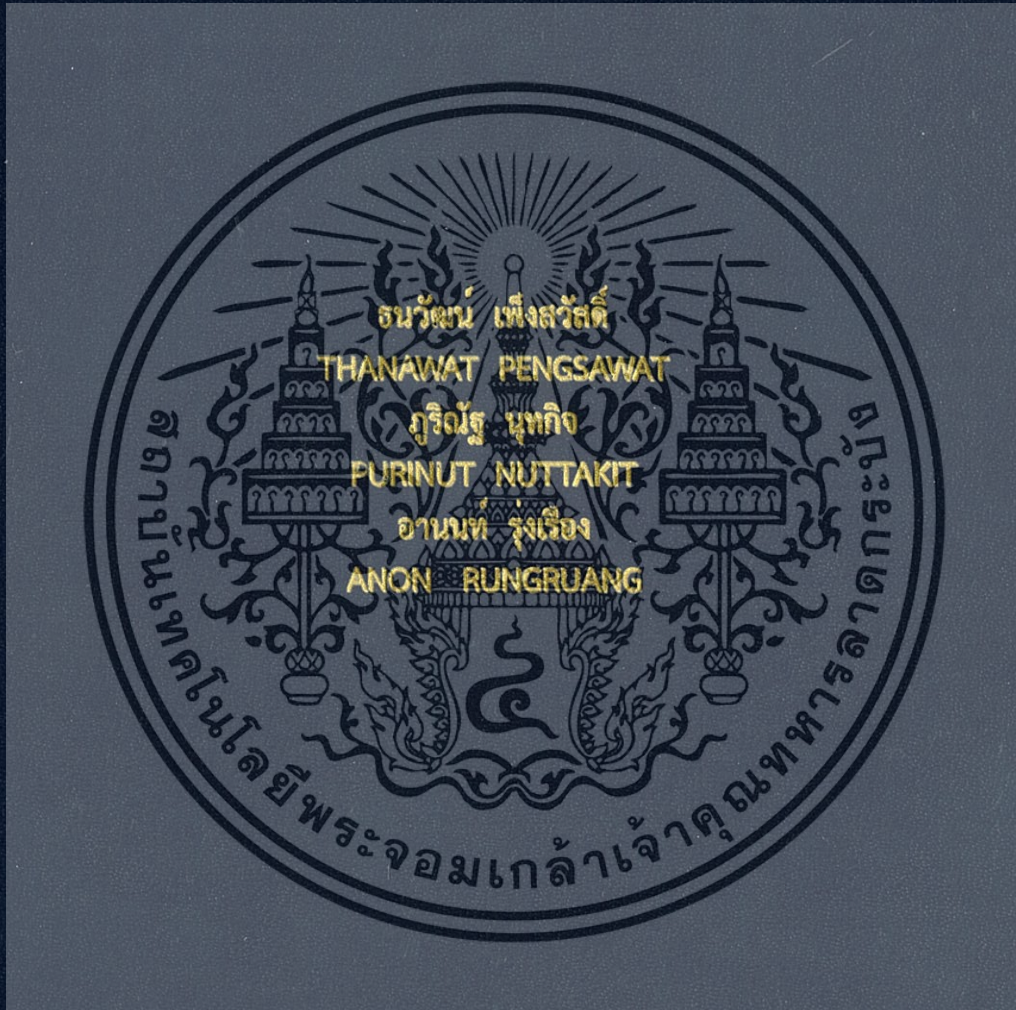


โหลดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ
AUTOMATIC ELECTRONIC LOAD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โหลตอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ

AUTOMATIC ELECTRONIC LOAD



T143929

โดย

ธนวัฒน์ เฟื่องสวัสดิ์ รหัส 55010512

ภุริณัฐ นุกกิจ รหัส 55010965

อานนท์ รุ่งเรือง รหัส 55011471

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ประภากร สุวรรณะ

b. 12801197
f.

ลงทะเบียน..... 143929
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี 04 ต.ค. 2559

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานพ.ศ. 2558 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

สาขาวิชา วิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โทลดิอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ

AUTOMATIC ELECTRONIC LOAD

ผู้จัดทำ	นายธเนวัฒน์	เฟิ่งสวัสดิ์	รหัส 55010512
	นายภูริณัฐ	นุทกิจ	รหัส 55010965
	นายอานนท์	รุ่งเรือง	รหัส 55011471

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(ผศ. ประภากร สุวรรณะ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

โพลดิอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ

นักศึกษา

นาย ธนวัฒน์ เพ็งสวัสดิ์ รหัส 55010512

นาย ภูริณัฐ นุทกิจ รหัส 55010965

นาย อานนท์ รุ่งเรือง รหัส 55011471

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา

วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ผศ.ประภากร สุวรรณะ

บทคัดย่อ

โครงการโพลดิอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัตินี้มีจุดมุ่งหมายเพื่ออธิบายการออกแบบรวมถึงการสร้างโพลดิอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติ ซึ่งใช้สำหรับทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยสามารถกำหนดค่ากระแสของโพลดิที่ต้องการผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ วงจรโพลดิอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4523 ทำหน้าที่รับคำสั่งควบคุมจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และประมวลผล จากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งค่าออกไปยัง ตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก MCP4822 เพื่อทำการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลที่รับมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปเป็นสัญญาณอนาล็อก และนำสัญญาณอนาล็อกไปควบคุม ออปแอมป์ TL061 เพื่อทำการจ่ายแรงดันไปที่ขาเกตของมอสเฟต IRFP250 ทำให้สามารถทดสอบแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงได้ เมื่อส่งค่าแรงดันจากคอมพิวเตอร์ วงจรโพลดิอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติจะสามารถทดสอบแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงได้ในช่วง 0-40 โวลต์ และสามารถตั้งกระแสได้สูงสุด 2 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Automatic electronic load	
Student	Mr. Thanawat	Pengsawat
	Mr. Purinut	Nuttakit
	Mr. Anon	Rungruang
Degree	Bachelor of Engineering	
Department	Electronics Engineering	
Year	2015	
Thesis Advisor	Assist. Prof. Prapakorn	Suwanna

Abstract

This objective of “Automatic electronic load” to describe a design and create Automatic electronic load. That use for testing a power supply, so it is determined by computer software. Automatic electronic load compose of microcontroller, it receives the command from computer and evaluate. Then the microcontroller sends this to digital to analog converter MCP4822. So the analog signal is control an OP-AMP LM358. Output voltage from OP-AMP will drive gate MOSFET IREFP250. So you can test a power supply. When you key input current in the program, automatic electronic load can load maximum current 2.00 amp, and voltage between 0-40 volts.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ. ประภากร สุวรรณะ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำ
ปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ ขอขอบคุณสำหรับคำแนะนำและคำตักเตือนจนทำให้งานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ ท่านอื่นๆ ในการให้คำปรึกษา
ตลอดจนการให้ยืมหนังสือค้นคว้าหรืออุปกรณ์

ขอขอบพระคุณรุ่นพี่ในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ และเพื่อนๆ ทุกคนทั้งคำแนะนำและคอยเป็น
กำลังใจจึงทำให้สามารถแก้ปัญหาและทำให้เกิดงานชิ้นนี้ได้ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์
ของทุกท่าน

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่เข้าใจและคอยให้กำลังใจเสมอมา รวมถึงค่าใช้จ่าย
บางส่วนในการทำปริญญานิพนธ์นี้ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง



นาย ธนวัฒน์ เพ็งสวัสดิ์

นาย ภูริณัฐ นุทกิจ

นาย อานนท์ รุ่งเรือง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี องค์ประกอบและหลักการทำงานของวงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ	
2.1 ลักษณะการทำงานและหน้าที่ของวงจร.....	4
2.2 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรทดสอบการจ่ายกระแสจากเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงด้วยระบบดิจิทัล.....	5
2.3 ความรู้พื้นฐานในอุปกรณ์ควบคุมวงจรทดสอบการจ่ายกระแสจากเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงด้วยระบบดิจิทัล.....	14
บทที่ 3 การคำนวณและออกแบบวงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ	
3.1 คุณสมบัติของวงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติ.....	24
3.2 การออกแบบภาคจ่ายไฟให้กับวงจร.....	25
3.3 การออกแบบส่วนของการสื่อสารระหว่าง Microcontroller กับวงจรทดสอบกระแส.....	25
3.4 การออกแบบส่วนของการสื่อสารระหว่าง RS232 กับ Microcontroller.....	26
3.5 การออกแบบและคำนวณส่วนของวงจรทดสอบกระแส.....	27
3.6 การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ Load Regulation.....	28
3.7 แผนงานแสดงกระบวนการทำงานเพื่อควบคุมกระแสของวงจรทดสอบกระแส.....	28
บทที่ 4 วงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติ (Automatic electronic load)	
4.1 วิธีการทดลองจำลองสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก.....	29
4.2 วิธีการทดลองตั้งกระแสที่โหลดผ่านคอมพิวเตอร์.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 วิธีการทดลองอ่านค่าแรงดันทดสอบผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	45
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	45
เอกสารอ้างอิง.....	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

1.1	แผนภาพกระบวนการทำงานของ Digital Active load.....	1
2.1	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดในการใช้ในวงจร Automatic electronic load.....	4
2.2	วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulator Circuits).....	5
2.3	สัญลักษณ์ของมอสเฟต (MOSFET) ชนิด N-MOS และ P-MOS.....	5
2.4	ชนิดของมอสเฟสพร้อมทั้งลักษณะการทำงาน.....	6
2.5	ตัวอุปกรณ์และสัญลักษณ์ Op-amp.....	7
2.6	กราฟคุณลักษณะของออปแอมป์.....	7
2.7	วงจรสมมูลของออปแอมป์ในอุดมคติ.....	8
2.8	ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller).....	8
2.9	PIC18F4523.....	10
2.10	โครงสร้างขาของ PIC18F4523.....	11
2.11	Block Diagram ของ PIC18F4523.....	12
2.12	CERAMIC RESONATOR.....	13
2.13	QUARTZ CRYSTAL OSCILLATOR.....	13
2.14	ตัวอย่างสัญญาณอนาล็อก.....	14
2.15	ตัวอย่างสัญญาณดิจิทัล.....	14
2.16	ระบบการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก.....	16
2.17	Transfer Curve ในอุดมคติของ DAC 3 บิต.....	16
2.18	คลื่นไซน์ที่สร้างจาก DAC.....	17
2.19	แบบ DB9 ตัวผู้และพอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอก DB9 ตัวเมีย.....	19
2.20	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ Null modem.....	20
2.21	การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 Wire.....	21
2.22	การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 Wire None Flow Control.....	21
2.23	การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous).....	22
2.24	การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous).....	22
2.25	ไอซี MAX232.....	23
3.1	วงจรโพลดิเค็คทรอนิกแบบอัตโนมัติ.....	24
3.2	ภาคจ่ายไฟของวงจร.....	25
3.3	วงจรในส่วนของการสื่อสารระหว่าง Microcontroller กับวงจรทดสอบกระแส.....	25
3.4	วงจรใช้เบิร์นโปรแกรมให้กับ Microcontroller.....	26
3.5	วงจรในส่วนของการสื่อสารระหว่าง rs232 กับ Microcontroller.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 วงจรทดสอบกระแส.....	27
3.7 แผนผังงานระบบแสดงกระบวนการทำงานเพื่อควบคุมกระแส.....	28
4.1 วงจรที่ใช้ในการทดลอง.....	29
4.2 การต่ออุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบ.....	30
4.3 กราฟแสดงสเกลแฟคเตอร์ของ Vin(V)และ Current(A)เมื่อแรงดันทดสอบจากวงจร จ่ายไฟกระแสตรงที่5V.....	36
4.4 โปรแกรมที่ใช้ส่งค่ากระแสที่ไหลผ่านทางคอมพิวเตอรื.....	37
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่ากระแสที่ส่งจากคอมพิวเตอรื(A)และ กระแสที่ไหล (A)เมื่อแรงดันทดสอบจากวงจรจ่ายไฟกระแสตรงที่5V.....	43



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์ อนุกรมแบบ DB9 และหน้าที่การใช้งานต่างๆ.....	20
4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองสเกลแฟคเตอร์ของวงจรทดสอบกระแสที่แรงดัน 5V.....	30
4.2 ผลการทดลองเมื่อส่งค่ากระแสที่ไหลผ่านคอมพิวเตอร์.....	37
4.3 แรงดันทดสอบที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์และโปรแกรม.....	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

วงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ (Automatic electronic load) เป็นวงจรที่ทำการวัดคุณภาพของเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง โดยทำการวัดค่า Load regulation ที่เครื่องจ่ายไฟกระแสตรงสามารถจ่ายได้ วงจรทดสอบการจ่ายกระแสนี้มีหลักการทำงานโดยในขั้นตอนแรกคือการป้อนอินพุตข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ผ่านโปรโตคอล RS232 ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้เขียนโปรแกรมควบคุมอินพุตและเอาต์พุตเรียบร้อยแล้ว (18F4523) จากนั้นตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลอินพุตไปยังตัวแปลงสัญญาณข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (MCP4822) ในการกำหนดค่าแรงดันที่ขาเกตของมอสเฟตเพื่อใช้ในการควบคุมการไหลผ่านของกระแสในตัวมอสเฟต (MOSFETs) ขั้นตอนถัดมาคือการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตจากวงจรทดสอบโดยให้ส่งค่าแรงดันในรูปของสัญญาณอนาล็อกเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์และประมวลผลด้วยตัวแปลงสัญญาณข้อมูลอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อเตรียมข้อมูลเอาต์พุตส่งกลับแสดงผลในคอมพิวเตอร์ซึ่งจะเป็นข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตและกระแสไฟฟ้าไหลที่วัดได้ไว้ใช้สำหรับหาค่า Load regulation ต่อไป



รูปที่ 1.1 แผนภาพกระบวนการทำงานของ Digital Active load

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อให้ได้วงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ (Automatic electronic load)
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการออกแบบวงจรไฟฟ้าที่ประกอบไปด้วยการออกแบบแหล่งจ่ายไฟและแหล่งกำเนิดกระแสด้วยมอสเฟต
- 1.2.3 เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่สามารถดึงกระแสจากเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง พร้อมส่งค่ากระแสที่ต้องการได้จากหน้าจคอมพิวเตอร์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 วงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ (Automatic electronic load) ต้องใช้วงจรที่ความเสถียรภาพสูงและทนต่อการป้อนแรงดันไฟฟ้าและการดึงกระแสจากเครื่องจ่ายไฟกระแสตรง
- 1.3.2 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟและแหล่งกำเนิดเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงกระแสด้วยมอสเฟตซึ่งจะเป็นอุปกรณ์เหมือนโหลดให้กับเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงต้องมีคุณภาพ
- 1.3.3 ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C ที่ใช้ควบคุมไมโครคอนโทรเลอร์ในวงจรการสั่งงาน ไมโครต้องมีความสัมพันธ์กับการใช้งานพื้นฐานของตัว PIC18F4523 พร้อมทั้งสามารถทำงานร่วมกับสายโปรโตคอล RS232 ในการรับและส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์
- 1.3.4 การแสดงผลบนหน้าจคอมพิวเตอร์แบบแสดงข้อมูลที่สามารถดึงกระแสและการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงนั้นต้องใช้ความรู้ในการส่งและรับค่าที่แม่นยำและตาม Baud rate 9600 ในการส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์

1.4 ขอบเขตของโครงการ

- 1.4.1 ศึกษาโปรเจกต์หัวข้อวงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติ (Automatic electronic load) การ ศึกษาตั้งแต่ เดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน
- 1.4.2 ศึกษาการทำงานของวงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติ (Automatic electronic load) สามารถสั่งขับกระแสสมอสเฟตและอ่านค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ผ่านโปรโตคอล RS232 โดยมีไมโครคอนโทรเลอร์เป็นศูนย์กลางควบคุมวงจร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ความรู้ในการออกแบบวงจรโพลดิอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติ
- 1.5.2 ได้รู้จักการทำงานของการทำงานของวงจรโพลดิอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติ
- 1.5.3 ได้ความรู้เรื่องการเขียนซอฟต์แวร์ในการสังเคราะห์ที่ต้องการผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 1.5.4 สามารถนำไปใช้ได้จริงและนำไปประยุกต์ใช้ได้ภายในชีวิตประจำวัน
- 1.5.5 ได้ฝึกการทำงานเป็นทีม การแบ่งงาน ช่วยเหลือกัน รู้จักรับผิดชอบในงานที่ได้รับ

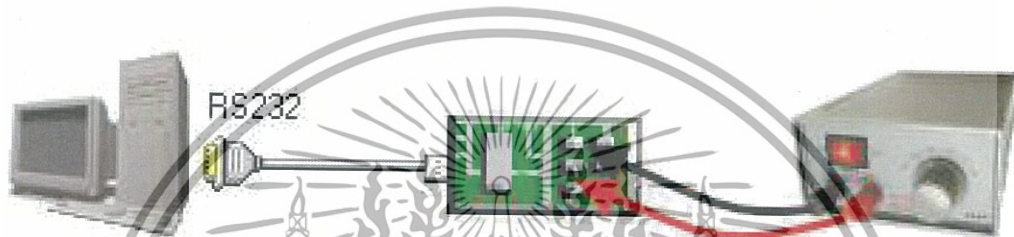


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี องค์ประกอบและหลักการทำงานของ วงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ (Automatic electronic load)

2.1 ลักษณะการทำงานและหน้าที่ของวงจร



รูปที่ 2.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดในการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อัตโนมัติ

วงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ (Automatic electronic load) นั้นมีไว้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพโดยวัดและตรวจสอบค่า Load regulation ของเครื่องจ่ายไฟตรงหลายทางออก (Multiple outputs dc power supply) ซึ่งถือได้ว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากที่สุด หรือหัวใจของระบบอิเล็กทรอนิกส์ เพราะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกือบทุกวงจรต้องการไฟฟ้กระแสตรงทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับตัวอุปกรณ์ในวงจรอีกทั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต่างชนิดกันก็ต้องการแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้กระแสตรงที่แตกต่างกันแต่โดยทั่วไปแล้วจะมีโครงสร้างพื้นฐานคล้ายๆกันโดยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้กระแสตรงแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้กระแสตรงแบบเชิงเส้น (Linear Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้กระแสตรงแบบเชิงเส้นเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้กระแสตรงที่นิยมใช้มาตั้งแต่อดีตเพราะออกแบบได้ง่าย และรวดเร็ว ไม่ซับซ้อน แต่จะเกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้ ในรูปของความร้อน ทำให้ได้ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายไฟฟ้ต่ำ

2) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้กระแสตรงแบบสวิตซ์ซิง (Switching Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้กระแสตรงที่มีประสิทธิภาพสูง มีน้ำหนักเบา แหล่งจ่ายไฟฟ้กระแสตรงแบบนี้มีขนาดเล็ก จึงทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้แบบสวิตซ์ซิงมีขนาดเล็กลงด้วย แต่มีข้อเสียตรงที่มีวงจรมีความยุ่งยากซับซ้อน เสี่ยงต่อการผิดพลาดได้ง่าย

ค่า Load regulation ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของแรงดันตกคร่อมโหลดเมื่อโหลดมีค่าความต้านทานต่ำสุด และเมื่อโหลดมีค่าความต้านทานสูงสุด ขั้นตอนแรกจะทำการวัดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

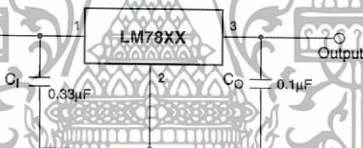
ค่าแรงดันเอาต์พุตโดยยังไม่ต่อวงจรทดสอบ จากนั้นต่อวงจรทดสอบเพื่อทำการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตค่าต่างๆ Load regulation เป็นค่าความแตกต่างของแรงดันเอาต์พุต ที่ขณะที่ไม่มีโหลดกับขณะมีโหลดของวงจร เครื่องจ่ายไฟกระแสตรงที่มีคุณภาพคือไม่ว่าจะมีแรงดันอินพุตหรือโหลดเปลี่ยนไปเท่าไร ค่าแรงดันยังคงที่เสมอ โดยที่ค่า Load regulation ควรจะมีค่าน้อยที่สุด กล่าวอีกอย่างหนึ่งคือค่าแรงดันเอาต์พุตต้องมีความแตกต่างกันให้น้อยที่สุด

2.2 โครงสร้างพื้นฐานวงจรทดสอบการจ่ายกระแสจากเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงด้วยระบบดิจิทัล

2.2.1 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulator Circuits)

วงจรรักษาระดับแรงดันคือ วงจรที่ต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟตรงไม่คงค่า (Unregulator Power Supply) กับโหลด มีหน้าที่จ่ายไฟตรงให้กับโหลดและสามารถรักษาแรงดันให้คงตัวขณะที่

- 1) โหลดเปลี่ยน นั่นคือกระแสขาออกเปลี่ยนแปลง
- 2) แรงดันของแหล่งจ่ายไฟตรงไม่คงค่า เปลี่ยนแปลงทั้งนี้รวมถึงระลอกคลื่นด้วย (ripple)
- 3) อุณหภูมิของวงจรเปลี่ยนแปลง

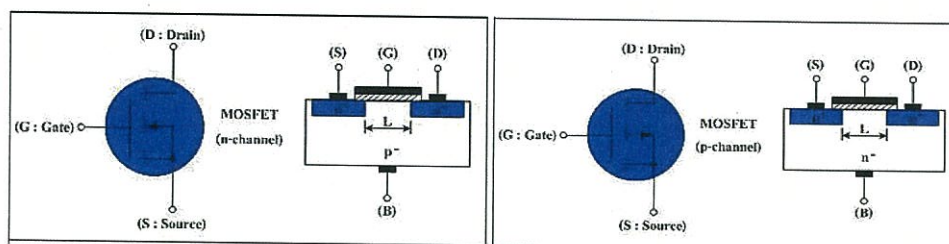


รูปที่ 2.2 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage Regulator Circuits)

2.2.2 อุปกรณ์มอสเฟตในวงจรส่วนการจำลองแหล่งกำเนิดกระแส

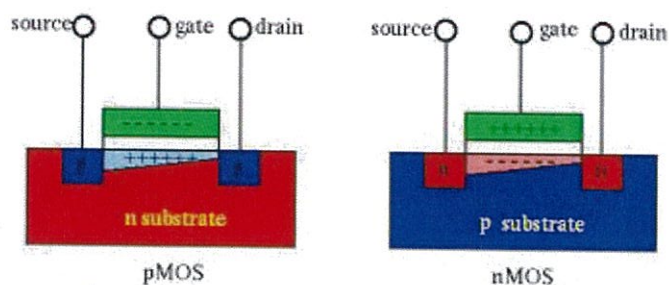
2.2.2.1 มอสเฟต (MOSFET)

มอสเฟต (MOSFET) เป็นทรานซิสเตอร์อีกแบบหนึ่งที่มีความนิยมมากในปัจจุบัน ในการนำไปใช้ในการออกแบบเป็นวงจรรวม ซึ่งอุปกรณ์มอสเฟต(MOSFET) นั้นจะแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ n-channel และ p-channel สร้างขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำซึ่งจะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด N และสารกึ่งตัวนำชนิด P โดยจะแบ่งตามโครงสร้างได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สัญลักษณ์ของมอสเฟต (MOSFET) ชนิด N-MOS และ P-MOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์



รูปที่ 2.4 ชนิดของมอสเฟสพร้อมทั้งลักษณะการทำงาน

MOSFET ประกอบด้วยสามส่วน คือ

1. GATE เป็นส่วนที่ทำมาจากออกไซด์ของโลหะ โดยสร้างให้เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างแผ่นสองแผ่นเพื่อ สร้างสนามไฟฟ้าเพื่อควบคุมการเข้าออกของสัญญาณไฟฟ้า

2. SOURCE เป็นส่วนขาเข้าของสัญญาณ

3. DRAIN เป็นส่วนขาออกของสัญญาณ

จากรูปที่ 2.4 แสดงการแบ่งชนิดของมอสเฟสพร้อมทั้งการทำงานได้ดังนี้

1. มอสเฟต (MOSFET) ชนิด n-channel

ถ้าทำการกำหนดค่าของแรงดันที่ขาเกตให้มีค่าน้อย ก็จะส่งผลให้ขาเดรน (D) และขาซอร์ส (S) ไม่มีกระแสไหลผ่าน แต่ถ้าเราทำการกำหนดค่าของแรงดันที่ขาเกตให้มีค่ามากก็จะส่งผลให้ขาเดรน (D) และขาซอร์ส (S) มีกระแสไหลผ่าน เมื่อปล่อยความต่างศักย์สูง จะเกิดสนามไฟฟ้าในทิศลงอย่างแรง โอลใน p-type จะถูกผลักลงมาอยู่ด้านล่าง (ดังในรูปที่ 2.4) ประกอบกับมีอิเล็กตรอนอิสระบางส่วนถูกดูดขึ้นไปด้านบน ส่งผลให้บริเวณด้านบนมีอิเล็กตรอนอิสระมากจนเป็น n-type ได้เรียกว่า channel สัญญาณไฟฟ้าก็จะไหลผ่านช่วง channel นี้ซึ่งเป็น n-type เหมือนกับ drain และ source ได้โดยใช้อิเล็กตรอนอิสระเป็นพาหะ

2. มอสเฟต (MOSFET) ชนิด p-channel

ถ้าทำการกำหนดค่าของแรงดันที่ขาเกตให้มีค่ามาก ก็จะส่งผลให้ขาเดรน (D) และขาซอร์ส (S) ไม่มีกระแสไหลผ่าน แต่ถ้าเราทำการกำหนดค่าของแรงดันที่ขาเกตให้มีค่าน้อย ก็จะส่งผลให้ขาเดรน (D) และขาซอร์ส (S) มีกระแสไหลผ่านเมื่อปล่อยความต่างศักย์ต่ำ (โดยมากมักจะติดลบ) จะเกิดสนามไฟฟ้าใน ทิศขึ้นอย่างแรง อิเล็กตรอนอิสระใน n-type จะถูกผลักลงมาอยู่ด้านล่าง ประกอบกับมีโฮลบางส่วนถูกดูดขึ้นไปด้านบน ส่งผลให้บริเวณด้านบนมีโฮลมากจนเป็น p-type ได้เรียกว่า channel สัญญาณไฟฟ้าก็จะไหลผ่านช่วง channel นี้ซึ่งเป็น p-type เหมือนกับ drain และ source ได้โดยใช้โฮลเป็นพาหะ

2.2.3 อุปกรณ์ขยายสัญญาณในวงจรขับเคลื่อนที่

2.2.3.1 ออปแอมป์ (Op-Amp: Operation Amplifier)

เป็นวงจรขยายแบบต่อตรง (Direct coupled amplifier) ที่มีอัตราขยายสูงมากใช้การป้อนกลับแบบลบไปควบคุมลักษณะการทำงาน ทำให้ผลการทำงานของวงจรไม่ขึ้นกับพารามิเตอร์ภายในของออปแอมป์ วงจรภายในประกอบด้วยวงจรขยายที่ต่ออนุกรมกัน สัญญาณที่ใช้แทนออปแอมป์จะเป็นรูปสามเหลี่ยม ไอซีออปแอมป์เป็นไอซีที่แตกต่างไปจากลิเนียร์ไอซีต่างๆ ไปคือไอซีออปแอมป์มีขาอินพุท 2 ขา เรียกว่าขาเข้าไม่กลับเฟส (Non-Inverting Input) หรือ ขา + และขาเข้ากลับเฟส (Inverting Input) หรือขา - ส่วนทางด้านออกมีเพียงขาเดียว เมื่อสัญญาณป้อนเข้าขาไม่กลับเฟสสัญญาณทางด้านออกจะมีเฟสตรงกับทางด้านเข้า แต่ถ้าป้อนสัญญาณเข้าที่ขาเข้ากลับเฟสสัญญาณทางด้านออกจะมีเฟสต่างไป 180 องศา จากสัญญาณทางด้านเข้า



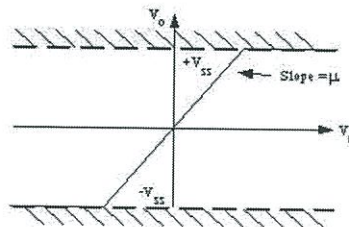
รูปที่ 2.5 ตัวอุปกรณ์และสัญลักษณ์ Op-amp

คุณลักษณะของออปแอมป์

ในออปแอมป์แบบอุดมคตินี้จะมีคุณลักษณะพื้นฐานอยู่ 4 แบบคือ

1. แรงดันเอาต์พุตจะไม่เกินแรงดันที่จ่ายให้กับออปแอมป์ จากรูปที่ 2.6 ทำให้ทราบว่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากออปแอมป์นั้นจะมีค่าไม่เกินแรงดันที่ป้อนให้กับออปแอมป์ นั่นก็คือ

$$-V_{SS} \leq V_O \leq +V_{SS} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.6 กราฟคุณลักษณะของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราขยายมีค่าเป็นอนันต์ ($m = \infty$ ในทางอุดมคติ ออปแอมป์จะมีอัตราขยายได้เป็นอนันต์)
3. ขาอินพุตทั้งสองเสมือนเชื่อมติดกัน ($V_D = 0$) จากสมการที่ เราสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$V_D = \frac{V_o}{\mu} \quad (2.2)$$

เมื่ออัตราขยายมีค่าเป็นอนันต์ และ V_o มีค่าไม่เกิน $+V_{SS}$ จะทำให้ $V_D = 0$ นั่นคือไม่มีผลต่างของแรงดัน ระหว่างขา V_P และขา V_N นั่นเอง

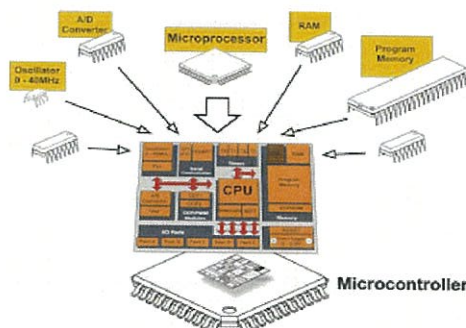
4. กระแสของอินพุตทั้งสองเป็นศูนย์ ($I_N = I_P = 0$) เนื่องจาก ความต้านทานภายใน (R_L) ของออปแอมป์มีค่าสูงมาก (∞) นั่นคือ จะทำให้กระแสที่ไหลเข้าขาทั้งสองมีค่าเป็น 0



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลของออปแอมป์ในอุดมคติ

2.2.4 อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC (Peripheral Interface Controller)

PIC คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) อีกรุ่นหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ที่บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำและพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในวงที่จำกัดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.1 โครงสร้างทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถแบ่งได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU: Central Processing Unit)
2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำ (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง
3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น
4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus), บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)
5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับกาหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

นอกจากนี้ยังมีส่วนพิเศษอื่นๆ จะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของแต่ละบริษัทที่จะผลิตขึ้นมาใส่คุณสมบัติพิเศษลงไปเช่น

- ADC (Analog to Digital) ส่วนภาครับสัญญาณอนาล็อกแปลงไปเป็นสัญญาณดิจิทัล
- DAC (Digital to Analog) ส่วนภาคส่งสัญญาณดิจิทัลแปลงไปเป็นสัญญาณอนาล็อก
- I²C (Inter Integrate Circuit Bus) เป็นการสื่อสารอนุกรม แบบซิงโครนัส (Synchronous) เพื่อใช้ ติดต่อสื่อสาร ระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) กับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Philips Semiconductors โดยใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น คือ serial data (SDA) และสาย serial clock (SCL) ซึ่งสามารถ เชื่อมต่ออุปกรณ์ จำนวนหลายๆ ตัว เข้าด้วยกันได้ ทำให้ MCU ใช้พอร์ตเพียง 2 พอร์ตเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- SPI (Serial Peripheral Interface) เป็นการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เพื่อรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronize) มีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาเกี่ยวข้องกับระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) หรือจะเป็นอุปกรณ์ภายนอกที่มีการรับส่งข้อมูลแบบ SPI อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ (Master) โดยปกติแล้วจะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ หรืออาจกล่าวได้ว่า อุปกรณ์ Master จะต้องควบคุมอุปกรณ์ Slave ได้ โดยปกติตัว Slave มักจะเป็นไอซี (IC) หน้าที่พิเศษต่างๆ เช่น ไอซีอุณหภูมิ, ไอซีฐานเวลานาฬิกาจริง (Real-Time Clock) หรืออาจเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่ในโหมด Slave ก็ได้เช่นกัน
- PWM (Pulse Width Modulation) การสร้างสัญญาณพัลส์แบบสแควร์เวฟ ที่สามารถปรับเปลี่ยนความถี่และ Duty Cycle ได้เพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เช่น มอเตอร์
- UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสสำหรับมาตรฐานการรับส่งข้อมูลแบบ RS-232

2.2.4.2 สถาปัตยกรรมของ PIC

PIC จะยึดถือการออกแบบที่รวมทุกอย่างไว้ใน chip ตัวเดียวโดยไม่ต้องต่ออุปกรณ์ใดๆ เพิ่มเติม ผลที่ตามมาก็คือแผ่นวงจรจะมีขนาดเล็ก และอุปกรณ์ที่ใช้จะไม่มาก บางงานอาจจะใช้แค่ PIC เพียงตัวเดียวโดยไม่ต้องใช้ chip อื่นมาเพิ่มเติมเลย นี่คือคุณสมบัติพิเศษของ PIC แต่ทุกอย่างย่อมมีข้อเสีย เนื่องจาก concept ที่จะรวมทุกอย่างไว้ใน chip เดียว ทำให้ program memory และ data memory ไม่สามารถขยายโดยใช้กับ memory ภายนอกได้ เพราะฉะนั้น PIC จึงเหมาะสำหรับงานเล็กๆ ไม่ใช่งานใหญ่ๆ ที่ต้องใช้การคำนวณ

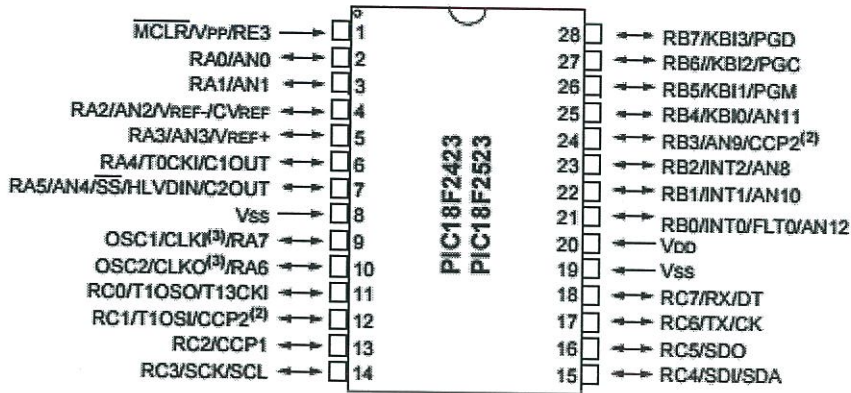
สถาปัตยกรรมของ PIC ในปัจจุบันมี 3 สายหลัก คือขึ้นต้นด้วย 16xxx, 17xxx และใหม่ล่าสุดคือ 18xxx คุณสมบัติที่เหนือกว่าจะเรียงจากน้อยสุดไปมากที่สุดก็คือ 16xxx -> 17xxx -> 18xxx โดยที่คำสั่ง assembly ของ 17xxx และ 18xxx จะมีมากกว่า 16xxx ทำให้เขียนโปรแกรมได้ง่ายกว่า และมีราคาสูงกว่า แต่ที่เป็นที่นิยมก็คือ ตระกูล 16xxx



รูปที่ 2.9 PIC18F4523

- มี A/D ขนาด 12 bits
- สามารถต่อกับ program memory ภายนอก โดยอ้างได้ถึง 64K x 16 Program memory
- มี Program memory เป็นแบบ Flash ทำให้สามารถโปรแกรมใหม่ได้หลายครั้ง
- ในตระกูล 18FXXX มี EEPROM ภายใน
- ในตระกูล 18FXXX สนับสนุน In Circuit Debugging (ICD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Device	Program Memory		Data Memory		I/O	12-Bit A/D (ch)	CCP/ ECCP (PWM)	MSSP		EUSART	Comp.	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)				SPI	Master I ² C™			
PIC18F2423	16K	8192	768	256	25	10	2/0	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2523	32K	16384	1536	256	25	10	2/0	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4423	16K	8192	768	256	36	13	1/1	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4523	32K	16384	1536	256	36	13	1/4	Y	Y	1	2	1/3

Features	PIC18F2423	PIC18F2523	PIC18F4423	PIC18F4523
Operating Frequency	DC – 40 MHz	DC – 40 MHz	DC – 40 MHz	DC – 40 MHz
Program Memory (Bytes)	16384	32768	16384	32768
Program Memory (Instructions)	8192	16384	8192	16384
Data Memory (Bytes)	768	1536	768	1536
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	19	19	20	20
I/O Ports	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	1	1
Enhanced Capture/Compare/PWM Modules	0	0	1	1
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART
Parallel Communications (PSP)	No	No	Yes	Yes
12-Bit Analog-to-Digital Module	10 Input Channels	10 Input Channels	13 Input Channels	13 Input Channels
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable High/Low-Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP

รูปที่ 2.10 โครงสร้างขาของ PIC18F4523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.3 ชนิดของกำเนิดสัญญาณในตัว PIC (TYPES OF OSCILLATOR MCU)

ชนิดของกำเนิดสัญญาณ (TYPES OF OSCILLATOR MCU) ในตระกูล PIC สามารถเลือก oscillator ได้ว่าจะใช้แบบภายในหรือภายนอก สำหรับ oscillator ภายใน PIC จะเป็นประเภท RC oscillator ที่ความถี่คงที่ 4 MHz ที่ $V_{dd}=5\text{ V}$ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ต้องระบุอุณหภูมิ เพราะว่า oscillator ประเภท RC ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ส่วน oscillator ภายนอก PIC สามารถแบ่งได้ตามนี้ (กับ MCU ตระกูลอื่นก็ใช้ได้เช่นกัน)

รูปที่ 2.12 CERAMIC RESONATOR

1. CERAMIC RESONATOR นิยมใช้ในกรณีที่มีความถี่สูงไม่มากยอมรับ ERROR ของ ความถี่ได้พอสมควร เพราะว่ามีราคาถูกเมื่อเทียบกับ OSCILLATOR ที่ต่อภายนอกประเภทอื่น ไม่ต้องมี C ต่อภายนอกด้วย โดยขากลางจะเป็น GND ส่วนอีกสองขาต่อกับ CLKIN และ CLKOUT

รูปที่ 2.13 QUARTZ CRYSTAL OSCILLATOR

2. QUARTZ CRYSTAL OSCILLATOR จะไม่มีวงจรมายสัญญาณภายใน มีแต่ crystal ที่กำเนิดสัญญาณความถี่ กำลังต่ำออกมา จะต้องมี capacitor ต่อลง GND ของทั้งสองขา ตามรูป และทั้งสองขาต่อเข้ากับ CLKIN และ CLKOUT จะมีราคาแพงกว่า CERAMIC RESONATOR แต่จะให้ความเที่ยงตรงของความถี่ได้ดีกว่า

2.3 ความรู้พื้นฐานในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์วงจรทดสอบการจ่ายกระแสจากเครื่องจ่ายไฟ กระแสตรงด้วยระบบดิจิทัล

2.3.1 สัญญาณที่ใช้ในการสื่อสาร

2.3.1.1 สัญญาณอนาล็อก (Analog Signal)

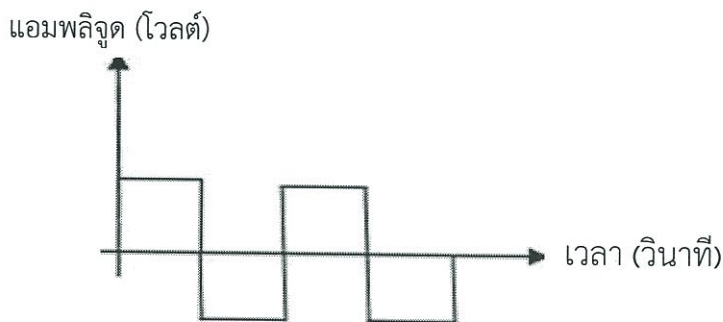
สัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous Data) มีขนาดของสัญญาณไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณแบบค่อยเป็นค่อยไปกล่าวคือต้องแปรผันตามเวลา มีลักษณะเป็นคลื่นที่มีการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงสลับกัน รูปของคลื่นที่เป็นที่นิยมในการแสดงถึงสัญญาณอนาล็อกคือ คลื่นรูปไซน์ (sine wave) ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างสัญญาณอนาล็อก

2.3.1.2 สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal)

สัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Data) มีขนาดของสัญญาณคงที่ การเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณเป็นแบบทันทีทันใด กล่าวคือ ไม่แปรผันตามเวลา ลักษณะของสัญญาณที่มีเพียง 2 ค่าคือสัญญาณระดับสูงและระดับต่ำ ดังนั้นจะมีประสิทธิภาพและ ความน่าเชื่อถือสูงกว่าสัญญาณอนาล็อกเนื่องจากการใช้งานเพียง 2 ค่าเพื่อนำมาตีความหมายเป็น On/Off หรือ 1/0 ตามลำดับ ซึ่งสัญญาณดิจิทัลนี้เป็นสัญญาณที่คอมพิวเตอร์ใช้ในการทำงานในรูปแบบต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 ข้อเปรียบเทียบสัญญาณแบบอนาล็อกกับแบบดิจิทัล

สัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิทัลมีความแตกต่างดังต่อไปนี้

1. สัญญาณรบกวน (Noise) เกิดจากการขยายสัญญาณ โดยการส่งสัญญาณอนาล็อกจะมีการขยายของสัญญาณเกิดขึ้น แต่สำหรับการส่งสัญญาณแบบดิจิทัลจะไม่มีสัญญาณเกิดขึ้นแต่จะเป็นการทบทวนสัญญาณใหม่ให้กลับเป็นเหมือนเดิม ดังนั้นค่าของอัตราส่วนของสัญญาณที่ส่งต่อสัญญาณรบกวน (Signal - to- Noise ratio, S/N) ของการส่งแบบดิจิทัลจึงมีค่าที่ดีกว่าการส่งสัญญาณอนาล็อก

2. การมัลติเพล็กซ์เป็นการส่งสัญญาณข้อมูลจากแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง โดยผ่านตัวกลางสายส่งเดียวกันเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย เพียงแต่มีเทคนิคที่เรียกว่าการมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) และการดีมัลติเพล็กซ์ (De-multiplex) เพื่อแยกแต่ละสัญญาณออกจากกันเมื่อสัญญาณทั้งหมดถึงปลายทาง ค่าใช้จ่ายในการมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์ในการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกนั้นแพงกว่าการส่งสัญญาณแบบดิจิทัลมาก

3. ความเร็วในการส่งสัญญาณดิจิทัลสามารถทำได้เร็วและส่งได้มากกว่าการส่งสัญญาณอนาล็อก ซึ่งแนวโน้มในปัจจุบันและอนาคตการส่งข้อมูลจะมีการส่งสัญญาณแบบดิจิทัลมากกว่าสัญญาณแบบอนาล็อกมาก

2.3.1.4 คุณลักษณะของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

คุณลักษณะของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่สำคัญ ได้แก่

1. ความละเอียด (Resolution) แสดงถึงจำนวนบิตข้อมูลของเอาต์พุต ตัวอย่างเช่น 8-bit Analog to digital Converter จะมีความละเอียด $1/256$

2. ความแม่นยำ (Accuracy) และความผิดพลาด (Error) คือ ความแตกต่างของค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการวัดโดยจะบอกเป็นร้อยละของ Full-Scale Output Voltage เช่น $10V \pm 0.2\%$ แสดงว่าเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ตัวนี้จะมีค่าสูงสุด $0.002 \times 10V = 20mV$

3. เวลาในการแปลงข้อมูล (Conversion Time) คือ เวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นเวิร์ดข้อมูลรหัสไบนารี (สัญญาณดิจิทัล)

4. Linearity คือ ความสามารถในการรักษาเอาต์พุตให้มีค่าคงที่ในขณะที่ข้อมูลอินพุตมีการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปจะเปรียบเทียบจากการที่สวิตช์ทุกตัวยังไม่ต่อทางไฟจนกระทั่งสวิตช์ทุกตัวต่อทางไฟ (ข้อมูล 0000 0000 เปลี่ยนไปเป็น 1111 1111)

5. Quantization Level คือค่าระดับทั้งหมดของจำนวนค่า Analog

$$\text{Quantization Level} = 2^n$$

6. Quantization Step คือจำนวนขั้นระหว่าง Quantization Level ทั้งหมด

$$\text{Quantization step} = 2^n - 1$$

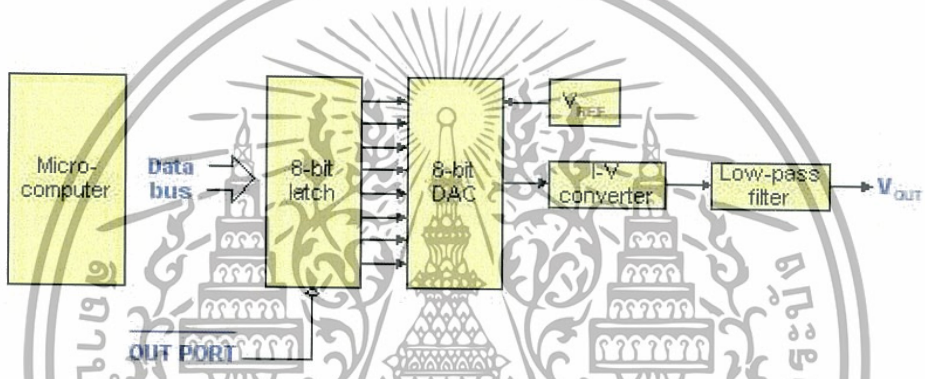
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Sampling rate คือ จำนวนของเวลาต่อวินาทีที่สัญญาณอนาล็อกถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งค่าที่น้อยที่สุดของ sample rate เรียกว่า Nyquist sampling rate

2.3.2 การแปลงสัญญาณทางดิจิทัลเป็นอนาล็อก (Digital to Analog Converter)

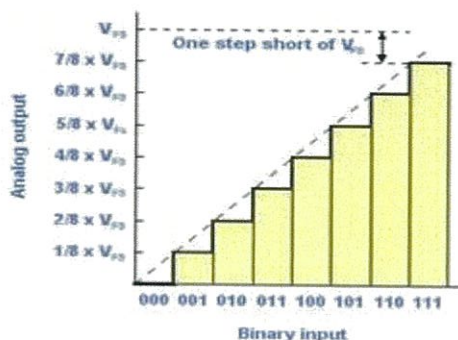
อุปกรณ์ทางไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ โดยทั่วไปที่เป็นอนาล็อก สามารถควบคุมการทำงาน โดยการให้อินพุตเป็นระดับ แรงดันที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น มอเตอร์กระแสตรง ซึ่งควบคุมความเร็ว โดยเปลี่ยนระดับแรงดัน (หรือกระแส) ของขดลวดสนามเมื่อนำระบบดิจิทัล หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ มาใช้ควบคุมอุปกรณ์ทางอนาล็อกเหล่านี้ จึงต้องมีวงจรซึ่งสามารถแปลงสัญญาณทางดิจิทัลเป็นระดับแรงดันต่อเนื่องแบบอนาล็อก ตั้งแต่ศูนย์โวลต์จนถึงระดับสูงสุดที่กำหนดไว้ เรียกว่าวงจร Digital to Analog Converter (DAC)

2.3.2.1 คุณสมบัติของ Digital to Analog Converter



รูปที่ 2.16 ระบบการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก

รูปที่ 2.16 แสดงถึงส่วนประกอบหลักของระบบ DAC โดยทั่วไป ไมโครคอมพิวเตอร์จะมีเอาต์พุตเป็นค่าไบนารี วงจรแลทช์รับค่าไบนารีเข้ามาเพื่อส่งไปยัง DAC ใน วงจรจะใช้แหล่งกำเนิดแรงดันหรือ กระแสคงที่เพื่ออ้างอิงในการแปลงข้อมูล ไบนารีเป็นระดับกระแส ต่อมาจะมีวงจรแปลง จากกระแสเป็นระดับแรงดัน (current-to-voltage converter) ซึ่ง ปกติจะใช้ ออปแอมป์ ทำยสุด สัญญาณอนาล็อกที่ได้จะผ่าน วงจร low-pass filter เพื่อกำจัดสัญญาณความถี่ สูงที่ แผงอยู่ในสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้นมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.17 Transfer Curve ในอุดมคติของ DAC 3 บิต ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.17 เป็นกราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง เอาต์พุตที่เป็นอนาล็อกกับอินพุตที่เป็นดิจิตอลขนาด 3 บิตเรียกว่า transfer curve สังเกตว่าเมื่ออินพุตไบนารีเพิ่มขึ้น เอาต์พุตอนาล็อกจะเพิ่ม ในลักษณะขั้นบันได ขนาดของแต่ละขั้นจะ หาได้จาก

$$\text{stepsize} = \frac{V_{FS}}{2^n} \quad (2.3)$$

เมื่อให้ V_{FS} คือระดับแรงดัน

n คือจำนวนบิตของอินพุต

เนื่องจากเอาต์พุตของ DAC จะเพิ่มเป็นขั้นๆ รูปคลื่นสัญญาณ ที่ได้จาก DAC จึงมีลักษณะไม่เรียบ ดังตัวอย่าง ในรูปที่ 2.18 ซึ่งแสดงถึงสัญญาณไซน์ ที่สร้างจาก DAC



รูปที่ 2.18 คลื่นไซน์ที่สร้างจาก DAC

ถ้าเพิ่มจำนวนบิต ความละเอียดของ DAC จะเพิ่มขึ้น เช่น เมื่อ ใช้ DAC 12 บิต และ $V_{FS} = 5.0$ V ความละเอียดคือ $5.0 \text{ V} / 4096 = 1.22 \text{ mV}$ ซึ่งจะ ละเอียดกว่า DAC 8 บิตถึง 16 เท่า ความถูกต้องของ DAC ขึ้นอยู่กับหลายส่วน

2.3.2.2 Quantization error DAC บิต $V_{FS} = 5.0$ V เอาต์พุตจะมีความละเอียด 19.53 mV ถ้าต้องการเอาต์พุต 4.00 V DAC จะให้เอาต์พุตได้ใกล้เคียง ที่สุดคือ 4.04 V ($19.53 \text{ mV} \times 205$) ผิดพลาด 4 mV โดยทั่วไปค่าผิดพลาดจะเท่ากับ ± 0.5 LSB (least significant bit) ตัวอย่างเช่น DAC 8 บิต ความผิดพลาดจะเป็น 1 ใน 512 หรือ $\pm 0.195 \%$

2.3.2.2 Offset and gain errors เมื่ออินพุตไบนารีเท่ากับ 0 แต่เอาต์พุตของ DAC ไม่เป็น 0 เรียกว่า offset error และอาจเกิดร่วมกับ gain error ความผิดพลาดเหล่านี้ จะทำให้ transfer curve ในภาพที่ 8 โค้งขึ้น หรือลง ขึ้นอยู่กับความไม่สมดุลภายใน DAC อย่างไรก็ตาม offset error และ gain error จะแก้ได้โดยใช้ความต้านทาน ทานปรับค่าได้ต่อไว้ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3 Nonlinearity คือค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของ transfer curve เทียบกับเส้นตรงจากจุดศูนย์และจุดสูงสุด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความผิดพลาดของส่วนประกอบภายใน DAC ใน data sheet ของ DAC จะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าสูงสุด หรือ ระบุเป็นเศษส่วนของ LSB (โดยทั่วไปคือ ± 0.5 LSB)

2.3.2.4 Settling time คือช่วงเวลานับแต่ให้อินพุตจนกระทั่ง DAC ให้ เอาต์พุต วัตเมื่อเอาต์พุตที่ได้ผิดพลาดจากค่าจริง น้อยกว่า 0.5 LSB ค่าเวลานี้อาจน้อยกว่า 100 ns สำหรับ DAC ความเร็วสูง และอาจมากกว่า 100 us สำหรับ DAC ราคาถูก

2.3.3 การแปลงสัญญาณทางอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter)

สัญญาณที่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มี 2 ชนิด คือ สัญญาณอนาล็อก และสัญญาณดิจิตอล สัญญาณอนาล็อก จะใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ ไป และใช้ในการควบคุมแบบเกา

ในปัจจุบันมีไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้ามาช่วยในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่าย และรวดเร็วยิ่งขึ้น แต่ในการควบคุมนั้น เราจำเป็นต้องใช้ สัญญาณดิจิตอลในการติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ในความเป็นจริงนั้น เราใช้สัญญาณอนาล็อกในการควบคุม ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วจึงนำสัญญาณนั้นเข้ามาสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ควบคุมระบบต่อไป

แม้ว่าสัญญาณอนาล็อกนั้นมีความแน่นอน และแม่นยำสูง แต่สัญญาณอนาล็อกนั้นก็ควบคุมได้ยาก เนื่องจากในสภาพแวดล้อม มีสัญญาณรบกวนอยู่มาก และการที่จะทำให้ การควบคุมแบบอนาล็อก มีความสามารถควบคุม เท่ากับการควบคุมแบบดิจิตอลนั้น ทำได้ยาก เนื่องจากวงจรควบคุมแบบอนาล็อกจะต้องมีความซับซ้อนสูงอย่างไรก็ตาม สัญญาณดิจิตอลก็ไม่สามารถทดแทนความละเอียดของสัญญาณอนาล็อกได้อย่างสมบูรณ์ แต่ทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่าย และสะดวกยิ่งขึ้น

Analog to Digital Converter (A/D) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลที่ มนุษย์รับรู้ สัมผัสได้ เป็นข้อมูลทางไฟฟ้า เพื่อป้อนเข้าสู่การประมวลผล จึงเป็นขบวนการหนึ่งของการรับข้อมูล (Input Unit) เป็นกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์ ที่สัญญาณแปรผันต่อเนื่อง (analog) ได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยไม่มีการลบข้อมูลสำคัญผลลัพธ์ของ ADC มีลักษณะตรงข้าม คือ กำหนดระดับหรือสถานะ ตัวเลขของสถานะมักจะเป็นการยกกำลังของ 2 คือ 2, 4, 8, 16 เป็นต้น สัญญาณดิจิตอลพื้นฐานมี 2 สถานะและเรียกว่า binary ตัวเลขทั้งหมดสามารถแสดงในรูปของไบนารี ในฐานะข้อความของ หนึ่งและศูนย์

วงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลมีมากมายหลายชนิด โดยทั่วไปแล้ววงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D converters) มีใช้งานอยู่หลักๆประมาณ 3 ชนิดคือ

- Parallel Comparator, Simultaneous, หรือ Flash A/D converter
- Dual – Slope A/D converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้เฉพาะในวงจำกัดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การสุ่มสัญญาณ (Data sampling)

การแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอลจะถูกสุ่มค่าจากสัญญาณไฟฟ้าตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งตัวเลขสุ่มที่ได้แต่ละค่าจะกำหนดเป็นระดับค่าดิจิตอลตามระดับเทียบเท่ากับระบบ bit ที่ใช้ซึ่งหากสุ่มจำนวนที่เหมาะสมพอดีค่าดิจิตอลที่ได้เมื่อนำไปสร้างภาพจะแปลงเป็นภาพได้สมบูรณ์มีรายละเอียดที่ครบถ้วนตามต้องการแต่หากสุ่มน้อยเกินไปภาพที่ได้จะเกิดความคลาดเคลื่อนในการแปลงภาพ ทำให้ภาพผิดไปจากความเป็นจริง แต่ถ้าสุ่มจำนวนมากเกินไปแล้วเมื่อนำไปสร้างภาพแม้จะได้ภาพที่มีรายละเอียดต่างๆ สมบูรณ์เหมือนภาพต้นแบบแต่จะทำให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลมากเกินจำเป็น ซึ่งความถี่ที่ใช้สุ่มข้อมูล (Sampling frequency) ที่เหมาะสมเรียกว่า Nyquist frequency ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 เท่าของความถี่สัญญาณ input

Sampling frequency เป็นความถี่ในการนับวัดสัญญาณที่เวลาใดๆ เพื่อแปลงค่าเป็น Digital signal จะต้องมีค่าเป็น 2 เท่าหรือมากกว่าความถี่สูงสุด (F_{MAX}) ของสัญญาณ เรียกความถี่นี้ว่า Nyquist frequency ถ้า Sampling frequency มีค่าน้อยกว่า Nyquist frequency จะเกิดการสูญเสียสัญญาณการสร้างภาพมาก (S/N ต่ำ) ภาพที่ได้เกิดลักษณะที่เรียกว่า Aliasing artifact จากหลักการดังกล่าวจะพบว่าอัตราการนับวัดสัญญาณ (Sampling rate; T)

$$T = \frac{1}{2f}$$

(2.4)

ความถี่ที่น้อยที่สุดในการเก็บข้อมูลคือ $2f$ (Nyquist frequency)

2.3.5 โพรโตคอล RS232 (Recommended Standard-232)

RS232 ย่อมาจาก Recommended Standard-232 เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรม กำหนดโดย EIA (Electronics Industry Association) หรือ สมาคมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกา ใช้กับการสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยใช้สายเชื่อมต่อ DB 25 และ 9 เซ็ม ที่ไม่ประสานจังหวะระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่อพ่วง มีการทำงานแบบสองทางพร้อมกัน (Full-duplex) โดยอาจใช้สายสัญญาณอื่นร่วมเพื่อทำแฮนด์เชค (Hand-shake) หรือไม่ก็ได้ ทั้งนี้มาตรฐาน RS-232 จำกัดความยาวสายไว้ที่ 50 ฟุต (หรือประมาณ 15 เมตร) สำหรับการส่งสัญญาณที่ความเร็ว 19,200 บิตต่อวินาที โดยที่ความยาวสายจะต้องสั้นลงถ้าต้องการสื่อสารที่ความเร็วสูงขึ้น



รูปที่ 2.19 แบบ DB9 ตัวผู้และพอร์ตอนุกรมของอุปกรณ์ภายนอก DB9 ตัวเมีย

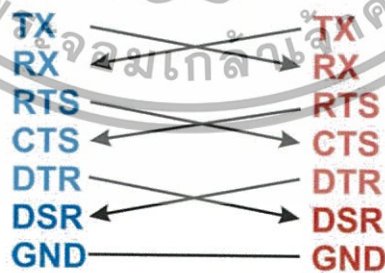
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์ อนุกรมแบบ DB9 และหน้าที่การใช้งานต่างๆ

Pin	Description	Type
1	Data Carrier Detect (DCD)	Input
2	Received Data (RXD)	Input
3	Transmitted Data (TXD)	Output
4	Data Terminal Ready (DTR)	Output
5	Signal Ground (GND)	Input
6	Data Set Ready (DSR)	Input
7	Request To Send (RTS)	Output
8	Clear to Send (CTS)	Input
9	Ring Indicator (RI)	Input

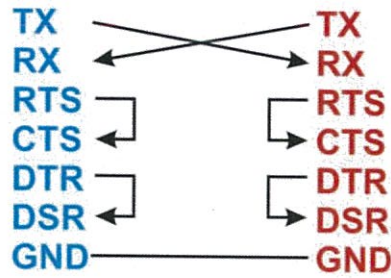
2.3.5.1 การเชื่อมต่อสาย DB9

การเชื่อมต่อสาย DB9 โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 3 แบบดังรูป

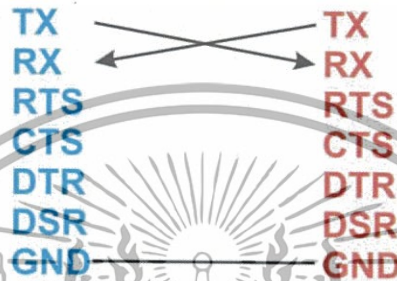


รูปที่ 2.20 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ Null modem

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 Wire



รูปที่ 2.22 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 Wire None Flow Control

2.3.6 การทำงานของขาสัญญาณ DB9

- TXD เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูล
- RXD เป็นขาที่ใช้รับข้อมูล
- DTR แสดงสถานะพอร์ตว่าเปิดใช้งาน
- DSR ตรวจสอบว่าพอร์ต ที่ติดต่อกับ เปิดอยู่หรือไม่ เมื่อเปิดพอร์ตต่ออนุกรม ขา DTR จะ ON เพื่อให้อุปกรณ์ได้รับทราบว่าการติดต่อด้วย ในขณะที่เดียวกันก็จะตรวจสอบขา DSR ว่า อุปกรณ์พร้อมหรือไม่
- RTS แสดงสถานะพอร์ตว่าต้องการส่งข้อมูล
- CTS ตรวจสอบว่าพอร์ตที่ติดต่อกับ ต้องการส่งข้อมูลหรือไม่ เมื่อต้องการส่งข้อมูลขา RTS จะ ON และจะส่งข้อมูลออกที่ขา TXD เมื่อส่งเสร็จก็จะ OFF ในขณะเดียวกันก็จะตรวจสอบขา CTS ว่าอุปกรณ์ต้องการที่จะส่งข้อมูลหรือไม่
- GND ขา ground

2.3.7 อัตราการส่งข้อมูล (Baud rate)

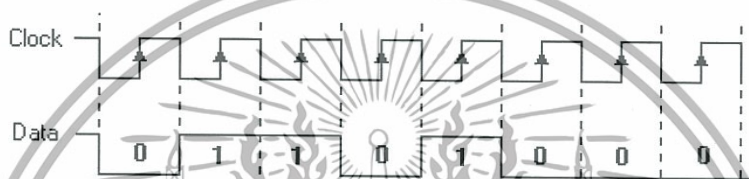
อัตราการส่งข้อมูล (Baud rate) คือความเร็วของการรับ-ส่งข้อมูลเป็นจำนวนบิตต่อวินาทีเช่น 300, 1,200, 2,400, 4,800, 9,600, 14,400, 19,200, 38,400, 56,000 บิตต่อวินาที เป็นต้น การเลือกอัตราการส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับ ชนิดของสายสัญญาณ, ระยะทาง, และปริมาณสัญญาณรบกวน

2.3.8 รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม

รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม มีด้วยกันอยู่ 2 แบบ คือแบบซิงโครนัส(Synchronous) และแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

2.3.8.1 การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous)

การรับส่งข้อมูล จะมีสัญญาณนาฬิกา ซึ่งเป็นตัวกำหนด จังหวะเวลา การส่งข้อมูล ร่วมอยู่ด้วยอีกเส้นหนึ่ง ใช้คู่กับสัญญาณข้อมูล ตัวอย่างเช่น การส่งสัญญาณจากคีย์บอร์ด การส่งข้อมูลแบบนี้ เป็นการรับส่งที่ค่อนข้างมีคุณภาพ และส่งได้ด้วยความเร็วสูง มีโอกาสที่ข้อมูลจะสูญหาย ระหว่างการส่งน้อย ตัวอย่างการส่งข้อมูลลักษณะนี้เช่น I²C, I2S, SPI ข้อเสียของการส่งข้อมูลแบบนี้ คือ ต้องใช้สายสัญญาณมาก เพราะต้องส่ง Clock ไปด้วย



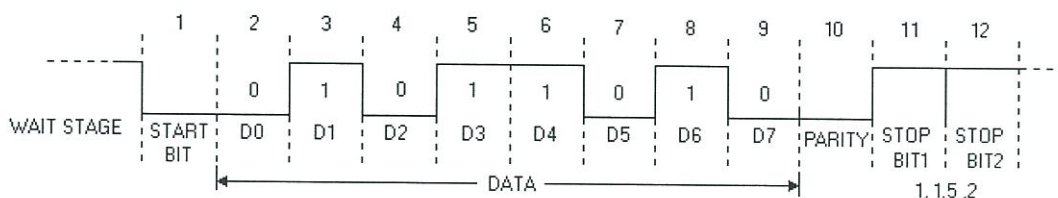
รูปที่ 2.23 การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous)

2.3.8.2 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

การรับส่งข้อมูล โดยที่ไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาไปด้วย แต่ใช้วิธีกำหนด รูปแบบการรับส่งข้อมูลขึ้นมาแทน และอาศัยการกำหนด ความเร็วของการรับ และส่งที่เท่ากันทั้งฝั่งรับและฝั่งส่ง ข้อดีของการใช้ Asynchronous คือสามารถสื่อสารแบบ Full Duplex รับ และ ส่งได้ ในเวลาเดียวกัน แต่ Asynchronous มีโอกาสที่ข้อมูลจะสูญหายขณะรับส่งข้อมูล หรือ รับส่งข้อมูล ผิดพลาดได้มากกว่าแบบ Synchronous

รูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

- บิตเริ่มต้น (Start bit) มีขนาด 1 บิต
- บิตข้อมูล (Data) มีขนาด 5,6,7 หรือ 8 บิต
- บิตตรวจสอบพาริตี (Parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
- บิตหยุด (Stop bit) มีขนาด 1, 1.5, 2 บิต



รูปที่ 2.24 การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา data จะมีสถานะเป็นลอจิก "1" หรือ สถานะหยุดรอ (Waiting stage) เมื่อเริ่มต้นส่งข้อมูลจะให้ขา data เป็นลอจิก "0" เป็นจำนวน 1 บิต เรียกว่าบิตเริ่มต้น (Start bit) จากนั้นก็จะเริ่มต้นส่งข้อมูล โดยส่งบิตต่ำไปก่อน (LSB) แล้วตามด้วยพาริตีบิต (จะมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับการติดตั้งค่า ของทั้งสองฝ่าย) สุดท้ายตามด้วยลอจิก "1" อย่างน้อย 1 บิต (มีขนาด 1, 1.5, หรือ 2 บิต) เพื่อแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูล

2.3.9 การรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมยังแบ่งออกเป็นลักษณะการใช้งานได้ 3 แบบคือ

2.3.9.1 แบบซิมเพลกซ์ (Simplex)

เป็นการส่ง หรือรับข้อมูล แบบทิศทางเดียว เท่านั้น

2.3.9.2 แบบฮาล์ฟดูเพลกซ์ (Half Duplex)

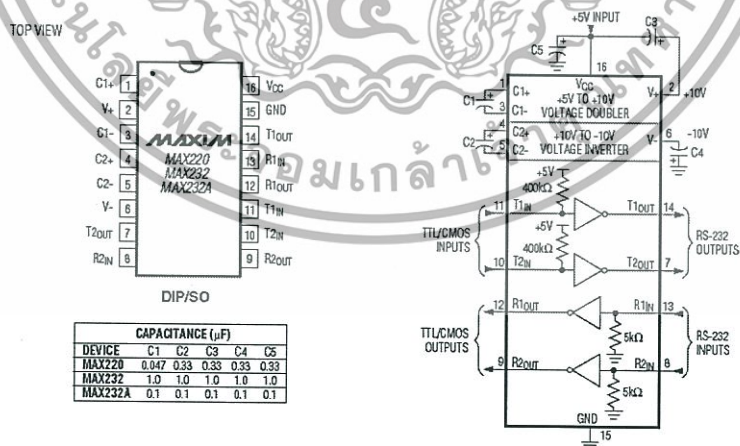
เป็นการส่งและรับข้อมูลแบบสลับกันคือเมื่อด้านหนึ่งส่ง อีกด้านหนึ่ง เป็นฝ่ายรับสลับกัน ไม่สามารถรับ-ส่งในเวลาเดียวกันได้

2.3.9.3 แบบฟูลดูเพลกซ์ (Full Duplex)

สามารถรับ-ส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้

2.3.10 IC MAX 232

เป็นไอซีที่แปลงระดับสัญญาณของ RS-232 มาเป็นระดับ TTL และในทำนองเดียวกันก็แปลงระดับสัญญาณ TTL ไปเป็นระดับสัญญาณ RS-232 เนื่องจาก Serial Port ของ PC เป็นมาตรฐาน RS232 แต่ Microcontroller (MCU) เป็น TTL จึงต้องใช้ MAX232 ปรับระดับแรงดันให้อยู่ในระดับเดียวกัน



รูปที่ 2.25 ไอซี MAX232

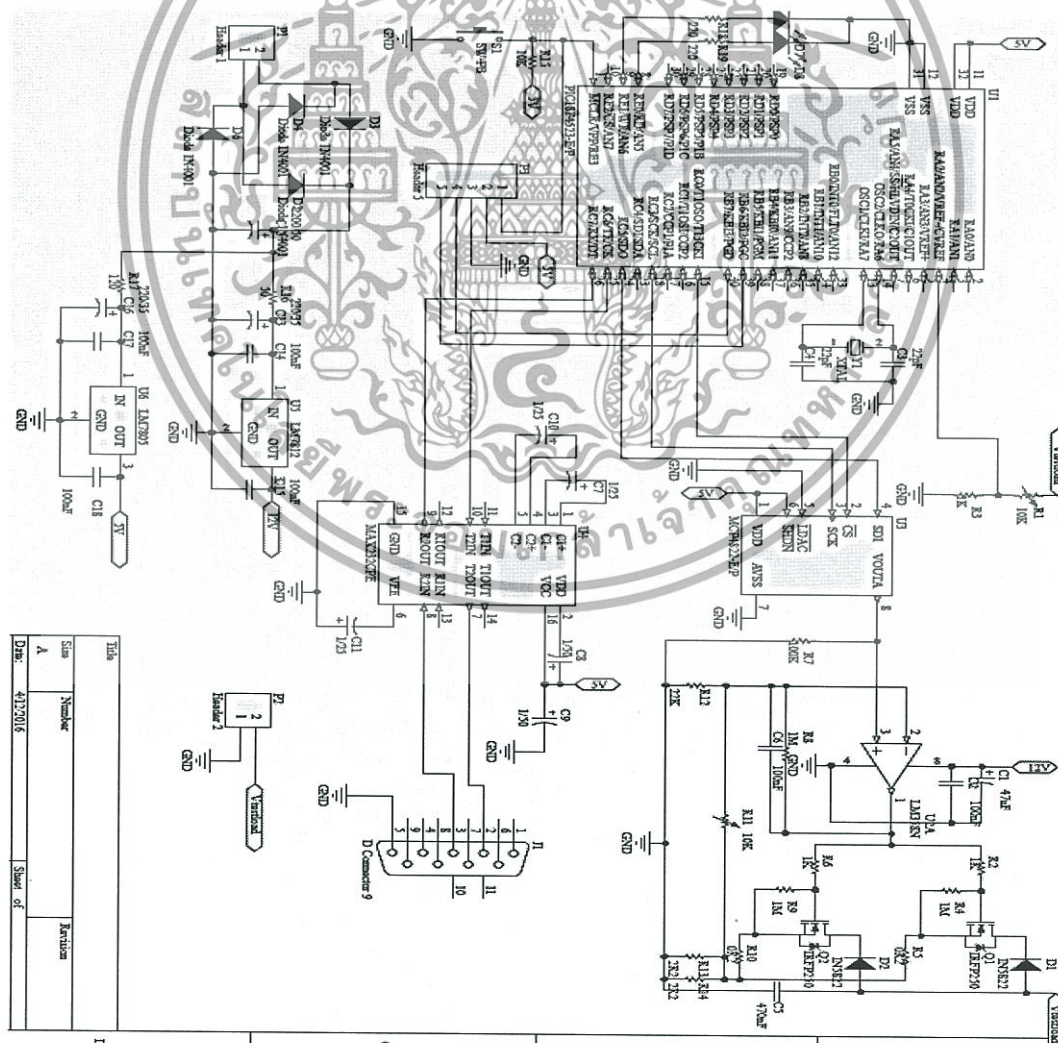
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและออกแบบ วงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ (Automatic electronic load)

3.1 คุณสมบัติวงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติ

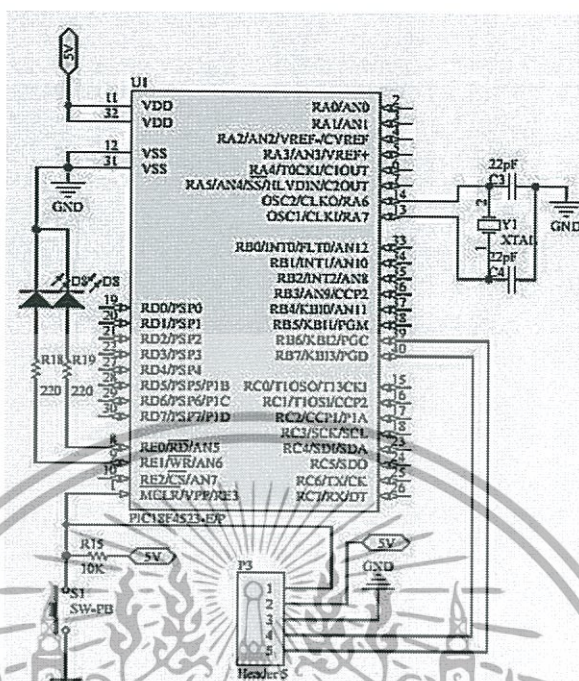
- สามารถทดสอบกระแสและจากเครื่องจ่ายไฟกระแสตรงได้ตั้งแต่ 0.05-2.00A
- สามารถทดสอบวงจรจ่ายไฟกระแสตรงโดยสามารถควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ได้
- สามารถอ่านค่าแรงดันทดสอบจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงได้ตั้งแต่ 0-40V



Pin	Function
1	VCC
2	GND
3	IO/CS
4	IO/CLK
5	IO/DA
6	IO/DB
7	IO/DC
8	IO/DD
9	IO/DE
10	IO/DF
11	IO/DG
12	IO/DH
13	IO/DI
14	IO/DO
15	IO/DP
16	IO/DD
17	IO/DE
18	IO/DF
19	IO/DG
20	IO/DH
21	IO/DI
22	IO/DO
23	IO/DP
24	IO/DD
25	IO/DE
26	IO/DF
27	IO/DG
28	IO/DH
29	IO/DI
30	IO/DO
31	IO/DP
32	IO/DD
33	IO/DE
34	IO/DF
35	IO/DG
36	IO/DH
37	IO/DI
38	IO/DO
39	IO/DP
40	IO/DD

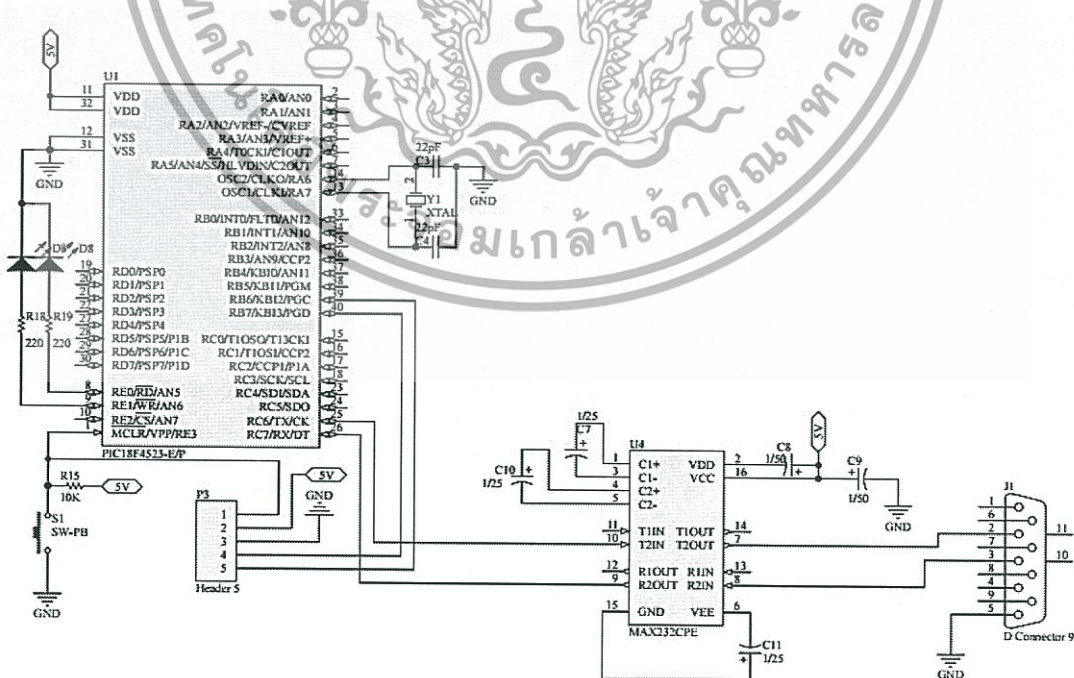
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะที่ออกซอร์สเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 3.1 วงจรโหลดอิเล็กทรอนิกส์แบบอัตโนมัติ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การออกแบบส่วนที่ใช้เบิร์นโปรแกรมให้กับ Microcontroller



รูปที่ 3.4 วงจรใช้เบิร์นโปรแกรมให้กับ Microcontroller

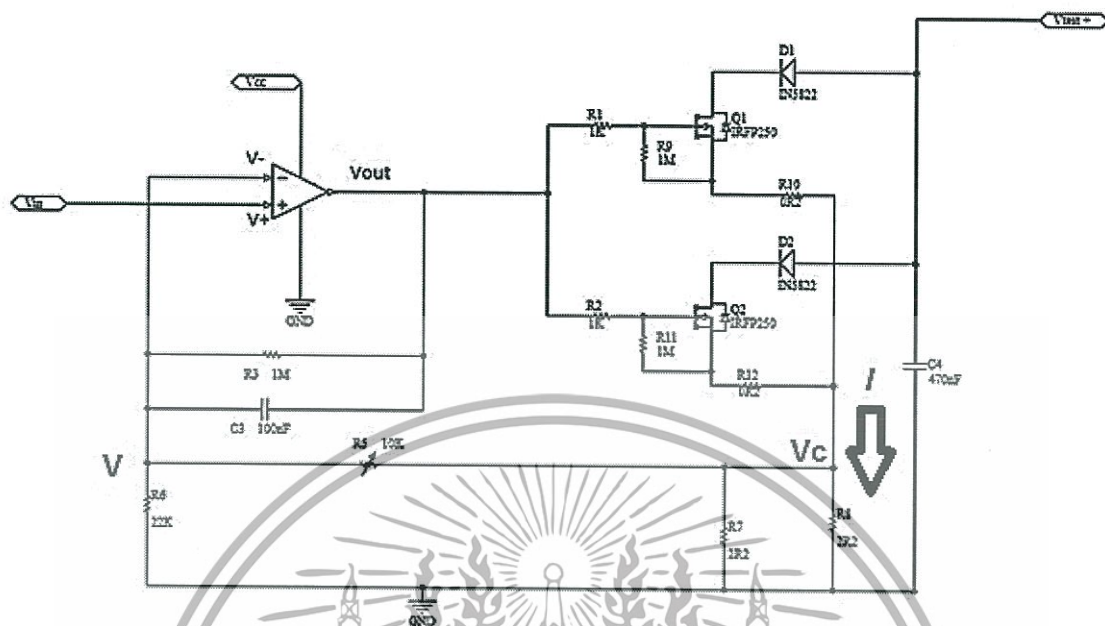
3.4 การออกแบบส่วนของการสื่อสารระหว่าง RS232 กับ Microcontroller



รูปที่ 3.5 วงจรในส่วนของการสื่อสารระหว่าง rs232 กับ Microcontroller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบและคำนวณส่วนของวงจรทดสอบกระแส



รูปที่ 3.6 วงจรทดสอบกระแส

จากออปแอมป์ในอุดมคติ (Ideal Op-Amp) แรงดันขาเข้าบวกมีค่าเท่ากับแรงดันขาเข้าลบ

$$V_{in} = V \quad (3.1)$$

จากการทำงานของวงจรทดสอบกระแส โดยต้องการให้กระแสไหลผ่านค่าความต้านทาน R7 และ R8 เมื่อคิดแรงดันตกคร่อมจะได้สมการ

$$I = \frac{V_c}{R7 // R8} \quad (3.2)$$

โดยค่าแรงดัน V_c สามารถหาได้จากสมการ

$$V_c = V \left(\frac{R5 + R6}{R6} \right) \quad (3.3)$$

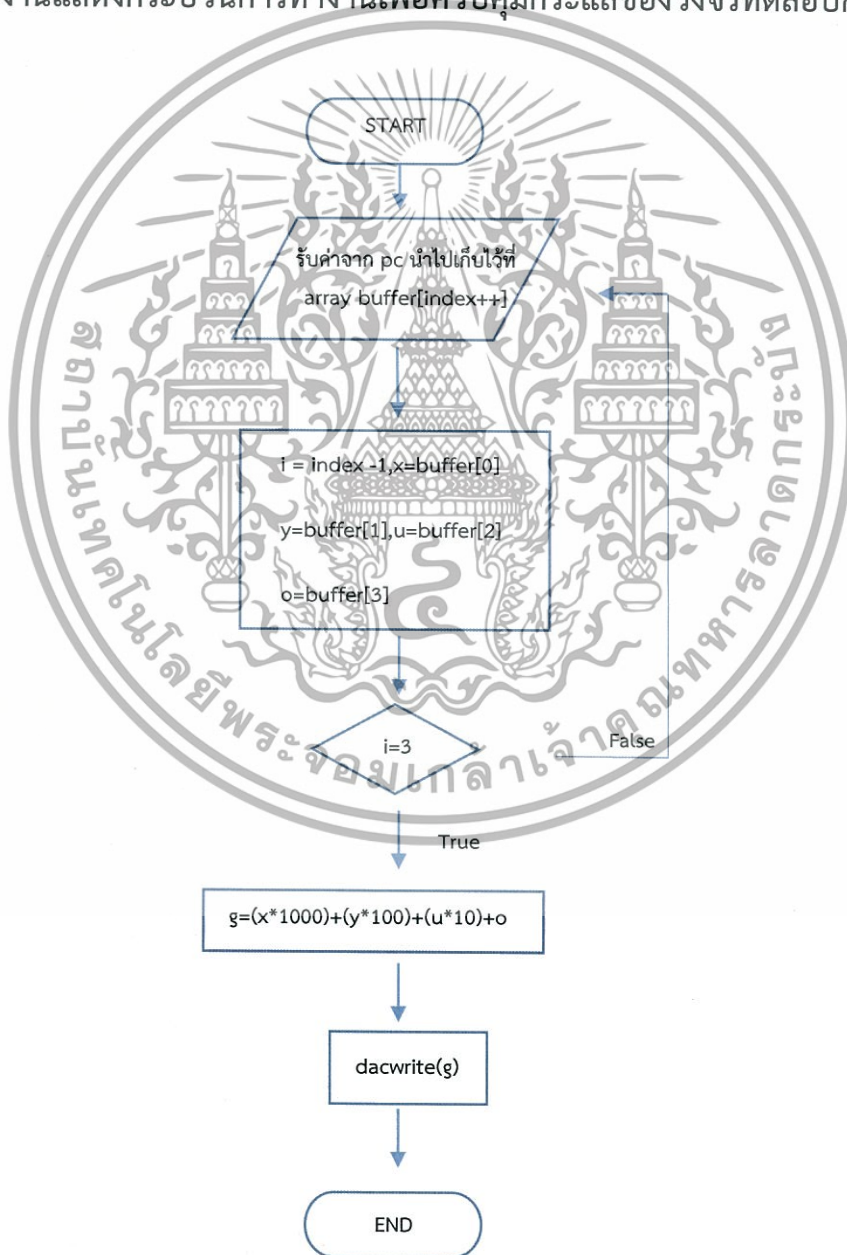
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ Load Regulation

ค่าเปอร์เซ็นต์ Load Regulation หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของแรงดันตกคร่อมโหลด เมื่อโหลดมีค่าความต้านทานต่ำสุด และเมื่อโหลดมีค่าความต้านทานสูงสุดจากการทดสอบ Load Regulation สามารถนำมาคำนวณหาค่า เปอร์เซ็นต์ Load Regulation ได้จากสมการ

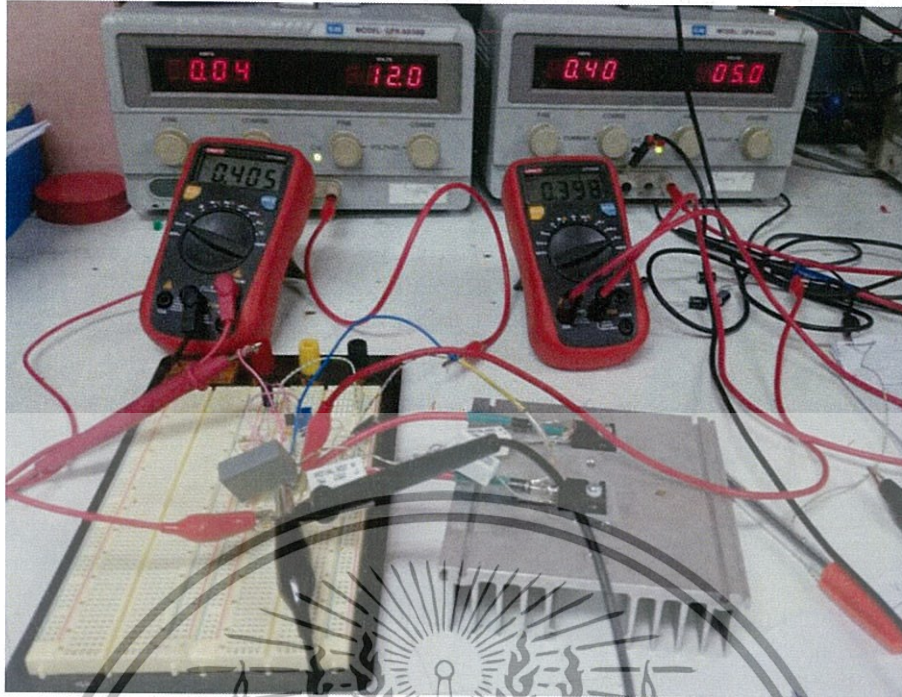
$$\% \text{ Load Regulation} = \left(\frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}} \right) \times 100 \quad (3.4)$$

3.7 แผนงานแสดงกระบวนการทำงานเพื่อควบคุมกระแสของวงจรทดสอบกระแส



รูปที่ 3.7 แผนผังงานระบบแสดงกระบวนการทำงานเพื่อควบคุมกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การต่ออุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองสเกลแพคเตอร์ของวงจรทดสอบกระแสที่แรงดัน 5V

Vin(V)	Current(A)	ความคลาดเคลื่อน(%)
0.00	0.00	0
0.01	0.00	100.00
0.02	0.01	50.00
0.03	0.02	33.33
0.04	0.03	25.00
0.05	0.04	20
0.06	0.05	16.67
0.07	0.06	14.29
0.08	0.07	12.5
0.09	0.08	11.11
0.10	0.09	10.00
0.11	0.10	9.10
0.12	0.11	8.33
0.13	0.12	7.69
0.14	0.13	7.14
0.15	0.14	6.67
0.16	0.15	6.25
0.17	0.16	5.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองสเกลแฟคเตอร์ของวงจรทดสอบกระแสที่แรงดัน 5V (ต่อ)

Vin(V)	Current(A)	ความคลาดเคลื่อน(%)
0.18	0.17	5.56
0.19	0.18	5.26
0.20	0.19	5.00
0.21	0.20	4.76
0.22	0.21	4.56
0.23	0.22	4.35
0.24	0.23	4.17
0.25	0.24	4.00
0.26	0.25	3.85
0.27	0.26	3.70
0.28	0.27	3.57
0.29	0.28	3.45
0.30	0.29	3.33
0.31	0.30	3.23
0.32	0.31	3.13
0.33	0.32	3.03
0.34	0.33	2.94
0.35	0.34	2.86
0.36	0.35	2.78
0.37	0.36	2.70
0.38	0.37	2.63
0.39	0.38	2.56
0.40	0.39	2.50
0.41	0.40	2.44
0.42	0.41	2.38
0.43	0.42	2.33
0.44	0.43	2.27
0.45	0.44	2.22
0.46	0.45	2.17
0.47	0.46	2.13
0.48	0.47	2.08
0.49	0.48	2.04
0.50	0.49	2.00
0.51	0.50	1.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองสเกลแฟคเตอร์ของวงจรทดสอบกระแสที่แรงดัน 5V (ต่อ)

Vin(V)	Current(A)	ความคลาดเคลื่อน(%)
0.52	0.51	1.92
0.53	0.52	1.89
0.54	0.53	1.85
0.55	0.54	1.82
0.56	0.55	1.79
0.57	0.56	1.75
0.58	0.57	1.72
0.59	0.58	1.70
0.60	0.59	1.67
0.61	0.60	1.64
0.62	0.61	1.61
0.63	0.62	1.59
0.64	0.63	1.56
0.65	0.64	1.54
0.66	0.65	1.51
0.67	0.66	1.49
0.68	0.67	1.47
0.69	0.68	1.45
0.70	0.69	1.43
0.71	0.70	1.41
0.72	0.71	1.39
0.73	0.72	1.37
0.74	0.73	1.35
0.75	0.74	1.33
0.76	0.75	1.32
0.77	0.76	1.30
0.78	0.78	0.00
0.79	0.79	0.00
0.80	0.80	0.00
0.81	0.81	0.00
0.82	0.82	0.00
0.83	0.83	0.00
0.84	0.84	0.00
0.85	0.85	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองสเกลแฟคเตอร์ของวงจรทดสอบกระแสที่แรงดัน 5V (ต่อ)

Vin(V)	Current(A)	ความคลาดเคลื่อน(%)
0.86	0.86	0.00
0.87	0.87	0.00
0.88	0.88	0.00
0.89	0.89	0.00
0.90	0.90	0.00
0.91	0.91	0.00
0.92	0.92	0.00
0.93	0.93	0.00
0.94	0.94	0.00
0.95	0.95	0.00
0.96	0.96	0.00
0.97	0.97	0.00
0.98	0.98	0.00
0.99	0.99	0.00
1.00	1.00	0.00
1.01	1.01	0.00
1.02	1.02	0.00
1.03	1.03	0.00
1.04	1.04	0.00
1.05	1.05	0.00
1.06	1.06	0.00
1.07	1.07	0.00
1.08	1.08	0.00
1.09	1.09	0.00
1.10	1.10	0.00
1.11	1.11	0.00
1.12	1.12	0.00
1.13	1.13	0.00
1.14	1.14	0.00
1.15	1.15	0.00
1.16	1.16	0.00
1.17	1.17	0.00
1.18	1.18	0.00
1.19	1.19	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองสเกลแฟคเตอร์ของวงจรทดสอบกระแสที่แรงดัน 5V (ต่อ)

Vin(V)	Current(A)	ความคลาดเคลื่อน(%)
1.20	1.20	0.00
1.21	1.21	0.00
1.22	1.22	0.00
1.23	1.23	0.00
1.24	1.24	0.00
1.25	1.25	0.00
1.26	1.26	0.00
1.27	1.27	0.00
1.28	1.28	0.00
1.29	1.29	0.00
1.30	1.30	0.00
1.31	1.31	0.00
1.32	1.32	0.00
1.33	1.33	0.00
1.34	1.34	0.00
1.35	1.35	0.00
1.36	1.36	0.00
1.37	1.37	0.00
1.38	1.38	0.00
1.39	1.39	0.00
1.40	1.40	0.00
1.41	1.41	0.00
1.42	1.42	0.00
1.43	1.43	0.00
1.44	1.44	0.00
1.45	1.45	0.00
1.46	1.46	0.00
1.47	1.47	0.00
1.48	1.48	0.00
1.49	1.49	0.00
1.50	1.50	0.00
1.51	1.51	0.00
1.52	1.52	0.00
1.53	1.53	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

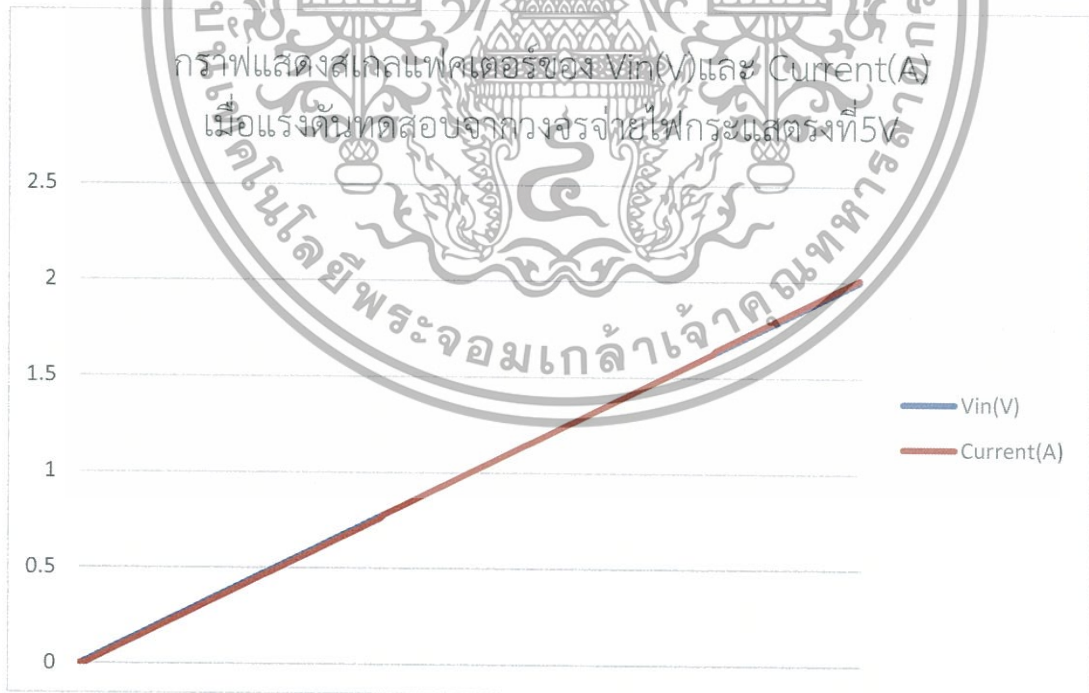
ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองสเกลแฟคเตอร์ของวงจรทดสอบกระแสที่แรงดัน 5V (ต่อ)

Vin(V)	Current(A)	ความคลาดเคลื่อน(%)
1.54	1.54	0.00
1.55	1.55	0.00
1.56	1.56	0.00
1.57	1.57	0.00
1.58	1.58	0.00
1.59	1.59	0.00
1.60	1.60	0.00
1.61	1.61	0.00
1.62	1.62	0.00
1.63	1.64	0.61
1.64	1.65	0.61
1.65	1.66	0.61
1.66	1.67	0.60
1.67	1.68	0.60
1.68	1.69	0.60
1.69	1.70	0.59
1.70	1.71	0.59
1.71	1.72	0.59
1.72	1.73	0.58
1.73	1.74	0.58
1.74	1.75	0.58
1.75	1.76	0.57
1.76	1.77	0.57
1.77	1.78	0.57
1.78	1.79	0.56
1.79	1.80	0.56
1.80	1.81	0.56
1.81	1.82	0.55
1.82	1.83	0.55
1.83	1.84	0.55
1.84	1.85	0.54
1.85	1.86	0.54
1.86	1.87	0.54
1.87	1.88	0.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองสเกลแฟคเตอร์ของวงจรทดสอบกระแสที่แรงดัน 5V (ต่อ)

Vin(V)	Current(A)	ความคลาดเคลื่อน(%)
1.88	1.89	0.53
1.89	1.90	0.53
1.90	1.91	0.53
1.91	1.92	0.52
1.92	1.93	0.52
1.93	1.94	0.52
1.94	1.95	0.52
1.95	1.96	0.51
1.96	1.97	0.51
1.97	1.98	0.51
1.98	1.99	0.51
1.99	2.00	0.50
2.00	2.00	0.00
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		2.55

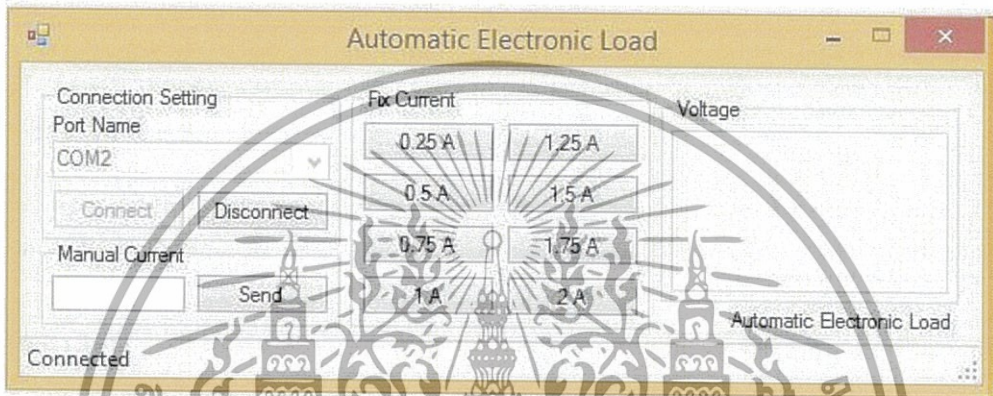


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงสเกลแฟคเตอร์ของ Vin(V) และ Current(A) เมื่อแรงดันทดสอบจากวงจรจ่ายไฟกระแสตรงที่ 5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีการทดลองดึงกระแสที่ไหลผ่านคอมพิวเตอร์

1. ต่อพอร์ต RS232 ที่วงจรในรูป 3.1 เข้ากับคอมพิวเตอร์
2. จ่ายไฟให้กับวงจรภาคจ่ายไฟ เพื่อให้จ่ายไฟเลี้ยงไปยังส่วนต่างๆ
3. ตั้งค่าแรงดันทดสอบที่แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 5 โวลต์
4. ตั้งค่ากระแสที่ไหลที่ต้องการทดสอบผ่านโปรแกรมได้ตั้งแต่ 0-2 แอมป์
5. จากนั้นทำการเก็บค่าการทดลอง



รูปที่ 4.4 โปรแกรมที่ใช้ตั้งค่ากระแสที่ไหลผ่านทางคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเมื่อตั้งค่ากระแสที่ไหลผ่านคอมพิวเตอร์

ค่ากระแสที่สั่งจากคอมพิวเตอร์(A)	กระแสที่ไหล(A)	ความคลาดเคลื่อน (%)
0.00	0.04	0.00
0.01	0.04	300.00
0.02	0.04	100.00
0.03	0.04	33.33
0.04	0.04	0.00
0.05	0.05	0.00
0.06	0.06	0.00
0.07	0.07	0.00
0.08	0.08	0.00
0.09	0.09	0.00
0.10	0.10	0.00
0.11	0.11	0.00
0.12	0.12	0.00
0.13	0.13	0.00
0.14	0.14	0.00

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเมื่อส่งค่ากระแสที่ไหลผ่านคอมพิวเตอรื (ต่อ)

ค่ากระแสที่ส่งจากคอมพิวเตอรื(A)	กระแสที่ไหล(A)	ความคลาดเคลื่อน (%)
0.15	0.15	0.00
0.16	0.16	0.00
0.17	0.17	0.00
0.18	0.18	0.00
0.19	0.19	0.00
0.20	0.20	0.00
0.21	0.21	0.00
0.22	0.22	0.00
0.23	0.23	0.00
0.24	0.24	0.00
0.25	0.25	0.00
0.26	0.26	0.00
0.27	0.27	0.00
0.28	0.28	0.00
0.29	0.29	0.00
0.30	0.30	0.00
0.31	0.31	0.00
0.32	0.32	0.00
0.33	0.33	0.00
0.34	0.34	0.00
0.35	0.35	0.00
0.36	0.36	0.00
0.37	0.37	0.00
0.38	0.38	0.00
0.39	0.39	0.00
0.40	0.40	0.00
0.41	0.41	0.00
0.42	0.42	0.00
0.43	0.43	0.00
0.44	0.44	0.00
0.45	0.45	0.00
0.46	0.46	0.00
0.47	0.47	0.00
0.48	0.48	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเมื่อส่งค่ากระแสที่ไหลผ่านคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

ค่ากระแสที่ส่งจากคอมพิวเตอร์(A)	กระแสที่ไหล(A)	ความคลาดเคลื่อน (%)
0.49	0.49	0.00
0.50	0.50	0.00
0.51	0.51	0.00
0.52	0.52	0.00
0.53	0.53	0.00
0.54	0.54	0.00
0.55	0.55	0.00
0.56	0.56	0.00
0.57	0.57	0.00
0.58	0.58	0.00
0.59	0.59	0.00
0.60	0.60	0.00
0.61	0.61	0.00
0.62	0.62	0.00
0.63	0.63	0.00
0.64	0.64	0.00
0.65	0.65	0.00
0.66	0.66	0.00
0.67	0.67	0.00
0.82	0.82	0.00
0.83	0.83	0.00
0.84	0.84	0.00
0.85	0.85	0.00
0.86	0.86	0.00
0.87	0.87	0.00
0.88	0.88	0.00
0.89	0.89	0.00
0.90	0.90	0.00
0.91	0.91	0.00
0.92	0.92	0.00
0.93	0.93	0.00
0.94	0.94	0.00
0.95	0.95	0.00
0.96	0.96	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเมื่อส่งค่ากระแสที่ไหลผ่านคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

ค่ากระแสที่ส่งจากคอมพิวเตอร์(A)	กระแสที่ไหล(A)	ความคลาดเคลื่อน (%)
0.97	0.97	0.00
0.98	0.98	0.00
0.99	0.99	0.00
1.00	1.00	0.00
1.01	1.01	0.00
1.02	1.02	0.00
1.03	1.03	0.00
1.04	1.04	0.00
1.05	1.05	0.00
1.06	1.06	0.00
1.07	1.07	0.00
1.08	1.08	0.00
1.09	1.09	0.00
1.10	1.10	0.00
1.11	1.11	0.00
1.12	1.12	0.00
1.13	1.13	0.00
1.14	1.14	0.00
1.15	1.15	0.00
1.16	1.16	0.00
1.17	1.17	0.00
1.18	1.18	0.00
1.19	1.19	0.00
1.20	1.20	0.00
1.21	1.21	0.00
1.22	1.22	0.00
1.23	1.23	0.00
1.24	1.24	0.00
1.25	1.25	0.00
1.26	1.26	0.00
1.27	1.27	0.00
1.28	1.28	0.00
1.29	1.29	0.00
1.30	1.30	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเมื่อส่งค่ากระแสที่ไหลผ่านคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

ค่ากระแสที่ส่งจากคอมพิวเตอร์(A)	กระแสที่ไหล(A)	ความคลาดเคลื่อน (%)
1.31	1.31	0.00
1.32	1.32	0.00
1.33	1.33	0.00
1.34	1.34	0.00
1.35	1.35	0.00
1.36	1.36	0.00
1.37	1.37	0.00
1.38	1.38	0.00
1.39	1.39	0.00
1.40	1.40	0.00
1.41	1.41	0.00
1.42	1.42	0.00
1.43	1.43	0.00
1.44	1.44	0.00
1.45	1.45	0.00
1.46	1.46	0.00
1.47	1.47	0.00
1.48	1.48	0.00
1.49	1.49	0.00
1.50	1.50	0.00
1.51	1.51	0.00
1.52	1.52	0.00
1.53	1.53	0.00
1.54	1.54	0.00
1.55	1.55	0.00
1.56	1.56	0.00
1.57	1.57	0.00
1.58	1.58	0.00
1.59	1.59	0.00
1.60	1.60	0.00
1.61	1.61	0.00
1.62	1.62	0.00
1.63	1.63	0.00
1.64	1.64	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

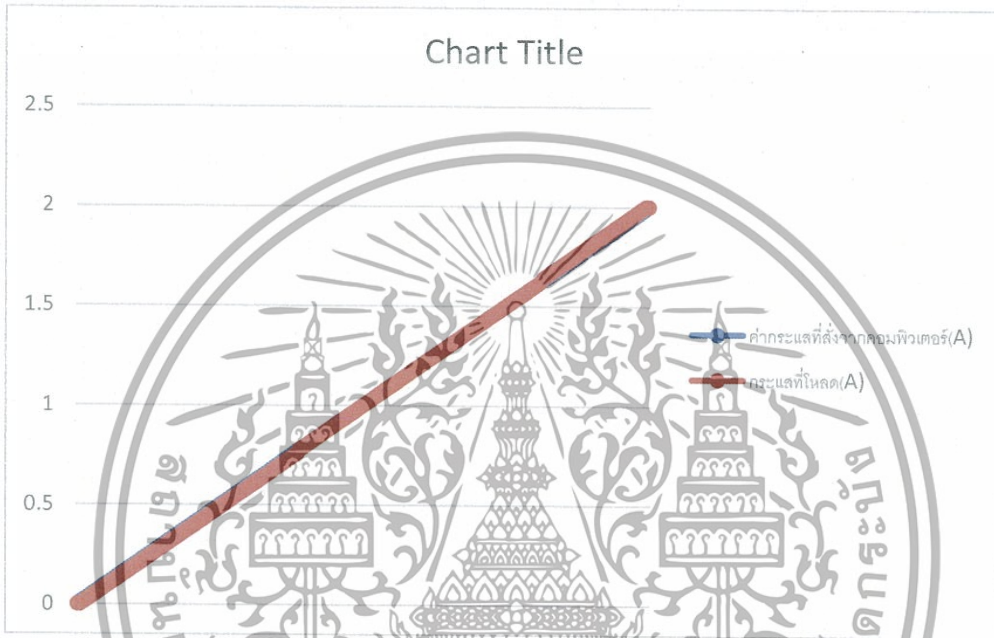
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเมื่อส่งค่ากระแสที่ไหลผ่านคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

ค่ากระแสที่ส่งจากคอมพิวเตอร์(A)	กระแสที่ไหล(A)	ความคลาดเคลื่อน (%)
1.65	1.65	0.00
1.66	1.66	0.00
1.67	1.67	0.00
1.68	1.68	0.00
1.69	1.69	0.00
1.70	1.70	0.00
1.71	1.71	0.00
1.72	1.72	0.00
1.73	1.73	0.00
1.74	1.74	0.00
1.75	1.76	0.00
1.76	1.76	0.00
1.77	1.77	0.00
1.78	1.78	0.00
1.79	1.79	0.00
1.80	1.80	0.00
1.81	1.81	0.00
1.82	1.82	0.00
1.83	1.83	0.00
1.84	1.84	0.00
1.85	1.85	0.00
1.86	1.86	0.00
1.87	1.87	0.00
1.88	1.88	0.00
1.89	1.89	0.00
1.90	1.90	0.00
1.91	1.91	0.00
1.92	1.92	0.00
1.93	1.93	0.00
1.94	1.94	0.00
1.95	1.95	0.00
1.96	1.96	0.00
1.97	1.97	0.00
1.98	1.98	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการวิจัย ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเมื่อส่งค่ากระแสที่ไหลผ่านคอมพิวเตอร์ (ต่อ)

ค่ากระแสที่ส่งจากคอมพิวเตอร์(A)	กระแสที่ไหล(A)	ความคลาดเคลื่อน (%)
1.99	1.99	0.00
2.00	2.00	0.00
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		2.15



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่ากระแสที่ส่งจากคอมพิวเตอร์(A)และกระแสที่ไหล(A)เมื่อแรงดันทดสอบจากวงจรจ่ายไฟกระแสตรงที่5V

4.3 วิธีการทดลองอ่านค่าแรงดันทดสอบผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1. ต่อพอร์ต RS232 ที่วงจรในรูป 4.4 เข้ากับคอมพิวเตอร์
2. จ่ายไฟให้กับวงจรภาคจ่ายไฟ เพื่อให้จ่ายไฟเลี้ยงไปยังส่วนต่างๆ
3. ต่อโวลต์มิเตอร์ที่โหนด Vtestload
4. ตั้งค่าแรงดันทดสอบที่แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 0 5 10 15 20 25 30 25 40 โวลต์
5. จากนั้นทำการเก็บค่าการทดลอง

ตารางที่ 4.3 แรงดันทดสอบที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์และโปรแกรม

แรงดันที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ (V)	แรงดันที่อ่านได้จากโปรแกรม (V)	ความคลาดเคลื่อน (%)
0.00	0.00	0.00
5.00	4.97	0.60
10.00	9.97	0.30
15.00	14.98	0.13
20.00	20.98	4.90
25.00	24.99	0.04
30.00	30.99	3.30
35.00	35.00	0
40.00	40.00	0
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		1.03



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองโปรแกรม automatic electronic load สามารถสั่งให้ตั้งกระแสได้ตั้งแต่ 0.05 - 2 แอมป์ ได้ตามต้องการ และทำการวัดค่าจากโปรแกรมเปรียบเทียบกับแอมป์มิเตอร์ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 2.15% ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความคลาดเคลื่อนของตัวอุปกรณ์เช่นค่าความต้านทาน หรือความต้านทานแฝง ตัวเก็บประจุแฝง ตัวเหนี่ยวนำแฝงจากสายวงจรซึ่งเป็นเหตุที่ไม่สามารถเลี่ยงได้ ด้านการวัดที่ระดับแรงดันตั้งแต่ 0v - 40v ด้วยโปรแกรมโดยทำการวัดค่าเปรียบเทียบกับโวลต์มิเตอร์ค่าที่ได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 1.03% ทั้งนี้สาเหตุคล้ายกับกรณีข้างต้นคืออาจจะมาจากค่าความต้านทานแฝงที่เกิดจากสายของวงจรเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ผู้จัดทำเองก็จะพยายามหาสาเหตุและปรับแก้ต่อไปเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานชิ้นนี้ใช้เวลาในการจัดทำและศึกษาเพียง 1 เทอม ทำให้งานที่ออกมาไม่เสร็จสมบูรณ์ตามที่คาดหวังไว้ ซึ่งถือเป็นความผิดพลาดของผู้จัดทำ ทั้งนี้ถ้ามีโอกาสได้แนะนำแก่คนที่สนใจนำไปพัฒนาต่อก็จะสามารถชี้ให้เห็นถึงปัญหาที่สามารถนำไปปรับแก้และพัฒนาต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Startinnovation, "Microcontroller," 26 July 2013. [Online]. Available: <http://jumpstartinnovation.blogspot.com/2013/07/blog-post.html>. [Accessed 5 January 2016].
- [2] R. Unbehauen, "ANALOG-DIGITAL CONVERSION," [Online]. Available: <http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-06/Chapter%20%20Sampled%20Data%20Systems%20F.pdf>. [Accessed January 2016].
- [3] K. Pattanavorn, "Digital to Analog Converter," [Online]. Available: <https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/conversion/dac/>. [Accessed February 2016].
- [4] "RS232," [Online]. Available: <http://www.thaieasyetec.com/article-wiki/basic-electronics/uart-ttl-rs232-max232-max3232.html>. [Accessed February 2016].
- [5] V. Barkhordarian, "Power MOSFET Basics," [Online]. Available: <http://www.infineon.com/dgdl/mosfet.pdf?fileId=5546d462533600a4015357444e913f4f>. [Accessed March 2016].
- [6] Patimakorn, "OP-AMP," [Online]. Available: <http://fivedots.coe.psu.ac.th/~kpatimakorn/240-206/chap8/chap8-4.html>. [Accessed February 2016].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้