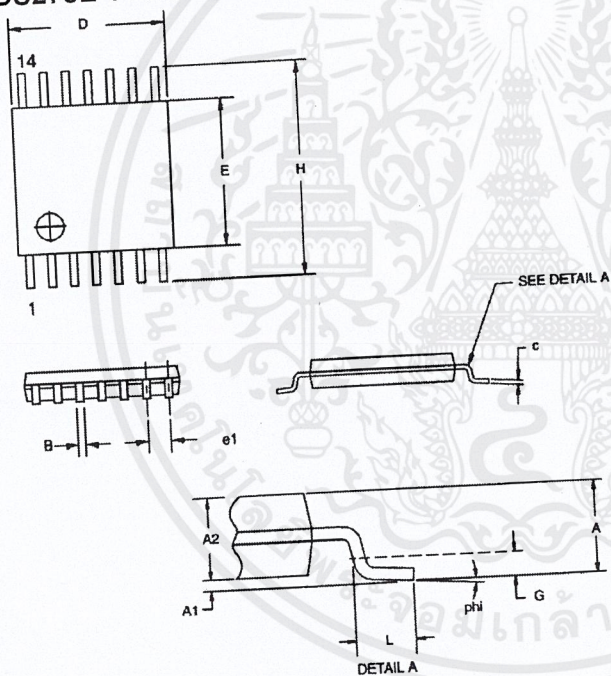


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROPAGATION DELAY TEST CIRCUIT Figure 7



DS275E 14-PIN TSSOP



DIM	14-PIN	
	MIN	MAX
A MM	-	1.10
A1 MM	0.05	-
A2 MM	0.75	1.05
B MM	0.18	0.30
C MM	0.09	0.18
D MM	4.90	5.10
E MM	4.40 NOM	
e1 MM	0.65 BSC	
G MM	0.25 REF	
H MM	6.25	6.55
L MM	0.50	0.70
phi	0°	8°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายธีรพงศ์ เจือไทย
วัน เดือน ปีเกิด	2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2523
ภูมิลำเนา	27/2 หมู่ 4 ตำบลแหลมใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม 75000 โทรศัพท์ 0-3471-4096
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดศรีสุวรรณคงคาราม จังหวัดสมุทรสงคราม
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนศรีรัตนสมุทร จังหวัดสมุทรสงคราม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสงคราม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคสมุทรสงคราม
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ-สกุล	นายพิเชษฐ ศักดิ์สูง
วัน เดือน ปีเกิด	5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2524
ภูมิลำเนา	22 หมู่ 4 ตำบลกันทรารมย์ อำเภอยุขันธ์ จังหวัดศรีสะเกษ 33140
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านโคกสูง จังหวัดศรีสะเกษ
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนบ้านกันทรารมย์ จังหวัดศรีสะเกษ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยการอาชีพศรีสะเกษ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคทำหลวงซิเมนต์ไทยอนุสรณ์
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ-สกุล	นายภาสกร สุ่มมาตย์
วัน เดือน ปีเกิด	20 มกราคม พ.ศ. 2524
ภูมิลำเนา	75 หมู่ 5 บ้านหนองผือ ตำบลทุ่งโป่ง อำเภอบุรบรัมย์ จังหวัดขอนแก่น 40250 โทรศัพท์ 0-9619-3845
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านหนองผือ จังหวัดขอนแก่น
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนอุบลรัตน์พิทยาคม จังหวัดขอนแก่น
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคขอนแก่น
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ-สกุล

นางสาวมะลิวัลย์ ชัยแก้ว

วัน เดือน ปีเกิด

16 ตุลาคม พ.ศ. 2524

ภูมิลำเนา

67/13 หมู่3 ตำบลกะหรอ กิ่งอำเภอนบพิตำ

จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160 โทรศัพท์ 0-7065-9211

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนบ้านขุนทะเล จังหวัดนครศรีธรรมราช

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนคงคาประชารักษ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

วิทยาลัยเทคโนโลยีการต่อเรือนครศรีธรรมราช

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้

ปริญญาตรี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม